

## مدل سازی ترمودینامیکی و واکاوی همدید آلودگی هوای شهر تهران (ذرات معلق PM<sub>10</sub>)

علی اکبر شمسی‌پور<sup>۱\*</sup>، زینب حسین‌پور<sup>۲</sup>، فهیمه نجیب‌زاده<sup>۳</sup>

۱- استادیار اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی از دانشگاه تهران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۱/۰۴/۱۳، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۰۹/۲۲

### چکیده

شرایط اقلیمی از جمله وارونگی‌های دمایی و استقرار سامانه‌های پرفشار همراه با هوای پایدار به‌ویژه در دوره سرد سال، و همچنین بادهای محلی و همدید مقیاس باعث افزایش تراکم و حجم آلاینده‌های هوا در لایه‌های مجاور سطح زمین می‌شوند. هدف مطالعه واکاوی علل هوشناختی تشدید آلودگی هوای تهران با مطالعه اثر الگوهای همدید غالب جو مبتنی بر مدل سازی اقلیمی است. با شناسایی سامانه‌های تاثیرگذار بر شهر تهران و بررسی نقشه‌های همدید نشان داد که استقرار الگوهای واچرخندی روی شهر بیش از دیگر سامانه‌های جو در تشدید آلودگی هوای تهران مؤثر هستند، بطوریکه علاوه بر ایجاد پایداری و هوای آرام، از عوامل مهم رخداد پدیده وارونگی دمایی هستند. در ضمن در دوره سرد سال کاهش ضخامت لایه آمیخته ناشی از انقباض و برودت هوا بطور غالب در شرایط حاکمیت شرایط پرفشار رخ می‌دهد. برای محاسبه عمق لایه وارونگی از نمودار ترمودینامیکی (SKEW-T) داده‌های جو بالای ایستگاه مهرآباد استفاده گردید. سپس با استفاده از مدل میان مقیاس آلودگی هوا (TAPM) به واکاوی عددی پراکنش مکانی و زمانی آلودگی براساس سرعت و جهت باد، امگا و نیمرخ‌های قائم عناصر جوی حاصل از مدل پرداخته شد. نتایج بدست آمده از واکاوی خروجی‌های مدل نشان داد که سرعت و جهت باد در موقعیت مکانی تهران، مهمترین عامل اقلیمی تاثیرگذار در پراکنش آلودگی هوا است. به طوری که با کاهش و یا افزایش سرعت باد و تغییر جهت آن شرایط آلودگی به شدت تغییر می‌کند. بادهایی که به جز باد غالب غربی در ایستگاه مهرآباد در مناطق و ایستگاه‌های دیگر تهران عموماً تحت تاثیر عوامل محلی دارای بادهای با شدت پایین و جهات متفاوت است. بنابراین بادهای داخل شهری هم قدرت کافی برای تهویه هوای شهر ندارند و در نتیجه تنها در جابجایی مکانی هسته‌های آلودگی در طول شبانه‌روز نقش دارند.

**واژگان کلیدی:** آلودگی هوا، مدلسازی اقلیمی، ذرات معلق، تهران، سامانه‌های پرفشار، وارونگی دما.

## مقدمه

عوامل اقلیمی از جمله عواملی هستند که با کنترل جریان‌های قائم و افقی هوا و انتقال توده‌های هوایی با ویژگی‌های ترمودینامیکی مختلف وضعیت آلودگی را در طول زمان تعدیل یا تشدید می‌کنند. وضعیت جوی هر روز متأثر از شرایط همدید حاکم بر منطقه و یا عبارتی ناشی از آرایش سامانه‌های جوی نسبت به یکدیگر و ویژگی دینامیکی و ترمودینامیکی حاکم بر آنها است. الگوی همدید جو در برخی زمان‌ها به گونه‌ای است که شرایط پایداری و آرامش را در جو حاکم ساخته و در نتیجه به دلیل تراکم عناصر آلاینده در لایه‌های زیرین و نبود جریان‌های جوی و یا ضعیف بودن آنها شدت آلودگی افزایش یافته و یا الگوی همدید حاکم به گونه‌ای است که جو را ناپایدار ساخته و به دلیل شدت یافتن جریان‌های قائم و افقی، عناصر آلاینده در جو پخش شده و غلظت آن کاهش می‌یابد (لشکری، ۱۳۸۵). شهر تهران یکی از آلوده‌ترین شهرهای جهان به شمار می‌رود که به طور متوسط سالانه از هر سه روز یک روز با یک یا چند نوع از آلاینده‌های اصلی آلوده است. پایداری هوا در دو فصل پاییز و زمستان باعث پیدایش شرایط لازم جهت رخداد پدیده وارونگی دمایی و تراکم آلودگی در سطح زمین و هم‌تراز تنفسی مردم می‌شود (مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران، ۱۳۸۹). از جمله آنها ذرات معلق کوچک‌تر از ۱۰ میکرون یکی از ۵ آلاینده‌ی اصلی هوای شهرهای بزرگ بویژه تهران است که عموماً از خودروها منتشر می‌گردند (اجتهادی، ۱۳۸۶). ذرات معلق بدلیل فراگیری و نیز منابع مختلف تامین کننده آن مورد توجه پژوهشگران با دیدگاه‌های پژوهشی و زمینه‌های کاربردی مختلف قرار دارد. بطوریکه اندرسون و همکاران (Anderson et al, 2004)، با مطالعه منابع مختلف ذرات معلق در مناطق شهری و حومه شهری، زواررضا و همکاران (۲۰۰۵)، با تحلیل انتشار سالانه  $PM_{10}$  با استفاده از مدل متوسط مقیاس آلودگی هوا برای شهر کرایست‌چرچ در ارتباط با ارزیابی ظهور بیماری‌های مزمن، چالواکو و همکاران (Chaloukou et al, ۲۰۰۳) با بررسی تغییرات فضایی و زمانی حجم  $PM_{10}$  در منطقه گریتر شهر آتن، گلین و همکاران (Galen et al, ۲۰۰۵) با واکاوی آلودگی

هوا، اثر پدیده‌های هواشناسی همچون پایداری و ناپایداری جوی را در تمرکز روزانه  $PM_{2.5}$  و  $PM_{10}$  در شهری از مکزیک، جان جی کائو (Junjicao, ۲۰۰۹)، با بررسی تغییرات فصلی و منابع تولید  $PM_{10}$  در هانگ ژئوی چین، کارار و گاپتا (Kara and Gupta, ۲۰۰۶)، ارتباط بین بارش موسمی و  $PM_{10}$  را در شهرهای هند، کانگ و همکاران (۲۰۱۰)، با مدل سازی  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$  و TSP و تحلیل بلند مدت اثر ترابری در سایت ساحلی تیانجین چین از جمله مطالعات مرتبط با ذرات معلق هستند. همچنین در ایران پژوهش گران مختلفی همانند شرعی‌پور (۱۳۸۸) تغییرات فصلی و روزانه آلاینده‌های هوا ( $CO$ ,  $NO_2$ ,  $PM_{10}$ ,  $O_3$ ,  $SO_2$ ) را در ارتباط با عناصر هواشناسی بررسی نمود. به این نتیجه رسید که دما و رطوبت دو عنصر مؤثر بر غلظت آلاینده‌ها هستند. بیدختی و شرعی‌پور (۱۳۸۸) 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. شمسی‌پور و امینی (۱۳۸۹)، وضعیت آلودگی شهر کرمانشاه را در رابطه با عناصر جوی و محیطی در دو مقیاس فصلی و روزانه برای آلاینده‌های گازی و ذرات معلق مورد بررسی قرار دادند. در رابطه با تهران مطالعات متعددی همچون موارد زیر انجام شده؛ لشکری و هدایت (۱۳۸۴) چهار الگوی همدید وقوع وارونگی‌های دمایی را در شهر تهران مشخص نمودند که آلودگی‌های شدید هوا را بدنبال دارند. رنجبر سعادت‌آبادی و همکاران (۱۳۸۴) در مطالعه موردی جزیره گرمایی تهران و شبیه سازی عددی آن نتیجه گرفتند که با توجه به نتایج مدل پیش‌بینی و مقادیر دیده‌بانی شده عناصر آب و هوایی و آلودگی، در صورت پیش‌بینی میدان‌های دما و باد، امکان پیش‌بینی آلودگی هوای تهران می‌تواند فراهم شود. عزیزی و قنبری (۱۳۸۸)، شبیه‌سازی عددی رفتار آلودگی هوای تهران را بر اساس الگوی باد با مدل متوسط مقیاس TAPM با لحاظ شرایط همدید و بدون حضور شرایط همدید انجام دادند. زوار رضا و همکاران (۲۰۱۰)، ارتباط بین تراکم ذرات معلق و الگوهای جوی را با مدل متوسط مقیاس

TAPM برای شهر تهران انجام دادند. قسامی و بیدختی (۱۳۸۹) به مطالعه تغییرات گرادیان قائم دمای پتانسیل در لایه مرزی برای شرایط پایدار شبانه و ناپایدار روزانه در چند دوره بحرانی آلودگی هوای تهران پرداختند. آنها از گرادیان دمای پتانسیل به عنوان معیاری برای پایداری هوا استفاده کردند. که در آن تغییرات مقادیر بیشینه غلظت برخی آلاینده‌های هوای تهران مانند  $CO, SO_2, NOX$  با تغییرات گرادیان قائم دمای پتانسیل همبستگی خوبی نشان داد و دارای بیشترین مقدار خود بود.

این مطالعه مبتنی بر مدل سازی میان‌مقیاس آلودگی هوا، تاثیر شرایط همید جوی بر میزان پراکنش و حجم آلاینده  $PM_{10}$  در دو ایستگاه اقدسیه و بازار شهر تهران با تاکید بر مدل‌سازی عددی دوره سرد سال مورد توجه قرار می‌دهد.

