صص ۸۸-۷۳

تلفیق مدل‌های تصمیم‌گیری بر پایه بهینه‌سازی، نسبت فاصله و وزن دهی تجمعی در تعیین الگوی اقلیمی

لاله پرویز*
دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران.
ندا عزیزی
کارشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران.
خدیجه خانی زنگبار
کارشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۶/۱۸ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۱۱/۷

چکیده

شاخص‌های اقلیمی با آشکارسازی تنوع اقلیمی منطقه منجر به توسعه سیاست‌های مدیریتی در بخش کشاورزی، منابع آب و محیط‌زیست شده‌اند. عملکرد شاخص‌های دومارتن، ایوانف، باران مؤثر، ضریب بری، دمایی، درصد نرمال بارش، ناهنجاری بارندگی، پوشش گیاهی، خشکی و سیلیانینوف با استفاده از داده‌های ۱۵ ایستگاه هواشناسی بررسی شد. تعیین شاخص اقلیمی مؤثر با استفاده از روش وزن دهی تجمعی ساده (SAW)، TOPSIS و ارزیابی هم‌زمان معیارها و گزینه‌ها (SECA) انجام گرفت. تحلیل حساسیت روش SECA نسبت به ضریب β در نتایج تأثیر قابل توجهی داشت. بر اساس نتایج رتبه‌بندی سه روش تصمیم‌گیری چند معیاره، شاخص ایوانف در وضعیت اقلیمی حاد (با مقادیر حدی بالا و پایین) دارای عملکرد خوبی است و در سایر شرایط اقلیمی بهتر است همراه با شاخص اقلیمی دیگری استفاده شود. مقدار عددی شاخص درصد نرمال بارش در بیشتر ایستگاه‌ها حالت بیش برآوردی داشت. شاخص ناهنجاری بارندگی نیز وضعیت اقلیمی بیشتر ایستگاه‌ها را نزدیک به نرمال توصیف کرد. در تعیین شاخص اقلیمی مؤثر تعداد داده‌های هواشناسی، نوع ارتباط ریاضی آن‌ها و چگونگی مرزبندی اقلیمی دارای اهمیت ویژه‌ای است. بیشترین مقدار شدت و درصد تغییرات در مورد روش SAW و SECA، TOPSIS و SECA بود. بیشترین تعداد رتبه‌های یک در سه روش تصمیم‌گیری چندمعیاره مربوط به شاخص‌های دومارتن، خشکی، پوشش گیاهی و سپس شاخص باران مؤثر است.

واژگان کلیدی: رتبه‌بندی، شاخص، حدی، داده‌های هواشناسی

مقدمه

تغییرات آب و هوایی از جمله نگرانی‌های بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی و توسعه اقتصادی است که افزایش فعالیت‌های انسانی یکی از دلایل این تغییرات می‌باشد. بر اساس مطالعات مختلف میانگین دمای زمین در طول چند دهه

*نویسنده مسئول: ۰۹۱۴۴۱۴۶۲۴۶ Email: laleh_parviz@yahoo.com

گذشته ۱/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. حتی تغییرات جزئی در دما می‌تواند به‌شدت بر فعالیت‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی طبیعت تأثیر بگذارد که منجر به شرایط محیطی نامطلوب می‌شود (Rani et al., 2022). در این راستا بررسی وضعیت اقلیمی با شاخص‌های اقلیمی در پایش ترسالی و خشک‌سالی نقش مهمی دارد. طبقه‌بندی اقلیمی یعنی اقلیم‌هایی که خصوصیات یکسان دارند، شناسایی شوند (قربانی زاده خرازی و چله مال دزفول نژاد، ۱۳۹۳). طبقه‌بندی اقلیمی هر منطقه می‌تواند منجر به شناخت پتانسیل‌های بالقوه هر مکان شود و به برنامه‌ریز کمک می‌کند که بر اساس اقلیم هر منطقه برنامه‌ها در زمینه‌های مختلف از جمله کشاورزی و عمران را در بازه‌های زمانی کوتاه، میان و دراز مدت اجرا کند (رمضانی گورابی، ۱۳۸۳). در این حالت روش مورد استفاده در شناخت وضعیت اقلیمی هر چه دقیق‌تر باشد، در برنامه‌ریزی و سیاست‌های اجرایی مفید خواهد بود. روش‌های طبقه‌بندی اقلیمی در دو گروه فرمولی و نموداری برخی از داده‌های هواشناسی مانند دما، بارندگی را باهم ترکیب می‌کنند و در نتیجه وضعیت اقلیمی منطقه مشخص می‌شود. در این راستا ارتباط داده‌های هواشناسی مسئله مهمی است، چرا که افزایش یا کاهش دما می‌تواند بر الگوهای بارندگی تأثیر بگذارد. افزایش دما چرخه هیدرولوژیکی را تحت تأثیر قرار می‌دهد که در این حالت افزایش تلفات تبخیر منجر به ایجاد شرایط طوفانی و خشک شدن منطقه می‌شود. دما و بارندگی دو شاخص اصلی تغییر اقلیم هستند (Rani et al., 2022). جهت تجزیه و تحلیل تغییرات اقلیمی، طیف گسترده‌ای از شاخص‌های اقلیمی پیشنهاد شده است و انتخاب شاخص اقلیمی مؤثر با توجه به پتانسیل اقلیمی هر منطقه از اهمیت چشمگیری برخوردار است؛ که در این راستا مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌توانند تأثیر شایانی داشته باشند.

با استفاده از شاخص‌های دومارتن، گورزنیسکی، تورنت وایت، سلیانینوف، ایوانف، دکتر کریمی و آمبرژه اقلیم استان هرمزگان با داده‌های هفت ایستگاه تعیین شد. شاخص دومارتن یک نوع اقلیم و آمبرژه چهار نوع اقلیم و بقیه شاخص‌ها دو نوع اقلیم را مشخص کردند (پرون و همکاران، ۱۳۹۷). با داده‌های ۳۰۳ ایستگاه هواشناسی شامل میانگین دمای سالانه و ماهانه، بیشینه و کمینه دما، تبخیر و تعرق پتانسیل و بارش طبقه‌بندی اقلیمی کشور ایران انجام گرفت. در ابتدا شاخص خشکی سالانه در هر منطقه محاسبه شد و سپس اطلاعات مربوط به دمای سردترین و گرم‌ترین ماه بررسی شد. تنوع اقلیمی بسیار زیاد در ایران مشاهده شد و بر اساس شاخص خشکی کل ایران به هفت‌اقلیم تقسیم شد که ۳۰ شهر دارای اقلیم فراخشک است (طاووسی و همکاران، ۱۳۹۹). با استفاده از شاخص‌های دومارتن، منحنی آمبروترمیک و آمبرژه تغییرات اقلیمی شهر کرمانشاه بررسی شد. روند انجام کار به این صورت بود که داده‌های هواشناسی در بازه زمانی (۱۳۷۰ تا ۱۳۹۹) به بازه‌های ۱۰ ساله و یک بازه کلی ۳۰ ساله تقسیم شدند. بارندگی دارای نوسانات زیادی بوده است، ولی دما دارای روند افزایشی می‌باشد. عکس‌العمل شاخص‌های اقلیمی در نمایش تغییرات اقلیمی متفاوت است، مثلاً دومارتن ثابت ولی منحنی آمبروترمیک دارای نوساناتی است (باقرآبادی، ۱۴۰۱). از شاخص‌های آب و هوایی به‌عنوان نشانگر کیفیت انگور (ویژگی‌های کیفی پس از برداشت) در بخش جنوبی یونان استفاده شد. شاخص‌های استفاده شده شامل داده‌های متوسط، کمینه، بیشینه دما و بارندگی ماهانه بود. تجزیه و تحلیل آماری وابستگی خاصی از ویژگی‌های

