

## تغییرات دید جوئی و عوامل مؤثر بر آن در ایستگاه ژئوفیزیک تهران طی دوره ۱۰ ساله (۲۰۰۱-۲۰۱۱)

زهرا شرعی پور<sup>۱</sup> و عباسعلی علی اکبری بیدختی<sup>۱\*</sup>

<sup>۱</sup> مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۸/۳، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۲۲)

### چکیده

در این تحقیق، داده‌های دید جوئی و عوامل مؤثر بر آن از قبیل مه، بارش، غبار (Haze) و توفان‌های گرد و خاک در ایستگاه سینوپتیک ژئوفیزیک برای دوره سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۱۱ بررسی شده است. داده‌های آلودگی هوا مورد استفاده مربوط به شرکت کنترل کیفیت هوای شهرداری تهران استفاده شده است. طی دوره ۱۰ ساله، میانگین سالانه دید جوئی مقدار ۸/۷ کیلومتر و میانگین‌های فصلی آن برای فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب مقادیر ۹/۲، ۹/۷، ۹/۱ و ۶/۷ کیلومتر برآورد شد. کمترین دید افقی طی سال در ماه دسامبر (۵/۷ کیلومتر) و بیشترین آن در ماه اوت (۹/۹ کیلومتر) رخ می‌دهد.

به‌طور کلی پدیده‌های مه، بارش، غبار و توفان‌های گرد و خاک باعث کاهش دید جوئی می‌شوند. بسامد رخداد دید جوئی کمتر از ۳ کیلومتر در فصل سرد بیش از سایر فصل‌ها است و مهم‌ترین عامل آن پدیده غبار است. در فصل سرد، مقادیر میانگین ماهانه دید جوئی، با در نظر گرفتن رطوبت‌های نسبی کمتر از ۶۰ درصد، ۱ تا ۲ کیلومتر افزایش می‌یابند. میانگین سالانه هواویزهای PM<sub>10</sub> طی دوره ۳ ساله ۲۰۰۷-۲۰۰۹ مقدار ۶۸/۹  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  برآورد شد و بیشینه فصلی هواویزها در ماه‌های ژوئیه و دسامبر رخ داده است. به‌طور کلی همبستگی منفی بین مقادیر روزانه دید جوئی و غلظت ذرات معلق PM<sub>10</sub> برقرار است و قوی‌ترین این همبستگی‌ها در فصل‌های بهار و تابستان رخ می‌دهد. اغلب پدیده‌های دید جوئی کمتر از ۳ کیلومتر در شرایط غلظت‌های زیاد هواویزهای PM<sub>10</sub> و یا سرعت‌های کم باد، پایداری هوا، کاهش عمق اختلاط و در برخی موارد نیز در سرعت‌های بسیار بالای باد ناشی از توفان‌های گرد و خاک رخ می‌دهند. بررسی تغییرات ساعتی دید جوئی طی روز نشان داد که در ایستگاه ژئوفیزیک اغلب بهترین دید جوئی در ساعت‌های اولیه صبح رخ می‌دهد و به تدریج تا بعدازظهر، دید جوئی کاهش می‌یابد. بررسی جهت وزش باد نشان داد که با شروع صبح به تدریج وزش باد جنوبی دشت به کوه (آناباتیک) آغاز می‌شود و آلاینده‌ها از مناطق جنوب شهر به شمال شهر انتقال و به تدریج دید جوئی کاهش می‌یابد.

**واژه‌های کلیدی:** دید جوئی، ریزگرد، ذرات معلق، سرعت باد، الگوی روزانه، تهران

### Atmospheric visibility and its affecting factors for the Geophysics Station, Tehran, for years 2001-2011

Zahra Shariepour<sup>1</sup> and Abbasali Aliakbari Bidokhti<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

(Received: 24 October 2012, accepted: 12 March 2013)

## Summary

Atmospheric visibility is an important parameter that can affect human activities as well as being a good indicator of the air pollution condition in urban areas. Hence its monitoring is important for urban such areas as Tehran which often suffer from acute air pollution episodes. Atmospheric visibility is closely related to the meteorological conditions determined by local and regional factors such as topography, latitude, closeness to water body, etc.

In this study, the atmospheric visibility for the years 2001-2011 at the Institute of Geophysics, Tehran, including the effects of meteorological conditions such as rain, fog and suspended dust on its variations were considered. The visibility and meteorological data were obtained from Meteorology Organization of Iran and the air pollution data are acquired from the air quality company of the municipality of Tehran. In this ten-year period, the mean annual visibility of this city was about 8.7 km while the seasonal visibilities for spring, summer, autumn, and winter were 9.2, 9.7, 9.1, and 6.7 km, respectively. The largest visibility occurred in August (9.9 km) while the least one occurred in December (5.7 km). On the whole, the visibility was affected by rain, fog and dust from which dust was more effective in reducing the visibility especially in winters in which its frequent value was less than 3 km, and is less than the other periods. Also in the cold season, the average visibility for relative humidities less than 60 percent increased from 1 to 2 km. The average annual PM<sub>10</sub> concentration for the years 2007-2009, for which the whole data were available, was 68.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , with its maximum for August and December.

The relationship between the visibilities and some other air pollution and meteorological factors were also considered. The largest negative correlation between the PM<sub>10</sub> concentration and the visibility occurred in spring and summer. This was due to the fact that the moisture content of air in this period was more than that of the rest of the year in this area. Moisture usually contributes to the formation of very fine urban aerosols and also makes larger aerosols known as haze.

City of Tehran is in the vicinity of a high mountain range that induces a very marked local circulation. This circulation is particularly marked in this area which is often away from active mid-latitude storm tracks leading to calm conditions. This study showed that as the daily wind turns from northerly katabatic to southerly anabatic during the morning transition, the visibility deteriorates due to the movement of the more polluted air over the station.

This study also showed that poor visibilities less than 3 km often occurred with high concentrations of PM<sub>10</sub> in calm conditions over the city in which urban aerosols dominate especially in winter, or when strong dusty winds prevail.

**Keywords:** Atmospheric visibility, dust, suspended particles, wind speed, daily variations, Tehran

## ۱ مقدمه

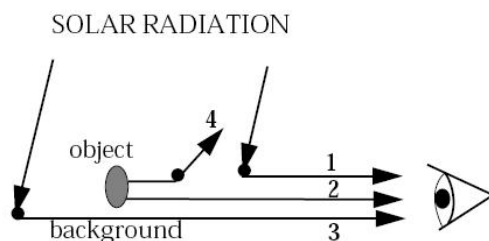
دید جوئی، توانایی چشم انسان برای تشخیص یک شیء از محیط زمینه است. مشاهده دید جوئی یکی از روش‌هایی است که با استفاده از آن افزایش آلودگی ذرات معلق هوا بدون استفاده از ابزار اندازه‌گیری قابل تشخیص است، بنابراین دید جوئی به منزله شاخصی از کیفیت هوا بشمار می‌رود. روش‌های گوناگونی برای اندازه‌گیری دید جوئی وجود دارد که برخی از آنها عبارت‌اند از دیدبانی جوئی، اندازه‌گیری‌های انتقال نور، عکسبرداری دیجیتال و تصاویر ماهواره‌ای. عوامل متعددی بر دید مؤثرند که مهم‌ترین آنها عبارت‌اند از پدیده‌های مه، بارش و غبار. غبار پدیده کاهش دید است که در اثر وجود هواویزهای جوئی در حضور رطوبت که باعث بزرگ‌تر شدن آنها و در نتیجه افزایش سطح مقطع پراکندگی‌شان می‌شود، ایجاد و باعث کاهش وضوح آسمان می‌شود. پارامترهای متفاوت هواشناسی از قبیل سرعت و جهت باد، رطوبت نسبی و ارتفاع لایه آمیخته، نقش مهمی در تغییرات دید ایفا می‌کنند. معمولاً دید - به صورت منطقه‌ای و فصلی تغییر می‌کند. ترافیک وسایل نقلیه موتوری و فعالیت‌های صنعتی، بر دید در جوئی شهری مؤثرند.

