

شرایط هواشناختی جو بالا و وضعیت حاد آلودگی هوا (مطالعه موردی: شهر تهران)

چکیده

در هوای شهر تهران الگوی روزانه آلاینده CO برای فصل زمستان و تابستان وجود ۲ بیشینه یکی در صبح و دیگری در شب را نشان می‌دهد. ترافیک وسایل نقلیه در صبح و کاهش ارتفاع لایه آمیخته در شب و پایداری ایستایی شبانه در وجود این بیشینه‌ها مؤثر هستند. همچنین بررسی تغییرات فصلی آلاینده CO وجود دو بیشینه در زمستان و تابستان را نشان می‌دهد. بررسی نقشه‌های همدیدی امواج سطح ۲۰۰ میلی‌باری در فصل سرد نشان داد که در روزهای حاد آلودگی، محور جت جنب حاره‌ای، شمال غربی-جنوب غربی و نزدیک به حالت نصف‌النهاری است ولی در دوره‌های کمینه آلودگی، محور جت جنب حاره‌ای تقریباً مداری بوده، و یا ناوهای بر روی ایران حاکم است و سرعت‌های قوی مداری در کاهش آلودگی منطقه‌ای مؤثر هستند. بررسی ارتباط سیستم‌های جو بالا و غلظت‌های آلودگی نشان داد که دوره‌های حاد آلودگی مربوط به هنگامی است که سیستم پشته بر ایران حاکم است و یا سیستم حباب ماندی است که در اثر ترکیب دو موج روی جت‌های جنب حاره‌ای و قطبی ایجاد می‌شود و ایران داخل منطقه‌ای قرار می‌گیرد که از عرض‌های پایین با جت جنب حاره‌ای و از عرض‌های بالا با جت قطبی احاطه می‌شود. طول این دوره‌های حاد معمولاً حدود ۳ تا ۷ روز است که دوره‌های بلندتر همراه سیستم حباب ماندی است. بررسی شرایط هواشناختی دوره‌های آلودگی نشان داد که اگر سیستم‌های پشته، یا حباب همراه با وارونگی‌های دمایی سطحی باشند، آلودگی‌های شدید و مداومی رخ می‌دهد که همراه با افزایش فشار در سطح زمین است ولی پیک فشار چند روز زودتر و گاهی همزمان رخ می‌دهد. همچنین در این دوره‌ها، شرایط سکون بر جو حاکم بوده و سرعت باد کاهش می‌یابد و دمایی جو نیز افزایش نسبی پیدا می‌کند. ضرایب همبستگی به‌دست آمده بین غلظت آلاینده و شدت وارونگی دمایی مثبت و بین غلظت آلاینده و سرعت باد منفی و از نظر آماری معنی‌دار است. همچنین دوره‌های آلوده همراه با مقادیر بالای سرعت قائم اومگا (حرکات نزولی) است.

کلید واژه

غلظت آلاینده‌ها، مشخصه‌های هواشناسی، دوره‌های حاد آلودگی، جت‌های جنب حاره‌ای و قطبی

سرآغاز

هواشناسی از جمله وارونگی‌های دمایی و استقرار مداوم سیستم‌های پرفشار همراه با هوای پایدار، بویژه در دوره سرد سال سبب افزایش آلاینده‌های هوا می‌شوند.

در مورد ارتباط مشخصه‌های هواشناسی و آلودگی هوا در شهرهای بزرگ تحقیقات متعددی انجام شده است. در اینجا به برخی از این تحقیقات اشاره می‌شود. تحقیقی که در مورد الگوی روزانه آلاینده‌ها در توکیو برای دوره ۱۹۷۷ تا ۱۹۷۸ انجام شده نشان داده است که آلاینده NO_x در فصل زمستان دارای ۲ بیشینه هنگام صبح و شب

با توجه به اهمیت مسئله آلودگی هوای تهران و تأثیر آن بر سلامت ساکنان، ضرورت مطالعه آن آشکار است. با این هدف تحقیق حاضر برای بررسی عوامل مؤثر هواشناسی بر آلودگی هوای شهر تهران انجام شد. عوامل متعددی در آلودگی شهر تهران مؤثرند که در بین آنها عوامل جغرافیایی و هواشناسی اهمیت بیشتری دارند. کوه‌های اطراف که تهران را احاطه کرده‌اند، به‌خصوص در شمال شرق مانند سدی باعث تجمع آلاینده‌ها در سطح شهر می‌شوند. همچنین عوامل

مثلاً Roebber و همکاران (1998) ارتباط با یک دوره ابرناکی طولانی را با جوّ بالا در آمریکای شمالی بررسی کرده‌اند. آنها شرایط همدیدی ابرناک را به ماندگاری همشارشی^۱ جت قطبی^۲ و جت جنب حاره‌ای نسبت داده‌اند.

برای منطقه ایران گاهی انتشار امواج بلند در گردش جوّ پیرامون زمین باعث می‌شود که دو، یا چند موج، جت عرض‌های میانی را دو، یا چند شاخه کرده و بدین ترتیب محیطی حباب مانند ایجاد می‌شود، این الگو منطقه را از باد زیاد محروم می‌کند.

در این مناطق اصطلاحاً جریان، حالت مسدود شده^۳ به خود می‌گیرد. برای نمونه شرایط حاد آلودگی که در آذر ماه ۱۳۸۴ رخ داد باعث تعطیلی مدارس در تاریخ ۱۹ آذر شد و در نهایت منجر به زوج و فرد شدن حرکت خودروها شد. این الگوی جریان‌های بزرگ مقیاس در قسمت نتایج بررسی می‌شود.

در این مقاله ابتدا منبع داده‌ها و دوره زمانی تحقیق و موقعیت جغرافیایی ایستگاهها ارائه می‌شود، سپس تغییرات غلظت‌های نسبی آلاینده‌ها و چگونگی تغییرات نسبت ماهانه به سالانه آلاینده‌ها ارزیابی شده و روش‌هایی برای تعیین دوره‌های حاد آلودگی هوا ارائه می‌شود. سپس همبستگی بین مشخصه‌های مختلف هواشناسی و آلودگی هوا بررسی می‌شود.

در این مبحث، ارتباط مشخصه‌های هواشناسی مختلف از قبیل سیستم‌های سینوپتیکی و امواج جوّ بالا، وارونگی دمایی^۴، دمای هوا، فشار هوا، سرعت قائم با آلودگی هوا بررسی می‌شود و مشخصه‌های مؤثر در پیش‌بینی شرایط حاد آلودگی هوا معرفی شده و چگونگی تأثیر آنها بحث می‌شود.

در مورد روند روزانه آلاینده‌ها و چگونگی تغییرات ساعتی آلاینده‌ها نیز بحث می‌شود. همچنین تغییرات ماهانه آلاینده‌ها و بیشینه‌های ماهانه بررسی شده و مقدار آلودگی ایستگاهها مقایسه می‌شود. در پایان نتیجه‌گیری کلی ارائه می‌شود.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از داده‌های ساعتی آلودگی هوای ایستگاههای مختلف وابسته به شرکت کنترل کیفیت هوای شهرداری تهران استفاده شده است. داده‌های هواشناسی مربوط به ایستگاه سینوپتیک ژئوفیزیک و همچنین برج ایستگاه رسالت شهرداری است.

نقشه‌های هواشناسی نیز از سایت‌های وابسته به NOAA و Grads تهیه شده است. مشخصات جغرافیایی ایستگاه مؤسسه ژئوفیزیک عبارت است از عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه

است (Inoue, et al., 1986) که از الگوی ترافیکی نیز پیروی می‌کند. همین‌طور لایه مرزی دارای تغییرات شبانه‌روزی است که به‌همراه تغییرات عمق آن، غلظت آلاینده‌ها نیز تغییر می‌کند (بیدختی و بنی‌هاشم، ۱۳۷۶)، این تغییرات به‌شکلی است که با رشد لایه آمیخته (بین روز)، غلظت آلاینده‌ها نیز کم می‌شود.

تحقیقی که در مورد همبستگی آلاینده SO₂ با مشخصه‌های هواشناسی از جمله وارونگی دمای سطحی در برگن آلمان انجام شده نشان داده است که گرادیان قائم دما در ۳۷ متری از سطح در ساعت اولیه صبح، مشخصه خوبی برای پیش‌بینی آلودگی روزانه است (Bringfelt, 1971).

تحقیقی که در برزیل در مورد ارتباط سیستم‌های هواشناسی با غلظت آلاینده ذرات معلق انجام شده نشان داده است که مقادیر بالای غلظت آلاینده همراه با سیستم‌های پرفشار جنب حاره‌ای اطلس جنوبی است (Ccoyllo and Andrade, 2002).

در تحقیقی که در چین انجام شده است تغییرات غلظت آلاینده‌های CO, NO₂ و O₃ و الگوی روزانه آنها و ارتباط آنها با عوامل هواشناسی و کاهش مقادیر این آلاینده‌ها در روزهای بارانی مورد بررسی قرار گرفته است (Tu, et al., 2007). بعضی تحقیقات نشان داده که بارش رگباری بهتر از بارش‌های مداوم می‌تواند باعث تمیز شدن هوا شوند (Berlyand, 1991) شرایط هواشناختی در مقیاس بزرگ که می‌تواند موجب تشدید غلظت آلاینده‌ها در محیط‌های شهری شود معمولاً با دو عامل سرعت‌های کم باد و دیگری شرایط پایداری جوّ همراه است که پخش آلاینده‌ها را در جهت قائم دچار اختلال می‌کند. منبع اصلی بادهای سطحی بیشتر بادهای جو در ارتفاع بالا است.

