

کاربرد شاخص TOPSIS در پایش خشک سالی ها و ترسالی های استان گلستان

عبدالعظیم قانقرمه^۱ و غلامرضا روشن^{۲*}

۱. استادیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

(دریافت: ۹۳/۱۱/۱، پذیرش نهایی: ۹۴/۳/۱۲)

چکیده

شناخت و پایش صحیح از خشک سالی به عنوان گامی مؤثر در مدیریت و کاهش آثار زیان بار این بلای جوی مورد توجه است. در این راستا روش های تجربی مختلفی برای محاسبه خشک سالی ارائه شده اند که بیشتر آن ها، تنها از یک مؤلفه به نام بارش استفاده کرده اند. در این پژوهش برای اولین بار، با وارد کردن هفت مؤلفه و شاخص اقلیمی متفاوت شامل حداقل دما، حداکثر دما، تبخیر و تعرق پتانسیل، بارش مؤثر، میانگین بارش، تعداد روزهای بارش، نسبت روزهای بارش به بارش ماهانه در الگوریتم Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)، عمل تعیین و رتبه بندی خشک سالی (ترسالی) انجام پذیرفته است. در نهایت جهت اعتبارسنجی روش پیشنهادی، داده های خروجی این روش برای ایستگاه شاهد جات در استان گلستان با برخی شاخص های مرسوم خشک سالی شامل SIAP، DPI، PNPI و BMDI واکاوی شد که نتایج ضریب همبستگی، مؤید اعتبار بالای روش پیشنهادی است. در ادامه بر اساس روش TOPSIS خشک سالی های استان گلستان واکاوی شد. نتایج نشان می دهد که دی با بیشینه فراوانی گرایش روندهای منفی از شاخص TOPSIS به مقدار ۱۲/۵ درصد، آسیب پذیرترین ماه از لحاظ رخداد خشک سالی هاست. همچنین نتایج نشان داد که ۳۵/۵۸ درصد از مساحت کل استان، حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد از دوره مطالعاتی ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰ را در خشک سالی به سر برده اند که بیشتر به صورت لکه هایی پراکنده در شمال غرب، شمال شرق و میانه شرقی استان قرار دارند که این مناطق حساس ترین پهنه های استان به وقوع خشک سالی معرفی شد.

واژه های کلیدی: استان گلستان، تصمیم گیری چندمعیاره، خشک سالی، رتبه بندی، TOPSIS.

۱. مقدمه

وسعت و شدت تبعات آن استفاده کنند (کارولویز، ۱۹۹۶).

از آنجا که شناخت صحیح خشک سالی گامی مهم در مدیریت ریسک این بلای جوی محسوب می شود، تلاش های فراوانی در دهه های اخیر برای محاسبه و شناخت همه جانبه این پدیده انجام پذیرفته است. پالمر اولین محقق است که در سال ۱۹۴۶ به طور علمی و با استفاده از روش های آماری به بررسی ویژگی های مختلف این پدیده پرداخت (پالمر، ۱۹۶۵؛ مارکا و همکاران، ۲۰۰۲). پژوهش مقدماتی دیگری در زمینه پایش خشک سالی که با تحلیل فراوانی منطقه خشک سالی در مقیاس خرد مورد توجه بود، در سال ۱۹۶۶ توسط محقق به نام ویل آغاز شد (رحیم زاده و همکاران، ۱۳۸۸). همچنین از دیگر پیشگامان در پایش خشک سالی یوگویچ (۱۹۶۷) است که خشک سالی را

از ابتدای شکل گیری تمدن انسانی تاکنون، همواره خشک سالی تأثیراتی شدید و گاه فاجعه آمیز بر فعالیت های حیاتی داشته است. خشک سالی به خودی خود فاجعه محسوب نمی شود، بلکه تأثیر آن بر مردم و محیط زیست، فاجعه آمیز بودن یا نبودن آن را مشخص می کند؛ بنابراین نکته کلیدی درباره خشک سالی، درک ابعاد طبیعی و اجتماعی آن است (ویلهایت، ۲۰۰۰). خشک سالی پدیده ای خزننده است (گیلت، ۱۹۵۰؛ درویشی و همکاران، ۲۰۰۸) که شناسایی شروع و پایان آن امر مشکلی است، زیرا نمی توان آن را از دوره های خشک و بدون خشک سالی متمایز کرد (تاننیل، ۱۹۷۴). با اینکه نمی توان از وقوع خشک سالی های هواشناسی جلوگیری کرد، اما کشاورزان، برنامه ریزان و رهبران سیاسی می توانند از اطلاعات مطمئن درباره خشک سالی و تأثیرات آن ها در سطح ملی، برای به حداقل رساندن

بر اساس یک سری زمانی ایستا و تئوری دنباله‌ها تعریف کرد. وی سری مشاهدات دبی را روی نموداری قرار داد که محور X آن زمان بود و سطح آستانه‌ای (Truncation Level) برای آن تعریف کرد که ارقام کمتر از آن مبین خشک‌سالی بود و مدتی که جریان کمتر از این آستانه قرار می‌گرفت، تداوم خشک‌سالی را تعیین می‌کرد (مرید و پایمزد، ۱۳۸۶). روش آستانه بعدها توسط گوپتا و داکستاین (۱۹۷۵)، دراکوپ و همکاران (۱۹۸۰a,b)، و چانگ (۱۹۸۹، ۱۹۹۰) به کار گرفته شد.

به هر حال روش‌های متنوع و مختلفی برای واکاوی خشک‌سالی، در سرتاسر دنیا ارائه شده که معرفی و ذکر آن‌ها در فضای محدود این مقاله امکان‌پذیر نیست. اما آنچه در تحقیق حاضر قابل اهمیت است، این است که در این پژوهش برای اولین بار، در مقایسه با مطالعات قبلی، با وارد کردن مؤلفه‌ها و شاخص‌های اقلیمی متفاوت در الگوریتم TOPSIS، عمل تعیین و رتبه‌بندی سال‌های آماری یک ایستگاه بر مبنای شرایط ترسالی تا خشک‌سالی انجام پذیرفته است. اگرچه پیش‌تر بر مبنای روش TOPSIS محاسبه خشک‌سالی (ترسالی) انجام گرفته است، اما در مطالعات قبلی (خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۸۵؛ روشن و همکاران، ۲۰۱۲) یا تعداد مؤلفه‌ها کمتر است، به گونه‌ای که تعداد مؤلفه‌های مورد استفاده آن‌ها برای مدل‌سازی چهار مؤلفه اقلیمی بوده که گاه برخی از این مؤلفه‌ها در مقیاس سالانه است یا اینکه همانند کار کاظمی راد و همکاران (۲۰۱۲) جنس مؤلفه‌های انتخابی برای محاسبه خشک‌سالی آنچنان کارشناسی نشده است؛ چنان‌که آن‌ها جهت مدل‌سازی خود با شاخص TOPSIS، چهار مؤلفه را از جنس دما انتخاب کردند که شامل کمینه و بیشینه دما، به همراه متوسط حداقل و حداکثر دماست. حال آنکه مناسب‌تر آن بود که با جایگزینی مؤلفه‌هایی همانند تبخیر و تعرق یا بارش مؤثر، باعث تنوع مؤلفه‌های اقلیمی شده و همچنین اثر مؤلفه‌های تأثیرگذار دیگر را ملاحظه می‌کردند. به هر حال آنچه مشخص است، هر سیستم از یک سری اجزا (سال‌ها) تشکیل شده که با یکدیگر در

ارتباط بوده و بر هم تأثیر می‌گذارند و با توجه به روابط متقابل بین این اجزاست که رتبه هر سال از لحاظ شرایط ترسالی تا خشک‌سالی محاسبه می‌شود. هدف از این پژوهش، سنجش امکان کاربرد روش TOPSIS، در زمینه رتبه‌بندی و تعیین شرایط خشک‌سالی (ترسالی) تحت عنوان شاخص جدیدی به نام TOPSIS و با استفاده از متغیرها و مؤلفه‌های جدید اقلیمی در مقایسه با مطالعات پیشین است. در این پژوهش در ابتدا به‌طور کلی روش محاسباتی TOPSIS ارائه می‌شود و سپس گام به گام، محاسبه شاخص رتبه‌بندی خشک‌سالی سری زمانی مورد نظر با استفاده از روش شباهت به گزینه ایده‌آل (TOPSIS)، از طریق روش TOPSIS توضیح داده می‌شود. در ادامه برای اعتبارسنجی روش TOPSIS، بعد از محاسبه مقادیر خشک‌سالی یا ترسالی یک ایستگاه نمونه، خروجی‌های این ایستگاه با برخی روش‌های محاسبه خشک‌سالی مرسوم مقایسه شده و در نهایت نتایج مورد بحث قرار گرفته و پیشنهادهایی ارائه می‌شود.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. داده‌ها

در این تحقیق به منظور پایش خشک‌سالی‌های استان گلستان از داده‌های دما و بارش ۸۲ ایستگاه سینوپتیک، کلیماتولوژی، باران‌سنجی و تبخیرسنجی استان استفاده شد. اما در ابتدا، ایستگاه‌های دماسنجی استان شامل ۴۷ ایستگاه بود که از این تعداد ۳۰ ایستگاه تبخیرسنجی به وزارت نیرو، و بقیه به سازمان هواشناسی تعلق دارد. ولی ایستگاه‌های باران‌سنجی استان شامل ۸۲ ایستگاه است که حدود ۱۷ درصد آن‌ها مربوط به سازمان هواشناسی و ۸۳ درصد باقیمانده متعلق به وزارت نیرو است. در گام اول پیش از بازسازی و یکسان‌سازی طول دوره آماری ایستگاه‌ها برای یک دوره مشترک از سال ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰، با استفاده از روش‌های ران تست و کلموگروف-اسمیرنوف، کنترل کیفیت داده‌های روزانه انجام گرفت و همگنی و توزیع نرمال داده‌ها

نرم افزار Surfer تهیه شده بود، ابتدا با توجه به ایستگاه های دارای آمار روزانه، برای هر روز یک نقشه شبکه بندی شده با قدرت تفکیک ۴۰۰۰ در ۴۰۰۰ متر تولید شد. سپس برای موقعیت هر ایستگاه آمار تولید شده استخراج گردید، به طوری که تا پایان این مرحله ۱۴۷۹۴ روز برای سطح استان داده سازی انجام پذیرفت. در ادامه با استفاده از آزمون های آماری مرسوم همانند ضریب همبستگی پیرسون، RMSE، و IOA صحت سنجی داده های مدل سازی شده با مشاهداتی، جداگانه برای هر ایستگاه انجام شد که نتایج گویای همبستگی بالا و خطای ناچیز بین داده های مشاهداتی و مدل سازی شده بودند.

