

## ارتباط آلاینده‌های شهری با دید افقی منطقه تهران در سال ۲۰۰۸

سمانه ثابت‌قدم<sup>۱\*</sup>، فرهنگ احمدی گیوی<sup>۲</sup>، یحیی گلستانی<sup>۳</sup> و عباسعلی علی‌اکبری بیدختی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری هواشناسی، گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار، گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

<sup>۳</sup> استادیار، گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

<sup>۴</sup> استاد، گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

(دریافت: ۹۱/۴/۴، پذیرش نهایی: ۹۲/۲/۲۴)

### چکیده

میدان دید در جو، علاوه بر عوامل طبیعی، متأثر از پراکنش و خاموشی نور در ذرات و مولکول‌های موجود در آن است. از این‌رو دید افقی و تغییرات آن یک نشانگر مشاهداتی ساده و خوب برای کیفیت هوا به شمار می‌رود. در مقاله حاضر، اثر غلظت آلاینده‌های جو شهری بر دید افقی منطقه جنوب غرب تهران در سال ۲۰۰۸ بررسی شده است. داده‌های استفاده شده در این مقاله، شامل دیدبانی‌های روزانه ایستگاه هواشناسی مهرآباد و غلظت آلاینده‌های جو در ایستگاه میدان آزادی در شهر تهران است. نتایج نشان می‌دهد که میزان غلظت آلاینده‌های جو در منطقه شهری تهران در مقایسه با دیگر شهرهای آلوده و پُرجمعیت دنیا بسیار بالاتر است. آلاینده‌های اصلی و مهم تأثیرگذار بر کاهش دید به ترتیب کربن مونوکسید، نیتروژن دی‌اکسید و سپس ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون هستند. نتایج بررسی ماهانه حاکی از آن است که در ماه‌های سرد سال، آلاینده‌های شهری نقش بارزتری در کاهش دید افقی دارند. بیشترین همبستگی منفی میان گوگرد دی‌اکسید و محدوده دیداری در فصل زمستان مشاهده شده است و بررسی دقیق‌تر نشان می‌دهد که میزان رطوبت نسبی جو، اثر تعیین‌کننده‌ای در چگونگی ارتباط انواع آلاینده‌ها، به‌جز کربن مونوکسید، با دید افقی دارد.

واژه‌های کلیدی: دید افقی، آلاینده‌های شهری، همبستگی، تهران

## The impact of urban air pollutants on atmospheric visibility in Tehran, 2008

Sabetghadam, S.<sup>1</sup>, Ahmadi-Givi, F.<sup>2</sup>, Golestani, Y.<sup>3</sup> and Aliakbari-Bidokhti, A. A.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. Student, Space Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

<sup>2</sup>Associate Professor, Space Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

<sup>3</sup>Assistant Professor, Space Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

<sup>4</sup>Professor, Space Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

(Received: 24 Jun 2012, Accepted: 14 May 2013)

### Summary

Atmospheric visibility has been defined as the greatest distance at which an observer can see a black object viewed against the horizon sky, which in quantitative terminology is known as visual range. Visibility, in the absence of special meteorological events (e.g. rain and fog), is an excellent indicator of air quality. Visibility impairment results from light scattering and absorption by atmospheric particles and gases that can originate from natural or anthropogenic sources. It is an important factor in everyday life mainly in aviation industry and surface traffic. Air pollution in big cities, which is a serious environmental problem, especially in developing countries, may cause remarkable visibility reduction.

Much of emphasis in the recent atmospheric visibility studies has been to establish the factors contributing to visibility reduction. Since the factors used to determine visibility impairment, including absorption and scattering of incoming light, depend on time and location, then it should be studied on local scale.

In this paper, the effect of different air pollutants on horizontal visibility is presented in the south-west of Tehran for 2008. Tehran is a highly industrialized and densely populated city in our region that is well-known for its air pollution problem. The data used in this study are based on midday measurements of meteorological quantities such as horizontal visibility distance, relative humidity, wind speed, present weather code, dew point and wet bulb temperature performed at Mehrabad synoptic station. Moreover, intensive measurements of particulate matter ( $PM_{10}$ ) and gaseous materials (e.g., CO,  $NO_2$ ,  $SO_2$ , and  $O_3$ ), carried out in Tehran-Azadi-Square station, were used for further analysis.

The monthly and annual changes in atmospheric visibility and air pollutant concentrations including  $SO_2$ ,  $NO_2$ , and  $PM_{10}$ , as well as their relationships with each other are studied. In order to focus mainly on the changes in visual air quality, the cases of visibility impairment that were concurrent with reports of fog, mist, precipitation or relative humidity of %90 or above were filtered from the visibility data using the present weather code that is a part of WMO synoptic coding system. Then both the yearly and monthly correlations between visibility and air pollutant concentrations were examined.

The results from regular measurements of air pollutant concentrations indicate that air pollution in Tehran is severe in comparison with other cities around the world. The results of regression analysis also show that the most correlated pollutants with visibility are CO and  $NO_2$  followed by  $PM_{10}$ . The fairly significant correlation between reduced visibility and  $NO_2$  concentration implies that the impact of primary emissions of  $NO_2$  and enhanced secondary pollutants, formed via photochemical processes in the atmosphere, that could not be ignored.

The monthly analysis of visibility shows that the cold season is the most affected one by air pollutants and the significant anti-correlation is found between visibility and  $SO_2$  in this season. More detailed analysis presents the significant role of relative humidity on the correlation of visibility and pollutants, especially on  $SO_2$ .

