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

لاله پرویز[1*]، ندا عزیزی[2]، خدیجه خانی زنگبار[3]

۱- دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران. تلفن: ۰۹۱۴۴۱۴۶۲۴۶، ۰۴۱۳۱۴۵۲۵۰۸

۲- کارشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران.

۳- کارشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران.

[*](نویسنده مسئول: laleh_parviz@yahoo.com)

تایید شده نهایی قبل از انتشار الکترونیکی

چکیده

شاخص‌های اقلیمی با آشکارسازی تنوع اقلیمی منطقه منجر به توسعه سیاست‌های مدیریتی در بخش کشاورزی، منابع آب و محیط زیست شده‌اند. عملکرد شاخص‌های دومارتن، ایوانف، باران موثر، 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 موثر با استفاده از روش وزن‌دهی تجمعی ساده (SAW)، TOPSIS و ارزیابی همزمان معیارها و گزینه‌ها (SECA) انجام گرفت. تحلیل حساسیت روش SECA نسبت به ضریب β در نتایج تاثیر قابل توجهی داشت. براساس 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 موثر تعداد داده‌های هواشناسی، نوع ارتباط ریاضی آنها و چگونگی مرز بندی اقلیمی دارای اهمیت ویژه‌ای است. بیشترین مقدار شدت و درصد تغییرات در مورد روش SAW، 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 موثر است.

واژه‌گان کلیدی: رتبه بندی، 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. براساس مطالعات مختلف میانگین دمای زمین در طول چند دهه

گذشته ۱/۵ درجه سانتیگراد افزایش یافته است. حتی تغییرات جزئی در دما می‌تواند به شدت بر فعالیت‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی طبیعت تاثیر 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). طبقه-بندی اقلیمی هر منطقه می‌تواند منجر به شناخت پتانسیل‌های بالقوه هر مکان شود و به برنامه‌ریز کمک می‌کند که براساس 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 با هم ترکیب می‌کنند و در نتیجه وضعیت اقلیمی منطقه مشخص می-شود. در این راستا ارتباط داده‌های هواشناسی مساله مهمی است، چرا که افزایش یا کاهش دما می‌تواند بر الگوهای بارندگی تاثیر بگذارد. افزایش دما چرخه هیدرولوژیکی را تحت تاثیر 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 موثر با توجه به پتانسیل اقلیمی هر منطقه از اهمیت چشمگیری برخوردار است. که در این راستا مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌توانند تاثیر 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 گرم ترین ماه بررسی شد. تنوع اقلیمی بسیار زیاد در ایران مشاهده شد و براساس شاخص خشکی کل ایران به هفت اقلیم 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 این‌صورت 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. عکس العمل شاخص‌های اقلیمی در نمایش تغییرات اقلیمی متفاوت است، مثلا 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 تاثیر گذاشته است. بنابراین بسته به شرایط اقلیمی حاکم در آینده در صورت تداوم این روند می‌تواند بر الگوی کشت منطقه تاثیر 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 وزن‌دهی 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 تاثیر 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 وزن‌دهی تجمعی ساده (SAW)[1] و WPM[2] در اولویت بندی طرح‌های توسعه منابع آب در بخش‌های روستایی استان خوزستان استفاده شد. رتبه‌های بدست 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 ایده‌ال در ریز مقیاس‌سازی 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 ایستگاه های 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).

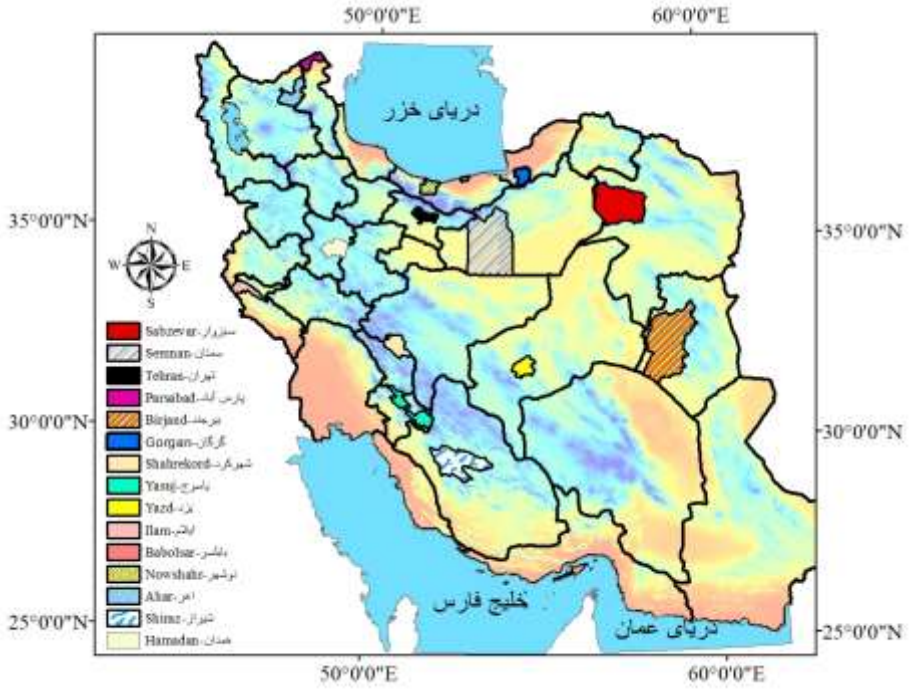
تحقیقات انجام گرفته اهمیت شاخص‌های اقلیمی را در بررسی وضعیت اقلیمی منطقه نشان می‌دهد که استفاده از شاخصی کارآمد دقت پایش را به شدت بالا می‌برد. در این راستا استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در انتخاب شاخص کارا موثر است. برای این منظور هدف این تحقیق تعیین شاخص اقلیمی موثر (ده شاخص) با استفاده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

