نشریه پژوهش‌های اقلیم شناسی
سال سیزدهم | شماره پنجاهم | تابستان ۱۴۰۱
وصول: ۱۳۹۸/۱۲/۲۱ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۷
صص ۱۵۰-۱۳۵

مطالعه ویژگی‌های اقلیمی شمال غرب کشور بر مبنای تحلیل‌های آماری چند متغیره

علی حنفی*
استادیار اقلیم شناسی گروه جغرافیا دانشگاه امام علی (ع)، تهران، ایران

چکیده

عوامل جوی و اقلیمی نظیر بارندگی، دما، رطوبت و ... به طور مستقیم در فعالیت‌های انسان تاثیر می‌گذارد. به همین دلیل لازم است تا در برنامه‌ریزی‌های مختلف، نقش پارامترهای جوی به عنوان عاملی موثر در روند اجرایی برنامه‌ها مورد بررسی قرار گیرد. طبقه بندی اقلیمی نواحی جغرافیایی از گذشته‌های دور اذهان اقلیم شناسان را به خود مشغول کرده است، استفاده از چند پارامتر اقلیمی در روش‌های سنتی به تنهایی نمی‌تواند گویای واقعیت اقلیم نواحی باشد. بنابراین در سالیان اخیر محققان کوشیده‌اند با استفاده از غالب پارامترهای مؤثر بر اقلیم و روش‌های چند متغیره، تصویری واقعی از اقلیم نواحی ارائه دهند. هدف این مقاله پهنه بندی اقلیمی منطقه شمال غرب کشور با روش تحلیل عاملی و خوشه‌ای است. در این روش‌ها غالب عناصر اقلیمی در تعیین نوع آب و هوای منطقه دخالت داده می‌شود. در این پژوهش با استفاده از روش تحلیل عاملی و خوشه‌ای پهنه بندی اقلیمی منطقه آذربایجان صورت گرفت. بدین منظور یک ماتریس ۱۹ در ۲۹ شامل ۱۹ ایستگاه سینوپتیک هواشناسی و ۲۹ متغیر اقلیمی تشکیل شد. به علت تفاوت در مقیاس اندازه گیری متغیرها از نمره استاندارد داده‌ها استفاده گردید. بررسی نتایج حاصل از تحلیل عاملی نشان داد که اقلیم منطقه آذربایجان بیشتر حاصل شش عامل حرارتی، رطوبت جوی، بارشی، باد و محدودیت دید، بارش تندری و یخبندان می‌باشد. مجموعه این شش عامل حدود ۹۲ درصد رفتار اقلیمی منطقه مورد مطالعه را توجیه می‌کنند. در ادامه تحلیل خوشه‌های با فواصل اقلیدسی و روش وارد بر روی عوامل شش گانه صورت گرفت و منطقه شمال غرب به هشت ناحیه آب‌وهوایی نیمه خشک و بادی، سرد و نسبتاً مرطوب، سرد و نیمه خشک، نیمه سرد و بارشی، نیمه سرد و نسبتاً بارشی، گرم و نیمه خشک، نیمه سرد و تندری و کمی گرم و نیمه خشک تقسیم گردید.

کلید واژه‌ها: پهنه بندی آب و هوایی، تحلیل خوشه‌ای، تحلیل عاملی، منطقه شمال غرب.

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۰۶۱۵۴۹۷
Email: hanafi772@gmail.com

مقدمه

یکی از اهداف اصلی در مطالعات اقلیمی، انجام طبقه‌بندی اقلیمی است. با این نوع طبقه‌بندی سعی می‌شود مناطقی که از نظر دما، بارش، فشار، رطوبت، جریان هوا و سایر پارامترهای اقلیمی مشابهت دارند، در یک گروه قرارگرفته و از نظر تیپ اقلیمی نام‌گذاری شوند (فرج زاده، ۱۳۹٤). تقسیم‌بندی‌های آب‌وهوایی و شناخت مهم‌ترین عوامل و عناصر تأثیرگذار بر هر ناحیه یکی از راه‌های شناخت شناسنامه اقلیمی نواحی است. آب‌وهوای هر ناحیه مرکب از کلیه عوامل و عناصر آب‌وهوایی آن ناحیه است و هنگام تقسیم‌بندی باید همه آن عوامل و عناصر در نظر گرفته شود. فقط با استناد به دما، بارش و رطوبت نمی‌توان به بررسی و شناخت اقلیم یک ناحیه پرداخت (خسروی و آرامش، ۱۳۹۱). هدف اصلی در تقسیم‌بندی آماری، بیشینه کردن تجانس درون‌گروهی و عدم تجانس برون گروهی است، یعنی نواحی آب‌وهوایی باید بیشترین تشابه و تجانس درونی و در همان حال بیشترین تفاوت را با همدیگر داشته باشند (کاویانی و علیجانی، ۱۳۹٤). نیاز بشر به شناخت توان‌های محیطی جهت برنامه‌ریزی و بهره‌برداری بهینه از منابع، دامنه اطلاعات وی را در زمینه اقالیم مختلف افزایش داده و به دنبال آن طبقه‌بندی اقلیمی جهت استفاده مؤثر از این اطلاعات ضرورت یافته است. روش‌های طبقه‌بندی سنتی بر عوامل محدودی تأکید دارد، مانند بارش، دما و رطوبت و فقط با استفاده از چند عامل طبقه‌بندی خاصی را ارائه می‌دهد که در بسیاری از موارد ناکارآمد است، زیرا در بسیاری از مناطق ممکن است عوامل مورداستفاده در طبقه‌بندی حاکمیت نداشته باشند و عوامل یا عناصر اقلیمی دیگری بر منطقه مؤثر باشد. پهنه‌بندی اقلیمی یعنی شناسایی پهنه‌هایی که از آب‌وهوای یکسان برخوردارند (مسعودیان، ۱۳۸۲). طبقه‌بندی اقلیمی از اوایل قرن بیستم موردتوجه اقلیم شناسان قرارگرفته است. تاکنون سه نوع روش برای طبقه‌بندی عناصر اقلیمی (طبقه‌بندی تجربی، طبقه‌بندی ژنتیک و طبقه‌بندی چند متغیره) به کار گرفته‌شده است. امروزه پیدایش فن‌آوری رایانه و پیشرفت علم آمار شرایط مناسب را برای افزایش مبانی اطلاعات در زمینه پهنه‌بندی اقلیمی فراهم کرده است. یکی از روش‌های معقول و همه‌جانبه در طبقه‌بندی‌ها، طبقه‌بندی چند متغیره است که با استفاده از N متغیر به طبقه‌بندی اقلیمی می‌پردازد. ازجمله روش‌های چند متغیره که در مطالعات اقلیمی موردتوجه قرارگرفته‌اند می‌توان به روش‌های تحلیل خوشه‌ای و تحلیل مؤلفه‌ای اشاره نمود که اثرات متقابل تعداد زیادی از مؤلفه‌های اقلیمی را ملاک تقسیم‌بندی قرار می‌دهند. این شیوه تقسیم‌بندی اقلیمی برای اولین بار توسط استاینر در سال ۱۹۵۵ در ایالات‌متحده آمریکا به کار گرفته شد و از آن پس در سطح جهان به‌طور گسترده‌ای مبنای تقسیم‌بندی‌های اقلیمی قرار گرفت (گرامی مطلق و شبانکاری، ۱۳۸۵). به‌کارگیری روش‌های چند متغیره (تحلیل عاملی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی، تحلیل خوشه‌ای و ...) در پهنه‌بندی نواحی اقلیمی در یکی دو دهه اخیر بسیار فراگیر شده است. زیرا این روش‌ها علاوه بر این‌که از جامعیت و دقت بیشتری نسبت به روش‌های کلاسیک و سنتی برخوردارند، به سهولت قابل‌اجرا هستند. ازاین‌رو اقلیم شناسان زیادی به‌منظور طبقه‌بندی و پهنه‌بندی عناصر اقلیمی از این روش بهره گرفته‌اند.

راموس(۲۰۰۱) با استفاده از روش خوشه‌بندی به بررسی تغییرپذیری الگوی توزیع بارش در منطقه مدیترانه پرداخته است. کارباجال و همکاران(۲۰۰۷) با ناحیه بندی و پهنه‌بندی مناطق بیوکلیمایی در مرکز و شمال شرق مکزیکو توانایی تحلیل عاملی را در ناحیه بندی نشان داده و نواحی آب‌وهوایی این منطقه را شناسایی کردند. پیندا و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی، نواحی اقلیمی را در شمال شرق مکزیک تعیین کردند. در این پژوهش از داده‌های ماهانه دما و بارش ۱۷۳ ایستگاه هواشناسی در طی دوره آماری ۳۰ ساله استفاده گردیده و درنهایت طبقه‌بندی اقلیمی برای کشور مکزیک صورت گرفت. المزروعی و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی به مطالعه و پهنه‌بندی اقلیمی کشور عربستان با استفاده از مؤلفه‌های اصلی و با کاربرد دو متغیر دما و بارش پرداختند. در این مطالعه پنج تیپ اقلیمی شامل: شمالی، ساحلی دریای سرخ، داخلی، کوهستانی و جنوبی برای کشور عربستان شناسایی گردید. کاروالیو و همکاران (۲۰۱٦) در مطالعه‌ای با استفاده از شبیه‌سازی بارش روزانه و دماهای کمینه و بیشینه، قلمرو اروپا را به مناطقی با تغییرات اقلیمی شبیه‌سازی شده مشابه تقسیم کردند. سراج

الدوله و اسلام (۲۰۱۹) در پژوهشی به شناسایی مناطق آب‌وهوایی کشور بنگلادش با استفاده از تحلیل خوشه‌ای و روش‌های تحلیل وارد و تحلیل فازی پرداختند. نتایج حاصل منجر به شناسایی هفت ناحیه آب‌وهوایی در کشور بنگلادش گردید. سعدی و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی به شناسایی نواحی اقلیمی بورنئو با استفاده از تحلیل خوشه‌ای پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که منطقه بورنئو بر اساس روش تحلیل خوشه‌ای به چهار ناحیه اقلیمی گرم و خشک، گرم و مرطوب، گرم و سرد و مرطوب تقسیم می‌گردد.

