

## ناحیه‌بندی اقلیمی حوضه آبریز بیابانی هامون هیرمند با استفاده از تحلیل خوشه‌ای و ممیزی

فاطمه درگاهیان<sup>۱\*</sup>، مهدی دوستکامیان<sup>۲</sup>، سعیده اشرفی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۲

### چکیده

افزایش روزافزون داده‌های اقلیمی و نیاز به شناخت ویژگی‌های نواحی اقلیمی، بر پیچیدگی مطالعات اقلیمی افزوده است. استفاده از روش‌های طبقه‌بندی چندمتغیره برای تسهیل این پیچیدگی‌ها ابزاری راهگشاست. در این تحقیق اقلیم حوضه آبریز بیابانی هامون هیرمند با استفاده از ۹ پارامتر اقلیمی و به‌کارگیری روش‌های تحلیل خوشه‌ای و تحلیل ممیزی طبقه‌بندی شد. اعمال تحلیل ممیزی، صحت انجام تحلیل خوشه‌ای را مورد تأیید قرار داده و در بیش از ۹۰٪ سطح حوضه با نتایج تحلیل خوشه‌ای منطبق است. اختلاف موجود در نواحی اقلیمی در مرزهای این نواحی بوده و برای رفع این مشکل از احتمال پسین یاخته‌های مشکوک استفاده و یاخته‌های مذکور به گروه‌های واقعی خود منتسب شدند. نتایج حاکی از وجود ۵ ناحیه اقلیمی در محدوده مورد مطالعه است: ۱. ناحیه بارش متوسط، وزش باد آرام و کم گردوغبار؛ ۲. ناحیه کم بارش، گرم، پرگردوغبار با وزش باد تند؛ ۳. ناحیه بسیار پر بارش با دمای کم، کم گردوغبار با وزش باد آرام؛ ۴. ناحیه پر بارش با دمای کم و گردوغبار متوسط؛ ۵. ناحیه بسیار کم بارش، بسیار گرم، پرگردوغبار با وزش باد تند. بررسی تغییرات مساحت نواحی تعیین شده طی سه دهه نشان داد که از سطح نواحی پر بارش کاسته شده که حاکی از غلبه شرایط خشکی به سمت دوره‌های اخیر در حوضه است. افزایش مساحت ناحیه کم بارش - بسیار گرم و پرگردوغبار با وزش باد تند نشان‌دهنده پیشروی مناطق گردوغبارخیز در حوضه است. شناخت و آگاهی نسبت به ویژگی‌های اقلیمی غالب هر بخش از حوضه برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیرندگان منطقه‌ای را در اولویت‌بندی عملیات اجرایی و سازگاری با شرایط اقلیمی بخش‌های مختلف این حوضه بیابانی یاری می‌کند.

**کلیدواژه‌ها:** ناحیه اقلیمی، تحلیل خوشه‌ای، تحلیل ممیزی، حوضه آبریز هامون.

۱. استادیار بخش تحقیقات بیابان مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، dargahian@riff-ac.ir

۲. دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه زنجان

۳. دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه تبریز

\* این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور است.

## مقدمه

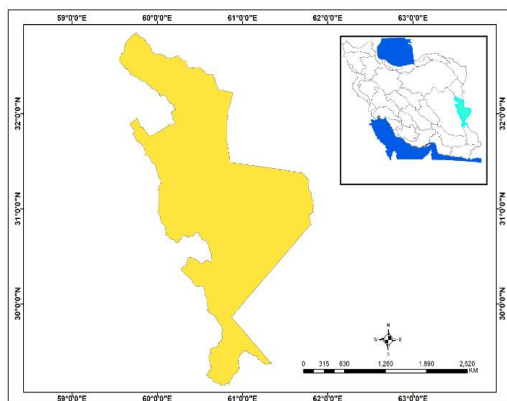
تنوع عناصر اقلیمی و تنوع رفتار مکانی-زمانی این عناصر موجب شده مطالعه توأم عناصر اقلیمی کاری دشوار، پیچیده و زمان‌بر باشد. از طرف دیگر در مطالعات پهنه‌ای که از تعداد ایستگاه‌ها یا یاخته‌های بیشتری استفاده می‌شود، بر پیچیدگی و دشواری مطالعه می‌افزاید. در این موارد طبقه‌بندی داده‌ها می‌تواند راهگشا باشد. به‌کارگیری روش‌های طبقه‌بندی در اقلیم‌شناسی از اوایل قرن بیستم آغاز شده است. ضعف روش‌های سنتی طبقه‌بندی اقلیمی در نمایش واقعیت‌های اقلیمی منجر شد تا پژوهشگران امروزه به استفاده از تکنیک‌های آماری چندمتغیره برای طبقه‌بندی اقلیمی روی آورند؛ طبقه‌بندی چندمتغیره یکی از روش‌های معقول و همه‌جانبه در طبقه‌بندی‌هاست که با استفاده از  $n$  متغیر به طبقه‌بندی اقلیمی می‌پردازد. در روش‌های طبقه‌بندی چندمتغیره، محاسبات حجیم، پیچیده و زمان‌بر است که امروزه استفاده از ابزار محاسبه‌گر، احتمال خطا را به حداقل می‌رساند. حیدری و علیجانی (۲۰۰۸) برای اولین بار استفاده از تکنیک‌های آماری چندمتغیره برای طبقه‌بندی اقلیمی برای کل ایران با استفاده از ۹ متغیر برای ۴۳ ایستگاه سینوپتیک با تحلیل عاملی و تجزیه خوشه‌ای انجام دادند؛ نتایج کار آن‌ها سه عامل مهم را نشان داد: رطوبت، دما و جهت‌گیری باد. پهنه‌بندی اقلیم ناحیه خزری با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره توسط منتظری و بای (۲۰۱۲) نشان دادند که ناحیه خزری دارای چهار خرده ناحیه اقلیمی معتدل مرطوب، معتدل نیمه‌مرطوب، سرد کم‌بارش و نیمه‌سرد کم‌بارش است. تعیین نوع آب و هوای منطقه ایران مرکزی با استفاده از روش تحلیل عاملی و خوشه‌ای نشان داد که اقلیم منطقه متأثر از ۵ مؤلفه دمایی، رطوبتی، بارشی، غباری و تابشی است. مؤلفه‌های یادشده حدود ۸۵٪ رفتار آب‌وهوایی منطقه را تبیین کردند. تحلیل خوشه‌ای بر روی عوامل یادشده وجود چهار ناحیه آب‌وهوایی را در منطقه نشان داد. این نواحی عبارت‌اند از: ناحیه گرم خشک بسیار کم‌بارش، گرم و خشک کم‌بارش، معتدل و کم‌بارش و معتدل بارش‌مند (انتظاری و داداشی رودباری، ۲۰۱۴). طبقه‌بندی‌های اقلیمی دیگری در گوشه و کنار کشور بر اساس تحلیل عاملی و خوشه‌ای انجام شده است؛

