

مقایسه شاخص استاندارد بارش و نظام رتبه‌بندی تاپسیس به منظور ارزیابی وضعیت مخاطره خشکسالی در استان خوزستان



محمدحسین جهانگیر*

استادیار گروه انرژی‌های نو و محیط‌زیست، دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه
تهران، ایران

علی محمدی (Ali.mohammadi@ut.ac.ir)

دانشجوی کارشناسی ارشد اکوهیدرولوژی، دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۸/۱۷ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۱۴)

چکیده

مطالعه وضعیت خشکسالی به‌عنوان نوعی مخاطره طبیعی در نواحی مختلف به‌منظور تدوین طرح‌های مقابله با خشکسالی و مدیریت خطر آن، اهمیت زیادی دارد. نمایه‌های مختلفی برپایه کمیتهای مؤثر اقلیمی برای ارزیابی خشکسالی معرفی شده است. بررسی حالت‌های وقوع همزمان طبقات هر نمایه معین خشکسالی می‌تواند معیار مناسبی برای ارزیابی تطابق نمایه‌ها باشد. هدف این تحقیق، مقایسه دو روش رتبه‌بندی تاپسیس و شاخص استاندارد بارش (SPI) در بررسی وضعیت خشکسالی استان خوزستان و کارایی آنها در این زمینه بوده است. در بخش دیگری از پژوهش، میزان حساسیت روش تاپسیس با استفاده از چهار پارامتر اقلیمی مختلف در تعیین خشکسالی یا ترسالی در قالب جدول‌هایی ارائه شد. در این تحقیق مشخص شد که دو روش مذکور برای تعیین وضعیت خشکسالی و شدت آن کارایی یکسان و مناسبی دارند، ولی برای تعیین شدت ترسالی از روش شاخص استاندارد بارش نمی‌توان استفاده کرد. در واقع با روش اخیر تنها می‌توان این موضوع را مشخص کرد که آیا سال مورد نظر جزو سال‌های تر بوده است یا نه. برای مثال کمترین عدد این شاخص ۳/۰۴- در سال ۱۳۹۰ برای ایستگاه آبادان به‌دست آمد که نشان‌دهنده خشکسالی شدید است و بیشترین عدد یعنی ۱/۳۳ در سال ۱۳۷۷ مربوط به ایستگاه اهواز بود که در طبقه نرمال قرار گرفت؛ در صورتی که در روش رتبه‌بندی تاپسیس می‌توان علاوه بر تعیین شدت خشکسالی، وضعیت سال‌های تر را نیز به‌صورت کمی ارزیابی کرد. با توجه به محاسبات، برای همه ایستگاه‌های بررسی شده سال ۱۳۹۰ خشک‌ترین، و سال ۱۳۷۱ مرطوب‌ترین سال بوده است. همچنین به‌واسطه مطالعات پارامتریک انجام‌گرفته توسط روش تاپسیس، مشخص شد که بیشترین حساسیت در بین کمیتهای اقلیمی، مربوط به تعداد روزهای بارانی، و کمترین حساسیت مربوط به رطوبت نسبی هواست.

واژه‌های کلیدی: استان خوزستان، حساسیت‌سنجی، روش رتبه‌بندی تاپسیس، شاخص استاندارد بارش، شدت خشکسالی.

مقدمه

ایران با قرار گرفتن در منطقه خشک و بیابانی با بارشی حدود یک‌سوم بارش جهانی و نوسان‌های شدید مکانی و زمانی پدیده مذکور، از جمله کشورهایی است که خسارات هنگفتی را از این مخاطره طبیعی در گستره‌های مختلف به‌ویژه در طی دهه‌های اخیر دریافت کرده است [۸]. در دهه‌های گذشته به‌طور معمول تحلیل خشکسالی به‌صورت توصیفی انجام می‌گرفت و کمتر به تحلیل کمی پرداخته می‌شد [۱۶]. برای تحلیل کمی خشکسالی، وجود یک شاخص مشخص برای تعیین دقیق دوره‌های مرطوب و خشک بسیار ضروری است [۳].

بناکروسو و همکاران در سال ۲۰۰۳ مقاله‌ای با عنوان «تحلیل نمایه بارندگی استاندارد شده در سیسیلی» ارائه کردند که در آن از سال‌های ۱۹۹۶-۱۹۲۶ با بررسی تغییرات بلندمدت خشکسالی توسط نمایه SPI سه منطقه اقلیمی مجزا تشخیص داده شد و حساسیت نمایه SPI برای دوره واسنجی بررسی شد. با توجه به آنالیز SPI دوازده‌ماهه در این سه منطقه و محاسبه واریانس تغییرات، نتایج آزمایش‌ها در سه منطقه با توجه به تغییرات مکانی تا حدودی مشابه بود [۴]. در سال ۲۰۰۶ سروجیو و ویسنته در پژوهشی (تحلیل منطقه‌ای در ایبرین پنینسولا) به این نتیجه رسیدند که تفاوت الگوهای مکانی خشکسالی، در مقیاس‌های زمانی متفاوت با استفاده از نمایه SPI و توزیع پیرسون تیپ ۳ به‌منظور محاسبه نمایه خشکسالی برای تکرارهای بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف ۱، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۳۶ ماهه کارایی دارد. آنان همچنین نتیجه گرفتند که در مقیاس‌های زمانی بلندمدت ۲۴ یا ۳۶ ماهه ارتباط بین سری‌های SPI مشاهداتی کاهش می‌یابد؛ در نتیجه نواحی همگن با بخش‌های دارای خشکسالی مشابه که برای مدیریت خشکسالی مؤثر با هشدار سریع تأثیر داشته باشند، وجود نخواهد داشت [۲۱]. زالای و زینل (۲۰۰۰)، در مطالعه‌ای کاربرد نمایه SPI را در مجارستان بررسی و ارزیابی کردند و به این نتیجه رسیدند که این نمایه مناسب‌ترین شاخص برای تعریف و تحلیل کمی انواع خشکسالی هواشناسی، کشاورزی و آب‌شناختی است [۶]. ساکاریز و وانجلس (۲۰۰۴) در ایتالیا و ناتلی و یوگان (۲۰۰۳) در آفریقای جنوبی با استفاده از نمایه SPI، دوره‌های خشک و تر را بررسی و تجزیه و تحلیل کردند [۲۰، ۷].

