



لادن کاظمی راد<sup>۱</sup>

محمد غمگسار<sup>۲</sup>

مریم حقیقی<sup>۳</sup>

## کاربرد روش تصمیم گیری چند معیاره TOPSIS در پهنه بندی خشکسالی های استان گیلان

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۱/۰۲/۲۳

تاریخ دریافت مقاله: ۹۰/۰۸/۲۵

### چکیده

افزایش تقاضای آب و پیدایش تغییرات آب و هوایی باعث گردیده که در سال های اخیر به سناریوهای خشکسالی جهانی توجه بیشتری شود. خشکسالی به عنوان یک خطر طبیعی با چندین عنصر اقلیمی و هیدرولوژیک توصیف می شود و ارزیابی آن اهمیت ویژه ای جهت برنامه ریزی و مدیریت منابع آب دارد. به این منظور ضروری است که ضمن بررسی اثرات خشکسالی، به درک تاریخی از آن در منطقه پرداخته شود. در این پژوهش، از طریق روش TOPSIS تحت نرم افزار MATLAB و با استفاده از ۹ عنصر جوی تاثیرگذار بر خشکسالی، رتبه بندی خشکسالی برای دوره آماری ۱۸ ساله (۲۰۱۰-۱۹۹۳) صورت گرفته است. جهت اعتبارسنجی روش پیشنهادی، داده های خروجی آن از طریق آزمون t با خروجی روش SIAP مورد مقایسه قرار گرفته و نشان داده شده که در سطح احتمال ۹۵ درصد، ارتباط معنی داری بین این دو روش وجود دارد. در نهایت با روش درون یابی IDW و با استفاده از نرم افزار ArcGIS 9.3، عمل پهنه بندی خشکسالی محدوده مورد مطالعه، برای سه دوره مجزا انجام گرفته است. نتایج نشان می دهد که طی ۳ دوره، از وسعت شرایط نرمال از لحاظ خشکسالی کاسته شده و به شدت و وسعت خشکسالی در محدوده مورد مطالعه افزوده گردیده است.

**کلید واژه ها:** خشکسالی، پهنه بندی، TOPSIS، شاخص استاندارد بارش سالانه، گیلان.

## مقدمه

خشکسالی که به مفهوم کمبود آب نسبت به مقدار نرمال آن است، از ویژگی‌های طبیعی اقلیم بوده که به تناوب اتفاق می‌افتد، اما مشخصات آن از منطقه‌ای به منطقه دیگر متفاوت است (بوردی و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۱:۹۶۵). این پدیده به عنوان یک مخاطره زیست محیطی شناخته شده و درجه تأثیر گذاری آن در دوره‌های زمانی مختلف برای یک منطقه یکسان نمی‌باشد، به طوری که در بعضی از دوره‌ها از شدت بیشتر و در دوره‌های دیگر از شدت کم-تری برخوردار است (اولاپیدا<sup>۲</sup>، ۱۹۸۵:۶۵۵). دانشمندان علم آب و هواشناسی برای ارزیابی و پایش خشکسالی، شاخص‌های متعددی ارائه داده‌اند که هر یک از این شاخص‌ها بر اساس بکارگیری متغیرهای هواشناسی و روش‌های محاسباتی متفاوتی طراحی شده‌اند (ریچارد<sup>۳</sup>، ۲۰۰۲:۱۱۴۹). بنا به سوابق تحقیقی، به منظور شناسایی شدت و گسترش خشکسالی، عموماً شاخص‌هایی توسعه داده شده که هر کدام ورودی‌ها و شرایط استفاده خاص خود را دارا می‌باشند (میشرا و سینق<sup>۴</sup>، ۲۰۱۰:۲۰۷). پژوهش پالمر (۱۹۶۵) در خصوص خشکسالی از جمله نخستین پژوهش‌هایی است که خشکسالی را کمبود رطوبت مستمر و غیر طبیعی نسبت به شرایط طبیعی یا میانگین دراز مدت عناصر هواشناسی دانسته است. هربست و همکاران نیز در سال ۱۹۶۶ تحقیقاتی در زمینه خشکسالی هواشناسی انجام دادند که بعدها توسط موهان و رانگاپاریا در سال ۱۹۹۱ تکمیل گردید (به نقل از زارع ابیانه و محبوبی، ۱۳۸۳:۴). کریمی و همکاران (۱۳۸۰) خشکسالی هواشناسی استان فارس را با استفاده از روش اصلاح شده هربست و همکاران بررسی نمودند. بدق جمالی و همکاران (۱۳۸۱) از نمایه استاندارد شده بارش (SPI) جهت پایش خشکسالی استفاده نمودند. آن‌ها روش کرجینگ و IDW را برای درون‌یابی شدت دوره‌های خشک مناسب تشخیص دادند. به منظور پایش دوره‌های خشک، مقادیر نقطه‌ای نمایه SPI ماهانه به سطح تعمیم داده شد و نقشه‌های شدت خشکسالی در مقیاس‌های زمانی متفاوت تولید گردید. رضانی (۱۳۸۴) پدیده خشکسالی را در نواحی مرکزی گیلان با استفاده از شاخص درصد نرمال بارندگی مورد بررسی قرار داده و مشخص نموده که ایستگاه‌های