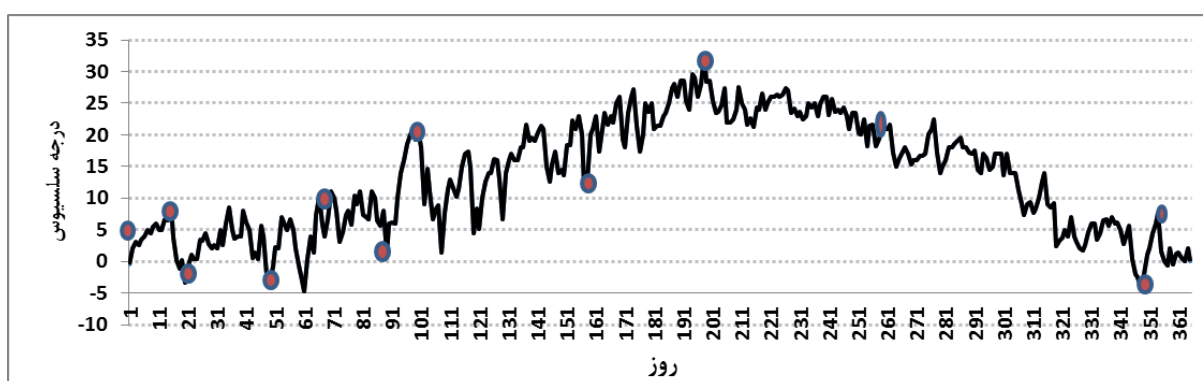
مواد و روش‌ها

روش‌شناسی مطالعه در پژوهش حاضر مبتنی بر روش آماری، همید و مدل سازی است. در بخش آماری از داده‌های آماری عناصر جوی ایستگاه‌های هواشناسی همید

تهران و داده‌های ذرات معلق  $PM_{10}$  اخذ شده از ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا استفاده شد. برای انتخاب نمونه‌های مورد نیاز در پژوهش از داده‌های روزانه دمای ایستگاه مهرآباد تهران استفاده شد. هدف مطالعه بررسی شرایط همید مقیاس جو مؤثر در افزایش یا کاهش آلاینده  $PM_{10}$  است، بنابراین ابتدا با بررسی نوسان‌های دمایی روزانه هوا در طول سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۶ داده‌های روزانه دمای هوای تهران به صورت سری زمانی مرتب گردیده و نمودار آنها ترسیم شد. در شکل (۱) نمونه‌های انتخابی بر مبنای نقاط شکست ناشی از افزایش یا کاهش ناگهانی دما انتخاب گردیدند و جدول (۱) وضعیت آلودگی را در روزهای انتخابی نشان می‌دهد. علت این نحوه انتخاب این بود که کاهش و یا افزایش با شیب تند دما دلیلی بر ورود سامانه جدید و متفاوت به منطقه است. سپس داده‌های آلودگی ذرات معلق  $PM_{10}$  نمونه‌های انتخاب شده استخراج گردید. چون روزهای متوالی همراه با آلودگی مهم بود، داده‌های دو روز قبل و دو روز بعد برای هر نمونه در نظر گرفته شد.

جدول (۱) نمونه‌های انتخاب شده به همراه مقادیر آلاینده به واحد  $(\mu g/m^3)$

سال ۲۰۰۳	۱۵ ژانویه	۱۸ ژانویه	۱۹ فوریه	۴ مارس	۲۸ مارس	۱۱ آوریل	۱۸ آوریل	۶ ژوئن	۱۸ ژوئیه	۲۷ ژوئیه	۱۴ دسامبر	۲۰ دسامبر
مقدار آلودگی	۶۹٫۸	۱۱۴٫۲	۱۳۰٫۲	۱۱۸٫۱	۳۰۶٫۹	۹۵٫۲	۵۹٫۲	۹۶٫۴	۱۳۲٫۸	۱۰۵٫۵	۱۳۸٫۱	۱۳۶٫۵



شکل (۱) نمودار کمینه روزانه دمای سال ۲۰۰۳

ایالات متحده امریکا (NCEP) استفاده گردید. بطوریکه نقشه‌های ترازهای ۷۰۰، ۵۰۰ و سطح زمین برای عناصر دما، ارتفاع ژئوپتانسیل و فشار از تارنمای مذکور برای ۱۲ نمونه استخراج

برای تعیین الگوهای همید مؤثر در تشدید شرایط آلودگی و تاثیرگذاری آنها در غلظت ذرات معلق از نقشه‌های استخراج شده پایگاه داده‌های بازپردازش شده جوی مرکز پژوهش‌های محیط

مولفه‌های فشار، دما و پیکان‌های باد، و در نقشه‌های جوی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال متغیرهای ارتفاع ژئوپتانسیل، امگا و باد با استفاده از نرم‌افزار GrADS وانگاشت شد.

گردید (جدول ۳). سپس با مراجعه به نقشه‌ها، الگوهای غالب به روش چشمی از روی تکرار و فراوانی آنها برای دوره سرد سال ۲۰۰۳ بدست آمد. برای نمایش نهایی تیپ‌های شناسایی شده از ۱۲ نمونه، ۴ روز به نمایندگی ۳ الگوی منطبق بر روزهای با آلودگی شدید انتخاب شد (جدول ۲). در نقشه‌های جوی سطح زمین

جدول (۲): نمونه‌های مدل‌سازی شده به همراه الگوی غالب

شماره	۱	۲	۳	۴
نمونه	۲۰۰۳/۳/۴	۲۰۰۳/۲/۱۸	۲۰۰۳/۲/۱۹	۲۰۰۳/۳/۲۸
الگوی همدید	پرفشار سیبری	واچرخند شمال غربی و پرفشار سیبری	واچرخند شمال غربی	

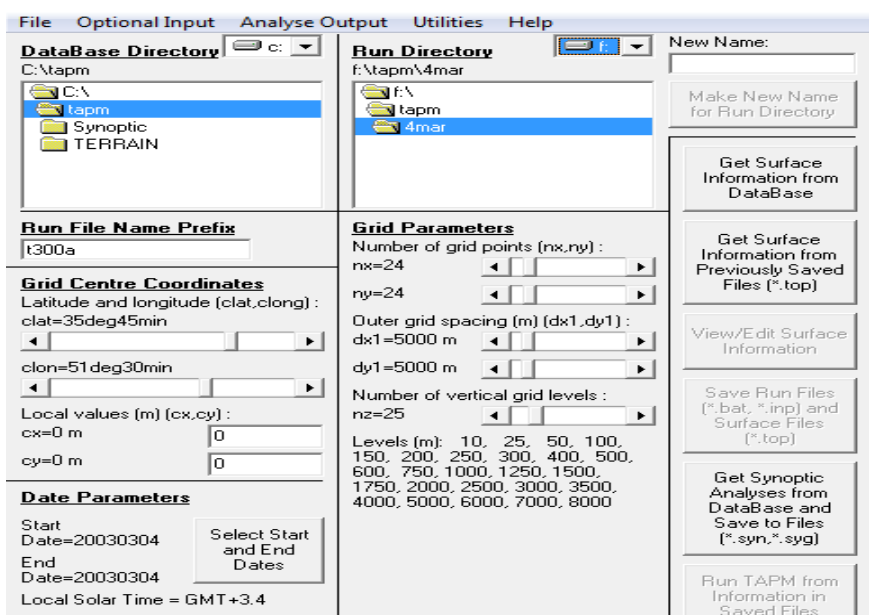
استرالیا گسترش یافت. مدل TAPM یک مدل جوی سه بعدی ساده (منابع محاسباتی کمی نیاز دارد) و سریع (حدوداً ۱۰ دقیقه‌ای) است (زوار رضا و همکاران، ۲۰۰۷). برد این مدل در حد منطقه‌ای و در حد متوسط مقیاس است. همان‌طور که از نام آن پیداست، بیشتر برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی عددی آلودگی هوا به کار برده می‌شود. محدوده مورد مطالعه در این مدل همان محدوده همدید به ابعاد هزار کیلومتر و ارتفاع هشت کیلومتر از جو است. مدل آلودگی هوا TAPM می‌تواند برای پیش‌بینی تراکم آلودگی برای دوره‌های بالا تا یک سال استفاده شود. داده‌های مورد نیاز برای این مدل شامل سه گروه است که عبارتند از: ۱. داده‌های سطح زمین مثل توپوگرافی، پوشش گیاهی و آب و خاک ۲. داده‌های هواشناسی و سینوپتیکی مدل ۳. داده‌های نوع سوم که بسته به هدف پژوهش از آن استفاده می‌شود. تزریق داده‌ها و اطلاعات به آن بسیار ساده و راحت است. قدرت مانور این برنامه نیز بسیار بالاست می‌توان برخی عوارض را در آن حذف کرد مثلاً برای بررسی باد می‌توان شهر، کوه، پوشش گیاهی یا منبع آب را حذف و تاثیر هر یک را جداگانه مطالعه کرد. با توجه به توضیحات فوق در پژوهش پیش‌رو از مدل متوسط مقیاس آلودگی هوا، TAPM، برای بررسی نتایج حاکمیت سامانه‌های جوی مشخص شده در رابطه با عناصر هوا؛ سرعت و جهت وزش باد،

از آنجایی که الگوی پراکنش و گسترش آلاینده‌ها ناشی از الگوهای حرکتی و دینامیکی جو است، از مؤثرترین شرایط دینامیکی و ترمودینامیکی در تشدید آلودگی، پدیده وارونگی دمایی است که همراه با پایداری هوا از منشأهای مختلف رخ می‌دهد. چون وارونگی‌های دمایی جزء پدیده‌های غالب هوای تهران به شمار می‌آید، و نقش آن در افزایش میزان آلودگی هوا قابل توجه است. برای نمایش نوع و ضخامت لایه وارونگی از داده‌های نیمرخ قائم جوی حاصل از ایستگاه جو بالای مهرآباد، و پایگاه داده‌های جوی دانشگاه وایومینگ<sup>۱</sup> استفاده گردید. داده‌های جوی دانشگاه وایومینگ برای دو زمان صفر و ۱۲ به زمان گرینویچ ثبت می‌شود که مطابق با ۳/۵ و ۱۵/۵ به وقت تهران است. نمودار ترمودینامیکی (SKEW-T) برای ۴ نمونه‌ی انتخاب شده برای دو ساعت نامبرده ترسیم شد. در پایان برای واکاوی عددی الگوی همدید جوی در ابعاد افقی و قائم و افزایش دقت و علت‌یابی دقیق عوامل مؤثر در آلودگی از مدل سازی عددی متوسط مقیاس آلودگی هوا TAPM استفاده گردید. مدل TAPM غلظت آلودگی و هواشناسی را به صورت سه بعدی پیش‌بینی می‌کند (هورلی، ۲۰۰۸). این مدل توسط دانشمندان سازمان پژوهش صنعتی و علمی مشترک‌المنافع (CSIRO) در

1- <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.htm>

مناطق شمالی و ایستگاه بازار بعنوان نماینده مناطق مرکزی و جنوب تهران مورد توجه قرار گرفتند. شرایط مرزی و اولیه تعریف شده برای مدل اقلیمی اجرا شده مختصات جغرافیایی محدوده مدل سازی شده دارای  $35^{\circ} 45'$  عرض شمالی و  $51^{\circ} 30'$  طول شرقی به موقعیت مرکز تهران سلول هایی با ابعاد 5KM در 5KM و شبکه ۲۴ در ۲۴ سلول تعریف گردید.

