

## بررسی رابطه میزان غلظت روزانه و ماهانه آلاینده هوای شهری با عمق اختلاط در

### ایستگاه پونک با استفاده از مدل AERMOD

سید رضا میرعلیزاده فرد<sup>۱</sup>، شهرزاد خرم نژادیان<sup>۲\*</sup>، یوسف رشیدی<sup>۳</sup>

۱- گروه محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند، دماوند، ایران

۲- نویسنده مسئول، دکتری علوم محیط زیست، گروه محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند، دماوند، ایران

۳- دکتری علوم محیطی، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

\* ایمیل نویسنده مسئول : Khoramnejad@damavandiau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۷/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۸/۲۷

#### چکیده

به منظور مدل سازی پخش آلاینده ها، آگاهی از میزان عمق اختلاط ضروری است که در اکثر مدل سازی ها تنها با توجه به اقلیم منطقه، مقادیری برای عمق اختلاط فرض می شود. هدف از این تحقیق نشان دادن رابطه بین مقادیر عمق اختلاط در جو و میزان آلاینده های اندازه گیری شده توسط ایستگاه های پایش منطقه پونک تهران می باشد و نتایج در خصوص میزان تأثیر و وضعیت پیش بینی ارائه گردد. بررسی میزان انتشار آلاینده های  $PM_{2.5}$ ،  $CO$ ،  $NO_2$ ،  $PM_{10}$ ،  $SO_2$ ،  $O_3$ ، شده است. در این بخش مقایسه میانگین روزانه و ماهانه غلظت آلاینده های هوا بر اساس اطلاعات دریافتی از ایستگاه سنجش شرکت کنترل کیفیت با مقادیر ارتفاع لایه مرزی همرفتی و ارتفاع لایه مرزی مکانیکی (عمق) اختلاط انجام می شود. در نتایج مورد بررسی این تحقیق دریافتیم که ارتفاع اختلاط شهری متناسب با تغییرات دمای هوای محیط رشد می کند. از طرفی شرایط سینوپتیک مانع از جابجایی و همرفت جرم هوای لایه مرزی می شود. همچنین عوامل مؤثر بر آلودگی هوا تابع خصوصیات هواشناسی، توپوگرافی زمین و شدت تولید آلاینده ها است که به افزایش یا کاهش غلظت آن ها در مقیاس محلی و منطقه ای منجر می شود. در خصوص شرایط هواشناسی سرعت باد، پایداری جوی و عمق لایه اختلاط از مهمترین عوامل پراکندگی هستند. به طور کلی هرچه عمق اختلاط بیشتر باشد، وضعیت هوا بهتر خواهد بود. وارونگی دما نشان دهنده حالتی در اتمسفر است که بسیار پایدار بوده و دارای عمق اختلاط کم و گرادبان دما مثبت است.

#### کلمات کلیدی

" عمق اختلاط "، " شرایط اقلیمی "، " آلاینده های هوا "، " ارتفاع اختلاط "، " کیفیت هوای شهری "

## Investigating the relationship between daily and monthly concentrations of urban air pollutants with the mixing depth in Poonak station by Using AERMOD model

Seyed Reza Miralizadeh Fard<sup>1</sup>, Shahrzad khoramnejadian<sup>2,\*</sup>, Yousef Rashidi<sup>3</sup>

2.\* Ph.D. in Environmental Science, Department of Environment, Damavand Branch, Islamic Azad University, Damavand, Iran

\*Email Address: Khoramnejad@damavandiau.ac.ir

#### Abstract

In order to model the emission of pollutants, it is necessary to know the amount of mixing depth, which in most modeling, only for the climate of the region, values for the mixing depth is assumed. The aim of this study show the relationship between the depth of mixing in the atmosphere, and the pollutants measured by monitoring stations in Tehran Poonak area and the results of the impact and status of the forecast is provided. Methods Review Emission rate of pollutants CO, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, and PM<sub>2.5</sub> The urban air quality station of Poonak region is provided based on hourly, daily and seasonal information. In this section, the comparison of the average daily and monthly concentrations of air pollutants is done based on the information received from the measuring station of the quality control company with the values of convective boundary layer height and mechanical boundary layer height (depth) of mixing. In the results of this study, we found that the height of urban mixing increases in proportion to changes in ambient temperature. On the other hand, synoptic conditions prevent the displacement and convection of the air mass of the boundary layer. As well as factors affecting the pollution of air, the characteristics of meteorological, topographic terrain and intensity Production of pollutants is not to increase or decrease the concentration of the scale of local and area of lead becomes. In the conditions of Meteorology speed of the wind, the stability of the atmosphere and the deep layer mixing of the most important factors dispersion are. The same total as much as the depth of mixing of the situation in the air the better it will be. Inversion temperature shows a state in the atmosphere is a very stable and has a depth of mixing low and the gradient of temperature yes it is.

#### Keywords

“depth of disturbance”, “climatic conditions”, “climatic conditions”, “ mixing height”, “ urban air quality”

## ۱- مقدمه

یکی از مهم‌ترین چالش‌های فرآروی دولت‌ها در قرن بیست و یکم، بحران‌های محیط زیستی است. به همین دلیل دولت‌ها می‌کوشند تا با اتخاذ سیاست‌ها و برنامه‌های مختلف، بر مشکلات محیط زیستی از جمله آلودگی فائق آیند (مقیمی و همکاران، ۱۳۹۰). یکی از مهم‌ترین آلودگی‌های محیط زیست، آلودگی مربوط به هوا است (Abbaszadeh, 2012). آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین مسائلی است که نه تنها سلامت انسان را تهدید می‌کند بلکه بر کلیه عوامل محیط زیست تاثیر بسیار نامناسب برجای می‌گذارد (Krzyzanowski, 2008). این پدیده یکی از ره‌آوردهای توسعه صنعتی است که با افزایش جمعیت و گسترش شهرنشینی، توسعه حمل و نقل و صنایع و افزایش مصرف سوخت، روز به روز بر شدت آن افزوده شده (مهتابی و طاهریان، ۱۳۹۶) و امروزه بعنوان یکی از بزرگ‌ترین معضلات حاکم در جوامع شهری محسوب می‌شود. ریشه‌های اصلی ایجاد این معضل را می‌توان در صنعتی شدن جوامع جست‌وجو نمود (JICA, 1997). در واقع آلودگی هوای کلان‌شهرها در نتیجه صنعتی شدن جوامع بدون در نظر گرفتن مخاطرات ناشی از آن، منجر به ظهور مشکلات زیادی در حوزه سلامت و محیط زیست شده است و از این رو توجه ویژه پژوهشگران را در دنیا به خود جلب کرده است (کاوسی، ۱۳۹۲). خبری، در مطالعه‌ای تأثیر مدل رقمی ارتفاعی در مدل‌سازی آلودگی هوا با استفاده از (AERMOD) دریافتند که ماکزیمم غلظت در حالت عدم اجرای ائرمپ،  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ، در خلاف جهت باد غالب، سمت غرب دودکش است و در حالت اجرای AERMAP، ماکزیمم غلظت برابر با  $17.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  در جهت باد غالب و سمت شرق و جنوب شرق دودکش می‌باشد. همچنین با کاربرد مدل رقمی ارتفاعی با دقت‌های متفاوت، اختلاف چندانی در میانگین غلظت‌های پیش‌بینی شده توسط مدل مشاهده نشد (خبری، ۱۳۹۲).

