

## مطالعه‌ی هم‌دید تپ‌های هوای غالب منطقه‌ی سیستان (ایستگاه زابل)

محمود خسروی\* - دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشکده‌ی جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان  
حمید نظری‌پور - استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان

پذیرش مقاله: ۱۳۸۹/۱۲/۲۵      تأیید نهایی: ۱۳۹۰/۰۹/۰۲

### چکیده

برای شناخت تپ‌های هم‌دید آب‌وهوایی در سیستان، از داده‌های روزانه‌ی ۱۴ متغیر اقلیمی ایستگاه زابل در بازه‌ی زمانی ۱۳۵۴/۰۱/۰۱ تا ۱۳۸۳/۱۲/۳۰ شمسی، در آرایه‌ای با آرایش  $P_{m \times n}$  (متغیرهای جوی روی ستون‌ها و روزها روی سطرها) استفاده شده است. نخست، برای شناخت و کشف منابع اصلی پراش در اقلیم سیستان، تحلیلی از مؤلفه‌ی اصلی روی نمره‌های استاندارد آرایه‌ی داده‌های اولیه با آرایش  $14 \times 10825$  انجام گرفت. نتایج این تحلیل نشان داد که سه مؤلفه‌ی اصلی دمایی - رطوبتی، بادی و بارشی، قادر به تبیین ۸۷ درصد از پراش داده‌ها بوده و به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی تأثیرگذار انتخاب شدند. در گام بعدی، از آرایه‌ی مقادیر مؤلفه‌های اصلی، به‌عنوان ورودی برای تحلیل خوشه‌ای و شناخت تپ‌های هم‌دید استفاده شده است. اجرای تحلیل خوشه‌ای پایگانی (فاصله‌ای) با روش ترکیب تریبی روی نمره‌های مؤلفه‌ها، شش تپ هوای متفاوت سیستان را نشان داد. این تپ‌های هوا عبارتند از: تپ هوای گرم، بدون بارش و نسبتاً آرام؛ تپ هوای گرم و خشک، بدون بارش و بادی؛ تپ هوای سرد، کم‌بارش و بادی؛ تپ هوای پربارش (بارش‌مند)، معتدل و نسبتاً بادی؛ تپ هوای بسیار گرم و خشک، بدون بارش و پرباد و تپ هوای خیلی سرد، آرام و کم‌بارش. بررسی ویژگی‌های تپ‌های هوا و مقایسه‌ی آنها با یکدیگر نشان داد که بارش و سرما در اقلیم منطقه، به‌شدت متمرکز بوده و دوره‌ی فعالیت آنها بسیار محدود است. از سوی دیگر، تپ‌های هوای گرم و خشک، بخش بزرگی از سال را در کنترل خود دارند. چهار الگوی اصلی، فشار تراز دریا، رفتار و وضعیت تپ‌های هوای منطقه را تبیین و توجیه می‌کنند.

کلیدواژه‌ها: تپ هوا، تحلیل مؤلفه‌ی اصلی، تحلیل خوشه‌ای، سیستان، فشار تراز دریا.

## مقدمه

تیپ هوا، حجم بزرگ و یکپارچه‌ای از هواست که به اندازه‌ی کافی روی سطحی معین استقرار داشته و خصوصیت‌های سطح زیر خود را کسب کرده است (استول<sup>۱</sup>، ۲۰۰۰: ۲۵۲). تیپ‌های هوا خصوصیت‌های اصلی خود را از سطحی کسب می‌کنند که روی آن تشکیل می‌شوند (جعفرپور، ۱۳۷۹: ۱۲۱). برای اینکه تیپ‌های هوا شکل بگیرند، لازم است هوا به مدت طولانی در یک منطقه ثابت باقی بماند. درنهایت، گردش‌های عمومی هوا موجب به حرکت در آمدن آنها می‌شود. یکی از اهداف اقلیم‌شناسی سینوپتیک، طبقه‌بندی سینوپتیک یا تعیین تیپ‌های هوای غالب (اقلیم) یک مکان در طول سال است (کریستنسن<sup>۲</sup>، ۱۹۶۶: ۶۹۸). طبقه‌بندی هسته‌ی اصلی اقلیم‌شناسی همدید است. تیپ‌بندی هوا، عبارت است از شناسایی هواهایی که از نظر ویژگی‌های متغیرهای اقلیمی (دما، بارش، نم نسبی) همانند یکدیگر باشند (مسعودیان، ۱۳۸۴: ۱۲). پدیدار شدن یک تیپ همدید در یک محل معین، از یک سو به تیپ هوایی بستگی دارد که به محل وارد شده و از سوی دیگر، بازتاب شرایط جغرافیایی (ناهمواری، همسایگی با تیپ‌های آب و...) آن محل است. تفاوت تیپ‌های همدیدی که در یک محل یکی پس از دیگری می‌آیند و می‌روند، تابع تیپ‌های هوایی است که به محل وارد می‌شوند (کالکستاین و همکاران<sup>۳</sup>، ۱۹۹۶: ۹۸۳). هر تیپ همدید هوا با رویدادهای سطحی همراه است (محمدی، ۱۳۸۶: ۴۱). بنابراین حل بسیاری از مسائل محیطی، مانند آلودگی هوا، طغیان رودخانه‌ها، هجوم آفات، در گرو این است که از پیش، تیپ‌های همدید محل شناسایی شده باشند، تا بتوان رابطه‌ی این تیپ‌های همدید با رویدادهای محیطی را ارزیابی کرد (نظری پور و خوشحال<sup>۴</sup>، ۱۳۸۶: ۲۸). به‌عنوان مثال، بین تیپ‌های هوای زمستانه‌ی فلورانس ایتالیا با بروز حمله‌ی قلبی، رابطه‌ی آماری وجود داشته (مورابیتو<sup>۵</sup>، ۲۰۰۶: ۵۶) و همچنین بین فراوانی روزهای توفندی و تیپ‌های هوا در آلمان، رابطه‌ی معناداری وجود دارد (بی سولی<sup>۶</sup>، ۲۰۰۷: ۱۲۴). از سوی دیگر، کیفیت هوا (آلودگی هوا) در شهر تورنتوی کانادا، تابعی از تیپ‌های همدید است (رینهام<sup>۶</sup>، ۲۰۰۵: ۳۵۸).

منطقه‌ی سیستان در شرق ایران و در نواحی شمال استان سیستان و بلوچستان، دارای اقلیم ویژه‌ای است که وزش بادهای شدید و شرایط گردوغبار، از دسته ویژگی‌های آن بوده و آن را از قسمت‌های دیگر ایران متمایز می‌کند. بنابراین برای برنامه‌ریزی و بهره‌برداری بهتر از منابع موجود در این منطقه، شناسایی تیپ‌های همدید هوا در این منطقه از اهمیت خاصی برخوردار خواهد بود. بارش‌های جوی کم و تغییرپذیری بالای آن از سویی و درجه حرارت بالا و تبخیر و تعرق شدید و در نتیجه نیاز آبی بالا، سبب‌شده منطقه چهره‌ای بیابانی داشته باشد. تغییرپذیری شدید آورد سالانه‌ی رودخانه‌ی هیرمند به دشت سیستان و بروز خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیک، موجب آسیب‌های جبران‌ناپذیری به چهره‌ی این دشت شده است (خسروی، ۱۳۸۷: ۲۰). با تحلیل تأثیرات آن رویدادهای سطحی (مانند گردوغبار)، برنامه‌ریزان محیطی قادر خواهند بود، راه‌های بهتری برای کاهش معضلات محیطی پیدا کنند. در این میان از روش‌های تحلیل

1. Stull, R
2. Christensen, W.L.
3. Kalkstein, L.S. et all
4. Morabito, M.
5. Bissolli, P
6. Rainham, D. G.

مؤلفه‌های اصلی، تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای، به‌عنوان ابزارهای سودمندی برای طبقه‌بندی و یافتن تیپ‌های هوا یاد می‌شود و اقلیم‌شناسان از آنها در مقیاس‌های مکانی مختلف، فراوان استفاده کرده‌اند (مسعودیان، ۱۳۸۴: ۴۸).

## مواد و روش‌ها

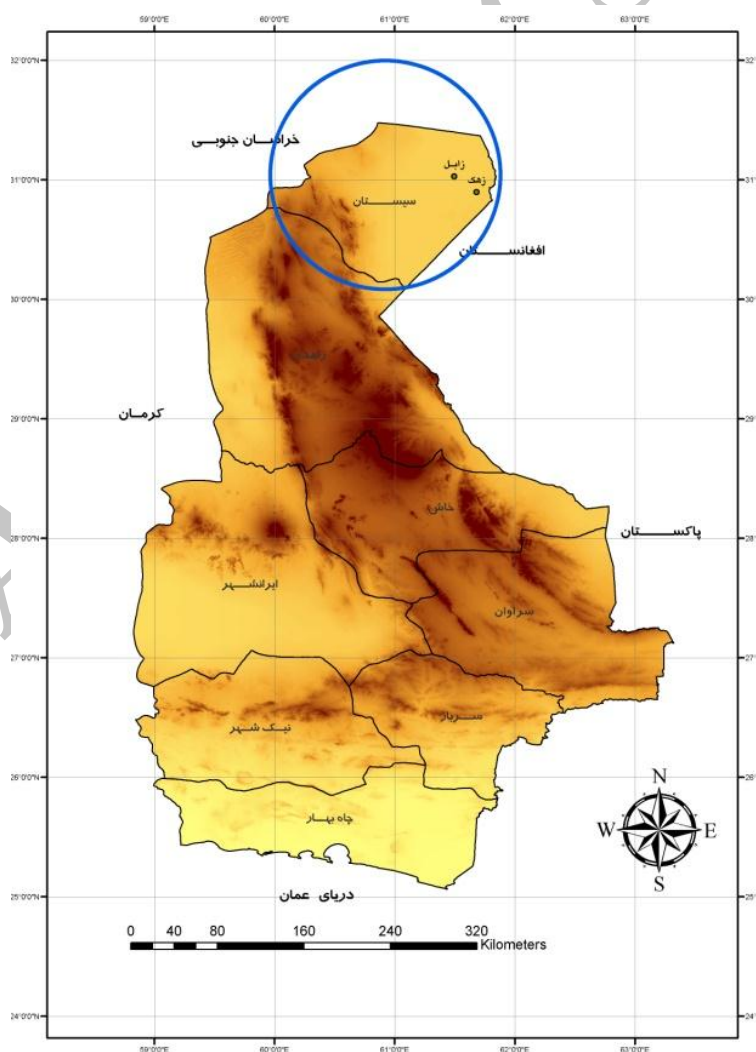
برای شناسایی تیپ‌های هم‌دید هوای سیستان، از داده‌های ایستگاه سینوپتیک زابل استفاده شده است. داده‌های ۱۴ متغیر اقلیمی (جدول شماره‌ی ۱) به‌صورت روزانه، در بازه‌ی زمانی ۱۳۵۴/۰۱/۰۱ تا ۱۳۸۳/۱۲/۳۰ شمسی، پایگاه داده را تشکیل می‌دهند (جدول شماره‌ی ۲) که برای شناسایی تیپ‌های هوا به‌کار گرفته شده‌اند. هرچند اقلیم‌شناسی هم‌دید، عبارت از مطالعه‌ی هم‌زمان همه‌ی عناصر هوای یک مکان و کشف رابطه‌ی آنها با الگوهای پراکندگی فشار یا گردش هوا است (علیجانی، ۱۳۸۱: ۲۷)، اما دسترسی به داده‌های سالم از عناصر هوای مکان‌ها، مهم‌ترین نقش را در برتری یک پژوهش ایفا کرده و بر غنای برآوردهای آن می‌افزاید. برهان انتخاب ۱۴ متغیر اقلیمی از بین ۵۶ متغیر اقلیمی نیز این است که تعداد بی‌شماری از متغیرهای اقلیمی ایستگاه سینوپتیک زابل، در دهه‌ی اخیر اندازه‌گیری شده‌اند و فاقد آمار پیشین هستند. از سوی دیگر، حجم داده‌ها (تعداد روزها) نیز متناسب با قدرت پردازش رایانه‌های در دسترس انتخاب شده است.

داده‌های اقلیم‌شناسی از سه کمیّت ویژگی (عنصر اقلیمی)، مکان و زمان ترکیب شده‌اند (علیجانی، ۱۳۸۱: ۱۸۱). در هر مطالعه‌ی اقلیمی، باید از حالت مناسب ترکیب داده‌ها استفاده کرد، برای شناسایی تیپ‌های هوا باید از بین حالت‌های مختلف، حالت چند عنصر، در چند زمان، در یک مکان را انتخاب کرد و پس از آن، پایگاه داده را تشکیل داد. برای شناسایی تیپ‌های هم‌دید، باید آن دسته از متغیرهای جوّی را به‌کار گرفت که دست‌کم، نماینده‌ی شرایط دمایی و رطوبتی جو باشند (مسعودیان، ۱۳۸۴: ۴۹). بنابراین از اطلاعات ۱۴ متغیر اقلیمی در بازه‌ی زمانی ۱۳۵۴/۰۱/۰۱ تا ۱۳۸۳/۱۲/۳۰ شمسی، در آرایه‌ای با آرایش  $P_{m \times n}$  (متغیرهای جوّی روی ستون‌ها و روزها روی سطرها) فراهم شده است. متداول‌ترین حالت آرایش پایگاه داده‌ها در مطالعات اقلیم‌شناسی هم‌دید، حالت‌های  $P$  و  $S$  هستند. اگر هدف پژوهشگر، طبقه‌بندی هواهای یک مکان برای شناسایی تیپ‌های اقلیمی باشد، حالت مناسب برای پایگاه داده،  $P$  است (علیجانی، ۱۳۸۱: ۱۸۳). بنابراین آرایه‌ی داده‌ها به ابعاد  $۱۰۸۲۵ \times ۲۰$  تهیه شده است. پیشتر، برای اجتناب از بازسازی و دستکاری داده‌ها، تمام روزهایی را که حتی یک متغیر فاقد ارزش ثبت شده بودند، از آرایه‌ی داده‌ها کنار گذاشته شده‌اند. سپس صحت پایگاه داده با بررسی سری زمانی هریک از متغیرها به‌طور جداگانه، مورد ارزیابی قرار گرفته است.

