

رویکردی از روش $TOPSIS^1$ ، در تعیین و رتبه‌بندی خشکسالی (مطالعه موردی: پهنه‌بندی خشکسالی چند ایستگاه استان خوزستان)

فرامرز خوش‌اخلاق، استادیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
زهرا حجازی‌زاده، دانشیار دانشگاه تربیت معلم
حسین محمدی، دانشیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
غلامرضا روشن، کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه تهران

چکیده:

در این پژوهش با استفاده از شاخص $TOPSIS$ ، و با استفاده از چهار عنصرجوی بارش، دما، نم نسبی و تعداد روزهای بارش، خشکسالی‌های رخ داده در چند ایستگاه همدیدی استان خوزستان، برای دوره آماری ۱۸ ساله (۲۰۰۳-۱۹۸۶) تعیین و رتبه‌بندی و نهایتاً پهنه‌بندی شده است. در روش $TOPSIS$ ، برای رتبه‌بندی دقیق‌تر، از عناصر آب و هوایی بیشتری نسبت به روش‌های معمول رایج وبانگرش سازوکاری و برهمکنشی (سیستماتیک)، استفاده می‌شود. در نهایت جهت اعتبارسنجی روش پیشنهادی، داده‌های خروجی آن با خروجی روش⁵ SIAP برای تعداد زیادی از ایستگاه‌های کشور مورد مقایسه قرار گرفته که نتایج حاصله گویای اعتبار کافی روش $TOPSIS$ می‌باشد، به طوری که همبستگی خروجی‌های مذکور برای ایستگاه‌های استان خوزستان، مقداری بالا $r = 9/$ را نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: خشکسالی آب و هوایی، روش $TOPSIS$ ، روش SIAP،

رتبه‌بندی، استان خوزستان

1 -Technique for order-preference by similarity to ideal solution Standard Index of Annul Precipitation

مقدمه:

خشکسالی به عنوان یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی، در شکل کمبود بارش و افزایش دما، بازده فعالیت‌های بشر را در زمینه‌های گوناگون اجتماعی-اقتصادی و فرهنگی با رکود حتی مواجه می‌نماید. تفاوت بارزی بین خشکی و خشکسالی وجود دارد. خشکی، ویژگی در منطقه است که عدم کفایت مقدار بارندگی که دائمی است. در مقابل، خشکسالی ویژگی موقتی هواشناسی یک منطقه به شمار رفته و صرفاً هنگامی که مقدار بارندگی زیر نرمال باشد اتفاق می‌افتد (NDMC, 1995). درجه تاثیرگذاری، رخداد خشکسالی در دوره‌های زمانی مختلف برای یک منطقه خاص یکسان نمی‌باشد. به طوری که در بعضی از دوره‌ها از شدت بیشتر و در دوره‌های دیگر، از شدت کمتری برخوردار است. بنابراین، با تعیین و رتبه‌بندی خشکسالی برای یک دوره آماری برای یک ایستگاه می‌توان، نوسانات آب و هوایی ایستگاه هواشناسی موردنظر را برای سال‌های مختلف شناسایی نمود (الاپیدا: ۱۹۸۵). به طوری که، اگر شاخص‌های محاسبه شده دارای روند کاهشی (افزایشی) باشد، این وضعیت نشان‌دهنده گرایش، به سوی آب و هوای گرم و خشک (سرد و مرطوب) می‌باشد. در تلاش برای تعریف دقیق و ارزیابی خشکسالی، نمایه‌ها و مدل‌های متنوعی ارائه گردیده است. به عنوان مثال می‌توان از شاخص خشکسالی بالم^۱ و مولی^۲ (BMDI) نام برد. این شاخص به صورت $Mi = (p_i - \bar{p}) \times 100 / sd$ ارائه گردیده است. در این شاخص از مقدار بارش و انحراف معیار آن، استفاده شده است (بالم، مولی: ۱۹۸۰). از دیگر روش‌های

1 - Bahlme

2- Mooley

3 - Bahime and Mooley Drought Index

محاسبه خشکسالی می‌توان به روش درصد بارش نرمال^۱ (PNPI) اشاره نمود. در این روش نیز، متغیر اصلی بارش می‌باشد (مسکی، دویسکن و کلیست : ۱۹۹۳). در ادامه می‌توان از روش نمایه بارندگی استاندارد شده (SPI) نام برد.^۲ SPI، صرفاً از داده‌های بارندگی ماهانه استفاده می‌نماید و برای تشخیص کمبود بارش در مقیاس‌های زمانی چندگانه (۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماه) طراحی شده است (بی‌یان : ۱۹۹۸). الگوریتم Topsis با استفاده از پارامترهای اقلیمی مختلف و نگرش چندمتغیره و چندبعدی به خشکسالی، عمل رتبه‌بندی سال‌های آماری یک ایستگاه را از نظر خشکسالی انجام می‌دهد. همان‌گونه که مشخص است، هر سیستم از یکسری اجزاء (سال‌ها) تشکیل شده، که این اجزاء با یکدیگر در ارتباط بوده و بر هم تاثیر می‌گذارند و با توجه به این برهمکنش بین اجزاء است که رتبه خشکسالی هر سال محاسبه می‌شود. روش Topsis از جمله رویکردهای جبرانی در دسته‌بندی مدل‌های چندمعیاره می‌باشد. مدل‌های جبرانی، مدل‌هایی هستند که در آنها ضعف (کمبود) در یک شاخص، با قوت (فزون)، در شاخص دیگر قابل جبران است، به عبارت دیگر شاخص‌ها با هم همبستگی دارند. روش (Topsis) برای اولین بار در جنگ جهانی دوم برای رتبه‌بندی در اولویت دادن به انهدام اهداف دشمن مورد استفاده قرار گرفت. از جمله مهم‌ترین کارهای انجام گرفته در زمینه رتبه‌بندی کردن، می‌توان به بحث تحلیل پوششی داده‌ها اشاره نمود که این بحث به موضوع رساله دکتری رادس^۳ با راهنمایی آقای کوپر^۴ برمی‌گردد، که در آن عملکرد مدارس دولتی ایالات متحده آمریکا را مورد ارزیابی قرار داد. این