پراکندگی و جذب نور در هواویزهای جوئی یکی از عوامل مؤثر در کاهش دید است. پراکندگی نور خورشید با هواویزها فرایند اصلی برای تعیین دید در وردسپهر (تروپوسفر) است (شکل ۱). هواویزهای ناشی از فعالیت‌های انسانی در محیط شهری معمولاً دید - را نسبت به شرایط غیر آلوده کاهش می‌دهند. کاهش دید، بیشترین مقدار را در رطوبت‌های نسبی زیاد دارد، هنگامی که هواویزها با جذب بخار آب، رشد می‌کنند و بزرگ می‌شوند. (جاکوب، ۱۹۹۹). گاهی اوقات نیز ممکن است در جوئی شهری پدیده مه همراه با ریزگردها باعث ایجاد پدیده خطرناک مه‌دود (smog) شود. دید

به‌خصوص در پرواز و نشست و برخاست هواپیماها حائز اهمیت است.

آلاینده‌های جوئی به دو گروه ذرات و گازها تقسیم می‌شوند که ذرات به‌صورت مایع یا جامدند و اکثر آلاینده‌های گازی از قبیل ازن، گوگرد دی‌اکسید ( $SO_2$ ) و کربن دی‌اکسید ( $CO_2$ ) نامرئی هستند. بخشی از ذرات PM به قدری ریزند که با چشم غیر مسلح دیده نمی‌شوند. جرم ذرات جوئی (هواویزهای جوئی)، توزیع اندازه و مواد شیمیایی تشکیل‌دهنده آنها دارای تغییرات مکانی و زمانی است. اجزای اصلی ذرات PM از لحاظ مواد شیمیایی عبارت‌اند از سولفات، نیترات، کربن سیاه (black carbon)، کربن زیستی (organic carbon) و ذرات خاک. ذرات PM از منابع گوناگونی از جمله دود ناشی از وسایل نقلیه موتوری، دود ناشی از دودکش‌ها و قطرک‌های اسیدسولفوریک تشکیل شده در جوئی ایجاد می‌شوند. ذرات PM می‌توانند پایداری زیادی در جوئی داشته باشند و چند روز تا چند هفته در جوئی باقی بمانند و یا به مکانی دیگر منتقل شوند و دید جوئی را از نظر مقیاس محلی، منطقه‌ای و جهانی تحت تأثیر قرار دهند. دامنه دید وابسته به رطوبت و غلظت ذرات جوئی، به‌طور وسیعی متفاوت است. در روزهای آسمان صاف، دامنه دید ممکن است در اقلیم خشک تا ۳۰۰ کیلومتر و در اقلیم مرطوب تا ۱۰۰ کیلومتر برسد (در مناطق دور از محیط شهری). حضور غبار می‌تواند در هر اقلیمی دامنه دید را تا چند کیلومتر برساند و رنگ آسمان را تیره و خاکستری کند (هیسلوب، ۲۰۰۹).

تأثیر برهم‌کنش نور مرئی و ذرات جوئی وابسته به جنس و اندازه ذرات موجود در جوئی است. بنابراین ذرات و گازهای جوئی می‌توانند از راه پراکندگی و جذب نور، دید را کاهش دهند و باعث خاموشی نور (light extinction) شوند (هیسلوب، ۲۰۰۹).



شکل ۱. کاهش دید به وسیله هواویزها. دید شیء با تمایز آن شیء از محیط زمینه‌اش تعیین می‌شود. این تمایز با پراکندگی نور در هواویزها کاهش می‌یابد (شماره‌های ۱ و ۴) (جاکوب، ۱۹۹۹).

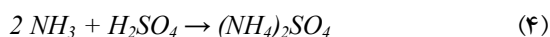
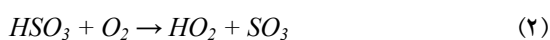
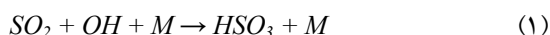
تشکیل دهنده هواویزهای جوئی، مستقیماً چگونگی واکنش آنها با نور خورشید را تعیین می‌کنند.

بعضی از ذرات مانند سولفات‌ها و نیترات‌ها از راه رطوبت گیری، آب را جذب می‌کنند. با افزایش رطوبت نسبی جو، قطر و سطح مقطع این ذرات رشد می‌یابد و توانایی آنها برای پراکندگی نور افزایش پیدا می‌کند. بنابراین، حضور ذرات رطوبت گیر در جو می‌تواند باعث کاهش دید - شود. جذب نور نیز باعث تیرگی و تغییر رنگ جو می‌شود. غلظت‌های زیاد  $\text{NO}_2$  از راه جذب نور می‌تواند قهوه‌ای، سرخ و زرد شدن رنگ جو را سبب شوند. ذرات کربن سیاه تقریباً کل طول موج‌های نوری را جذب می‌کنند درحالی‌که، کربن زیستی و ذرات خاک به‌طور ضعیفی نور را جذب می‌کنند (هیسلوب، ۲۰۰۹).

اگر مقدار  $\text{NH}_3$  در جو افزایش یابد، امکان تشکیل هم‌آمیزهای ریز نیترات آمونیوم ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) و سولفات آمونیوم ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) افزایش می‌یابد. هم‌آمیزهای نیترات آمونیوم و سولفات آمونیوم پراکندگی نور را افزایش می‌دهند. خاموشی نور برای سولفات آمونیوم با قطر  $0.5 \mu\text{m}$  در دامنه نور مرئی تقریباً ۱/۵ برابر  $\text{H}_2\text{SO}_4$  بوده و نیترات آمونیوم نیز مؤثرتر از سولفات آمونیوم است (بارتل می و پریور، ۱۹۹۸).

تاکنون تحقیقات بسیاری در مورد تغییرات دید و عوامل مؤثر بر آن صورت گرفته است که در اینجا به برخی از آنها اشاره می‌شود. یکی از تحقیقاتی که در مورد

در جو شهری، ذرات ثانویه‌ای که از اکسایش گازهای اولیه از قبیل اکسیدهای نیتروژن و سولفور به‌دست می‌آیند، باعث تولید اسید سولفوریک مایع و اسید نیتریک گازی می‌شوند. در حضور آمونیاک، اغلب هواویزهای ثانویه به شکل نمک‌های آمونیوم از قبیل سولفات آمونیوم و نیترات آمونیوم تشکیل می‌شوند در صورتی که در غیاب آمونیاک، ترکیبات ثانویه‌ای به شکل اسیدی از قبیل اسید سولفوریک (به‌صورت قطره‌های مایع) و اسید نیتریک (به‌صورت گازی) تشکیل می‌شوند. واکنش‌های شیمیایی مربوط به تشکیل اسید سولفوریک و سولفات آمونیوم به‌صورت زیر است (پایگاه دانشگاه کلرادو - <http://atoc.colorado.edu/~toohey/3500lectures.html>).



