Irrigation Sciences and Engineering
Vol.40, No. 2, Summer 2017, p. 183-198

علوم و مهندسی آبیاری
جلد ٤٠، شماره‌ی۲، تابستان ۹٦، ص. ۱۹۸-۱۸۳

طبقه‌بندی توده‌های هوای ایستگاه همدید ارومیه به کمک تحلیل خوشه‌ای و نمایه‌های کنترل کیفیت پراش درون‌گروهی

محمد دارند[۱*]، جمیل امان اللهی[۲] و سمیه کریمی [۳]

۱*- نویسنده مسئول، دانشیار آب و هواشناسی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کردستان. m.darand@uok.ac.ir
۲- استادیار محیط زیست دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کردستان.
۳-کارشناس ارشد آب و هواشناسی کاربردی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کردستان.

تاریخ دریافت: ۹۴/۲/۵ تاریخ پذیرش: ۹۵/۲/۱۲

چکیده

برای انجام این پژوهش داده‌های روزانه‌ی ۳٤ سنجه‌ی مختلف جوی ایستگاه همدید ارومیه طی بازه‌ی زمانی ۱۹٦۱/۱/۱ تا ۲۰۱۳/٦/۳۰ استفاده شد. تحلیل خوشه‌ای به روش ادغام وارد بر روی فواصل اقلیدسی اجرا شد. از سه نمایه‌ی کنترل کیفیت پراش درون‌گروهی برای سنجش و ارزیابی خوشه‌ها استفاده شد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که طبقه‌بندی کردن توده‌های هوا به هفت گروه بهینه‌ترین تفکیک به حساب می‌آید.توده هوای دوم با میانگین روزانه‌ی بارش ٦/٦ میلی‌متر در هر روز بارشی و احتمال رخداد بارش ٦٥/۷ درصد، پربارش‌ترین توده هوایی است که ارومیه تجربه می‌کند. توده هوای چهارم، گرم‌ترین، خشک‌ترین و کم‌بارش‌ترین توده هوایی است که در یک سوم روزهای سال ارومیه رخ‌نمود دارد. شاخص رخداد آن ۰/۸۹ و با ماندگاری نه روزه پایسته‌ترین توده هوا است. در مقابل توده هوای سوم با شاخص رخداد ۰/٤۳ و مانایی ۱/۷روز، گسسته‌ترین توده هوای ارومیه است. این توده هوا با پیایی ۲۱/۱ درصد سازگارترین توده هوایی است که در پی توده هوای دوم رخنمود دارد. شاخص تنوع روزانه‌ی توده‌های هوا در ماه مارس از فصل زمستان به اوج خود می‌رسد و برابر ۰/٦۹ است درحالی‌که در برخی روزهای ماه‌های ژوئیه و اوت شاخص تنوع برابر با صفر و بیانگر حاکمیت قاطع توده هوای چهارم است.

کلید واژه‌ها: طبقه‌بندی، تیپ‌های هوا، تحلیل خوشه‌ای، ارومیه.

Classification of Air Masses in Urmiah by Cluster Analysis and Quality Control Inter Group's Variance Indices

M. Darand[*1], J. Amanollahi[2] and S. Karimi[3]

1*- Corresponding Author, Associate Professor of Climatology, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Iran.
2- Assistant Professor of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Iran.
3- Master of Science of Climatology, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Iran.

Received:25 April 2015 Accepted: 1 May 2016

Abstract

In order to dong this study, daily data of 34 meteorological variables during 1/1/1961 to 30/6/2013 from Urmiah synoptic station has been used. Cluster Analysis with Ward method applied on the Euclidean distance. The numbers of clusters determined by quality control inter group's variance Indices. The results show that clustering air mass to seven groups is the optimum. The second air mass is the most rainiest air mass which its rainy occurrence probability equal to 65.7% and the amount of precipitation per day equal to 6.6 mm. The fourth air mass is the hottest and drier air mass which has observed in the one third of year's day. The fourth air mass with the occurrence index of 0.89 and with persistency of 9 days is the most stable air mass. While the third air mass with the occurrence index of 0.43 and with persistency of 1.7 days is the

most unstable air mass. The third air mass with sequantality of 21.1% is the most agreeable air mass which occurs after the second air mass subsequently. Daily variety of air mass index get highest value during winter season (69%) while it gets to zero in some days of July and August which indicates a certain air mass (the fourth).

Keyword: Classification, Weather types, Cluster analysis, Urmiah.

مقدمه

به‌کارگیری طبقه‌بندی در اقلیم‌شناسی و هواشناسی تاریخچه‌ای بسی طولانی دارد. با پیشرفت‌های چشم‌گیر کامپیوترها در سال‌های اخیر امکان انجام روش‌های درون‌سو بر روی حجم بزرگی از داده‌ها فراهم شد و استفاده از روش‌های طبقه‌بندی بسط و گسترش یافت. هم‌اکنون روش‌های طبقه‌بندی مختلفی در بسیاری از زمینه‌های علوم جوی برای طیف بزرگی از اهداف به‌کار بسته می‌شوند و یکی از مهم‌ترین زمینه‌های کاری در اقلیم‌شناسی همدید و آماری به حساب می‌آیند(هیوث و همکاران[1]، ۲۰۰۸). تحلیل خوشه‌ای یکی از روش‌های طبقه بندی و دسته‌بندی کردن افراد یا اشیأ می‌باشد که پایه‌ی ریاضی دارد. سه روش متداول برای خوشه‌بندی وجود دارد: روش پایگانی، روش ناپایگانی و ترکیبی از هر دو روش. هر کدام از روش‌های یاد شده رویکردهای متفاوتی برای دسته‌بندی کردن و خوشه‌بندی افراد یا اشیاء دارند. تفاوت خوشه‌بندی پایگانی با ناپایگانی این است که در روش پایگانی ابتدا دو مشاهده با همدیگر پیوند داده می‌شوند و هرگز از هم جدا نمی‌شوند درحالی‌که در روش ناپایگانی هر مشاهده پس از پیوند با مشاهده دیگر از آن جدا شده و با مشاهدات دیگر پیوند داده می‌شود. در روش سوم از هر دو رویکرد استفاده می‌شود. در روش پایگانی طی مسیر تحلیل، یک درخت خوشه‌بندی ایجاد می‌شود. اغلب روش‌های پایگانی به یک خوشه ختم می‌شوند که خوشه‌بندی انباشتی نام دارد. در هر دو رویکرد خوشه‌بندی هدف کمینه کردن پراش درون‌گروهی و بیشینه کردن پراش بین گروهی است. الگوهای همدید هوا اغلب با دو رویکرد متفاوت شناسایی و طبقه‌بندی می‌شوند(جیانگ[2]، ۲۰۱۱): رویکرد توده هوا مبنا و رویکرد تیپ‌بندی هوا. در رویکرد توده هوا مبنا، سنجه‌های جوی مختلفی(اغلب متغیرهای دما و رطوبت هوا) به‌کار گرفته می‌شوند. اگر چندین سنجه‌ی جوی از یک نقطه‌ی مکانی(یا نقاط مکانی محدود) طبقه‌بندی شوند، هواهای مختلف بر روی مکان مورد نظر طبقه‌بندی می‌شوند که از آنها با نام طبقه‌بندی توده‌های هوا یاد می‌شود اگرچه ویژگی‌های واقعی توده‌های هوا را توصیف نمی‌کنند(هیوث و همکاران، ۲۰۰۸). آنها بر این عقیده‌اند که اصطلاح طبقه‌بندی هوا مناسب‌تر از طبقه‌بندی توده‌های هوا است. طبقه‌بندی توده‌های هوای واقعی هنگامی صورت می‌پذیرد که چندین سنجه‌ی جوی در چندین تراز جوی وردسپهر(از تراز پایین تا تراز میانی) همراه با سنجه‌های جوی سطحی همزمان با هم مطالعه شوند(شوارتز و اسکیتر[3]، ۱۹۹۴). سنجه‌های جوی عموماً شامل دما، رطوبت، پوشش ابر، ساعات آفتابی، سرعت باد، فشار هوا هستند که ممکن است چندین بار در روز(ساعتی) برای واکاوی چرخه‌ی روازنه در نظر گرفته شوند. این گونه از طبقه‌بندی اغلب در مطالعات تغییر اقلیم، اقلیم زیستی و مطالعات آلودگی هوا اتخاذ می‌شود و نسبت به رویکرد دوم، تمرکز بیشتری بر داده‌ها دارد(کالکستین و همکاران[4]، ۱۹۹۶). در پژوهش حاضر به دلیل مأنوس بودن بیشتر، اصطلاح طبقه‌بندی توده‌های هوا به‌کار رفته است. در رویکرد تیپ‌بندی هوا(طبقه‌بندی نقشه مبنا)، گروه‌های همدید به کمک میانگین سنجه‌های فشار تراز دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل و یا هر متغیری که گردش جوی را در هر بازه‌ی زمانی(ساعت، روز یا ماه) روی یک شبکه(یاخته) توصیف کند، شناخته می‌شوند. از این رویکرد تحت عنوان طبقه‌بندی گردشی یاد می‌کنند و هر طبقه(گروه یا الگو) اشاره به یک تیپ گردشی خاص دارد که در برخی موارد به جای آن اصطلاح تیپ همدید به‌کار برده می‌شود که با معنای و مفهوم واقعی تیپ‌های گردشی سر سازگاری ندارد(هیوث و همکاران، ۲۰۰۸). تیپ‌های هوایی که به کمک این رویکرد شناخته می‌شوند می‌تواند برای شناسایی شرایط بالقوه‌ی آلودگی هوا، کمک به پیش‌بینی بلندمدت و مطالعه‌ی سنجه‌های هواشناسی نظیر بارش و دما(آلپرت و همکاران[5]، ۲۰۰۴) و همچنین با متغیرهای ترمودینامیکی، رویدادهای زیست‌محیطی دیگر پیوند داده شوند. برای بسط و گسترش مرز دانش در ارتباط با سامانه‌ی اقلیم و تغییراتی که در داخل آن انجام می‌پذیرد، شناخت بهتر ارتباط بین گردش جوی و محیط یک منطقه ضروری به نظر می‌رسد(میچایلیدوو همکاران[6]، ۲۰۰۹). این پیوند می‌تواند با دو روش طبقه‌بندی گردش‌های جوی، تکنیک دستی(برون سو) و خودکار(درون سو) انجام شود(یارنال[7]، ۱۹۹۳). در روش دستی، طبقه‌بندی همدید یا بر پایه‌ی نظر شخص پژوهشگر یا بر پایه‌ی طبقه‌بندی معرفی شده توسط پژوهشگران قبلی و یا با بسط و گسترش یک رویکرد جدید انجام می‌گیرد. علیرغم اینکه این رویکرد متکی به نظر و تفسیر پژوهشگر است ولی پژوهش‌های متعددی در اروپا انجام شده که از این روش استفاده کرده‌اند. برای نمونه می‌توان به لامب[8](۱۹۷۲)، ماهراس[9](۱۹۸۸و۱۹۸۹) و