نتیجه این مطالعه نشان می‌دهد که بدون اجرای AERMAP پیش‌بینی از دقت کافی برخوردار نخواهد بود. همچنین با DEM 90 متر نیز می‌توان AERMAP را اجرا و مدل‌سازی را انجام داد (خبری، ۱۳۹۲). شرعی پور و همکاران نیز، مطالعه‌ای بر ارتباط عمق لایه مرزی جو شهر تهران با غلظت آلاینده‌های جوی، دریافتند که همبستگی بین ارتفاع لایه آمیخته و آلودگی ذرات معلق قوی تر از آلودگی‌های گازی است. در فصل تابستان هر دو عامل ارتفاع لایه آمیخته و سرعت باد سطحی عوامل مؤثر بر غلظت آلودگی هوا هستند ولی در عین حال، عامل ارتفاع لایه آمیخته مهمتر از سرعت باد سطحی عمل می‌کند. همبستگی منفی بین ارتفاع تغییر روند دمای پتانسیل شبانه سطح زمین و شاخص آلودگی هوا مشاهده می‌شود و هر چه سقف لایه پایدار شبانه در ارتفاع نزدیکتری به سطح زمین تشکیل شود، غلظت آلودگی گازی افزایش می‌یابد (شرعی پور، ۱۳۹۵). هری پراساد<sup>۱</sup>، مدل‌سازی عددی و مقایسه لایه مرزی با PBL مختلف با استفاده از WRF به صورت موردی در سایت گرمسیری، نشان دادند که تفاوت در ساختار PBL شبیه سازی شده می‌تواند تا حدودی فرمولاسیون‌های مختلف لایه سطحی که در سرعت اصطکاک و شار گرما تغییر ایجاد می‌کند ناشی شود (Hariprasad, 2014). در پژوهشی که توسط خان<sup>۲</sup> انجام شد، مشخص گردید که

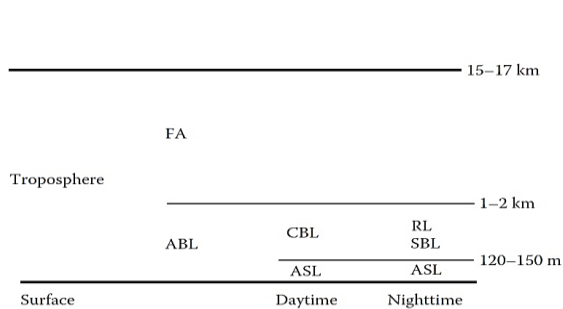
ارتفاع اختلاط مدل شده برای اندازه گیری‌های سطحی و جو بالا سبب درک متغیرهای مکانی و زمانی ارتفاع اختلاط در محیط شهری و اعداد ارتفاع اختلاط را برای شب هنگام و صبح زود بین ۱۵۰ و ۵۰۰ متر در تمام فصول بدست آورد. هنگامی ۱ متر بر ثانیه باشد ارتفاع اختلاط در ۱۵ درصد موارد از ۲۰ متر کمتر است. به طور کلی که سرعت باد کمتر ۵، مدل پیشنهادی ارتفاع اختلاط ارتباط نسبتاً خوبی بین ارتفاع مدل شده و مشاهده شده بدست آورد (Khan, 1980). عتابی و همکاران در سال ۱۳۹۶ در پیش بینی غلظت‌های محیطی ترکیبات آلی فرار (VOCs) در یک پالایشگاه گازی در عسلویه با مدل AERMOD نشان دادند که روند تغییرات غلظت های اندازه گیری شده میدانی با روند تغییرات نتایج حاصل از اجرای مدل همخوانی داشته است (عتابی، ۱۳۹۶). رنجبر سعادت آبادی و همکاران در مطالعه همدیدی الگوهای جوی حاکم بر روی تهران در روزهای با آلودگی بسیار شدید هوا دریافتند که الگوهای فشاری برای روزهای با آلودگی بسیار شدید در تهران هر چند در فصول مختلف روی داده است، اما شباهت‌هایی از نظر نوع سامانه و محل استقرار آن‌ها دیده می‌شود (رنجبر سعادت آبادی، ۱۳۹۰). شمسی پور در سال ۱۳۹۱ در مدل‌سازی ترمودینامیکی و واکاوی همدیدی آلودگی هوای شهر تهران (ذرات معلق  $\text{PM}_{10}$ ) نشان داد که سرعت و جهت باد در موقعیت مکانی تهران، مهمترین عامل اقلیمی تأثیر گذار 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 (شمسی پور، ۱۳۹۲). جوانبخت امیری در بررسی ارتباط بین آلاینده‌های شاخص کیفیت هوا و پارامترهای هواشناسی در تهران با رویکرد آنالیز رگرسیون دریافتند نتایج حاصل از برآورد ۶۰ معادله به دست آمد که تنها در ۴۰ معادله ارتباط بین آلاینده‌ها و پارامترهای هواشناسی دیده شد که در آن‌ها تفاوت‌هایی در تعداد نمونه، نوع ارتباط و درجه همبستگی وجود دارد. با توجه به معنی دار بودن ارتباط بین پارامترهای هواشناسی و آلاینده‌ها مشخص گردید که پارامترهای هواشناسی می‌توانند در میزان آلودگی هوای شهر تهران مؤثر واقع شود (جوانبخت امیری، ۱۳۹۲). در این تحقیق به دنبال بررسی رابطه بین عمق اختلاط و آلاینده‌های هوا در ایستگاه سنجش کیفیت هوا بوده و روند تغییرات را با میانگین غلظت روزانه و ماهانه با استفاده از مدل AERMOD مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار داده است.

## ۲- روش انجام تحقیق

حرکت عمودی هوا به شدت متأثر از گرادیان دما در لایه‌های پایینی اتمسفر می‌باشد. در صورتیکه گرادیان دما بصورت آدیاباتیک باشد، تکه‌ای از هوا که در حال حرکت عمودی است، در حال تعادل با محیط اطراف خود می‌باشد. چنین حالتی که حرکت عمودی توسط نیروهای شناوری متأثر نمی‌باشد، وضعیت خنثی نام دارد. لیکن به‌علت وجود گرمایش سطحی و باد محلی در منطقه، اتمسفر بندرت گرادیان درجه حرارت آدیاباتیک دارد، نتیجتاً به ندرت در حالت خنثی از نظر پایداری به مفهوم نداشتن تأثیر نیروی بویانسی در حرکت عمودی در اتمسفر، می‌باشد. اتمسفر عموماً در یکی از دو حالت زیر قرار می‌گیرد:

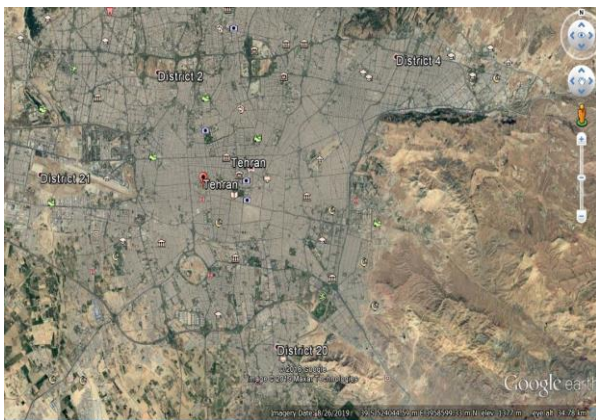
- ✓ ناپایدار: نیروی شناوری تقویت کننده حرکت عمودی در اتمسفر می‌باشد.
- ✓ پایدار: نیروی شناوری تضعیف کننده حرکت عمودی در اتمسفر می‌باشد.

اواخر بعدازظهر، از ۰/۸ کیلومتر تا ۳-۲ کیلومتر است. لایه مرزی پایدار SBL بیشتر در طول شب (ولی نه حتماً) که دمای سطح زمین نسبت به هوای اطراف آن بالاتر است. ارتفاع این لایه نسبت به CBL کم ارتفاع تر و از ۰/۸ تا ۰/۳ کیلومتر است (Moreira & Vilhena, 2009). شکل ۱ طرح کلی از لایه های مرزی جو را نشان می دهد.