هواویزهای سولفات و نیترات ثانویه حاصل شده به‌شدت باعث پراکنده شدن نور می‌شوند. مواد زیستی جوئی، تابش جوئی را از هر دو طریق پراکندگی و جذب نور، تحت تأثیر قرار می‌دهند و هواویز مهم کربن سیاه به‌شدت باعث جذب نور می‌شود. به‌طور کلی، مواد شیمیایی

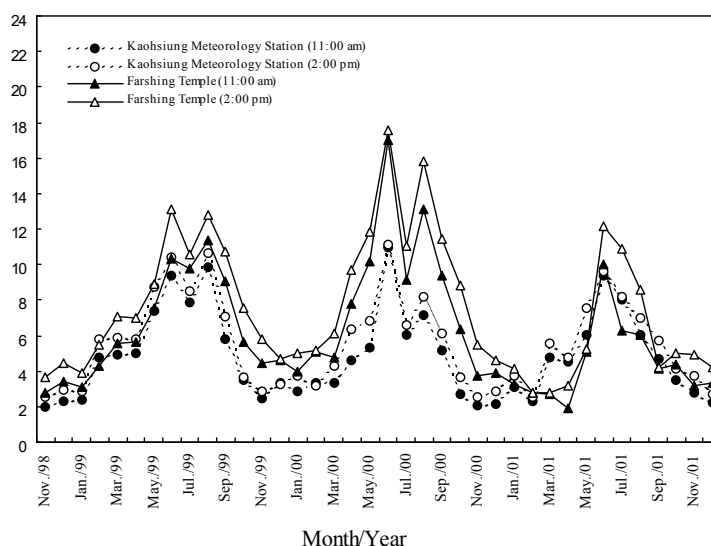
ایکسین کیانگ و همکاران (۲۰۰۹) تحقیقی را در چین در مورد دید کمتر از ۱۰ کیلومتر عملی ساختند. آنها در این تحقیق با استفاده از ترکیب عوامل هواشناسی و آلودگی هوا، روش نظری را برای تشخیص پدیده‌های مه و غبار در بازه‌های رطوبت نسبی متفاوت عرضه کردند. در این روش، مقدار آستانه حدی برای غلظت ذرات معلق  $PM_{10}$  تعیین می‌شود.

تحقیقی که هوانگ و همکاران (۲۰۰۹) در شانگ‌های چین به انجام رساندند روشن ساخته که در میان آلاینده‌های گوناگون، هواپزهای  $PM_{2.5}$  قوی‌ترین همبستگی را با دید دارند و کاهش دید در ارتباط با افزایش مرگ و میر بر اثر بیماری‌های متفاوت، از جمله بیماری‌های قلبی-عروقی و تنفسی بوده است.

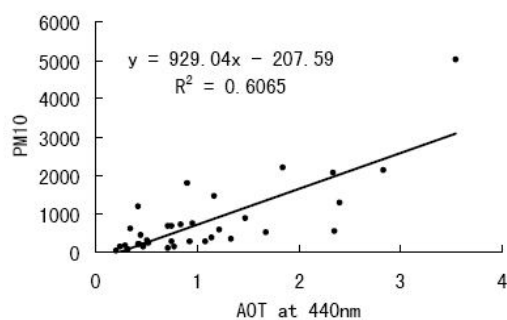
جین هوان و لی کوان (۲۰۰۰) رابطه بین دید و ستون کلی عمق نوری هواپزها را در ۵ شهر چین بررسی کرده‌اند. نتایج این تحقیق نشان داده است که در دو شهر مورد بررسی، همبستگی منفی بین دید و عمق نوری هواپزها در همه فصل‌های سال برقرار بوده در صورتی که در سه شهر دیگر همبستگی‌ها به صورت فصلی، متفاوت

دید که از سوی سکویرا و لای (۱۹۹۸) در هونگ کونگ صورت گرفته نشان داده است که بیشترین دید در فصل تابستان و کمترین آن در فصل زمستان رخ داده و ارتفاع لایه آمیخته یکی از عوامل هواشناسی مؤثر بر دید بوده است. همچنین نتایج تحقیقی که در جنوب تایوان صورت گرفته نیز روشن ساخته است که بهترین دید افقی در تابستان و بدترین آن در زمستان رخ داده است (یانگ و یوان، ۲۰۰۵). شکل ۲ این نتایج را نشان می‌دهد.

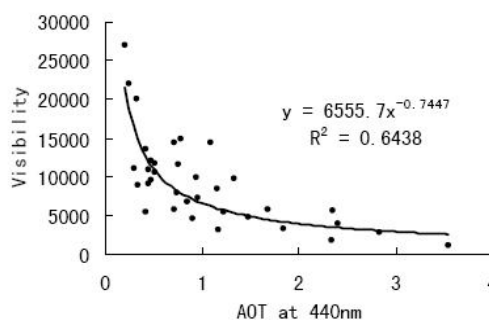
چنگ و تیسای (۲۰۰۰) تحقیقی را در مورد ویژگی‌های دید و هواپزها در تایوان به انجام رسانده‌اند. در این تحقیق، دید در مناطق شهری، حومه شهری ساحلی و دور از شهر بررسی و مقایسه شده است. نتایج به دست آمده، میانگین سالانه دید را در مناطق شهری، حومه شهری ساحلی و دور از شهر تایوان به ترتیب حدود ۸-۱۰، ۱۲ و ۲۵-۳۰ کیلومتر برآورد کرده است. همچنین مهم‌ترین عوامل هواشناسی مؤثر بر دید در مناطق شهری، سرعت باد محلی و در مناطق حومه شهری و دور از شهر، رطوبت نسبی بوده است.



شکل ۲. تغییرات فصلی دید در شهر کاهسیانگ در دوره زمانی نوامبر ۱۹۹۸ تا دسامبر ۲۰۰۱ (یانگ و یوان، ۲۰۰۵).



(ب)



(الف)

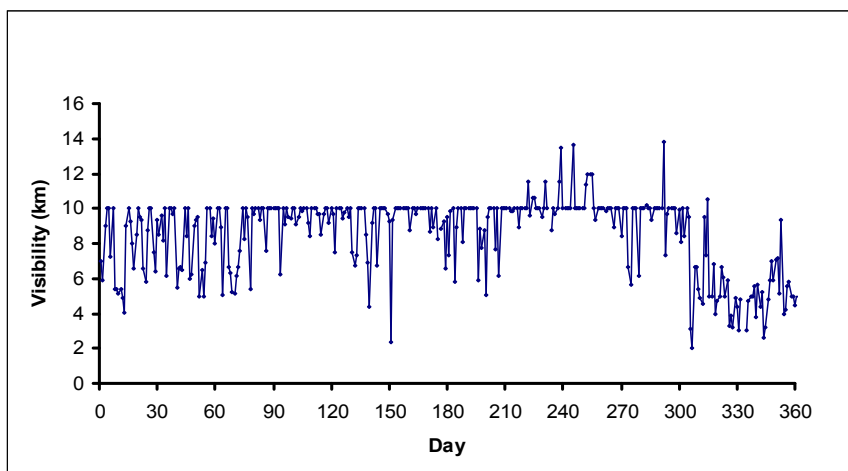
شکل ۳. نمودارهای روابط بین مقادیر میانگین روزانه ضخامت نوری هواویزها (AOT) در طول موج ۴۴۰ nm با (الف) دید برحسب متر و (ب) غلظت ذرات معلق  $PM_{10}$  برحسب  $\mu g/m^3$  (یان و همکاران، ۲۰۰۵).