1 -Huth *et al.*
2 -Jiang

3 -Schwartz and Skeeter
4 -Kalkstein *et al.*
5 -Alpert *et al.*
6 -Michailidou *et al.*
7 -Yarnal
8 -Lamb
9 -Maheras

کاسومینوس و همکاران[1] (۲۰۰۷) اشاره کرد. مهم‌ترین عیب این روش آن است که به سادگی تکرارپذیر نیست و بسیار وقت گیر است. یارنال و همکاران (۲۰۰۱) بر این باورند که با وجود نقض‌های یاد شده، این روش به پژوهشگر این امکان را می‌دهد که با دید بازتر به نکات باریک و ظریف اقلیمی بنگرد که در روش‌های خودکار چنین امکانی فراهم نیست. در روش خودکار برنامه‌های کامپیوتری طبقات را مشخص می‌کنند. این روش درون سو است و ساده‌تر از روش دستی(برون سو) می‌باشد. طبقه‌بندی‌های خودکار به منظور کاهش حجم بزرگی از داده‌ها و قرار دادن آنها در طبقات مشخص همدید از تکنیک‌های آماری، همچون تحلیل مولفه‌های مبنا و تحلیل خوشه‌ای (کی و کران[2]، ۱۹۸۶؛ کیدسون[3]، ۱۹۹۴؛ کوستوپولو , و جونز[4]، ۲۰۰۳) و تکنیک‌های اخیر منطق فازی و شبکه‌های عصبی مصنوعی(هیوتسون و کران[5]، ۲۰۰۲) بهره می-گیرند. یارنال (۱۹۹۳) و هیوتسون و کران(۲۰۰۲) بر این باورند که اگر چه روش‌های خودکار متکی به دانش و قضاوت پژوهشگر نیستند و به سادگی قابل انجام‌اند ولی محدودیت‌هایی در ارتباط با داده‌های به‌کارگرفته شده و تفسیر نتایج دارند. کولیمان و راجرز[6](۲۰۰۷) روشی را برای طبقه‌بندی تیپ‌های هوای همدید مناطق مرکزی ایالات متحده امریکا بسط و گسترش دادند که بر پایه‌ی یک روش خودکار دو مرحله‌ای خوشه‌بندی استوار بود و در آن هم داده‌های سطحی و هم داده‌های تراز بالای جو بکار گرفته می‌شدند. آنها از داده‌های روزانه‌ی واکاوی مرکز ملی پیش بینی محیطی/مرکز ملی تحقیقات جوی ایالات متحده امریکا برای کلیه-ی فصل‌ها در بازه‌ی زمانی ۵۷ ساله(۲۰۰۴-۱۹۴۸) برای شناسایی تیپ‌های همدید سطحی و داده‌های دمای ترازهای(۹۲۵، ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال)، رطوبت، فشار تراز دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل و بادهای تراز بالای جو بهره گرفتند. حاصل طبقه‌بندی آنها ده تیپ همدید بود که به لحاظ زمانی رخنمود متفاوتی داشتند. فتاحی و حجازی‌زاده(۱۳۸۴) به کمک روش طبقه‌بندی همدیدی فضایی به طبقه‌بندی توده‌های هوا در حوضه‌های جنوب‌غربی ایران پرداختند. از تحلیل ممیزی برای طبقه‌بندی توده‌های هوا بهره گرفتند و به تحلیل شش گونه هوای شناخته شده پرداختند. علیجانی (۱۳۸۱) تیپ‌های هوای باران‌آور تهران را براساس محاسبه‌ی چرخندگی شناسایی کرد. وی از روش کمی جنکینسون بهره گرفت. یافته‌ها بیانگر ده تیپ هوای بارشی برای تهران بود. مسعودیان (۱۳۹۱) تیپ‌های هوای اصفهان را شناسایی کرد. وی از تحلیل خوشه‌ای به روش ادغام وارد برای طبقه‌بندی کمک گرفت. یافته‌های ایشان نشان داد که اصفهان دارای نُه گونه هوای متفاوت است. هدف از انجام این پژوهش طبقه‌بندی توده‌های هوای ایستگاه همدید ارومیه به کمک تحلیل خوشه‌ای و نمایه‌های کنترل کیفیت پراش درون‌گروهی است.

1-Kassomenos *et al.*
2 -Key and Crane
3 -Kidson
4 -Kostopoulou and Jones
5 - Hewitson and Crane
6 -Coleman and Rogers

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش داده‌های روزانه‌ی ۳۶ سنجه‌ی هواشناسی بر روی ایستگاه همدید ارومیه طی بازه‌ی زمانی ۱۹۶۱/۱/۱ تا ۲۰۱۳/۶/۳۰ از سازمان هواشناسی کشور استخراج شد. فهرست سنجه‌های به‌کارگرفته شده در این پژوهش در جدول ۱ آمده است. یک پایگاه داده گاه‌سنجه در ابعاد ۳۶×۱۹۱۷۴ ایجاد شد که بر روی سطرها زمان(روز) و بر روی ستون‌ها سنجه‌ها قرار داشت. ابتدا روزهای که دست‌کم یک سنجه به هر دلیلی نبود آماری داشت از پایگاه داده حذف شد. بنابراین پایگاه جدیدی حاصل شد که برابر با ۳۶×۱۸۷۷۵بود. برای تبدیل متغیر برداری باد به نرده از روابط زیر کمک گرفته شد:

$$U = -Speed \times \sin(Direction) \quad (۱)$$

$$V = -Speed \times \cos(Direction) \quad (۲)$$

که Speed: سرعت باد برحسب متر بر ثانیه، Direction: جهت باد بر حسب درجه، Sin: سینوس و cos: کسینوس دایره مثلثاتی می باشند. به دلیل متفاوت بودن یکای سنجه‌ها از رابطه‌ی زیر برای استاندارد کردن آنها استفاده شد:

$$STND_{i,j} = \frac{Data_{i,j} - Min_j}{Max_j - Min_j} \quad (۳)$$

استاندارد سازی داده‌ها برپایه‌ی تفاضل داده‌های مربوط به سنجه‌ی jاُم در روز iاُم از کمینه‌ی آن بر دامنه‌ی تغییرات مربوط به همان سنجه انجام می‌گیرد. حاصل آن بی‌بعد کردن یکای داده‌ها و قرارگیری آنها در بازه‌ی صفر و یک خواهد بود. سپس فاصله‌ی اقلیدسی هریک از روزها از همدیگر برپایه‌ی ۳۶ سنجه‌ی استاندارد شده برپایه‌ی رابطه‌ی ۴ حساب شد:

$$D_{i,j} = \sqrt{\sum_{p=1}^{18775} (Data_i - Data_j)^2} \quad (۴)$$

ریشه‌ی دوم مجذور تفاضل مقادیر سنجه‌های جوی در روز iاُم از مقادیر مربوط به همان سنجه‌ها در روز jاُم برابر با فاصله‌ی اقلیدسی دو روز یاد شده خواهد بود. تعداد فواصل اقلیدسی حساب شده از رابطه‌ی زیر پیروی می‌کند:

$$\frac{n(n-1)}{2} \quad (۵)$$

روش‌های متفاوتی برای ادغام و خوشه‌بندی وجود دارد که در این پژوهش از روش ادغام وارد[1] بهره بردیم. دلیل به کارگیری آن بیشینه‌ی کردن پراش برون‌گروهی و کمینه کردن پراش درون‌گروهی است(مسعودیان،۱۳۹۱). مهم‌ترین گام در خوشه‌بندی تصمیم بر سر گزینش شمار خوشه‌ها و کیفیت آنها است. روش‌ها و نمایه‌های بسیار زیادی برای محاسبه‌ی کیفیت خوشه‌های حاصل از خوشه‌بندی توسط پژوهشگران مختلف معرفی و پیشنهاد شده است. خوشه‌بندی مطلوب‌تر آن است که شباهت درون‌گروهی و فاصله‌ی بین گروهی را به حداکثر ممکن برساند. پایه و مبنای کلیه‌ی نمایه‌های کنترل کیفیت خوشه‌بندی بر این اصل استوار است. برخی از نمایه‌ها همگنی درون گروهی و برخی دیگر ناهمگنی برون گروهی را ارزیابی می‌کنند. دسته‌ای دیگر هر دو را با هم می‌سنجند. در این پژوهش از سه نمایه‌ی کنترل کیفیت پراش درون‌گروهی برای ارزیابی همگنی خوشه‌های بدست آمده بهره گرفته شد:

الف) نمایه‌ی سی[2]: این نمایه را هوبرت و شولتز[3](۱۹۷۶) مطرح کردند و برپایه‌ی رابطه‌ی زیر استوار است:

$$C = \frac{S_W - S_{min}}{S_{max} - S_{min}} \qquad (۶)$$

در آن S_W: مجموع N_W فاصله‌ی بین افراد داخل هر خوشه است. تعداد N_W به کمک رابطه‌ی(۷) به دست می‌آید.

S_{min}: مجموع کوچک‌ترین فاصله‌هاست که در بین N_W فاصله از هر خوشه انتخاب می‌شوند.

S_{max}: مجموع بزرگ‌ترین فاصله‌هاست که در بین N_W فاصله از هر خوشه انتخاب می‌شوند.

$$N_W = \sum_{k=1}^{k} \frac{n_k(n_k - 1)}{2} \qquad (۷)$$

در رابطه‌ی(۷)، n_k: تعداد افراد داخل خوشه‌ی k اُم می‌باشد. مقادیرکوچک‌تر نمایه بیانگر بهینه‌ترین تفکیک خوشه‌ای است.