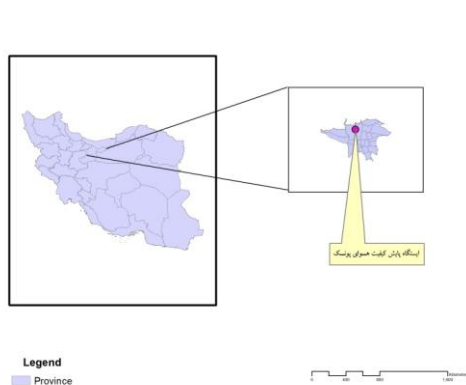


شکل ۲- طرح کلی از لایه های مرزی جو

به منظور انجام یک پروژه مدلسازی بهبود یافته پراکنش هوا با استفاده از مدل پراکنش کیفیت هوای کوتاه مدت AERMOD-EPA، پردازش داده های هواشناسی منطقه مورد مطالعه انجام شد. برنامه AERMET داده های هواشناسی که شامل داده های ساعتی سطحی، داده های جو بالا را برای استفاده در مدل AERMOD آماده می کند. قبل از پرداختن به نتایج خروجی مدل هواشناسی و بررسی وضعیت آلودگی و عمق اختلاط به معرفی منطقه مورد مطالعه می پردازیم:

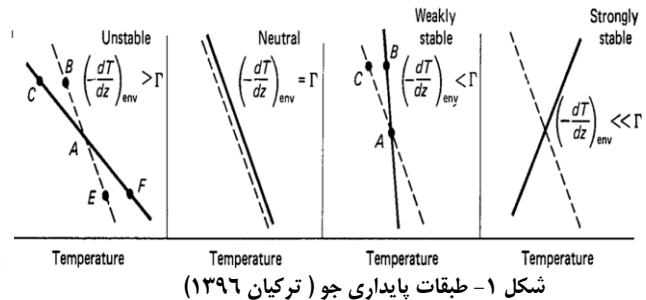


شکل ۳- نقشه هوایی منطقه پونک در شهر تهران



شکل ۴- موقعیت ایستگاه سنجش کیفیت هوای پونک در ایران و تهران

در صورتیکه تکه ای از هوا بصورت آدیاباتیک در اتمسفری بالا رود که گرادیان دمای آن بیشتر از گرادیان دمای آدیاباتیک باشد، در نتیجه تکه هوای مذکور سرد شده و در هر ارتفاع در تعادل دمایی با محیط قرار می گیرد که از آن سردتر می باشد.



شکل ۱- طبقات پایداری جو (ترکیان ۱۳۹۶)

تقسیم بندی لایه مرزی اتمسفر شامل یک لایه گازی است که زمین را احاطه می کند. این لایه از سطح زمین تا ارتفاع ۵۰۰-۶۰۰ کیلومتری ادامه دارد. مهم ترین لایه اتمسفر که تقریباً تمامی فرآیندهای جوی (چرخه آب و فرآیندهایی شبیه آن مانند تبخیر، تشکیل ابر، باران و غیره) در این بخش رخ می دهد که ۷۵ درصد جرم اتمسفر است، تروپوسفر نامیده می شود (ترکیان، ۱۳۹۶). تروپوسفر را می توان به دو لایه تقسیم کرد:

- لایه مرزی اتمسفر (ABL) که گاهی اوقات نیز به عنوان لایه مرزی سیاره (PBL) شناخته می شود.
  - اتمسفر آزاد (FA) که در بالای لایه مرزی سیاره قرار می گیرد و قسمت فوقانی تروپوسفر را شامل می شود.
- لایه مرزی اتمسفر برای درک آلودگی هوا، لایه های بسیار مهم است زیرا در ارتباط مستقیم با انتشار آلاینده های انسانی به جو دارد و آلاینده های صنایع و منابع مختلف به این بخش وارد می شوند. یکی از تفاوت های مهم لایه مرزی اتمسفر و اتمسفر آزاد وجود جریان های آشفته در لایه مرزی اتمسفر است در صورتی که لایه اتمسفر آزاد بیشتر اوقات شرایط آرام و ثابتی را دارا است. ABL نقش مهمی را در هواشناسی ایفا می کند که نحوه پراکندگی آلودگی هوا یکی از این موارد است. این لایه از سطح زمین تا ارتفاع ۱-۲ کیلومتری از جو را شامی می شود.

لایه مرزی اتمسفر به دو زیر لایه تقسیم می شود:

- لایه اتمسفر سطحی (ASL)
  - لایه بیرونی
- ASL بخش سطحی PBL است و اغلب آشفته گی این لایه در حالت ثابت و پایدار قرار دارد. لایه بیرونی نیز با توجه به وضعیت پایداری و ثبات جوی به (CBL<sup>۶</sup>) (SBL<sup>۵</sup>) (لایه مرزی همرفتی) (لایه مرزی پایدار) تقسیم می شود. CBL توسط دمای زیاد سطح تولید می شود که باعث بی ثباتی در شکل توده و دما می شود و بیشتر در طی روز رخ می دهد. در لایه مرزی همرفتی (CBL) آلاینده ها توسط جریان همرفت به صورت عمودی مخلوط می شوند. بیشترین ارتفاع این لایه در

- 1 Atmospheric Boundary Layer
- 2 Planetary Boundary Layer
- 3 Free Layer
- 4 Atmospheric Surface Layer
- 5 Stable Boundary Layer
- 6 Convective Boundary Layer

برنامه‌های هواشناسی در سه مرحله پردازش می‌شوند و حاصل این پردازش دو فایل است که توسط AERMOD استفاده می‌شود: فایل سطحی (SFC\*): شامل تخمین (برآورد) پارامترهای ساعتی مربوط به لایه مرزی است. فایل پروفایل (PFL\*): شامل مشاهدات چند سطحی در رابطه با سرعت و جهت باد، دما و انحراف استاندارد نوسانات اجزای باد است. داده‌های ساعتی شامل:

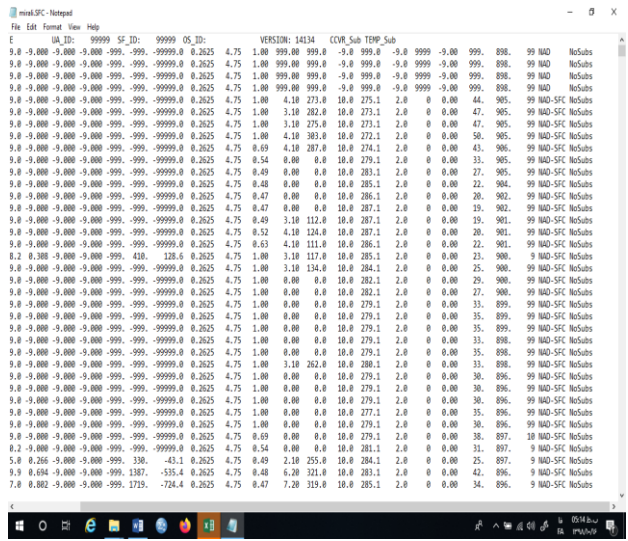
- Hourly surface data
- ASOSI-Minute
- QA Surface variable
- Surface variables ranges

گزینه‌های پردازش ۲:  
این بخش شامل اطلاعات زیر می‌باشد:

- Processing options
- Sectors (surface)
- Output

ویژگی‌های سطح در منطقه اندازه گیری، برآوردهای پارامتر/ لایه مرزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این اثرات از طریق آلبدو، نسبت بوون و طول ناهمواری سطح کمی می‌شود.

