

## شناسایی الگوهای همدید روزهای آلوده به ذرات معلق به روش واکاوی خوشه ای شهر تبریز

علی قاسمی بختاش<sup>۱</sup>

علی محمد خورشید دوست<sup>۲</sup>

خلیل ولیزاده کامران<sup>۳</sup>

### چکیده

آلودگی هوا از جمله موضوعات مهم در آب و هوای شهری است و به لحاظ این که تاثیر مستقیمی در انسان دارد، همواره مورد توجه محققان بوده است. این پژوهش با هدف تحلیل و خوشه بندی الگوهای همدیدی موثر بر آلودگی های خطرناک PM10 شهر تبریز انجام شده است. نخست داده های آلودگی PM10 بر حسب میکروگرم بر متر مکعب از سازمان حفاظت محیط زیست استان آذربایجان شرقی برای پنج ایستگاه با غشمال، راه آهن، راسته کوچه، آبرسان و حکیم نظامی برای دوره ۸ ساله (۲۰۰۵-۲۰۱۲) استخراج گردید. آستانه آلودگی خطرناک PM10 ۴۲۰ میکروگرم بر متر مکعب انتخاب گردید. داده های فشار متناظر با روزهای آلوده از پایگاه داده های جوی مرکز پیش یابی اقلیم، وابسته به سازمان ملی جو و اقیانوس شناسی ایالات متحده آمریکا<sup>۴</sup> NCEP/NCAR استخراج گردید. به منظور استخراج روزهای خطرناک آلودگی PM10 روش تحلیل خوشه ای<sup>۵</sup> با یک رویکرد محیطی به گردشی و برای طبقه بندی نقشه های تراز دریا و استخراج الگوهای روزهای نماینده با آستانه ۵/۰، روش همبستگی لوند<sup>۶</sup> مورداستفاده قرار گرفت. با استفاده از تحلیل خوشه ای با محاسبه ای فواصل اقلیدسی و پیوند آن به روش «وارد» در محیط نرم افزار متلب سه الگوی فشاری به دست آمد و برای هر خوشه یک روز به عنوان روز نماینده مشخص گردید. جهت تحلیل همدید آلودگی های خطرناک PM10 داده های فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل و مولفه های نصف النهاری و مداری باد در تراز های ۱۰۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل نشان می دهد که آلودگی های خطرناک تبریز از سه الگوی اصلی، پرفشار عربستان، پرفشار شرق اروپا و الگوی دو هسته ای، پرفشار خاور میانه (آزور) و سبیری تاثیر می پذیرند. از میان سه الگوی استخراج شده الگوی پرفشار سبیری و پرفشار شرق اروپا یشترين تاثیر را بر روی آلودگی های خطرناک PM10 تبریز دارد.

**واژگان کلیدی:** آلودگی های خطرناک؛ الگوهای جوی؛ تحلیل خوشه ای؛ روز نماینده؛ PM10

۱. دانشجوی دکتری گروه آب و هواشناسی، دانشگاه تبریز (نویسنده مسئول)

۲. استاد گروه آب و هواشناسی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز

۳. دانشیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز

<sup>4</sup> National Center for Environmental Prediction (NCEP)

<sup>5</sup> National Center for Atmospheric Research (NCAR)

<sup>6</sup> Cluster Analyses

<sup>7</sup> Lund Correlation



## مقدمه

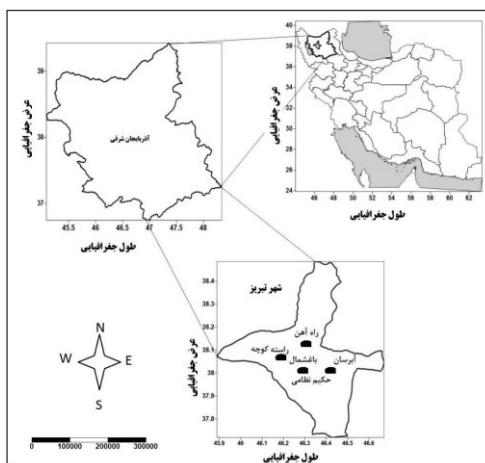
یکی از مهم‌ترین موضوعاتی که امروزه در آب‌وهوای شهری مطرح هست مسئله آلودگی هو است علاوه بر این مسئله آلودگی هو از مسائل مهم در بررسی‌های آب‌وهوایی است که تأثیر زیادی در سلامت موجودات زنده یک منطقه دارد (شکویی، ۱۳۵۸:۵۶). داش آب هواشناسی توجه و تأکید بسیار زیادی بر روی تأثیرات آلاینده‌های جوی بر ویژگی‌های آب و هوایی و بر عکس دارد. پدیده‌های جوی در توزیع آلاینده‌های جوی آثار مستقیم و غیرمستقیمی دارند. پدیده‌هایی چون وارونگی هوای بخصوص در فصل سرما و پدیده‌ی مه دود فتوشیمیایی از جمله عواملی محسوب می‌شوند که بر نحوی انتشار آلاینده‌ها اثر می‌گذارند (اصیلیان و همکاران ۱۳۸۵:۱۴۷). نقش آب‌وهوا در کاهش یا افزایش آلودگی هوای دیگر پدیده‌های شهری در کلان‌شهرها انکارناپذیر است. افزایش تعداد آلاینده‌ها یا پراکندگی مواد آلاینده انتشاریافت، به پدیده‌هایی از هواشناسی واقلیم شناسی بستگی دارد که توجه محققان را به خود جلب کرده است، این بدان معنی است که در مطالعه آلودگی هوایی از هواشناسی حساب ویژه‌ای بازنمود. عوایق ناگوار آلودگی هوای با ورود ریز گردها و رخداد توفان‌های گردوغباری طی یک دهه اخیر به کشور تشید شده است؛ بنابراین لزوم مطالعه در این زمینه و ارائه راه حل‌های کاربردی جهت بهبود شرایط زیستی ضروری به نظر می‌رسد (امیدوار و همکاران، ۱۳۹۲:۴۹).

