

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

علی قاسمی بگتاش^۱

علی محمد خورشید دوست^۲

خلیل ولیزاده کامران^۳

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 آذر بایجان شرقی برای پنج ایستگاه باغشمال، 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^۴ NCEP/NCAR^۵ استخراج گردید. به منظور استخراج روزهای خطرناک آلودگی PM10 روش تحلیل خوشه ای^۶ با یک رویکرد محیطی به گردشی و برای طبقه بندی نقشه های تراز دریا و استخراج الگوهای روزهای نماینده با آستانه ۰/۵، روش همبستگی لوند^۷ مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از تحلیل خوشه ای با محاسبه ی 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 ترازهای 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 خاورمیانه (آزور) و سیبری تاثیر می پذیرند. از میان سه الگوی استخراج شده الگوی پرفشار سیبری و پرفشار شرق اروپا بیشترین تاثیر را بر روی آلودگی های خطرناک PM10 تبریز دارد.

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

Email: ali.ghasemi@tabrizu.ac.ir @gmail.com - Tel: 09141701690

^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

^۴ National Center for Environmental Prediction (NECP)

^۵ National Center for Atmospheric Research (NCAR)

^۶ Cluster Analyses

^۷ Lund Correlation

مقدمه

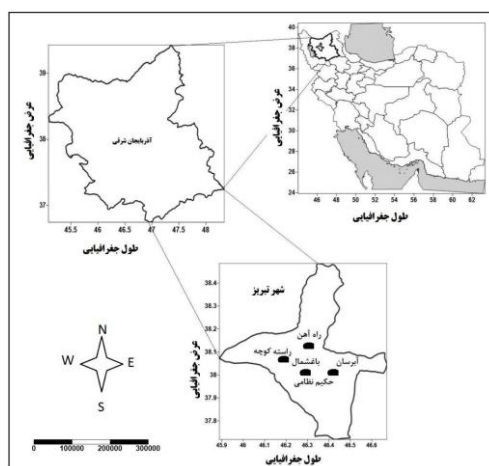
یکی از مهم‌ترین موضوعاتی که امروزه در آب‌وهوای شهری مطرح هست مسئله آلودگی هو است علاوه بر این مسئله آلودگی هوا از مسائل مهم در بررسی‌های آب‌وهوایی است که تأثیر زیادی در سلامت موجودات زنده یک منطقه دارد (شکویی، ۱۳۵۸:۵۶). دانش آب‌هواشناسی توجه و تأکید بسیار زیادی بر روی تأثیرات آلاینده‌های جوی بر ویژگی‌های آب‌وهوایی و برعکس دارد. پدیده‌های جوی در توزیع آلاینده‌های جوی آثار مستقیم و غیرمستقیمی دارند. پدیده‌هایی چون وارونگی هوا، بخصوص در فصل سرما و پدیده‌ی مه دود فتوشیمیایی از جمله عواملی محسوب می‌شوند که بر نحوه‌ی انتشار آلاینده‌ها اثر می‌گذارند (اصیلیان و همکاران، ۱۳۸۵:۱۴۷). نقش آب‌وهوا در کاهش یا افزایش آلودگی هوا و دیگر پدیده‌های شهری در کلان‌شهرها انکارناپذیر است. افزایش تعداد آلاینده‌ها یا پراکندگی مواد آلاینده انتشار یافته، به پدیده‌هایی از هواشناسی و اقلیم‌شناسی بستگی دارد که توجه محققان را به خود جلب کرده است، این بدان معنی است که در مطالعه آلودگی هوا می‌توان روی علم آب‌هواشناسی حساب ویژه‌ای باز نمود. عواقب ناگوار آلودگی هوا با ورود ریزگردها و رخداد توفان‌های گردوغباری طی یک دهه اخیر به کشور تشدید شده است؛ بنابراین لزوم مطالعه در این زمینه و ارائه راه‌حل‌های 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 می‌گردند (اجتهادی، ۱۳۸۶:۱). ذرات معلق بدلیل فراگیری و نیز منابع مختلف تامین کننده آن مورد توجه پژوهش‌گران با دیدگاه‌های پژوهشی و زمینه‌های کاربردی مختلف قرار دارد. به طوریکه اندرسون و همکاران (۲۰۰۴، Anderson et al) با مطالعه منابع مختلف ذرات معلق در مناطق شهری و حومه شهری، زواررضا و همکاران (۲۰۰۵)، با تحلیل انتشار سالانه PM10 با استفاده از مدل متوسط مقیاس آلودگی هوا برای شهر کرایست‌پرچ در ارتباط با ارزیابی ظهور بیماری‌های مزمن، چالولاکو و همکاران (۲۰۰۳، Chaloukou et al)، با بررسی تغییرات فضایی و زمانی حجم PM10 در منطقه گریتر شهر آن، کارار و گاپتا (۲۰۰۶، Kara and Gupta) ارتباط بین بارش موسمی و PM10 در شهرهای هند، از جمله مطالعات مرتبط با ذرات معلق هستند. هم چنین در ایران پژوهش‌گران مختلفی همانند خورشید دوست و قویدل رحیمی (۱۳۹۱:۲۳۷). به تحلیل آماری میزان آوزون در جو ایران پرداخته‌اند. یاوروی و سلیقه (۱۳۹۰:۸۹) تأثیر سطوح وارونگی و شرایط همدید در آلودگی شهر تهران را مورد بررسی قرار دادند. رنجبر و محمدیان (۱۳۸۹:۱۱۱) به مطالعه میانگین الگوهای همدیدی 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 یافتند که فصل تابستان در شهر اصفهان آلوده‌ترین فصل سال است که یکی از دلایل عمده 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 و سینوپتیکی 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 همدید آلودگی هوای تهران با استفاده از داده‌های ذرات معلق PM10 پرداخته و به این نتیجه رسیده‌اند که سرعت و جهت باد مهم‌ترین عامل اقلیمی تأثیر گذار در پراکنش آلودگی هوای تهران است. شرعی پور (۱۳۸۸:۱۱۹) تغییرات فصلی و روزانه آلاینده‌های هوا را در ارتباط با عناصر هواشناسی بررسی نمود و به این نتیجه رسید که دما و رطوبت دو عنصر مؤثر بر غلظت آلاینده‌ها 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 یافتند که آلودگی‌های شدید با افزایش فشار سطحی، شرایط سکون در جو و کاهش سرعت باد و افزایش نسبی دمای جو، همراه است. میرزایی و همکاران (۱۳۹۲:۷) آلاینده PM10 را در چهار ایستگاه سنجش آلودگی هوا در شهر تبریز مورد بررسی 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 شش ماهه 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 هوا، 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 روستایی، گسترش کارخانه‌ها، تراکم وسایل نقلیه، تبریز را به‌صورت یکی از آلوده‌ترین شهرهای کشور ایران درآورده است. مهمترین و عمده‌ترین 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، شیب، باد و غیره، باعث تشکیل هسته‌های آلوده در سطح شهر و حومه گردیده است که مهم‌ترین آنها، هسته هوای شمال غرب تبریز می‌شد (زاهدی 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 همیدی و آلودگی‌های خطرناک PM₁₀ شهر تبریز وجود دارد؟



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

داده‌ها و روش‌ها

هدف از این پژوهش تحلیل الگوهای همیدی مؤثر بر آلودگی‌های خطرناک 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 باغشمال، 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 ماده‌ای بجز آب خالص که به صورت مایع یا جامد در اتمسفر تحت شرایط نرمال در اندازه میکروسکوپی یا کوچک تر اما بزرگتر از ابعاد ملکولی (حدود ۲ آنگسترم) موجود باشد، ذره معلق (PM) گفته می‌شود. شاخص مورد نظر در این تحقیق روزی می‌باشد که مقدار PM₁₀ آن بیش تر از ۴۲۰ (میکروگرم بر متر مکعب) باشد.