در ایران نیز مطالعات متعددی در مورد پهنه‌بندی عناصر اقلیمی صورت گرفته است. مسعودیان (۱۳۸۲) با استفاده از روش تحلیل عاملی، پراکندگی جغرافیایی بارش را در کشور موردبررسی قرار داده است. در این روش که با استفاده از تحلیل عاملی دوران نیافته انجام‌گرفته است سه قلمرو پربارش در کشور شناسایی گردید. گرامی مطلق و شبانکاری (۱۳۸۵) به پهنه‌بندی اقلیمی استان بوشهر با استفاده از تحلیل خوشه‌ای پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که استان بوشهر بر اساس مؤلفه‌های اقلیمی به شش ناحیه تقسیم می‌گردد. در پژوهشی دیگر سلیقه و همکاران (۱۳۸۷) به پهنه‌بندی اقلیمی استان سیستان و بلوچستان با استفاده از تحلیل خوشه‌ای و عاملی پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که اقلیم استان از پنج عامل رطوبت جوی، بارش، حرارت، تابش و باد و تندر تشکیل‌شده است. شیرانی و همکارانی (۱۳۸۸) در پژوهشی به پهنه‌بندی اقلیمی استان یزد با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره پرداخته و شش پهنه اقلیمی را برای این استان شناسایی کردند. اشرفی (۱۳۸۹) در پژوهشی به پهنه‌بندی بارش شمال غرب ایران با استفاده از روش‌های تحلیل خوشه‌ای و تحلیل ممیزی پرداختند. در تحقیق حاضر بارش شمال غرب کشور با استفاده از هشت مشخصه بارشی و بهره‌گیری از روش‌های تحلیل خوشه‌ای و ممیزی طبقه‌بندی گردید و نتایج به‌دست‌آمده حاکی از وجود چهار ناحیه بارشی در محدوده موردمطالعه می‌باشد. خسروی و آرامش (۱۳۹۱) با استفاده از تحلیل عاملی- خوشه‌ای به پهنه‌بندی اقلیمی استان مرکزی پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که اقلیم استان مرکزی متأثر از شش مؤلفه غباری- برودتی، بارشی، ابرناکی- نمی، گرمایی، بارشی-سرمایشی و ابرناکی- تندری است. نادری و خلیلی (۱۳۹۲) در تحقیقی به طبقه‌بندی اقلیم بارش ایران با روش تحلیل عاملی – خوشه‌ای پرداختند. نتایج پژوهش منجر به شناسایی شش ناحیه بارشی در کشور گردید که این نواحی نیز به چهار گستره کوچک و دو گستره بزرگ تفکیک شدند.

نظری پور و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی به ناحیه بندی اقلیمی جنوب و جنوب غرب ایران با رویکرد برنامه‌ریزی منطقه‌ای پرداختند. نتایج حاصل از این تحقیق منجر به شناسایی سه پهنه اقلیمی شامل اقلیم‌های گرم و مرطوب، گرم و خشک و سرد و پربارش در منطقه جنوب و جنوب غرب کشور گردید. میرموسوی و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیقی به مطالعه ویژگی‌های اقلیمی استان‌های کرمانشاه و کردستان بر مبنای تحلیل‌های عاملی و خوشه‌ای پرداختند. براساس تحلیل عاملی اقلیم این دو استان تحت تأثیر شش عامل اقلیمی می‌باشد و براساس تحلیل خوشه‌ای منطقه موردمطالعه به پنج خوشه اقلیمی تقسیم گردید. نظم فر و گلدوست (۱۳۹۳) در پژوهشی به پهنه‌بندی آب‌وهوایی شمال و شمال غرب ایران با استفاده از تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای پرداختند. نتایج حاصل از این پژوهش باعث شناسایی ده ناحیه آب‌وهوایی در بخش شمال و شمال غرب ایران گردید. صالحی و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی به پهنه‌بندی اقلیمی استان کهگیلویه و بویراحمد با استفاده از تحلیل عاملی – خوشه‌ای پرداخته و به این نتیجه رسیدند که اقلیم استان کهگیلویه و بویراحمد دارای پنج مؤلفه اصلی و هشت خرده ناحیه اقلیمی می‌باشد. حنفی (۱۳۹۹) در پژوهشی به شناسایی نواحی و رژیم‌های بارشی کشور جمهوری آذربایجان با استفاده از تحلیل خوشه‌ای پرداخته و شش ناحیه بارشی شامل منطقه پربارش قفقاز بزرگ، قفقاز کوچک (منطقه قره‌باغ) و لنکران و منطقه کم بارش شامل جلگه کورا، آران و آبشوران را در کشور آذربایجان شناسایی کرد. اعتمادیان و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی با استفاده از روش تحلیل مؤلفه اصلی و تحلیل خوشه‌ای به شناسایی نواحی امواج گرمایی در ایران پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که الگوی مکانی امواج گرمایی ایران، نواحی همگن در طی سال است، و انسجام و همگنی مکانی نواحی مذکور در دوره سرد سال بیشتر از دوره گرم می‌باشد.

هدف از انجام این پژوهش، تفکیک مکانی ریز پهنه‌های اقلیمی در منطقه شمال غرب کشور با بهره‌گیری از

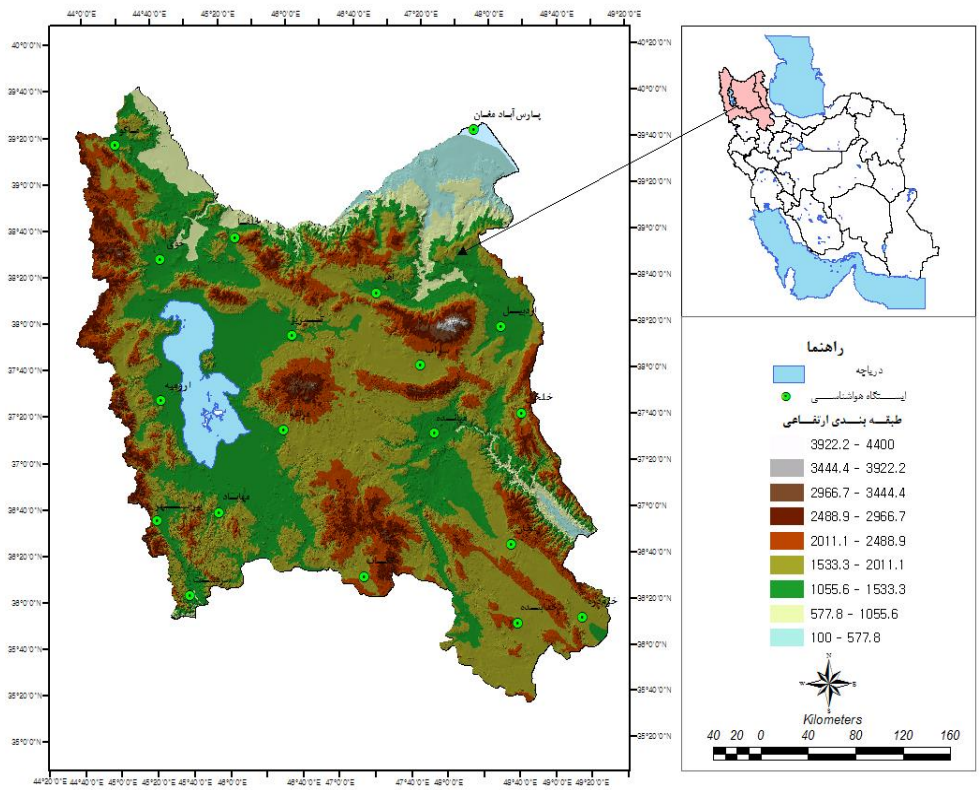
روش‌های آماری چند متغیره و شناسایی مهم‌ترین عناصر اقلیمی تأثیرگذار بر کلیت اقلیم آن است. زیرا این منطقه از تنوع محیطی، ارتفاعی و به‌ویژه اقلیمی برخوردار می‌باشد. ازآنجاکه این منطقه از قطب‌های مهم صنعتی، کشاورزی و گردشگری کشور به شمار می‌رود، لذا جهت مدیریت و برنامه‌ریزی محیطی و بهره‌گیری از ظرفیت‌های اقلیمی آن، شناسایی پهنه‌های اقلیمی همگن و تأثیرگذارترین عناصر اقلیمی در تفکیک مکانی نواحی اقلیمی ضروری است.