ذرات معلق کوچک‌تر از ۱۰ میکرون یکی از ۵ آلاینده‌ی اصلی هوای شهرهای بزرگ بویژه تبریز است که عموماً از خودروها منتشر می‌گردد (اجتهادی، ۱۳۸۶:۱). ذرات معلق بدلیل فراگیری و نیز منابع مختلف تامین کننده آن مورد توجه پژوهش گران با دیدگاه‌های پژوهشی و زمینه‌های کاربردی مختلف قرار دارد. به طوریکه اندرسون و همکاران (Anderson et al, ۲۰۰۴) با مطالعه منابع مختلف ذرات معلق در مناطق شهری و حومه شهری، زوارضا و همکاران (۲۰۰۵)، با تحلیل انتشار سالانه PM10 با استفاده از مدل متعدد مقیاس آلودگی هوای شهر کرایست‌چرچ در ارتباط با ارزیابی ظهور بیماری‌های مزمن، چالولاکو و همکاران (Chaloukou et ۲۰۰۳) با بررسی تغییرات فضایی و زمانی حجم PM10 در منطقه گریتر شهر آتن، کارار و گاپتا (Kara and Gupta, ۲۰۰۶) ارتباط بین PM10 در شهرهای هند، از جمله مطالعات مرتبط با ذرات معلق هستند. هم چنین در ایران پژوهش گران مختلفی همانند خورشید دوست و قویدل رحیمی (۱۳۹۱:۲۳۷). به تحلیل آماری میزان اوزون در جو ایران پرداخته اند. یاوری و سلیقه (۱۳۹۰:۸۹) به مطالعه میانگین تأثیر سطوح وارونگی و شرایط همیدید در آلودگی شهر تهران را موردنبررسی قراردادند. رنجبر و محمدیان (۱۳۸۹:۱۱۱) به مطالعه میانگین الگوهای همیدیدی بر اساس رخداد غلظت‌های مختلف آلاینده CO در فصول تابستان و پاییز در تهران پرداختند. عطایی و هاشمی نسب (۱۳۹۰:۱) به تجزیه و تحلیل آماری شاخص استاندارد آلودگی (PSI) هوای شهر اصفهان پرداخته و به این نتایج دست یافتنده که فصل تابستان در شهر اصفهان آلوده‌ترین فصل سال است که یکی از دلایل عمدۀ آن قرار گرفتن این شهر در منطقه خشک و نیمه‌خشک و نبود نزولات آسمانی و کاهش میزان رطوبت نسبی در این فصل است. جهانشیری (۱۳۸۹:۱) به بررسی آماری وسینوپتیکی آلودگی هوای مشهد پرداخته الگوهای سینوپتیکی تأثیرگذار بر آلودگی مشهد را شناسایی کرده و با استخراج نقشه‌های ترکیبی آن‌ها به تحلیل نقشه‌ها پرداخته است که بر اساس آن ۵ الگوی فشار برای سطح زمین شناسایی کرده‌اند. شمسی پور و همکاران (۱۳۹۲:۷۷) به مدل سازی ترمودینامیکی و واکاوی همیدید آلودگی هوای تهران با استفاده از داده‌های ذرات معلق PM10 پرداخته و به این نتیجه رسیده اند که سرعت و جهت باد مهم‌ترین عامل اقلیمی تأثیرگذار در پراکنش آلودگی هوای تهران است. شرعی پور (۱۳۸۸:۱۱۹) تغییرات غلظت‌آلاینده‌ها هستند. بیدختی و شرعی پور (۱۳۸۸:۱) وضعیت آلودگی هوای تهران را در رابطه با شرایط هواشناختی جو بالا بررسی کرده و به این نتیجه دست یافتنده که آلودگی‌های شدید با افزایش فشار سطحی، شرایط سکون در جو و کاهش سرعت باد و افزایش نسبی دمای جو، همراه است. میرزاوی و همکاران (۱۳۹۲:۷) آلاینده PM10 را در چهار ایستگاه سنجش آلودگی هوای در شهر تبریز موردنبررسی قرار داده‌اند؛ و با توجه به نتایج آزمون تجزیه واریانس به این نتیجه رسیده‌اند که بین مقدار ذرات معلق در این چهار ایستگاه اختلاف معنی‌داری وجود ندارد؛ اما اختلاف بین شش‌ماهه اول سال در چهار ایستگاه معنی‌دار شده است و این امر می‌تواند نشان‌دهنده این مطلب



باشد که در ماههای مختلف سال بسته به شرایط اقلیمی و همچنین سرعت و جهت وزش باد و گرمای هوای میزان ذرات معلق متغیر خواهد بود. بیشترین میزان این آلاینده مربوط به ماه تیر و کمترین میزان آن مربوط به ماه فروردین هست.

رشد شتاب آلود جمعیت، مهاجرت‌های روسایی، گسترش کارخانه‌ها، تراکم وسایل نقلیه، تبریز را به صورت یکی از آلوده‌ترین شهرهای ایران درآورده است. مهمترین و عمده ترین آنها، صنایع بزرگ مستقر در غرب و جنوب غرب تبریز می‌باشد که در مجموع بیش از ۷۵ درصد حجم آلودگی هوای شهر را به خود اختصاص می‌دهند و منابع آلوده کننده هوا با مساعدت عوامل دیگر مثل توپوگرافی، شبیب، باد و غیره، باعث تشکیل هسته‌های آلوده در سطح شهر و حومه گردیده است که مهم ترین آنها، هسته هوای شمال غرب تبریز می‌شوند (زاده‌ی وهمکاران، ۱۳۷۸: ۵) گذشته از عوامل انسانی، عوامل جغرافیایی نظیر موقعیت مکانی، توپوگرافی و عوامل اقلیمی مانند الگوهای فشار، وارونگی دمایی هم در تشدید آلودگی شهر تبریز مؤثرند. چون عوامل متعددی در آلودگی‌های شهر تبریز دخیل هستند، سوال تحقیق حاضر این است که چه ارتباطی بین الگوهای همدیدی و آلودگی‌های خط‌ناک PM10 شهر تبریز وجود دارد؟



شکل (۱). ایستگاه‌های آلوده سنجی و محدوده کلان شهر تبریز در ایران و استان آذربایجان شرقی

### داده‌ها و روش‌ها

هدف از این پژوهش تحلیل الگوهای همدیدی موثر بر آلودگی‌های خط‌ناک PM10 شهر تبریز می‌باشد. بدین منظور داده‌های آلودگی PM10 طی دوره آماری ۸ ساله (۲۰۰۵ تا ۲۰۱۲) از سازمان حفاظت محیط زیست تبریز برای پنج ایستگاه با غشمال، راه آهن، راسته کوچه، آبرسان و حکیم نظامی استخراج گردیده است. دلیل انتخاب ذرات معلق کوچک تر از ده میکرون این است که ذرات معلق یکی از شاخص‌های آلودگی هواست که توسط ایستگاه‌های سنجش آلودگی نیز اندازه گرفته می‌شود و بدین صورت تعریف می‌شود که هر ماده ای بجز آب خالص که به صورت مایع یا جامد در اتمسفر تحت شرایط نرمال در اندازه میکروسکوپی یا کوچک تر اما بزرگتر از بعد ملکولی (حدود ۲ آنگستروم) موجود باشد، ذره معلق (PM) گفته می‌شود شاخص مورد نظر در این تحقیق روزی می‌باشد که مقدار آن بیش تر از ۴۲۰ (میکروگرم بر متر مکعب) باشد.

