



جغرافیا و روابط انسانی، تابستان ۱۴۰۳، دوره ۷، شماره ۱، صص ۵۱۷-۴۹۸

اقلیم‌شناسی مناطق خشک و نیمه خشک ایران مرکزی

سید محمد حسینی^{۱*}، فرحناز خرم‌آبادی^۲، سعید ذوالفقارزاده^۳

۱- دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه سیدجمال‌الدین اسدآبادی، اسدآباد، ایران. h.climate@yahoo.com

۲- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

۳- کارشناس ارشد آب و هواشناسی محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۸

چکیده

امروزه شناسایی نوع اقلیم یک منطقه با استفاده از عناصر مهم و اثرگذار، می‌تواند نقش کلیدی در شناخت و بازخوانی یک پهنه جغرافیایی داشته باشد. لذا هدف اصلی پژوهش حاضر، اقلیم‌شناسی مناطق خشک و نیمه خشک در ایران مرکزی با استفاده از روش‌های آماری تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای است. بدین منظور، از داده‌های ۱۳ متغیر اقلیمی در ۱۴ ایستگاه سینوپتیک در بازه زمانی ۴۴ ساله از سال ۱۳۵۵ تا ۱۳۹۸ شمسی استفاده شد و ماتریسی به ابعاد 13×14 که سطرها؛ عناصر اقلیمی و ستون‌ها؛ تعداد ایستگاه‌ها هستند، ایجاد گردید. جهت تعمیم داده‌های ایستگاهی به پهنه‌ای نیز، شبکه‌ای با یاخته‌های 15×15 km در ایران مرکزی تشکیل شد و ماتریسی با ابعاد 44×14 که سطرها؛ یاخته‌های رقومی و ستون‌ها؛ تعداد ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد، به دست آمد که مبنای محاسبات در تحلیل عاملی با چرخش واریماکس و تحلیل خوشه‌ای با ادغام وارد، بوده است. نتایج حاصل از ارتباط‌سنجی ارتفاع با متغیرهای اقلیمی حاکی از این است که در ایران مرکزی، رابطه مستقیم و معنی‌داری بین این دو عامل برقرار است اما به علت تأثیر عوامل محلی و کلان‌مقیاس اقلیمی، این ارتباط در سرتاسر پهنه یکسان نیست و گاه‌ا لانه‌گزینی اقلیمی را به وجود می‌آورد. همچنین نتایج نشان داد که ۴ عامل اصلی و اثرگذار که اقلیم ایران مرکزی را می‌سازند به ترتیب عبارتند از: بارش، دما، رطوبت و توفان گردوخاک. این عوامل، $86/2\%$ از رفتار اقلیمی این پهنه را تبیین می‌کنند. بارش با 35% ، مهمترین عنصر اقلیمی اثرگذار در این پهنه است که غالباً در مناطق سردکوهستانی و ارتفاعات حاکمیت دارد. دما با $27/3\%$ در بیابان‌های مرکزی و کناره‌های کویرلوت در کاشان، خورویبابانک، بم و لار نقش‌آفرین است. رطوبت با $15/3\%$ در بخش‌هایی از مناطق گرم و مرطوب جنوبی در بافت، آباد و داران اصفهان موثر است. توفان‌های گردوخاک با $8/8\%$ ، کم‌ترین عامل اثرگذار در اقلیم ایران مرکزی است که به صورت پراکنده در خورویبابانک، بافق، یزد و کاشان رخنمون بیشتری دارد. همچنین با انجام تحلیل خوشه‌ای، ۴ ناحیه اقلیمی متمایز در ایران مرکزی تحت عنوان ناحیه بارشی؛ ناحیه سردکوهستانی؛ ناحیه گرم و خشک؛ ناحیه بسیار گرم و خشک بادی شناسایی گردید.

واژگان کلیدی: اقلیم‌شناسی، مناطق خشک و نیمه خشک، تحلیل عاملی؛ تحلیل خوشه‌ای؛ ایران مرکزی.

مقدمه

امروزه اقلیم، یکی از مهمترین عوامل تعیین کننده در میزان و نحوه عملکرد فعالیت های انسانی در محیط زیست است (مسعودیان و کاویانی، ۱۳۸۷). به طوری که؛ آگاهی دقیق از شرایط اقلیمی یک منطقه می تواند در همه ابعاد مربوط به زندگی بشر خصوصاً در بعد برنامه ریزی های اقتصادی، نقش تعیین کننده داشته باشد (خورشیددوست و سلمان پور، ۱۳۸۷). این در حالی است که کشور ایران از یک سو به لحاظ موقعیت جغرافیایی ویژه و از سویی دیگر؛ همجواری با اقلیم گرم و خشک عرض های پایین، بخش های وسیعی از مناطق مرکزی و داخلی آن را تحت تاثیر قرار داده است و بیابان ها و کویرهای وسیع ایران را در خود جای داده است. این مناطق همچنین دارای تنوع شکل زایی و ناهمواری هستند که البته سبب تنوع اقلیمی نیز شده است (حلی ساز و همکاران، ۱۳۹۷). با تکیه بر این تنوع، می توان در قلمرو کم آب و بیابانی داخلی کشور، خرده نواحی اقلیمی را از یکدیگر باز شناخت (خورشیددوست و قویدل، ۱۳۸۵). به طور کلی یک سیستم طبقه بندی اقلیمی، مجموعه قواعدی است که با به کار گرفتن آن ها می توان مناطقی را که از نقطه نظرهای معین، ویژگی های مشترکی دارند از یکدیگر مجزا نمود و نواحی با خصوصیات مشترک را در یک طبقه قرار دارد (Umirbekov et al., 2022). طبقه بندی اقلیمی یک منطقه، زمانی به خوبی انجام می گیرد که با استفاده از متغیرهای بسیار زیاد انجام شود. اگر چه تعداد زیاد این متغیرها، نیازمند تکنیک هایی است که هم تعداد متغیرها و حجم داده ها را کاهش دهد و هم روابط بین آن ها را حفظ کند. از تکنیک های بسیار پرکاربرد در این زمینه می توان روش های آماری چند متغیره مانند تحلیل مولفه های اصلی^۱ و تحلیل خوشه ای^۲ را نام برد که به خوبی و به صورت کمی، پهنه های اقلیمی مختلف را شناسایی و تفکیک می کنند و جایگزین مناسبی برای روش های سنتی و ایستا محسوب می شوند (Ahmad et al., 2002; Singh, 1999). در چند دهه اخیر، به کارگیری روش های تحلیل عاملی و تحلیل خوشه ای در پژوهش های اقلیمی بسیار رایج است (Anyadike, 1987; Ahmed, 1997; Fernandez-cancio et al., 2007; مسعودیان و همکاران، ۱۳۹۰؛ آروین و همکاران، ۱۳۹۱؛ جهان بخش اصل و همکاران، ۱۳۹۴؛ ناظری تهرودی و همکاران، ۱۳۹۵؛ خورشیددوست و همکاران، ۱۳۹۸) و مطالعات متعددی در سطح جهان و ایران با این دو تکنیک آماری انجام شده است. برای نمونه می توان به؛ شناسایی ۸ ناحیه اقلیمی متمایز در پنینسولای مالزی (Bishop, 1948)؛ تعیین ۷ ناحیه اقلیمی در ایالت آلابامای آمریکا (Kalkstian et al., 1987)؛ تشخیص ۳ ناحیه مجزا و متمایز از رژیم باد در کورسیکای فرانسه (Burlando et al., 2008)؛ تعیین ۶ گونه آب و هوایی در آتن و تسولانیکی (Michailidou et al., 2009)؛ شناسایی ۱۳ منطقه بارشی در کشور چین (Lee & Wong, 2009)؛ تعیین ۴ ناحیه اکوهیدرولوژی در گوانجیوی چین (Wang et al., 2010)؛ پهنه بندی بارش در هند (Satyanarayana

¹ - Principal Component Analysis (PCA)

² - Cluster Analysis (CA)