1- Percent of Normal Precipitation Index

2 - Standardized Precipitation Index

3- Rhodes

4- Cooper

مطالعه منجر به چاپ اولین مقاله درباره معرفی تحلیل پوششی داده‌ها در ۱۹۸۷ گردید. این روش که عمدتاً به عنوان یک روش اندازه‌گیری کارایی^۱ در جهان شناخته شده است در حین اندازه‌گیری کارایی، نوع بازده نسبت به مقیاس^۲ را نیز ارایه می‌نماید (بانکر، موری-۱۹۸۶: ۵۱۵). هدف از انجام پژوهش حاضر این است، که آیا می‌توان از روش TOPSIS علاوه بر کاربردهای قبلی آن در زمینه‌های نظامی و نیز در کاربرد جدید آن در زمینه‌های مهندسی سیستم‌های اقتصادی-اجتماعی، در زمینه تعیین و رتبه‌بندی خشکسالی نیز استفاده نمود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش با استفاده از روش Topsis، عمل تعیین و رتبه‌بندی خشکسالی انجام شده است. سال با علامت A_i مشخص گردیده و شاخص‌ها که به عنوان پارامترهای آب و هوایی مشخص می‌شوند، با استفاده از علامت R_i نشان داده شده است. در این روش از چهار پارامتر جوی یک ایستگاه در سال‌های مختلف، استفاده می‌شود، که عبارتند از، بارش، دما، رطوبت نسبی و تعداد روزهای بارش که به صورت زیر نشان داده شده‌اند:

$$R_1 = \text{میانگین دمای سالانه}$$

$$R_2 = \text{درصد رطوبت نسبی}$$

$$R_3 = \text{تعداد روزهای بارانی}$$

$$R_4 = \text{مجموع بارش سالانه}$$

1- Efficiency

2- Return to scale

۱- مراحل محاسبات و تعیین اوزان فراسنج‌ها:

همان‌گونه که مشخص است، سهم، هریک از پارامترهای جوی در میزان خشکسالی متفاوت بوده، و از این‌رو لازم است تا وزن هر یک از عناصر در میزان خشکسالی معین شود، پس وزن هریک از شاخص‌ها به صورت مجموع یک بردار $W = (w_1, w_2, \dots, w_4)$ بدست خواهد آمد، که در آن W_i وزن شاخص i ام بوده، به طوری که حاصل جمع W_1 تا W_4 برابر با عدد یک است که بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$W_1 + \dots + W_4 = 1$$

$$\sum_{i=1}^4 w_i = 1$$

در ادامه برای تعیین اوزان هریک از پارامترها می‌توان از روش‌های زیر استفاده نمود:

الف- روش آنتروبی

آنتروبی یک مفهوم عمده در علوم فیزیک، علوم اجتماعی، و تئوری اطلاعات می‌باشد، به طوری که نشان‌دهنده مقدار عدم‌اطمینان موجود از محتوای موردانتظار اطلاعاتی از یک پیام است. به بیان دیگر، آنتروبی در تئوری اطلاعات، معیاری است برای مقدار عدم‌اطمینان بیان شده توسط یک توزیع احتمال گسسته (p_i) به طوری که این عدم‌اطمینان، در صورت پخش بودن توزیع، بیشتر از زمانی است که توزیع فراوانی تیزتر (متراکم‌تر) باشد. این عدم‌اطمینان به صورت ذیل تشریح می‌شود (ابتدا ارزشی با نماد E محاسبه می‌شود):

عبارت (۱)

در عبارت (۱) k ثابتی مثبت است که برای تامین $0 \leq E \leq 1$ می‌باشد.

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

عبارت (۲)

$$\left\{ \frac{1}{n} \ln \frac{1}{n} + \frac{1}{n} \ln \frac{1}{n} + \dots + \frac{1}{n} \ln \frac{1}{n} \right\} = -k \left\{ \left(\ln \frac{1}{n} \right) \left(\frac{n}{n} \right) \right\} = -k \ln \frac{1}{n}$$

$$-k \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i = -k$$

یک ماتریس تصمیم‌گیری حاوی اطلاعاتی است که آنتروپی می‌تواند به عنوان معیاری برای ارزیابی آن بکار رود. یک ماتریس تصمیم‌گیری بصورت زیر در نظر گرفته می‌شود (اینگ، و دیگران - ۲۰۰۰):

	R_1	R_2	R_3	R_4
A_1	r_{11}	r_{12}	r_{13}	r_{14}
A_2	r_{21}	r_{22}	r_{23}	r_{24}
\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot
\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot
\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot
A_m	r_{m1}	r_{m2}	r_{m3}	r_{m4}

محتوی اطلاعاتی موجود از این ماتریس ابتدا به صورت (p_{ij}) و به شکل زیر محاسبه می‌شود.

