نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال پانزدهم، شماره ۳۶، بهار ۹۴

پایش خشکسالی در استان اردبیل با استفاده از شاخص فازی SEPI توسعه یافته بر اساس منطق فازی

دریافت مقاله:۹۲/۱/۲۱ پذیرش نهایی: ۹۳/۵/۳
صفحات:۷۲-۵۱

بهروز سبحانی: استادیار اقلیم شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی[۱]
Email: Sobhani@uma.ac.ir
عطا غفّاری گیلانده: استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی
Email: a_gafarigilandeh@uma.ac.ir
اکبر گل دوست: دانشجوی دکتری رشته اقلیم شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی
Email: Goldoostakbar@uma.ac.ir

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 بشری تأثیر می‌گذارد. در حالی که مطالعات انجام شده در رابطه با این پدیده بر اساس روش‌های مناسب بسیار کم می‌باشد. در مقاله حاضر سعی شده است با استفاده از قابلیت‌های سامانه نرم‌افزاری MATLAB و شاخص تلفیقی SEPI در دو مقیاس زمانی ۶ و ۱۲ ماهه، به بررسی وضعیت خشکسالی در استان اردبیل پرداخته شود. برای این کار از داده‌های اقلیمی ایستگاه‌های سینوپتیک شهرستان اردبیل، پارس‌آباد و خلخال در استان اردبیل استفاده شد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد 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 مؤثر 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 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 می‌شود.

کلید واژگان: پایش خشکسالی، شاخص SEPI، SPI، منطق فازی، استان اردبیل.

---

۱ . **نویسنده مسئول:** اردبیل- خیابان دانشگاه- دانشگاه محقق اردبیلی- گروه جغرافیایی طبیعی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.36.4.0]

مقدمه

خشکسالی یک پدیده اقلیمی خزنده است که وقوع آن در تمام اقلیم‌ها اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. به دلیل وابستگی بشر و اکوسیستم به موجودیت آب و کمبود منابع آبی در اقالیم خشک و نیمه‌خشک وقوع خشکسالی حتی با شدت کم می‌تواند محدودیت منابع آبی را تشدید کرده و اثرات زیانبار بیشماری را به بار آورد. قسمت اعظم ایران در قلمرو آب‌وهوایی خشک و نیمه‌خشک جهان قرار گرفته است. قلت و نوسانات شدید بارندگی در مقیاس‌های زمانی مختلف از جمله خصوصیاتی است که در این مناطق موجب عدم اطمینان کافی نسبت به دریافت حداقل بارش مورد نیاز می‌شود. با توجه به وجود نوسانات منفی شدید بارندگی، وقوع خشکسالی‌های ضعیف تا شدید درکشور به کرات مشاهده شده است. استان اردبیل در قسمت شمال غرب ایران یکی از مناطقی است که از این پدیده متاثر شده و نیاز به بررسی دقیق و گسترده‌ای دارد.

خشکسالی در مناطق مختلف جهان و ایران به عنوان یکی از مهم‌ترین مسائل محیطی از ابعاد مختلف مورد توجه محقّقان قرار گرفته است. از جمله‌ی مطالعات خارجی انجام شده در این رابطه می‌توان به بررسی روند خشکسالی در منطقه آلنتوجو[1] در جنوب پرتقال بر اساس شاخص شاخص SPI و مدل زنجیره مارکف توسط پایلو و همکاران[2] (۲۰۰۵)، پیش‌بینی خشکسالی در حوضه رودخانه کانس‌آباتی در قسمت انتهایی غرب ایالات بنگال در هند شرقی توسط میشرا و دسای[3] (۲۰۰۶)، بررسی اثرات توزیع فضایی و بسامد خشکسالی در منابع آب زیرزمینی در انگلستان توسط پترز و همکاران[4] (۲۰۰۶)، اشاره نمود. همچنین مریرا و همکاران[5] (۲۰۰۶)، به بررسی روند خشکسالی در منطقه آلنتوجو در جنوب پرتقال بر اساس شاخص SPI پرداختند. نتایج نشان داد خشکسالی در این منطقه از یک روند افزایشی برخوردار بوده و با توجه به روند تغییرات آب‌وهوایی در آینده وضعیت در منطقه از لحاظ خشکسالی حادتر خواهد شد. کالانکا[6] (۲۰۰۷)، با استفاده از سناریو تغییر اقلیم SRES A2 به بررسی تغییرات آب‌وهوا و رخدادهای خشکسالی برای سال‌های ۲۰۷۱ تا ۲۱۰۰ در منطقه آلپ پرداخت. نتایج نشان داد خشکسالی در سال‌های مورد مطالعه تا ۵۰ درصد افرایش خواهد یافت. در ایران هم مطالعاتی در رابطه با

1- Alentejo
2- Paulo & et all
3- Mishra & Desai
4- Peters & et all
5- Moreira & et all
6- Calanca

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.36.4.0]

خشکسالی صورت گرفته است که از جمله آنها می‌توان به بررسی ویژگی خشکسالی در منطقه قم با استفاده از توزیع گاما توسط نوحی و عسگری (۱۳۸۴)، بررسی اقلیم و نوسانات اقلیمی به ویژه خشکسالی و ترسالی در منطقه بیرجند توسط بنی‌واهب و علیجانی (۱۳۸۴)، اشاره نمود. علاوه بر این پیرمرادیان و همکاران (۱۳۸۷)، با استفاده از پارامتر بارندگی و شاخص SPI و سیستم اطلاعات جغرافیایی به پایش و تحلیل خشکسالی در سال زراعی ۸۰-۱۳۷۹ در استان فارس پرداختند. سلاجقه و همکاران (۱۳۸۷)، به پیش‌بینی خشکسالی با روش سری‌های زمانی و شبکه عصبی مصنوعی در خراسان رضوی پرداختند. علیزاده و آشگری طوسی (۱۳۸۷)، پایش و پیش‌بینی خشکسالی در خراسان رضوی با استفاده از شاخص PN، SPI و زنجیره مارکف انجام داده و به این نتیجه رسیدند که تقریباً در تمام ایستگاه‌ها وضعیت ترسالی ملایم بیشترین درصد وقوع را داشته است و نتایج حاصل از پیش‌بینی سالانه برای سال ۲۰۰۸ نشان دهنده احتمال وقوع وضعیت نرمال آب و هوایی در اکثر ایستگاه‌های استان بیشتر می‌باشد.