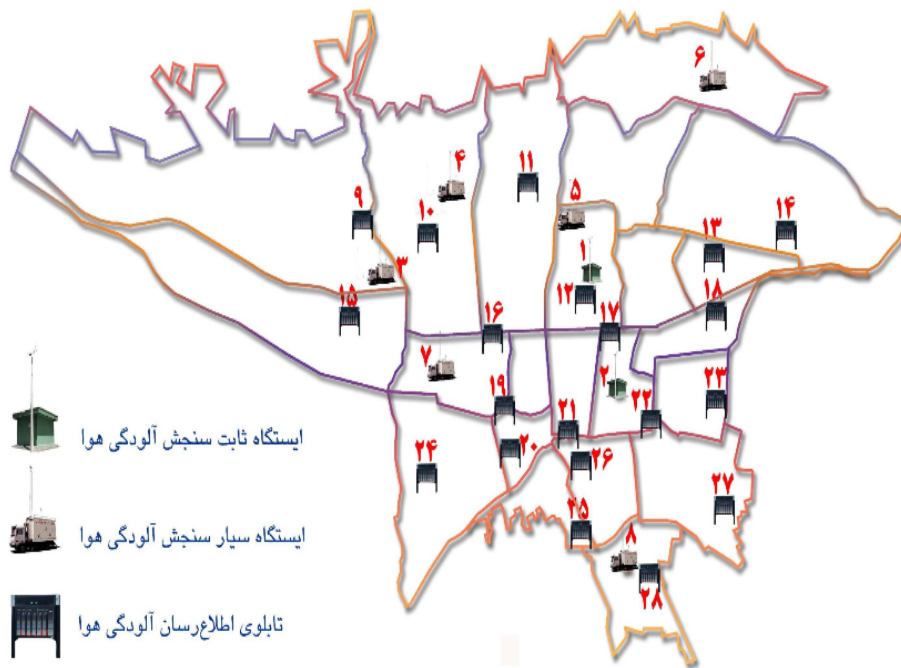
برای همبستگی آلودگی هوا و شرایط هواشناسی شهر تهران تحقیقات چندان زیادی انجام نشده است. در تحقیقی که در ارتباط بین الگوهای فشار و آلودگی هوا تهران انجام شده (صفوی و علیجانی، ۱۳۸۵)، نشان داده شده است که معمولاً غلظت‌های بالای آلاینده‌ها با فشار بالای جوّ همراه است.

در تحقیق دیگری که برای تهران انجام شده نتایج مشابهی به‌دست آمده و نشان داده شده که همبستگی بین مشخصه‌های هواشناسی و غلظت آلاینده‌ها بیشتر در فصل سرد معنی‌دار است. (شرعی‌پور و بیدختی، ۱۳۸۴).

شرایط ماندگاری هواشناسی خاص (مثل ابرناکی) در ارتباط با سیستم‌های بزرگ مقیاس عرض‌های میانی نیز مطالعه شده است.

موقعیت ایستگاههای سنجش آلودگی شرکت کنترل کیفیت هوای شهرداری را نشان می‌دهد.

شمالی، طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۴۱۹ متر از سطح دریا. دوره زمانی تحقیق سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۷ است. قابل ذکر است که ایستگاه سنجش آلودگی مؤسسه ژئوفیزیک، در ۱۵ دسامبر ۲۰۰۶ راه‌اندازی شده است. شکل شماره (۱) نقشه



شکل شماره (۱): نقشه پراکنده ایستگاهها، (به ترتیب شماره‌های ۱، ۲، ۵ و ۶ مربوط به ایستگاههای فاطمی، بازار، ژئوفیزیک و اقدسیه است)

کمبود ایستگاه اندازه‌گیری این آلاینده، از ایستگاههای ژئوفیزیک و مهرآباد و دوره زمانی سالهای ۲۰۰۴ و ۲۰۰۷ استفاده شد. جدول شماره (۱) نتایج این تحقیق را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول شماره (۱) مشاهده می‌شود، بیشترین درصد فراوانی برای بیشتر آلاینده‌ها مربوط به غلظت نسبی ۱ تا ۰/۵ است.

همچنین در حالت‌های پیک، یعنی گروه ۱ تا ۱/۵، بین آلاینده‌های PM_{10} ، SO_2 و CO ، بالاترین درصد مربوط به آلاینده PM_{10} است. این نشان دهنده این است که شرایط آلودگی هوای شهر تهران اغلب با توجه به نبود سیستم‌های همدیدی فعال که می‌تواند باعث انتشار و فرارفت آلودگی از این شهر شوند، در اکثر زمان‌های سال مشابه است. با تبدیل میانگین سالانه به فصلی، مشاهده شد که برای زمستان، مقادیر درصد ۰/۵ تا ۱ افزایش یافته و ۱ تا ۱/۵ کاهش می‌یابد و برای تابستان تقریباً هر دو مقدار مشابه هم هستند.

تغییرات غلظت‌های نسبی آلاینده‌ها برای چند دوره خاص و روش‌های آماری برای برآورد آلودگی هوا

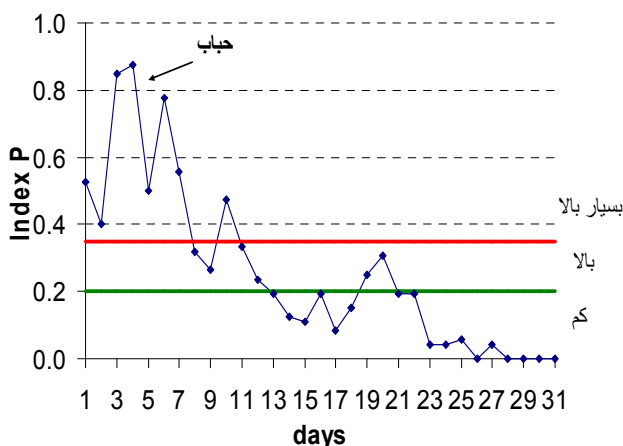
در این بخش از تحقیق، با استفاده از مطالعه تغییرات نسبی آلاینده‌ها برای چند دوره، برای شناخت وضعیت‌های هواشناسی ایجاد کننده آنها، بویژه شرایط همدیدی، چند شاخص معرفی و بررسی می‌شود. برای این منظور، تغییرات غلظت نسبی آلاینده‌ها یعنی نسبت میانگین ماهانه به میانگین سالانه آلاینده‌ها q_{mo}/q_{an} بررسی شده است. این مشخصه برای آلاینده‌های CO ، SO_2 و PM_{10} به دست آمده است. در این بررسی، ۵ حالت برای غلظت نسبی آلاینده‌ها در نظر گرفته شده است.

برای آلاینده‌های CO و PM_{10} ، ۴ ایستگاه ژئوفیزیک، فاطمی، اقدسیه و بازار بررسی شده و دوره زمانی آن سالهای ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ است. برای آلاینده SO_2 به علت کمبود داده‌های پیوسته یک سال و

جدول شماره (۱): فراوانی مقادیر غلظت نسبی q_{mo}/q_{an}

Groups of q_{mo}/q_{an}	< ۰/۵	۰/۵-۱	۱-۱/۵	۱/۵-۲	> ۲
SO ₂	٪۱۳	٪۴۸	٪۳۰/۴	٪۴/۳	٪۴/۳
CO	-	٪۵۲	٪۴۴	٪۴	-
PM ₁₀	-	٪۵۴	٪۴۶	-	-

DEC-2005-CO



شکل شماره (۲): تغییرات پارامتر P برای آلاینده CO در

دسامبر ۲۰۰۵ (خط مربوط به مقدار ۰/۲ نشان دهنده مرز آلودگی پایین و بالا و خط مربوط به مقدار ۰/۳۵ نشان دهنده مرز آلودگی بالا و بسیار بالاست)

مشخصه آلودگی p را می‌توان برای هر آلاینده‌ای محاسبه کرد ولی در این میان، آلاینده CO بهترین نماینده برای اکثر آلاینده‌ها است. به بیانی دیگر، تغییرات روزانه آلاینده CO مشابه تغییرات روزانه بیشتر آلاینده‌هاست. نتایج تحقیقی در مورد ضریب همبستگی بین مشخصه آلودگی p برای ترکیب آلاینده‌ها و هر آلاینده نشان داده که بالاترین ضریب مربوط به آلاینده CO است (Berlyand, 1991). بنابراین، در تحقیق حاضر، مشخصه p برای ماه‌های مختلف برای آلاینده CO محاسبه و بررسی شد.

با توجه به نتایج به دست آمده، مشخصه p به ۳ گروه تقسیم‌بندی می‌شود که عبارتند از آلودگی پایین ($P < 0.2$)، آلودگی بالا ($0.2 < p < 0.35$) و آلودگی بسیار بالا ($p > 0.35$).

مطابق شکل شماره (۲) دوره‌ای از آلودگی بسیار بالا در اوایل دسامبر ۲۰۰۵ مشاهده می‌شود که مربوط به تعطیلی مدارس در ۱۹ آذر ۱۳۸۴ است.

برای بررسی دوره‌های حاد آلودگی هوا از نمودارهای تغییرات میانگین روزانه آلاینده‌های هوا، به‌خصوص CO و SO₂ در هر ایستگاه استفاده می‌شود. در دوره‌هایی که شرایط حاد آلودگی هوا حاکم است باید اکثر ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا این وضعیت را نشان دهند.