موقعیت جغرافیایی منطقه

منطقه موردمطالعه در این تحقیق شامل استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، اردبیل و زنجان می‌باشد. این بخش از کشور ۱۱۸۶۷۰ کیلومترمربع مساحت از مساحت کشور را به خود اختصاص داده است که حدود ۷/۵ درصد مساحت کشور را دربر می‌گیرد. محدوده موردمطالعه در قسمت شمال با کشورهای آذربایجان و ارمنستان، در غرب با کشور ترکیه و عراق، از جنوب با استان‌های همدان و کردستان، در جنوب شرق با استان قزوین و از سمت شرق با استان گیلان دارای مرز مشترک است. متوسط ارتفاع منطقه ۱۸۳۰ متر بوده که بلندترین نقطه آن دارای ارتفاع بیش از ٤٥۰۰ متر و کمترین ارتفاع آن ۱۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد. ازلحاظ آب‌وهوایی این منطقه محل عبور سیستم‌ها و توده‌های مختلف اقلیمی است که حاصل آن به وجود آمدن پهنه‌های گوناگون اقلیمی بر روی آن بوده است. شکل (۱) توزیع ارتفاعات منطقه و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک موردمطالعه را نشان می‌دهد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش با استفاده از روش‌های نوین آماری و سیستم اطلاعات جغرافیایی طبقه‌بندی اقلیمی برای منطقه شمال غرب انجام گردیده است. بدین منظور داده‌های مربوط به ۲۹ متغیر اقلیمی مربوط به ۱۹ ایستگاه سینوپتیک طی دوره آماری ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۵ از سازمان هواشناسی کشور دریافت گردیده و به‌منظور پهنه‌بندی اقلیمی منطقه شمال غرب کشور، مورداستفاده قرار گرفت. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک مورداستفاده در این پژوهش در جدول (۱) مشخص گردیده است.



شکل ۱- توپوگرافی و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه موردمطالعه

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک در منطقه موردمطالعه

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع
ماکو	٤٤ ٢٦	٣٩ ٢٠	١٤١١	زنجان	٤٨ ٢٩	٣٦ ٤١	١٦٦٣
خوی	٤٤ ٥٨	٣٨ ٣٣	١١٠٣	میانه	٤٧ ٤٣	٣٧ ١٣	١١٦٩
ارومیه	٤٥ ٠٥	٣٧ ٣٢	١٣٢٨	مراغه	٤٦ ١٤	٣٧ ٢٤	١٤٧١
پیرانشهر	٤٥ ٠٨	٣٦ ٤٠	١٤٥٥	سراب	٤٧ ٣٣	٣٧ ٥٥	١٦٩٠
مهاباد	٤٥ ٤٣	٣٦ ٤٦	١٣٦٥	تبریز	٤٦ ١٧	٣٨ ٠٦	١٤٤٢
سردشت	٤٥ ٣٠	٣٦ ٠٩	١٦٧٠	اهر	٤٧ ٠٣	٣٨ ٢٩	١٩٨٥
تکاب	٤٧ ٠٧	٣٦ ٢٣	١٧٦٥	جلفا	٤٥ ٣٨	٣٨ ٥٢	١٠٥٠
خدابنده	٤٨ ٣٥	٣٦ ٠٧	١٨٨٧	پارس‌آباد	٤٧ ٥٥	٣٩ ٣٦	٥٧٠
خرمدره	٤٩ ١١	٣٦ ١١	١٥٧٥	اردبیل	٤٨ ١٧	٣٨ ١٥	١٣٤٢
خلخال	٤٨ ٠٧	٣٧ ٥١	١٧٢٠				

پس از بررسی و تأیید صحت‌وسقم داده‌ها تحت عنوان آزمون ران تست و تی استیودنت در محیط نرم‌افزار SPSS ماتریسی با ابعاد ۲۹* ۱۹ (عدد ۱۹ نمایانگر تعداد ایستگاه‌ها و عدد ۲۹ نمایانگر تعداد متغیرهای اقلیمی است) تهیه گردید که این ماتریس اساس طبقه‌بندی اقلیمی منطقه شمال غرب قرار گرفت. همچنین به علت متفاوت بودن مقیاس اندازه‌گیری داده‌ها از نمره استاندارد داده‌ها برای تحلیل‌ها استفاده شد. سرانجام با استفاده از روش تحلیل عاملی با دوران واریماکس به‌منظور کاهش ابعاد ماتریس داده‌ها و شناسایی مؤلفه‌های اصلی اقلیمی منطقه شمال غرب و از روش تحلیل خوشه‌ای پایگانی به طریق وارد جهت پهنه‌های اقلیمی منطقه موردمطالعه استفاده گردید.

تحلیل عاملی

در دهه ۱۹۵۰ لورنز در پژوهش‌های هواشناسی و اقلیم‌شناسی روش تحلیل عاملی را بکار برد. وی نام این روش را تابع تجربی غیر همبسته نامید، امتیاز این روش در این است که ضمن اینکه تعداد متغیرها را کاهش می‌دهد مقدار اولیه پراش موجود در داده‌های اصلی را حفظ می‌کند. در اغلب موارد نتایج نهایی فرایند تحلیل عاملی، به‌عنوان داده‌های اولیه روش خوشه‌بندی استفاده می‌شود (علیجانی، ۱۳۸۱، ۱۸۰). هرقدر همبستگی داخلی بین متغیرها نزدیک‌تر باشد، تعداد عامل‌های پدید آمده کمتر خواهد بود. الگوی تحلیل عاملی به‌صورت زیر است:

رابطه (۱):

$$X_1 - \mu_1 = \ell_{11} f_1 + \ell_{12} f_2 + \ldots \ell_{1m} f_m + \varepsilon_1$$

$$X_2 - \mu_2 = \ell_{21} f_1 + \ell_{X_1,\ldots,X_n 22} f_2 + \ldots \ell_{2m} f_m + \varepsilon_2$$

$$. X_p - \mu_p = \ell_{p1} f_1 + \ell_{p3} f_2 + \ldots \ell_{pm} f_m + \varepsilon$$

بردار تصادفی قابل‌مشاهده X با P مؤلفه دارای میانگین μ و ماتریس کوواریانس ∑ است. در الگوی عاملی فرض می‌شود که X وابسته خطی چند متغیر تصادفی غیرقابل مشاهده $F_1, F_2, \ldots F_m$ است که به آن‌ها عوامل مشترک می‌گویند و P منبع دیگر از متغیرهای $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \ldots, \varepsilon_p$ هستند که خطا یا عوامل خاص نامیده می‌شوند (خسروی و همکاران ۱۳۹۰).

تحلیل خوشه‌ای

در این روش گروه‌بندی مشاهدات براساس فاصله بین آن‌ها انجام می‌گیرد. در یک تحلیل خوشه‌ای دو گام اساسی وجود دارد. گام اول محاسبه درجه همانندی افراد با یکدیگر است و گام دوم چگونگی ادغام افراد برحسب درجه همانندی آن‌ها با یکدیگر. درواقع هدف اصلی روش خوشه‌بندی ایجاد گروه‌ها و طبقاتی است که تنوع و تفرق درون‌گروهی آن‌ها کمتر از تفرق و پراکنش بین گروهی باشد (علیجانی، ۱۳۸۱). بسته به روشی که برای محاسبه درجه همانندی و چگونگی ادغام انتخاب می‌کنیم، تحلیل خوشه‌ای را می‌توان با شیوه‌های مختلفی اجرا کرد. در این پژوهش یک تحلیل

خوشه‌ای پایگانی به روش ادغام وارد برای شناسایی تیپ‌های هوای مراغه بر روی پایگاه داده انتخابی اعمال گردید. به‌منظور محاسبه درجه همانندی از فاصله اقلیدسی و برای ادغام اقلامی که بالاترین همانندی را نشان می‌دهند از شیوه پیوند وارد بهره گرفته شد. روشن است که برای n مشاهده n(n-1)/2 فاصله قابل‌محاسبه است. فرض کنید x_r بردار مشاهدات بر روی r و x_s بردار مشاهدات بر روی s باشد در این صورت فاصله اقلیدسی در بالا به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

رابطه (۲):
$$d_{rs}^2 = (X_r - X_s)(X_r - X_s)'$$

در مطالعات اقلیمی غالباً برای محاسبه درجه ناهمانندی از فاصله اقلیدسی استفاده می‌شود. درروش وارد گروه‌های r و s در صورتی ادغام می‌شوند که افزایش پراش ناشی از ادغام آن‌ها نسبت به ادغام هر یک از آن‌ها با دیگر گروه‌ها کمینه باشد، یعنی:

رابطه (۳):
$$d(r,s) = \frac{n_r n_s d_{rs}^2}{(n_r + n_s)}$$

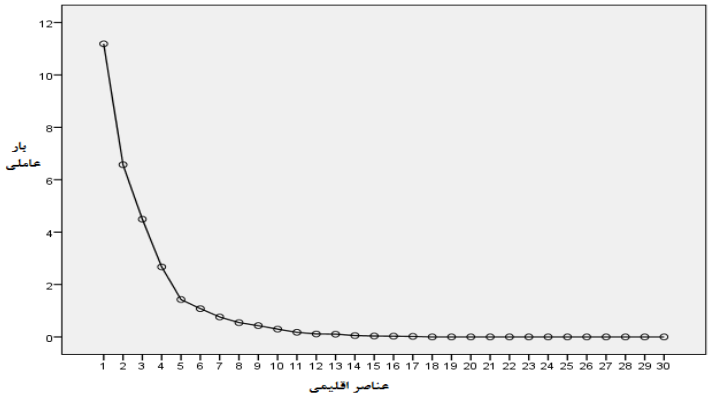
در اینجا d_{rs}^2 فاصله بین گروه r و گروه s است که به روش پیوند مرکزی به‌دست‌آمده باشد. در مطالعات اقلیم شناختی عمدتاً از روش وارد استفاده می‌شوند زیرا در این صورت میزان پرش درون‌گروهی به حداقل و همگنی گروه‌های حاصله به حداکثر می‌رسد (مسعودیان، ۱۳۸٤).