مسعودیان (۲۰۰۳) با استفاده از روش تحلیل عاملی و خوشه‌ای کشور به پانزده ناحیه اقلیمی تقسیم کرده است. پهنه‌بندی اقلیمی استان مرکزی با استفاده از تحلیل عاملی خوشه‌ای در استان مرکزی هفت ناحیه آب‌وهوایی را در منطقه نشان داد. این نواحی عبارت‌اند از: ناحیه معتدل و نیمه‌مرطوب غباری، گرم و نیمه‌خشک، نیمه‌سرد و نیمه‌مرطوب غباری، معتدل و نیمه‌خشک غباری، معتدل نیمه‌خشک، سرد و نیمه‌خشک غباری و نیمه‌سرد مرطوب تندری (خسروی و آرامش، ۲۰۱۲). با پهنه‌بندی نواحی اقلیمی استان خوزستان پنج پهنه اقلیمی در استان خوزستان مشخص شد. شایان ذکر است که شرایط متنوع اقلیمی و آرایش مکانی نواحی اقلیمی در استان، بیانگر نزدیکی به دریا و مناطق خشک کشورهای عراق و عربستان و گستردگی آن به‌سمت ارتفاعات زاگرس است (موحدی و همکاران، ۲۰۱۱). پهنه‌بندی نواحی اقلیمی استان سیستان و بلوچستان پنج ناحیه اقلیمی را در استان نشان داد (سلیقه و همکاران، ۲۰۰۸). در ناحیه‌بندی آب‌وهوایی استان گیلان با روش‌های چندمتغیره اقلیمی وجود ۳ ناحیه اقلیمی مشخص شد که عبارت‌اند از: ناحیه معتدل و مرطوب، کوهستانی و نیمه‌مرطوب و سرد (فلاح و همکاران، ۲۰۱۵). بازنگری پهنه‌های اقلیمی شمال شرق ایران بر اساس واکاوی تغییرپذیری شاخص خشکی در تلفیق با تغییر دیگر متغیرهای اقلیمی در محدوده حوضه شمال شرق ایران طی دوره زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۷ توسط طاووسی و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که به‌کارگیری ضریب خشکی به‌عنوان عاملی مهم در الگوی اصلاحی، باعث افزایش دقت طبقه‌بندی‌های این روش نسبت به مدل‌های پیشین می‌شود و روند تغییرات برای شاخص خشکی یونپ بیانگر این مسئله بود که طی این ۲۸ سال شرایط خشکی در منطقه رو به افزایش بوده و وضعیت بیابان‌زایی در بخش‌های مختلف تشدید شده است. با استفاده از روش تحلیل عاملی اسلوونی به شش منطقه آب‌وهوایی تقسیم شده است: منطقه آب‌وهوایی زیر دریای مدیترانه، آب‌وهوای مرطوب منطقه تپه‌ای، آب‌وهوای معتدل منطقه تپه‌ای، منطقه آب‌وهوایی نیمه‌قاره‌ای، منطقه آب‌وهوایی زیر آلی و منطقه آب‌وهوایی آلی (کوزجکت<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۷). با استفاده از داده‌های

هواشناسی میانگین دمای ماهانه، بارش، روزهای بارانی، رطوبت نسبی، جهت باد، فشار اتمسفر، تبخیر، تابش خورشیدی در کشور پاکستان طبقه‌بندی اقلیمی انجام شد؛ منطقه مورد مطالعه به پنج منطقه محلی خیلی گرم، گرم، ملایم، خنک و سرد تقسیم شده است. علاوه بر این، پنج منطقه بارندگی یعنی خشک، نیمه‌خشک، نیمه‌مرطوب، مرطوب و مناطق مرتفع متمایز شده‌اند (خان<sup>۱</sup>، شی و یانگ<sup>۲</sup> (۲۰۲۰) طبقه‌بندی اقلیمی را با استفاده از نزدیک‌ترین همسایگی و رگرسیون فضایی برای ۶۶۱ ایستگاه هواشناسی چین انجام و آن را به چندین منطقه اقلیمی تقسیم کردند.

تحلیل خوشه‌ای و نیز تحلیل ممیزی از روش‌های چندمتغیره طبقه‌بندی هستند که پایه ریاضی دارند. این روش‌ها به‌ویژه تحلیل خوشه‌ای به‌صورت گسترده در طبقه‌بندی‌های اقلیمی به کار برده می‌شوند. رضاپور و بالدوک (۲۰۱۴) مخاطرات طوفان‌های ایالات متحده را طبقه‌بندی کردند. نتیجه پژوهش آن‌ها نشان داد طوفان‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۲ نمود بهتری از شدت وقایع داشته‌اند. المازروی<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۵)، ۱۲ الگوی چرخشی اتمسفری در ناحیه عربی تشخیص دادند. هوث<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۶) الگوهای گردشی اتمسفر اروپا را با بهره‌گیری از تحلیل خوشه‌ای طبقه‌بندی و ۱۲ قلمرو آب‌وهوایی را شناسایی کردند. کاتو<sup>۵</sup> (۲۰۱۶) چرخندهای برون حاره را دسته‌بندی نموده و نقش آن در مطالعات اقلیمی را مورد بررسی قرار داده است. بوروز<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۹) جت استریم‌های سطح پایین قاره آمریکای شمالی در قرن بیستم با استفاده از آستانه‌های متناسب برای دوره ۱۹۰۱ تا ۲۰۱۰ طبقه‌بندی کردند.

در ایران نیز مطالعات متعددی با استفاده از تکنیک تحلیل خوشه‌ای انجام شده است؛ مطالعات مسعودیان (۲۰۰۳) شناسایی ۱۵ ناحیه اقلیمی در کشور، محمدی و مسعودیان (۲۰۰۷) شناسایی تیپ‌های همدید هوای ایستگاه سنندج، سلیقه و همکاران (۲۰۰۸) پهنه‌بندی اقلیمی استان سیستان و بلوچستان، مسعودیان (۲۰۰۹) پهنه‌بندی بارش ایران اشاره کرد.



شکل (۱): موقعیت حوضه آبریز هامون هیرمند  
Figure (1): Location of Hamoon Helmand catchment

7. Daran

1. Khan
2. Shi and yang
3. Almazroui
4. Huth
5. Catto
6. Burrows

عرض شمالی و ۵۹ درجه ۳۳ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۵۰ دقیقه طول جغرافیایی واقع شده است. متوسط بارش سالانه این حوضه ۶۹/۳ میلی متر و متوسط دمای آن ۲۰/۰۴ درجه سانتی گراد است. به علت قرارگیری در معرض بادهای ۱۲۰ روزه سیستان و دوری از منابع رطوبت و سیستم‌های باران‌آور، از حوضه‌های آبریز بیابانی ایران محسوب می‌شود که دارای آب‌وهوای خشک تا نیمه خشک و بیابانی است.

### روش‌ها

در این تحقیق به علت تعداد کم و پراکندگی زیاد ایستگاه‌های سینوپتیک که دارای تمام پارامترهای اقلیمی مورد نظر این ناحیه بندی اقلیمی با طول دوره آماری مناسب باشند، از اطلاعات ایستگاه‌های سینوپتیک اطراف نیز کمک گرفته شده است. مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده در جدول (۱) به اختصار آمده است. به منظور ناحیه بندی اقلیمی حوضه آبریز هامون، از پارامترهای اقلیمی متوسط و حداکثر و حداقل دما، متوسط و حداقل و حداکثر رطوبت نسبی، بارش، میانگین سرعت باد و کل گردوغبار در دوره آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ استفاده شده است. به منظور ناحیه بندی اقلیمی حوضه آبریز هامون از روش‌های تحلیل خوشه‌ای و تحلیل ممیزی بهره گرفته شده است که در ادامه به اختصار معرفی می‌شوند.

حوضه آبریز هامون هیرمند در بین حوضه‌های آبریز کشور دارای ویژگی‌های اقلیمی منحصر به فردی از قبیل وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان و رخداد طوفان‌های گردوغباری شدید است. در قسمت‌های مختلف این حوضه پارامترهای مختلف اقلیمی شدت و ضعف‌های متفاوتی دارد و همین امر منجر به ایجاد نواحی مختلف اقلیمی در این حوضه آبریز شده است. از آنجاکه هر کدام از این نواحی اقلیمی دارای شرایط منحصر به فرد خود هستند، شناخت این نواحی و تغییرات مساحت هر ناحیه طی سه دهه و یک دوره کامل اقلیمی، برنامه ریزان و تصمیم گیرندگان را در مدیریت یکپارچه حوضه آبریز بیابانی هامون هیرمند یاری می‌کند.