در تیپ‌بندی اقلیمی مجبور به استفاده از حالت ترکیب داده به شکل  $n$  متغیر، در  $n$  زمان، در یک مکان هستیم. ایستگاه سینوپتیک زابل واقع در دشت سیستان با ارتفاع  $۴۸۹/۲$  متر، در عرض  $۳۱$  درجه و  $۲$  دقیقه‌ی شمالی و  $۶۱$  درجه و  $۲۹$  دقیقه‌ی شرقی قرار دارد (شکل شماره‌ی ۱).

جدول ۱. فهرست داده‌های پایه برای شناسایی تیپ‌های همدید هوای سیستان

ردیف	شرح	یکا	ردیف	شرح	یکا
۱	سرعت باد متوسط	متر بر ثانیه	۸	میانگین دمای شبانه‌روز	درجه‌ی سلسیوس
۲	جهت تندترین باد	درجه	۹	میانگین دمای نقطه‌ی شبنم	درجه‌ی سلسیوس
۳	سرعت تندترین باد	متر بر ثانیه	۱۰	میانگین روزانه‌ی درصد نم نسبی	درصد
۴	میانگین روزانه‌ی دمای خشک	درجه‌ی سلسیوس	۱۱	ارتفاع بارش	میلی‌متر
۵	میانگین روزانه‌ی دمای تر	درجه‌ی سلسیوس	۱۲	میانگین فشار ایستگاه	هکتوپاسکال
۶	کمینه‌ی دمای روزانه (دمای شب‌هنگام)	درجه‌ی سلسیوس	۱۳	میانگین فشار تراز دریا	هکتوپاسکال
۷	بیشینه دمای روزانه (دمای روز‌هنگام)	درجه‌ی سلسیوس	۱۴	میانگین فشار بخار	میلی‌بار



شکل ۱. موقعیت محدوده‌ی مکانی پژوهش

جدول ۲. نمونه‌های از ابتدا و انتهای آرایه‌ی داده‌ها برای مطالعه‌ی هم‌دید تپ‌های هوای منطقه‌ی سیستان

Mean VP	۱۰/۰۷۸	۸/۴۰۱	۷/۳۲۹	۷/۹۰۷	۱۳/۱۳۹	۱۱/۷۶۶	۱۲/۹۳۵	۱۲/۹۲۲
Mean QFF	۱۰۱۴/۵	۱۰۱۸	۱۰۲۰/۴	۱۰۲۱/۳	۱۰۱۴	۱۰۱۳/۳	۱۰۱۲/۲	۱۰۱۱
Mean QFE	۹۵۷/۱	۹۶۰/۱	۹۶۲/۶	۹۶۳/۲	۹۵۷/۶	۹۵۶/۷	۹۵۵/۹	۹۵۵
RRR	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۸	۰
Mean Hum	۵۶/۶	۴۴/۶	۳۳/۶	۳۴/۸	۷۵/۵	۶۸/۵	۷۳/۸	۶۹/۴
Mean DEW	۶/۶	۴	۱/۴	۳	۱۱	۹/۴	۱۰/۶	۱۰/۸
Mean Daily	۱۶/۵	۱۵/۵	۱۵/۵	۱۶/۵	۱۶/۲	۱۶/۵	۱۶	۱۷
Max	۲۳	۲۲	۲۴	۲۷	۲۰	۲۲	۲۲	۲۲
Min	۱۰	۹	۷	۶	۱۲/۴	۱۱	۱۰	۱۲
Mean WET	۱۱/۴	۱۰/۸	۱۱/۳	۱۲/۲	۱۳	۱۲/۱	۱۲/۹	۱۳/۴
Mean DRY	۱۶	۱۶/۸	۱۹/۳	۲۰/۷	۱۵/۴	۱۵/۴	۱۵/۷	۱۶/۶
Max FF	۱۲	۱۵	۱۲	۵	۱۶	۲۳	۱۹	۱۹
Max DD	۳۵۰	۳۴۰	۳۳۰	۱۹۰	۳۵۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۳۰
Mean FF	۶/۸	۴/۴	۴/۴	۱	۱۲	۱۴/۹	۹/۴	۱۰/۶
روز	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
ماه	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳
سال میلادی	۱۹۷۵	۱۹۷۵	۱۹۷۵	۱۹۷۵	۲۰۰۵	۲۰۰۵	۲۰۰۵	۲۰۰۵

به‌دلایلی ضروری است تا پیش از تحلیل (تحلیل مؤلفه‌ی اصلی، تحلیل خوشه‌ای و...)، تمام داده‌ها به نمره‌های استاندارد تبدیل شوند (نظری پور و خسروی، ۲۰۱۱: ۳۱). بنابراین برای هم‌وزن کردن متغیرها در طبقه‌بندی، از رابطه‌ی شماره‌ی ۱ استفاده و آرایه‌ی داده‌ها با همان ابعاد  $۱۴ \times ۱۰۸۲۵$  به نمره‌های استاندارد تبدیل شده‌اند.

$$STND_{ij} = \frac{Data_{ij} - Min_j}{Max_j - Min_j}$$

رابطه‌ی ۱) استانداردسازی و هم‌وزن کردن متغیرها

در این رابطه:

$STND_{ij}$ : مقدار استاندارد شده‌ی متغیر  $j$  ام در روز  $i$  ام؛

$Data_{ij}$ : مقدار متغیر  $j$  ام در روز  $i$  ام؛

$Min_j$ : مقدار کمینه‌ی متغیر  $j$  ام؛

$Max_j$ : مقدار بیشینه‌ی متغیر  $j$  ام است.

میانگین ماتریس استاندارد شده صفر و انحراف معیار آن یک است.

در آغاز، انجام یک تحلیل مؤلفه‌ی اصلی<sup>۱</sup> روی پایگاه داده (۲۰ × ۱۰۸۲۵)، برای شناخت و کشف منابع اصلی پراش<sup>۲</sup> در اقلیم منطقه‌ی مورد بررسی، ضروری به‌نظر می‌رسد. تحلیل مؤلفه‌ی اصلی، شگرد ریاضی آماری است. وجه ریاضی این روش در آنجاست که  $n$  متغیر اولیه را به‌صورت ترکیب خطی، به  $n$  مؤلفه‌ی اصلی تبدیل می‌کند. بنابراین، کل پراش داده‌های اولیه با  $n$  مؤلفه‌ی اصلی تبیین می‌شوند. در عین حال، ترکیبات خطی چنان به‌دست می‌آیند که همواره، مؤلفه‌ی اول درصد بیشتری و مؤلفه‌های بعدی، درصدهای کمتری از پراش داده‌ها را تبیین می‌کنند. همین ویژگی مهم، وجه آماری تحلیل مؤلفه‌ی اصلی را مطرح می‌کند؛ چون درصد پراش تبیین شده توسط مؤلفه‌ها پایگانی است. بنابراین می‌توان درصد قابل ملاحظه‌ای از پراش داده‌ها را با اولین  $k$  مؤلفه تبیین کرد؛ به‌گونه‌ای که  $k$  خیلی کوچکتر از  $n$  باشد. در این صورت می‌توان حجم زیادی از اطلاعات موجود در  $n$  متغیر را با  $k$  مؤلفه بیان کرد. بدین ترتیب، هم می‌توان حجم داده‌ها را کاهش داد و هم متغیرهایی که حامل اطلاعات زیادتری هستند را از دیگر متغیرها تمیز داد. تحلیل مؤلفه‌ی اصلی در صورتی به موفقیت می‌رسد که حجم اطلاعات مشترک میان داده‌های اولیه زیاد باشد. خوشبختانه در کاربردهای اقلیمی، اغلب همبستگی زیادی بین متغیرها دیده می‌شود و تحلیل مؤلفه‌ی اصلی در بیشتر موارد، توانایی کاهش حجم داده‌ها و شناسایی ساختار آرایه‌ی هم‌پراش را پیدا می‌کند.

در همین حال، تحلیل مؤلفه‌ی اصلی را باید یکی از مراحل فرایند تجزیه و تحلیل داده‌ها و نه هدف نهایی آن دانست. برای مثال، پس از تحلیل مؤلفه‌ی اصلی، شاید مرحله‌ی مناسب بعدی، انجام یک تحلیل خوشه‌ای باشد. مؤلفه‌های اصلی، مبتنی بر آرایه‌ی هم‌پراش (همبستگی) داده‌ها هستند. مزیت بزرگ این تحلیل اینک، لازم نیست داده‌ها فرض نرمال چند متغیری را تأمین کنند. این ویژگی مهم از آن جهت اهمیت دارد که داده‌های اقلیمی اغلب فرض نرمال را تأمین نمی‌کنند.

در یک تحلیل مؤلفه‌ی اصلی، مؤلفه‌های اول به دلیل تبیین چهره‌های غالب بیشتر مورد توجه هستند. تحلیل مؤلفه‌ی اصلی، می‌تواند روی آرایه‌ی هم‌پراش یا روی آرایه‌ی همبستگی انجام شود. اطلاعات و جزئیات بیشتر در مورد تحلیل مؤلفه‌ی اصلی در منابع علمی (ریچاردسون و ویچرن، ۱۳۷۹: ۴۳۱) موجود است. به‌طور خلاصه، در تحلیل مؤلفه‌ی اصلی، تمام کوشش بر آن است تا مشخص شود، کدام متغیرها در مکان سبب پراش می‌شوند. متغیرهایی عامل پراش به‌شمار می‌روند که بیشینه‌ی بردار ویژه را در مؤلفه‌ی اول داشته باشند. بردارهای ویژه، بسته به اینکه آرایه‌ی هم‌پراش داده‌ها دارای چه ساختاری باشند، شکل می‌گیرند. بنابراین رایش<sup>۱</sup> آرایه‌ی بردار ویژه، مبتنی بر آرایه‌ی هم‌پراش خواهد بود. آرایه‌ی همبستگی از متغیرهای اولیه، درجه همبستگی بین متغیرهای اولیه را نشان می‌دهد. چنانچه متغیرهای اولیه دارای همبستگی درونی قابل توجه‌ای باشند، شانس اینکه بتوان با تعداد کمتری مؤلفه، بیشینه‌ی پراش متغیرها را نشان داد، افزایش می‌یابد.

نهایت کوشش در تحلیل مؤلفه‌ی اصلی بر آن است تا آرایه‌ی هم‌پراش (کواریانس) واکاوی شود؛ زیرا تمامی تغییرات در دل این آرایه قرار دارد. یک تحلیل مؤلفه‌ی اصلی روی داده‌های اولیه انجام نمی‌گیرد؛ بلکه روی داده‌های مرکزی شده از آنها انجام می‌گیرد.

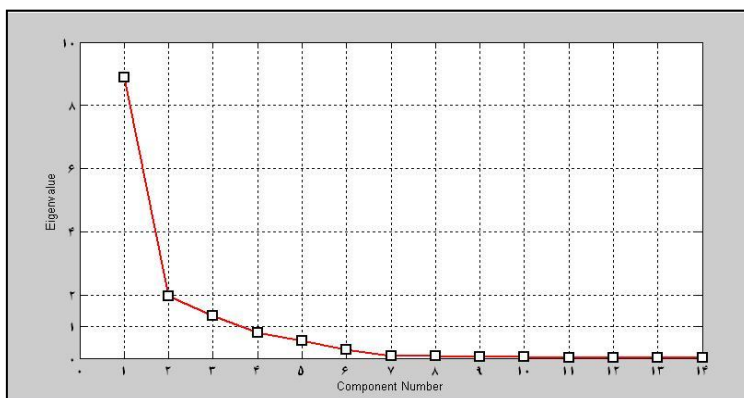
خروجی یک تحلیل مؤلفه‌ی اصلی روی داده‌های اولیه، شامل سه آرایه خواهد بود که عبارتند از  $e$ ،  $y$  و  $l$ . آرایه‌ی  $e$  آرایه‌ی بردار ویژه است که حامل ضرایبی است که حاصل ضرب آن در متغیرهای اولیه، مؤلفه‌های ( $y$ ) است و دارای خاصیتی هستند که پراش مؤلفه‌ها را بیشینه می‌کنند. بنابراین مقادیر مؤلفه‌ها بدین‌گونه به‌دست می‌آیند  $y = X \times e$ . در این عبارت،  $X$  همان متغیرهای اولیه مرکزی شده است. از سوی دیگر، متغیرهای اولیه مرکزی شده را از طریق رابطه‌ی  $X \times e' = y$  نیز می‌توان به‌دست آورد؛ زیرا آرایه‌ی بردارهای ویژه، خاصیت آرایه‌ی همانی<sup>۲</sup> را دارد. آرایه  $l$  نیز حاوی مقادیر ویژه‌ی مؤلفه‌ها (پراش مؤلفه‌ها) است. پراش مؤلفه‌ها همیشه پایگانی است؛ زیرا همیشه مقادیر ویژه‌ی مؤلفه‌ی اول یا پراش مؤلفه‌ی اول، بزرگتر از پراش مؤلفه‌ی دوم و به همین ترتیب است.