جدول (۱). طبقات غلظت آلاینده PM<sub>10</sub> (بر حسب میکرو گرم بر متر مکعب)

خط‌ناک	سیار ناسالم	ناسالم	سالم	خوب	شاخص
>۴۲۰.	۳۵۰-۴۲۰	۱۵۰-۳۵۰	۵۰-۱۵۰	۰-۵۰	PM <sub>10</sub>

منبع: USEP, A. 1998

تجزیه و تحلیل داده‌های جهت پاسخ به سوال؛

•



رویکرد گردنش به محیطی و رویکرد محیطی به گردنشی، دو رویکرد عمدۀ در اقلیم شناسی همدید است. اختلاف این دو رویکرد، در روش طبقه بندی جو ومحیط سطحی در ارتباط با یکدیگر است. در رویکرد گردنش به محیطی، پژوهش گرطبه بندی همدید را در ارتباط با یک ناحیه مطرح می کند. در مقابل، در رویکرد محیطی به گردنشی، پژوهش گرالگوهای گردنشی جو را در ارتباط با شرایط محیطی ویژه ای بررسی می کند (یارنال ودراوس، ۱۹۹۳: ۱۹۹۳). رویکرد پژوهش حاضر، رویکرد محیطی به گردنشی است. در این پژوهش، ابتدا روزهایی که میزان آلودگی آنها بیشتر از ۴۲۰ میکروگرم بر متر مکعب بود برای هر ایستگاه مشخص شد و تاریخ وقوع آن تعیین شد. سپس با مقایسه ای این روزها در تمام ایستگاههای مورد بررسی، میانگین فشار تراز دریا در همان روز نیز استخراج شد تا از این طریق الگوهای فشار تاثیرگذار بر روزهای خطرناک آلوده شناسایی شوند. بدین ترتیب برای دوره آماری مورد بررسی، روزهای همراه با آلودگی خطرناک شناسایی شد و یک ماتریس از تراز دریا تشکیل شد. ماتریس فشار تراز دریا، به عنوان روزهای همراه با آلودگی خطرناک PM10 به روش همبستگی لوند<sup>۱</sup> طبقه بندی شد، طبقه بندی نقشه‌های هوا بر اساس این روش، نخستین باراز سوی لوند (۱۹۶۳: ۵۶) مطرح شد. وی مقادیر فشار تراز دریا را در ۲۲ ایستگاه شمال شرق ایالات متحده با استفاده از روش همبستگی، طبقه بندی کرد. روش لوند بر اساس روش همبستگی گشتاوری پیرسون (رابطه ۱) بنا شده است و درجه همانندی میان هر زوج نقشه از این طریق محاسبه می شود.

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

در رابطه بالا

$x^i$  معرف متغیر مورد نظر (الگوهای فشار تراز دریا) در هر یک از  $n$  نقطه نقشه ای اول است.  $y^i$  مقادیر همان متغیر در همان نقطه بر روی نقشه دوم است.  $\bar{x}$  و  $\bar{y}$  میانگین همه ای مقادیر روی نقشه‌های اول و دوم (مسعودیان، ۱۳۸۵: ۶۶).

به منظور استخراج نماینده برای هر گروه، با استفاده از روش همبستگی گشتاوری پیرسون (روش لوند)، با آستانه ۰/۵ که با آزمون وخطا به دست آمده است. طبقه بندی داده‌های فشار تراز دریا (SLP<sup>۲</sup>) انجام شد. برای این کار باید ضریب همبستگی آستانه معینی را پذیرفت، مقدار ضریب همبستگی در این گونه موارد نوعاً بین ۰/۰ تا ۰/۷ تغییر می کند. روزهای نماینده بر پایه آستانه ۰/۵ استخراج شد. بدین ترتیب آن روزی که با تعداد روزهای بیشتری ضریب همبستگی ۰/۵ داشته باشد به عنوان روز نماینده انتخاب می گردد. در روش همبستگی لوند، ابتدا روزهایی که با هم بیشترین همبستگی را دارند، در یک گروه قرار داده و روزی که با بیشترین تعداد روزهای آن گروه همبستگی معنا داری (بیش از ۰/۵) دارد، به عنوان شاخص ترین روز آن گروه انتخاب والگوی اول نامیده می شود. سپس برای روزهای باقی مانده، دوباره همبستگی اعمال شده و آن روزهایی که بیشترین شباهت را به هم داشتند، در گروه دوم طبقه بندی شده و روز کلیدی که با تعداد بیشتری از روزها همبستگی دارد، شناسایی والگوی دوم معرفی می شود. به همین ترتیب تمامی روزها طبقه بندی شدند و بقیه ای روزها که با هیچ یک از روزها همبستگی نداشتند، به عنوان روزهای طبقه بندی نشده (ناهنچار) در نظر گرفته شد. این روش بر اساس آزمون وخطا انجام می شود. در نهایت، بیشترین شباهت در هر گروه و بیشترین اختلاف بین گروه ها به دست می آید و الگوهای استخراج شده ای که هیچ مشابهتی با یکدیگر ندارند به عنوان روزهای ناهنچار در نظر گرفته شدند، نتایج به دست آمده ضمن ارائه ای الگوهای همسان، یک تقویم نقشه ای را ارائه می دهند.

<sup>1</sup> Lund

<sup>2</sup> Sea Level Pressure



در این پژوهش برای ترسیم نقشه‌ها از نرم افزار سورفر<sup>۱</sup> و از نرم افزارهای گرادرس<sup>۲</sup>، مت لب<sup>۳</sup> و اکسل<sup>۴</sup> بهره گرفته شده است.

جدول(۲). مشخصات الگوهای آلودگی‌های خطرناک PM10 شهر تبریز(۲۰۰۵-۲۰۱۲)

الگو	تاریخ روز نماینده	فراوانی	درصد	میانگین آلودگی روز نماینده
کم فشار خلیج فارس	۲۰۱۰/۰۸/۰۸	۲۳	۲۳/۷۱	۵۴۸/۲۴
الگوی دو هسته‌ای و پرفشار خاورمیانه (آزور)	۲۰۰۵/۰۸/۲۵	۴۲	۴۳/۳۰	۵۴۱/۷۷
الگوی پرفشار سیبری و پرفشار شرق اروپا	۲۰۱۲/۰۳/۰۱	۳۲	۳۲/۹۹	۵۶۲/۴

پس از استخراج الگوها، برای روزهای نماینده در هر الگو، افزون بر نقشه‌های تراز، نقشه تراز ۵۰۰ و ۱۰۰۰ هکتومتریک، جهت وزش باد نیز ترسیم شد تا با یک دید جامع، شرایط همدید حاکم بر آلودگی‌های خطرناک تبریز بررسی شود. روزهای آلودگی داده‌های متضایر فشار با این روزها از پایگاه NCEP/NCAR استخراج و سپس روز نماینده و الگوهای حاکم بر آلودگی‌های خطرناک PM10 شهر تبریز استخراج گردیده است.

بعد از استخراج فشار تراز دریا در گام بعدی با هدف انجام طبقه‌بندی بر روی داده‌های فشار تراز دریا و شناسایی روزهای نماینده و الگوهای آلودگی خطرناک PM10 شهر تبریز اقدام به انجام تحلیل خوشه‌ای بر روی این داده‌ها شد.