- 1- Bordi et al
- 2- Olapida
- 3- Richard
- 4- Mishra & Singh

جلگه ای در شرایط خشکسالی و ایستگاه های پای کوهی و کوهستانی در شرایط ترسالی بوده اند. جوی زاده (۱۳۸۴) با استفاده از نمایه های خشکسالی به پایش خشکسالی در استان فارس پرداخته است. حجازی زاده و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از شاخص Z نرمال و داده های بارش سالانه، فصلی و ماهانه به تجزیه و تحلیل خشکسالی ها در استان بوشهر پرداختند و مشخص نمودند که در دوره آماری مورد مطالعه، امکان وقوع خشکسالی های سالیانه، فصلی و ماهانه در مناطق مختلف استان بسیار زیاد بوده و در نتیجه میزان اعتماد به نزول بارش مناسب برای کشت دیم پایین و در اکثر سال ها، کشت دیم با مشکل بارش به موقع در طول سال مواجه می باشد. برنا و همکاران (۱۳۸۹) از ۳ شاخص معیار بارش سالانه، درصد از نرمال و ناهنجاری بارش جهت بررسی خشکسالی های استان خوزستان استفاده نمودند. هرچند برای سنجش کمی و کیفی پدیده خشکسالی تعاریف و مدل های متفاوتی ارائه شده، اما هنوز مدلی جامع و گویا که همه شرایط اقلیمی، هیدرولوژیک، کشاورزی، اجتماعی و غیره را در برگیرد و جوابگوی نیازها باشد، به معنای واقعی وجود ندارد. الگوریتم TOPSIS<sup>۱</sup> در سال های اخیر با موفقیت در حوزه های مختلف استفاده شده است. خوش اخلاق و همکاران (۱۳۸۵) با استفاده از شاخص TOPSIS و با استفاده از چهار عنصر جوی بارش، دما، نم نسبی و تعداد روزهای بارش، خشکسالی های رخ داده در استان خوزستان را تعیین نمودند و با تاکید به میانگین شش ساله هر ایستگاه، عمل پهنه بندی خشکسالی، برای هر دوره را به صورت مجزا انجام دادند. با توجه به این امر که بررسی وضعیت خشکسالی جهت تدوین طرح های مقابله با خشکسالی و مدیریت خطر آن از اهمیت زیادی برخوردار است، این روش قادر است با استفاده از عناصر اقلیمی مختلف و نگرش چند متغیره و چند بعدی به خشکسالی، عمل رتبه بندی سال های آماری یک ایستگاه را از نظر خشکسالی انجام دهد (چن و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۱: ۵۲۰۵). هدف از انجام پژوهش حاضر، تعیین و رتبه بندی خشکسالی استان گیلان با استفاده از روش فوق به عنوان مدلی است که عوامل بیشتری را در رابطه با خشکسالی دخیل نموده تا نتیجه ای نزدیک تر به واقعیت را به دست آورد.

#### مواد و روش ها

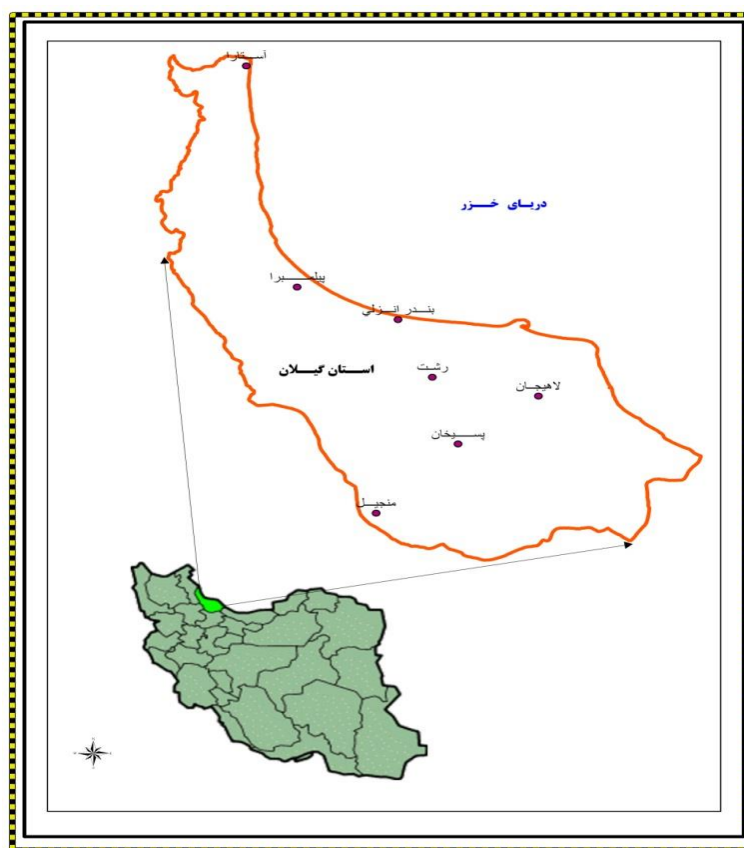
جهت انجام تحقیق، از آمار و اطلاعات هواشناسی ۵ ایستگاه سینوپتیک و ۲ ایستگاه کلیماتولوژی در داخل محدوده مطالعاتی به همراه مشاهدات و عملیات میدانی و تحلیل داده ها استفاده گردیده است. مشخصات ایستگاه های هواشناسی منتخب در جدول ۱ ارائه شده و شکل ۱ موقعیت جغرافیایی ایستگاه های مذکور را بر روی نقشه نشان داده است.

1- Technique for order performance by similarity to ideal solution

2 - Chen et al

جدول ۱- مشخصات ایستگاه های هواشناسی منتخب

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	نوع ایستگاه	ارتفاع (m)	دوره آماری
آستارا	۴۸° - ۵۲'	۳۸° - ۲۵'	سینوپتیک	-۱۸	۱۹۹۳-۲۰۱۰
انزلی	۴۹° - ۲۸'	۳۷° - ۲۸'	سینوپتیک	-۲۶/۲	۱۹۹۳-۲۰۱۰
لاهیجان	۵۰° - ۰۰'	۳۷° - ۱۱'	سینوپتیک	-۲	۱۹۹۳-۲۰۱۰
منجیل	۴۹° - ۲۴'	۳۶° - ۴۴'	سینوپتیک	۳۳۳	۱۹۹۳-۲۰۱۰
رشت	۴۹° - ۳۶'	۳۶° - ۱۵'	سینوپتیک	-۶/۹	۱۹۹۳-۲۰۱۰
پیلمبرا	۴۹° - ۰۵'	۳۷° - ۳۵'	کلیماتولوژی	-۲۰	۱۹۹۳-۲۰۱۰
پسیخان	۴۹° - ۴۲'	۳۷° - ۰۰'	کلیماتولوژی	۴۵	۱۹۹۳-۲۰۱۰



