

## شناسایی تیپ‌های هوای ایستگاه همدید اراک

جلیل باقری\*

\*کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی دانشگاه اصفهان

### چکیده

هدف ما در این مقاله شناسایی و بررسی تیپ‌های هوای ایستگاه همدید اراک می‌باشد. در این پژوهش از داده‌های روزانه ۱۸ متغیر اقلیمی شامل دمای خشک در ساعات (۰۳-۰۹-۱۵)، دمای تر در ساعات (۰۳-۰۹-۱۵)، نم نسبی در ساعات (۰۳-۰۹-۱۵)، سرعت باد (۰۳-۰۹-۱۵)، سمت باد (۰۳-۰۹-۱۵)، ارتفاع بارش روزانه، دمای کمینه و دمای بیشینه از تاریخ ۱۳۶۳/۱/۱ تا ۸۲/۱۲/۲۹ به مدت ۲۰ سال برای ایستگاه اراک استفاده شده است. ابتدا پایگاه داده‌ها از متغیرهای مورد بررسی در نرم افزار **MATLAB** ایجاد شده است. این پایگاه داده شامل رخدادهایی بود که مقدار متغیرهای مورد بررسی بطور کامل در آن ثبت شده بودند. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از یکی از حالات بردار ویژه به نام حالت **p** برای تیپ‌بندی استفاده شده است. در واقع آرایش **p** آرایشی از ماتریس پایگاه داده است که متغیرهای جوی بر روی ستون‌ها و روزها بر روی سطرها فراهم شده است. سپس داده‌ها استاندارد سازی گردید، در این صورت هر کدام از متغیرها سهم برابری در تیپ‌بندی خواهند داشت. در مرحله بعد بر روی مقادیر استاندارد شده یک تحلیل خوشه‌ای به روش ادغام «وارد» انجام گرفت و دارنمای آن ترسیم شد و با برش دارنما، از فاصله اقلیدوسی، ۴ تیپ اصلی بدست آمد، تیپ گرم و خشک

یکپارچه‌ترین، بادوام‌ترین، غالب‌ترین و همگن‌ترین تیپ است و در سالهای اخیر رو به رشد بوده است. تیپ سرد و مرطوب ناهمگن‌ترین و پرظهورترین تیپ است. تیپ معتدل سازگارترین، کم دوام‌ترین و پراکنده‌ترین تیپ است. تیپ بسیار سرد و بارش‌مند کم‌ظهورترین و بالاترین دوره انتظار را برای ظهور مجدد دارد و در سالهای اخیر کاهش نسبی داشته است. در مجموع حاکمیت تیپ‌های هوای اراک نشان دهنده حاکمیت فصول اقلیمی می باشند. برای هر تیپ بدست آمده پیاپی، رخداد، رخداد، تنوع، روز نماینده و دوره زمانی فعالیت آنها در دو دهه گذشته مورد بررسی قرار گرفت تا تغییرات فراوانی تیپ‌های هوا در این دو دهه مشخص شود.

واژه های کلیدی : اقلیم‌شناسی همدید، تیپ هوا، تحلیل خوشه‌ای .

## Identification of Weather Types in Arak Station

J. Bagheri

Climatological Department, the University of Isfahan

### Abstract

In this paper, the main aim is the identification of weather types in Arak station. In this study we used 18 daily climatology variables including dry temperature between hours(15-09-03), wet bulb between hours(.....), relative humidity(.....), wind speed(.....), wind direction(.....), daily precipitation amount, max and min temperature during the years of 1984/3/21 to 2004/3/19 in 20 years, two decades, for Arak station. At first a data base was provided in MATLAB software. This data base consisted of all the events whose number of variables was recorded in it. For data analysis, one of the shapes eigenvector named P was used for typing. In fact P arrangement is an arrangement of data matrix on which the climate variables are shown on columns and days on lines. Then the data were standardized so that each of the variables has an equal share in typing. At the end, on the standardized data, a cluster analysis with the method of Ward link was carried on. Then a total dendrogram for station was drawn. With regard to the main dendrogram for Arak station, four main types were obtained. The type of warm and dry are the most frequent, most enduring, most dominant and the most homogeneous; it has grown in the recent years. The type of cold and humid is the most frequent and the most heterogeneous. The moderate type is the most harmonious, the least lasting and the most sporadic. The very cold and raining type is the least frequent and has the longest period of waiting for recurrence. In recent years, rainfall has occurred relatively. On the whole, the dominance of weather types has been illustrative

of the dominance of various climatic seasons. Then for each type, frequency, occurrence, nonoccurrence, diversity, day representative and time period in the last two decades have been investigated so that frequency of weather type changes becomes known.

**Key Words:** Synoptic climatology, weather typing, cluster analysis.

#### ۱- مقدمه

غالب آن در دراز مدت) را عملاً به کار می‌بندد. همچنین با استفاده از این روش مفهوم فصول چهارگانه هویت واقعی خود را از دست می‌دهند (علیجانی: ۱۳۸۱: ۱۹۰). ساتکلیف<sup>۲</sup> (۱۹۵۲) هدف اقلیم‌شناسی همدید را کسب تصویر سه بعدی جامع و همزمان از شرایط اتمسفر در یک مکان خاص بیان کرد (علیجانی: ۱۳۸۱: ۵). هیرشبوئیک<sup>۳</sup> (۱۹۸۷) نقشه‌های هوای ۲۱ طغیان شدید رودخانه‌ای آمریکا را بررسی و الگوهای همدید سطح زمین و سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال هریک از طغیانها را مشخص کرده‌است (علیجانی، ۳۸۱: ۲۱۰). کالکستین<sup>۴</sup> و وبر<sup>۵</sup> (۱۹۹۰) به کمک تیپ‌بندی همدید روابط میان گردش‌های جوی و آلودگی هوا در شش نقطه ایالات یوتا، نوادا و آریزونا را ارزیابی کردند. استدلال ایشان این بود که اگر شرایط همدید واحدی در شش نقطه بطور همزمان باعث کاهش دید افقی شده باشد محتمل نیست که یک چشمه‌ای نقطه‌ای را مسئول این پدیده بدانیم. مطالعه جامع آنها نشان داد که علت افت دید افقی در گراند کانیون را باید به یک عامل

یکی از اهداف اصلی اقلیم‌شناسی همدید، طبقه بندی هوا یا تعیین هوای غالب یک مکان در طول سال است. در واقع طبقه‌بندی هوا بدنبال کشف ماهیت و تغییرات گردش‌های جوی در طول زمان است و به تغییرات مکانی توجه چندانی ندارد. با استفاده از روش خوشه‌بندی، تحلیل عاملی یا تحلیل مؤلفه‌مبنا می‌توان هواهای حاکم بر مکان را طی دوره‌ای طولانی گروه‌بندی کرد و دوره‌های اقلیمی را شناسایی کرد. طبقه‌بندی رایانه‌ای اهداف خاص خود را دارند که یکی از آنها تولید طبقات همدید تکرارپذیر است. دومین هدف طبقه‌بندی رایانه‌ای صرفه‌جویی در وقت کم کردن زحمت محقق است. سومین هدف طبقه‌بندی رایانه‌ای دمیدن روح برون‌سویی در تحقیق است (یارنال<sup>۱</sup>، ۱۳۸۵: ۱۴). هدف اصلی روش خوشه‌بندی، ایجاد گروهها و طبقاتی است که تنوع و تفرق درون‌گروهی آنها کمتر از تفرق و پراکنش بین گروهی باشد. اعمال این روش نشان می‌دهد که می‌توان توده‌های هوای حاکم بر یک منطقه را در طول سال یا چند دهه تعیین کرد. این روش در واقع تعریف (اقلیم هر محل عبارت‌است از هوای

2- Satecliyfe  
3 - Hirschboeck  
4 - Kalkstien  
5 - Weber

1 - Yarnal

زاده (۱۳۷۲) در رساله دکتری خود تحت عنوان بررسی نوسانات فشار زیاد جنب حاره در تغییر فصل ایران به بررسی سینوپتیکی پرفشار جنب حاره پرداخته است و معتقد است که تغییرات ریزش‌های جوی در ایران به نوسانات این مؤلفه (پرفشار جنب حاره) مربوط می‌شود. ترابی (۱۳۸۰) طی مقاله‌ای با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای، ایران را به پنج قلمرو اقلیمی (خزری، سرد کوهستانی، گرم نیمه خشک، گرم خشک و گرم خشک ساحلی) طبقه‌بندی کرد. عطائی (۱۳۸۳) در رساله دکتری خود تحت عنوان پهنه‌بندی نواحی بارش ایران با استفاده از روش‌های آماری (تحلیل مؤلفه‌های اصلی، تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای) پهنه‌بندی نواحی بارشی ایران را انجام داد و به مقایسه نتایج حاصل از هر کدام پرداخت، وی برای ایران هفت پهنه بارشی به روش تحلیل خوشه‌ای بدست آورد. مسعودیان (۱۳۸۴) طی مقاله‌ای رژیم‌های بارشی ایران را به روش تحلیل خوشه‌ای مورد مطالعه قرار داد و ۱۲ رژیم بارشی مختلف را برای ایران شناسایی و قلمرو هر یک را مشخص کرد. مسعودیان (۱۳۸۶) نُه تیپ هوا را در اصفهان شناسایی کرد. قاسمی (۱۳۸۷) در رساله خود با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای به شناسایی تیپ‌های هوای منطقه‌ای اقلیمی خزری پرداخت. مصطفایی (۱۳۸۷) به شناسایی تیپ‌های هوای منطقه‌ای اقلیمی خوزستان پرداخت.