نیمرخ دما و حرکت قائم باد و در رابطه با پراکنش ذرات معلق و در نهایت تعیین میزان نقش عوامل ناهموازی و نوع سطوح محلی در آلودگی استفاده شد. از مدل‌های روزانه انجام شده تنها دو ساعت منطبق با ساعت‌های صفر و ۱۲ گرینویچ یعنی ساعت‌های ۳/۵ و ۱۵/۵ به وقت محلی برای انطباق با داده‌های وایومینگ انتخاب شده و مورد واکاوی قرار گرفتند. خروجی مدل‌ها برای موقعیت دو ایستگاه اقدسیه بعنوان نماینده



شکل شماره (۳-۵) پنجره اصلی مدل TAPM با تنظیمات صورت گرفته برای سطح شهر تهران

سامانه‌های همدید حاکم در شهر تهران جریان‌های مداری، و پرفشار سیبری هستند.

جدول (۳): الگوهای غالب تعیین شده

تعداد	الگوی همدید غالب
۶	واچرخند شمال غربی
۳	پرفشار سیبری
۲	جریان‌های مداری
۱	سامانه بندالی

از چهار الگوی جوی مؤثر در تشدید شرایط آلودگی هوا، چهار نمونه موردی بر مبنای میزان ماندگاری زمانی

## بحث و یافته‌ها

با بررسی شرایط جوی همدید مقیاس ۱۲ روز انتخاب شده، سامانه‌های حاکم بر آنها با استفاده از نقشه‌ها، استخراج و الگوهای همدید غالب به شرح جدول ۳- بدست آمد. بر مبنای جدول سامانه‌های پرفشار دارای بیشترین فراوانی همزمان با مقادیر بالای ذرات معلق PM10 را دارا هستند. و از بین آنها واچرخند شمال غربی با تعداد ۶ روز بعنوان سامانه غالب منطقه در طول دوره مورد مطالعه تعیین گردید. دیگر انواع

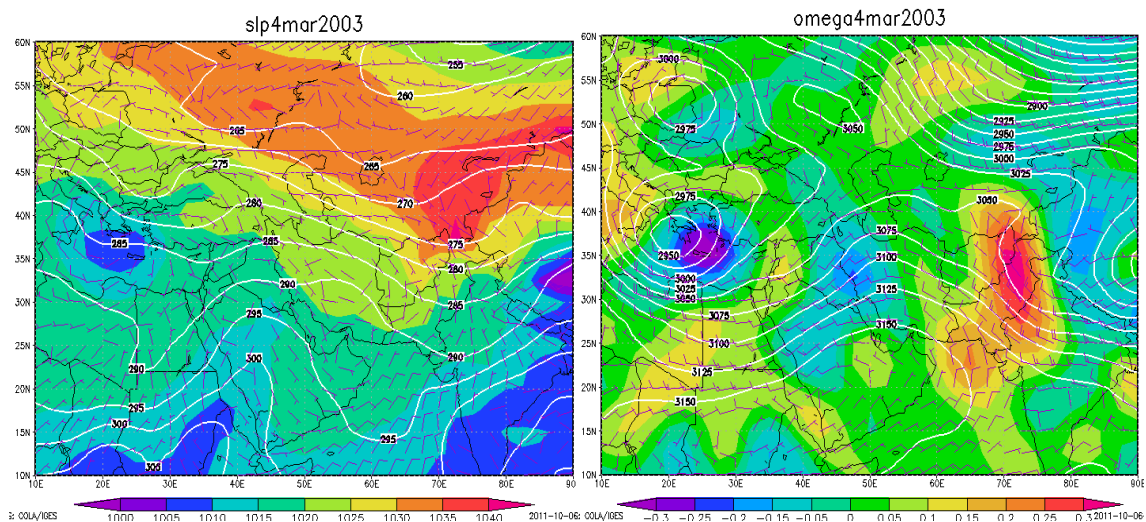
جو بوده است. بطوریکه میزان فشار سطحی در محدوده مورد مطالعه ۱۰۲۰ تا ۱۰۲۵ هکتوپاسکال است. حاکمیت پرفشار سیبری با هسته فشاری حدود ۱۰۴۰ هکتوپاسکال در شمال شرقی ایران و گسترش زبانه آن به سمت جنوب غرب مهمترین سامانه مؤثر بر شرایط جوی محدوده تهران است. نتیجه حاکمیت سامانه مذکور شرایط هوای آرام و بدون باد در سطح زمین بوده است. همچنین در مراجعه به نقشه جوی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال پشته‌های پرارتفاع ناشی از مکان‌گزینی پرفشار جنب‌حاره در شبه جزیره عربستان بر روی محدوده مورد مطالعه قابل مشاهده است. بر مبنای آن روی تهران بادهای با جهت غربی تا جنوب‌غربی با شدت نسبتاً کم در جریان است. مؤلفه حرکت قائم هوا بر روی منطقه صفر است که نشان از سکون و پایداری هوا می‌باشد. تحت تاثیر ویژگی‌های پرفشار جنب حاره در ترازهای بالاتر جو و نیز گسترش زبانه پرفشار سیبری بادهای نسبتاً ضعیف و در نتیجه فرونشینی هوا رخ می‌دهد. مجموعه این شرایط همدید باعث عدم جابه جایی ذرات معلق و تشدید تراکم آنها در محدوده تهران گردیده است (شکل ۲).

(مطابق شکل ۳) نیمرخ قائم جو بدست آمده از مدل سازی گویای مقادیر مثبت و حرکت صعودی هوا در منطقه تهران و حرکات نزولی در روی ارتفاعات شمال تهران است. مشاهده نتایج مدل‌سازی‌های انجام شده از دما و باد و نمودار ترمودینامیکی Skew-T ۴ مارس نشانگر تاثیر شرایط همدید جو در رخداد پدیده وارونگی دمایی با منشا گرمایی تا تراز ارتفاعی ۱۰۰ متری است. نیمرخ قائم حرکت هوا نیز گویای وزش باد ملایم تا ارتفاع هزار متری است (شکل ۴).

انتخاب گردید. که شامل: تاریخ‌های ۴ مارس، ۱۸ ژانویه و ۱۹ فوریه که در تمام ساعات شبانه‌روز میزان آلودگی قابل توجه بوده، و ۲۸ مارس است که از اوایل صبح تا ساعت‌های میانی روز از شدت آلودگی هوا کاسته شده است. بنابر این در ادامه برای هر نمونه ابتدا وضعیت همدید جو همراه با نقشه سطح زمین تهیه گردید. نقشه‌های سطحی با هدف نشان دادن موقعیت مراکز فشاری و میزان اثر آنها در تعیین شرایط سرعت و جهت باد، توزیع افقی و تغییرات مکانی دما و اثر مجموع آنها بر تشدید یا کاهش میزان آلودگی هوا در حومه و محدوده شهر تهران تهیه گردید. سپس نقشه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال برای تعیین ماهیت دینامیکی یا گرمایی سامانه‌ها و نیز واکاوی فرارفت گرمایی یا سرمایی و تعیین حرکت فرازشی یا فرونشینی و واکاوی هر کدام بحث شد. نتیجه حاکمیت سامانه در ارتباط با شرایط عناصر جوی همچون نیمرخ قائم دما با ارائه شکل مربوط به نمودار Skew-T برای تعیین نرخ افتاهنگ هوا در ارتباط با نوع و ارتفاع پدیده وارونگی و نیز شدت پایداری وابسته به آنها، بعد از نمودار نیمرخ قائم دما و سرعت باد و حرکت قائم هوای بدست آمده از مدل سازی ارائه گردید. همچنین نمودار تغییرات ساعتی سرعت و جهت باد، دما و در نهایت الگو و جهت پراکنش ذرات معلق آلاینده در نقشه سطحی حاصل از مدل سازی با زمینه توپوگرافی اضافه شده و مورد بحث قرار می‌گیرد. در این قسمت چهار نمونه مطالعاتی منطبق بر چهار الگوی جوی حاکم در شرایط با آلودگی شدید مورد بحث و واکاوی قرار می‌گیرند.