### مواد و روش‌ها

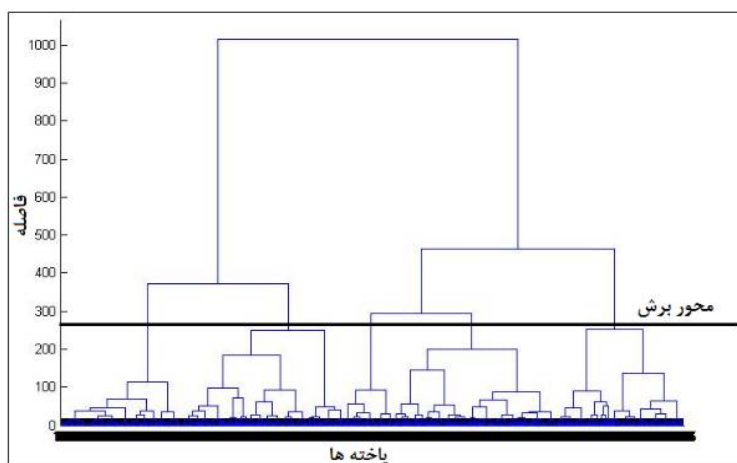
#### منطقه مورد مطالعه

حوضه هامون هیرمند یک حوضه بیابانی است که بر اساس تقسیمات هیدرولوژیکی جزء حوضه آبریز مرزی شرق محسوب می‌شود. این حوضه بخشی از حوضه آبریز هامون بزرگ، بین افغانستان و ایران مشترک است. بزرگ‌ترین بخش حوضه آبریز هیرمند در افغانستان واقع شده و بخش ایرانی این حوضه در تحقیق حاضر مورد نظر می‌باشد. مساحت این حوضه ۳۳۷۱۳ کیلومتر مربع از ۲۹ درجه ۸ دقیقه تا ۳۲ درجه ۵۱ دقیقه

جدول (۱): مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده

Table (1): Specifications of synoptic stations used

ارتفاع از سطح دریا	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	استان	نام ایستگاه
۱۴۹۱	۵۹/۳	۳۲/۹	خراسان	بیرجند
۱۱۸۸	۶۰	۳۱/۵	خراسان	نهبندان
۴۸۹/۲	۶۱/۵	۳۱/۱	سیستان	زابل
۱۳۷۰	۶۰/۹	۲۹/۵	سیستان	زاهدان
۱۸۴۶	۵۹/۸	۳۲/۶	خراسان	سربیشه
۸۱۵	۵۹/۳	۳۱/۲	خراسان	ده سلم
۱۱۲۷	۶۰	۲۹/۹	سیستان	نصرت‌آباد
۴۹۵	۶۱/۷	۳۰/۹	سیستان	زهک
۴۸۲/۵	۶۱/۵	۳۰/۹	سیستان	هامون
۱۵۵۳/۸	۶۰	۳۲/۹	خراسان	درمیان
۱۷۵۳/۴	۵۹/۸	۳۳/۴	خراسان	زهان



شکل (۲): نمودار درختی حاصل از تحلیل خوشه‌ای  
**Figure (2): Tree diagram from cluster analysis**

## تحلیل خوشه‌ای

از آنجاکه به‌کارگیری روش تحلیل ممیزی نیاز به شناخت و آگاهی قبلی از تعداد گروه‌ها دارد می‌توان از آن برای آزمون گروه‌بندی حاصل از تحلیل خوشه‌ای بهره گرفت. بدین لحاظ در این تحقیق به‌منظور ناحیه‌بندی اقلیمی از تحلیل خوشه‌ای بر روی داده‌ها برای ۳ دوره متوالی ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۹ (دوره اول)، ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ (دوره دوم)، ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ (دوره سوم) استفاده شد و از روش تحلیل ممیزی برای آزمون شایستگی تحلیل خوشه‌ای برای گروه‌بندی استفاده شده است. برای اجرای تحلیل خوشه‌ای و تحلیل ممیزی از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. در نهایت مساحت نواحی مختلف بر اساس هر دو روش محاسبه و تغییرات هر دوره نسبت به دوره‌های دیگر بررسی و تحلیل شد.

## بحث

در شکل (۲) نمودار درختی حاصل از تحلیل خوشه‌ای ۵ ناحیه اقلیمی برای حوضه آبریز هامون تشخیص داده شده است. محور برش بر روی این نمودار محل گروه‌های بهینه را نشان می‌دهد.

### ناحیه‌بندی اقلیمی حوضه هامون هیرمند، دوره اول

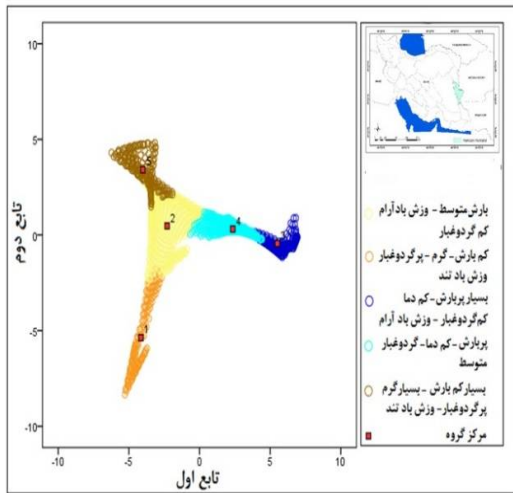
شکل (۳) پهنه‌بندی عناصر اقلیمی دوره اول را بر اساس روش تحلیل خوشه‌ای نشان می‌دهد. شمال و قسمتی از غرب حوضه پهنه بسیار پربارش در حوضه است. این قسمت از حوضه دمای کم دارد و ناحیه کم گردوغبار محسوب می‌شود. همچنین بخش مرتفع حوضه است. از این‌رو کم بودن دما در این قسمت را

یکی از روش‌های معتبر و پرکاربرد، روش فاصله اقلیدسی<sup>۱۲</sup> است. برای ادغام یاخته‌ها از روش خوشه‌ای وارد<sup>۱۳</sup> بهره گرفته شد. این روش از گروه روش‌های تجمعی است و در سال ۱۹۳۶ توسط وارد پیشنهاد شده است. در این روش طی هر مرحله از تجزیه، کمبود اطلاعاتی را که در اثر دسته‌بندی افراد در دسته‌ها به وجود می‌آید می‌توان توسط کل مجموع مربعات انحرافات هر نقطه از میانگین دسته‌ای که به آن تعلق دارد، به دست آورد. در هر مرحله دو دسته‌ای که ادغام آن‌ها سبب کمینه نمودن مجموع مربعات خطا<sup>۱۴</sup> (ESS) شود با هم ترکیب می‌شوند.

### تحلیل ممیزی (تابع تشخیص)<sup>۱۵</sup>

تحلیل ممیزی در سال ۱۹۳۶ توسط آر. ا. فیشر<sup>۱۶</sup> معرفی شد. این روش تکنیکی چندمتغیری است که با جدا کردن مجموعه‌های متمایز اشیا (یا مشاهدات) و با تخصیص دادن اشیا (یا مشاهدات) جدید به دسته‌های تعریف‌شده قبلی سروکار دارد. هدف کلی تحلیل ممیزی به وجود آوردن یک ترکیب خطی بین متغیرهاست که از آن برای گروه‌بندی افراد استفاده می‌شود. این ترکیب خطی سبب می‌شود که یک مسئله پیچیده چندمتغیره به یک مسئله آماری ساده یک‌متغیره تبدیل شود.