ب)نمایه‌ی دان[4]: این نمایه را دان(۱۹۷۴) ارائه کرد. فرض کنیدکه d_{min}: کمینه‌ی فاصله‌ی بین افراد خوشه‌های مختلف باشد و d_{max}: بیشینه‌ی فاصله‌ی درون خوشه‌ای باشد. فاصله‌ی بین خوشه‌های C_k و $C_{k'}$ به کمک فاصله نزدیک‌ترین افرادشان اندازه‌گیری می‌شود:

$$d_{kk'} = \min_{i \in I_k, j \in I_{k'}} \left\| M_i^{\{k\}} - M_j^{\{k'\}} \right\| \qquad (۸)$$

$M_i^{\{k\}}$ و $M_j^{\{k'\}}$ به ترتیب فرد iاُم و j اُم از دو گروه k و k' هستند و d_{min} کمینه‌ی مقدار $d_{kk'}$ است:

$$d_{min} = \min_{k \neq k'} d_{kk'} \qquad (۹)$$

برای هر خوشه C_k یک D_k که بزرگترین فاصله‌ی بین دو فرد در خوشه است به کمک رابطه‌ی زیر شناسایی شد(برخی اوقات به آن قطر خوشه نیز گفته می‌شود):

$$D_k = \max_{i \in I_k, j \in I_{k'}} \left\| M_i^{\{k\}} - M_j^{\{k'\}} \right\| \qquad (۱۰)$$

پس d_{max} بزرگترین مقدار D_k است:

$$d_{max} = \max_{1 \leq k \leq K} D_k \qquad (۱۱)$$

شاخص$Dunn$ حاصل تقسیم d_{min} بر d_{max} است:

$$C = \frac{d_{min}}{d_{max}} \qquad (۱۲)$$

هر چه مقدار نمایه بزرگ‌تر باشد، بهینه‌ترین خوشه بندی صورت گرفته است.

1 -Ward
2 -C-index
3 -Hubert and Schultz
4 -Dunn

جدول ۱- فهرست داده‌های به‌کارگرفته شده برای طبقه‌بندی توده‌های هوای ایستگاه همدید ارومیه

ردیف	نماد	شرح	یکا
۱	$DRY03$	دمای خشک ساعت سه زولو (ساعت ۶/۵ محلی)	درجه سلسیوس
۲	$DRY09$	دمای خشک ساعت نه زولو (ساعت ۱۲/۵ محلی)	درجه سلسیوس
۳	$DRY15$	دمای خشک ساعت پانزده زولو (ساعت ۱۸/۵ محلی)	درجه سلسیوس
۴	$DRYMD$	میانگین روزانه‌ی دمای خشک	درجه سلسیوس
۵	$WET03$	دمای تر ساعت سه زولو (ساعت ۶/۵ محلی)	درجه سلسیوس
۶	$WET09$	دمای تر ساعت نه زولو (ساعت ۱۲/۵ محلی)	درجه سلسیوس
۷	$WET15$	دمای تر ساعت پانزده زولو (ساعت ۱۸/۵ محلی)	درجه سلسیوس
۸	$WETMD$	میانگین روزانه‌ی دمای تر	درجه سلسیوس
۹	$MAXDT$	بیشینه دمای روزانه (دمای روزهنگام)	درجه سلسیوس
۱۰	$MENDT$	میانگین دمای شبانروز	درجه سلسیوس
۱۱	$MINDT$	کمینه دمای روزانه (دمای شب هنگام)	درجه سلسیوس
۱۲	$RRRMD$	ارتفاع بارش روزانه	میلیمتر
۱۳	$RHM03$	درصد نم نسبی ساعت سه زولو (ساعت ۶/۵ محلی)	درصد
۱۴	$RHM09$	درصد نم نسبی ساعت نه زولو (ساعت ۱۲/۵ محلی)	درصد
۱۵	$RHM15$	درصد نم نسبی ساعت پانزده زولو (ساعت ۱۸/۵ محلی)	درصد
۱۶	$RHMMD$	میانگین روزانه‌ی درصد نم نسبی	درصد
۱۷	$M03$	سرعت باد در ساعت سه زولو (ساعت ۶/۵ محلی)	گره
۱۸	$M09$	سرعت باد در ساعت نه زولو (ساعت ۱۲/۵ محلی)	گره
۱۹	$M15$	سرعت باد در ساعت پانزده زولو (ساعت ۱۸/۵ محلی)	گره
۲۰	$A03$	سمت باد در ساعت سه زولو (ساعت ۶/۵ محلی)	درجه
۲۱	$A09$	سمت باد در ساعت نه زولو (ساعت ۱۲/۵ محلی)	درجه
۲۲	$A15$	سمت باد در ساعت پانزده زولو (ساعت ۱۸/۵ محلی)	درجه
۲۳	$VAP03$	فشار بخار آب در ساعت سه زولو (ساعت ۶/۵ محلی)	هکتوپاسکال
۲۴	$VAP09$	فشار بخار آب در ساعت نه زولو (ساعت ۱۲/۵ محلی)	هکتوپاسکال
۲۵	$VAP15$	فشار بخار آب در ساعت پانزده زولو (ساعت ۱۸/۵ محلی)	هکتوپاسکال
۲۶	$QFE03$	فشار تراز ایستگاه در ساعت سه زولو (ساعت ۶/۵ محلی)	هکتوپاسکال
۲۷	$QFE09$	فشار تراز ایستگاه در ساعت نه زولو (ساعت ۱۲/۵ محلی)	هکتوپاسکال
۲۸	$QFE15$	فشار تراز ایستگاه در ساعت پانزده زولو (ساعت ۱۸/۵ محلی)	هکتوپاسکال
۲۹	$QFF03$	فشار تراز دریا در ساعت سه زولو (ساعت ۶/۵ محلی)	هکتوپاسکال
۳۰	$QFF09$	فشار تراز دریا در ساعت نه زولو (ساعت ۱۲/۵ محلی)	هکتوپاسکال
۳۱	$QFF15$	فشار تراز دریا در ساعت پانزده زولو (ساعت ۱۸/۵ محلی)	هکتوپاسکال
۳۲	$CLO03$	میزان ابرناکی در ساعت سه زولو (ساعت ۶/۵ محلی)	اکتا
۳۳	$CLO09$	میزان ابرناکی در ساعت نه زولو (ساعت ۱۲/۵ محلی)	اکتا
۳۴	$CLO15$	میزان ابرناکی در ساعت پانزده زولو (ساعت ۱۸/۵ محلی)	اکتا

ج)نمایه‌ی زی-بینی[1] : این نمایه یک نمایه برای خوشه‌بندی فازی است ولی برای سایر روش‌های خوشه‌بندی نیز کاربرد دارد. این نمایه توسط زی و بینی (۱۹۹۱) ارائه شد. مقدار شاخص برابر با متوسط مجموع مربعات خطا برکمینه‌ی مربع فاصله‌ی بین افراد یک خوشه است. میانگین خطای درجه‌ی دوم برای روشهای خوشه‌بندی غیر از روش فازی به کمک $WGSS/N$ به‌دست می‌آید. به بیانی دیگر میانگین مربع فاصله-ی همه‌ی افراد از مرکز خوشه‌ی گروهی که در آن قرار دارند برابر با میانگین خطای درجه‌ی دوم خواهد شد:

$$\delta_1(C_k,C_{k'}) = \min_{i\in I_k, j\in I_{k'}} d(M_i - M_j) \qquad (۱۳)$$

و نمایه‌ی Xie_Beni به صورت زیر به‌دست خواهد آمد:

1 - Xie_Beni

$$C = \frac{1}{N}\frac{WGSS}{\min_{k<k'}\delta_1(C_k, C_{k'})^2} \quad (۱۴)$$

$$WGSS^{\{k\}} = \sum_{i \in I_k}\left\| M_i^{\{k\}} - M_j^{\{k'\}} \right\|^2 \quad (۱۵)$$

هر چه مقدار نمایه کوچک‌تر باشد، تفکیک خوشه‌بندی بهینه است. برپایه‌ی نتایج حاصل از نمایه‌های کنترل کیفیت پراش درون‌گروهی، طبقه‌بندی کردن توده هواهای ایستگاه همدید ارومیه به هفت گروه بهینه‌ترین طبقه‌بندی است. فراوانی روزانه، ماهانه و سالانه‌ی رخنمود هر یک از توده هواهای شناخته شده برحسب درصد محاسبه شد. ممکن است طی یک روز خاص ارومیه چندین توده‌های هوا مختلف را تجربه کند. برای محاسبه‌ی درجه‌ی تنوع توده‌های هوای روزانه، ابتدا درصد رخنمود روزانه‌ی هر یک از توده-های هوا(R_{ij}) به کمک رابطه‌ی زیر محاسبه شد(مسعودیان، ۱۳۹۱):

$$R_{ij} = \frac{n_{ij}}{N} \times 100 \quad (۱۶)$$

که در آن n_{ij}: فرراوانی توده هوای i اُم در روز j اُم و N: فراوانی کل رخنمود توده‌های هوا در روز j اُم است که برابر با سال‌های آماری مورد مطالعه خواهد بود. درجه‌ی تنوع توده‌های هوا از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید:

$$D_i = 1 - \frac{1}{K}\sum_{j=1}^{m}\left| R_{ij} - \frac{100}{m} \right| \quad (۱۷)$$

مقدار K عبارت است از:

$$K = 200 \times \frac{m-1}{m} \quad (۱۸)$$

در رابطه‌ی بالا، مقدار m برابر با تعداد توده هواهای شناخته شده است. در صورتی که در روز مورد نظر تنها یک توده هوا رخنمود داشته باشد، مقدار شاخص برابر با صفر خواهد بود. اگر در روز مورد نظر کلیه‌ی توده‌های هوا رخنمود داشته باشند و درصد بسامد رخداد آنها یکسان باشد مقدار شاخص برابر با یک خواهد بود. بنابراین مقدار شاخص بین دو عدد صفر و یک تغییر می‌کند. عدد صفر نشانگر یکدستی کامل(عدم تنوع) و عدد یک بیانگر تنوع کامل هوا در روز مورد نظر می‌باشد.