**Keywords:** Visibility, Atmospheric air pollutants, Correlation, Tehran

## ۱ مقدمه

در ذرات و مولکول‌های موجود در آن تغییر می‌کند. بنابراین دید، یک نشانگر مشاهداتی ساده و مناسب برای کیفیت هوا است (اسلوان، ۱۹۸۴). محدوده دید به صورت معکوس متناسب با ضریب خاموشی است. ضریب خاموشی نشانگر کسری از نور است که در واحد طول تضعیف می‌شود و جذب و پراکنش نور با ذرات و گازها مقدار این ضریب را مشخص می‌کند. ضریب خاموشی را می‌توان علاوه بر محاسبه با استفاده از روابط مشخص، از راه اندازه‌گیری با ابزار خاص نیز به دست آورد (فریدلندر،

میدان دید در هواشناسی، به دورترین فاصله‌ای گفته می‌شود که ناظری با دید عادی و در شرایط جوی مناسب قادر به تشخیص اجسام است. قدیمی‌ترین و رایج‌ترین تعریف از قابلیت دید در هواشناسی، توانایی مشاهده دورترین فاصله از یک جسم سیاه است که در برابر افق آسمان قرار دارد (هوروات، ۱۹۸۱). دید افقی یکی از کمیت‌های هواشناسی است که روزانه در ایستگاه‌های همدیدی اندازه‌گیری می‌شود. محدوده دیداری در جوی، علاوه بر عوامل طبیعی، تحت تاثیر پراکنش و خاموشی نور

نیتروژن، ترکیبات کربنی و ذرات معلق، همراه با عوامل هواشناختی به صورت دقیق بررسی شود (ژو و همکاران، ۲۰۰۵). واکنش‌های شیمیایی بین ذرات و گازهای جوئی به شدت وابسته به شرایط محیطی اند، زیرا می‌توانند تحت تاثیر تابش موج کوتاه خورشیدی، دمای هوا و رطوبت دستخوش تغییر شوند. علاوه بر واکنش‌های شیمیایی، فرایندهای پخش نیز در تغییر غلظت آلاینده‌ها نسبت به زمان و مکان نقش دارند. در برخی از پژوهش‌ها ارتباط بین جریان‌های جوئی و آلودگی هوا برای بعضی از آلاینده‌ها مانند اُزن (ادر و همکاران، ۱۹۹۴؛ کومری، ۱۹۹۲ و ۱۹۹۴) و نیتروژن دی‌اکسید (دیویس و کالکشتاین، ۱۹۹۰) نشان داده شده است.

توسعه فعالیت‌های گسترده صنعتی در طی چند دهه اخیر در ایران، همراه با افزایش جمعیت و مهاجرت به شهرهای بزرگ‌تر و همچنین افزایش مصرف انرژی، موجب روند صعودی شدید غلظت ذرات معلق و گازهای آلاینده جوئی و در نتیجه کاهش دید افقی در کلان‌شهرهای کشور، به ویژه تهران، شده است. با توجه به اهمیت موضوع و شرایط حاد از نظر میزان آلاینده‌های جوئی، اجرای هرگونه پژوهش در این زمینه ضروری است و نتایج آن می‌تواند برای مراکز علمی و اجرایی کشور مفید باشد؛ درحالی‌که کار تحقیقی منتشر شده‌ای در این خصوص در ایران وجود ندارد. هدف از تدوین مقاله حاضر، بررسی تغییرات ماهانه دید افقی، توزیع آلاینده‌های شهری و همچنین تعیین آلاینده‌های موثر در کاهش دید مربوط به سال ۲۰۰۸ در منطقه جنوب غرب تهران است. علت انتخاب این منطقه برای پژوهش، موقعیت مکانی خاص، تعداد جمعیت و فعالیت‌های صنعتی وسیع در آن است. سال ۲۰۰۸ نیز به این سبب انتخاب شده است که داده‌های موجود در این سال پوشش به نسبت کامل و دقت زیادی داشته‌اند. از سوی دیگر بررسی داده‌ها در ۱۰ سال اخیر نشان می‌دهد که در این

(۱۹۷۷).

به‌طور کلی، ذرات و گازهای آلاینده جوئی در اثر جذب و پراکندگی نور، میدان دید مناظر طبیعی را دچار تغییر می‌کنند. از این‌رو، بررسی و شناخت ذرات معلق و گازهای جوئی تاثیرگذار بر دید و همچنین اندرکنش جوئی و تابش، بسیار حائز اهمیت است و طراحی مدل‌های انتقال تابشی و طرحواره‌های تابشی در مدل‌های پیش‌بینی عددی نیز براساس این ضرورت صورت می‌گیرد. تاکنون نزدیک به ۳۰۰۰ آلاینده جوئی شناخته شده است که از این میان منابع سوختی، به‌ویژه وسایل نقلیه موتوری، حدود ۵۰۰ ترکیب متفاوت را گسیل می‌کنند (فراسر و همکاران، ۲۰۰۳). با وجود این، فقط ۲۰۰ نوع از این آلاینده‌ها به دقت مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به شواهد فراوانی که نشانگر اثر ذرات و گازهای جوئی بر سلامتی انسان‌ها از جمله بیماری‌های حاد تنفسی، سرطان، ناراحتی‌های قلبی و حتی روانی است، علاقه پژوهشگران به اجرای تحقیقات در این راستا دوچندان شده است (داکری و همکاران، ۱۹۹۳).

در تحقیقات گسترده اسلوان (۱۹۸۲a,b)، روش‌های تعیین روند دید ارزیابی و در این راستا، تاثیر عوامل هواشناختی بر روند دید نیز با استخراج داده‌ها هنگام بارش، وارونگی شبانه و رطوبت نسبی بالای ۹۰٪ در مناطق متفاوت بررسی شده است (برای نمونه، اسلوان، ۱۹۸۳ و ۱۹۸۴ در امریکا؛ دوپل و دورلینگ، ۲۰۰۲ در انگلستان). در برخی دیگر از پژوهش‌ها، تاثیر آلاینده‌ها نیز بر دید محلی مورد بررسی قرار گرفته است (هوروات، ۱۹۸۱؛ شیتچل و هوسار، ۲۰۰۱؛ تسای و همکاران، ۲۰۰۷؛ مولنار و همکاران، ۲۰۰۸؛ چنگک و همکاران، ۲۰۰۹). همان‌طور که ذکر شد، از آنجا که کاهش دید به عوامل متعدد بستگی دارد و موضوع پژوهشی بسیار پیچیده‌ای به‌شمار می‌رود، برای هر منطقه باید تاثیر آلاینده‌های گوناگون، از جمله ترکیبات حاوی گوگرد، اکسیدهای

سال تفاوت بین کمینه و بیشینه دید افقی در مقیاس سالانه نسبت به سال‌های پیش از آن مقدار بیشتری بوده است، به طوری که اختلاف شاخص دید خوب و بد در این سال، حدود ۱ کیلومتر بیش از سال‌های دیگر است.