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه های مورد مطالعه

جهت تعیین و رتبه بندی خشکسالی در منطقه مورد مطالعه از روش TOPSIS و ۹ عنصر جوی موثر بر خشکسالی شامل: حداکثر مطلق دما، حداقل مطلق دما، متوسط حداکثر دما، متوسط حداقل دما، مجموع بارش سالیانه، حداکثر بارش روزانه، تعداد روزهای بارانی، حداکثر رطوبت نسبی و حداقل رطوبت نسبی استفاده گردیده است. آمار مربوط به این ۹ عنصر جوی در سال های مختلف تهیه و داده های مفقود شده با استفاده از روش رگرسیون برآورد و با

استفاده از روش ران تست، همگنی آنها بررسی شده است. سپس با استفاده از روش TOPSIS و نرم افزار MATLAB، عمل تعیین و رتبه بندی خشکسالی محدوده مورد مطالعه انجام گرفته است. جهت اعتبار سنجی روش مذکور، نتایج حاصله، با شاخص خشکسالی SIAP تطبیق داده شده و در نهایت با استفاده از روش درون یابی IDW، عمل پهنه بندی خشکسالی محدوده مورد مطالعه، برای سه دوره مجزا انجام گرفته است.

#### - مراحل انجام عملیات

- تشکیل ماتریس داده ها

ابتدا ماتریس داده ها که شامل ۹ شاخص (عناصر جوی) و ۲۰ گزینه (تعداد سال های آماری) می باشد، تهیه گردید.

$$X = (X_{ij})_{n \times m} \quad \text{رابطه (۱)}$$

- تعیین وزن مناسب هر یک از عناصر اقلیمی

همان گونه که مشخص است، سهم هر یک از عناصر جوی در میزان خشکسالی متفاوت می باشد. از این رو لازم است تا وزن هر عنصر اقلیمی به صورت مجموع یک بردار به دست آورده شود. مجموع اوزان عناصر اقلیمی در نظر گرفته شده برابر یک است.

$$\sum_{j=1}^m w_j = 1, \quad j = 1, 2, \dots, m. \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه  $m$ ، تعداد عناصر اقلیمی موثر در خشکسالی و  $w_j$ ، وزن شاخص  $j$ ام می باشد.

برای تعیین اوزان هر یک از عناصر مراحل زیر انجام شده است:

- یافتن توزیع هر عنصر اقلیمی

$$p_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r} : \forall_{i,j} \quad \text{رابطه (۳)}$$

- محاسبه آنتروپی برای بیان مقدار عدم اطمینان این توزیع

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m [p_{ij} \cdot \ln(p_{ij})] : \forall_j \quad k = \frac{1}{\ln m} \quad \text{رابطه (۴)}$$

- محاسبه عدم اطمینان یا درجه انحراف از اطلاعات ایجاد شده به ازای هر عنصر اقلیمی

$$d = 1 - E_j : \forall_j \quad \text{رابطه (۵)}$$

- محاسبه وزن عناصر اقلیمی

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d} : \forall_j \quad \text{رابطه (۶)}$$

- یکسان سازی عناصر اقلیمی

عناصر جوی در رخداد خشکسالی به صورت متفاوت عمل می کنند. از بین عناصر اقلیمی در نظر گرفته شده ۴ عنصر حداکثر مطلق دما، حداقل مطلق دما، متوسط حداکثر دما و متوسط حداقل دما باعث بروز اثرات خشکسالی می شوند و افزایش مقادیر عددی ۵ عامل دیگر یعنی مجموع بارش سالیانه، حداکثر بارش روزانه، تعداد روزهای بارانی، حداکثر رطوبت نسبی و حداقل رطوبت نسبی باعث کاهش اثرات خشکسالی می شوند. از این رو باید این روند وارون در بین عناصر موثر همسو شود. لذا در این مرحله، روند عناصر جوی یکسان سازی شده است. عناصری که کاهش آنها در وقوع خشکسالی موثر هستند به عنوان شاخص مثبت و عناصری که افزایش آنها باعث بروز خشکسالی می شوند به عنوان شاخص منفی در نظر گرفته شده است.

در شاخص‌های مثبت، بیشینه مقدار در دوره آماری مورد نظر، انتخاب و داده‌های سال‌های دیگر را بر آن تقسیم و در شاخص‌های منفی، کمینه مقدار در دوره آماری مورد نظر بر داده‌های سال‌های دیگر تقسیم گردید.

- محاسبه وزن هر یک از عناصر اقلیمی

اکنون باید اهمیت اوزان هر یک از عناصر اقلیمی در ماتریس داده‌های اقلیمی تمام سال‌ها بررسی گردد. به منظور محاسبه اوزان هر یک از عناصر اقلیمی، ماتریس داده‌های اقلیمی تمام سال‌ها در بردار عناصر اقلیمی ضرب گردید. از آنجا که ضرب مذکور قابل تعریف نمی باشد، بردار  $W$  به صورت یک ماتریس  $9 \times 9$  در نظر گرفته شده است.

$$V_{ij} = w_j r_{ij}; \quad j = 1, 2, \dots, m; \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad \text{رابطه (۷)}$$

- تعیین راه حل ایده آل مثبت ( $A^+$ ) و منفی ( $A^-$ )

در این مرحله به تعیین سال‌های ایده آل (حداکثر و حداقل) پرداخته شده است. در انتخاب سال ایده آل، این نکته قابل توجه است که این انتخاب، نسبی بوده زیرا سالی که از نظر تمام عناصر از بهترین اولویت برخوردار باشد، وجود ندارد. واضح است که در عمل، گزینه ایده آل وجود ندارد و لذا برای رتبه بندی سال‌ها از نظر خشکسالی، از حالت تقریبی نزدیک به واقعیت استفاده گردیده است.

$$A^+ = (v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+) = \left\{ \left( \max_i \{v_{ij}\} \mid j \in B \right), \left( \min_i \{v_{ij}\} \mid j \in C \right) \right\}, \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$A^- = (v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-) = \left\{ \left( \min_i \{v_{ij}\} \mid j \in B \right), \left( \max_i \{v_{ij}\} \mid j \in C \right) \right\}. \quad \text{رابطه (۹)}$$

در این رابطه:  $A^+$ ، حداکثرترین میزان شاخص های مثبت و  $A^-$ ، حداقل ترین میزان شاخص های منفی می باشد.