خوشه به مجموعه‌ای از داده‌ها گفته می‌شود که به هم شباهت داشته باشند و خوشه بندی به معنای دسته بندی اعضای مجموعه‌ها بدون نظارت و دخالت است. در این روش، خوشه‌ها یا دسته‌ها از قبل تعیین شده نیستند و به عبارت دیگر، برچسب خوشه‌ها در دسترس نیست. خوشه بندی، به یافتن ساختاری در درون یک مجموعه از داده‌های بدون برچسب اطلاق می‌شود؛ در خوشه‌بندی سعی می‌شود داده‌ها به خوشه‌هایی تقسیم شوند که شباهت بین داده‌ای درون هر خوشه، حداقل و شباهت بین داده‌ای درون خوشه‌های متفاوت، حداقل شود (حاج احمدی، ۱۳۸۵: ۱) تحلیل خوشه‌ای روشنی است که در آن متغیرها بر اساس ویژگی‌های مورد نظر ما در گروههای خاصی طبقه‌بندی می‌شوند. هدف از انجام تحلیل خوشه‌ای، پیدا کردن دسته‌های واقعی افراد و کاهش حجم داده‌ها می‌باشد. به عبارت دیگر هدف، شناسایی تعداد کمتری از گروه هاست بطوری که دارای شباهت بیشتری با یکدیگر هستند در یک گروه قرار گیرند به صورتی که پراش درون گروهی کمینه و پراش بین گروهی بیشینه شود. در این روش گروه داده‌ها بر اساس فاصله یا شباهت بین آن‌ها صورت می‌گیرد. برای اندازه گیری فاصله‌ی بین داده‌ها روش‌های مختلفی وجود دارد که یکی از پرکاربرد ترین این روش‌ها، روش فاصله‌ی اقلیدسی می‌باشد. در تحلیل خوشه‌ای برای فاصله بین دو عضو، فاصله آنها از همدیگر بر اساس معیارهای مورد نظر برای مثال آلودگی هوا یا بارش یا هر متغیر دیگر محاسبه می‌شود (فرشاد فر، ۱۳۹۰: ۵۶۸) با توصیف).

$$e_{ij} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - x_{ik})^2} \quad \text{رابطه ۲}$$

<sup>1</sup> Surfer\Win

<sup>2</sup> Grads

<sup>3</sup> Mat Lab

<sup>4</sup> Excel



در رابطه بالا  $e_{ij}$  ضریب تفاوت دو فرد است و  $x_{ik}$  مقدار صفت  $i$  ام روی متغیر  $j$  ام،  $x_{ik}$  مقدار صفت  $i$  ام روی متغیر  $k$  ام و  $n$  مقدار صفات اندازه‌گیری شده بر روی افراد می‌باشد.

در این روش برای این که اختلاف واحدهای متغیرها، فاصله به دست آمده را دچار ابهام نکند اندازه متغیرها بر اساس میانگین درازمدت و انحراف معیار به نمره استاندارد تبدیل می‌شود. البته این کار تنها زمانی انجام می‌گیرد که مقیاس داده‌ها یکسان نباشد. بنابراین به ازای هر متغیر، یک محور به زیر رادیکال اضافه می‌شود بر اساس فاصله اقلیدسی بین نقاط زمانی یا مکانی (مشاهدات) ماتریس فاصله‌ها حاصل می‌شود (علیجانی ۱۳۸۸: ۱۷۲-۱۷۳). سپس بر اساس فاصله‌های این ماتریس و طبق رابطه<sup>(۲)</sup> خوشها یا گروه‌های زمانی و مکانی تعیین می‌شود.

بنابراین پس از محاسبه فاصله اقلیدسی بر روی ماتریس استاندارد شده باید شیوه‌ای که بالاترین درجه همانندی را نشان دهد بکار برد و شود. در این مطالعه از روش وارد استفاده شد.

$$d(r, s) = \frac{n_r n_s d_{rs}^2}{(n_r + n_s)} \quad (رابطه ۳)$$

در رابطه بالا  $d_{rs}^2$  فاصله بین گروه  $r$  و گروه  $s$  می‌باشد در روش «وارد» میزان پراش درون گروهی به حداقل و همگنی گروه‌های حاصله به حداکثر می‌رسد همچنین در این روش یک عضو در خوش‌های قرار می‌گیرد که واریانس درون خوش‌های آن کمترین مقدار ممکن باشد.

به منظور صحت و ارزیابی گروه‌بندی حاصل از خوش‌بندی از تحلیل ممیزی (تابع تشخیص) و آزمون میانگین استفاده شد. از این روش زمانی استفاده می‌شود که تعداد گروه‌ها معلوم باشند در واقع یک نوع آزمون برای تشخیص درست گروه‌بندی می‌باشد تحلیل تشخیصی ابتدا به طور خودکار اولین تابعی که گروه‌ها را از هم‌دیگر تفکیک خواهد کرد انتخاب می‌شود سپس تابع دوم انتخاب می‌شود که با تابع اولی ارتباط نداشته باشد. همین‌طور ادامه داده می‌شود تا حداکثر تعداد تابع بر اساس تعداد متغیرهای مستقل و تعداد طبقات متغیر وابسته به دست آید. به منظور پیش‌بینی تغییرات متغیر وابسته (عضویت گروهی) از روی متغیرهای مستقل از تحلیل تشخیصی استفاده می‌شود. به عبارت دیگر آنالیز تشخیصی راهکاری است برای اینکه متغیرها را در قالب گروه‌های مجزا از هم تفکیک کند. هدف کلی تحلیل ممیزی بوجود آوردن ترکیب خطی بین متغیرهایی است که از آن برای گروه‌بندی استفاده می‌شود. ترکیب خطی متغیرها به صورت زیر است (فرشاد فر، ۱۳۸۹، ۴۲۲):

$$1 = B_1 X_1 + B_2 X_2 \dots B_p X_p \quad (رابطه ۴)$$

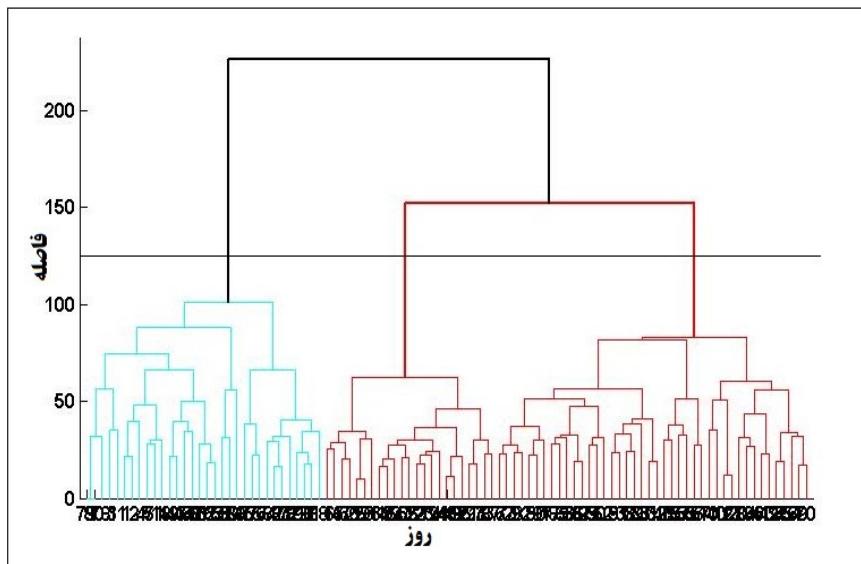
مقدار به دست آمده برای  $B_l$  تعیین کننده انتساب فرد به گروه مشخص است.  $X_p$ ,  $X_2$ ,  $X_1$  و  $B_p$ ,  $B_2$ ,  $B_1$  نشان‌دهنده گروه اندازه‌گیری‌های حاصل برای هر متغیر انتخاب شده می‌باشد.  $B_p$  مثل ضرایب  $B$  در رگرسیون می‌باشد. از این‌رو می‌توان گفت که تحلیل ممیزی شبیه رگرسیون خطی چند متغیره می‌باشد با این تفاوت که در رگرسیون خطی متغیر وابسته در سطح فاصله نسبی است اما در تحلیل تشخیصی مقیاس متغیر وابسته اسمی دو یا چندوجهی می‌باشد.