## ۲ داده‌ها و روش کار

شهر تهران در جنوب رشته کوه البرز و محدوده طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی قرار دارد. میانگین سالانه دمای هوا در دوره ۵۰ ساله در ایستگاه هواشناسی مهرآباد تهران معادل ۱۷ درجه سلسیوس است. این مقدار در فصل تابستان ۲۵/۴ درجه سلسیوس و در زمستان ۶/۳ درجه سلسیوس است. باد غالب غربی و تندی متوسط آن در سال ۴/۶ متر بر ثانیه است. رطوبت نسبی در ماه‌های ژوئن و ژوئیه حدود ۲۵٪ و در ماه‌های ژانویه و دسامبر حدود ۶۴٪ است.

داده‌های استفاده شده در این مقاله، شامل دیدبانی‌های روزانه ایستگاه هواشناسی مهرآباد تهران (طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۱۹ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۱ دقیقه) از کمیت‌هایی نظیر میدان دید، کُد هوای حاضر، رطوبت نسبی، سمت و تندی باد و دماهای خشک و تر است. اطلاعات مربوط به ساعت ۱۲ گرینویچ در حکم داده‌های اصلی انتخاب شده است، زیرا مقادیر میان روز برای مطالعاتی از این قبیل بسیار مناسب‌تر هستند. مه تابشی صبحگاهی و رطوبت نسبی زیاد که ناشی از شرایط محلی است، تا اواسط روز از بین می‌رود و در نتیجه مقادیر میان روز می‌تواند نشانگر تراز دید منطقه باشد (لی، ۱۹۹۰). لازم به ذکر است که آزمایش‌های حساسیت‌سنجی برای یک دوره ۵۰ ساله نیز نشان می‌دهد که انتخاب ساعت‌های متفاوت روز از قبیل ۹ صبح یا ۳ بعدازظهر اثری بر نتایج حاصل ندارد.

در تحقیقات مربوط به دید، معمولاً داده‌های دید برحسب صدک‌ها بیان می‌شوند (اسلوان، ۱۹۸۲a,b، ۱۹۸۳ و ۱۹۸۴؛ شیتچل و هوسار، ۲۰۰۱؛ دوپل و دورلینگ، ۲۰۰۲). برای نمونه، صدک  $N$  برابر مقداری است که دید در  $N$  درصد از مواقع مساوی یا بیشتر از آن است. در بررسی تغییرات زمانی دید افقی از صدک‌های ۱۰، ۵۰ و ۹۰ دیدبانی‌های ماهانه استفاده می‌شود. صدک‌های ۱۰ و ۹۰ را به ترتیب برای نشان دادن بهترین و بدترین دیدها و صدک ۵۰ را در حکم نماینده دید یا دید میانه به کار می‌برند. کاربرد این روش با روش‌های سنتی متفاوت است (میلر و همکاران، ۱۹۷۲؛ چنگ و همکاران، ۱۹۹۷). در روش‌های سنتی، از کسر روزهایی استفاده می‌شود که دید در محدوده خاصی قرار دارد. واحد شاخص دید در روش کنونی کیلومتر یا متر، ولی در روش سنتی براساس درصد روز است. از آنجا که هدف اصلی این تحقیق، بررسی تغییرات دید عمدتاً در اثر آلودگی هوا است، استفاده از روش صدک‌ها کارآمدتر است. به علاوه، برای بررسی دقیق کیفیت هوای دیداری باید سعی کرد تا نقش عوامل هواشناختی منجر به کاهش دید، کمینه شود. بدین منظور، از پالایه‌ای استفاده می‌شود که روزهای همراه با گزارش انواع بارش، مه و رطوبت نسبی بیش از ۹۰٪ از سری داده‌ها حذف شوند (اسلوان، ۱۹۸۴). حذف رطوبت نسبی بیش از ۹۰٪ به این علت است که سطح مقطع پراکنش نور توسط ذرات سولفات آمونیوم در این شرایط نسبت به ذرات در حالت خشک پنج برابر است (مالم و دی، ۲۰۰۱).

دسته دیگر داده‌های استفاده شده در این پژوهش شامل غلظت آلاینده‌های شهری از جمله نیتروژن دی‌اکسید ( $NO_2$ )، گوگرد دی‌اکسید ( $SO_2$ )، کربن مونوکسید ( $CO$ ) و ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون ( $PM_{10}$ ) در حکم آلاینده‌های اولیه و اُزن ( $O_3$ ) به منزله آلاینده ثانویه است. به‌طور کلی، آلاینده‌های تهران از دو