کیفی و شاخص‌های اقلیمی را نشان داد که می‌تواند در مدیریت پس از برداشت انگور با توجه به شرایط اقلیمی منطقه اجرا شود (Anastasiou et al., 2022). همبستگی بین فرسایش آبی و شاخص‌های اقلیمی در حوضه‌ای در چین با ضریب همبستگی و آزمون F انجام گرفت. این شاخص‌ها به‌عنوان عوامل بالقوه در پیش‌بینی فرسایش معرفی شدند که به جلوگیری از فرسایش خاک کمک می‌کنند (Wei et al., 2022). تجزیه و تحلیل تغییرات اقلیمی و بررسی الگوهای موسمی با استفاده از تعدادی شاخص اقلیمی از جمله شاخص خشکی و SPI با داده‌های ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۳ در حوضه رودخانه‌ای در هند انجام گرفت. تحلیل روند و آزمون معنی‌داری با استفاده از آزمون من- کندال انجام گرفت. نتایج نشان دادند که تغییر در میزان بارش و دما بر شاخص‌های اقلیمی تأثیر گذاشته است؛ بنابراین بسته به شرایط اقلیمی حاکم در آینده در صورت تداوم این روند می‌تواند بر الگوی کشت منطقه تأثیر مثبت و منفی بگذارد (Rani et al., 2022). از شاخص‌های اقلیمی و روش‌های زمین آمار در پهنه‌بندی اقلیمی نیز استفاده شد. از روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و روش وزن دهی عکس فاصله در تهیه نقشه‌های تغییرات مکانی و زمانی داده‌های هواشناسی در بخش شمال شرق ایران و از روش تورنت وایت در طبقه‌بندی اقلیمی استفاده شد. نتایج نشان دادند که بارندگی بیشترین تأثیر را از تغییرات ارتفاع دارد. روش کوکریجینگ در دمای هوا نتیجه بهتری داشت (سیابی و ثنایی نژاد، ۱۳۹۲). در سال‌های اخیر مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در زمینه‌های مختلف کاربرد گسترده‌ای داشته است که به‌عنوان نمونه از دو روش وزن دهی تجمعی ساده (SAW[1]) و WPM[2] در اولویت‌بندی طرح‌های توسعه منابع آب در بخش‌های روستایی استان خوزستان استفاده شد. رتبه‌های به دست آمده نشان داد که مناطق شمالی استان در زمینه کشاورزی استعداد بیشتری نسبت به سایر مناطق دارند (دحیماوی و همکاران، ۱۳۹۳). این رویکرد در مباحث اقلیمی نیز جای خود را باز کرده است. با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره (TOPSIS) در تعیین مدل ایده آل در ریزمقیاس سازی خروجی مدل‌های گردش عمومی در زیر حوضه‌ای در آذربایجان غربی استفاده شد. مدل SDSM به‌عنوان مدل کارا در بررسی تغییرات دما و بارندگی در دوره‌های آتی انتخاب شد (کریمی و قاسمی، ۱۳۹۶). با استفاده از روش TOPSIS شدت خشک‌سالی در برخی از ایستگاه‌های استان اصفهان تعیین شد. دما، تعداد روزهای بارانی، بارندگی سالانه و درصد رطوبت نسبی داده‌های هواشناسی مورد استفاده بودند. در این روش ارتباطی بین داده‌های هواشناسی در سال بخصوص و سال‌های دیگر وجود دارد که بر این اساس تعیین خشک‌سالی و رتبه‌بندی انجام می‌گیرد (پارسا مهر و خسروانی، ۱۳۹۶).

پژوهش‌های انجام گرفته اهمیت شاخص‌های اقلیمی را در بررسی وضعیت اقلیمی منطقه نشان می‌دهد که استفاده از شاخصی کارآمد دقت پایش را به‌شدت بالا می‌برد. در این راستا استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در انتخاب شاخص کارا مؤثر است. برای این منظور هدف این پژوهش تعیین شاخص اقلیمی مؤثر (ده شاخص) با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره است. جهت افزایش دقت بجای استفاده از یک روش تصمیم‌گیری (پژوهش‌های بیان‌شده در بخش اقلیمی از یک روش استفاده کرده‌اند)، از تلفیق سه روش استفاده شد.

[1] Simple Additive Weighting
[2] Weighted product method

داده‌ها و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

ایستگاه‌های مطالعاتی پژوهش شامل همدان، شیراز، یزد، یاسوج، شاهرود، تهران مهرآباد، گرگان، بابلسر، اهر، بیرجند، ایلام، پارس‌آباد، شهرکرد، سبزوار و نوشهر است (شکل ۱). بیشترین و کمترین مقدار بارندگی به ترتیب مربوط به نوشهر و یزد می‌باشد. کمینه و بیشینه متوسط دمای سالانه به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های شهرکرد و یزد است.

شکل ۱: موقعیت مکانی ایستگاه‌های مطالعاتی در کشور

شاخص‌های اقلیمی

دما و بارندگی دو مؤلفه مهم و مؤثر در مطالعات اقلیمی هستند (Rani et al., 2022). شاخص‌های اقلیمی در واقع ترکیبات ریاضی از داده‌های هواشناسی هستند که بر اساس آستانه‌های تعریف شده برای هر شاخص، اقلیم منطقه به دست می‌آید. داده‌های هواشناسی به‌عنوان ورودی این شاخص‌ها در نظر گرفته شده‌اند که در بیشتر مواقع بارندگی و دما به‌عنوان ورودی در نظر گرفته می‌شوند. شاخص‌های اقلیمی استفاده شده در این پژوهش در جدول ۱ آورده شده است (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۰؛ میر یعقوب زاده و همکاران، ۱۳۹۸؛ رمضانی گورابی، ۱۳۸۳).

جدول ۱: شاخص‌های اقلیمی استفاده شده در پژوهش با ساختار ریاضی

نام شاخص	معادله
دومارتن	$I=\frac{P}{T+10}$
ایوانف	$I=\frac{P}{\sum E},\ E=0.0018(2.5+T^2)(100-RH)$
باران مؤثر	$PEI=115(\frac{P}{T-10})^{1.11}$
سیلیانینوف	$I=\frac{\sum P}{0.1\sum H}$

خشکی	$I=\frac{P}{ET_P}$
شاخص پوشش گیاهی	$I=\frac{P+RH}{T+7}$
ضریب بری	$I=\frac{1.7D}{\sin(\varphi+10)}-14$
دمایی	$IT=(T+M+m)\times10$
درصد نرمال بارش	$I=\frac{P}{\overline{P}}\times100$
ناهنجاری بارندگی	$I=3\left[\frac{P-\overline{P}}{\overline{m}-\overline{P}}\right]\ if\ P\geq\overline{P}, I=-3\left[\frac{P-\overline{P}}{\overline{x}-\overline{P}}\right]\ if\ P\geq\overline{P}$
P: بارندگی، T: دما، RH: رطوبت نسبی، φ: عرض جغرافیایی، D: دامنه نوسان دما، $\overline{x}$ و $\overline{m}$: به ترتیب میانگین ده تا از کمترین و بیشترین مقادیر بارندگی	

روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM[1])

تصمیم‌گیری چند معیاره به یک رویکرد حل مسئله اشاره دارد که متمرکز بر انتخاب یک گزینه از بین تعدادی گزینه است. این روش جنبه‌های مختلف و حتی متضاد را در نظر می‌گیرد تا بتواند از بین گزینه‌های موجود بهترین گزینه را انتخاب کند. در یک تعریف کلی، تصمیم‌گیری چند معیاره به تصمیماتی اطلاق می‌شود که در آن مجموعه‌ای از پاسخ‌های قابل قبول وجود دارد و هدف رتبه‌بندی تعداد محدودی از گزینه‌ها بر اساس ویژگی‌های هر معیار است. هر روش تصمیم‌گیری چند معیاره شامل دو مرحله وزن دهی و رتبه‌بندی است (Hosseini Deshiri and Firoozabadi, 2023) که در ادامه روش‌های مورد استفاده در این پژوهش توضیح داده می‌شود.