انتخاب مؤلفه‌ها در واقع هدف اصلی پژوهشگر را در کاهش متغیرهای فراوان اولیه و یافتن متغیرهای مهم، برآورد می‌کند. معمولاً مؤلفه‌هایی برای تحلیل‌های بعدی انتخاب می‌شوند که ارزش ویژه‌ی آنها حداقل ۱ بوده یا حداقل ۵ درصد از پراش کل داده‌ها را تبیین کرده باشند (علیچانی، ۱۳۸۱: ۱۸۶). اجرای تحلیل مؤلفه‌ی اصلی روی داده‌های استاندارد شده‌ی اولیه با آرایه‌ی  $14 \times 10825$  نشان داد که سه مؤلفه‌ی اصلی، قادر به توجیه ۸۷ درصد از پراش داده‌ها هستند (شکل‌های شماره‌ی ۲ و ۳). از سوی دیگر، سنجش تغییرات مؤلفه‌های انتخابی، به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی نسبت به یکدیگر، نشان می‌دهد که بخش زیادی از تغییرات مؤلفه‌ی دوم نسبت به مؤلفه‌ی اول برابر است. بدین مفهوم که مؤلفه‌ی دوم نیز حامل اطلاعات سودمندی است و پراش مهمی را تبیین می‌کند (شکل شماره‌ی ۴)، اما سنجش تغییرات مؤلفه‌ی سوم نسبت به مؤلفه‌ی اول، نشان می‌دهد که مؤلفه‌ی سوم در برابر مؤلفه‌ی اول، پراش کم‌ارزش‌تری را تبیین

۱. رایش به جای واژه‌ی محاسبه پیشنهاد می‌شود.

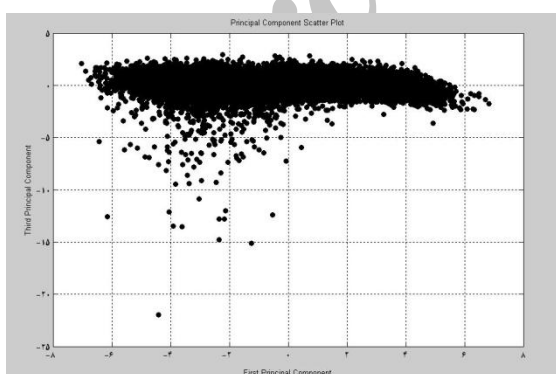
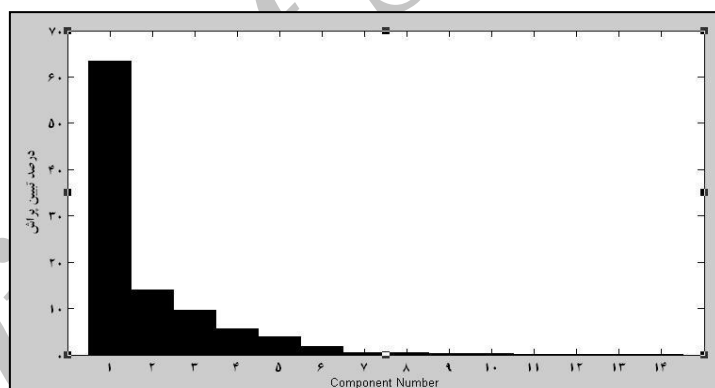
۲. حاصل ضرب یک آرایه در ترانپزاده آن آرایه را آرایه‌ی همانی می‌گویند.

می‌کند (شکل شماره‌ی ۵)، اما در برابر تغییرات مؤلفه‌ی دوم دارای اهمیت بوده و برابری می‌کند. بنابراین هرچند مؤلفه‌ی سوم دارای ارزش و اهمیت مؤلفه‌ی اول از لحاظ اطلاعات نیست، اما در برابر مؤلفه‌ی دوم دارای ارزش است (همانند شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده نمی‌شود).

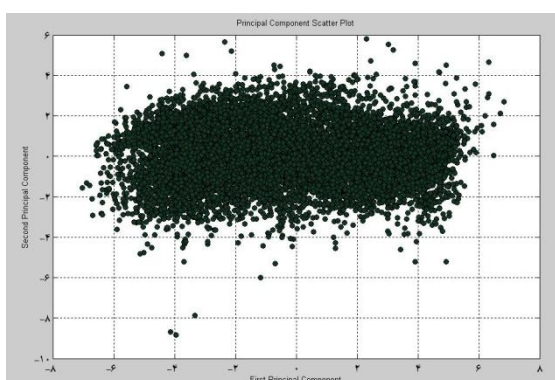


شکل ۲. نمودار صخره‌ای مقادیر ویژه مؤلفه‌ها

شکل ۳. نمودار درصد تبیین پراش متغیرهای اولیه توسط مؤلفه‌ها



شکل ۵. نمودار تغییرات مؤلفه‌ی اول نسبت به مؤلفه‌ی سوم



شکل ۴. نمودار تغییرات مؤلفه‌ی اول نسبت به مؤلفه‌ی دوم

نام‌گذاری مؤلفه‌ها با بررسی ضرایب متغیرها روی مؤلفه‌ها انجام‌پذیر است. این مهم، در آرایه‌ی بردار ویژه موجود است (جدول شماره‌ی ۳). از روش دیگر نیز می‌توان ارتباط متغیرها با مؤلفه را بررسی کرد. چنانچه همبستگی بین متغیرهای اولیه و مؤلفه‌ها بررسی شود، بهتر می‌توان در مورد مؤلفه‌ها قضاوت کرد (جدول شماره‌ی ۴).



جدول ۳. ضرایب متغیرهای اولیه روی مؤلفه‌های اصلی (آزایی بردار ویژه)

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11	PC12	PC13	PC14
Var1	۰/۲۰	-۰/۴۷	-۰/۲۵	-۰/۸۱	-۰/۴۵	۰/۸۰	-۰/۰۹	-۰/۵۵	۰/۰۶	۰/۲۵	۰/۸۰	-۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۰
Var2	۰/۸۴	-۰/۴۱	-۰/۲۷	-۰/۸۵	۰/۸۳	-۰/۸۰	۰/۰۰	-۰/۸۰	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Var3	۰/۲۰	-۰/۴۸	-۰/۲۸	-۰/۸۳	-۰/۲۸	۰/۰۴	۰/۸۸	۰/۶۷	-۰/۰۸	-۰/۲۲	-۰/۸۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۰
Var4	۰/۳۳	۰/۰۵	۰/۱۳	۰/۸۰	۰/۰۴	۰/۸۷	-۰/۸۲	۰/۰۱	-۰/۰۷	۰/۲	-۰/۵۰	۰/۲۸	-۰/۸۳	۰/۰۰
Var5	۰/۳۳	۰/۸۶	۰/۰۰	-۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۲۰	-۰/۰۹	۰/۰۳	-۰/۱۳	۰/۸۸	-۰/۵۶	-۰/۶۷	۰/۰۵	۰/۰۰
Var6	۰/۳۳	-۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۸۱	-۰/۵۷	-۰/۸۲	۰/۰۲	-۰/۵۹	۰/۸۳	-۰/۰۱	۰/۰۵	-۰/۴۰
Var7	۰/۲۲	۰/۰۸	۰/۱۹	۰/۸۲	۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۰۲	۰/۳۲	-۰/۰۴	۰/۵۳	۰/۴۹	-۰/۰۳	۰/۸۰	-۰/۴۲
Var8	۰/۳۳	۰/۰۴	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۱۳	-۰/۲۷	۰/۸۱	-۰/۰۱	-۰/۰۲	۰/۳۲	-۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۸۱
Var9	۰/۲۴	۰/۳۷	-۰/۳۰	-۰/۳۱	-۰/۰۱	۰/۱۳	۰/۲۰	۰/۰۳	۰/۲۴	-۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۰۰
Var10	-۰/۳۳	۰/۲۵	-۰/۴۵	-۰/۲۹	-۰/۰۶	-۰/۲۸	-۰/۵۸	۰/۲۳	-۰/۸۶	۰/۳۱	۰/۰۰	۰/۰۸	۰/۰۰	۰/۰۰
Var11	-۰/۰۴	۰/۸۲	-۰/۵۹	۰/۲۹	۰/۰۳	۰/۸۲	۰/۰۶	-۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Var12	-۰/۳۱	-۰/۰۵	-۰/۰۳	-۰/۸۲	۰/۰۸	۰/۶۷	-۰/۸۱	۰/۰۷	-۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۸۰	-۰/۰۶	-۰/۶۳	۰/۰۰
Var13	-۰/۳۲	-۰/۰۵	-۰/۰۴	-۰/۸۱	۰/۰۶	۰/۵۳	-۰/۰۴	۰/۰۰	-۰/۰۵	۰/۰۰	-۰/۰۶	۰/۸۳	۰/۷۵	۰/۰۰

جدول ۴. ضرایب همبستگی بین متغیرهای اولیه و مؤلفه‌ها

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11	PC12	PC13	PC14
Var1	۰/۵۹	-۰/۶۵	-۰/۲۹	-۰/۸۰	-۰/۳۴	۰/۰۵	-۰/۰۲	-۰/۸۴	۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Var2	۰/۴۱	-۰/۵۸	-۰/۲۲	-۰/۸۳	۰/۶۱	-۰/۰۵	۰/۰۰	-۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Var3	۰/۵۹	-۰/۶۸	-۰/۲۲	-۰/۸۱	-۰/۲۱	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۸۶	-۰/۰۲	-۰/۰۴	-۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Var4	۰/۹۷	۰/۰۷	۰/۱۵	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۰۸	-۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۳	-۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۰
Var5	۰/۹۶	۰/۲۳	۰/۰۰	-۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۸۰	-۰/۰۲	۰/۰۱	-۰/۰۳	۰/۰۳	-۰/۰۷	-۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۰
Var6	۰/۹۸	-۰/۰۱	-۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۶	-۰/۸۵	-۰/۰۳	۰/۰۰	-۰/۸۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Var7	۰/۹۵	۰/۸۱	۰/۲۳	۰/۱۱	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۰۸	-۰/۰۱	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Var8	۰/۹۸	۰/۰۵	۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۷	-۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Var9	۰/۷۱	۰/۵۱	-۰/۲۵	-۰/۲۸	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۶	-۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Var10	-۰/۶۹	۰/۳۵	-۰/۵۲	-۰/۲۶	-۰/۰۵	-۰/۸۴	-۰/۸۵	۰/۰۶	-۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Var11	-۰/۸۲	۰/۸۶	-۰/۶۸	۰/۲۰	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Var12	-۰/۹۳	-۰/۰۷	-۰/۰۳	-۰/۸۱	۰/۰۶	۰/۳۴	-۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	-۰/۰۲	۰/۰۰
Var13	-۰/۹۵	-۰/۰۶	-۰/۰۴	-۰/۸۰	۰/۰۴	۰/۲۷	-۰/۰۱	۰/۰۰	-۰/۰۱	۰/۰۰	-۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۰
Var14	۰/۷۵	۰/۴۹	-۰/۲۲	-۰/۲۶	۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۸۰	-۰/۰۵	-۰/۸۴	-۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰

بنابراین پس از انتخاب مؤلفه‌ها، آرایه‌ی نمره‌های مؤلفه‌ها (مقادیر مؤلفه‌ها)، به‌عنوان ورودی برای تحلیل‌های بعدی، مانند تحلیل خوشه‌ای، مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین برای شناخت تیپ‌های هوای حاکم بر منطقه‌ی مورد بررسی، از آرایه‌ی سری زمانی مقادیر مؤلفه‌های اصلی استفاده شده است. این آرایه دارای آرایش زمان - متغیر (P) و به ابعاد  $3 \times 10825$  است که در آن، سطرها معرف روزها و ستون‌ها بیانگر مقادیر مؤلفه‌های اصلی (سه مؤلفه) است. این آرایه به‌عنوان ورودی برای تحلیل خوشه‌ای انتخاب شده است.