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

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

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



شکل ۱: موقعیت مکانی ایستگاه‌های مطالعاتی در کشور

شاخص‌های اقلیمی

دما و بارندگی دو مولفه مهم و موثر در مطالعات اقلیمی هستند (Rani et al., 2022). شاخص‌های اقلیمی در واقع ترکیبات ریاضی از داده‌های هواشناسی هستند که براساس آستانه‌های تعریف شده برای هر شاخص، اقلیم منطقه بدست 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 تحقیق در جدول ۱ آورده شده است (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۰؛ میریعقوب زاده و همکاران، ۱۳۹۸؛ رمضانی گورابی، ۱۳۸۳).

جدول ۱: شاخص‌های اقلیمی استفاده شده در تحقیق 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 موثر	$PEI = 115(\frac{P}{T-10})^{1.11}$
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	$IT=(T+M+m)\times 10$
درصد نرمال بارش	$I=\frac{P}{\overline{P}}\times 100$
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	

روش های تصمیم گیری چند معیاره (MCDM)

تصمیم‌گیری چند معیاره به یک رویکرد حل مساله 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 اتلاق می‌شود که در آن مجموعه‌ای از پاسخ‌های قابل قبول وجود دارد و هدف رتبه‌بندی تعداد محدودی از گزینه‌ها براساس ویژگی‌های هر معیار است. هر روش تصمیم گیری چند معیاره شامل دو مرحله وزن‌دهی و رتبه‌بندی است (Hosseini Deshiri and Firoozabadi, 2023) که در ادامه روش‌های مورد استفاده در این تحقیق توضیح داده می‌شود.

روش وزن‌دهی تجمعی ساده (SAW)

این روش با وجود آن که روش ساده‌ای می‌باشد، ولی دارای کاربرد فراوانی است (شریفی کیا و همکاران، ۱۳۹۷). مرحله اول مشابه تمام مدل‌های تصمیم‌گیری شامل کمی‌سازی 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.

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

N: ماتریس نرمال، w: ماتریس وزن.

روش TOPSIS

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

۱-نرمال سازی ماتریس تصمیم با استفاده از روش نرم ۲-محاسبه ماتریس مربوط به وزن معیارها(W)

[1] Multiple Criteria Decision Making

تایید شده توسط مجلات الکترونیکی

۳- تعیین ماتریس **V**:

$$V = N \times W$$

۴- همان طور که بیان شد اصل روش براساس مقایسه فاصله از راه‌حل ایده‌ال مثبت V_j^+ و منفی V_j^- است. راه‌حل ایده ال مثبت برای شاخص‌های مثبت بزرگترین مقدار و برای شاخص‌های منفی کوچکترین مقدار است. راه‌حل ایده‌ال 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

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

۶-محاسبه نزدیکی نسبی یک گزینه به راه حل ایده‌ال 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)

SECA یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به‌صورت ارزیابی همزمان معیارها و گزینه‌ها است که می‌تواند در برابر تصمیم‌گیری‌های چند معیاره براساس مقایسات زوجی باشد. عملکرد این روش بر پایه یک مدل ریاضی غیر خطی 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 مساله تصمیم‌گیری چند معیاره با n گزینه و m معیار با وزن‌های معیارها ($w_j, j \in \{1,2,\ldots,m\}$) در نظر گرفته می‌شود. ماتریس تصمیم در رابطه ۴ در ماتریس X و نرمال شده در ماتریس X_N بیان شده است.

[1] Simultaneous Evaluation of Criteria and Alternatives

(۴)

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

.