به بیانی دیگر افزایش فقط در یک ایستگاه می‌تواند بر اثر گسیل از منابع موقت موجود در محدوده آن ایستگاه باشد. بنابراین مشخصه‌هایی برای تعیین این دوره‌ها تعریف شده‌اند. در یکی از روش‌های ساده آماری، غلظت میانگین روزانه یک آلاینده خاص توسط غلظت میانگین فصلی آن به صورت زیر نرمالیزه می‌شود (Berlyand, 1991).

$$\bar{q} = 1/N \sum_{j=1}^N q_j / q_{avj} \quad (1)$$

که در آن N تعداد ایستگاهها و q_j غلظت میانگین روزانه آلاینده در ایستگاه j و q_{avj} غلظت میانگین فصلی آلاینده است. به عبارت دیگر، \bar{q} میانگین وزنی غلظت نسبی ایستگاه‌های مختلف است. روش بهتر در این رابطه، تعیین مشخصه آلودگی p است که فرمول آن به صورت زیر است (Berlyand, 1991).

$$P = m / n \quad (2)$$

که در آن n تعداد کل مشاهدات روزانه و m تعداد مشاهداتی است که در آنها غلظت آلاینده بیش از ۱/۵ برابر غلظت میانگین فصلی آلاینده باشد. در این روش، حداقل ۳ ایستگاه مورد بررسی قرار می‌گیرند. دامنه تغییرات پارامتر p ، ۰ تا ۱ است. برای نمونه شکل شماره (۲) تغییرات مشخصه p را نسبت به آلاینده CO در دسامبر ۲۰۰۵ نشان می‌دهد. در بخش بعدی، این مورد از نظر همبستگی، یک سیستم حبابی در روزهای دوم تا هفتم دسامبر ۲۰۰۵ بر منطقه ایران حاکم است، بررسی می‌شود.

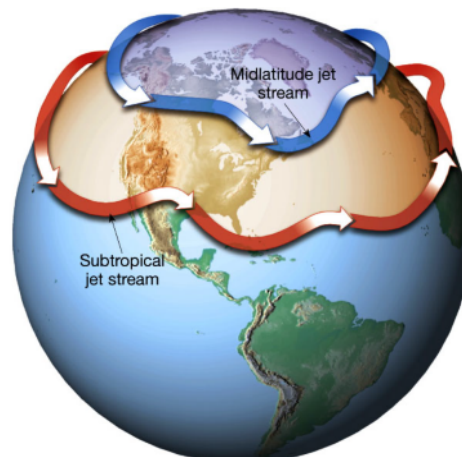
مشخصات عوامل هواشناسی مؤثر بر آلودگی هوا

در این بخش همبستگی بین مشخصه‌های مختلف هواشناسی به همراه شرایط جو بالا و آلودگی هوا بررسی می‌شود. در این مبحث، ارتباط مشخصه‌های هواشناسی مختلف از قبیل دمای هوا، فشار هوا، سرعت قائم و وارونگی دمایی با سیستم‌های سینوپتیکی و امواج جو بالا با آلودگی هوا بررسی می‌شود. مسلماً تعیین مشخصه‌های هواشناسی مؤثر بر آلودگی هوا و چگونگی تأثیر آن می‌تواند برای پیش‌بینی آلودگی هوا حایز اهمیت باشد.

به عبارت دیگر می‌توان به روش‌های مختلف، دوره‌های حاد آلودگی را پیش‌بینی کرد. از آنجا که دوره‌های حاد، چند روز به‌طور پیوسته ادامه دارد با رخداد افزایش حاد غلظت آلودگی در یک روز، احتمال بالایی وجود دارد که چنین شرایطی در روزهای آتی تکرار شود. می‌توان از پیش‌بینی‌های مشخصه‌های هواشناسی انجام شده برای پیش‌بینی دوره‌های حاد استفاده کرد. در این روش می‌توان با مشاهده نقشه‌های پیش‌بینی سطوح بالا و همچنین تغییر فشار در نقشه‌های سطح زمین چند روز قبل، احتمال وجود دوره‌های حاد را پیش‌بینی کرد.

الگوهای هم‌دیدنی سطوح بالا

در این بخش، ابتدا روزهای بیشینه و کمینه آلودگی با نقشه‌های امواج ۲۰۰ میلی‌باری مقایسه و موقعیت جت‌های جنب حاره‌ای و قطبی بررسی شد. شکل شماره (۳) موقعیت جت‌های جنب حاره‌ای و قطبی را نشان می‌دهد. این جت‌ها گاهی از هم جدا و گاهی به هم پیوسته‌اند.



شکل شماره (۳): شماتیک موقعیت جت‌های جنب حاره‌ای و

قطبی

نتایج این بررسی‌ها نشان داد که اغلب روزهای کمینه آلودگی همزمان با موقعیت افقی محور جت جنب‌حاره‌ای بر روی منطقه و ایران بوده، و یا دامنه قائم موج کوتاه‌تر است. همچنین روزهای بیشینه آلودگی همزمان با موقعیت شمال غربی-جنوب غربی محور جت جنب حاره‌ای بوده، و یا دامنه قائم موج بلندتر است. در حالت افقی محور جت، سرعت‌های مداری باد می‌توانند موجب کاهش آلودگی در منطقه شوند، در صورتی‌که در حالت شمال غربی - جنوب غربی محور جت، آلودگی فقط بین عرض‌ها جابجا شده و در منطقه کاهش نمی‌یابد.

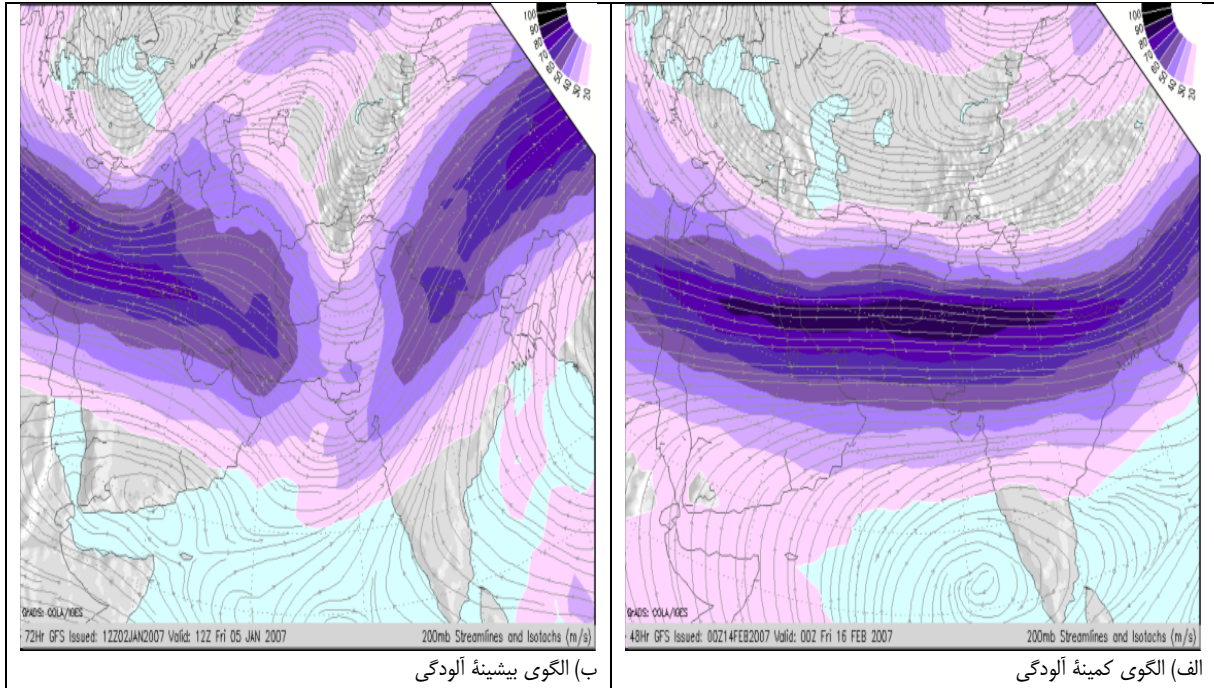
شکل شماره (۴) نمونه‌هایی از الگوهای جت جنب حاره‌ای را که نقش ایجاد شرایط کمینه و بیشینه آلودگی در شهر تهران را به‌وجود می‌آورد، نشان می‌دهد.

نتایج نشان داد که الگوهای بیشینه آلودگی مربوط به ۲ سیستم است. سیستم اول مربوط به هنگامی است که یک پشته بر روی ایران و یک ناوه در شرق ایران حاکم است. سیستم دوم الگوهای بیشینه آلودگی مربوط به هنگامی است که ۲ جت قطبی و جنب حاره‌ای با اتصال به هم محیط بسته‌ای مثل یک حباب را ایجاد می‌کنند و ایران داخل این محیط بسته قرار می‌گیرد. به بیانی دیگر این محیط از عرض جغرافیایی بالا با جت قطبی و از عرض پایین با جت جنب حاره‌ای احاطه می‌شود.