۲.۲. روش کار

TOPSIS یا روش شباهت به گزینه ایده آل که از جمله روش های تصمیم گیری چندمعیاره است. این روش توسط یون و هوانگ (۱۹۸۱) ارائه شد و مورد استقبال و توجه محققان و کاربران عرصه های مختلف علمی قرار گرفته است. در این روش گزینه ها بر اساس شباهت به حل ایده آل رتبه بندی می شوند؛ به طوری که هر چه یک گزینه به حل ایده آل شبیه تر باشد، رتبه بیشتری دارد. این روش تصمیم گیری از پشتوانه ریاضی قوی برخوردار است و همانند بسیاری از روش های علمی، دانستن و رعایت مفروضات، محدوده و شرایط اعتبار قوانین و صحت فرمول های پیشنهادی، محدوده دقت نتایج و شرایط قابل قبول بودن جواب ها بسیار حائز اهمیت است (وانگ و ال هاگ، ۲۰۰۵؛ وانگ و چانگ، ۲۰۰۷؛ چن و همکاران، ۲۰۱۱).

در این پژوهش با استفاده از روش TOPSIS عمل تعیین و رتبه بندی خشک سالی ها (ترسالی ها) انجام گرفت و جهت روندیابی تغییرات خشک سالی ها و ترسالی های ایستگاه های مطالعاتی در سطح استان از روش آزمون منکندال استفاده شد. حال با توجه به فضای کم مقاله و هدف اصلی پژوهش حاضر که توسعه

تأیید شد. در گام بعد به منظور بازسازی و همزمان کردن مؤلفه های حداقل و حداکثر دما برای تمامی ایستگاه ها چند مرحله انجام پذیرفت. در آغاز بازسازی داده های دما برای ایستگاه هایی که داده های مفقود داشته یا طول دوره آماری آن ها کوتاه بود، به واسطه ایستگاه های هم جوار که بیشینه همبستگی دمایی با آن ها داشتند، انجام گرفت و پس از بازسازی و همزمان کردن سری زمانی، دوباره به وسیله آزمون همگنی و کلموگروف-اسمیرنوف، تصادفی و نرمال بودن داده ها آزمون شد. حال آن که یک سری از ایستگاه ها که شامل ایستگاه های باران سنجی بودند، به طور کل آمار مؤلفه های حداقل و حداکثر دما نداشتند. بنابراین بر مبنای موقعیت تمامی ایستگاه های مطالعاتی با استفاده از روش واسطه یابی کریجینگ، مدل سازی دما برای دوره آماری ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰ انجام شد. ولی برای رسیدن به نتایج معقول و مناسب برخی ملاحظات لحاظ شد. یکی از این ملاحظات، تقسیم استان به دو بخش نواحی پست و نواحی کوهستانی بود. بعد از محاسبه میانگین درجه حرارت برای تمامی ایستگاه ها، با استفاده از مدل رگرسیون، گرادیان دمایی برای ارتفاعات بالای سطح آب های آزاد محاسبه شد. پس از تولید مدل رقومی و تصحیح آن با حذف ارتفاعات کمتر از سطح آب های آزاد، نقشه هم دمای اولیه با توجه به محاسبه معادله خط روی مدل ارتفاع تولید و کنتورهای دمایی ۰/۵ درجه سانتی گراد استخراج شد. در مرحله بعد بر مبنای آمار واقعی ایستگاه های موجود به همراه خطوط کنتور ۰/۵ درجه سانتی گراد، با استفاده از روش واسطه یابی، نقشه دمای پایه استان برای یک دوره ۴۰ ساله تولید شد.

در ادامه به منظور برطرف کردن کمبود داده ها و همچنین همزمان سازی آمار بارش برای ایستگاه های باران سنجی، با استفاده از روش کریجینگ بارش ۴۰ ساله برای تمامی ایستگاه ها به صورت روزانه تولید شد. در این مرحله بعد از ساختن آرایه مکان-زمان یا آرایش T با استفاده از برنامه ای که به این منظور در

(اسمیت، ۱۹۸۸؛ عدنان و حیات خان، ۲۰۰۹؛ روشن و قانقرمه، ۱۳۹۳):

$$P_{eff} = P_{tot} (125 - 0.2 P_{tot}) / 125 \quad P_{tot} \leq 250 \text{ mm} \quad (۱)$$

$$P_{eff} = 0.1 P_{tot} + 125 \quad P_{tot} > 250 \text{ mm} \quad (۲)$$

به گونه ای که P_{eff} برابر است با بارش مؤثر و منظور از مؤلفه P_{tot} ، مجموع بارش است.

۲.۲.۲. مراحل کار به ترتیب شامل موارد زیر است:
 • گام اول) همان گونه که مشخص است، هریک از پارامترها و شاخص های اقلیمی در شرایط خشک سالی ها (ترسالی ها) سهم تعیین کننده دارند. بنابراین لازم است تا وزن هریک از شاخص ها در این رابطه محاسبه شود. پس در ابتدا باید این نکته مورد توجه قرار گیرد که وزن هریک از شاخص ها به صورت مجموع یک بردار $W = (w_1 + w_2 + \dots + w_7)$ به دست خواهد آمد که در آن w_i وزن شاخص i ام است؛ به طوری که حاصل جمع w_1 تا w_7 برابر با عدد یک است و به صورت رابطه (۳) تعریف می شود:

$$w_1 + \dots + w_7 = 1 \quad (۳)$$

در ادامه برای تعیین اوزان هریک از پارامترها از روش آنتروپی استفاده می شود:

۲.۲.۳. تکنیک آنتروپی

از آنجا که ممکن است هر کارشناس وزن خاصی را برای متغیرهای اقلیمی ارائه دهد و این موضوع به اختلاف در خروجی نهایی منجر شود، بنابراین برای همسو کردن دیدگاه ها، از تکنیک آنتروپی استفاده شده است. در تکنیک آنتروپی در وزن دهی، به عناصر اقلیمی نظیر بارش که در مقایسه با دما از ضریب تغییرات بالاتری برخوردارند، وزن بیشتری اختصاص داده می شود. در نتیجه این عدم اطمینان و ضریب تغییرات بالا در عناصر اقلیمی، در وزن دهی عناصر نقش تعیین کننده برعهده دارد. حال این عدم اطمینان

روش TOPSIS در پایش خشک سالی هاست، از آوردن جزئیات مربوط به محاسبه روش منکندال اجتناب گردیده است و می توان به منظور دسترسی به جزئیات محاسبه روش منکندال به سایر منابع مربوطه مراجعه کرد (لنگو باردی و ویلانی، ۲۰۰۹؛ زارع نیستانک و همکاران، ۲۰۱۴).

اما در گام آغازین تشریح کاربرد روش TOPSIS در تعیین دوره های خشک و تر می توان به این اشاره کرد که جهت عملیاتی کردن این روش، ابتدا سال ها با علامت A_i مشخص و شاخص ها که به عنوان پارامترهای آب و هوایی معرفی می شوند، با علامت R_i نشان داده شده اند. در این روش از هفت پارامتر منفرد و ترکیبی اقلیمی، برای سال های مختلف یک ایستگاه استفاده می شود که این پارامترها شامل میانگین بارش، تعداد روزهای بارش، بارش مؤثر (روش سازمان احیای اراضی آمریکا (USBR))، نسبت روزهای بارش به کل بارش، تبخیر (روش تورنت وایت)، حداکثر و حداقل دماست که به صورت زیر نشان داده شده اند. همچنین شایان توضیح است که این شاخص محدودیتی از لحاظ محاسبه بر مبنای مقیاس زمانی روز، ماه، فصل و سال ندارد و از این لحاظ بسیار انعطاف پذیر است.

$$R_1 = \text{بارش (میلی متر)}$$

$$R_2 = \text{تعداد روزهای بارش}$$

$$R_3 = \text{بارش مؤثر (میلی متر)}$$

$$R_4 = \text{نسبت روزهای بارش به مقدار بارش (نسبت درصد)}$$

$$R_5 = \text{تبخیر و تعرق پتانسیل (میلی متر)}$$

$$R_6 = \text{حداکثر دما به سانتی گراد}$$

$$R_7 = \text{حداقل دما به سانتی گراد}$$

۲.۲.۱. محاسبه شاخص بارش مؤثر به روش

پیشنهادی USBR

از هفت مؤلفه اقلیمی بالا، دو مؤلفه تبخیر و تعرق تورنت وایت و بارش مؤثر به یک مرحله محاسباتی نیاز دارد. اما در ادامه مراحل محاسباتی روش بارش مؤثر USBR، به صورت روابط (۱) و (۲) ارائه شده است

ایجادشده به ازای شاخص J^* به قرار رابطه (۹) است:

$$d_j = 1 - E_j : \forall j \quad (9)$$

و سرانجام برای وزن‌های (w_j) از شاخص‌های موجود بصورت رابطه (۱۰) خواهد بود:

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} : \forall j \quad (10)$$

نکته حائز اهمیت در این بخش این است که محاسبه لگاریتم مقادیر منفی و صفر معنادار نیست و از طرف دیگر ممکن است به بعضی از مقادیر مؤلفه‌های اقلیمی مثل دما، بعضاً مقادیر منفی یا به مؤلفه‌هایی همانند بارش مقدار صفر تعلق گیرد؛ بنابراین برای حل این مشکل، پیشنهاد می‌شود که به کل سری زمانی مؤلفه مورد نظر، ضریب ثابتی اعمال گردد تا مقادیر منفی و صفر، از ادامه کار کنار روند و مقادیر مثبت جایگزین آن‌ها شوند. از طرف دیگر، شایان ذکر است که اعمال این ضریب در واریانس داده‌ها هیچ تغییری ایجاد نمی‌کند.