الگوی (الف) نمونه (۱) استقرار سامانه پرفشار سیبری:

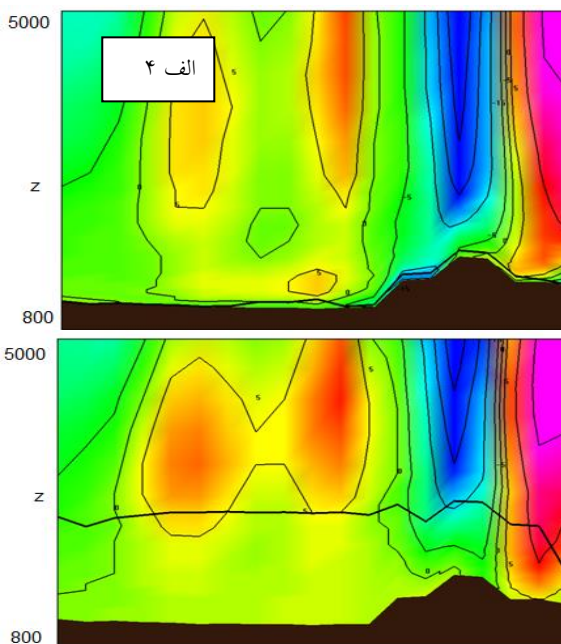
مطابق بررسی شرایط همدید جو و سامانه‌های حاکم بر تهران شرایط آلودگی تاریخ ۴ مارس تهران بعنوان نمونه (۱) از الگوی (الف) تحت تاثیر سامانه پرفشار سیبری در سطح زمین و پرفشار جنب حاره در ترازهای بالاتر

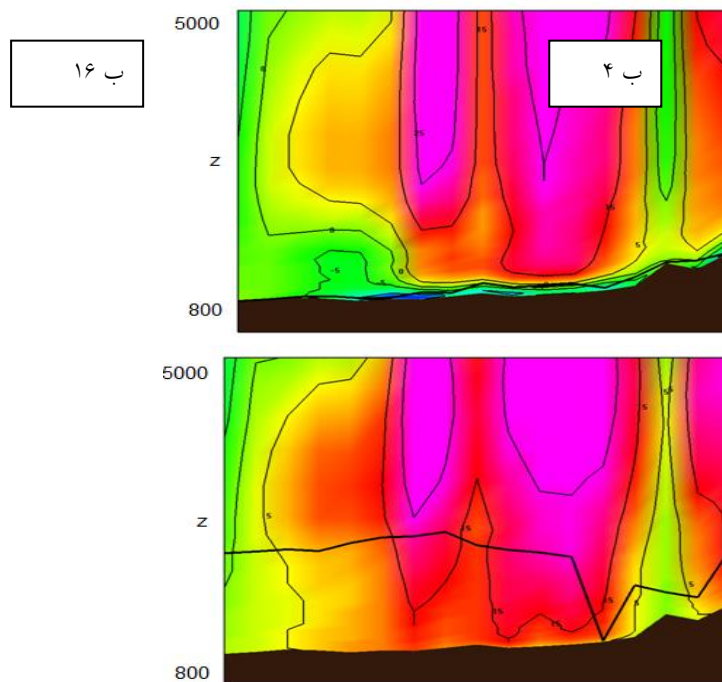


شکل (۲): نقشه جوی سطح زمین با پربندهای دما و بردارهای باد (راست)، میزان امگا، پربندهای ارتفاعی و بردارهای باد در

تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (چپ)

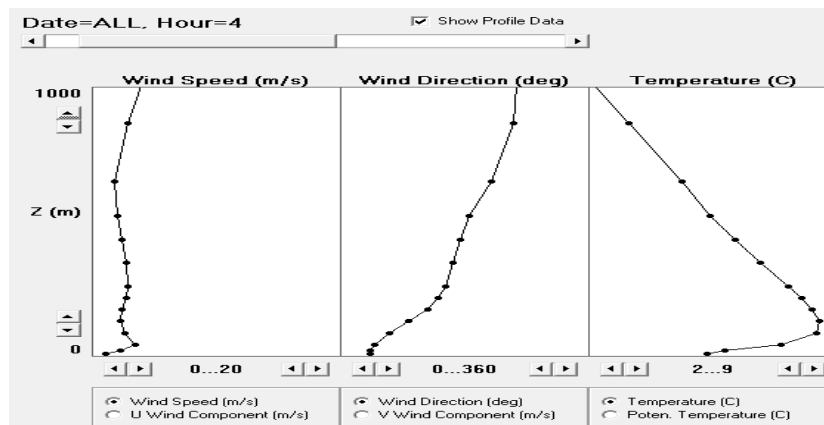
الف ۱۶





شکل (۳): نیمرخ قائم میزان حرکت قائم و ضخامت لایه آمیخته بدست آمده از مدل برای موقعیت جنوب تهران (الف) و شمال تهران

(ب)

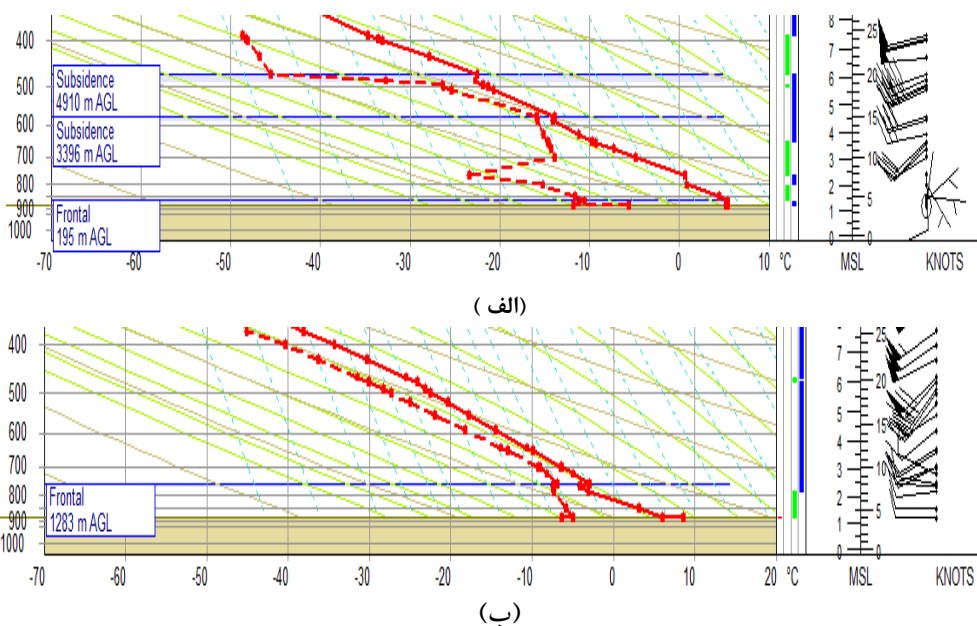


شکل (۴): نیمرخ قائم دما، سرعت و جهت باد بدست آمده از مدل سازی اقلیمی در ساعت ۴ صبح به وقت محلی تهران

رانده شده و شرایط وارونگی را ایجاد نموده است. قابل توجه است که شرایط وارونگی جبهه‌ای در طول ساعات روز نیز با وجود انتقال به تراز ارتفاعی ۱۲۸۰ متری ماندگاری داشته است (شکل ۵).

از نتایج مهم حاکمیت شرایط پرفشاری در یک منطقه رخداد وارونگی دمایی است که در نمودار ترمودینامیکی Skew-T پدیده وارونگی در انواع مختلف آن ملاحظه می‌گردد. وارونگی جبهه‌ای در ارتفاع ۲۰۰ متری سطح زمین ناشی از تلاقی دو توده هوای سرد سیبری و هوای گرم محدوده مطالعاتی است. بطوریکه هوای سرد کم ضخامت متحرک در برخورد به هوای گرم ساکن به زیر آن

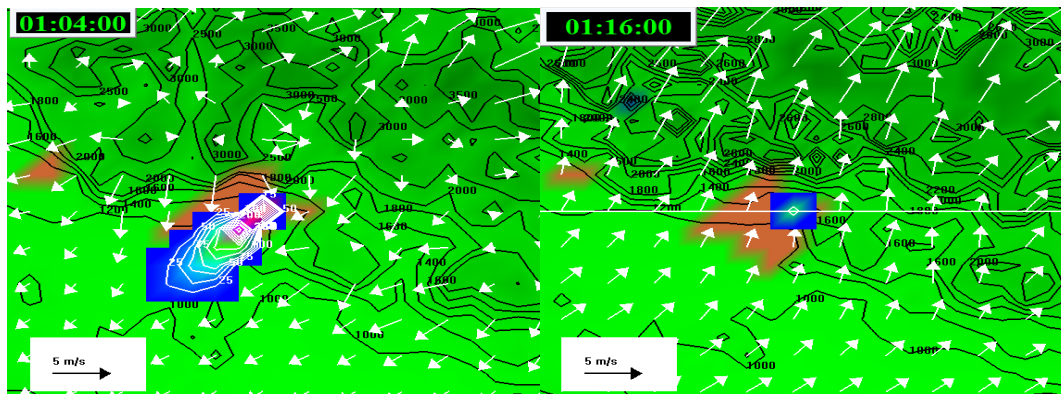




شکل (۵): نمودار ترمودینامیکی موقعیت ایستگاه مهرآباد تهران ۴ (الف)، ۱۶ (ب)

همچنین از دیگر نتایج مدل سازی اقلیمی برای دو ساعت مشخص ۴ به ساعت محلی (صفر به ساعت گرینویچ) و ۱۶ به ساعت محلی (۱۲ به ساعت گرینویچ) در ارتباط با ارتفاع لایه آمیخته است که وابسته به شرایط دمایی سطح به لحاظ زمانی در ساعات میانی روز دارای بالاترین ارتفاع و در ساعات شبانه کمترین ارتفاع (تقریباً چسبیده به سطح زمین) است. از لحاظ مکانی نیز لایه آمیخته در مناطق جنوبی ضخامت بیشتری نسبت به مناطق شمالی دارد. نتیجه آن در تشدید آلودگی هوا در ساعات صبحگاهی و کاهش میزان آن در ساعات میانی روز مشاهده می‌گردد. در ساعات میانی روز شرایط صعود هوا (مؤلفه قائم مثبت) در مناطق شمالی منجر به انتقال ذرات معلق آلاینده به منطقه شده و در مقابل نیمه جنوبی تحت‌تاثیر سرمایش انباشته شدن هوای سرد کوهستانی در آن دارای شرایط پرفشاری است و بنابراین با شکل‌گیری شیو فشاری با مناطق شمالی آلاینده‌ها را با جریان هوا انتقال داده و در نتیجه آن از میزان آلودگی هوا کاهسته شده است (شکل ۶).