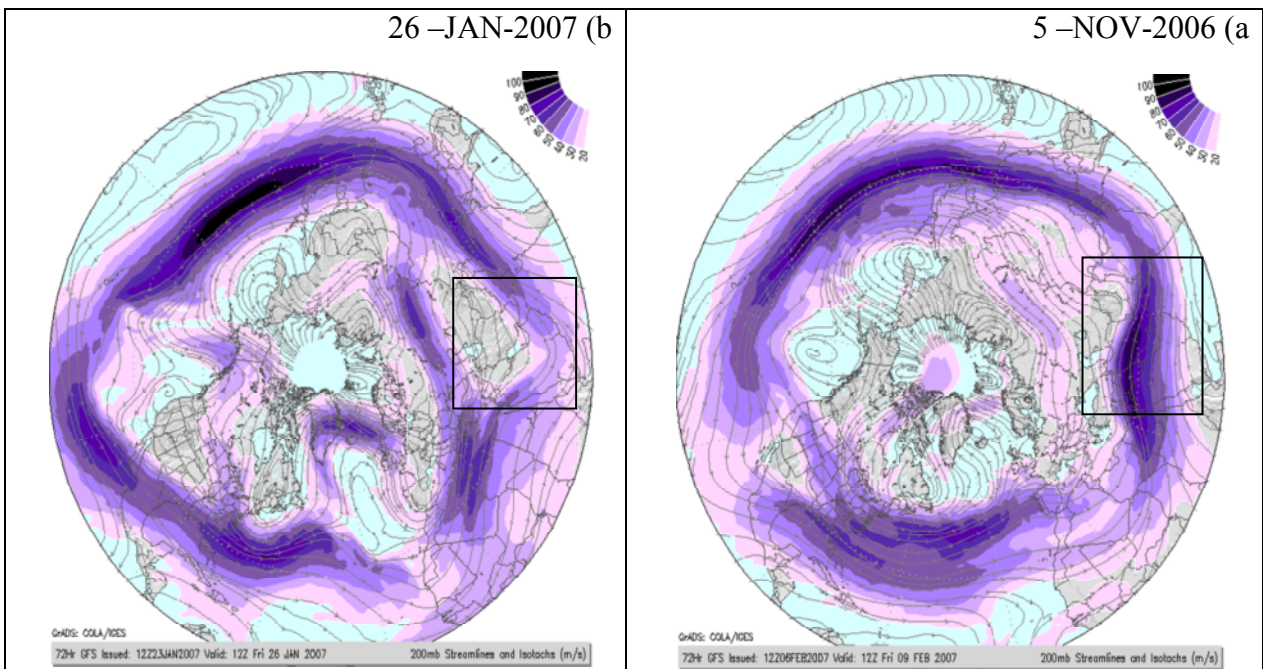
شکل شماره (۵) الگوهای نیمکره‌ای سیستم‌های پشته و حباب را در سطح ۲۰۰ میلی‌باری نشان می‌دهد. در حقیقت سیستم حباب، سیستم پشته را در بر دارد، ضمن آن‌که موجی در عرض بالا نیز تشکیل می‌شود. همچنین دو موج در جت‌های قطبی و جنب‌حاره‌ای در فاز متقابل هستند.

جدول شماره (۲) مشخصات نمونه‌هایی از دوره‌های آلودگی بسیار حاد را در بازه زمانی سالهای ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۷ نشان می‌دهد.

نتایج جدول شماره (۲) نشان می‌دهد که دوره‌های بسیار حاد آلودگی بیشتر در فصل سرد رخ داده و طول مدت دوره‌های بسیار حاد، در حدود بین ۳ تا ۷ روز است ولی در این میان، طول دوره‌های مربوط به سیستم حباب اغلب، طولانی‌تر از سیستم پشته است. در اینجا قابل ذکر است که تعطیلی مدارس به علت آلودگی هوا در ۱۹ آذر ۸۴ مربوط به سیستم حبابی است که در دسامبر ۲۰۰۵ رخ داده است. شکل شماره (۶) الگوی هم‌دیدنی مربوط را نشان می‌دهد و سرعت بسیار کم باد در سطوح بالا در این روز مشخص است.



شکل شماره (۴): نمونه‌هایی از الگوهای منطقه‌ای جت جنب حاره‌ای (الف) کمینه و (ب) بیشینه آلودگی. همبندهای رنگی معرف مقادیر سرعت بر حسب (m/s) بوده و با تیره شدن رنگها افزایش می‌یابد. خطوط معرف خطوط جریان هوا در سطح ۲۰۰ میلی‌بار هستند (سایت Grads).



شکل شماره (۵): الگوهای نیمکره‌ای سیستم‌های موجی جت‌های جنب حاره‌ای و قطبی (a) پشته و (b) حباب در سطح ۲۰۰ میلی‌باری. مقادیر سرعت بر حسب (m/s) بوده و با تیره شدن رنگها افزایش می‌یابد (سایت Grads).

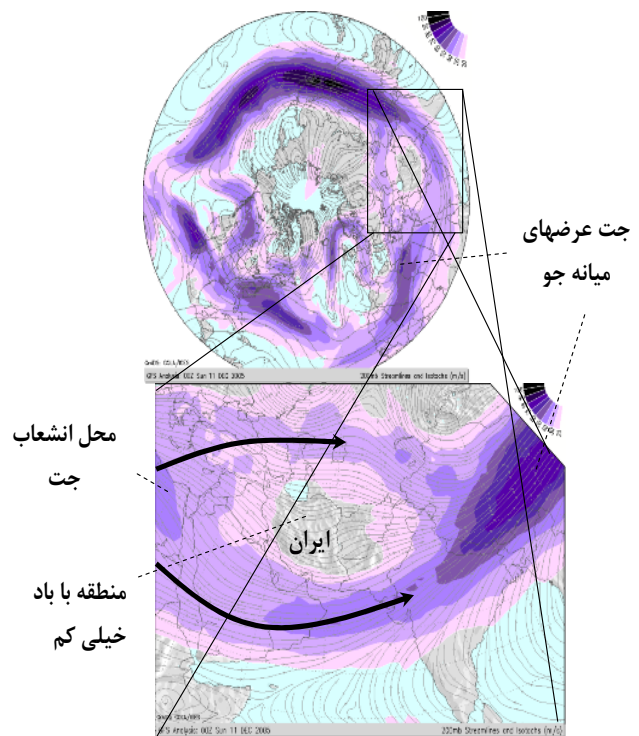
جدول شماره (۲): مشخصات نمونه‌های دوره‌های آلودگی بسیار حاد (* تعطیلی مدارس در ۱۹ آذر ۱۳۸۴).

(در نوامبر ۲۰۰۶ تعیین مقدار p به علت حاصل نشدن شرط حداقل ۳ ایستگاه مقذور نبود).

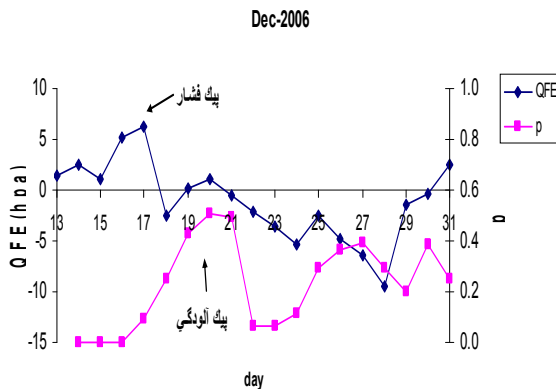
نوع سیستم	تاریخ وقوع	طول دوره (روز)	میانگین p یا q	ΔT
حباب	(۱-۷) دسامبر ۲۰۰۵ *	۷	P = 0.64	۳/۳
حباب	(۱-۷) نوامبر ۲۰۰۶	۷	q = 1.21	۷/۲
حباب	(۲۵-۲۸) ژانویه ۲۰۰۷	۴	P = 0.42	۴
پشته	(۵-۸) مارس ۲۰۰۴	۴	P = 0.77	۶
پشته	(۱۳-۱۶) جون ۲۰۰۷	۴	P = 0.42	۳/۴
پشته	(۱۹-۲۱) دسامبر ۲۰۰۶	۳	P = 0.48	۲/۳

فشار و دما

فشار یکی از مشخصه‌های جوئی است که عمدتاً با توجه به هیدروستاتیک بودن حرکات بزرگ مقیاس جو اغلب از میدان آنها در سطح زمین پیروی می‌کند. مقایسه نقشه‌های فشار سطح زمین و همچنین مقادیر میانگین فشار روزانه QFE⁵ ایستگاهها با مقادیر میانگین آلاینده روزانه نشان می‌دهد که رفتار فشار با آلودگی همیشه یکسان نیست. نتایج تحقیق نشان داد که در بیشتر دوره‌های آلودگی حاد، فشار افزایش می‌یابد ولی در برخی موارد پیک این افزایش ۲ تا ۳ روز قبل از پیک آلودگی رخ می‌دهد (با توجه به بلند مدت بودن حرکات بزرگ مقیاس جو) و در موارد دیگر هماهنگ با پیک آلودگی است. شکل شماره (۷) دوره حاد آلودگی ۱۹ تا ۲۱ دسامبر ۲۰۰۶ را از این نظر مورد ارزیابی قرار می‌دهد. این دوره مربوط به سیستم پشته در سطوح بالاست. مقایسه پریشیدگی فشار ایستگاه ژئوفیزیک و مشخصه آلودگی p نشان می‌دهد که پیک فشار حدود ۳ روز زودتر از پیک آلودگی رخ داده است. این بستگی به ماندگاری سیستم همدیدی بزرگ مقیاس در منطقه دارد.



شکل (۶) الگوی حبابی همدیدی مربوط به ۱۹ آذر ۸۴، بخش بالایی شکل، الگوی نیمکره‌ای را نشان داده و بخش پایینی مربوط به الگوی منطقه‌ای ایران است. مقادیر سرعت بر حسب (m/s) بوده و با تیره شدن رنگها افزایش می‌یابد (سایت Grads).