جدول (۱). طبقات غلظت آلاینده PM₁₀ (بر حسب میکروگرم بر متر مکعب)

شاخص	خوب	سالم	ناسالم	بسیار ناسالم	خطرناک
PM ₁₀	۰-۵۰	۵۰-۱۵۰	۱۵۰-۳۵۰	۳۵۰-۴۲۰	>۴۲۰

منبع: (USEP, A. 1998)

• تجزیه و تحلیل داده‌ها در جهت پاسخ به سوال؛

رویکرد گردش به محیطی و رویکرد محیطی به گردش، دو رویکرد عمده در اقلیم‌شناسی همید است. اختلاف این دو رویکرد، در روش طبقه‌بندی جو و محیط سطحی در ارتباط با یکدیگر است. در رویکرد گردش به محیطی، پژوهش‌گر طبقه‌بندی همید را در ارتباط با یک ناحیه مطرح می‌کند. در مقابل، در رویکرد محیطی به گردش، پژوهش‌گر الگوهای گردشی جو را در ارتباط با شرایط محیطی ویژه ای بررسی می‌کند (یارنال و دراوس، ۱۹۹۳: ۱۹۳). رویکرد پژوهش حاضر، رویکرد محیطی به گردش 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 ی این روزها در تمام ایستگاه‌های مورد بررسی، میانگین فشار تراز دریا در همان روز نیز استخراج شد تا از این طریق الگوهای فشارتاثیرگذار 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 ۱ طبقه‌بندی شد، طبقه‌بندی نقشه‌های هوا بر اساس این روش، نخستین بار از سوی لوند (۱۹۶۳: ۵۶) مطرح شد. وی مقادیر فشار تراز دریا را در ۲۲ ایستگاه شمال شرق ایالات متحده با استفاده از روش همبستگی، طبقه‌بندی 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 می‌شود.

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه بالا

x_i معرف متغیر مورد نظر (الگوهای فشار تراز دریا) در هر یک از n نقطه نقشه ی اول است. y_i مقادیر همان متغیر در همان نقطه بر روی نقشه دوم است. \bar{x} و \bar{y} میانگین همه ی 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 ی ۰/۵ که با آزمون وخطا به دست آمده است. طبقه‌بندی داده‌های فشار تراز دریا (SLP۲) انجام شد. برای این کار باید ضریب همبستگی آستانه معینی را پذیرفت، مقدار ضریب همبستگی در این گونه موارد نوعاً بین ۰/۵ تا ۰/۷ تغییر می‌کند. 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 می‌گردد. 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 و الگوی اول نامیده می‌شود. سپس برای روزهای باقی مانده، دوباره همبستگی اعمال شده و آن روزهایی که بیشترین شباهت را به هم داشتند، در گروه دوم طبقه‌بندی شده و روز کلیدی که با تعداد بیشتری از روزها همبستگی دارد، شناسایی و الگوی دوم معرفی می‌شود. به همین ترتیب تمامی روزها طبقه‌بندی شدند و بقیه ی روزها که با هیچ یک از روزها همبستگی نداشتند، به عنوان روزهای طبقه بندی نشده (ناهنجار) در نظر گرفته شد. این روش بر اساس آزمون وخطا انجام می‌شود. در نهایت، بیشترین شباهت در هر گروه و بیشترین اختلاف بین گروه‌ها به دست می‌آید و الگوهای استخراج شده ای که هیچ مشابهتی با یکدیگر ندارند به عنوان روزهای ناهنجار در نظر گرفته شدند، نتایج به دست آمده ضمن ارائه ی الگوهای همسان، یک تقویم نقشه ای را ارائه می‌دهند.

در این پژوهش برای ترسیم نقشه‌ها از نرم افزار سورفر^۳ و از نرم افزارهای گرادس^۱، مت لب^۲ و اکسل^۳ بهره گرفته شده است.

