

مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال ششم، شماره دوازدهم، تابستان ۱۳۹۶

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۰۵/۱۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۰۹/۳۰

صفحات: ۳۷-۶۲

## پایش خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص فازی

بتول زینالی\*<sup>۱</sup>، وحید صفریان زنگیر<sup>۲</sup>

### چکیده

خشکسالی به عنوان یک پدیده اقلیمی با کمبود رطوبت و بارندگی نسبت به شرایط نرمال تعریف می‌شود. این پدیده به شدت بر همه جوانب فعالیت‌های بشر تاثیر می‌گذارد. در مقاله حاضر با استفاده از قابلیت‌های سامانه نرم‌افزاری MATLAB و شاخص تلفیقی SEPI<sup>۳</sup> در دو مقیاس زمانی ۶ و ۱۲ ماهه، به بررسی وضعیت خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه پرداخته شد. برای این کار از داده‌های اقلیمی، دو پارامتر (بارندگی و دما) ۵ ایستگاه سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه (تبریز، مراغه، ارومیه، سقز، مهاباد) استفاده شد. یافته پژوهش نشان می‌دهد که شاخص SEPI ویژگی دو شاخص SPI و SEI را به خوبی در خود منعکس می‌کند و هم‌چنین دما را که به عنوان یکی از پارامترهای موثر در تغییر شدت خشکسالی است، در بررسی شرایط خشکسالی وارد می‌کند؛ بنابراین بررسی خشکسالی با شاخص SEPI بهتر از شاخص SPI می‌باشد. بررسی‌ها در رابطه با خشکسالی بر اساس شاخص SEPI نشان می‌دهد که روند خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه روبه افزایش است، دما هم با شدت بیش‌تر روند افزایشی دارد. طولانی‌ترین تداوم زمانی خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه، در ایستگاه ارومیه در مقیاس زمانی ۶ ماهه از ماه مه سال ۲۰۰۵ تا ماه نوامبر سال ۲۰۰۶ به مدت ۱۹ ماه اتفاق افتاده است. بیش‌ترین درصد وقوع خشکسالی در ایستگاه ارومیه و کم‌ترین آن در ایستگاه مهاباد مشاهده می‌شود.

واژگان کلیدی: پایش خشکسالی، شاخص‌های SEPI و SPI، منطق فازی، دریاچه ارومیه

zeynali.b@uma.ac.ir

Safariyan.vahid@gmail.com

۱- استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی

۲- دانشجوی ارشد گروه جغرافیای طبیعی، آب و هواشناسی کاربردی، دانشگاه محقق اردبیلی

## مقدمه

خشکسالی یکی از پدیده‌های طبیعی است که در همه اقلیم‌ها و مناطق جغرافیایی رخ می‌دهد، اما اثرات آن در مناطق خشک و نیمه خشک بیش‌تر ظاهر می‌شود (چناری، ۱۳۸۴). مساله اصلی اقلیمی مناطق خشک، خود خشکسالی نیست؛ بلکه عدم شناخت کافی از آن به‌عنوان یکی از پدیده‌های عادی طبیعی و عدم تنظیم برنامه‌ها و مصارف مختلف آب براساس آن شناخت است. موقعیت جغرافیایی ایران دو ویژگی اساسی دارد؛ نخستین ویژگی مهم جغرافیایی، کوهستانی بودن آن است و خصیصه دیگر آن قرارگرفتن در کمربند خشک نیمکره شمالی است (رهنمایی، ۱۳۷۰). از سویی واقع شدن ایران بر روی کمربند خشک جهانی موجب شده تا نوسانات بارندگی در کشور ما شدید باشد. به همین دلیل در برخی سال‌ها، در اثر طغیان آبی رودخانه‌ها، سیلاب رخ می‌دهند در حالی که مواقعی دیگر وقوع خشکسالی موجب آسیب‌های شدید می‌گردد. در عین حال زمانی که خشکسالی به موقع پیوسته، وقوع یک بارندگی نیز می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری را به بار آورد که نمونه این مورد در سال ۱۳۸۰ در استان گلستان به وقوع پیوست (مساعدی و مرعشی، ۱۳۸۸). طبق تعریف، خشکسالی یکی از مخاطرات طبیعی است که در نتیجه بارش کم‌تر از حد نرمال رخ می‌دهد. به تعبیر «اشنیدر»<sup>۱</sup> خشکسالی در یک منطقه عبارت است از میانگین بارندگی یک سال یا یک فصل که کم‌تر از میانگین بارندگی چند ساله آن منطقه باشد (حجازی‌زاده و جوی‌زاده، ۱۳۸۹)

ویژگی‌های خشکسالی در ایران نشان می‌دهد که به‌طور کلی هیچ منطقه‌ای از کشور، از این پدیده در امان نبوده و به نسبت موقعیت خود، از اثرات این پدیده مخرب تجربه می‌کند. نیاز به پایش و تعیین درجه شدت، تداوم، زمان وقوع و خاتمه خشکسالی، توزیع مکانی و زمانی آن از یک طرف و اظهار این عقیده که تعیین شرایط خشکسالی به‌عنوان یک ابزار مدیریتی و برنامه‌ریزی می‌باشد، پژوهش‌گران را به آن داشته تا شاخص‌هایی جهت پایش خشکسالی ارائه دهند و براساس این شاخص‌ها به بررسی این پدیده اقلیمی بپردازند. یکی از شاخص‌های جدید در بحث بررسی شاخص خشکسالی، شاخص SEPI<sup>۲</sup> می‌باشد. این شاخص برای رفع قسمتی از معایب شاخص SPI<sup>۳</sup> ارائه شده است انصاری و همکاران، (۱۳۸۹). حدادی و حیدری (۱۳۹۴)، در تحقیقی برای شناسایی نوسانات بارش و دوره‌های خشکسالی از مدل SPI و از آزمون همبستگی اسپیرمن استفاده کرده‌اند. و به این نتیجه رسیده‌اند که با کاهش میزان بارش، از میانگین دبی و انحراف معیار ایستگاه کاسته و معادله خط رگرسیونی دبی، روندی کاهشی را در پیش گرفته و تا به امروز این سیر نزولی ادامه یافته است. منتصری و امیرعطایی (۱۳۹۴)، در تحقیقی برای پیش‌بینی احتمالاتی خصوصیات مختلف خشکسالی در شمال غرب ایران با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت کارلو، تئوری ران و شاخص بارش استاندارد (SPI)، و روش استوکستیک استفاده کرده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که انتظار خشکسالی‌هایی با تداوم پنج سال یا بیش‌تر در منطقه مطالعاتی تقریباً نزدیک به صفر بوده است. هم‌چنین نتایج مطالعه مؤید

<sup>۱</sup>- Schneider

<sup>۲</sup>- ترکیب شاخص‌های SPI (شاخص بارش استاندارد) و SEI (شاخص تبخیر و ترقق استاندارد) بر اساس قواعد در سیستم استنتاج فازی SEPI

<sup>۳</sup>- SPI: Standardized Precipitation Index

محدودیت اساسی داده‌های تاریخی در مطالعات پایش خشکسالی و ضرورت به کارگیری روش مونت کارلو برای استنتاج‌های دقیق و واقعی از پدیده خشکسالی هستند. سبحانی و همکاران (۱۳۹۴)، در تحقیقی به پایش خشکسالی در استان اردبیل با استفاده از شاخص فازی SEPI توسعه یافته براساس منطق فازی پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند بررسی‌ها در رابطه با خشکسالی بر اساس شاخص SEPI نشان می‌دهد که روند خشکسالی در استان اردبیل رو به افزایش است. دما هم با شدت بیش‌تر روند افزایشی دارد. طولانی‌ترین تداوم زمانی خشکسالی در استان، در ایستگاه پارس‌آباد در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه از ماه ژوئن سال ۱۹۹۸ تا ماه نوامبر سال ۱۹۹۹ به مدت ۱۸ ماه اتفاق افتاده است. بیش‌ترین درصد وقوع خشکسالی در ایستگاه پارس‌آباد و کم‌ترین آن در ایستگاه خلخال مشاهده شده است. پالمر<sup>۱</sup> (۱۹۶۵)، خشکسالی را کمبود رطوبت مستمر و غیر طبیعی تعریف کرده است. خشکسالی یک رویداد یا واقعه اقلیمی است که خصوصیات آن بستگی به مدت، استمرار، شدت و وسعت منطقه تحت تاثیر و تسلط آن دارد (کتا<sup>۲</sup>، ۱۹۹۳). نیرانجا<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه‌ی به تنوع مشاهده خشکسالی‌های موسمی در سراسر هند با استفاده از شاخص پایش خشکسالی، یعنی شاخص Evapo (تعرق بارش)، استاندارد شده (SPEI) پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که تجزیه و تحلیل همبستگی کانونی<sup>۴</sup> (CCA) نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از تنوع خشکسالی که توسط ال‌نینو/نوسان جنوبی<sup>۵</sup> (ENSO) و تنوع خشکسالی‌های موسمی در سراسر هند به‌طور قابل توجهی، توسط ناهنجاری دمای سطح دریا استوایی تحت تاثیر قرار دارد. جان‌درمیان و همکاران<sup>۶</sup> (۱۳۹۵)، در پژوهشی به بررسی وضعیت خشکسالی دشت سراب و ارتباط آن با تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی در دوره آماری ۱۹۸۶-۲۰۱۰ پرداخته‌اند بدین منظور از شاخص بارندگی استاندارد (SPI)، هیدروگراف واحد و کموگراف دشت استفاده کرده‌اند نتایج نشان داد با این که در بیش‌تر سال‌ها خشکسالی در حد نرمال بوده است، اما افت سطح ایستابی و روند افزایشی شوری آب زیرزمینی اتفاق افتاده است لذا اعمال برنامه‌های مدیریت منابع آب در دشت سراب ضروری است. خشتکاری‌ثانی<sup>۷</sup> (۱۳۹۵)، در تحقیقی به واکاری خشکسالی‌های استان آذربایجان غربی با شاخص SPI و GIS پرداخته و به این نتیجه رسیده است که بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۹ شدیدترین خشکسالی آذربایجان غربی در تکاب در طی این ۲۰ سال رخ داده است. هم‌چنین طولانی‌ترین تداوم خشکسالی نیز در جنوب استان و در ایستگاه تکاب با مدت تداوم ۷ سال به وقوع پیوسته است. هوانگ<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۱۵)، در پژوهشی به ساختار خشکسالی بر اساس شاخص خشکسالی استاندارد ناپارامتری چند متغیره (NMSDI)، و روش موجک در سراسر حوضه رودخانه زرد، چین پرداخته‌اند، نتایج نشان می‌دهد که شاخص خشکسالی چند متغیره ناپارامتری قابل اعتماد و در توصیف خشکسالی موثر واقع شده، شروع خشکسالی در فصل بهار تابستان و زمستان ترجیح بهبود خشکسالی در منطقه مورد مطالعه

<sup>1</sup> - Palmer

<sup>2</sup> - Keta

<sup>3</sup> - Niranjana

<sup>4</sup> - Canonical Correlation Analysis

<sup>5</sup> - El Nino\_Southern Oscillation = )ENSO)