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

انحراف معیار عناصر هر بردار می‌تواند اطلاعات تغییرات درون معیار را بدست آورد. برای گرفتن اطلاعات تغییرات بین معیارها از ماتریس تصمیم باید همبستگی بین هر جفت بردار 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 غیر خطی 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 مساله به صورت مساله بهینه‌سازی تک هدفه بیان می‌شود (رابطه ۵).

(۵)

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

با توجه به تابع هدف مدل اخیر کمینه امتیاز عملکرد کلی گزینه‌ها بیشینه می‌شود. با توجه به این که 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 موثر 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).

تایید شده توسط کمیته علمی قبل از انتشار الکترونیکی

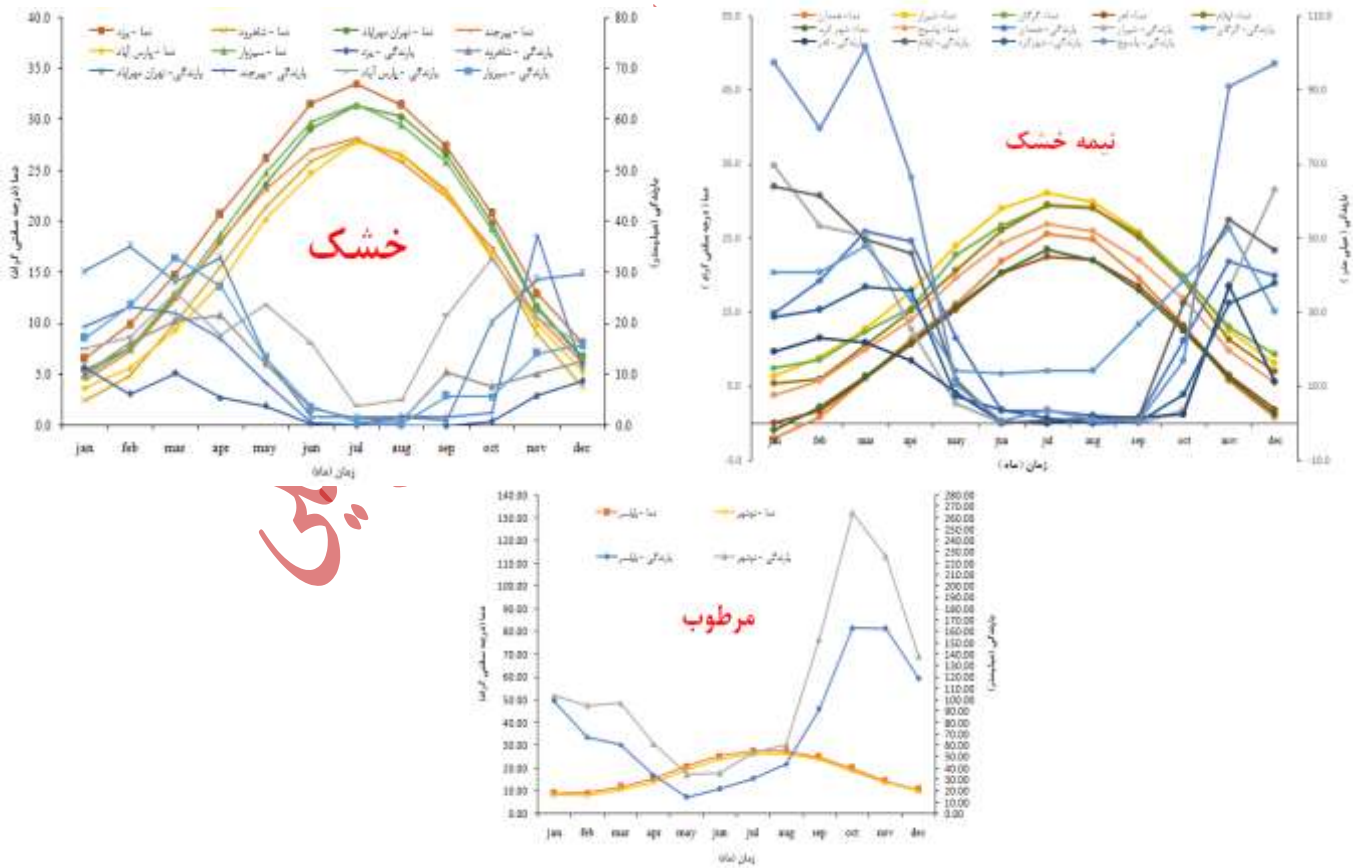
$$\Delta P = \frac{N - NN_{constant}}{N} \times 100 \quad (۶)$$

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

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 $rank_{i(r2)}$ به‌ترتیب رتبه گزینه ۱ در روش اول و دوم.