نحوه‌ی رخنمود توده‌های هوا پشت سر همدیگر یکی دیگر از ویژگی‌های توده‌های هوا است. به کمک این ویژگی می‌توان سازگاری و ناسازگاری بین توده‌های هوا را شناخت (مسعودیان،۱۳۹۱). برای مثال هنگامی توده هوا i اُم را ناسازگار با توده هوای j اُم می‌نامیم که بعد از رخنمود توده هوای i اُم بسامد رخداد توده هوای j اُم صفر باشد. برای محاسبه‌ی سر سازگاری و ناسازگاری توده هواهای مختلف می‌توان از شاخصی با نام شاخص رخداد بهره گرفت:

$$OccIndex = 1 - \frac{n}{N} \quad (۱۹)$$

که در آن n: تعداد دفعات رخداد توده هوای مورد نظر و N: بسامد روزهایی است که توده هوای مورد نظر رخنمود داشته است. هر چقدر توده هوا دفعات رخنمود بیشتری داشته باشد، گسسته‌تر و هر چه تعداد دفعات رخنمود کمتر باشد، پیوسته‌تر خواهد بود. برای توده هواهای کاملاً گسسته مقدار شاخص برابر با صفر و برای توده هواهای کاملاً پیوسته مقدار شاخص برابر با $1-\frac{1}{N}$ و به یک بسیار نزدیک خواهد شد. لازم به ذکر است که برای انجام محاسبات در این پژوهش از نرم افزارهای متلب[1] و آر[2] بهره گرفته شده است.

نتایج و بحث

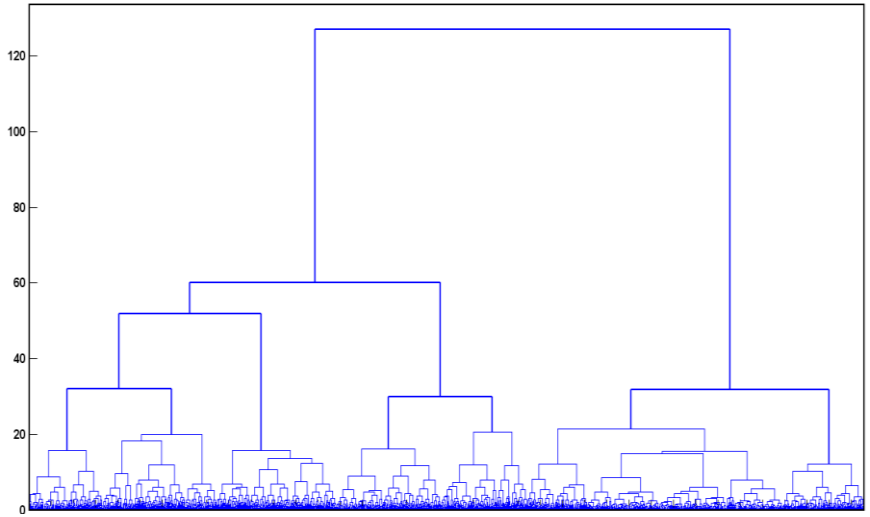
خوشه‌بندی و بررسی اعتبارسنجی نتایج خوشه‌بندی به کمک نمایه‌های کنترل کیفیت پراش درون‌گروهی

شکل (۱) دارنمای حاصل از تحلیل خوشه‌ای ۱۸۷۷۵ روز دیده‌بانی ۳۶ سنجه‌ی جوی ایستگاه همدید ارومیه را نشان می‌دهد. همان‌طور که در بخش داده و روش‌شناسی یاد شد مهم‌ترین گام در فرایند تحلیل خوشه‌ای گزینش شمار خوشه‌ها می‌باشد. به همین منظور از نمایه‌های کنترل کیفیت پراش درون گروهی بهره گرفته شد. مقادیر نمایه‌ها برای تفکیک دو خوشه‌ای تا بیست خوشه‌ای در جدول(۲) آمده است. برپایه‌ی نتایج حاصل اغلب نمایه‌ها تفکیک ۷ خوشه‌ای را بهینه‌ترین طبقه‌بندی برای توده‌های هوای ارومیه پیشنهاد می‌کنند و در تفکیک یاد شده پراش درون‌گروهی نسبت به سایر تفکیک‌های دیگر کمینه است. میانگین هر کدام از سنجه‌ها برای هر کدام از خوشه‌ها(توده‌های هوا) به‌دست آمد(جدول ۳) و با تکیه بر ویژگی‌های سنجه‌ها در مقایسه با میانگین بلندمدت، نامگذاری توده‌های هوا انجام شد.

1- Matlab
2 -R

جدول۲-مقادیر نمایه‌ها برای تفکیک‌های متفاوت تحلیل خوشه‌ای

نمایه	شمار خوشه ها																		
	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
سی	۰/۲۱	۰/۱۶	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۹	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹
اکسی-بینی	۲۹/۵	۲۴/۷	۲۰/۳	۱۸/۷	۱۷/۵	۱۶/۷	۲۶/۶	۲۵/۷	۲۵/۱	۲۴/۳	۲۳/۷	۲۳/۱	۲۲/۴	۲۲	۲۱/۶	۲۱/۳	۲۱	۲۰/۶	۲۰/۳
دان	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۵



شکل۱- دارنمای حاصل از تحلیل خوشه‌ای

۱)نیمه سرد، نیمه مرطوب، کم‌بارش و کم‌باد

۲)سرد، مرطوب، بسیار پربارش و نیمه‌بادی

۳)نیمه گرم، نیمه خشک، نیمه بارشی و بسیار بادی

۴)بسیارگرم،بسیار خشک، بسیار کم‌بارش و پرباد

۵)سرد، بسیار مرطوب، بارشمند و آرام

۶)بسیار سرد، مرطوب، کم‌بارش و نیمه‌بادی

۷)گرم، خشک، کم‌بارش و نیمه‌بادی

جدول۳- میانگین سنجه‌های جوی توده‌های هوای ایستگاه ارومیه

	توده‌های هوا						
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
*DRY*03	۰/۱۹	۳/۵	۷/۷	۱۵/۴	−۳/۹	−۵/۹	۸/۴
*DRY*09	۱۱/۱	۸/۵	۱۷/۲	۲۶/۹	۰/۶	۲/۲	۲۱/۱
*DRY*15	۸/۵	۷/۲	۱۵/۵	۲۷/۵	−۰/۴۵	−۰/۴	۱۹/۸
DRYMD	۵/۸	۵/۸	۱۲/۷	۲۲/۱	−۱/۶	−۲/۲	۱۵/۴
*WET*03	−۱	۲/۵	۵/۷	۱۱/۷	−۴/۴	−۶/۶	۵/۸
*WET*09	۶	۵/۷	۱۰/۸	۱۷	−۰/۹۸	−۰/۶	۱۲/۶
*WET*15	۴/۶	۴/۹	۹/۹	۱۶/۹	−۱/۷	−۲/۳	۱۱/۸
WETMD	۲/۸	۴	۸/۵	۱۴/۸	−۲/۶	−۳/۷	۹/۷
MAXDT	۱۲/۹	۱۰/۵	۱۹/۲	۲۹/۶	۲/۲	۴/۲	۲۳/۱
MENDT	۶/۲	۶/۵	۱۲/۹	۲۲	−۱/۴	−۱/۳	۱۵/۳
MINDT	−۰/۴	۲/۴	۶/۶	۱۴/۳	−۴/۹	−۶/۸	۷/۵
RRRMD	۰/۰۸	۴/۳	۰/۹۴	۰/۰۸	۱/۱	۰/۲۴	۰/۰۹
*RHM*03	۷۸/۵	۸۴/۵	۷۴/۵	۶۴	۸۵/۲	۷۹/۷۶	۶۸
*RHM*09	۴۴/۱	۶۶/۸	۴۳/۱	۳۵/۳	۷۱/۹	۵۶/۲	۳۴/۵
*RHM*15	۵۳/۷	۷۰/۵	۴۷/۵	۳۲/۴	۷۷/۵	۶۶/۳	۳۶/۴
RHMMD	۶۲/۱	۷۵/۹	۵۸	۴۷	۸۰	۷۰/۲	۴۹/۴
*M*03	۱۰۴/۳	۸۴/۶	۱۰۴/۹	۱۱۸/۳	۹۳/۲	۱۱۷/۶	۱۰۶/۳
*M*09	۹۳/۳	۱۰۹/۱	۱۲۶/۷	۱۰۵/۵	۸۴	۹۷	۹۷
*M*15	۷۹/۴	۱۰۷/۱	۱۳۴/۶	۱۰۷	۵۵/۸	۶۹/۶	۸۸
*A*03	۱	۱	۱/۲	۱	۰/۹۶	۱/۲	۱
*A*09	۱/۹	۲/۳	۳/۵	۳	۱/۱	۱/۳	۲/۶
*A*15	۱/۴	۲	۲/۸	۲	۰/۷	۰/۹	۱/۸
*VAP*03	۴/۹	۷	۸	۱۱/۴	۴	۳/۳	۷/۵
*VAP*09	۵/۹	۷/۶	۸/۷	۱۲/۷	۴/۶	۴/۱	۸/۸
*VAP*15	۶	۷/۴	۸/۵	۱۲/۱	۴/۷	۴	۸/۵
*QFE*03	۸۶۹/۶	۸۶۳/۷	۸۶۶/۲	۸۶۵/۶	۸۶۹/۹	۸۷۰/۵	۸۶۹/۱
*QFE*09	۸۷۰	۸۶۴	۸۶۶/۳	۸۶۴/۴	۸۷۰/۳	۸۷۱/۲	۸۶۹/۳
*QFE*15	۸۶۸/۸	۸۶۳/۲	۸۶۵/۲	۸۶۲/۴	۸۶۹/۳	۸۷۰/۴	۸۶۷/۶
*QFF*03	۱۰۲۰/۶	۱۰۱۲/۸	۱۰۱۲/۳	۱۰۰۵/۳	۱۰۲۴/۷	۱۰۲۴/۷	۱۰۱۴/۵
*QFF*09	۱۰۱۹/۷	۱۰۱۲/۷	۱۰۱۱/۶	۱۰۰۴/۷	۱۰۲۴/۸	۱۰۲۵/۷	۱۰۱۳/۷
*QFF*15	۱۰۱۹/۵	۱۰۱۲/۴	۱۰۱۱/۳	۱۰۰۲/۸	۱۰۲۴	۱۰۲۵/۹	۱۰۱۲/۷
*CLO*03	۰/۷	۶/۲	۳/۶	۰/۹	۶/۲	۲/۷	۰/۷
*CLO*09	۲	۶/۵	۴/۷	۱	۷	۲/۷	۱/۳
*CLO*15	۲/۵	۵/۹	۴/۸	۱/۲	۶/۹	۱/۷	۱/۶