عبارت (۳)

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

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

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

$$k = \frac{1}{\ln m} \quad \text{به طوری که است.}$$

اینک عدم اطمینان یا درجه اطمینان (d_j) از اطلاعات ایجاد شده به ازای شاخص J ام بدین قرار است:

$$d_j = 1 - E_j: \forall j \quad \text{عبارت (۵)}$$

و سرانجام برای اوزان (w_j) از شاخص‌های موجود چنین خواهد بود:

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j}: \forall j \quad \text{عبارت (۶)}$$

ب) تعیین اوزان توسط کارشناس

در این مرحله پس از بررسی و تحلیل داده‌های اقلیمی تعداد زیادی از ایستگاه‌های هواشناسی در سطح کشور، با توجه به خروجی روش آنتروپی برای هر ایستگاه، و همبستگی آن با نوع آب و هوای آن ایستگاه با روش دمارتن، ضرایب اوزان هر یک از پارامترها بصورت زیر تعدیل گردیده است:

جدول (۱): وزن دهی پارامترهای اقلیمی ایستگاه‌ها با توجه به روش دمارتن

نوع اقلیم	دما	رطوبت	مقدار بارش	تعداد روزهای بارش
خشک	/۱۸	/۲	/۳	/۲۵
نیمه خشک	/۱۵	/۱۷	/۳۴	/۳۰
مدیترانه ای	/۱۳	/۱۴	/۳۷	/۳۵
مرطوب	/۱	/۱	/۴	/۴
خیلی مرطوب	/۰۸	/۰۸	/۴۳	/۴۳

ج- روش تلفیقی

در این روش، اوزان ارائه شده توسط کارشناس (λ_j) بعنوان اهمیت نسبی برای شاخص j ام، با استفاده از رابطه w_j محاسبه شده از طریق آنتروپی به صورت اوزان زیر تعدیل شده است (هوان- جی شیر-۲۰۰۶):

$$w'_j = \frac{\lambda_j \cdot w_j}{\sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot w_j} : \forall j \quad (7) \quad \text{عبارت (۷)}$$

وزن تعدیل شده $w'_j =$

در ادامه، پس از محاسبه اوزان هر یک از پارامترها، با بکارگیری هر یک از روش‌های فوق‌الذکر، برای تعداد زیادی از ایستگاه‌های هواشناسی کشور، در نهایت روش تلفیقی به عنوان بهترین روش برای وزن دهی پارامترها معرفی می‌شود.

۲- مرحله ضرب ماتریس در بردار

اکنون باید اهمیت اوزان هر یک از شاخص‌ها (پارامترهای اقلیمی) را در ماتریس R (داده‌های اقلیمی تمام سال‌ها) بررسی شود، که برای این منظور، جهت محاسبه اوزان هر یک از پارامترهای اقلیمی، باید ماتریس R را در بردار W

ضرب نموده، اما از آنجا که ضرب مذکور قابل تعریف نمی‌باشد، بنابراین برای این عمل، بردار W را بصورت یک ماتریس 4×4 در نظر گرفته می‌شود که بصورت زیر نمایش داده شده است:

$$v = R_{23 \times 4} \times W_{4 \times 4} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{231} & \dots & \dots & r_{234} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} W_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & W_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & W_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & W_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & v_{13} & v_{14} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{231} & v_{232} & v_{233} & v_{234} \end{bmatrix} \quad \text{عبارت (۸)}$$

در رابطه بالا R همان ماتریس اولیه بوده، و W یک ماتریس قطری می‌باشد، که عناصر روی قطر اصلی آن، همان بردار w می‌باشد که به شکل رابطه زیر نشان داده می‌شود:

$$w = (w_1 + \dots + w_4)$$

۳- یکسان‌سازی کارآیی تاثیر فراسنج‌های آب و هوایی

از نظر کارآیی، عناصر جوی در رخداد خشکسالی متفاوت عمل می‌نمایند. به عنوان مثال عنصر دما نسبت به بارش، رطوبت نسبی و تعداد روزهای بارش در رابطه با پدیده خشکسالی عملکرد وارونه دارد. به طوری که مقادیر دمایی بالا در مقابل مقادیر اندک بارش، رطوبت و تعداد روزهای بارش، باعث افزایش شدت خشکسالی می‌شوند، به عبارت دیگر هر چه میزان بارش کمتر و مقدار دما بیشتر باشد، احتمال وقوع خشکسالی و یا تشدید آن افزایش پیدا می‌کند. از این‌رو باید

این روند وارون در بین عناصر موثر همسو شود. لذا در این مرحله باید تاثیر روند پارامترهای جوی را یکسان سازی کرد. بدین ترتیب پارامترهایی که کاهش آنها در وقوع خشکسالی موثر است به عنوان شاخص مثبت و پارامترهایی که افزایش آنها در رخداد خشکسالی موثر است، به عنوان شاخص منفی در نظر گرفته می‌شوند.

الف) شاخص‌های مثبت: در هر کدام از ۳ پارامترهای اقلیمی بارش، تعداد روزهای بارش و رطوبت نسبی که روند افزایشی آنها در بروز دوره‌های مرطوب (ترسالی) موثر است، بیشینه مقدار در دوره آماری موردنظر انتخاب نموده و داده‌های سال‌های دیگر بر آن تقسیم می‌شود. که در این صورت جواب حاصله در سالی که بیشینه مقدار داده را داراست، عدد یک خواهد بود. در اینجا ذکر این نکته لازم است، که شاخص‌های مثبت شامل بارش، رطوبت و تعداد روزهای بارش می‌باشد. بالاترین ضرائب مثبت با F_1 نشان داده می‌شود. در اینجا لازم به توضیح است، که جهت محاسبه F_1 ها، از داده‌های ماتریس v (ضرایب حاصل از داده‌های اقلیمی و اوزان آنها) استفاده می‌شود (شین شیاری و استندلی-۲۰۰۶):