<sup>6</sup> - Jandrmian et al

<sup>7</sup> - Khshtkarysany

<sup>8</sup> - Huang

بوده است. مدت زمان متوسط، درازمدت خشکسالی در کل حوضه حدود ۵ تا ۸ ماه، بوده است. به طور کلی، ساختار خشکی از لحاظ مدت زمان دوره خشکسالی، زمان شروع و پایان در منطقه مورد مطالعه پایدار باقی مانده است. تیمو<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۵)، در تحقیقی به بررسی ارتباط بین خشکسالی و تغییرات دما، بارش و رطوبت خاک با استفاده از چهار شاخص ارزیابی: (SPI)، (ERI)<sup>۲</sup>، (SEPI) و (SMDI)<sup>۳</sup>، مناطق مختلف جهان پرداخته‌اند، و به این نتیجه رسیده‌اند که احتمال افزایش خشکسالی‌های استثنایی مشخص شده است و افزایش خطر ابتلا به تنش ناشی از خشکسالی برای سیستم‌های طبیعی و انسانی ناشی از غلظت گازهای گلخانه‌ای به وجود خواهد آمد. جاین<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۵)، در تحقیقی برای ارزیابی، ویژگی‌های خشکسالی در حوضه رودخانه کن واقع در مرکز هند با استفاده از شاخص‌های (SPI)<sup>۵</sup>، (EDI) و شاخص (RDI)<sup>۶</sup> بررسی کردند و به این نتیجه رسیده‌اند که EDI خود عاری از مشکل گام زمانی است و این شاخص خشکسالی مناسب‌تر برای حوضه مورد مطالعه می‌باشد، که مطابق با نتیجه برنامه EDI در کره، ژاپن، ترکیه، استرالیا و ایران هر چند روش‌های تست آن، متفاوت است. اسپینونی<sup>۷</sup> و همکاران، (۲۰۱۵)، در پژوهشی به بررسی بزرگ‌ترین رویدادهای خشکسالی در اروپا از جمله روسیه، به استثنای گرینلند، جزایر قناری، آزور، و مادیر در سال‌های ۱۹۵۰-۲۰۱۲ با استفاده از شاخص‌های خشکسالی، شاخص بارش استاندارد، شاخص تبخیر و تعرق استاندارد شده بارش پرداخته‌اند، و به این نتیجه رسیده‌اند که محاسبه سری‌های زمانی از شاخص‌های ترکیبی برای هر منطقه و کشور بزرگ‌ترین رویدادهای خشکسالی در ۲۰۱۲-۱۹۵۰ شمال اروپا و روسیه را نشان می‌دهد و بیش‌ترین فراوانی خشکسالی از اوایل ۱۹۹۰ به بعد در اروپا و جنوب غربی (به ویژه منطقه مدیترانه) می‌باشد. به طور کلی، یک افزایش کوچک اما مداوم از خشکسالی از اوایل ۱۹۸۰ به اوایل ۲۰۱۰ مناطق اروپا دچار شده است.

با توجه به مطالب ذکر شده در حوضه آبریز دریاچه ارومیه با توجه به مسائلی مانند احداث سد، استحصال آب‌های زیرزمینی، احداث میان‌گذر روی دریاچه، هم‌چنین کاهش بارش‌ها در حوضه دریاچه در طول سال‌های گذشته باعث کاهش آب‌های سطحی و در نتیجه کاهش ورودی دریاچه ارومیه و استفاده غیر اصولی از آب‌های سطحی و زمین‌های کشاورزی باعث تشدید خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه شده است. در منطقه مورد بررسی شواهد حاکی از آن است که مطالعات انجام شده در زمینه خشکسالی از نظر کمیت، روش انجام تحقیق و با استفاده از شاخص‌های مختلف کفایت موضوع را کاملاً در بر نداشته است. بنابراین می‌توان با انجام پژوهش‌های علمی دقیق بر این موارد فایده یا حدقل در مسائل مدیریتی و برنامه‌ریزی این پدیده اقلیمی، بهتر عمل کرده و میزان خسارات ناشی از آن را کاهش داد، و با انجام این پژوهش با استفاده از یک شاخص جدید با نام SEPI به بررسی ویژگی خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه پرداخته و امکان پایش خشکسالی این پدیده را در این حوضه ضروری می‌باشد.

<sup>1</sup> - Touma

<sup>2</sup> - ERI: Effective Rain Fall Index

<sup>3</sup> - SMDI: Soil Moisture Drouyht Index

<sup>4</sup> - Jain

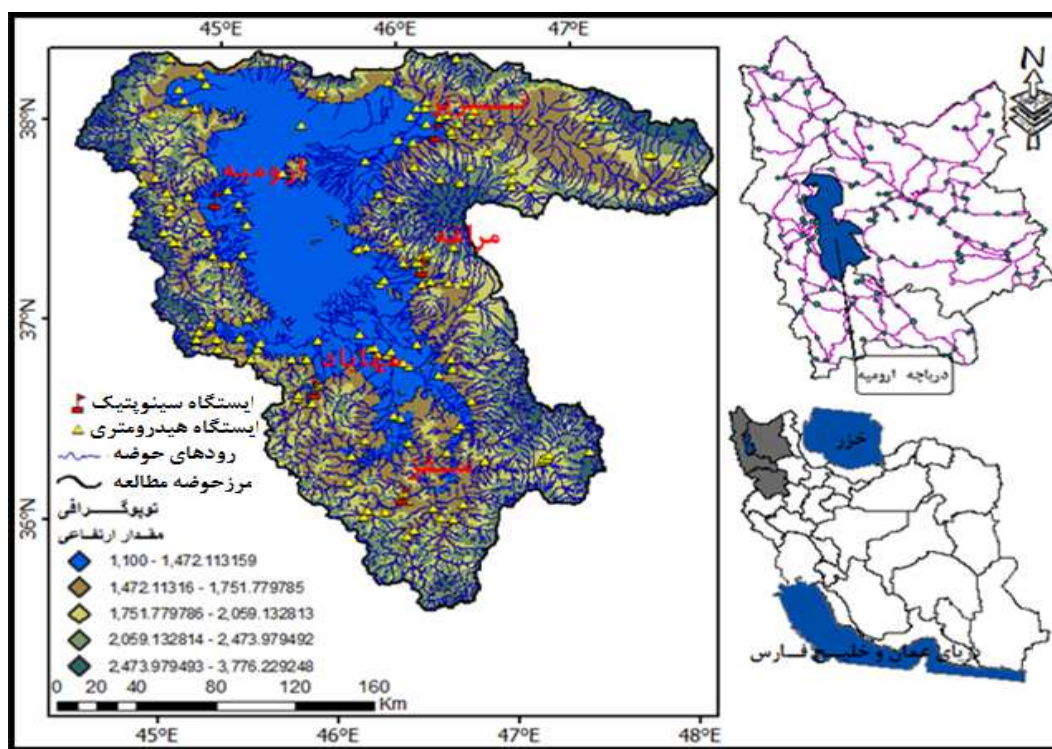
<sup>5</sup> - Effective drought index

<sup>6</sup> - Reclamation Drought Index

<sup>7</sup> - Spinoni

### داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق شمال غرب ایران است که در محدوده ۳۶-۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۰-۴۹ درجه طول شرقی واقع شده است. این منطقه شامل محدوده سیاسی استان‌های آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی شامل ۵ ایستگاه می‌باشد که در شکل (۱) موقعیت منطقه و ایستگاه‌های مورد مطالعه ذکر شده است.



شکل ۱: موقعیت منطقه و ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح کشور

در این تحقیق از داده‌های ماهانه دما و بارش ایستگاه‌های ارومیه، تبریز، سقز، مراغه و مهاباد در دوره آماری ۲۰۱۴-۱۹۸۵ استفاده شده است، برای بررسی همگنی داده‌ها از روش آزمون ران استفاده شد و تصادفی بودن و همگنی داده‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد مورد تایید قرار گرفت.

## شاخص SPI<sup>۱</sup>

شاخص استاندارد شده بارش یکی از شاخص‌های پرکاربرد در پایش خشکسالی می‌باشد. این شاخص یکی از محدود شاخص‌های پایش دوره‌های خشک و حتی می‌توان گفت تنها شاخصی است که در آن مقیاس زمانی مد نظر قرار گرفته است. تعیین مقیاس زمانی بسته به تاثیر خشکسالی در منابع مختلف کشاورزی، هیدرولوژیکی و ... مشخص می‌شود. مقیاس زمانی را می‌توان از ۱ ماه تا چند سال تعیین نمود. برای محاسبه شاخص SPI تنها از عنصر اقلیمی بارندگی استفاده می‌شود. مقادیر بارندگی ماهانه هر ایستگاه در مقیاس زمانی مورد نظر محاسبه می‌شود. جدول (۱) مقادیر طبقه‌بندی SPI را نشان می‌دهد. در بررسی حاضر مقیاس زمانی ۶ ماهه بر اساس تاثیر خشکسالی در مسائل کشاورزی و رطوبت خاک و مقیاس ۱۲ ماهه در ارتباط با اثر خشکسالی بر منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی انتخاب شد.

جدول ۱: طبقه‌بندی شدت خشکسالی و ترسالی شاخص SPI میکرو، (۱۳۸۸)

مقادیر شاخص SPI	طبقات خشکسالی
$\geq 2$	ترسالی خیلی شدید
۱/۹۹ تا ۱/۵	ترسالی شدید
۰/۹۹ تا ۱/۳۹	ترسالی متوسط
۰/۵ تا ۰/۹۹	ترسالی ملایم
-۰/۳۹ تا ۰/۳۹	نرمال
-۰/۹۹ تا -۰/۵	خشکسالی ملایم
-۱/۳۹ تا -۱/۰۰	خشکسالی متوسط
-۱/۹۹ تا -۱/۵۰	خشکسالی شدید
$\leq -2$	خشکسالی خیلی شدید

## شاخص SEI<sup>۲</sup>

از آنجایی که در محاسبه شاخص SPI تنها ورودی، بارندگی است، لذا تغییرات مقادیر شاخص SPI تحت تاثیر پارامتر درجه حرارت و تبخیر و تعرق که از پارامترهای مؤثر در تغییر شدت خشکسالی می‌باشد، نخواهد بود. بنابراین برای وارد کردن تاثیرات درجه حرارت و تبخیر و تعرق در شاخص SPI شاخص SEI (شاخص تبخیر و تعرق استاندارد) به‌عنوان یک شاخص فرضی ارائه شده است که جدول (۲) مقادیر طبقه‌بندی SEI را نشان می‌دهد. برای محاسبه این شاخص، قبل از هر اقدامی باید تبخیر و تعرق گیاه مرجع را برای دوره آماری مورد نظر برآورد کرد.

<sup>۱</sup> - Standardized Precipitation Index

<sup>۲</sup> - Standardized Evapotranspiration

جدول ۲: طبقه‌بندی شدت خشکسالی و ترسالی بر اساس شاخص فرضی SEI انصاری و همکاران، (۱۳۸۹: ۳۹)

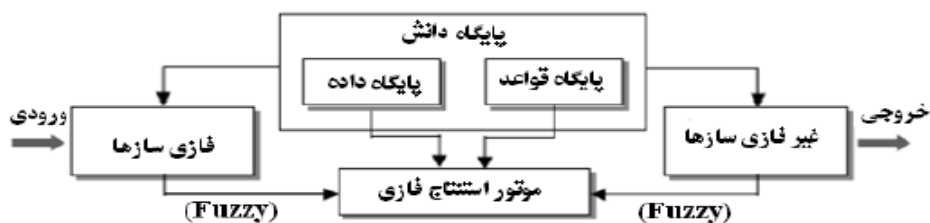
مقادیر شاخص SEI	طبقات خشکسالی
$\geq 2$	خشکسالی خیلی شدید
۱/۵ تا ۱/۹۹	خشکسالی شدید
۰/۹۹ تا ۱/۳۹	خشکسالی متوسط
۰/۵ تا ۰/۹۹	خشکسالی ملایم
-۰/۳۹ تا ۰/۳۹	نرمال
-۰/۹۹ تا -۰/۵	ترسالی ملایم
-۱/۳۹ تا -۱/۰۰	ترسالی متوسط
-۱/۹۹ تا -۱/۵۰	ترسالی شدید
$\leq -2/۰۰$	ترسالی خیلی شدید

### شاخص فازی SEPI

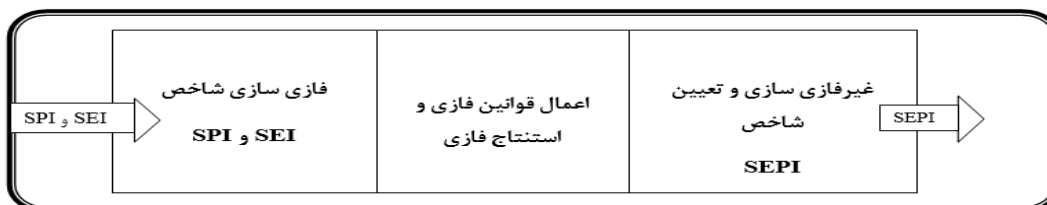
شاخص تبخیر و تعرق و بارندگی استاندارد شده (SEPI) برای رفع قسمتی از معایب شاخص SPI ارائه شده است (انصاری و همکاران، ۱۳۸۹، ۴۰). شاخص تبخیر و تعرق و بارندگی استاندارد شده از تلفیق شاخص SEI و SPI حاصل می‌شود. این شاخص نتیجه معماری مدل فازی پایش خشکسالی است که با استفاده از منطق فازی در یک سیستم استنتاج فازی طراحی می‌شود. نحوه طراحی این مدل و تعیین شاخص SEPI در ادامه شرح داده شده است.