در مقاله حاضر، مقادیر دید جوئی بررسی و با غلظت‌های آلاینده ذرات معلق هوا و پارامترهای هواشناسی مقایسه شده است. همچنین عوامل مؤثر بر کاهش دید به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته است.

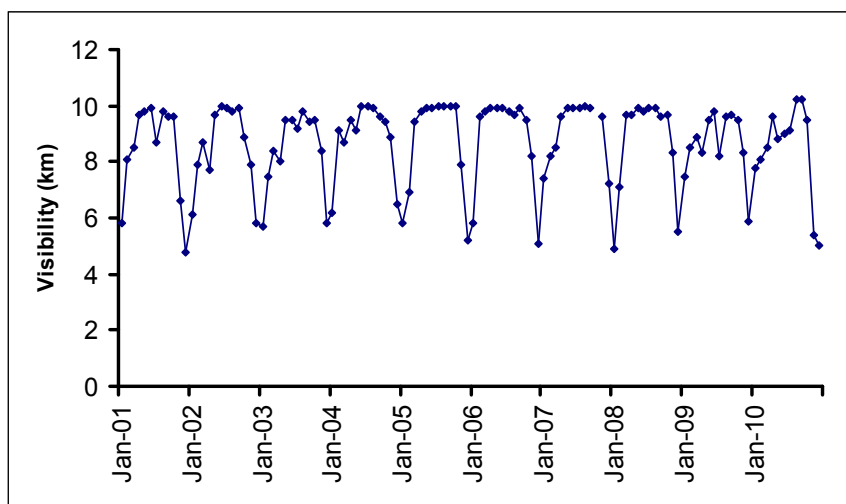
## ۲ روش تحقیق

در این تحقیق از داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک ژئوفیزیک تهران و داده‌های آلودگی هوای ذرات معلق  $PM_{10}$  ایستگاه سنجش آلودگی هوای ژئوفیزیک استفاده شده است. ایستگاه آلودگی هوای ژئوفیزیک وابسته به شرکت کنترل کیفیت هوای شهرداری تهران است.

بوده است. یان و همکاران (۲۰۰۵) تحقیقی را در مورد ویژگی‌های هواویزهای گرد و خاک در منطقه‌ای بیابانی در چین عملی ساختند. در این تحقیق، همبستگی بین ضخامت نوری هواویزها (AOT)، دید و غلظت ذرات معلق  $PM_{10}$  بررسی شده است. نتایج این تحقیق روشن ساخته که با افزایش مقادیر میانگین روزانه ضخامت نوری هواویزها در طول موج ۴۴۰nm، مقادیر میانگین روزانه دید کاهش می‌یابد. همچنین رابطه همبستگی مثبت خطی خوبی بین غلظت ذرات معلق  $PM_{10}$  و ضخامت نوری هواویزها در طول موج ۴۴۰nm برقرار بوده است. شکل ۳ این روابط را نشان می‌دهد.



شکل ۴. تغییرات مقادیر میانگین روزانه دید طی سال ۲۰۱۰ در ایستگاه ژئوفیزیک.

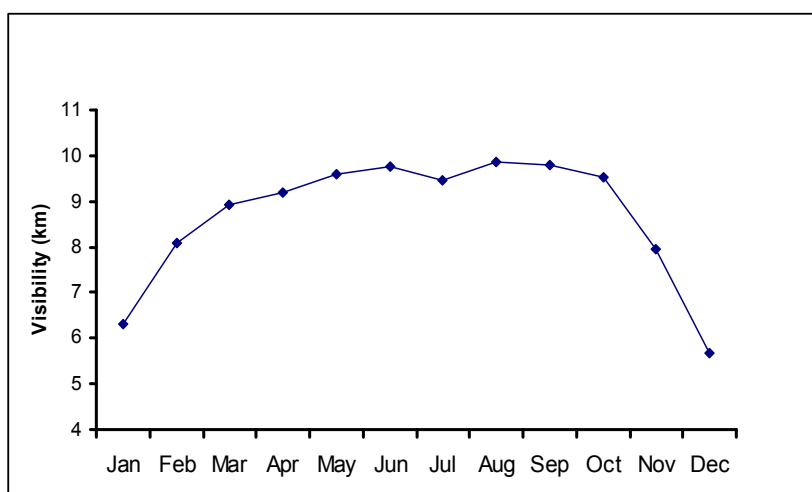


شکل ۵. تغییرات بلندمدت مقادیر میانگین ماهانه دید برای دوره سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۱۰ در ایستگاه ژئوفیزیک.

### ۳ بحث نتایج

ابتدا مقادیر ساعتی دید در ایستگاه ژئوفیزیک طی دوره سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۱۱ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی‌ها نشان داد که دید می‌تواند در برخی موارد به کمتر از ۱ کیلومتر و در برخی دیگر تا ۱۵ کیلومتر برسد. شکل (۴) مقادیر میانگین روزانه دید را برای سال ۲۰۱۰ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده

مشخصات جغرافیایی ایستگاه مؤسسه ژئوفیزیک عبارت‌اند از عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۴۱۹ متر از سطح دریا. ایستگاه سیار سنجش آلودگی هوا در حدود ژانویه ۲۰۰۷ در ایستگاه ژئوفیزیک راه‌اندازی شده است. دوره زمانی تحقیق از ابتدای سال ۲۰۰۱ تا ماه ژوئن ۲۰۱۱ را شامل می‌شود.



شکل ۶. تغییرات فصلی دید برای میانگین سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۱۰.

جدول ۱. مشخصات برخی نمونه‌های دید کمتر از ۳ کیلومتر در ایستگاه ژئوفیزیک.