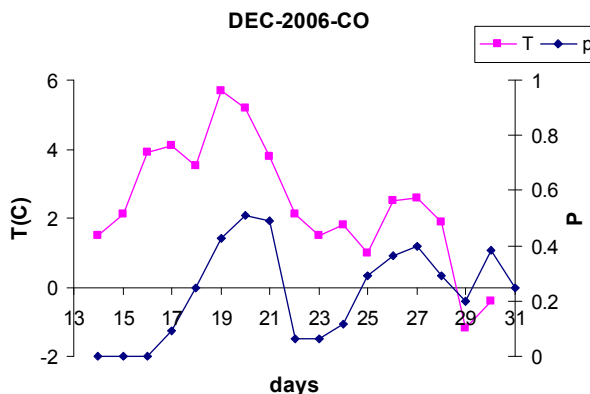
شکل شماره (۷): مقایسه مشخصه آلودگی روزانه p با پریشیدگی

فشار QFE روزانه ایستگاه ژئوفیزیک در ماه دسامبر ۲۰۰۶

(منظور از پریشیدگی، اختلاف روزانه از میانگین ماهانه است)

به نظر می‌رسد در هر سال به‌طور متوسط یک دوره بسیار حاد آلودگی رخ داده است. همچنین می‌توان گفت اگر آلاینده‌ها بیش از ۲ روز پیوسته، در اکثر ایستگاهها مقدار بالایی داشته باشند، می‌توانند با سیستم‌های سطوح بالا در ارتباط باشند. بنابراین با استفاده از نقشه‌های پیش‌بینی امواج در سطوح بالا می‌توان چند روز قبل، احتمال وقوع دوره‌های حاد آلودگی را پیش‌بینی کرد.

دمای میانگین روزانه و مشخصه آلودگی P روزانه را در دسامبر ۲۰۰۶ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در دوره ۱۹-۲۱ دسامبر، دما نسبت به میانگین ماهانه حدود ۲/۳ درجه سلسیوس افزایش یافته است.



شکل شماره (۹): مقایسه دمای میانگین روزانه و پارامتر آلودگی P روزانه را در دسامبر ۲۰۰۶ (دما مربوط به ایستگاه ژئوفیزیک است)

اختلاف دمای روزهای دوره حاد آلودگی از میانگین ماهانه برای دمای میانگین محاسبه شد. این افزایش دما برای چند نمونه بسیار حاد در جدول شماره (۲) نشان داده شده است. مطابق جدول، افزایش دما حدود ۲ تا ۷ درجه است.

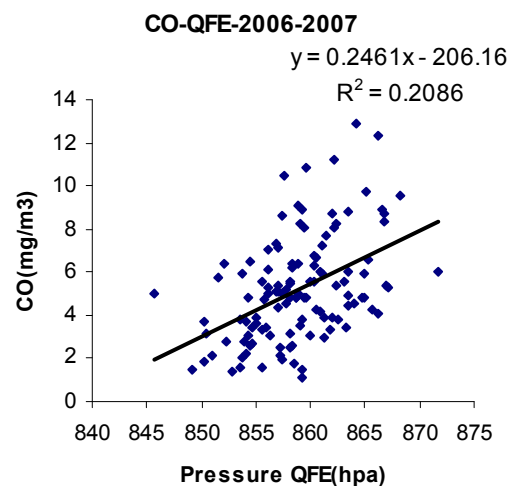
وارونگی دمای سطحی

وارونگی دما نشانه‌ای از پایداری ستون هوا و در نتیجه پخش و انتشار کمتر آلودگی هواست و در ارتباط با وضعیت همدیدی سیستم‌های عبوری است. در این بخش، ارتباط وارونگی دمای سطحی و غلظت آلاینده‌ها مورد بحث قرار گرفته است. با این هدف همبستگی اختلاف دمای ارتفاع ۲۲ متری با دمای سطح زمین و غلظت آلاینده CO مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی نشان داد که اختلاف دمای ۲۲ متری (ΔT) در ساعات اولیه صبح (۴ تا ۶) همبستگی قوی مثبتی با میانگین غلظت آلاینده روزانه دارد. به عبارت دیگر با افزایش مقدار اختلاف دمای سطحی، یا وارونگی دمای سطحی، مقادیر غلظت آلاینده‌ها افزایش می‌یابد.

شکل شماره (۱۰) این همبستگی مثبت را برای فصل زمستان و تابستان ۲۰۰۶ در ایستگاه فاطمی نشان می‌دهد. ضریب همبستگی محاسبه شده در هر دو فصل از نظر آماری معنی‌دار بوده و همچنین در زمستان قوی‌تر از تابستان است. رابطه‌های خطی به‌دست آمده در

نتایج کلی بررسی‌ها نشان داد که معمولاً طول دوره پیک فشار کمتر از طول دوره پیک آلودگی است. همچنین، نسبت پریشدگی روزانه به میانگین فشار ماهانه به‌هنگام دوره‌های حاد آلودگی به مقدار ۰/۰۰۶ و بالاتر می‌رسد.

مقایسه نقشه‌های منطقه‌ای فشار سطح زمین نشان داد که در اکثر دوره‌های حاد آلودگی که در فصل سرد رخ می‌دهد، افزایش فشار QFE در ایستگاه‌های تهران در بیشتر موارد، ناشی از سیستم مرکز پرفشاری است که بر روی دریای خزر و شمال ایران ایجاد می‌شود و دامنه آن عرض‌های پایین‌تر از جمله تهران را هم دربر می‌گیرد. بنابراین، به‌طور کلی در مواردی که پیک فشار زودتر از پیک آلودگی رخ می‌دهد مشخصه فشار می‌تواند پیش‌بینی‌کننده بسیار خوبی برای دوره‌های حاد آلودگی باشد. به‌طور کلی ضریب همبستگی بین مشخصه فشار سطح زمین و مقدار غلظت آلاینده‌ها معنی‌دار است. برای نمونه، ضریب همبستگی بین میانگین روزانه غلظت آلاینده CO و میانگین روزانه فشار QFE در ایستگاه ژئوفیزیک برای دوره سرد ۴ ماهه سرد دسامبر ۲۰۰۶ تا مارس ۲۰۰۷ مقدار $R = 0.45$ است که از نظر آماری در سطح ۱٪ معنی‌دار است. این همبستگی در شکل شماره (۸) نشان داده شده است.

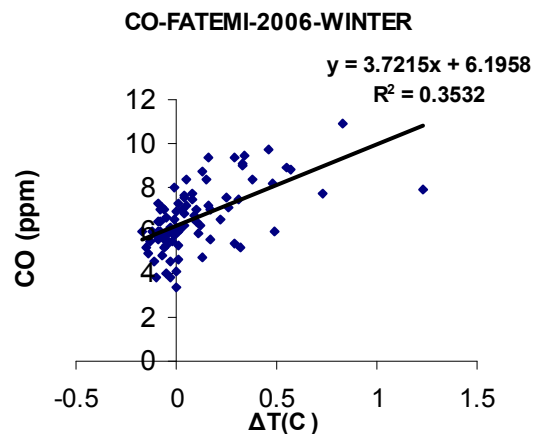
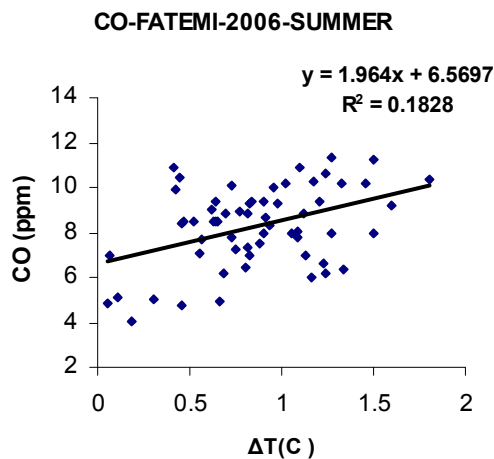


شکل شماره (۸): همبستگی بین غلظت آلاینده CO و فشار در ایستگاه ژئوفیزیک

همبستگی بین مقدار غلظت آلاینده و دمای سطح زمین مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی نشان می‌دهد که معمولاً در دوره‌های حاد آلودگی دمای هوا افزایش می‌یابد. به بیانی دیگر افزایش فشار معمولاً با افزایش دما نیز همراه است. شکل شماره (۹) ارتباط بین

و در زمستان اغلب کم است. این موضوع در شکل شماره (۱۰) کاملاً مشخص است و می‌تواند یکی از دلایل وجود پیک تابستانی آلاینده‌ها باشد.