یافته‌ها

در تحلیل عاملی ابتدا داده‌های اقلیمی را استاندارد کرده، سپس با استفاده از روش همبستگی و نوع چرخش اکواماکس (Equamax) تحلیل مربوط صورت گرفته است. از بین انواع چرخش در تحلیل عاملی، دوران اکواماکس مناسب‌ترین بار عاملی را روی ایستگاه‌های مطالعاتی ایجاد کرد. تحلیل صورت گرفته با توجه به جدول (۱) و مشاهده ستون ارزش ویژه، نشان می‌دهد که تعداد شش عامل دارای واریانس بیش از یک هستند. به‌منظور اطمینان از تعداد عوامل استخراجی از نمودار صخره‌ای استفاده شد. این نمودار نشان می‌دهد که عامل اول نسبت به عامل دوم بیشترین شیب را دارد. سپس شیب کمتر شده و از عامل ششم به بعد شیب تقریباً افقی می‌شود. بنابراین بررسی تحلیل عاملی نشان می‌دهد که اقلیم منطقه شمال غرب حاصل تعامل شش عامل مختلف است. این عوامل حدود ۹۲ درصد از پراش کل را توجیه می‌کند. درصد پراش هر یک از عوامل در جدول (۲) درج شده است. با توجه به میزان همبستگی هر یک از متغیرها با عوامل که به‌صورت همبستگی مثبت و منفی نشان داده‌شده، عوامل مندرج در جدول (۳) استخراج و نام‌گذاری شدند. در نام‌گذاری عامل‌ها، متغیرهایی که بیشترین وزن را در آن عامل داشته‌اند، بیشترین تأثیر را دارند. در جدول (٤) بار عاملی روی ایستگاه‌های منطقه نشان داده‌شده است. با استفاده از اطلاعات این جداول نام‌گذاری پهنه‌های اقلیمی صورت گرفت.

جدول ۲- ارزش ویژه تجمعی عوامل

عامل	ارزش ویژه	درصد پراش	پراش تجمعی
۱	۹/۸۸	۳٤/۰٦	۳٤/۰٦
۲	۷/۰۹	۲٤/٤٦	۵۸/۵۲
۳	٤/۷٦	۱٦/٤۲	۷٤/۹٤
٤	۲/۵	۸/٦۲	۸۳/۵٦
۵	۱/۲۳	٤/۲٤	۸۷/۸۲
٦	۱/۱۸	٤/۰۵	۹۱/۸۷



شکل ۲- نمودار توزیع بارهای عاملی در دوران اکواماکس

جدول ۳- بار عاملی روی عناصر اقلیمی با چرخش اکواماکس

پارامتر	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم	عامل چهارم	عامل پنجم	عامل ششم
میانگین دما	۰/۹۸	-۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	-۰/۱۶
کمینه دما	۰/۹۲	۰	۰/۲۲	۰/۱۴	۰/۱۳	-۰/۲۵
بیشینه دما	۰/۹۱	-۰/۱۶	-۰/۲۶	-۰/۱۳	-۰/۱۷	-۰/۰۳
دمای شبنم	۰/۶۲	۰/۷۱	-۰/۱۴	-۰/۲۶	-۰/۰۸	-۰/۰۵
بیشینه دمای ۰	-۰/۷۷	-۰/۰۸	۰/۲۴	۰/۰۶	۰/۴۲	۰/۲۹
بیشینه دمای ۳۰	۰/۸۷	-۰/۳۵	-۰/۱۶	-۰/۱۲	-۰/۱۲	۰/۰۵
روزهای یخبندان	-۰/۸۸	-۰/۰۶	-۰/۲۲	-۰/۰۶	-۰/۰۱	۰/۳۷
حداقل دما ٤-	-۰/۸۹	-۰/۰۵	-۰/۲۱	-۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۳۷
کمینه ۲۱ درجه	۰/۷۹	۰/۰۸	۰/۱۴	۰/۲۵	۰/۱۸	۰/۱۹
کمینه مطلق دما	۰/۴۷	-۰/۰۸	-۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۰۲	-۰/۸۶
بیشینه مطلق دما	۰/۷۹	۰/۰۱	-۰/۲۳	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۳۵
بیشینه نم	-۰/۵۰	۰/۶۳	-۰/۱۱	-۰/۳۶	-۰/۲۸	-۰/۱۶
کمینه نم	-۰/۰۹	۰/۹۵	۰/۱۵	-۰/۱۰	-۰/۰۸	۰/۰۳
میانگین نم	-۰/۱۹	۰/۸۹	-۰/۲۵	-۰/۲۳	-۰/۱۲	۰/۰۳
نسبت اختلاط	-۰/۲۹	۰/۵۹	-۰/۱۵	-۰/۴۳	-۰/۱۸	۰/۰۷
بیشینه بارش	۰/۱۳	۰/۰۵	۰/۹۲	۰/۱۰	-۰/۰۹	-۰/۰۶
بارش سالانه	۰/۰۱	-۰/۱۳	۰/۹۸	۰/۰۵	-۰/۰۶	۰/۰۲
روزهای بارشی	-۰/۶۶	۰/۱۸	-۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۶۶	-۰/۰۱
روزهای بارش ۱	-۰/۴۲	-۰/۰۶	۰/۸۶	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۱۰
روزهای بارش ۵	-۰/۰۷	-۰/۱۶	۰/۹۷	۰/۰۴	-۰/۰۸	-۰/۰۳
روزهای بارش ۱۰	۰/۰۵	-۰/۱۷	۰/۹۷	۰/۰۴	-۰/۱۱	-۰/۰۱
روزهای برفی	-۰/۸۸	-۰/۱۵	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۰۸	۰/۱۰
روزهای غباری	۰/۲۱	-۰/۱۸	۰/۰۴	۰/۷۰	۰/۲۹	-۰/۰۵
روزهای دید کم	-۰/۰۹	۰/۷۵	۰/۱۵	۰/۴۰	-۰/۱۷	-۰/۰۵
روزهای تندری	-۰/۰۱	-۰/۱۱	-۰/۴۱	۰/۰۶	۰/۸۵	-۰/۰۲
سرعت باد	-۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۱۱	۰/۹۰	-۰/۱۱	-۰/۰۵
روزهای آفتابی	۰/۱۱	-۰/۸۹	۰/۲۴	-۰/۲۶	-۰/۱۴	-۰/۰۵
روز نیمه‌ابری	-۰/۴۴	۰/۶۲	-۰/۴۰	۰/۳۰	۰/۲۶	۰/۱۲
روزهای ابری	۰/۲۱	۰/۸۹	-۰/۰۶	۰/۱۷	۰/۰۲	-۰/۰۱
ساعات آفتابی	-۰/۲۱	-۰/۸۸	۰/۱۹	۰/۲۳	-۰/۱۷	۰/۰۳

جدول ٤- بار عاملی روی ایستگاه‌های منطقه

نام ایستگاه	عامل دمایی	عامل رطوبتی و ابری	عامل بارشی	عامل بادی و غباری	عامل بارش تندری	عامل سرمایشی
خدابنده	-۰/٦۰	-۱/۰۱	۰/۱۱	۱/٤٤	-۰/۲۷	-۰/۹۹
خرمدره	-۰/۱۰	-۰/۹٦	-۰/٦۳	۰/۸۳	-۰/٤۰	-۱/۳۰
ماکو	-۰/۷٤	۰/۲٥	-۰/۰۱	-۰/۷۹	۳/۰۲	-۰/۸۳
پیرانشهر	۰/۲۱	-۰/٤۲	۱/۷۹	-۰/۸۰	-۰/۳۲	۰/۳۷
سردشت	۰/٥۹	۰/۰٤	۳/۲۷	۰/۸۷	۰/٥٦	۰/٤۳
ارومیه	-۰/۱۲	-۰/۰٥	۰/۱۱	-۰/۹٥	-۰/۲۱	-۰/٦۸
خوی	۰/۲۸	۰/۲۷	-۰/۲۳	-۱/٦۳	۰/٤۷	۰/۸٥
مهاباد	۰/٤۹	-۰/۹۱	۰/۲۹	-۰/۸۹	-۱/۱۸	-۰/۷٦
سراب	-۱/٤۰	-۰/۲٤	-۰/۹٤	-۰/٤۱	۰/۰٤	۰/٥۰
مراغه	۰/٥۷	-۰/۷۸	-۰/۳٦	۰/۷۱	-۰/۷۲	-۱/۱۳
میانه	۰/۹۹	-۰/۸۱	-۰/٦۷	-۰/٥۳	-۰/٥۱	۰/٦۰
تبریز	۰/٤۰	۰/۰۷	-۰/۳۷	۱/۹۷	۰/۸٦	۰/۳۱
اهر	-۰/٥٦	۰/۸۲	-۰/٥۰	۰/٤۳	۱/۰۳	-۱/۱۷
جلفا	۲/۱	-۰/۳٤	-۱/۱۸	۰/٥۰	۱/۰٦	۱/۸۰
اردبیل	-۱/۰۱	۲/۳۸	-۰/۱۳	۱/٤٥	-۱/۲۲	۱/۲٦
خلخال	-۱/٦۳	۰/٥۷	۰/۲۲	-۰/۸۲	-۰/۳۳	۰/٤۲
پارس‌آباد	۱/۷۷	۲/٤٤	-۰/۲۷	-۰/۸۲	-۰/۸۱	-۱/٥۲
تکاب	-۱/۱٥	-۰/۷۸	-۰/۱٥	-۰/۲۷	-۰/٦۹	۰/٦۲
زنجان	-۰/۰۹	-۰/٥۳	-۰/۳٥	-۰/۳۱	-۰/۳۹	۱/۲۲

تحلیل عاملی با روش مؤلفه‌های مبنا و دوران واریماکس نشان داد که ۱۹ عنصر اقلیمی منطقه شمال غرب را می‌توان با توجه به همبستگی درونی آن‌ها در شش عامل خلاصه کرد. بعد از تجزیه ماتریس‌ها عناصر اقلیمی تلفیقی (ماتریس بارهای عاملی) به ابعاد ٥× ۱۹ به دست آمد که نشان می‌دهد اقلیم منطقه آذربایجان بیشتر حاصل شش عامل می‌باشد، مجموعه این شش عامل ۹۲ درصد رفتار اقلیمی منطقه را توجیه می‌کنند. این عوامل به ترتیب عبارت‌اند از: عامل دما، رطوبت جوی، بارش، باد و محدودیت دید، بارش تندری، یخبندان.