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 به عنوان یک ابزار مدیریتی و برنامه‌ریزی می‌باشد، پژوهشگران را بر آن داشته تا شاخص‌هایی جهت پایش خشکسالی ارائه دهند و بر اساس این شاخص‌ها به بررسی این پدیده اقلیمی بپردازند. یکی از شاخص‌های جدید در بحث بررسی شرایط خشکسالی، شاخص SEPI[1] می‌باشد. این شاخص برای رفع قسمتی از معایب شاخص SPI ارائه شده است (انصاری و همکاران، ۱۳۸۹، ۳۹). با توجه به مباحث فوق‌الذکر در مقاله حاضر سعی شده است با انتخاب استان اردبیل به عنوان مطالعه موردی، با استفاده عملیاتی از قابلیت‌های سیستم استنتاج فازی، شاخص تلفیقی SEPI در یک زمینه تجربی مورد آزمون قرار گرفته و در برآیند آزمون به پرسش‌های زیر پاسخ داده شود:

- ✓ ویژگی خشکسالی در مناطق مختلف استان اردبیل از نظر روند، شدت، تداوم و فراوانی وقوع به چه صورت می‌باشد؟
- ✓ نحوه‌ی تاثیر بارش و دما در خشکسالی استان اردبیل چگونه می‌باشد؟
- ✓ چگونه می‌توان در قالب سیستم استنتاج فازی، الگوی قاعده‌مندی در پایش سطح شاخص تلفیقی SEPI، طراحی کرد؟

[1] - Stsndardized Evaporansprecipitation Index

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.36.4.0]

روش‌شناسی تحقیق

- **داده‌ها و ابزار**: داده‌های مورد استفاده مشتمل بر داده‌های میانگین بارندگی و میانگین دما به صورت ماهانه در ایستگاه‌های سینوپتیک پارس‌آباد، اردبیل و خلخال در استان اردبیل می‌باشد (جدول ۱). پس از اخذ داده‌ها از سازمان هواشناسی استان اردبیل، برای بررسی همگنی داده‌ها، از روش آزمون ران[1] استفاده شد و تصادفی بودن و همگنی داده‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد و به عبارتی با خطای ۰/۰۵ مورد تائید قرار گرفت.

جدول (۱) موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	عرض جغرافیایی (N)	طول جغرافیایی (E)	ارتفاع از سطح دریا (M)	طول دوره آماری
پارس‌آباد	۳۹.۳۹	۴۷.۵۵	۳۱.۹	۱۹۸۸ - ۲۰۱۰
اردبیل	۳۸.۱۵	۴۸.۱۷	۱۳۳۲	۱۹۸۸ - ۲۰۱۰
خلخال	۳۷.۳۸	۴۸.۳۱	۱۷۹۶	۱۹۸۸ - ۲۰۱۰

نرم‌افزارهایی که در تحقیق حاضر به تناسب نیاز مورد استفاده قرار گرفتند، عبارتند از: ۱) نرم‌افزار MATLAB نسخه ۲۰۰۹، برای ورود قواعد اگر-آنگاه، تشکیل پایگاه منطق‌فازی و ترکیب شاخص‌ها و تهیه خروجی مورد نظر، ۲) نرم‌افزار Excel 2007، برای محاسبه شاخص‌ها و محاسبات مورد نیاز دیگر، ۳) نرم افزار SPSS نسخه ۱۹، در آزمون همگنی و صحت داده‌ها.

- **شاخص SPI**[2]: شاخص استاندارد شده بارندگی یکی از شاخص‌های پرکاربرد در پایش خشکسالی می‌باشد. این شاخص یکی از معدود 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 می توان از ۱ ماه تا چند سال تعیین نمود. 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. پس از آنکه مقادیر بارندگی ماهانه‌ی هر ایستگاه برای مقیاس زمانی مورد نظر محاسبه شد، مقادیر بارندگی‌های تجمعی در هر ماه به توزیع گاما برازش داده می‌شود. در نهایت این توزیع به یک توزیع نرمال تبدیل می‌شود. پس از محاسبه احتمال تجمعی گاما در هر مقیاس زمانی و برای هر ماه از سال، این احتمال به یک متغییر تصادفی نرمال استاندارد Z با میانگین صفر و واریانس ۱ تبدیل

[1]- Run test
[2]- Standardized Precipitation Index

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.36.4.0]

می‌شود که این متغییر تصادفی در حقیقت همان مقدار SPI مورد نظر است. بدین ترتیب SPI های محاسبه شده برای هر ماه از طول دوره آماری، نمره Z می‌باشد و آن نرمالیزه شده است[۱] (علیزاده و همکار، ۱۳۸۷، ۵).

بر اساس شاخص SPI خشکسالی برای مقیاس ماهانه به این صورت تعریف می‌شود: دوره‌ای که SPI دائماً منفی باشد و به مقدار ۱- و کمتر برسد و زمانی پایان می‌پذیرد که SPI مثبت شود. علت اینکه مقدار شاخص در بازه ۰ تا ۰/۹۹ (خشکسالی ملایم) در شروع خشکسالی محاسبه نمی‌شود، می‌توان ورود رطوبت از دوره ترسالی گذشته باشد. ولی در پایان خشکسالی این مقدار نشانگر خشکسالی خفیف است چون ذخیره رطوبت به پایان رسیده و این مقدار کمبود رطوبت را بعد از دوره خشکسالی نشان می‌دهد (آسیایی، ۱۳۸۵، ۵۴). شدت خشکسالی در شاخص SPI، بر اساس جدول شماره ۲ بررسی می‌شود:

جدول(۲) طبقه‌بندی شدت خشکسالی در شاخص SPI

مقادیرشاخص SPI	طبقات خشکسالی
≥ ۲	ترسالی خیلی شدید
۱/۹۹ تا ۱/۵	ترسالی شدید
۱/۴۹ تا ۰/۹۹	ترسالی متوسط
۰/۹۹ تا ۰/۵	ترسالی ملایم
۰/۴۹ تا ۰/۴۹-	نرمال
۰/۵- تا ۰/۹۹-	خشکسالی ملایم
۱/۰۰- تا ۱/۴۹-	خشکسالی متوسط
۱/۵۰- تا ۱/۹۹-	خشکسالی شدید
≤۲-	خشکسالی خیلی شدید

ماخذ: سیگارووردی و همکاران، ۱۳۸۸، ۴۷.

- **شاخص SEI[۲]**: از آنجائی که در محاسبه شاخص SPI تنها ورودی، بارندگی است، لذا تغییرات مقادیر شاخص SPI تحت تأثیر پارامتر دما و تبخیر و تعرق که از پارامترهای مؤثر در تغییر شدت خشکسالی می‌باشد، نخواهد بود. بنابراین برای وارد کردن تاثیرات دما و تبخیر و تعرق در شاخص SPI شاخص SEI (شاخص تبخیر و تعرق استاندارد) به عنوان یک شاخص فرضی ارائه شده است. برای محاسبه این شاخص، قبل از هر اقدامی باید تبخیر و تعرق گیاه مرجع را برای دوره آماری مورد نظر برآورد کرد. در این پژوهش برای برآورد تبخیر و تعرق از

[۱]- برای آشنایی بیشتر با شاخص SPI و روش دقیق محاسبه آن می‌توان به منبع شماره ۱، از صفحه ۴۹ تا ۵۶ مراجعه نمود.

[2]- Standardized Evapotranspiration

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.36.4.0]

روش تورنت‌وایت استفاده شده است. در روش تورنت‌وات تبخیر و تعرق پتانسیل برای هر یک از ماه‌های سال محاسبه می‌شود. اساس این روش دمای ماهانه است (علیزاده، ۱۳۸۹، ۲۴۷). محاسبه شاخص SEI بر روی تبخیر و تعرق به دست آمده صورت می‌گیرد. مقیاس زمانی این شاخص همانند شاخص SPI، ۶ و ۱۲ ماهه تعیین می‌شود. روش محاسبه شاخص SEI دقیقاً مثل شاخص SPI می‌باشد. با توجه به خصوصیات آماری شاخص SEI که یک شاخص نرمال استاندارد بوده و این خصوصیات آماری مشابه خصوصیات شاخص SPI می‌باشد. لذا طبقه‌بندی شدت خشکسالی بر اساس شاخص SEI جهت تلفیق با شاخص SPI به صورت جدول ۳ ارائه شده است (انصاری و همکاران، ۱۳۸۹، ۴۰).