مقدسی و مرید (۱۳۸۴)، با استفاده از سه نمایه SPI، نمایه خشکسالی مؤثر (EDI) و نمایه دهک‌ها (DI) خشکسالی بین سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۰ استان تهران را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که نمایه خشکسالی مؤثر ارزیابی بهتری نسبت به دو نمایه دیگر دارد و همچنین نمایه SPI در مقیاس ماهانه واکنش کافی به کمبود بارش از خود نشان نمی‌دهد [۹]. در تحقیق غلامرضا روشن و همکاران (۱۳۹۰) مشخص شد که در روش رتبه‌بندی تاپسیس، بین

خروجی و داده‌های تجربی همبستگی قوی وجود دارد و این روش به‌علت دقت زیاد در تعیین شدت خشکسالی، برای بهره‌وری بیشتر در مقدار تولید محصولات کشاورزی در شهر شیراز می‌تواند کاربرد داشته باشد [۱۳]. اختری و همکاران (۱۳۸۸)، با پایش خشکسالی براساس نمایه‌های SPI و EDI نشان دادند که نمایه‌های یادشده متغیر مکانی بوده و روش میانگین متحرک وزن‌دار در تحلیل مکانی خشکسالی از دقت کافی برخوردار است [۱]. فاتحی مرج و همکاران (۱۳۹۰)، با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS، خشکسالی مرتعی و دیم را برای سه سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۸ ارزیابی کردند. در این پژوهش مشخص شد که کاهش پوشش گیاهی کشور در سال ۱۳۸۷ چشمگیر بوده است. مقایسه خشکسالی هواشناسی با خشکسالی کشاورزی بیانگر انطباق هر دو خشکسالی در این سال است، در حالی که در سال ۱۳۸۸ با وجود بارش کمتر از میانگین، وضعیت پوشش مرتعی در شرایط ترسالی بوده است [۲۴]. ماریا و همکاران (۲۰۰۸)، در منطقه آگارو جنوبی در پرتغال، به پیش‌بینی شدت خشکسالی پرداختند و توانایی زیاد شاخص SPI را در این زمینه تأیید کردند [۱۹]. سلیمانی ساردو و همکاران (۱۳۸۷)، پژوهشی در زمینه تحلیل گستره خشکسالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده در استان کرمان انجام دادند و با استفاده از این شاخص و همچنین روش درون‌یابی کریجینگ و نرم‌افزارهای Surfer8 و Arcview نقشه خشکسالی و ترسالی استان کرمان را تهیه کردند. نتایج مطالعه نشان داد که تمرکز خشکسالی در قسمت‌های شمالی و مرکزی استان بیشتر بوده و باید برای مقابله با این پدیده این مناطق را در اولویت قرار داد [۲۳]. ساروی و همکاران (۱۳۸۹)، به پهنه‌بندی خشکسالی حوضه کارون به کمک نمایه SPI در محیط GIS پرداختند. آنها در این تحقیق به این نتیجه رسیدند که با وجود شرایط مناسب از نظر بارندگی، خشکسالی‌های بسیار شدیدی در طول دوره آماری بررسی شده در منطقه مشاهده می‌شود و منطقه‌ای یافت نمی‌شود که خشکسالی در آن اتفاق نیفتاده یا خشکسالی آن شدید نباشد [۵].

حنفی و همکاران (۱۳۹۱)، به بررسی خشکسالی در استان تهران با استفاده از روش SPI پرداختند. در این مطالعه شاخص SPI در مقیاس یک، شش و دوازده‌ماهه استفاده شد. نتیجه این بررسی نشان داد با افزایش تداوم مقیاس زمانی از تعداد رخداد‌های خشکسالی کاسته می‌شود و فراوان‌ترین وقایع خشکسالی در تداوم‌های یک تا شش‌ماهه رخ می‌دهد. همچنین مشخص شد شدیدترین خشکسالی استان تهران در سال ۱۳۷۴ با ضریب SPI بیش از ۳- و شدیدترین ترسالی آن در سال ۱۳۶۱ با ضریب SPI بیش از ۲+ رخ داده است [۲].

روش تحقیق که براساس روش شاخص استاندارد در بخش ارزیابی وضعیت خشکسالی و روش رتبه‌بندی تاپسیس است، هیچ‌گاه به‌طور تک یا توأم برای محدوده مطالعاتی خوزستان استفاده

نشده است. دلیل استفاده از شاخص SPI این بود که مبنای محاسبات شدت خشکسالی در ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه خوزستان، داده‌های بارندگی است، زیرا تاریخچه بیشتری از آن برای سالیان گذشته به ثبت رسیده است. همچنین به لحاظ اقلیم خاص این منطقه (گرم و مرطوب) و شرایط عدم مدیریت و کنترل مناسب نزولات جوی، امکان خشکسالی کشاورزی برای سالیان آتی در این محدوده وجود خواهد داشت. از این رو خطر یک دوره خشکسالی پایه بارندگی به صورت مداوم و طولانی مدت برای این منطقه قابل تصور و پیش‌بینی است.