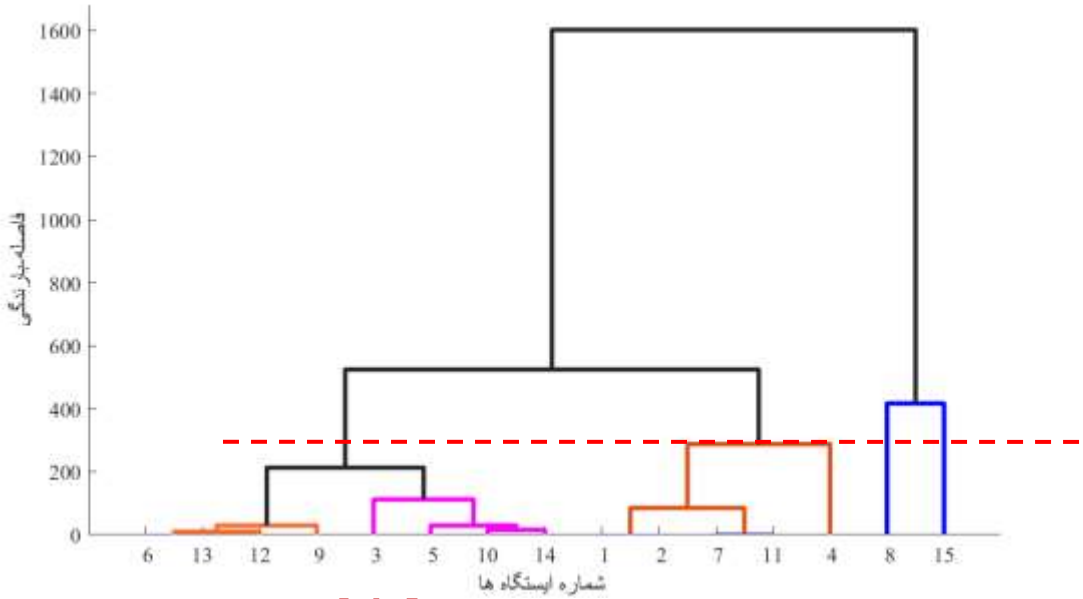
نتایج و بحث

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 به‌ترتیب مرطوب، استپی، بیابانی، مرطوب، بیابانی، استپی، بیابانی، مرطوب، استپی، استپی، بیابانی، استپی، بیابانی، استپی و استپی تعیین شد. تنوع اقلیمی در ایستگاه‌های مطالعاتی کاملا مشهود است و برای بررسی بیشتر اقلیم ایستگاه-ها، نمودار آمبروترمیک ایستگاه‌ها رسم شد (شکل ۲).



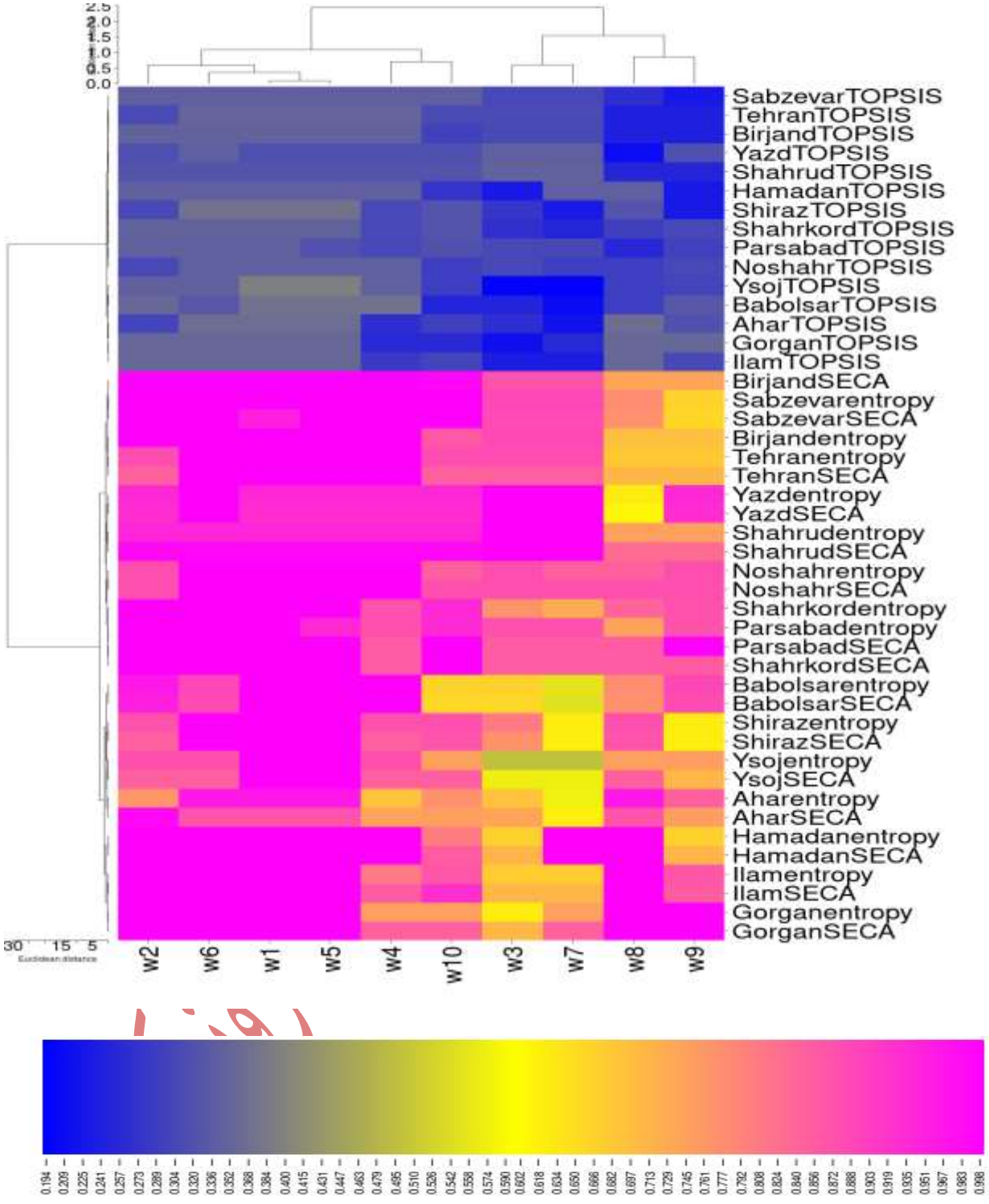
شکل ۲: نمودار آمبروترمیک ایستگاه‌ها در سه محدوده تقسیم‌بندی خشک، نیمه‌خشک و مرطوب