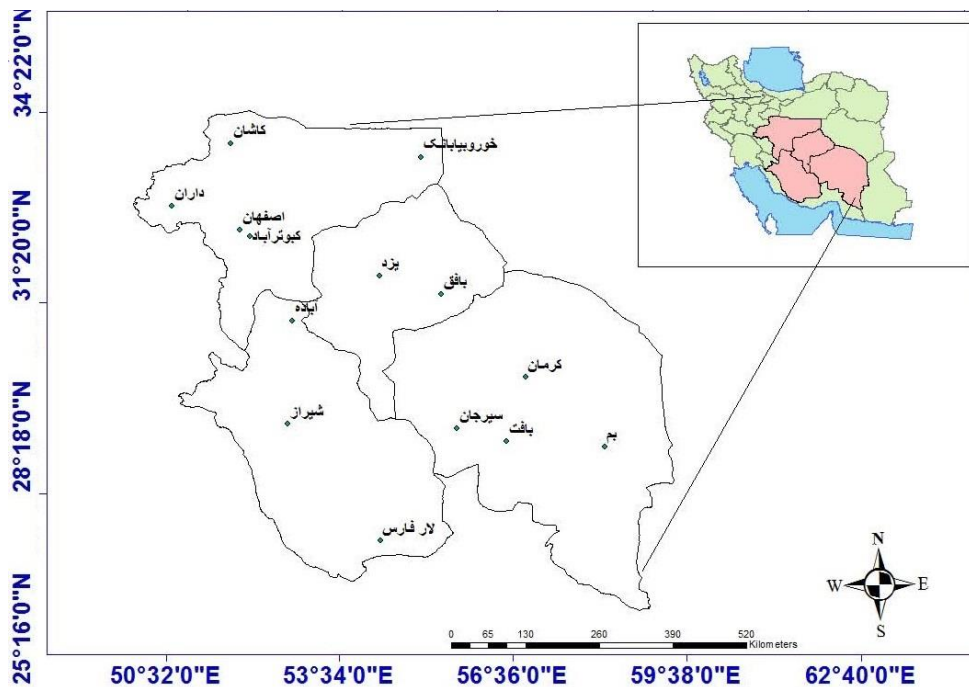
(Bravo Cabrera et al., 2012)؛ شناسایی دو گروه بارشی همگن در مکزیک (& Sirmivas, 2011)؛ خوشه‌بندی ایستگاه‌های باران سنجی واقع در ایالت پارانا کی کشور برزیل (Pansera et al., 2013)؛ تعیین ۳ ناحیه همگن بارشی در صربستان (Gocic & Trajkovic, 2014)؛ شناسایی ۵ ناحیه همگن بارشی در کره جنوبی (Nam et al., 2015)؛ تعیین ۶ ناحیه خرد اقلیمی در قاره اروپا (Carvalho et al., 2016)؛ شناسایی ۳ خرده ناحیه اقلیمی در شیلی (Konstantin & Carpio, 2018)؛ تعیین ۷ ناحیه بارشی در رشته‌کوه‌های آسیای مرکزی (Umirbekov et al., 2022). اشاره نمود. همچنین از این تکنیک‌های آماری در پژوهش‌های ایرانی نیز استفاده شده است که به عنوان نمونه می‌توان؛ شناسایی ۷ پهنه آب‌وهوایی در استان یزد (شیرانی و همکاران، ۱۳۸۸)؛ تعیین ۴ منطقه آب‌وهوایی در استان لرستان (لشنی‌زند و همکاران، ۱۳۹۰)؛ تشخیص ۷ پهنه اقلیمی متمایز در استان مرکزی (خسروی و آرامش، ۱۳۹۰)، پهنه‌بندی آب‌وهوایی شمال و شمال‌غرب ایران با ۱۸ عنصر اقلیمی و ۵ عامل اصلی (نظم‌فر و گلدوست، ۱۳۹۳)؛ تفکیک آب و هوای استان کهگیلویه و بویراحمد به ۷ خرده ناحیه اقلیمی (منتظری، ۱۳۹۴)؛ شناسایی ۷ پهنه همگن بارشی در ایران (خام‌چین، ۱۳۹۴)؛ طبقه‌بندی اقلیمی استان همدان با ۲۳ عنصر اقلیمی در ۵ عامل اصلی و شناسایی ۶ ناحیه اقلیمی متمایز (باعقیده و همکاران، ۱۳۹۴)؛ شناسایی ۶ ناحیه آب‌وهوایی در پهنه‌بندی اقلیمی استان خراسان جنوبی (گل‌کار و همکاران، ۱۳۹۵)؛ تعیین ۶ ناحیه بارشی همگن و متمایز در پهنه‌بندی زمانی-مکانی اقلیم بارش ایران (عیسی‌زاده و دین‌پژوه، ۱۳۹۷)؛ طبقه‌بندی اقلیمی کشور ایران و شناسایی ۲۷ طبقه اقلیمی (طاووسی و همکاران، ۱۳۹۹) را نام برد.

با توجه به وسعت زیاد ایران مرکزی هم به لحاظ جغرافیایی و هم جمعیتی، طبقه‌بندی پهنه‌بندی اقلیمی آن می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های مختلف و توسعه پایدار منطقه، مؤثر واقع شود. چرا که امروزه عمده‌ترین مساله فراروی توسعه و پیشرفت استان‌های اصفهان، کرمان، یزد و فارس که در این گستره واقع شده‌اند؛ وقوع خشک‌سالی‌های فراگیر، افزایش توفان‌های گردوغباری، افزایش دما و کاهش شدید بارش و بحرانی شدن وضعیت منابع آب و به تبع آن، به چالش کشیده شدن حیات زیست‌انسانی و طبیعی در این مناطق است. لذا هدف اصلی پژوهش حاضر، پهنه‌بندی آب و هوایی ایران مرکزی با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره مانند تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای است تا با این تکنیک‌ها، بتوان مناطق همگن اقلیمی را شناسایی نمود. نوآوری پژوهش حاضر را می‌توان در چند مورد خلاصه کرد. نخست؛ استفاده از حجم بالای داده‌های اقلیمی از بدو تاسیس ایستگاه‌های سینوپتیک تا زمان اخیر در محاسبات آماری با تکنیک تحلیل عاملی. دوم؛ استفاده از ۱۳ متغیر اقلیمی جهت پهنه‌بندی به جای روش‌های سنتی پهنه‌بندی که غالباً مبتنی بر یک یا چند عنصر محدود بودند مانند روش کوپن، آمبرژه و ... با کمک تحلیل خوشه‌ای. سوم؛ استفاده از داده‌های پهنه‌ای با تفکیک $10 \times 10 \text{ km}$ به جای داده‌های نقطه‌ای و ایستگاهی که قابلیت تعمیم ندارد. لذا میانبایی کریجینگ، نیل به این هدف را می‌تواند برآورده سازد.

مواد و روش

پهنه مورد بررسی

قلمرو مورد بررسی استان‌های یزد، کرمان، اصفهان و فارس به مساحت 478415 km^2 ، بین عرض‌های جغرافیایی $25^{\circ} 18'$ تا $33^{\circ} 59'$ شمالی و طول جغرافیایی $50^{\circ} 10'$ تا $59^{\circ} 20'$ شرقی قرار گرفته است. وجود کوهستان‌های پراکنده در اطراف منطقه، امکان نفوذ توده‌های هوای مرطوب را به ایران مرکزی محدود کرده و باعث ایجاد شرایط گرم و خشک شده است. شاهد این ادعا، کاهش نزولات جوی در اکثر نقاط و افزایش دامنه تغییرات دما بین شب و روز و فصول گرم و سرد سال است. در ایران مرکزی دما از شمال غرب به سمت جنوب شرق افزایش می‌یابد، چراکه در این مسیر هم عرض جغرافیایی افزایش می‌یابد و هم ارتفاع نسبی کمتر می‌شود. تغییرات بارش در این منطقه نیز جهت‌گیری خاصی ندارد و در ایستگاه‌های مرکزی به دلیل دوری از منابع آبی، میزان بارندگی کاهش می‌یابد (۴۰).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی پهنه مورد بررسی و ایستگاه‌های منتخب

داده‌های پژوهش

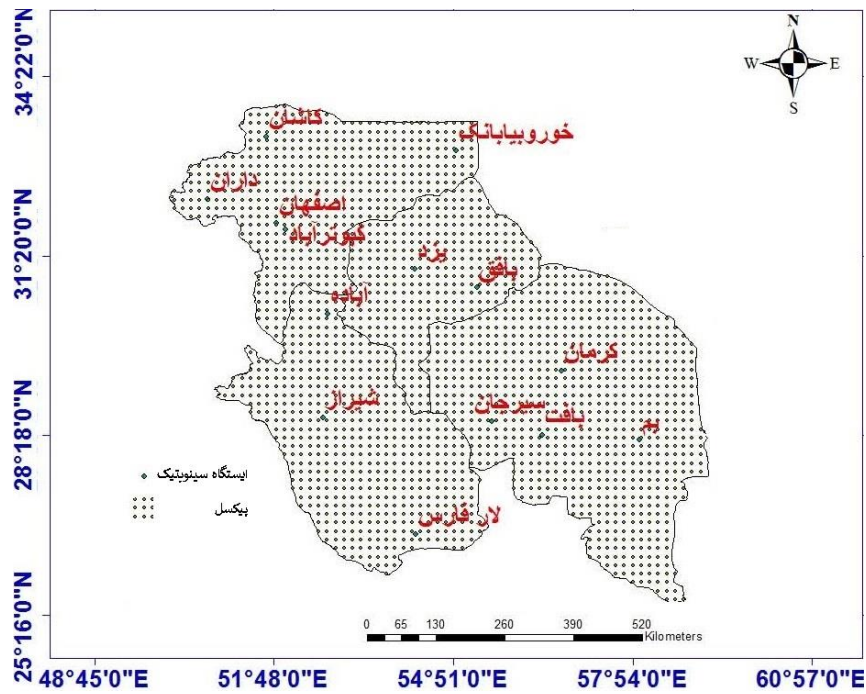
در پژوهش حاضر جهت گونه‌شناسی اقلیمی، از داده‌های ۱۳ متغیر اقلیمی که بیشترین اثرگذاری در تعیین اقلیم منطقه داشتند و از طریق محاسبات آماری و نقشه‌نمودارهای اقلیمی شناسایی شدند، برای ۱۴ ایستگاه منتخب