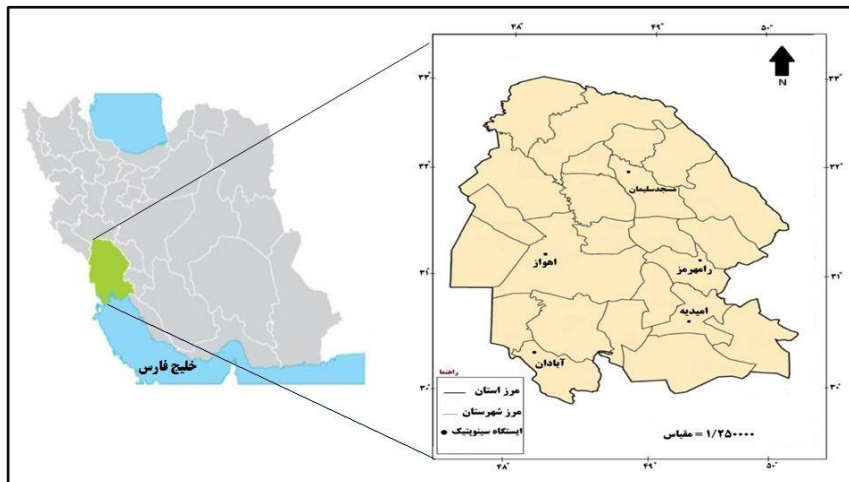
روش تحقیق و تحلیل

معرفی منطقه تحقیق

محدوده تحقیق، کل استان خوزستان با مساحت ۶۴۲۳۶ کیلومتر مربع در مختصات ۲۹ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۳۳ درجه و صفر دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی در جنوب غربی ایران قرار دارد (شکل ۱). از یک سو وجود پنج رودخانه پرآب (کارون، دز، کرخه، هندیجان و جراحی) در این استان و جاری شدن بیش از یک سوم آب‌های جاری کشور در این محدوده، از نظر منابع آب و انرژی برق‌آبی آن را حائز اهمیت کرده و از دیگر سو وجود صنایع بالادستی و پایین‌دستی نفت، صنایع آب‌بر همچون فولاد، زمین‌های کشاورزی وسیع، تولید محصولات راهبردی مختلف در فصول مختلف و ایجاد شرکت‌های کشت و صنعت همچون صنایع نیشکر، اهمیت آن را دوچندان کرده است.

در این تحقیق با استفاده از آمار و اطلاعات سازمان هواشناسی کشور به بررسی وضعیت خشکسالی استان خوزستان در طی دوره‌ای بیست‌ساله (۱۳۷۰-۱۳۹۰) پرداخته شد [۱۴]. برای این کار از دو روش شاخص استاندارد بارش و روش رتبه‌بندی تاپسیس استفاده شد و نتایج به دست آمده از هر دو روش بررسی و تجزیه و تحلیل شد. ایستگاه‌های بررسی شده، ایستگاه‌های سینوپتیک اهواز، آبادان، مسجدسلیمان، رامهرمز و امیدیه است که اطلاعات آنها به تفکیک در جدول ۱ آمده است.

با استفاده از داده‌های بارندگی ایستگاه‌ها، اجزای بارش شامل انحراف معیارهای بارندگی، کشیدگی، چولگی، واریانس، میانگین و مد محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۲ آورده شده است.



شکل ۱. موقعیت منطقه تحقیق و ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک بررسی شده

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
اهواز	۳۳° ۲۰'	۴۸° ۴۰'	۲۲/۵
آبادان	۳۰° ۲۲'	۴۸° ۱۵'	۶/۶
مسجدسلیمان	۳۱° ۵۶'	۴۹° ۱۷'	۳۲۰/۵
رامهرمز	۳۱° ۱۶'	۴۹° ۳۶'	۱۵۰/۵
امیدیه	۳۰° ۴۶'	۴۹° ۴۰'	۲۷

جدول ۲. محاسبه پارامترهای آماری بارش در ایستگاه‌های بررسی شده (برحسب میلی‌متر، * بدون بعد)

ایستگاه	اهواز	آبادان	مسجدسلیمان	رامهرمز	امیدیه
میانگین	۲۲۲/۸	۱۶۱/۷	۴۲۶/۲	۳۰۶/۵	۲۷۰/۶
میانه	۲۲۲/۵	۱۵۵/۵	۴۱۴/۲	۳۰۹/۷	۲۸۳/۹
انحراف معیار	۹۵/۹	۶۱/۱۲	۱۳۵/۷	۱۱۰/۱	۸۶/۵
واریانس	۹۱۹۷/۶	۳۷۳۵/۷	۱۸۴۳۹/۶	۱۲۱۳۷/۸	۷۴۹۶/۳
حداکثر	۴۶۸/۸	۲۹۴/۴	۶۳۵/۸	۵۱۵/۳	۴۱۰/۷
حداقل	۷۶/۸	۳۶/۸	۲,۱۹۴	۱۳۵/۱	۹۷/۷
چولگی*	۰/۸۷	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۱۹	-۰/۲۳
کشیدگی*	۱/۳۳	-۰/۰۱	-۱/۱۸	-۰/۸۶	-۰/۷۹

روش تحقیق

شاخص استاندارد بارش (SPI)

یکی از شاخص‌های اساسی در مطالعه خشکسالی، شاخص استاندارد بارش است که محاسبه آن نیازمند داشتن میانگین و انحراف معیار درازمدت مقادیر بارندگی در دوره‌های بررسی است [۱۵]. این شاخص اساساً برای تعریف و پایش خشکسالی و ترسالی ارائه شده است [۲۲] و به تحلیل‌گر امکان می‌دهد تعداد وقایع خشکسالی و ترسالی اتفاق افتاده را برای هر گام زمانی دلخواه تعریف و شناسایی کند [۱۸]. از آنجا که این شاخص بی‌بعد است، می‌توان به کمک آن اطلاعات مناطق مختلف را با هم مقایسه و نقشه‌های گستره خشکسالی را با دقت بیشتری تولید کرد [۱۲]. از جمله مزایای دیگر این شاخص آن است که می‌توان خشکسالی‌های شدید و ترسالی‌های شدید منطقه را شناسایی کرد و با برآزش تابع چگالی احتمال، تحلیل فراوانی روی آن انجام داد [۱۷]. در این شاخص ابتدا مقادیر بارندگی ماهانه هر ایستگاه برای هر یک از مقیاس‌های زمانی مورد نظر (۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴، ...) محاسبه می‌شود. بدین ترتیب یک سری زمانی بارندگی در طول دوره آماری هر ایستگاه به دست می‌آید که مقادیر بارندگی هر ماه در حقیقت مجموع بارندگی هر ماه و دو ماه قبل از آن است. طبقه‌بندی درجات خشکسالی و ترسالی SPI به صورت جدول ۳ ارائه می‌شود. معادله شاخص استاندارد بارش (SPI) به صورت زیر است:

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad (1)$$

که در آن P_i بارندگی سال i بر حسب میلی‌متر، \bar{P} میانگین بارندگی بلندمدت و SD انحراف معیار بارش است. مقادیر شاخص SPI به دست آمده از داده‌های بلندمدت بارش برای یک دوره زمانی، از توزیع نرمال تبعیت می‌کند که دارای میانگین صفر و انحراف معیار یک است.