ویژگی‌های آماری توده‌های هوا

توده هوای نیمه سرد، نیمه مرطوب، کم‌بارش و کم‌باد

این توده هوا در ۱۲/۵ درصد روزهای سال در ارومیه مشاهده می‌شود. درصد احتمال رخداد بارش هنگام رخداد آن ۵/۱ درصد است. میانگین بارش در هریک از روزهای بارشی برابر با ۱/۶ میلی‌متر است. در ۶۰ درصد مواردی که این توده هوا دیده شده، همراه با یخبندان صبحگاهی بوده است(جدول ۴). به لحاظ زمانی این توده هوا دارای دو دوره‌ی رخداد در ماه‌های گذر سال می‌باشد. رخنمود آن در دوره‌ی اول از اوایل ماه ژانویه تا نیمه‌ی دوم ماه می می‌باشد. اوج رخداد آن در دوره‌ی اول مربوط به ماه مارس است و طی ماه‌های گرم سال احتمال رخداد آن صفر است. دوره‌ی دوم از اواخر ماه سپتامبر شروع می‌شود و تا پایان دسامبر ادامه دارد.

احتمال رخداد آن در دوره‌ی دوم در اوایل ماه نوامبر بیشینه است. بر پایه‌ی احتمال رخداد، بسامد رخداد سالانه‌ی آن طی دوره‌ی مورد مطالعه نوسان قابل ملاحظه‌ای از خود نشان نمی‌دهد(شکل ۲).

توده هوای سرد، مرطوب، بسیار پربارش و نیمه‌بادی

فراوانی رخداد توده هوای دوم در ارومیه برابر با ۱۳/۷ درصد است. احتمال رخداد بارش این توده هوا بیشتر از سایر توده‌های هوایی است که در ارومیه دیده می‌شود. در ۶۵/۷ درصد موارد همراه با بارش است و متوسط بارش در هر روز بارشی برابر با ۶/۶ میلی-متر است. حدود ۵۵ درصد موارد همراه با وزش باد است(جدول ۴). به لحاظ زمانی در طول سال دارای دو دوره‌ی رخداد می‌باشد. دوره-ی اول از اوایل ژانویه تا اواخر ماه ژوئن و دوره‌ی دوم از اواخر ماه سپتامبر تا اواخر دسامبر می‌باشد. احتمال رخداد این توده هوا در نیمه‌ی اول ماه مارس بیشینه است و در حدود ۵۰ درصد موارد طی زمان یاد شده ارومیه چنین هوایی را تجربه می‌کند. سری زمانی سالانه‌ی احتمال رخداد این توده هوا نشان می‌دهد که از سال ۱۹۹۵ به بعد از احتمال رخداد آن کاسته شده است(شکل ۲).

توده هوای نیمه گرم، نیمه خشک، نیمه بارشی و بسیار بادی

توده هوای سوم فراوانی رخداد بیشتری نسبت به سایر توده-های هوا به غیر از توده هوای چهارم دارد. در ۱۴/۲ درصد روزهای مورد مطالعه این توده هوا در ارومیه مشاهده شد. احتمال رخداد وزش باد در این توده هوا بیشتر از سایر توده‌های هوایی است که در ارومیه رخنمود دارند. در ۶۷/۲ درصد روزهایی که این توده هوا مشاهده می‌شود، همراه با وزش باد است. احتمال ایجاد رخداد یخبندان برای ارومیه طی رخداد این توده هوا ۴/۸ درصد است. احتمال اینکه این توده هوا همراه با بارش باشد برابر با ۳۲/۵ درصد است. به بیانی دیگر حدود یک بار از سه بار رخداد این توده هوا بارش را به دنبال داشته است. متوسط بارش در هر روز بارشی ۲/۹ میلی‌متر است(جدول ۴). این توده هوا در ماههای گذر سال مشاهده می‌شود. در ماههای آوریل و می از فصل بهار درصد احتمال رخداد آن بیشتر از فصل پاییز است. در برخی روزهای نیمه‌ی اول ماه می احتمال رخداد آن به ۷۰ درصد می‌رسد(شکل ۲). سری زمانی سالانه بیانگر افزایش احتمال رخداد این توده هوا طی دهه‌ی اخیر است.

توده هوای بسیارگرم، بسیار خشک، بسیار کم‌بارش و پرباد

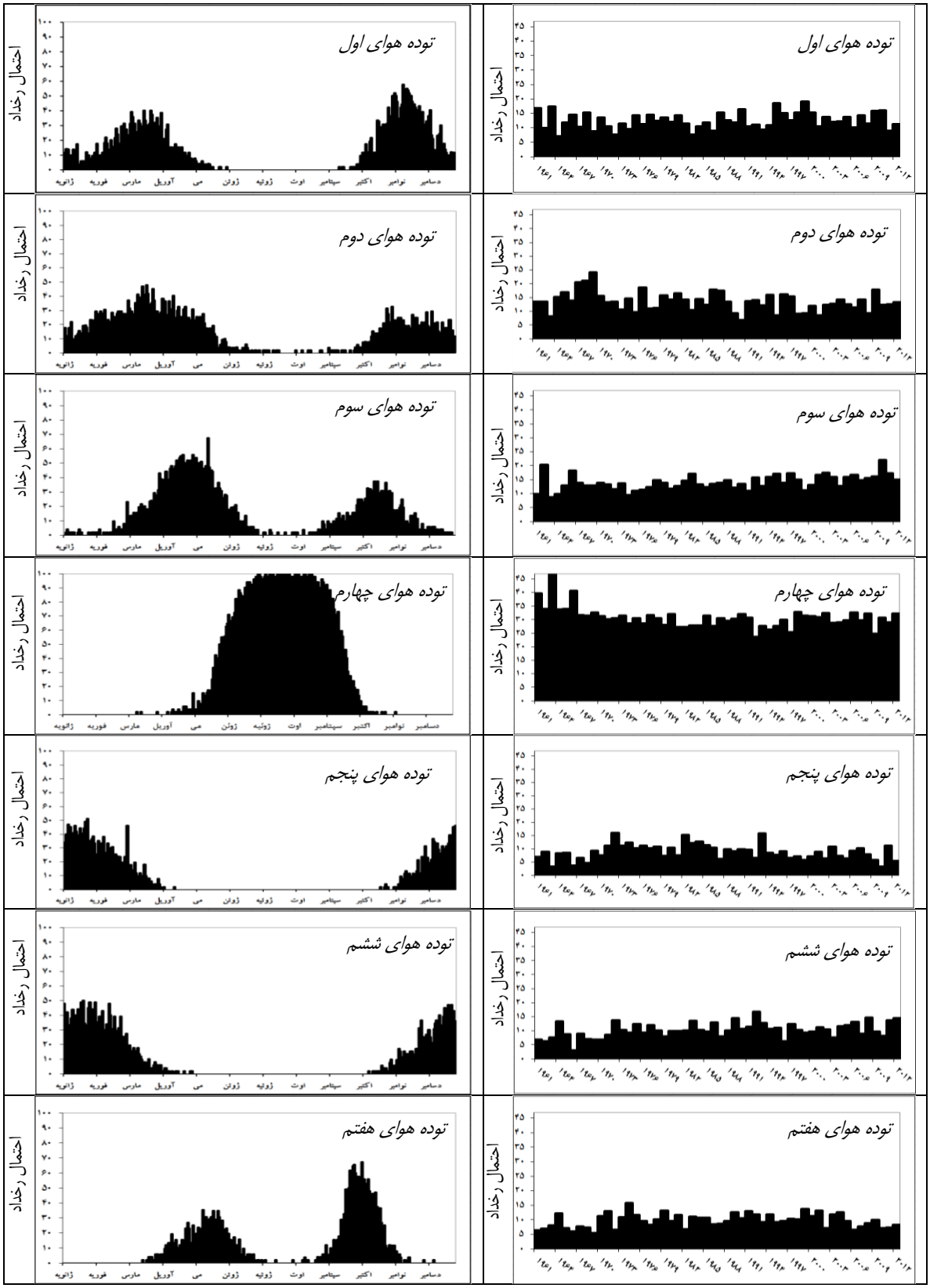
یافته‌ها نشان داد که فراوانی رخداد این توده هوا نسبت به سایر توده‌های هوا بیشینه است. در ۳۰/۴ درصد از روزهای سال این توده هوا حاکمیت دارد. همبستگی درون‌گروهی آن از همه‌ی توده‌های هوا بیشتر است. درصد احتمال رخداد بارش بسیار اندک است و تنها ممکن است ۴/۶ درصد موارد همراه با بارش باشد(جدول ۴). در صورت رخداد بارش نیز مقدار دریافتی بارش آن نسبت به سایر توده‌های هوا بسیار ناچیز است. همانند توده هوای سوم درصد رخداد وزش باد در این توده هوا نیز بالاست. تنها توده هوایی است که درصد احتمال رخداد یخبندان آن برابر با صفر است. به بیانی دیگر در بین ۵۷۲۴ روزی که این توده هوا رخنمود داشته است حتی یکبار ارومیه یخبندان را تجربه نکرده است. این توده هوا مختص فصل گرم است. در ماه‌های ژوئن تا نیمه‌ی دوم سپتامبر درصد احتمال رخداد آن به ۱۰۰ درصد می‌رسد. به بیانی دیگر به جز موارد بسیار اندک طی دوره‌ی یاد شده هیچ گونه هوای دیگری غیر از توده هوای چهارم در ارومیه دیده نمی‌شود. طی دوره‌ی مورد مطالعه احتمال رخداد این توده هوا در اغلب سال‌ها بیشتر از ۳۰ درصد است(جدول ۴). بیشینه‌ی رخداد آن مربوط به سال‌های نخستین دوره‌ی آماری است. از اواسط دوره‌ی مورد مطالعه به بعد فراوانی و احتمال رخداد آن با شیب اندکی روبه افزایش است(شکل ۲).