### معماری فازی پایش خشکسالی

برای مشتق‌سازی شاخص‌های SEI و SPI با استفاده از سیستم استنتاج فازی، با توجه به ساختار مدل‌های فازی شکل (۲)، ساختار مدل فازی پایش خشکسالی به صورت شکل (۳) در نظر گرفته شد.



شکل ۲: سیستم استنتاج فازی (سلاجقه و فتح‌آبادی، ۱۳۸۸)



شکل ۳: مدل فازی پایش خشکسالی در تحقیق حاضر (مأخذ: نگارندگان)

بعد از تعیین ساختار مدل فازی، برنامه رایانه‌ای مربوط به محیط نرم‌افزار MATLAB طراحی می‌شود و با استفاده از این برنامه فایل‌های ورودی یعنی مقادیر شاخص SPI و شاخص SEI خوانده شده و مقادیر SEPI در فایل خروجی ارائه می‌گردد. طراحی مدل فازی پایش خشکسالی در تحقیق حاضر بر محورهای زیر استوار است:

#### تعریف مجموعه‌های فازی و درجه عضویت

مجموعه‌های فازی به آن دسته از مجموعه‌ها یا طبقاتی از صورت وضعیت‌های یک پدیده یا موضوع اطلاق می‌شوند که دارای محدوده‌های تعریف شده دقیقی نیستند (در این پژوهش طبقات شدت پدیده خشکسالی). در چنین حالت‌هایی گذر از یک صورت وضعیت به صورت وضعیت دیگر به صورت تدریجی انجام می‌گیرد. در این پژوهش صورت وضعیت‌های مربوط به خشکسالی با برچسب‌هایی ترسالی خیلی شدید، ترسالی شدید، ترسالی متوسط، ترسالی ملایم، شرایط نرمال، خشکسالی ملایم، خشکسالی متوسط، خشکسالی شدید و خشکسالی خیلی شدید بر اساس شاخص‌های SPI و SEI تعیین شده است. در مجموعه‌های فازی، به طور ویژه‌ای، به یک زیرمجموعه A از موضوع بحث U پرداخته می‌شود که در آن، درجه عضویت بواسطه تابع عضویت  $\mu_A(x)$  بیان می‌گردد. در این تابع، درجه تعلق عناصر x از موضوع بحث U به زیر مجموعه A نشان داده می‌شود یا به عبارت دیگر معرف درجه عضویت در A می‌باشد، مجموعه فازی را می‌توان با شماره‌ای که دامنه آن بین ۱ و ۰ قرار دارد تعیین کرد. این امر خود یک نوع استانداردسازی داده‌ها تلقی می‌شود (مالچسفسکی، ۱۳۸۵).

#### متغیرهای زبانی و ارزش‌های زبانی

منظور از متغیر زبانی، متغیرهایی هستند که تصاویرشان عددی نیستند، بلکه کلمات یا جملاتی هستند که به زبان عادی بیان می‌شوند. ارزش‌ها هم شامل حالت‌هایی هستند که با مفاهیم زبانی نظیر خیلی کوتاه، کوتاه، متوسط، دراز، خیلی دراز، تند، خیلی تند، کوچک، متوسط، بزرگ و نظایر آن هستند که به متغیرهای زبانی نسبت داده می‌شود. واقع این مفاهیم در عطف به یک متغیر پایه<sup>۱</sup> که ارزش‌ها و حالت‌های آن در طول یک دامنه خاص، تغییر می‌یابد، تعریف می‌شوند. در همین راستا، اگر تغییرات شرایط خشکسالی را به‌عنوان متغیر زبانی تلقی کنیم، شرایط ترسالی خیلی شدید، ترسالی شدید، ترسالی متوسط، ترسالی ملایم، شرایط نرمال، خشکسالی ملایم و ... معرف آن دسته از

<sup>۱</sup> - Base variable



ارزش‌های زبانی هستند که حالت‌های مختلف خشکسالی را نشان داده و در عین حال هر یک نشان‌گر یک مجموعه فازی هستند در مثال خشکسالی با توجه به تعداد طبقات شاخص SPI، واژه زبانی نه گانه به کار گرفته می‌شود که از طیفی از تغییرات در قالب واژه‌های زبانی ترسالی خیلی شدید (WVH)، ترسالی شدید (WH)، ترسالی متوسط (WA)، ترسالی ملایم (WS)، شرایط نرمال (N)، خشکسالی ملایم (DS)، خشکسالی متوسط (DA)، خشکسالی شدید (DH) و خشکسالی خیلی شدید (DVH) در قالب مقیاس زبانی نه گانه نام برد. در پژوهش حاضر از این مقیاس در سنجش صورت وضعیت شرایط خشکسالی استفاده شده است (انصاری و همکاران، ۱۳۸۹).

### تعریف عملیاتی اعداد فازی

اعداد فازی حامل بار عددی ارزش‌های زبانی و واژه‌های زبانی در طول یک دامنه مشخص از اعداد است. در واقع، هر عدد فازی در عطف به یک واژه زبانی و یک مجموعه فازی مطرح می‌شود. با تبدیل ارزش‌های زبانی با اعداد فازی، انجام عملیات‌های حسابی و منطقی بر روی آن‌ها، روال مشخصی به خود می‌گیرد. معمولاً به شکل استاندارد شده و در قالب بازه بسته ۰ تا ۱ و یا ۰ تا ۱۰۰، در نظر می‌گیرند. (محورهای افقی در نمودارهای شکل زیر). به عنوان مثال اعداد فازی مربوط به شیب‌های پایین، متوسط و بالا در طول یک دامنه استاندارد شده مطابق با شکل زیر عبارتند از: (۰/۴، ۰/۲، ۰، ۰، ۰/۲، ۰/۸، ۰/۵، ۰/۲، ۰/۲) متوسط، و (۱، ۰/۸، ۰/۶) بالا، همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود. تعداد اعداد فازی و بار عددی هر کدام بر روی یک دامنه استاندارد می‌توان به تناسب واژه‌های زبانی سه تایی، چهارتایی، هشت تایی و نظایر آن تعیین شود، پس برای استانداردسازی شاخص SPI از رابطه ۱ و شاخص SEI از رابطه ۲ استفاده می‌شود.

$$x_{ij} = \frac{x_j - x_{jmin}}{x_{jmax} - x_{jmin}} \quad \text{رابطه ۱}$$

$$x_{ij} = \frac{x_{jmax} - x_j}{x_{jmax} - x_{jmin}} \quad \text{رابطه ۲}$$

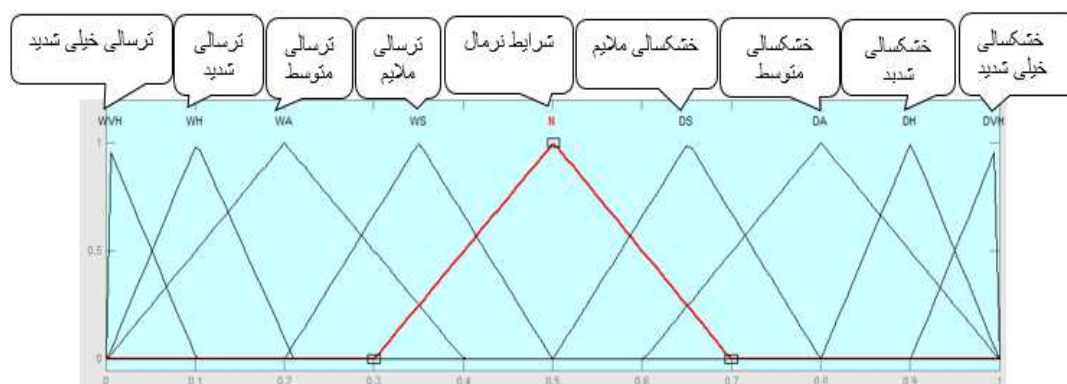
در این روابط  $x_{ij}$  معرف مقدار استاندارد شده،  $x_j$  مقدار شاخص مورد نظر،  $x_{jmax}$  بیش‌ترین مقدار موجود در سری اعداد و  $x_{jmin}$  معرف کم‌ترین مقدار در سری اعدادی باشد (مالچسفسکی، ۱۳۸۵).

یکی از راه‌هایی که می‌توان واژه‌های زبانی را در قالب منظم، به اعداد فازی متناظر با آن‌ها تبدیل کرد استفاده از جدول تبدیل ارائه شده توسط هوانگ است (صفری و همکاران، ۱۳۸۲). باتوجه به آن که در پژوهش حاضر شاخص‌های خشکسالی SPI و SEI که به صورت وضعیت‌های خشکسالی را در نه طبقه نشان می‌دهند، با استفاده از جدول تبدیل ارائه شده از سوی چن و هوانگ، این واژه‌های زبانی نه گانه به عدد فازی متناظر تبدیل شد (جدول ۳).

جدول ۳: مقادیر فازی طبقات خشکسالی بر اساس جدول هوانگ (مأخذ: نگارندگان)

طبقات خشکسالی	مقادیر فازی طبقات
ترسالی خیلی شدید	۰، ۰، ۰/۱
ترسالی شدید	۰، ۰/۱، ۰/۲
ترسالی متوسط	۰، ۰/۲، ۰/۴
ترسالی ملایم	۰/۲، ۰/۳۵، ۰/۳۵، ۰/۵
نرمال	۰/۳، ۰/۵، ۰/۵، ۰/۷
خشکسالی ملایم	۰/۵، ۰/۶۵، ۰/۶۵، ۰/۸
خشکسالی متوسط	۰/۶، ۰/۸، ۰/۸، ۱
خشکسالی شدید	۰/۸، ۰/۹، ۰/۹، ۱
خشکسالی خیلی شدید	۰/۹، ۱، ۱، ۱

توابع فازی طبقات شدت خشکسالی در منطق فازی با توجه به مقادیر فازی آن‌ها به صورت شکل (۴) می‌باشد. در ادامه اعداد فازی حاصله به اعداد غیر فازی تبدیل می‌شود. از اعداد غیر فازی در نوشتن قواعد استفاده می‌شود.



شکل ۴: نمایش اعداد فازی مورد استفاده در عطف به متغیرهای زبانی نه گانه (مأخذ: نگارندگان)

### غیر فازی کردن اعداد فازی

جهت تبدیل یک عدد فازی به یک مقدار دقیق، روش‌های مختلفی از جمله روش مرکز ثقل، روش بیش‌ترین تابع عضویت، روش امتیاز دهی به چپ و راست عدد فازی وجود دارد که در این پژوهش، جهت غیر فازی کردن اعداد فازی از روش امتیاز دهی به چپ و راست استفاده شده است. در روش امتیازدهی به چپ و راست عدد فازی امتیاز کل دقیق یک عدد فازی  $A$  از مقدار امتیازات چپ و راست  $A$  بدست آمده و این امتیازات چپ و راست از دو مجموعه ویژه حداقل (Min) و حداکثر (Max) و درجه عضویت عدد فازی به دست می‌آید. این دو مجموعه Min، Max با فرض این‌که دامنه اعداد فازی  $[0, 1]$  باشند، تعریف می‌شود. در محاسبات عملی برای راحتی کار در عدد فازی مثلثی، امتیازات سمت چپ و راست را از روی روابط (۳، ۴، ۵) محاسبه می‌کنیم (جعفرنژاد و کیا، ۱۳۸۹)

$$\mu_L(A) = 1 - \frac{m}{1+a} \quad \text{رابطه ۳:}$$

$$\mu_R(A) = \frac{m+\beta}{1+\beta} \quad \text{رابطه ۴:}$$

$$\mu_T(A) = \frac{\mu_R(A)+1-\mu_L(A)}{2} \quad \text{رابطه ۵:}$$

جدول (۴) تبدیل اعداد فازی به غیر فازی با روش امتیاز دهی به چپ و راست آورده شده است.