عامل اول- دمای هوا

بارهای عاملی متغیرها نشان می‌دهد که متغیرهای میانگین دما، حداقل دما، حداکثر دما، دمای نقطه شبنم، روزهای با دمای بیشتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد، روزهای با دمای کمتر از ۲۱ درجه سانتی‌گراد، حداقل مطلق دما و حداکثر مطلق دما بیشترین وزن را روی عامل دما نشان می‌دهند.

عامل دوم- رطوبت جوی

همچنین بارهای عامل مربوط به رطوبت جوی ترکیبی از میانگین رطوبت نسبی، حداکثر رطوبت نسبی، حداقل رطوبت نسبی، دمای نقطه شبنم، روزهای با دید کمتر از ۲ کیلومتر، روزهای ابری و روزهای نیمه‌ابری می‌باشد.

عامل سوم- بارش

در عامل سوم که عامل بارشی نام‌گرفته است متغیرهای بارش روزانه، حداکثر بارش روزانه، روزهای با بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر، روزهای با بارش بیش از ٥ میلی‌متر و روزهای با بارش بیش از ۱ میلی‌متر، بیشترین بار را روی عامل سوم داشته‌اند.

عامل چهارم- باد و گردوغبار

در عامل چهارم متغیرهای سرعت باد، روزهای همراه با گردوغبار، روزهای با دید کمتر از ۲ کیلومتر، روزهای برفی و روزهای ابری و نیمه‌ابری بیشترین بار را روی عامل چهارم داشته‌اند.

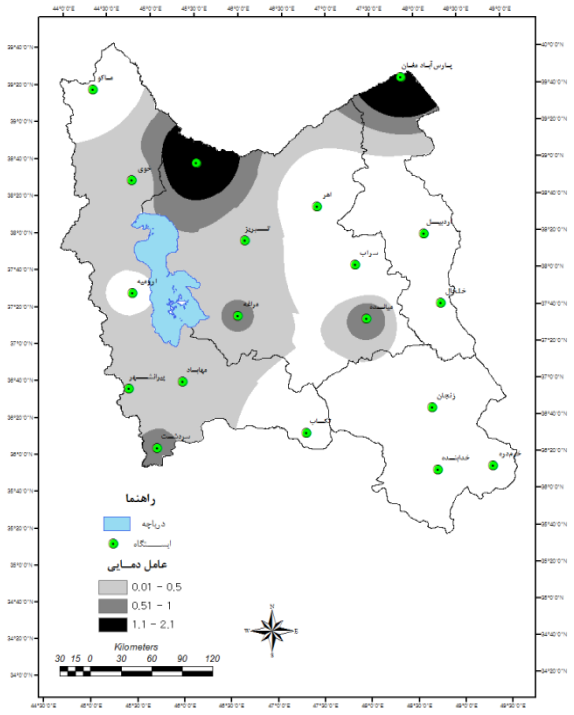
عامل پنجم- رگبار و رعدوبرق

بارهای عاملی مربوط به عامل رگبار و رعدوبرق ترکیبی از متغیرهای روزهای تندری، روزهای بارشی و روزهای با حداکثر دمای صفر درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

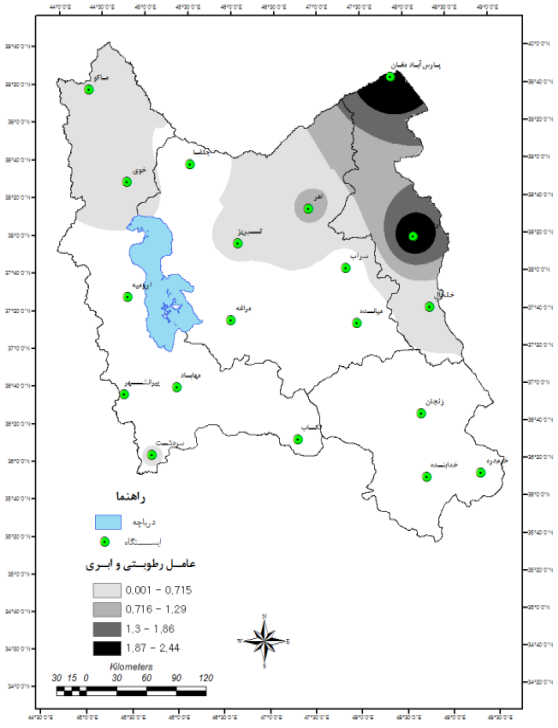
عامل ششم- یخبندان

این عامل که مربوط به برودت هوا و یخبندان می‌باشد ترکیبی از متغیرهای تعداد روزهای یخبندان، روزهای با حداقل دمای ٤- درجه سانتی‌گراد و کمتر و روزهای با حداکثر دمای صفر درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

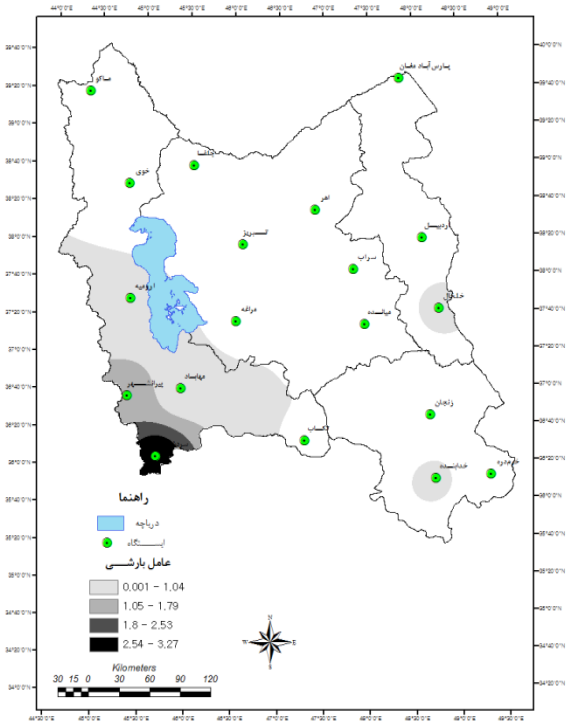
با توجه به مطالب بیان‌شده و نتایج به‌دست‌آمده باید خاطرنشان کرد که درروش تحلیل عاملی متغیری مهم است که درصد بالایی از واریانس کل داده‌ها را تبیین کند (علیجانی، ۱۳۹۰). قلمرو حاکمیت عامل اول یعنی دمای هوا بیشتر در مناطق کم ارتفاع نوار مرزی در حاشیه رودخانه ارس و در ایستگاه‌های جلفا و پارس‌آباد به چشم می‌خورد که در این ایستگاه‌ها در بین متغیرهای آب‌وهوایی، متغیرهای مربوط به دما بیشتر تأثیر را دارا می‌باشند (شکل ۳). عامل دوم مربوط به متغیر رطوبت جوی می‌باشد که در بین ایستگاه‌های موردمطالعه، ایستگاه اردبیل و پارس‌آباد به ترتیب با میزان تأثیرگذاری ۲/۳۸ و ۲/٤٤ بیشترین امتیاز را ازلحاظ متغیرهای مربوط به رطوبت و ابرناکی به خود اختصاص داده‌اند (شکل ٤). یکی دیگر از عوامل مهم آب‌وهوایی منطقه آذربایجان، بارش می‌باشد که ایستگاه‌های سردشت و پیرانشهر به ترتیب با میزان تأثیرگذاری ۳/۲۷ و ۱/۷۹، بیشترین تأثیرگذاری مثبت را در عامل بارشی منطقه مورد مطالعه به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۵).