توده هوای سرد، بسیار مرطوب، بارشمند و آرام

کم‌بسامدترین توده هوای است که ارومیه در ایام سال آن را تجربه می‌کند. درصد احتمال رخداد آن حدود نه درصد است. بعد از توده هوای دوم بیشترین درصد احتمال رخداد بارش مربوط به این توده هواست. هنگام رخداد آن در هر روز بارشی ارومیه بطور میانگین ۳/۲ میلی‌متر بارش دریافت می‌کند و حدود ۹۵ درصد موارد همراه با یخبندان است و در بین توده‌های هوا بالاترین احتمال رخداد یخبندان را دارد (جدول ۴). همچنین به دلیل سردی هوا بیشترین احتمال رخداد مه پگاهی(صبحگاهی) را به خود اختصاص می‌دهد. درصد احتمال رخداد وزش باد در این توده هوا بسیار پایین است و آرام‌ترین توده هوا به حساب می‌آید. این توده هوا مختص دوره‌ی سرد سال است و از اوایل ژانویه تا اواخر مارس و از اوایل نوامبر تا اواخر دسامبر رخنمود دارد(شکل ۲). طی دهه‌ی اخیر از بسامد رخداد آن کاسته شده است.

بسیار سرد، مرطوب، کمبارش و نیمه‌بادی

این توده هوا حدود ۱۰ درصد از روزهای سال در ارومیه مشاهده می‌شود. درصد احتمال رخداد بارش آن ۱۰/۵ درصد و میانگین بارش در هر روز بارشی برابر با ۲/۳ میلی‌متر است. بعد از توده هوای پنجم محتمل‌ترین توده هوا برای رخداد یخبندان در ارومیه است. بطوری‌که در حدود ۹۳ درصد موارد منجر به یخبندان بوده است. درصد احتمال رخداد مه پگاهی آن ۶/۷ درصد است که با گرم شدن هوا در طول دیده‌بانی‌های دیگر از احتمال آن کاسته می‌شود(جدول ۴). همانند توده هوای پنجم این توده هوا نیز در ماه-های سرد سال رخنمود دارد(شکل ۲). احتمال رخداد آن در ماه‌های آوریل تا اکتبر صفر است. یافته‌ها نشان می‌دهد که احتمال رخداد آن طی بازه‌ی زمانی مورد مطالعه وردایی قابل توجهی از خود نشان نمی‌دهد.



شکل۲- احتمال رخداد روزانه و سالانه‌ی توده‌های هوای ارومیه

علوم و مهندسی آبیاری (مجله ی علمی- پژوهشی)، جلد ۴۰، شماره‌ی۲ تابستان ۹۶

جدول٤- برخی از ویژگی‌های توده‌های هوای ارومیه

	فراوانی رخداد(درصد)	همبستگی درون گروهی	درصد احتمال بارش	میانگین بارش	میانگین بارش در روزهای بارشی	درصد احتمال رخداد یخبندان	درصد احتمال رخداد مه درساعت۰۳	درصد احتمال رخداد مه درساعت۰۹	درصد احتمال رخداد مه درساعت۱۵	درصد احتمال رخداد باد
۱	(۱۲/۵) ۲۳۵۶	۰/۷۸	۵/۱	۰/۰۸	۱/۶	۶۰	۰/۷۲	۰	۰/۰۸	۵۱/۴
۲	(۱۳/۷) ۲۵۷۳	۰/۶۹	۶۵/۷	۴/۴	۶/۶	۳۶/۱	۲	۰/۲۷	۰/۰۳	۵۴/۸
۳	(۱۴/۲) ۲۶۷۱	۰/۶۶	۳۲/۵	۰/۹۴	۲/۹	۴/۸	۰/۳۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۶۷/۲
۴	(۳۰/۴) ۵۷۲۴	۰/۹	۴/۶	۰/۰۸	۱/۹	۰	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۰۶	۶۷
۵	(۸/۸۵) ۱۶۶۲	۰/۸۶	۳۴/۳	۱/۱	۳/۲	۹۴/۵	۸/۱	۱	۰/۹	۳۷/۶
۶	(۱۰/۳) ۱۹۴۹	۰/۷۷	۱۰/۵	۰/۲۴	۲/۳	۹۲/۶	۶/۷	۰/۲۵	۰/۲۵	۴۶/۳
۷	۱۸۴۰ (۹/۸)	۰/۸۶	۴/۷	۰/۰۹	۲	۰/۲۷	۰/۲۱	۰/۰۵	۰	۵۹/۲

گرم، خشک، کم‌بارش و نیمه‌بادی

این توده هوا بعد از توده هوای پنجم کم‌بسامدترین توده هوایی است که ارومیه تجربه می‌کند(۹/۸ روزهای سال). همبستگی درون‌گروهی آن به نسبت بالاست. همانند دو توده هوای اول و چهارم درصد احتمال رخداد بارش در این توده هوا نیز بسیار کوچک است. تقریباً بدون یخبندان و مه است. احتمال رخداد وزش باد ۵۹/۲ درصد است(جدول ۴). به لحاظ زمانی در ماههای گذر سال رخنمود دارد(شکل ۲). از اواسط مارس تا اواخر ماه ژوئن و از نیمه‌ی دوم ماه اوت تا اوایل نوامبر دیده می‌شود. اوج آن مربوط به ماه اکتبر است که در برخی روزهای آغازین این ماه درصد احتمال رخداد ان به بیش از ۶۶ درصد می‌رسد.

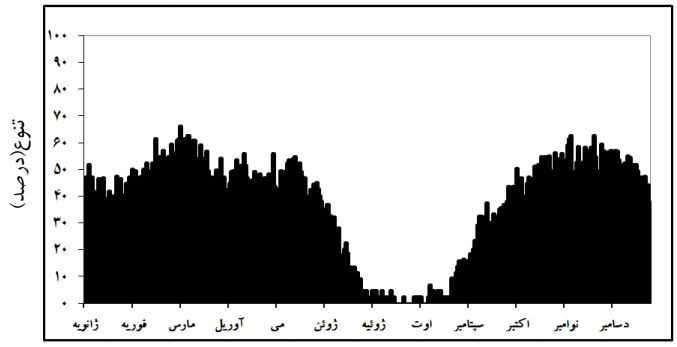
تنوع روزانه‌ی توده‌های هوا

شکل(۳) درصد تنوع رخداد توده‌های هوا را در هر روز از سال، در ارومیه نشان می‌دهد. همان طور که ملاحظه می‌شود در اکثر روزهای سال، شاهد حضور چندین توده هوا در پی یکدیگر هستیم. به بیانی دیگر این شاخص بیانگر گوناگونی تیپ‌های هوا در هر روز از سال است که برحسب درصد آمده است. برای مثال در زمستان درصد تنوع رخنمود توده‌های هوا در هر روز از سال تقریباً بیش از ۰/۴۵ درصد است. بیشترین درصد تنوع روزانه‌ی توده‌های هوا در فصل زمستان مربوط به روزهای اول و دوم ماه مارس است که درجه‌ی تنوع برابر با ۰/۶۹ درصد است. در بهار نیز تنوع روزانه‌ی توده‌های هوا از رقم بالایی برخوردار است ولی در مجموع نسبت به فصل زمستان از تنوع روزانه‌کاسته شده است. در تابستان درصد تنوع بسیار کوچک است به طوری که تنوع روزانه‌ی توده‌های هوا در برخی از روزهای ماه ژوئیه به صفر می‌رسد و این نشانگر حضور یک توده هوا در هر روز، و عدم تنوع تیپ‌های هوا در این مدت از سال است و به عبارتی تنوع روزانه‌ی توده‌های هوا در ماه تابستان دیده نمی‌شود در نیمه‌ی دوم ماه اوت درصد تنوع روزانه در ارومیه افزایش پیدا می‌کند. در پاییز تنوع روزانه‌ی تیپ‌ها از روند افزایشی برخوردار می‌باشد.

پایایی توده‌های هوا

منظور از پایایی آن است که هر تیپ هوا اصولاً در پی کدام یک از تیپ‌های هوای شناخته شده‌ی دیگر رخنمود دارد. اصولاً هر توده هوا با توده‌های هوای هم‌نوع خود و خودش سازگارتر است به عبارتی دیگر، احتمال مشاهده‌ی یک توده هوا پس از رخداد همان توده و توده هواهای از جنس خود بیشتر است. در جدول (۵) فراوانی و درصد پایایی توده‌های هوا آمده است. فراوانی پایایی توده هوای اول پس از خودش برابر ۱۱۱۳روز است که درصد احتمال آن برابر ۴۷/۲ است. محتمل‌ترین توده هوا پس از مشاهده توده هوای اول، توده هوای دوم می‌باشد که فراوانی پایایی و درصد پایایی آن به ترتیب برابر با ۳۶۲ روز و۱۵/۳درصد است که نشان می‌دهد توده هوای دوم تمایل بیشتری نسبت به اینکه پس از توده هوای اول ظاهر شود را دارد و با این تیپ سازگارتر است. مجموع فراوانی توده هوای اول در بازه‌ی مورد مطالعه ۲۳۵۶ روز می‌باشد. این توده هوا در طول دوره‌ی آماری مورد نظر ۱۲۴۳بار رخ داده است که شاخص رخداد آن ۰/۴۷ است و میزان دوام آن در هر بار رخداد و یا به عبارتی پایستگی آن ۱/۹ روز است و بیشینه و کمینه میزان پایستگی به ترتیب ۳۷ و ۱روز بوده است(جدول ۶). فراوانی رخنداد