سینوپتیک در بازه زمانی ۴۴ ساله از سال ۱۳۵۵ تا ۱۳۸۹ شمسی استفاده شد (شکل ۱). این داده‌ها به صورت روزانه از سازمان هواشناسی کشور اخذ شده است و عبارتند از میانگین سرعت باد، بارش، کمینه دما، بیشینه دما، میانگین دما، کمینه رطوبت نسبی، میانگین رطوبت نسبی، بیشینه رطوبت نسبی، تعداد روزهای همراه با پدیده گردوخاک، تعداد روزهای همراه با پدیده رعدوبرق، میانگین فشار بخار آب، روزهای با حداقل دید کمتر از ۲۰۰m، میانگین دمای نقطه شبنم. لازم به ذکر است که داده‌های اقلیمی عمدتاً بر روی نقاط مشخص یعنی ایستگاه‌های دیده‌بانی، اندازه‌گیری می‌شود درحالی‌که، غالباً آگاهی‌های اقلیمی درباره یک پهنه و وسیع‌تر مورد نیاز است و طبیعت نقطه‌ای دیده‌بانی‌های اقلیمی سبب می‌شود هرچند تعداد ایستگاه‌ها را افزایش یابد، بازهم انتساب نتایجی که از تجزیه و تحلیل داده‌های ایستگاه‌ها به دست می‌آید به تمامی یک پهنه قابل تعمیم و انطباق نباشد. به‌ویژه در مواردی که تغییرات مکانی عناصر اقلیمی زیاد باشد، این دشواری بارزتر خواهد شد. لذا نتایج یک تجزیه و تحلیل اقلیمی زمانی قابل تعمیم به پهنه‌های گسترده خواهد بود که میانجی، به عنوان یک مرحله ضروری برای تبدیل داده‌های نقطه‌ای به داده‌های پهنه‌ای پذیرفته شده باشد. این شگرد نه تنها اهداف پژوهش حاضر را برآورده می‌کند، بلکه توانایی خود در اغلب پژوهش‌های آب و هوایی را به اثبات رسانده است (م. سعودیان، ۱۳۸۶؛ Govaerts, 2000). بنابراین میانجی‌گری می‌تواند بهترین میانگین وزنی (موزون) از یک پهنه را ارائه نماید. ضمن اینکه پراش تخمین نیز، کمینه شود (کاوسی و مشکانی، ۱۳۸۶). روش عمومی محاسبه کریجینگ بدین گونه است (رابطه ۱):

$$Z^* = \sum_{i=1}^N W_i Z(x_i) \quad (1)$$

در این رابطه: Z^* برابر با مقادیر برآورد شده، W_i برابر با وزن آماری، $Z(x_i)$ برابر با مقادیر مشاهده شده در نقطه x_i است. وزن‌ها به درجه همبستگی بین نقاط نمونه و نقاط برآورد شده بستگی دارد و همیشه جمع آن‌ها برابر با یک است.

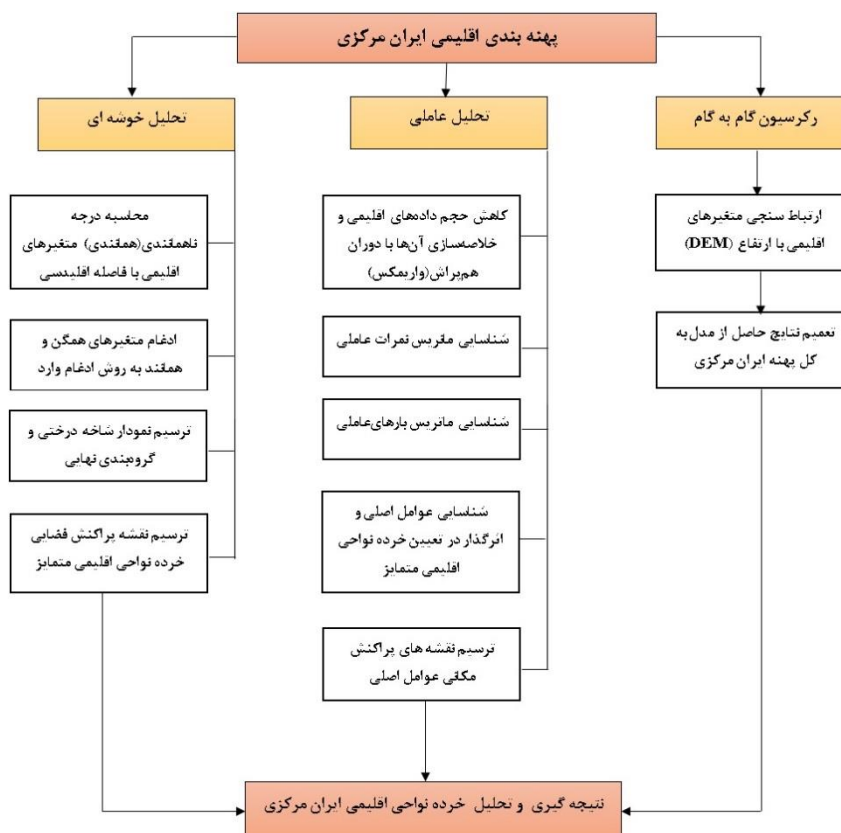
برای نیل به این هدف، شبکه‌ای با یاخته‌های 15×15 km روی پهنه مورد بررسی گسترانیده و مقدار عناصر اقلیمی در گره‌های این شبکه برآورده شد. این برآوردها تمام پهنه را می‌پوشانند و از این پس، مبنای همه داورها درباره اقلیم آن پهنه قرار می‌گیرند و همچنین به عنوان مبنای محاسبات در تحلیل عاملی خواهد بود. از داده‌های ایستگاه‌های فقط به عنوان شاهدی در ارزیابی درجه قطعیت نتایج تحلیل‌ها استفاده می‌شود. بنابراین طی این فرآیند، ماتریس ایستگاهی اولیه با ابعاد 15×13 که سطرها، نماینده عناصر اقلیمی و ستون‌ها، نماینده تعداد ایستگاه‌ها هستند به ماتریس پهنه‌ای ثانویه با ابعاد 15×446 که سطرها، نماینده یاخته‌های رقومی و ستون‌ها، نماینده تعداد ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد، تبدیل شد (شکل ۲).



شکل ۲. شبکه‌بندی ۱۵×۱۵ km کریجینگ در ایران مرکزی

روش پژوهش

روندنمای کلی فرآیند انجام پژوهش در شکل ۳ نشان داده شده است. روش‌شناسی رگرسیون گام به گام، تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای با رعایت اختصار تشریح می‌شود.



شکل ۳. روندنمای اصلی فرایند انجام پژوهش

در پژوهش حاضر جهت ارتباط سنجی میان ۱۳ متغیر اقلیمی و مدل رقومی ارتفاع ایستگاه‌ها (DEM) از روش رگرسیون گام به گام استفاده شده است. رگرسیون ارتباط تنگاتنگی با همبستگی دارد و جهت برآورد معادله‌ای استفاده می‌شود که به پیش‌بینی مقادیر مربوط به یکی از انواع اندازه‌گیری در مقایسه با دیگری پردازد. در پژوهش‌هایی که داری بعد مکانی‌اند یعنی متغیرهای مکانی در آن‌ها دخیل است، سنجش ارتباط بین متغیرها با یک مدل برآوردگر خطی که دارای ضرایب ثابتی است، خطای برآورد را افزایش می‌دهد. بنابراین، در این نوع مطالعات نیاز به مدل برآوردگری احساس می‌شود که ضرایب آن ثابت نبوده و همراه با متغیرهای مکانی سیال باشد. در رگرسیون گام به گام تمامی متغیرهای مستقل وارد مدل می‌شوند و آن متغیر مستقلی که تاثیر چندانی بر متغیر وابسته نداشته باشد از مدل حذف می‌شود. این مدل رگرسیونی دارای یک متغیر وابسته و یک یا چند متغیر مستقل است. در این مدل آماری، فرض بر این است که رابطه بین متغیرهای مستقل همان مدل رقومی ارتفاع و متغیر وابسته یا متغیرهای اقلیمی به صورت زیر است (رابطه ۲):

$$Element = b_0 + b_1(x_1) + b_2(x_2) + \dots + b_p(x_p) \quad (2)$$

که در آن: پارامترهای b_1, b_2, \dots, b_p ضرایب رگرسیون (شیب معادله)؛ b_0 مقدار عرض از مبدأ و x_1, x_2, \dots, x_p متغیرهای مستقل است (خورشیددوست و بیورانی، ۱۳۹۰).