## بحث و بررسی

<sup>1</sup> Ward Method



پس از تحلیل خوشه‌ای، دندوگرام آروزهای همراه با لودگی‌های خطرناک PM10 شهر تبریز ترسیم گردید(شکل ۲) و براساس آن، نقشه‌های آلوودگی‌های خطرناک PM10 شهر تبریز برای روزهای نماینده‌ی گروههای مختلف (۲ تا ۶ گروهی) در سطح همبستگی  $0/5$  ترسیم شدند؛ سپس با مقایسه‌ی نقشه‌های روزهای نماینده‌ی اعضای هر کدام از گروهها و از طریق روش آزمون و خطا محل مناسب جهت برش نمودار و انتخاب تعداد گروه‌بندی مناسب جهت استخراج الگوها مشخص شد. با توجه به بررسی‌های انجام شده، تقسیم بندی سه گروهی مناسب تشخیص داده شد و روزهای نماینده‌ی هر گروه نیز تعیین شد که تاریخ و مشخصات این روزها مشخص شد(جدول ۲). بیشترین رخداد آلوودگی‌های خطرناک PM10 (با ۴۲ روز) در زمان حاکمیت الگوی دو هسته‌ای و پرفشار خاورمیانه(آزور) رخ داده است که  $43/3$  درصد از آلوودگی‌های خطرناک را به خود اختصاص داده است و کمترین فراوانی آلوودگی‌های خطرناک در زمان حاکمیت کم فشار خلیج فارس با ۲۳ روز رخ داده است.



شکل (۲). دندوگرام حاصل از تحلیل خوشه‌ای بر روی داده‌های فشار آلوودگی‌های خطرناک PM<sub>10</sub> تبریز

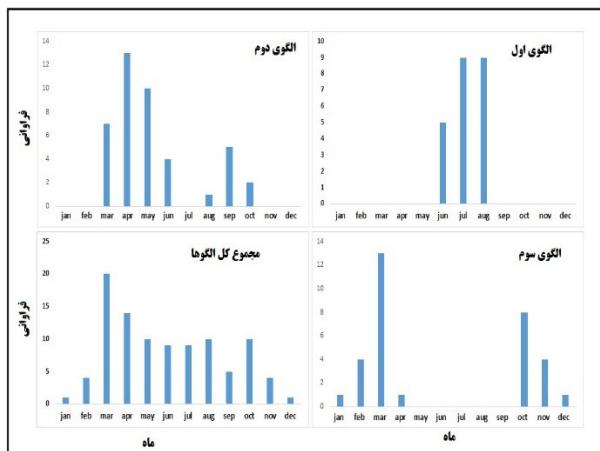
سپس الگوهای آلوودگی‌های خطرناک PM10 شهر تبریز برای ترازهای  $1000$  و  $500$  هکتوپاسکال ترسیم گردید.

الگوی اول : در الگوی اول در نقشه سطح  $500$  هکتوپاسکال یک مرکز پرارتفاعی با کنتور  $555$  ژئوپتانسیل دکامتر بربوری شمال اروپا و شمال شرق اقیانوس اطلس بین مدارهای  $50$  تا  $70$  درجه شمالی شکل گرفته است؛ در این موقع با توجه به غالب بودن حرکت نصف‌النهاری به حرکت مداری توده‌های هوای غربی و همچنین به جهت بطئی و کند حرکت کردن سامانه‌های پرفشار نسبت به سامانه کم‌فارش یک سردهجال بر روی شمال غرب دریای خزر و همچنین یک بلوکینگ بر روی جنوب دریای مدیترانه (شمال آفریقا) شکل گرفته است که تأثیری بر منطقه مورد مطالعه ندارد. فراز کوچکی که از غرب مدیترانه تا شمال دریای سرخ با جهت شمال غرب – جنوب‌شرق کشیده شده سبب گردیده است تا منطقه مورد مطالعه در زیر نیمه غربی ناوه با کنتورهای  $586$  ژئوپتانسیل دکامتر قرار گیرد، که با توجه به آرایش کنتورها شرایط مساعدی برای صعود همگرایی در منطقه مورد مطالعه وجود ندارد. همچنین بررسی نقشه‌های سطح زمین حاکی از ورود زبانه کم فشار عربستان با ایزوبارهای  $1012$  هکتوپاسکال با هسته مرکزی  $1002$  هکتوپاسکال به منطقه مورد مطالعه می‌باشد، که ورود این کم فشار همزمان با ورود کم فشار ایسلند از شمال و کم فشار عربستان از جنوب غرب کشور سبب راکد و بسته شدن هوا و در نتیجه کاهش حرکات افقی آن و تشکیل جبهه ساکن بر روی منطقه مورد مطالعه گردیده که این خود باعث پایداری و عدم صعود و جابه‌جایی توده هوا شده است.