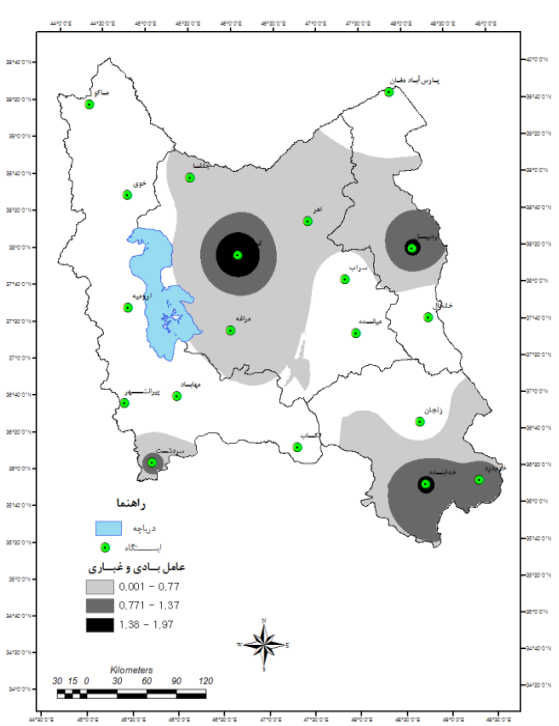
شکل ۳- عامل دمایی



شکل ٤- عامل رطوبت جوی



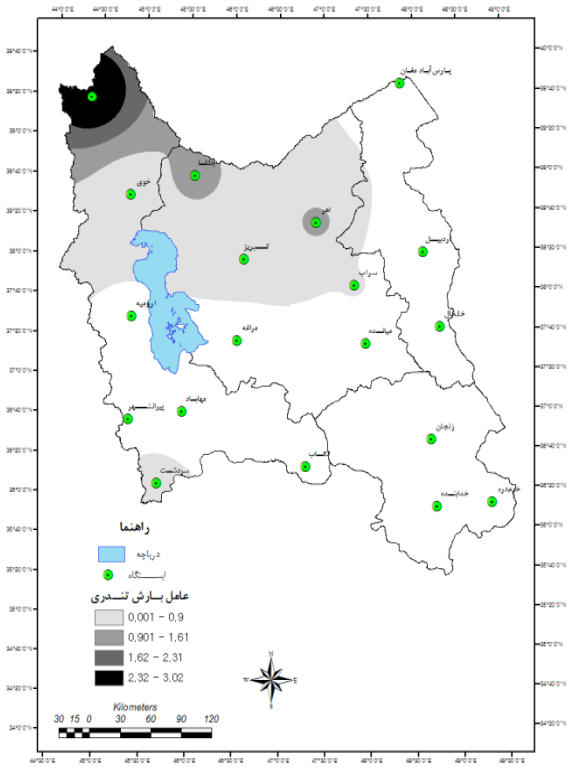
شکل ۵- عامل بارش



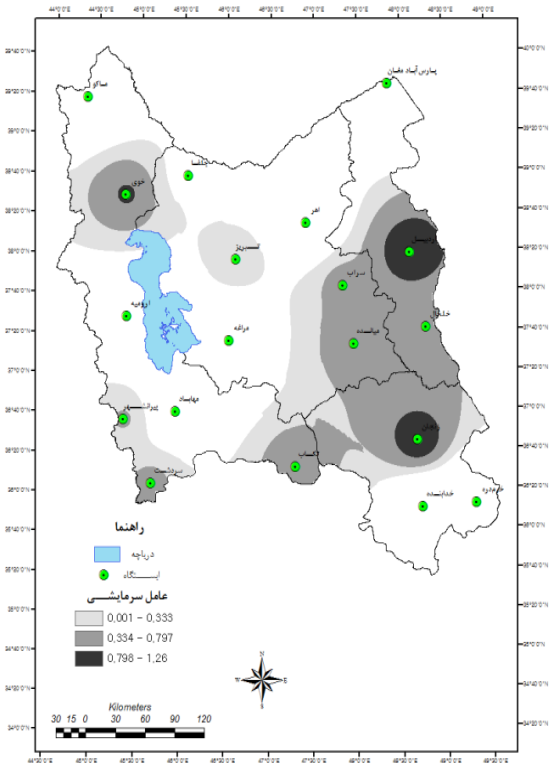
شکل ٦- عامل باد و گردوغبار

عامل چهارم از عوامل آب‌وهوایی منطقه آذربایجان وزش باد و گردوغبار می‌باشد که در بین ایستگاه‌های موردمطالعه ایستگاه‌های تبریز، اردبیل و خدابنده بیشترین تأثیرگذاری را در این عامل به خود اختصاص داده‌اند و درصد وقوع وزش باد و روزهای همراه با گردوغبار در این ایستگاه‌ها بیشتر از بقیه مناطق می‌باشد (شکل ٦). عامل پنجم مربوط به پدیده رگبار و رعدوبرق می‌باشد که در بین ایستگاه‌های منطقه، مهم‌ترین ایستگاه در این زمینه ایستگاه ماکو می‌باشد که یکی از مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی آن پدیده رگبار و رعدوبرق می‌باشد (شکل ۷). عامل بعدی از عوامل آب‌وهوایی منطقه آذربایجان پدیده یخبندان می‌باشد که بیشترین وزن مربوط به این پدیده مربوط به ایستگاه‌های اردبیل و زنجان می‌باشد (شکل ۸).

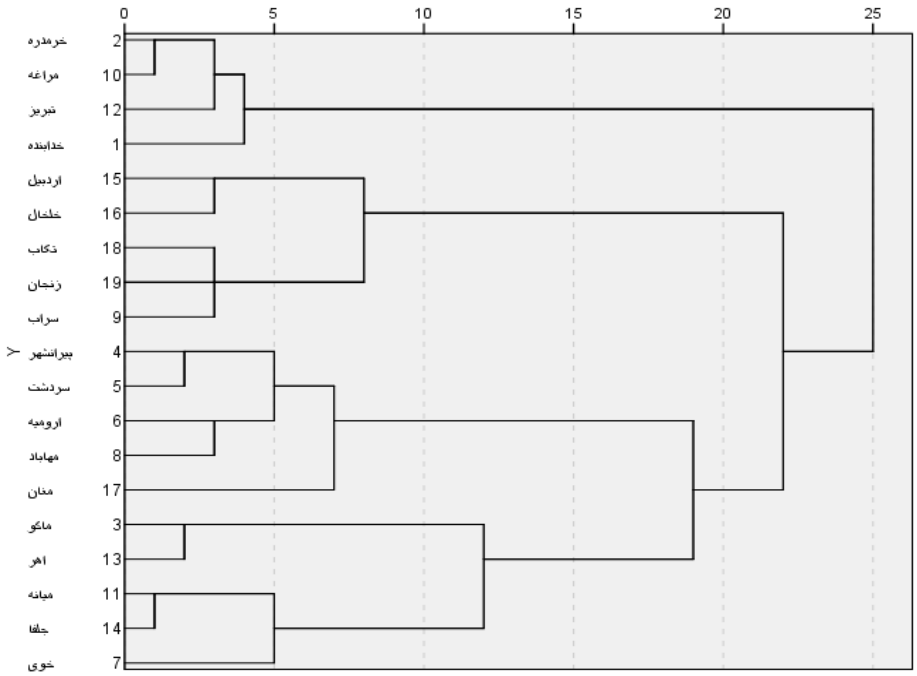
پس از مشخص شدن مؤلفه‌های شاخص در تعیین اقلیم منطقه آذربایجان، با استفاده از عناصر اقلیمی به‌صورت علمی و استنتاجی، پهنه‌بندی اقلیمی صورت گرفت. این کار با استفاده از روش‌های مختلف فاصله‌ای دسته عناصر اقلیمی که قبلاً با تحلیل مؤلفه‌های اصلی تعداد آن‌ها کاهش یافته بود، به انجام رسید. پس از آن با استفاده از روش‌های مختلف خوشه‌بندی، نمودارهای درختی متفاوت ترسیم گردید. با بررسی نمودارهای حاصل مشخص شد که هر کدام دارای معایب و محاسنی هستند و از بین روش‌های مختلف خوشه‌بندی، تحلیل خوشه‌ای به روش وارد بیشتر سازگاری را با شرایط اقلیمی منطقه دارا بود که درنهایت ایستگاه‌های منطقه شمال غرب براساس این روش طبقه‌بندی گردیده و هشت ناحیه آب‌وهوایی شناسایی شد. نمودار درختی از تحلیل خوشه‌ای در شکل (۹) نشان داده شده است.



شکل ۷- عامل رگبار و رعدوبرق



شکل ۸- عامل یخبندان و برودت



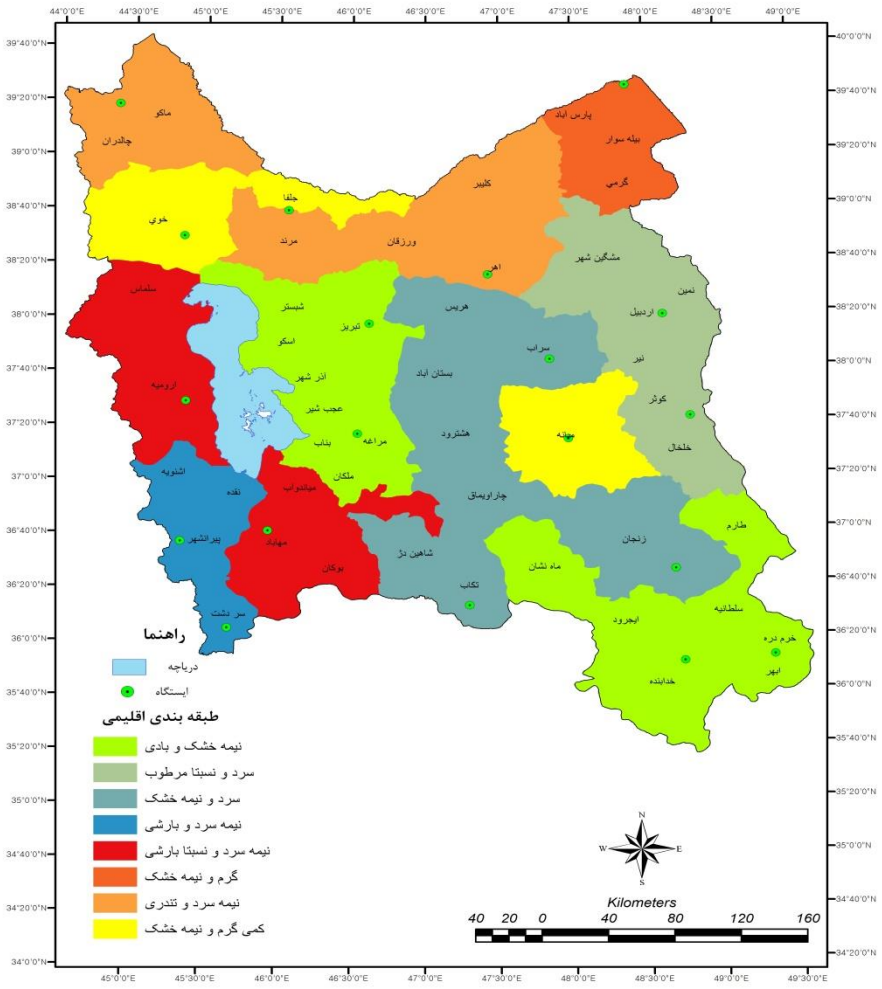
شکل ۹- درخت خوشه‌بندی اقلیمی ایستگاه‌های منطقه شمال غرب