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 تقریبا 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 تحقیق 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 شامل۱۱/۵۶ 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.



شکل۳: نمودار درختی بارندگی ایستگاه‌های مطالعاتی (ترتیب ایستگاه‌ها از ۱ تا ۱۵: همدان، شیراز، یزد، یاسوج، شاهرود، تهران، گرگان، بابلسر، اهر، بیرجند، ایلام، پارس آباد، شهرکرد، سبزوار، نوشهر)

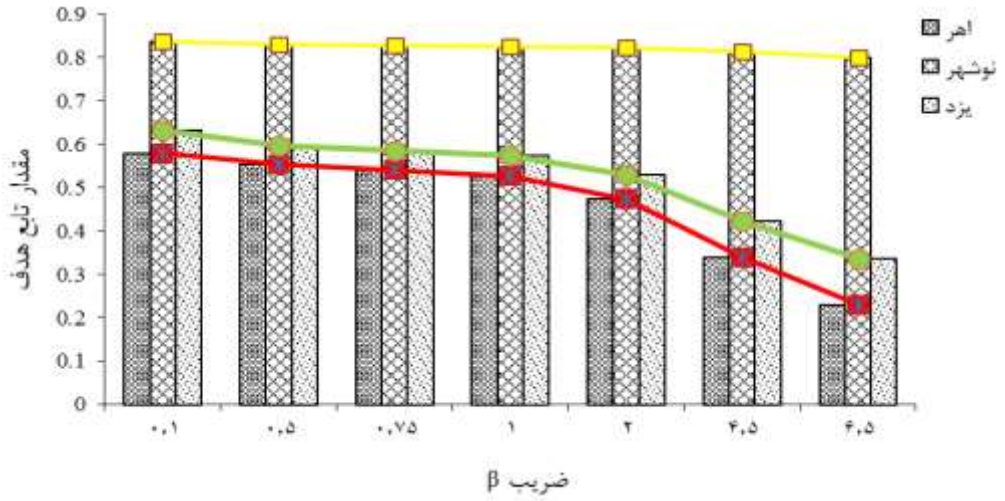
به‌طور کلی تعداد خوشه‌ها در شکل ۳ را می‌توان سه در نظر گرفت که شامل خوشه اول: بابلسر و نوشهر، خوشه دوم: یاسوج، ایلام، گرگان، شیراز و همدان، خوشه سوم: اهر، پارس آباد، شهرکرد، تهران، سبزوار، بیرجند، شاهرود و یزد. البته خوشه سوم را می‌توان ریزتر کرد و دو خوشه مجزا در نظر گرفت: خوشه اول: اهر، پارس آباد، شهرکرد، تهران، خوشه دوم: سبزوار، بیرجند، شاهرود، یزد. در واقع ایستگاه‌های داخل هر خوشه نمایانگر وضعیت تقریبا 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 ایده‌ال شد. در روش TOPSIS، نرمال سازی 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).