آن ۱۶۴۱۹روز و شاخص رخنداد نیز برابر با ۰/۹۲ است(جدول ۷). برای مشاهده کردن این تیپ باید حدود ۱۳روز انتظار کشید تا این توده هوا را در ارومیه دید. به عبارتی دیگر توده هوای اول پس از ظهور ۱/۹ روز ماندگاری دارد و سپس ۱۳ روز ناپدید می‌شود. توده هوای دوم در طول دوره‌ی آماری ۱۴۱۴ بار رخ داده است که شاخص رخداد آن ۰/۴۵ است. میزان دوام در هر بار رخداد و یا به عبارتی پایستگی آن ۱/۸روز است. به‌طور متوسط برای مشاهده کردن این توده هوا باید حدود ۱۱روز انتظار کشید تا این توده هوا به ارومیه وارد شود. محتمل‌ترین توده هوا پس از مشاهده توده هوای سوم، توده هوای دوم می‌باشد که نشانگر سازگاری این توده هوا با توده هوای دوم است. مجموع فراوانی توده هوای سوم برابر۲۶۷۱ روز است. شاخص رخداد آن نسبت به سایر توده‌های هوا کمینه است(۰/۴۳) که بیانگر گسستگی بیشینه‌ی آن نسبت به بقیه است(جدول ۶). ماندگاری و مدت زمان انتظار رخداد آن از سایر توده هوا کمتر است. در بین توده‌های هوای ارومیه، توده هوای چهارم بیشترین سر سازگاری را با خود دارد و در حدود ۸۹ درصد موارد در پی خود ظاهر شده است. این توده هوا با توده هواهای پنجم و ششم سازگاری ندارد. طی دوره‌ی مورد پژوهش تنها یک بار در پی رخداد توده هوای چهارم، توده هوای ششم ظاهر شده است. شاخص رخداد آن از کلیه‌ی توده‌های هوایی که در ارومیه رخنمود داشته‌اند، بیشتر است و این بیانگر پیوستگی رخداد آن است و میانگین مدت زمان انتظار رخداد آن از سایر توده‌های هوا بیشتر است(۲۰/۵ روز). درصد پیایی توده هوای ششم بعد از رخداد توده هوای پنجم به نسبت سایر توده‌های هوا بیشتر است. سازگاری دو توده هوای چهارم و هفتم در ارومیه با توده هوای پنجم صفر است. مدت زمان مشابه با توده هوای چهارم باید انتظار کشید تا شاهد رخداد آن در ارومیه بود. توده هوای ششم در ۴۸/۵ درصد موارد در پی خود رخنمود داشته است (جدول۶). این توده هوا ۱۰۰۲ بار در ارومیه مشاهده شده که بطور متوسط هر بار حدود دو روز ماندگار بوده است. توده هوای هفتم بیشترین سر سازش را با توده هوای سوم نشان می‌دهد. در دوره‌ی مورد مطالعه در پی ظهور این توده هوا حتی یکبار نشده که توده هوای پنجم رخنمود داشته باشد. شاخص رخداد توده هوای هفتم ۰/۵۱ است.



شکل۳- درصد تنوع رخداد تیپ‌های همدید در هر روز از سال

جدول۵- فراوانی و درصد فراوانی(در پرانتز) پیایی توده‌های هوا در ارومیه

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
۱	(۴۷/۲) ۱۱۱۳	۳۳۹ (۱۳/۱)	۳۷۰ (۱۳/۸)	۶ (۰/۱)	۱۴۷ (۸/۸)	۲۳۶ (۱۲/۱)	۱۴۵ (۷/۸)
۲	۳۶۳ (۱۵/۳)	۱۱۵۹ (۴۵)	۴۸۰ (۱۷/۹)	۲۶ (۰/۴)	۲۰۷ (۱۲/۴)	۲۸۳ (۱۴/۵)	۵۶ (۳)
۳	۳۲۱ (۱۳/۶)	۵۴۴ (۲۱/۱)	۱۱۵۰ (۴۳)	۲۶۷ (۴/۶)	۱۱ (۰/۶۶)	۲۷ (۱/۳)	۳۵۱ (۱۹)
۴	۸ (۰/۳)	۳۴ (۱/۳)	۲۵۰ (۹/۳)	۵۰۹۳ (۸۸/۹)	۰	۰	۳۳۸ (۱۸/۳)
۵	۹۴ (۳/۹)	۲۸۹ (۱۱/۲)	۸ (۰/۲)	۰	۸۱۶ (۴۹)	۴۵۵ (۳۲/۳)	۰
۶	۳۳۶ (۱۴/۲)	۱۵۲ (۵/۹)	۲۳ (۰/۸)	۱ (۰/۰۱)	۴۸۱ (۲۸/۹)	۹۴۷ (۴۸/۵)	۹ (۰/۴۸)
۷	۱۲۱ (۵/۱)	۵۶ (۲/۱)	۳۹۰ (۱۴/۶)	۳۳۱ (۵/۷)	۰	۱ (۰/۰۵)	۹۴۱ (۵۱/۱)
جمع	۲۳۵۶ (۱۰۰)	۲۵۷۳ (۱۰۰)	۲۶۷۱ (۱۰۰)	۵۷۲۴ (۱۰۰)	۱۶۶۲ (۱۰۰)	۱۹۴۹ (۱۰۰)	۱۸۴۰ (۱۰۰)

جدول٦- ویژگی‌های رخداد توده‌های هوا در ارومیه

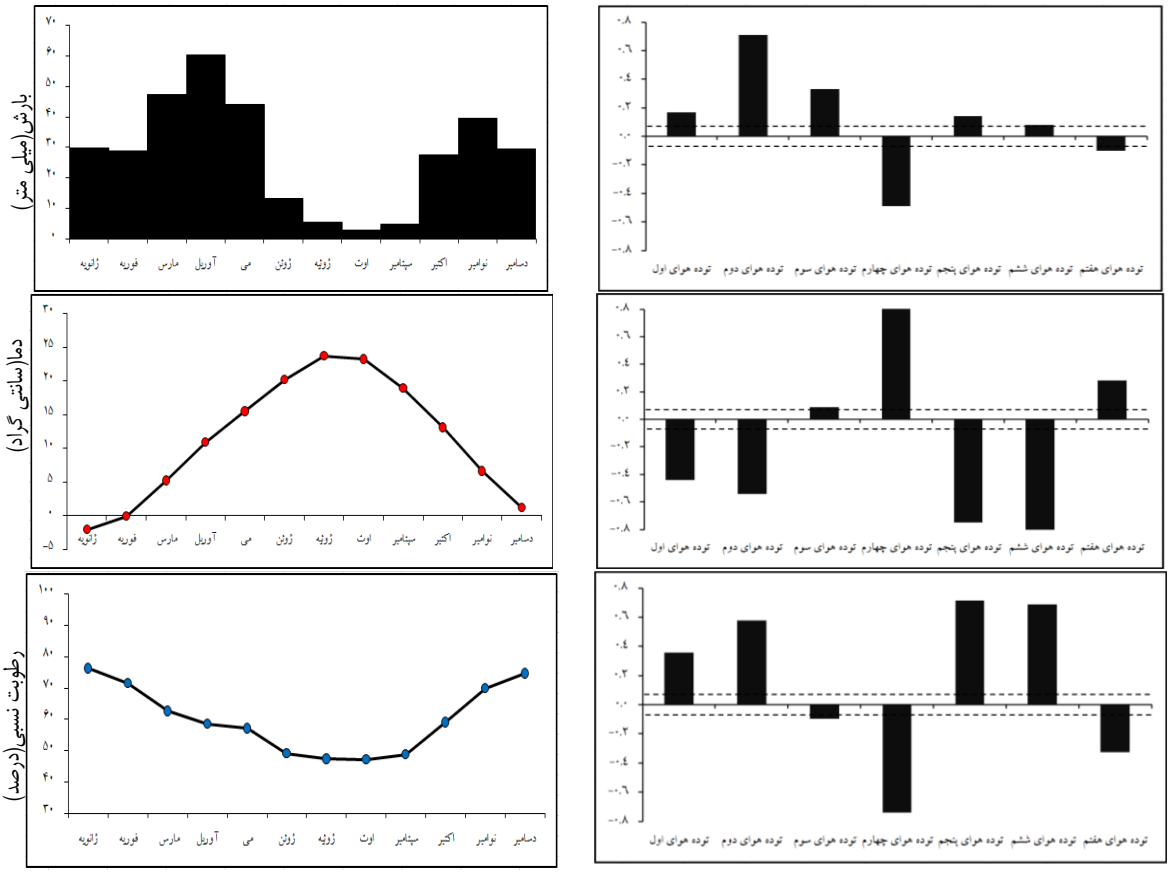
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
میانگین پایستگی	۱/۹	۱/۸۲	۱/۷۶	۹/۰۷	۱/۹۶	۱/۹۵	۲/۰۵
انحراف معیار	۱/۸۷	۱/۳۴	۱/۳	۱۹/۶	۱/۸۸	۱/۶۸	۲/۰۹
تغییرپذیری	۹۹	۷۴	۷۴	۲۱۶	۹۶	۸۶	۱۰۲
بیشینه	۳۷	۱۶	۱۲	۱۰۸	۲۲	۱۴	۲۲
کمینه	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
رخداد	۱۲۴۳	۱۴۱۴	۱۵۲۱	۶۳۱	۸۴۶	۱۰۰۲	۸۹۹
فراوانی	۲۳۵۶	۲۵۷۳	۲۶۷۱	۵۷۲۴	۱۶۶۲	۱۹۴۹	۱۸۴۰
شاخص رخداد	۰/۴۷	۰/۴۵	۰/۴۳	۰/۸۹	۰/۴۹	۰/۴۹	۰/۵۱

جدول۷- ویژگی‌های رخداد توده‌های هوا در ارومیه

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
میانگین پایستگی	۱۳/۲۱	۱۱/۴۹	۱۰/۵۴	۲۰/۵۶	۲۰/۲۲	۱۶/۷۹	۱۸/۷۲
انحراف معیار	۳۲/۹۳	۲۵/۰۴	۲۲/۹۴	۵۶/۴۸	۵۹/۷۹	۵۰/۱۸	۳۹/۵۷
تغییرپذیری	۲۴۹	۲۱۹	۲۱۸	۲۷۵	۲۹۶	۲۹۹	۲۱۱
بیشینه	۲۰۳	۲۰۴	۱۴۹	۲۵۵	۲۹۰	۳۰۶	۲۰۰
کمینه	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
رخداد	۱۵۱۰۵	۱۴۷۴۳	۱۴۵۸۳	۱۲۳۰۲	۱۶۲۵۳	۱۵۸۱۱	۱۵۹۸۵
فراوانی	۱۶۴۱۹	۱۶۲۰۱	۱۶۰۲۵	۱۲۹۵۰	۱۷۱۰۹	۱۶۸۲۱	۱۶۸۲۷
شاخص رخداد	۰/۹۲	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۵