روش وزن دهی تجمعی ساده (SAW)

این روش باوجود آن‌که روش ساده‌ای می‌باشد، ولی دارای کاربرد فراوانی است (شریفی کیا و همکاران، ۱۳۹۷). مرحله اول مشابه تمام مدل‌های تصمیم‌گیری شامل کمی سازی ماتریس تصمیم است. مرحله بعد مربوط به نرمال‌سازی ماتریس تصمیم می‌باشد. در ادامه ماتریس نرمال شده باید به بردار وزن شاخص‌ها ضرب شود و در نهایت گزینه برتر از رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$A_{optim}=\left\{A_i\left|\max\sum_{j=1}^{n}n_{ij}\,w_j\right.\right\} \qquad (۱)$$

N: ماتریس نرمال، w: ماتریس وزن.

[1] Multiple Criteria Decision Making

روش TOPSIS

یکی از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است و اساس این روش به این صورت است که گزینه انتخابی باید به بهترین حالت ممکن یا راه‌حل ایده آل مثبت نزدیک (کمینه فاصله) باشد و نسبت به راه‌حل ایده آل منفی (بدترین حالت) دور باشد. گام‌های حل این رویکرد تصمیم‌گیری در ادامه بیان می‌شود:

۱- نرمال‌سازی ماتریس تصمیم با استفاده از روش نرم؛

۲- محاسبه ماتریس مربوط به وزن معیارها (W)؛

۳- تعیین ماتریس V:

$$V = N \times W$$

۴- همان‌طور که بیان شد اصل روش بر اساس مقایسه فاصله از راه‌حل ایده آل مثبت V_j^+ و منفی V_j^- است. راه‌حل ایده آل مثبت برای شاخص‌های مثبت بزرگ‌ترین مقدار و برای شاخص‌های منفی کوچک‌ترین مقدار است. راه‌حل ایده آل منفی برای شاخص‌های منفی بزرگ‌ترین مقدار و برای شاخص‌های مثبت کوچک‌ترین مقدار در نظر گرفته می‌شود.

۵- محاسبه فاصله اقلیدسی هر گزینه تا ایده‌ال‌های مثبت و منفی بر اساس رابطه ۲.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^+)^2}, \quad i = 1,2,\ldots,m$$
$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^-)^2}, \quad i = 1,2,\ldots,m \qquad (۲)$$

۵- محاسبه نزدیکی نسبی یک گزینه به راه حل ایده آل و در نهایت رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس مقادیر بزرگ‌تر نزدیکی نسبی (رابطه ۳).

$$CL_i^* = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \qquad (۳)$$

روش ارزیابی هم‌زمان معیارها و گزینه‌ها (SECA[1])

SECA یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به‌صورت ارزیابی هم‌زمان معیارها و گزینه‌ها است که می‌تواند در برابر تصمیم‌گیری‌های چند معیاره بر اساس مقایسات زوجی باشد. عملکرد این روش بر پایه یک مدل ریاضی غیرخطی چندهدفه است. در فرمول‌بندی مدل ریاضی دو نوع مرجع در تعیین وزن معیارها در نظر گرفته شده است. نوع اول بر اساس اطلاعات تغییرات درون معیاری است که توسط انحراف استاندارد تعریف شده است و دومی مربوط به اطلاعات تغییرات بین معیار می‌باشد که بر اساس میزان همبستگی تعیین می‌شود. مدل چند هدفه به دنبال بیشینه‌سازی عملکرد کلی هر گزینه و کمینه‌سازی انحراف وزن معیارها از نقاط مرجع است. برای توضیح این روش، یک مسئله تصمیم‌گیری

[1] Simultaneous Evaluation of Criteria and Alternatives

چند معیاره با n گزینه و m معیار با وزن‌های معیارها ($w_j, j \in \{1,2,...,m\}$) در نظر گرفته می‌شود. ماتریس تصمیم در رابطه ۴ در ماتریس X و نرمال شده در ماتریس X_N بیان‌شده است.

$$X=\begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & & & & & \\ x_{i1} & x_{i2} & & x_{ij} & & x_{im} \\ \vdots & & & & & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & & x_{nj} & & x_{nm} \end{bmatrix}, X_N=\begin{bmatrix} x_{11}^N & x_{12}^N & \dots & x_{1j}^N & \dots & x_{1m}^N \\ x_{21}^N & x_{22}^N & \dots & x_{2j}^N & \dots & x_{2m}^N \\ \vdots & & & & & \\ x_{i1}^N & x_{i2}^N & & x_{ij}^N & & x_{im}^N \\ \vdots & & & & & \vdots \\ x_{n1}^N & x_{n2n2}^N & & x_{nj}^N & & x_{nm}^N \end{bmatrix} \quad x_{ij}^N=\begin{cases} \dfrac{x_{ij}}{\max_k x_{kj}} & j \in BC \\ \dfrac{\min_k x_{kj}}{x_{ij}} & j \in NC \end{cases} \qquad (۴)$$

.

x_{ij}: بیانگر عملکرد i امین گزینه $w_j, i \in \{1,2,...,n\}$ نسبت به j امین معیار است. BC و NC به ترتیب معیارهای مثبت و منفی هستند.

انحراف معیار عناصر هر بردار می‌تواند اطلاعات تغییرات درون معیار را به دست آورد. برای گرفتن اطلاعات تغییرات بین معیارها از ماتریس تصمیم باید همبستگی بین هر جفت‌بردار معیار را در نظر گرفت. افزایش تنوع در بردار یک معیار و همچنین افزایش درجه اختلاف بین یک معیار و سایر معیارها اهمیت این معیار را افزایش می‌دهد. در نهایت یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی چندهدفه حاصل می‌شود که هدف اول عملکرد کلی هر گزینه را افزایش می‌دهد و اهداف دوم و سوم انحراف معیارهای وزن را از نقاط مرجع کمینه می‌سازد که در نهایت مسئله به‌صورت مسئله بهینه‌سازی تک هدفه بیان می‌شود (رابطه ۵).

$$\begin{aligned} &\max\ Z=\lambda_a-\beta(\lambda_b+\lambda_c) \\ &s.t.\ \lambda_a \le S_i, \qquad \forall i \in \{1,2,...,n\} \\ &S_i=\sum_{j=1}^{m} w_j\, x_{ij}^N, \qquad \forall i \in \{1,2,...,n\} \\ &\lambda_b=\sum_{j=1}^{m}(w_j-\sigma_j^N)^2 \\ &\lambda_c=\sum_{j=1}^{m}(w_j-\pi_j^N)^2 \\ &\sum_{j=1}^{m} w_j=1 \\ &w_j \le 1, \forall j \in \{1,2,...,m\} \\ &w_j \ge \varepsilon, \forall j \in \{1,2,...,m\} \end{aligned} \qquad (۵)$$

با توجه به تابع هدف مدل اخیر کمینه امتیاز عملکرد کلی گزینه‌ها بیشینه می‌شود. با توجه به این‌که انحراف از نقاط مرجع باید کمینه شود، این نقاط در تابع هدف با ضریب β کم می‌شوند. این ضریب در رسیدن به نقاط مرجع وزن معیارها مؤثر است (Keshavarz-Ghorabaee et al., 2018).