تاریخ	دید جوی (km)	سرعت باد (m/s)	غلظت PM <sub>10</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	نسبت غلظت روزانه به میانگین ماهانه PM <sub>10</sub>	رطوبت نسبی (%)
۵ ژانویه ۲۰۰۷	۲	آرام (calm)	۱۲۰/۵	۱/۹	۶۰
۱۶ دسامبر ۲۰۰۷	۲/۵	آرام (calm)	۱۲۱/۲	۱/۶	۵۲
۱ ژانویه ۲۰۰۸	۲	آرام (calm)	۱۱۹/۶	۱/۸	۵۵
۱۲ ژانویه ۲۰۰۸	۲	آرام (calm)	۳۰/۹	۰/۵	۷۰
۲۵ ژانویه ۲۰۰۸	۲	آرام (calm)	۷۸/۹	۱/۲	۵۵
۲۴ دسامبر ۲۰۰۸	۱	۴	۲۰۴/۴	۱/۱	۷۰
۵ آوریل ۲۰۰۸	۲	۹	۲۶۰	۳/۴	۲۰
۳۰ دسامبر ۲۰۰۹	۱	۲	۹۳/۹	۱/۵	۵۶
۱۷ آوریل ۲۰۰۹	۲	۶	۲۸۰/۹	۴/۴	۲۲
۷ ژوئیه ۲۰۰۹	۲	۳	۳۹۲/۹	۲/۸	۲۲
۱۳ آوریل ۲۰۱۱	۲	۱۰	۱۲۱/۷	۲/۲	۱۷
۴ ژوئن ۲۰۱۱	۲	۲	۲۲۷	۲/۸	۲۲

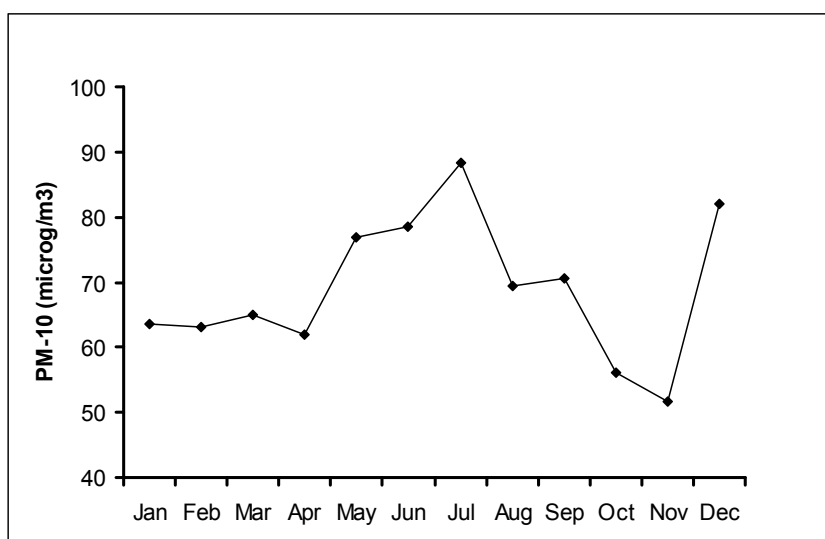
به خصوص ماه‌های دسامبر و ژانویه، پدیده‌های مه و بارش و غبار و در سایر فصل‌ها، پدیده غبار و توفان‌های گرد و خاک باعث کاهش دید می‌شوند، بنابراین در زمستان کمترین دید رخ می‌دهد. دیده‌های با مقادیر کم در فصل سرد بیشتر از فصل گرم رخ می‌دهند و بیشترین عامل تشکیل آن غبار است. به عبارت دیگر، در زمستان مهم‌ترین عامل در کاهش دید، هواویزها و پس از آن پدیده‌های مه و بارش‌اند. رخداد دید کمتر از ۳ کیلومتر در فصل سرد از نظر پارامتر هواشناسی رطوبت نسبی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی‌ها نشان داد که پدیده‌های غبار در رطوبت‌های نسبی بین ۲۰ تا ۸۰ درصد و پدیده‌های مه نیز در رطوبت‌های نسبی بیش از ۸۰ درصد و برخی بارش‌های مربوط نیز در رطوبت‌های نسبی بیش از ۶۰ درصد رخ می‌دهند. بنابراین در فصل سرد انتظار می‌رود با حذف موارد با رطوبت‌های نسبی بیش از ۶۰ درصد، دید افزایش یابد. این محاسبات مقایسه‌ای برای برخی ماه‌ها صورت گرفت. برای نمونه، در ماه دسامبر ۲۰۰۶، میانگین ماهانه دید ۵/۱ کیلومتر است که با در نظر گرفتن رطوبت‌های

می‌شود در این سال، محدوده تغییرات میانگین روزانه دید بین ۲ تا ۱۴ کیلومتر بوده و بیشترین بسامد مربوط به دید ۱۰ کیلومتر است. مقادیر میانگین ماهانه دید برای دوره ۱۰ ساله ۲۰۱۰-۲۰۰۱ محاسبه شد. شکل ۵ تغییرات بلندمدت این مقادیر را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تغییرات مقادیر میانگین ماهانه حدوداً بین ۵ تا ۱۰ کیلومتر است.

برای هر ماه بطور جداگانه نیز میانگین بلندمدت (۱۰ ساله) محاسبه شد. شکل ۶ این مقادیر ماهانه به دست آمده را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، دید دارای تغییرات فصلی بوده و کمینه آن در فصل زمستان (ماه دسامبر) با مقدار ۵/۷ کیلومتر و بیشینه آن در فصل تابستان (ماه اوت) با مقدار ۹/۹ کیلومتر رخ می‌دهد. میانگین فصلی دید برای دوره بلندمدت سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۱۰ برای فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب مقادیر ۹/۲، ۹/۷، ۹/۱ و ۶/۷ کیلومتر و میانگین سالانه ۸/۷ کیلومتر برآورد شد.

نتایج مقایسه مقادیر دید با پارامترهای مؤثر بر آن روشن ساخت که در ایستگاه ژئوفیزیک در فصل زمستان





شکل ۷. تغییرات فصلی ذرات معلق PM<sub>10</sub> برای میانگین ۳ ساله ۲۰۰۷-۲۰۰۹.

بهار مؤثر بوده‌اند. همبستگی بین مقادیر میانگین روزانه دید و غلظت ذرات معلق PM<sub>10</sub> برای کل سال ۲۰۰۹ بررسی شد. نتایج این بررسی‌ها نشان داد که همبستگی منفی بین آنها برقرار است و قوی‌ترین همبستگی‌ها در فصل‌های بهار و تابستان وجود دارد. ضرایب همبستگی برای فصل‌های بهار (مارس، آوریل) و تابستان (ژوئن، ژوئیه) به ترتیب مقادیر ۰/۵۴- و ۰/۸۶- برآورد شد. بهترین برازش‌ها بین دید و غلظت ذرات معلق، چندجمله‌ای درجه دوم به دست آمد. شکل ۸ این روابط را برای فصل‌های بهار و تابستان نشان می‌دهد.

جدول ۱ تاریخ وقوع و ویژگی‌های برخی از نمونه‌های این پدیده را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، غلظت آلاینده ذرات معلق PM<sub>10</sub> که باعث دید کم می‌شوند، در فصل‌های بهار و تابستان بیشتر از فصل سرد است. به عبارت دیگر در فصل سرد حتی گاهی اوقات،

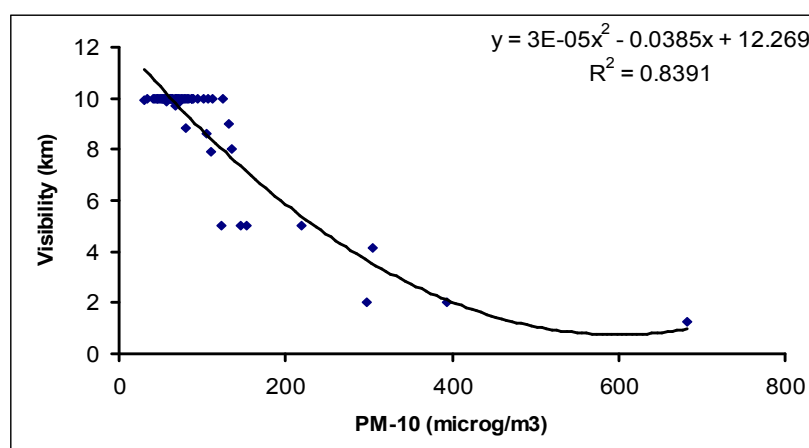
نسبی کمتر از ۶۰ درصد، به ۶/۵ کیلومتر افزایش می‌یابد. در ماه ژانویه ۲۰۰۸ نیز میانگین ماهانه دید از ۴/۸ کیلومتر به ۵/۸ کیلومتر افزایش می‌یابد.