$$F_1 = R_{i,j} / R_{i,j}^{MAX} \quad \text{عبارت (۹)}$$

نسبت مقدار هر شاخص مثبت به بالاترین میزان همان شاخص مثبت $F_1 =$

$R_{i,j} =$ مقدار هر شاخص مثبت برای هر سال i ام

$R_{i,j}^{MAX} =$ بالاترین مقدار هر شاخص مثبت

ب) شاخص منفی: آندسته از پارامترهای اقلیمی که افزایش آنها در وقوع خشکسالی موثر است، داده کمینه، در بین داده‌های دوره آماری انتخاب شده و بر داده‌های سال‌های دیگر تقسیم می‌شود. بنابراین بالاترین مقدار داده محاسبه شده، شامل سالی می‌شود که پایین‌ترین مقدار را دارا است. در اینجا قابل ذکر است، که شاخص منفی در این روش، عنصر دما می‌باشد. در این مرحله نیز، برای

محاسبه F_2 ، همانند F_1 ها، از داده‌های منتج شده از ماتریس v (ضرایب حاصل از داده‌های اقلیمی و اوزان آنها) استفاده شده است. بنابراین، این نکته روشن است، بدین ترتیب مقادیر شاخص منفی مشخص شده، و در روابط جایگزین می‌شوند (ونگ و الهاگ-۲۰۰۶):

$$R_{ij}^{min} / R_{ij} = F_2 \quad (10) \quad \text{عبارت}$$

نسبت پایین‌ترین مقدار شاخص منفی به داده‌های، هر شاخص منفی $F_2 =$

پایین‌ترین مقدار هر شاخص منفی برای سال کمینه $R_{ij}^{Min} =$

مقدار هر شاخص منفی برای هر سال معین $R_{ij} =$

در این قسمت لازم است که سال‌های ایده‌آل حداکثر که با (عدد ۱) و ایده‌آل حداقل (نزدیک‌ترین عدد به صفر)، شناسایی شده تا دیگر سال‌ها بر اساس این سال‌های مبنا رتبه‌بندی شوند. برای این منظور باید مرحله ۴ انجام شود. ۴- در این مرحله به تعیین سال‌های ایده‌آل (حداکثر و حداقل) پرداخته می‌شود که با علامت A^* نمایش داده شده و به صورت زیر تعریف می‌شود (اصغریور-۲۶۰:۱۳۷۷):

$$A^* \cong (I_1, I_2, \dots, I_4) \quad I_I^* = \max_I (\min) r_{ij}$$

$A^* =$ گزینه ایده‌آل (سال)

$I =$ پارامترهای اقلیمی

در رابطه با انتخاب سال ایده‌آل این نکته قابل توجه است، که این انتخابی نسبی می‌باشد، زیرا سالی وجود ندارد که در تمام پارامترها از بهترین اولویت برخوردار باشد بنابراین در معرفی این سال از علامت تقریباً مساوی (\cong) استفاده شده

است. واضح است که گزینه ایده‌آل در عمل وجود ندارد لذا برای رتبه‌بندی سال‌ها از نظر خشکسالی در حالت تقریبی نزدیک به واقعیت به صورت زیر عمل می‌شود: نمایش داده شده به صورت زیر تعریف می‌شود:

ابتدا ۲ دو نقطه ایده‌آل حداکثر و حداقل که با \bar{A} و A^+ مشخص می‌گردند به صورت زیر بدست می‌آید.

$$A^+ = \max_i (\min_j v_{ij}) = (v_1^+, \dots, v_4^+)$$

$$A^- = \min_i (\max_j v_{ij}) = (v_1^-, \dots, v_4^-).$$

در اینجا A^+ و \bar{A} ، به ترتیب معرف حداکثرترین و حداقلترین میزان شاخص‌های مثبت و منفی برای یک دوره آماری می‌باشد.

۵- محاسبه فاصله داده‌ها از مقادیر ایده‌آل

حال فاصله هر یک از سال‌ها را تا ایده‌آل مثبت و منفی بدست آورده، که برای این منظور از مراحل زیر استفاده می‌شود: (شونیان و دیگران-۲۰۰۶):

$$d_i^+ = \sqrt{\left[\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2 \right]} \quad \text{عبارت (۱۱)}$$

$$d_i^- = \sqrt{\left[\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2 \right]} \quad \text{عبارت (۱۲)}$$

ام از ایده‌آل مثبت i فاصله سال d_i^+

ام از ایده‌آل منفی i فاصله سال d_i^-

j = متغیر اقلیمی

ام i برای سال j ارزش پارامتر اقلیمی v

در مرحله پایانی، بعد از محاسبه d_i^+ و d_i^- برای هر سال، در نهایت جهت محاسبه خشکسالی و رتبه‌بندی آن برای هر سال، نسبت به نقاط ایده‌آل مثبت و منفی، از عبارت زیر استفاده می‌شود (بانکر-۱۹۸۸):

$$cl_i = d_i^- / (d_i^+ + d_i^-) \quad (۱۳) \quad \text{عبارت}$$

cl_i شاخص رتبه بندی =

لازم به توضیح است، که هر چه ضریب cl بیشتر باشد گویای حالت مرطوب و هر چه مقدار آن کمتر باشد گویای وضعیت خشک‌تر می‌باشد.