جدول ۳. طبقه‌بندی شاخص استاندارد بارش (SPI)

مقادیر SPI	درجه خشکسالی
۰ تا ۰/۹۹	خشکسالی ملایم
-۱ تا -۱/۴۹	خشکسالی متوسط
-۱/۹۹ تا -۱/۵	خشکسالی شدید
-۲ و کمتر	خشکسالی حاد

روش رتبه‌بندی تاپسیس

روش رتبه‌بندی تاپسیس از جمله رویکردهای جبرانی در دسته‌بندی مدل‌های چندمعیاره است. مدل‌های جبرانی، مدل‌هایی‌اند که در آنها کمبود یک شاخص با فزونی شاخص دیگر جبران‌پذیر است، به عبارت دیگر شاخص‌ها همبستگی دارند.

در این بخش با استفاده از روش یادشده، تعیین و رتبه‌بندی ترسالی و خشکسالی انجام می‌گیرد. در این روش چهار پارامتر درجه حرارت، بارش سالانه، رطوبت نسبی هوا و تعداد روزهای بارندگی داده‌های ورودی‌اند که تجزیه و تحلیل‌ها آنها صورت می‌گیرد.

در مراحل محاسبات این روش باید برای پارامترهای ورودی، اوزانی را مشخص کرد. در این مطالعه براساس نظر کارشناس، اوزان به پارامترها اختصاص یافته است (جدول ۴).

برای به دست آوردن مقدار عددی CI که نشان‌دهنده طبقه ترسالی یا خشکسالی است محاسبات زیر را به ترتیب باید انجام داد:

الف) نرمالیزه کردن شاخص‌های مثبت:

$$F_1 = \frac{V_{ij}}{V_{ijmax}} \quad (2)$$

که در آن، F_1 نسبت مقدار هر شاخص مثبت به بیشترین میزان همان شاخص، V_{ij} مقادیر وزن‌دار هر شاخص برای سال i و V_{ijmax} بیشینه مقدار هر شاخص مثبت است.

ب) نرمالیزه کردن شاخص‌های منفی:

$$F_2 = \frac{V_{ij}}{V_{ijmin}} \quad (3)$$

که در آن، F_2 نسبت مقدار هر شاخص منفی به کمترین میزان همان شاخص، V_{ij} مقادیر وزن‌دار هر شاخص برای سال i و V_{ijmin} کمینه مقدار هر شاخص منفی است.

ج) محاسبه سال‌های ایده‌آل مثبت:

$$A^+j = \text{MAX}(F_{ij}) \quad (4)$$

که در آن، A^+j سال‌های ایده‌آل مثبت و $\text{MAX}(F_{ij})$ بیشترین میزان شاخص مثبت برای پارامتر اقلیمی j است.

د) محاسبه سال‌های ایده‌آل منفی:

$$A^-j = \text{MIN}(F_{ij}) \quad (5)$$

که در آن، A^-j سال‌های ایده‌آل منفی و $\text{MIN}(F_{ij})$ پایین‌ترین میزان شاخص منفی برای پارامتر اقلیمی z است.

هـ) محاسبه فاصله هر یک از سال‌ها نسبت به ایده‌آل مثبت:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^r (V_{ij} - A^+j)^2} \quad (6)$$

که در آن، d_i^+ فاصله هر یک از سال‌ها نسبت به ایده‌آل مثبت، V_{ij} ارزش پارامتر اقلیمی z برای سال i و A^+j متغیر اقلیم است.

و: محاسبه فاصله هر یک از سال‌ها نسبت به ایده‌آل منفی:

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^r (V_{ij} - A^-j)^2} \quad (7)$$

که در آن، d_i^- فاصله هر یک از سال‌ها نسبت به ایده‌آل منفی، V_{ij} ارزش پارامتر اقلیمی z برای سال i و A^-j متغیر اقلیم است.

ز) محاسبه مقدار عددی رتبه‌بندی تاپسیس:

$$Cl_i = \frac{d_i^-}{(d_i^+ + d_i^-)} \quad (8)$$

با توجه به تحقیق موحدی و همکاران در سال ۱۳۸۹ با موضوع «پهنه‌بندی نواحی اقلیمی استان خوزستان» [۱۰]، ایستگاه‌های آبادان، مسجدسلیمان و رامهرمز جزو مناطق مرطوب، و ایستگاه‌های اهواز و امیدیه جزو مناطق خشک استان خوزستان طبقه‌بندی شده‌اند. با توجه به مطالب بالا، اوزان پارامترهای اقلیمی به شرح جدول ۴ است.

جدول ۵ طبقه‌بندی روش رتبه‌بندی تاپسیس را نمایش می‌دهد.

در جدول‌های ۶ و ۷ شاخص SPI و روش رتبه‌بندی تاپسیس دوازده‌ماهه برای دو ایستگاه نمونه محاسبه و نتایج محاسبات سایر ایستگاه‌ها در شکل‌های ۲ و ۳ ارائه شده است:

جدول ۴. ضرایب پارامترهای اقلیمی در روش تاپسیس

ایستگاه	درجه حرارت (°C)	رطوبت نسبی (%)	بارش سالانه (mm)	تعداد روزهای بارندگی
آبادان	۰/۱	۰/۱	۰/۴	۰/۴
مسجدسلیمان	۰/۱	۰/۱	۰/۴	۰/۴
رامهرمز	۰/۱	۰/۱	۰/۴	۰/۴
اهواز	۰/۱۸	۰/۲	۰/۳	۰/۲۵
امیدیه	۰/۱۸	۰/۲	۰/۳	۰/۲۵

جدول ۵. طبقه‌بندی روش رتبه‌بندی تاپسیس

محدوده رده‌بندی	طبقه‌بندی شدت خشکسالی
بیش از ۰/۹۱	ترسالی بسیار شدید
۰/۷۷ تا ۰/۹۹	ترسالی شدید
۰/۶۶ تا ۰/۷۶	ترسالی متوسط
۰/۵۷ تا ۰/۶۵	ترسالی ضعیف
۰/۴۰ تا ۰/۵۶	نرمال
۰/۳۱ تا ۰/۳۹	خشکسالی ضعیف
۰/۲۱ تا ۰/۳۰	خشکسالی متوسط
۰/۰۶ تا ۰/۲۱	خشکسالی شدید
کمتر از ۰/۰۶	خشکسالی بسیار شدید