¹ Lund

² Sea Level Pressure

³ Surfer\Win

جدول (۲). مشخصات الگوهای آلودگی های 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 درهرالگو، افزون بر نقشه‌های تراز، نقشه تراز ۵۰۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، جهت وزش باد نیز ترسیم شد تا با یک دید جامع، شرایط همید حاکم بر آلودگی‌های خطرناک تبریز بررسی شود. روزهای آلودگی داده‌های متناظر 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 طبقه بندی بر روی داده‌های فشار تراز دریا و شناسایی روزهای نماینده و الگوهای آلودگی خطرناک PM₁₀ شهر تبریز اقدام به انجام تحلیل خوشه ای بر روی این داده ها شد.

خوشه به مجموعه ای از داده ها گفته می شود که به هم شباهت داشته باشند و خوشه بندی به معنای دسته بندی اعضای مجموعه ها بدون نظارت و دخالت است. در این روش، خوشه ها یا دسته ها از قبل تعیین شده نیستند و به عبارت دیگر، برچسب خوشه ها در دسترس نیست. خوشه بندی، به یافتن ساختاری در درون یک مجموعه از داده های بدون برچسب اطلاق میشود؛ در خوشه بندی سعی می شود داده ها به خوشه هایی تقسیم شوند که شباهت بین داده ای درون هر خوشه، حداکثر و شباهت بین داده های درون خوشه های متفاوت، حداقل شود (حاج احمدی، ۱۳۸۵: ۱). تحلیل خوشه ای روشی است که در آن متغیرها بر اساس ویژگی-های مورد نظر ما در گروه‌های خاصی طبقه بندی می شوند. هدف از انجام تحلیل خوشه ای، پیدا کردن دسته‌های واقعی افراد و کاهش حجم داده ها می باشد. به عبارت دیگر هدف، شناسایی تعداد کمتری از گروه هاست بطوری که داده هایی 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 بندی داده ها بر اساس فاصله یا شباهت بین آن ها صورت می گیرد. برای اندازه گیری فاصله ی بین داده ها روش‌های مختلفی وجود دارد که یکی از پرکاربرد ترین این روش ها، روش فاصله ی اقلیدسی می باشد. 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).

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

در رابطه بالا e_{ij} ضریب تفاوت دو فرد است و x_{ij} 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)

¹ Grads

² Mat Lab

³ Excel

ماتریس فاصله‌ها حاصل می‌شود (علیچانی ۱۳۸۸: ۱۷۲-۱۷۳). سپس بر اساس فاصله‌های این ماتریس و طبق رابطه (۲) خوشه‌ها 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 برده شود. در این مطالعه از روش وارد استفاده شد.

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

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 حاصل به حداکثر می‌رسد چنان 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 خوشه‌بندی 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):

$$l = B_1 X_1 + B_2 X_2 \dots B_p X_p \quad \text{رابطه (۴)}$$

مقدار به دست آمده برای l تعیین کننده انتصاب فرد به گروه مشخص است. X_1 ، X_2 و X_p نشان‌دهنده گروه اندازه‌گیری‌های حاصل برای هر متغیر انتخاب شده می‌باشد. B_1 ، B_2 و B_p مثل ضرایب B در رگرسیون می‌باشند. از این رو 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.