بحث و نتایج:

پس از مشخص نمودن نوع اقلیم ایستگاه‌های مورد مطالعه (استان خوزستان) با استفاده از طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن (تمام ایستگاه‌های منتخب)، در محدوده (خشک) قرار می‌گیرند، و اعمال نمودن روش تلفیقی (ترکیب ضریب کارشناس با ضریب روش آنتروپی) اوزان مربوطه برای هریک از ایستگاه‌های منتخب در منطقه (استان خوزستان) در جدول (۲) ارائه شده است:

جدول (۲): تعیین اوزان پارامترهای ایستگاه‌های منتخب استان خوزستان با استفاده از روش تلفیقی

پارامترها ایستگاه	رطوبت	دما	تعداد روزهای بارش	بارش
امیدیه	۱۸/	۱۴/	۲۵/	۴۳/
امیدیه آغاچاری	۱۷/	۱۵/	۲۸/	۴۰/
اهواز	۱۵/	۱۳/	۲۱/	۵۰/
بستان	۱۴/	۱۲/	۲۲/	۵۲/
بندر ماهشهر	۱۵/	۱۳/	۲۳/	۴۸/
رامهرمز	۱۷/	۱۵/	۲۶/	۴۳/
مسجد سلیمان	۱۷/	۱۴/	۲۶/	۴۳/

در ادامه، پس از ضرب ماتریس R در بردار W ، برای مقادیر اقلیمی تمام ایستگاه‌های مربوطه، و در دنباله، اعمال عبارت‌های (۹) و (۱۰) در مورد شاخص‌های مثبت و منفی و پس از آن مشخص نمودن سال‌های ایده‌آل برای تمامی ایستگاه‌ها، فاصله هریک از سال‌های ایستگاه‌های منتخب را تا ایده‌آل مثبت و منفی با استفاده از عبارت (۱۱) و (۱۲) بدست آورده، که مقادیر d_I^+ و d_I^- محاسبه شده برای این ایستگاه‌ها در جدول (۳) ارائه گردیده است.

جدول (۳): مقادیر محاسبه شده d_I^+ و d_I^- برای ایستگاه‌های منتخب استان خوزستان

ایستگاه‌ها سال‌ها	امیدیه آغاچاری		امیدیه		اهواز		بستان		بندرماهشهر		رامهرمز		مسجدسلیمان	
	d_I^+	d_I^-	d_I^+	d_I^-	d_I^+	d_I^-	d_I^+	d_I^-	d_I^+	d_I^-	d_I^+	d_I^-	d_I^+	d_I^-
1986	0.5	0.6	0.7	0.2	0.6	0.3	0.4	0.6	0.5	0.5	0.3	0.6	0.7	0.3
1987	0.2	0.3	0.2	0.6	0.4	0.5	0.4	0.7	0.4	0.6	0.3	0.6	0.4	0.6
1988	0.2	0.3	0.2	0.5	0.4	0.6	0.4	0.6	0.4	0.7	0.4	0.4	0.3	0.6
1989	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.6	0.2	0.7	0.5	0.6	0.5	0.4	0.2	0.7
1990	0.1	0.1	0.0	0.9	0.1	0.8	0.1	1.0	0.0	1.0	0.0	0.8	0.1	0.8
1991	0.4	0.6	0.5	0.2	0.8	0.1	0.9	0.1	0.8	0.2	0.6	0.2	0.5	0.4
1992	0.4	0.5	0.2	0.5	0.6	0.4	0.7	0.3	0.7	0.3	0.5	0.4	0.8	0.2
1993	0.3	0.4	0.1	0.6	0.5	0.5	0.6	0.3	0.6	0.4	0.7	0.3	0.7	0.2
1994	0.5	0.7	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.9	0.2	0.4	0.4	0.7	0.2
1995	0.5	0.6	0.1	0.7	0.2	0.9	0.3	0.8	0.5	0.5	0.2	0.7	0.3	0.7
1996	0.5	0.6	0.4	0.3	0.5	0.4	0.6	0.4	0.7	0.4	0.7	0.2	0.6	0.3
1997	0.6	0.7	0.5	0.2	0.9	0.2	0.7	0.3	0.9	0.1	0.7	0.3	0.5	0.4
1998	0.3	0.4	0.2	0.5	0.2	0.7	0.3	0.7	0.4	0.5	0.2	0.7	0.3	0.7
1999	0.6	0.7	0.6	0.3	0.4	0.6	0.3	0.7	0.8	0.2	0.5	0.4	0.4	0.6
2000	0.2	0.3	0.1	0.7	0.4	0.6	0.4	0.6	0.4	0.6	0.3	0.6	0.2	0.7
2001	0.2	0.3	0.0	0.7	0.3	0.6	0.2	0.7	0.5	0.5	0.2	0.6	0.3	0.6
2002	0.6	0.7	0.3	0.4	0.3	0.7	0.4	0.8	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.5
2003	0.3	0.3	0.1	0.7	0.3	0.6	0.3	0.6	0.5	0.7	0.2	0.8	0.3	0.7

اکنون بعد از محاسبه فاصله هریک از سال‌ها مقادیر از ایده‌آل مثبت و منفی برای ایستگاه‌های منتخب، ضریب cl با توجه به عبارت (۱۳) برای هر سال محاسبه گردیده، که نتایج آن در جدول (۴) دیده می‌شود.