شکل مشخص شده است. مطابق شکل شماره (۱۰) محدوده تغییرات ΔT در فصل زمستان بین -0.25 و 1 و در فصل تابستان بین 0 و $1/75$ است. نتایج این بررسی نشان داد که مقدار ΔT در روزهای فصل تابستان افزایش می‌یابد و اغلب به مقادیر بزرگتر از واحد می‌رسد



(b)

(a)

شکل شماره (۱۰): همبستگی بین اختلاف دمای ارتفاع ۲۲ متری سطح زمین و غلظت آلاینده CO در ایستگاه فاطمی

(a) فصل زمستان و (b) فصل تابستان سال ۲۰۰۶ (داده‌های دما مربوط به برج رسالت است)

الگوی روزانه آلاینده‌ها

با توجه به وابستگی تنگاتنگ وضعیت لایه مرزی جو که عمدتاً اندازه‌گیری‌ها در آن انجام می‌شود، با شرایط همدیدی جو، در این بخش ارتباط بین غلظت آلاینده‌ها و وضعیت لایه مرزی پرداخته می‌شود. الگوی روزانه آلاینده‌ها بیان کننده چگونگی تغییرات ساعتی آلاینده‌ها در طول شبانه‌روز بوده و بیشینه و کمینه‌های آلودگی توسط تغییرات لایه مرزی مشخص می‌شود. در این بحث، الگوی میانگین فصلی حایز اهمیت است. به این منظور، برای آلاینده‌های CO و SO₂ الگوهای میانگین ساعتی فصلی زمستانی و تابستانی در ایستگاه ژئوفیزیک برای سال ۲۰۰۷ محاسبه شد. شکل شماره (۱۱) الگوهای مورد نظر را نشان می‌دهد. الگوهای تابستانی و زمستانی آلاینده CO نشان می‌دهد که ۲ بیشینه رخ می‌دهد که یکی در اوایل صبح و دیگری در شب است و کمینه نیز در بعد از ظهر رخ می‌دهد. مقایسه الگوی زمستانی و تابستانی CO نشان می‌دهد که هر دو الگوی مشابهی دارند ولی مقدار بیشینه صبحگاهی در زمستان بیش از تابستان است (افزایش ۴۷٪) الگوی تابستانی SO₂ نشان می‌دهد که باز هم ۲ بیشینه مشابه الگوی CO در صبح و شب رخ می‌دهد. ولی الگوی زمستانی SO₂ کاملاً متفاوت با الگوی تابستانی است و بیشینه آن در ظهر رخ می‌دهد. همچنین مقدار بیشینه زمستانی SO₂ حدود ۲

سرعت قائم اومگا

از آنجا که سرعت قائم اومگا به عنوان یکی از مشخصه‌های مهم همدیدی مطرح است، در این بخش رابطه بین سرعت قائم هوا در نزدیک سطح زمین و مقدار غلظت آلاینده‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور نقشه‌های سرعت قائم، یا آهنگ فشار سطح زمین بررسی شد. نتایج تحقیق نشان داد که در روزهای حاد آلودگی، حرکات نزولی و یا نشست هوا وجود داشته و مقدار اومگا اغلب مثبت و بالاست و در روزهای کمینه آلودگی اغلب مقدار اومگا پایین و گاهی منفی است. جدول شماره (۳) مرتبه بزرگی مقادیر اومگا را در برخی دوره‌های حاد آلودگی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین مقدار مربوط به ماه ژانویه است.

جدول شماره (۳): مقادیر اومگا در دوره‌های حاد آلودگی

(واحد سرعت قائم (ثانیه/پاسکال) است)

تاریخ وقوع	ژانویه ۲۰۰۷	دسامبر ۲۰۰۶	نوامبر ۲۰۰۶	مارس ۲۰۰۴
نوع سیستم اومگا (Pa/s)	حباب	پشته	حباب	پشته
	۰/۳	۰/۲	۰/۱۵	۰/۳

تابستان بسیار مؤثر است همان‌طور که در شکل‌های شماره (۱۱) مشاهده می‌شود، بیشینه عمق لایه آمیخته روزانه در زمستان حدود نصف مقدار آن در تابستان است. ترافیک وسایل نقلیه در اوایل صبح در وجود بیشینه صبحگاهی بسیار مؤثر است. تحقیقی که در مورد همبستگی غلظت ساعتی آلاینده CO و تراکم وسایل نقلیه موتوری در سن‌پترزبورگ انجام شده نشان داده که ضریب همبستگی مثبت معنی‌داری بین آن دو بخصوص در بیشینه صبحگاهی برقرار است (Berlyand, 1991). کاهش ارتفاع لایه آمیخته در شب و همچنین وجود وارونگی دمایی و نسیم کوه به دشت نیز عوامل مهم بر بیشینه شب هستند.

به‌طور کلی عامل مهم افزایش آلاینده SO₂ در زمستان نسبت به تابستان، اشتعال سوخت‌های مربوط به منابع گرمایی است. به طور میانگین با توجه به از بین رفتن لایه آمیخته و عدم درگیری لایه مرزی با جو آزاد (که موتور اصلی حرکات جو است) در شب هنگام، آلاینده‌ها در شب بیشتر از روز است.

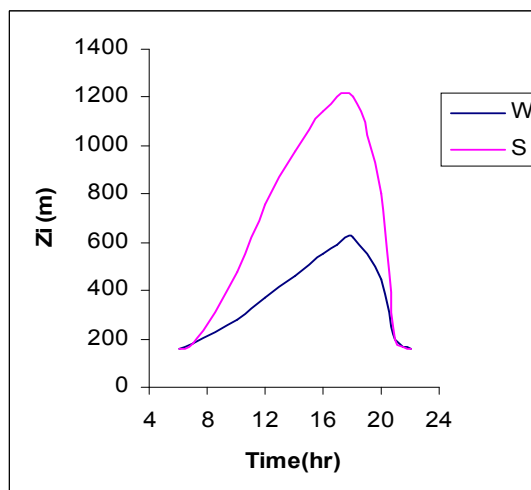
البته ایجاد پایداری شبانه سطحی نیز در این امر مؤثر است. لایه آمیخته جو روز هنگام باعث آمیختگی قائم مؤثر هوا در لایه مرزی شده (توسط ترمال‌های عمیق) که خود نیز درگیری لایه آمیخته با جو آزاد را تشدید می‌کند (Banta, and Cotton, 1981).

برابر بیشینه تابستانی است. دمای هوا در غلظت SO₂ مؤثر است به طوری که در تابستان مشابه CO تغییر می‌کند ولی در زمستان با توجه به کم بودن دما مقدار SO₂ بین روز افزایش دارد که احتمالاً به چشمه‌های SO₂ وابسته بوده و باید به‌طور مجزا بررسی شود.

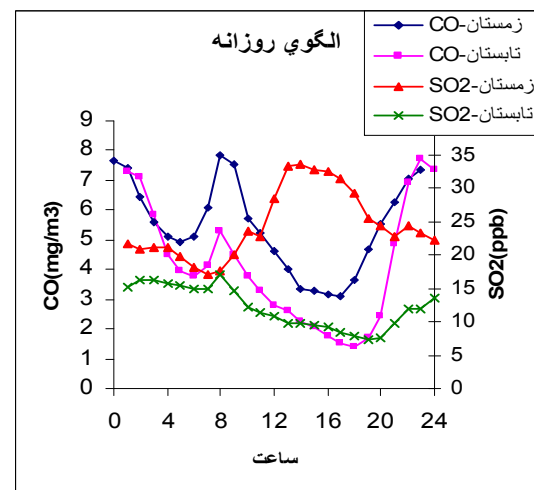
یکی از عوامل مهم روند کاهشی آلاینده‌ها در طی روز بعد از بیشینه صبحگاهی، رشد لایه مرزی (آمیخته) جو است. روابط تحلیلی زیادی برای تخمین رشد لایه آمیخته جو وجود دارد. به عنوان مثال رابطه بر اساس انرژی حرکات تلاطمی لایه مرزی (آمیخته) همرفتی به صورت (بدون در نظر گرفتن نشست هوا توسط عوامل همدیدی) زیر است (Stull, 1988):

$$dh/dt = (2cu_*^3) / ((g/\theta_0)\Delta\theta_0 z_i) \quad (3)$$

که در آن $c \approx 0.5$ ، u_* سرعت اصطکاکی، g/θ_0 ، مشخصه شناوری، z_i عمق لایه آمیخته، $\Delta\theta_0$ افزایش دمایی ناگهانی در تارک لایه آمیخته است. برای مقادیر نمونه عرض‌های میانی $dh/dt \approx 0.02m/s$ است. البته این مقدار در تابستان تا ۰/۵ و در زمستان تا ۰/۱ m/s متغیر است. بنابراین رشد صبحگاهی لایه آمیخته انتظار می‌رود که برای تهران در تابستان حدود ۲۰۰ متر در ساعت و برای زمستان حدود ۵۰ متر بر ساعت باشد و بیشینه آن در بعد از ظهر رخ می‌دهد. این رشد لایه آمیخته در کاهش آلودگی هوا بین روز از ساعت حدود ۷/۳۰ صبح به ویژه برای



(b)



(a)

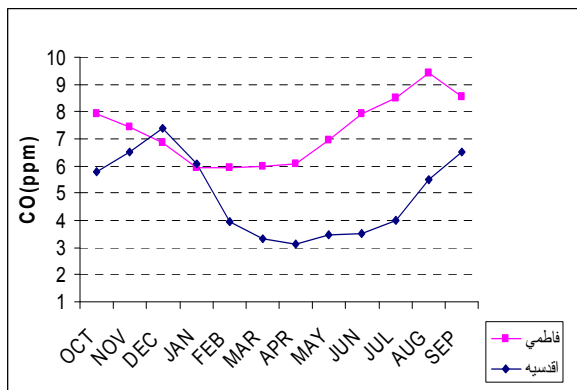
شکل شماره (۱۱): الگوی ساعتی روزان I میانگین فصلی آلاینده‌ها (a) الگوی زمستانی و تابستانی آلاینده‌های CO و SO₂ در

ایستگاه ژئوفیزیک برای سال ۲۰۰۷ (b) رشد عمق لایه آمیخته شهر تهران برای دو روز نوعی تابستانی (S) و زمستانی (W)

(بیدختی و بنی‌هاشم، ۱۳۷۶)