آماره مقایسه روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره

جهت مقایسه نتایج روش‌های مختلف تصمیم‌گیری از دو آماره درصد تغییرات و شدت تغییرات استفاده شد که معادلات آن‌ها در ادامه آورده شده‌اند (نظم فر و پادروندی، ۱۳۹۴).

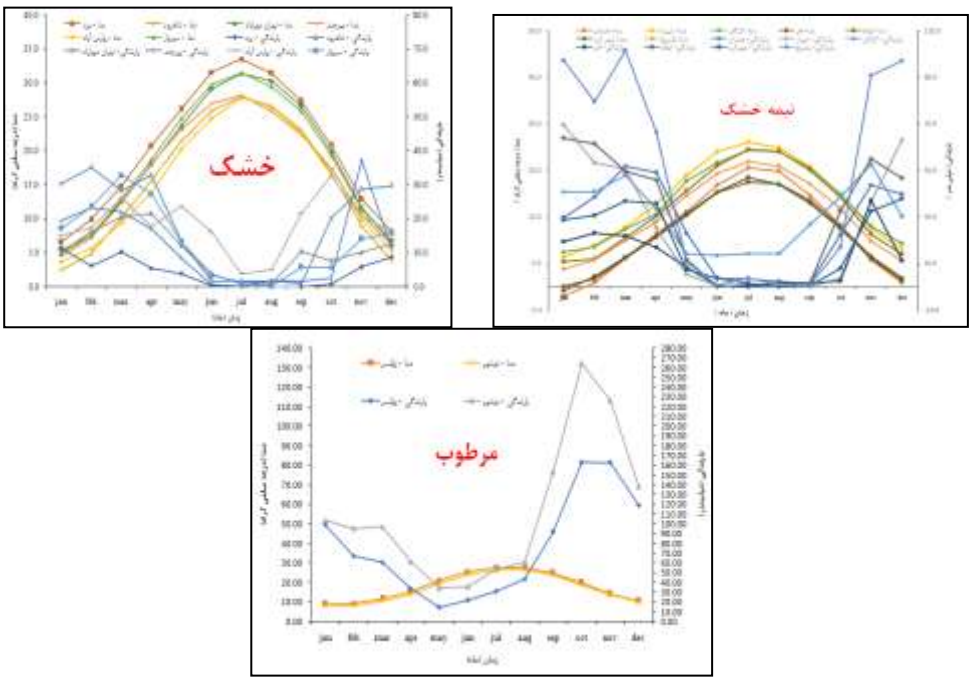
$$\Delta P = \frac{N - NN_{constant}}{N} \times 100 \qquad (۶)$$

$$\Delta I = \frac{\sum_{i=1}^{N} \frac{rank_{i(r1)}}{rank_{i(r2)}}}{N} \qquad (۷)$$

ΔP: درصد تغییرات جهت مقایسه دو روش، ΔI: شدت تغییرات در مقایسه دو روش، $NN_{constant}$: تعداد گزینه‌هایی که رتبه آن‌ها در مقایسه یکسان است، N: تعداد کل گزینه‌ها، $rank_{i(r1)}$ و $rank_{i(r2)}$ به ترتیب رتبه گزینه ۱ در روش اول و دوم.

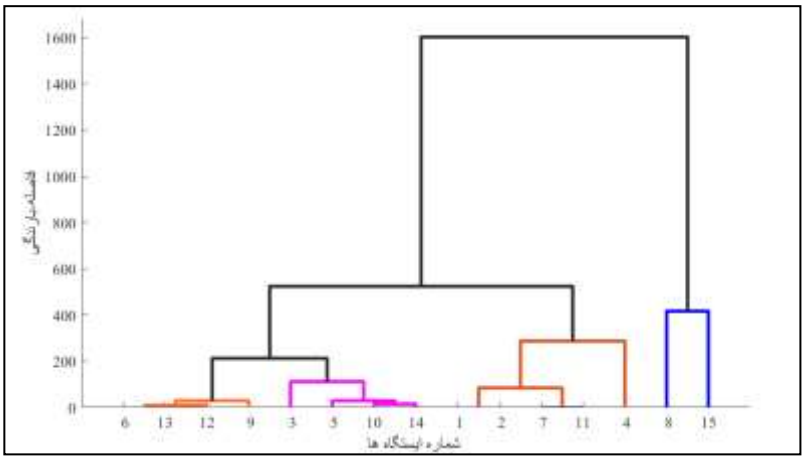
بحث و نتایج

با استفاده از داده‌های پانزده ایستگاه هواشناسی در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۲۱ ده شاخص اقلیمی محاسبه شدند. شهرکرد دارای بیشترین مقدار دامنه تغییرات سالانه دما و گرگان دارای کمترین مقدار است. بر اساس شاخص کوپن، اقلیم ایستگاه‌های بابلسر، اهر، بیرجند، ایلام، پارس‌آباد، شهرکرد، سبزوار، نوشهر، همدان، شیراز یزد، یاسوج، شاهرود، تهران و گرگان به ترتیب مرطوب، استپی، بیابانی، مرطوب، بیابانی، استپی، بیابانی، مرطوب، استپی، استپی، بیابانی، استپی، بیابانی، استپی و استپی تعیین شد. تنوع اقلیمی در ایستگاه‌های مطالعاتی کاملاً مشهود است و برای بررسی بیشتر اقلیم ایستگاه‌ها، نمودار آمبروترمیک ایستگاه‌ها رسم شد (شکل ۲).



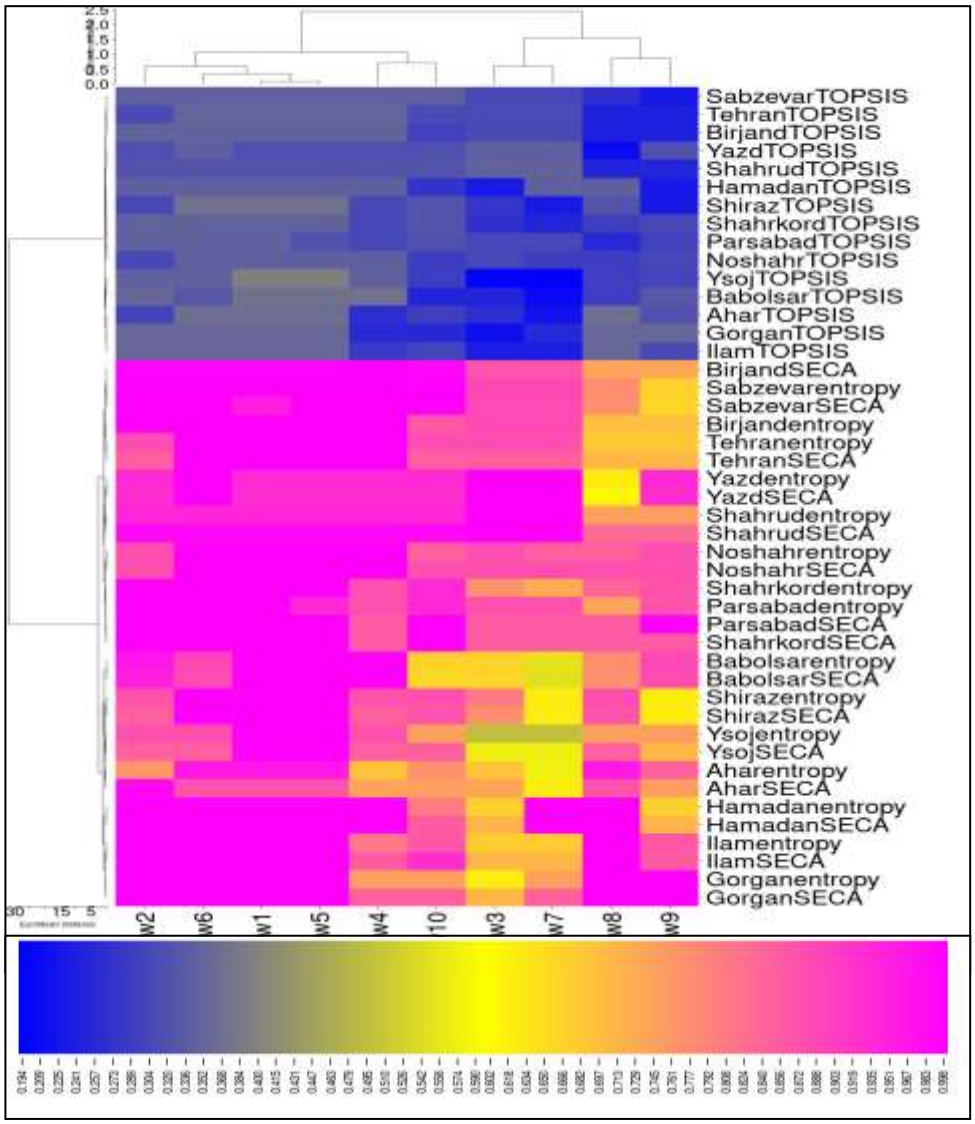
شکل ۲: نمودار آمبروترمیک ایستگاه‌ها در سه محدوده تقسیم‌بندی خشک، نیمه‌خشک و مرطوب