- تعیین معیار فاصله ای برای گزینه ایده ال ( $S_i^+$ ) و گزینه حداقل ( $S_i^-$ )

در این مرحله، فاصله هر یک از سال ها تا ایده آل مثبت و منفی به دست آمده است.

$$S_i^+ = \left\{ \sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^+)^2 \right\}^{0.5}; \quad i = 1, \dots, n, \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

$$S_i^- = \left\{ \sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^-)^2 \right\}^{0.5}; \quad i = 1, \dots, n \quad \text{(۱۱)}$$

در این رابطه:  $S_i^+$ ، فاصله سال  $i$  ام از ایده آل مثبت،  $S_i^-$ ، فاصله سال  $i$  ام از ایده آل منفی،  $j$ ، متغیر اقلیمی و  $v$ ،

ارزش عنصر اقلیمی  $i$  ام برای سال  $j$  ام می باشد.

- تعیین ضریبی که برابر است با فاصله گزینه حداقل ( $S_i^-$ ) تقسیم بر مجموع فاصله حداقل ( $S_i^-$ ) و فاصله گزینه

ایده ال ( $S_i^+$ )

$$T_i = \frac{S_i^-}{(S_i^+ + S_i^-)}; \quad i = 1, \dots, n.$$

رابطه (۱۲)

- رتبه بندی گزینه ها بر اساس میزان  $T_i$

$T_i$  برابر با یک، نشان دهنده بالاترین رتبه و  $T_i$  برابر با صفر، نشان دهنده کمترین رتبه است. هر چه ضریب  $T_i$  بیش

تر باشد گویای حالت مرطوب تر و هر چه مقدار آن کم تر باشد گویای وضعیت

خشک تر است.

## - شاخص SIAP

جهت اعتبارسنجی روش پیشنهادی، لازم است که نتایج حاصل از روش پیشنهادی با یک شاخص معتبر خشکسالی مورد مقایسه قرار گیرد. شاخص معیار بارش سالانه (SIAP) به علت کارایی بهتر نسبت به سایر شاخص‌های خشکسالی از اعتبار بیشتری برخوردار است (بذرافشان، ۱۳۸۵: ۶).

$$SIAP = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

در این رابطه:  $P_i$  بارندگی در یک سال معین ایستگاه مورد نظر،  $\bar{P}$  میانگین درازمدت بارندگی و  $SD$  انحراف معیار سری بارش می باشد.

## نتایج

در ابتدا با استفاده از روش آنروپی وزن هر یک از عناصر اقلیمی در ایستگاه‌های محدوده مورد مطالعه به صورت جدول (۲) مشخص گردیده است.

جدول ۲- اوزان عناصر اقلیمی ایستگاه‌های منتخب استان گیلان

بارش	حداکثر بارش روزانه	تعداد روز بارانی	حداکثر دما	حداقل دما	حداکثر مطلق دما	حداقل مطلق دما	حداکثر رطوبت	حداقل رطوبت
۰/۱۷۸۹	۰/۶۴۳۷	۰/۰۵۳۴	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۳۲	۰/۱۱۰۶	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۴۵
۰/۲۳۵۴	۰/۵۲۳۸	۰/۰۷۸۰	۰/۰۰۴۲	۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۵۰	۰/۱۴۵۹	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۳۵
۰/۲۸۲۷	۰/۴۷۱۰	۰/۱۱۳۲	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۶۸	۰/۰۰۶۴	۰/۰۹۴۸	۰/۰۱۱۴	۰/۰۱۲۰
۰/۳۴۴۸	۰/۴۵۵۹	۰/۱۲۵۳	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۷۵	۰/۰۴۳۵	۰/۰۰۳۰	۰/۰۱۶۷
۰/۱۲۰۴	۰/۶۳۶۲	۰/۰۵۲۶	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۲۹	۰/۱۸۲۶	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۳۰
۰/۲۷۰۸	۰/۳۹۰۵	۰/۰۴۵۹	۰/۰۰۳۷	۰/۰۰۳۸۰	۰/۰۰۲۱	۰/۲۴۲۴	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۴۳
۰/۲۰۱۵	۰/۵۲۲۱	۰/۰۸۰۰	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۳۱	۰/۱۴۸۷	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۴۱

در ادامه، پس از یکسان سازی عناصر اقلیمی، ضرب ماتریس R (ماتریس داده‌ها که شامل ۹ عنصر اقلیمی و ۲۰ سال آماری است) در بردار W (وزن هر یک از عناصر اقلیمی)، جهت محاسبه اوزان هر یک از عناصر اقلیمی صورت گرفته است. پس از مشخص کردن سال‌های ایده‌آل برای تمامی ایستگاه‌ها از طریق عبارات (۸) و (۹)، با



استفاده از عبارات (۱۰) و (۱۱)، فاصله هر یک از سال های ایستگاه های منتخب تا ایده آل مثبت و منفی به دست آمده که مقادیر آن در جدول (۳) ارائه گردیده است.