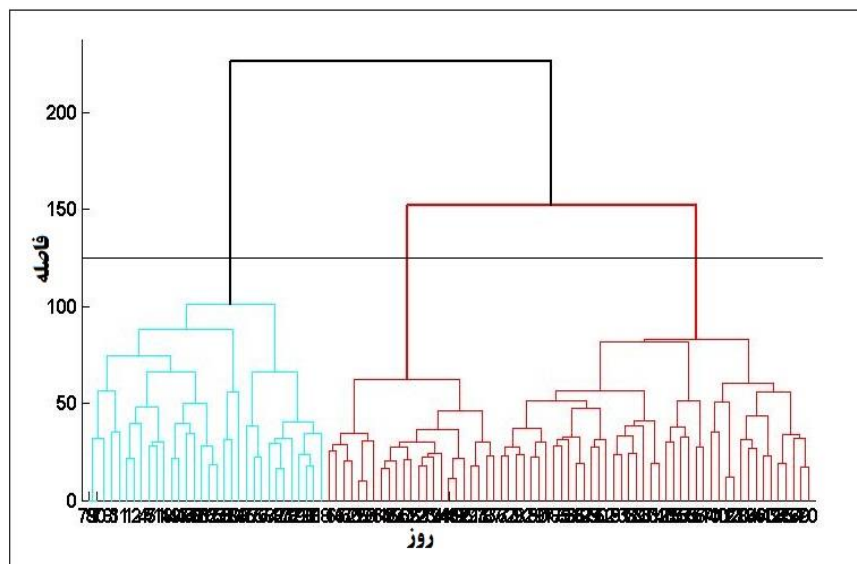
بحث و بررسی

پس از تحلیل خوشه‌ای، دندوگرام آروزهای همراه با لودگی‌های خطرناک PM10 شهر تبریز ترسیم گردید (شکل ۲) و براساس آن، نقشه‌های آلودگی‌های خطرناک PM10 شهر تبریز برای روزهای نماینده‌ی گروه‌های مختلف (۲ تا ۶ گروهی) در سطح همبستگی ۰/۵ 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 آلودگی‌های خطرناک PM10 (با ۴۲ روز) در زمان حاکمیت الگوی دو هسته‌ای و پرفشار خاورمیانانه (آزور) رخ

¹ Ward Method



داده است که ۴۳/۳ درصد از آلودگی‌های خطرناک را به خود اختصاص داده است و کمترین فراوانی آلودگی‌های خطرناک در زمان حاکمیت کم فشار خلیج فارس با ۲۳ روز رخ داده است.



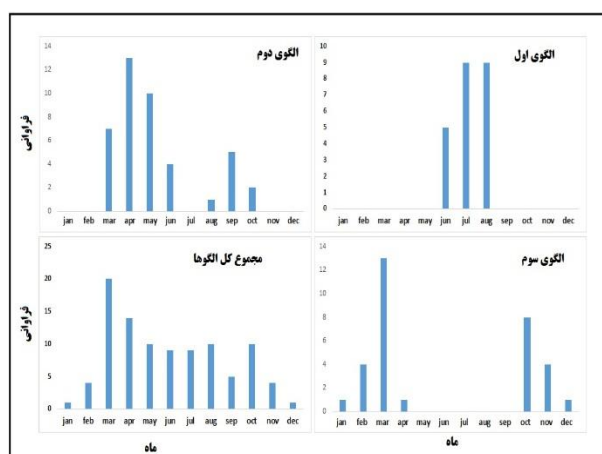
شکل (۲). دندوگرام حاصل از تحلیل خوشه‌ای بر روی داده‌های فشار آلودگی‌های خطرناک PM_{10} تبریز

سپس الگوهای آلودگی‌های خطرناک PM_{10} شهر تبریز برای ترازهای ۱۰۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال ترسیم گردید.