منطقه‌ای منتسب کرد نه یک عامل محلی. ایشان در یافتند که در هیچ یک از تحلیل‌های آنها دلایلی که نشان دهنده نقش نیروگاه ناواجو در آلودگی گران کانیون باشد وجود ندارند (پارنال، ۱۳۸۵: ۱۱۴). کالکستاین و همکاران (۱۹۹۸: ۱۲۳۵) برای بررسی تغییرات اقلیمی از روش تحلیل توده‌های هوا بهره برده‌اند. ایشان بر این باورند که تحلیل فراوانی توده‌های هوا نسبت به تحلیل روند متغیرهای اقلیمی ابزار سودمندتری برای تبیین تغییرات اقلیمی است. شریدان<sup>۱</sup> (۲۰۰۳: ۴۳) رابطه قوی بین تیپ‌های هوای آمریکای شمالی و شاخص‌های پیوند از دور (نوسان اطللس شمالی *NAO* و اقیانوس آرام - آمریکای شمالی *PNA*) یافته است. مورابیتو<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۶: ۵۶) به روش همدید به بررسی رابطه بین تیپ‌های هوای زمستانه فلورانس ایتالیا با بروز حمله قلبی پرداختند و نشان دادند که هر چند به دلایل محدودیت‌های روش شناختی نمی‌توانند یافته‌های خود را به دیگر مناطق جغرافیایی تعمیم دهند اما بنظر می‌رسد بین تیپ‌های هوا و رخداد سکتة قلبی در فلورانس ارتباط آماری وجود دارد. بیسولی<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۶: ۱۳) پس از مطالعه تیپ‌های هوا در آلمان و مقایسه آن با رخداد توفند نتیجه می‌گیرند که بین فراوانی روزهای توفندی و تیپ هوا وابستگی معناداری وجود دارد. حجازی

1 - Sheridan  
2 - Morabito  
3 - Bissolli

انجام گیرد یک تیپ هوا در برگیرنده روزهایی است که از هوای همانندی برخوردار بوده‌اند. ظهور یک تیپ هوا در یک محل معین از یک سو به توده هوایی بستگی دارد که به محل وارد شده و از سوی دیگر بازتاب شرایط جغرافیایی (ناهمواری، همسایگی با توده‌های آب، ...) آن محل است. چون شرایط جغرافیایی محل معمولاً ثابت است تفاوت تیپ‌های هوای که در یک محل یکی پس از دیگری می‌آیند و می‌روند تابع توده‌های هوایی است که به محل وارد می‌شوند. بنابر این بین سری زمانی (زیج) تیپ‌های هوای یک محل با توده هوایی که منطقه بزرگی شامل محل مورد نظر را می‌پوشاند ارتباط وجود دارد. بر اساس همین منطق است که در ادبیات اقلیم‌شناسی پس از تحلیل ایستگاهی تیپ‌های هوا در بُعد زمانی، تحلیل مکانی تیپ‌های هوا جای خود را باز کرده است کالکستاین و همکاران (۱۹۹۶: ۹۸۳).

بر اساس آنچه گفته شد برای شناسایی تیپ‌های هوا باید آن دسته از متغیرهای جوی را به کار گرفت که نماینده شرایط دمایی، رطوبتی و پوششی جو باشند. از میان متغیرهای مختلفی که در ایستگاه همدید اراک اندازه‌گیری می‌شوند ۱۸ متغیر برگزیده شد که فهرست آنها در جدول ۱۰ آمده است. مقدار این ۱۸ متغیر از ۱۳۶۳/۱/۱ تا ۸۲/۱۲/۲۹ در آرایه‌ای با آرایش  $P$  (متغیرهای جوی بر روی ستون‌ها و

رزمجویی (۱۳۸۷) در رساله خود با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای به شناسایی تیپ‌های هوای منطقه-ای اقلیمی مرکزی ایران پرداخت. کریمی (۱۳۸۷) در رساله خود با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای به شناسایی تیپ‌های هوای منطقه‌ای اقلیمی عمان ایران پرداخت. باقری (۱۳۸۷) در رساله خود با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای به شناسایی تیپ‌های هوای منطقه‌ای اقلیمی کوهستانی ایران پرداخت.

## ۲- داده‌ها و روش شناسی

توده هوا حجم بزرگ و یکپارچه‌ای از هواست که به اندازه کافی بر روی سطحی معین استقرار داشته و خصوصیات سطح زیر خود را کسب کرده است (استال، ۲۰۰۰: ۲۵۲). توده‌های هوا را معمولاً بر حسب دو متغیر طبقه‌بندی می‌کنند: دمای بالقوه و رطوبت. طبق تعریف مقدار این دو متغیر در سراسر یک توده هوا کم و بیش یکدست است. با این حال معیارهای دیگری نیز مبنای طبقه‌بندی توده‌های هوا قرار می‌گیرند که از آن جمله اند: دید افقی، غلظت گرد و غبار، غلظت گرده گیاهان، غلظت آلاینده‌ها، غلظت مواد رادیواکتیو، غلظت هستک‌های چگالش، ابرناکی، پایداری ایستا و تلاطم (استال، ۲۰۰۰: ۲۵۳).

یک تیپ هوا نماینده هواهایی است که از نظر متغیرهای جوی متمایز، به اندازه کافی همانند یکدیگرند. اگر تحلیل تیپ‌های هوا در بازه روزانه

روزها بر روی سطرها) فراهم شد. بنابراین آرایه  $۱۸ * ۷۳۰۴$  حاصل گردید.

جدول (۱) فهرست داده‌های پایه برای شناسایی تیپ‌های هوای ایستگاه اراک

ردیف	نماد	شرح	یکا
۱	DRY03	دمای خشک ساعت سه GMT (ساعت ۶/۵ محلی)	درجه سلسیوس
۲	DRY09	دمای خشک ساعت نه GMT (ساعت ۱۲/۵ محلی)	درجه سلسیوس
۳	DRY15	دمای خشک ساعت پانزده GMT (ساعت ۱۸/۵ محلی)	درجه سلسیوس
۴	WET03	دمای تر ساعت سه GMT (ساعت ۶/۵ محلی)	درجه سلسیوس
۵	WET09	دمای تر ساعت نه GMT (ساعت ۱۲/۵ محلی)	درجه سلسیوس
۶	WET15	دمای تر ساعت پانزده GMT (ساعت ۱۸/۵ محلی)	درجه سلسیوس
۷	MAXDT	بیشینه دمای روزانه (دمای روز هنگام)	درجه سلسیوس
۸	MINDT	کمینه دمای روزانه (دمای شب هنگام)	درجه سلسیوس
۹	RRRMD	ارتفاع بارش روزانه	میلیمتر
۱۰	RHM03	درصد نم نسبی ساعت سه GMT (ساعت ۶/۵ محلی)	درصد
۱۱	RHM09	درصد نم نسبی ساعت نه GMT (ساعت ۱۲/۵ محلی)	درصد
۱۲	RHM15	درصد نم نسبی ساعت پانزده GMT (ساعت ۱۸/۵ محلی)	درصد
۱۳	M03	سرعت باد در ساعت سه GMT (ساعت ۶/۵ محلی)	گره
۱۴	M09	سرعت باد در ساعت نه GMT (ساعت ۱۲/۵ محلی)	گره
۱۵	M15	سرعت باد در ساعت پانزده GMT (ساعت ۱۸/۵ محلی)	گره
۱۶	A03	سمت باد در ساعت سه GMT (ساعت ۶/۵ محلی)	درجه
۱۷	A09	سمت باد در ساعت نه GMT (ساعت ۱۲/۵ محلی)	درجه
۱۸	A15	سمت باد در ساعت پانزده GMT (ساعت ۱۸/۵ محلی)	درجه

$STND_{ij}$  مقدار استاندارد شده متغیر  $j$  ام در روز  $i$  ام؛  
 $Data_{ij}$  مقدار متغیر  $j$  ام در روز  $i$  ام؛  $Min_j$  مقدار  
 کمینه متغیر  $j$  ام؛  $Max_j$  مقدار بیشینه متغیر  $j$  ام  
 (مسعودیان: ۱۳۸۶).