جدول ۶. مقایسه نتایج وضعیت خشکسالی در ایستگاه اهواز با استفاده از هر دو روش

سال	بارش (mm)	شاخص استاندارد بارش (SPI)		روش رتبه‌بندی تاپسیس		
		شاخص SPI	طبقه شاخص	d ⁺	d ⁻	Cl
۱۳۷۰	۱۳۶	-۱/۳۵	خ.متوسط	۰/۷۰	۰/۱۸	۰/۲۰
۱۳۷۱	۴۱۰/۳	۱/۰۲	ترسالی	۰	۰/۸۵	۱
۱۳۷۲	۳۰۲/۵	-۰/۳۳	نرمال	۰/۲۵	۰/۷۰	۰/۷۳
۱۳۷۳	۲۱۹/۱	-۰/۳۹	خ.ضعیف	۰/۴۱	۰/۵۴	۰/۵۶
۱۳۷۴	۲۲۸/۲	-۰/۲۹	خ.ضعیف	۰/۴۰	۰/۵۰	۰/۵۵
۱۳۷۵	۸۶/۴	-۲/۱۳	خ.بسیار شدید	۰/۷۴	۰/۲۰	۰/۲۱
۱۳۷۶	۲۸۹/۹	۰/۲۴	نرمال	۰/۲۷	۰/۵۸	۰/۶۷
۱۳۷۷	۴۶۸/۸	۱/۳۳	ترسالی	۰/۱۹	۰/۸۹	۰/۸۲
۱۳۷۸	۱۷۰/۹	-۰/۹۲	خ.ضعیف	۰/۵۷	۰/۲۹	۰/۳۴
۱۳۷۹	۲۲۷/۸	-۰/۳۰	خ.ضعیف	۰/۴۳	۰/۴۲	۰/۴۹
۱۳۸۰	۲۳۴/۸	-۰/۲۳	خ.ضعیف	۰/۴۲	۰/۴۵	۰/۵۱
۱۳۸۱	۲۲۷/۳	-۰/۳۰	خ.ضعیف	۰/۴۵	۰/۴۰	۰/۴۷
۱۳۸۲	۱۷۱/۳	-۰/۹۱	خ.ضعیف	۰/۵۳	۰/۳۶	۰/۴۰
۱۳۸۳	۲۱۸/۸	-۰/۳۹	خ.ضعیف	۰/۴۸	۰/۳۹	۰/۴۴
۱۳۸۴	۲۷۱/۸	-۰/۰۹	نرمال	۰/۳۷	۰/۴۸	۰/۵۶
۱۳۸۵	۱۸۸/۱	-۰/۷۱	خ.ضعیف	۰/۵۸	۰/۲۶	۰/۳۱
۱۳۸۶	۲۶۹/۱	-۰/۰۷	نرمال	۰/۳۴	۰/۵۰	۰/۵۹
۱۳۸۷	۱۵۳/۷	-۱/۱۲	خ.متوسط	۰/۵۸	۰/۳۶	۰/۳۸
۱۳۸۸	۱۰۵/۱	-۱/۸۰	خ.شدید	۰/۷۵	۰/۱۶	۰/۱۸
۱۳۸۹	۲۲۲/۵	-۰/۳۵	خ.ضعیف	۰/۴۵	۰/۴۶	۰/۵۰
۱۳۹۰	۷۶/۸	-۲/۳۲	خ.بسیار شدید	۰/۸۵	۰	۰

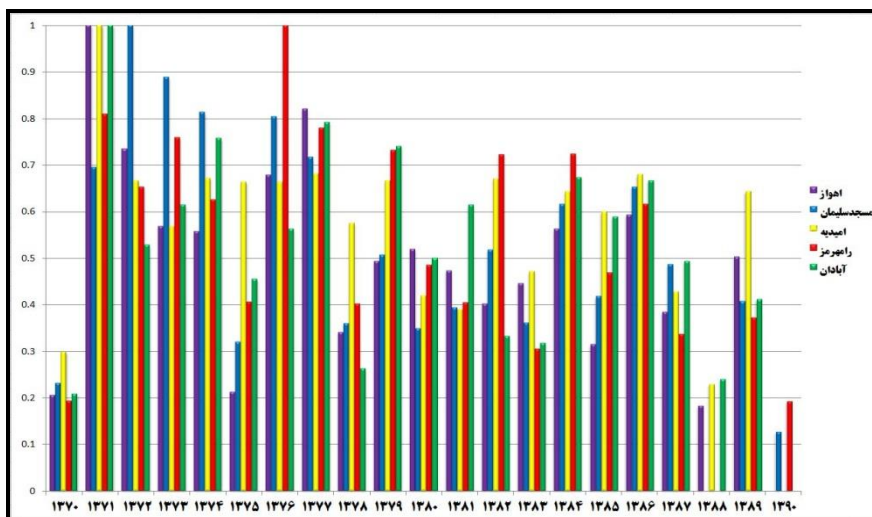
جدول ۷. مقایسه نتایج وضعیت خشکسالی در ایستگاه آبادان با استفاده از هر دو روش