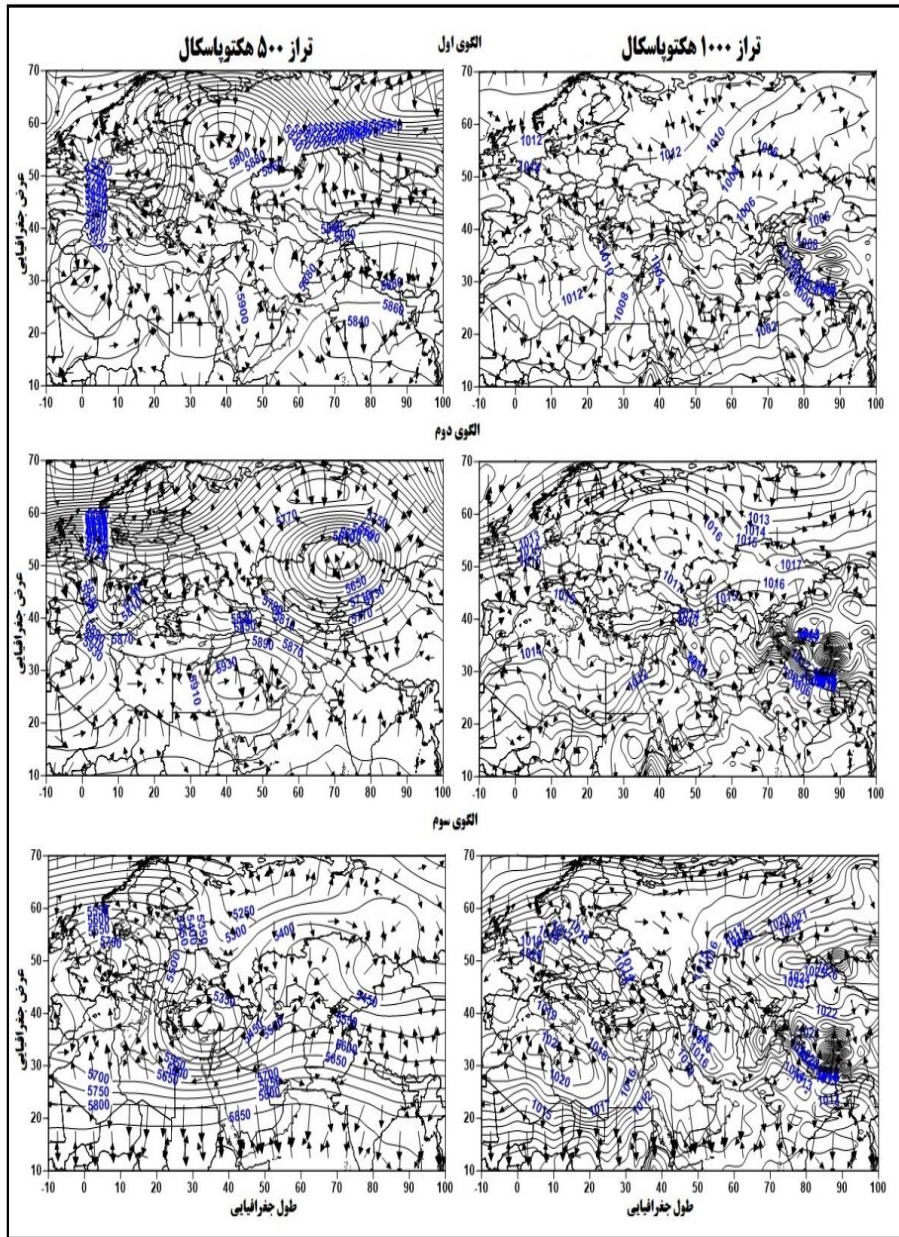
الگوی اول: در الگوی اول در نقشه سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال یک مرکز پرارتفاعی با کنتور ۵۵۵ ژئوپتانسیل دکامتر بر روی شمال اروپا و شمال شرق اقیانوس اطلس بین مدارهای ۵۰ تا ۷۰ درجه شمالی شکل گرفته است؛ در این مواقع با توجه به غالب بودن حرکت نصف‌النهاری به حرکت مداری توده‌های هوای غربی و همچنین به جهت بطئی و کند حرکت کردن سامانه‌های پرفشار نسبت به سامانه کم‌فشار یک سردچال 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 - جنوب شرق کشیده شده سبب گردیده است تا منطقه مورد مطالعه در زیر نیمه غربی ناوه با کنتورهای ۵۸۶۰ 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 ۱۰۱۲ هکتوپاسکال با هسته مرکزی ۱۰۰۲ هکتوپاسکال به منطقه مورد مطالعه می‌باشد، که ورود این کم فشار همزمان با ورود کم فشار ایسلند از شمال و کم‌فشار 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 زبانه‌ای از پرفشار خاورمیانه با ایزوبارهای ۱۰۱۴ هکتوپاسکال در منطقه مورد مطالعه کشیده شده است. بعضی از محققین این پرفشار را پرفشار جنب حاره نامیدند (حجازی زاده، ۱۳۷۶: ۲۱) به طوری که در نقشه ۵۰۰ هکتوپاسکال این سامانه با تشکیل هسته‌ای بر روی شمال شمال عربستان زبانه‌های را با ۵۸۷۰ دکامتر بر روی منطقه مورد مطالعه فرستاده است و سبب پایداری جو در این روز شده است. از طرفی دیگر در الگوی دوم در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال کم فشار بسته‌ای با هسته مرکزی ۵۵۰۰ بر روی منطق 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 شکل‌گیری‌شان 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 فوق‌العاده 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 یارمرادی، 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 شکل‌گیری پرفشار ای از پرفشار اروپا و فرستادن ایزوبارهای ۱۰۱۹ هکتوپاسکال مکمل پرفشار سیبری می‌شود. علاوه بر اینکه سبب پایداری مطلق جو می‌شود، باعث تراکم آلودگی‌های جو در منطقه تبریز نیز شده است. این در حالی می‌باشد که در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال منطقه مورد مطالعه در وسط فرود و هسته سرد فرود عمیق مدیترانه قرار می‌گیرد. قرارگیری چنین موقعیتی بر پایداری جو و در نتیجه آلودگی‌های 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 بر روی 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 تعدیل نشده اند، باعث افزایش شدت پایداری در سطح زمین شده و در نتیجه باعث تجمع آلودگی‌ها بر روی منطقه مورد مطالعه شده است (شکل ۴ نقشه‌های همدیدی روزهای نماینده).