به‌طور کلی پدیده‌های غبار که در طی سال باعث ایجاد دید ۳ کیلومتر و کمتر از آن می‌شوند با غلظت ذرات معلق PM<sub>10</sub> مقایسه شده و از نظر پارامتر هواشناسی سرعت باد بررسی شدند. شکل ۷ تغییرات میانگین ماهانه غلظت ذرات معلق PM<sub>10</sub> را برای میانگین ۳ ساله ۲۰۰۷-۲۰۰۹ در ایستگاه ژئوفیزیک نشان می‌دهد. مطابق شکل ۷ بیشینه فصلی ذرات معلق در ماه‌های ژوئیه و دسامبر رخ داده است. میانگین سالانه ذرات معلق PM<sub>10</sub> طی دوره ۳ ساله ۲۰۰۷-۲۰۰۹ مقدار ۶۸/۹  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  برآورد شد.

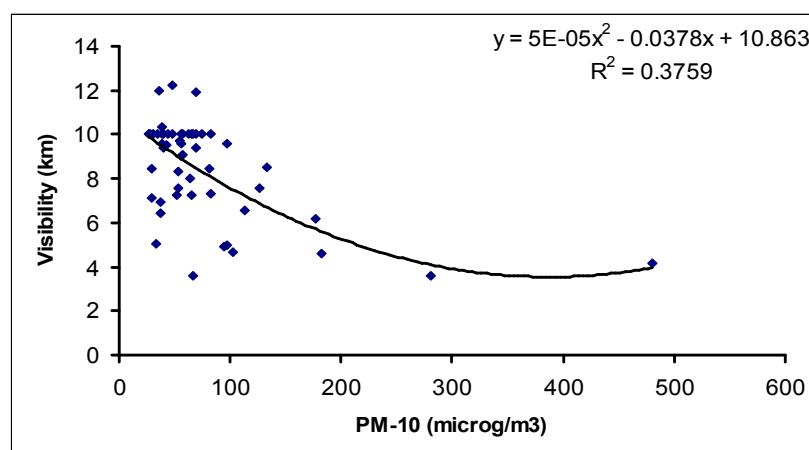
نتایج این بررسی‌ها روشن ساخت که بیشتر این پدیده‌ها در سرعت‌های کم باد و یا غلظت‌های زیاد ذرات معلق PM<sub>10</sub> رخ داده‌اند و در برخی موارد نیز سرعت‌های بسیار زیاد باد مانند توفان‌های گرد و خاک به‌خصوص در فصل

جدول ۲. مقادیر میانگین ماهانه بازده خاموشی جرم MEE طی سال ۲۰۰۹. واحد برحسب  $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$  است.

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
9.3	7.6	7.3	9.9	5.3	6.9	5.0	4.6	6.1	14.7	16.5	12.7



(الف)



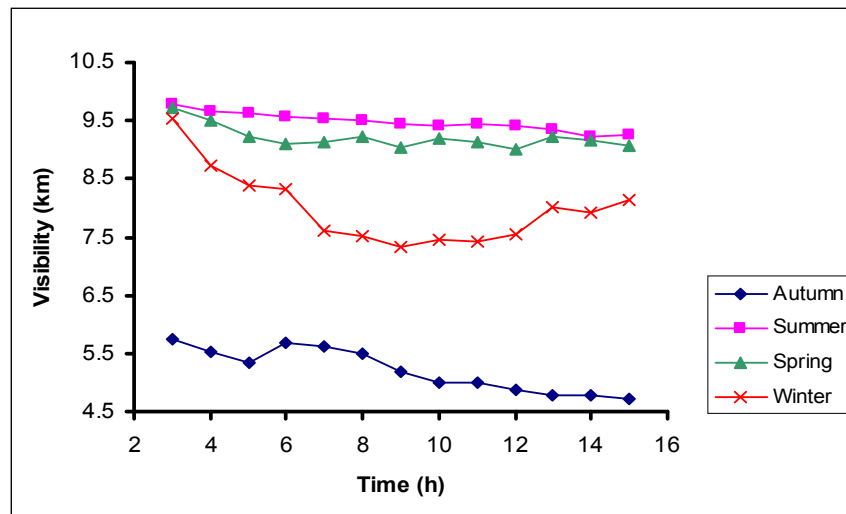
(ب)

شکل ۸. وابط چندجمله‌ای درجه دوم دید برحسب غلظت ذرات معلق  $PM_{10}$  برای (الف) تابستان (ماه‌های ژوئن - ژوئیه) و (ب) بهار (ماه‌های مارس - آوریل).

(هوامیزهای ثانویه) ، در صورتی که در فصل‌های بهار و تابستان بیشتر منشأ فرامحلی دارد و در اثر ریزگردهای ناشی از توفان‌های گرد و خاک ایجاد می‌شود (هوامیزهای اولیه).

تغییرات ساعتی دید طی روز مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۹ این تغییرات را برای میانگین‌های فصلی نشان می‌دهد. بررسی این تغییرات روشن ساخت که در ایستگاه ژئوفیزیک، اغلب بهترین دید در ساعت‌های اولیه صبح (مطابق ساعت‌های ۳-۵ UTC) رخ داده و در بعدازظهر دید کاهش می‌یابد. بسته به موقعیت ایستگاه، تغییرات ساعتی دید می‌تواند متفاوت باشد.

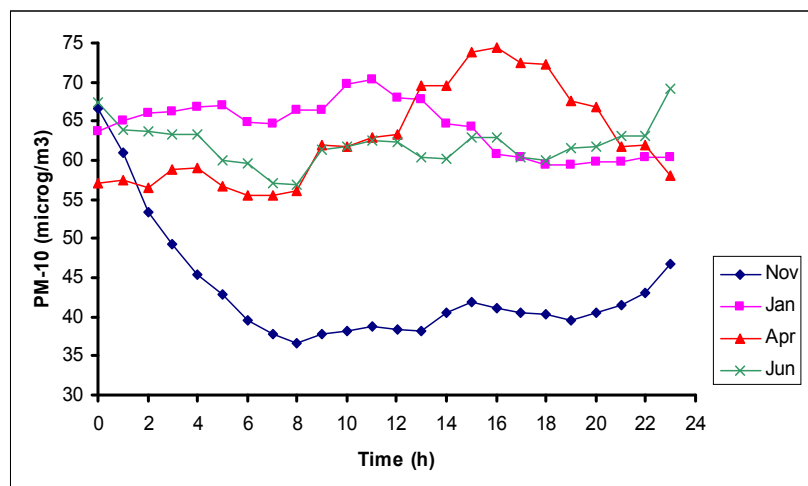
مقادیر کم غلظت ذرات معلق نیز در سرعت‌های کم باد و شرایط پایداری جو و کاهش عمق اختلاط، می‌تواند دید کمی ایجاد کنند. همچنین در فصل سرد، با افزایش رطوبت هوا، بزرگ شدن ذرات هوامیز در اثر جذب رطوبت هوا نیز عاملی برای کاهش دید است. در توفان‌های گرد و خاک و سرعت‌های زیاد باد (بیش از  $5 \text{ m/s}$ ) نیز مقادیر روزانه ذرات معلق  $PM_{10}$  به حدود ۴-۳ برابر میانگین ماهانه می‌رسد و دید را به مقادیر کم کاهش می‌دهد. به عبارت دیگر، هوامیزهای شهر تهران در فصل سرد، بیشتر منشأ محلی دارد و در اثر رفت و آمد وسایل نقلیه موتوری و فعالیت‌های صنعتی ایجاد می‌شود