شکل٤: 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 تصمیم

گیری نیاز به تحلیل حساسیت در مورد ضریب β دارد. در این تحقیق تحلیل حساسیت براساس 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.



شک

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

براساس 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 نشان دهنده اهمیت انجام تحلیل حساسیت در روش SECA بر نتایج رتبه‌بندی است. در ادامه نتایج رتبه‌بندی شاخص‌های اقلیمی با استفاده از سه روش تصمیم‌گیری براساس مبانی بیان شده در مواد و روش‌ها در جدول ۲ آورده شده است.

همای وبلاگ چاپ الکترونیکی

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

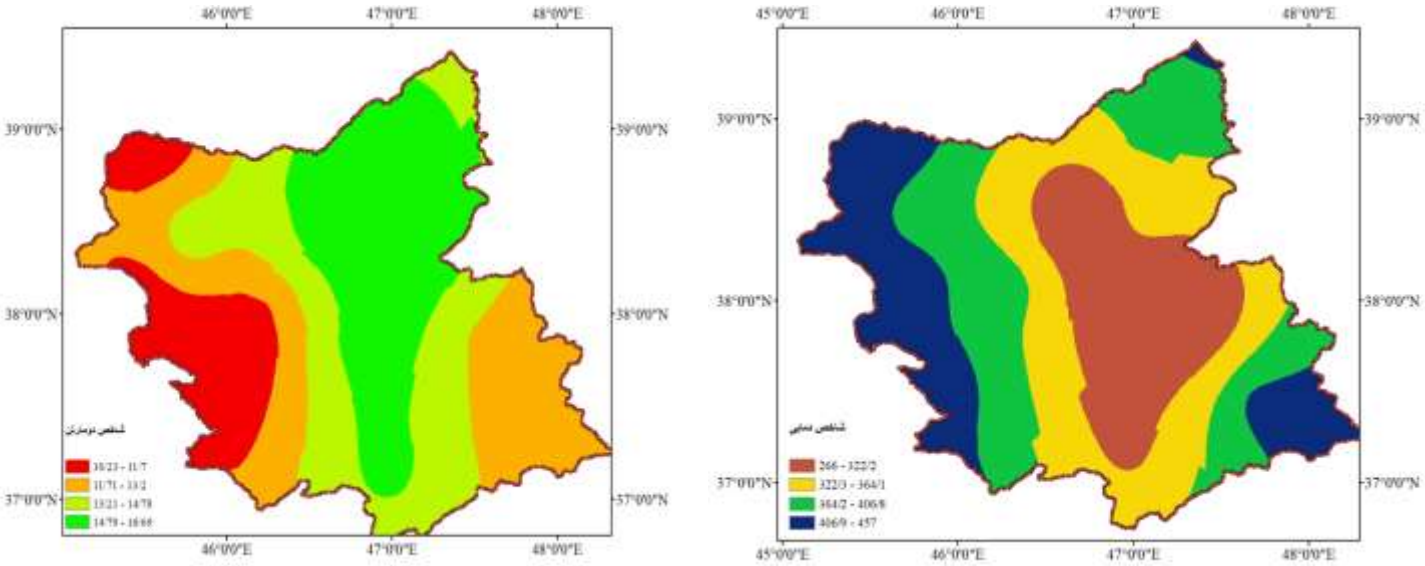
	شاخص	همدان	شیراز	یزد	یاسوج	شاهرود	تهران	گرگان	بابلسر	اهر	بیرجند	ایلام	پارس آباد	شهرکرد	سبزوار	نوشهر
SAW	دومارتن	۱	۱	۳	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
	بارش موثر	۱	۵	۳	۲	۲	۴	۱	۳	۶	۱	۱	۱	۱	۱	۴
	ایوانف	۶	5	۱	۶	۱	۲	۱۰	۵	۵	۳	۶	۳	۶	۴	۲
	سیلیانینوف	۱	۴	۳	۲	۲	۱	۵	۱	۶	۱	۶	۴	۴	۱	۱
	خشکی	۱	۱	۳	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۳	۱	۱	۱
	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 موثر	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 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	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	۵	۲	۵	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 موثر	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

براساس 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 موثر، ایوانف، سیلیانینوف، خشکی،