جدول ۴: تبدیل اعداد فازی به غیر فازی (مأخذ: نگارندگان)

مغیر زبانی	مقدار فازی	امتیاز سمت چپ	امتیاز سمت راست	امتیاز کل (غیر فازی)
WVH	۰، ۰، ۰/۱	۱	۰/۰۹۱	۰/۰۴۵
WH	۰، ۰/۱، ۰/۱، ۰/۲	۱	۰/۱۸۲	۰/۱۳۶
WA	۰، ۰/۲، ۰/۲، ۰/۴	۰/۸۳۳	۰/۳۳۳	۰/۲۵۰
WS	۰/۲، ۰/۳۵، ۰/۳۵، ۰/۵	۰/۶۹۶	۰/۴۳۵	۰/۳۷۰
N	۰/۳، ۰/۵، ۰/۵، ۰/۷	۰/۵۸۳	۰/۵۸۳	۰/۵۰۰
DS	۰/۵، ۰/۶۵، ۰/۶۵، ۰/۸	۰/۴۳۵	۰/۶۹۶	۰/۶۳۰
DA	۰/۶، ۰/۸، ۰/۸، ۱	۰/۳۳۳	۰/۸۳۳	۰/۷۵۰
DH	۰/۸، ۰/۹، ۰/۹، ۱	۰/۱۸۲	۱	۰/۸۶۴
DVH	۰/۹، ۱، ۱، ۱	۰/۰۹۱	۱	۰/۹۵۵

### تعیین قواعد جهت تلفیق شاخص های SEI و SPI

طبقات مختلف شاخص SEI و SPI بر پایه قواعد یا همان ترکیبی از گزاره‌های شرطی در قالب اگر، که به یک طبقه از شاخص SEPI در قالب آن‌گاه منتهی شود، تعریف می‌شود. این قاعده فقط یک ترکیب از حالت‌های مختلف شاخص‌های SEI و SPI را که به شاخص SEPI منتهی می‌شوند، نشان می‌دهد. در همین راستا، به تناسب صورت مختلف ترکیبی می‌توان قواعد متوالی را نوشته و در پایگاه دانش ذخیره کرد. با توجه به این‌که در خروجی حاصل از برآیند ترکیب، شاخص‌های SEI و SPI در تعیین وضعیت SEPI دخالت داده شود، وزن هر کدام از شاخص‌ها با توجه به تأثیر پارامتر بارندگی و درجه حرارت بر شدت خشکسالی مدنظر قرار گرفت در نتیجه شاخص‌های SEI و SPI به ترتیب با وزن‌های ۰/۶۶۷ و ۰/۳۳۳ در محاسبات دخالت داده شدند. برای نوشتن قاعده در محیط MATLAB از جدولی هم‌چون جدول (۵) به عنوان الگوی راهنما و رابطه (۶) در عطف به داده‌های این جدول استفاده شد (افروز و همکاران، ۱۳۹۰). جدول مذکور حامل عناصری است که به کمک آن می‌توان قاعده‌ای را که منعکس کننده شرایط خشکسالی است، تعریف کرد.

جدول ۵: جدول راهنما در نوشتن قواعد

نام شاخص	نمره غیر فازی وضع موجود	وزن	بهترین حالت	نمره وزنی وضع موجود	نمره وزنی در وضع DVH
SPI	۰/۵۰	۰/۶۶۷	۰/۹۵۵	۰/۳۳۳	۰/۶۳۶
SEI	۰/۱۴	۰/۳۳۳	۰/۹۵۵	۰/۰۴	۰/۳۱۸
مجموع				۰/۳۷۸	۰/۹۵۵

$$C_i = \frac{\sum_{j=1}^n s_j w_j}{\sum_{j=1}^n v_j w_j} \quad \text{رابطه ۶:}$$

در این رابطه  $C_i$  معرف مقدار تابع فازی SEPI در حالت  $i$  از ترکیب شاخص SPI و SEI است،  $s_j$  نمره غیر فازی وضع موجود شاخص‌های SPI و SEI در حالت  $i$  را نشان می‌دهد،  $w_j$  نشان‌گر وزن شاخص‌ها در حالت  $i$ ،  $v_j w_j$  معرف نمره وزنی حالت  $i$  در وضع موجود،  $v_j$  معرف نمره غیر فازی حالت  $i$  در وضعیت DVH، و  $w_j$  معرف نمره وزنی حالت  $i$  در وضعیت DVH است. به‌عنوان مثال از محتوای نمونه ارائه شده در جدول (۶) قاعده معین از سری قواعد تعیین شده در جهت تعیین وضعیت شاخص SEPI استخراج شده است. این قاعده بیان می‌کند که اگر SPI در طبقه ترسالی شدید و SEI در طبقه ترسالی ملایم باشد، SEPI در طبقه ترسالی متوسط قرار می‌گیرد نمونه قاعده بیان شده در در رابطه (۷) آورده شده است:

$$IFF \quad SPI.is.WH.AND.SEI.is.WS. \quad THEN .SEPI.is.WA \quad \text{رابطه ۷:}$$

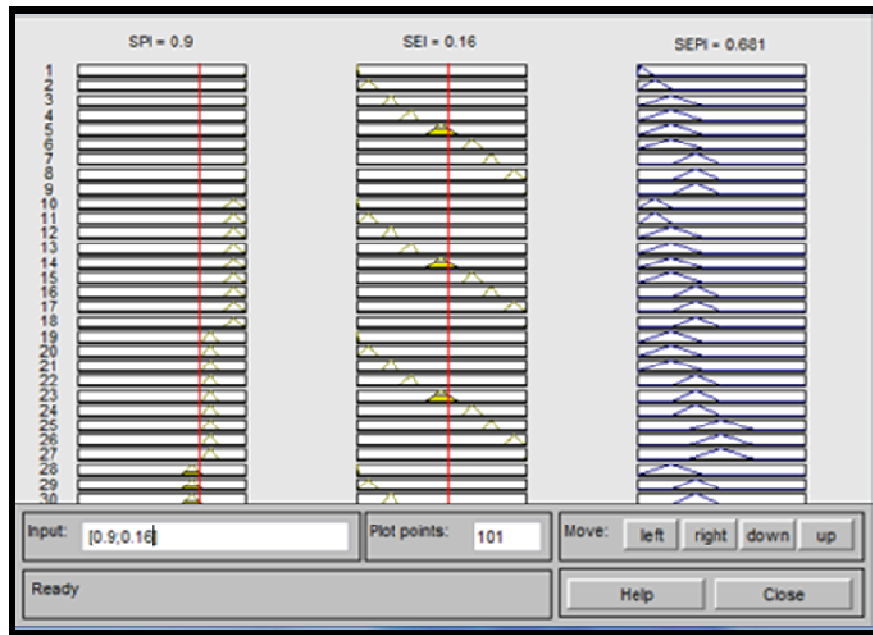
با توجه به آن‌که قواعد بر مبنای دو شاخص SPI و SEI، که هر یک در ۹ حالت مطرح است، شکل می‌گیرد، بنابراین تعداد قواعدی که منعکس‌کننده نتایج حاصل از ترکیب‌های ممکن از صورت وضعیت‌های مختلف دو شاخص است، بالغ بر ۸۱ قاعده تعیین شد. نمونه‌هایی از قواعد تعیین شده به شرح جدول ۶ می‌باشد:

جدول ۶: نمونه قواعد

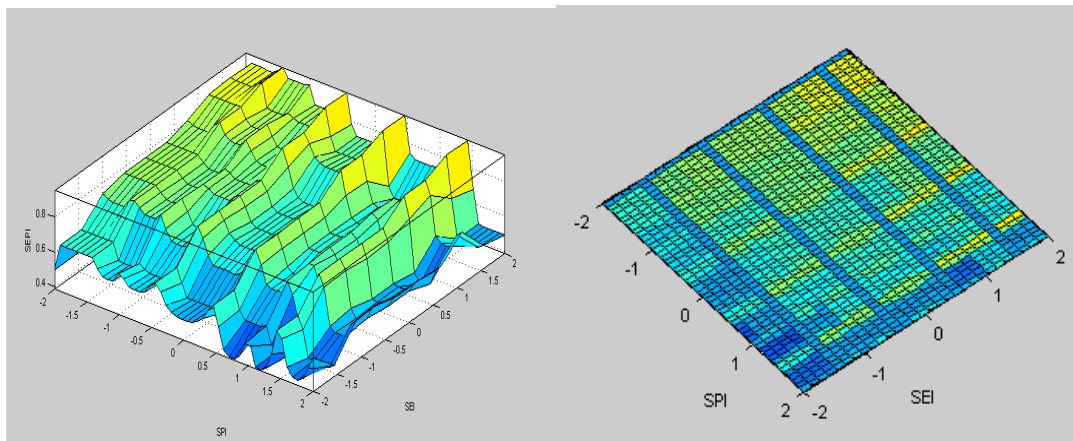
<i>IFF SPI.is.WVH.AND.SEI.is.WVH. THEN .SEPI.is.WVH</i>
<i>IFF SPI.is.WVH.AND.SEI.is.WH. THEN .SEPI.is.WH</i>
<i>IFF SPI.is.WVH.AND.SEI.is.WA. THEN .SEPI.is.WH</i>
<i>IFF SPI.is.WVH.AND.SEI.is.WS. THEN .SEPI.is.WA</i>
<i>IFF SPI.is.WVH.AND.SEI.is.N. THEN .SEPI.is.WA</i>

### وارد کردن قواعد فازی در محیط MATLAB

بعد از تدوین قواعد مورد نظر برای وارد کردن این قواعد در محیط MATLAB در قالب پایگاه دانش فازی و سیستم استنتاج فازی از جعبه ابزار Fuzzy logic استفاده می‌کنیم. در مرحله بعد می‌توان با استفاده از ابزارهای نمایش‌گر قاعده (Rule Viewer) با وارد کردن مقدار شاخص‌های SPI و SEI مقدار شاخص SEPI را به دست آورد. به عنوان مثال در شکل (۵) در قسمت INPUT با وارد کردن مقدار شاخص‌های SPI و SEI که به ترتیب ۰/۹ و ۰/۱۶ می‌باشد، شاخص SEPI به مقدار ۰/۶۸۱ به دست آمده است در نمایش‌گر (Surface Viewer) نیز به تناسب تغییرات مقادیر شاخص‌های ورودی SPI و SEI می‌توان فراز و فرودهای سطوح شاخص SEPI را در یک نمای گرافیکی دنبال کرد (شکل ۶).



شکل ۵: نمایی از Rule Viewer در محیط MATLAB (مأخذ: نگارندگان)



شکل ۶: سطح منحنی حاصل از ترکیب دو شاخص SPI و SEI برای محاسبه شاخص SEPI (نمایی از Surface Viewer در محیط (MATLAB) (ماخذ: نگارندگان)

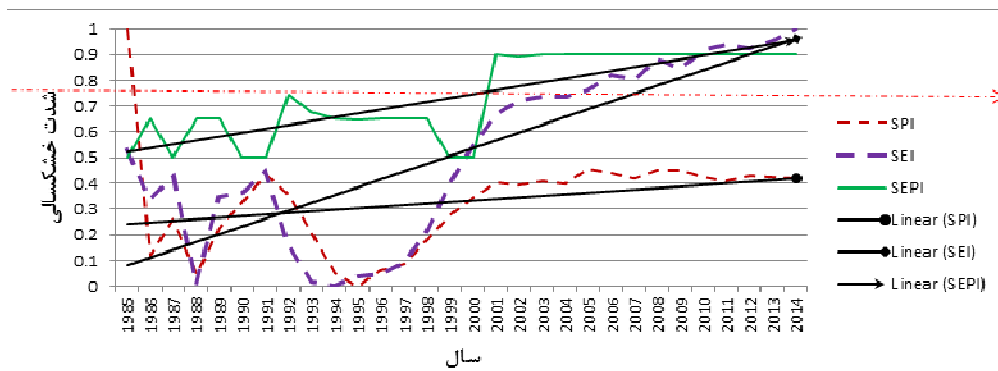
پس از این که شاخص فازی SEPI به طریق بیان شده به دست آمد، نحوه تاثیر دما و بارندگی در خشکسالی ایستگاه‌های مورد مطالعه، بررسی شد. سپس به پایش خشکسالی پرداخته می‌شود. در پایش خشکسالی بر اساس شاخص SEPI، روند، شدت تداوم و درصد فراوانی وقوع خشکسالی را مورد بررسی قرار می‌گیرد. روند شاخص‌های مورد بررسی با روش روند خطی تعیین می‌شود. برای به دست آوردن درصد فراوانی وقوع خشکسالی در طبقات مختلف، از رابطه Frequency استفاده شد.