جدول (۳) طبقه بندی شدت خشکسالی و ترسالی در شاخص SEI

مقادیرشاخصSEI	طبقات خشکسالی
۲ ≤	خشکسالی خیلی شدید
۱/۹۹ تا ۱/۵	خشکسالی شدید
۱/۴۹ تا ۰/۹۹	خشکسالی متوسط
۰/۹۹ تا ۰/۵	خشکسالی ملایم
۰/۴۹ تا ۰/۴۹-	نرمال
۰/۵- تا ۰/۹۹-	ترسالی ملایم
۱/۰۰- تا ۱/۴۹-	ترسالی متوسط
۱/۵۰- تا ۱/۹۹-	ترسالی شدید
≤ ۲/۰۰-	ترسالی خیلی شدید

ماخذ: انصاری و همکاران، ۱۳۸۹، ۴۰.

- **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 SPI و SEI حاصل می‌شود. این شاخص نتیجه معماری مدل فازی پایش خشکسالی است که با استفاده از منطق فازی[1] در یک سیستم استنتاج فازی طراحی می‌شود. نحوه طراحی این مدل و تعیین شاخص SEPI در ادامه شرح داده شده است.

مدل فازی پایش خشکسالی

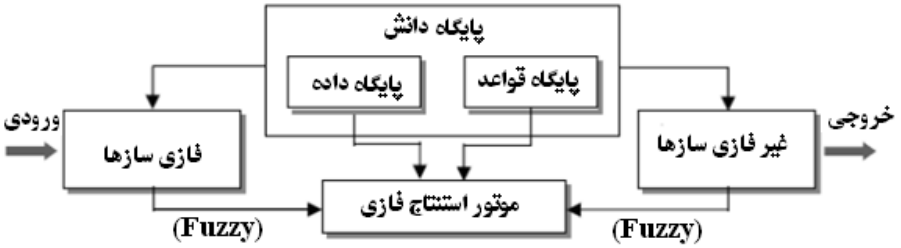
برای ترکیب شاخص‌های SPI و SEI با استفاده از سیستم استنتاج فازی، با توجه به ساختار

[1]- Fuzzy Logic

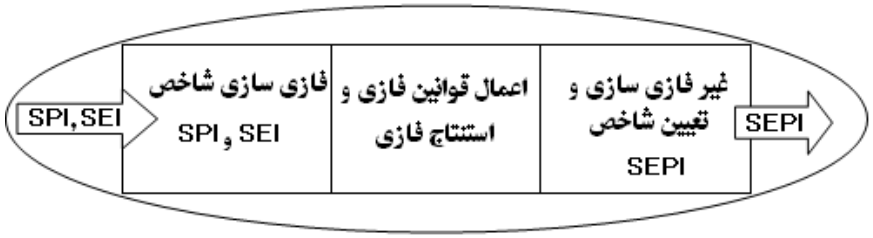
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.36.4.0]

مدل‌های فازی (شکل ۱)، ساختار مدل فازی پایش خشکسالی به صورت شکل ۲ در نظر گرفته شد.



شکل (۱) سیستم استنتاج فازی (سلاجقه و فتح آبادی، ۱۳۸۸، ۲۷۲)



شکل (۲) مدل فازی پایش خشکسالی در تحقیق حاضر (ماخذ: نگارندگان)

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

- **تعریف عملیاتی 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 مختلف شدت پدیده خشکسالی). درچنین حالت‌هایی گذر از یک صورت وضعیت به صورت وضعیت دیگر به صورت تدریجی انجام می‌گیرد. در چنین حالت‌هایی تعلق به یک مجموعه در واقعیت امر به صورت درجه‌ای از تعلق آن‌ها بیان می‌شود که از آن با عنوان درجه عضویت یاد می‌شود. در مجموعه-های 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

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.36.4.0]

x در A می‌باشد. ارزش عضویت یا درجه تعلق به یک مجموعه یا زیر مجموعه فازی را می‌توان با شماره‌ای که دامنه آن بین ۱ و ۰ قرار دارد تعیین کرد. اگر $\mu_A(x) = 1$ باشد درآن صورت یک عنصر x مشخصاً به A تعلق دارد. به‌همین ترتیب اگر $\mu_A(x) = 0$ باشد در آن صورت عنصر x مشخصاً به A تعلق ندارد. درجه بالای ارزش عضویت یک عنصر به معنای نسبت بالای تعلق آن به مجموعه می‌باشد (مالچسفکی، ۱۳۸۵، ۲۳۶).

- **تعریف عملیاتی 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. در همین راستا، اگر تغییرات شرایط خشکسالی را به عنوان متغیر زبانی تلقی کنیم، شرایط ترسالی خیلی شدید، ترسالی شدید، ترسالی متوسط، ترسالی ملایم، شرایط نرمال، خشکسالی ملایم و ... معرف آن دسته از 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 نه‌گانه نام برد (شکل۳). در مرحله بعد اعداد فازی که حامل بار عددی ارزش‌های زبانی هستند تعیین می‌شود.

- **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. علاوه بر بحث درجه عضویت، طول دامنه‌ای که بر روی آن موقعیت اعداد فازی تعریف می‌شود، معمولاً به شکل استاندارد شده و در قالب بازه بسته ۰ تا ۱ و یا ۰ تا ۱۰۰، در نظر می‌گیرند (مالچسفکی، ۱۳۸۵، ۲۳۳). دامنه مقادیر طبقات در شاخص‌های SPI و SEI در حد فاصل ۲- و ۲+ قرار دارد و این شاخص‌ها از نظر دامنه تغییرات در مقدار طبقات برعکس هم می‌باشند. به این صورت که در شاخص SPI با تغییرات دامنه اعداد از منفی به مثبت، شرایط از خشکسالی به ترسالی و در شاخص SEI از ترسالی به خشکسالی تغییر می‌کند. برای تلفیق این شاخص‌ها باید دامنه تغییرات در شاخص‌ها یکسان شود و اعداد به صورت استاندارد در آید. بنابراین مقادیر طبقات و شاخص‌ها به معادل۰ تا ۱ تبدیل می‌شوند. در

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.36.4.0]

این صورت تغییرات مقدار شاخص‌ها از ۰ به طرف ۱، تغییرات شرایط از ترسالی به خشکسالی را نشان خواهد دارد. همان طوری که بیان شد نحوه تغییرات مقدار اعداد شاخص‌های SPI و SEIبرعکس هم می‌باشد. بنابراین برای اینکه مقدار هر دو شاخص در یک شرایط بین ۰ تا ۱ باشد، از فرمول متفاوتی برای هر یک استفاده می‌شود. پس برای استانداردسازی شاخص SPI از رابطه ۱ و شاخص SEI از رابطه ۲ استفاده می‌شود (مالچسفکی، ۱۳۸۵، ۲۱۳). به این صورت دامنه تغییرات هر دو شاخص یکسان خواهد شد.

رابطه ۱: $x_{ij} = \frac{x_j max - x_j}{x_j max - x_j min}$ رابطه۲: $x_{ij} = \frac{x_j - x_j min}{x_j max - x_j min}$

در این رابطه‌ها x_{ij} معرف مقدار استاندارد شده، x_j نشانگر مقدار شاخص مورد نظر و $x_j max$ و $x_j min$ معرف بیشترین مقدار و کمترین مقدار در سری اعداد هستند.