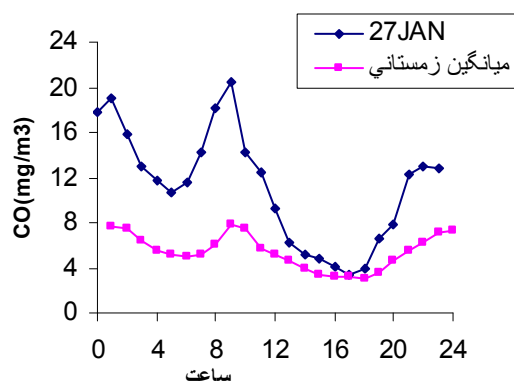
مقدار بیشینه تابستانی بیشتر می‌شود. به نظر می‌رسد، موقعیت ایستگاه در این مورد عامل مؤثر است. مقدار آلاینده CO برای ۳ ایستگاه مورد نظر در طول سال مقایسه شد. این مقایسه نشان داد که درجه آلودگی ایستگاهها با تغییر فصل تغییر می‌کند، به عبارت دیگر یک ایستگاه در طول کل سال آلوده‌ترین ایستگاه نیست. ولی در بیشتر موارد آلودگی ایستگاه فاطمی بیشتر از ایستگاه بازار است. در فصل تابستان معمولاً آلودگی ایستگاه فاطمی بیش از ۲ ایستگاه دیگر بوده و آلودگی ایستگاه اقدسیه، کمترین است. یعنی ترتیب آلودگی ایستگاهها عبارتند از فاطمی، بازار و اقدسیه. در فصل زمستان، حالت مشخصی وجود ندارد به بیانی دیگر برخی اوقات، اقدسیه و گاهی فاطمی آلوده‌ترین ایستگاه است. برای مقایسه آلودگی ایستگاهها، میانگین زمستانی (اکتبر، نوامبر، دسامبر) و تابستانی (جون، جولای، اگوست) آلاینده CO محاسبه شد.

نمودار این مقایسه برای سالهای ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۶ در شکل شماره (۱۴) نشان داده شده است. در تابستان به‌طور مشخصی روند کاهش آلودگی مکانی از فاطمی به بازار و سپس اقدسیه مشاهده می‌شود که احتمالاً نشانگر اثرات محلی، از جمله بادهای کوهستان در شب است که نشان می‌دهد آلودگی به طرف دامنه کوه کمتر است و به طرف مرکز شهر افزایشی است. این بادهای محلی بویژه در فصل تابستان که سیستم‌های همدیدی فعال نیستند اغلب وجود دارد، اما در زمستان این تغییرات مکانی به خصوص در سالهای اخیر کمتر است و تفاوت کمتری بین تغییرات آلودگی در مکان‌های مختلف مشاهده می‌شود. این نیز می‌تواند در نتیجه کاهش آثار محلی به علت وجود سیستم‌های فعال هواشناسی مثل مراکز کم فشار و جبهه‌ها در زمستان نسبت به تابستان باشد (صفوی و علیجانی، ۱۳۸۵).



شکل شماره (۱۳): مقایسه مقادیر میانگین ماهانه آلاینده CO برای سالهای ۲۰۰۴-۲۰۰۵ تا ۲۰۰۶-۲۰۰۷ ایستگاههای فاطمی و اقدسیه

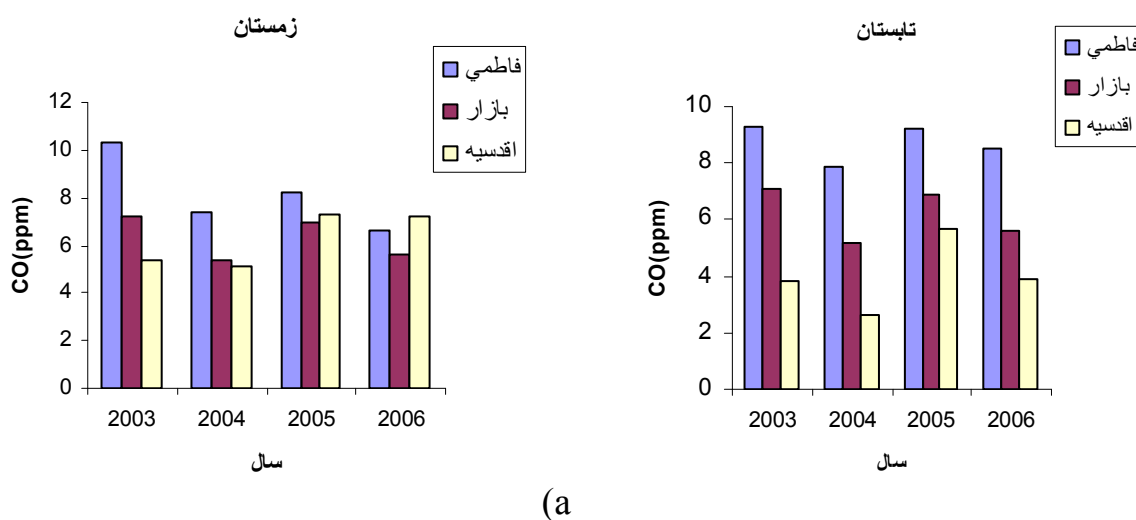
شکل شماره (۱۲) (الگوی ساعتی روزانه آلاینده CO را در یکی از روزهای حاد آلودگی در ژانویه ۲۰۰۷ با الگوی میانگین زمستانی مقایسه می‌کند. این مقایسه نشان می‌دهد که در روز ۲۷ ژانویه ۲۰۰۷، مقدار بیشینه صبحگاهی نسبت به مقدار میانگین حدود ۲/۷ برابر شده است و بیشینه شب هم ۱/۷ برابر شده است. این نمونه روزی است که سیستم‌های همدیدی فعال (مثل سامانه‌های کم فشار و یا جبهه‌های میان مقیاس) در منطقه تهران حاکم نیست و این وضعیت تشدید آلاینده‌ها را بوجود آورده است که در بخش بعدی به آن پرداخته می‌شود.



شکل شماره (۱۲) مقایسه الگوی روزانه شرایط حاد آلودگی CO در تاریخ ۲۷ ژانویه ۲۰۰۷ با الگوی میانگین زمستانی در ایستگاه ژئوفیزیک

تغییرات ماهانه آلاینده‌ها

در ارتباط با الگوهای میانگین همدیدی (صفوی و علیجانی، ۱۳۸۵) و آلاینده‌ها، بررسی میانگین ماهانه آلاینده CO در ایستگاههای مختلف نشان داد که معمولاً ۲ بیشینه در طی سال وجود دارد که یکی در زمستان و دیگری در تابستان رخ می‌دهد. رخداد بیشینه زمستانی معمولاً در یکی از ماههای اکتبر، نوامبر و دسامبر و بیشینه تابستانی در یکی از ماههای جون، جولای و اگوست است. بررسی بیشینه‌های ماهانه در ایستگاههای فاطمی، اقدسیه و بازار نشان داد که احتمال وقوع بیشینه زمستانی در ماه دسامبر و بیشینه تابستانی در ماه اگوست بیش از سایرین است. به بیانی دیگر، بیشینه‌ها بیشتر در ماههای گذار رخ می‌دهند. شکل شماره (۱۳) مقایسه میانگین ماهانه آلاینده CO را برای دوره ۳ ساله در ایستگاههای فاطمی و اقدسیه نشان می‌دهد. بررسی‌ها نشان داد در ایستگاه اقدسیه در اکثر موارد، مقدار بیشینه زمستانی بیش از بیشینه تابستانی است ولی در ایستگاه فاطمی چنین حالتی وجود نداشته و در برخی موارد



شکل شماره (۱۴): مقایسه میانگین فصلی (a زمستانی و (b تابستانی آلودگی CO ایستگاهها برای سالهای ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۶

حاره‌ای، شمال غربی-جنوب غربی بوده و نزدیک به حالت نصف‌النهاری است ولی در دوره‌های کمینه آلودگی، محور جت جنب حاره‌ای تقریباً مداری بوده و یا ناوهای بر روی ایران حاکم است. سرعت‌های قوی مداری در کاهش آلودگی منطقه‌ای مؤثر هستند.

یکی از روش‌های مناسب و متداول برای تعیین دوره‌های حاد آلودگی، روش تعیین مشخصه p است که در آن تعداد مشاهداتی که غلظت آلاینده، بیش از $1/5$ برابر میانگین فصلی است مورد توجه قرار می‌گیرد.

بیشترین فراوانی غلظت نسبی ماهانه اکثر آلاینده‌ها مربوط به بازه $0/5$ تا 1 است و همچنین در حالت غلظت نسبی بالا یعنی بازه 1 تا $1/5$ ، بالاترین درصد فراوانی مربوط به آلاینده PM_{10} است.

بررسی ارتباط سیستم‌های جو بالای هواشناسی و غلظت‌های آلودگی CO نشان داد که دوره‌های حاد آلودگی یا مربوط به سیستم پشته است که در آن پشته‌ای بر روی ایران و ناوهای در شرق ایران در منطقه حاکم است و یا مربوط به سیستم حباب ماندی است که در آن دو موج با هم ترکیب می‌شوند و ایران داخل منطقه بسته‌ای که از عرض پایین با جت جنب حاره‌ای و از عرض بالا با جت قطبی احاطه شده قرار می‌گیرد. همچنین بیشتر دوره‌های حاد در فصل سرد رخ می‌دهند. بر اساس موارد مطالعه شده در اینجا، دوره‌هایی که با حباب همراه است ممکن است تا ۷ روز طول بکشد در حالی که الگوهای همراه پشته در حد ۴ روز بیشتر نیست.