پس از استانداردسازی سطرهایی که دارای نبود آماری بودند (ولو بر روی یک متغیر) از آرایه حذف شدند و به این ترتیب آرایه نهایی  $۱۸ * ۷۲۴۴$  بدست آمد. این آرایه مبنای محاسبه فواصل اقلیدسی قرار گرفت.

چون داده‌ها دارای یکاهای مختلفی هستند پیش از انجام تحلیل انجام استانداردسازی ضروری است تا وزن همه متغیرها در تفکیک تیپ‌های هوا یکسان باشد. چون در اینجا هدف ما تنها هم وزن کردن متغیرها بود از رابطه زیر برای استاندارد سازی بهره بردیم:

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

تحلیل خوشه‌ای را می‌توان به شیوه‌های مختلفی اجرا کرد. برای محاسبه درجه همانندی روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است که برخی از آنها عبارتند از: فاصله اقلیدسی، فاصله همبستگی، فاصله همینگ، فاصله ماهالانویس، فاصله مینکوسکی، فاصله کوسینوسی، فاصله بلوک‌شهری، فاصله جاکارد و فاصله چیشف.

روشن است که برای  $n$  مشاهده  $\frac{n(n-1)}{2}$  فاصله قابل محاسبه است. فرض کنید  $x_r$  بردار مشاهدات بر روی  $r$  و  $x_s$  بردار مشاهدات بر روی  $s$  باشد در این صورت فواصل یاد شده در بالا طبق جدول ۱۱ محاسبه می‌شوند.

جدول (۲) روش‌های محاسبه فواصل (مسعودیان: ۱۳۸۶)

$d_{rs}^2 = (X_r - X_s)(X_r - X_s)'$	فاصله اقلیدسی
$d_{rs}^2 = (X_r - X_s)D^{-1}(X_r - X_s)'$	فاصله اقلیدسی (فاصله اقلیدسی استاندارد شده)
	در اینجا $D^{-1}$ ماتریسی قطری است که شامل پراش متغیرهاست.
$d_{rs}^2 = (X_r - X_s)V^{-1}(X_r - X_s)'$	فاصله ماهالانویس
	در اینجا $V^{-1}$ ماتریس همپراش است.
$d_{rs} = \sum_{j=1}^n  x_{rj} - x_{sj} $	فاصله بلوک شهری
$d_{rs} = \left\{ \sum_{j=1}^n  x_{rj} - x_{sj} ^p \right\}^{\frac{1}{p}}$	فاصله مینکوسکی

همانندی باید شیوه‌ای برای ادغام داده‌هایی که بالاترین همانندی را نشان داده‌اند بکار برد. در مطالعات اقلیم-شناختی بیشتر از روش ادغام وارد استفاده می‌شود زیرا در این صورت میزان پراش درون‌گروهی به حداقل می‌رسد و همگنی گروه‌های حاصله به حداکثر می‌رسد. یکی از

چون قبل از انجام دسته‌بندی هیچ ایده‌ای درباره تعداد تیپ‌های هوا وجود ندارد انجام تحلیل خوشه‌ای برای شناسایی تیپ‌های هوا ضروری است. در این صورت مثلاً  $k$  متغیر متعلق به یک روز ( $t_1$ ) با  $k$  متغیر متعلق به روزی دیگر ( $t_2$ ) تک تک با یکدیگر مقایسه می‌شوند تا درجه همانندی آنها با یکدیگر آشکار شود. سپس تمامی  $t$  ها برحسب درجه همانندی با یکدیگر خوشه می‌شوند.

بنابراین در یک تحلیل خوشه‌ای دوگام اساسی وجود دارد: گام اول محاسبه درجه همانندی افراد با یکدیگر است و گام دوم چگونگی ادغام افراد برحسب درجه همانندی آنها با یکدیگر. بسته به روشی که برای محاسبه درجه همانندی و چگونگی ادغام انتخاب می‌کنیم یک

در مطالعات اقلیمی بیشتر برای محاسبه درجه ناهمانندی (همانندی) از فاصله اقلیدسی استفاده می‌شود. در مواردی که مقیاس اندازه‌گیری متغیرها متفاوت و دارای دامنه‌های مختلفی باشند استفاده از فاصله اقلیدسی استاندارد شده توصیه می‌شود. پس از اندازه‌گیری درجه

دارند از پی هم ظاهر شوند. حتی برخی از تیپ‌های هوا که حد واسط تیپ‌های هوای کاملاً متباین هستند وظیفه گذار را بر عهده می‌گیرند.

## ۲- رخداد و رخنداد

رخداد و رخنداد از ویژگی‌های مهم تیپ‌های هوا می‌باشد. در واقع می‌توان در مقابل ویژگی‌های پایستگی رخداد، ویژگی‌های رخنداد هر تیپ هوا را نیز بررسی کرد. ویژگی‌های رخداد معلوم می‌سازد که در صورت ظهور یک تیپ هوا تا چند روز باید انتظار ماندگاری آن را داشت و ویژگی‌های رخنداد نیز معلوم می‌کند که پس از پایان یک تیپ هوا چه مدت باید سپری شود تا آن تیپ هوا دوباره ظاهر شود. بنابراین واژه رخنداد در مقابل واژه رخداد قرار می‌گیرد.

## ۳-۱- شناسایی تیپ‌های هوای ایستگاه همدید اراک

انجام یک تحلیل خوشه‌ای بر روی آرایه استاندارد ( $std_{7244*18}$ ) و ادغام روزها بر اساس روش وارد نشان داد که اراک دارای چهار تیپ هوای متمایز است (شکل ۱ و شکل ۲).

ایرادهای روش وارد این است که سطح برش تیپ یا طبقات بستگی به نظر محقق دارد. این موضوع سبب طبقه‌بندی گوناگون از نظر محققان مختلف می‌گردد.

در روش وارد گروه‌های  $r$  و  $s$  در صورتی ادغام می‌شوند که افزایش پراش ناشی از ادغام آنها نسبت به ادغام هریک از آنها با دیگر گروه‌ها کمینه باشد یعنی:

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

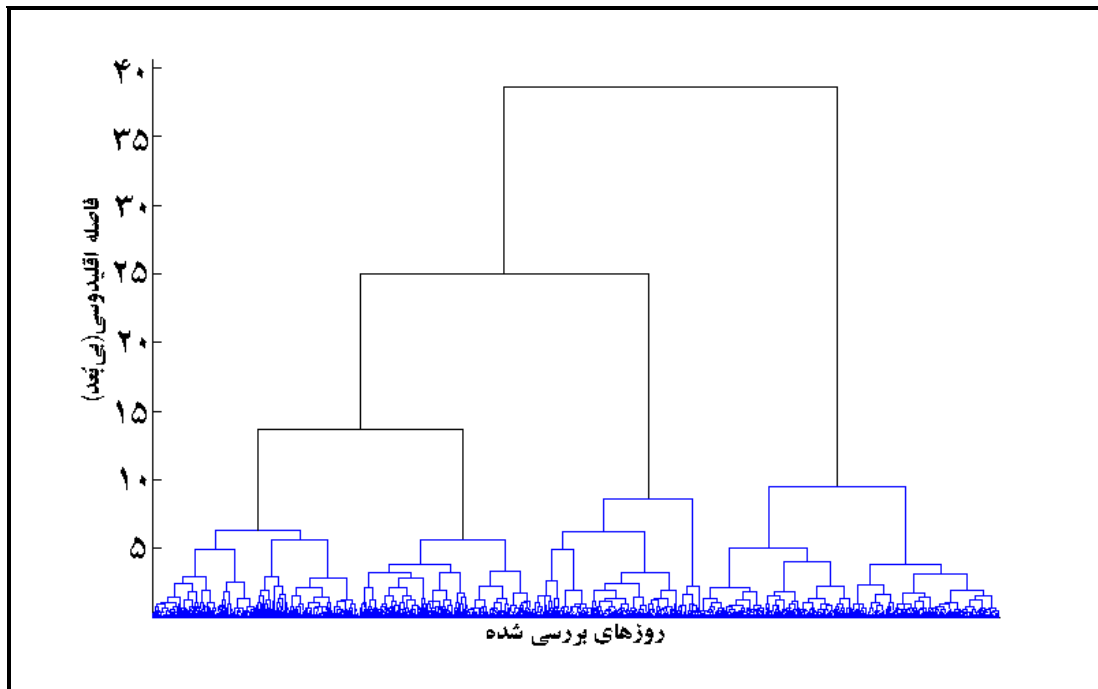
در اینجا  $d_{rs}^2$  فاصله بین گروه  $r$  و گروه  $s$  است که به روش پیوند مرکزی بدست آمده باشد (مسعودیان: ۱۳۸۶).