سال	شاخص استاندارد بارش (SPI)		روش رتبه‌بندی تاپسیس		طبقه شاخص تاپسیس	بارش (mm)	شاخص SPI	طبقه شاخص
	CI	d ⁻	d ⁺	طبقه شاخص				
۱۳۷۰	۰/۲۰	۰/۲۲	۰/۸۶	خ. شدید	خ. شدید	۸۱/۳	-۱/۷۴	خ. شدید
۱۳۷۱	۱	۰/۹۳	۰	ت. بسیار شدید	ت. بسیار شدید	۲۹۴/۴	۱/۰۳	ترسالی
۱۳۷۲	۰/۵۲	۰/۵۳	۰/۴۸	خ. ضعیف	نرمال	۱۵۲/۸	-۰/۴۷	خ. ضعیف
۱۳۷۳	۰/۶۱	۰/۷۴	۰/۴۶	خ. ضعیف	ت. ضعیف	۱۷۷/۶	-۰/۱۳	خ. ضعیف
۱۳۷۴	۰/۷۵	۰/۷۶	۰/۲۴	نرمال	ت. متوسط	۲۲۷	۰/۴۳	نرمال
۱۳۷۵	۰/۴۵	۰/۴۳	۰/۵۱	خ. ضعیف	نرمال	۱۴۷	-۰/۵۹	خ. ضعیف
۱۳۷۶	۰/۵۶	۰/۵۳	۰/۴۱	خ. ضعیف	نرمال	۱۷۶/۷	-۰/۱۴	خ. ضعیف
۱۳۷۷	۰/۷۹	۰/۷۶	۰/۲۰	نرمال	ت. شدید	۲۳۶/۲	۰/۵۲	نرمال
۱۳۷۸	۰/۲۶	۰/۲۵	۰/۷۱	خ. شدید	خ. متوسط	۸۸/۹	-۱/۵۸	خ. شدید
۱۳۷۹	۰/۷۳	۰/۶۹	۰/۲۴	نرمال	ت. متوسط	۲۲۸/۵	۰/۴۴	نرمال
۱۳۸۰	۰/۴۹	۰/۴۸	۰/۴۸	خ. ضعیف	نرمال	۱۵۵/۵	-۰/۴۴	خ. ضعیف
۱۳۸۱	۰/۶۱	۰/۵۸	۰/۳۶	نرمال	ت. ضعیف	۱۹۱/۳	۰/۰۳	نرمال
۱۳۸۲	۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۶۳	خ. متوسط	خ. ضعیف	۱۱۴/۶	-۱/۱۰	خ. متوسط
۱۳۸۳	۰/۳۱	۰/۲۹	۰/۶۴	خ. متوسط	خ. ضعیف	۱۱۵/۲	-۱/۰۹	خ. متوسط
۱۳۸۴	۰/۶۷	۰/۶۳	۰/۳۰	نرمال	ت. متوسط	۲۰۸	۰/۲۲	نرمال
۱۳۸۵	۰/۵۸	۰/۵۵	۰/۳۸	نرمال	ت. ضعیف	۱۹۲	۰/۰۴	نرمال
۱۳۸۶	۰/۶۶	۰/۶۸	۰/۳۴	نرمال	ت. متوسط	۱۹۸	۰/۱۱	نرمال
۱۳۸۷	۰/۴۹	۰/۴۹	۰/۵۱	خ. ضعیف	نرمال	۱۴۴/۱	-۰/۶۳	خ. ضعیف
۱۳۸۸	۰/۲۱	۰/۲۳	۰/۷۵	خ. متوسط	خ. متوسط	۱۰۲/۶	-۱/۳۱	خ. متوسط
۱۳۸۹	۰/۴۱	۰/۴۰	۰/۵۸	خ. ضعیف	نرمال	۱۲۶/۶	-۰/۹۰	خ. ضعیف
۱۳۹۰	۰	۰	۰/۹۳	خ. بسیار شدید	خ. بسیار شدید	۳۶/۸	-۳/۰۴	خ. بسیار شدید

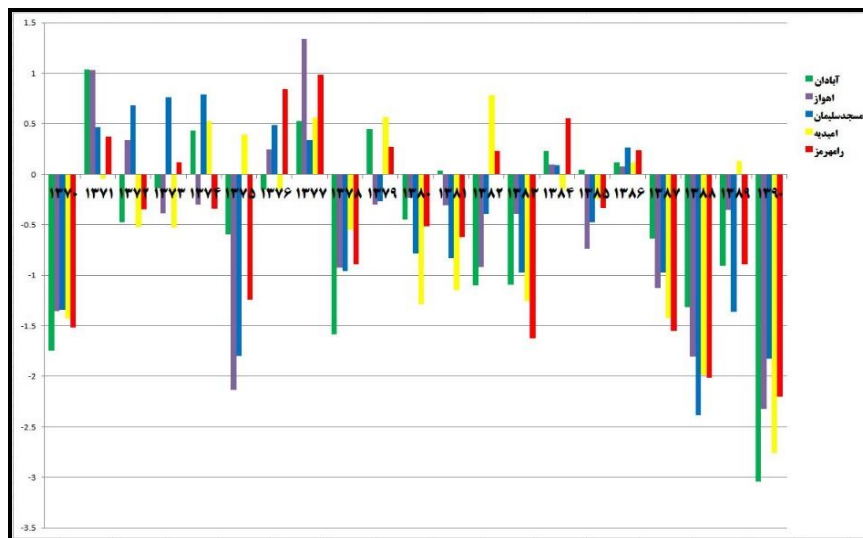
در شکل ۲ تغییرات خشکسالی برای ایستگاه‌های بررسی شده و نوسانات آنها در طول دوره مطالعه از طریق روش رتبه‌بندی تاپسیس به تصویر کشیده است. با توجه به این نمودار، مرطوب‌ترین سال برای ایستگاه‌های اهواز، امیدیه و آبادان سال ۱۳۷۱، برای ایستگاه مسجدسلیمان سال ۱۳۷۲ و برای ایستگاه رامهرمز سال ۱۳۷۶ بوده است.

با توجه به شکل ۳ که جهت نمایش تغییرات شاخص استاندارد بارش ایستگاه‌ها در طول دوره مطالعه ترسیم شده است، از نظر خشکسالی، خشک‌ترین سال برای ایستگاه‌های امیدیه، اهواز و آبادان سال ۱۳۹۰ و برای ایستگاه‌های مسجدسلیمان و رامهرمز سال ۱۳۸۸ بوده است.

براساس نمودار بالا، برای ایستگاه مسجدسلیمان سال ۱۳۸۸ و برای سایر ایستگاه‌های استان سال ۱۳۹۰، به‌عنوان خشک‌ترین سال طبقه‌بندی شده است.