میانگین ماهانه نیتروژن دی‌اکسید در ماه فوریه ( $174 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) و کمینه آن در ماه اکتبر ( $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) رخ می‌دهد. آلایندہ کربن مونوکسید نیز شرایط مشابهی دارد و بیشترین مقادیر آن مربوط به دسامبر و کمترین آن مربوط به ژوئیه است. در مورد  $\text{PM}_{10}$ ، بیشینه و کمینه به ترتیب در مارس و نوامبر دیده می‌شود. در میان آلایندہ‌های شهری، ازن دارای روند نسبتاً متفاوتی است و بیشترین مقادیر ازن در فصل تابستان وجود دارد که ارتباط مستقیم این آلایندہ با دما را نشان می‌دهد. غلظت میانگین ازن دارای بیشینه در ماه ژوئیه ( $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) و کمینه در ماه ژانویه ( $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) است. زیاد بودن غلظت ازن در ژوئیه به علت تشدید فرایند فوتوشیمیایی و وجود شرایط جوئی مطلوب است. در مقیاس فصلی نیز، کمینه غلظت ازن در فصل زمستان مشاهده شده که ناشی از کاهش شدت تابش خورشیدی و افزایش تولید عناصر کاهنده در این فصل است. در فصل بهار، غلظت ازن افزایش یافته و پس از رسیدن به بیشینه در تابستان، در پاییز مجدداً کاهش می‌یابد. غلظت ازن اندازه‌گیری شده در تهران در مقایسه با مقادیر به‌دست آمده در شهرهای امریکا، مکزیک، اروپا، چین و تایوان (اولتمانس و لوی، ۱۹۹۴؛ آنجا و همکاران، ۱۹۹۹؛ لو و همکاران، ۲۰۰۰؛ وانگ و همکاران، ۲۰۰۰) مقادیر کمتری داشته ولی قابل مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده در شهرهای مصر است (المینیر، ۲۰۰۵). با وجود این، اندازه‌گیری‌های دقیق‌تر برای درک فرایندهای شکل‌گیری ازن لازم است.

الگوی تغییرات شبانه‌روزی ازن در شکل ۲-الف آمده است که با غلظت بیشینه در بعدازظهر و کمینه در اوایل صبح همراه است. افزایش ازن در هنگام روز ناشی از فوتو اکسایش گازهایی مانند کربن مونوکسید، متان و هیدروکربن‌ها در حضور نیترات‌ها است. از آنجا که تهران یک منطقه شهری به‌شمار می‌رود، غلظت نیترات‌ها برای

منبع ساکن و متحرک تولید می‌شوند که عامل هر دو آنها احتراق سوخت‌های فسیلی است. این منابع شامل کارخانه‌ها، کارگاه‌ها، فرودگاه‌ها، نیروگاه‌ها، پالایشگاه‌ها، وسایل نقلیه موتوری و وسایل گرمای تجاری و خانگی هستند. عمده‌ترین آلایندہ‌های شهری در تهران ناشی از سوخت ناقص وسایل نقلیه موتوری است که بین ۷۰ تا ۸۰ درصد آلودگی هوای تهران را تشکیل می‌دهد (شفیع‌پور، ۱۳۷۹). اندازه‌گیری و گزارش آلایندہ‌های جوئی به صورت روزانه و هر ساعت یک‌بار از سوی سازمان محیط زیست در حدود ۲۰ ایستگاه در شهر تهران صورت می‌گیرد که با توجه به خصوصیات منطقه از جنبه ترافیک، مسکونی و صنعتی بودن، هر ایستگاه خصوصیت ویژه‌ای دارد. از این داده‌ها عموماً برای محاسبه شاخص کیفیت هوا استفاده می‌شود. فاصله ایستگاه هواشناسی تا محل ایستگاه سنجش آلایندہ‌ها حدود ۵۰۰ متر است. بررسی‌های صورت گرفته در این تحقیق براساس اندازه‌گیری غلظت آلایندہ‌های جوئی در ایستگاه میدان آزادی تهران در سال ۲۰۰۸ است و از داده‌های میانگین ساعت ۳ تا ۴ محلی استفاده شده است تا با داده‌های دید افقی ایستگاه هواشناسی تقریباً هم‌زمان باشد.