شکل (۳). فراوانی الگوهای آلودگی 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 آلودگی‌ها 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 افزایش 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 آلودگی خطرناک PM₁₀ تبریز (۲۰۰۵-۲۰۱۲)

کم فشار خلیج فارس	الگوی دو هسته‌ای و پرفشار شرق اروپا	الگوی پرفشار سیبری و پرفشار دریای مدیترانه	
۵۴۸/۲۴	۵۴۱/۷۷	۵۶۲/۴۸	میانگین
۵۰۱/۴۷	۴۸۸	۴۸۹/۵	میانه
۴۷۳	۴۸۸	۴۳۹	مد
۲۱۰۱۲/۲۵	۱۶۳۵۸/۸۵	۳۱۲۴۲/۵۲	واریانس
۱۴۴/۹۵	۱۲۷/۹۰	۱۷۶/۷۵	انحراف معیار
۲۶/۴۴	۲۳/۶۰	۳۱/۴۲	ضریب تغییرات
۵۷۹	۵۷۹	۵۷۴/۴۷	دامنه تغییرات
۲/۰۵	۱/۶۱	۱/۴۸	چولگی
۶/۹۷	۵/۵	۳/۹۷	کشیدگی
۱۰۰۰	۱۰۰۰	۹۹۴/۷	بیشینه
۴۲۱	۴۲۱	۴۲۰/۲۹	کمینه
۴۶۲	۴۵۴/۲۳	۴۲۸/۵	چارک اول
۵۰۱/۴۷	۴۸۸	۴۸۹/۵	چارک دوم
۹۱۵/۴	۷۷۸/۸	۹۹۳/۶	چارک سوم

نتیجه گیری

در پژوهش پیش رو با یک رویکرد گردشی به محیطی، ارتباط آلودگی‌های خطرناک PM₁₀ تبریز با الگوهای هم‌دید، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. بدین منظور داده‌های روزانه آلودگی PM₁₀ طی دوره آماری ۸ ساله (۲۰۰۵ تا ۲۰۱۲) از سازمان حفاظت محیط زیست تبریز برای پنج ایستگاه باغشمال، 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 خوشه‌ای و روش همبستگی لوند برای طبقه بندی نقشه‌های فشار تراز 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 سیبری و دریای مدیترانه، استخراج شد. بررسی الگوهای به دست آمده مبین این است که سامانه‌های تاثیرگذار بر آلودگی‌های خطرناک PM₁₀ تبریز، بیشتر پرفشار سیبری و پرفشار اروپا هستند.