جدول ۳- مقادیر محاسبه شده  $S_i^-$  و  $S_i^+$  ایستگاه های منتخب استان گیلان

منجیل		لاهیجان		انزلی		آستارا		$S_i^-$ و $S_i^+$
$S_i^-$	$S_i^+$	$S_i^-$	$S_i^+$	$S_i^-$	$S_i^+$	$S_i^-$	$S_i^+$	
۰/۱۱۸۰	۰/۰۶۶۲	۰/۰۶۸۹	۰/۰۶۱۰	۰/۰۲۱۴	۰/۱۰۰۱	۰/۱۸۶۷	۰/۱۴۳۹	۱۹۹۳
۰/۱۶۴۷	۰/۰۱۵۷	۰/۰۹۰۳	۰/۰۳۳۷	۰/۰۱۶۳	۰/۰۹۹۴	۰/۱۱۹۵	۰/۱۶۶۹	۱۹۹۴
۰/۰۶۹۰	۰/۱۰۸۰	۰/۰۹۹۱	۰/۰۵۷۲	۰/۰۲۹۹	۰/۰۸۴۹	۰/۱۸۹۳	۰/۰۶۷۵	۱۹۹۵
۰/۰۶۵۱	۰/۱۰۸۹	۰/۰۷۱۸	۰/۰۵۳۵	۰/۰۶۲۷	۰/۰۵۳۲	۰/۱۱۹۵	۰/۱۴۱۶	۱۹۹۶
۰/۰۴۸۳	۰/۱۳۰۳	۰/۰۳۵۲	۰/۰۷۹۷	۰/۰۵۲۶	۰/۰۶۴۰	۰/۱۱۶۳	۰/۱۲۶۱	۱۹۹۷
۰/۰۵۵۶	۰/۱۱۶۹	۰/۰۶۸۶	۰/۰۵۴۹	۰/۰۷۴۶	۰/۰۴۰۶	۰/۰۳۵۶	۰/۱۱۶۵	۱۹۹۸
۰/۰۰۱۷	۰/۱۷۱۵	۰/۰۲۹۴	۰/۰۸۵۴	۰/۰۰۹۱	۰/۱۰۵۴	۰/۰۴۶۳	۰/۱۲۹۹	۱۹۹۹
۰/۰۶۱۱	۰/۱۱۱۱	۰/۰۹۸۶	۰/۰۳۰۸	۰/۰۴۰۳	۰/۰۷۸۵	۰/۰۲۴۶	۰/۰۱۰۲	۲۰۰۰
۰/۱۱۷۳	۰/۰۶۵۱	۰/۰۶۱۰	۰/۰۵۷۴	۰/۱۱۲۴	۰/۰۱۱۰	۰/۱۲۳۳	۰/۱۴۶۰	۲۰۰۱
۰/۰۴۸۱	۰/۱۲۷۰	۰/۰۸۷۶	۰/۰۴۲۷	۰/۰۰۶۱	۰/۱۱۲۹	۰/۰۴۸۲	۰/۱۴۲۲	۲۰۰۲
۰/۰۸۸۱	۰/۰۹۱۷	۰/۰۶۰۷	۰/۰۵۴۲	۰/۰۲۵۰	۰/۰۹۴۵	۰/۰۶۴۰	۰/۱۷۷۳	۲۰۰۳
۰/۰۸۴۱	۰/۰۹۵۱	۰/۰۳۵۴	۰/۱۰۱۸	۰/۰۷۰۵	۰/۰۴۶۳	۰/۰۷۴۶	۰/۰۹۷۴	۲۰۰۴
۰/۰۶۳۰	۰/۱۱۱۰	۰/۰۶۲۵	۰/۰۵۴۵	۰/۰۱۱۷	۰/۱۰۸۳	۰/۰۶۰۲	۰/۱۸۶۷	۲۰۰۵
۰/۰۴۱۳	۰/۱۳۵۰	۰/۰۴۰۱	۰/۰۷۷۱	۰/۰۵۰۸	۰/۰۶۵۷	۰/۱۸۹۰	۰/۱۱۹۵	۲۰۰۶
۰/۰۸۷۳	۰/۰۸۷۹	۰/۰۴۳۵	۰/۰۷۲۴	۰/۰۴۲۲	۰/۰۷۳۵	۰/۰۴۵۵	۰/۱۸۹۳	۲۰۰۷
۰/۰۴۰۲	۰/۱۳۴۴	۰/۰۵۰۷	۰/۰۶۸۴	۰/۰۳۰۱	۰/۰۹۴۵	۰/۰۴۸۰	۰/۱۱۹۵	۲۰۰۸
۰/۰۵۷۳	۰/۱۲۳۶	۰/۰۲۴۲	۰/۰۹۲۵	۰/۰۳۶۱	۰/۰۷۸۴	۰/۰۱۶۱	۰/۱۱۶۳	۲۰۰۹
۰/۱۲۳۲	۰/۰۵۱۰	۰/۰۴۶۴	۰/۰۷۷۱	۰/۰۱۹۵	۰/۰۹۵۲	۰/۰۹۲۹	۰/۰۳۵۶	۲۰۱۰

ادامه جدول ۳- مقادیر محاسبه شده  $S_i^-$  و  $S_i^+$  ایستگاه های منتخب استان گیلان