تحلیل خوشه‌ای، یک روش آماری است که مجموعه‌ای از افراد را بر حسب اندازه‌ی همانندی میان آنها، خوشه می‌کند. هدف از تحلیل خوشه‌ای، تشکیل گروه‌های همگن از افراد مختلف است (گرستن گاربه<sup>۱</sup>، ۱۹۹۹: ۱۴۸) که به دو شیوه‌ی پایگانی (باچر<sup>۲</sup>، ۱۹۹۶: ۴۲۴) یا ناپایگانی (استات سافت<sup>۳</sup>، ۱۹۹۴: ۳۲۳) انجام می‌شود. همچنین فرایند تحلیل خوشه‌ای، می‌تواند از نوع شکافتی یا از نوع پیوندی باشد. در نوع شکافتی، نخست همه‌ی افراد در یک خوشه جای داده می‌شوند و سپس افراد چنان به دو خوشه متمایز تجزیه می‌شوند که تفاوت میان آنها بیشینه شود و این فرایند تا آنجا ادامه می‌یابد که به تعداد افراد، خوشه وجود داشته باشد. در نوع پیوندی، نخست فرض می‌شود که هر فرد یک خوشه است و با یافتن همانندترین زوج‌ها، افراد خوشه‌بندی می‌شوند و سپس همانندترین خوشه‌ها در یکدیگر ادغام می‌شوند و این فرایند آنقدر ادامه می‌یابد تا همه‌ی خوشه‌ها در یک خوشه جمع شوند. اندازه‌گیری همانندی، پایه‌ی اصلی هر تحلیل خوشه‌ای است. ممکن است همانندی افراد بر حسب یک صفت اندازه‌گیری شود. چنانچه همانندی بر حسب چند صفت اندازه‌گیری شود، خوشه‌بندی چند صفتی نامیده می‌شود. روش‌های گوناگونی برای اندازه‌گیری همانندی پیشنهاد شده که هر یک، بسته به ماهیت موضوع مورد بررسی کارایی دارند. یک شاخص همانندی مناسب، فاصله میان افراد مختلف را از حیث صفت یا صفات مورد بررسی می‌سنجد (مسعودیان، ۱۳۸۴: ۴۹).

هدف اصلی خوشه‌بندی، ایجاد گروه‌ها و طبقاتی است که تنوع و تفرق درون گروهی آنها کمتر از تنوع و تفرق بین گروهی باشد (کالکستاین و همکاران، ۱۹۸۷: ۱۳۴). بنابراین تحلیل خوشه‌ای به‌روش همبستگی و فاصله‌ای انجام‌پذیر است (علیجانی، ۱۳۸۱: ۱۷۲). روش فاصله‌ای، معمولاً برای گروه‌بندی‌های چند معیاری به‌کار می‌رود و هر متغیر اقلیمی، یک معیار به‌شمار می‌رود (دیویس و کالکستاین<sup>۴</sup>، ۱۹۹۰: ۱۱۲). برای تعیین فاصله بین دو عضو، فاصله‌ی آنها از همدیگر بر اساس معیارهای مورد نظر، از طریق هندسه‌ی اقلیدسی محاسبه می‌شود. بنابراین برای  $n$  مشاهده  $\frac{n(n-1)}{2}$  فاصله قابل محاسبه است. در مطالعات اقلیمی برای محاسبه‌ی درجه‌ی ناهمانندی (همانندی) از فاصله‌ی اقلیدسی استفاده می‌شود. بر اساس فاصله‌های این ماتریس، خوشه‌ها یا گروه‌ها تعیین می‌شوند.

اگر فرض شود  $x_r$  بردار مشاهدات روی  $r$  و  $x_s$  بردار مشاهدات روی  $s$  باشد، در این صورت فاصله‌ی اقلیدسی

به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

1. Gerstengarbe, F, W.

2. Bacher, J.

3. Stat Soft

4. Davis, R and L. Kalkstein

رابطه‌ی ۲: مربع فاصله‌ی اقلیدسی برای ماتریس زمان - متغیر

$$d_{rs}^2 = (X_r - X_s)(X_r - X_s)' (P_{10825*14})$$

پس از اندازه‌گیری درجه‌ی همانندی یا ناهمانندی که ماتریس فاصله است، باید شیوه‌ای برای ادغام اقلیمی برگزید که بالاترین درجه‌ی همانندی را با هم‌دیگر دارند. مناسب‌ترین روش ادغام در مطالعات اقلیم‌شناختی، روش ادغام وارد<sup>۱</sup> است؛ زیرا در این روش در بین تمام مشاهده‌ها، زوجی با هم ترکیب می‌شوند که مجموع مربعات انحراف‌های اعضای خوشه‌ی ادغامی آنها، از میانگین مربوطه کمترین باشد. در این صورت، میزان پراش درون‌گروهی به حداقل و همگنی گروه‌ها به حداکثر می‌رسد. بنابراین ادغام وارد به‌صورت زیر است:

رابطه‌ی ۳: روش ادغام وارد برای مشاهده‌ها

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

در این رابطه،  $d_{rs}^2$  مربع فاصله بین گروه  $r$  و گروه  $s$  است.

بنابراین در یک تحلیل خوشه‌ای دو گام اساسی وجود دارد. گام نخست، محاسبه‌ی درجه‌ی همانندی افراد با یکدیگر و گام دوم، چگونگی ادغام افراد برحسب درجه‌ی همانندی آنها با یکدیگر است. در تحلیل خوشه‌ای، به‌عنوان مثال  $k$  متغیر متعلق به یک روز ( $t_1$ ) با  $k$  متغیر متعلق به روزی دیگر ( $t_2$ ) تک‌تک با یکدیگر مقایسه می‌شوند تا درجه‌ی همانندی آنها با یکدیگر آشکار شود. سپس تمامی  $t$ ها برحسب درجه‌ی همانندی با یکدیگر خوشه می‌شوند.

فرایند خوشه‌بندی، تمام مشاهدات را به تناسب اندازه‌ی فاصله‌ی آنها گروه‌بندی می‌کند. بدین ترتیب که ابتدا مشاهدات نزدیک با هم ادغام و در مراحل بعد مشاهدات یا خوشه‌های نزدیکتر بعدی با هم ادغام می‌شوند. پس بنابراین در مرحله‌ی آغازین فرایند خوشه‌بندی به تعداد مشاهدات، خوشه وجود دارد و در آخرین مرحله، همه‌ی مشاهدات در یک خوشه جمع می‌شوند. تساوی تعداد خوشه‌ها با مشاهدات، کمکی به خلاصه شدن داده‌ها نمی‌کند و ادغام همه‌ی مشاهدات در یک خوشه نیز، مقدار بیشتری از جزئیات را از بین می‌برد و منطقی نیست. بنابراین انتخاب تعداد منطقی خوشه‌ها در راستای کاهش پراش درون‌گروهی و افزایش پراش بین‌گروهی بحث فراوان دارد. آماره‌ها و معیارهای مختلفی از سوی پژوهشگران مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. نسبت ضرایب همبستگی خوشه‌ها (PCR) و نسبت تفاوت متوسط اعضای بین خوشه‌ها (RDR) برای اندازه‌گیری تمایز بین خوشه‌ها مطرح شده است (هوٲ، ۱۹۹۶). ضریب کنترل چندمتغیره‌ی  $R^2$  (کالکستاین و همکاران، ۱۹۸۷)، آماره‌ی  $F$  نیمه‌رسمی گالینسکی و هارابائز (فاول، ۱۹۹۳)، آماره‌ی  $t^2$  نیمه‌رسمی (بانکرز و میلر، ۱۹۹۶)، مقایسه‌ی مقدار انحراف معیار خوشه‌ها و بین‌خوشه‌ها در هر مرحله از خوشه‌بندی (کالکستاین و همکاران، ۱۹۸۷)، از جمله معیارهای دیگر برای تعیین تعداد خوشه‌ها هستند. اکثر آزمون‌ها یا آماره‌های فوق با الهام از تحلیل واریانس شکل گرفته‌اند. بنابراین می‌توان در هر مرحله از خوشه‌بندی با اجرای تحلیل واریانس و محاسبه‌ی آماره  $F$ ، معناداری تفاوت خوشه‌ها را سنجید و تعدادی را انتخاب کرد که معنادارترین  $F$  را داشته باشند (علیجانی، ۱۳۸۱: ۱۷۸).

1. Ward method
2. Huth, R.
3. Fovel, R.G
4. Bankers and Miller

پس از مشخص شدن تعداد تیپ‌های اقلیمی (تیپ‌های هوا)، رفتارهای زمانی و ویژگی‌های آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### یافته‌های تحقیق

نتایج تحلیل مؤلفه‌ی اصلی روی متغیرهای اولیّه، نشان می‌دهد که اقلیم منطقه‌ی سیستان، به‌طور عمده به‌وسیله‌ی سه عامل کنترل می‌شود. این سه عامل اقلیمی ۸۷ درصد پراش داده‌ها را تبیین کرده و به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی برای شناخت تیپ‌های هوای حاکم بر آن منطقه شناخته می‌شوند. ویژگی هر یک از مؤلفه‌ها به شرح زیر است:

#### مؤلفه‌ی اصلی اول (مؤلفه‌ی دما - فشار و رطوبت)

بررسی ضرایب متغیرهای اولیّه روی مؤلفه‌ی اول (آرایه‌ی بردار ویژه) و از سوی دیگر، ضرایب همبستگی بین متغیرهای اولیّه و مؤلفه‌ی اول، نشان می‌دهد که متغیرهای شماره‌ی ۴ تا ۸، دارای بیشینه‌ی ضریب روی مؤلفه‌ی اول بوده و افزون‌بر آنها، متغیرهای شماره‌ی ۹ و ۱۴ نیز دارای ضرایب معناداری روی مؤلفه‌ی اول هستند. این متغیرها که به‌ترتیب شامل متغیر میانگین روزانه‌ی دمای خشک، میانگین روزانه‌ی دمای تر، کمینه‌ی دمای روزانه (دمای شب‌هنگام)، بیشینه‌ی دمای روزانه (دمای روزهنگام)، میانگین دمای شبانه‌روز، میانگین دمای نقطه‌ی شبنم و میانگین روزانه‌ی درصد نم نسبی و دارای ضریب مثبت روی مؤلفه‌ی اول هستند. از سوی دیگر، متغیرهای شماره‌ی ۱۲، ۱۳ و ۱۰ نیز، به‌ترتیب دارای ارزش منفی روی مؤلفه‌ی اول هستند. این متغیرها نیز به‌ترتیب معرف میانگین فشار ایستگاه، میانگین فشار تراز دریا و میانگین روزانه‌ی درصد نم نسبی هستند. بنابراین می‌توان مؤلفه‌ی اول را مؤلفه‌ی دمایی - فشار و رطوبتی نام گذاشت (جدول‌های شماره‌ی ۳ و ۴). بیشینه‌ی پراش اقلیمی به‌وسیله‌ی متغیرهای دمایی، فشار و رطوبتی توجیه می‌شود. ارتباط نوع ضرایب متغیرها روی مؤلفه‌ی اول نشان می‌دهد که با افزایش مقدار متغیرهای دمایی، متغیرهای فشار کاهش می‌یابند و با افزایش نم نسبی، مقدار فشار بخار نیز افزایش می‌یابد (شکل شماره‌ی ۶). سری زمانی مقادیر مؤلفه‌ی اول نیز، یک چرخه‌ی سالانه را نشان می‌دهد که دارای یک حداکثر و یک حداقل درون سالی است (شکل شماره‌ی ۹).

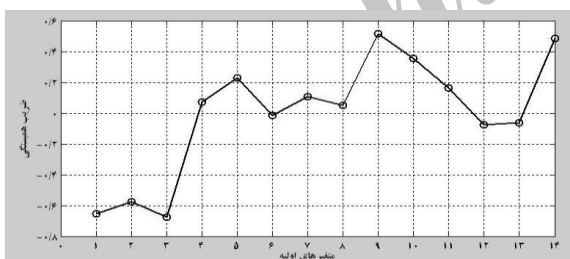
#### مؤلفه‌ی اصلی دوم (مؤلفه‌ی بادی)

ضرایب متغیرهای اولیّه روی مؤلفه‌ی دوم (آرایه‌ی بردار ویژه) و ضرایب همبستگی بین متغیرهای اولیّه و مؤلفه‌ی اول، نشان می‌دهد که متغیرهای ۱، ۳ و ۲، به‌ترتیب دارای بیشترین ضریب روی مؤلفه‌ی دوم هستند. این متغیرها که معرف سرعت باد متوسط، سرعت تندترین باد و جهت تندترین باد هستند، ضرایب منفی دارند و با میانگین دمای نقطه‌ی شبنم و میانگین فشار بخار در رابطه هستند. این رابطه بدین معنا است که افزایش تندی باد در زمان خاصی از سال روی می‌دهد که دوره‌ی سرد سال نیست؛ زیرا هم‌زمان که دمای نقطه‌ی شبنم و میانگین فشار بخار آب افزایش می‌یابد (دوره‌ی گرم سال)، تندی باد نیز افزایش می‌یابد. بنابراین در اقلیم منطقه‌ی سیستان، دومین مؤلفه‌ی مهم و تأثیرگذار باد محسوب می‌شود که در برابر مؤلفه‌ی دمایی قرار دارد (جدول‌های شماره‌ی ۳ و ۴) و (شکل شماره‌ی ۷). سری زمانی مقادیر مؤلفه‌ی دوم روند خاصی را نشان نمی‌دهد و این بدان معناست که شدت و تندی باد در گذر زمان، تغییر بارزی

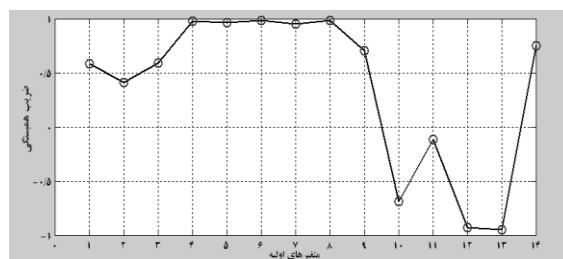
نکرده است (شکل شماره‌ی ۱۰). از سوی دیگر مقادیر مؤلفه‌ی دوم نیز، همانند مقادیر مؤلفه‌ی اول دارای یک چرخه‌ی درون‌سالی است، بدین مفهوم که در زمان خاصی از سال (دوره‌ی گرم سال) مقادیر مؤلفه افزایش و در زمانی دیگر (دوره‌ی سرد سال) کاهش می‌یابد. بررسی تغییرات مؤلفه‌ی اول نسبت به دوم نیز، نشان از اهمیّت و برابری مؤلفه‌ی دوم با مؤلفه‌ی اول در تأثیرگذاری اقلیم منطقه‌ی مورد بررسی دارد (شکل شماره‌ی ۴).