نتایج نشان داد که افت خیزهای روزانه آلودگی‌های خطرناک PM₁₀ در زمان حاکمیت الگوی پرفشار سیبری و پرفشار دریای 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 شکل‌گیری و ورود همزمان دوسامانه پرفشار سیبری و پرفشار اروپا بیشترین نقش را در تجمع آلودگی‌های خطرناک PM₁₀ ایستگاه تبریز داشته است. از جنبه دیگر شکل‌گیری 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 تاکید بر ذرات معلق و ارائه راهکارهای مدیریتی (مطالعه موردی، تهران)، دهمین همایش ملی بهداشت محیط، همدان، دانشگاه علوم پزشکی همدان، صص ۸-۱.
- اداره کل حفاظت محیط زیست استان آذربایجان شرقی (۱۳۸۶). بررسی وضعیت آلودگی هوای شهر تبریز، صص ۱۲۷.
- اصیلان، حسن، غنی زاده، قادر، قانعیان، محمد تقی، (۱۳۸۶) آلودگی هوا، منابع، اثرات، روشهای کنترل، قوانین و مقررات، استانداردها، چاپ اول، تهران، نشر میترا، صص ۱۴۷.
- امیدوار، کمال؛ نارنگی فرد مهدی؛ حقیقت ضیابری، 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 ۴۹-۶۲.
- بیدختی علی اکبری، عباسعلی؛ شرعی پور، زهرا (۱۳۸۸) شرایط هواشناختی جو بالا و وضعیت حاد آلودگی هوا (مطالعه موردی: تهران) محیط شناسی، سال سی و پنجم شماره ۵۲، زمستان، صص ۱-۱۴.
- جهانشیری، مهین، (۱۳۸۹)، بررسی آماری و سینوپتیکی آلودگی هوای مشهد، پایان نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی - اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزواری.
- 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 نرمال پرفشار جنب حاره، رشد آموزش جغرافیا، شماره ۴۵، صص ۲۱-۲۵.
- خورشید دوست، علی محمد؛ قویدل رحیمی، یوسف؛ ولی، عباسعلی (۱۳۹۱) تحلیل آماری میزان آوزون در جو ایران، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی دانشگاه تبریز، شماره ۴۱، پاییز، صص ۲۳۷-۲۵۰.
- خورشید دوست، علی محمد؛ قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۵). شبیه سازی دو برابر شدن دی اکسید کربن جو بر تغییر اقلیم تبریز با استفاده از مدل آزمایشگاه پویایی سیالات ژئوفیزیکی، مجله محیط‌شناسی، شماره ۳۹، صص ۱-۱۰.
- رنجبر سعادت آبادی، عباس؛ محمدیان محمدی، لیل (۱۳۸۹). مطالعه میانگین الگوهای همدیدی بر اساس رخداد غلظت‌های مختلف آلاینده CO در فصول تابستان و پاییز در تهران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۲، صص ۱۱۱-۱۲۷.
- زاهدی، مجید؛ ذوالفقاری، حسن؛ ترابی، سیما (۱۳۷۸) بررسی تاثیرات عوامل اقلیمی در تشکیل هسته هوای آلوده شمال غرب تبریز، دومین کنفرانس منطقه ای تغییر اقلیم، تهران، سازمان هواشناسی 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.
- شکویی، ح (۱۳۵۸). محیط زیست شهری، انتشارات موسسه تحقیقات اجتماعی و علوم انسانی، تبریز، صص 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 آلاینده ها در تهران، پژوهش‌های جغرافیایی، ۵۱: ۱۵۱-۱۴۱

- علیجانی، بهلول (۱۳۸۸). *اقلیم 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 پرفشار سیبری 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). *اقلیم شناسی هم‌دید و کاربرد آن در مطالعات محیطی*، مؤلف برنت یارنال، انتشارات دانشگاه اصفهان. اصفهان.
 - منتظری، مجید (۱۳۹۰). شناسایی فصول دمایی ایران به روش تحلیل خوشه‌ای، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۶، شماره دوم، تابستان شماره پایی 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: A comparative assessment. 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.
 - Zavar-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.