### ۳ تحلیل نتایج

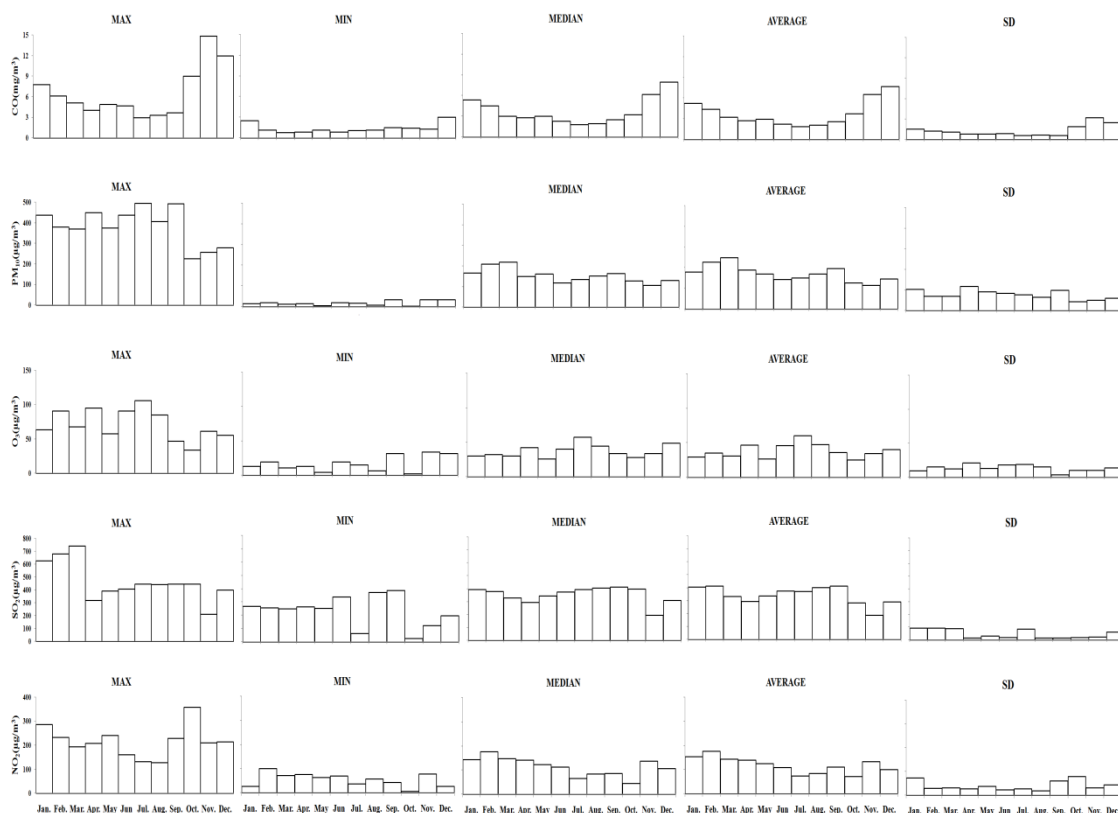
#### ۱-۳ تغییرات زمانی آلایندہ‌های جوئی

مقادیر ماهانه بیشینه، کمینه، میانه، میانگین و انحراف معیار آلایندہ‌های شهری در منطقه مورد بررسی مربوط به سال ۲۰۰۸ در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشترین میانگین غلظت آلایندہ‌های شهری، به جز ازن، معمولاً در ماه‌های زمستان رخ داده است. این مسئله به علت دمای کم، پدیده وارونگی و عمق کم لایه آمیخته در زمستان است. میانگین ماهانه گوگرد دی‌اکسید دارای کمینه‌ای برابر  $186 \mu\text{g}/\text{m}^3$  در نوامبر و بیشینه‌ای برابر  $412 \mu\text{g}/\text{m}^3$  در ماه فوریه است. بیشینه

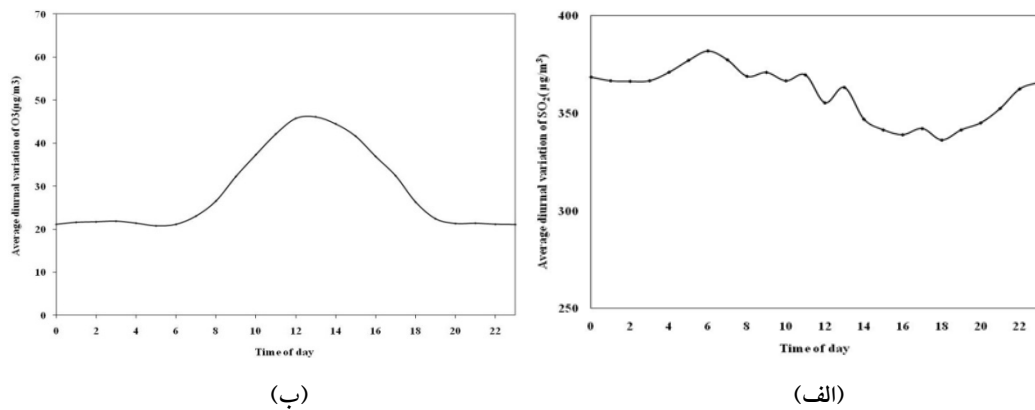
هنگام شب، با کاهش عمق لایه آمیخته، عکس این فرایند صورت می‌گیرد. بنابراین در اوایل صبح به علت تمرکز این آلاینده در نزدیک سطح، غلظت زیادی مشاهده می‌شود. البته نقش ساعت‌های اوج ترافیک نیز باید در این نوسان‌ها در نظر گرفته شود (الحسینی و شارویم، ۲۰۰۲). در جدول ۱، میزان میانگین سالانه غلظت آلاینده‌های  $PM_{10}$ ،  $SO_2$  و  $NO_2$  حاصل از پژوهش کنونی برای تهران با مقادیر به دست آمده برای برخی از شهرهای دنیا مقایسه شده است. غلظت میانگین سالانه  $PM_{10}$  ( $189 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ )،  $SO_2$  ( $0.367 \text{mgr}/\text{m}^3$ ) و  $NO_2$  ( $0.12 \text{mgr}/\text{m}^3$ ) مربوط به این پژوهش تا حدودی با مقادیر مربوط به برخی شهرهای آلوده چین از جمله فوشان، گوانگجو و پکن قابل مقایسه است ولی به میزان قابل توجهی از برخی از شهرهای آسیا، اروپا و امریکا بیشتر است.

واکنش تولید ازن کافی است و در چرخه فوتو اکسایش، کربن مونوکسید می‌تواند تبدیل به ازن شود. چرخه شبانه‌روزی ازن در بازه یک‌ساله نیز مانند شکل ۲-الف نوسان دارد (المینیر، ۲۰۰۵).

آلاینده‌های نیتروژن دی‌اکسید، گوگرد دی‌اکسید و کربن مونوکسید، عموماً از سوخت‌های فسیلی وسایل نقلیه موتوری تولید می‌شوند و در چرخه شبانه‌روزی، این آلاینده‌ها در ساعت‌های اوج ترافیک بیشینه مقدار خود را دارند. برای نمونه، الگوی تغییرات شبانه‌روزی گوگرد دی‌اکسید در شکل ۲-ب نشان داده شده است. وجود مقدار بیشینه در هنگام صبح می‌تواند به علت فرایندهای شکل‌گیری لایه مرزی باشد. هنگام ظهر، به سبب ضخامت زیاد لایه آمیخته، محدوده بیشتری برای آمیختگی وجود دارد و در نتیجه از غلظت این آلاینده کاسته می‌شود. در



شکل ۱. تغییرات ماهانه بیشینه، کمینه، میان، متوسط و انحراف معیار غلظت آلاینده‌های شهری در ایستگاه میدان آزادی در سال ۲۰۰۸.



شکل ۲. تغییرات شبانه‌روزی غلظت آزن (الف) و گوگرد دی‌اکسید (ب) در ایستگاه میدان آزادی در سال ۲۰۰۸.

جدول ۱. مقایسه غلظت میانگین سالانه آلاینده‌های ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون، گوگرد دی‌اکسید و نیتروژن دی‌اکسید مربوط به پژوهش حاضر با شهرهای فوشان (ون و همکاران، ۲۰۱۱)، سنول (بخش کنترل کیفیت هوای سنول، ۲۰۰۶)، گوانگجو (ون و همکاران، ۲۰۱۱)، پکن (اداره حفاظت محیط زیست پکن، ۲۰۰۷)، دوبلین (آژانس حفاظت محیط زیست ایرلند، ۲۰۰۷)، توکیو (اداره کار توکیو، ۲۰۰۷)، لوس آنجلس (بخش مدیریت کیفیت هوای سواحل جنوبی، ۲۰۰۷) و شانگهای (اداره حفاظت محیط زیست شانگهای، ۲۰۰۷). مقدار غلظت میانگین سالانه برای ساعت ۱۲ UTC که در پژوهش حاضر به کار رفته نیز با دیگر مقادیر قابل مقایسه است.