### مؤلفه‌ی اصلی سوم (مؤلفه‌ی بارشی)

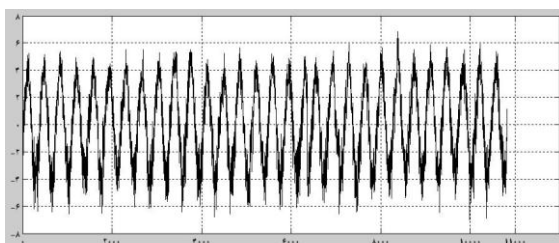
در بین متغیرهای اولیه، بارش بیشترین ضریب را روی مؤلفه‌ی سوم دارد (جدول شماره‌ی ۳). از سوی دیگر، بارش دارای بیشترین ضریب همبستگی با مؤلفه‌ی سوم است (جدول شماره‌ی ۴ و شکل شماره‌ی ۸). بنابراین سومین مؤلفه‌ی اقلیمی مهم، مؤلفه‌ی بارشی است، اما آنچنان که پیداست، این مؤلفه در برابر مؤلفه‌ی دمایی بسیار کم‌ارزش و کم‌اهمیّت است (شکل شماره‌ی ۵). بدین معنا که پیشینه‌ی تغییرات با مؤلفه‌ی دمایی تبیین می‌شود و تغییراتی که توسط مؤلفه‌ی بارشی تبیین می‌شود، در برابر آن ناچیز است. مؤلفه‌ی بارشی با متغیرهای بادی دارای ارتباط مستقیم است، بدین معنا که با کاهش تندی باد، بارش افزایش می‌یابد. این رابطه بیانگر آنست که بارش و تندی باد در دو زمان متفاوت رخ می‌دهند. از سوی دیگر با افزایش مقدار مؤلفه‌ی دمایی نیز، بارش کاهش می‌یابد. اما نکته‌ی جالب آنجاست که با کاهش میانگین روزانه، درصد نم نسبی بارش افزایش می‌یابد؛ یعنی رطوبت بارش‌های منطقه، محلی نیست (شکل شماره‌ی ۸). سری زمانی مقادیر مؤلفه‌ی سوم، هرچند روند کاهشی یا افزایش خاصی را نشان نمی‌دهد، اما بیانگر آنست که بارش نیز همانند باد، اما با شدّت بیشتر، متمرکز بوده و مقدار آن در برخی از زمان‌ها به شدّت کاهش یافته است (شکل شماره‌ی ۱۱).



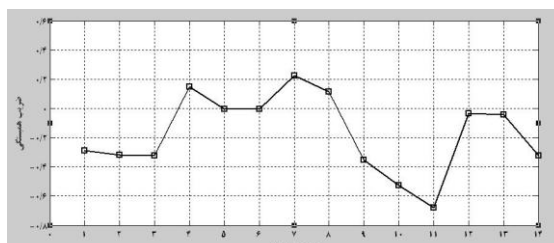
شکل ۷. ضریب همبستگی بین متغیرهای اولیه و مؤلفه‌ی دوم



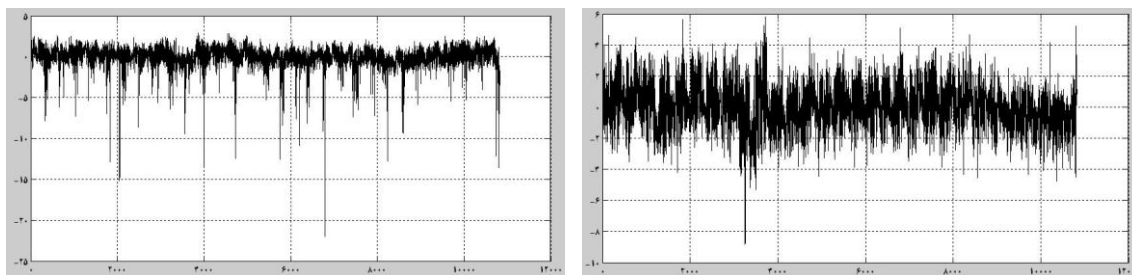
شکل ۶. ضریب همبستگی بین متغیرهای اولیه و مؤلفه‌ی اول



شکل ۹. سری زمانی مقادیر مؤلفه‌ی اول



شکل ۸. ضریب همبستگی بین متغیرهای اولیه و مؤلفه‌ی سوم

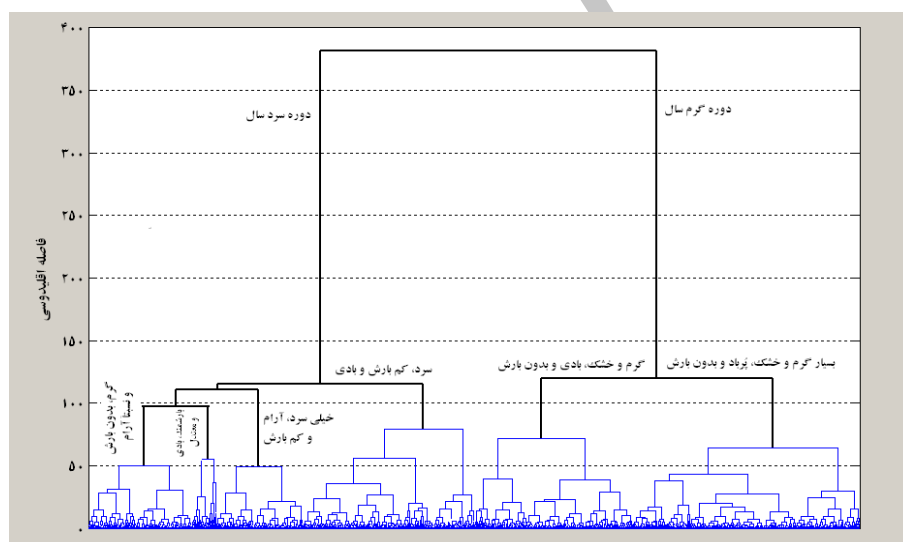


شکل ۱۱. سری زمانی مقادیر مؤلفه‌ی سوم

شکل ۱۰. سری زمانی مقادیر مؤلفه‌ی دوم

### تیپ‌های هوای غالب بر منطقه‌ی سیستان

برای شناسایی تیپ‌های هوای حاکم بر منطقه‌ی سیستان از آرایه‌ی مقادیر مؤلفه‌های اصلی (سه مؤلفه‌ی اصلی)، به‌عنوان ورودی برای تحلیل خوشه‌ای استفاده شده است. نتایج تحلیل خوشه‌ای، شش تیپ هوای متمایز را برای اقلیم منطقه‌ی سیستان نشان می‌دهد (شکل شماره‌ی ۱۲). در ادامه ویژگی‌های این تیپ‌ها بیان شده است.



شکل ۱۲. دارنمای تیپ‌های هوای منطقه‌ی سیستان

#### ۱- تیپ هوای گرم، بدون بارش و نسبتاً آرام

این تیپ هوا، دارای توزیع دونمایی با الگوی زنگدیس پلکانی است. یکی از نمودهای آن در فصل تقویمی پاییز رخ می‌دهد و اوج آن در بُرج آبان است و نمود دیگر از آن، در فصل زمستان - بهار رخ می‌دهد که به‌شدت در اواخر زمستان و اوایل بهار متمرکز است. این تیپ هوا، پیش و پس از تیپ هوای گرم و خشک، بدون بارش و بادی حاکم است. بنابراین شرایط گرم، خشک و بدون بارش در اقلیم منطقه، طولانی‌ترین زمان از سال را به خود اختصاص می‌دهد. این تیپ هوا در ۱۷ درصد از زمان سال حاکم بوده و براساس روش همبستگی بهترین روز نماینده‌ی آن، روز ۱۳۶۵/۱۲/۲۶ شمسی است. متوسط همبستگی این روز با دیگر روزهای هم‌گروه خود ۰/۹۹۸۳ بوده و در مجموع روزهای متعلق به این

تپ هوا دارای همبستگی ۰/۹۹۶۷ با هم‌دیگر بوده و دارای همگنی معنادار هستند (جدول شماره‌ی ۶). از نظر فراوانی رخداد سالانه، این تپ هوا یک روند کاهشی را نشان می‌دهد که می‌توان گفت کاهش رخداد سالانه‌ی این تپ هوا، به نفع افزایش شرایط گرم، بسیار گرم و خشک در منطقه‌ی سیستان است. از لحاظ ویژگی‌های دمایی و بارشی همانند تپ‌های گرم و خشک، بدون بارش و کم‌باد است که شدت گرما در آن کمتر است. بزرگترین وجه تمایز این تپ هوا با تپ‌های گرم و خشک، بدون بارش و بادی، در تندی و جهت وزش باد است. افزون‌بر آنکه تندی باد در این تپ هوا چندان زیاد نیست، جهت باد بر خلاف تپ‌های گرم و خشک، بدون بارش و بادی، جنوبی و جنوب غربی است (جدول شماره‌ی ۵). این‌گونه برداشت می‌شود که شرایط گرم و خشک در ایران و به‌ویژه در عرض‌های پایین، ناشی از حاکمیت بلندمدت سامانه‌ی فشار زیاد جنب حاره‌ای است که دوره‌ی گرم را در فصل تقویمی تابستان پدید می‌آورد؛ اما دوره‌ی حاکمیت این سامانه‌ی فشار زیاد در عرض‌های مختلف جغرافیایی، متفاوت است؛ یعنی در بخش‌های جنوبی از ایران، شرایط گرم و خشک به‌همراه پیشرفت سامانه‌ی فشار زیاد، زودتر از بخش‌های شمالی‌تر آغاز شده و در زمان عقب‌نشینی آن نیز، دیرتر از بخش‌های شمالی‌تر پایان می‌گیرد.

## ۲- تپ هوای گرم و خشک، بدون بارش و بادی

فراوانی رخداد ماهانه‌ی از این تپ هوا دارای یک توزیع دونمایی است. این تپ هوا در دو زمان متفاوت ظاهر می‌شود که یکی در اوایل فروردین آغاز و تا اواسط خرداد ماه ادامه داشته و دیگری از اواخر مرداد آغاز و تا اوایل آبان ادامه دارد. دوره‌ی فعالیت نخست این تپ هوا را می‌توان فصل گذار به دوره‌ی بسیار گرم و خشک، پرباد و بدون بارش (تپ ۵) و دوره‌ی فعالیت بعدی آن را فصل گذار از دوره‌ی مزبور قلمداد کرد. بنابراین در زمان آغاز و پایان شرایط بسیار گرم و خشک، بادی و بدون بارش در منطقه‌ی سیستان نیز، شرایط گرم و خشک، بادی و بدون بارش حکمفرماست. این‌گونه برداشت می‌شود که تپ هوای گرم و خشک، بدون بارش و پرباد، به‌همراه تپ هوای بسیار گرم و خشک، بادی و بدون بارش (تپ ۵ و ۲) در نیمی از زمان سال (۵۰ درصد) رخ می‌دهند.

بر اساس روش همبستگی بهترین روز نماینده‌ی این تپ هوا، روز ۱۳۷۶/۰۷/۲۲ شمسی است. متوسط همبستگی این روز با دیگر روزهای هم‌گروه خود ۰/۹۹۹۳ بوده و در مجموع، روزهای متعلق به این تپ هوا دارای همبستگی ۰/۹۹۸۷ با هم‌دیگر بوده و دارای همگنی معنادار هستند (جدول شماره‌ی ۶). از نظر فراوانی رخداد سالانه، این تپ هوا دارای نوسان دوره‌ای بوده و به‌طور کلی روندی کاهشی دارد. با توجه به وجود روند افزایشی در فراوانی رخداد سالانه‌ی تپ هوای بسیار گرم و خشک، پرباد و بدون بارش، می‌توان گفت فراوانی رخداد این تپ هوا به نفع تپ هوای بسیار گرم و خشک، پرباد و بدون بارش، رو به کاهش است. در زمان حاکمیت این تپ هوا نیز، تندی باد دارای ارزش‌های بالا بوده و به‌طور عمده جهت وزش باد شمال‌غربی است. مقادیر میانگین متغیرهای دمایی و رطوبتی، حاکی از شرایط گرم و خشک این تپ هوا است (جدول شماره‌ی ۵). شدت این تپ هوا در دوره‌ی گذار به فصل بسیار گرم و خشک، افزایشی و در دوره‌ی گذار از آن کاهشی است.