همچنین در پژوهش حاضر از روش تحلیل عاملی استفاده شد. هدف این روش، یافتن ترکیب‌هایی از p متغیر x_1, x_2, \dots, x_p برای ایجاد عامل‌های مستقل به منظور تشریح تغییرات موجود در داده‌هاست. مستقل بودن عامل‌ها به این معنی است که هر عامل جنبه متفاوتی از داده‌ها را اندازه می‌گیرد (مقدم و همکاران، ۱۳۷۳). امتیاز این روش 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 فرآیند تحلیل عاملی به عنوان داده‌های اولیه تحلیل خوشه‌ای استفاده می‌شوند (علیجانی، ۱۳۸۵). هر قدر همبستگی داخلی بین متغیرها نزدیک‌تر باشد، تعداد عامل‌های پدید آمده کمتر خواهد بود. الگوی تحلیل عاملی به صورت زیر است (رابطه ۳):

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

$$X_2 - \mu_2 = e_{21}f_1 + e_{22}f_2 + \dots + e_{2m}f_m + \varepsilon_2 \quad (3)$$

$$x_p - \mu_p = e_{p1}f_1 + e_{p2}f_2 + \dots + e_{pm}f_m + \varepsilon_3$$

در این رابطه؛ بردار تصادفی قابل مشاهده X با P مؤلفه دارای میانگین μ و ماتریس کوواریانس Σ است. در الگوی عاملی فرض شد که X وابسته خطی چند متغیر تصادفی غیرقابل مشاهده F_1, F_2, \dots, F_m است که به آن‌ها عوامل مشترک گویند و p منبع دیگری از متغیرهای $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \dots, \varepsilon_p$ هستند که خطا یا عوامل خاص نامیده می‌شوند. عواملی که از راه‌حل‌های عاملی به دست می‌آیند در اکثر موارد قابل تفسیر نیستند. برای اینکه تصور درستی از عامل‌ها به دست بیاید آن‌ها را می‌چرخانند. چرخش را موقعی انجام می‌دهند که برای توصیف کامل داده‌ها یک عامل کافی نباشد و یا اینکه تفسیر و تفکیک بارگویه عامل‌ها به سادگی انجام نگیرد. به منظور بیشینه کردن واریانس بارگویه‌ها و تسهیل در تفسیر ساختار عاملی، محورهای عامل‌ها به وسیله دوران واریماکس، چرخش داده شد. ضمن آن‌که نام‌گذاری عامل‌ها بر اساس بارگویه‌های عاملی دوران یافته صورت می‌گیرد. بنابراین تحلیل عاملی به روش دوران هم‌پراش یا واریمکس نشان داد که ۱۳ عنصر اقلیمی ایران را با توجه به همبستگی درونی آن‌ها می‌توان در چهار عامل اصلی خلاصه کرد. به این ترتیب با تجزیه ماتریس کوواریانس یا هم‌پراش، ماتریس الگوی مکانی یا همان ماتریس نمرات عاملی به ابعاد 4×4 و ماتریس عناصر اقلیمی تلفیقی یا ماتریس بارهای عاملی به ابعاد 4×13 به دست آمد. مجموعه این دو ماتریس نشان داد کدام مجموعه عناصر اقلیمی در کدام بخش‌های ایران مرکزی نقش چشمگیرتر و اثرگذارتری در شکل‌گیری خرده اقلیم این مناطق ایفا می‌کنند.

در پژوهش حاضر همچنین از تحلیل خوشه‌ای جهت ناحیه‌بندی اقلیمی استفاده شد و در نهایت دارنمای شاخه درختی ترسیم گردید. این روش آماری که مجموعه‌ای از افراد را بر حسب اندازه همانندی/ناهمانندی میان آن‌ها خوشه می‌کند، در آب‌وهواشناسی بسیار متداول است (Michailidou et al., Burlando et al., 2008).

2009). برای محاسبه درجه همانندی/ناهمانندی در پژوهش حاضر، چون مقیاس اندازه‌گیری متغیرها، متفاوت و دامنه آن‌ها مختلف است از فاصله اقلیدسی استاندارد شده استفاده شد (رابطه ۴):

$$d_{rs}^2 = (X_r - X_s)D^{-1}(X_r - X_s)' \quad (۴)$$

که در این رابطه، d_{rs}^2 فاصله اقلیدسی نقطه r ام به مختصات (φ_r, λ_r) و نقطه s ام به مختصات (φ_s, λ_s) ؛ X_r بردار مشاهدات روی r و X_s بردار مشاهدات روی s است.

پس از اندازه‌گیری درجه همانندی، باید شیوه‌ای برای ادغام عناصری که بالاترین همانندی را نشان داده‌اند به کار برد. لذا در انجام پژوهش حاضر و همچنین در اغلب مطالعات اقلیمی، عمدتاً از روش ادغام وارد استفاده می‌شود (رابطه ۵) زیرا در این صورت، میزان پراش درون‌گروهی به حداقل و همگنی گروه‌های حاصله به حداکثر می‌رسد (مسعودیان، ۱۳۸۶).

$$d(r, s) = \frac{n_r n_s d_{rs}^2}{(n_r + n_s)} \quad (۵)$$

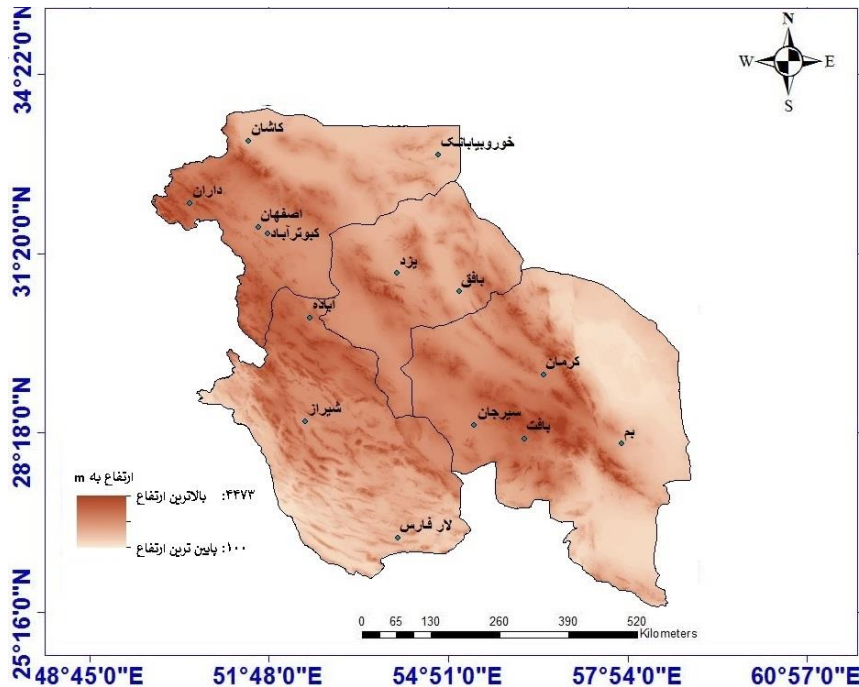
در این رابطه، d_{rs}^2 فاصله بین گروه r و گروه s است؛ n_r تعداد اعضای گروه r و n_s تعداد اعضای گروه s است.

نتایج و بحث

ارتفاع رابطه مستقیم و معنی‌داری با متغیرهای ۱۳ گانه اقلیمی در ایران مرکزی دارد (جدول ۱). به بیانی دیگر، ۱۳ متغیر اقلیمی در این پهنه با افزایش ارتفاع، رابطه مثبت و افزایشی دارند و بالعکس. همچنین پراکنش زمانی و مکانی پارامترهای اقلیمی بسیار ناموزون است و به همین دلیل، خرده نواحی اقلیمی نیز از توزیع یکنواختی برخوردار نیستند. بنابراین هرچه تغییرات مکانی متغیرهای اقلیمی کوچک‌تر شود، همگنی و یکدستی خرده نواحی مناطق بیشتر شده و از سوی دیگر، هر چه تغییرپذیری متغیر اقلیمی کمتر شود، خرده نواحی اقلیمی باثبات‌تر خواهد شد. به طور کلی می‌توان عنوان کرد که وضعیت ناهمواری‌ها و شکل زمین در پهنه مورد بررسی مانند همجواری با بیابان‌های مرکزی ایران، گستره زیاد کویرها و پراکندگی زیاد ارتفاعات، نقش بسیار مهمی در تنوع مکانی خرده نواحی اقلیمی بازی می‌کند، اما این نقش به علت تأثیر دیگر عوامل محلی و بیرونی در سرتاسر این پهنه به یک اندازه نیست. باید یادآوری نمود که به علت توپوگرافی پیچیده و خاص این مناطق، گاهی شهرها و روستاها در مسیر خطر سیلاب‌های فصلی قرار می‌گیرند و گاهی نیز در مسیر گذر توفان‌های شدید گرد و خاک واقع می‌شوند. این شرایط حاکی از این است که اقلیم این مناطق بسیار شکننده است و خرده نواحی اقلیمی در روستاها و شهرهای پیرامون خود را تهدید می‌کند (شکل ۴).

جدول ۱. مدل رگرسیونی گام‌به‌گام در تبیین بین متغیرهای اقلیمی با ناهمواری

ردیف	عناصر اقلیمی	P-Value	مدل	ضریب تبیین	همبستگی
۱	میانگین سرعت باد	۰/۰۰۰	$۰/۹۵۳ + ۰/۰۰۰۹۳۵(H)$	۰/۶۱	۳۳/۰۸
۲	بارش	۰/۰۳۲	$۶۳/۷ + ۰/۰۴۶۳(H)$	۰/۹۲	۰/۰۰
۳	کمینه دما	۰/۰۰۰	$۴/۴۰۴ + ۰/۰۰۲۰۴۹(H)$	۰/۷۷	۱۴/۶۰
۴	بیشینه دما	۰/۰۶۹	$۳۳/۷۹۴ - ۰/۰۰۱۰۲۷(H)$	۰/۹۳	۳/۶۸
۵	میانگین دما	۰/۱۰۱	$۲۰/۸۱۳ - ۰/۰۰۰۹۱۲(H)$	۰/۳۸	۰/۰۰
۶	کمینه رطوبت نسبی	۰/۰۰۰	$۷/۲۶ + ۰/۰۰۴۳۲(H)$	۰/۸۶	۰/۰۰
۷	بیشینه رطوبت نسبی	۰/۱۰۲	$۷۵/۶۴ + ۰/۰۰۰۶۵۱(H)$	۰/۳۲	۰/۰۰
۸	میانگین رطوبت نسبی	۰/۱۴۲	$۳۵/۳۴ + ۰/۰۰۴۳۷(H)$	۰/۲۰	۰/۰۰
۹	روزهای همراه با گردوخاک	۰/۰۰۰	$۵/۷۵۹ - ۰/۰۰۱۸۸(H)$	۰/۸۶	۰/۰۰
۱۰	روزهای همراه با رعدوبرق	۰/۰۰۰	$۱/۷۳۷ - ۰/۰۰۰۶۳۷(H)$	۰/۵۷	۰/۰۰۰
۱۱	میانگین فشار بخار آب	۰/۰۰۰	$۹/۰۹۶ + ۰۰۲۴۶۰(H)$	۰/۲۳	۰/۸
۱۲	دید افقی کمتر از ۲۰۰۰ متر	۰/۰۸۳	$۰/۴۱۸ + ۰/۰۰۰۵۸۱(H)$	۰/۵۶	۷/۵۶
۱۳	میانگین دمای نقطه شبنم	۰/۰۰۰	$۴/۷۶۶ + ۰/۰۰۳۱۲۶(H)$	۰/۳۷	۰/۰۰