دوره بررسی	PM <sub>10</sub> (µgr/m <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> (mgr/m <sup>3</sup> )	NO <sub>2</sub> (mgr/m <sup>3</sup> )	
۲۰۰۸	۱۸۹	۰/۳۶۷	۰/۱۲	پژوهش حاضر
۲۰۰۶	۷۹	۰/۱۹۷	۰/۱۳	فوشان
۲۰۰۵	-	۰/۰۱۳	۰/۰۶۴	سنول
۲۰۰۶	۱۳۴	۰/۱۳۸	۰/۰۹۳	گوانگجو (۲ سایت)
۲۰۰۶	۱۶۱	۰/۰۵۳	۰/۰۶۶	پکن
۲۰۰۶	۱۸	۰/۰۰۳	۰/۰۲۸	دوبلین
۲۰۰۶	۲۹	۰/۰۱۴	۰/۰۹۳	توکیو
۲۰۰۶	-	۰/۰۰۵	۰/۰۵۴	لوس آنجلس
۲۰۰۶	۸۶	۰/۰۵۱	۰/۰۵۵	شانگهای
۲۰۰۸	۱۶۹	۰/۳۴۳	۰/۱۲	پژوهش حاضر (در ساعت ۱۲ UTC)

۳-۲ ارتباط آلاینده‌ها با دید افقی

برازش‌های دیگر، ضریب همبستگی بیشتری دارد (R<sup>2</sup>=۰/۲۷). میدان دید در ماه‌های دسامبر و ژانویه دارای کمترین مقادیر و میانگین حدود ۳ کیلومتر است. نتیجه کاربست پالایه هواشناسی بر سهمی برازش شده به تغییرات روزانه دید افقی نیز در شکل ۳-ب مشاهده

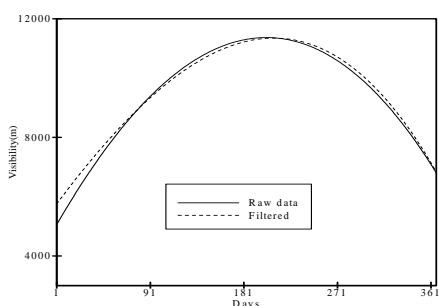
در شکل ۳-الف، تغییرات روزانه و میانگین متحرک ماهانه دید افقی ایستگاه همدیدی مهرآباد تهران در سال ۲۰۰۸ آمده است. بهترین منحنی برازش شده به داده‌های سالانه دید، منحنی سهمی شکل است که در مقایسه با

می‌شود. با توجه به شکل، بیشترین تاثیر پالایه در ماه‌های زمستان بوده است و در روزهای دیگر سال تاثیر چندانی ندارد. با اعمال این پالایه بر داده‌های دید و حذف روزهای همراه با گزارش انواع بارش، مه و رطوبت نسبی بالای ۹۰ درصد، می‌توان گفت که تنها علت کاهش دید افقی، تغییر غلظت آلاینده‌های جوئی است.

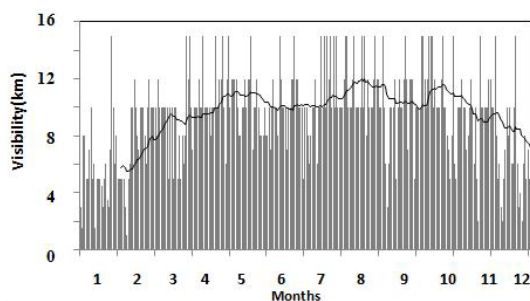
شکل ۴ تغییرات ماهانه دیدهای میانه، خوب و بد در ایستگاه هواشناسی مهرآباد تهران را با استفاده از پالایه هواشناسی نشان می‌دهد. هر سه شاخص دید در ماه‌های دسامبر و ژانویه دارای کمترین مقدار بوده و کمترین آستانه دید برای دیدهای میانه، خوب و بد به ترتیب برابر ۵، ۹ و حدود ۳ کیلومتر است.

اثر غلظت آلاینده‌های جوئی بر شاخص‌های دید افقی ضعیف، میانه و خوب برای سال ۲۰۰۸ در جدول ۲

خلاصه شده است. بررسی نتایج نشانگر آن است که بیشترین میانگین غلظت کربن مونوکسید، ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون، گوگرد دی‌اکسید و نیتروژن دی‌اکسید مربوط به دیدهای ضعیف است. غلظت نیتروژن دی‌اکسید و ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون ( $PM_{10}$ ) در دیدهای خوب کمتر و در دیدهای ضعیف بیشتر است که این موضوع بیانگر تاثیر این دو نوع آلاینده در تغییرات دید است. به طور کلی، آلاینده‌های فوق، به جز ازن سطحی، در دیدهای کم دارای بیشترین مقدار هستند، اما در دیدهای میانه و خوب تغییر قابل توجهی نشان نمی‌دهند. ازن تنها آلاینده‌ای است که در دیدهای خوب و میانه مقدار بیشتری نسبت به دیدهای ضعیف دارد. وجود رابطه معکوس بین ازن و دید افقی در پژوهشی که در این زمینه در امریکا صورت گرفته است نیز مشاهده می‌شود (آنجا و همکاران، ۲۰۰۴).