همان‌طوری که در شکل (۱۰) و جدول (۵) مشاهده می‌گردد منطقه شمال غرب براساس ۲۹ مؤلفه اقلیمی و با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای به هشت ناحیه آب‌وهوایی به‌صورت زیر تقسیم گردید:

- **ناحیه یک (اقلیم نیمه‌خشک و بادی)**: شامل ایستگاه‌های خرمدره، مراغه، تبریز و خدابنده است که دارای بیشترین امتیازات در مؤلفه باد بوده و ازلحاظ طبقه‌بندی اقلیمی دارای اقلیم نیمه‌خشک و بادی می‌باشد. میانگین بارش سالانه در این ناحیه ۳۲۷ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۱۲/۱ درجه سانتی‌گراد است و میانگین سالانه سرعت باد در حدود ۵/۹ نات می‌باشد.
- **ناحیه دوم (اقلیم سرد و نسبتاً مرطوب)**: شامل ایستگاه‌های اردبیل و خلخال است. مهم‌ترین مشخصه این ایستگاه‌ها دمای پایین و رطوبت نسبی زیاد می‌باشد بنابراین ازلحاظ طبقه‌بندی اقلیمی در طبقه سرد و نسبتاً مرطوب قرار می‌گیرد. میانگین بارش سالانه در این ناحیه ۳٤٤ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۸/۸ درجه سانتی‌گراد است و میانگین سالانه سرعت باد در حدود ۵/۸ نات می‌باشد.
- **ناحیه سوم (اقلیم سرد و نیمه‌خشک)**: شامل ایستگاه‌های تکاب، زنجان و سراب می‌باشد مهم‌ترین مشخصه این طبقه اقلیمی دماهای پایین و رطوبت و بارش کم است که در طبقه سرد و نیمه‌خشک قرار می‌گیرد. میانگین بارش سالانه در این ناحیه ۳۰۱ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۹/٦ درجه سانتی‌گراد است و میانگین سالانه سرعت باد در حدود ۸ نات می‌باشد.
- **ناحیه چهارم (اقلیم نیمه سرد و بارشی)**: در بین نواحی اقلیمی منطقه شمال غرب کشور، بیشترین میزان بارش در این منطقه اتفاق می‌افتد و شامل ایستگاه‌های پیرانشهر و سردشت است. میانگین بارش سالانه در این ناحیه ۷٦۹ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۱۲/۳ درجه سانتی‌گراد است و میانگین سالانه سرعت باد در حدود ٤/۹ نات می‌باشد.
- **ناحیه پنجم (اقلیم نیمه سرد و نسبتاً بارشی)**: این ناحیه اقلیمی شباهت زیادی با ناحیه اقلیمی نیمه سرد و بارشی دارد ولی به علت بارش کمتر نسبت به ایستگاه‌هایی مانند سردشت و پیرانشهر در یک طبقه مجزا قرارگرفته است و شامل ایستگاه‌های ارومیه و مهاباد می‌باشد. میانگین بارش سالانه در این ناحیه ۳۷٦ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۱۲/۱ درجه سانتی‌گراد است و میانگین سالانه سرعت باد در حدود ۳/۱ نات می‌باشد و جزو کم بادترین ناحیه اقلیمی در منطقه شمال غرب است.
- **ناحیه ششم (اقلیم گرم و نیمه‌خشک با رطوبت نسبی بالا)**: این ناحیه ششمین طبقه از طبقات اقلیمی منطقه شمال غرب بوده و شامل منطقه مغان در شمال استان اردبیل می‌باشد و ایستگاه پارس‌آباد در این ناحیه قرار دارد. مهم‌ترین شاخصه این ناحیه اقلیمی ازلحاظ میانگین امتیازات عاملی، رطوبت نسبی بالا می‌باشد ولی میزان بارش در این منطقه کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر است. میانگین بارش سالانه در این ناحیه ۲۷۱ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۱۵/۱ درجه سانتی‌گراد است و گرم‌ترین ناحیه اقلیمی منطقه آذربایجان محسوب می‌گردد.
- **ناحیه هفتم (اقلیم نیمه سرد و تندری)**: این ناحیه اقلیمی شامل ایستگاه‌های اهر و ماکو است. مهم‌ترین امتیازات عاملی اقلیمی در این طبقه اقلیمی مربوط به عوامل بارش‌های تندری می‌باشد و بیشترین بارش‌های تندری منطقه شمال غرب در این ناحیه اتفاق می‌افتد. میانگین بارش سالانه در این ناحیه ۲۹۲ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۱۰/٦ درجه سانتی‌گراد است و میانگین سالانه سرعت باد در حدود ٤/٤ نات می‌باشد.
- **ناحیه هشتم (اقلیم کمی گرم و نیمه‌خشک)**: هشتمین طبقه اقلیمی در منطقه شمال غرب طبقه اقلیمی نیمه گرم و نیمه‌خشک است که ایستگاه‌های میانه، جلفا و خوی در این طبقه قرار دارند. در بین امتیازات عوامل اقلیمی بیشترین امتیاز اقلیمی مربوط به متغیر دما و کمترین آن مربوط به متغیر بارش است. میانگین بارش سالانه در این ناحیه ۲٤٤ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۱۳/۵ درجه سانتی‌گراد است و میانگین سالانه سرعت باد در حدود ۳/٤ نات می‌باشد. میانگین امتیازات عاملی و میانگین عناصر اقلیمی در هر یک از طبقات اقلیمی در جدول (۳) مشخص گردیده است.

جدول ۵- میانگین امتیازات عاملی و میانگین عوامل اقلیمی در طبقات مختلف اقلیمی

نوع اقلیم	میانگین امتیازات عاملی					بارش سالانه	دمای سالانه	رطوبت نسبی	سرعت باد
	دما	رطوبت	بارش	باد	تندری				
نیمه‌خشک و بادی	۰/۰۷	-۰/۶۷	-۰/۳۱	۱/۲۴	-۰/۱۳	۳۲۷/۶	۱۲/۱	۵۰/۵	۵/۹
سرد و نسبتاً مرطوب	-۱/۳۲	۱/۴۷	۰/۰۴	۰/۳۱	-۰/۷۷	۳۴۴	۸/۸	۶۸	۵/۸
سرد و نیمه‌خشک	-۰/۸۸	-۰/۵۲	-۰/۴۸	-۰/۳۳	-۰/۳۵	۳۰۱/۶	۹/۶	۵۶/۳	۴
نیمه سرد و بارشی	۰/۴۰	-۰/۱۹	۲/۵۳	۰/۰۴	۰/۱۲	۷۶۹	۱۲/۳	۵۰	۴/۹
نیمه سرد و نسبتاً بارشی	۰/۱۸	-۰/۴۸	۰/۲	-۰/۹۲	-۰/۷	۳۷۶	۱۲/۱	۵۶/۵	۳/۱
گرم و نیمه‌خشک	۱/۷۷	۲/۴۴	-۰/۲۷	-۰/۸۲	-۰/۷	۲۷۱	۱۵/۱	۷۲	۴
نیمه سرد و تندری	-۰/۶۵	۰/۵۳	-۰/۲۵	-۰/۱۸	۲/۰۳	۲۹۲	۱۰/۶	۵۸/۵	۴/۴
کمی گرم و نیمه‌خشک	۱/۱۳	-۰/۲۹	-۰/۶۹	-۰/۵۵	۰/۳۴	۲۴۴	۱۳/۵	۵۴/۶	۳/۴



شکل ۱۰- طبقه‌بندی اقلیمی منطقه شمال غرب

نتیجه گیری

در روش‌های نوین، طبقه‌بندی اقلیمی فرایندی است که در آن تا حد زیادی ماهیت آماری داده‌های اقلیمی تعیین‌کننده مرز نواحی آب‌وهوایی است در صورتی که در روش های سنتی طبقه بندی اقلیمی، سلیقه فردی محقق نیز در نتایج حاصل از طبقه بندی تاثیرگذار بود. در این روش‌ها تعداد