یکی از راه‌هایی که می‌توان واژه‌های زبانی را در یک اسلوب منظم، به اعداد فازی متناظر با آن‌ها تبدیل کرد استفاده از جدول تبدیل ارائه شده توسط هوانگ است (صفری و همکاران، ۱۳۸۲، ۱۵۶). با توجه به آن که در تحقیق حاضر شاخص‌های خشکسالی SPI و SEI که 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 ۴).

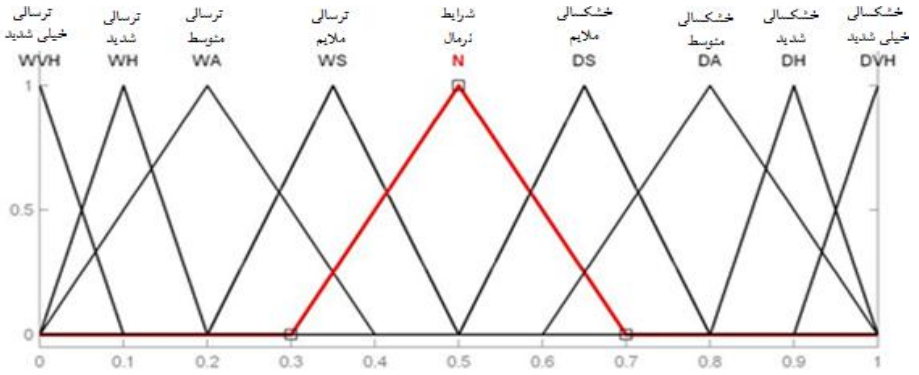
جدول (۴) مقادیر فازی طبقات خشکسالی بر اساس جدول هوانگ

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، ۰/۵
نرمال	۰/۳، ۰/۵، ۰/۷
خشکسالی ملایم	۰/۵، ۰/۶۵، ۰/۸
خشکسالی متوسط	۰/۶، ۰/۸، ۱
خشکسالی شدید	۰/۸، ۰/۹، ۱
خشکسالی خیلی شدید	۰/۹، ۱، ۱

توابع فازی طبقات شدت خشکسالی در منطق فازی با توجه به مقادیر فازی آنها به صورت شکل شماره ۳ می‌باشد. در ادامه اعداد فازی حاصله به اعداد غیر فازی تبدیل می‌شود. از اعداد غیر فازی در نوشتن قواعد استفاده می‌شود.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.36.4.0]



شکل (۳) نمایش اعداد فازی مورد استفاده در عطف به متغیرهای زبانی نه‌گانه (ماخذ: نگارندگان)

- **غیرفازی 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 و ... وجود دارد که در این پژوهش، جهت غیر فازی کردن اعداد فازی از روش امتیاز دهی به چپ و راست استفاده شده و نتایج حاصل در جدول ۵ منعکس شده است. امتیاز سمت چپ و راست عدد فازی را می‌توان به ترتیب از روی رابطه ۳ و ۴ محاسبه کرد (جعفرنژاد و همکاران، ۱۳۸۹).

رابطه ۳: $\mu_{\mathrm{L}}(A) = 1 - \frac{m}{1+\alpha}$ رابطه ۴: $\mu_{\mathrm{R}}(A) = \frac{m+\beta}{1+\beta}$

در روابط فوق m معرف مقدار میانه، α و β به ترتیب نشانه پهنای چپ و پهنای راست عدد A هستند. با به دست آوردن این امتیازها، می‌توان امتیاز کل را از رابطه ۵ به دست آورد که به عنوان یک مقدار دقیق و معین در محاسبات بعدی از آن استفاده می‌شود.

رابطه ۵: $\mu_{\mathrm{r}}(A) = \frac{\mu_R(A)+1-\mu_{\mathrm{L}}(A)}{2}$

جدول (۵) تبدیل اعداد فازی به غیر فازی ماخذ: نگارندگان

متغیرزبانی	مقدارفازی	امتیازسمت‌چپ	امتیاز سمت‌راست	امتیازکل(غیرفازی)
WVH	۰ ،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

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.36.4.0]

– **تعیین قواعد جهت تلفیق شاخص‌های** SPI **و** SEI: طبقات مختلف شاخص SPI و SEI 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. در همین راستا، به تناسب صور مختلف ترکیبی می‌توان قواعد متوالی را نوشته و در پایگاه دانش ذخیره کرد. با توجه به اینکه در خروجی حاصل از برایند ترکیب، شاخص‌های SPI و SEI در تعیین وضعیت SEPI دخالت داده شود، وزن هر کدام از شاخص‌ها با توجه به تأثیر پارامتر بارندگی و دما بر شدت خشکسالی مدنظر قرار گرفت. از آنجائی که هیچ داده واقعی مبنی بر درجه تاثیر هر یک از دو پارامتر بر شدت خشکسالی وجود نداشت بر همین اساس در تحقیق حاضر تصمیم گرفته شد با مراجع آراء و نظرات افراد صاحب نظر در حوزه مرتبط با تحقیق حاضر به جمع‌بندی در خصوص میزان تاثیر پارامترهای بارندگی و دما در شدت خشکسالی پرداخته شود. با این مراجعات تصمیم گرفته شد اهمیت بارندگی دو برابر دما یا تبخیر در نظر گرفته شود در نتیجه شاخص‌های SPI و SEI به ترتیب با وزن‌های ۰/۶۶۷ و ۰/۳۳۳ در محاسبات دخالت داده شدند.

برای نوشتن قاعده در محیط MATLAB از جداولی همچون جدول شماره ۶ به عنوان الگوی راهنما و رابطه ۶ در عطف به داده‌های این جدول استفاده شد. جدول مذکور حامل عناصری است که به کمک آن می‌توان قاعده‌ای را که منعکس کننده شرایط خشکسالی است، تعریف کرد.

جدول (۶) جدول راهنما در نوشتن قاعده

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

رابطه۶:

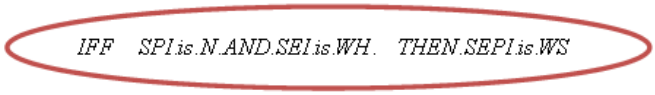
$$\mathbf{c_i} = \frac{\sum_{i=1}^{n} s_i w_i}{\sum_{i=1}^{n} v_i w_i}$$

در این رابطه $\mathbf{c_i}$ معرف مقدار تابع فازی SEPI در حالت $\mathbf{i}$ از ترکیب شاخص SPI و SEI است، S_i، نمره غیر فازی وضع موجود شاخص‌های SPI و SEI در حالت $\mathbf{i}$ را نشان می‌دهد، w_i نشانگر وزن شاخص‌ها در حالت $\mathbf{i}$، $s_i w_i$ معرف نمره وزنی حالت $\mathbf{i}$ در وضع موجود، $\boldsymbol{v_i}$ معرف معرف نمره غیرفازی حالت $\mathbf{i}$ در وضعیت DVH، و $\boldsymbol{v_i} w_i$، معرف نمره وزنی حالت $\mathbf{i}$ در وضعیت DVH است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.36.4.0]