## نتایج و بحث

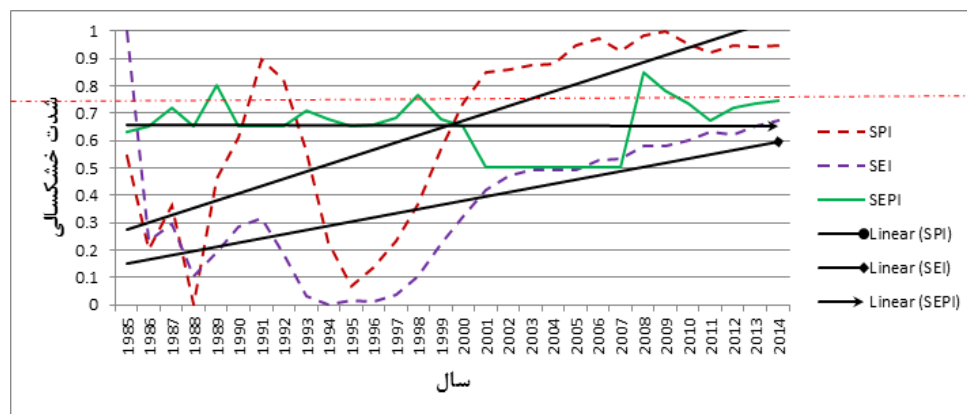
### بررسی نحوه تاثیر بارندگی و دما در خشکسالی

برای بررسی نحوه تاثیر دما و بارندگی در شرایط خشکسالی ایستگاه‌ها، می‌توان میزان تغییراتی را که در شاخص‌های SPI و SEI حاصل شده و در شاخص SEPI نمود پیدا کرده است، مورد بررسی قرار داد. (شکل‌های ۷ تا ۱۶) جهت این بررسی ترسیم شده‌اند. بررسی این اشکال نشان می‌دهد که در ایستگاه ارومیه در مقیاس ۶ و ۱۲ ماهه مقدار تبخیر و تعرق مشابه هم در خشکسالی محیط بوده یعنی مقدار آن از ماه ژانویه سال ۱۹۹۱ تا مه سال ۱۹۹۴ سیر نزولی داشته است و بعد از این ماه شکل افزایشی را به خود گرفته است. در صورتی که تاثیر بارندگی در مقیاس ۶ ماهه ضعیف‌تر از مقیاس ۱۲ ماهه می‌باشد. یعنی از ماه فوریه سال ۱۹۹۵ تا ژوئن سال ۲۰۰۰ روند افزایشی به خود گرفته و بعد از آن شکل یکسانی را می‌پیماید. و شاخص SPI بر روی شاخص SEPI تاثیر گذاشته و تا حدودی یک روند را نشان می‌دهند. و شاخص SEPI در مقیاس ۶ ماهه شکل تندتری را نسبت به مقیاس ۱۲ نشان می‌دهد. در صورتی که در ایستگاه تبریز در مقیاس ۶ ماهه تبخیر و تعرق شکل تندری به خود گرفته است و این از ماه مه ۱۹۹۴ به بعد روند افزایشی را شامل شده و تا سال ۲۰۱۴ ادامه پیدا کرده است و مقدار بارش نیز که شاخص SPI را همراه خود دارد با شاخص SEPI نوسانی متعددی را به همراه دارد و در مقیاس ۱۲ ماه این روند شدت کم‌تری را نسبت به

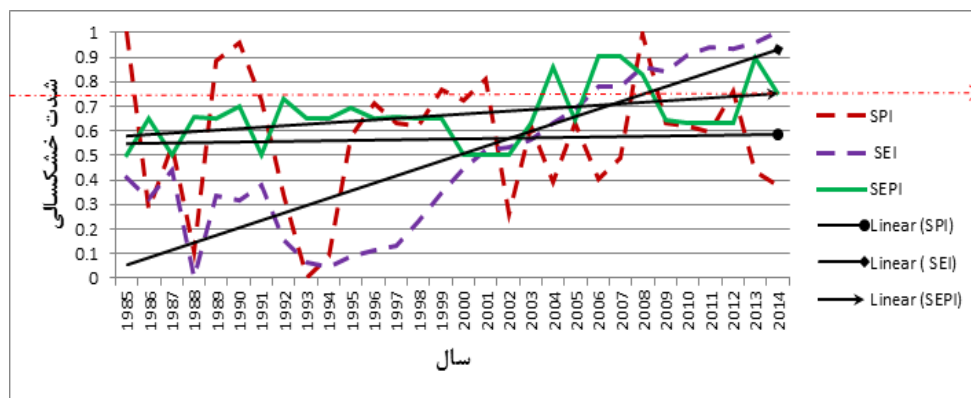
۶ ماهه دارد. در ایستگاه سقز شکل تبخیر و تعرق در مقیاس ۶ ماهه شدت ضعیف‌تری را نسبت به ۱۲ ماهه دارد و از ماه ژولای ۱۹۹۴ به شدت افزایش یافته و با شکل افزایشی خود ادامه پیدا می‌کند هر چند نوسان‌های را شامل می‌شود اما مقدار بارش کاهش خود را از آوریل ۱۹۹۲ شروع شده و تا سال ۲۰۱۴ ادامه داشته است و مقدار تبخیر و تعرق و دما و مقدار بارش ما با نوسان‌های همراه بوده است. اما در ایستگاه مراغه تبخیر و تعرق و دما در مقیاس ۶ ماهه و ۱۲ ماهه تقریباً مشابه هم بوده و به یک شکل در ایستگاه تاثیر گذاشته‌اند. و شامل نوسان‌های شدیدتری از ماه آگوست سال ۲۰۰۲ تا سال ۲۰۱۴ را به خود گرفته است. در ایستگاه مهاباد شکل تاثیرگذاری تبخیر و تعرق و دما در مقیاس ۶ ماهه شدیدتر از مقیاس ۱۲ ماهه است. در سال ۱۹۹۳ در ماه سپتامبر به شدت مقدار تبخیر و تعرق کاهش پیدا کرده است ولی مقدار دما نوسان شدیدی را شامل می‌شود.



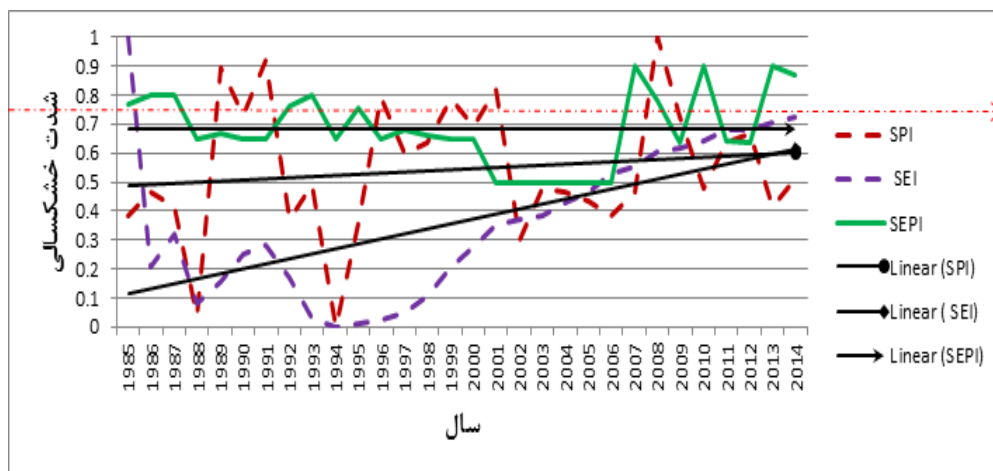
شکل ۷: نوسان شاخص‌ها در ایستگاه ارومیه در مقیاس ۶ ماهه



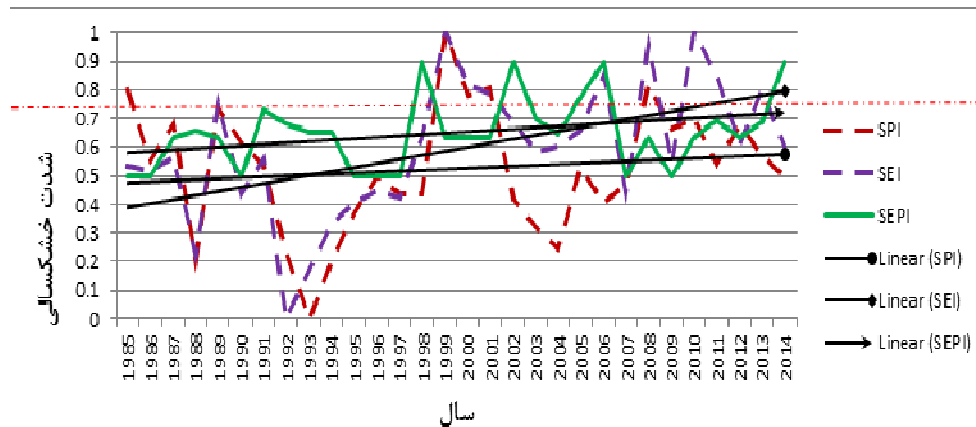
شکل ۸: نوسان شاخص‌ها در ایستگاه ارومیه در مقیاس ۱۲ ماهه