• گام دوم) در این مرحله باید اهمیت اوزان هر یک از شاخص‌ها (پارامترهای اقلیمی) در ماتریس R (داده‌های اقلیمی تمام سال‌ها) بررسی شود که برای محاسبه اوزان هریک از پارامترهای اقلیمی، باید ماتریس R را در بردار w ضرب کنیم. اما از آنجا که این ضرب قابل تعریف نیست، برای این عمل، بردار w به صورت یک ماتریس 7×7 در نظر گرفته می‌شود که به صورت رابطه (۱۱) نمایش داده شده است:

$$V = R_{m \times 5} \times W_{4 \times 5} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} & r_{15} & r_{16} & r_{17} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} & r_{25} & r_{26} & r_{27} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} & r_{35} & r_{36} & r_{37} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & r_{m7} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & w_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & w_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & w_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & w_5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ w_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ w_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & v_{13} & v_{14} & v_{15} & v_{16} & v_{17} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{m1} & v_{m2} & v_{m3} & v_{m4} & v_{m5} & v_{m6} & v_{m7} \end{bmatrix} \quad (11)$$

به صورت رابطه (۴) تشریح می‌شود (ابتدا ارزشی با عنوان نماد E محاسبه می‌شود):

$$E \approx S \{p_1, p_2, \dots, p_n\} = -K \sum_{i=1}^n [p_i \cdot \ln p_i] \quad (4)$$

در رابطه (۴) k ثابتی مثبت است که برای تأمین $0 \leq E \leq 1$ استفاده می‌شود.

مقدار E از توزیع احتمال p_i و به روش آماری محاسبه شده است و در صورت تساوی p_i ها با یکدیگر یعنی $(p_i = 1/n)$ ، بیشینه مقدار را به صورت رابطه (۵) به دست خواهد داد:

$$\begin{aligned} -k \sum_{i=1}^n p_i \cdot \ln p_i &= -k \\ \left\{ \frac{1}{n} \ln \frac{1}{n} + \frac{1}{n} \ln \frac{1}{n} + \dots + \frac{1}{n} \ln \frac{1}{n} \right\} &= \\ -k \left\{ \left(\ln \frac{1}{n} \right) \left(\frac{n}{n} \right) \right\} &= -k \ln \frac{1}{n} \end{aligned} \quad (5)$$

ماتریس تصمیم‌گیری حاوی اطلاعاتی است که آنتروپی می‌تواند به عنوان معیاری برای ارزیابی آن به کار رود. یک ماتریس تصمیم‌گیری به صورت رابطه (۶) در نظر گرفته می‌شود. محتوای اطلاعاتی موجود از این ماتریس ابتدا به صورت (p_{ij}) و به شکل رابطه (۷) محاسبه می‌شود:

	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7
A_1	r_{11}	r_{12}	r_{13}	r_{14}	r_{15}	r_{16}	r_{17}
A_2	r_{21}	r_{22}	r_{23}	r_{24}	r_{25}	r_{26}	r_{27}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
A_m	r_{m1}	r_{m2}	r_{m3}	r_{m4}	r_{m5}	r_{m6}	r_{m7}

$$p_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}} : \forall i, j \quad (6)$$

و برای E_j از مجموعه p_{ij} ها به ازای هر مشخصه چنین خواهد بود:

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m [p_{ij} \cdot \ln p_{ij}] : \forall j \quad (8)$$

به طوری که $k = \frac{1}{\ln m}$ است.

اینک عدم اطمینان یا درجه اطمینان (d_j) از اطلاعات

همکاران (۲۰۱۲) در دسترس بوده و سعی بر خلاصه‌سازی مطالب در این بخش است.

• گام پنجم) بعد از تعیین سال‌های ایده‌آل مثبت و منفی در گام چهارم، حال فاصله هریک از سال‌ها با این دو نقطه ایده‌آل محاسبه می‌شود که برای رسیدن به این هدف مراحل زیر اجرا می‌شود:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (13)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (14)$$

فاصله سال i از ایده‌آل مثبت d_i^+

فاصله سال i از ایده‌آل منفی d_i^-

متغیر اقلیمی j

ارزش پارامتر اقلیمی j برای سال i $v =$

در مرحله پایانی، بعد از محاسبه d_i^+ و d_i^- برای هر سال، در نهایت برای محاسبه شاخص خشک‌سالی TOPSIS و رتبه‌بندی آن برای هر سال، از نقاط ایده‌آل مثبت و منفی، از رابطه (۱۵) استفاده شده است:

$$cl_i = d_i^- / (d_i^+ + d_i^-) \quad (15)$$

شاخص رتبه‌بندی $cl_i =$

شایان توضیح است که خروجی cl بین صفر تا ۱ متغیر است، به گونه‌ای که هرچه ضریب cl بیشتر باشد، گویای شرایط ترسالی است و هرچه مقدار آن کمتر باشد، مؤید شرایط نامساعد خشک‌سالی است. از طرف دیگر پیشنهاد می‌شود که در گام آخر، مقادیر نمره Z برای سری زمانی شاخص cl محاسبه گردد تا مقایسه و طبقه‌بندی سری زمانی داده‌ها در محدوده‌های خشک‌سالی تا ترسالی بهتر انجام پذیرد. پس شایان یادآوری است که مقادیر مختلف نمره Z منفی مؤید خشک‌سالی‌ها با طبقات شدت متفاوت و مقادیر مثبت نمره Z ، معرف ترسالی‌ها با طبقات شدت گوناگون است.

در رابطه (۱۱) R همان ماتریس اولیه است و W یک ماتریس قطری است که عناصر روی قطر اصلی آن، همان بردار W می‌باشد که به شکل رابطه (۱۲) نشان داده می‌شود:

$$W = (w_1 + \dots + w_n) \quad (12)$$

• گام سوم) از نظر کارسازی، عناصر جوی در تعیین شرایط خشک‌سالی و ترسالی متفاوت عمل می‌کنند. به عنوان مثال پارامترهای میانگین بارش، تعداد روزهای بارش، بارش مؤثر و نسبت روزهای بارش به کل بارش در رابطه با پدیده خشک‌سالی (ترسالی) در مقایسه با سه پارامتر تبخیر، حداکثر و حداقل دما عملکرد وارونه دارند. به طوری که چهار مؤلفه اول که شامل بارش، روزهای بارش، بارش مؤثر و نسبت روزهای بارش به کل بارش هستند، هرچه مقادیر بیشتری داشته باشند، از آستانه خشک‌سالی فاصله و به سمت ترسالی گرایش دارند. اما از طرف دیگر اگر سه مؤلفه بعدی، شامل تبخیر، حداکثر و حداقل دما، بیشتر باشند، پتانسیل خشک‌سالی افزایش می‌یابد. بنابراین این شرایط وارون و نقش متفاوت شاخص‌ها در ایجاد خشک‌سالی و ترسالی، ایجاب می‌کند که روند وارون در بین عناصر مؤثر همسو شود. پس در این مرحله باید تأثیر روند پارامترها را یکسان و نرمالیزه کرد. بدین سبب پارامترهایی که گرایش افزایشی آن‌ها در رخداد ترسالی (کاهش خشک‌سالی) مؤثر است، شاخص مثبت و پارامترهایی که گرایش و مقادیر کاهشی آن‌ها در وقوع ترسالی (کاهش خشک‌سالی) مؤثر است، شاخص منفی در نظر گرفته می‌شود. اما برای خلاصه‌سازی مطالب، از ذکر مراحل نرمالیزه کردن شاخص‌های مثبت و منفی اجتناب شده است و برای دسترسی به جزئیات کامل می‌توان به کار خوش‌اخلاق و همکاران (۱۳۸۵) مراجعه کرد.

• گام چهارم) در این مرحله به محاسبه سال ایده‌آل (بهترین سال) پرداخته می‌شود که جزئیات آن در کارهای خوش‌اخلاق و همکاران (۱۳۸۵) و روشن و

۲.۲.۴. معرفی محدوده طبقات کمی و کیفی

شاخص خشک‌سالی TOPSIS

با توجه به ارزیابی نتایج خروجی این شاخص برای محدوده‌های مختلف خشک‌سالی و ترسالی، هفت طبقه انتخاب گردید که از محدوده بیش از ۱/۵ به عنوان ترسالی خیلی شدید تا محدوده کمتر از ۱/۵- به عنوان خشک‌سالی خیلی شدید طبقه‌بندی شده است که سایر محدوده‌ها بین این دو طبقه در جدول ۱ نشان داده است.

۳. یافته‌های تحقیق

در این بخش از تحقیق به منظور واکاوی و اعتبارسنجی نتایج روش TOPSIS، این روش با دیگر شاخص‌های معتبر خشک‌سالی نظیر SIAP، DPI، PNPI و BMDI مقایسه شده است. درباره نحوه محاسبه شاخص‌های مذکور می‌توان به خوش‌اخلاق و همکاران (۱۳۸۵)، حجازی‌زاده و جوی‌زاده (۱۳۸۹) و پیری و همکاران