به‌طور خلاصه در این تغییرات دو مد تغییر دیده می‌شود، یکی تغییرات میانگین روزانه (شکل شماره ۱۲) با یک کمینه بین روز که مربوط به تغییرات عمق لایه آمیخته روزانه (با بیشینه مقدار آن در بعد از ظهرها مصادف با کمینه آلودگی) و همین‌طور الگوی ترافیک در طول روز است. دیگری تغییرات متوسط از یک روز به روز دیگر و یا فصلی است که مربوط به تغییرات در شرایط همدیدی است (شکل ۱۳). در شکل شماره (۱۲) مشاهده شد که برای یک روز نوعی در زمستان، شرایط همدیدی (باد بسیار کم با نشست هوا) باعث شده است که آلاینده‌ها به‌طور متوسط بسیار بالاتر از مقدار متوسط فصل زمستانی باشد. بخشی از تغییرات فصلی و همین‌طور سال به سال نیز می‌تواند به علت توسعه شهر و تغییرات در نوع وسایط نقلیه باشد که نیاز به مطالعات مجزا دارد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، داده‌های آلودگی وابسته به شرکت کنترل کیفیت هوای شهرداری و داده‌های هواشناسی ایستگاه ژئوفیزیک در دوره سالهای ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۷ مورد بررسی قرار گرفته است. همین‌طور تأثیر وضعیت جو بالا بر روی آلودگی هوا مورد بررسی قرار گرفته و چون برخی مشخصه‌های هواشناسی در سطح زمین متأثر از وضعیت جو بالاست، به همبستگی آنها پرداخته شده است.

مقایسه الگوهای امواج ۲۰۰ میلی‌باری در فصل سرد با غلظت آلاینده‌ها نشان داد که در دوره‌های بیشینه آلودگی، محور جت جنب

ضریب همبستگی مثبت معنی‌داری برای فصل زمستان و تابستان بین اختلاف دمای مذکور و غلظت روزانه آلاینده CO برقرار است.

در حالت حاد آلودگی سرعت قائم اومگا، مقادیر مثبت بالایی داشته و حرکات نزولی هوا برقرار است. بررسی ارتباط بین غلظت آلاینده CO و دما در دوره‌های حاد آلودگی نشان داد که در این دوره‌ها معمولاً دما افزایش می‌یابد و این افزایش میانگین دما تقریباً بین ۲ تا ۷ درجه بوده است. به‌طور کلی برای این که پدیده حاد آلودگی رخ دهد فقط وجود یکی از شرایط هواشناسی مؤثر بر آلودگی کافی نیست و باید اکثر شرایط در کنار هم حضور داشته باشند.

مسلماً با پیش‌بینی مشخصه‌ها و نقشه‌های هواشناسی می‌توان احتمال وجود شرایط پیشینه آلودگی را از چند روز قبل پیش‌بینی کرد ولی مشاهدات هواشناسی از قبیل دمای حداقل و وارونگی دمای سطحی و فشار QFE که در ساعات اولیه صبح قابل اندازه‌گیری است، می‌تواند در پیش‌بینی آلودگی پیشینه روزانه مؤثر باشد. همچنین از آنجا که دوره‌های حاد آلودگی مرتبط با سیستم‌های هواشناسی معمولاً چند روز پیوسته ادامه دارند، وجود یک روز با آلودگی حاد، احتمال وجود روزهای آتی را با چنین شرایطی را بالا می‌برد.

در این صورت نیاز است امواج بلند روی سیستم‌های گردش عمومی جو برای پیدا کردن شرایط همدیدی بزرگ مقیاس که در اینجا به آن اشاره شد با توجه به توزیع خشکی- دریا بررسی دینامیکی شوند. این می‌تواند با هدف پیش‌یابی شرایط ایجاد سیستم‌های حبابی و پشته‌ای، که مورد بررسی مشاهداتی قرار گرفت، و نمایه‌های مربوط مورد استفاده قرار گیرد که در ادامه این کار به آن پرداخته خواهد شد.

تشکر و قدردانی

از شرکت کنترل کیفیت هوای شهرداری برای در اختیار قرار دادن داده‌های آلودگی تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین از حمایت قطب علمی تحلیل مخاطرات محیطی گروه اقلیم‌شناسی دانشگاه تربیت معلم قدردانی می‌شود.

یادداشت‌ها

- 1-Confluence
- 2-Jet streams
- 3- Blocking
- 4- Inversion
- 5-QFE : فشار روزانه تصحیح شده سطح ایستگاه

نتایج نشان داد که در دوره‌های حاد آلودگی که در سطوح بالا سیستم پشته یا حباب مانند وجود دارد در سطح زمین هم فشار بالا می‌رود و اغلب در نقشه‌های فشار سطح زمین وجود مراکز پرفشار بر روی ایران مشاهده می‌شود. ولی این افزایش فشار در برخی موارد چند روز زودتر رخ می‌دهد. به عبارت دیگر، در برخی موارد، پیک فشار ۱ تا ۳ روز زودتر از پیک آلودگی رخ می‌دهد و در برخی موارد این دو پیک هماهنگ هستند. مسلماً این تقدم می‌تواند بر پیش‌بینی آلودگی تأثیر بسزایی داشته باشد. به‌طور کلی معمولاً ضریب همبستگی معنی‌داری بین مشخصه فشار و آلودگی برقرار است. همچنین اگر سیستم حباب همراه با وارونگی دمای سطحی باشد، افزایش آلودگی بسیار شدید است. الگوی روزانه آلاینده CO برای فصل زمستان و تابستان وجود بیشینه یکی در صبح و دیگری در شب را نشان می‌دهد. ترافیک وسایل نقلیه در صبح و کاهش ارتفاع لایه آمیخته در شب و پایداری دمای شبانه نیز در وجود این بیشینه‌ها مؤثر هستند.

بررسی میانگین ماهانه آلاینده CO در ایستگاه‌های مختلف نشان داد که معمولاً ۲ بیشینه در طی سال وجود دارد که یکی در زمستان و دیگری در تابستان رخ می‌دهد. رخداد بیشینه زمستانی معمولاً در یکی از ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر و بیشینه تابستانی در یکی از ماه‌های جون، جولای و اگوست است. مقایسه چند ساله درجه آلودگی CO ایستگاه‌های فاطمی، بازار و اقدسیه نشان می‌دهد که معمولاً در تابستان ایستگاه فاطمی، آلوده‌ترین و اقدسیه پاک‌ترین ایستگاه است. وجود بیشینه در فصل سرد می‌تواند بر اثر افزایش مصرف اشتعال سوخت‌های ناشی از منابع گرمایی و وسایل نقلیه در کنار شرایط هواشناسی از قبیل افزایش فشار هوا، پایداری هوا و وارونگی دما (به همراه سیستم‌های همدیدی مساعد آلودگی) رخ دهد. همچنین وجود بیشینه در فصل گرم نیز می‌تواند بر اثر عوامل متعددی از جمله وارونگی دمای سطحی و کاهش بارش و عدم شستشوی آلاینده‌ها صورت گیرد. نتایج مقایسه غلظت آلاینده‌ها با مشخصه‌های هواشناسی نشان داد که در دوره‌های حاد آلودگی هوا که به همراه سیستم‌های پشته و حباب در جت‌های جو بالا است، رفتار برخی دیگر از مشخصه‌های هواشناسی به‌صورت زیر است:

وارونگی دمای سطحی باعث می‌شود اختلاف دمای سطح ۲۲ متری با دمای نزدیک سطح در اوایل صبح افزایش یابد. همچنین

منابع مورد استفاده

بیدختی، ع. و بنی هاشم، ت. ۱۳۷۶. لایه آمیخته شهری و آلودگی هوا، محیط شناسی، ۲۰، صفحه ۵۱-۶۱.

شرعی پور، ز. و بیدختی، ع. ۱۳۸۴. بررسی آلودگی هوای شهر تهران و ارتباط آن با مشخصه‌های هواشناسی، همایش آلودگی هوا و آثار آن بر سلامت.

صفوی، س. ی. و علیجانی، ب. ۱۳۸۵. بررسی عوامل جغرافیایی در آلودگی هوای تهران، پژوهش‌های جغرافیایی، ۵۸، صفحه ۹۹-۱۱۲.

Banta, R., and W.R. Cotton. 1981. An analysis of the structure of local wind systems in a broad mountain basin, *J. Appl. Meteor.*, 20, 1255-1266.

Berlyand, M. E. 1991. *Prediction and Regulation of Air pollution*, Kluwer Academic Publishers, 312.

Bringfelt, B. 1971. Important factors for the sulphur dioxide concentration in central Stockholm, *Atmos. Env.*, N 11, 949-972.

Ccoyllo, S.O.R., M. F., Andrade. 2002. The influence of meteorological conditions on the behavior of pollutants concentrations in São Paulo, Brazil, *Environmental Pollution*, 116, Issue 2, 257-263.

Inoue, T., M., Hoshi and M., Taguri. 1986. Regression analysis of nitrogen oxide concentration, *Atmos. Env.* 20, N 1, 71-86.

Roebber, P.J., J.M., Frederick, and T.P., DeFelice. 1998. Persistent Low Overcast Events in the U.S. Upper Midwest: A Climatological and Case Study Analysis. *Wea. Forecasting*, 13, 640-658.

Stull, R.B. 1988. *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*, Kluwer Acad, Publ., Dordrecht, 666.

Tu, J. and et al. 2007. Temporal variations in surface ozone and its precursors and meteorological effects at an urban site in China, *Atmos. Res.* 85, 310-337.

Grads <http://www.wxmaps.org/pix/forecasts.html>.

NOAA <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.html>.