شکل ۴. نقشه توپوگرافی پهنه مورد بررسی

همچنین نتایج حاصل از تحلیل عاملی با روش دوران هم‌پراش یا واریمکس نشان داد که ۱۳ عنصر اقلیمی ایران مرکزی را با توجه همبستگی درونی آن‌ها، می‌توان در ۴ عامل اصلی شامل بارشی، دمایی، رطوبتی و توفان تندی خلاصه کرد. مجموعاً این ۴ عامل، ۸۶/۲٪ از واریانس کل داده‌ها را تبیین می‌کنند. بنابراین این عامل‌ها، نقش اصلی و تأثیرگذار در شکل‌گیری اقلیم ایران مرکزی بازی می‌کنند (جدول ۲).

جدول ۲. آماره‌های محاسباتی تحلیل عاملی متغیرهای اقلیمی در ایران مرکزی

ردیف	آماره‌های محاسباتی	عامل بارشی	عامل دمایی	عامل رطوبتی	عامل توفان گردوخاک
۱	مقدار ویژه	۵/۲۶	۴/۰۹	۲/۲۵	۱/۳۲
۲	واریانس	۳۵/۰۸	۲۷/۳۰	۱۵/۰۱	۸/۸۰
۳	درصد افزایشی واریانس	۳۵/۰۸	۶۲/۳۸	۷۷/۳۹	۸۶/۲۰

پس از شناسایی عوامل اصلی و اثرگذار در ایران مرکزی، نوبت به نام‌گذاری خرده نواحی اقلیمی این پهنه با توجه به همبستگی عامل‌ها با عناصر اقلیمی است (جدول ۳).

جدول ۳. نام‌گذاری خرده نواحی اقلیمی در ایران مرکزی

خرده نواحی اقلیمی	عامل‌های اصلی	همبستگی عامل‌ها با عناصر اقلیمی
بارشی	بارش	بارش (بارندگی و برف)، میانگین و بیشینه رطوبت نسبی، رعدوبرق، میانگین فشار بخار آب، دمای شب‌نم، دید افقی
سرد کوهستانی	دما	بیشینه، کمینه و میانگین دما، میانگین و بیشینه رطوبت نسبی، میانگین فشار بخار آب، دمای نقطه شبنم، دید افقی
گرم و خشک	رطوبت	بیشینه و کمینه دما، میانگین و بیشینه رطوبت نسبی، فشار بخار آب، دمای نقطه شبنم
بسیار گرم و خشک بادی	توفان گردوخاک	کمینه و میانگین دما، سرعت باد، میانگین رطوبت نسبی، گردوخاک

همچنین نتایج حاصل از ماتریس بار عامل‌ها در ایستگاه‌های مورد بررسی نشان داد که در هر ایستگاه، کدام عامل یا عوامل بیشترین نقش‌آفرینی را در اقلیم خرده ناحیه دارند (جدول ۴). به عنوان مثال؛ در اغلب ایستگاه‌ها، توفان-های گردوخاک اثرگذاری بیشتری در خرد اقلیم منطقه دارد که همسایگی بیابان و کویر در این ایستگاه‌ها، رخداد پدیده گردوغبار را تشدید کرده است.

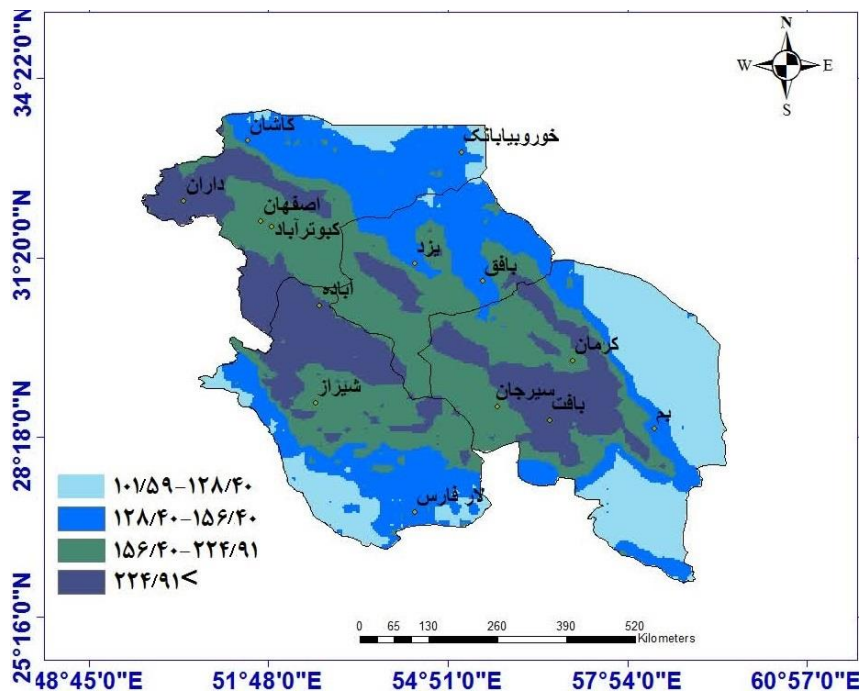
جدول ۴. بار عاملی در ایستگاه‌های منتخب ایران مرکزی

ردیف	ایستگاه	بارش	دما	رطوبت	توفان گردوخاک
------	---------	------	-----	-------	---------------

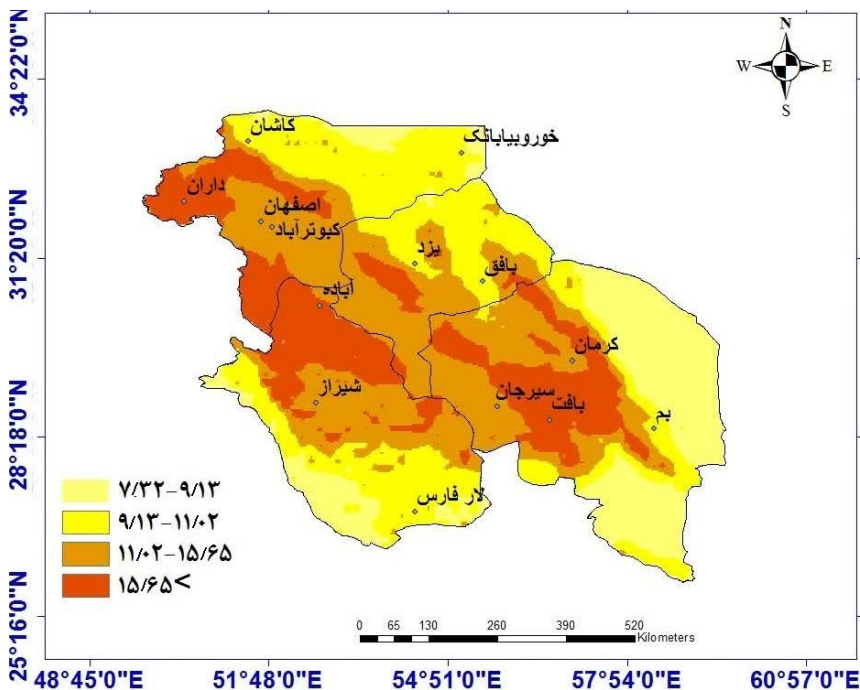
۱/۱۸	۰/۰۳	۰	۲/۵۰	داران	۱
۰	۱/۰۰	۲/۴۸	۲/۰۹	لار	۲
۰	۰	۰	۱/۵۷	اصفهان	۳
۰/۵۶	۱/۲۶	۰	۰/۵۰	بافت	۴
۱/۴۳	۰	۰/۵۸	۰	بافق	۵
۰/۰۷	۰	۰/۷۲	۰	بم	۶
۰	۲/۳۷	۰	۰	خوروبابانک	۷
۰/۵۶	۱/۷۱	۰	۰/۰۸	سیرجان	۸
۰	۰	۰/۷۳	۰	شیراز	۹
۰	۰	۰/۲۶	۰	آباده	۱۰
۰/۲۸	۰/۹۹	۰/۳۳	۰	کاشان	۱۱
۰	۰	۰/۲۵	۰	کبوترآباد	۱۲
۰/۲۵	۰	۰	۰	کرمان	۱۳
۰/۵۱	۰	۰	۰/۶۰	یزد	۱۴