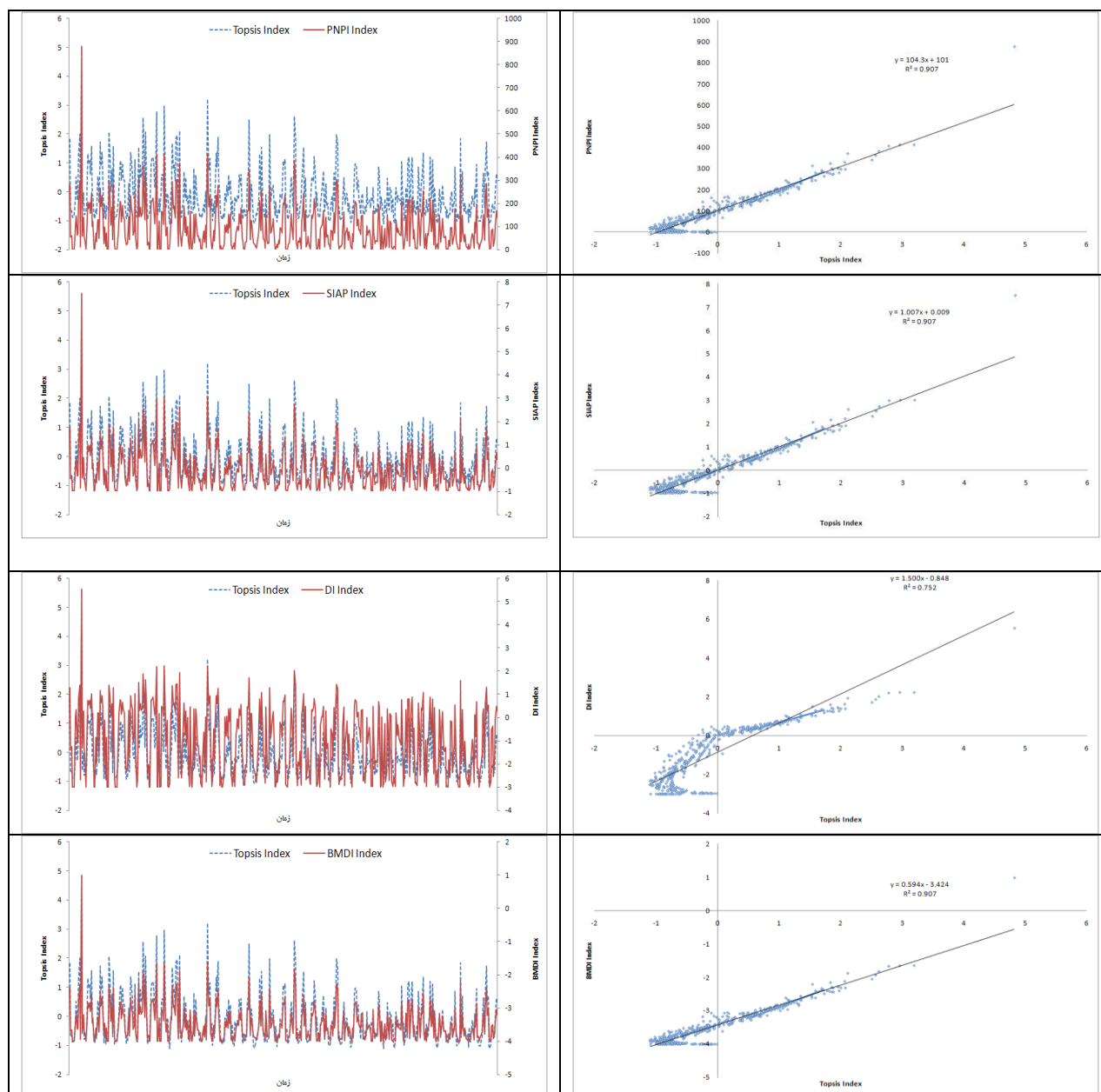
(۱۳۹۲) مراجعه کرد. به دلیل محدودیت فضای مقاله، فقط خروجی‌های مربوط به ایستگاه چات برای دوره زمانی ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰ به صورت مقیاس ماه-سال آورده شده است. بنابراین در ابتدا با توجه به جدول ۲، وزن استخراج شده برای هفت مؤلفه اقلیمی مورد مطالعه در این ایستگاه محاسبه شده است. همان‌طور که پیش‌تر بیان گردید جهت واکاوی اوزان از روش آنتروپی استفاده می‌شود. با توجه به مقادیر مورد نظر، مشاهده می‌گردد که مؤلفه‌هایی که ماهیت اصلی آن‌ها به گونه‌ای از بارش متأثر می‌شود، غالباً بیشترین وزن را دارند؛ اگرچه وزن تبخیر و تعرق نیز هم‌تراز میانگین بارش و بارش مؤثر است. اما مؤلفه‌های دما از کمینه وزن برخوردار هستند. به هر حال این نکته قابل ذکر بوده که این اوزان برای ایستگاه‌های مختلف با توجه به رژیم بارش و دمای آن‌ها و به طور کلی ماهیت اقلیمی ایستگاه مورد مطالعه، می‌تواند تغییر کند.

جدول ۱. محدوده کمی و کیفی شاخص خشک‌سالی TOPSIS.

مقدار TOPSIS	طبقات خشک و ترسالی
بیش از 1.5	ترسالی خیلی شدید
1 تا 1.5	ترسالی شدید
1 تا 0.5	ترسالی متوسط
0.5 تا -0.5	نرمال
-0.5 تا -1	خشک‌سالی متوسط
-1 تا -1.5	خشک‌سالی شدید
کمتر از -1.5	خشک‌سالی خیلی شدید

جدول ۲. اوزان محاسبه‌شده برای مؤلفه‌های اقلیمی مورد نظر با استفاده از روش آنتروپی برای ایستگاه چات.

نسبت تعداد روز به مقدار بارش	بارش مؤثر	حداکثر دما	حداقل دما	روزهای بارش	تبخیر	میانگین بارش
0.24	0.20	0.01	0.02	0.10	0.21	0.21



شکل ۱. روند شاخص خشک‌سالی TOPSIS در مقایسه با سایر شاخص‌های خشک‌سالی برای ایستگاه چات.

بین دو شاخص DIP و TOPSIS ملاحظه می‌شود، این ضریب با $R=0.84$ کمتر از سایر شاخص‌های پیشین بوده است. ولی شایان ذکر است که این ضریب نیز بر مبنای مقیاس زمانی سال-ماه ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰ یک سری زمانی به طول ۴۸۰ رکورد را شامل می‌شود که ضریب $r=0.84$ بر مبنای این سری زمانی کاملاً معنادار است.

اما آن قسمت از سری زمانی که باعث تفاوت در برخی خروجی‌ها برای TOPSIS در مقایسه با سایر روش‌ها شده، به صورت نقاطی پراکنده با بیشترین فاصله

با توجه به مقادیر خشک‌سالی محاسبه‌شده بر مبنای روش TOPSIS و مقایسه آن با روش‌های SIAP، PNPI، BMDI و DPI مشاهده می‌شود که همبستگی بین روش استانداردشده TOPSIS با چهار روش دیگر، به طور مشترک با $R=0.93$ از سطح معناداری بسیار بالا و قابل قبولی برخوردار است. بر مبنای شکل ۱، روش TOPSIS توانسته است روندها را با درصد انطباق بسیار زیادی در مقایسه با چهار روش دیگر محاسبه و شبیه‌سازی کند. اما همان‌طور که از ضرایب همبستگی

سال شامل یک سری زمانی ۴۸۰ ماهه است، باید خروجی این آزمون بیشتر از ± 0.06 باشد تا روند تغییرات شاخص TOPSIS برای ایستگاه مورد نظر تأیید شود. در پی تفسیر خروجی‌های این بخش ملاحظه می‌شود که در حدود ۲۸ ایستگاه که $34/14$ درصد فراوانی ایستگاه‌های سطح استان را شامل می‌شوند، روندها از حداقل سطح معناداری به مقدار ۵ درصد برخوردارند؛ حال این که از این مقدار $24/3$ درصد کل ایستگاه‌های مطالعاتی دارای روند معنادار کاهشی و $9/7$ درصد ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی و مثبت هستند. از میان ایستگاه‌های دارای روند منفی و کاهشی شاخص TOPSIS می‌توان به ایستگاه‌های دشت، نرآب، چشمه‌خان، آشوراده، تقی‌آباد و بیدک اشاره کرد و نمونه‌هایی از ایستگاه‌ها با روند مثبت شاخص TOPSIS، زرین گل، النگرده، آق قله، سیاه‌آب، قرن‌آباد، نوده و تمر هستند.

به‌طور کلی در این قسمت، بعد از پایش خشک‌سالی‌ها بر مبنای مقیاس زمانی ماه-سال، نوبت به مقیاس زمانی ماهانه استان گلستان می‌رسد که خروجی‌ها در قالب جدول ۴ ارائه شده است. ذکر این موضوع اهمیت دارد که مثبت‌بودن روند تغییرات شاخص TOPSIS در بستر زمان، نشان می‌دهد تغییرات اقلیمی ایستگاه مورد نظر به سمت شرایط مرطوب‌تر (خشک‌تر) و به عبارتی ترسالی‌ها (خشک‌سالی‌ها) گرایش پیدا کرده است و از طرف دیگر عکس این موضوع نیز صادق است. به هر حال بر مبنای جدول ۴، تعداد کل ایستگاه‌هایی که دارای روند معنادار بوده و همچنین تعداد ایستگاه‌هایی که جداگانه در سطح استان دارای روند مثبت و منفی هستند، به همراه درصد فراوانی آن‌ها آورده شده است. در ابتدا همان‌طور که از جدول ۴ ملاحظه می‌شود در فروردین حدود $4/92$ درصد ایستگاه‌های استان دارای روند معناداری هستند و آن هم به طور کامل به روند مثبت مربوط است. بنابراین هیچ روند کاهشی معناداری برای این ماه ملاحظه

از خط رگرسیون است. به گونه‌ای که به‌عنوان نمونه در ارتباط‌سنجی نتایج روش PNPI با TOPSIS، ملاحظه می‌شود که در محدوده ترسالی‌های شدید به بالا، خروجی‌های این دو روش کمی با هم تفاوت داشته‌اند. همان‌طور که از شکل ۱ برای این دو روش ملاحظه می‌شود، TOPSIS ترسالی‌های شدید به بالا را با مقادیر خروجی بزرگ‌تری در مقایسه با PNPI مشخص کرده است. همچنین در زمینه مقادیر کوچک‌تر از صفر برای شاخص TOPSIS و مقادیر کمتر از ۱۰۰ برای شاخص PNPI، باز ملاحظه می‌گردد که پراکندگی مقادیر خروجی این دو روش، بیشترین فاصله را از خط رگرسیون نشان داده و این جایی است که بیشینه تفاوت بین این دو روش ملاحظه می‌شود. از طرف دیگر در مورد سایر روش‌ها علاوه بر بیشترین اختلاف داده‌های این روش‌ها با شاخص TOPSIS که به محدوده ترسالی‌های شدید و خیلی شدید مربوط است، می‌توان این تفاوت را در مقادیر کوچک‌تر از صفر برای هر دو شاخص SIAP و TOPSIS، مقادیر کوچک‌تر از صفر برای TOPSIS و مقادیر کوچک‌تر از ۲- برای شاخص DPI و مقادیر کوچک‌تر از صفر برای TOPSIS و کوچک‌تر از $3/5$ - برای شاخص BMDI در ایستگاه چات ملاحظه کرد (شکل ۱).