به عنوان مثال از محتوای نمونه ارائه شده در جدول ۶ قاعده معین از سری قوائد تعیین شده در جهت تعیین وضعیت شاخص SEPI استخراج شده است. این قاعده بیان می‌کند که اگر SPI در طبقه نرمال و SEI در طبقه خشکسالی شدید باشد، SEPI در طبقه خشکسالی متوسط قرار می‌گیرد:



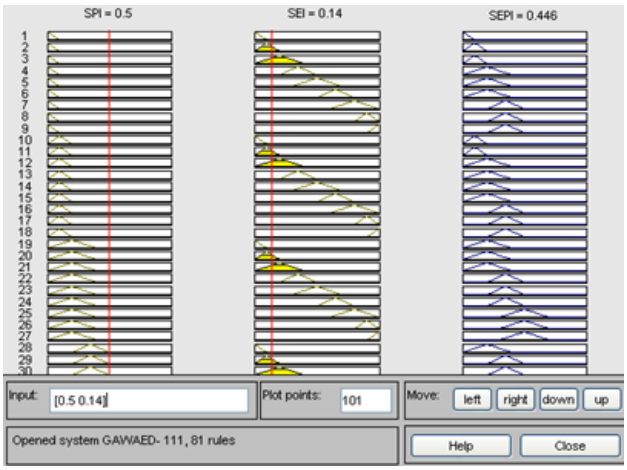
با توجه به آنکه قواعد بر مبنای دو شاخص SPI و SEI، که هر یک در ۹ حالت مطرح است، شکل می‌گیرد، بنابراین تعداد قواعدی که منعکس کننده نتایج حاصل از ترکیب‌های ممکن از صورت وضعیت‌های مختلف دو شاخص است، بالغ بر ۸۱ قاعده تعیین شد. نمونه‌هایی از قواعد تعیین شده به شرح جدول ۷ می باشد:

جدول (۷) نمونه قواعد

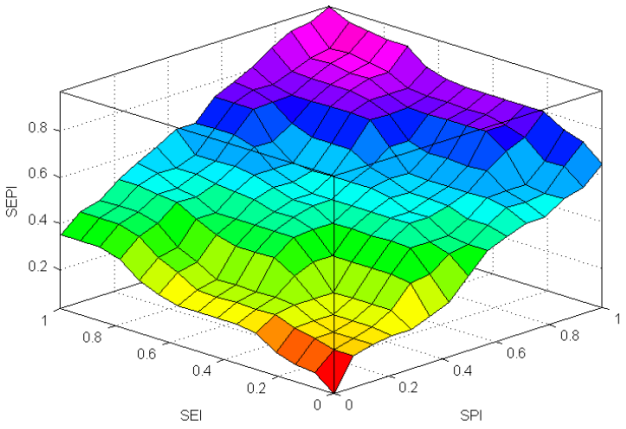
IFF	SPI.is.WS.AND.SEI.is.DS.	THEN.SEPI.is.N
IFF	SPI.is.N.AND.SEI.is.DH.	THEN.SEPI.is.DS
IFF	SPI.is.WS.AND.SEI.is.DVH.	THEN.SEPI.is.DS
IFF	SPI.is.DS.AND.SEI.is.DVH.	THEN.SEPI.is.DA
IFF	SPI.is.N.AND.SEI.is.WH.	THEN.SEPI.is.WS
IFF	SPI.is.DA.AND.SEI.is.DA.	THEN.SEPI.is.DA
IFF	SPI.is.DVH.AND.SEI.is.DA.	THEN.SEPI.is.DH
IFF	SPI.is.WH.AND.SEI.is.WS.	THEN.SEPI.is.WA
IFF	SPI.is.DS.AND.SEI.is.DH.	THEN.SEPI.is.DA

- **وارد کردن قواعد فازی در محیط MATLAB**: بعد از تدوین قواعد مورد نظر برای واردکردن این قواعد در محیط MATLAB در قالب پایگاه دانش فازی، از جعبه ابزار Fuzzy logic استفاده می‌کنیم. پس از وارد نمودن قواعد، در نهایت در محیط مربوط به نمایشگر قاعده (Rule Viewer) می‌توان با وارد کردن مقدار شاخص‌های SPI و SEI، مقدار شاخص SEPI را به دست آورد. به عنوان مثال در شکل ۴ در قسمت INPUT با وارد کردن مقدار شاخص‌های SPI و SEI که به ترتیب ۰/۵ و ۰/۱۴ می‌باشد، شاخص SEPI به مقدار ۰/۴۴ 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 ۵).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.36.4.0]



شکل(۴) نمایی از Rule Viewer در محیط MATLAB



شکل(۵) نمایی از Surface Viewer در محیط MATLAB

پس از اینکه شاخص فازی SEPI به طریق بیان شده به دست آمد، نحوه تاثیر دما و بارندگی در خشکسالی ایستگاه‌های مورد مطالعه، بررسی خواهد شد. سپس به پایش خشکسالی خواهیم پرداخت. در پایش خشکسالی بر اساس شاخص SEPI، روند، شدت، تداوم و درصد فراوانی وقوع خشکسالی را مورد بررسی قرار می‌دهیم. روند شاخص‌های مورد بررسی با روش روند خطی[1] تعیین می‌شود. برای به دست آوردن درصد فراوانی وقوع خشکسالی در طبقات مختلف، در محیط Excel از رابطه Frequency استفاده شد.

[1]- Linaer trend

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.36.4.0]

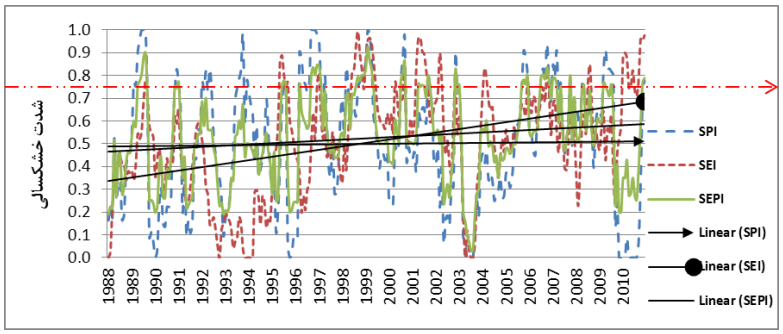
بحث و بررسی

- **بررسی نحوه تاثیر بارندگی و دما در خشکسالی:** برای بررسی نحوه‌ی 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 شماره ۶ تا ۱۱ جهت این بررسی ترسیم شده‌اند. بررسی این اشکال نشان می‌دهد که در ایستگاه پارس‌آباد در مقیاس زمانی ۶ و ۱۲ ماهه نحوه تاثیر تبخیر و تعرق در خشکی محیط مشابه هم بوده و میزان دما و تبخیر و تعرق و بارندگی به طور متناوب دچار تغییر شده و هر چند سال یک بار شرایط متفاوتی را به خود دیده است. از ماه ژوئن سال ۱۹۸۸ تا ماه آگوست ۱۹۸۹ میزان تبخیر از بارندگی کمتر بوده است و باعث تعدیل شاخص SPI شده است. در ایستگاه اردبیل تا سال ۱۹۹۷ اغلب تبخیر و تعرق کمتر از مقدار بارندگی بوده و باعث شده است که خشکسالی‌های نشان داده شده توسط شاخص SPI تعدیل شود. اما از سال ۱۹۹۷ به بعد شرایط برعکس شده و در بیشتر موارد مقدار تبخیر و تعرق بیشتر از مقدار بارندگی می‌باشد. این شرایط باعث شده است تا شدت خشکسالی در شاخص SPI بیشتر شده و در شاخص SEPI مشخص شود. در ایستگاه خلخال نیز شرایط مشابه ایستگاه اردبیل می‌باشد طوری که از سال ۱۹۸۸ تا سال ۱۹۹۹ مقدار تبخیر و تعرق کمتر از مقدار بارندگی می‌باشد و از سال ۱۹۹۹ تا آخرین ماه سال۲۰۱۰ مقدار تبخیر و تعرق بیشتر از بارندگی می‌باشد. در شرایطی که بارندگی زیاد باشد و شاخص SPI شرایط ترسالی را نشان دهد و شاخص SEI به جهت بالا بودن دما شرایط خشکسالی را نشان دهد، شاخص SEPI تحت تاثیر شاخص SEI شرایط خشک‌تری نسبت به شاخص SPI نشان خواهد داد و بر عکس.