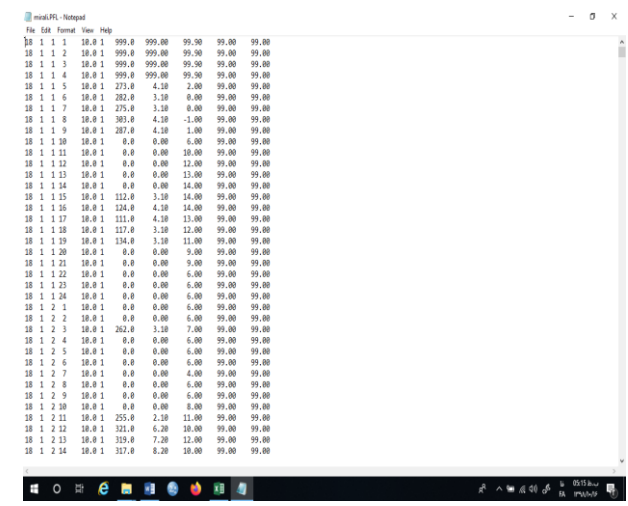
| Year | Month | Day | Julian Day | Hour | Sensible Heat Flux | Convective Heat Flux | Vertical Height of Convective | Monin-Obukhov | Surface Bowen Ratio | Wind Speed | Wind Direction | Reference Temperature | Reference Precipitation | Reference Relative Humidity | Surface Pressure | Cloud Cov |     |     |    |
|------|-------|-----|------------|------|--------------------|----------------------|-------------------------------|---------------|---------------------|------------|----------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------------|------------------|-----------|-----|-----|----|
|      |       |     |            |      | W/m <sup>2</sup>   | W/m <sup>2</sup>     | m                             | m             |                     | m/s        | degrees        | K                     | mm/hr                   | %                           | mb               | barbs     |     |     |    |
| 2018 | 1     | 1   | 1          | 1    | -999               | -9                   | -9                            | -999          | -999                | 0.2625     | 475            | 1                     | 999                     | 999                         | -9               | 999       | 898 | 99  |    |
| 2018 | 1     | 1   | 1          | 2    | -999               | -9                   | -9                            | -999          | -999                | 0.2625     | 475            | 1                     | 999                     | 999                         | -9               | 999       | 898 | 99  |    |
| 2018 | 1     | 1   | 1          | 3    | -999               | -9                   | -9                            | -999          | -999                | 0.2625     | 475            | 1                     | 999                     | 999                         | -9               | 999       | 898 | 99  |    |
| 2018 | 1     | 1   | 1          | 4    | -999               | -9                   | -9                            | -999          | -999                | 0.2625     | 475            | 1                     | 999                     | 999                         | -9               | 999       | 898 | 99  |    |
| 2018 | 1     | 1   | 1          | 5    | -999               | -9                   | -9                            | -999          | -999                | 0.2625     | 475            | 1                     | 41                      | 275                         | 10               | 0         | 44  | 905 | 99 |
| 2018 | 1     | 1   | 1          | 6    | -999               | -9                   | -9                            | -999          | -999                | 0.2625     | 475            | 1                     | 31                      | 202                         | 10               | 0         | 47  | 905 | 99 |
| 2018 | 1     | 1   | 1          | 7    | -999               | -9                   | -9                            | -999          | -999                | 0.2625     | 475            | 1                     | 31                      | 275                         | 10               | 0         | 47  | 905 | 99 |
| 2018 | 1     | 1   | 1          | 8    | -999               | -9                   | -9                            | -999          | -999                | 0.2625     | 475            | 1                     | 41                      | 302                         | 10               | 0         | 50  | 905 | 99 |
| 2018 | 1     | 1   | 1          | 9    | -999               | -9                   | -9                            | -999          | -999                | 0.2625     | 475            | 0.029                 | 41                      | 20                          | 10               | 0         | 45  | 906 | 99 |
| 2018 | 1     | 1   | 1          | 10   | -999               | -9                   | -9                            | -999          | -999                | 0.2625     | 475            | 0.054                 | 0                       | 0                           | 10               | 0         | 27  | 905 | 99 |
| 2018 | 1     | 1   | 1          | 11   | -999               | -9                   | -9                            | -999          | -999                | 0.2625     | 475            | 0.049                 | 0                       | 0                           | 10               | 0         | 27  | 905 | 99 |
| 2018 | 1     | 1   | 1          | 12   | -999               | -9                   | -9                            | -999          | -999                | 0.2625     | 475            | 0.040                 | 0                       | 0                           | 10               | 0         | 22  | 904 | 99 |
| 2018 | 1     | 1   | 1          | 13   | -999               | -9                   | -9                            | -999          | -999                | 0.2625     | 475            | 0.047                 | 0                       | 0                           | 10               | 0         | 20  | 902 | 99 |
| 2018 | 1     | 1   | 1          | 14   | -999               | -9                   | -9                            | -999          | -999                | 0.2625     | 475            | 0.047                 | 0                       | 0                           | 10               | 0         | 19  | 902 | 99 |
| 2018 | 1     | 1   | 1          | 15   | -999               | -9                   | -9                            | -999          | -999                | 0.2625     | 475            | 0.049                 | 31                      | 112                         | 10               | 0         | 19  | 901 | 99 |
| 2018 | 1     | 1   | 1          | 16   | -999               | -9                   | -9                            | -999          | -999                | 0.2625     | 475            | 0.042                 | 41                      | 124                         | 10               | 0         | 20  | 901 | 99 |
| 2018 | 1     | 1   | 1          | 17   | -999               | -9                   | -9                            | -999          | -999                | 0.2625     | 475            | 0.042                 | 41                      | 111                         | 10               | 0         | 22  | 901 | 99 |
| 2018 | 1     | 1   | 1          | 18   | -999               | -9                   | -9                            | -999          | -999                | 0.2625     | 475            | 1                     | 31                      | 117                         | 10               | 0         | 23  | 900 | 99 |
| 2018 | 1     | 1   | 1          | 19   | -999               | -9                   | -9                            | -999          | -999                | 0.2625     | 475            | 1                     | 31                      | 124                         | 10               | 0         | 25  | 900 | 99 |
| 2018 | 1     | 1   | 1          | 20   | -999               | -9                   | -9                            | -999          | -999                | 0.2625     | 475            | 1                     | 0                       | 0                           | 10               | 0         | 29  | 900 | 99 |
| 2018 | 1     | 1   | 1          | 21   | -999               | -9                   | -9                            | -999          | -999                | 0.2625     | 475            | 1                     | 0                       | 0                           | 10               | 0         | 27  | 900 | 99 |
| 2018 | 1     | 1   | 1          | 22   | -999               | -9                   | -9                            | -999          | -999                | 0.2625     | 475            | 1                     | 0                       | 0                           | 10               | 0         | 33  | 899 | 99 |
| 2018 | 1     | 1   | 1          | 23   | -999               | -9                   | -9                            | -999          | -999                | 0.2625     | 475            | 1                     | 0                       | 0                           | 10               | 0         | 35  | 899 | 99 |
| 2018 | 1     | 1   | 1          | 24   | -999               | -9                   | -9                            | -999          | -999                | 0.2625     | 475            | 1                     | 0                       | 0                           | 10               | 0         | 35  | 899 | 99 |
| 2018 | 1     | 1   | 1          | 25   | -999               | -9                   | -9                            | -999          | -999                | 0.2625     | 475            | 1                     | 0                       | 0                           | 10               | 0         | 35  | 898 | 99 |
| 2018 | 1     | 1   | 1          | 26   | -999               | -9                   | -9                            | -999          | -999                | 0.2625     | 475            | 1                     | 0                       | 0                           | 10               | 0         | 35  | 898 | 99 |
| 2018 | 1     | 1   | 1          | 27   | -999               | -9                   | -9                            | -999          | -999                | 0.2625     | 475            | 1                     | 0                       | 0                           | 10               | 0         | 35  | 898 | 99 |
| 2018 | 1     | 1   | 1          | 28   | -999               | -9                   | -9                            | -999          | -999                | 0.2625     | 475            | 1                     | 0                       | 0                           | 10               | 0         | 33  | 898 | 99 |
| 2018 | 1     | 1   | 1          | 29   | -999               | -9                   | -9                            | -999          | -999                | 0.2625     | 475            | 1                     | 0                       | 0                           | 10               | 0         | 33  | 898 | 99 |
| 2018 | 1     | 1   | 1          | 30   | -999               | -9                   | -9                            | -999          | -999                | 0.2625     | 475            | 1                     | 0                       | 0                           | 10               | 0         | 30  | 896 | 99 |
| 2018 | 1     | 1   | 1          | 31   | -999               | -9                   | -9                            | -999          | -999                | 0.2625     | 475            | 1                     | 0                       | 0                           | 10               | 0         | 30  | 896 | 99 |