در اقلیم مرطوب تعداد ماه‌هایی که بارندگی از دما بیشتر است به‌شدت افزایش پیدا کرده است. عکس این حالت در اقلیم خشک مشاهده می‌شود. در اقلیم نیمه‌خشک تعداد ماه‌هایی که دما بر بارندگی فزونی دارد تقریباً با تعداد ماه‌هایی که بارندگی نسبت به دما افزایش یافته است، یکسان می‌باشد. تنوع اقلیمی ایستگاه‌های مطالعاتی در نمودار درختی بارندگی ایستگاه‌ها با روش Ward's در شکل ۳ اثبات شده است. در این پژوهش دما، بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل به‌عنوان شاخص‌ها در تصمیم‌گیری شاخص‌های اقلیمی در نظر گرفته شدند. کمینه و بیشینه مقدار تبخیر مربوط به شهرکرد و یزد بود. جهت مقایسه عملکرد شاخص‌های اقلیمی، شاخص‌های استفاده شده در تصمیم‌گیری چند معیاره (دما، بارش و تبخیر) در سه گروه تقسیم‌بندی شدند، به‌عنوان نمونه در مورد دما گروه اول شامل ۱۱/۵۶ تا ۱۵/۶۲، گروه دوم شامل ۱۵/۶۲ تا ۱۸/۳۶ و گروه سوم شامل ۱۸/۳۶ تا ۲۰/۳ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد.



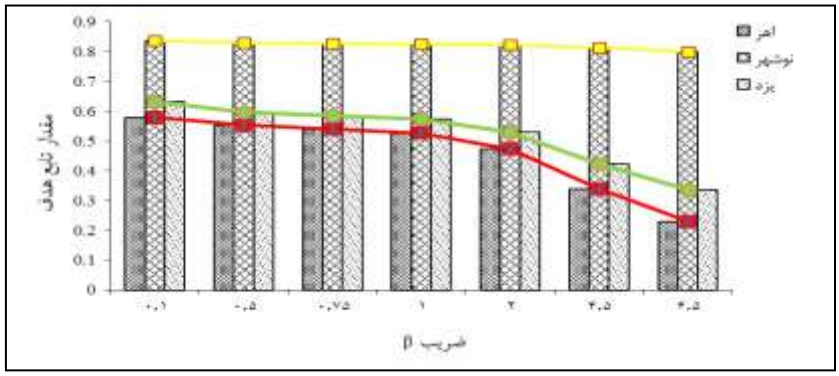
شکل ۳: نمودار درختی بارندگی ایستگاه‌های مطالعاتی (ترتیب ایستگاه‌ها از ۱ تا ۱۵: همدان، شیراز، یزد، یاسوج، شاهرود، تهران، گرگان، بابلسر، اهر، بیرجند، ایلام، پارس‌آباد، شهرکرد، سبزوار، نوشهر)

به‌طور کلی تعداد خوشه‌ها در شکل ۳ را می‌توان سه در نظر گرفت که شامل خوشه اول: بابلسر و نوشهر، خوشه دوم: یاسوج، ایلام، گرگان، شیراز و همدان، خوشه سوم: اهر، پارس‌آباد، شهرکرد، تهران، سبزوار، بیرجند، شاهرود و یزد. البته خوشه سوم را می‌توان لیزتر کرد و دو خوشه مجزا در نظر گرفت: خوشه اول: اهر، پارس‌آباد، شهرکرد، تهران، خوشه دوم: سبزوار، بیرجند، شاهرود، یزد. در واقع ایستگاه‌های داخل هر خوشه نمایانگر وضعیت تقریباً یکسانی از دما و بارندگی است. کمینه و بیشینه مقدار شاخص دومارتن مربوط به ایستگاه‌های یزد و نوشهر است. در ادامه با در نظر گرفتن شاخص‌ها و گزینه‌ها و استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری، اقدام به تعیین گزینه ایده آل شد. در روش TOPSIS، نرمال‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری با استفاده از نرم (تقسیم هر عنصر بر مجذور مربعات عناصر هر ستون) انجام گرفت. در روش SAW از نرمال‌سازی خطی استفاده شد، نرمال‌سازی خطی یعنی هر مقدار از ماتریس به بیشینه مقدار آن ستون تقسیم شد. وزن مربوط به سه روش در شکل ۴ آورده شده است (در شکل ۴ منظور از entropy روش SAW است).



شکل ٤: نقشه حرارتی وزن‌های سه روش SAW، TOPSIS و SECA در تمام ایستگاه‌های مطالعاتی

شکل ۴، تغییرات وزن گزینه‌های مدنظر را برای سه روش تصمیم‌گیری چند معیاره نشان می‌دهد. جهت بررسی بیشتر، دامنه تغییرات وزن در هر ایستگاه و در هر روش محاسبه شد. کمینه مقدار دامنه مربوط به نوشهر با روش TOPSIS و بیشینه مقدار دامنه مربوط به یاسوج با روش SAW بوده است. روش SECA در بین روش‌های تصمیم‌گیری نیاز به تحلیل حساسیت در مورد ضریب β دارد. در این پژوهش تحلیل حساسیت بر اساس مقدار تابع هدف انجام گرفت که به‌عنوان نمونه تغییرات تابع هدف در برابر تغییرات β در برخی از ایستگاه‌ها (با سه اقلیم متفاوت) در شکل ۵ آورده شده است.



شکل ۵: تحلیل حساسیت روش SECA با تغییر ضریب β در سه ایستگاه با اقلیم متفاوت

بر اساس شکل ۵، کمترین تغییرات تابع هدف مربوط به ایستگاه نوشهر است. اگر دامنه تغییرات تابع هدف در برابر تغییرات ضریب β محاسبه شود، ترتیب دامنه ایستگاه‌ها از کوچک به بزرگ شامل نوشهر، یزد و اهر می‌باشد. این تغییرات نشان‌دهنده اهمیت انجام تحلیل حساسیت در روش SECA بر نتایج رتبه‌بندی است. در ادامه نتایج رتبه‌بندی شاخص‌های اقلیمی با استفاده از سه روش تصمیم‌گیری بر اساس مبانی بیان‌شده در داده‌ها و روش‌ها در جدول ۲ آورده شده است.