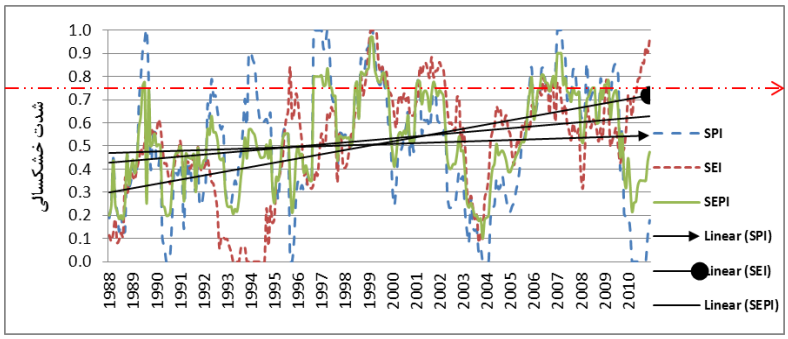
بررسی و تحلیل مقادیر به دست آمده برای شاخص SEPI نشان داد که در بعضی از زمان‌ها اگر چه بارندگی نسبت به نرمال افزایش داشته و شرایط ترسالی باید حاکم باشد اما شاخص SEPI، وقوع دوره خشک را نشان می‌دهد. دلیل وقوع این دوره‌ها را می‌توان به افزایش درجه حرارت و تبخیر و تعرق نسبت داد در این شرایط افزایش بارندگی بحدی نبوده است که بتواند کمبود رطوبت ناشی از افزایش تبخیر و تعرق را جبران کند. به عنوان مثال در ایستگاه خلخال در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه از ماه نوامبر سال ۲۰۰۹ تا آخرین ماه سال ۲۰۱۰ این شرایط حاکم بوده است (شکل۱۱).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

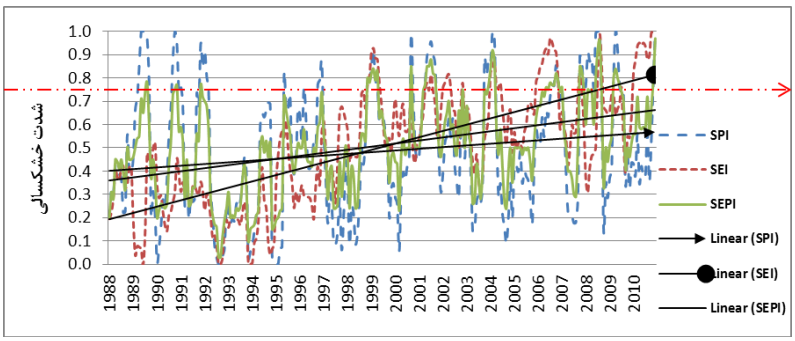
[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.36.4.0]



شکل (۶) نوسان شاخص‌ها در ایستگاه پارس‌آباد در مقیاس ۶ ماهه



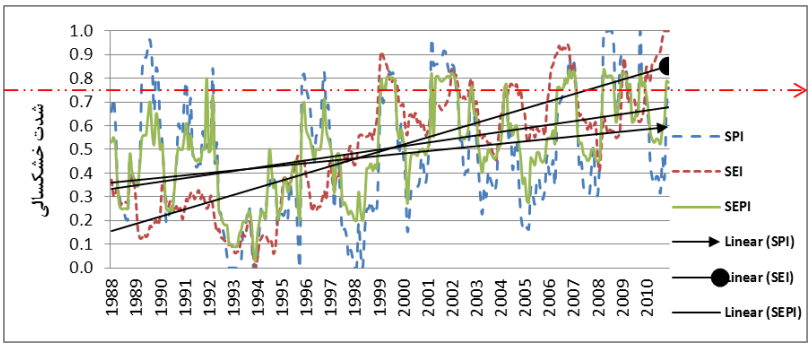
شکل (۷) نوسان شاخص‌ها در ایستگاه پارس‌آباد در مقیاس ۱۲ ماهه



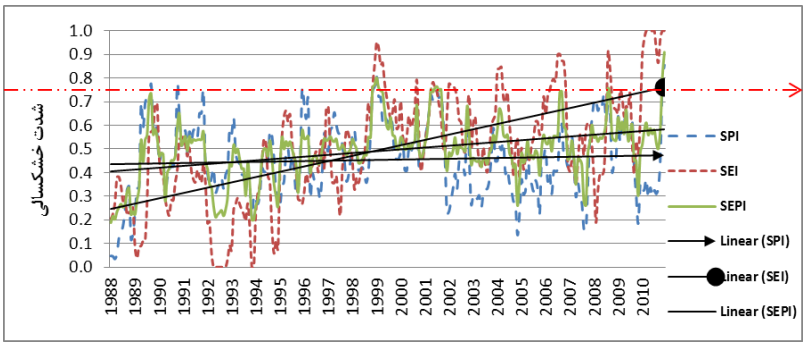
شکل (۸) نوسان شاخص‌ها در ایستگاه اردبیل در مقیاس ۶ ماهه

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

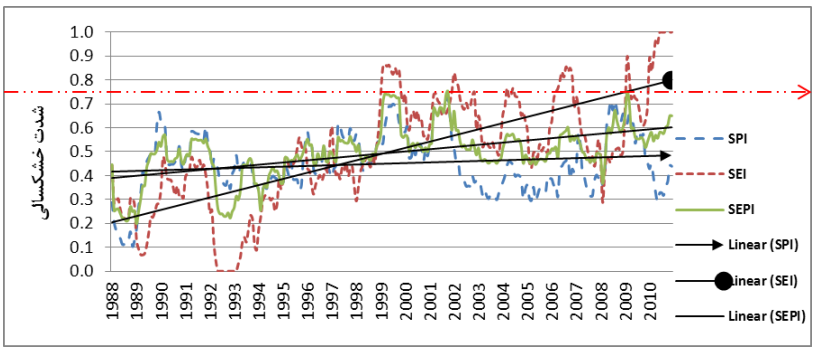
[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.36.4.0]