شکل ۷- نمایش داده های سطحی هواشناسی منطقه پونک ۱۳۹۸

شکل ۵- فایل SFC تهیه شده برای فایل هواشناسی منطقه پونک سال ۱۳۹۸

|        |       |                    |    |       |        |        |        |          |          |
|--------|-------|--------------------|----|-------|--------|--------|--------|----------|----------|
| 407230 | 99999 | BOJNORD            | IR | OIMN  | 37.493 | 57.308 | 1079.9 | 19771201 | 20190918 |
| 407260 | 99999 | MOHABAD            | IR |       | 36.767 | 45.717 | 1385   | 19890101 | 20190918 |
| 407270 | 99999 | SAGHEZ             | IR | OITS  | 36.265 | 46.267 | 1493   | 19730101 | 20190918 |
| 407290 | 99999 | ZANJAN             | IR | OITZ  | 36.774 | 48.359 | 1640.4 | 19730101 | 20190918 |
| 407300 | 99999 | IMAM KHOMEINI IR   | IR | OIIE  | 35.416 | 51.152 | 1007.4 | 20040824 | 20190918 |
| 407310 | 99999 | GHAZVIN            | IR | OIHK  | 36.24  | 50.047 | 275.3  | 19730101 | 20190918 |
| 407315 | 99999 | GHAZVIN AZADI      | IR | OIIA  | 35.952 | 50.451 | 1158.2 | 20080925 | 20090207 |
| 407320 | 99999 | RAMSAR             | IR | OINR  | 36.91  | 50.68  | -21.3  | 19730101 | 20190918 |
| 407330 | 99999 | REGENSBERG OBER GQ |    |       | 48.983 | 12.2   | 100.6  | 20010830 | 20040731 |
| 407340 | 99999 | NOSHahr            | IR |       | 36.665 | 51.5   | -21    | 19890104 | 20081231 |
| 407350 | 99999 | GONBAD GHABUS      | IR | OINK  | 37.265 | 55.1   | 32.6   | 20040824 | 20190918 |
| 407355 | 99999 | NAJA               | IR | OIHM  | 35.776 | 50.881 | 1231.4 | 20061020 | 20080630 |
| 407360 | 99999 | BABULSAR           | IR |       | 36.717 | 52.665 | -21    | 19491127 | 20190918 |
| 407370 | 99999 | GHARAKHIL          | IR |       | 36.465 | 52.817 | 14     | 19890101 | 20190918 |
| 407380 | 99999 | GORGAN             | IR | OIING | 36.909 | 54.401 | -7.3   | 19730101 | 20190918 |
| 407390 | 99999 | SHAHRUD            | IR |       | 36.417 | 54.95  | 1345   | 19570701 | 20190918 |
| 407400 | 99999 | GHUCHAN            | IR |       | 37.067 | 58.5   | 1287   | 19490813 | 20190918 |
| 407410 | 99999 | SARAKHS            | IR |       | 36.533 | 61.167 | 235    | 19890102 | 20081231 |
| 407430 | 99999 | SABZEVAR           | IR | OIMS  | 36.168 | 57.595 | 908.3  | 19630118 | 20190918 |
| 407450 | 99999 | MASHHAD INTL       | IR | OIMM  | 36.265 | 59.641 | 994.6  | 19440103 | 20190918 |
| 407460 | 99999 | KASHAFRUD          | IR |       | 35.983 | 60.833 | 594    | 20020723 | 20160411 |
| 407470 | 99999 | SANANDAJ           | IR | OICS  | 35.247 | 47.009 | 1378.3 | 19730101 | 20190918 |
| 407540 | 99999 | MEHRABAD INTL      | IR | OIII  | 35.689 | 51.313 | 1207.6 | 19431101 | 20190918 |



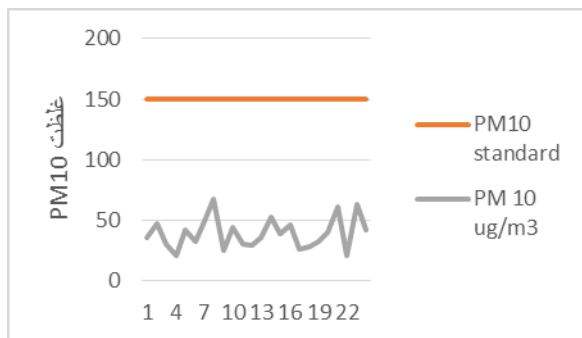
شکل ۶- فایل PFL تهیه شده برای فایل هواشناسی منطقه پونک سال ۱۳۹۸

داده های جو بالا:

- Upper air data
- QA upper air variables
- Upper air variable ranges

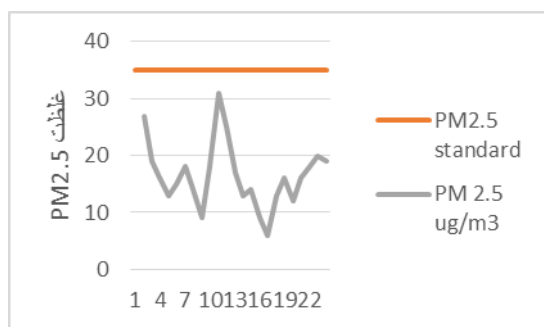
شکل ۸- منابع اطلاعات هواشناسی از ایستگاه هواشناسی امام خمینی

با بررسی میزان غلظت دی اکسید نیتروژن و مقایسه با مقادیر استاندارد ملاحظه می گردد که میزان بالاتر از حدود استاندارد بوده و در شرایط نامطلوب می باشد.



نمودار ۳- مقایسه غلظت PM10 با میزان استاندارد ساعتی در طول یک ماه از سال ۱۳۹۷

در بررسی مقایسه غلظت PM10 با مقادیر استاندارد ساعتی ملاحظه می گردد که مقادیر اندازه گیری کمتر از حد استاندارد می باشد و وضعیت در شرایط مطلوب است.



نمودار ۴- مقایسه غلظت PM2.5 با میزان استاندارد ساعتی در طول یک ماه از سال ۱۳۹۷

در بررسی مقایسه غلظت PM2.5 با میزان استاندارد ساعتی ملاحظه می گردد که مقادیر اندازه گیری زیر حد استاندارد بوده و وضعیت در شرایط مطلوب می باشد.

### مقایسه میانگین روزانه غلظت آلاینده ها و عمق اختلاط و ارتفاع لایه مرزی همرفتی

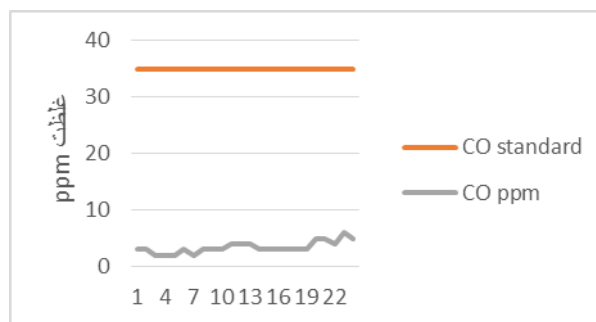
در این بخش مقایسه میانگین روزانه غلظت آلاینده های هوا در منطقه پونک بر اساس اطلاعات دریافتی از ایستگاه سنجش شرکت کنترل کیفیت با مقادیر ارتفاع لایه مرزی همرفتی و ارتفاع لایه مرزی مکانیکی (عمق اختلاط) انجام می شود. نتایج خروجی محاسبات به شرح نمودارهای زیر ارائه می گردد.

### ۳- نتایج

ایستگاه کیفیت هوای شهری منطقه پونک در محل میدان پونک، خیابان عدل، پارک ترافیک قرار دارد و در سال ۸۶/۴/۱ این ایستگاه تأسیس شده است. موقعیت جغرافیایی ایستگاه در محل ۳۵/۷۶۲۳ و ۵۱/۳۳۱۶۸ می باشد. در این بخش نتایج بررسی ها میزان انتشار آلاینده های  $O_3$ ،  $SO_2$ ،  $PM_{10}$ ،  $NO_2$ ،  $CO$  و  $PM_{2.5}$  بر اساس اطلاعات ساعتی، روزانه و فصلی ارائه شده است. در بررسی های صورت گرفته آلاینده های مورد سنجش در این ایستگاه شامل ۶ آلاینده بوده و داده های این آلاینده ها با عمق اختلاط در ادامه مورد بررسی قرار گرفته است.

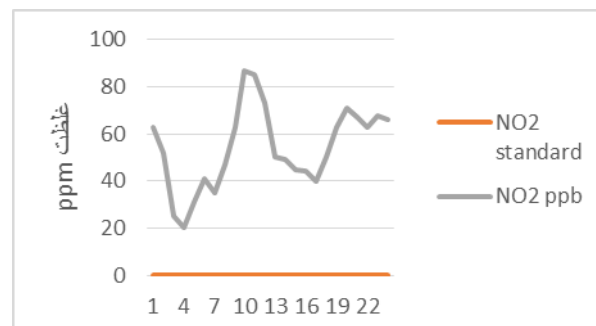


شکل ۹- موقعیت ایستگاه کیفیت هوای منطقه پونک سال ۱۳۹۸

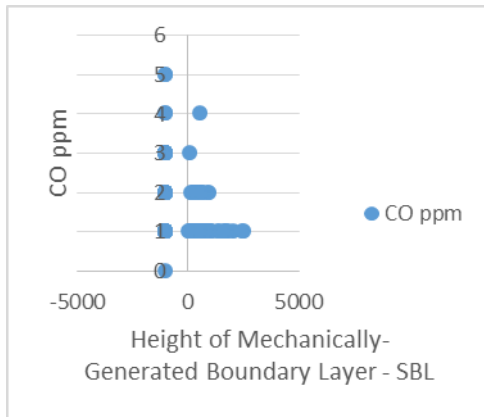


نمودار ۱- مقایسه غلظت مونوکسید کربن با میزان استاندارد ساعتی در طول یک ماه از سال ۱۳۹۷

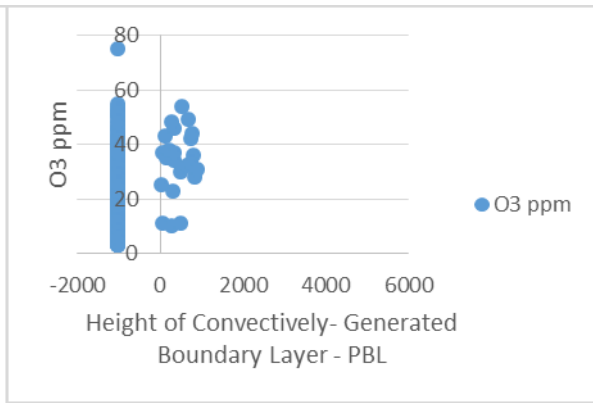
با مقایسه غلظت مونوکسید کربن ساعتی ایستگاه پونک و مقادیر استاندارد محیط زیست ملاحظه می شود که مقادیر اندازه گیری زیر حد استاندارد می باشد و شرایط مطلوب دیده می شود.