با توجه به اینکه در شرایط پایداری هوا، عوامل محلی مؤثر بر جو کنترل‌کننده اصلی بر تلاطم‌ها و جریان‌های سطحی هستند. بر مبنای شرایط جوی حاکم بر محدوده تهران و بر اساس داده‌های اخذ شده آلودگی هوا در ۴ مارس ۲۰۰۳ میزان آلودگی هوای تهران تشدید شده است. پراکنش محلی آلودگی گویای پراکنش مکانی بیشتر آن در مناطق جنوبی تهران است. بر مبنای نتایج مدلسازی اقلیمی علت آن در تفاوت جهت و شدت وزش باد در اوایل صبح و بعد از ظهر است که کاملاً منطبق با وزش باد کوه به دشت (کاتاباتیکی) شبانه و دشت به کوه (آناباتیکی) روزانه است. جهت عمومی وزش باد در ساعات صبحگاهی شمالی - جنوبی بوده و لذا پراکنش آلاینده‌ها به سمت جنوب رخ می‌دهد. در نتیجه آن پراکنش فضایی آلودگی در پهنه دشتی پایین‌دست ناهمواری‌ها در بخش‌های جنوبی تهران بیشتر است (شکل ۶). در ساعات‌های میانی روز وزش بادها ملایم‌تر بوده و جهت جنوب به شمال دارند که بدلیل شدت پایین باد و نیز مانع کوهستانی شمال تهران میزان پراکنش بسیار کمتر از شرایط صبحگاهی است.



شکل (۶): میزان تراکم و پراکنش آلاینده‌های ذرات معلق در محدوده شهر تهران

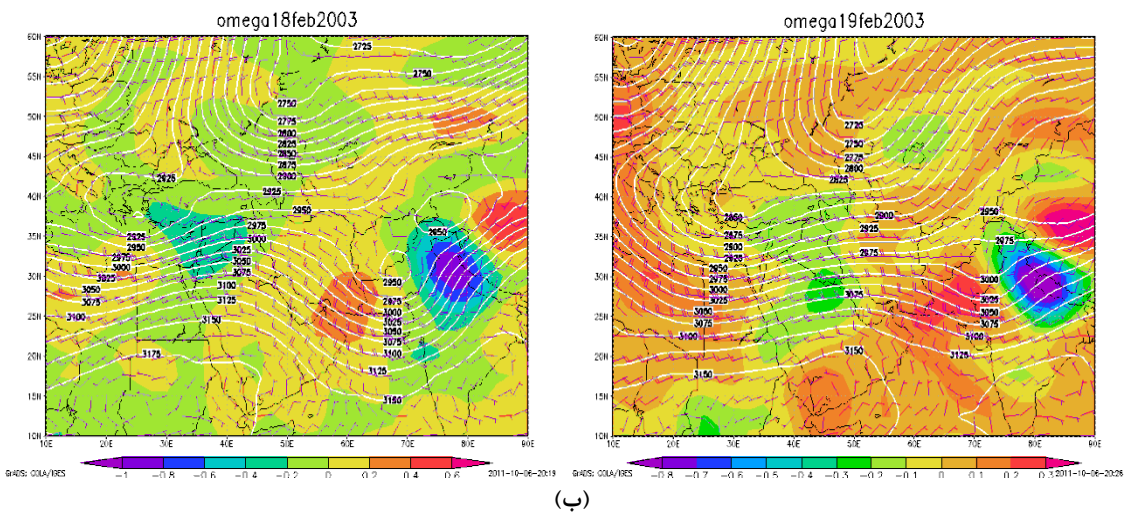
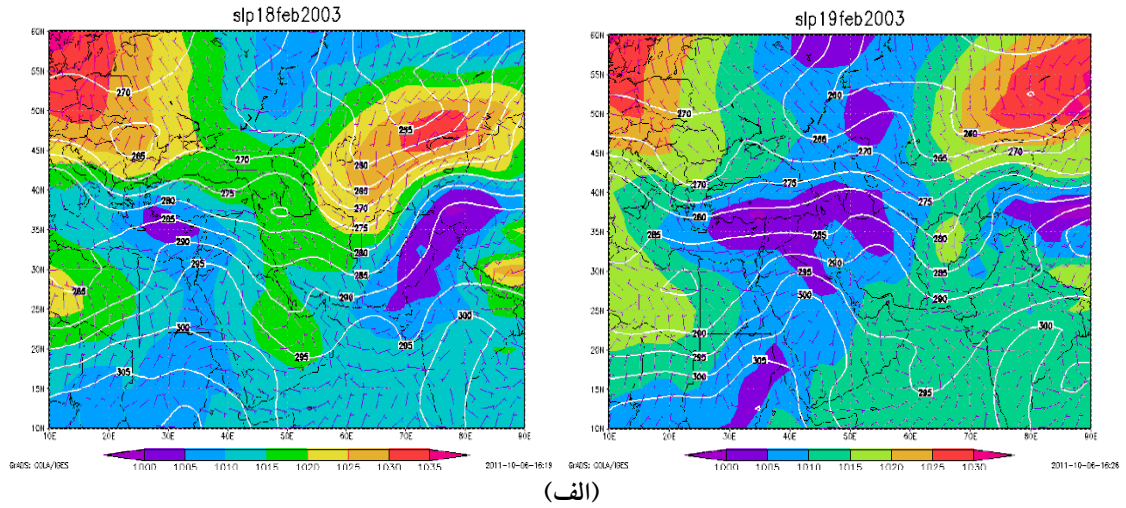
هکتوپاسکال) است. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال همان جریان مداری روز قبل با حالت پشته حفظ شده و سبب گردیده با وجود افزایش سرعت باد همچنان شرایط پایداری ادامه داشته باشد. مجموعه این شرایط در ماندگاری و افزایش تراکم ذرات معلق PM10 در منطقه موثر بوده‌اند (شکل ۷).

مقادیر دما و باد بدست آمده از مدل‌سازی‌های و نمودار ترمودینامیکی Skew-T نشانگر این است که تحت تاثیر شرایط همدید جو در ۱۸ و ۱۹ فوریه پدیده وارونگی دمایی با منشا گرمایی رخ داده است. نیمرخ قائم سرعت باد در شکل گویای عدم افزایش قابل توجه در شدت وزش باد تا ارتفاع هزار متری سطح زمین است (شکل ۸).

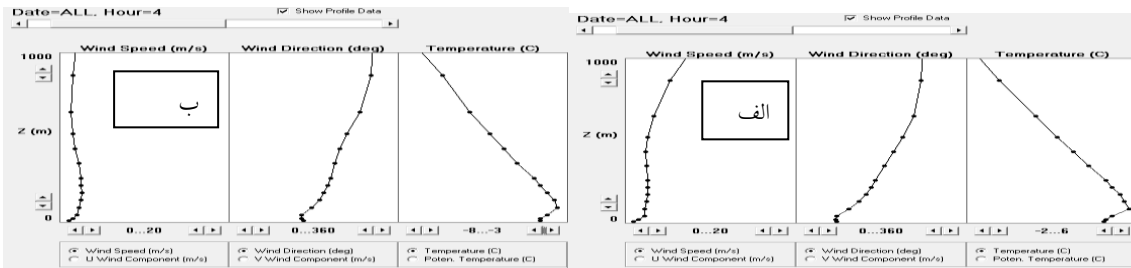
در نمودار ترمودینامیکی Skew-T ۱۸ فوریه پدیده وارونگی با منشأ فرونشینی و تابشی دیده می‌شود که وارونگی تابشی در طول شب در تا ارتفاع ۴۵ متری ملاحظه می‌گردد (شکل ۹). در نمودار ۱۹ فوریه وارونگی دمایی از منشأ فرونشینی در دو سطح مختلف رخ داده که با توجه به افزایش فاصله بین دو منحنی دمای هوا و دمای نقطه شبنم فرونشینی از نوع خشک و سرد بوده است.

### الگوی (ب) نمونه (۲ و ۳) حاکمیت ترکیبی سامانه پرفشار سیبری و واچرخند مهاجر غربی:

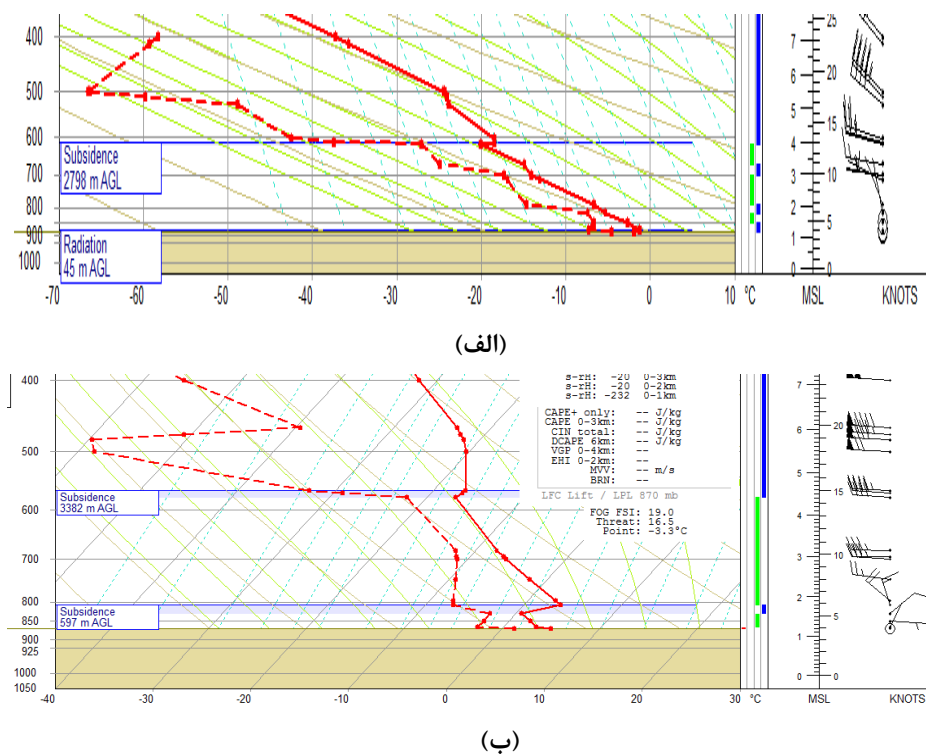
بر اساس نقشه همدید سطح زمین در ۱۸ فوریه ۲۰۰۳ (نمونه ۲) دو سامانه پرفشار سیبری و واچرخند غربی مشاهده می‌شود که از دو سوی شمال شرقی و شمال غربی بر روی منطقه گسترده شده‌اند. هرچند موقعیت و گسترش زبانه پرفشار سیبری با فشار مرکزی (۱۰۳۵ هکتوپاسکال) نمایان‌تر است، لذا بردارهای باد روی نقشه سطحی بادهای ملایم شمالی را نشان می‌دهند. در نقشه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال یک جریان مداری در حاشیه پشته‌ای که از پرفشار نشأت می‌گیرد قابل شناسایی است. در عرض‌های بالاتر یک ناوه و در عرض‌های پایین‌تر از آن پشته وجود دارد که تاثیرگذاری پشته بر روی منطقه بیشتر است. با مراجعه به داده‌های امگای هوای محدوده، مقادیر حرکت قائم هوا مثبت بوده که نشانه فرونشینی و حاکمیت شرایط پایداری است. در ۱۹ فوریه (نمونه ۳) شرایط نسبت به روز قبل (نمونه ۲) تقریباً تغییر نموده و در نقشه جوی سطح شرایط کم‌فشار حاکم شده و سرعت بادهای با جهت جنوب‌غربی افزایش یافته است. بطوریکه فشار سطح زمین در منطقه مورد مطالعه در روز ۱۸ فوریه بین (۱۰۱۵-۱۰۲۰) و در ۱۹ فوریه بین (۱۰۰۵-۱۰۰۰)