ارتباط بین بارش، دما و رطوبت نسبی با توده‌های هوای رومیه

در شکل(۴) همبستگی ماهانه‌ی بین سه سنجه‌ی مهم جوی بارش، دما و رطوبت نسبی با بسامد رخداد توده‌های هوای ارومیه آمده است. مرز معنی داری همبستگی در سطح اطمینان ۹۵ درصد با خط تیره نشان داده شده است. به لحاظ زمانی بیشترین بارش دریافتی ارومیه مربوط به ماه آوریل است که به‌طور متوسط برابر با ۶۰ میلی‌متر است. در ماه‌های گرم سال سهم بارش دریافتی از مجموع بارش سالانه بسیار ناچیز است. همبستگی بین بارش ماهانه با فراوانی ماهانه‌ی رخداد کلیه‌ی توده‌های هوای شناخته شده در ارومیه در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار است. به غیر از توده-های هوای چهارم و هفتم، سایر توده‌های هوا ارتباط مستقیم و معنی داری با بارش دارند. در بین توده‌های هوا بارش بیشترین همبستگی معنی دار را با توده هوای دوم دارد که میزان برابر با ۷۱ درصد است. ارتباط بین بارش و توده هوای چهارم نیز قابل توجه و برابر با ۵۰ درصد است. میانگین بلندمدت دمای ارومیه در ماه‌های ژانویه و فوریه زیر صفر درجه سانتی‌گراد است. ماه ژوئیه با دمای ۲۳/۷ درجه‌ی سانتی گرم‌ترین ماه سال است. همبستگی معنی داری بین دمای ارومیه با بسامد رخداد ماهانه‌ی توده‌های هوای ارومیه دیده می‌شود. سه توده هوای سوم، چهارم و هفتم که به لحاظ دمایی نسبت به سایر توده‌های هوا گرم‌تر هستند، ارتباط مستقیمی با دما دارند. توده هوای چهارم که یک توده هوای بسیار گرم است با همبستگی ۸۵ درصد بیشترین ارتباط با دما را نشان می‌دهد. درحالی‌که چهار توده هوای اول، دوم، پنجم و ششم ارتباط معکوسی با دما نشان می‌دهند. توده هوای ششم، سردترین توده هوای ارومیه، بیشترین ارتباط معنی دار و معکوس را با دما دارد و میزان همبستگی آن با دما ۰/۸ است. مقدار رطوبت نسبی در ارومیه ارتباط مستقیم و معنی‌داری با توده هوای اول، دوم، پنجم و ششم دارد. همان‌طور که انتظار می‌رود مرطوب‌ترین توده هوای ارومیه، توده هوای پنجم، بیشترین همبستگی(۰/۷۱) معنی‌دار و مثبت را با رطوبت نسبی نشان می‌دهد. برعکس سه توده هوای سوم، چهارم و هفتم ارتباط معکوس و معنی‌داری با رطوبت نسبی از خود نشان می‌دهند. هماهنگ با یافته‌های قبلی پژوهش توده هوای چهارم که به نسبت سایر توده‌های هوا خشک‌ترین است بیشترین ارتباط و همبستگی معکوس(۰/۷۴) را با رطوبت نسبی دارد.



شکل٤- همبستگی بین بسامد رخداد توده‌های هوا با بارش، دما و رطوبت نسبی به ترتیب از بالا به پایین، همراه با مرز معنی‌داری آن در سطح اطمینان ۹۵ درصد (سمت راست) و میانگین بلندمدت سه سنجه‌ی یاد شده(سمت چپ)

بحث و نتیجه‌گیری

تکرار رخداد توده‌های هوا در بازه‌ی زمانی بلند مدت بر روی یک مکان، سامانه‌ی اقلیمی آن مکان را شکل می‌دهند. طبقه‌بندی توده‌های هوا و شناخت دقیق ویژگی‌های آنها می‌تواند برای بسیاری از فعالیت‌ها و برنامه‌ریزی‌های محیطی سودمند باشند. در این پژوهش با بهره‌گیری از روش تحلیل خوشه‌ای و نمایه‌های کنترل کیفیت پراش درون‌گروهی به طبقه‌بندی توده‌های هوای ارومیه طی بازه‌ی زمانی ۱۹۶۱/۱/۱ تا ۲۰۱۳/۶/۳۰ پرداخته شد. داده‌های روزانه‌ی مربوط به ۳۴ سنجه‌ی هواشناسی از ایستگاه همدید ارومیه استخراج و به‌کار گرفته شد. یافته‌ها بیانگر آن است که ارومیه در طول سال هفت توده هوای متفاوت را تجربه می‌کند. در فصول سرد و گذر سال تنوع روزانه‌ی توده‌های هوا نسبت به فصل گرم سال بیشتر است. در اغلب روزهای فصل گرم سال در ارومیه، تنها توده هوای چهارم(بسیار گرم، بسیار خشک، بسیار کم‌بارش و پرباد) مشاهده می‌شود که از پایستگی و ماندگاری بیشتری نسبت به سایر توده‌های هوا برخوردار است. این توده هوا در حدود یک سوم روزهای سال ظاهر می‌شود و پربسامدترین توده هوایی است که ارومیه به خود می‌بیند.

توده هوای دوم محتمل‌ترین توده هوای بارش‌زا است که به‌طور متوسط در هر روز بارشی آن، ارومیه ۶/۶ میلی‌متر بارش دریافت می‌کند. توده هوای سوم با متوسط مانایی ۱//۷ روز و شاخص رخداد ۰/۴۳ گسسته‌ترین توده هوایی است که ارومیه تجربه می‌کند. احتمال رخداد یخبندان دو توده هوای پنجم و ششم بیش از ۹۲ درصد است و احتمال رخداد مه یگاهی ناشی از دو توده هوای یاد شده بیشتر از سایر توده‌های هواست.

منابع

۱- علیجانی، ب. ۱۳۸۱. شناسایی تیپ‌های هوایی باران آور تهران براساس محاسبه چرخندگی. مجله تحقیقات جغرافیایی،شماره (۶۳): ۱۳۲-۱۱۴.

۲- فتاحی، ا. و ز. حجازی‌زاده. ۱۳۸۴. طبقه بندی همدیدی فضایی توده های هوا در حوضه‌های جنوب‌غربی ایران، مجله جغرافیا و توسعه، شماره (۶): ۱۵۶-۱۳۵.

۳- مسعودیان، س.ا. ۱۳۹۱. شناسایی گونه‌های هوای اصفهان، مجله تحقیقات جغرافیایی، شماره(۲۷): ۸۶-۶۵.

4- Alpert, P., Osetinsky, I., Ziv, B. and H. Shafir. 2004. Semi-objective classification for daily synoptic systems: Application to the eastern Mediterranean climate change. International Journal of Climatology, 24: 1001–1011.

5- Coleman, J.S.M. and J.C. Rogers. 2007. A synoptic climatology of the central United States and associations with Pacific teleconnection pattern frequency, Journal of Climate, 20: 3485–3497.

6- Dunn, J.C. 1974. Well separated clusters and optimal fuzzy partitions, Journal of Cybernetics, 4: 95-104.

7- Hewitson, B.C. and R.G. Crane. 2002. Self organizing maps: applications to synoptic climatology. Climate Research, 22: 13–26.

8- Hubert, L. and J. Schultz. 1976. Quadratic assignment as a general data-analysis strategy. British Journal of Mathematical and Statistical Psychology, 29: 190-241.

9- Huth, R. Beck, Ch., Philipp, A., Demuzere, M., Ustrnul, Z., Cahynova, M., Kysely, J and E. Tveito. 2008. Classification of atmospheric circulation patterns: Recent advances and application, Trends and direction in climate research. Annals of the New York Academy of Sciences, 1146: 105-152.

10- Jiang, N. 2011. A new objective procedure for classifying New Zealand synoptic weather types during 1958–2008. International Journal of Climatology, 31: 863-879.

11- Kalkstein, L.S., Nichols, M.C., Barthel, C.D., and J.S. Greene. 1996. A new spatial synoptic classification: application to air-mass analysis. International Journal of Climatology, 16: 983–1004.

12- Kassomenos PA, Gryparis A. and K. Katsouyanni. 2007. On the association between daily mortality and air mass types in Athens, Greece during winter and summer. International Journal of Biometerology, 51: 315–322.

13- Key, J. and R.G. Crane. 986. A comparison of synoptic classification schemes based on objective procedures. Journal of Climate, 6: 375–388.

14- Kidson, J.W. 1994. An automated procedure for the identification of synoptic types applied to the New Zealand region. International Journal of Climatology, 14: 711–721.

15- Kostopoulou , E. and P.D. Jones. 2007. Comprehensive analysis of the climate variability in the eastern Mediterranean, Part II: relationships between atmospheric circulation patterns and surface climatic elements. International Journal of Climatology, 27: 1351–1371.

16- Lamb, H.H. 1950. Types and spells of weather around the year in the British Isles: annual trends, seasonal structure of the year Singularities. Quarterly Journal of Royal Meteorological Society, 76: 393–429.

17- Maheras, P. 1989. Delimitation of the summer dry period in Greece according to the frequency of weather-types. Theoritical and Applied Climatology, 39: 171–176.

18- Maheras, P. 1988. The synoptic weather types and objective delimitation on the winter period in Greece. Weather, 43: 40–45.

19- Michailidou, C., Maheras, P., Arseni-Papadimititriou, A., Kolyva-Machera, F. and A. Anagnostopoulou. 2008. A study of weather types at Athens and Thessaloniki and their relationship to circulation types for the cold-wet period, part I: two-step cluster analysis. Theoritical and Applied Climatology, 97: 179-94.

20- Schwartz, M.D. and B. R Skeeter. 1994. Linking air mass analysis to daily and monthly mid-tropospheric flow patterns, International Journal of Climatology, 14: 439–464.

21- Xie, X.L. and G. Beni. 1991. A validity measure for fuzzy clustering. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 13(4): 841-846.

22- Yarnal, B. 1993. Synoptic climatology in environmental analysis. Belhaven Press, London, UK, 195 pp.

23- Yarnal, B., Comrie, A.C., Frakes, B. and D.P. Brown. 2001. Developments and prospects in synoptic climatology. International Journal of Climatology, 21: 1923–1950.