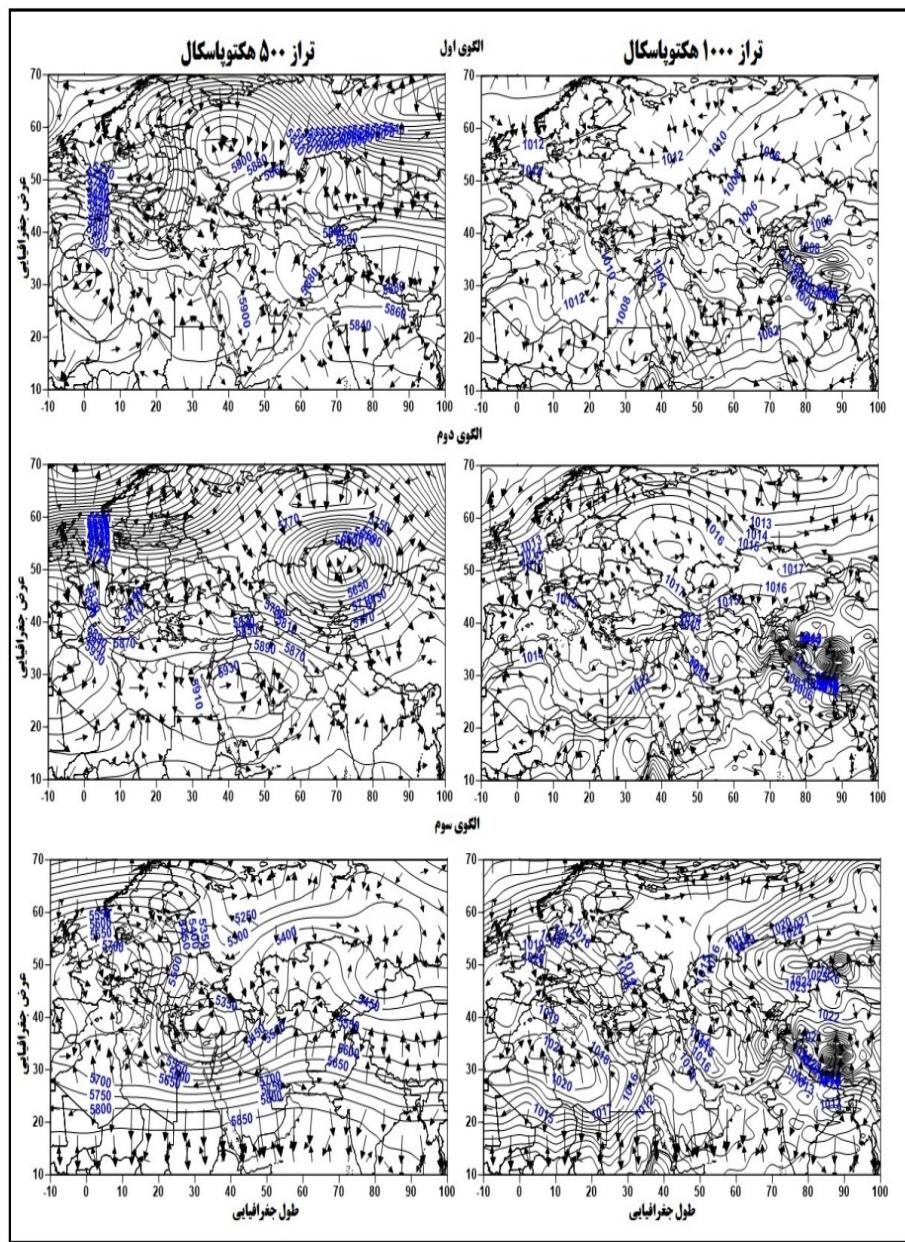


الگوی دوم: در الگوی دوم زبانه ای از پرفشار خاورمیانه با ایزوبارهای ۱۰۱۴ هکتوپاسکال در منطقه مورد مطالعه کشیده شده است. بعضی از محققین این پرفشار را پرفشار جنوب حاره نامیدند(حجازی زاده، ۱۳۷۶: ۲۱) به طوری که در نقشه ۵۰۰ هکتوپاسکال این سامانه با تشکیل هسته ای بر روی شمال شمال عربستان زبانه‌های را با ۵۸۷۰ دکامتربر روی منطقه مورد مطالعه فرستاده است و سبب پایداری جو در این روز شده است. از طرفی دیگر در الگوی دوم در تراز ۵۰۰ هکتو پاسکال کم فشار بسته ای با هسته مرکزی ۵۵۰۰ برروی منطقه سیبری و شرق دریای خزر شکل گرفته است که این کم فشار در واقع همان سرچالی می‌باشد که بر اساس سامانه پرفشار اروپا از هسته مرکزی جدا و سبب پایداری جو گردیده است.

الگوی سوی: الگوی پرفشار سیبری با ایزوبارهای ۱۰۱۴ هکتوپاسکال سبب ریزش هوای سرد عرض‌های شمالی به منطقه مورد مطالعه شده است. برخی از سامانه‌های پرفشار نام منطقه شکل گیری‌شان را به خود می‌گیرند. پرفشار سیبری از این دسته است که برای مدت زمانی بیشتر از یک ماه در فصول سرد در سطح زمین ساکن می‌ماند. پرفشار سیبری توده هوای خشک و فوق العاده سردی است که در منطقه وسیعی از سطح زمین در شمال روسیه و منطقه سیبری تشکیل می‌شود و در اغلب ماههای سال در آن منطقه ساکن است(لشکری و یارمدادی، ۱۳۹۳: ۲۰۰). بیشترین قدرت این توده هوا در فصل زمستان است، به گونه‌ای که دمای هوا در مرکز آن اغلب زیر -۴۰ درجه سانتیگراد (-۴۰ درجه فارنهایت) و فشار اتمسفری در آن نقطه بالای ۱۰۴۰ میلیبار(هکتوپاسکال) می‌باشد. حرکت این توده هوا از سیبری به سمت آسیای مرکزی و عبور آن از روی دریای خزر باعث بارندگی در سواحل شمالی ایران می‌شود. همراهی این پرفشار با سامانه‌های اروپای شمالی در فصل زمستان بارش‌های شدید برف را در ایران و ترکیه به دنبال دارد. از طرفی دیگر شکل گیری زبانه ای از پرفشار اروپا و فرستادن ایزوبارهای ۱۰۱۹ هکتوپاسکال مکمل پرفشار سیبری می‌شود. علاوه براینکه سبب پایداری مطلق جو می‌شود، باعث تراکم آلدگی‌های جو در منطقه تبریز نیزشده است. این در حالی می‌باشد که در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال منطقه مورد مطالعه در وسط فرود و هسته سرد فرود عمیق مدیترانه قرار می‌گیرد قرار می‌گیری چنین موقعیتی بر پایداری جو و در نتیجه آلدگی‌های جو منجر شده است. نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در این روز نشان می‌دهد که در غرب اروپا ناوه عمیقی با محور شمالی و جنوبی تشکیل یافته است که بازوی شرق امگای تشکیل شده بر روی اروپای غربی می‌باشد و این بندال می‌تواند با تقسیم توده‌های هوا شاخه ای را به سمت شمال و شاخه دیگری را به سمت جنوب می‌فرستد. به عبارت دیگر در سمت چپ این امگا هوا از سمت جنوب به سمت اروپا و در طرف راست این امگا هوای شمال به سمت ترکیه می‌رود که هوای سرد و پایداری می‌باشد. در سمت جنوب شرق این توده هوا یک مرکز کم ارتفاع سبب انتقال جریانات جنوب به سمت منطقه مورد مطالعه گردیده است. با این وجود عمق ناوه ای که بر اثر این کم ارتفاع شکل گرفته زیاد نیست به همین خاطر مشاهده می‌شود که جریانات در تراز بالا از جهت غرب می‌وزد و سرعت زیادی دارد. ولی در هر صورت به دلیل اینکه بازوی بالا رونده این ناوه ببروی شمال غرب ایران شکل گرفته است شرایط دینامیکی با ایجاد واگرایی در تراز بالا در جهت انتقال هوای سطح زمین به تراز بالا را دارد. علی‌رغم این که در سطح زمین پرفشار اروپا و سیبری حاکم است اما چون از طریق دینامیکی این پرفشارها تعییل نشده اند، باعث افزایش شدت پایداری در سطح زمین شده و درنتیجه باعث تجمع آلدگی‌ها بر روی منطقه مورد مطالعه شده است (شکل ۴ نقشه‌های همدیدی روزهای نماینده).