شکل (۷) نقشه جوی سطح زمین با پربندهای دما و بردارهای باد (الف)، نقشه میزان امگا، پربندهای ارتفاعی و بردارهای باد در تراز ۷۰۰ hpa (ب)



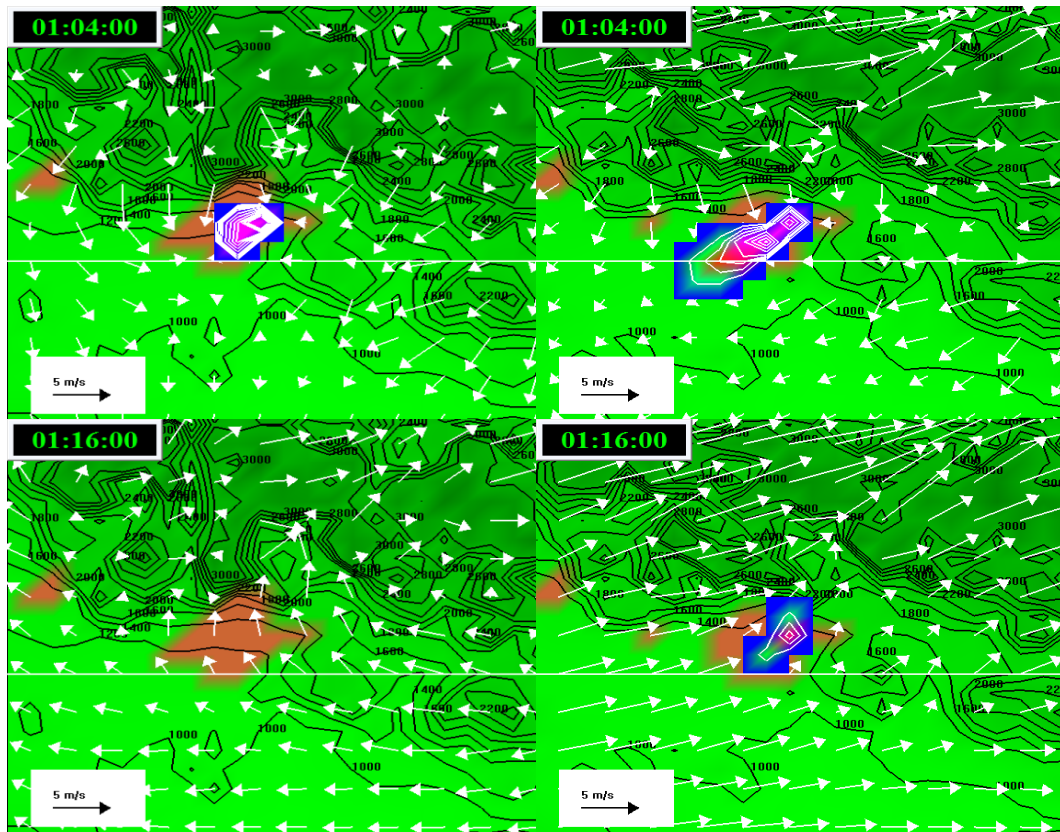
شکل (۸): نیمرخ قائم دما، سرعت و جهت باد بدست آمده از مدل‌سازی اقلیمی ۱۸ فوریه (الف)، ۱۹ فوریه (ب)



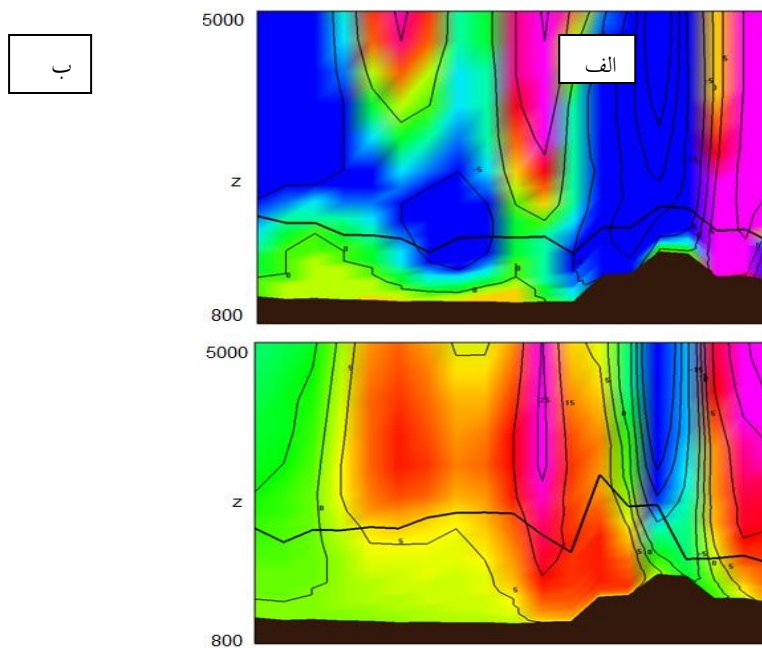
شکل (۹): نمودار ترمودینامیکی موقعیت ایستگاه مهرآباد تهران ۱۸ فوریه ۴ صبح (الف)، ۱۹ فوریه ۴ بعد از ظهر (ب)

سازی مشاهده می‌شود که نیمرخ قائم جو گویای حرکت صعودی و امگای منفی در ۱۸ فوریه در منطقه تهران است اما در ۱۹ فوریه امگا مثبت است که سبب نزول هوا و پایداری می‌شود (شکل ۱۱). در ۱۹ فوریه در ساعات میانی شدت آلودگی در شمال شهر نسبت به جنوب بیشتر است، مشاهده می‌شود که سرعت باد از جنوب به شمال کاهش پیدا کرده و جهت باد هم از جنوب به شمال است. در ساعات میانی روز شرایط صعودی هوا در مناطق شمالی منجر به انتقال و جابجایی ذرات معلق به آنجا شده است (شکل ۱۲).

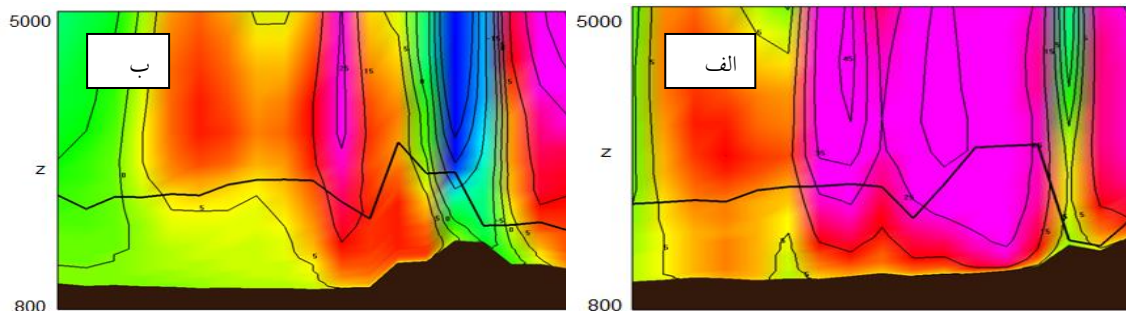
با مشاهده الگو و جهت پراکنش ذرات معلق آلاینده در نقشه سطحی حاصل از مدل سازی با زمینه توپوگرافی اضافه شده مشخص می‌شود که آلودگی روز ۱۹ فوریه بیشتر از ۱۸ فوریه است. در حالی که با مراجعه به مطالب بالا تاثیرگذاری سامانه‌های پرفشار و در نتیجه شرایط پایداری هوا در ۱۸ فوریه از ۱۹ فوریه شدیدتر بود. در اینجا باید به شرایط محلی تاثیرگذار اشاره نمود که در ۱۸ فوریه جهت بادهای متغیرتر بود اما در ۱۹ فوریه از شمال به جنوب با سرعت کمتری جریان دارد. در حالی که در ۱۸ فوریه سرعت بادهای بیشتر بوده و در ساعات میانی روز آلودگی وجود ندارد (شکل ۱۰). در ارتباط با جهت حرکت قائم هوای بدست آمده از مدل



شکل (۱۰): میزان تراکم و پراکنش ذرات معلق آلاینده در محدوده شهر تهران ۱۸ فوریه (راست)، ۱۹ فوریه (چپ)



شکل (۱۱): نیم‌رخ قائم میزان امگا و ضخامت لایه آمیخته بدست آمده از مدل برای ۱۸ فوریه (الف)، ۱۹ فوریه (ب)



شکل (۱۲) نیمرخ قائم میزان امگا و ضخامت لایه آمیخته بدست آمده از مدل برای ۱۹ فوریه موقعیت جنوب تهران (الف) و شمال