## ۱- پیایی

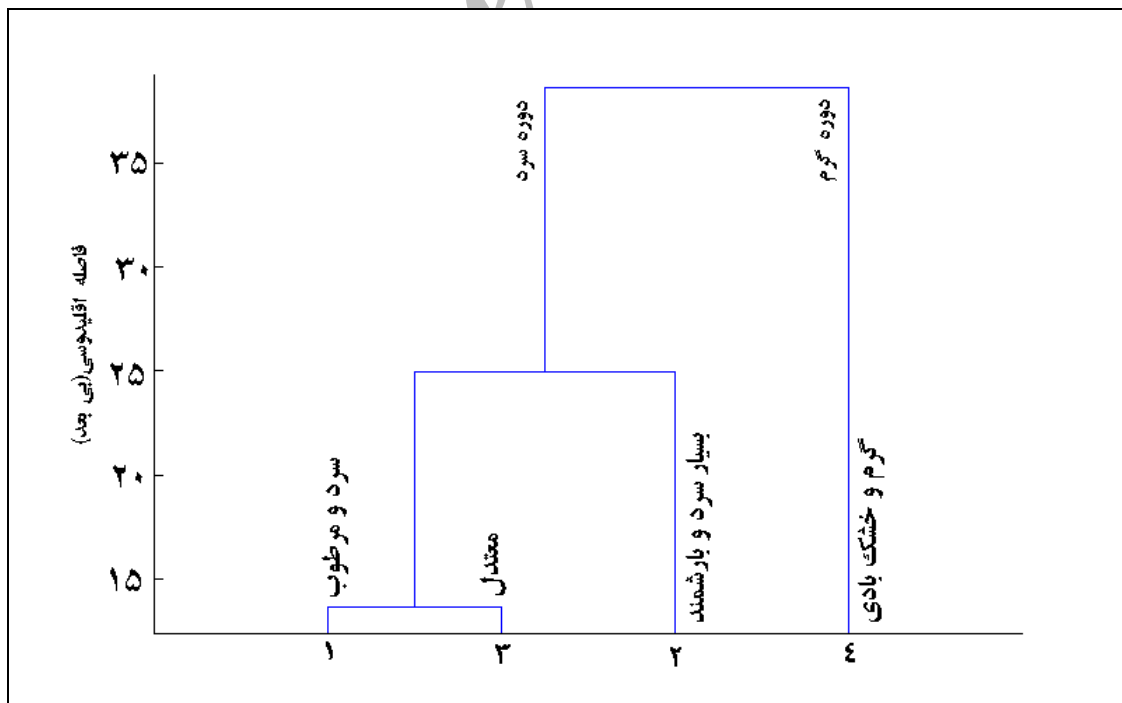
یکی از ویژگی‌های مهم تیپ‌های هوا چگونگی پیایی آنهاست. مقصود از پیایی تعداد دفعاتی است که یک تیپ هوا پس از خود یا پس از یک تیپ هوای دیگر دیده می‌شود. با بررسی پیایی می‌توان تیپ‌های هوای ناسازگار و تیپ‌های هوای پیایند را شناسایی کرد. ویژگی مهم دیگری که با شمارش پیایی تیپ‌های هوا می‌توان تشخیص داد میزان تداوم هر تیپ هوا است. طبیعی است که احتمال مشاهده یک تیپ هوا پس از رخداد همان تیپ هوا بیشتر است زیرا تیپ‌های هوا همانند تمایل



شکل (۱) دارنمای کامل تیپ های هوای ایستگاه اراک



شکل (۲) دارنمای چهار تیپ هوای ایستگاه اراک



جدول (۳) اسامی تیپ های هوای ایستگاه اراک

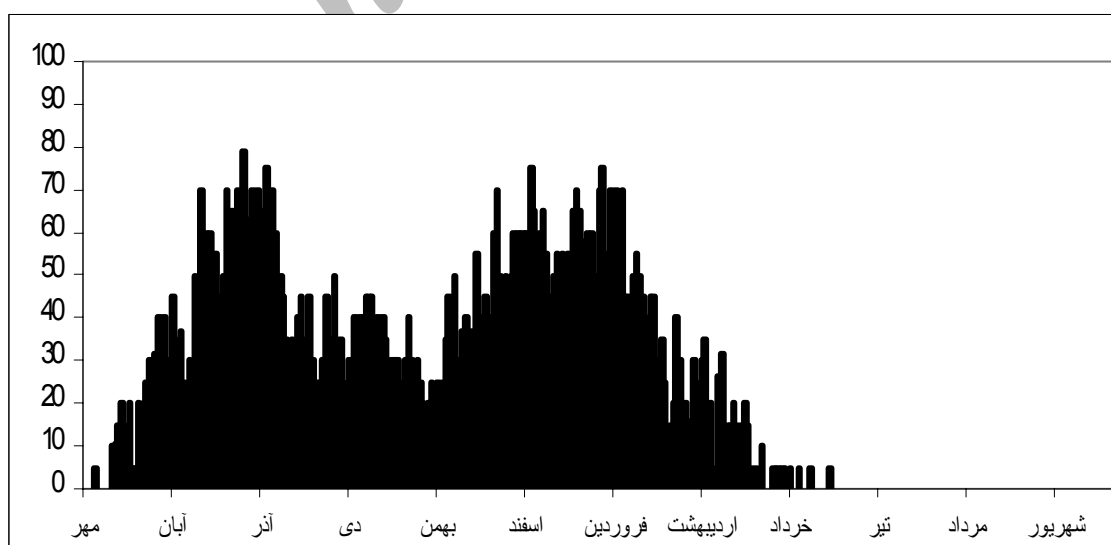
ردیف	نام تیپ هوا	ردیف	نام تیپ هوا
۱	سرد و مرطوب	۳	معتدل
۲	بسیار سرد و بارش مند	۴	گرم و خشک بادی

## ۱- تیپ سرد و مرطوب

این تیپ از اوایل مهر تا نیمه دوم خرداد دیده می-شود. این نوع هوا دو اوج نشان می دهد یک اوج اصلی در ۲۷ آبان و یک اوج فرعی در ۴ فروردین (شکل ۳). این تیپ دومین تیپ هوا از نظر بارش است، زیرا در ۲۶ درصد موارد با بارش همراه است و میانگین بارش در هر روز بارشی نزدیک به ۳/۲mm است (جدول ۷). فراوانی وقوع این تیپ ۲۴ درصد می باشد. میانگین دمای روزانه حدود ۱۴ درجه سلسیوس است که در طول شب به حدود ۱/۵ درجه سلسیوس تغییر می کند. بنابراین، این

تیپ از نظر دمایی یک تیپ سرد به شمار می رود و در ۴۴ درصد موارد با یخبندان همراه است (جدول ۷). اصولاً فراوانی این تیپ در دهه هفتاد بیشتر بوده است (شکل ۴). این تیپ دارای ناهمگن ترین گروه، از طرفی پایین ترین همبستگی روز نماینده را دارا می باشد (جدول ۶). در حالیکه پایین ترین دوره انتظار برای ظهور مجدد را دارد، پرظهورترین تیپ نیز است (جدول ۱۱). این تیپ بیشترین سازگاری را با تیپ بسیار سرد و بارش مند دارد در حالیکه با تیپ گرم و خشک بادی ناسازگارتر است (جدول ۸ و ۹).