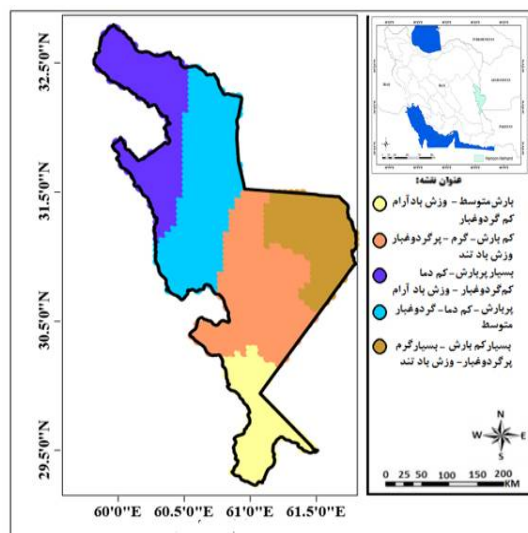
1. Euclidean distance
2. Ward
3. Error Sum of Squares
4. Discriminant Analysis
5. R. A. Fisher



شکل (۴): پهنه‌بندی عناصر اقلیمی دوره اول بر اساس روش تحلیل ممیزی  
 Figure (4): zoning of climatic elements of the first period based on audit analysis method

شکل (۴) پهنه‌بندی عناصر اقلیمی دوره اول را بر اساس روش تحلیل ممیزی نشان می‌دهد. محل قرارگیری پهنه‌ها در این روش نیز مانند نتیجه به‌دست‌آمده از روش تحلیل خوشه‌ای است. نتایج حاصل از روش تحلیل خوشه‌ای در ۹۰/۴٪ از یاخته‌های حوضه با نتایج حاصل از تحلیل ممیزی منطبق است. تفاوتی که نتایج حاصل از این دو روش دارد، تنها در مساحت پهنه‌هاست. بیشترین تفاوت مساحت در پهنه پر بارش دیده می‌شود. البته در قسمت‌های شرقی و جنوبی مرز پهنه تغییراتی نسبت به روش تحلیل خوشه‌ای دارد. شکل (۵) پراکنش یاخته‌های به‌دست‌آمده از تحلیل ممیزی و مراکز ثقل هر گروه را در دوره اول نشان داده شده است. محور افقی این نمودار تابع اول و محور عمودی نشانگر تابع دوم است. چهارچوب هر گروه بر روی نمودار، سهم یاخته‌های هر گروه را به‌وسیله توابع تعریف‌شده ارائه می‌کند. توابع اول و دوم برای مراکز ثقل هر یک از گروه‌ها با استفاده از میانگین گروه‌ها و توابع تشخیص داده‌شده محاسبه می‌شود. مرکز ثقل هر گروه در واقع مرکزی است که یاخته‌های هر یک از گروه‌ها حول آن پراکنده شده‌اند. برای مثال در دوره اول برای گروه بسیار پر بارش، در محور افقی و عمودی به ترتیب اگر نقطه ۵ و صفر را به محورهای روبه‌رو متصل سازیم، یک چهارچوب کوچک‌تر ایجاد می‌کند. این چهارچوب سهم یاخته‌های هر گروه بسیار پر بارش را به‌وسیله توابع تعریف‌شده ارائه می‌کند. یاخته‌هایی که تابع مورد نظر نتوانسته

می‌توان ناشی از تأثیر ارتفاع دانست. میانگین بارش این پهنه ۱۶۷ میلی‌متر است. منفی بودن ضریب چولگی بارش در این ناحیه اقلیمی نشان می‌دهد که داده‌ها چوله به چپ هستند، به این معنا که بخش وسیعی از حوضه بارش بیشتر از میانگین دارد. ضریب چولگی کوچک و مثبت گردوغبار سالانه نیز حاکی از کمتر بودن فراوانی داده‌های بزرگ‌تر از میانگین نسبت به داده‌های کوچک‌تر از میانگین است. در کنار این پهنه به سمت قسمت مرکزی حوضه، ناحیه پر بارش قرار دارد. این ناحیه از نظر دمایی نسبتاً کم‌دماست. همچنین این بخش (ناحیه پر بارش) گردوغبار متوسط دارد. جنوب حوضه ناحیه بارش متوسط محسوب می‌شود. این ناحیه نیز ناحیه کم گردوغبار است. قسمت شرقی حوضه، ناحیه بسیار کم بارش، بسیار گرم و پرگردوغبار است. این پهنه ۷۲/۲ روز گردوغباری سالانه دارد. سرعت باد در این ناحیه بیشینه است. ضریب چولگی منفی روزهای گردوغباری و نیز سرعت باد نشان‌دهنده برتری فراوانی روزهای گردوغباری بیشینه و سرعت باد بیشینه در این ناحیه است. میانگین مکانی مجموع بارش سالانه در این پهنه ۷۷/۸ میلی‌متر (کمتر از تمامی نواحی اقلیمی) است. بیشینه بودن واریانس بارش در این گروه نشان‌دهنده بی‌نظمی توزیع مکانی و زمانی بارش در این ناحیه است. در قسمت مرکزی حوضه نیز ناحیه کم بارش و پرگردوغبار قرار دارد. این قسمت از حوضه از نظر گردوغبار و نیز سرعت باد در رتبه دوم قرار گرفته است.

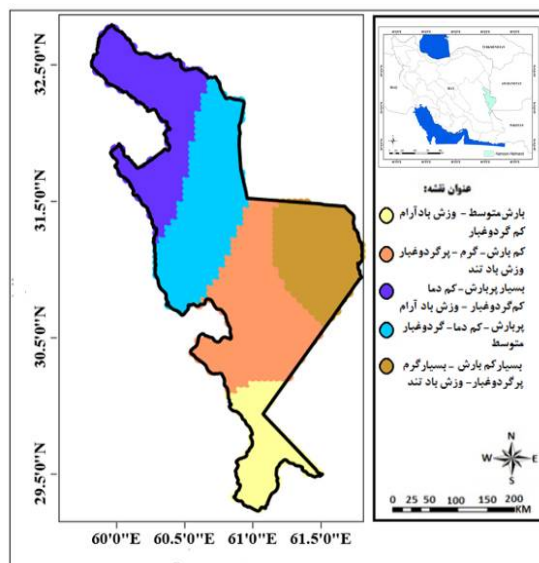


شکل (۳): پهنه‌بندی عناصر اقلیمی دوره اول بر اساس روش تحلیل خوشه‌ای  
 Figure (3): Zoning of climatic elements of the first period based on cluster analysis method

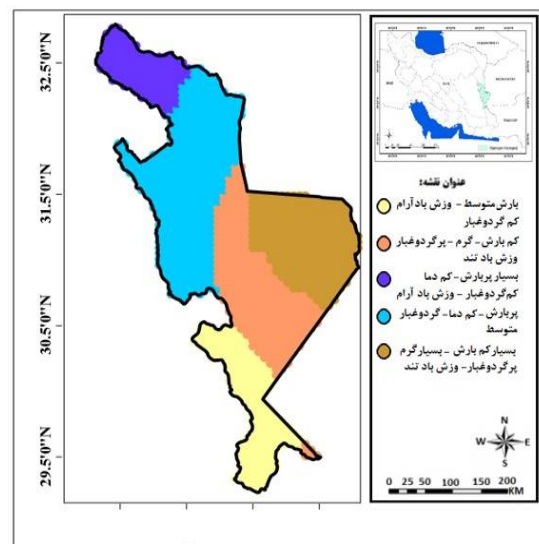
### ناحیه‌بندی اقلیمی حوضه هامون هیرمند، دوره دوم