شکل ۹: نوسان شاخص‌ها در ایستگاه تبریز در مقیاس ۶ ماهه

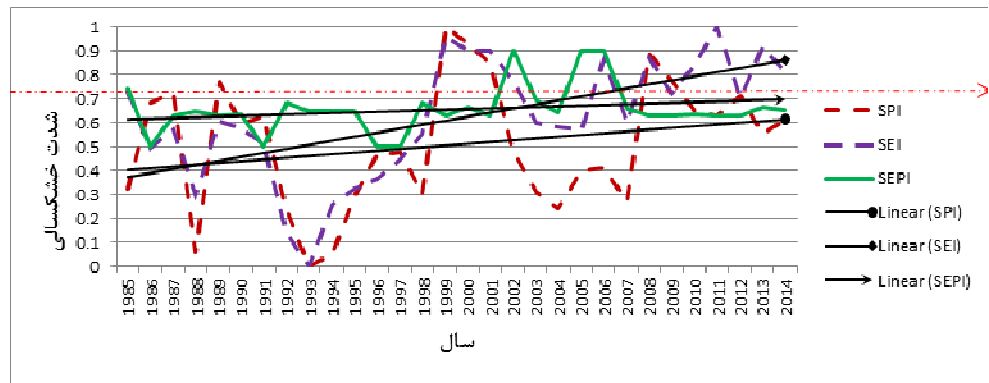


شکل ۱۰: نوسان شاخص‌ها در ایستگاه تبریز در مقیاس ۱۲ ماهه

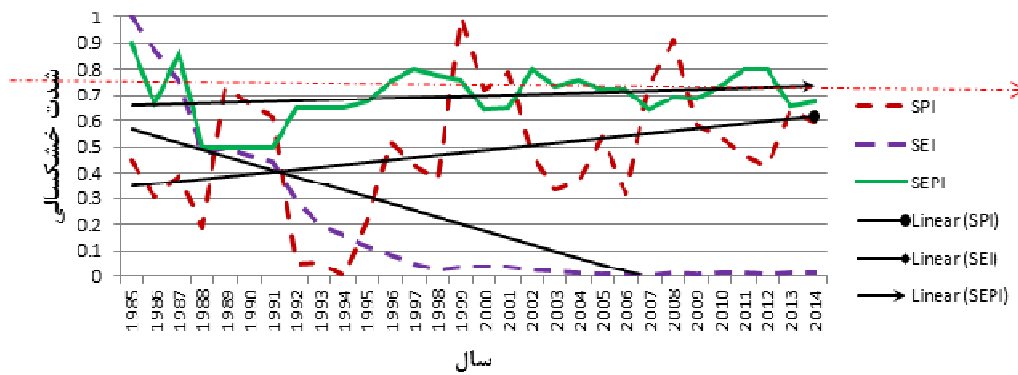


شکل ۱۱: نوسان شاخص‌ها در ایستگاه مهاباد در مقیاس ۶ ماهه

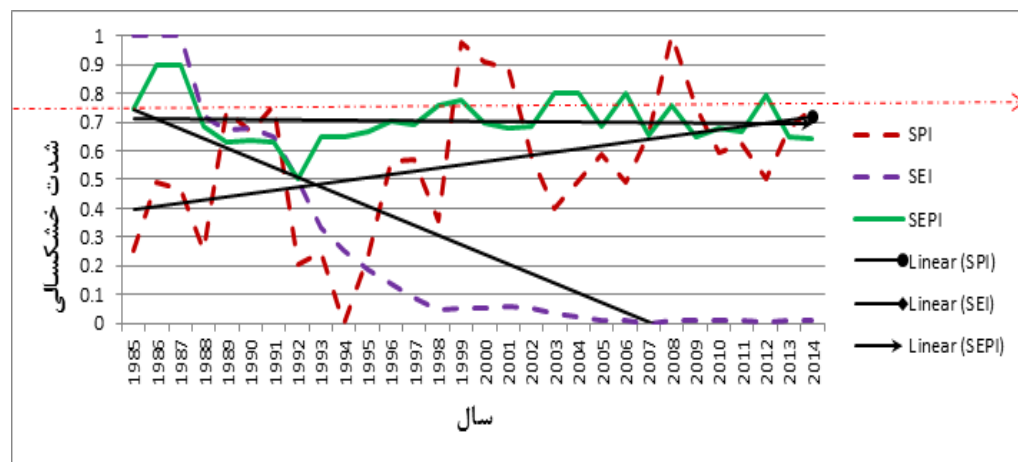




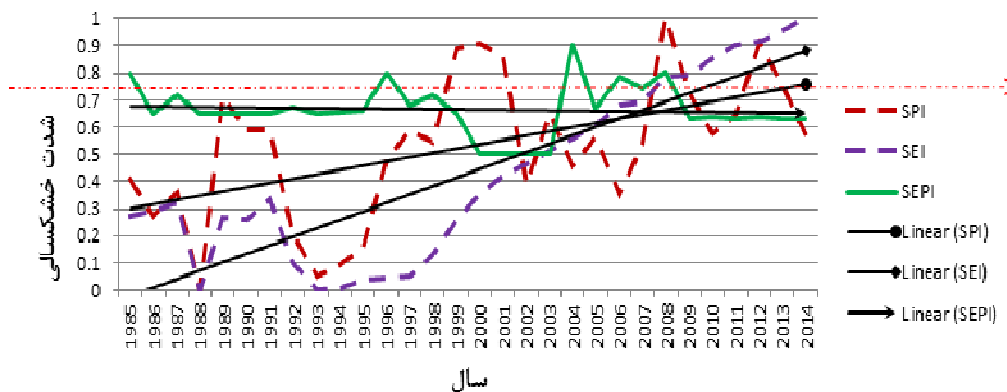
شکل ۱۲: نوسان شاخص‌ها در ایستگاه مهاباد در مقیاس ۱۲ ماهه



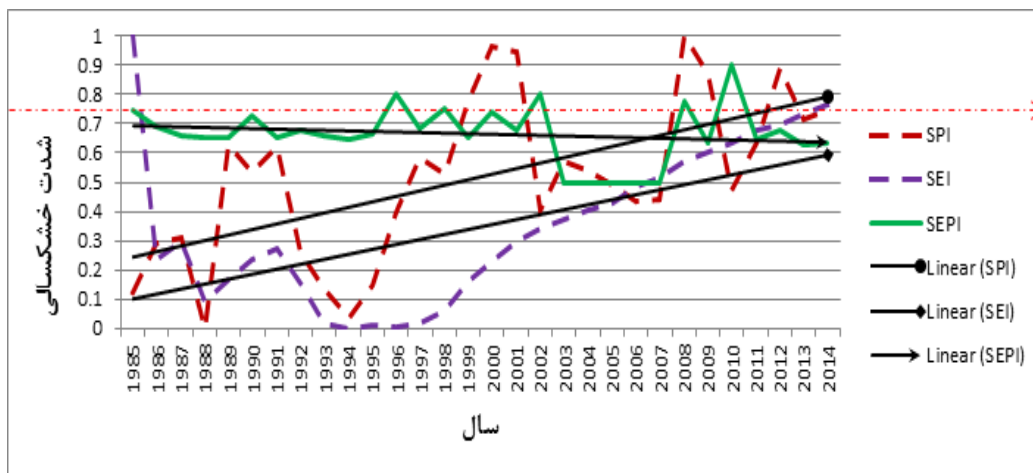
شکل ۱۳: نوسان شاخص‌ها در ایستگاه سقز در مقیاس ۶ ماهه



شکل ۱۴: نوسان شاخص‌ها در ایستگاه سقز در مقیاس ۱۲ ماهه



شکل ۱۵: نوسان شاخص‌ها در ایستگاه مراغه در مقیاس ۶ ماهه



شکل ۱۶: نوسان شاخص‌ها در ایستگاه مراغه در مقیاس ۱۲ ماهه

### پایش خشکسالی

براساس شاخص SPI (که شدت طبقات در حد فواصل  $-2$  تا  $+2$  قرار دارد) خشکسالی برای مقیاس ماهانه به این صورت تعریف می‌شود: دوره‌ای که SPI دائماً منفی باشد و به مقدار  $-1$  و کمتر برسد و زمانی پایان می‌پذیرد که SPI مثبت شود. با توجه به این که طبقات خشکسالی شاخص SEPI تقریباً مشابه شاخص SPI می‌باشد اما طبقات آن بین  $0$  و  $1$  قرار دارد بعد این که مقادیر طبقات خشکسالی شاخص SPI در حد فاصل  $0$  تا  $1$  قرار بگیرد، مقادیر منفی اعداد بین  $0/5$  تا  $1$  خواهد بود و  $-1$  هم معادل  $0/73$  خواهد شد (در شکل‌های ۷ تا ۱۶) خط فلش قرمز رنگ مقطع مرز خشکسالی با مقدار  $0/73$  و بیش‌تر را نشان می‌دهد). بنابراین در شاخص SEPI می‌توان خشکسالی برای مقیاس ماهانه را به این صورت تعریف کرد: دوره‌ای که SEPI دائماً بیش‌تر از  $0/5$  و به مقدار  $0/73$  و به بیش‌تر برسد و زمانی پایان می‌پذیرد که SEPI کمتر از  $0/5$  شود. براساس اعداد فازی مورد استفاده در عطف به متغیرهای زبانی، طبقات

خشکسالی و ترسالی در شاخص SEPI و مقادیر آن‌ها در جدول (۷) مشخص شده است. شدت خشکسالی براساس مقادیر طبقات مشخص شده در این جدول بررسی می‌شوند.

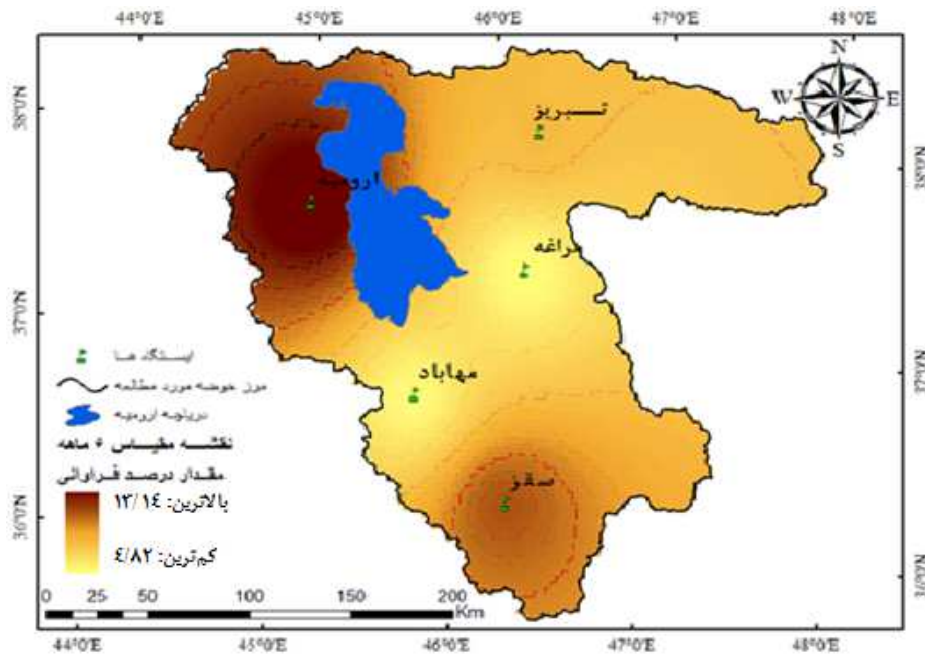
جدول ۷: طبقه‌بندی شدت خشکسالی و ترسالی بر اساس شاخص فازی SEPI

مقادیر شاخص SEPI	طبقات خشکسالی
۰/۹۵ - ۱	خشکسالی خیلی شدید
۰/۸۶ - ۰/۹۵	خشکسالی شدید
۰/۷۳ - ۰/۸۶	خشکسالی متوسط
۰/۵۸ - ۰/۷۳	خشکسالی ملایم
۰/۴۳ - ۰/۵۸	نرمال
۰/۲۸ - ۰/۴۳	ترسالی ملایم
۰/۱۴ - ۰/۲۸	ترسالی متوسط
۰/۰۵ - ۰/۱۴	ترسالی شدید
۰ - ۰/۰۵	ترسالی خیلی شدید

برای پایش وضعیت خشکسالی، شدت، تداوم زمانی، روند و درصد فراوانی وقوع خشکسالی در شاخص SEPI براساس نمودارهای ۱ تا ۱۰ بررسی می‌شود. بررسی شدت خشکسالی‌های رخ داده نشان می‌دهند در ایستگاه ارومیه در مقیاس زمانی ۶ ماهه شدیدترین خشکسالی در ماه‌های سپتامبر، آگوست سال ۲۰۰۰ هر دو ماه با مقدار ۰/۹۰ و در ماه ژولای سال ۲۰۰۳ با مقدار ۰/۹۱ رخ داده است. در مقیاس ۱۲ ماهه نیز ماه سپتامبر ۲۰۰۸ با مقدار ۰/۸۵ رخ داده است. که شدت خشکسالی در مقیاس ۱۲ ماهه نسبت به مقیاس ۶ ماهه این ایستگاه ضعیف‌تر است. اما در ایستگاه تبریز در مقیاس زمانی ۶ ماهه شدیدترین خشکسالی در ماه‌های ژوئن ۲۰۰۶، سپتامبر سال ۲۰۰۷ هر دو ماه با مقدار ۰/۸۹ و در ماه آگوست سال ۲۰۱۳ با مقدار ۰/۹۱ رخ داده است. در مقیاس ۱۲ ماهه نیز ماه ژوئن ۲۰۱۳ با مقدار ۰/۹۰ رخ داده است. در ایستگاه سقز در مقیاس زمانی ۶ ماهه شدیدترین خشکسالی در ماه‌های اکتبر ۱۹۸۵، با مقدار ۰/۹۰ و ماه ژولای سال ۱۹۸۷ با مقدار ۰/۸۶ رخ داده است. در مقیاس ۱۲ ماهه نیز ماه ژوئن ۲۰۱۳ و ماه آگوست هر دو با مقدار ۰/۹۰ رخ داده است. اما در ایستگاه مراغه در مقیاس زمانی ۶ ماهه شدیدترین خشکسالی در ماه مه ۲۰۰۴، با مقدار ۰/۹۰ و در مقیاس ۱۲ ماهه نیز ماه اکتبر ۲۰۱۰ با مقدار ۰/۹۰ رخ داده است. ایستگاه مهاباد در مقیاس زمانی ۶ ماهه شدیدترین خشکسالی در ماه ژولای ۲۰۰۲، با مقدار ۰/۸۹ رخ داده است. و در مقیاس ۱۲ ماهه نیز ماه آگوست ۲۰۰۶ با مقدار ۰/۹۱ رخ داده است. از نظر مقدار شدت خشکسالی ایستگاه ارومیه شدیدتر از بقیه ایستگاه‌ها است. از نظر شدت خشکسالی که مورد بررسی قرار گرفت هر ۵ ایستگاه مورد مطالعه دارای خشکسالی می‌باشند به عبارتی شاخص SEPI بالای ۰/۷۳ را می‌توان مشاهده کرد. مقایسه خشکسالی در دو مقیاس زمانی مورد مطالعه نشان می‌دهد که در مقیاس ۶ ماهه شدت و تکرار خشکسالی بیش‌تر بوده است ولی در مقیاس ۱۲ ماهه از شدت خشکسالی به نسبت کاسته شده ولی بر تداوم اضافه شده است. به عبارتی خشکسالی‌ها در مقیاس