شکل (۳) درصد فراوانی ماهانه تیپ هوای سرد و مرطوب ایستگاه اراک

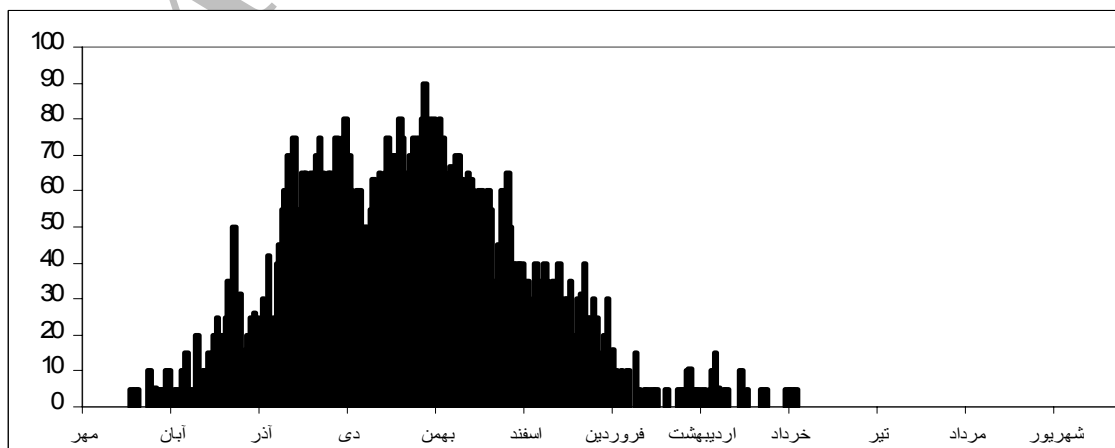


شکل (۴) درصد فراوانی سالانه تیپ هوای سرد و مرطوب ایستگاه اراک

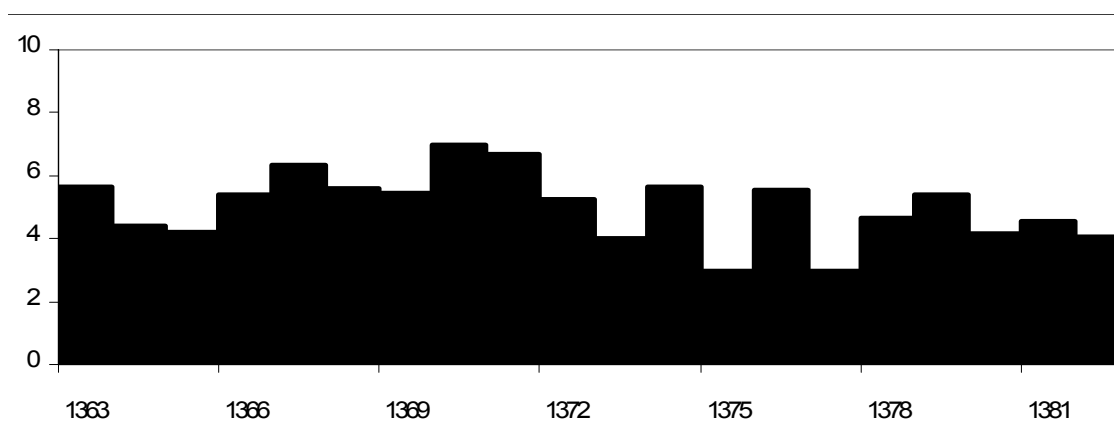


۲- تیپ بسیار سرد و بارش‌مند این تیپ از ۲۴ مهر تا ۳۱ اردیبهشت دیده می‌شود و اوج آن در ۱ بهمن ماه است (شکل ۵). در زمان حاکمیت این تیپ که در ۲۰ درصد روزهای سال دیده می‌شود، اراک سردترین روزهای خود را سپری می‌کند. میانگین دمای روزانه نزدیک به صفر است، در نیمروز به ۵ درجه سلسیوس می‌رسد و در هنگام شب از ۴- درجه سلسیوس هم سردتر است (جدول ۴). در ۷۸ درصد اوقاتی که این تیپ رخ می‌دهد اراک با یخبندان روبرو می‌شود. بالاترین احتمال رخداد مه صبحگاهی به این تیپ تعلق دارد. تقریباً در ۹/۵ درصد روزهای حاکمیت این تیپ مه صبحگاهی رخ می‌دهد. در ۴۴ درصد موارد با بارش همراه است و میانگین بارش در هر روز بارشی نزدیک به ۶/۳mm است (جدول ۷). فراوانی سالانه این تیپ در سالهای اخیر کاهش چشمگیری نشان می‌دهد (شکل ۶). این تیپ به همراه تیپ گرم و خشک بادی کم‌ظهورترین تیپ در بین تیپ‌های هوا در اراک بوده است (جدول ۱۱). این تیپ سازگاری بیشتری با تیپ سرد و مرطوب دارد در حالیکه کمترین سازگاری را با تیپ گرم و خشک بادی دارد (جدول ۸ و ۹).

شکل (۵) درصد فراوانی ماهانه تیپ هوای بسیار سرد و بارش‌مند ایستگاه اراک



شکل (۶) درصد فراوانی سالانه تیپ هوای بسیار سرد و بارشمند ایستگاه اراک

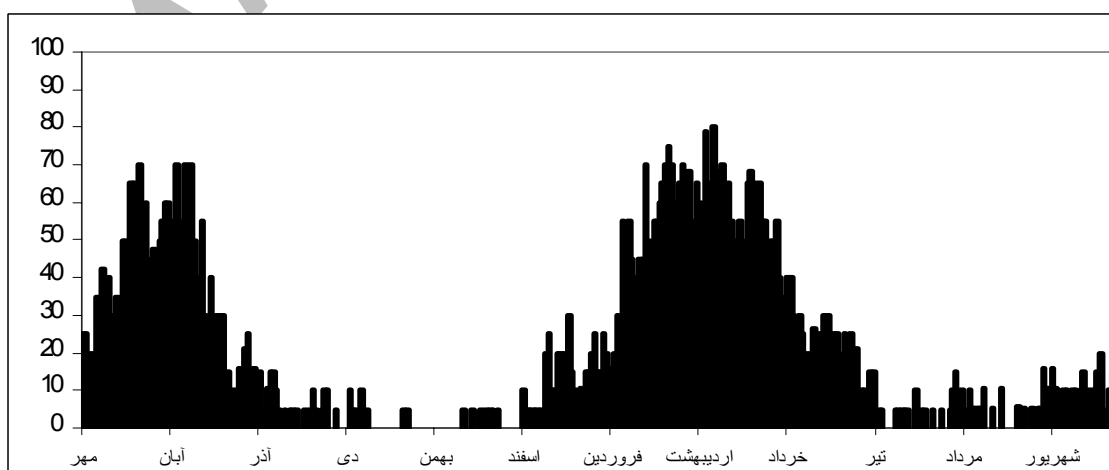


## ۳- تیپ معتدل

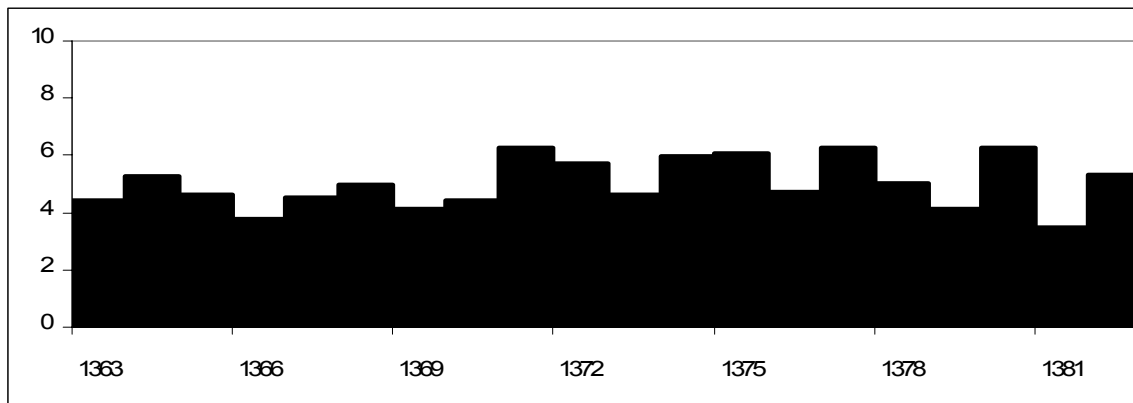
عناصری چون رطوبت، باد، احتمال بارش و دما شرایط جوی متوسط بر اراک حاکم است. این تیپ هوا بطور متوسط در ۲۰/۵ درصد اوقات سال دیده می‌شود (جدول ۷). بررسی سری سالانه فراوانی رخداد این تیپ بیانگر رفتاری شبه تناوبی است (شکل ۸). این تیپ کم دوام‌ترین و پراکنده‌ترین تیپ بین تیپ‌های هوا در اراک می‌باشد (جدول ۱۰). سازگارترین تیپ با تیپ‌های هوا در اراک می‌باشد که با تیپ سرد و مرطوب سازگاری بیشتری دارد و با تیپ بسیار سرد و بارشمند ناسازگارتر است (جدول ۸ و ۹).