(ب)



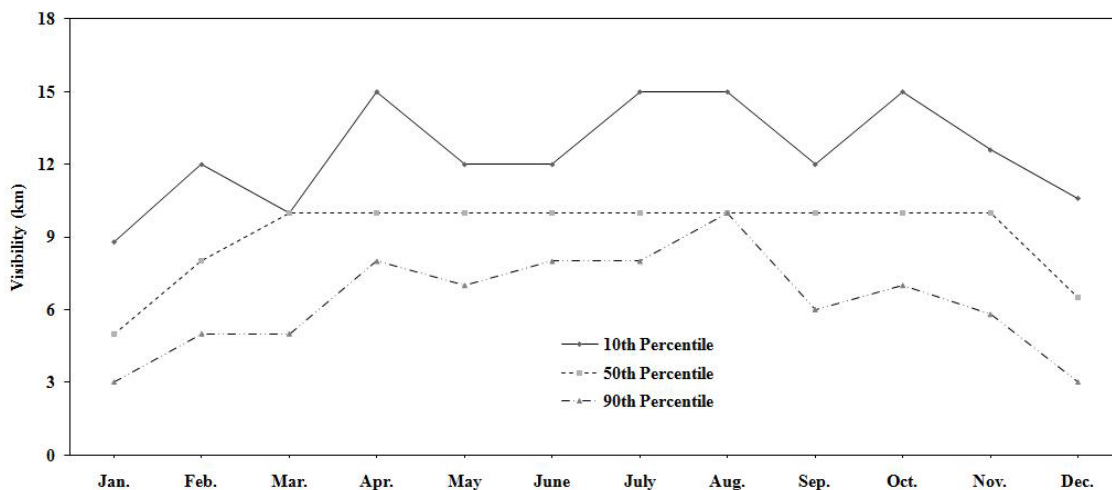
(الف)

شکل ۳. الف) تغییرات روزانه و میانگین متحرک ۳۰ روزه (ماهانه) دید افقی و (ب) سهمی برازش شده به داده‌های دید افقی کلیه روزها (خط پیوسته) و روزهای پالایده (خط چین) برای ایستگاه همدیدی مهرآباد در سال ۲۰۰۸.

جدول ۲. غلظت میانگین آلاینده‌ها براساس شاخص‌های دید ضعیف، متوسط و خوب در سال ۲۰۰۸.

CO( $mg/m^3$ )	PM <sub>10</sub> ( $\mu gr/m^3$ )	O <sub>3</sub> ( $\mu gr/m^3$ )	SO <sub>2</sub> ( $\mu gr/m^3$ )	NO <sub>2</sub> ( $\mu gr/m^3$ )	
۵	۲۰۷	۳۱	۳۶۷	۱۴۷	دید ضعیف
۳	۱۶۴	۳۹	۳۲۹	۱۱۴	دید میانه
۳	۱۲۵	۳۹	۳۳۲	۹۳	دید خوب





شکل ۴. تغییرات ماهانه دیدهای افقی میانه، خوب و بد در ایستگاه همدیدی مهرآباد در سال ۲۰۰۸.

فوتوشیمیایی به ذرات ثانویه تبدیل می‌شود (مایر، ۱۹۹۹). بنابراین غلظت زیاد  $\text{NO}_2$  (همراه با  $\text{O}_3$ ) حاکاکی از وجود ذرات ثانویه و بسیار ریز است که تاثیر مهمی در کاهش دید دارد. همبستگی دید با کربن مونوکسید ( $0/44$ ) و  $\text{NO}_2$  ( $0/36$ ) نیز بیانگر نقش اساسی ذرات ثانویه است. همچنین، وجود ارتباط معنی دار میان  $\text{PM}_{10}$  و دید ( $0/26$ ) اثر قابل توجه ذرات در کاهش دید را نشان می‌دهد که در برخی از تحقیقات دیگر مشاهده شده است (تسای و همکاران، ۲۰۰۷). نتایج به دست آمده در مناطق گوناگون جهان در این خصوص بسیار متنوع است؛ برای مثال در پژوهشی که در هنگ کنگ صورت گرفته است، هیچ همبستگی میان دید و  $\text{PM}_{10}$  در آن منطقه وجود ندارد و علت اصلی کاهش دید، ناشی از آلاینده‌های  $\text{O}_3$ ، نیتروژن دی‌اکسید و گوگرد دی‌اکسید است.

بررسی نتایج ماهانه در جدول ۳ حاکی از آن است که بین گوگرد دی‌اکسید و میزان دید افقی، همبستگی معنی دار در ماه‌های دسامبر، فوریه و مه وجود دارد و این همبستگی به خصوص در فوریه بسیار قابل توجه است. در ماه‌های دیگر سال هیچ ارتباط معنی داری بین این

برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر و تعیین رابطه بین آلاینده‌های شهری و دید افقی، می‌توان از تحلیل همبستگی ماهانه استفاده کرد. جدول ۳ ماتریس همبستگی بین دید افقی و آلاینده‌ها شامل کربن مونوکسید، ذرات معلق با قطر کمتر از  $10 \mu\text{m}$ ،  $\text{O}_3$ ، گوگرد دی‌اکسید و نیتروژن دی‌اکسید به طور میانگین سالانه و میانگین ماه‌های متفاوت سال ۲۰۰۸ را نشان می‌دهد. بررسی نتایج سالانه بیانگر آن است که دید افقی دارای همبستگی معنی دار و منفی در سطح اعتماد  $0/01$  با  $\text{CO}$ ،  $\text{NO}_2$  و  $\text{PM}_{10}$  است؛ در صورتی که میان دید افقی و  $\text{SO}_2$  و  $\text{O}_3$  همبستگی معنی داری وجود ندارد. به بیان دیگر، این نتایج نقش قابل توجه ذرات در پراکنش نور را نشان می‌دهند. نه تنها گسیل مستقیم ذرات، بلکه گسیل اکسیدهای نیتروژن و کربن مونوکسید نیز که طی فرایند اکسایش به آلاینده‌های ثانویه تبدیل می‌شوند، از عوامل کاهش دید افقی به شمار می‌روند (لینسپرگر و همکاران، ۲۰۱۱). کربن مونوکسید در اثر اکسایش تبدیل به هواپزهای آلی (ذرات ریز) می‌شود (دوچرتی و همکاران، ۲۰۰۸). نیتروژن دی‌اکسید نیز علاوه بر اینکه جاذب خوبی برای نور آبی است (سینفیلد و پاندیس، ۱۹۹۷)، در اثر اکسایش و فرایندهای