زمانی کوتاه مدت از تداوم زیادی برخوردار نبوده و شدیداً تحت تاثیر بارندگی ماهانه می‌باشند. در حالی که خشکسالی در دوره‌های زمانی بلند مدت واکنش بسیار کندتری نسبت به تغییرات بارش نشان می‌دهند، بنابراین تداوم خشکسالی طی دوره‌های بلند مدت بیش‌تر از دوره‌های کوتاه مدت است. بررسی انجام شده در رابطه با روند شاخص‌ها با توجه به (شکل‌های ۷ تا ۱۶) نشان داد، شاخص SEPI در هر ۵ ایستگاه روند افزایشی داشته است. بنابراین با توجه به این که ویژگی نهایی خشکسالی با استفاده از شاخص SEPI بررسی شده است می‌توان گفت خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه روند افزایشی دارد. روند شاخص SPI، روند مقدار بارندگی در طول دوره آماری را نشان می‌دهد. در زمانی که این شاخص روند افزایش داشته و رو به خشکسالی می‌رود، و روند بارندگی کاهش یافته و بر عکس روند شاخص SPI (ایستگاه مهاباد در هر دو مقیاس ۱۲ و ۶ ماهه، و ایستگاه تبریز در مقیاس ۱۲ ماهه و ارومیه در مقیاس ۱۲ ماهه) نیز مشابه شاخص SEPI افزایش می‌یابد. شاخص SEI نیز در همه ایستگاه‌ها به جز ایستگاه (سقز روند کاهش)، روند افزایشی می‌باشند. اما شدت افزایش در هر شاخص SEI شدیدتر از شاخص SPI و SEPI می‌باشد و نشان می‌دهد که دمای هوای در حوضه دریاچه ارومیه با شدت بیش‌تری رو به افزایش دارد. فراوانی خشکسالی اهم ویژگی‌ها در بررسی خشکسالی یک منطقه به شمار می‌آید. محاسبه درصد توزیع فراوانی در شدت‌های مختلف می‌تواند در ارزیابی قابلیت منطقه مورد مطالعه نسبت به شدت‌های مختلف خشکسالی کاربرد داشته باشد (فرج‌زاده، ۱۳۸۴). درصد فراوانی وقوع خشکسالی در طبقات مختلف در مقیاس زمانی ۶ و ۱۲ ماهه در ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول (۸) بیان شده است.

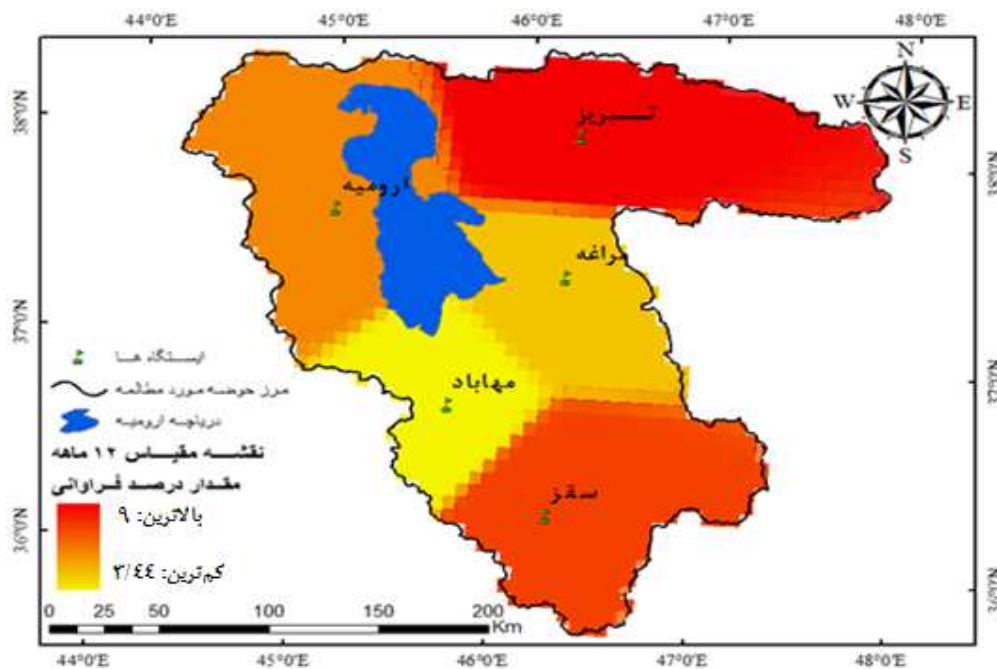
درصد فراوانی وقوع خشکسالی در طبقات مختلف در مقیاس زمانی ۶ و ۱۲ ماهه در ایستگاه‌های مورد مطالعه در (جدول ۸) بیان شده و در (شکل‌های ۱۷ تا ۱۸) در مقیاس جداگانه آورده شده است.



شکل ۱۷: درصد وقوع خشکسالی ایستگاه‌های مورد مطالعه در مقیاس ۶ ماهه

جدول ۸: درصد فراوانی وقوع خشکسالی در طبقات مختلف در مقیاس زمانی ۶ و ۱۲ ماهه

درصد فراوانی وقوع خشکسالی در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه					درصد فراوانی وقوع خشکسالی در مقیاس زمانی ۶ ماهه					
مراغه	سقز	مهاباد	تبریز	ارومیه	مراغه	سقز	مهاباد	تبریز	ارومیه	طبقات خشکسالی
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۷۲	خشکسالی خیلی شدید
۰/۹۰	۱/۸	۲/۷	۳/۵۶	۰	۰/۹۰	۱/۷۶	۳/۶	۲/۷	۱۱/۶۸	خشکسالی شدید
۴/۶	۵/۴۶	۰/۷۴	۵/۴۴	۶/۱۱	۳/۹۲	۹/۱۳	۱/۵	۳/۱۵	۰/۷۴	خشکسالی متوسط
۱۱/۸۴	۹/۹۷	۱۲/۸۵	۸/۴۲	۱۰/۶۶	۱۱/۷۷	۷/۸۹	۱۰/۲۸	۱۱/۰۳	۵/۸۵	خشکسالی ملایم
۲/۵	۰/۵۰	۲	۲/۵	۳/۵	۲	۲	۴	۳	۳/۵	نرمال
۰/۴۰	۰	۰/۳۸	۰/۲۹	۰/۳۹	۰/۴۳	۰	۰/۴۰	۰/۲۸	۰/۳۸	ترسالی ملایم
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	ترسالی متوسط
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	ترسالی شدید
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	ترسالی خیلی شدید
۵/۵	۷/۲۶	۳/۴۴	۹	۶/۱۱	۴/۸۲	۱۰/۸۹	۵/۱	۵/۸۵	۱۳/۱۴	مجموع



شکل ۱۸: درصد وقوع خشکسالی ایستگاه‌های مورد مطالعه در مقیاس ۱۲ ماهه

با توجه به تعریفی که از خشکسالی بر اساس شاخص SEPI ارائه شد، مقادیر  $0/73$  و بالاتر یا از طبقه خشکسالی ملایم به بالاتر به عنوان شرایط خشک مطرح می‌شود بر این اساس در مقیاس زمانی ۶ ماهه در ایستگاه ارومیه با  $13/14$  درصد، ایستگاه سقز با  $10/89$  درصد، ایستگاه تبریز با  $5/58$  درصد، ایستگاه مهاباد با مقدار  $5/1$  درصد و ایستگاه مراغه با مقدار  $4/82$  درصد، موارد خشکسالی رخ داده است. در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه در ایستگاه تبریز با ۹ درصد، ایستگاه سقز با  $7/26$  درصد، ایستگاه ارومیه با  $6/11$  درصد، ایستگاه مراغه با مقدار  $5/5$  درصد و ایستگاه مهاباد با مقدار  $3/44$  درصد، از ماه‌های مورد مطالعه در سری زمانی، خشکسالی اتفاق افتاده است

شاخص فازی SEPI توسعه یافته براساس منطق فازی، در حوضه دریاچه ارومیه در این پژوهش انجام شد، این روش در اکثر مطالعات که صورت گرفته، روش مناسبی در امر پیش‌بینی عنوان شده است، از جمله (سبحانی و همکاران، ۱۳۹۴) در پایش خشکسالی در استان اردبیل با استفاده از شاخص فازی SEPI توسعه یافته براساس منطق فازی، (انصاری و همکاران، ۱۳۸۹) در پایش و خشکسالی با استفاده از شاخص بارندگی و تبخیر و تعرق استاندارد شده (SEPI)، توسعه یافته براساس منطق فازی در مشهد، (علیاری و همکاران، ۱۳۸۷)، در پیش‌بینی کوتاه مدت آلودگی هوا در شهر اراک، (فلاح قاهری و همکاران، ۱۳۸۹)، در پیش‌بینی بارش بهاره خراسان رضوی بر پایه الگوهای سینوپتیکی پیوند از دور، و هم‌چنین، (هنر و همکاران، ۱۳۸۹) در پیش‌بینی دبی سرریز جانبی، دقت قابل قبول مدل را تایید نمودند. با این حال با همه مقایسه صورت گرفته نتایج این مدل در پژوهش حاضر در پیش‌بینی SEPI کارایی رضایت‌بخشی دارد.

### نتیجه گیری

در این پژوهش به بررسی خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه بر اساس شاخص SEPI پرداخته شد. شاخص SEPI توسعه یافته شاخص SPI بر اساس منطق فازی است. از شاخص SEPI در دو مقیاس زمانی ۶ و ۱۲ ماهه استفاده شده و ویژگی خشکسالی مورد بررسی قرار گرفت. در یک جمع‌بندی مربوط به پایش و بررسی خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه مهم‌ترین نتایج به دست آمده را می‌توان به صورتی که در ادامه می‌آید فهرست کرد:

+ در ایستگاه‌های مورد مطالعه، در مقیاس زمانی ۶ ماهه شدت و تعداد تکرار خشکسالی‌ها بیش‌تر از مقیاس ۱۲ ماهه است اما در مقیاس ۱۲ ماهه تداوم خشکسالی‌ها بیش‌تر می‌باشد. خشکسالی‌ها در مقیاس زمانی کوتاه مدت تداوم کمتری دارند و شدیداً تحت تاثیر بارندگی ماهانه می‌باشند. در حالی که خشکسالی در دوره‌های زمانی بلند مدت واکنش بسیار کندتری نسبت به تغییرات بارش نشان می‌دهند.

+ روند خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه افزایشی، روند دما با شدت بیش‌تری روند افزایشی دارد.

+ بیش‌ترین درصد وقوع خشکسالی در ایستگاه ارومیه و کم‌ترین آن در مهاباد مشاهده می‌شود.