(۳). فراوانی الگوهای آلوده خطرناک در ماههای مختلف طی دوره (۲۰۰۵-۲۰۱۲)



شکل (۴). الگوهای جوی فشار، ارتفاع و جهت باد برای روز نماینده در تراز ۱۰۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال

مشخصات توصیفی آلودگی‌های خطرناک PM10 شهر تبریز برای الگوهای مختلف جوی نشان می‌دهد که بیشترین میانگین آلودگی ها زمانی رخ داده است که الگوی پرفشار سبیری و پرفشار دریای مدیترانه بر اقلیم شهر تبریز حاکم بوده است (جدول ۳). این در حالی می‌باشد که کمترین میانگین آلودگی‌ها با ۵۴۱/۷۷ میکروگرم بر متر مکعب در زمان حاکمیت الگوی دو هسته‌ای و پرفشار شرق اروپا رخ داده است. با این حال اختلاف نمایه‌های مرکزی در هر سه الگو تاییدی بر ناهمگنی داده‌های آلودگی‌های خطرناک شهر تبریز می‌باشد. از طرفی دیگر این اختلاف نمایه‌های مرکزی می‌تواند نمایانگر افت و خیزهای روزانه آلودگی‌های خطرناک شهر تبریز باشد. با وجود این که بالاترین میانگین آلودگی‌های خطرناک در زمان الگوی پرفشار سبیری و پرفشار دریای مدیترانه رخ داده است اما مشاهده می‌شود که بیشترین ضریب تغییرات مکانی هم در زمان حاکمیت این الگو رخ داده است (ضریب تغییرات ۳۱/۴۲). کشیدگی برای هر سه الگو مثبت می‌باشد که بیان گر افزایشته بودن آلودگی‌های خطرناک در هر سه الگو می‌باشد. این در حالی می‌باشد که چولگی شرایط مشابهی را تجربه کرده است که بیانگر این است که بیشتر رخداد آلودگی‌ها کمتر از میانگین سری کامل است (جدول ۱).



## جدول(۳). مشخصات توصیفی الگوهای آلودگی خطرناک PM10 تبریز (۲۰۱۲-۲۰۰۵)

الگوی پرفشار سبیری و پرفشار دریای مدیترانه	الگوی دو هسته‌ای و پرفشار شرق اروپا	کم فشار خلیج فارس	
۵۶۲/۴۸	۵۴۱/۷۷	۵۴۸/۲۴	میانگین
۴۸۹/۵	۴۸۸	۵۰۱/۴۷	میانه
۴۳۹	۴۸۸	۴۷۳	مد
۳۱۲۴۲/۵۲	۱۶۳۵۸/۸۵	۲۱۰۱۲/۲۵	واریانس
۱۷۶/۷۵	۱۲۷/۹۰	۱۳۴/۹۵	انحراف معیار
۳۱/۴۲	۲۳/۶۰	۲۶/۴۴	ضریب تغییرات
۵۷۴/۴۷	۵۷۹	۵۷۹	دامنه تغییرات
۱/۴۸	۱/۶۱	۲/۰۵	چولگی
۳/۹۷	۵/۵	۶/۹۷	کشیدگی
۹۹۴/۷	۱۰۰۰	۱۰۰۰	بیشینه
۴۲۰/۲۹	۴۲۱	۴۲۱	کمینه
۴۳۸/۵	۴۵۴/۲۳	۴۶۲	چارک اول
۴۸۹/۵	۴۸۸	۵۰۱/۴۷	چارک دوم
۹۹۳/۶	۷۷۸/۸	۹۱۵/۴	چارک سوم

## نتیجه گیری

در پژوهش پیش رو با یک رویکرد گردشی به محیطی، ارتباط آلودگی‌های خطرناک PM10 تبریز با الگوهای همدیدی، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. بدین منظور داده‌های روزانه آلودگی PM10 طی دوره آماری ۸ ساله (۲۰۱۲ تا ۲۰۰۵) از سازمان حفاظت محیط زیست تبریز برای پنج ایستگاه باشمال، راه آهن، راسته کوچه، آبرسان و حکیم نظامی استخراج گردیده است. سپس آلودگی‌های خطرناک برای ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس آستانه ۴۲۰ میکروگرم بر متر مکعب انتخاب شده است. روزهای متناظر با آلودگی‌های خطرناک PM10 از سایت NCEP/NCAR استخراج و از روش تحلیل خوش‌ای و روش همبستگی لوند برای طبقه بندی نقشه‌های فشارتراز دریا استفاده شد. در نهایت با استخراج الگوها، نقشه‌های تراز دریا ۵۰۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال و وزش باد بررسی شد. با اعمال همبستگی لوند، سه الگو از آلودگی‌های خطرناک PM10 تبریز، الگوی کم فشار خلیج فارس، الگوی دو هسته‌ای پرفشار شرق اروپا و الگوی پرفشار سبیری و دریای مدیترانه، استخراج شد. بررسی الگوهای به دست آمده مبین این است که سامانه‌های تاثیرگذار بر آلودگی‌های خطرناک PM10 تبریز، بیشتر پرفشار سبیری و پرفشار اروپا هستند.

نتایج نشان داد که افت خیزهای روزانه آلودگی‌های خطرناک PM10 در زمان حاکمیت الگوی پرفشار سبیری و پرفشار دریایی مدیترانه به بیشترین مقدار خود رسیده است به طوری که ضریب تغییرات ۳۱ درصد در زمان حاکمیت این الگو گفته فوق را تایید می‌کند. در مجموع می‌توان گفت که شکل گیری و ورود همزمان دوسامانه پرفشار سبیری و پرفشار اروپا بیشترین نقش را در تجمع آلودگی‌های خطرناک PM10 ایستگاه تبریز داشته است. از جنبه دیگر شکل گیری سامانه‌های پرفشار دینامیکی بر روی خاورمیانه سبب انتقال هوای گرم و پایداری بر منطقه مورد مطالعه گردیده است که این خود سبب تشدید آلودگی‌های جو در این منطقه شده است. همچنین غربی شدن جریانات غربی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال همسو با استقرار صنایع صنعتی شهر تبریز بر تشدید آلودگی‌های شهر تبریز کمک کرده است. این امر با استقرار کم فشار در نیمه غربی کشور قابل تایید می‌باشد.