پس از شناسایی مولفه‌های اصلی و اثرگذار در اقلیم ایران مرکزی، نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی این عوامل ترسیم گردید (شکل‌های ۵ تا ۸). عامل بارش به‌تنهایی حدود ۳۵/۰۸٪ از واریانس کل داده‌ها را تبیین می‌کند. بنابراین مهم‌ترین عامل مؤثر در اقلیم این پهنه است. قلمروی حاکمیت بارش‌های بیش از ۲۲۴ mm بیشتر با ارتفاعات هزار و لاله‌زار، تفتان و کوه‌رنگ انطباق دارد و شامل بخش‌هایی از شمال‌غرب، جنوب‌شرق و غرب ایران مرکزی یعنی نواحی سرد و کوهستانی ایستگاه‌های کرمان، بافت، سیرجان، آباده و داران می‌باشد و این قلمرو مساحتی حدود ۲۸٪ را به خود اختصاص داده است (شکل ۵، جدول ۴). عامل دما حدود ۲۷/۳٪ از واریانس کل داده‌ها را در این پهنه توجیه می‌کند. قلمرو بیشینه حاکمیت دما در مناطقی از بیابان‌های داخلی و کویرلوت مشاهده می‌شود و شامل ایستگاه‌های خوروبابانک، کاشان، بم و لار است. در رتبه دوم در کمربند شمال‌غرب-جنوب‌شرق و میانه ایران مرکزی تسلط دارد و ایستگاه‌های اصفهان، یزد و بافق را در برمی‌گیرد (شکل ۶، جدول ۴). عامل سوم یعنی رطوبت، حدود ۱۵/۰۲٪ از واریانس کل را تبیین می‌کند و متغیر بیشینه رطوبت، بیشترین نقش را در این عامل داشته است. قلمرو بیشینه حاکمیت آن در نواحی مرکزی ایران مستقر است و با وسعت ۱۸٪، بیشتر در ایستگاه‌های داران، بافت و آباده مشاهده می‌شود (شکل ۷، جدول ۴). عامل چهارم یعنی توفان‌های گرد و خاک، کمترین واریانس منطقه را با رقم ۸/۸٪ تبیین می‌کند و در بین تمام عوامل از کمترین اهمیت در خرده نواحی اقلیمی ایران مرکزی برخوردار است. بیشترین اثرگذاری آن در ایستگاه‌های خوروبابانک، بافق، یزد و کاشان مشاهده می‌شود. وجود رسوبات ریزدانه بادرفتی، کمبود بارش، فقر پوشش گیاهی در این مناطق سبب شده است که در این ایستگاه‌ها، توفان‌های

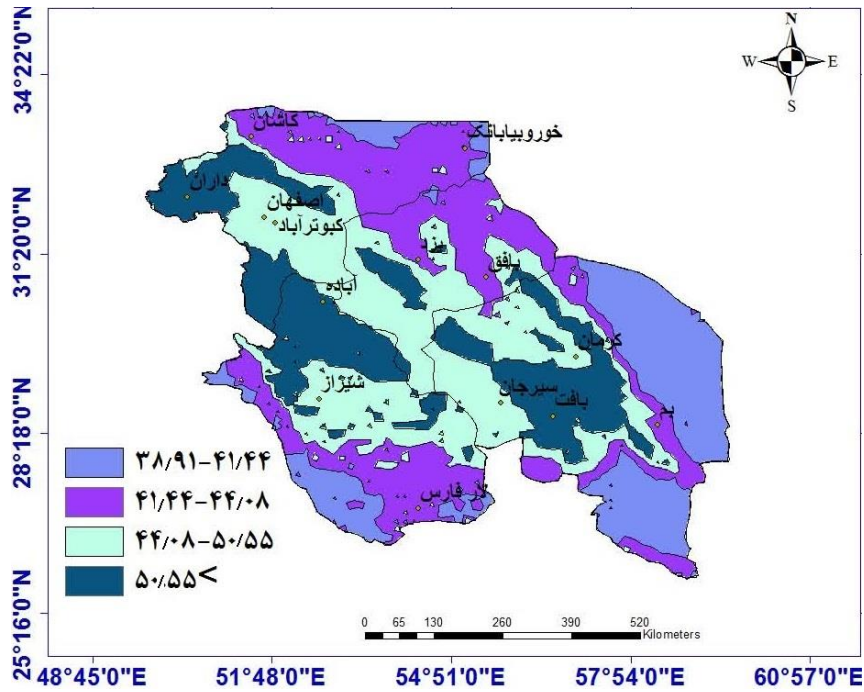
شدید گردوخاک رخنمون بیشتری داشته باشد و اقلیم منطقه نیز بسیار گرم و خشک بادی قلمداد شود (شکل ۸، جدول ۴).