نمودار ۲- مقایسه غلظت دی اکسید نیتروژن با میزان استاندارد ساعتی در طول یک ماه از سال ۱۳۹۷

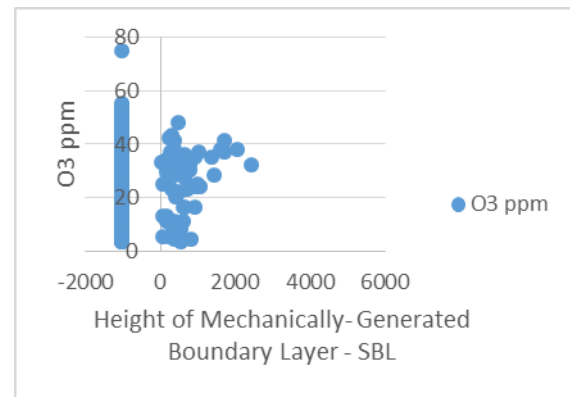


نمودار ۸- مقایسه میانگین روزانه غلظت مونوکسید کربن و ارتفاع لایه مرزی مکانیکی سال ۱۳۹۷

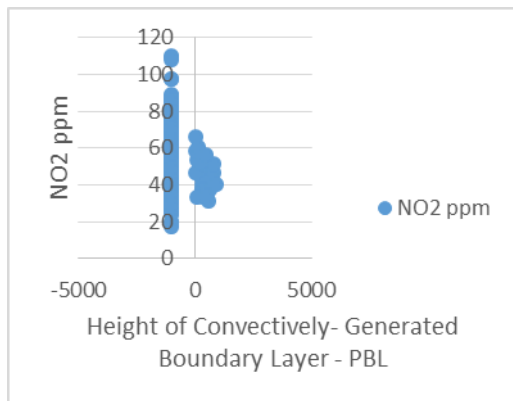


نمودار ۵- مقایسه میانگین روزانه غلظت ازن و ارتفاع لایه مرزی همرفت سال ۱۳۹۷

با بررسی میزان انتشار میانگین روزانه غلظت مونوکسید کربن و ارتفاع لایه مرزی مکانیکی و همرفتی ملاحظه می‌گردد که با افزایش لایه-های مرزی میزان غلظت مونوکسید کربن و تراکم آن کاهش پیدا می-کند. تأثیر ارتفاع لایه مکانیکی در تراکم غلظت بیشتر از ارتفاع لایه همرفتی می باشد.

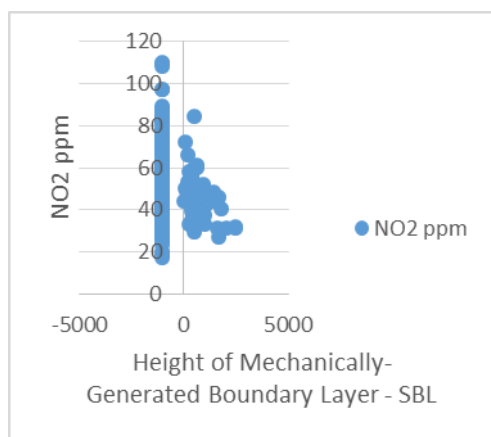


نمودار ۶- مقایسه میانگین روزانه غلظت ازن و ارتفاع لایه مرزی مکانیکی سال ۱۳۹۷

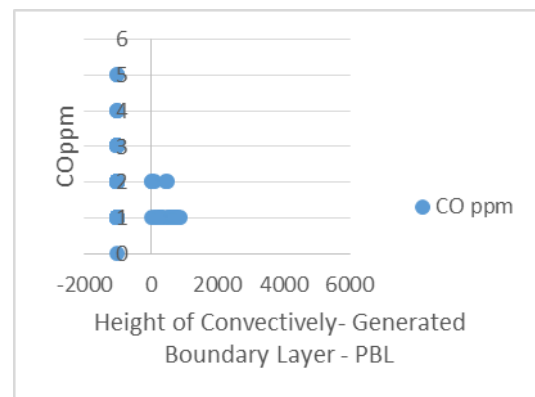


نمودار ۹- مقایسه میانگین روزانه غلظت دی اکسید نیتروژن و ارتفاع لایه مرزی همرفت سال ۱۳۹۷

با بررسی میزان انتشار میانگین روزانه غلظت ازن و ارتفاع لایه مرزی مکانیکی و همرفتی ملاحظه می‌گردد که با افزایش لایه‌های مرزی میزان غلظت ازن و تراکم آن کاهش پیدا می‌کند. تأثیر ارتفاع لایه مکانیکی در تراکم غلظت بیشتر از ارتفاع لایه همرفتی می باشد.

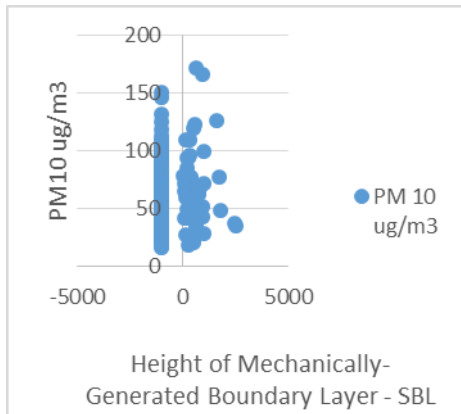


نمودار ۱۰- مقایسه میانگین روزانه غلظت دی اکسید نیتروژن و ارتفاع لایه مرزی مکانیکی سال ۱۳۹۷



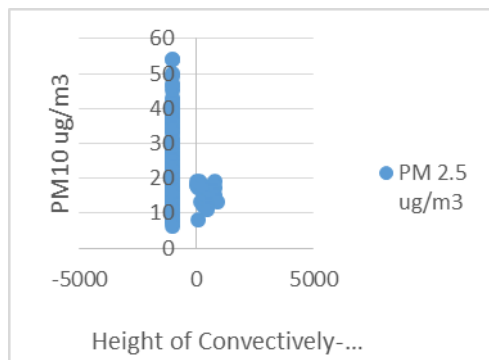
نمودار ۷- مقایسه میانگین روزانه غلظت مونوکسید کربن و ارتفاع لایه مرزی همرفت سال ۱۳۹۷

با بررسی میزان انتشار میانگین روزانه غلظت دی اکسید نیتروژن و ارتفاع لایه مرزی مکانیکی و همرفتی ملاحظه می‌گردد که با افزایش لایه‌های مرزی میزان غلظت دی اکسید نیتروژن و تراکم آن کاهش پیدا می‌کند. تأثیر ارتفاع لایه مکانیکی در تراکم غلظت بیشتر از ارتفاع لایه همرفتی می باشد.

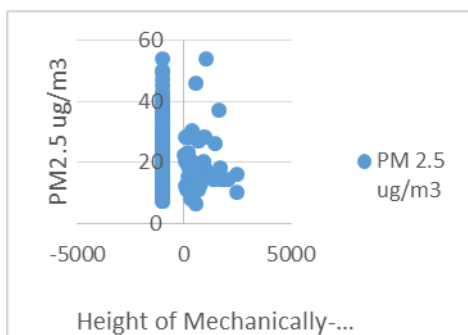


نمودار ۱۴- مقایسه میانگین روزانه غلظت PM10 و ارتفاع لایه مرزی مکانیکی سال ۱۳۹۷

با بررسی میزان انتشار میانگین روزانه غلظت PM10 و ارتفاع لایه مرزی مکانیکی و همرفتی ملاحظه می‌گردد که با افزایش لایه‌های مرزی میزان غلظت PM10 و تراکم آن کاهش پیدا می‌کند. تأثیر ارتفاع لایه مکانیکی در تراکم غلظت بیشتر از ارتفاع لایه همرفتی می‌باشد.