پسیخان		پیلمرا		رشت		$S_i^-$ و $S_i^+$
$S_i^-$	$S_i^+$	$S_i^-$	$S_i^+$	$S_i^-$	$S_i^+$	
۰/۰۸۳۹	۰/۰۷۸۸	۰/۱۱۴۰	۰/۰۳۷۷	۰/۰۸۴۳	۰/۱۳۵۵	۱۹۹۳
۰/۰۸۱۴	۰/۰۷۴۵	۰/۰۵۱۰	۰/۰۸۷۳	۰/۰۸۸۸	۰/۱۲۸۳	۱۹۹۴
۰/۰۶۰۶	۰/۰۹۷۹	۰/۱۰۴۰	۰/۰۶۰۸	۰/۲۱۲۲	۰/۰۳۷۶	۱۹۹۵
۰/۰۲۸۶	۰/۱۳۳۳	۰/۰۶۳۶	۰/۰۷۶۰	۰/۰۱۲۰	۰/۲۱۴۶	۱۹۹۶
۰/۰۶۵۵	۰/۰۹۰۳	۰/۰۷۵۱	۰/۰۶۲۹	۰/۰۴۷۶	۰/۱۶۹۶	۱۹۹۷
۰/۱۴۰۰	۰/۰۲۰۹	۰/۰۶۳۶	۰/۰۷۴۹	۰/۰۲۵۶	۰/۱۹۵۲	۱۹۹۸
۰/۰۸۵۸	۰/۰۷۱۷	۰/۰۴۵۸	۰/۰۹۵۴	۰/۰۱۲۶	۰/۲۰۵۵	۱۹۹۹
۰/۰۷۰۰	۰/۰۸۵۸	۰/۰۱۶۹	۰/۱۲۴۳	۰/۰۳۳۹	۰/۱۸۵۲	۲۰۰۰
۰/۰۶۷۰	۰/۰۹۰۸	۰/۰۹۷۲	۰/۰۶۵۴	۰/۱۸۲۲	۰/۰۳۷۱	۲۰۰۱
۰/۰۴۱۲	۰/۱۱۴۶	۰/۰۶۵۶	۰/۰۹۰۱	۰/۰۲۲۹	۰/۱۹۴۶	۲۰۰۲
۰/۰۲۲۴	۰/۱۵۰۹	۰/۰۵۰۸	۰/۰۸۹۴	۰/۰۲۵۰	۰/۱۹۵۱	۲۰۰۳
۰/۱۵۰۶	۰/۰۲۸۰	۰/۰۵۶۷	۰/۰۸۶۱	۰/۰۵۰۰	۰/۱۶۸۶	۲۰۰۴
۰/۰۱۵۷	۰/۱۴۲۶	۰/۰۳۶۴	۰/۱۰۳۷	۰/۱۴۵۹	۰/۰۷۱۸	۲۰۰۵
۰/۰۵۳۳	۰/۱۰۳۸	۰/۰۳۱۴	۰/۱۰۶۳	۰/۱۳۹۰	۰/۰۷۹۷	۲۰۰۶
۰/۰۱۱۶	۰/۱۴۷۴	۰/۰۱۴۰	۰/۱۲۷۲	۰/۰۴۹۸	۰/۱۶۷۲	۲۰۰۷
۰/۰۵۵۶	۰/۱۰۶۷	۰/۰۱۹۵	۰/۱۲۶۸	۰/۱۰۱۵	۰/۱۱۸۹	۲۰۰۸
۰/۱۵۱۸	۰/۰۱۶۱	۰/۰۱۸۵	۰/۱۲۳۱	۰/۰۵۷۱	۰/۱۵۹۸	۲۰۰۹
۰/۰۰۶۱	۰/۱۵۳۹	۰/۰۰۸۹	۰/۱۲۹۹	۰/۰۰۴۴	۰/۲۱۲۷	۲۰۱۰

بعد از محاسبه فاصله هر یک از سال‌های ایستگاه های منتخب تا ایده آل مثبت و منفی، مقادیر ضریب  $T_i$  با توجه به عبارت (۱۲) در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۴- مقادیر محاسبه شده  $T_i$  برای سال های مختلف ایستگاه های منتخب استان گیلان

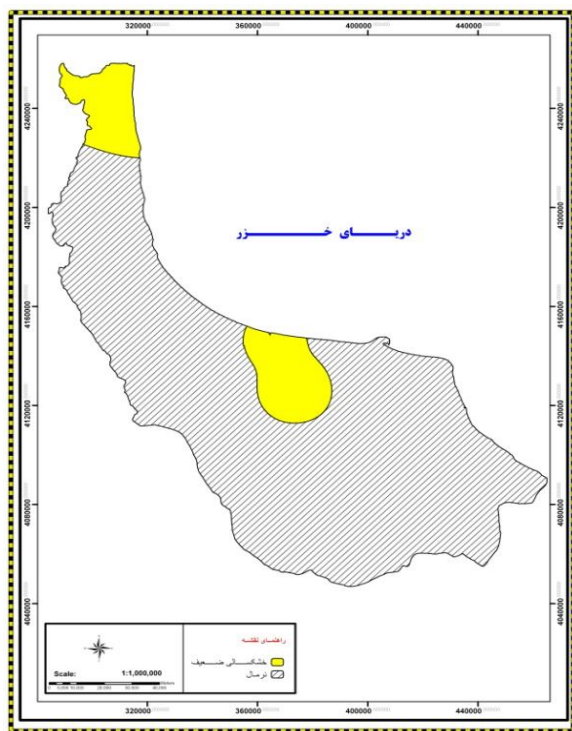
پسیخان	پیلیمرا	رشت	منجیل	لاهیجان	انزلی	آستارا	
۰/۵۱۵۶	۰/۷۵۱۶	۰/۳۸۳۵	۰/۶۴۰۴	۰/۵۳۰۴	۰/۱۷۶۰	۰/۲۴۳۵	۱۹۹۳
۰/۵۲۲۱	۰/۳۶۸۸	۰/۴۰۹۱	۰/۹۱۳۲	۰/۷۲۸۰	۰/۱۴۱۲	۰/۱۲۸۳	۱۹۹۴
۰/۳۸۲۵	۰/۶۳۱۰	۰/۸۴۹۵	۰/۳۸۹۹	۰/۶۳۳۸	۰/۲۶۰۲	۰/۶۴۶۲	۱۹۹۵
۰/۱۷۶۹	۰/۴۵۵۸	۰/۰۵۲۸	۰/۳۷۴۳	۰/۵۷۳۱	۰/۵۴۰۹	۰/۲۵۴۰	۱۹۹۶
۰/۴۲۰۳	۰/۵۴۴۲	۰/۲۱۹۲	۰/۲۷۰۴	۰/۳۰۶۴	۰/۴۵۱۳	۰/۳۳۶۷	۱۹۹۷
۰/۸۷۰۱	۰/۴۵۹۰	۰/۱۱۵۸	۰/۳۲۲۲	۰/۵۵۵۳	۰/۶۴۷۳	۰/۳۹۰۳	۱۹۹۸
۰/۵۴۴۹	۰/۳۲۴۵	۰/۰۵۷۶	۰/۰۱۰۰	۰/۲۵۶۰	۰/۰۷۹۱	۰/۳۱۶۸	۱۹۹۹
۰/۴۴۹۴	۰/۱۲۰۰	۰/۱۵۴۷	۰/۳۵۴۸	۰/۷۶۱۸	۰/۳۳۹۳	۰/۹۴۸۹	۲۰۰۰
۰/۴۲۴۷	۰/۵۹۷۸	۰/۸۳۰۷	۰/۶۴۳۲	۰/۵۱۵۲	۰/۹۱۱۰	۰/۲۳۷۷	۲۰۰۱
۰/۲۶۶۴	۰/۴۲۱۲	۰/۱۰۵۲	۰/۲۷۴۷	۰/۶۷۱۹	۰/۰۵۱۱	۰/۲۵۲۴	۲۰۰۲
۰/۱۲۹۴	۰/۳۶۲۳	۰/۱۱۳۶	۰/۴۸۹۹	۰/۵۲۸۱	۰/۲۰۹۱	۰/۰۸۳۱	۲۰۰۳
۰/۸۴۳۳	۰/۳۹۷۱	۰/۲۲۸۹	۰/۴۶۹۳	۰/۲۵۸۳	۰/۶۰۳۵	۰/۴۸۸۳	۲۰۰۴
۰/۰۹۹۴	۰/۲۵۹۹	۰/۶۷۰۴	۰/۳۶۲۱	۰/۵۳۴۳	۰/۰۹۷۸	۰/۰۲۸۲	۲۰۰۵
۰/۳۳۹۳	۰/۲۲۸۰	۰/۶۳۵۶	۰/۲۳۴۵	۰/۳۴۲۴	۰/۴۳۶۰	۰/۳۶۹۸	۲۰۰۶
۰/۰۷۲۸	۰/۰۹۸۹	۰/۲۲۹۶	۰/۴۹۸۳	۰/۳۷۵۱	۰/۳۶۵۰	۰/۰۱۹۴	۲۰۰۷
۰/۳۴۲۵	۰/۱۳۳۵	۰/۴۶۰۳	۰/۲۳۰۱	۰/۴۲۵۹	۰/۲۴۱۴	۰/۳۷۳۸	۲۰۰۸
۰/۹۰۴۴	۰/۱۳۰۳	۰/۲۶۳۳	۰/۳۱۶۶	۰/۲۰۷۲	۰/۳۱۵۵	۰/۳۸۶۹	۲۰۰۹
۰/۰۳۸۳	۰/۰۶۴۱	۰/۰۲۰۲	۰/۷۰۷۰	۰/۳۷۵۹	۰/۱۷۰۲	۰/۸۱۸۲	۲۰۱۰