جدول (۴): ضرایب محاسبه شده cl برای سال‌های مختلف ایستگاه‌های منتخب

ایستگاه‌ها سال	آغاچاری	امیدیه	اهواز	بستان	بندر ماهشهر	رامهرمز	مسجد سلیمان
1986	0.6	0.8	0.7	0.4	0.5	0.3	0.7
1987	0.3	0.2	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4
1988	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.3
1989	0.3	0.5	0.4	0.2	0.5	0.6	0.2
1990	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1
1991	0.6	0.7	0.8	0.9	0.8	0.7	0.6
1992	0.5	0.3	0.6	0.7	0.7	0.6	0.8
1993	0.4	0.2	0.5	0.7	0.6	0.7	0.8
1994	0.7	0.5	0.4	0.5	0.8	0.5	0.7
1995	0.6	0.1	0.1	0.3	0.5	0.3	0.3
1996	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.8	0.7
1997	0.7	0.7	0.8	0.7	0.9	0.7	0.6
1998	0.4	0.3	0.2	0.3	0.4	0.2	0.3
1999	0.7	0.6	0.4	0.3	0.8	0.6	0.4
2000	0.3	0.1	0.4	0.4	0.4	0.3	0.2
2001	0.3	0.1	0.4	0.2	0.5	0.3	0.3
2002	0.7	0.4	0.3	0.3	0.5	0.6	0.4
2003	0.3	0.1	0.3	0.3	0.4	0.2	0.3

۱- تعیین اعتبار رویکرد پیشنهادی

در این بخش، به اعتبارسنجی رویکرد پیشنهادی پرداخته خواهد شد. بدین منظور نتایج حاصله از روش TOPSIS، با شاخص معتبر خشکسالی SIAP تطبیق داده شده است. علت انتخاب شاخص SIAP، وجود کارایی بهتر این شاخص نسبت به شاخص‌های (EPI1, SPI, BMDI, RAI2, DpI3, PNPI) در

¹ – Effective Precipitation Index

² – Rainfall Anomaly Index

³ – Deciles of Precipitation Index

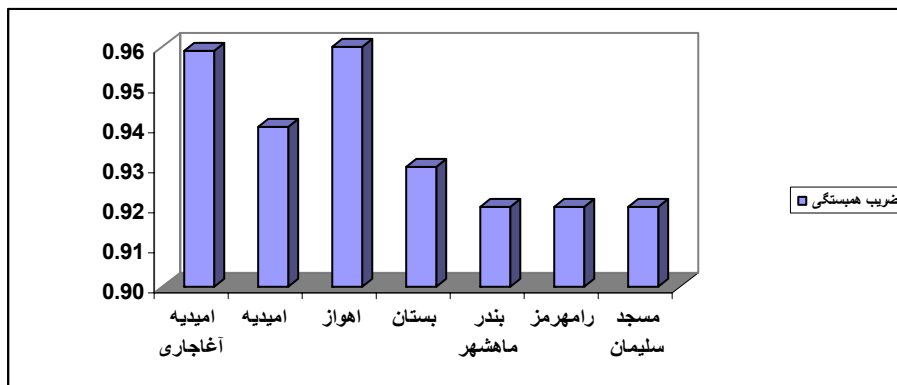
محاسبه خشکسالی هواشناسی برای تعدادی از ایستگاه‌های هواشناسی ایران بوده است (خلیلی و بذرافشان: ۱۳۸۲). در این قسمت به اختصار شاخص موردنظر توضیح داده می‌شود:

الف) شاخص معیار بارش سالانه (SIAP)

گیبیس و ماهر (۱۹۶۷) عبارتی را برای شناسایی خشکسالی و شدت آن به شرح زیر ارائه کرده‌اند:

$$SIAP = \frac{(P_i - \bar{P})}{SD} \quad \text{عبارت (۱۴)}$$

در این فرمول P_i بارش در یک سال معین، \bar{P} میانگین درازمدت بارش و SD انحراف معیار بارش می‌باشد. محدوده‌های این روش در جدول (۵) ارائه شده است. بعد از آشنایی نسبی با روش SIAP، نتایج حاصل از این روش و روش پیشنهادی این پژوهش برای ایستگاه‌های منتخب استان خوزستان، مورد مقایسه قرار گرفت، که مقادیر همبستگی قوی ($r=0.9$) برای داده‌ها حاصل گردید (شکل ۱).



شکل (۱): مقادیر ضریب همبستگی بین، شاخص SIAP و روش TOPSIS برای ایستگاه‌های منتخب

لازم به توضیح است که پس از محاسبه نتایج رویکرد پیشنهادی TOPSIS برای تعداد زیادی از ایستگاه‌های کشور، و مقایسه این نتایج با روش SIAP، بطور میانگین، برای ایستگاه‌های مذکور ضریب همبستگی نسبتاً قوی ($r=0.7$) بدست آمد، که این وضعیت اعتبار نتایج حاصل شده از روش TOPSIS را تایید می‌کند.

ب) معرفی طبقه‌بندی خشکسالی / ترسالی با روش TOPSIS

با توجه به ضریب همبستگی بالای نتایج حاصل شده از روش Topsis با SIAP و با استفاده از درون‌یابی بین ضرایب این دو روش، محدوده‌های خشکسالی / ترسالی باروش پیشنهادی به شرح جدول (۵) معرفی گردیده می‌گردد.