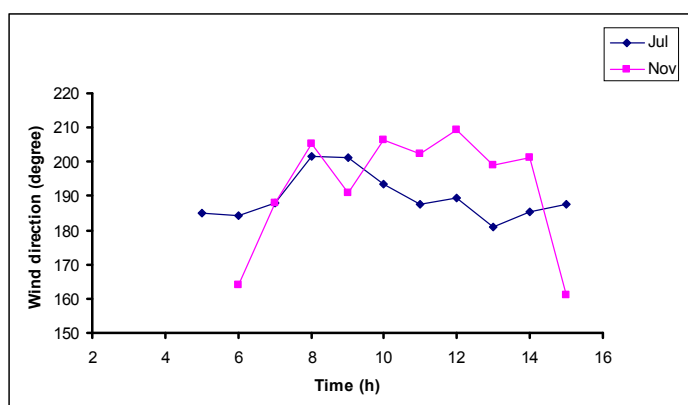
شکل ۹. تغییرات ساعتی دید برای میانگین‌های فصلی طی سال ۲۰۱۰. زمان به وقت UTC است.

بررسی جهت وزش باد در ایستگاه ژئوفیزیک نشان داد که معمولاً در طی روز جهت باد محلی، جنوبی و در ساعت‌های آغازین روز به‌خصوص در ماه‌های سرد، وضعیت آرام (calm) برقرار است. شکل ۱۱ جهت وزش باد در ایستگاه ژئوفیزیک را نشان می‌دهد. بنابراین با شروع صبح به‌تدریج وزش باد جنوبی دشت به کوه (آناباتیک) آغاز می‌شود و آلاینده‌ها از بخش‌های جنوبی

تغییرات ساعتی دید - با تغییرات ساعتی جهت و سرعت باد و غلظت آلاینده ذرات معلق  $PM_{10}$  مورد مقایسه قرار گرفت. شکل ۱۰ تغییرات ساعتی غلظت آلاینده ذرات معلق  $PM_{10}$  را برای نمونه‌هایی از فصل‌های گوناگون نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، معمولاً کمترین غلظت ذرات معلق در ساعت‌های اولیه صبح وجود دارد.



شکل ۱۰. تغییرات ساعتی غلظت ذرات معلق  $PM_{10}$  برای ماه‌های ژانویه، آوریل، ژوئن و نوامبر طی سال ۲۰۰۹ زمان به وقت محلی است.



شکل ۱۱. جهت باد سطحی در ایستگاه ژئوفیزیک برای میانگین ماه‌های ژوئیه و نوامبر ۲۰۱۰. زمان به وقت UTC است و در ساعت‌های ابتدایی روز برای ماه ژوئیه (۳-۴) و ماه نوامبر (۳-۵) وضعیت آرام (calm) برقرار است.

در ماه‌های ژوئن و سپتامبر (با مقدار  $0.4 \text{ km}^{-1}$ ) رخ داده است. همچنین پارامتر بازده خاموشی جرم MEE (mass extinction efficiency) نیز از رابطه (۶) برای همه روزهای ۲۰۰۹ محاسبه و سپس مقادیر میانگین ماهانه آن برآورد شد (سی و همکاران، ۲۰۰۵) و جدول (۲) این مقادیر ماهانه را نشان می‌دهد. مطابق جدول ۲ بیشینه فصلی MEE در ماه نوامبر (با مقدار  $16/5 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ) و کمینه آن در ماه اوت (با مقدار  $4/6 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ) مشاهده می‌شود. در رابطه (۶) منظور از  $PM_{10}$ ، غلظت آلاینده ذرات معلق  $PM_{10}$  است (در این رابطه  $PM_{10}$  برحسب  $\text{g m}^{-3}$  و  $\sigma_{ext}$  برحسب  $\text{m}^{-1}$  است).

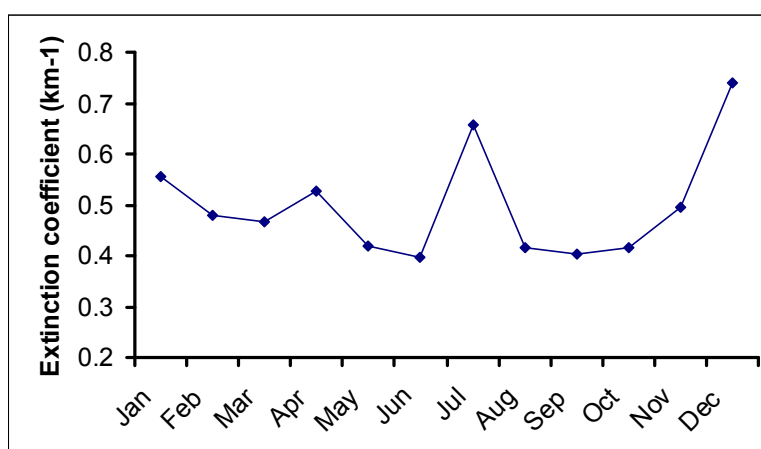
$$MEE = \sigma_{ext} / PM_{10} \quad (6)$$

شهر به شمال شهر انتقال می‌یابد و دید در ایستگاه کاهش پیدا می‌کند. یکی از عوامل بالا بودن دید در اوایل صبح نیز سبک بودن رفت و آمد وسایل نقلیه در این ساعت‌ها است.

پارامتر ضریب خاموشی (extinction coefficient) از فرمول Koschmieder (رابطه (۵)) برای همه روزهای سال ۲۰۰۹ محاسبه و سپس مقادیر میانگین ماهانه برآورد شد. در رابطه (۵) نشان‌دهنده دید است. شکل ۱۲ این تغییرات ماهانه را نشان می‌دهد.

$$\sigma_{ext} = 3.912/v \quad (5)$$

همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشینه فصلی ضریب خاموشی در ماه دسامبر (با مقدار  $0.74 \text{ km}^{-1}$ ) و کمینه آن



شکل ۱۲. تغییرات سالانه پارامتر ضریب خاموشی ( $\sigma_{ext}$ ) طی سال ۲۰۰۹.