+ درصد فراوانی وقوع خشکسالی در ایستگاه ارومیه، سقز و مراغه در مقیاس ۶ ماه بیش‌تر از مقیاس ۱۲ ماهه است اما در ایستگاه‌های تبریز و مهاباد شرایط برعکس می‌باشد.

+ از نظر تداوم خشکسالی، بیش‌ترین تداوم خشکسالی در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، در ایستگاه ارومیه در مقیاس زمانی ۶ ماهه از ماه مه تا سال ۲۰۰۵ تا ماه نوامبر سال ۲۰۰۶ به مدت ۱۹ ماه اتفاق افتاده است. در ایستگاه تبریز در مقیاس ۱۲ ماه خشکسالی با تداوم ۱۰ ماه، از ماه می سال ۲۰۰۱ تا فوریه سال ۲۰۰۲ رخ داده است. ایستگاه سقز از نظر تداوم خشکسالی در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه به مدت ۸ ماهه از ماه آوریل تا ماه نوامبر سال ۱۹۸۷ تداوم داشته است. کم‌ترین تعداد خشکسالی و کم‌ترین تداوم زمانی خشکسالی در ایستگاه‌های مهاباد و مراغه مشاهده می‌شود.

با این‌که تغییرات مقادیر شاخص SPI تحت تاثیر پارامتر دما و تبخیر و تعرق (که از پارامترهای موثر در تغییر شدت دوره‌های خشک است) قرار ندارد اما شاخص SEPI تحت تاثیر این عامل می‌باشد. به این صورت که در بعضی از زمان‌ها بارندگی نسبت به نرمال افزایش داشته و بر اساس شاخص SPI شرایط ترسالی باید حاکم باشد اما شاخص SEPI، وقوع دوره خشک را نشان می‌دهد. دلیل وقوع این دوره‌ها را می‌توان به افزایش دما و تبخیر و تعرق نسبت داد در این شرایط افزایش بارندگی به‌حدی نبوده است که بتواند کمبود رطوبت ناشی از افزایش تبخیر و تعرق را جبران کند. هم‌چنین شاخص SEPI به پیروی از افزایش (کاهش) مقدار شاخص‌های SPI و SEI، افزایش (کاهش) یافته است و ویژگی دو شاخص SPI و SEI را به خوبی در خود منعکس می‌کند از این‌رو بررسی خشکسالی با شاخص SEPI بهتر از شاخص SPI می‌باشد. در پایان خاطر نشان می‌شود که شاخص SEPI از ترکیب دو پارامتر بارندگی و دما (تبخیر و تعرق) در سیستم استنتاج فازی حاصل می‌شود و در این پژوهش نتایج حاصل از آن در پایش خشکسالی رضایت بخش می‌باشد. ولی با توجه به این‌که در رخدادهای خشکسالی پارامترهای اقلیمی زیادی غیر از دو پارامتر بارندگی و دما

موثراند، بنابراین در راستای غنایی بیش‌تر ادبیات موضوع مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی برای محاسبه شاخص SEPI امکان ترکیب و مداخله عناصر اقلیمی بیش‌تری مورد بررسی قرار گیرد.

## منابع

- انصاری، حسین؛ داوری، کامران و سیدحسین ثنائی نژاد، (۱۳۸۹)، پایش خشکسالی با استفاده از شاخص بارندگی و تبخیر و تعرق استاندارد شده SEPI، توسعه یافته بر اساس منطق فازی، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۴، شماره ۱، صص ۳۸-۵۲.
- افروز، بهرام، غفاری، عطا و رضا حیدری، (۱۳۹۰)، آرایه الگوی مناسب در سطح‌بندی عملکرد مدیریت شهری در بسترسازی برای توسعه کارآفرینی (مطالعه موردی: شهر اردبیل)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه محقق اردبیلی.
- جوی‌زاده، سعید، حجازی‌زاده، زهرا، (۱۳۸۹)، مقدمه‌ای بر خشکسالی و شاخص‌های آن، چاپ اول، تهران، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه (سمت)، ص ۳۷۶.
- جعفرنژاد، علی، کیا، سید مصطفی، (۱۳۸۹)، منطق فازی در MATLAB، انتشارات کیان رایانه سبز، صص ۱۸۰-۱۵۷.
- جان‌درمیان، یونس؛ شکیبا، علیرضا و حمیدرضا ناصری، (۱۳۹۵)، بررسی وضعیت خشکسالی و ارتباط آن با تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی در دشت سراب، کنفرانس بین‌المللی توسعه با محوریت کشاورزی، محیط زیست و گردشگری، ایران، تبریز، صص ۱۶-۱۷.
- حدادی، حسین؛ حیدری، حسن؛ (۱۳۹۴)، آشکارسازی اثر نوسانات بارش بر روان آب سطحی حوضه آبریز دریاچه ارومیه، مجله علمی پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، شماره ۵۸، صص ۲۴۷-۲۶۲.
- خلیقی سیگارودی، شهرام، صادق سنگدهی، سیدعلی، خالد اوسطی، و یوسف قویدل رحیمی، (۱۳۸۸)، بررسی نمایه‌های ارزیابی پدیده‌های ترسالی و خشکسالی: (SPI, PNPI, Nitzche)، (مطالعه موردی: استان مازندران)، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۶، شماره ۱، صص ۴۴-۵۴.
- خشتکاری‌ثانی، صیاد، (۱۳۹۵)، واکاوی خشکسالی‌های استان آذربایجان غربی با شاخص SPI و GIS، کنفرانس بین‌المللی با محوریت کشاورزی، محیط زیست و گردشگری، ایران، تبریز، صص ۱۶-۱۷.
- رهنمایی، محمدتقی، (۱۳۷۰)، توان‌های محیطی ایران، انتشارات مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری وزارت مسکن و شهرسازی، تهران.
- سبحانی، بهروز؛ غفاری‌گیلانده، عطا و اکبرگلدوست، (۱۳۹۴)، پایش خشکسالی در استان اردبیل با استفاده از شاخص SEPI توسعه یافته بر اساس منطق فازی، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیای، سال ۱۵، شماره ۳۶، صص ۵۱-۷۲.
- صفری، علی، جاهد، سلیمان، حسین، فلاحی و شهرام، ریاحی‌مدوار، (۱۳۸۲)، استفاده از سیستم جدید هوشمند استنتاج فازی-عصبی تطابقی (ANFIS) برای پیش‌بینی قدرت سرطان‌زایی ویروس پاپیلوما‌های انسانی، مجله علمی پژوهش دانشگاه علوم پزشکی اراک، شماره ۴، صص ۹۵-۱۰۵.
- علیاری، مهدی، تشنه‌لب، محمد و علی خاکی صدق، (۱۳۸۷)، پیش‌بینی کوتاه مدت آلودگی هوا با کمک با روش‌های ترکیبی شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه، خط حافظه‌دار تأخیر، گاما و ANFIS با روش‌های ترکیبی آموزشی مبتنی بر PSO، مجله کنترل، شماره ۱، صص ۱-۱۹.
- علیزاده، امین، آشگرطوسی، شادی، (۱۳۸۷)، توسعه یک مدل برای پایش و پیش‌بینی خشکسالی (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)، مجله علوم، صنایع کشاورزی، ویژه آب و خاک، جلد ۲۲، صص ۲۳۵-۲۲۳.
- علیزاده، امین، (۱۳۸۹)، اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه امام رضا(ع)، چاپ ۳۰، ص ۴۰۵.



فلاح قاهری، غلام عباس؛ موسوی بایگی، محمد و مجید مهدی نوخندان، (۱۳۸۷)، پیش‌بینی بارش فصلی بر اساس الگوهای سینوپیتیک با استفاده از سیستم استنباط فازی-عصبی تطبیقی ANFIS، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۶، صص ۱۳۹-۱۲۱.

مالچسکی. یاردان، (۱۳۸۵)، سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چند معیاری، ترجمه اکبر پرهیزگار، عطا غفاری گیلانده، تهران، انتشارات سمت.

منتصری، مجید؛ امیرعطایی، بابک، (۱۳۹۴)، پیش‌بینی استوکستیک احتمالات وقوع خشکسالی (مطالعه موردی: شمال غرب کشور)، نشریه مهندس عمران و محیط زیست، جلد ۴۵، شماره ۱.

هنر، تورج، طرازکار، محمدحسین، و محمدرضا طرازکار، (۱۳۸۹)، برآورد ضریب دبی سریزهای جانبی با استفاده از سیستم استنتاج فازی-عصبی، مجله پژوهشی‌های حفاظت آب و خاک، شماره ۲، صص ۱۷۷-۱۶۹.

Arms, K., (1990), Nvironmental Sciences. Staunders Collage Pub Florida.

Huanga, S., Hunger, 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

Jain, v., Pandey, R., Jain, M., Byun, H-R., (2015), Comparison of drought indices for appraisal of drought characteristics in the Ken River Basin. *Weather and Climate Extremes*, 8: 1-11.

Keta T.B., Doesken N.J., (1993), The relationship of drought frequency and duration to time scales. Eight<sup>th</sup> Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA, American Meteorological Society, 179- 18u PP.

Mo, K.C., (2008), Model-based drought indices over the United States, *J. Hydrometeorol*, 9, 1212-1230. <http://dx.doi.org/10.1175/2008JHM1002.1>.

Niranjana, Kumar, k. N., Rajeevan, M., Pai, D. S., Sivastava, A.K., Preethi, B., (2013), On the observed variability of monsoon droughts over india weather and climate extremes, 1: 42-50.

Palmer, W.C., (1965), Meteorological drought, *Research Iranian Journal of Irrigation and Drainage* No. 4, Vol. 8, Winter. 2015, p. 845-856.

Peters, E., G. Bier, H.A., Lanen, and P. Torfs, (2006), Propagation and spatial distribution of drought in a groundwater catchment, *Journal of Hydrology*, 321, pp 257-275.

Stairs, G., Vangelis, H., (2004), Towards a Drought Watch System based on Spatial SPI. *Journal of Water Resources Management* 18, 1-12.

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.

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.

Wilhite, D.A., (2000), *Drought: A Global Assessment*, Routledge Press, London and New York, Vol. 1.

Wang, L., Chen, W., (2014), A CMIP5 multimodel projection of future temperature, precipitation, and climatological drought in China. *Int. J. Climatol.* 34, 2059-2078. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.3822>.

Zhao, M., Running, S.W., (2010), Drought-induced reduction in global terrestrial net primary production from 2000 through 2009. *Science* 329, 940-943



## Drought monitoring in Urmia Lake by fuzzy index

Batol zeynali\*<sup>1</sup>, Vahid Safarian Zengir<sup>2</sup>

1- Associate Professor of Climatology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardebil, Iran

Email: zeynali.b@uma.ac.ir

2- Graduate student of Meteorological Applications, University of Mohaghegh Ardabili, Ardebil, Iran

**Received:** 2016-07-31

**Accepted:** 2017-03-05

---

### Abstract

Drought is a climate phenomenon with a lack of moisture and rainfall compared to normal conditions. This phenomenon strongly affects all aspects of human activity. In this Article, we discussed the drought situation in Urmia Lake using MATLAB software and system capabilities combined indicators SEPI on two-time scales 6 and 12 months. Therefore we used climate data of temperature and precipitation for 5 synoptic stations basin of Lake Urmia (Tabriz, Maragheh, Urmia, Saghez, and Mahabad). Results indicated that SEPI index show features of SPI and SEPI index. As well as it enters temperatures as a powerful factor in the drought severity in order to the investigation of the drought conditions; So SEPI drought index is better than the SPI for the study of drought. Drought studies on SEPI index indicated that drought trend in Urmia Lake Basin is increasing. The temperature has an increasing trend with more intensity. The longest duration of drought in the basin of Lake Urmia is in Urmia station on a scale of 6 months from May 2005 to November 2006 for 19 months. The highest percentage of drought observed in Urmia and the lowest percentage in Mahabad stations.

**Keywords:** Drought monitoring, Indices SEPI and SPI, Fuzzy logic, Lake Urmia.