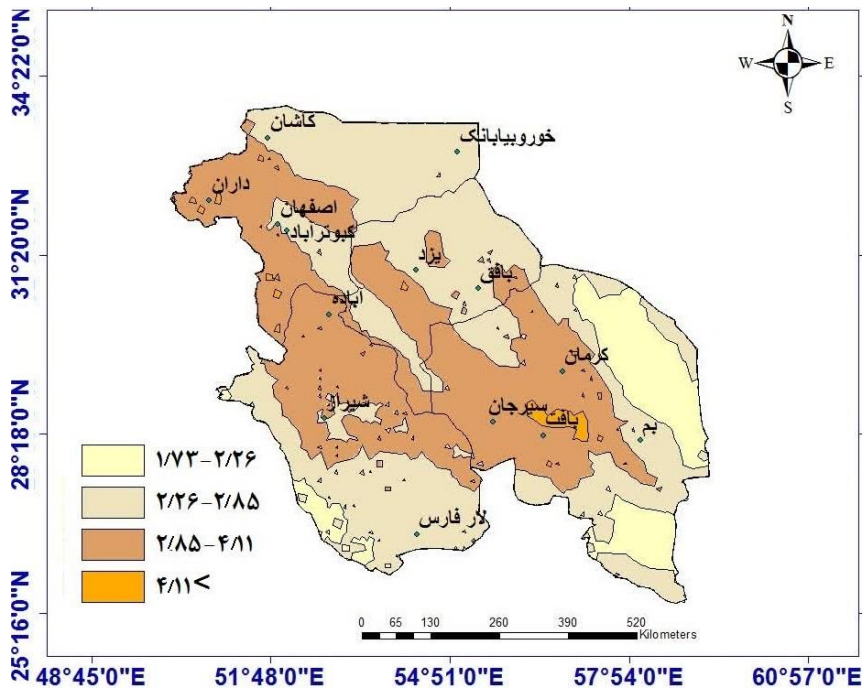
شکل ۵. پراکنش فضایی عامل بارش



شکل ۶. پراکنش فضایی عامل دما

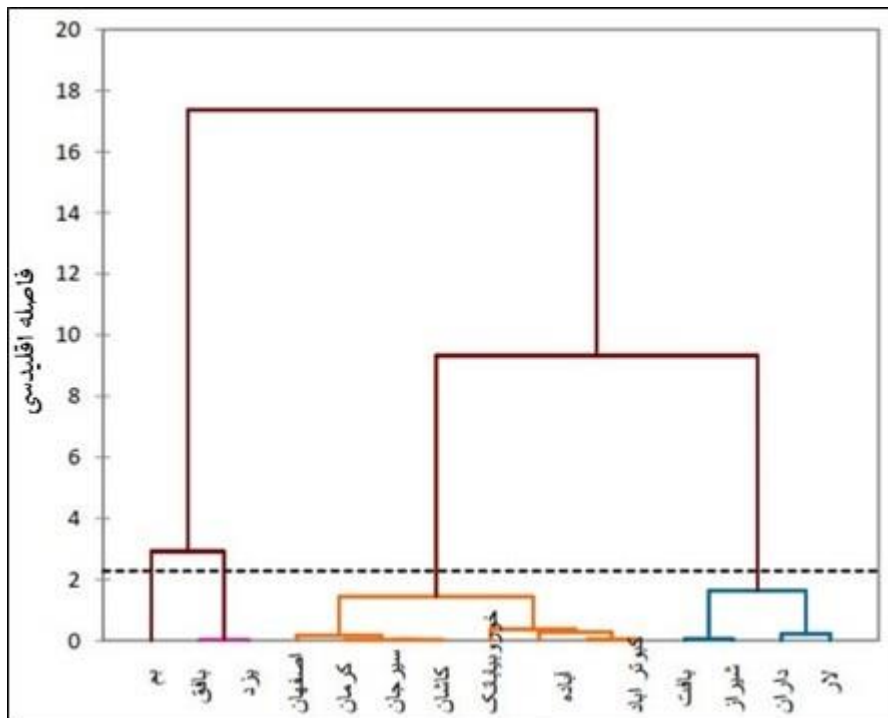


شکل ۷. پراکنش فضایی عامل رطوبت

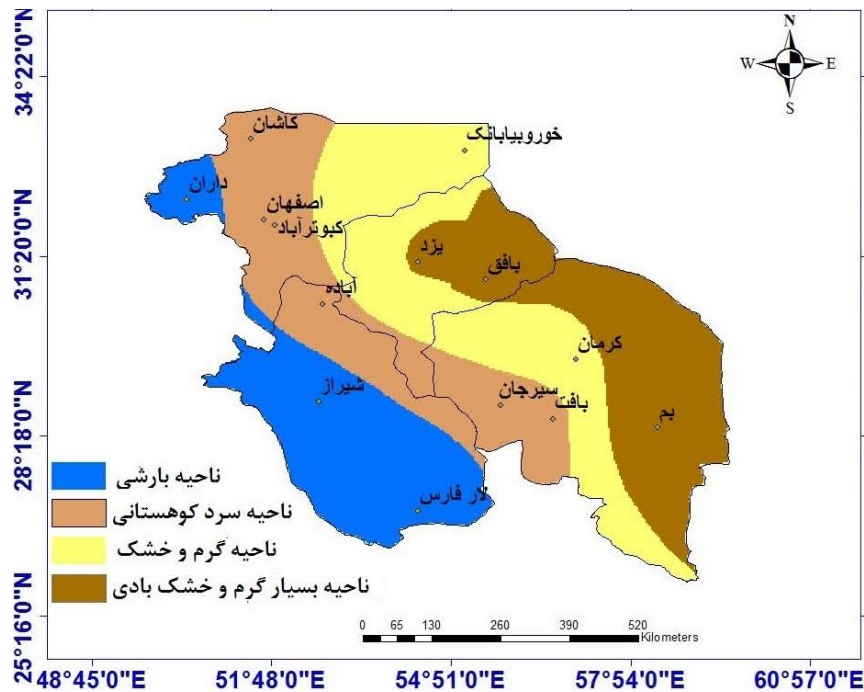


شکل ۸. پراکنش فضایی عامل توفان گردوخاک

در نهایت با انجام تحلیل خوشه‌ای روی ماتریس نمرات عامل‌های استخراج شده، ۴ ناحیه اقلیمی متمایز در ایران مرکزی شناسایی شد (شکل ۸ و ۹). ناحیه اول: ناحیه بارشی است شامل ایستگاه‌های شیراز، لار فارس، داران فریدون؛ ناحیه دوم: ناحیه سرد کوهستانی با ایستگاه‌های بافت، سیرجان، اصفهان، کبوترآباد، خورویابانک، آباد؛ ناحیه سوم: ناحیه گرم و خشک شامل ایستگاه‌های خورویابانک، کرمان و پیرامون کاشان و یزد و ناحیه چهارم، ناحیه بسیار گرم و خشک بادی است که مناطق پیرامون کویرلوت در ایستگاه‌های بم، بافق و یزد را دربرمی‌گیرد.



شکل ۸. نمودار شاخه درختی ایستگاه‌های سینوپتیک ایران مرکزی



شکل ۹. پهنه‌بندی خرده نواحی اقلیمی ایران مرکزی با روش تحلیل خوشه‌ای

نتیجه‌گیری

پهنه‌بندی اقلیمی اهمیت بالایی در مدیریت منابع آب، زمان‌بندی گرد شگری، تعیین الگوی کشت، توسعه شهری و به تبع آن، حفظ اکوسیستم حیاتی یک منطقه دارد. این قاعده در ایران مرکزی که بیش از نیمی از وسعت ایران را دربر گرفته است و شهرهای کلان جمعیتی و صنعتی را در خود جای داده است، نقش چشمگیرتری دارد. به طوری که؛ از یک سو قرارگیری در قلمرو وسیع بیابانی و کویری ایران با اقلیمی گرم و خشک و از سوی دیگر؛ اجبار زیست‌انسانی در این قلمرو، شرایط را کاملاً شکننده نموده و به شدت، تابع شرایط اقلیمی قرار داده است. در این راستا هدف اصلی پژوهش حاضر، شناسایی و تحلیل مکانی خرده نواحی اقلیمی در بخش وسیعی از ایران مرکزی است تا بتوان شرایط میکروکلیمای این پهنه باز شناخته شود. نتایج پژوهش حاضر حاکی از این است که در بخش‌های مرتفع منطقه، پراکنش متغیرهای اقلیمی به شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرد، اما این نقش به علت تأثیر عوامل محلی و هم‌کلان‌مقیاس اقلیمی در تمام پهنه مورد بررسی یکسان نیست و به همین دلیل، این مناطق در طول سال از شرایط متنوع‌تر اقلیمی و البته، مساعد زیستی برخوردار می‌شوند و لانه‌گزینی اقلیمی در این مناطق نیز دیده می‌شود. به عنوان مثال؛ کاشان و یزد به عنوان شهرهای کویری و بیابانی ایران با اقلیم گرم و خشک اما دارای مناطق ویژه گردشگری با اقلیم متفاوت از قلمرو اصلی خود هستند. نیاسر با اقلیم سردکوهستانی در کاشان

و ماهان با اقلیم نسبتاً معتدل در کرمان، لانه‌گزینی اقلیمی را کاملاً نشان می‌دهند. همچنین نتایج نشان داد که اقلیم ایران مرکزی، ساخته ۴ عامل اصلی اقلیمی است که این عوامل به ترتیب اثرگذاری عبارت‌اند از: بارش، دما، رطوبت و توفان گردوخاک. عامل‌های یادشده جمعاً، ۸۶/۲٪ از رفتار اقلیمی این پهنه را تبیین می‌کنند. عامل بارش به تنهایی با ۳۵٪ از واریانس کل داده‌ها، مهمترین عنصر اقلیمی اثرگذار در این پهنه است که غالباً بر مناطق سردکوهستانی و ارتفاعات بالا در قلمرو رشته‌کوه‌های هزار و لاله‌زار، تفتان، کوهرنگ و ... حاکمیت دارد. عامل دما با ۲۷/۳٪، در رتبه دوم اثرگذاری قرار می‌گیرد و در بیابان‌های مرکزی ایران و حوضی کویر لوت به ویژه در ایستگاه‌های خورویابانک، کاشان، بم و لار رخنمون دارد. سومین عامل، رطوبت است با ۱۵/۳٪ که در بخش‌هایی از مناطق گرم و مرطوب جنوبی در ایستگاه‌های بافت، آباده و حتی مناطق سرد و مرطوب شمالی در ایستگاه داران اصفهان نقش دارد. چهارمین عامل اقلیمی، توفان‌های گردوخاک است که با رقم ۸/۸٪، کم‌ترین عامل اثرگذار در اقلیم ایران مرکزی است اما به صورت پراکنده در اغلب ایستگاه‌ها وجود دارد به ویژه در ایستگاه‌های خورویابانک، بافق، یزد و کاشان مشاهده می‌شود. همچنین با انجام تحلیل خوشه‌ای، ۴ ناحیه اقلیمی متمایز در ایران مرکزی تحت عنوان: ناحیه بارشی شامل ایستگاه‌های شیراز، لار فارس، داران؛ ناحیه سرد کوهستانی شامل ایستگاه‌های بافت، سیرجان، اصفهان، کبوترآباد، خورویابانک، آباده؛ ناحیه گرم و خشک شامل ایستگاه‌های خورویابانک، کرمان، کاشان و یزد؛ ناحیه بسیارگرم و خشک بادی شامل ایستگاه بم، بافق و یزد شناسایی گردید. بنابراین نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های دیگر پژوهشگران از جهت پهنه‌بندی و الگوی شناسایی گونه‌های اقلیمی انطباق دارد (گل‌کار و همکاران، ۱۳۹۵؛ خسروی و آرامش، ۱۳۹۰؛ شیرانی و همکاران، ۱۳۸۸؛ طاووس و همکاران، ۱۳۹۹).

منابع

- آروین، عباسعلی، مفیدی‌خواجه، محمد، مازینی، فرشته. ۱۳۹۲. تعیین الگوی زمانی مکانی بارش استان گلستان با استفاده از تحلیل خوشه‌ای، مجله آمایش جغرافیایی فضا، شماره ۶، ۱۱۸-۱۳۱
- امیدوار، کمال؛ جعفری‌ندوشن، مهدی. ۱۳۹۶. اثر نوسان قطبی بر تغییرات دما و بارش فصول سرد سال در ایران مرکزی، مجله علوم جغرافیایی، شماره ۲۶، ۳۰-۱۹.
- باعقیده، محمد؛ فلاح‌قاله‌ری، غلامعباس؛ حاجی‌محمدی، حسن؛ رضایی، حسن. ۱۳۹۴. بررسی نقش ناهمواری‌ها در شکل‌گیری نواحی و خرده نواحی آب و هوایی استان همدان، اطلاعات جغرافیایی، شماره ۱۰۳، ۱۱۰-۱۲۲.
- جهان‌بخش‌اصل، سعید؛ ابطیحی، وحیده؛ قربانی، محمدعلی؛ تدینی، معصومه؛ والایی، اکرم. ۱۳۹۴. بررسی توزیع زمانی و مکانی بارش شهرستان تبریز با روش تحلیل خوشه‌ای، پژوهشی فضایی جغرافیایی، شماره ۵۹، ۵۰-۸۱.
- حلی‌ساز، ارشک؛ صفی‌خوانی، ساجده؛ ملک‌حسینی، بتول. ۱۳۹۷. ضرورت ابرمدل منابع آب و یکپارچه سازی زنجیره خروجی مدل‌ها، تحقیقات منابع آب ایران، شماره ۱، ۲۹۰-۲۸۵.
- خام‌چین، فرهاد. ۱۳۹۴. پهنه بندی الگوهای زمانی بارش‌های کمتر از ۶ ساعته ایران، مجله فناوری اطلاعات در طراحی مهندسی، شماره ۸، ۶۰-۴۸.