۱.۳. برآورد توزیع، فراوانی و روند خشک‌سالی‌های (ترسالی‌ها) استان گلستان با استفاده از روش TOPSIS

در ادامه بعد از توضیح و اعتبارسنجی روش TOPSIS، حال نوبت به ارزیابی و پایش خشک‌سالی‌های استان گلستان از سال ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰ می‌رسد. این فرایند در قالب دو مقیاس زمانی انجام پذیرفته است که یکی شامل مقیاس زمانی سال-ماه بوده و دیگری فقط ماهانه است. بنابراین برای هر دو مقیاس با استفاده از روش آزمون ناپارامتریک منکندال روندها شناسایی شد. از آنجا که طول دوره آماری از سال ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰ به‌صورت ماه-

است. در مرداد و شهریور که ماه‌های پایانی فصل گرم سال هستند، فراوانی ایستگاه‌ها با روند معنادار به ترتیب ۵/۷۴ و ۴/۹۲ درصد بوده است. در مرداد ۲/۴۶ درصد ایستگاه‌های مطالعاتی دارای روند مثبت بوده‌اند که از تغییر اقلیم ایستگاه‌های مورد نظر به سمت شرایط مرطوب‌تر نشان دارد. از طرف دیگر در شهریورماه فقط ۰/۸۲ درصد ایستگاه‌ها با روند مثبت شاخص TOPSIS همراه بوده‌اند که در مقایسه با مرداد مقدار کمتری را نمایش می‌دهد.

نمی‌شود. اما نتایج پایش خشک‌سالی‌ها در اردیبهشت‌ماه نشان می‌دهد که ۹/۸۴ درصد تغییرات شاخص TOPSIS برای ایستگاه‌های استان دارای روند معنادار (مثبت و منفی) بوده است که از این تعداد ۱/۶۴ درصد روندها مثبت و ۸/۲۰ درصد تغییرات مربوط به روند منفی شاخص TOPSIS است. اما در خرداد و تیرماه بیشینه روند معناداری‌ها مربوط به روند کاهشی بوده که مقادیر آن به ترتیب ۶/۵۶ و ۸/۲۰ درصد است و روندهای معنادار افزایشی نیز ۱/۶۴ و ۱/۲۸ درصد محاسبه شده

جدول ۳. خروجی آزمون منکندال برای تعیین روند معناداری شاخص TOPSIS بر مبنای مقیاس زمانی ماه-سال دوره مطالعاتی ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰.

آزمون منکندال	کد ایستگاه	آزمون منکندال	کد ایستگاه	آزمون منکندال	کد ایستگاه	آزمون منکندال	کد ایستگاه
0.035	ZYARAT	-0.008	TILABAD	-0.030	PASPOSHTEH	-0.108	CHAT
0.019	GHOGMAZ	-0.024	FARSIANFARANG	-0.137	DASHT	0.048	INCHEHBRN
0.026	PARK MELI	0.004	ZRINGOL	0.089	NODEH	0.018	GHALEGIGH
0.058	FAZELABAD	-0.009	KABOODVAL	-0.075	ROODBAR	0.097	GHAZZANGHAYEH
-0.018	GHAFARHAGI	0.070	SARMOO	-0.008	ARAZKOOSEH	-0.008	MARAVEHTAPEH
-0.037	SHIRABAD	0.101	GHARMABDA	-0.068	SOLTAN ABAD	-0.050	CHAPAR GHOTMEH
-0.110	LALEH BAGH	0.010	ALANGDAREH	0.064	RAMYAN	-0.015	TORSHAKLI
0.024	SHAHKOO	-0.145	KHOSHYEYLAGH	-0.016	GHAZAGHLI	-0.050	DASHLIBRON
-0.014	GORGAN	-0.004	DRAZNO	-0.043	SADGORGAN	-0.040	HOTAN
0.111	AGHGHAALEH	0.030	KAFSHGHIRI	0.049	BAGHEH SALIAN	-0.108	FADAVI
-0.021	BANDAR-TORKAMAN	0.044	SEYAHAB	-0.039	TAGHIABAD	-0.060	AGHBAND
-0.020	CHEHEL-DOKHTAR	-0.048	BANDARTORKMAN	-0.165	KARIMISHAN	-0.117	CHAT
-0.120	DASHT	-0.045	GHARNAGH	0.040	AGHGHALA	0.047	TANGRAH
-0.006	GHAPAN	-0.058	SHIRINABD	0.039	NAHARKHORAN	-0.047	ROBAT GHAREBIL
-0.036	GOMISHAN	-0.168	ALISADR	0.073	SHASTKOLA	-0.079	CHESHMEH KHAN
0.022	KALALEH	-0.063	EDAREHKOL	0.003	GHAZ MAHALE	0.075	TAMER
0.024	MAZRAEH	-0.004	MEHTARKOLA	-0.136	BIDAK	-0.075	SAD GOLESTAN
-0.014	MINOODASHT	-0.110	ASHOORADEH	-0.050	BAGHOO	-0.020	GHOLYTAPPEH
0.023	SOODAGHLEN	0.001	PISHKAMAR	0.049	GAFAKANDEH	-0.075	NARAB
0.026	TIRTASH	0.045	KHANGAR	-0.145	DASHTSHAD	-0.060	GONBAD
-	-	-	-	-0.053	NOOMAL	-0.043	ONOGHYELGHI

جدول ۴. فراوانی کل ایستگاه‌های دارای روند مثبت و منفی معنادار (سطح مساوی و بالاتر از ۹۵ درصد) بر مبنای شاخص خشک‌سالی TOPSIS.

اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	فراوانی ها
9.84	10.66	13.94	11.48	2.46	4.10	4.92	5.74	9.84	8.20	9.84	4.92	درصد کل فراوانی ها
6.56	8.20	12.5	9.2	-	0.82	3.28	3.28	8.20	6.56	8.20	-	درصد فراوانی منفی
3.28	2.46	1.4	2.28	12.2	3.28	0.82	2.46	1.28	1.64	1.64	4.92	درصد فراوانی مثبت

جدول ۵. روند ماهانه تغییرات شاخص TOPSIS در استان گلستان با استفاده از آزمون منکندال (حداقل معناداری در سطح ۵ درصد برابر با $t=0.216$ است).

کد ایستگاه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
CHAT	-0.059	-0.241	-0.087	-0.221	-0.072	0.013	-0.056	-0.079	-0.233	-0.408	-0.297	-0.203
INCHEBRN	0.087	-0.108	-0.110	-0.046	0.026	0.156	0.228	0.174	0.110	0.013	0.051	0.097
GHALEGIGH	0.095	-0.031	-0.197	-0.133	-0.046	0.156	0.113	0.097	0.059	-0.064	-0.026	0.069
GHAZZANGHAYEH	0.233	0.054	-0.015	-0.095	0.103	-0.005	0.103	0.213	0.197	0.177	0.192	0.203
MARAVEHTAPEH	0.056	-0.151	-0.059	-0.041	0.085	-0.100	0.072	-0.036	0.041	-0.156	-0.121	0.003
CHAPAR GHOYMEH	-0.013	-0.144	-0.228	-0.033	-0.133	-0.105	0.090	-0.051	-0.079	-0.118	-0.100	-0.074
TORSHAKLI	0.077	-0.146	-0.421	-0.210	-0.197	0.031	0.051	0.079	-0.028	-0.108	-0.051	0.126
DASHLIBRON	0.008	-0.128	-0.331	-0.318	-0.151	-0.044	0.036	0.021	-0.067	-0.169	-0.077	-0.021
HOTAN	0.085	-0.113	-0.103	-0.262	0.021	-0.054	-0.095	-0.059	-0.067	-0.215	-0.051	-0.005
FADAVI	0.028	-0.110	-0.269	-0.318	0.051	0.156	0.054	0.095	0.054	0.010	-0.010	-0.013
AGHBAND	-0.036	-0.215	-0.028	-0.174	-0.103	-0.013	0.051	-0.049	-0.131	-0.185	-0.162	-0.033
CHAT	-0.085	-0.241	-0.110	-0.190	-0.159	-0.113	-0.044	-0.141	-0.233	-0.392	-0.249	-0.205
TANGRAH	0.156	0.049	-0.031	-0.072	0.113	-0.038	0.172	0.031	0.067	-0.041	0.192	0.082
ROBAT GHAREBIL	-0.079	-0.197	-0.128	-0.046	0.133	0.056	-0.008	-0.108	-0.151	-0.226	-0.090	0.036
CHESHMEH KHAN	0.000	-0.318	-0.182	-0.218	0.054	-0.056	-0.108	-0.054	-0.197	-0.251	-0.228	-0.105
TAMER	0.213	0.087	0.100	-0.003	0.028	0.028	0.151	0.154	0.154	0.005	0.097	0.097
SAD GOLESTAN	-0.062	-0.121	-0.167	-0.028	-0.028	-0.136	0.010	-0.103	-0.138	-0.218	-0.146	-0.246
GHOLYTAPEH	0.069	-0.064	-0.038	0.072	-0.010	-0.077	0.021	-0.041	-0.051	-0.151	-0.072	-0.085
NARAB	-0.036	-0.205	0.108	-0.059	0.090	-0.056	-0.121	-0.054	-0.238	-0.292	-0.179	-0.374
GONBAD	0.185	-0.049	0.087	0.067	0.095	-0.008	0.226	0.097	0.051	0.054	0.056	0.090
ONOGHYELGHI	-0.008	-0.126	0.000	-0.162	-0.018	-0.015	-0.049	-0.072	-0.208	-0.069	-0.138	-0.067
PASPOSHTEH	0.021	-0.121	0.069	0.008	-0.010	-0.051	0.054	-0.033	-0.082	-0.169	-0.182	-0.146
DASHT	-0.095	-0.364	-0.300	-0.136	0.000	-0.282	-0.069	-0.103	-0.364	-0.267	-0.323	-0.254
NODEH	0.151	-0.023	0.146	0.164	0.144	-0.033	0.197	0.208	0.162	0.051	0.087	0.156
ROODBAR	-0.121	-0.269	0.008	0.151	0.041	-0.079	-0.013	-0.074	-0.208	-0.146	-0.200	-0.223
ARAZKOOSEH	0.097	-0.113	-0.015	0.082	-0.010	0.028	0.023	-0.026	-0.082	-0.079	-0.026	-0.031
SOLTAN ABAD	0.026	-0.028	-0.146	-0.172	-0.051	-0.123	-0.054	-0.023	-0.159	-0.190	-0.141	-0.103
RAMYAN	0.097	-0.103	0.090	0.044	0.036	0.097	0.164	0.097	0.044	0.000	0.069	0.238
GHAZAGHLI	0.031	-0.108	-0.067	-0.072	-0.128	-0.295	0.059	0.069	-0.110	-0.003	0.082	0.095
SADGORGAN	0.051	-0.151	-0.085	-0.146	-0.044	0.036	0.187	0.021	-0.118	-0.097	-0.044	0.010
BAGHEH SALIAN	0.141	-0.013	0.092	0.005	0.041	0.118	0.085	0.092	-0.067	-0.023	0.069	0.131
TAGHIABAD	0.033	-0.074	-0.210	-0.169	-0.192	-0.054	0.067	-0.026	-0.059	-0.077	-0.126	-0.190
KARIMISHAN	-0.103	-0.374	-0.056	-0.097	-0.023	-0.105	-0.236	-0.146	-0.328	-0.285	-0.303	-0.413
AGHGHALA	3.103	3.103	3.103	3.103	3.103	3.103	3.103	3.103	3.103	3.103	3.103	3.103
NAHARKHORAN	0.092	0.136	0.008	0.049	-0.031	0.056	0.010	0.067	-0.046	-0.133	0.097	0.054
SHASTKOLA	0.164	0.174	0.103	-0.023	-0.044	0.033	0.103	0.133	-0.013	0.013	0.141	0.128
GHAZ MAHALE	0.154	-0.003	-0.069	0.008	-0.064	-0.144	-0.023	0.097	-0.156	-0.010	-0.036	-0.041
BIDAK	-0.085	-0.308	-0.282	-0.146	0.054	-0.154	-0.118	-0.108	-0.341	-0.364	-0.313	-0.372
BAGHOO	3.103	3.103	3.103	3.103	3.103	3.103	3.103	3.103	3.103	3.103	3.103	3.103
GAFAKANDEH	0.218	0.079	0.144	-0.008	-0.262	0.005	-0.010	0.026	-0.100	0.046	-0.015	0.079
DASHTSHAD	-0.121	-0.331	-0.241	-0.169	-0.028	-0.251	-0.092	-0.064	-0.326	-0.372	-0.287	-0.344