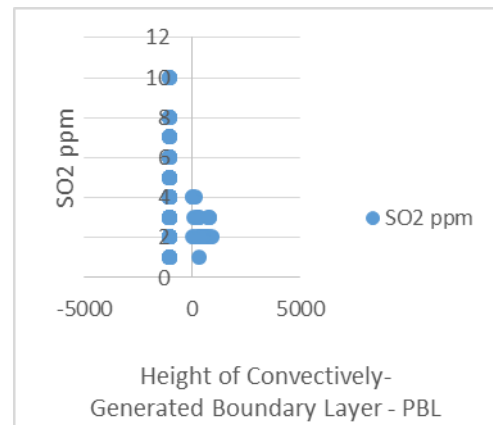


نمودار ۱۵- مقایسه میانگین روزانه غلظت PM2.5 و ارتفاع لایه مرزی همرفت سال ۱۳۹۷

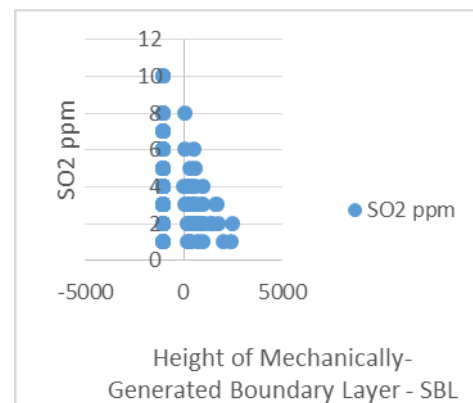


نمودار ۱۶- مقایسه میانگین روزانه غلظت PM2.5 و ارتفاع لایه مرزی مکانیکی سال ۱۳۹۷

با بررسی میزان انتشار میانگین روزانه غلظت PM2.5 و ارتفاع لایه مرزی مکانیکی و همرفتی ملاحظه می‌گردد که با افزایش لایه‌های مرزی میزان غلظت PM2.5 و تراکم آن کاهش پیدا می‌کند. تأثیر ارتفاع لایه مکانیکی در تراکم غلظت بیشتر از ارتفاع لایه همرفتی می‌باشد.

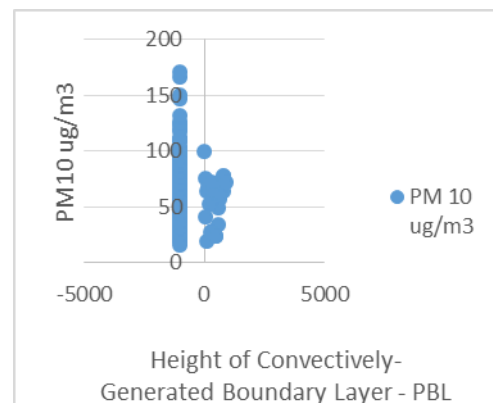


نمودار ۱۱- مقایسه میانگین روزانه غلظت دی اکسید گوگرد و ارتفاع لایه مرزی همرفت سال ۱۳۹۷

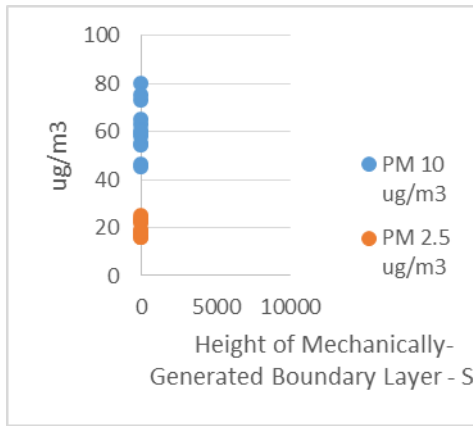


نمودار ۱۲- مقایسه میانگین روزانه غلظت دی اکسید گوگرد و ارتفاع لایه مرزی مکانیکی سال ۱۳۹۷

با بررسی میزان انتشار میانگین روزانه غلظت دی اکسید گوگرد و ارتفاع لایه مرزی مکانیکی و همرفتی ملاحظه می‌گردد که با افزایش لایه‌های مرزی میزان غلظت دی اکسید گوگرد و تراکم آن کاهش پیدا می‌کند. تأثیر ارتفاع لایه مکانیکی در تراکم غلظت بیشتر از ارتفاع لایه همرفتی می‌باشد.



نمودار ۱۳- مقایسه میانگین روزانه غلظت PM10 و ارتفاع لایه مرزی همرفت سال ۱۳۹۷



نمودار ۲- مقایسه میانگین ماهانه غلظت PM10, PM2.5 و ارتفاع لایه مرزی مکانیکی سال ۱۳۹۷

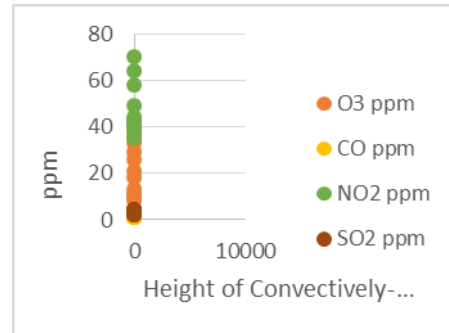
در مقایسه میانگین ماهانه غلظت آلاینده‌های PM10, PM2.5 و ارتفاع لایه مرزی همرفتی و مکانیکی مشاهده می‌گردد که میزان ارتفاع لایه مرزی تأثیری در تراکم غلظت ماهانه ندارد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

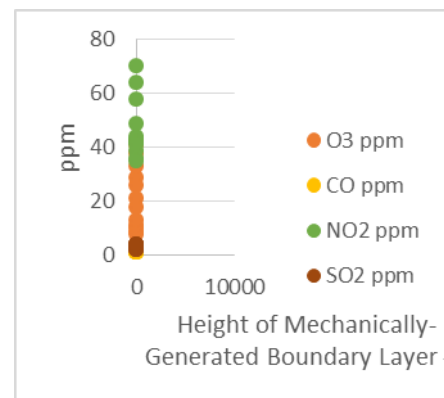
کیفیت آلودگی شهر تهران از طریق تغییر عناصر دما و باد کنترل می‌شود. این دو عنصر اقلیمی بعنوان موثرترین عوامل جوی که در پراکنش زمانی و مکانی آلودگی تهران مؤثر هستند، به‌طوریکه تغییرات افقی و قائم دما پدیده‌های مختلفی مانند جریان‌های افقی و فرازشی یا فرونشینی هوا را ایجاد نماید. همچنین وزش باد شامل مؤلفه‌های 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 چابین سو اثرات کاهش و افزایش 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 تحت تأثیر 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. در نتایج مورد بررسی این تحقیق دریافته‌ایم که ارتفاع اختلاط شهری متناسب با تغییرات دمای هوای محیط رشد می‌کند. از طرفی شرایط سینوپتیک مانع از جابجایی و همرفت جرم هوای لایه مرزی می‌شود. همچنین عوامل مؤثر بر آلودگی هوا تابع خصوصیات هواشناسی، توپوگرافی زمین و شدت تولید آلاینده‌ها است که به افزایش یا کاهش غلظت آن‌ها در مقیاس محلی و منطقه‌ای منجر می‌شود. در خصوص شرایط هواشناسی سرعت باد، پایداری جوی و عمق لایه اختلاط از مهمترین عوامل پراکندگی هستند. از طرفی پایداری هوا سبب می‌شود که حرکت‌های عمودی هوا، آلاینده‌ها را با هوای لایه‌های عمودی دیگر مخلوط کند. فاصله عمودی بین سطح زمین و ارتفاعی که حرکت‌های انتقالی تا آنجا توسعه می‌یابد عمق اختلاط نامیده می‌شود. به طور کلی هرچقدر عمق اختلاط بیشتر باشد، وضعیت هوا بهتر خواهد بود. وارونگی دما نشان دهنده حالتی در اتمسفر است که بسیار پایدار بوده و دارای عمق اختلاط کم و گرادیان دما مثبت است. وقتی حالت وارونگی وجود دارد و بادی نمی‌وزد، مکانیزم نفوذ کند شده، در نتیجه

#### مقایسه میانگین ماهانه غلظت آلاینده‌ها و عمق اختلاط و ارتفاع لایه مرزی همرفتی

در این بخش مقایسه میانگین ماهانه غلظت آلاینده‌های هوا در منطقه پونک بر اساس اطلاعات دریافتی از ایستگاه سنجش شرکت کنترل کیفیت با مقادیر ارتفاع لایه مرزی همرفتی و ارتفاع لایه مرزی مکانیکی (عمق) اختلاط انجام می‌شود. نتایج خروجی محاسبات به شرح نمودارهای زیر ارائه می‌گردد.