### ۳- تیپ هوای سرد، کم‌بارش و بادی

تیپ هوای سرد، کم‌بارش و بادی دارای توزیع یک‌نمایی با الگوی زنگدیس پلکانی است. این تیپ هوا از اوایل فصل تقویمی پاییز آغاز شده و در اوایل فصل بهار ناپدید می‌شود. بر اساس روش همبستگی بهترین روز نماینده‌ی این تیپ هوا، روز ۱۳۶۸/۰۸/۲۰ شمسی است. متوسط همبستگی این روز با دیگر روزهای هم‌گروه خود ۰/۹۹۹۸ بوده و در مجموع روزهای متعلق به این تیپ هوا دارای همبستگی ۰/۹۹۹۷ با همدیگر بوده و دارای همگنی معنادار هستند (جدول شماره‌ی ۶). این تیپ هوا از لحاظ ویژگی‌های تندی و جهت باد، به‌مانند تیپ هوای گرم و خشک، بدون بارش و بادی (تیپ هوای شماره‌ی ۲)، از لحاظ ویژگی‌های دمایی، همانند تیپ هوای بارش‌مند، معتدل و نسبتاً بادی (تیپ هوای شماره‌ی ۴) و از لحاظ ویژگی‌های رطوبتی - بارشی، همانند تیپ هوای خیلی سرد، کم‌بارش و تقریباً آرام (تیپ هوای شماره‌ی ۶) است (جدول شماره‌ی ۵). منتها این تیپ هوا، یک تیپ هوای کاملاً مجزا و متفاوت است؛ زیرا برخلاف تیپ هوای خیلی سرد، کم‌بارش و کم‌امپیش آرام (تیپ هوای شماره‌ی ۶)، از تندی باد نسبتاً بالایی برخوردار بوده و جهت باد نیز در این تیپ هوا شمال‌غربی است. بنابراین بارش در این تیپ هوا، برخلاف تیپ هوای خیلی سرد، کم‌بارش و کم‌امپیش آرام، در جریان تند بادهای غربی ایجاد می‌شود؛ هرچند مقدار بارش هر دو تیپ هوا با فراوانی بسیار اندک و نامنظم رخ می‌دهد. این تیپ هوا از لحاظ ویژگی‌های رطوبتی - بارشی با تیپ هوای بارش‌مند، معتدل و نسبتاً بادی و از لحاظ ویژگی‌های دمایی با تیپ هوای گرم و خشک، بدون بارش و بادی متفاوت است (جدول شماره‌ی ۵). تیپ هوای سرد، کم‌بارش و بادی در ۱۱ درصد از زمان سال حاکم بوده (جدول شماره‌ی ۶) و از نظر فراوانی رخداد سالانه‌ی نوسان روند افزایشی دارد.

### ۴- تیپ هوای پُربارش (بارش‌مند)، معتدل و نسبتاً بادی

این تیپ هوا از نظر فراوانی رخداد ماهانه دارای توزیع زنگدیس پلکانی است. این تیپ هوا که پُربارش‌ترین تیپ هوا در منطقه‌ی سیستان است، به‌طور معمول و با فراوانی رخداد اندک از اواسط آبان شروع شده، در اسفند به اوج و در اواسط فرودین ماه ناپدید می‌شود. توزیع پلکانی بارش در این تیپ هوا، نشانگر آن است که بارش در منطقه‌ی سیستان به‌شدت در اواخر فصل زمستان متمرکز است. بر اساس روش همبستگی بهترین روز نماینده‌ی این تیپ هوا، روز ۱۳۵۷/۱۰/۲۲ شمسی است. متوسط همبستگی این روز با دیگر روزهای هم‌گروه خود ۰/۹۹۹۴ است. در مجموع روزهای متعلق به این تیپ هوا دارای همبستگی ۰/۹۹۸۸ با یکدیگر بوده و دارای همگنی معنادار هستند (جدول شماره‌ی ۶). از نظر فراوانی رخداد سالانه، این تیپ هوا نوسان داشته و با وجود فراوانی‌های اندک در هر سال، در برخی از سال‌ها، به‌شدت از کاهش فراوانی برخوردار بوده است. بنابراین بارش، پدیده‌ای غیر یکنواخت و بسیار نامطمئن در منطقه‌ی سیستان به‌شمار می‌رود و با توجه به مقدار اندک بارش، هرگونه برنامه‌ریزی برای استفاده از آن را با مشکل روبه‌رو می‌کند. در زمان حاکمیت این تیپ هوا در منطقه‌ی سیستان، تندی باد قابل ملاحظه بوده و به‌طور عمده جهت آن شمال‌غربی است (جدول شماره‌ی ۵). بنابراین بادهای باران‌آور در منطقه‌ی سیستان از جریان بادهای غربی هستند. علاوه بر آن، این تیپ هوا مرطوب‌ترین تیپ هوای حاکم بر اقلیم منطقه است که منبع رطوبت آن در جریان بادهای غربی بوده و از منابع دوردست انتقال داده



می‌شود. این انتقال رطوبت، تنها در صورت شدت تندی بادهای غربی امکان‌پذیر است. تیپ هوای بارش‌مند، معتدل و نسبتاً بادی، تنها در ۱۲ درصد از زمان سال حاکم است (جدول شماره‌ی ۶) که با توجه به فراوانی رخداد ماهانه‌ی آن، نوسان‌های شدید آن آشکار می‌شود.

### ۵- تیپ هوای بسیار گرم و خشک، بدون بارش و پُرباد

این تیپ هوا از اواسط اردیبهشت آشکار می‌شود، در تیرماه به اوج رسیده و تا اواسط شهریور ماه ادامه دارد. در برخی از سال‌ها، این تیپ هوا زودتر آغاز شده و برخی از سال‌ها نیز دیرتر ناپدید می‌شود. به‌گونه‌ای که در برخی موارد نادر، از اواخر فروردین ماه آشکار شده و در موارد دیگر تا اوایل مهرماه ادامه داشته است. این تیپ هوا، تیپ غالب دوره‌ی گرم سال بوده و با فراوانی وقوع ۳۹ درصد، غالب‌ترین تیپ هوا در منطقه به‌شمار می‌رود (جدول شماره‌ی ۶). از سوی دیگر، این تیپ هوا به‌شدت متمرکز بوده و از نظر اوج فراوانی دارای توزیع زنگدیس است. بر اساس روش همبستگی بهترین روز نماینده‌ی این تیپ هوا، روز ۱۳۶۸/۰۵/۲۱ شمسی است. متوسط همبستگی این روز با دیگر روزهای هم‌گروه خود ۰/۹۹۸۳ است و در مجموع روزهای متعلق به آن، دارای بالاترین همبستگی (۰/۹۹۹۸) نسبت به سایر تیپ‌ها هستند و همگن‌ترین تیپ منطقه به‌شمار می‌رود (جدول شماره‌ی ۶). از نظر درصد فراوانی سالانه، این تیپ نوسان چندانی نداشته و به‌طور معمول، در هر سال با شدت کمابیش یکنواخت رخ می‌دهد. منتها یک روند فزاینده‌ی بسیار آرام در آن مشاهده می‌شود. از بارزترین ویژگی این تیپ، وزش بادهای شمال‌غربی با تندی بسیار زیاد است. به‌همین دلیل این تیپ هوا، پُربادترین تیپ هوا به‌شمار می‌رود. بادهای محلی سیستان (باد ۱۲۰ روزه) نیز در زمان حاکمیت آن روی می‌دهد. از لحاظ میانگین متغیرهای دمایی بسیار گرم و طاقت‌فرسا بوده، به‌گونه‌ای که بیشینه‌ی دمای روزانه فراتر از ۴۰ درجه‌ی سلسیوس است. کمبود رطوبت جوئی نیز، سبب می‌شود تا وزش بادهای گرم و خشک شرایط را بسیار سخت‌تر کند. بارش پدیده‌ای است که هیچ‌گاه در این تیپ هوا روی نداده است یا به‌گفته‌ای، پدیده‌ای بیگانه با این تیپ هوا است. فقدان بارش در غالب‌ترین تیپ هوای منطقه، تمرکز شدید بارش را نشان می‌دهد (جدول شماره‌ی ۵).

### ۶- تیپ هوای خیلی سرد، آرام و کم‌بارش

شرایط هوایی خیلی سرد، کم‌بارش و کمابیش آرام در اقلیم منطقه، به‌طور معمول از اوایل آذر شروع، در دی ماه به اوج خود رسیده و در اواسط بهمن ناپدید می‌شود. در برخی از موارد و به‌ویژه در سال‌های سرد، دوره‌ی فعالیت این تیپ هوا تغییر کرده، به‌گونه‌ای که کمی زودتر آغاز و دیرتر ناپدید می‌شود. فراوانی رخداد این تیپ هوا ۱۱ درصد بوده که جزء تیپ‌های اقلیمی کم‌رخداد تلقی می‌شود. این تیپ هوا، به‌مانند تیپ بسیار گرم و خشک، بدون بارش و پُرباد، به‌شدت متمرکز بوده و از نظر اوج فراوانی دارای توزیع زنگدیس است، اما برخلاف تیپ بسیار گرم و خشک، بدون بارش و پُرباد، دارای نظام زمستانه‌ای است. بر اساس روش همبستگی بهترین روز نماینده‌ی این تیپ، روز ۱۳۷۳/۱۰/۲۱ شمسی است. متوسط همبستگی این روز با دیگر روزهای هم‌گروه خود ۰/۹۹۸۷ است و در مجموع روزهای متعلق به این تیپ هوا دارای همبستگی ۰/۹۹۷۵ با همدیگر بوده و از همگنی معناداری برخوردار هستند (جدول شماره‌ی ۶). از نظر فراوانی رخداد سالانه، این تیپ هوا به‌شدت روند کاهنده را می‌پیماید. در زمان حاکمیت این تیپ هوا در منطقه، تندی باد به‌شدت

کاهش یافته و شرایط آرام و بدون باد برقرار می‌شود. از سوی دیگر، جهت باد نیز تغییر چشمگیری کرده و به‌طور عمده با‌ها از شمال و شمال شرقی می‌وزند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تیپ‌های هوایی که شرایط بسیار سرد را در منطقه‌ی سیستان پدید می‌آورند، از جریان با‌های سامانه‌ی فشار زیاد سیبری منتج می‌شوند. میانگین متغیرهای دمایی در این تیپ هوا به‌شدت پایین بوده و شرایط بسیار سرد را به‌وجود می‌آورند. از سوی دیگر، میانگین دمای نقطه‌ی شبنم نیز کمینه بوده و ریزش‌های بسیار اندک و گاهی از نوع برف نیز، از ویژگی‌های این تیپ هوا به‌شمار می‌رود. هرچند، بیشتر اوقات هوا سرد و خشک است (جدول شماره‌ی ۵).

جدول ۵. میانگین متغیرهای اقلیمی در تیپ‌های هوای حاکم بر منطقه‌ی سیستان

شماره تیپ	سرعت باد متوسط	جهت تندترین باد	سرعت تندترین باد	دمای خشک	میانگین دمای تر	کمینه دمای روزانه	روانه	پیشینه دمای	شانه روزی	میانگین دمای نقطه شبنم	میانگین دمای نسبی	میانگین روزانه نم	مقدار بارش	ایستگاه	میانگین فشار دریا	میانگین فشار تراز	میانگین فشار بخار آب
۱	۳/۳	۱۸۹/۶	۸/۱	۱۹/۳	۱۲/۲	۱۰/۱	۲۷/۵	۱۸/۸	۴/۷	۴۳	۰	۹۵۸/۴	۱۰۱۵/۱	۹			
۲	۱۱/۴	۳۰۲/۵	۱۸/۱	۲۷/۵	۱۶/۶	۱۹	۳۴/۸	۲۶/۹	۶/۷	۳۰/۹	۰	۹۵۳/۴	۱۰۰۸/۲	۱۰/۷			
۳	۱۲	۳۲۷/۷	۱۸/۹	۱۳/۱	۷/۴	۶/۶	۱۹/۷	۱۳/۲	-۰/۳	۴۴/۶	۰/۱	۹۶۲/۵	۱۰۲۰/۵	۶/۴			
۴	۸	۳۰۵/۹	۱۵/۱	۱۳/۴	۱۰/۸	۹/۴	۱۸/۳	۱۳/۹	۸/۵	۷۳/۹	۴/۵	۹۵۸/۹	۱۰۱۶/۴	۱۱/۴			
۵	۱۸/۹	۳۳۱/۹	۲۵/۹	۳۳/۶	۱۹/۹	۲۶	۴۰/۵	۳۳/۲	۱۰	۲۵/۲	۰	۹۴۶/۵	۹۹۹/۵	۱۳/۲			
۶	۱/۲	۸۵/۳	۳/۵	۹/۹	۵/۷	۱/۳	۱۷/۵	۹/۴	-۰/۶	۵۲	۰/۱	۹۶۴	۱۰۲۳	۶/۲			

جدول ۶. روز نماینده تیپ‌های هوای منطقه‌ی سیستان

شماره‌ی گروه	سال	ماه	روز	همبستگی روز نماینده	همبستگی درون گروه‌ی	فراوانی	درصد فراوانی
۱	۱۳۶۵	۱۲	۱۶	۰/۹۹۸۳	۰/۹۹۶۷	۱۴۴۶	۱۳
۲	۱۳۷۶	۷	۲۲	۰/۹۹۹۳	۰/۹۹۸۷	۲۲۲۱	۲۱
۳	۱۳۶۸	۸	۲۰	۰/۹۹۹۸	۰/۹۹۹۷	۲۴۰۶	۲۲
۴	۱۳۵۷	۱۰	۲۲	۰/۹۹۹۴	۰/۹۹۸۸	۳۴۰	۳
۵	۱۳۶۸	۵	۲۱	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۸	۳۱۹۱	۲۹
۶	۱۳۷۳	۱۰	۲۱	۰/۹۹۸۷	۰/۹۹۷۵	۱۲۲۱	۱۱

جدول ۷. فراوانی رخداد چهار الگوی گردش تیپ‌های هوای غالب

الگوی گردش تیپ‌های هوای غالب	تیپ‌های هوای منطقه‌ی سیستان					
	۱	۲	۳	۴	۵	۶
A	۴۴/۳	۷۷/۷	۲۶/۴	۳۵/۳	۲۴/۲	۵/۲
B	۲۶/۵	۶	۳۸/۶	۲۹/۱	۱۰/۶	۴۳/۹
C	۲۹/۲	۷/۲	۳۵	۳۵/۶	۱۳	۵۹/۹
D	۰/۱	۹/۲	۰	۰	۵۲/۱	۰

## الگوهای فشار تراز دریا مرتبط با تیپ‌های هوای منطقه‌ی سیستان

اقلیم‌شناسی هم‌دید، عبارت از مطالعه‌ی هم‌زمان همه‌ی عناصر هوای یک مکان و کشف رابطه‌ی آنها با الگوهای پراکنندگی فشار یا گردش هوا است. بنابراین، برای شناخت الگوهای فشار تراز دریا مرتبط با تیپ‌های هوای منطقه‌ی مورد بررسی، از داده‌های فشار تراز دریا در مقیاس روزانه، برای دوره‌ی هم‌زمان با حاکمیت تیپ‌های هوا استفاده شده است. این داده‌ها در آرایش  $1617 \times 10825$  ایجاد و با یک فرایند سلسله‌مراتبی تحلیل خوشه‌ای، چهار الگوی اصلی شناسایی شد. فراوانی رخداد هر الگوی گردشی در رخداد هر تیپ هوا بررسی و بدین‌گونه الگوهای مهم کنترل‌کننده‌ی تیپ‌های هوا شناسایی شدند (جدول شماره‌ی ۷).