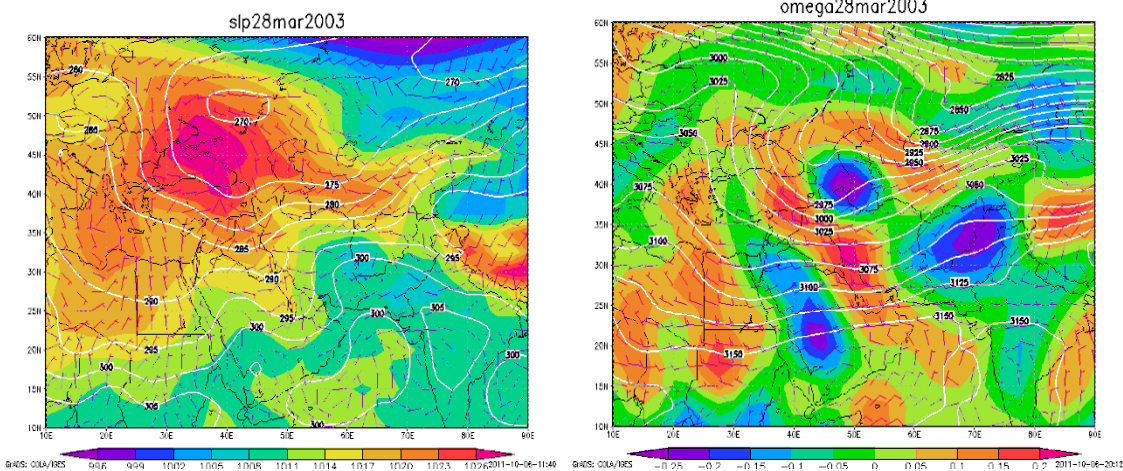
روی تهران باها با جهت غربی و با شدت نسبتا کم در جریان است. میزان عددی حرکت قائم هوا بر روی تهران صفر است که گویای سکون و پایداری هوا است. که در مجموعه شرایط همدید سطح زمین و تراز بالا فرونشینی و پایداری هوا شکل گرفته که سبب عدم صعود و جابه جایی آلاینده می شود (۱۳).

مقادیر دما و باد حاصل از مدل سازی و نمودار ترمودینامیکی Skew-T نشانگر تاثیر شرایط همدید جو در ۲۸ مارس و رخداد پدیده وارونگی دمایی با منشا حرارتی است (شکل ۱۴).

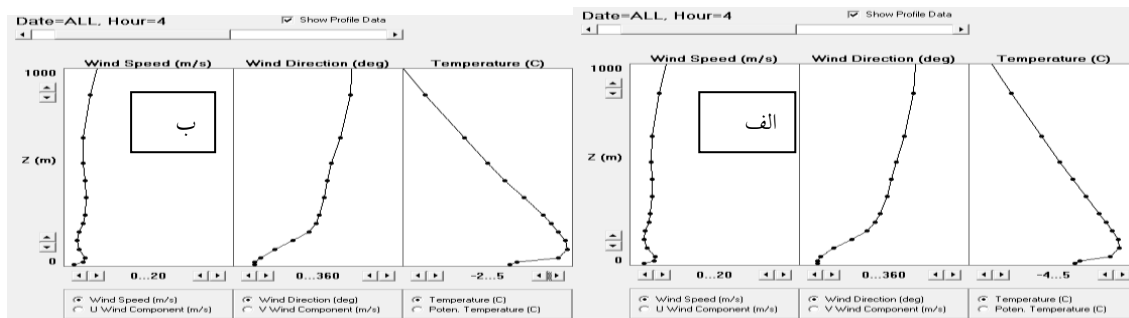
پدیده وارونگی که نوع تابشی نتیجه تابش موج بلند زمینی در طول سرمایش شبانه و دینامیکی (فرونشینی) حاصل نشست و تراکم هواست در ساعات اولیه روز در دو ارتفاع متفاوت شکل گرفته اند (شکل ۱۵).

### الگوی پ) نمونه (۳) اثر واچرخند مهاجر شمال غربی:

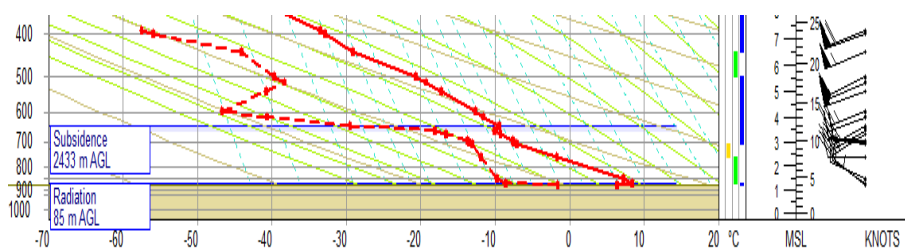
بر اساس نقشه های همدید جوی سطح زمین در الگوی پ) نمونه ۳ که مربوط به ۲۸ مارس ۲۰۰۳ است، محدوده تهران تحت تاثیر سامانه پرفشاری است که روی دریای سیاه تشکیل شده و به صورت واچرخند شمال غربی وارد ایران شده قرار دارد. میزان فشار سطحی در محدود مورد مطالعه ۱۰۱۴ تا ۱۰۱۷ هکتوپاسکال است. نتیجه حاکمیت واچرخند شمال غربی با هسته فشاری حدود (۱۰۲۶) هکتوپاسکال در محدوده مورد مطالعه شکل گیری شرایط هوای آرام و بدون باد و پایداری هوا در سطح زمین است. همچنین در مراجعه به نقشه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال پشته های ضعیفی از یک جریان شمال غربی تا غربی قابل مشاهده است که بر مبنای آن



شکل (۱۳): نقشه جوی سطح زمین با پربندهای دما و بردارهای باد (راست)، نقشه میزان امگا بردارهای باد تراز hpa۷۰۰



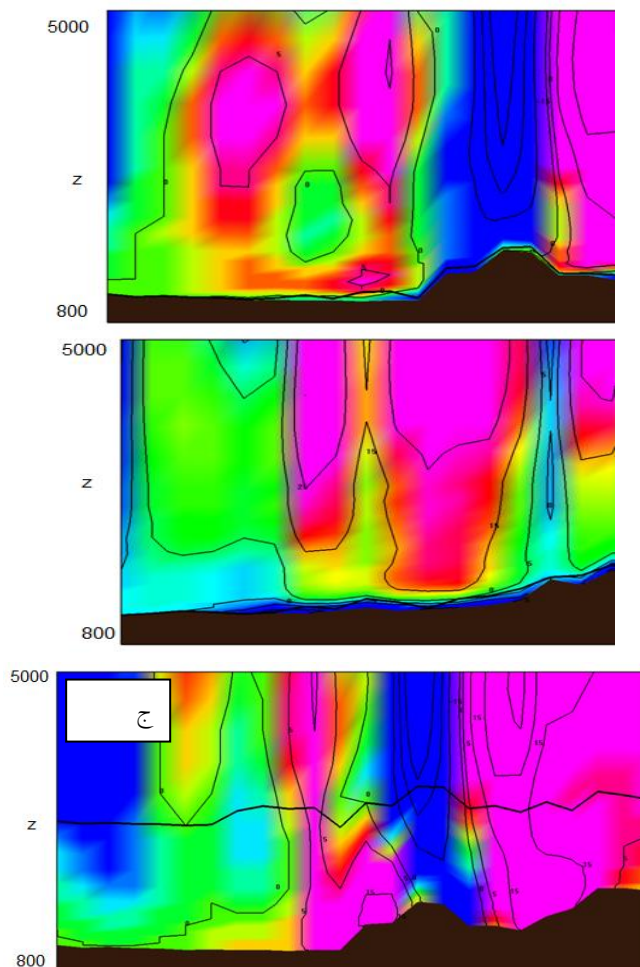
شکل (۱۴): نیم‌رخ قائم دما، سرعت و جهت باد بدست آمده از مدل‌سازی اقلیمی جنوب شهر الف، شمال شهر ب



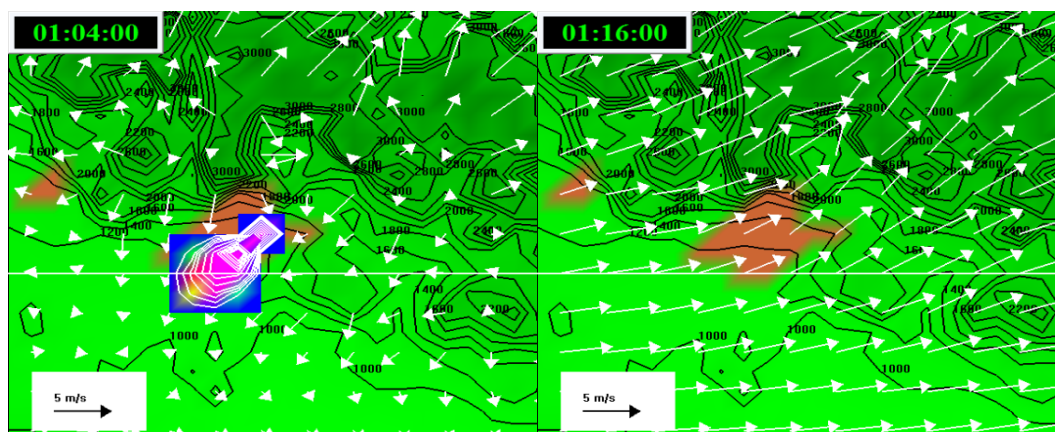
شکل (۱۵): نمودار ترمودینامیکی موقعیت ایستگاه مهرآباد تهران ۲۸ مارس ۳/۵ صبح

شمالی به سوی جنوب شهر انتقال یافته و تراکم آلودگی را در مناطق جنوبی تشدید می‌کند (شکل ۱۶). جهت بادها در ساعات شبانه از شمال به جنوب (کاتاباتیک) است. سرعت آن از شمال به جنوب کاهش پیدا کرده و به حداقل می‌رسد. اما در ساعات میانی روز با افزایش سرعت باد و همچنین نبود وارونگی و افزایش لایه ضخامت نسبت به ساعات اولیه آلودگی مشاهده نمی‌شود (شکل ۱۷).