شکل (۶) پهنه‌بندی عناصر اقلیمی دوره دوم را بر اساس روش تحلیل خوشه‌ای نشان می‌دهد. قسمت شمالی حوضه پهنه بسیار پربارش است. این قسمت از حوضه دمای کم دارد و ناحیه کم گردوغبار محسوب می‌شود. مساحت این پهنه (بسیار پربارش) نسبت به دوره اول کاهش قابل توجهی داشته است. میزان بارش این ناحیه در دوره دوم ۱۱۲/۴ میلی‌متر بوده و نسبت به دوره اول ۵۴ میلی‌متر کاهش یافته است. تعداد روزهای گردوغباری این پهنه نسبت به دوره اول قدری کاهش داشته است. سرعت باد نیز در این گروه کمتر از سایر گروه‌هاست. در کنار این پهنه به سمت قسمت مرکزی حوضه، ناحیه پربارش قرار دارد. این ناحیه از نظر دمایی نسبتاً کم‌دماست. همچنین این ناحیه (پربارش) گردوغبار متوسط دارد. سطح این پهنه نسبت به دوره اول ۶/۲٪ اضافه شده است. این افزایش مساحت به دلیل تبدیل بخش بزرگی از ناحیه بسیار پربارش به ناحیه پربارش است به طوری که بخشی از غرب حوضه در دوره اول منطقه بسیار پربارش بوده و در این دوره تبدیل به ناحیه پربارش شده است. جنوب حوضه ناحیه بارش متوسط محسوب می‌شود. این ناحیه نیز ناحیه کم گردوغبار است. این پهنه (بارش متوسط) نسبت به دوره اول ۲/۷٪ افزایش مساحت داشته است به این صورت که در قسمت شمالی به سمت مرکز حوضه پیشروی کرده است. قسمت بسیار کوچکی در جنوب شرق حوضه نیز به سطح این پهنه (بارش متوسط) افزوده شده است. در دوره دوم نیز قسمت شرقی حوضه، ناحیه بسیار کم‌بارش، بسیار گرم و پرگردوغبار است. بالاترین سرعت باد در این ناحیه دیده می‌شود. بر اساس جدول (۳) بارش در این ناحیه (بسیار کم‌بارش) ۴۷/۸ میلی‌متر است و ۳۰ میلی‌متر نسبت به دوره اول کاهش یافته است که نشان‌دهنده افزایش خشکی در این پهنه می‌باشد. تعداد روزهای گردوغباری ۷۲/۱ روز بوده که نسبت به دوره اول تغییری نداشته است. هرچند فراوانی این عنصر تغییری نداشته، بالا بودن ضریب تغییرات روزهای گردوغباری سالانه در این پهنه حاکی از بی‌نظمی در توزیع مکانی روزهای گردوغباری است (جدول ۳). ضریب تغییرات روزهای گردوغباری سالانه در این پهنه نسبت به دوره اول افزایش یافته که نشان‌دهنده حرکت آن

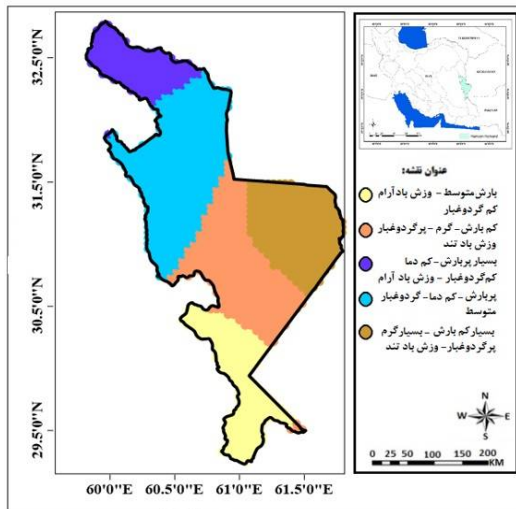
آن‌ها را در حول مرکز هر گروه قرار دهد، در خارج از محدوده قرار می‌گیرند. با توضیحات ذکرشده می‌توان از شکل (۵) این‌طور استنباط کرد که گروه بسیار پربارش، بالاترین همگونی درونی و گروه کم‌بارش، کمترین همگونی درونی را در این دوره داشته‌اند. همچنین قرار نگرفتن هیچ‌یک از مراکز ثقل در یک امتداد نشان از شایستگی توابع در افراز گروه‌هاست.



شکل (۵): پراکنش یاخته‌های به‌دست‌آمده از تحلیل ممیزی در دوره اول  
Figure 5: Distribution of cells obtained from audit analysis in the first period



شکل (۶): پهنه‌بندی عناصر اقلیمی دوره دوم بر اساس روش تحلیل خوشه‌ای  
Figure (6): Zoning of climatic elements of the second period based on cluster analysis method



شکل (۸): پراکنش باخته‌های به‌دست‌آمده از تحلیل ممیزی در دوره

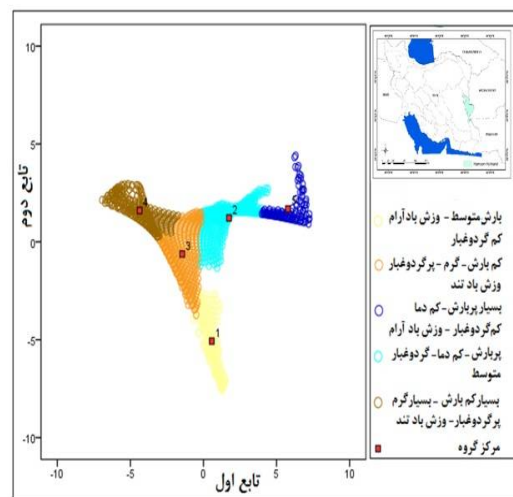
دوم

Figure (8): Distribution of cells obtained from audit analysis in the second period

### ناحیه‌بندی اقلیمی حوضه‌ی هامون هیرمند، دوره‌ی سوم

شکل (۹) پهنه‌بندی عناصر اقلیمی دوره‌ی سوم را بر اساس روش تحلیل خوشه‌ای نشان می‌دهد. قسمت شمالی حوضه پهنه بسیار پر بارش است. بارش این قسمت ۱۵۳/۲ میلی‌متر است که نسبت به دوره‌ی دوم ۴۱ میلی‌متر افزایش و نسبت به دوره‌ی اول ۱۴ میلی‌متر کاهش دارد. تعداد روزهای گردوغباری نسبت به دوره‌ی دوم تغییری نداشته است. سرعت باد نیز نسبت به دوره‌های پیشین قدری افزایش یافته است. مساحت این پهنه (بسیار پر بارش) نسبت به دوره‌ی اول و دوم کاهش داشته است. این مسئله می‌تواند حرکت حوضه به سمت خشکی را بیان کند. این ناحیه از نظر دمایی نسبتاً کم‌دماست. همچنین این بخش گردوغبار متوسط دارد. مساحت این ناحیه (پر بارش) کاهش قابل توجهی داشته است، به طوری که سطح آن بیش از ۴ برابر نسبت به دوره‌ی دوم کاهش یافته است. در قسمت جنوبی این پهنه به سمت مرکز حوضه ناحیه‌ی بارش متوسط دیده می‌شود. این ناحیه نیز ناحیه‌ی کم گردوغبار است. این ناحیه (بارش متوسط) در دوره‌ی دوم بخشی از پهنه پر بارش بوده است. شایان ذکر است که در دوره‌ی دوم ناحیه‌ی بارش متوسط در جنوب حوضه قرار داشته است. ناحیه‌ی بسیار کم بارش، بسیار گرم و پرگردوغبار بیشتر قسمت شرقی حوضه را شامل شود. سرعت باد در این ناحیه بیشینه است که نسبت به دوره‌های پیشین

به سمت بی‌نظمی است. این پهنه (بسیار کم بارش) نیز نسبت به دوره‌ی اول ۴/۹٪ افزایش مساحت دارد. این افزایش مساحت با پیش‌روی این ناحیه (بسیار کم بارش) به سمت مرکز حوضه انجام شده است. در قسمت مرکزی حوضه نیز ناحیه‌ی کم بارش و پرگردوغبار قرار دارد. این قسمت از حوضه از نظر گردوغبار و نیز سرعت باد در رتبه‌ی دوم قرار گرفته است. این ناحیه (کم بارش) نسبت به دوره‌ی اول ۳/۸٪ کاهش مساحت داشته است. این کاهش مساحت به این صورت است که بخشی از سطح این پهنه تبدیل به پهنه بسیار کم بارش و بخشی نیز تبدیل به ناحیه‌ی بارش متوسط شده است.