## ۴ نتیجه گیری

در این تحقیق، داده‌های دید جوئی و عوامل مؤثر بر آن از قبیل مه، بارش و غبار در ایستگاه سینوپتیک ژئوفیزیک برای دوره ۱۰ ساله ۲۰۱۱-۲۰۰۱ بررسی شده است. طی دوره ۱۰ ساله، میانگین سالانه دید مقدار  $8/7$  کیلومتر و میانگین‌های فصلی آن برای فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب مقادیر  $9/2$ ،  $9/7$ ،  $9/1$  و  $6/7$  کیلومتر برآورد شد. کمترین دید افقی طی سال در ماه دسامبر ( $5/7$  کیلومتر) و بیشترین آن در ماه اوت ( $9/9$  کیلومتر) رخ می‌دهد. به بیان دیگر، بیشترین مقدار دید در تابستان و کمترین آن در زمستان رخ داده و این نتایج، مشابه نتایج به دست آمده از تحقیقات سکویرا و لای (۱۹۹۸) در هونگ کونگ و یانگ و یوان (۲۰۰۵) در تایوان است.

در فصل سرد، پدیده‌های مه، بارش و غبار و در سایر فصل‌ها، پدیده‌های غبار و توفان‌های گرد و خاک باعث کاهش دید می‌شوند. بسامد رخداد دید کمتر از ۳ کیلومتر در فصل سرد بیش از سایر فصل‌ها است و مهم‌ترین عامل آن پدیده غبار است. افزایش بسامد پدیده غبار در فصل سرد می‌تواند در اثر عوامل گوناگونی از قبیل غلظت‌های زیاد ذرات معلق  $PM_{10}$ ، پایداری هوا، سرعت‌های کم باد و کاهش عمق اختلاط صورت گیرد. همچنین در فصل سرد، با افزایش رطوبت هوا، بزرگ شدن ذرات هوامیز در اثر جذب رطوبت هوا نیز عاملی برای کاهش دید است. اغلب منشأ ذرات معلق در فصل سرد، محلی و در فصل‌های بهار و تابستان، فرامحلی است. به بیان دیگر، در فصل سرد، افزایش غلظت ذرات معلق بیشتر در اثر منابع داخل تهران مانند خودروها ایجاد می‌شود که اغلب از نوع هواویزهای ثانویه هستند. وجود غبار سفید در هوای محیط شهری نشانه این نوع هواویز است.

بررسی مقادیر دید کم از نظر پارامتر رطوبت نسبی هوا روشن ساخت که در فصل سرد، مقادیر میانگین ماهانه

دید، با در نظر گرفتن رطوبت‌های نسبی کمتر از ۶۰ درصد، ۱ تا ۲ کیلومتر افزایش می‌یابد.

میانگین سالانه ذرات معلق  $PM_{10}$  طی دوره ۳ ساله ۲۰۰۷-۲۰۰۹ مقدار  $68/9 \mu g/m^3$  برآورد شد و بیشینه فصلی ذرات معلق در ماه‌های ژوئیه و دسامبر رخ داده است. به طور کلی همبستگی منفی بین مقادیر روزانه دید و غلظت ذرات معلق  $PM_{10}$  برقرار است و قوی‌ترین این همبستگی‌ها در فصل‌های بهار و تابستان رخ می‌دهد. مقادیر این ضرایب همبستگی طی فصل‌های بهار و تابستان ۲۰۰۹ به ترتیب  $-0/54$  و  $-0/86$  برآورد شد. بهترین مدل‌های برآورد دید برحسب پارامتر غلظت ذرات معلق  $PM_{10}$  طی فصل‌های بهار و تابستان، و از چند جمله‌ای درجه دو به دست آمد.

بررسی تغییرات ساعتی دید طی روز نشان داد که در ایستگاه ژئوفیزیک، اغلب بهترین دید در ساعت‌های اولیه صبح رخ می‌دهد و به تدریج تا بعد از ظهر، دید کاهش می‌یابد. بررسی جهت وزش باد نشان داد که در ایستگاه ژئوفیزیک با شروع صبح به تدریج وزش باد جنوبی دشت به کوه (آناباتیک) آغاز می‌شود و آلاینده‌ها از مناطق جنوب شهر به شمال شهر انتقال می‌یابند و به تدریج دید کاهش پیدا می‌کند. همچنین سبک بودن رفت و آمد وسایل نقلیه در ساعت‌های اولیه صبح نیز می‌تواند یکی از عوامل مؤثر در این زمینه باشد.

پارامتر ضریب خاموشی (extinction coefficient) از رابطه Koschmieder برای همه روزهای سال ۲۰۰۹ محاسبه و سپس مقادیر میانگین ماهانه برآورد شد. نتایج این محاسبات روشن ساخت که بیشینه فصلی ضریب خاموشی در ماه دسامبر (با مقدار  $0/74 \text{ km}^{-1}$ ) و کمینه آن در ماه‌های ژوئن و سپتامبر (با مقدار  $0/4 \text{ km}^{-1}$ ) رخ داده است.

Information Science and Engineering (ICISE2009).

Huang, W., Tan, J., Kan, H., Zhao, N., Song, W., Song, G., Chen, G., Jiang, L., Jiang, C., Chen, R., and Chen, B., 2009, Visibility, air quality and daily mortality in Shanghai: China, *Science of The Total Environment*, **407**, 3295-3300.

Jinhuan, Q., and Liquan, Y., 2000, Variation characteristics of atmospheric aerosol optical depths and visibility in North China during 1980-1994: *Atmospheric Environment*, **34**, 603-609.

Jacob, D. J., 1999, *Introduction to Atmospheric Chemistry*: Princeton University Press Princeton, New Jersey, 274.

Yan, H., Jiao, M., Liu, G., and Li, X., 2005, Desert aerosol observation in the center of Takelamagan desert, *Geo science and Remote Sensing Symposium*, 2005. IGARSS '05. Proceedings. 2005 IEEE International, 25-29 July 2005.

Si, F. Q., Liu, J. G., Xie, P. H., Zhang, Y. J., Liu, W. Q., Kuze, H., Liu C., Lagrosas, N., and Takeuchi, N., 2005, Determination of aerosol extinction coefficient and mass extinction efficiency by DOAS with a flashlight source: *Chin. Phys.*, **14**, 2360-2364.

## منابع

Hyslop, N. P., 2009, Impaired visibility: the air pollution people see: *Atmospheric Environment*, **43**, 182-195.

Barthelmie, R. J., and Pryor, S. C., 1998, Implications of ammonia emissions for fine aerosol formation and visibility impairment: a case study from the lower Fraser valley, British Columbia: *Atmospheric Environment*, **32**, 345-352.

Sequeira, R., and Lai, K. H., 1998, The effect of meteorological parameters and aerosol constituents on visibility in urban Hong Kong: *Atmospheric Environment*, **32**, 2865-2871.

Yang, H. Y., and Yuan, C. S., 2005, Correlation of Atmospheric Visibility and Meteorological Factors in Southern Taiwan, the 98th A&WMA Annual Meeting, Minneapolis, June 21-24, 2005.

Cheng, M. T., and Tsai, Y. I., 2000, Characterization of visibility and atmospheric aerosols in urban, suburban, and remote areas: *Science of The Total Environment*, **263**, 101-114.

Xinqiang, F., Zhaobo, S., and Mingfeng, S., 2009, A new method to discern haze using meteorological parameters and air pollution factors: *The 1st International Conference on*