- خسروی، محمود؛ آرامش، محسن. ۱۳۹۱. پهنه‌بندی اقلیمی استان مرکزی با استفاده از تحلیل عاملی-خوشه‌ای، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۲، ۱۰۰-۷۷.
- خورشیددوست، علی‌محمد؛ بیورانی، حسین. ۱۳۹۰. آمار کاربردی برای پژوهشگران محیط‌زیست و زیست‌شناسی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تبریز، تبریز.
- خورشیددوست، علی‌محمد؛ قویدل، یوسف. ۱۳۸۳. مقدمه‌ای بر اصول فلسفی نظریه‌ها و مفاهیم نوین آب و هواشناسی، فضای جغرافیایی، شماره ۱۲، ۲۴-۱.
- خورشیددوست، علی‌محمد؛ جهانبخش‌اصل، سعید؛ ولیزاده، کامران، خرم‌آبادی، فرحناز. ۱۳۹۸. واکاوی فضایی خرده نواحی اقلیمی در ایران مرکزی با استفاده از تکنیک‌های آماری، مجله دگرگونی مخاطرات آب‌وهوایی، شماره ۱، ۱-۲۰.
- خورشیددوست، علی‌محمد؛ سلمان‌پور، رضا. ۱۳۸۷. تحلیل نوسانات و آستانه‌های یخبندان‌های پاییزه و بهاره شهرستان اهر، فضای جغرافیایی، شماره ۲۱، ۸۵ تا ۱۰۰.
- شیرانی، فرزانه؛ مزیدی، احمد؛ خداقلی، مرتضی. ۱۳۸۸. پهنه بندی اقلیمی استان یزد با روش های آماری چند متغیره، جغرافیا و توسعه ناحیه ای، شماره ۱۳، ۱۵۷-۱۳۹.
- طاووسی، تقی؛ خواجه امیری، چکاوک؛ سالاری فنودی، محمدرضا. ۱۳۹۹. بازنگری طبقه بندی اقلیمی کشور ایران بر پایه متغیرهای اقلیمی، نشریه مدیریت بیابان، شماره ۱۶، ۳۶-۱۷.
- علیجانی، بهلول. ۱۳۸۵. اقلیم‌شناسی سینوپتیک، چاپ اول، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.
- عیسی‌زاده، محمد؛ دین‌پژوه، یعقوب. ۱۳۹۷. پهنه‌بندی زمانی-مکانی اقلیم بارش ایران و انتخاب ایستگاه‌های با روش‌های آماری چند متغیره، نشریه دانش آب و خاک، شماره ۳، ۱۶۹-۱۸۱.
- کاووسی، امیر؛ مشکانی، محمدرضا. ۱۳۸۶. پهنه‌بندی و تحلیل فضایی بارش اقلیمی ایران، مجله محیط‌شناسی، شماره ۴۳، ۴۰-۳۱.
- گل‌کار، حمیدرضا؛ رضایی‌نژاد، محمد؛ و طاووسی، مجتبی. ۱۳۹۵. پهنه‌بندی اقلیمی استان خراسان جنوبی با نرم‌افزار GIS، نشریه حفاظت منابع آب‌و خاک، شماره ۱: ۴۸-۵۷.
- لشنی‌زند، مهران؛ پیامی، کیانفر؛ احمدی، شهلا؛ ویس‌کرمی، ایرج. ۱۳۹۳. پهنه‌بندی بوم اقلیم‌شناسی ایران، مهندسی و مدیریت آب‌خیز، شماره ۲، ۱۸۹-۱۷۵.
- مسعودیان، سیدابوالفضل؛ دارند، محمد؛ کارساز، سکینه. ۱۳۹۰. پهنه‌بندی بارش غرب و شمال غرب ایران به روش تحلیل خوشه‌ای، فصل‌نامه جغرافیایی طبیعی، شماره ۱۱، ۳۵-۵۱.
- مسعودیان، سیدابوالفضل؛ کاویانی، محمدرضا. ۱۳۸۷. اقلیم‌شناسی ایران، چاپ اول، انتشارات دانشگاه اصفهان. اصفهان.
- مسعودیان، سیدابوالفضل. ۱۳۸۶. واکاوی تیپ‌های هوای اصفهان، طرح پژوهشی، دانشگاه اصفهان.
- مقدم، محمد؛ سیدابوالقاسم، محمدی؛ آقایی، مصطفی. ۱۳۷۳. آشنایی با روش‌های آماری چند متغیره، انتشارات پیشنهاد علم، تبریز.
- منتظری، مجید. ۱۳۹۴. بررسی نقش ناهمواری‌ها در شکل‌گیری خرده‌نواحی اقلیمی استان کهگیلویه و بویراحمد، جغرافیا و توسعه، شماره ۴، ۱-۱۸.
- ناظری‌تهرودی، محمد؛ خلیلی، کیوان؛ احمدی، فرشاد. ۱۳۹۵. تحلیل روند تغییرات ایستگاهی و منطقه‌ای نیم قرن اخیر کشور ایران، مجله آب و خاک، شماره ۲، ۶۵۴-۶۴۳.
- نظم‌فر، حسین؛ گلدوست، اکبر. ۱۳۹۳. پهنه‌بندی آب‌وهوایی شمال و شمال غرب ایران با استفاده از تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای، فضای جغرافیایی، شماره ۴۸، ۱۴۷-۱۶۱.

- Ahmad, A., Lakshmiarahan, S., & Stensrud, D. J. (2002). Cluster Analysis of Multi Model Ensemble Data from SAMEX, *Monthly Weather Review*, 130, 226- 256.
- Ahmed, B.Y. M. (1997). Climatic classification of Saudi Arabia: an application of factor – cluster analysis, *Geo Journal*, 41, 69–84.
- Anyadike, R. N. C. (1987). A multivariate classification and regionalization of West African climate. *Journal of climatology*, 7, 156-164.
- Bishop, I. D. (1984). Provisional Climatic Regions of Peninsular Malaysia, *Pertanika*, 3, 19-40.
- Bravo-Cabrera, J. L., Azpra-Romero, E., Zarraluqui, S., Gay-García, C., & Estrada-Porrúa, F. (2012). Cluster analysis for validated climatology stations using precipitation in Mexico, *Atmósfera*, 25, 339-354.
- Burlando, M., Antoneli, M., & Ratto, C.F. (2008). Mesoscale wind climate analysis: identification of anemological regions and wind regimes, *International Journal of Climatology*, 28, 629 – 641
- Carvalho, M.J., Melo-Gonçalves, P., Teixeira, J.C., & Rocha, A. (2016). Regionalization of Europe based on a KMeans Cluster Analysis of the climate change of temperatures and precipitation. *Physics and Chemistry of the Earth*, 94, 22-28.
- Fernandez-cancio, A., Cerrillo, R., Fernandez, R., Hernandez, P., Mendez, E. M., & Martinez, C. C. (2007). Climate classification of Abies pinsapo Boiss. Forests in Southern Spain. *Investigation Agraria: Sistemas Recursos Forestales*, 16, 222-229
- Gocic, M., & Trajkovic, S. (2014). Spatio-temporal patterns of precipitation in Serbia. *Theoretical and Applied Climatology*, 117(3-4), 419-431
- Govaerts, P. (2000). Geostatistical Approach for Incorporating Elevation into Spatial Interpolation Rainfall, *Journal of Hydrology*, 228, 113-129.
- Kalkstian, L., Tan, G., & Skindlov, A. (1987). An evaluation of three clustering procedures for use in synoptic climatological classification, *climate and apply metrological*, 26, 717- 730.
- Konstantin, V., & Carpioc, M. (2018). Climatic zoning for building construction in a temperate climate of Chile, *Sustainable Cities and Society*, 20, 178-220.
- Lee, J., & Wong, D. (2009). Statistical Analysis with ArcView GIS, *Science journal*, 7, 208-216.
- Michailidou, C., Maheras, P., Arseni-Papadimitriou, A., & Kolyva-Machera, F. (2009). Anagnostopoulou, A study of weather types at Athens and Thessaloniki and Their Relationship to Circulation Types for the Cold-Wet Period, Part II: Discriminant Analysis, *Theoretical and Applied Climatology*, 97, 179–194.
- Nam, W., Shin, H., Jung, Y., Joo, K., & Heo, J. H. (2015). Delineation of the climatic rainfall regions of South Korea based on a multivariate analysis and regional rainfall frequency analyses. *International Journal of Climatology*, 35(5), 777-793.
- Pansera, W. A., Gomes, B. M., Boas, A. V., & Mello, E. L. (2013). Clustering rainfall stations aiming regional frequency analysis. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 11(2), 877-885.
- Satyanarayana, P., & Srinivas, V.V. (2011). Regionalization of precipitation in data sparse areas using large-scale atmospheric variables – A fuzzy clustering approach. *Journal of Hydrology*, 405, 462-473.
- Singh, C. V. (1999). Principal Components of Monsoon Rainfall in Normal, Flood and Drought Years over India, *International Journal Climatology*, 19, 639- 952.
- Umirbekov, A., Peña-Guerrero, M. D., & Müller, D. (2022). Regionalization of climate teleconnections across Central Asian Mountains improves the predictability of seasonal precipitation, *Environmental Research Letters*, 17, 550-560.
- Wang, Sh., Xu, X., Tang, Q., Liu, M., & Yu, J. (2010). A Study on Eco-hydrology Regionalization and its Application. *IEEE*. DOI: 10.1109/ICBBE.2010.5515467.