شکل ۲. نمودار خشکسالی و ترسالی براساس روش رتبه‌بندی تاپسیس



شکل ۳. نمودار خشکسالی براساس شاخص استاندارد بارش (SPI)

حساسیت‌سنجی روش رتبه‌بندی تاپسیس

برای آنکه مشخص شود روش رتبه‌بندی تاپسیس به کدام یک از پارامترهایی که در آن وجود دارد حساسیت بیشتری نشان می‌دهد، به‌طور نمونه در ایستگاه مسجدسلیمان، هر پارامتر یک بار برابر با صفر قرار گرفت و مقدار CI آن با حالتی که همه شاخص‌ها دارای ارزشی مخالف صفر بودند مقایسه شد که در جدول ۸ تشریح شده است.

جدول ۸. مقایسه نتایج CI پارامترهای برابر صفر با CI حالت غیر صفر (مبنا)

سال	شاخص مبنا	دما برابر صفر	رطوبت برابر صفر	بارش برابر صفر	تعداد روز بارانی برابر صفر
۱۳۷۰	۰/۲۳	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۲۹	۰
۱۳۷۱	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۸۴	۰/۵۲
۱۳۷۲	۱	۱	۱	۱	۱
۱۳۷۳	۰/۸۸	۰/۸۹	۰/۸۸	۰/۹۲	۰/۸۲
۱۳۷۴	۰/۸۱	۰/۸۲	۰/۸۲	۰/۸۷	۰/۶۹
۱۳۷۵	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۴۶
۱۳۷۶	۰/۸۰	۰/۸۲	۰/۷۹	۰/۸۴	۰/۷۱
۱۳۷۷	۰/۷۱	۰/۷۱	۰/۷۰	۰/۸۲	۰/۶۰
۱۳۷۸	۰/۳۵	۰/۳۶	۰/۳۴	۰/۳۸	۰/۳۳
۱۳۷۹	۰/۵۰	۰/۵۱	۰/۵۰	۰/۵۷	۰/۳۹
۱۳۸۰	۰/۳۴	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۴۰	۰/۲۹
۱۳۸۱	۰/۳۹	۰/۳۹	۰/۳۹	۰/۴۰	۰/۳۸
۱۳۸۲	۰/۵۱	۰/۵۲	۰/۵۰	۰/۵۵	۰/۴۷
۱۳۸۳	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۳۵	۰/۳۶	۰/۳۸
۱۳۸۴	۰/۶۱	۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۶۸	۰/۵۰
۱۳۸۵	۰/۴۱	۰/۴۲	۰/۴۱	۰/۵۱	۰/۲۹
۱۳۸۶	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۷۵	۰/۵۰
۱۳۸۷	۰/۴۸	۰/۴۸	۰/۴۸	۰/۳۷	۰/۶۳
۱۳۸۸	۰	۰	۰	۰	۰/۲۱
۱۳۸۹	۰/۴۰	۰/۴۱	۰/۴۰	۰/۲۶	۰/۵۸
۱۳۹۰	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۱۷

نتیجه‌گیری

خشکسالی که یکی از موضوعات مهم در مطالعه مخاطرات طبیعی است و بر کشاورزی، مهاجرت روستایی و تأثیر می‌گذارد در چند دهه اخیر با استفاده از شاخص‌های مختلف بررسی شده است [۱۱]. در این تحقیق برای بررسی شدت مخاطره خشکسالی در دامنه زمانی بیست‌ساله (۱۳۹۰-۱۳۷۰) اطلاعات هواشناسی از پنج ایستگاه سینوپتیک استان خوزستان با توزیع مناسب جمع‌آوری شد. بررسی‌های اقلیمی براساس دو روش شاخص استاندارد بارش (SPI) و روش رتبه‌بندی تاپسیس صورت گرفت (تاکنون چنین مقایسه‌ای انجام نگرفته است) که نتایج نشان داد روش‌های رتبه‌بندی تاپسیس و SPI در تعیین خشکسالی، همبستگی بسیار قوی دارند و نتایج به‌دست‌آمده از آنها برای سال‌های دارای شدیدترین خشکسالی در استان خوزستان با هم برابر است، اما از لحاظ تعیین سال‌های دارای شدیدترین ترسالی روش SPI ناکارآمد است و فاصله زیادی نتایج روش تاپسیس دارد. از این‌رو می‌توان نتیجه گرفت که کارآمدی و قوت روش SPI در تعیین رده‌بندی احتمال وقوع خشکسالی است، اما در طبقه‌بندی ترسالی تنها رده نرمال ذکر شده و بعد از آن طبقه‌ای برای مقادیر ترسالی در نظر گرفته نشده است. اما در روش رتبه‌بندی تاپسیس، ارتباط نظام‌مند بین مقادیر جوی سال‌های مختلف در تعیین و رتبه‌بندی خشکسالی یا ترسالی، یکی از ارکان مؤثر این روش تلقی می‌شود. از کاربردهای دیگر این روش بعد از تعیین خشکسالی یا ترسالی، رتبه‌بندی آن است. در این روش از چهار عنصر جوی بارش، دما، رطوبت نسبی و تعداد روزهای بارش در تعیین و رتبه‌بندی خشکسالی استفاده شد و مشخص شد که این روش نسبت به روش‌هایی که صرفاً از یک یا دو متغیر استفاده می‌کنند، برتری دارد و به‌خوبی می‌تواند تغییرات ترسالی و خشکسالی را نسبت به شاخص استاندارد بارش ارزیابی کند. در قسمت دیگر تحقیق به حساسیت‌سنجی روش تاپسیس پرداخته شد که نتایج نشان داد بیشترین حساسیت روی پارامتر تعداد روزهای بارانی است؛ به این مفهوم که در اثر کوچک‌ترین خطا در تعداد روزهای بارانی، بیشترین تغییر در مقدار CI اتفاق خواهد افتاد؛ این موضوع محقق را ملزم می‌کند که داده‌های این پارامتر را با کمترین خطای پراکندگی از نرمال جمع‌آوری کند.

منابع

- [۱]. اختری، روح‌انگیز؛ مهدیان، محمدحسین؛ مرید، سعید (۱۳۸۸). تجزیه و تحلیل مکانی شاخص‌های خشکسالی SPI و EDI در استان تهران. مجله منابع آب ایران. سال سوم. شماره ۳: ۳۸-۲۷.