## منابع

- اجتهادی، مرجان (۱۳۸۶). بررسی آلودگی هوای شهری ناشی از سامانه حمل و نقل با تأکید بر ذرات معلق و ارائه راهکارهای مدیریتی (مطالعه موردنی، تهران)، دهمین همایش ملی بهداشت محیط، همدان، دانشگاه علوم پزشکی همدان، صص ۱-۸.
- اداره کل حفاظت محیط زیست استان آذربایجان شرقی (۱۳۸۶). بررسی وضعیت آلودگی هوای شهر تبریز، صص ۱۲۷.
- اصلیان، حسن، غنی زاده، قادر، قانیان، محمد تقی، (۱۳۸۶) **آلودگی هوای منابع، اثرات، روشهای کنترل، قوانین و مقررات، استانداردها**، چاپ اول، تهران، نشر میترا، ص ۱۴۷.
- امیدوار، کمال؛ نارنگی فرد مهدی؛ حقیقت خیابانی، سیده مرضیه (۱۳۹۲) تحلیل الگوهای همدیدی روزهای فرین آلوده به ذرات معلق در شیراز، **فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی**، سال دوم، شماره پنجم، بهار، صص ۴۹-۵۲.
- بیدختی علی اکبری، عباسعلی؛ شرعی پور، زهرا (۱۳۸۸) شرایط هواشناختی جو بالا و وضعیت حاد آلودگی هوا (مطالعه موردنی : تهران) **محیط‌شناسی**، سال سی و پنجم شماره ۵۲، زمستان، صص ۱-۱۴.
- جهانشیری، مهین، (۱۳۸۹)، **بررسی آماری و سینوپتیکی آلودگی هوای مشهد**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی - **اقلیم‌شناسی**، دانشکده جغرافیا، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار.
- حاج احمدی، امیر حسین (۱۳۸۵) مبانی خوشه بندی، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات دانشگاه امیر کبیر، **نشریه الکترونیکی با آدرس** <http://ceit.aut.ac.ir/>
- حجازی زاده، زهرا (۱۳۷۶) بررسی سینوپتیکی نرم‌الپرسی جنوب حاره، **رشد آموزش جغرافیا**، شماره ۴۵، صص ۲۱-۲۵.
- خورشید دوست، علی محمد؛ قویدل رحیمی، یوسف؛ ولی، عباسعلی (۱۳۹۱) تحلیل آماری میزان اوزون در جو ایران، **نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی دانشگاه تبریز**، شماره ۴۱، پاییز، صص ۲۳۷-۲۵۰.
- خورشید دوست، علی محمد؛ قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۵). شبیه سازی دو برابر شدن دی اکسید کربن جوبرتغییراقلیم تبریز با استفاده از مدل آزمایشگاه پویایی سیالات ژئوفیزیکی، **مجله محیط‌شناسی**، شماره ۳۹، صص ۱-۱۰.
- رنجبر سعادت‌آبادی، عباس؛ محمدیان محمدی، لیلا (۱۳۸۹). مطالعه میانگین الگوهای همدیدی بر اساس رخداد غلظت‌های مختلف آلاینده CO در فصول تابستان و پاییز در تهران، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، شماره ۷۲، صص ۱۱۱-۱۲۷.
- زاهدی، مجید؛ ذوالفاری، حسن؛ ترابی، سیما (۱۳۷۸) بررسی تاثیرات عوامل اقلیمی در تشکیل هسته هوای آلوده شمال غرب تبریز، **دومین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم**، تهران، سازمان هواشناختی کشور، صص ۱-۱۰.
- شرعی پور، زهرا (۱۳۸۸). بررسی تغییرات فصلی و روزانه آلاینده‌های هوا و ارتباط آن با آلاینده‌های هوا، **مجله فیزیک زمین و فضا**، دوره ۳۵، شماره ۲، صص ۱۱۹-۱۳۷.
- شکوبی، ح (۱۳۵۸). **محیط زیست شهری**، انتشارات موسسه تحقیقات اجتماعی و علوم انسانی، تبریز، ص ۵۶.
- شمسی پور، علی اکبر؛ حسین پور زینب؛ نجیب زاده، فهیمه (۱۳۹۲) مدل سازی ترمودینامیکی و واکاوی همدید آلودگی هوای شهر تهران (ذرات معلق PM10)، **پژوهش‌های اقلیم‌شناسی**، شماره ۱۲، صص ۷۷-۹۵.
- عطایی، هوشمند؛ هاشمی نسب، سادات (۱۳۹۰). **شناسایی و تجزیه و تحلیل الگوهای تراز میانی جو موثر در آلودگی‌های هوای شهر اصفهان**، **مجله پژوهش و برنامه ریزی شهری**، سال دوم، شماره چهارم، صص ۹۷-۱۱۲.
- علیجانی، بهلول (۱۳۸۴) رابطه بین توزیع فشار و تراکم آلاینده‌ها در تهران، **پژوهش‌های جغرافیایی**، ۵۱: ۱۵۱-۱۴۱.



- علیجانی، بهلول(۱۳۸۸). *اقليم شناسی سینوپتیک*، انتشارات سمت، تهران. صص ۱۷۲-۱۷۸.
- فرشاد فر، عزت‌الله(۱۳۹۰) *اصول و روش‌های آماری چند متغیره*، انتشارات دانشگاه رازی کرمانشاه.
- لشکری، حسن، یار مرادی، زهرا(۱۳۹۳)، تحلیل همدید موقعیت استقرار پر فشار سبیری و مسیرهای ورودی آن به کشور ایران در فصل سرد، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۴۶، شماره ۲، تابستان، صص ۱۹۹-۲۱۸.
- مسعودیان، سید ابوالفضل(۱۳۸۵). *اقليم شناسی همدید و کاربرد آن در مطالعات محیطی*، مؤلف بزنگ یارنال، انتشارات دانشگاه اصفهان. اصفهان.
- منتظری، مجید(۱۳۹۰). شناسایی فصول دمایی ایران به روش تحلیل خوش‌ای، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۶، شماره دوم، تابستان شماره پاپی ۱۰۱ صص ۱۷۳-۱۹۸.
- یاوری، حسین؛ سلیقه، محمد(۱۳۹۰). سطح وارونگی در آلودگی‌های شهر تهران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۲۰، صص ۸۹-۱۰۵.
- Anderson, W.P., T.R. Lakshmanan, B. Kuhl, (2001) Estimating Employment Generated by Federal-aid Highway Projects, *Transportation Research Record*, No. 1777, pp. 93-104.
- Chaloulakou, A., G. Grivas, N. Spyrellis, (2003) Neural network and multiple regression models for PM10 prediction in Athens:Acomparativeassessment. *Journal of the Air and Waste Management Association*, No. 53, pp. 1183-1190.
- Kara, K., A.K. Gupta, (2006), Seasonal variations and chemical of ambient PM10 at residential and industrial sites of an urban region of Kolkata (Calcutta), India, *Atmospheric Research*, No. 81 (1), pp. 36-53.
- Lund, I. A. (1963). Map-pattern classification by statistical methods. *Journal of Applied Meteorology*, 2(1), 56-65.
- Mirzaie, R Zarrati, L&Duashi, L. (2013) Study of Tabriz air pollution Based Particulates (PM10), Third Conference Planning and Environmental Management: 7.
- USEPA, (1999). *Air Quality Index: A Guide to Air Quality and Your Health*, Environmental Protection Agency, Washington, DC. P 14.
- Yarnal, B., & Draves, J. D. (1993). A synoptic climatology of stream flow and acidity. *Clim. Res*, 2, 193-202.
- Zawar-Reza, P., Kingham, S., & Pearce, J. (2005). Evaluation of a year-long dispersion modelling of PM 10 using the mesoscale model TAPM for Christchurch, New Zealand. *Science of the Total Environment*, 349(1), 249-259.