الگو و جهت پراکنش ذرات معلق آلاینده در نقشه سطحی حاصل از مدل‌سازی نشانگر اثر شرایط همدید حاکم بر شهر در تشدید آلودگی در ۲۸ مارس است. اما وضعیت آلودگی از شمال به جنوب شهر افزایش نشان می‌دهد. از لحاظ مکانی لایه آمیخته در مناطق جنوبی با مؤلفه قائم مثبت نسبت به مناطق شمالی با مؤلفه قائم منفی، شرایط ناپایداری و تلاطم هوا را در سطح شهر فراهم می‌سازد. در نتیجه آن آلودگی هوا از مناطق



شکل (۱۶): نیمرخ قائم مؤلفه قائم باد و ضخامت لایه آمیخته حاصل از مدل در موقعیت بازار(الف)، اقدسیه(ب) و ساعات میانی روز (ج)



شکل (۱۷): نقشه توپوگرافی و میزان تراکم و پراکنش آلاینده‌های ذرات معلق در محدوده شهر تهران

کیفیت آلودگی هوای شهر تهران از طریق تغییر عناصر دما و باد کنترل می‌کند. این دو عنصر اقلیمی بعنوان

نتیجه‌گیری



پرفشار سیبری نسبتاً مشهودتر بوده، ماندگاری آلاینده‌ها تا ساعات میانی روز هم تداوم داشته است. دلیل این تفاوت عملکرد در سامانه‌های دینامیکی و گرمایی می‌تواند ناشی از الگوی حرکتی آنها باشد، بطوریکه پرفشار سیبری از طریق کشیده شدن زبانه آن گسترش می‌یابد در صورتیکه در واچرخند مهاجر شمال‌غربی کل سامانه جابجا می‌شود. در سامانه‌های دینامیکی کل ویژگی توده هوا جا به جا می‌شود. اما در سامانه‌های گرمایی جابجایی کلی سامانه به ندرت رخ داده و گسترش از زبانه آن بصورت بطئی صورت می‌گیرد. نکته قابل توجه این است که سامانه‌های وارد شده بر محدوده مورد مطالعه کل سطح شهر را تحت‌تاثیر قرار دادند. مثلاً سامانه‌های پرفشار وارد شده در همه جای شهر باعث کاهش سرعت باد و جریان هوای آرام و پایدار شده‌اند. ولی اگر به صورت نقطه‌ای و منطقه‌ای به آلودگی شهر توجه شود نمی‌توان از موقعیت مکانی شهر چشم پوشی کرد. به طوری که جریان بادها جدا از تاثیرپذیری از سامانه‌ای که وارد می‌شود به شدت تحت‌تاثیر موقعیت مکانی محدوده مورد مطالعه قرار داشته چنان‌که در نمونه‌ها دیده شده که جریان بادهای کاتاباتیک از کوهستان به دشت و آناباتیک از دشت به کوهستان در تراکم آلاینده موثر بوده است. بعنوان نمونه در ۴ مارس که در صبح جریان بادها از کوه‌های شمالی به سمت جنوب شهر بوده تراکم آلاینده هم بالا بوده است و در ساعات میانی روز از جنوب شهر به سمت شمال شهر بوده است و در برخورد به مانع کوهستانی در همان جا متراکم شده است. در واقع در این پژوهش با کنار هم قرار دادن دو روش مطالعاتی همدید و مدل‌سازی مشخص شد که آنچه بصورت توصیفی از سامانه‌ها تحلیل می‌شود نتایج آن به صورت عددی قابل توجیه است و برای تحلیل آلودگی کل سطح شهر از دیدگاه اقلیمی روش همدید روش مناسبی است. برای تحلیل نقطه‌ای آلودگی منطقه یا سطح شهر روش مدل-

مؤثرترین عوامل جوی هستند که در پراکنش زمانی و مکانی آلودگی تهران موثر هستند، بطوریکه تغییرات افقی و قائم دما پدیده‌های مختلفی مانند جریان‌های افقی و فرازشی یا فرونشینی هوا را ایجاد نماید. همچنین وزش باد شامل مؤلفه‌های مختلفی مانند سرعت و جهت است که هر کدام به نوعی بر تشدید یا کاهش آلودگی مؤثر هستند. حرکت قائم هوا با جهت بالاسو و پایین‌سو اثرات کاهشی و افزایشی مشخصی دارد. سکون هوا ناشی از حاکمیت شرایط پایدار و پرفشار در مناطق خشک به موازات فقدان رطوبت کافی در هوا با رخداد وارونگی‌های دمایی متعدد مشخص می‌شود. لذا پدیده‌های مذکور از ویژگی‌ها و پدیده‌های غالب هوای تهران است و در آلودگی هوا بسیار با اهمیت هستند. همچنین ضخامت لایه آمیخته تحت‌تاثیر نوسان‌ها و تغییرات دما در طول شبانه روز و نیز در مقیاس ماهانه و فصلی تغییر می‌کند. قرارگیری آن در فاصله نزدیکی از سطح زمین فعالیت تلاطمی هوا را محدود ساخته و لذا میزان آمیزش و اختلاط در جو کاهش یافته و در نتیجه باعث تراکم و افزایش آلودگی هوا می‌گردد. به طوری‌که در نمونه‌های انجام شده در مطالعه مشاهده شد که با ورود سامانه‌های همدید به ویژه واچرخندهای شمال‌غربی و زبانه‌های پرفشار سیبری کاهش دما و تغییر در جهت و سرعت باد در سطح شهر مشهود بوده و جوی آرام و پایدار همراه با هوای سرد حاکم می‌گردد. از بین ۴ تیپ شناسایی شده از سامانه‌های جوی مؤثر در تشدید آلودگی هوا در مطالعه دو تیپ واچرخندهای شمال‌غربی و پرفشار سیبری بیشترین فراوانی و تاثیرگذاری را در پراکنش مکانی و زمانی آلاینده داشتند. از بین آنها تاثیرگذاری واچرخندهای شمال‌غربی در پراکنش مکانی تاثیرگذارتر بوده است در مقابل پرفشار سیبری از نظر تداوم زمانی تاثیرگذارتر بودند، به طوری‌که مشاهده شد همزمان با ورود پرفشارها در تاریخ‌های ۴ مارس، ۱۹ فوریه که تاثیرگذاری

9. Ejtehad, M. 2007, Study urban air pollution caused by particulate matter with an emphasis on transportation systems and management strategies (case study of Tehran), 10th National Conference on Environment health, Hamadan 30 Oct to 1 Nov 2007.
10. Finardi, S., U. Pellegrini, 2002, Systematic Analysis of Meteorological Conditions Causing Severe Urban Air Episodes in the Central Po Valley, 9th Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, pp. 250-254.
11. Ghasami, T., A.A. Bidokhti, A. Sedaghat-Kerdar, F. Sahraeyan, 2010, Vertical variation of potential temperature at a critical period in Tehran air pollution, Environmental science and technology, No. 3(۴۵), pp. 13-23.
12. 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.
13. Lashkari, H., P. Hedayat, 2005, Analysis of synoptic patterns of severe inversions in Tehran, Physical Geography Research Quartely, No. 56, pp. 65-82.
14. Mckinley, G., M. Mriia, H. Morten, R. Montser, G. Isabel, O. Rodolf, L. Israel, M. Miguela, S. Patricio, R. Luzm, V. Raydel, M. Anjulia, 2005, Quantification of Local and Global Benefits from Air Pollution Control in Mexico City, Environmental Sciences Technology, No. 39, pp. 1954-1961.
15. Naddafi, K., R. Nabizadeh, M. Younesian, A.R. Mesdaghinia, Sh. Nazmara, 2009, Concentrations of particulate matters and Air Quality Index (AQI) in Tehran, journal of Faculty of Hygiene and Public Health, No. 1(7), pp. 57-67.
16. Shamsipour, A.A., J. Amini, 2010, Natural and human factors effecting on air pollution of Kermanshah in the summer 2008-2009, 1st Conference on Natural resources, Sanandaj.
- سازی با اهمیت است چون می‌توان وضعیت عناصر تاثیرگذار بر آلودگی مثلاً باد به عنوان یک عامل اقلیمی بسیار مهم و تاثیرگذار بر آلاینده شهری را به صورت جزئی‌تر مورد بررسی و تحلیل قرار داد.
- منابع
1. 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.
  2. Ashok, K., P. Luhar, J. Hurley, 2003, Evaluation of TAPM, a prognostic meteorological and air pollution model, using urban and rural point-source data. Atmospheric Environment, No. 37, pp. 2725-2878.
  3. Azizi, Gh., H.A. Ghanbari, 2009, Numerical simulation of air pollution in Tehran, based on wind, Physical Geography Research Quartely, No. 68, pp. 15-32.
  4. Berlyand, M.E. 1991, Prediction and Regulation of Air pollution, Kluwer Academic publishers.
  5. Bidokhti, A.A., Z. Sharipour, 2009, Upper atmosphere meteorological conditions and extreme air pollution (case study; Tehran), Environmental Studies, No. 52, pp. 1-14.
  6. Cao, JJ., ZX. Shen, J.C. Chow, GW. Qi, JG. Watson, 2009, Seasonal Variations and Sources of mass and composition for PM10 aerosol in Hangzhou china, Particuology, No. 7, pp. 161-168.
  7. Ccoyllo, S.O.R., M.F. Andrade, 2002, The influence of meteorological conditions on the behavior of pollutants concentrations in Sao-Paulo, Brazil, Environmental Pollution, No. 116 (2), pp. 257-263.
  8. 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.

Meso scale control on particulate matter pollution for mega city in a semi-arid mountainous environment, environment and pollution, No. 41(1-2), pp. 166-183.

17. Sharipour, Z. 2009, Seasonal and daily variation of air pollutants and its association with meteorological parameters, Journal of the Earth and Space Physics, No. 2, pp. 137-119.
18. Zawar-reza, P., T. Appelhans, M. Gharaylou, A.A. Shamsipour, 2010,