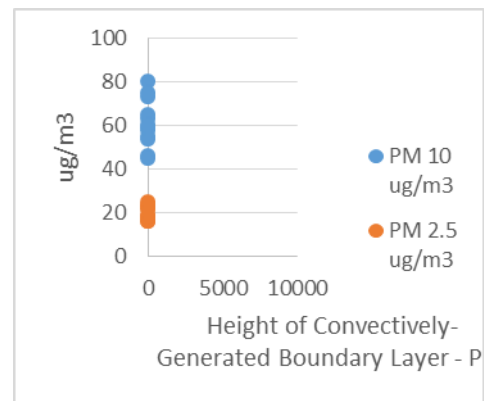


نمودار ۱۷- مقایسه میانگین ماهانه غلظت O3, CO, NO2, SO2 و ارتفاع لایه مرزی همرفت سال ۱۳۹۷



نمودار ۱۸- مقایسه میانگین ماهانه غلظت O3, CO, NO2, SO2 و ارتفاع لایه مرزی مکانیکی سال ۱۳۹۷

در مقایسه میانگین ماهانه غلظت آلاینده‌های O3, CO, NO2, SO2 و ارتفاع لایه مرزی همرفتی و مکانیکی مشاهده می‌گردد که میزان ارتفاع لایه مرزی تأثیری در تراکم غلظت ماهانه ندارد.



نمودار ۱۹- مقایسه میانگین ماهانه غلظت PM10, PM2.5 و ارتفاع لایه مرزی همرفت سال ۱۳۹۷



درجهت پیش‌بینی و پیش‌یابی پارامترهای مؤثر در لایه اختلاط می‌توان پیشنهاد اجرای آزمایش‌های میدانی، تهیه الگوریتم‌های متنوع به کمک پارامتری‌کردن و مدل‌سازی‌های عددی اشاره کرد که اغلب آنها در منطقه روستایی کاربرد دارد. پیشنهاد می‌گردد مطالعاتی در خصوص تغییرات فصلی و چرخه شبانه‌روزی برخی میدان‌های هواشناختی و پارامترهای لایه مرزی نیز بر غلظت آلاینده‌ها در آینده انجام داد. تأثیر پارامترهای لایه مرزی در شب که اثر ترافیک و مراکز صنعتی کم می‌شود، بیشتر نمایان است. لذا پیشنهاد می‌گردد که میزان تأثیر تشکیل لایه وارونه و همچنین پایدار شبانه را در مقادیر عمق اختلاط بررسی کرد.

انتظار می‌رود که بالاترین مقدار آلودگی در مرکز و منبع آلودگی موجود باشد عمق لایه اختلاط در حقیقت ضخامت عمودی اتمسفر است که آلاینده‌ها می‌توانند در آن مخلوط شوند. پس بدیهی است با افزایش عمق لایه اختلاط غلظت آلاینده‌ها کاهش و با کاهش آن غلظت آلاینده‌ها افزایش یابد. عمق لایه اختلاط در حقیقت تلفیق سرعت باد، فلاکسهای عمودی حرارت و اندازه حرکت و پایداری اتمسفر است. به بیان ساده‌تر عصاره شرایط هواشناسی (به استثنا بارش) مؤثر بر کیفیت هوا است. نتایج مدل‌سازی وضعیت آلودگی هوای شهری در ارتباط با عمق اختلاط در کلانشهر تهران نشان داد که با افزایش لایه‌های مرزی میزان غلظت آلاینده‌ها و تراکم آن کاهش پیدا می‌کند با مقایسه دیده می‌شود که با افزایش لایه مرزی مکانیکی میزان تراکم آلاینده بیشتر شده است و همچنین ملاحظه می‌گردد که لایه مرزی مکانیکی در انتشار غلظت تأثیر بیشتری نسبت به ارتفاع لایه مرزی همرفتی دارد.

### منابع

- اشرفی، خ، فرگوروند، پ، نژادکورکی، ف، سلیمیان، م، ۱۳۹۱. تحلیل حساسیت نتایج مدل AERMOD نسبت به تغییر پارامترهای کاربری اراضی، همایش ملی جریان و آلودگی هوا، دانشگاه تهران.
- خبری، ز، موسویان ندوشن، ن، نژادکورکی، ف، منصوری، ن، ۱۳۹۲. تأثیر مدل رقومی ارتفاعی در مدل‌سازی آلودگی هوا با استفاده از ایرمدف مجله سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، دوره ۴، شماره ۴، ص ۲۵-۳۳.
- شمسی پور، علی، حسین پور، ز، نجیب زاده، ف، ۱۳۹۱. مدل‌سازی ترمودینامیکی و واکاوی همدید آلودگی هوای شهر تهران، مجله محیط زیست، دوره ۶، شماره ۱۲، ص ۹۵-۷۷.
- شرعی پور، ز، علی اکبری بیدختی، ع، ۱۳۹۳. بررسی توزیع مکانی زمانی آلاینده‌های هوا در شهر تهران برای ماه‌های سرد سال های ۲۰۱۳-۲۰۱۱، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره شانزدهم، شماره ویژه.
- مینایی، ا، عتابی، ف، معطر، ف، جعفری م ج، ۱۳۹۶. پیش بینی غلظت های محیطی ترکیبات آلی فرار VOCs در یک پالایشگاه گازی در عسلویه، مجله فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، انتشار آن لاین.
- عباسپور، م، ۱۳۸۶. انرژی، محیط زیست و توسعه پایدار، انتشارات دانشگاه شریف.
- عباسپور، مجید، ۱۳۹۵، مدل‌سازی آلودگی هوا، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف.
- نادری، م، لطیفی، س، ۱۳۹۲. فهرست انتشار آلودگی هوا در شهر تهران، انتشارات شرکت کنترل کیفیت هوا شهرداری تهران.
- AERMOD Model Formulation and Evaluation. EPA-454/ R-17-001; May 2017. Available online: [https://www3.epa.gov/ttn/scram/models/aermod/aermod\\_mfed.pdf](https://www3.epa.gov/ttn/scram/models/aermod/aermod_mfed.pdf) (accessed on 7 September 2018).
- Awkash, K., Rashmi, S., Patil, A., Rakesh, K. 2017. Application of WRF Model for Air Quality Modelling and AERMOD – A Survey, Aerosol and Air Quality Research, Vol. 17, P. 1925–1937.
- EPA. 2011. the benefit and costs of the Clean Air Act from 1990 to 2020: final report-rev, united states environmental protection agency.
- EPA. 2003. Environmental Benefits Mapping and Analysis Program, user; s manual, Office of Air Quality Planning and Standards U.S. Environmental Protection Agency Research Triangle Park, NC Bryan Hubbell, Project Manager.
- Leelossy, A., Ferenc M., Ferenc, I. 2014. Dispersion modeling of air pollutants in the atmosphere: a review, Open Geosciences, Vol. 6.
- Seinfeld John H., Spyros, N. 2000. Atmospheric chemistry and physics, Environmental Chemistry, ISBN: 978-1-118-94740-1.
- Yan, X., Tianshu, Z., Jianguo, L., Lihui, L., Yunsheng, D., Zhenyi, C. 2018. Atmosphere boundary layer height and its effect on air pollutants in Beijing during winter heavy pollution. Atmos (2018), doi:10.1016/j.atmosres.
- Zawar-Reza, P., Kingham, S., Pearce, J. 2005. Evaluation of a year-long dispersion modelling of PM10 using the mesoscale model TAPM for Christchurch, New Zealand. Science of the Total Environment Vol. 349, P. 249- 259.