- [۲]. حنفی، علی؛ خوش اخلاق، فرامرز؛ سلطانی، محسن (۱۳۹۱). تحلیل خشکسالی‌های استان تهران با استفاده از شاخص SPI و پیش‌بینی آن براساس مدل زنجیره مارکوف، مجله جغرافیا و پایداری محیط. سال دوم. شماره ۳: ۱۰۰-۸۷.
- [۳]. رجبی، منصور؛ مرادی، حمیدرضا؛ فرج‌زاده، منوچهر (۱۳۸۴). بررسی ارتباط بین شدت، مدت و فراوانی خشکسالی‌های هواشناسی در استان فارس. کنفرانس بین‌المللی مخاطرات زمین، بلایای طبیعی و راهکارهای مقابله با آنها. دانشگاه تبریز: ۷۳۷-۷۳۱.
- [۴]. روشن، غلامرضا؛ میرکتولی، جعفر؛ شکور، علی (۱۳۹۰). یک روش جدید برای تکنیک اولویت‌بندی براساس تشابه راه‌حل‌های ایده‌آل (TOPSIS) در مطالعه موردی ایستگاه شیراز. مجله بین‌المللی علوم فیزیکی. جلد ۷. شماره ۲۳: ۲۱۱-۱۹۷.
- [۵]. ساروی، محمد؛ صفدری، علی‌اکبر؛ مهدوی، محمد (۱۳۸۹). بررسی شدت، مدت و فراوانی خشکسالی در حوزه آبخیز کارون با استفاده از شاخص SPI. مجله منابع طبیعی ایران. شماره ۵۷: ۶۲۰-۶۰۷.
- [۶]. سلیمانی ساردو، فرشاد؛ سلطانی کوپایی، سعید؛ سلاجقه، علی (۱۳۸۷). تحلیل گستره خشکسالی با استفاده از شاخص استاندارد بارش (SPI) در استان کرمان، اولین کنفرانس بین‌المللی بحران آب، دانشگاه زابل، ۲۲-۲۰ اسفند: ۵۱۱-۴۹۶.
- [۷]. فاتحی مرج، احمد؛ باقری‌نیا، مژگان (۱۳۹۰). بررسی خشکسالی مراتع غرب ایران با استفاده از تصاویر ماهواره MODIS در سال ۱۳۸۶ تا سال ۱۳۸۹. مجله آبخیزداری ایران. دوره پنجم. شماره ۱۶. پاییز ۱۳۹۰: ۲۲-۱۳.
- [۸]. کردوانی، پرویز (۱۳۷۱). منابع و مسائل آب ایران. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- [۹]. مقدسی، مهرنوش؛ مرید، سعید (۱۳۸۴). پایش خشکسالی در استان تهران با استفاده از شاخص‌های SPI، DI، EDI و GIS در بازه سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۷۷. مجله برنامه‌ریزی و آمایش فضا. دوره نهم. شماره ۱: ۲۱۵-۱۹۷.
- [۱۰]. موحدی، سعید؛ حیدری ناصرآبادی، بهروز؛ هاشمی‌عنا، سید کرامت؛ رنجبر، فیروز (۱۳۹۱). پهنه‌بندی نواحی اقلیمی استان خوزستان. مجله فضای جغرافیایی دانشگاه آزاد اسلامی. سال دوازدهم. شماره ۴۰: ۷۳-۶۴.
- [۱۱]. نقوی، محمدرضا؛ بیگلری، شادی (۱۳۹۲). نقش مخاطرات طبیعی (خشکسالی کشاورزی) در مهاجرت روستایی با استفاده از روش (SAW) نمونه موردی: دهستان شهدا شهرستان بهشهر. مجله جغرافیای طبیعی. دوره ۶. شماره ۱۹: ۹۷-۸۵.

- [12]. Agnew, C.T. (2000). Using the SPI to identify drought. *Journal of Drought Network News*. 12: 245-253.
- [13]. Bonaccorso. B., I. Bordi., A. Cancelliere., G. Rossi. and A. Sutera. (2003). Spatial variability of drought: An analysis of the SPI in Sicily. *Water Resources Management*. 17: 273-296.
- [14]. <http://www.irimo.ir/far.wd.html>
- [15]. Karl, T. R. and W. E. Rebsame. (1984). The identification of 10-to 20- Year temperature and precipitation fluctuation in the contiguous United States. *Journal of Climate and Applied Meteorology*. 23: 950-966.
- [16]. Liu, L., Hong, Y., Bednarczyk, C.N., Yong, B., Shafer, M.A., Riley, R., and Hocker, J.E. (2012). Hydro-climatological drought analyses and projections using meteorological and hydrological drought indices: a case study in Blue River Basin. Oklahoma. *Journal of Water Resources Management*. 26: 2761–2779.
- [17]. Livida, I. and V. D. Assimkaopoulos. (2007). Spatial and temporal analysis of drought in Greece using the Standardized Precipitation Index (SPI). *Journal of theoretical and applied climatology*. 89:143-153.
- [18]. Mckee, T. B., Doesken, N. J. and J. Kleist. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Preprints Eighth Conference on Applied Climatology*. 5: 179-184.
- [19]. Moreira, E. E, Coelho. A, Paulo. A, Preira. S, Mexia. (2008). SPI-based drought category prediction using log linear models, *Journals of Hydrology*. 354, 116-130.
- [20]. Natale, H.K., and Yew Gan, T. (2003). Drought indices and their application to east Africa. *International Journal of Climatology*. 23: 26-33.
- [21]. Serogio, M., and Vicente S. (2006). "Differences in Patterns of Drought on Different Time Scales: An Analysis of the Iberian Peninsula", *Journal of Water Resources Management*. 20: 37-60.
- [22]. Silva, V. P. R. (2003). On climate variability in Northeast Brazil. *Journal of Arid Environment*. 54: 256-367.
- [23]. Szalai, S., and Szinell, C. (2000). Comparison of two drought indices for drought monitoring in Hungary - a case study. Kluwer, Dordrecht. 325pp.
- [24]. Tsakiris, G., and Vangelis, H. (2004). Towards a drought watch systems based on spatial SPI, *Water resources Research Management*, 18: 1-12.