### الگوی A

این الگوی گردشی، بیشترین هماهنگی رخداد را با تیپ‌های هوای شماره‌ی ۱، ۲ و ۴ دارد. با وجود این به‌شدت با تیپ هوای گرم و خشک، بدون بارش و بادی هماهنگ است. نمایشی از این الگوی گردشی فشار تراز دریا در شکل شماره‌ی ۱۳ آورده شده است. بارزترین سامانه‌های موجود در این الگو، فشار زیاد سیبری، کم‌فشار سودانی و کم‌فشار کنگ هستند. سامانه‌ی فشار زیاد سیبری، در این الگو چندان قدرتمند نیست و این به مفهوم دوران تضعیف و تشدید آن است. هوای معتدل، نسبتاً بادی و بارش‌مند (تیپ ۴ هوا)، از برقراری سامانه‌ی فشار زیاد سیبری است که در اندرکنش با سایر سامانه‌ها، آرایش متفاوتی دارد. هوای گرم، خشک، بدون بارش، نسبتاً آرام تا بادی (تیپ هوای ۲ و ۱) نیز، حاصل از اندرکنش میان سامانه‌ی موجود در این الگو است. مهم‌ترین آثار این الگو، گرمی و خشکی هوا است که در تیپ‌های هوای ۲ و ۱ پدیدار می‌شود و این وضعیّت حاصل اندرکنش میان سامانه‌های مزبور است.

### الگوی B

این الگوی گردشی از فشار تراز دریا در رخداد، بیشترین هماهنگی را با تیپ هوای ۶ و ۳ دارد. مهم‌ترین مشخصه‌های این تیپ‌های هوا، سردی هوا و کم‌بارش بودن آن است. بنابراین الگوی یاد شده در زمان حاکمیت خود، هوای سرد و کم‌بارش بدون بارش را پدید می‌آورد. در این الگو، سامانه‌ی فشار زیاد سیبری در اوج قدرت قرار دارد و فشار مرکزی آن بیشینه است (شکل شماره‌ی ۱۴). گسترش مداری و تقویّت آن، به سبب نوع آرایش سامانه‌ی فشار کم جنب قطبی است. در این زمان، هوای سرد عرض‌های بالای جغرافیایی در عبور از مناطق خشکی، وارد منطقه‌ی مورد مطالعه شده و سبب سردی هوا و سختی آن می‌شوند. این نوع آرایش از سامانه‌ی فشار زیاد سیبری، نمی‌تواند سبب ایجاد بارش در منطقه‌ی مورد مطالعه شود و به همین دلیل میزان بارش در آن اندک است. بارش اندک موجود در این تیپ‌های هوا، نتیجه‌ی تقویّت سامانه‌های غربی توسط فشار زیاد سیبری است، و گرنه جریان شمال شرقی از سیبری، به دلیل کسری رطوبت، توانایی ایجاد بارش را ندارد.

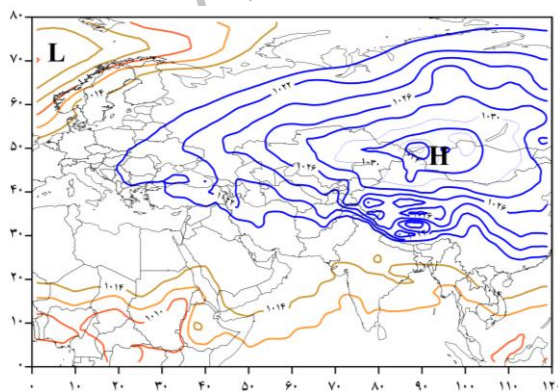
### الگوی C

این الگوی گردشی فشار تراز دریا، با تیپ‌های هوای شماره‌ی ۶، ۴ و ۳، بیشترین هماهنگی رخداد را دارد. مهم‌ترین

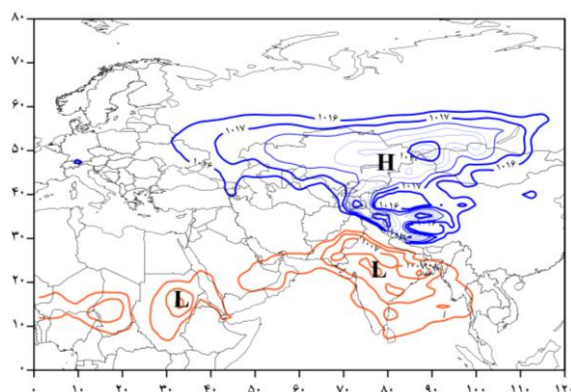
صفات این تیپ‌های هوا، سردی هوا و گاهی بارش است. مهم‌ترین سامانه‌های موجود در این الگوی گردشی، سامانه‌ی فشار زیاد سیبری، فشار کم جنب قطبی و فشار زیاد هستند. تقویت سامانه‌ی فشار کم جنب قطبی و گسترش فضایی آن در جهت مداری و جابه‌جایی آن به سوی عرض‌های جنوبی‌تر، سبب محدود کردن گسترش سامانه‌ی فشار زیاد سیبری به عرض‌های پایین‌تر شده است و این برهم‌کنش میان این دو سامانه، وضعیت آب‌وهوایی خاصی را برای قلمروهای اقلیمی ایران پدید می‌آورد. در این وضعیت، سامانه‌ی پُرفشاری روی شمال‌غرب ایران با آرایش شمال‌غربی - جنوب‌شرقی شکل گرفته است که تقویت فعالیت آن با سامانه‌ی فشار زیاد سیبری در ارتباط است (شکل شماره‌ی ۱۵). برآیند آرایش این سامانه‌ها می‌تواند از دلایل سردی هوا و ایجاد بارش در منطقه‌ی سیستان باشد.

### الگوی D

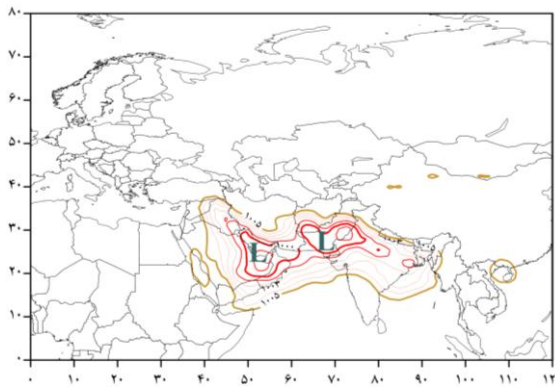
این الگوی گردشی فشار تراز دریا، بیشترین فراوانی رخداد را با تیپ هوای شماره‌ی (۵) دارد. این تیپ هوا دارای مشخصه‌ی هوای بسیار گرم و خشک، بدون بارش و پُرباد است که غالب‌ترین تیپ هوای منطقه‌ی به‌شمار می‌رود و به‌شدت متمرکز بوده و آهنگ رخداد آن از الگوی زنگدیس پیروی می‌کند. نمودی از این الگوی گردشی در شکل شماره‌ی ۱۶ آورده شده است. مهم‌ترین سامانه‌ی موجود در این الگو، سامانه‌ی کم‌فشار گرمایی است که در فصل تابستان بر سطح زمین ایران حاکم و به‌شدت قدرتمند و در اوج است، به این سبب که در جو بالایی، به‌دلیل قرارگیری پُرفشار جنب حاره‌ای، فرونشینی هوا برقرار است؛ هوای سطح زمین فرصت صعود نداشته و خشک و بدون بارش است. بارش‌های ناگهانی در این هنگام، با اوج‌گیری کف پُرفشار جنب حاره‌ای به‌دلایل مختلف، در مکان‌هایی (جنوب‌شرق ایران) رخ می‌دهد که در آن رطوبت به‌اندازه‌ی کافی فراهم است. وزش بادهای شدید نیز از مشخصه‌های حاکمیت این سامانه‌های گردشی در سطح زمین روی منطقه است که سبب مکش جریان هوا، به‌ویژه در نواحی پست (مانند منطقه‌ی مورد مطالعه) می‌شود. این الگوی گردشی، غالب‌ترین الگوی گردشی فشار تراز دریا در دوره‌ی گرم سال و به‌همین سبب، تیپ هوای بسیار گرم و خشک، بدون بارش و پُرباد به‌شمار می‌رود. این الگو از نظر فراوانی رخداد به‌شدت متمرکز است.



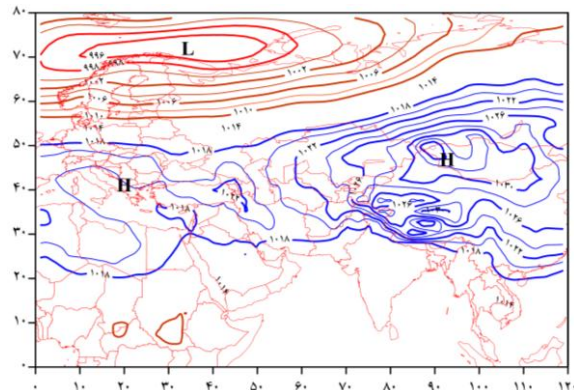
شکل ۱۴. الگوی گردشی نوع B



شکل ۱۳. الگوی گردشی نوع A



شکل ۱۶. الگوی گردشی نوع D



شکل ۱۵. الگوی گردشی نوع C

### بحث و نتیجه‌گیری

نتایج تحلیل مؤلفه‌ی اصلی روی داده‌های عناصر اقلیمی نشان داد که سه مؤلفه‌ی دمایی - رطوبتی، بادی و بارشی، در مجموع با تبیین ۸۷ درصد از پراش داده‌ها، مؤلفه‌های اصلی تأثیرگذار بر اقلیم منطقه‌ی سیستان هستند. بعد از تعیین مؤلفه‌های اصلی، سری زمانی مقادیر مؤلفه‌ها، به‌عنوان ورودی تحلیل خوشه‌ای برای شناسایی تیپ‌های هوای حاکم بر منطقه استفاده شد. اجرای تحلیل خوشه‌ای پابگانی (فاصله‌ای) با روش ترکیب‌ترتیبی روی نمره‌های مؤلفه‌ها، شش تیپ هوای متفاوت را برای اقلیم منطقه‌ی سیستان نشان داد. این تیپ‌های هوا عبارتند از: تیپ هوای گرم، بدون بارش و نسبتاً آرام؛ تیپ هوای گرم و خشک، بدون بارش و بادی؛ تیپ هوای سرد، کم‌بارش و بادی؛ تیپ هوای پُربارش (بارش‌مند)، معتدل و نسبتاً بادی؛ تیپ هوای بسیار گرم و خشک، بدون بارش و پُرباد؛ و تیپ هوای خیلی سرد، آرام و کم‌بارش. بررسی ویژگی‌های تیپ‌های هوا و مقایسه‌ی آنها با یکدیگر، نشان می‌دهد که بارش و سرما در اقلیم منطقه‌ی سیستان، به‌شدت متمرکز بوده و دوره‌ی فعالیت آنها بسیار محدود است. از سوی دیگر، تیپ‌های هوای گرم و خشک، زمان زیادی از سال را در کنترل خود دارند. روند سالانه‌ی تیپ‌های هوا، نشانگر کاهش فراوانی رخداد تیپ‌های خیلی سرد، به نفع افزایش فراوانی رخداد تیپ‌های سرد و کاهش فراوانی رخداد تیپ‌های گرم و خشک به نفع افزایش فراوانی رخداد تیپ‌های بسیار گرم و خشک است. بنابراین نتایج نشان می‌دهد که فصول اقلیمی در منطقه‌ی سیستان در حال تغییر و جابه‌جایی بوده و دوام دوره‌ی بسیار گرم و خشک رو به افزایش است. چهار الگوی اصلی فشار تراز دریا، رفتار و خصوصیت‌های تیپ‌های هوای منطقه‌ی سیستان را کنترل می‌کنند.