شکل (۹) نوسان شاخص‌ها در ایستگاه اردبیل در مقیاس ۱۲ ماهه



شکل (۱۰) نوسان شاخص‌ها در ایستگاه خلخال در مقیاس ۶ ماهه



شکل (۱۱) نوسان شاخص‌ها در ایستگاه خلخال در مقیاس ۱۲ ماهه

- **پایش خشکسالی:** طوری که بیان شد، بر اساس شاخص SPI (که شدت طبقات در حد فاصل ۲- تا ۲+ قرار دارد) خشکسالی برای مقیاس ماهانه به این صورت تعریف می‌شود: دوره‌ای که SPI دائماً منفی باشد و به مقدار ۱- و کمتر برسد و زمانی پایان می‌پذیرد که SPI مثبت شود. با توجه به اینکه طبقات خشکسالی شاخص SEPI تقریباً مشابه شاخص SPI می‌باشد اما

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.36.4.0]

طبقات بین ۰ و ۱ قرار دارد بعد از اینکه مقادیر طبقات خشکسالی شاخص SPI در حد فاصل ۰ و ۱ قرار بگیرد، مقادیر منفی معادل اعداد بین ۰/۵ تا ۱ خواهد بود و ۱- هم معادل ۰/۷۳ خواهد شد (در شکل ۶ تا ۱۱ خط فلش قرمز رنگ مقطع مرز خشکسالی با مقدار ۰/۷۳ 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 ۰/۵ باشد و به مقدار ۰/۷۳ و بیشتر برسد و زمانی پایان می‌پذیرد که SEPI کمتر از ۰/۵ شود. بر اساس اعداد فازی مورد استفاده در عطف به متغیرهای زبانی، طبقات خشکسالی و ترسالی در شاخص SEPI و مقادیر آنها در جدول شماره ۸ مشخص شده است. شدت خشکسالی‌ها بر اساس مقادیر طبقات مشخص شده در این جدول بررسی می‌شوند.

جدول (۸) طبقه‌بندی شدت خشکسالی و ترسالی بر اساس شاخص فازی SEPI

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

ماخذ: نگارندگان

برای پایش وضعیت خشکسالی، شدت، تداوم زمانی، روند و درصد فراونی وقوع خشکسالی در شاخص SEPI بر اساس شکل شماره ۵ تا ۱۰ بررسی می‌شود. بررسی شدت خشکسالی‌های رخ داده نشان می‌دهد در ایستگاه پارس‌آباد در مقیاس زمانی ۶ ماهه شدیدترین خشکسالی در ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست سال ۱۹۸۹ به ترتیب با مقدارهای ۰/۸۱، ۰/۸۸ و ۰/۹۰ و در ماه فوریه ۱۹۹۹ به مقدار ۰/۹۳رخ داده است. در مقیاس ۱۲ ماهه نیز در ماه‌های فوریه و مارس سال ۱۹۹۹ خشکسالی با شدت ۰/۹۷ اتفاق افتاده است. در ایستگاه اردبیل در مقیاس زمانی ۶ ماهه خشکسالی شدید در ماه فوریه سال ۲۰۰۴ با شدت ۰/۹۲، در ماه‌های جولای و آگوست سال ۲۰۰۸ با شدت ۰/۹۲ و ۰/۹۶ و در ماه دسامبر ۲۰۱۰ سال با شدت ۰/۹۷ رخ داده است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.36.4.0]

در این ایستگاه در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه شدت خشکسالی‌ها کمتر شده است و بیشترین آن مربوط به ماه آوریل سال ۲۰۰۸ به مقدار ۰/۸۴ می‌باشد. در ایستگاه خلخال شدت خشکسالی کمتر از ایستگاه‌های اردبیل و پارس‌آباد می‌باشد. در ایستگاه خلخال در مقیاس زمانی ۶ ماهه شدیدترین خشکسالی در ماه دسامبر سال۲۰۱۰ با شدت ۰/۸۱ اتفاق افتاده است. در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه در هیچ موردی خشکسالی رخ نداده است و به عبارتی مقدار شاخص SEPI به ۰/۷۳ و بیشتر از آن نرسیده است.

از نظر تداوم خشکسالی، بیشترین تداوم خشکسالی در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، 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. در ایستگاه اردبیل در مقیاس ۱۲ ماه خشکسالی با تداوم ۱۲ ماه، از می ماه سال ۲۰۰۱ تا آوریل سال ۲۰۰۲ رخ داده است. کمترین تعداد خشکسالی و کمترین تداوم زمانی خشکسالی در ایستگاه خلخال مشاهده می‌شود.

مقایسه خشکسالی در دو مقیاس زمانی مورد مطالعه نشان می‌دهد که در مقیاس ۶ ماهه شدت و تکرار خشکسالی‌ها 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 کوتاه‌مدت از تداوم زیادی برخوردار نبوده و شدیداً تحت تأثیر 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 بلندمدت بیشتر از دوره‌های کوتاه‌مدت است. بررسی انجام شده در رابطه با روند شاخص‌ها (با توجه به شکل‌های شماره ۵ تا ۱۰) نشان داد، شاخص SEPI در هر سه ایستگاه روند افزایشی داشته است. بنابراین با توجه به اینکه ویژگی نهایی خشکسالی با استفاده از شاخص SEPI بررسی شده است می‌توان گفت خشکسالی در استان اردبیل 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، روند بارندگی کاهشی بوده و بر عکس. روند شاخص SPI (به جز در ایستگاه خلخال در هر دو مقیاس زمانی و در ایستگاه اردبیل در مقیاس زمانی ۶ ماهه که روند تقریباً ثابتی دارد) نیز مشابه شاخص SEPI افزایشی می‌باشد. شاخص SEI نیز در هر سه ایستگاه روند افزایشی دارد. اما شدت افزایش در شاخص SEI شدیدتر از شاخص SPI و SEPI می‌باشد و نشان می‌دهد که دمای هوا در استان اردبیل با شدت بیشتری رو به افزایش دارد.

فراوانی خشکسالی از اهم ویژگی‌ها در بررسی خشکسالی یک منطقه بشمار می‌آید. محاسبه درصد توزیع فراوانی در شدت‌های مختلف می‌تواند در ارزیابی قابلیت منطقه مورد مطالعه

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.36.4.0]

نسبت به شدت‌های مختلف خشکسالی کاربرد داشته باشد (فرجزاده، ۱۳۸۴، ۱۷). درصد فراوانی وقوع خشکسالی در طبقات مختلف در مقیاس زمانی ۶ و ۱۲ ماهه در ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول شماره ۱۰ بیان شده است.

جدول (۱۰) درصد فراوانی وقوع خشکسالی در طبقات مختلف در مقیاس زمانی ۶ و ۱۲ ماهه

	درصد فراوانی وقوع خشکسالی در مقیاس زمانی ۶ ماهه			درصد فراوانی وقوع خشکسالی در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه		
طبقات خشکسالی	پارس‌آباد	اردبیل	خلخال	پارس‌آباد	اردبیل	خلخال
ترسالی خیلی شدید	۰/۷۲	۰/۷۲	۰	۰	۰/۳۶	۰
ترسالی شدید	۰/۷۲	۰/۷۲	۰	۰/۳۶	۲/۹	۰
ترسالی متوسط	۱۴/۸۶	۱۷/۰۳	۹/۴۲	۱۳/۷۷	۱۵/۲۲	۸/۳۳
ترسالی ملایم	۱۱/۲۳	۱۳/۴۱	۱۰/۵۱	۱۴/۴۹	۹/۷۸	۷/۶۱
نرمال	۳۷/۶۸	۳۵/۵۱	۶۳/۰۴	۳۶/۵۹	۴۰/۹۴	۶۸/۴۸
خشکسالی ملایم	۱۱/۹۶	۱۳/۷۷	۱۰/۵۱	۱۰/۱۴	۱۱/۲۳	۱۲/۶۸
خشکسالی متوسط	۲۱/۰۱	۱۶/۶۷	۶/۵۲	۲۲/۸۳	۱۹/۵۷	۲/۹
خشکسالی شدید	۱/۸۱	۱/۴۵	۰	۱/۰۹	۰	۰
خشکسالی‌خیلی‌شدید	۰	۰/۷۲	۰	۰/۷۲	۰	۰