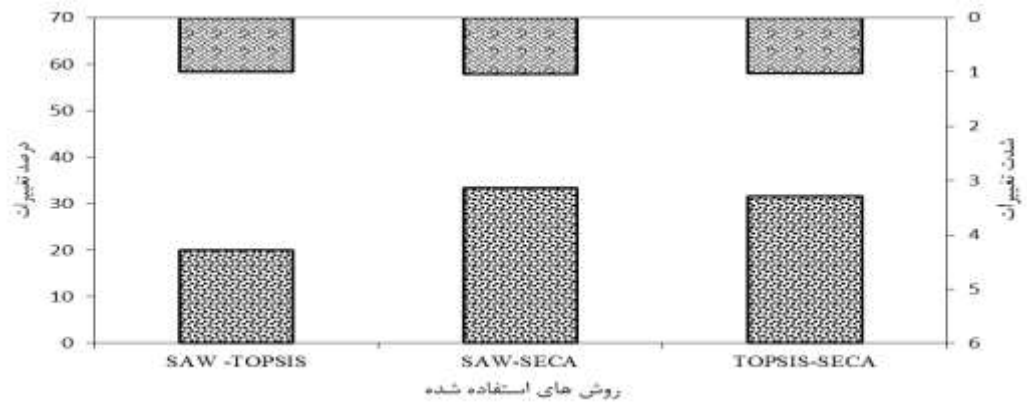
تائید شده نهایی ویرایش از سایت الکترونیک

پوشش گیاهی، درصد نرمال ناهنجاری، بری و دمایی به‌ترتیب برابر با ۱۳، ۷، ۲، ۶، ۱۲،۱۲، ۳،۴،۱،۱ و در روش SECA برابر با ۱۱، ۸، ۱،۱،۳،۳،۱۱،۱۱،۶،۲ است. بیشترین تعداد رتبه‌های یک در سه روش تصمیم‌گیری مربوط به شاخص‌های دومارتن، خشکی، پوشش گیاهی و بعد بارش موثر است. شاخص دومارتن به‌عنوان یکی از شاخص‌های موثر در طبقه-بندی 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، بجز ایستگاه یزد و شاهرود. دلیل این که در این دو ایستگاه رتبه بالا کشیده شده است مربوط به وضعیت اقلیمی منطقه است که به شدت حالت خشکی دارد و دیگر این که 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 تحقیق کاردان (۱۳۸۳) در ریزپهنه بندی اقلیمی نیز قابل تامل بود. مساله 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 نسبتا متوسطی قرار گرفته است که دلیل آن را می‌توان در وضعیت رطوبتی بالای منطقه دانست. براساس 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 اینصورت 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 بدست 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 بیش‌برآورد دارد. شاخص دمایی نیز دارای یک رتبه یک در جدول ۲ است که عملکرد شاخص را تحت تاثیر قرار می‌دهد. دلیل این مساله مانند حالت قبل در این است که مقدار عددی شاخص در بیشتر ایستگاه‌ها در مرز خیلی گرم یا فراگرم 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 بجز یک ایستگاه در محدوده نزدیک نرمال است که این حالت هم در تمام اقلیم‌ها نمی‌تواند جوابگو باشد. در مورد ضریب بری هم تمایل بسمت 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 علی الخصوص دما و بارندگی عملکرد شاخص اقلیمی را افزایش می‌دهد. اگر رتبه‌بندی شاخص پوشش گیاهی و ایوانف با هم 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 موثر و درصد نرمال بارش محاسبه شد که میزان کاهش ضریب همبستگی از شاخص دومارتن به بارش موثر و درصد نرمال بارش به‌ترتیب برابر با ۱/۰۱ و ۳۷/۳۷ درصد بود. در حالت دیگر با استفاده از رویکرد پهنه‌بندی نتایج رتبه‌بندی بررسی شد، به این‌صورت که در استان آذربایجان‌شرقی پهنه‌بندی شاخص دومارتن و شاخص دمایی در نرم افزار Arc GIS PRO 2.8.6 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 براساس مرزبندی شاخص دمارتن، اقلیم نیمه‌خشک و براساس 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 براساس 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، استانداره 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 موثر

براساس 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 بجز 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 کلی

تغییرات اقلیمی همراه با پیامدهای شدیدی زیست محیطی 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 تحقیق عملکرد شاخص‌های اقلیمی دومارتن، ایوانف بارش موثر، ضریب بری، دمایی، درصد نرمال بارش، ناهنجاری بارندگی، پوشش گیاهی، خشکی و سیلیانینوف با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره بررسی شد. در این تحقیق تعداد زیادی از شاخص‌های اقلیمی بررسی شده‌اند و همچنین در تحقیقات بیان شده در بخش اقلیمی تنها از یک روش تصمیم گیری استفاده شده است و در این تحقیق 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 به شدت بالا ببرد. برخی از شاخص‌ها مانند دومارتن، خشکی، پوشش گیاهی وسپس بارش موثر دارای رتبه‌های بالایی هستند، ولی برخی از شاخص‌ها مانند شاخص ایوانف در شرایط جدی دارای کارایی بالایی است. کارایی شاخص دومارتن در تحقیق قربانی زاده خرازی و چله مال دزفول نژاد (۱۳۹۳) و کاردان (۱۳۸۳) هم بیان شد. عملکرد قابل قبول روش‌های تصمیم گیری چند معیاره در اتخاذ گزینه برتر در تحقیقات دحیماوی و همکاران (۱۳۹۳)، کریمی و قاسمی (۱۳۹۶) هم مشاهده شد. در این راستا استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در انتخاب شاخص کارا موثر است. برای این منظور هدف این تحقیق تعیین شاخص اقلیمی موثر (ده شاخص) با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره است.