هوای اراک در اواخر تابستان و اوایل پاییز از یکسو و اواخر زمستان و تا نزدیکی‌های اواخر بهار می‌تواند از اعتدال برخوردار باشد. همچنین از ۱ شهریور تا ۱۱ دی ماه که در ۲۱ مهر و ۸ آبان به اوج خود می‌رسد و از ۶ اسفند تا ۱۰ تیر که در ۱۳ اردیبهشت به اوج خود می‌رسد این تیپ هوا دیده می‌شود (شکل ۷). دما در این هنگام پس از ۸ تا ۲۳ درجه سلسیوس نوسان می‌کند (جدول ۴). در زمان حاکمیت این تیپ تقریباً همه متغیرهای جوی به مقادیر میانگین کل نزدیک‌تر است، بنابراین از نظر

شکل (۷) درصد فراوانی ماهانه تیپ هوای معتدل ایستگاه اراک



شکل (۸) درصد فراوانی سالانه تیپ هوای معتدل ایستگاه اراک

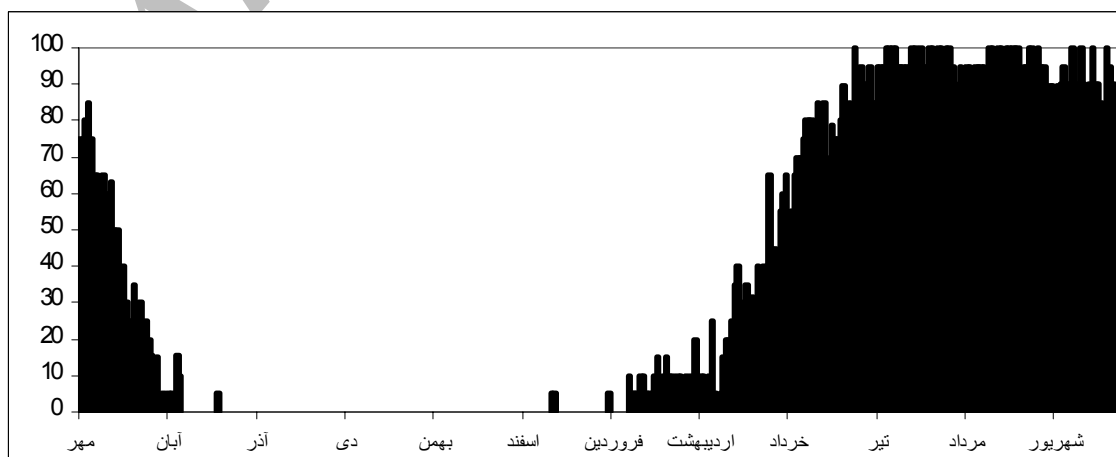


های اخیر فراوانی این تیپ هوا در اراک به نسبت افزایش یافته است (شکل ۱۰). این تیپ دارای بالاترین همبستگی روز نماینده و همگن‌ترین تیپ می‌باشد (جدول ۶). از طرف دیگر بادوام‌ترین و یکپارچه‌ترین تیپ هوای اراک است (جدول ۱۰). بطوری که بالاترین دوره انتظار را برای ظهور مجدد دارد و از طرف دیگر کم‌ظهورترین تیپ در بین تیپ‌های هوا در اراک است (جدول ۱۱). این تیپ خودسازگارترین تیپ هوا است و تنها با تیپ معتدل کمی سازگاری دارد (جدول ۸ و ۹).

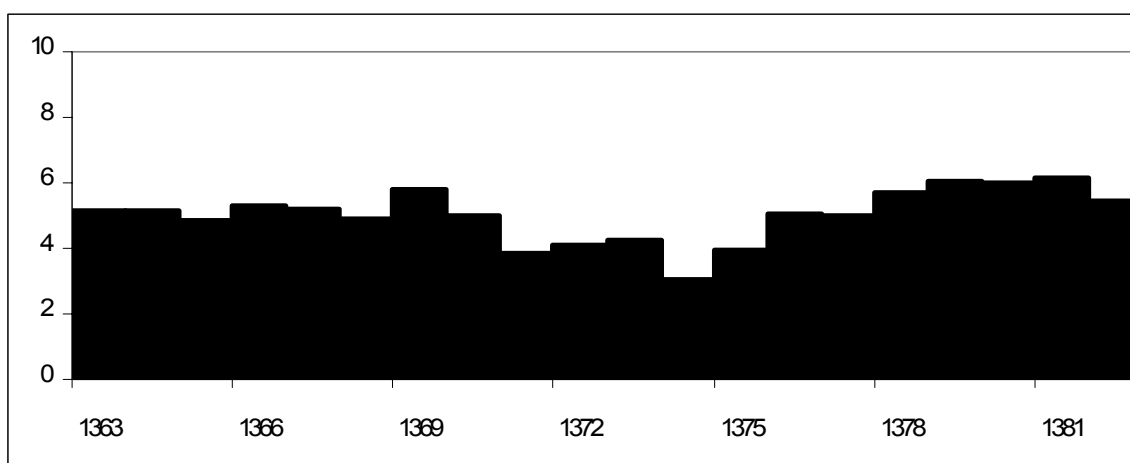
#### ۴- تیپ گرم و خشک بادی

این تیپ فراوانترین هوای قابل مشاهده در اراک است که در ۳۵ درصد حاکم است. از ۱۴ فروردین تا ۱۵ آبان دوره فعالیت این تیپ است که دارای چند اوج متوالی است (شکل ۹). در زمان حاکمیت این تیپ هرگز هوایی جز هوای بسیار گرم و خشک دیده نشده است و در بیش از ۵۰ درصد اوقاتی که این تیپ دیده شده است با باد همراه بوده است (جدول ۷). دما بین ۱۶ تا ۳۲ درجه سلسیوس در طی شبانه روز تغییر می‌کند و رطوبت نسبی به کمترین مقدار خود می‌رسد (جدول ۵ و ۵). در طی دهه-

شکل (۹) درصد فراوانی ماهانه تیپ هوای گرم و خشک بادی ایستگاه اراک



شکل (۱۰) درصد فراوانی سالانه تیپ هوای گرم و خشک بادی ایستگاه اراک



جدول (۴) میانگین متغیرهای اقلیمی هر یک از تیپ‌های هوای ایستگاه اراک

نام تیپ هوا	دمای خشک	دمای خشک	دمای تر	دمای تر	دمای تر	میانگین دمای بیشینه	میانگین دمای کمینه	میانگین بارش روزانه
سرد و مرطوب	۲/۳	۱۰/۹	۹/۷	۰/۵	۵/۵	۴/۷	۱۳/۶	۰/۸
بسیار سرد و بارش‌مند	-۳/۲	۲/۱	۱/۷	-۳/۸	۰/۳	۰	۵/۱	۲/۸
معتدل	۹/۶	۲۰/۷	۱۹/۳	۶	۱۱	۱۰/۳	۲۳	۰/۳
گرم و خشک بادی	۱۷/۱	۲۹/۹	۲۹/۱	۹/۹	۱۵/۲	۱۴/۷	۳۲/۴	۰
میانگین	۶/۵	۱۵/۹	۱۴/۹	۳/۲	۸	۷/۴	۱۸/۵	۱

جدول (۵) میانگین متغیرهای اقلیمی هر یک از تیپ‌های هوای ایستگاه اراک

نام تیپ هوا	نم نسبی	نم نسبی	نم نسبی	سرعت باد	سرعت باد	سرعت باد	جهت باد	جهت باد	جهت باد
سرد و مرطوب	۷۰/۸	۴۱	۴۳/۸	۹/۲	۹/۴	۸/۶	۰۳	۰۹	۱۵
بسیار سرد و بارش‌مند	۸۷/۴	۷۲/۴	۷۳	۶/۶	۷	۷/۳	۲۰۰/۴	۲۰۹/۵	۱۶۷/۶
معتدل	۵۷/۴	۲۵/۸	۲۷/۶	۸/۲	۹/۷	۸/۷	۱۶۱/۲	۱۳۶/۱	۱۱۵/۴
گرم و خشک بادی	۳۶/۴	۱۶	۱۶/۳	۵/۹	۸/۵	۹/۴	۱۴۴	۲۰۲/۹	۱۶۷/۸
میانگین	۶۳	۳۸/۸	۴۰/۲	۷/۵	۸/۷	۸/۵			

جدول (۶) روز نماینده تیپ‌های هوای ایستگاه اراک

سال خورشیدی	ماه	روز	سال میلادی	ماه	روز	همبستگی روز نماینده	همبستگی درون گروهی	فراوانی وقوع	درصد فراوانی وقوع	نام تیپ هوا
۱۳۷۵	۹	۱۰	۱۹۹۶	۱۱	۳۰	۰/۸۶	۰/۷۵	۱۷۵۲	۲۴/۲	سرد و مرطوب
۱۳۶۹	۱۰	۲۱	۱۹۹۱	۱	۱۱	۰/۹۱	۰/۸۳	۱۴۴۷	۲۰	بسیار سرد و بارش‌مند
۱۳۶۵	۸	۷	۱۹۸۶	۱۰	۲۹	۰/۹۳	۰/۸۶	۱۴۸۶	۲۰/۵	معتدل
۱۳۷۷	۶	۸	۱۹۹۸	۸	۳۰	۰/۹۷	۰/۹۴	۲۵۵۹	۳۵/۳	گرم و خشک بادی