ادامهٔ جدول ۵.

کد ایستگاه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
NOOMAL	-0.095	-0.072	-0.069	-0.144	-0.190	-0.108	0.008	-0.023	-0.172	-0.182	0.021	-0.154
TILABAD	0.021	-0.179	0.038	-0.118	0.087	0.097	0.023	0.000	-0.218	-0.233	0.046	-0.003
FARSIANFARANG	0.054	-0.154	0.095	0.015	0.015	-0.095	0.110	-0.008	-0.079	-0.228	-0.126	-0.151
ZRINGOL	0.126	0.033	-0.028	-0.056	-0.123	-0.028	0.054	0.049	-0.064	-0.010	-0.100	0.054
KABOODVAL	0.059	-0.059	0.069	-0.038	-0.100	-0.154	0.077	0.038	-0.026	-0.067	0.005	-0.077
SARMOO	0.144	0.085	0.138	-0.044	0.000	-0.051	0.164	0.126	0.064	0.069	0.210	0.169
GHARMABDA	0.113	0.154	0.074	0.049	-0.033	0.097	0.064	0.118	0.051	0.136	0.233	0.154
Alangdareh	0.033	0.044	0.097	-0.062	-0.054	0.046	0.038	0.074	-0.064	-0.115	-0.038	-0.051
KHOSHYEYLAGH	0.018	-0.105	-0.031	-0.179	-0.031	-0.077	0.033	-0.018	-0.062	-0.195	-0.182	0.010
DRAZNO	-0.041	-0.087	0.072	-0.151	-0.121	0.095	0.095	0.026	-0.069	-0.021	0.026	-0.133
KAFSHGHIRI	0.144	0.082	0.121	-0.123	-0.210	0.103	0.087	0.154	-0.123	-0.033	0.015	0.054
SEYAHAB	0.264	0.085	0.082	-0.141	-0.203	-0.015	0.151	0.167	-0.131	0.079	0.041	-0.064
BANDARTORKMAN	0.090	-0.008	-0.103	-0.179	-0.105	-0.056	-0.079	-0.072	-0.100	-0.115	-0.213	-0.092
GHARNAGH	-0.044	-0.108	-0.149	-0.185	0.146	-0.095	0.028	-0.031	-0.064	-0.200	-0.197	-0.141
ALIABAD	-0.023	-0.085	-0.074	-0.164	0.082	-0.036	0.031	0.000	-0.049	-0.156	-0.151	0.003
SHIRINABD	0.015	-0.141	-0.003	0.079	-0.174	-0.103	-0.182	-0.033	-0.108	-0.113	-0.095	-0.126
EDAREHKOL	-0.077	-0.005	-0.023	-0.249	-0.126	-0.082	-0.038	-0.010	-0.154	-0.154	-0.156	-0.097
MEHTARKOLA	0.141	0.069	0.038	-0.077	-0.256	-0.010	0.051	0.131	-0.054	0.005	-0.049	0.031
ASHOORADEH	0.008	-0.079	-0.092	-0.005	-0.200	-0.100	-0.215	-0.203	-0.233	-0.167	-0.264	-0.213
PISHKAMAR	0.059	0.021	-0.146	-0.287	0.008	-0.079	-0.113	0.141	0.113	0.015	0.059	0.049
KHANGAR	0.136	-0.023	0.074	-0.162	-0.021	0.095	0.085	0.100	0.100	0.051	0.036	0.146
ZYARAT	0.028	0.090	0.013	0.092	0.033	0.067	0.100	0.074	-0.041	-0.023	0.079	-0.031
GHOGBAZ	0.100	0.028	0.018	-0.169	-0.015	0.077	0.182	0.095	-0.010	-0.097	0.090	0.049
PARK MELI	0.128	0.041	-0.097	-0.056	0.151	-0.162	0.210	0.028	0.097	-0.044	0.077	0.077
FAZELABAD	0.187	0.051	0.159	-0.156	0.028	-0.026	0.154	0.097	-0.015	0.021	0.079	0.195
GHAFARHAGI	0.123	-0.033	-0.054	-0.246	-0.062	0.000	-0.015	0.041	-0.028	-0.067	-0.131	-0.021
SHIRABAD	0.067	-0.064	0.067	0.041	-0.190	-0.097	-0.077	-0.015	-0.051	-0.103	-0.126	-0.026
LALEH BAGH	0.087	-0.133	0.085	-0.056	0.023	0.028	0.067	0.018	-0.049	-0.072	-0.015	0.028
SHAHKOO	-0.008	0.131	0.100	0.126	-0.049	0.074	0.021	0.110	-0.105	0.000	-0.033	-0.051
GORGAN	-0.023	0.003	-0.008	-0.154	0.062	-0.041	-0.021	0.056	-0.067	-0.023	-0.115	-0.113
AGHGHAALEH	0.269	0.108	-0.069	-0.315	0.000	0.172	0.136	0.246	0.241	0.151	0.156	0.303
BANDAR-TORKAMAN	0.144	0.031	0.054	-0.210	-0.297	0.023	-0.082	-0.041	-0.082	-0.023	-0.113	-0.092
CHEHEL-DOKHTAR	0.051	-0.156	0.021	0.033	-0.123	0.105	-0.144	-0.069	-0.067	-0.256	-0.028	-0.033
DASHT	0.013	-0.415	-0.305	-0.051	0.054	-0.097	-0.203	-0.105	-0.336	-0.336	-0.287	-0.149
GHAPAN	-0.049	-0.031	0.018	-0.151	0.274	-0.046	0.051	0.031	0.015	-0.151	-0.123	-0.067
GOMISHAN	0.133	-0.115	-0.031	-0.233	-0.185	-0.049	0.100	0.018	-0.064	-0.154	-0.141	-0.038
KALALEH	0.064	-0.010	-0.026	0.115	-0.008	0.018	0.208	0.095	-0.077	-0.072	0.092	0.028
MAZRAEH	0.197	0.010	-0.069	-0.197	0.018	0.192	0.179	0.133	0.103	0.121	0.121	0.144
MINODASHT	0.051	0.000	-0.013	0.082	-0.028	-0.121	0.033	-0.010	-0.077	-0.141	-0.051	-0.087
SOODAGHLEN	0.028	0.100	0.054	0.072	-0.087	0.097	0.031	0.118	-0.123	-0.033	-0.003	-0.033
TIRTASH	0.167	0.118	0.192	-0.033	-0.279	0.000	0.049	0.033	-0.031	-0.036	-0.051	0.049

۳.۲. پهنه‌بندی مناطق حساس به خشک‌سالی و دارای پتانسیل بالای ترسالی‌ها

در این بخش از تحقیق، مناطق حساس به خشک‌سالی و مناطق با پتانسیل‌های مختلف رخداد ترسالی در شکل‌های ۲ و ۳ نمایش داده شده است. در این قسمت، به‌عنوان نمونه برای دوره آماری سال ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰، در ابتدا برای هر ایستگاه این خروجی استخراج شد که در چند درصد از ایام دوره مطالعاتی به صورت سال-ماه خشک‌سالی‌ها (ترسالی‌ها) با محدوده طبقات مختلف رخ داده است. در گام بعدی، بعد از استخراج این ارقام برای ۸۲ ایستگاه مطالعاتی، مقادیر آن در قالب شکل‌های ۲ و ۳، به صورت پهنه‌بندی ارائه شد. پس در ادامه می‌توان به این نکته اشاره کرد که حدود ۱۳/۸۴ درصد از مساحت استان گلستان، در ۲۰ تا ۳۰ درصد از دوره زمانی ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰، خشک‌سالی‌هایی را با طبقات شدت مختلف تجربه کرده‌اند که بیشتر در نواحی جنوب و بعضاً به‌صورت لکه‌ای در نیمه‌های میانی استان پراکنده شده‌اند؛ حال آنکه بیشینه درصد خشک‌سالی‌های استان با وسعت ۵۰/۵۷ درصد از مساحت کل استان به مناطقی مربوط بوده است که بر مبنای دوره آماری مورد مطالعه، ۳۰ تا ۴۰ درصد از ایام را در خشک‌سالی به سر برده‌اند و از شکل ۲ مشاهده می‌شود که بیشتر به‌صورت لکه‌هایی پیوسته در نیمه شرقی و نیمه جنوبی استان پراکنده شده‌اند. در نهایت ۳۵/۵۸ درصد از مساحت کل استان، حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد از دوره مطالعاتی ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰ را در خشک‌سالی به سر برده‌اند که بیشتر به‌صورت لکه‌هایی پراکنده در شمال غرب، شمال شرق و میانه شرقی استان قرار دارند و حساس‌ترین مناطق به رخداد خشک‌سالی معرفی می‌گردند.