جدول (۵): محدوده‌های خشکسالی / ترسالی با شاخص‌های SIAP و TOPSIS

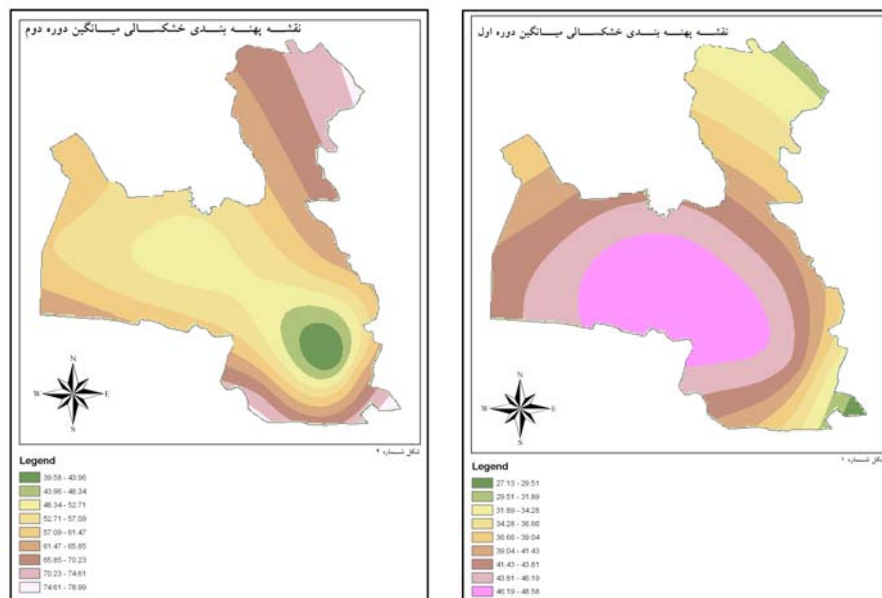
طبقات شدت خشکسالی	نمایه معیار بارندگی سالانه (SIAP)	TOPSIS
ترسالی بسیار شدید	بیش از ۱/۲۸	بیش از ۱/۹۱
ترسالی شدید	۱/۲۸ تا ۱/۸۴	۱/۷۷ تا ۱/۹۱
ترسالی متوسط	۱/۸۴ تا ۱/۵۲	۱/۶۶ تا ۱/۷۶
ترسالی ضعیف	۱/۵۲ تا ۱/۲۵	۱/۵۷ تا ۱/۶۵
نرمال	+۰/۲۵ تا -۰/۲۵	۱/۴ تا ۱/۵۶
خشکسالی ضعیف	-۰/۲۵ تا -۰/۵۲	۱/۳۱ تا ۱/۳۹
خشکسالی متوسط	-۰/۵۲ تا -۰/۸۴	۱/۲۱ تا ۱/۳۰
خشکسالی شدید	-۰/۸۴ تا -۰/۱/۲۸	۱/۲۱ تا ۱/۰۶
خشکسالی بسیار شدید	کمتر از -۱/۲۸	کمتر از ۱/۰۶

ج) پهنه‌بندی خشکسالی با توجه به روش پیشنهادی (TOPSIS)

در این قسمت، دوره‌های آماری، با توجه به داده‌های ۱۸ ساله (۲۰۰۳-۱۹۸۶)، به سه دوره شش‌ساله تقسیم و در ادامه با تاکید به میانگین شش ساله هر ایستگاه، عمل پهنه‌بندی خشکسالی، برای هر سه دوره بصورت مجزا انجام گرفته است (جدول ۶). در ادامه برای سهولت کار پهنه‌بندی، ضرایب حاصل از جدول (۵) را در عدد ۱۰۰ ضرب گردیده، تابا استفاده از ارقام بزرگتر عمل پهنه‌بندی بهتر انجام شود.

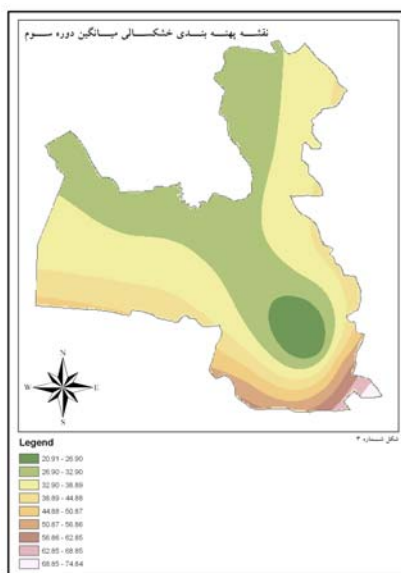
جدول (۶): میانگین سه دوره شش‌ساله، برای ضریب TOPSIS در ایستگاه‌های استان خوزستان

ایستگاه‌ها دوره‌ها	مسجد سلیمان	رامهرمز	بندر ماهشهر	بستان	اهواز	امیدیه آغاچاری	امیدیه
میانگین دوره اول	۱۳۸	۱۴۳	۱۴۳	۱۴۰	۱۴۸	۱۴۲	۱۳۶
میانگین دوره دوم	۱۶۵	۱۵۹	۱۷۰	۱۵۸	۱۵۱	۱۴۲	۱۵۷
میانگین دوره سوم	۱۳۲	۱۳۶	۱۵۱	۱۳۳	۱۳۴	۱۲۶	۱۴۶



شکل (۳): نقشه پهنه‌بندی خشکسالی میانگین دوره دوم

شکل (۲): نقشه پهنه‌بندی خشکسالی میانگین دوره اول



شکل (۴): نقشه پهنه‌بندی خشکسالی میانگین دوره سوم

نتیجه‌گیری:

- ۱- در روش پیشنهادی از ۴ عنصر جوی بارش، دما، رطوبت نسبی و تعداد روزهای بارش، در تعیین و رتبه‌بندی خشکسالی استفاده می‌شود و از این‌رو این روش، نسبت به روش‌های ساده‌تر پیشین، که صرفاً از یک یا دو متغیر استفاده می‌کنند، برتری دارد.
- ۲- در این روش علاوه بر توجه غیرمستقیم به میانگین، به مقادیر فرین^۱ نیز توجه ویژه‌ای می‌شود.
- ۳- در روش Topsis، ارتباط سیستماتیک بین مقادیر جوی سال‌های مختلف در تعیین و رتبه‌بندی خشکسالی یا (ترسالی) به عنوان یکی از ارکان موثر این روش تلقی می‌شود، که در روش‌های سنتی داده‌های هر سال به طور مجزا در نظر گرفته می‌شود.
- ۴- یکی دیگر از کاربردهای مضاعف این روش بعد از تعیین خشکسالی (ترسالی)، رتبه‌بندی آن نیز می‌باشد.
- ۵- با وجودی که برای اعتبارسنجی روش پیشنهادی از روش معتبر SIAP استفاده شده است. ولی با توجه به موارد فوق‌الذکر می‌توان اذعان داشت که در صورت دقت کافی در محاسبات مربوطه روش پیشنهادی نسبت به، روش SIAP دارای مزیت‌های بیشتری است.
- ۶- پس از محاسبه میانگین ضریب cl ، با توجه به سه دوره ۶ ساله، برای ایستگاه‌های منتخب خوزستان، این نتایج بدست می‌آید، که دوره‌های اول و سوم دارای ضریب پایین‌تری نسبت به دوره دوم می‌باشد. لذا احتمال می‌رود

¹ - Extreme

که دوره چهارم با افزایش در ضریب cl ، گرایش نوسانات آب و هوایی به سوی شرایط مرطوب‌تر (ترسالی) باشد.

پیشنهادات:

در پایان پیشنهاد می‌گردد، که کاربران و متخصصان هواشناسی، آب و هواشناسی و دیگر رشته‌های وابسته، در زمینه‌های دیگر، کاربرد روش TOPSIS در خشکسالی، با استفاده از پارامترهای جدیدتر و مناسب‌تر (برای مثال میزان آبدهی برای خشکسالی هیدرولوژیکی و میزان عملکرد محصولات زراعی برای خشکسالی کشاورزی) اقدام نمایند .

منابع

- ۱- اصغرپور، محمدجواد، تصمیم‌گیری چندمعیاره، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوم، ۱۳۷۷، ص ۲۶۰
- ۲- اصغرپور، محمدجواد، تصمیم‌گیری گروهی و نظریه بازی‌ها با نگرش تحقیق در عملیات، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۲، ص ۸۹.
- ۳- سالنامه آماری هواشناسی، آمار سال ۲۰۰۳-۱۹۸۰ میلادی
- ۴- خلیلی علی، بذرافشان جواد، ارزیابی کارایی چند نمونه نمایه خشکسالی، مجله نیوار، شماره ۴۸-۴۹، بهار و تابستان ۱۳۸۲، سازمان هواشناسی کشور
- 5- A. Shanian and O. Savadogo. , September 2006. TOPSIS multiple-criteria decision support analysis for material selection of metallic bipolar plates for polymer electrolyte fuel cell • Journal of Power Sources, Volume 159, Issue 2, Pages 1095-1104
- 6- Banker,R.D.(1988). Models for the estimation of technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Econometrica*,23, 315-332.
- 7- Banker,R.D., Morey,R.C.(1986). Efficiency analysis for Topsis- 34(4), 513-521.
- 8- Bahime,h.n,and D.A.,Mooley,1980,Large-scale Droughts /Floods and Moonsoon Circulation,*Mon.Wea.Rev.*,108:1197-121
- 9- Bodily ,S.E. (1985). Modern decision-making.
- 10- Byun . H.R.,and D.A.,Wilhite,1999,Objective Quantification of Drought Severity and Duration, *Journal of Climate*, 12(9): 2747-2756
- 11- HWANG, C.L., Yoon, K.(1992). Multiple Attribute decision-making. Springer ,Verlag, 203
- 12- Hepu Deng, Chung-Hsing Yeh and Robert J. Willis .September 2000. Inter-company comparison using modified TOPSIS with objective weights . *Computers & Operations Research*, Volume 27, Issue 10, , Pages 963-973
- 13- Huan-Jyh Shyur. June 2006 . COTS evaluation using modified TOPSIS and ANP
- 14- Applied Math ematics and Computation, Volume 177, Issue 1, Pages 251-259
- 15- Hsu-Shih Shih, Huan-Jyh Shyur and E. Stanley Lee- October 2006. xtension of the TOPSIS method for decision-making problems with

- fuzzy data Applied Mathematics and Computation, Volume 181, Issue 2, , Pages 1544-1551
- 16- Ingwer B.Patrick.(1977). Modern Multi scaling. spring- Verlag
 - 17- Kruscal , J.B.(1964). Nonmetric multi scaling. Psychometrikka,29(2), 47.-16
 - 18- Mckee,T.B.,N.J.,Doesken and J.,Kleist,1993,The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scale, Eight Conf.On Applied Climatology Anaheim, Ca.American Meteorological Society, 179-184
 - 19- Schenkerman, S. (1994). Avoiding rank Reversal in Topsis. European journal of operation research. 34(2), 42-45.
 - 20- NDMC,1995,Understandarind and Defining Drought,7pp[Available form National Drought Mitigation Center, <http://drought.unl.edu>].
 - 21- Olapida,E.O.,1985,A Comparative Performance Analysis of Three Meteogical Drought Indices, Journal of climatology,5: 655-664.
 - 22- szidarovszky, F. (1986). Techniques for multiobjective decision making in systems Management. Elsevire science Publishers B.V.
 - 23- Ying-Ming Wang and Taha M.S. Elhag. , August 2006. Fuzzy TOPSIS method based on alpha level sets with an application to bridge risk assessment .Expert Systems with Applications, Volume 31, Issue 2, Pages,309-3.