شکل (۷): پهنه‌بندی عناصر اقلیمی دوره‌ی دوم بر اساس روش تحلیل

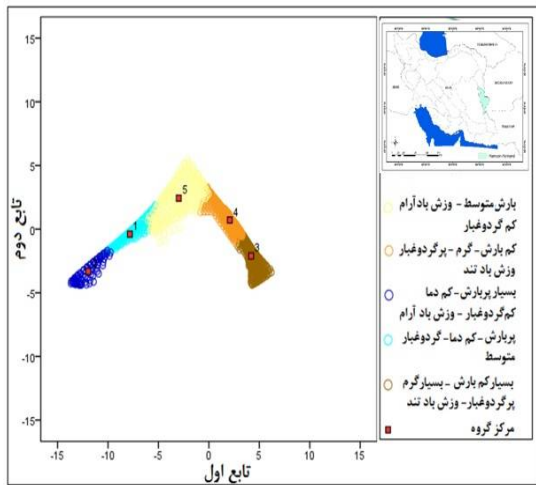
ممیزی

Figure (7): zoning of climatic elements of the second period based on audit analysis method

شکل (۷) پهنه‌بندی عناصر اقلیمی دوره‌ی دوم را بر اساس روش تحلیل ممیزی نشان می‌دهد. محل قرارگیری پهنه‌ها در این روش نیز مانند نتیجه به‌دست‌آمده از روش تحلیل خوشه‌ای است. نتایج حاصل از روش تحلیل خوشه‌ای در ۹۱/۸٪ از یاخته‌های حوضه با نتایج حاصل از تحلیل ممیزی منطبق است. تفاوتی که نتایج حاصل از این دو روش دارد، تنها در مساحت پهنه‌ها و در قسمت‌های مرزی پهنه‌ها می‌باشد. از شکل (۸) این‌طور استنباط کرد که گروه‌های بسیار کم بارش و کم بارش، بالاترین همگونی درونی و گروه بسیار پر بارش، کمترین همگونی درونی را در این دوره داشته‌اند.

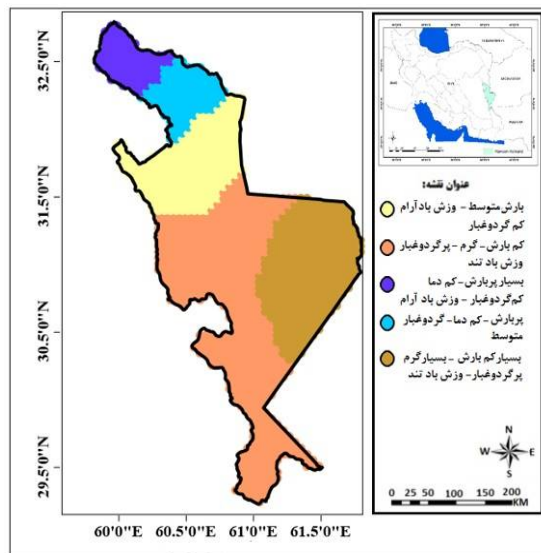


این روش نیز مانند نتیجه به دست آمده از روش تحلیل خوشه‌ای است. نتایج حاصل از روش تحلیل خوشه‌ای در ۹۴/۲٪ از یاخته‌های حوضه با نتایج حاصل از تحلیل ممیزی منطبق است. از شکل (۱۱) می‌توان این‌طور استنباط کرد که گروه بسیار کم‌بارش، بالاترین همگونی درونی و گروه کم‌بارش، کمترین همگونی درونی را در این دوره داشته‌اند.



شکل (۱۰): پهنه‌بندی عناصر اقلیمی دوره سوم بر اساس روش تحلیل ممیزی

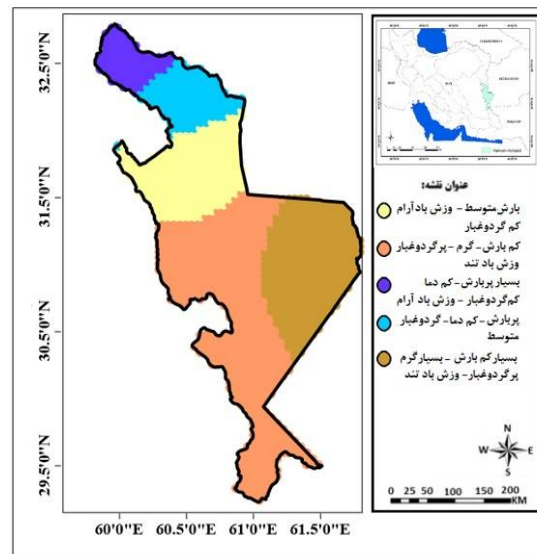
Figure (10): zoning of climatic elements of the Third period based on audit analysis method



شکل (۱۱): پراکنش یاخته‌های به دست آمده از تحلیل ممیزی در دوره سوم

Figure (11): Distribution of cells obtained from audit analysis in the Third period

کاهش یافته است. تعداد روزهای گردوغباری ۶۱ روز بوده که نسبت به دوره دوم بیش از ۱۱ روز کاهش پیدا کرده است. نکته قابل توجه افزایش ۶/۵ میلی‌متری بارش این پهنه (بسیار کم‌بارش) در این دوره نسبت به دوره قبل است که به‌نوعی می‌توان آن را با افزایش رطوبت توجیه کرد. این افزایش بارش نیز می‌تواند عاملی برای کاهش روزهای گردوغباری در این دوره باشد. سطح این پهنه (بسیار کم‌بارش) نسبت به دوره دوم افزایش ۳/۸ درصدی داشته است. این افزایش سطح در قسمت جنوبی این پهنه رخ داده است. از قسمت مرکزی تا جنوب حوضه نیز ناحیه کم‌بارش و پرگردوغبار قرار دارد. این قسمت از حوضه از نظر گردوغبار و نیز سرعت باد در رتبه دوم قرار گرفته است. سطح این پهنه (کم‌بارش) نسبت به دوره دوم تقریباً دو برابر شده و بالاترین سطح حوضه را دارد. جنوب حوضه در دوره دوم پهنه بارش متوسط بوده و در این دوره تبدیل به ناحیه کم‌بارش شده که حرکت حوضه به سمت خشکی را تأیید می‌کند. البته لازم به توضیح است که در این دوره، بارش و میانگین رطوبت تمامی گروه‌ها نسبت به دوره قبل افزایش داشته است.



شکل (۹): پهنه‌بندی عناصر اقلیمی دوره سوم بر اساس روش تحلیل خوشه‌ای

Figure (9): Zoning of climatic elements of the Third period based on cluster analysis method

شکل (۱۰) پهنه‌بندی عناصر اقلیمی دوره سوم را بر اساس روش تحلیل ممیزی نشان می‌دهد. محل قرارگیری پهنه‌ها در

جدول (۲): مساحت پهنه‌ها بر اساس روش‌های تحلیل خوشه‌ای و تحلیل ممیزی

Table (5): Area of zones based on cluster analysis and audit analysis methods

دوره سوم	دوره دوم	دوره اول	نواحی اقلیمی	روش ناحیه‌بندی
۱۷/۸	۱۴/۶	۱۱/۹	بارش متوسط، وزش باد آرام، کم گردوغبار	تحلیل خوشه‌ای
۴۴	۲۲/۷	۲۶/۵	کم‌بارش، گرم، پرگردوغبار، وزش باد تند	
۶/۳	۹/۵	۱۹/۵	بسیار پر بارش - کم دما - کم گردوغبار - وزش باد آرام	
۸	۳۳/۱	۲۶/۹	پر بارش، کم دما، گردوغبار متوسط	
۲۳/۹	۲۰/۱	۱۵/۲	بسیار کم‌بارش، بسیار گرم، پرگردوغبار، وزش باد تند	
۱۵/۲	۱۵/۲	۱۰/۷	بارش متوسط، وزش باد آرام، کم گردوغبار	تحلیل ممیزی
۲۴/۴	۲۴/۴	۲۶/۵	کم‌بارش، گرم، پرگردوغبار، وزش باد تند	
۱۰/۶	۱۰/۶	۲۱/۱	بسیار پر بارش، کم دما، کم گردوغبار، وزش باد آرام	
۳۱/۱	۳۱/۱	۲۵	پر بارش، کم دما، گردوغبار متوسط	
۱۸/۷	۱۸/۷	۱۶/۷	بسیار کم‌بارش، بسیار گرم، پرگردوغبار، وزش باد تند	

### نتیجه‌گیری

حوضه تا جنوب آن کشیده شده است. جنوب حوضه در دوره‌های اول و دوم ویژگی‌های ناحیه بارش متوسط را داشته است. ولی در دوره سوم سطح آن به ناحیه کم‌بارش افزوده شده است. این مسئله نشان‌دهنده خشک‌تر شدن اقلیم منطقه در دوره سوم می‌باشد.