با توجه به تعریفی که از خشکسالی بر اساس شاخص SEPI ارائه شد، مقادیر ۰/۷۳ 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 پارس‌آباد ۲۲/۸۲ درصد، ایستگاه اردبیل ۱۸/۸۴ درصد و در ایستگاه خلخال فقط ۶/۵۲ درصد موارد خشکسالی رخ داده است. در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه در ایستگاه پارس‌آباد ۲۴/۶۴ درصد، ایستگاه اردبیل ۱۹/۵۷ درصد و ایستگاه خلخال ۲/۹ درصد از ماه‌های مورد مطالعه در سری زمانی، خشکسالی اتفاق افتاده است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی خشکسالی در استان اردبیل بر اساس شاخص SEPI پرداخته شد. شاخص SEPI توسعه یافته شاخص SPI بر اساس منطق‌فازی 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 استان اردبیل مهمترین نتایج به دست آمده را می‌توان به صورتی که در ادامه می‌آید فهرست کرد:

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.36.4.0]

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

- روند خشکسالی در استان اردبیل افزایشی است. روند دما هم با شدت بیشتر روند افزایشی دارد.

- بیشترین درصد وقوع خشکسالی در ایستگاه پارس‌آباد و کمترین آن در خلخال مشاهده می‌شود.

- درصد فراوانی وقوع خشکسالی در ایستگاه پارس‌آباد و اردبیل در مقیاس ۱۲ ماهه بیشتر از مقیاس ۶ ماهه است. اما در ایستگاه خلخال شرایط برعکس می‌باشد.

- بیشترین تداوم خشکسالی در بین ایستگاه‌ها، 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. کمترین تعداد و کمترین تداوم زمانی خشکسالی‌ها، در ایستگاه خلخال 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 بحدی 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 این رو 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 رخداد خشکسالی پارامترهای اقلیمی زیادی غیر از دو پارامتر بارندگی و دما موثراند، بنابراین در راستای غنای 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.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.36.4.0]

منابع و مأخذ

۱. آسیایی، مهدی (۱۳۸۵). **شاخص‌های خشکسالی**، انتشارات سخن گستر، نوبت چاپ اول.

۲. انصاری، حسین، داوری، کامران، ثنائی نژاد، سیدحسین (۱۳۸۹). **پایش خشکسالی با استفاده از شاخص بارندگی و تبخیر و تعرق استاندارد شده (SEPI)، توسعه یافته براساس منطق فازی**، نشریه آب و خاک(علوم و صنایع کشاورزی) جلد۲۴، شماره ۱، ۵۲-۳۸.

۳. بنی‌واهب، علیرضا، علیجانی، بهلول (۱۳۸۴). **بررسی خشکسالی و ترسالی و پیش بینی تغییرات اقلیم منطقه بیرجند با استفاده از مدل های آماری**، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۲، ۳۳- ۴۵.

۴. پیرمرادیان، نادر، شمس‌نیا، سید امیر، بوستانی، فردین، شاهرخ نیا، حمد علی (۱۳۸۷). **ارزیابی دوره بازگشت خشکسالی با استفاده از SPI در استان فارس**، مجله دانش نوین کشاورزی، شماره ۱۳.

۵. جعفرنژاد، احمد، محقر، علی، درویش، مریم، یاسایی، مهرداد (۱۳۸۹). **ارایه روشی برای اندازه گیری چابکی زنجیره تامین با استفاده از ترکیب تئوری گراف، رویکروماتریسی و منطق فازی**، فصلنامه پژوهشی بازرگانی، شماره ۵۴، ۱۶۹- ۱۴۵.

۶. نوحی، کیوان، عسگری، احمد (۱۳۸۴).**مطالعه خشکسالی و دوره های برگشت ترسالی ها و خشکسالی ها در منطقه قم**، خشکی و خشکسالی کشاورزی، شماره ۱۵، ۱۷- ۱.

۷. سلاجقه، علی، فتح‌آبادی، ابوالحسن، نجفی، منصور (۱۳۸۷). **مقایسه شبکه عصبی و سری‌های زمانی در پیش‌بینی خشکسالی استان خراسان رضوی**، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، شماره ۴، ۷۷ - ۷۴.

۸. سلاجقه، علی، فتح آبادی، ابوالحسن (۱۳۸۸). **بررسی امکان برآورد بار معلق رودخانه کرج با بهره‌گیری از منطق‌فازی و شبکه عصبی**، نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۲، ۲۸۲ – ۲۷۱.

۹. سیگارواردی، شهرام، صادقی سنگدهی، سیدعلی، اوسطی، خالد، قویدل‌رحیمی، یوسف (۱۳۸۸). **بررسی نمایه‌های ارزیابی پدیده‌های ترسالی و خشک‌سالی (Nitzche, PNPI, SPI) (مطالعه‌ی موردی: استان مازندران)**، فصلنامه‌ی علمی- پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، شماره ۱، ۵۴ -۴۴.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.36.4.0]

۱۰.علیزاده، امین، آشگر طوسی، شادی (۱۳۸۷). **توسعه یک مدل برای پایش و پیش بینی خشکسالی (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)**، مجله علوم، صنایع کشاورزی، ویژه آب و خاک، جلد ۲۲، ۲۳۵- ۲۲۳.

۱۱.علیزاده، امین (۱۳۸۹). **اصول هیدرولوژی کاربردی**، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، چاپ ۳۰.

۱۲.فرجزاده، منوچهر (۱۳۸۴). **خشکسالی از مفهوم تا راهکار**، انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، چاپ اول.

۱۳.مالچسفکی، یاچک (۱۳۸۵). **سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چند معیاری**، ترجمه اکبر پرهیزکار، عطا غفاری گیلانده، تهران، انتشارات سمت.

۱۴.صفری، حسین، فرازمند، عماد، خوش‌سیما، غلامرضا، محمدیان، ایوب، حاکی، کاظم، مصلحی، عادل، حسینی، فرشید (۱۳۸۲). **بررسی مراحل لازم برای تحقق دولت الکترونیکی در وزارت بازرگانی**، موسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی، شماره طرح: ۸۲۱۰۱۱۲۲۴.

Calanca, P., (2007). ***Climate change and drought occurrence in the Alpine region***. Global and Planetary Change 57. 151-160.

Mishra, AK., and VR. Desai, (2006). ***Drought forecasting using feed-forward recursive neural network***. ecological modelling 198. 127-138.

Moreira, E., A. Paulo, S. Pereira, and T. Mexia, (2006) ***Analysis of SPI drought class transitions using loglinear models***. Journal of Hydrology, 331.349-359.

Paulo, A.A., E. Ferreira, C. Coelho, and L.S., Pereira, (2005). ***Drought class transition analysis through Markov and Loglinear models***. an approach to early warning. Agricultural Water Management 77. 59-8.

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. 257-275.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.36.4.0]