### بحث و نتیجه گیری

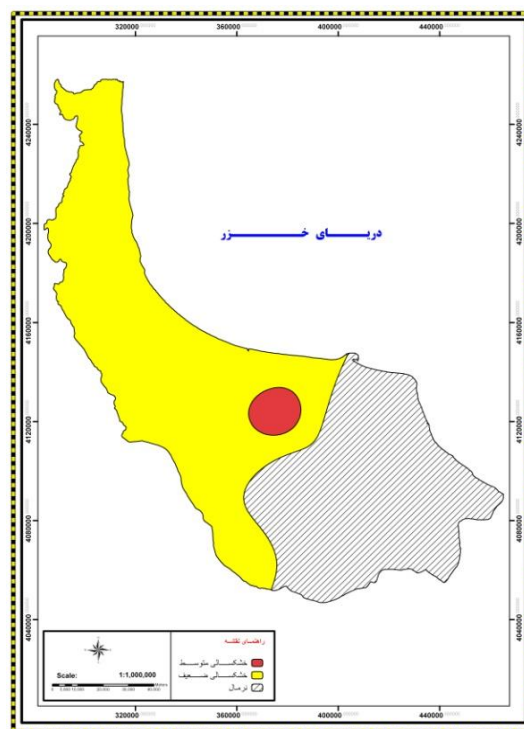
تحقیق حاضر طی سه مرحله انجام پذیرفته است. در مرحله اول با روش TOPSIS و با استفاده از ۹ عنصر جوی موثر در خشکسالی، به تعیین و رتبه بندی خشکسالی در استان گیلان پرداخته شد و ضریب  $T_i$  ایستگاه های منتخب استان گیلان برای دوره آماری ۱۸ ساله محاسبه گردید. از آنجا که این روش نسبت به روش های رایج، از عناصر آب و هوایی بیشتری استفاده نموده، قادر است عمل رتبه بندی را با دقت بیشتری انجام دهد. در تحقیق حاضر سعی بر این بوده تا با بکارگیری عناصر جوی بیشتر که به طور مستقیم و غیر مستقیم بر خشکسالی اثر می گذارند، دقت روش فوق افزایش پیدا نماید.

با توجه به اینکه در بین شاخص های مبتنی بر بارش، شاخص استاندارد بارش سالانه یکی از پرکاربردترین شاخص های بررسی خشکسالی هواشناسی در جهان و ایران می باشد، در مرحله دوم از شاخص معتبر خشکسالی SIAP جهت ارزیابی رویکرد پیشنهادی استفاده گردید. برای این منظور، با استفاده از نرم افزار SPSS و از طریق آزمون t، نتایج حاصل شده از روش TOPSIS با شاخص SIAP تطبیق داده شد و مقایسه نتایج نشان دادند که در سطح احتمال ۹۵ درصد، ارتباط معنی داری بین این دو روش وجود دارد. از آنجا که در روش پیشنهادی از عناصر جوی بیشتری استفاده گردیده، این روش نسبت به روش SIAP که شاخص معتبری جهت شناسایی وضعیت خشکسالی است و همچنین روش های ساده تر پیشین که صرفاً از یک یا دو متغیر استفاده کرده اند، برتری دارد و می توان ادعان داشت که در صورت دقت کافی در محاسبات مربوطه، روش پیشنهادی نسبت به روش SIAP دارای مزیت های بیشتری است. همچنین این روش قادر است بعد از تعیین خشکسالی (ترسالی)، با استفاده از عناصر اقلیمی مختلف و نگرش چند متغیره به خشکسالی، عمل رتبه بندی سال های آماری یک ایستگاه را از نظر خشکسالی انجام دهد.