جدول (۷) ویژگی‌های اقلیمی تیپ‌های هوای ایستگاه اراک

زمان پایان تیپ	زمان اوج تیپ	زمان آغاز تیپ	میانگین بارش در روز بارشی	درصد احتمال مه پگامی	درصد احتمال یخبندان	درصد احتمال بارش	درصد احتمال باد	درصد فراوانی وقوع	نام تیپ هوا
۳۱ اردیبهشت	۲۷ آبان ۴ فروردین	۱ مهر	۳/۲	۰/۶	۴۴	۲۶	۳۷/۸	۲۴/۲	سرد و مرطوب
۳۱ اردیبهشت	۱ بهمن	۴ مهر	۶/۳	۹/۵	۷۸	۴۴	۱۶/۳	۲۰	بسیار سرد و بارش‌مند
۱۰ آذر	۲۱ مهر و ۸ آبان ۱۳ اردیبهشت	۱۳ شهریور ۳ اسفند	۲	۰/۳	۱/۸	۱۵	۴۷/۶	۲۰/۵	معتدل
۱۵ آبان	چند اوجی	۴ فروردین	۰/۷	۰/۱	۰	۱/۶	۵۰/۳	۳۵/۳	گرم و خشک بادی
			۲/۳	۲/۱	۳۱	۲۱/۶	۳۹/۹		میانگین

جدول (۸) فراوانی پیاپی تیپ‌های هوای ایستگاه اراک

نام تیپ هوا	گرم و خشک بادی	معتدل	بسیار سرد و بارش‌مند	سرد و مرطوب
سرد و مرطوب	۲	۲۷۳	۳۳۱	۱۱۴۶
بسیار سرد و بارش‌مند	۰	۲۱	۱۰۹۱	۳۳۴
معتدل	۲۵۵	۹۴۵	۲۵	۲۶۱
گرم و خشک بادی	۲۳۰۲	۲۴۷	۰	۱۰
جمع	۲۵۵۹	۱۴۸۶	۱۴۴۷	۱۷۵۱

جدول (۹) درصد پیاپی تیپ‌های هوای ایستگاه اراک

نام تیپ هوا	گرم و خشک بادی	معتدل	بسیار سرد و بارش‌مند	سرد و مرطوب
سرد و مرطوب	۰/۱	۱۸/۴	۲۲/۹	۶۵/۴
بسیار سرد و بارش‌مند	۰	۱/۴	۷۵/۴	۱۹/۱
معتدل	۱۰	۶۳/۶	۱/۷	۱۴/۹
گرم و خشک بادی	۹۰	۱۶/۶	۰	۰/۶

جدول (۱۰) رخداد تیپ‌های هوای ایستگاه اراک

نام تیپ هوا	گرم و خشک بادی	معتدل	بسیار سرد و بارش‌مند	سرد و مرطوب
میانگین پایداری	۱۰	۲/۸	۴/۱	۲/۹
انحراف معیار	۲۰/۵	۲/۷	۵/۶	۲/۹
تغییرپذیری	۲۰۵	۹۹	۱۳۷	۱۰۱
بیشینه	۱۴۰	۲۱	۵۲	۲۳
کمینه	۱	۱	۱	۱
رخداد	۲۵۷	۵۴۱	۳۵۶	۶۰۶
فراوانی	۲۵۵۹	۱۴۸۶	۱۴۴۷	۱۷۵۲
شاخص رخداد	۰/۹۰	۰/۶۴	۰/۷۵	۰/۶۵



جدول (۱۱) رخدادهای تیپ‌های هوای ایستگاه اراک

نام تیپ هوا	گرم و خشک بادی	معتدل	بسیار سرد و بارش‌مند	سرد و مرطوب
میانگین پایستگی	۱۸/۲	۱۰/۶	۱۶/۳	۹/۱
انحراف معیار	۵۰/۱	۲۲	۴۵/۶	۲۷/۸
تغییرپذیری	۲۷۶	۲۰۷	۲۷۹	۳۰۷
بیشینه	۲۵۳	۱۴۰	۲۴۷	۱۸۷
کمینه	۱	۱	۱	۱
رخدادهای	۲۵۷	۵۴۱	۳۵۵	۶۰۶
فراوانی	۴۶۶۷	۵۷۴۶	۵۷۹۶	۵۴۹۲
شاخص رخدادهای	۰/۹۴	۰/۹۱	۰/۹۴	۰/۸۹

همواره تیپ هوای شماره چهار دیده شده باشد. در این صورت در آینده هم برای این روز انتظار مشاهده همین الگو را داریم. چنین روزی از نظر تیپ هوا باثبات بشمار می‌آید و از تنوع تیپ هوا برخوردار نیست. در چنین روزهایی شرایط جوی از ثبات برخوردار است. در مقابل در روز ۲۷ اسفند در طی ۲۰ سال سه تیپ از چهار تیپ هوای اراک مشاهده شده است. در این صورت احتمال مشاهده سه تیپ هوا در این روز در آینده وجود دارد.

اندازه‌گیری درجه تنوع تیپ‌های هوا در هر یک از روزهای سال گذشته از ارزش نظری از لحاظ عملی نیز به پیش بینی کمک می‌کند. به همین جهت در اینجا کوشش می‌کنیم سنج‌های برای اندازه‌گیری درجه تنوع روزانه تیپ‌های هوا معرفی کنیم. این نکته نیز شایان توجه است که در اوقاتی از سال که شرایط جوی بسیار بی‌ثبات است و تیپ‌های هوا یکی پس از دیگری آشکار و ناپدید می‌شوند حتی ممکن است در طی یک روز چندین بار تیپ هوا و شرایط جوی سطحی تغییر کند.

### ۳-۲- تنوع تیپ‌های هوای در هر روز سال ایستگاه

#### اراک

چنانکه در تبیین فراوانی ماهانه رخداد تیپ‌های هوا

دیدیم هر تیپ هوا تمایل دارد در ماه‌های ویژه‌ای فعال شود. به بیان دیگر تیپ‌های هوا دارای رفتار فصلی هستند. به همین دلیل است که برخی تیپ‌های هوا با تیپ‌های دیگر ناسازگارند و با برخی تیپ‌ها سازگاری زیادی نشان می‌دهند. با این حال تیپ‌هایی هم وجود دارند که بتوانند پس از هر تیپ همدید دیگری ظاهر شوند و نقش پل ارتباطی میان الگوهای ناسازگار را بازی می‌کنند. این دو نوع رفتار مختلف از یک سو می‌تواند به این معنا باشد که در برخی روزهای سال تنها باید انتظار مشاهده تیپ هوای معینی را داشت و از سوی دیگر به این معناست که در برخی از روزها چندین تیپ هوا می‌توانند ظاهر شوند. مثلاً فرض کنید در روز پانزدهم تیر در طی ۲۰ سال مورد بررسی از میان چهار تیپ هوا

در مورد مساله مورد نظر ما تعداد تیپ‌های هوا برابر چهار ( $m=4$ ) و تعداد سالهای مورد بررسی، ( $N=20$ ) است. بدین صورت  $D_i$  درجه تنوع تیپ‌های هوا برای روز  $i$  ام را بدست می‌دهد.  $i$  برای سال‌های معمولی بین یک تا ۳۶۵ و برای سال‌های کبیسه بین ۱ تا ۳۶۶ تغییر می‌کند (مسعودیان: ۱۳۸۶).

برای روزی که در تمام سال‌های مورد بررسی همواره دارای یک تیپ هوا بوده است مقدار  $D$  برابر صفر خواهد بود. به بیان دیگر این روز معین تنها یک تیپ هوا را می‌پذیرد و از تنوع تیپ هوا برخوردار نیست. در مقابل برای روزی که همه تیپ‌های هوا را پذیرفته و درصد فراوانی وقوع همه تیپ‌های هوا در آن یکسان بوده است مقدار  $D$  برابر یک بدست می‌آید یعنی چنین روزی از حداکثر تنوع تیپ‌های هوا برخوردار است. بنابراین مقدار  $D$  بین صفر تا یک تغییر می‌کند. مقدار صفر معرف یکدستی کامل و مقدار یک معرف تنوع کامل رخداد تیپ‌های هوا در یک روز معین است. برای ایستگاه اراک فصول گذر (پاییز و بهار) بیشترین تنوع تیپ‌ها دیده شده است و در فصل گرم سال کمترین تنوع تیپ‌ها دیده شده است (شکل ۱۱).

بنابراین از لحاظ نظری این امکان هم وجود دارد که درجه تنوع تیپ‌های هوا در مقیاس کوتاه‌تر از روزانه هم تعریف شود. مثلاً در یک روز بهاری شرایط جوی صبح، نیمروز، عصر و شب ممکن است کاملاً متباین باشد. در اینجا چون مبنای طبقه بندی تیپ‌های هوا، داده‌های روزانه بوده است درجه تنوع تیپ‌های هوا را برای مقیاس روزانه تعریف می‌کنیم.