عناصری که می‌توانند در پهنه‌بندی اقلیمی شرکت کنند محدودیت ندارد و به همین دلیل این‌گونه طبقه‌بندی می‌تواند به شناسایی اقلیم‌هایی بیانجامد که در آن‌ها بزرگی تفاوت‌های مکانی تعداد زیادی عنصر اقلیمی در نظر گرفته شده باشد (مسعودیان، ۱۳۹۰). در این پژوهش بعد از دریافت داده‌های ۱۹ ایستگاه سینوپتیک و ۲۹ متغیر آب‌وهوایی با استفاده از روش تحلیل عاملی و خوشه‌ای و نیز مدل میان‌یابی IDW، پهنه‌بندی اقلیمی منطقه شمال غرب صورت گرفت. نتایج حاصل از تحلیل مولفه های اصلی نشان داد که اقلیم منطقه شمال غرب بیشتر حاصل شش عامل حرارتی، رطوبت جوی، بارشی، باد و محدودیت دید، بارش تندری و یخبندان می‌باشد. مجموع این شش عامل حدود ۹۲ درصد رفتار اقلیمی منطقه آذربایجان را توجیه می‌کند. در ادامه به منظور پهنه بندی اقلیمی منطقه مورد مطالعه، تحلیل خوشه‌های با فواصل اقلیدسی و روش وارد بر روی عوامل شش‌گانه صورت گرفت و منطقه به هشت ناحیه آب‌وهوایی نیمه‌خشک و بادی، سرد و نسبتاً مرطوب، سرد و نیمه‌خشک، نیمه سرد و بارشی، نیمه سرد و نسبتاً بارشی، گرم و نیمه‌خشک، نیمه سرد و تندری و کمی گرم و نیمه‌خشک تقسیم‌بندی شد.

منطقه شمال غرب کشور علیرغم تاثیرپذیری همسان از سامانه‌های سینوپتیک، به علت تنوع ارتفاعی، عرض جغرافیایی و دوری و نزدیکی به منابع رطوبتی دارای خرد اقلیم‌های متعددی می باشد که در این پژوهش با استفاده از روش های آماری چندمتغیره به راحتی و با دقت بسیار بالا شناسایی شده است. در صورتی که شناخت خرده اقلیم‌های منطقه شمال غرب در روش‌های سنتی یا کلاسیک مانند روش‌های دمارتن، کوپن، ایوانف، آمبروژه و ... به علت عدم ارزیابی تمام متغیرهای اقلیمی، امکان پذیر نبود. نتایج به دست آمده از این پژوهش به علت کوچکتر بودن وسعت منطقه مورد مطالعه نسبت به مطالعات مشابه قبلی که توسط مسعودیان (۱۳۸۲) و نظم فر و گل دوست (۱۳۹۳) صورت گرفته است، دارای دقت و جزئیات بیشتری در شناسایی خرده نواحی اقلیمی منطقه شمال غرب می باشد. البته نتایج حاصل در پژوهش حاضر تا حدود زیادی با پژوهش های قبلی صورت گفته مطابقت دارد.

مسعودیان (۱۳۸۲: ۱۸۳) در منطقه شمال و شمال غرب ایران پنج ناحیه آب و هوایی کرانه ای خزری (عامل اصلی بارش)، پس کرانه ای خزری (عامل اصلی بارش و نم و ابر)، آذری (عامل اصلی نم و ابر و تندر)، مغانی (عامل اصلی نم و ابری) و ماکویی (عامل اصلی تندری) معرفی نمود. همچنین در پژوهشی مشابه که توسط نظم فر و گل دوست (۱۳۹۳: ۱۵۰) در منطقه شمال و شمال غرب کشور صورت گرفته است، منطقه مورد مطالعه براساس روش تحلیل عاملی و خوشه ای به ده ناحیه آب و هوایی تقسیم گردیده است. لازم به ذکر است که در این پژوهش ها علاوه بر منطقه شمال غرب کشور، استان های شمالی کشور شامل گیلان، مازندران و گلستان و همچنین زنجان و قزوین نیز به همراه استان های واقع در شمال غرب کشور مورد ارزیابی قرار گرفته است.

منابع

1- Ashrafi, S. (2010) Precipitation zoning in northwestern Iran using cluster analysis, Journal of Climatological Research, 1(3), pp. 25-25.

2- Alijani, B. (2002). Synoptic Climatology, samt Publications, Tehran.

3- Almazroui, M., Dambul, R., Islam, M.N. and Jones, P.(2015). Principal Components-based regionalization of the Saudi Arabian climate. International Journal of Climatology, 35(9): 2555-2573.

4- Aliaga, V. S., Ferrelli, F., & Piccolo, M. C. (2017).Regionalization of climate over the Argentine Pampas. International journal of climatology, 37, 1237-1247.

5- Boe.J and Terry.L, (2008) Weather-Type Approach to Analyzing Winter Precipitation in France: Twentieth- Century Trends and the Role of Anthropogenic Forcing, Journal of Climate, 21: 3118 – 3133.

6- Carvalho, M., Melo-Gonçalves, P., Teixeira, J. and Rocha, A., (2016) Regionalization of Europe based on a K-Means Cluster Analysis of the climate change of temperatures and precipitation. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 94: 22-28.

7- Carbajal. N, L. Pineda Martinez, E. Medina Roldan (2007), Regionalization and classification of bioclimatic zones in the central-northeastern region of Mexico using principal component analysis(PCA)'', journal content, Vol 20, No 2.

8- Dustan, R., Etemadian, E., Zarrin, A. (2020). Areas of heat waves in Iran. Climatological Research, 42, 17-30.

9- Farajzadeh, M. (2015) Climatic Techniques, samt Publications, Tehran.

10- Gerami,M, A, Shabankari, M. (2006). Climatic zoning of Bushehr Province, Journal of Humanities, 20(1), pp. 210-187.

11- Hanafi, A. (2020). Identification of rainfall regions and regimes in the Republic of Azerbaijan using cluster analysis. Climatological Research, 39, 41-59.

12- Khosravi, M., Aramesh, M. (2012). Climatic zoning of Markazi province using factor-cluster analysis. Geography and Environmental Planning, 23 (2). 100-87.

13- Kaviani, M.R., Alijani, B. (2015), Meteorological Basis, Sixth Edition, samt Publications, Tehran.

14- Lashti Zand, M; Parvaneh, B., Biranvand, F. (2011). Climatic zoning of Lorestan province by statistical methods and determination of the most appropriate experimental method, Journal of Natural Geography, 4 (11), pp. 106-89.

15- Masoudian, A. (2003), "Climatic Regions of Iran", Journal of Geography and Development, No. 2, pp. 184-171, Zahedan.

16- Mirmousavi, S.H., Khaefi, N., Abakhti Grossi, H. (2014). Study of climatic characteristics of Kermanshah and Kurdistan provinces based on factor and cluster analysis. Scientific Journal of Geography and Planning, 18 (47), 215-233.

17- Masoudian, A. (2005). Synoptic Climatology, Isfahan University Press.

18- Masoudian, A. (2003). "Investigation of the Geographical Distribution of Precipitation in Iran by Periodic Factor Analysis Method", Journal of Geography and Development, Vol. 1, No. 1, pp. 88-79.

19- Nadi, M., Khalili, A. (2013). Climate Classification of Iran's Precipitation by Cluster Factor Analysis Method. Iranian Soil and Water Research, 44 (3), pp. 232-222.

20- Nazaripour, H., Dost Kamian, M., Asadi, A., Bayat, A. (2014). Climatic zoning of southern and southwestern Iran with a regional planning approach. Regional Planning, 4 (15), 119-132.

21- Nazmfar, H., Goldoust, A. (2014). Climate zoning of northern and northwestern Iran using factor analysis and cluster analysis. Geographical Space, 14 (48), 147-161.

22- Philip, A (2008) Comparison of Principal Component and Cluster Analysis for Classifying Circulation Pattern Sequences for The European Domain, Institute for Geography, University of Augsburg, Germany.

23- Pineda-Martinez, L., Carbajal, N,. Medina-Roldan, E., (2007). Regionalization and classification of bioclimatic zones in the central-northeastern region of México using

principal component analysis (PCA). Atmósfera, 20(2): 133-145.

24- Ramos, M. C (2001): Divisive and Hierarchical Clustering Techniques to Analyze Variability of Rainfall Distribution Patterns in a Mediterranean Region, J. Hydro, 57, 123-138.

25- Saliqeh, M, Barimani, F, Esmail Nejad, M. (2008). Climatic zoning of Sistan and Baluchestan province. Geography and Development Quarterly, 6 (12), pp. 101–106.

26- Shirani, F, Mazidi, A. (2009). Multivariate Statistical Climatic Zoning of Yazd Province, Journal of Geography and Regional Development, 7 (13), pp. 157-139.

27- Salehi, H., Rezapour, Z., Namjoo, K. (2017). Climatic zoning of Kohgiluyeh and Boyerahmad province using factor-cluster analysis. Climatological Research, 1396 (31), pp. 149-137.

28- Sa’adi, Z., Shahid, S. & Shiru, M.S. (2021) Defining climate zone of Borneo based on cluster analysis. Theor Appl Climatol 145**,** 1467–1484.

29- Siraj-Ud-Doulah, M., & Islam, M. N. (2019). Defining homogenous climate zones of Bangladesh using cluster analysis. International Journal, 6(1), 119-129

30- Yunus, F. (2011). ‘‘Delineation of Climate Divisions for Peninsular Malaysia’’,Geospatial World Forum, Dimensions and Directions of Geospatial Industry, Hyderabad, India.