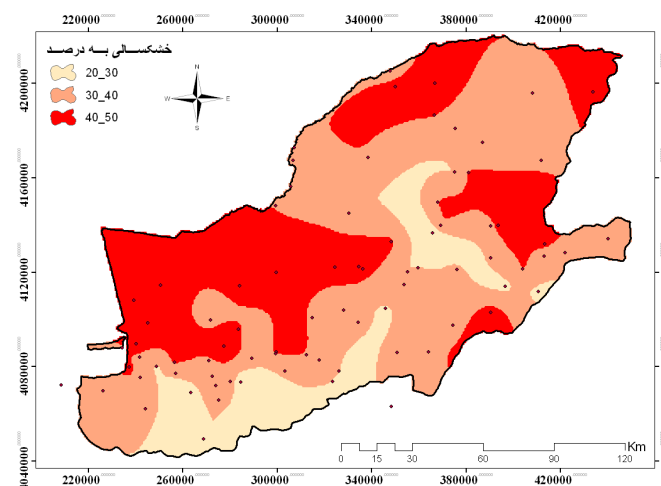
در ادامه نتایج این بخش برای ترسالی‌ها به‌گونه‌ای دیگر است. ابتدا اینکه بر مبنای جدول ۶ مشاهده می‌شود که درصد ترسالی‌های استان بر مبنای دوره ۴۱ ساله (۱۳۵۰-۱۳۹۰)، در چهار طبقه ارائه شده است.

با آغاز فصل پاییز، ملاحظه می‌شود که کل فراوانی ایستگاه‌ها با روند معنادار برای مهر، آبان و آذر به ترتیب ۴/۱۰، ۲/۴۶ و ۱۱/۴۸ درصد است. در این میان، در مهر بیشینه و در آبان تمام روند معناداری‌ها به مقدار ۳/۲۸ و ۱۲/۲ درصد مختص روند مثبت بوده، ولی در آذر بیشینه فراوانی روند معناداری‌ها با ۹/۲ درصد مربوط به گرایش منفی شاخص TOPSIS است. پس می‌توان نتیجه گرفت که روندهای غالب معناداری در دو ماه مهر و آبان به سمت ترسالی‌ها و در آذرماه به سمت خشک‌سالی‌ها گرایش داشته است. در فصل زمستان، غالب فراوانی‌های روند معنادار شاخص TOPSIS منفی هستند. به‌گونه‌ای که در دی از کل فراوانی معنادار به مقدار ۱۳/۹۴ درصد، حدود ۱۲/۵ درصد آن و در بهمن با کل فراوانی ۱۰/۶۶ درصد، حدود ۸/۲۰ درصد ایستگاه‌ها و در اسفند با کل فراوانی ۹/۸۴ درصد، حدود ۶/۵۶ درصد ایستگاه‌ها دارای روند منفی شاخص TOPSIS در بستر سری زمانی هستند. به هر حال بر مبنای نتیجه کلی این قسمت می‌توان گفت که در ۹ ماه، اردیبهشت تا شهریور و همچنین آذر تا اسفند، بیشینه فراوانی روند معناداری‌ها به روند نزولی و منفی شاخص TOPSIS در بستر سری زمانی مربوط بوده است. یعنی می‌توان نتیجه گرفت که روندها در این ۹ ماه به سوی خشک‌سالی گرایش داشته است. اما در سایر ماه‌ها تمام یا بیشینه فراوانی‌ها به روند صعودی شاخص TOPSIS متعلق است. در عین حال نکته حائز اهمیت این است که دی‌ماه با بیشینه فراوانی ۱۲/۵ درصدی با گرایش منفی شاخص TOPSIS، آسیب‌پذیرترین ماه از لحاظ رخداد خشک‌سالی‌ها معرفی می‌گردد و بعد از آن آذر قرار دارد. از طرف دیگر آبان‌ماه و بعد از آن فروردین در مقایسه با سایر ماه‌های سال تمایل بیشتری به روند افزایشی ترسالی‌ها دارند. در ادامه لازم به یادآوری است که جزئیات مربوط به روند معناداری برای هریک از ایستگاه‌ها در ماه‌های دوازده‌گانه در جدول ۵ ارائه شده است.

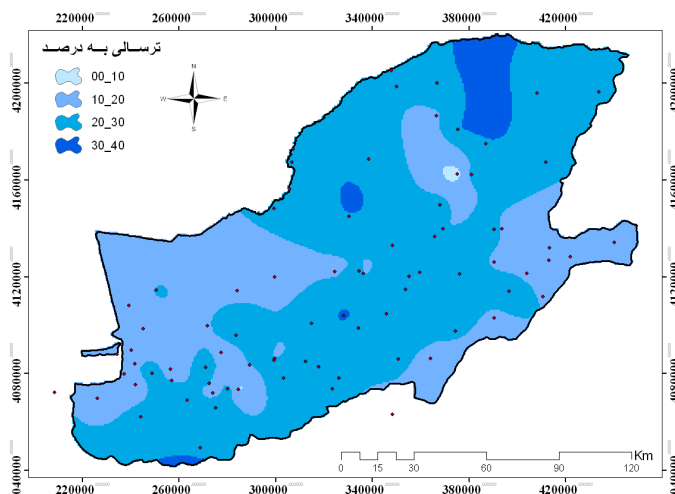
طبقه اول و دوم مربوط به مناطق و ایستگاه‌هایی است که به ترتیب با توجه به آستانه‌های صفر تا ۱۰ درصد و همچنین ۱۰ تا ۲۰ درصد، حدود ۰/۱۶ و ۳۳/۲۵ درصد از مساحت استان را به خود اختصاص داده‌اند. اما غالب‌ترین الگو مربوط به محدوده‌هایی است که ۲۰ تا ۳۰ درصد از دوره مطالعاتی را در ترسالی‌ها به سر برده‌اند و این محدوده، حدود ۶۲ درصد مساحت استان را به خود اختصاص داده است. این نواحی به صورت پهنه‌ای پیوسته از جنوب غربی به شمال شرقی استان گسترش یافته است. در نهایت ۴/۵۳ درصد از مساحت استان حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد از سری زمانی ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰ را در ترسالی‌ها با طبقات کیفی مختلف به سر برده‌اند که به صورت لکه‌هایی بسیار پراکنده و کوچک در شمال شرق، مرکز و جنوب غرب استان قرار دارند.

جدول ۶. پهنه‌بندی مناطق رخداد خشک‌سالی و ترسالی استان گلستان بر مبنای درصدهای مختلف این پدیده‌ها بر اساس دوره آماری ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰.

درصد خشک‌سالی برای دوره ۴۱ ساله (۱۳۵۰-۱۳۹۰)	درصد مساحت پوششی از کل استان
20-30	13.84
30-40	50.57
40-50	35.58
درصد ترسالی برای دوره ۴۱ ساله (۱۳۵۰-۱۳۹۰)	درصد مساحت پوششی از کل استان
0-10	0.16
10-20	33.25
20-30	62.05
30-40	4.53



شکل ۲. پهنه‌بندی مناطق حساس به خشک‌سالی بر مبنای درصدهای مختلف این پدیده بر اساس دوره آماری ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰.



شکل ۳. پهنه‌بندی مناطق رخداد ترسالی بر مبنای درصدهای مختلف وقوع این پدیده بر اساس دوره آماری ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰.

۴. نتیجه‌گیری

با توجه به مقاله حاضر، ملاحظه گردید که در این پژوهش برای اولین بار، در مقایسه با مطالعات قبلی، با وارد کردن هفت مؤلفه و شاخص اقلیمی متفاوت (حداقل و حداکثر دما، تبخیر و تعرق پتانسیل، بارش مؤثر، میانگین بارش، تعداد روزهای بارش، نسبت روزهای بارش به بارش ماهانه) در الگوریتم TOPSIS، عمل تعیین و رتبه‌بندی خشک‌سالی (ترسالی) انجام پذیرفته است. در ادامه این تحقیق جهت اعتبارسنجی خروجی، شاخص پیشنهادی TOPSIS برای ایستگاه چات با چهار شاخص خشک‌سالی مرسوم شامل PNPI، BMDI، RDI و SIAP مقایسه شد و ضریب همبستگی بین خروجی‌های TOPSIS با سایر روش‌ها در سطح ۹۹ درصد معنادار بود که این مطلب مؤید سطح اطمینان بالا از خروجی‌های TOPSIS است.