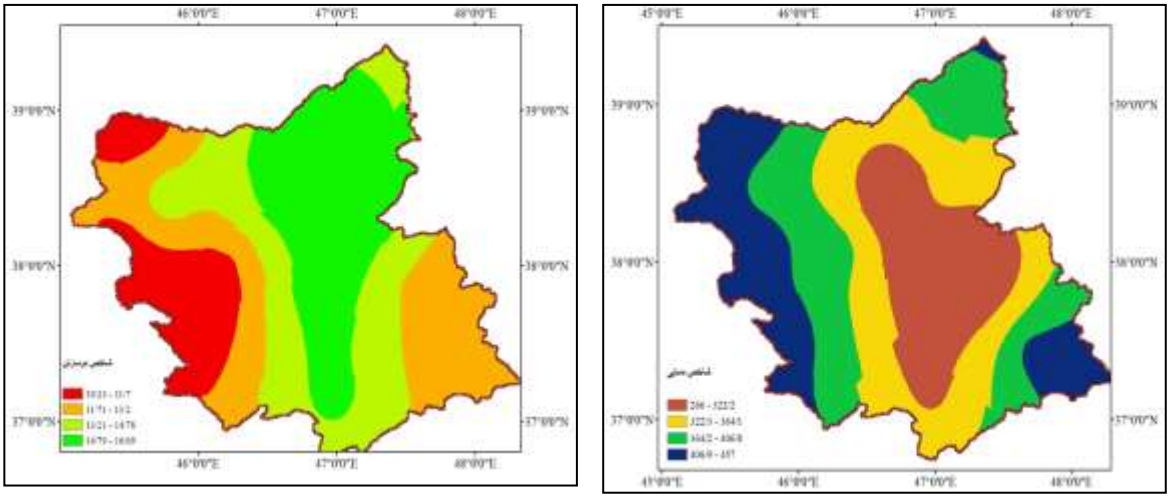
جدول ۲: نتایج رتبه‌بندی شاخص‌های اقلیمی در ایستگاه‌های مختلف و با سه روش تصمیم‌گیری چند معیاره

	شاخص	همدان	شیراز	یزد	یاسوج	شاهرود	تهران	گرگان	بابلسر	اهر	بیرجند	ایلام	پارس‌آباد	شهرکرد	سبزوار	نوشهر
SAW	دومارتن	۱	۱	۳	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
	بارش مؤثر	۱	۵	۳	۲	۲	۴	۱	۳	۶	۱	۱	۱	۱	۱	۴
	ایوانف	۶	5	۱	۶	۱	۲	۱۰	۵	۵	۳	۶	۳	۶	۴	۲
	سیلیانینوف	۱	۴	۳	۲	۲	۱	۵	۱	۶	۱	۶	۴	۴	۱	۱
	خشکی	۱	۱	۳	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۳	۱	۱	۱
	پوشش گیاهی	۱	۱	۱	۲	۲	۱	۱	۳	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
	درصد نرمال بارش	۱	۶	۱	۶	۱	۲	۴	۷	۷	۳	۶	۳	۷	۴	۵
	ناهنجاری بارندگی	۱	۲	۶	۳	۵	۵	۱	۳	۱	۵	۱	۱۰	۴	۵	۴
	ضریب بری	۵	۵	۲	۴	۹	۵	۱	۳	۳	۵	۴	۵	۴	۶	۳
	دمایی	۷	۳	۳	۶	۲	۴	۷	۷	۵	۱	۶	۳	۴	۱	۷
TOPSIS	دومارتن	۱	۱	۳	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
	بارش مؤثر	۱	۵	۳	۲	۲	۴	۱	۳	۶	۱	۱	۱	۱	۱	۴
	ایوانف	۶	۵	۱	۹	۱	۲	۷	۵	۵	۳	۹	۳	۶	۴	۲
	سیلیانینوف	۱	۴	۳	۲	۲	۱	۵	۱	۶	۱	۶	۴	۴	۱	۱
	شاخص خشکی	۱	۱	۳	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۳	۱	۱	۱
	پوشش	۱	۱	۱	۲	۲	۱	۱	۳	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱

	گیاهی														
	درصد نرمال بارش	۱	۶	۱	۶	۱	۲	۴	۷	۷	۳	۶	۳	۱۰	۴	۵
	ناهنجاری بارندگی	۱	۲	۶	۳	۵	۵	۱	۳	۱	۵	۱	۶	۴	۵	۴
	ضریب بری	۵	۵	۲	۴	۵	۵	۱	۳	۳	۵	۴	۵	۴	۶	۳
	دمایی	۶	۳	۳	۵	۲	۴	۷	۶	۵	۶	۵	۳	۴	۱	۶
SECA	دومارتن	۱	۱	۴	۱	۳	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۵	۱
	بارش مؤثر	۱	۵	۳	۲	۲	۴	۱	۳	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۴
	ایوانف	۵	۴	۱	۵	۱	۲	۶	۴	۴	۳	۵	۳	۵	۳	۲
	سیلیانینوف	۱	۵	۳	۲	۲	۱	۶	۱	۷	۱	۷	۶	۵	۱	۱
	خشکی	۱	۱	۴	۱	۳	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۴	۱	۱	۱
	پوشش گیاهی	۱	۱	۱	۳	۳	۱	۱	۴	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱
	درصد نرمال بارش	۱	۵	۱	۵	۱	۲	۳	۶	۶	۳	۵	۳	۶	۳	۴
	ناهنجاری بارندگی	۱	۴	۸	۳	۷	۷	۱	۵	۲	۷	۱	۸	۶	۷	۶
	ضریب بری	۹	۹	۲	۶	۷	۷	۱	۳	۴	۷	۵	۴	۴	۸	۳
	دمایی	۷	۳	۳	۲	۲	۴	۶	۸	۶	۵	۵	۳	۴	۱	۷

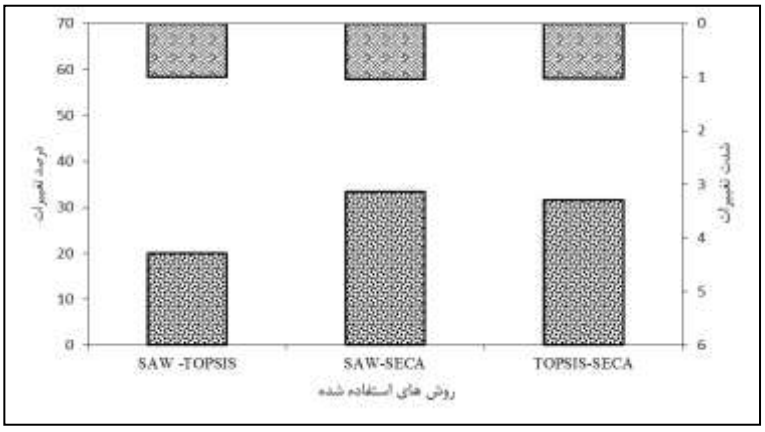
بر اساس جدول ۲، تعداد رتبه‌های یک در هر شاخص اقلیمی و در هر روش برای تمام ایستگاه‌ها در نظر گرفته شد. در روش SAW و TOPSIS تعداد رتبه‌های یک در شاخص‌های دومارتن، بارش مؤثر، ایوانف، سیلیانینوف، خشکی، پوشش گیاهی، درصد نرمال ناهنجاری، بری و دمایی به ترتیب برابر با ۱۳، ۷، ۲، ۶، ۱۲،۱۲، ۳،۴،۱،۱ و در روش SECA برابر با ۱۱، ۸، ۲،۶،۱۱،۱۱،۳،۳،۱،۱ است. بیشترین تعداد رتبه‌های یک در سه روش تصمیم‌گیری مربوط به شاخص‌های دومارتن، خشکی، پوشش گیاهی و بعد بارش مؤثر است. شاخص دومارتن به‌عنوان یکی از شاخص‌های مؤثر در طبقه‌بندی اقلیمی می‌باشد (قربانی زاده خرازی و چله مال دزفول نژاد، ۱۳۹۳). کارایی شاخص خشکی نیز در تعیین وضعیت اقلیمی منطقه اثبات شده است (Shahin, 2012). شاخص ایوانف در سه روش تصمیم‌گیری در بیشتر ایستگاه دارای رتبه خوبی نیست، به‌جز ایستگاه یزد و شاهرود. دلیل این‌که در این دو ایستگاه رتبه بالا کشیده شده است مربوط به وضعیت اقلیمی منطقه است که به‌شدت حالت خشکی دارد و دیگر این‌که روش ایوانف در تقسیم‌بندی مرز اقلیم توانسته برای حالت خشک دو حالت صحرایی و بیابانی را در نظر بگیرد که در مورد زمانی که وضعیت اقلیمی خشک شدید است، ریز تقسیم‌بندی اهمیت خود را نشان می‌دهد. عملکرد شاخص دومارتن در پژوهش کاردان (۱۳۸۳) در ریز پهنه‌بندی اقلیمی نیز قابل تأمل بود. مسئله دیگر که در رتبه‌بندی جدول ۲ مشاهده می‌شود، مربوط به رتبه شاخص ایوانف در ایستگاه نوشهر است. همان‌طور که بیان شد رتبه ایوانف در بیشتر ایستگاه‌ها خوب نیست، ولی در نوشهر در وضعیت نسبتاً متوسطی قرار گرفته است که دلیل آن را می‌توان در وضعیت رطوبتی بالای منطقه دانست. بر اساس نتایج رتبه‌بندی سه روش تصمیم‌گیری چند معیاره می‌توان گفت که شاخص ایوانف در وضعیت اقلیمی حاد (با مقادیر حدی بالا و پایین)