منابع

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

پارسامهر، امیرحسین و خسروانی، زهرا. (۱۳۹۶): تعیین شدت خشکسالی با استفاده از تصمیم گیری چند معیاره بر مبنای TOPSIS(مطالعه موردی: ایستگاه های منتخب استان اصفهان). تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۴(۱)، ۲۹-۱۶.

پرون، صدیقه؛ یاوری، غلامرضا و رضازاده، مریم. (۱۳۹۷): پهنه بندی اقلیمی استان هرمزگان با استفاده از روشهای کلاسیک. *فصلنامه* جغرافیا (برنامه ریزی منطقه‌ای)، ۸(۳۳)، ۱۲۷-۱۱۵.

دحیماوی، عادل؛ غنیان، منصور؛ مهراب قوچانی، امید و زارعی، حیدر. (۱۳۹۳): فرآیند بکارگیری مدلهای تصمیم گیری چند معیاره در اولویت بندی اجرای طرحهای توسعه منابع آب مناطق روستائی استان خوزستان. آب و توسعه پایدار،۱(۳)، ۱۶-۹.

رمضانی گورابی، بهمن. (۱۳۸۳): معرفی طبقه بندی اقلیمی ریواس مارتینز (مطالعه موردی: استان گیلان و خراسان). جغرافیایی سرزمین، ۳(۳)، ۶۵-۵۶.

سیابی، نگار و ثنایی نژاد، سید حسین. (۱۳۹۲): بررسی روش های ترکیبی زمین آمار در افزایش دقت طبقه بندی اقلیمی و نیز پهنه بندی عناصر اقلیمی شمال شرق ایران. *پژوهش های اقلیم شناسی*، ۱۵، ۸۱-۳۲.

طاوسی، 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.*

علیزاده، امین؛ کمالی، غلامعلی؛ موسوی، فرهاد و موسوی بایگی، محمد. (۱۳۹۰): جلد ۱: هوا و اقلیم شناسی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ چهاردهم. مشهد، ایران.

قربانی‌زاده خرازی، حسین و چله مال دزفول‌نژاد، مژده. (۱۳۹۳): ابداع روش طبقه بندی اقلیمی جدید بر مبنای هیدرومتئورولوژی. *فصلنامه علمی تخصصی مهندسی آب*، ۲(۲)، ۱۰۸-۹۷.

کاردان، رحمت‌الله. (۱۳۸۳): ارزیابی چهار روش طبقه بندی اقلیمی درایران با مدسازی رایانه‌ای. مجله مسکن و انقلاب، ۱۰۶، ۱۵-۱.

کریمی احمدآباد، مصطفی و قاسمی، الهه. (۱۳۹۶): بررسی پدیده تغییر اقلیم با رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره. *نشریه علمی جغرافیا و برنامه ریزی*، ۲۱(۶۱)، ۳۶۱-۳۴۱.

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.

نظم‌فر، حسین و پادروندی، بهزاد. (۱۳۹۴): تحلیل مقایسه ای از کاربرد روش های تحلیل چند معیاره در مطالعات منطقه ای (مطالعه موردی: استان لرستان. *فصلنامه علمی برنامه ریزی منطقه‌ای*، ۵(۱۷)، ۴۴-۳۱.

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.

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.

Keshavarz-Ghorabaee, Amiri, M., Zavadskas, M., Turskis, E.K., & Antucheviciene, J. (2018): Simultaneous evaluation of criteria and alternatives (SECA) for multi-criteria decision-making. Informatica, 29(2), 265-280.

Rani, A., Sharma, D., Babel, M.S., & Sharma, A. (2022): Spatio-temporal assessment of agroclimatic indices and the monsoon pattern in the Banas River Basin, India. Environmental Challenges, 7, 100483.

Sahin, S. (2012): An aridity index defined by precipitation and specific humidity. Journal of Hydrology, 444, 199-208.

Wei, C., Dong, X., Yu, D., Zhang, T., Zhao, W., Ma, Y., & Su, B. (2022): Spatio-temporal variations of rainfall erosivity, correlation of climatic indices and influence on human activities in the Huaihe River Basin, China. Catena, 217, 106486.