به هر حال مزیت اصلی روش TOPSIS به سایر روش‌ها در استفاده از مؤلفه‌های متعدد است. به عبارتی این روش سهم اثرگذاری مؤلفه‌های مختلف را در خشک‌سالی در نظر می‌گیرد. معمولاً در روش‌هایی که فقط از بارش استفاده می‌شود، سهم توزیع بارش در روزهای مختلف در نظر گرفته نمی‌شود. به عنوان نمونه بارندگی در یک ماه ممکن است ۴۵ میلی‌متر باشد؛ اگر این بارش طی ۲ روز یا ۹ روز اتفاق بیفتد، نقش آن در خشک‌سالی بسیار متفاوت خواهد بود و اگر همین موضوع در ارتباط با سایر مؤلفه‌ها در نظر گرفته شود، مسلماً شاخصی که از پارامترهای اثرگذار بیشتر استفاده می‌کند، در نشان دادن درجه خشک‌سالی نقش بیشتری خواهد داشت. پس به احتمال زیاد وجود برخی تفاوت‌ها در خروجی سایر روش‌ها با TOPSIS به همین دلیل است. دومین مزیت روش TOPSIS این است که شاخص‌های اقلیمی استفاده‌شده در این روش، برای بیشتر ایستگاه‌ها در دسترس است یا با محاسبه ساده تجربی به دست می‌آید، نظیر مؤلفه تبخیر و تعرق پتانسیل یا بارش مؤثر. در حالی که اگرچه روش پالمر

روش مورد اطمینان و مقبولى در جوامع علمى است، اما دسترسی به داده‌های آن از جمله رطوبت خاک برای برخی مناطق دنیا به‌سادگی امکان‌پذیر نیست. سومین مزیت روش TOPSIS این است که تمام داده‌های سری زمانی یک ایستگاه با یکدیگر مقایسه و با توجه به دو وضعیت ایده‌آل (ترسالی شدید) و ضد ایده‌آل (خشک‌سالی شدید) رتبه‌بندی می‌شوند. از دیگر مزیت‌های روش TOPSIS این است که قابلیت دارد از متغیرهای متنوع و مختلف دیگری غیر از مؤلفه‌های اقلیمی استفاده‌شده در این پروژه استفاده کند؛ همان‌طور که پیش‌تر خوش‌اخلاق و همکاران (۱۳۸۵) و روشن و همکاران (۲۰۱۲) از متغیرهای دیگری در الگوریتم TOPSIS استفاده کرده‌اند. همچنین شایان ذکر است که هیچ محدودیتی از لحاظ انتخاب روش‌های محاسباتی تبخیر و تعرق و بارش مؤثر وجود ندارد و کاربران می‌توانند به‌عنوان مثال تبخیر و تعرق را از روش پنمن به دست آورند و در معادله جایگزین کنند. به‌هر حال نتایج این روش گویای این است که خروجی TOPSIS با دیگر روش‌ها همسو است و این تعیین اعتباری برای روش پیشنهادی است. پایش خشک‌سالی‌های استان گلستان بر مبنای مقیاس زمانی ماه-سال مؤید این موضوع است که در ۳۴/۱۴ درصد فراوانی ایستگاه‌های سطح استان، روند معناداری شاخص TOPSIS ملاحظه می‌شود که از این تعداد ۲۴/۳ درصد از ایستگاه‌ها با روند منفی و کاهشی شاخص TOPSIS، مؤید تغییر ماهیت اقلیمی این ایستگاه‌ها به سمت شرایط آب و هوایی خشک‌تر بوده و ۹/۷ درصد باقیمانده ایستگاه‌ها روند مثبت شاخص TOPSIS را نشان می‌دهند. اما بر اساس مقیاس زمانی ماهانه، دی با فراوانی ۱۲/۵ درصدی ایستگاه‌های سطح استان گلستان با گرایش منفی شاخص TOPSIS، آسیب‌پذیرترین ماه از لحاظ رخداد خشک‌سالی‌ها معرفی می‌گردد و از طرف دیگر آبان‌ماه با ۱۲/۲ درصد و بعد از آن فروردین با ۴/۹۲ درصد فراوانی ایستگاه‌ها، در مقایسه با سایر

ماه‌های سال تمایل بیشتری به روند افزایشی ترسالی‌ها دارند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که ۳۵/۵۸ درصد از مساحت کل استان، حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد از دوره مطالعاتی ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰ را در خشک‌سالی به سر برده‌اند که بیشتر به صورت لکه‌هایی پراکنده در شمال غرب، شمال شرق و میانه شرقی استان قرار دارند که این مناطق حساس‌ترین پهنه‌ها به وقوع خشک‌سالی معرفی می‌گردند.

تشکر و قدردانی

شایان ذکر است که این مقاله بخشی از پروژه تحقیقاتی ملی با عنوان «بررسی و ارزیابی تغییر یا دگرگونی اقلیمی بر منابع و مصارف آب به منظور اعمال مدیریت ریسک به‌جای مدیریت بحران در شرایط واقعی و پیش‌بینی» با کد پروژه «GLW-91006» است که با حمایت مالی شرکت آب منطقه‌ای گلستان صورت گرفته است. بنابراین نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که صمیمانه از حمایت‌های مالی و معنوی شرکت آب منطقه‌ای گلستان تقدیر و تشکر کنند.

مراجع

حجازی‌زاده، ز. و جوی‌زاده، س.، ۱۳۸۹، مقدمه‌ای بر خشک‌سالی و شاخصهای آن، انتشارات سمت، تهران، ص ۳۸۵.

خوش اخلاق، ف.، حجازی‌زاده، ز.، محمدی، ح. و روشن، غ. ر.، ۱۳۸۵، رویکردی از روش TOPSIS در تعیین و رتبه‌بندی خشک‌سالی (مطالعه موردی: پهنه‌بندی خشک‌سالی چند ایستگاه استان خوزستان)، نشریه علوم جغرافیایی، ۵(۶-۷)، ۱۰۵-۱۲۷.

روشن، غ. ر. و قانقرمه، ع.، ۱۳۹۳، احتمال تاثیر تغییر اقلیم بر منحنی شدت و فراوانی بارش مؤثر در نواحی شمال غرب ایران، م. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۵۴(۲)، ۶۱-۸۴.

مرید، س. و پایمزد، ش.، ۱۳۸۶، مقایسه روش‌های

هیدرولوژیکی و هواشناسی جهت پایش روزانه خشک‌سالی: مطالعه موردی دوره خشک‌سالی ۱۳۷۸ لغایت ۱۳۸۰ استان تهران، م. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۱(۴۲)، ۳۲۵-۳۳۳.

رحیم‌زاده، ز.، محمدزاده، ح.، کاردان مقدم، ح. و هوشمند، ع. و.، ۱۳۸۸، پهنه‌بندی خشک‌سالی با شاخص SPI و CZI و استفاده از علم زمین‌آمار (مطالعه موردی استان خراسان جنوبی). نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی کرمانشاه، ۳۳۲-۳۴۰.

پیری، ح.، راهداری، و.، ملکی، س.، ۱۳۹۲، بررسی و مقایسه کارایی چهار نمایه خشک‌سالی هواشناسی در مدیریت خطر خشک‌سالی‌های استان سیستان و بلوچستان، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۳(۱۱)، ۹۶-۱۱۴.

Antuchevičienė, J., Zakarevičius, A. and Zavadskas, E. K., 2010, Multiple criteria construction management decisions considering relations between criteria, Technological and Economic Development of Economy, 1, 109-125.

Adnan, S. and Hayat Khan, A., 2009, Effective rainfall for irrigated agriculture plains of Pakistan, Pakistan Journal of Meteorology, 6, 61-72.

Carolwis, M., 1996, Natural hazards need not lead to natural disaster; EOS77, 16, 149-153.

Chen, Y., Li, K. W. and Liu, S., 2011, An OWA-TOPSIS method for multiple criteria decision analysis, Expert Systems with Applications, 38, 5205-5211.

Chang, T. J., 1989, Characteristics of stream flow drought, new directions for surface water modeling, IAHS Pub, 181, 333-341.

Chang, T. J., 1990, Effect of drought on stream flow characteristics, Journal of Irrigation and Drain Engineering, 116, 332-341.

Dracup, J. A., Lee, K. S. and Paulson, E. G., 1980a, On the definition of droughts, Water Resource Research, 16, 289-301.

Dracup, J. A., Lee, K. S. and Paulson, E. G., 1980b, On the definition of droughts, Water Resource Research, 16, 294-302.

Darvishi, A., Arkhi, S. and Ebrahimi, A., 2008, Risk and disaster management to mitigate the effects of droughts in Iran, Proceeding of the Conference on Drought in Charmahal-Bakhtiari, November 2008. Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

- Gillet, H. P. A., 1950, A creeping drought under way, water and sewage works, March, 104-105.
- Gupta, V. K. and Duckstein, L., 1975, A stochastic analysis of extreme droughts, Water Resource Research, 11, 221-228.
- Kazemi Rad, L., Ghamgosar, M. and Haghyghy, M., 2012, Multicriteria decision making based on TOPSIS method in Drought Zoning: a case study of Gilan Province, World Applied Programming, 2(2), 81-87.
- Longobardi, A. and Villani, P., 2009, Trend analysis of annual and seasonal rainfall time series in the Mediterranean area, Int. J. Climatol., DOI: 10.1002/joc.2001.
- Makra, L., Horváth, S. Z., Pongrácz, R. and Summary, J. M., 2002, Long term climate deviations: an alternative approach and application on the Palmer drought severity index in Hungary, Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 27, 1063-1071.
- Palmer, W. C., 1965, Meteorological drought, U. S. Weather Bureau, Washington, D. C. 45.
- Roshan, Gh. R., Mirkatouli, G. and Shakoar, A., 2012, A new approach to technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS) method for determining and ranking drought: a case study of Shiraz station, International Journal of the Physical Sciences, 7, 2994-3008.
- Smith, M., 1988, Manual for CROPWAT version 5.2. FAO, Rome. 45pp.
- Tannehil, I. R., 1974, Drought: Its Causes and Effects, Princeton University Press, P.264.
- Wang, T- C. and Chang, T- H., 2007, Application of TOPSIS in evaluating initial training aircraft under fuzzy environment, Expert Systems and Applications, 33, 870-880.
- Wang, Y- M. and Elhag, T. M. S., 2006, Fuzzy TOPSIS method based on alpha level sets with an application to bridge risk assessment, Expert Systems and Applications, 31, 309-319.
- Wilhite, D. A., 2000, Drought: a global assessment, Routledge Press, London and New York, Volume I.
- Yevjevich, V. M., 1967, An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts. Hydrologic Paper 23, Colorado State University, Colins, Colorado.
- Zarenistanak, M., Dhorde, A. and Kripalani, R. H., 2014, Trend analysis and change point detection of annual and seasonal precipitation and temperature series over southwest Iran, Journal of Earth System Science, 123(2), 281-295.