دارای عملکرد خوبی است و در غیر این صورت استفاده از این روش باید با احتیاط انجام گیرد. به‌طور کلی در سه روش تصمیم‌گیری چند معیاره، شاخص درصد نرمال بارش در اقلیم خشک (بیشتر حالت خشک شدید) دارای رتبه یک است و سپس رتبه‌ها در سایر ایستگاه به‌شدت افزایش می‌یابند. دلیل آن است که مقدار به دست آمده در بیشتر ایستگاه‌ها در مرز خشک‌سالی بسیار شدید است که با حالت اقلیمی آن ایستگاه‌ها همخوانی زیادی ندارد. در واقع می‌توان گفت این شاخص در بیشتر ایستگاه‌ها حالت بیش برآورد دارد. شاخص دمایی نیز دارای یک رتبه یک در جدول ۲ است که عملکرد شاخص را تحت تأثیر قرار می‌دهد. دلیل این مسئله مانند حالت قبل در این است که مقدار عددی شاخص در بیشتر ایستگاه‌ها در مرز خیلی گرم یا فرا گرم قرار می‌گیرد و باز با اقلیم منطقه در بیشتر ایستگاه‌ها سازگاری ندارد. شاخص ناهنجاری بارندگی نیز از نظر رتبه‌های یک از وضعیت چندان خوبی برخوردار نیست و دلیل آن این است مقدار عددی شاخص به‌جز یک ایستگاه در محدوده نزدیک نرمال است که این حالت هم در تمام اقلیم‌ها نمی‌تواند جوابگو باشد. در مورد ضریب بری هم تمایل به سمت مقادیر بالا است و از سوی دیگر اختلاف چندانی بین همدان، شیراز و یزد وجود ندارد. اگر رتبه‌بندی شاخص‌هایی مانند دومارتن، پوشش گیاهی با شاخص‌هایی مانند ضریب بری، شاخص دمایی، درصد نرمال بارش و ناهنجاری بارندگی مقایسه شود، نشان‌دهنده آن است که استفاده از یک داده هواشناسی در ساختار شاخص اقلیمی دقت آن را به‌شدت کاهش می‌دهد و استفاده از داده‌های هواشناسی علی‌الخصوص دما و بارندگی عملکرد شاخص اقلیمی را افزایش می‌دهد. اگر رتبه‌بندی شاخص پوشش گیاهی و ایوانف باهم مقایسه شوند، نشان‌دهنده آن است که علاوه بر تعداد داده‌های هواشناسی، چگونگی ارتباط بین داده‌های هواشناسی در ساختار شاخص اقلیمی و یا به‌عبارت دیگر نوع فرمول شاخص اقلیمی دارای اهمیت چشمگیری در افزایش کارایی شاخص اقلیمی در تعیین اقلیم است. در بررسی نتایج رتبه‌بندی به‌عنوان نمونه ضریب همبستگی بارش و شاخص‌های دومارتن، بارش مؤثر و درصد نرمال بارش محاسبه شد که میزان کاهش ضریب همبستگی از شاخص دومارتن به بارش مؤثر و درصد نرمال بارش به ترتیب برابر با ۱/۰۱ و ۳۷/۳۷ درصد بود. در حالت دیگر با استفاده از رویکرد پهنه‌بندی نتایج رتبه‌بندی بررسی شد، به این صورت که در استان آذربایجان شرقی پهنه‌بندی شاخص دومارتن و شاخص دمایی در نرم‌افزار Arc GIS PRO .8.6۲ با روش کریجینگ تهیه شد (شکل ۶).



شکل ٦: پهنه‌بندی شاخص دومارتن و شاخص دمایی در استان آذربایجان شرقی

با توجه به شکل ۶، محدوده‌های شاخص دومارتن ۱۰/۲۳ تا ۱۶/۶۹ و شاخص دمایی ۲۶۶ تا ۴۵۷ برآورد شده است که بر اساس مرزبندی شاخص دمارتن، اقلیم نیمه‌خشک و بر اساس شاخص دمایی از حالت معتدل تا خیلی گرم در نظر گرفته می‌شود. واضح است که شاخص دمارتن برآورد بهتری از وضعیت اقلیمی استان داشته است. حتی پهنه‌های وسیعی از قسمت مرکزی استان نیز مبین این مطلب است. تفسیر نتایج جدول ۲ بر اساس سه روش تصمیم‌گیری است که در بیشتر حالات هماهنگی بین روش‌ها مشاهده شد. در ادامه درصد و شدت تغییرات روش‌های مختلف تصمیم‌گیری تعیین شد که نتایج در شکل ۷ آورده شده است. این آماره‌ها، متوسط آماره در هر روش و برای کل ایستگاه‌های هواشناسی مطالعاتی هستند. به دلیل متفاوت بودن دامنه عددی درصد تغییرات و شدت تغییرات، استاندارد شده این آماره‌ها جهت مقایسه استفاده شد که جهت استانداردسازی آماره‌ها از تقسیم هر آماره به بیشینه مقدار آن استفاده شد.



شکل ۷: آماره‌های مقایسه سه روش تصمیم‌گیری چند معیاره در تعیین شاخص اقلیمی مؤثر

بر اساس شکل ۷، بیشترین مقدار شدت و درصد تغییرات در مورد روش SECA- SAW و TOPSIS-SECA بوده است. رتبه‌بندی روش SAW و TOPSIS در تمام ایستگاه‌ها به‌جز اهر یکسان می‌باشد. رتبه‌بندی روش SAW– SECA و TOPSIS-SECA در ایستگاه‌های همدان، شیراز، یزد، شاهرود، تهران، گرگان، بابلسر و نوشهر یکسان است. در روش SECA –SAW و TOPSIS-SECA بیشترین اختلاف در رتبه‌بندی بین دو روش مربوط به ایستگاه اهر و کمترین مربوط به سبزوار می‌باشد.