#### ۳. ناحیه بسیار پر بارش، با دمای کم، کم گردوغبار و

##### وزش باد آرام

این منطقه در قسمت شمالی حوضه واقع شده است. این بخش از حوضه، منطقه‌ای کوهستانی است و مرتفع بودن آن در شکل‌گیری اقلیم آن تأثیر بسیار داشته است، به طوری که این قسمت کمترین دماهای حوضه را داشته و بارش‌های بیشینه را نیز دریافت کرده است. سطح این ناحیه در دوره دوم نسبت به دوره اول و در دوره دوم نسبت به دوره‌های پیشین کاهش بسیاری داشته است. این کاهش سطح نشان از پیشروی خشکی در محیط می‌باشد.

#### ۴. ناحیه پر بارش، با دمای کم و گردوغبار متوسط

این منطقه در بخشی از قسمت شمال غربی حوضه قرار گرفته است. این منطقه ناحیه‌ای نسبتاً پر بارش بوده و می‌توان آن را ناحیه گذار میان بخش بسیار پر بارش و قسمت کم‌بارش دانست. سطح این ناحیه در دوره دوم نسبت به دوره اول، افزایش و در دوره سوم نسبت به دوره‌های پیشین کاهش قابل ملاحظه‌ای داشته است. افزایش سطح این ناحیه در دوره دوم به

در پژوهش حاضر با به کارگیری ۹ پارامتر اقلیمی در طول دوره آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ در حوضه آبریز هامون و اعمال روش‌های تحلیل خوشه‌ای و تحلیل ممیزی ۵ ناحیه اقلیمی برای این حوضه شناسایی شد. مقایسه ویژگی‌های نواحی اقلیمی در حوضه آبریز هامون به روش خوشه‌ای و مقایسه آن به روش تحلیل ممیزی حاکی از بهینه بودن طبقه‌بندی در این حوضه است. طبقه‌بندی در ۳ دوره ۱۰ ساله انجام شد و تغییرات هر دوره نسبت به دوره قبل بررسی و تجزیه و تحلیل شد. نواحی به دست آمده عبارت‌اند از:

#### ۱. ناحیه بارش متوسط، وزش باد آرام و کم گردوغبار

این منطقه در دوره‌های اول و دوم در قسمت جنوبی حوضه قرار گرفته است. در دوره سوم این ناحیه در نیمه شمالی منطقه دیده می‌شود زیرا قسمت جنوبی حوضه در دوره سوم به ناحیه کم‌بارش تبدیل شده و بخش پر بارش در نیمه شمالی تبدیل به ناحیه بارش متوسط شده است. دلیل این امر، افزایش خشکی حوضه در دوره سوم نسبت به دوره‌های اول و دوم است.

#### ۲. ناحیه کم‌بارش، گرم، پرگردوغبار و وزش باد تند

این منطقه در دوره‌های اول و دوم در قسمت مرکزی حوضه قرار گرفته است. این ناحیه به لحاظ مکانی در همسایگی غربی ناحیه بسیار کم‌بارش واقع است. در دوره سوم وسعت این ناحیه افزایش بسیاری یافته است به طوری که از قسمت مرکزی

دلیل کاهش سطح ناحیه بسیار پربارش و تبدیل آن به ناحیه پربارش بوده که نشان‌دهنده خشک‌تر شدن محیط است.

#### ۵. ناحیه بسیار کم بارش، بسیار گرم، پروگردغبار و وزش

##### باد تند

این منطقه در شرق حوضه واقع شده و کمترین میزان بارش حوضه را داشته است؛ همچنین از نظر ژئومورفولوژیکی، منطقه‌ای مستعد برای وزش طوفان‌های گردوغباری است. سطح این ناحیه در دوره دوم نسبت به دوره اول و در دوره سوم نسبت به دوره‌های پیشین افزایش داشته که نشان‌دهنده پیشروی مناطق گردوغبارخیز در حوضه است.

با اندکی تأمل در نتایج ناحیه‌بندی برای دوره‌های اول تا سوم می‌توان این طور استنباط کرد که از سطح نواحی پربارش کاسته شده و به سطح نواحی کم‌بارش اضافه شده است که حاکی از غلبه شرایط خشکی به سمت دوره‌های اخیر در حوضه

#### منابع

1. Almazroui, M., Dambul, R., Nazrul Islam, Md., Jones, P.D., 2015. Atmospheric circulation patterns in the Arab region and its relationships with Saudi Arabian surface climate: A preliminary assessment, *Atmospheric Research*, 161: P 36–51.
2. Ashrafi, S., 2010. Zoning of rainfall in northwestern Iran using cluster analysis and audit analysis methods, *Journal of Climatological Research*, 1 (3): 27-44. Ashrafi, S., 2013. Zoning of Significant Cycles of Super Heavy Rainfall in Sistan and Baluchestan, *Journal of Geographical Thought*, 7 (13): 118-136.
3. Asakereh, H., Torkarani, F., Ashrafi, S., 2014. The Zoning of Conditional Probability of Precipitation Conditions to Temperature Conditions in Iran, *Geographical Research Quarterly*, 36(136), 73-86.
4. Burrows, D. A., Ferguson, C. R., Campbell, M. A., Xia, G., & Bosart, L. F., 2019. An objective classification and analysis of upper-level coupling to the Great Plains low-level jet over the twentieth century. *Journal of Climate*, 32(21), 7127-7152.
5. Catto, J. L., 2016. Extratropical cyclone classification and its use in climate studies. *Research of Geophysics*, 54(2), 486-520.
6. Daran, M., Amanollahi, J., Karimi, S., 2017. Classification of air masses of Urmia synoptic station using cluster analysis and intragroup diffraction quality control indices. *Irrigation Science and Engineering*, 40(2), 183-198.
7. Dargahian, F., Lotfi Nasab Asl, S., 2020. Identifying the trend of climate change in watersheds leading to dust centers in Khuzestan province (Karun, Karkheh and Zohreh-Jarahi). *Journal of Rangeland and Desert Research*, 27 (2), 300-320.
8. Entezari, A., Dadashi Roodbari, A.A. 2014. Central Iran Climate Zoning by Multivariate Statistical Methods, First National Conference on Geography, Tourism, Natural Resources and Sustainable Development, Tehran, Iran.
9. Fallah, Gh., Asadi, M., Entezari, A. 2015. Multilevel Climate Climatology of Guilan Province, *Journal of Geography and Planning*, 19(54): 235-251.
10. Heydari, H., Alijani, B., 2008. Climatic Classification of Iran Using Multivariate Statistical Techniques in Geographical Research Bulletin, 37 pp.74-57.
11. Huth, R., Beck, C., & Kučerová, M. 2016. Synoptic-climatological evaluation of the classifications of atmospheric circulation patterns over Europe. *International Journal of Climatology*, 36(7), 2710-2726.
12. Khan, S., 2019. Climate classification of Pakistan. *International Journal of Economic and Environmental Geology*, 10(2), 60-71.
13. Khosravi, M., Aramash, M., 2012. Climatic Zoning of Markazi Province Using Factor-Cluster Analysis, *Geography and Environmental Planning*, 23(2), 87-100.
14. Khosravi, M., Dostkamian, M., Mirmousavi, S.H., Bayat, A, Beyg Rezaei, E., 2014. Temperature and precipitation classification in Iran-land using

می‌باشد.

نتایج حاصل از اعمال تحلیل ممیزی صحت نتایج حاصل از تحلیل خوشه‌ای را مورد تأیید قرار می‌دهد، به طوری که نتایج به دست آمده از تحلیل ممیزی در کل دوره ۹۳/۸، در دوره اول ۹۰/۴، در دوره دوم ۹۱/۸ و در دوره سوم ۹۴/۲ با نتایج حاصل از تحلیل خوشه‌ای مطابقت دارد.

#### سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح جامع کنترل گردوغبار دشت سیستان پروژه ویژگی‌های اقلیمی مرتبط با پدیده گردوغبار در دشت سیستان در مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور است که بدین وسیله از معاونت پژوهشی مؤسسه تشکر و قدردانی می‌شود.

- geostatistical methods and cluster analysis. *Journal of Regional Planning*, 4 (13), 121-132.
15. Kozjek, K., Dolinar, M., & Skok, G. 2017. Objective climate classification of Slovenia. *International Journal of Climatology*, 37, 848-860.
  16. Masoudian, S. A. 2003. Climatic Areas of Iran, *Journal of Geography and Development*, 1(2): 171-184.
  17. Masoudian, S. A., 2009. Rainy Areas of Iran. *Geography and Development*, 13 (7), 91-79.
  18. Mohammadi, B., Masoudian, S.A., 2007. Relationship between synoptic types of air in Sanandaj station with circulating patterns at the level of 500 hPa. *Geography and Regional Development*, 5 (9), 39-56
  19. Montazeri, M., Bay, N., 2012. Caspian Zone Clustering Using Multivariate Statistical Methods in *Geographical Research*, 27(2), 77-90.
  20. Movahedi, S., Heidari, B., Hashemi, S.K., Ranjbar, F. 2011. Khuzestan Province Climatic Zone, *Ahar Geography Journal*, 12(40): 64-73.
  21. Montazeri, M., Fanei, R. 2018. Identification of Snowfall Areas in Iran using Cluster Analysis. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 7(16), 241-258.
  22. Nadi, M., Khalili, A., 2013. Classification of precipitation climate in Iran by factor-cluster analysis, *Iranian Soil and Water Research*, Volume 44, Number 3, pp. 244-237.
  23. Rezapour, M., Baldock, T., 2014. Classification of Hurricane Hazards: The Importance of Rainfall, *Weather and Forecasting*, 29, 1319-1331.
  24. Salikheh, M., Narimani, F., Esmail Nejad, M. 2008. Climatic Zoning of Sistan and Baluchestan Province *Journal of Geography and Development*, 6(12): 101-116
  25. Shi, J., Yang, L. 2020. A Climate Classification of China through k-Nearest-Neighbor and Sparse Subspace Representation. *Journal of Climate*, 33(1), 243-262.
  26. Tavousi T., Shojaei, F., Asgari. E. 2019. Revision of North East Iranian Climatic Zones Based on Integrated Use of Drought Index Change, *Journal of Desert Management*, 7 (13), 117-134.

## Investigating Climatic Zoning of Hamoon Helmand Desert Catchment Using Cluster Analysis and Auditing

Fatemeh Dargahian<sup>1\*</sup>, Mehdi Doustkamian<sup>2</sup>, Saeedeh Ashrafi<sup>3</sup>

Received: 07/01/2021

Accepted: 02/10/2022

### Extended Abstract

**Introduction:** The diversity of climatic elements and their Spatio-temporal behavior make the mixed study of climatic elements a difficult, complex, and time-consuming task. On the other hand, in studies conducted on space in more stations or cells, the complexity and difficulty of the study increases. In such cases, data classification can be helpful. The application of classification methods in climatology has begun since the early twentieth century. The weakness of traditional methods of climatic classification in the presentation of climatic facts led researchers to use multivariate statistical techniques for climatic classification which uses a variety of variables to classify climates. However, computational tools minimize the probability of error in the voluminous, complex, and time-consuming calculations involved in multivariate classification methods.

Hamoon Helmand catchment has unique climatic features such as Sistan's 120-day winds and severe dust storms. In different parts of this basin, different climatic parameters have different intensities and weaknesses, leading to the creation of different climatic zones in this catchment area with their own unique conditions. Recognition of these zones and the changes in their area over the last three decades could help planners and decision-makers in the integrated management of the Hamoon Helmand desert watershed.

**Materials and methods:** Considering the small number and high dispersion of synoptic stations that have all the desired climatic parameters of the intended climatic zoning with a suitable statistical period, this study used the relevant data collected by nearby synoptic stations. To conduct climatic zoning of Hamoon catchment, the data concerning the average, minimum, and maximum temperature parameters, average, minimum, and maximum humidity, precipitation, wind, and dust was used for the statistical period 1989 to 2018. Climate analysis and audit analysis methods were also used for climatic zoning of the Hamoon catchment area.

Cluster analysis is a widely used method for multivariate data analysis. It is primarily used in situations where the target, i.e., the class classification, is an example of n person (item) with p attribute. In this process, similar people are placed in the same group. In this method which helps identify real groups and reduces the volume of data, classification is done based on similarities or distances.

As a multivariate technical analysis, that deals with separating distinct sets of objects (or observations) and assigning new objects (or observations) to previously defined categories, audit analysis ultimately seeks to create a linear combination between variables used for group individuals, turning a complex multivariate problem into a simple mono-variable statistical problem. Since the application of the audit analysis method requires prior knowledge of the number of groups, it can be used to test the clusters obtained from cluster analysis. Therefore, this study used the audit analysis method to test the competence of cluster analysis for grouping.

**Results:** According to the results of climatic analysis on five climatic zones, dendrograms were identified for the Hamoon catchment. To investigate the changes in these areas during three 10-year climate periods, the area of each zone was studied and analyzed based on cluster and audit analyses.

1. Assistant Professor of Desert Research, Research institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran; dargahian@rifr-ac.ir

2. PhD in Climatology, University of Zanjan

3. PhD in Climatology, University of Tabriz

DOI: 10.22052/deej.2021.11.34.21

The zoning of climatic elements of the first period which was conducted based on cluster analysis indicated that the northern and western parts of the basin were heavily rainy, both of which are low dust areas with a low temperature. Next to this zone, towards the central part of the basin, there was a rainy area with a relatively low temperature and moderate dust. The south of the basin was a low dust area with a moderate rainfall rate. The eastern part of the basin was a very hot and dusty area with a very low rainfall rate, 72.22 days of annual dust, and extreme wind speed. Moreover, the investigation of climatic zoning in the second period showed that the northern part of the basin is a very rainy zone with a significantly lower area than that of the first period. In addition, the precipitation rate was 112.4 mm in this area during the second period which was 54 mm lower than that of the first period.

The central part of the basin was located in a dusty area with a low rainfall rate, ranking second in terms of dust and wind speed. The area of this zone (low rainfall) has decreased by 3.8% compared to its area in the first period, with part of it turning into a very low-rainfall area and another part into an area with moderate rainfall. The northern part of the basin is located at a high rainfall area with 153.2 mm annual precipitation, showing a 41 mm increase compared with the second period and a 14 mm reduction compared to the first period. Moreover, the area of this zone has decreased compared to the first and second periods, indicating the movement of the basin towards the mainland.

**Conclusion:** The results obtained from the climatic zoning of the Hamoon catchment area indicated the existence of five climatic zones in the study area: 1. Moderate rainfall area with gentle wind and low dust; 2. A hot, highly dusty, and low rainfall area with strong wind speed; 3- A highly dusty, low-rainfall area with low temperature - and moderate wind speed; 4- A high-rainfall, moderately dusty area with low temperature; and 5- A very dusty, very hot, and very low-rainfall area with strong wind speed. The analysis of changes in the area of designated zones during three decades (the study period) in a complete climatic period showed a reduction in the number of rainfall areas and an increase in the number of low rainfall areas, indicating the prevalence of drought conditions in the basin within the recent periods. Therefore, it could be concluded that awareness of the prevailing climatic characteristics of each part of the basin helps regional planners and decision-makers prioritize executive operations and adapt themselves to the climatic conditions of different parts of this desert basin.

**Keywords:** Climatic Zone, Cluster Analysis, Audit Analysis, Hamoun Watershed.