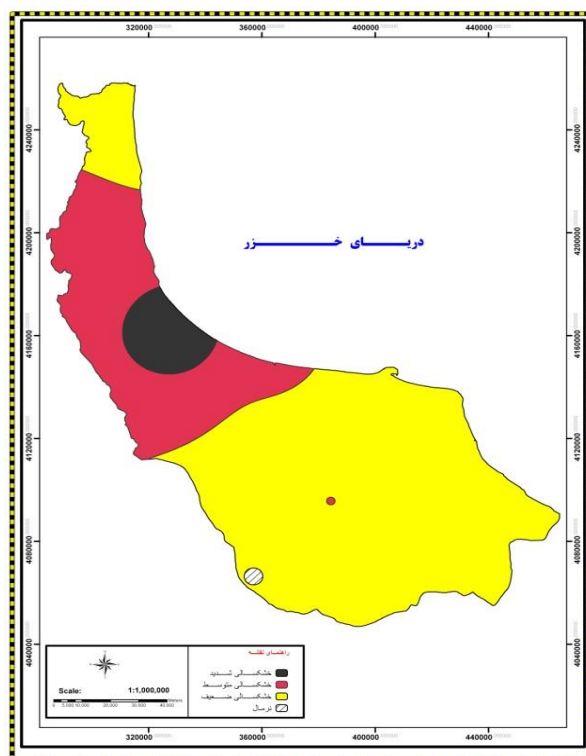
در نهایت و در مرحله سوم، با روش درون یابی IDW و با استفاده از نرم افزار ArcGIS 9.3، عمل پهنه بندی خشکسالی محدوده مورد مطالعه، برای سه دوره مجزا انجام گرفته است (شکل ۲ و ۳ و ۴). همان طور که در شکل های ۲ تا ۴ نشان داده شده، طی ۳ دوره، از وسعت شرایط نرمال از لحاظ خشکسالی کاسته شده و به شدت و وسعت خشکسالی در محدوده مورد مطالعه افزوده گردیده است. ضمناً نتایج حاصل از مطالعات میدانی در استان گیلان، به عنوان نمونه مطالعاتی، نشان می دهد که روش TOPSIS به عنوان روشی ارزشمند و کارآمد از تکنیک های تصمیم گیری های چند شاخصه، به خوبی توانسته است شرایط خشکسالی در منطقه مطالعاتی را تبیین کند، به طوری که یافته های حاصل از مطالعات میدانی و نیز مشاهدات عینی به خوبی با واقعیت های موجود منطبق بوده است.



شکل ۳: نقشه پهنه بندی خشکسالی میانگین دوره دوم



شکل ۲: نقشه پهنه بندی خشکسالی میانگین دوره اول



شکل ۴: نقشه پهنه بندی خشکسالی میانگین دوره سوم

## منابع

- بداق جمالی، ج؛ جوان مرد، س؛ شیر محمدی، ر (۱۳۸۱)، «پایش و پهنه بندی وضعیت خشکسالی استان خراسان با استفاده از نمایه استاندارد شده بارش»، *فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات جغرافیایی*، شماره ۴، صص ۲۱-۴.
- بذرافشان، ا (۱۳۸۵)، «مدیریت و پهنه بندی خطر خشکسالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد SPI»، *دومین کنفرانس بین المللی جامع بحران در حوادث غیرمترقبه طبیعی*، بهمن ماه، شرکت کیفیت ترویج، تهران، صص ۱۰-۱.
- برنا، ر؛ عظیمی، ف؛ سعیدی دهکی، ن (۱۳۸۹)، «مقایسه شاخص های SIAP، PN و RAI در بررسی خشکسالی های استان خوزستان با تاکید بر ایستگاه های آبادان و دزفول»، *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، شماره ۹، صص ۷۷-۸۸.
- جوی زاده، س (۱۳۸۴)، «پایش خشکسالی در استان فارس با استفاده از نمایه های خشکسالی، داده های RS و GIS»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده هنر، دانشگاه تربیت مدرس.
- حجازی زاده، ز؛ جوی زاده، س؛ موسوی، م (۱۳۸۹)، «بررسی سیر خشکسالی اقلیمی و اثرات آن بر کشت گندم در استان بوشهر»، *فصلنامه علمی پژوهشی انجمن جغرافیای ایران*، شماره ۲۴، صص ۲۷-۴۴.
- خوش اخلاق، ف؛ حجازی زاده، ز؛ محمدی، ح؛ روشن، غ (۱۳۸۵)، «رویکردی از روش TOPSIS در تعیین و رتبه بندی خشکسالی (مطالعه موردی: پهنه بندی خشکسالی چند ایستگاه استان خوزستان)»، *نشریه علوم جغرافیایی*، شماره ۶ و ۷، صص ۱۰۵-۱۲۷.
- رضانی، ب (۱۳۸۴)، «بررسی پدیده خشکسالی با استفاده از شاخص درصد نرمال بارندگی در نواحی مرکزی گیلان»، *فصلنامه بیابان*، شماره ۲، صص ۲۴۹-۴۳۰.
- زارع ابیانه، ح؛ محبوبی، ع (۱۳۸۳)، «بررسی وضعیت خشکسالی و روند آن در منطقه همدان بر اساس شاخص های آماری خشکسالی»، *فصلنامه پژوهش و سازندگی*، شماره ۶۴، صص ۲-۷.
- کریمی، و؛ کامکار حقیقی، ع؛ سپاسخواه، ع؛ خلیلی، د (۱۳۸۰)، «بررسی خشکسالی های هواشناسی در استان فارس»، *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، شماره ۴، صص ۱۰-۱.
- Bordi, I., Frigio, S., Parenti, P., Speranza, A., Sutera, A., (2001), "The analysis of the standardized precipitation index in the Mediterranean area: large-scale patterns". *Ann.Geophys*, 44: 965-978.
- Chen, Y., Li, K W., Liu, S., (2011), "An OWA-TOPSIS method for multiple criteria decision analysis", *Expert Systems with Applications*, 38: 5205-5211.

- Mishra A.K., Singh V.P., (2010), "A review of drought concepts". *Journal of Hydrology*, 39: 202–216.
- Olapida, E.O., (1985), "A comparative Performance Analysis of Three Meteorological Drought Indices". *Journal of Climatology*, 5: 655-664.
- Palmer, W.C., (1965), "Meteorologic Drought". US Department of Commerce, *Weather Bureau, Research Paper* 24:45-58.
- Richard, R. H., (2002), "A Review of The twentieth Century Drought Indices Used in the United States", *American Meteorological Society*, 37:1149-1156.