نتیجه‌گیری

تغییرات اقلیمی همراه با پیامدهای شدیدی زیست‌محیطی و اجتماعی– اقتصادی است و پایش آن در مطالعات کشاورزی در مباحث برآورد عملکرد محصول، تعیین دور آبیاری و برنامه‌ریزی منابع آبی کاربرد گسترده‌ای دارد. در این پژوهش عملکرد شاخص‌های اقلیمی دومارتن، ایوانف بارش مؤثر، ضریب بری، دمایی، درصد نرمال بارش، ناهنجاری بارندگی، پوشش گیاهی، خشکی و سیلیانینوف با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره بررسی شد. در این پژوهش تعداد زیادی از شاخص‌های اقلیمی بررسی شده‌اند و همچنین در پژوهش‌های بیان‌شده در بخش اقلیمی تنها از یک روش تصمیم‌گیری استفاده شده است و در این پژوهش جهت افزایش دقت بجای استفاده از یک روش تصمیم‌گیری، از تلفیق سه روش استفاده شد. در حالت تلفیق از اطلاعات تمام روش‌ها استفاده می‌شود که می‌تواند دقت و صحت نتایج را به‌شدت بالا ببرد. برخی از شاخص‌ها مانند دومارتن، خشکی، پوشش گیاهی و سپس بارش مؤثر دارای رتبه‌های بالایی هستند، ولی برخی از شاخص‌ها مانند شاخص ایوانف در شرایط حدی دارای کارایی بالایی است. کارایی شاخص دومارتن در پژوهش قربانی زاده خرازی و چله مال دزفول نژاد (۱۳۹۳) و کاردان (۱۳۸۳) هم بیان شد. عملکرد قابل قبول روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در اتخاذ گزینه برتر در پژوهش‌های دحیماوی و همکاران (۱۳۹۳)، کریمی و قاسمی (۱۳۹۶) هم مشاهده شد. در این راستا استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در انتخاب شاخص کارا مؤثر است. برای این منظور هدف این پژوهش تعیین شاخص اقلیمی مؤثر (ده شاخص) با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره است.

منابع

۱– باقرآبادی، رسول. (۱۴۰۱): بررسی تغییرات اقلیمی شهر کرمانشاه با استفاده از روش‌های ضریب خشکی دومارتن، منحنی آمبروترمیک و اقلیم نمای آمبرژه در بازهٔ ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۹ .جغرافیا و روابط انسانی، ۴(۴)، ۱۸۵–۱۷۳.

۲– پارسا مهر، امیرحسین و خسروانی، زهرا. (۱۳۹۶): تعیین شدت خشک‌سالی با استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاره بر مبنای TOPSIS(مطالعه موردی: ایستگاه‌های منتخب استان اصفهان). تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۴(۱)، ۲۹–۱۶.

۳– پرون، صدیقه؛ یاوری، غلامرضا و رضازاده، مریم. (۱۳۹۷): پهنه‌بندی اقلیمی استان هرمزگان با استفاده از روش‌های کلاسیک. *فصل‌نامه* جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، ۸(۳۳)، ۱۲۷–۱۱۵.

۴- دحیماوی، عادل؛ غنیان، منصور؛ مهراب قوچانی، امید و زارعی، حیدر. (۱۳۹۳): فرآیند به‌کارگیری مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در اولویت‌بندی اجرای طرح‌های توسعه منابع آب مناطق روستایی استان خوزستان. آب و توسعه پایدار،۱(۳)، ۱۶-۹.
۵- رمضانی گورابی، بهمن. (۱۳۸۳): معرفی طبقه‌بندی اقلیمی ریواس مارتینز (مطالعه موردی: استان گیلان و خراسان). جغرافیایی سرزمین، ۳(۳)، ۶۵-۵۶.
۶- سیابی، نگار و ثنایی نژاد، سید حسین. (۱۳۹۲): بررسی روش‌های ترکیبی زمین آمار در افزایش دقت طبقه‌بندی اقلیمی و نیز پهنه‌بندی عناصر اقلیمی شمال شرق ایران. پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۱۵، ۸۱-۳۲.
۷- طاووسی، تقی؛ خواجه امیری خالدی، چکاوک و سالاری فنودی، محمدرضا. (۱۳۹۹): بازنگری طبقه‌بندی اقلیمی کشور ایران بر پایهٔ متغیرهای اقلیمی. مدیریت بیابان، ۸(۱۶)، ۳۶-۱۷.
۸- علیزاده، امین؛ کمالی، غلامعلی؛ موسوی، فرهاد و موسوی بایگی، محمد. (۱۳۹۰): جلد ۱: هوا و اقلیم‌شناسی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ چهاردهم. مشهد، ایران.
۹- قربانی‌زاده خرازی، حسین و چله مال دزفول‌نژاد، مژده. (۱۳۹۳): ابداع روش طبقه‌بندی اقلیمی جدید بر مبنای هیدرومتئورولوژی. فصل‌نامه علمی تخصصی مهندسی آب، ۲(۲)، ۱۰۸-۹۷.
۱۰- کاردان، رحمتا... . (۱۳۸۳): ارزیآبی چهار روش طبقه‌بندی آقلیمی در ایران با مدل سازی رأیانه‌ای. مجله مسکن و انقلاب، ۱۰۶، ۱۵-۱.
۱۱- کریمی احمدآباد، مصطفی و قاسمی، الهه. (۱۳۹۶): بررسی پدیده تغییر اقلیم با رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره. نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۱(۶۱)، ۳۶۱-۳۴۱.
۱۲- میریعقوب زاده، میرحسن؛ خسروی، سید امین و ذبیحی، مصطفی. (۱۳۹۸): مروری بر شاخص‌های خشک‌سالی و بررسی عملکرد آن‌ها. *آب و توسعه پایدار*، ۶(۱)، ۱۱۲-۱۰۳.
۱۳- نظم‌فر، حسین و پادروندی، بهزاد. (۱۳۹۴): تحلیل مقایسه‌ای از کاربرد روش‌های تحلیل چند معیاره در مطالعات منطقه‌ای (مطالعه موردی: استان لرستان. *فصل‌نامه علمی برنامه‌ریزی منطقه‌ای*، ۵(۱۷)، ۴۴-۳۱.

14- Anastasiou, E., Xanthopoulos, G., Templalexis, C., Lentzou, D., Panitsas, F., Mesimeri, A., Karagianni, E., Biniari, A., & Fountas, S. (2022): Climatic Indices As Markers Of Table-Grapes Postharvest Quality: A Prediction Exercise. Smart Agricultural Technology, 2, 100059.
15- Dehshiri, S.S.H., & Firoozabadi, B. (2023): Comparison, Evaluation And Prioritization Of Solar Photovoltaic Tracking Systems Using Multi Criteria Decision Making Methods. Sustainable Energy Technologies And Assessments, 55, 102989.
16- Keshavarz-Ghorabaee, Amiri, M., Zavadskas, M., Turskis, E.K., & Antucheviciene, J. (2018): Simultaneous Evaluation Of Criteria And Alternatives (SECA) For Multi-Criteria Decision-Making. Informatics, 29(2), 265-280.
17- Rani, A., Sharma, D., Babel, M.S., & Sharma, A. (2022): Spatio-Temporal Assessment Of Agro Climatic Indices And The Monsoon Pattern In The Banas River Basin, India. Environmental Challenges, 7, 100483.
18- Sahin, S. (2012): An Aridity Index Defined By Precipitation And Specific Humidity. Journal Of Hydrology, 444, 199-208.
19- Wei, C., Dong, X., Yu, D., Zhang, T., Zhao, W., Ma, Y., & Su, B. (2022): Spatial-Temporal Variations Of Rainfall Erosivity, Correlation Of Climatic Indices And Influence On Human Activities In The Huaihe River Basin, China. Catena, 217, 106486.