فرض کنید به هر یک از روزهای سال بتوان یک تیپ هوا معین را نسبت داد و فرض کنید  $m$  تیپ هوای مختلف وجود داشته باشد. بعلاوه فرض کنید  $N$  سال مختلف را بررسی می‌کنیم. اگر  $n_{ij}$  فراوانی تیپ همدید  $i$  ام در روز  $j$  ام باشد آنگاه میتوان نوشت (مسعودیان: ۱۳۸۶).

$$R_{ij} = \frac{n_{ij}}{N} \times 100$$

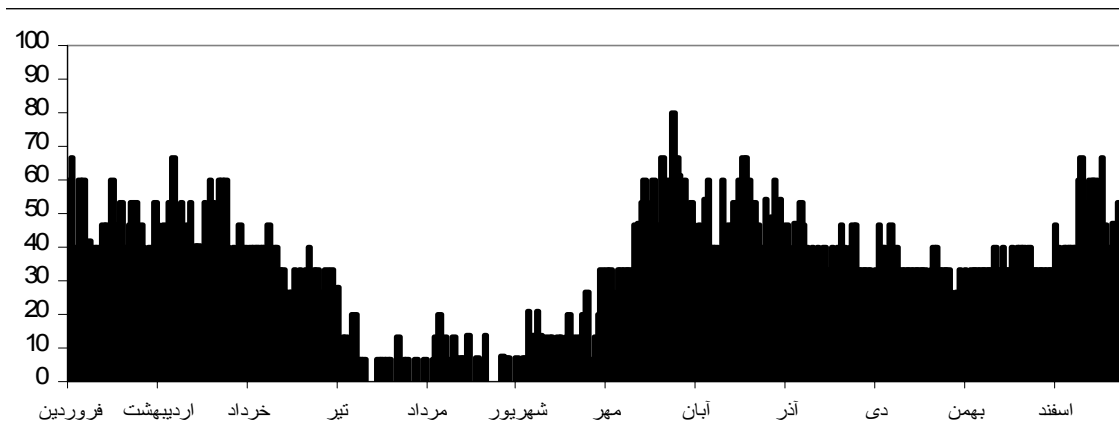
که  $n_{ij}$  درصد فراوانی تیپ هوای  $i$  ام در روز  $j$  ام است. در این صورت درجه تنوع تیپ‌های هوا را بصورت زیر تعریف می‌کنیم (مسعودیان: ۱۳۸۶).

$$D_i = 1 - \frac{1}{K} \sum_{j=1}^m \left| R_{ij} - \frac{100}{m} \right|$$

که  $K$  عبارت است از:

$$K = 200 \frac{m-1}{m}$$

شکل (۱۱) درصد تنوع رخداد تیپ‌های هوا در هر روز سال ایستگاه اراک



#### ۴- نتیجه گیری

در این پژوهش تیپ‌های هوای ایستگاه اراک مورد شناسایی قرار گرفت و از تحلیل خوشه‌ای برای انجام طبقه‌بندی تیپ‌های هوا استفاده گردید. در ابتدا یک تحلیل خوشه‌ای کلی صورت گرفت و سپس با توجه به تصمیمات درون سو یک تحلیل خوشه‌ای جزئی بدست آمد. با توجه به دارنمای حاصل از تحلیل خوشه‌ای در ایستگاه اراک ۴ تیپ اصلی تشخیص داده شد. برای هر یک از تیپ‌های بدست آمده، دوره زمانی فعالیت آنها مورد بررسی قرار گرفت. نتایجی که در این پژوهش حاصل شده، بدین صورت است که تیپ گرم و خشک همگن‌ترین و بالاترین همبستگی روز نماینده را در بین تیپ‌های اراک دارا بوده است. ناهمگن‌ترین تیپ و پایین‌ترین همبستگی روز نماینده را در بین تیپ‌های هوای ایستگاه اراک، تیپ سرد و مرطوب دارا می‌باشد. تیپ گرم و خشک نسبت به تیپ‌های دیگر اراک، خود سازگارترین، بادوام‌ترین و یکپارچه‌ترین ویژگی را دارا می‌باشد. تیپ گرم و خشک همراه با تیپ بسیار سرد و بارش‌مند کم ظهورترین تیپ می‌باشد و بالاترین دوره

انتظار، برای ظهور مجدد را فقط تیپ گرم و خشک دارا است. تیپ معتدل اراک سازگارترین تیپ با سایر تیپ‌ها است و از طرفی کم‌دوام‌ترین و پراکنده‌ترین ویژگی را دارا می‌باشد. اراک در زمان فعالیت تیپ بسیار سرد و - بارش‌مند خنک‌ترین روزهای خود را سپری می‌کند و در زمان حاکمیت تیپ گرم و خشک، با روزهای بسیار گرم روبرو است. حاکمیت تیپ‌های هوای اراک نشان دهنده حاکمیت فصول مختلف اقلیمی می‌باشد. درصد فراوانی وقوع تیپ گرم و خشک از تیپ‌های دیگر بسیار بالاتر بوده و این نکته بیانگر این است که غالب‌ترین تیپ در بین تیپ‌های هوای اراک تیپ گرم و خشک می‌باشد. تیپ گرم و خشک اراک در سالهای اخیر افزایش نسبی را داشته در حالیکه تیپ بسیار سرد و بارش‌مند اراک، کاهش نسبی را نشان می‌دهد.

#### منابع

- ۱۱- یارنال، برنت، (۱۳۸۵)، اقلیم‌شناسی هم‌دید و کاربرد آن در مطالعات محیطی، مسعودیان، سید ابوالفضل، چاپ اول، انتشارات دانشگاه اصفهان.
- ۱۲- مصطفایی، عفت، (۱۳۸۷)، شناسایی تیپ‌های هوای منطقه اقلیمی خوزستان، رساله کارشناسی ارشد، گروه جغرافیا، دانشگاه اصفهان، اصفهان.
- 13- Bissolli, Peter , Jurgen Grieser, and etal (2006), Tornadoes in Germany 1950–2003 and their relation to particular weather conditions, *Global and Planetary Change, in press*.
- 14- Kalkstein, Laurence S., Scott C. Sheridan, and etal (1998), A Determination of Character and Frequency Changes in Air Masses Using A Spatial Synoptic Classification. *International Journal of Climatology*, No.18, pp 1223–1236
- 15- Kalkstein, L.S., Nichols, M.C. and etal (1996). A new Spatial Synoptic Classification: Application to air-mass analysis. *International Journal of Climatology*, 16(8):983
- 16- Morabito, Marco, Alfonso Crisci, and etal (2006), Winter air-mass-based synoptic climatological approach and hospital admissions for myocardial infarction in Florence, Italy, *Environmental Research* 102, pp 52–60.
- 17- Sheridan, Scott C. (2003), North American Weather-type Frequency and Teleconnection Indices. *International Journal of Climatology*, No 23, pp 27–45
- 18- Stull, R. (2000), *Meteorology for Scientists and Engineers*, Brooks/Cole, Second Edition.
- ۱- باقری، جلیل، (۱۳۸۷)، شناسایی تیپ‌های هوای منطقه اقلیمی کوهستانی ایران، رساله کارشناسی ارشد، گروه جغرافیا، دانشگاه اصفهان، اصفهان.
- ۲- ترابی، سیما، جهانبخش، سعید و همکاران (۱۳۸۰)، طبقه بندی اقلیمی ایران: کاربرد روش چند متغیره، مجله پژوهش‌های جغرافیائی، مؤسسه جغرافیائی دانشگاه تهران، شماره ۳۹.
- ۳- حجازی زاده، زهرا، (۱۳۷۲)، بررسی نوسانات فشار زیاد جنب حاره در تغییر فصل ایران، رساله دکتری، گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- ۴- رزمجویی، فرشته، (۱۳۸۷)، شناسایی تیپ‌های هوای منطقه اقلیمی مرکزی ایران، رساله کارشناسی ارشد، گروه جغرافیا، دانشگاه اصفهان، اصفهان.
- ۵- عطائی، هوشمند، (۱۳۸۳)، پهنه بندی نواحی بارشی ایران، رساله دکتری، گروه جغرافیا، دانشگاه اصفهان، اصفهان.
- ۶- علیجانی، بهلول، (۱۳۸۱)، اقلیم‌شناسی سینوپتیک، چاپ اول، انتشارات سمت.
- ۷- قاسمی، نرجس، (۱۳۸۷)، شناسایی تیپ‌های هوای منطقه اقلیمی خزری، رساله کارشناسی ارشد، گروه جغرافیا، دانشگاه اصفهان، اصفهان.
- ۸- کریمی، محمد تقی، (۱۳۸۷)، شناسایی تیپ‌های هوای منطقه اقلیمی عمان ایران، رساله کارشناسی ارشد، گروه جغرافیا، دانشگاه اصفهان، اصفهان.
- ۹- مسعودیان، سید ابوالفضل، (۱۳۸۴)، شناسایی رژیم‌های بارشی ایران به روش تحلیل خوشه‌ای، پژوهش‌های جغرافیائی، شماره ۵۲، صص ۶۱-۴۷.
- ۱۰- مسعودیان، سید ابوالفضل، (۱۳۸۶)، شناسایی تیپ‌های هوای اصفهان، طرح پژوهشی، دانشگاه اصفهان.