### سپاسگزاری

این مقاله حاصل طرح پژوهشی است که با اعتبارات معاونت پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان به انجام رسیده است. بدین وسیله نویسندگان مراتب قدردانی خود را اعلام می‌دارند.

## منابع

- جانسون، ریچارد و ویچرن، دین دبلیو (۱۳۷۹)، **تحلیل آماری چند متغیره‌ی کاربردی**، ترجمه‌ی حسینعلی نیرومند، انتشارات دانشگاه فردوسی، مشهد.
- جعفرپور، ابراهیم (۱۳۷۹)، **مبانی اقلیم‌شناسی**، چاپ دوم، انتشارات پیام نور، تهران.
- خسروی، محمود (۱۳۸۷)، **تأثیرات محیطی اندرکنش نوسان‌های رودخانه‌ی هیرمند با بادهای ۱۲۰ روزه‌ی سیستان**، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، شماره‌ی ۹۱، صص. ۴۸-۱۹.
- خسروی، محمود و نظری پور، حمید (۱۳۸۹)، **کاربرد تحلیل خوشه‌ای در شناسایی ویژگی‌های روزهای بارشی (ایستگاه خاش)**، مجله‌ی فضای جغرافیایی، شماره‌ی ۳۱، صص. ۹۰-۶۵.
- علیجانی، بهلول (۱۳۸۱)، **اقلیم‌شناسی سینوپتیک**، انتشارات سمت، تهران.
- علیجانی، بهلول (۱۳۸۲)، **نواحی دمای ایران به روش تحلیل خوشه‌ای**، مجله‌ی علوم انسانی دانشگاه تربیت معلّم، شماره‌ی ۳-۲، صص. ۸۷-۱۰۲.
- محمدی، بختیار و مسعودیان، سید ابوالفضل (۱۳۸۶)، **ارتباط تیپ‌های همدید ایستگاه سنندج با الگوهای گردشی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال**، مجله‌ی جغرافیا و توسعه، شماره‌ی ۹، صص. ۵۶-۳۹.
- مسعودیان، سید ابوالفضل (۱۳۸۲)، **نواحی اقلیمی ایران**، جغرافیا و توسعه، شماره‌ی ۲، صص. ۱۸۴-۱۷۱.
- مسعودیان، سید ابوالفضل (۱۳۸۴)، **شناسایی تیپ‌های همدید اصفهان**، طرح پژوهشی دانشگاه اصفهان.
- مسعودیان، سید ابوالفضل (۱۳۸۴)، **شناسایی رژیم‌های بارش ایران به روش تحلیل خوشه‌ای**، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره‌ی ۵۲، صص. ۶۱-۴۷.
- مسعودیان، سید ابوالفضل (۱۳۸۸)، **نواحی بارشی ایران**، جغرافیا و توسعه، شماره‌ی ۱۳، صص. ۷۹-۹۱.
- مسعودیان، سید ابوالفضل و عطایی، هوشمند (۱۳۸۴)، **شناسایی فصول بارشی ایران به روش تحلیل خوشه‌ای**، مجله‌ی پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان، شماره‌ی ۱۸، صص. ۱۲-۱.
- نظری پور، حمید و خوشحال، جواد (۱۳۸۶)، **شناسایی تیپ‌های همدید ایستگاه خوریبانک در دوره آماری (۲۰۰۴-۱۹۸۵)**، مجله‌ی نیوار، شماره‌ی ۶۶ و ۶۷، صص. ۳۸-۲۷.
- Alijani, B., 1993, **Thermal Area of Azarbayjan by Cluster Analysis Technical**, the Humanities Science Journal of Teachers Training University, Vol. 2-3, PP. 87-104.
- Alijani, B., 2002, **Synoptic Climatology**, Samt Publication, Tehran, Iran.
- Bacher, J., 1996, **Cluster Analyses**, Munchen, Oldenburg.
- Bissolli, P., Jürgen, G., Nikolai, D., Marcel, W., 2007, **Tornadoes in Germany 1950-2003 and their Relation to Particular Weather Conditions**, Global and Planetary Change, in Press, Vol. 57, PP. 124-138.
- Bunkers, M. J., Miller, J. R., 1996, **Definition of the Climate Regions in the Northern Plains Using an Objective Cluster Modification Technique**, Journal of Climate, Vol. 9, PP. 130-145.

- Christensen, W.L., 1966, **An Investigation of the Potential of Component Analysis for Weather Classification**, Monthly Weather Review, Vol. 94, PP. 697-709.
- Davis, R. & Kalkestein, L., 1990, **Development of an Automated Spatial Synoptic Climatological Classification**, International Journal of Climatology, Vol. 10, PP. 769-794.
- Fovel, R.G. and Fovel, M. C., 1993, **Cimate Zones of the Conterminous United States Defined Using Cluster Analysis**, Journal of Climate, Vol. 6, PP. 2103-2135.
- Gerstengarbe, F.W., Werner, P.C. and Fraedrich, K., 1999, **Applying Non-Hierarchical Cluster Analysis Algorithms to Climate Classification: Some Problems and their Solution**, Theoretical and Applied Climatology, Vol. 64, PP. 143-150.
- Huth, R., 1996, **An Intercomparison of Computer Assisted Circulation Classification Methods**, International Journal of Climatology, Vol. 16, PP. 893-922.
- Jafarpour, E., 2000, **Principal of Climatology**, Payam noor University, Tehran.
- Johnson, R. A., Vychrn, D. W., 2005, **Applied Multivariate Statistical Analysis**, Translated by Niroomand H., Fourth Printing, Ferdowsi University, Mashhad.
- Kalkstein, L.S., Nichols, M., Barthel, D., Greene, J., 1996, **A New Spatial Synoptic Classification: Application to Air-mass Analysis**, International Journal of Climatology, Vol. 16, PP. 983-1004.
- Kalkstien, L.S., Tan, G. and Skindlov, J.A., 1987, **An Evaluation of Three Clustering Procedures for Use in Synoptic Climatological Classification**, Journal of Applied Meteorology, Vol. 26, PP.717-730.
- Khosravi, M. and Nazaripour, H., 2010, **Identification of Precipitation Types by Cluster Analysis Method (Case study: Khash. Iran)**, Journal of Geography Space, Vol. 31, PP. 65-90.
- Khosravi, M., 2008, **The Environmental Impacts of Hirmand River Interaction and Sistan 120 Days Winds**, Geographical Research Quarterly, Vol. 23, No. 4, PP.48-19.
- Masoodian, S. A., 2009, **Climatic Regions of Iran**, Journal of Geography and Development, No.13, PP. 79-91.
- Masoodian, S. A., 2009, **Zones of Precipitation Iran**, Journal of Geography and Development, No.1, PP. 171-184.
- Masoodian, S.A and Ataei, H., 2005, **Regionalization of Precipitation Seasonal of Iran Using Cluster Analysis**, the Humanities Science Journal, Vol. 1, PP. 1-13.
- Masoodian, S.A., 2005, **Identification of Synoptic Type of Isfahan**, Isfahan University Research Projects, Isfahan.
- Masoodian, S.A., 2005, **Regionalization of Precipitation Regimes of Iran Using Cluster Analysis**, Journal of Research in Geography, Vol. 52, PP. 47-61.
- Mohammadi, B. and Masoodian, S.A., 2007, **The Relationship between Synoptic Climatic Types of Sanandaj Station with Circulation Patterns of 500 hpa**, Iranian Journal of Geography and Development, Vol. 9, PP.39-56.
- Nazaripour, H. and Khoshhal, J., 2007, **Identification Synoptic Type of Khor Biabanak Station (1985-2004)**, The Scientific and Technical Journal of IRIMO (Nivar), No. 66-67, PP. 27-38.

- Nazaripour, H., Khosravi, M., 2011, **Identification of Precipitation Types by Cluster Analysis Method (Case Study: Zahedan. Iran)**, Geography and Environmental Planning, Vol. 40, No.4, PP. 29-44.
- Rainham, D.G., Smoyer-Tomic, K.E., Sheridan, S.C., Burnett, R.T., 2005, **Synoptic Weather Patterns and Modification of the Association between Air Pollution and Human Mortality**, International Journal of Environmental Health Research, Vol. 15, No. 5, PP. 347-360.
- Stat-Soft, 1994, **Statistica**, Vol. 3, Statistics 2, Tulsa: Stat-Soft Technical Support.
- Stull, R., 2000, **Meteorology for Scientists and Engineers**, Brooks/Cole, Second Edition, The University of British, Columbia.

Archive of SID



## *Identification of Synoptic Climate Types in Sistan Area (Zabol Station)*

**Khosravi M.\***

Associate Prof., Dep. of Physical Geography, Sistan and Baluchestan University

**Nazaripour H.**

Assistant Prof., Kerman Graduate University of Technology

Received: 16/03/2011

Accepted: 23/11/2011

### **Extended Abstract**

#### **Introduction**

Within a synoptic weather, the classification of ambient weather conditions into categories is a useful tool for numerous climate impact applications.

Air mass is a large and homogeneous volume of air which is adequately located over a certain area and captured properties of its below area. In order to form air masses, it is necessary that air remains stable in an area for a long period of time. Ultimately, general flows of air make them move. While moving and passing different regions, characteristics of air masses are changed, modified and also transformed into another air. A location's climate follows air masses entering to that region and, reflects geographical conditions of that location. One of the objectives of synoptic climatology is to carry out synoptic categorization or to determine dominant air types (climate) in a location in a year. Air masses are generally categorized based on potential temperature and humidity. However, other criteria are considered as bases for their categorization.

The Sistan basin is located in a arid zone with less than 60mm precipitation. This region in the east of Iran and northern regions of Sistan and Baluchistan Province has special climate that is affected by severe winds and dusty air. This climate distinguishes this region from others in Iran. The region depends on Hirmand river and its embranchments inflows that import more than billions cubic meter waters and can support the survival of Hamoon international wetland and the populations of region.

The occurrence of periodic fluctuations in water inflows and potential climatic, geomorphologic and hydrologic conditions cause the surface to be exposed in winds flows. In Sistan region winds are blown throughout the year, but during the June to September the direction, frequency and intensity of wind blows are more pronounced. This wind is distinguished as 120 days winds and is one of the most famous moderate scale wind systems in the northern hemisphere.

Identifying effective air masses on this region is of considerable importance in order to better plan and make use of available resources in this region. It is because of the fact that by the analysis of its effects on the surface phenomena (e.g. dust), environmental planners would be able to find better ways for decreasing environmental problems. Finally recognizing these relationships allows us to predict many environmental accidents in order to, at least, decrease

\*E-mail: [Khosravi@Gep.usb.ac.ir](mailto:Khosravi@Gep.usb.ac.ir)

their harmful effects by these predictions.

### Methodology

In this paper, to identify the prevailing air masses in the North of Sistan and Baluchestan province (East of Iran), daily data of 14 climatic variables of Zabol weather station were used. The data were considered against atmospheric variables and utilized as a P matrix from 21/03/1975 till 20/03/2005. At first, to explore the major source of variance in climatic variables in the region, a Principle Component Analysis (PCA) was applied to the Z scores of primary data in a 10825\*14 cells matrix. Findings showed that three principle components (Thermal-humidity, Wind and precipitation) could account for 87 percent of data variances and were selected as the most effective factors. Then, the principle components matrix was used as input variables in a cluster analysis for identifying prevailing climatic conditions of the region. Principal Component Analysis (PCA) involves a mathematical procedure that transforms a number of (possibly) correlated variables into a (smaller) number of uncorrelated variables called principal components. The first principal component accounts for as much of the variability in the data as possible, and each succeeding component accounts for as much of the remaining variability as possible. To obtain classes from a PCA, the component scores can be grouped via cluster analysis. A common procedure involves hierarchical clustering. HCA is a technique of choice for exploring and visualizing large data sets. HCA consists in calculating the dissimilarity, usually called the distance, between the individuals with one individual corresponding generally to one column of the data matrix.

### Results and Discussion

The Hierarchical Clustering Analysis (HCA) with sequential combination methods have been applied to components scores and findings showed six various air masses in climatic regimes of region. These air masses are:

- a) warm, without precipitation and relatively quiet;
- b) dry, warm, no precipitation and windy;
- c) cold, dry and windy air mass;
- d) high precipitation, temperate and relatively windy;
- e) very warm, dry, no precipitation and severe windy air mass;
- f) very cold, quiet and less precipitation air mass.

Characteristics of air masses and their comparison with each other showed that precipitation and cooling in the region were heavily concentrated and the period of their activities were very limited. On the other hand, warm and dry air masses controlled a large part of times in a year.

### Conclusion

The study of characteristics of Zabol weather showed that precipitation and cooling in regional climatic condition of Sistan area are highly concentrated and the period of their activities is very

limited. On the other hand, the warm and dry weather types prevail during the large part of the year. The analysis of annual trends of air masses occurrence indicated that the frequency of very cold events was reduced while the recurrence of cold air masses increased. In addition, the warm and dry air masses frequency was limited by dominating the very warm and dry air masses. Consequently, the climatic seasons in the North of Sistan and Baluchistan Province was changing and shifting and the duration of very warm and dry period was increasing.

The four major patterns of sea level pressure are controlled by the interactions and characteristics of Sistan region weather types.

**Keywords:** *Air Mass, Principal Component Analysis, Cluster Analysis, Sistan, Iran.*

Archive of SID