درصد، بین ۴۰ تا ۵۰ درصد، بین ۵۰ تا ۶۰ درصد و بالای ۶۰ درصد دسته‌بندی و ضریب همبستگی آلاینده‌ها با دید افقی برای دسته‌های متفاوت محاسبه و نتایج در جدول ۴ آورده شده است. با توجه به جدول، مشاهده می‌شود که اغلب آلاینده‌ها در شرایط مرطوب، تاثیر بیشتری بر دید افقی دارند. این نتیجه، به‌ویژه در مورد گوگرد دی‌اکسید بسیار چشمگیر است. گوگرد دی‌اکسید منتشر شده از سوخت‌های فسیلی و منابع دیگر، در فرایند اکسایش به گاز سولفوریک اسید ( $H_2SO_4$ ) تبدیل می‌شود. میل ترکیبی گاز سولفوریک اسید با آب بسیار زیاد است و از این رو به‌سرعت با بخار آب موجود در هوا واکنش نشان می‌دهد (بوهرن و هافمن، ۱۹۸۳؛ سینفیلد و پانديس، ۱۹۹۷). این گاز دارای فشار بخار اشباع کم روی محلول  $H_2SO_4-H_2O$  است و در هر شرایط جوی پس از فرایند میعان تبدیل به ذرات سولفات مایع می‌شود (ژاکوب، ۱۹۹۹؛ خودر، ۲۰۰۲). در شرایط با رطوبت نسبی زیاد، به علت جذب رطوبت تدر ذرات و رشد ابعادشان، سطح مقطع پراکنش نور نیز افزایش می‌یابد که این در کاهش میزان دید افقی تاثیرگذار است (سینفیلد و پانديس، ۱۹۹۷؛ مالم و دی، ۲۰۰۱). وجود همبستگی زیاد بین دید افقی و گوگرد دی‌اکسید در شرایط با رطوبت نسبی بیش از ۵۰٪ نشانگر آن است که بخار آب موجود در جو احتمالاً می‌تواند در تبدیل گوگرد دی‌اکسید به ذرات سولفات تاثیرگذار و در نتیجه تبدیل گاز به ذره، اثر آن در کاهش دید مشهودتر باشد. این تغییرات تا حدودی برای نیتروژن دی‌اکسید نیز وجود دارد. اثر مشابهی از رطوبت در مورد ذرات معلق و ازن نیز مشاهده می‌شود. نکته قابل توجه دیگر، حساس نبودن آلاینده کربن مونوکسید به رطوبت است؛ بدین معنی که رفتار منظمی در رطوبت‌های متفاوت به چشم نمی‌خورد.

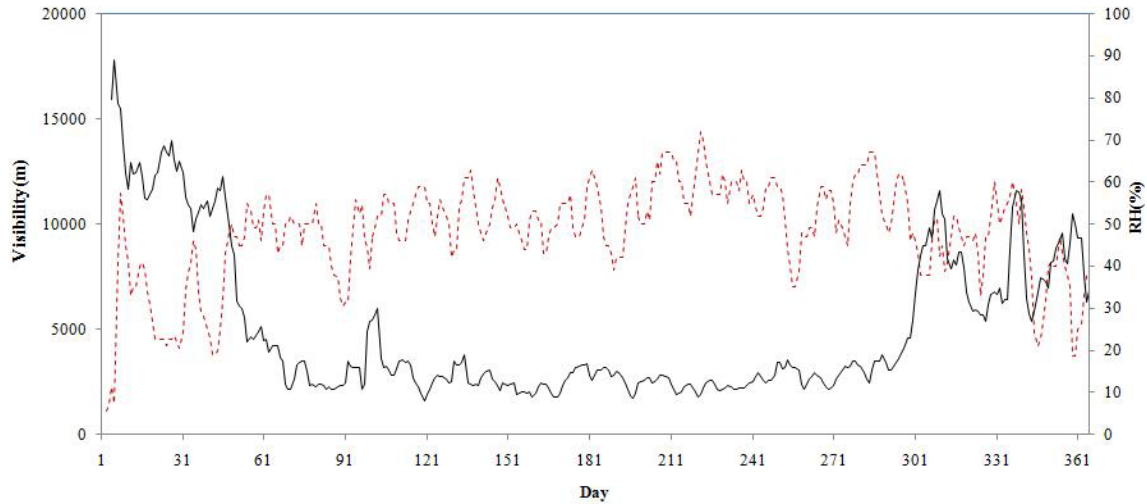
دو کمیت دیده نمی‌شود. نیتروژن دی‌اکسید با دید افقی در ماه‌های سپتامبر و اکتبر دارای همبستگی است ولی در ماه‌های دیگر، به‌خصوص در فصل تابستان، ارتباط چندانی با آن ندارد. بالاترین همبستگی میدان دید با غلظت  $PM_{10}$  در ماه‌های ژوئن، سپتامبر و دسامبر و با گاز کربن مونوکسید در ماه‌های مارس، ژوئن، نوامبر و دسامبر مشاهده می‌شود. نکته قابل توجه، نبود همبستگی بین غلظت ازن و دید افقی است. وجود همبستگی میان آلاینده‌ها و دید افقی در ماه‌های سرد سال ممکن است ناشی از انباشت بیشتر آنها به علت وارونگی دمایی باشد. این انباشت منجر به تبدیل آلاینده‌های گازی نیتروژن دی‌اکسید و گوگرد دی‌اکسید به ذرات نترات و سولفات می‌شود که مستقیماً در کاهش دید نقش دارند (مالم، ۱۹۹۹). از سوی دیگر، در این ماه‌ها رطوبت نسبی درصد بیشتری نسبت به دیگر ماه‌های سال دارد و رطوبت زیاد شرایط رشد ذرات سولفات و نترات را به دنبال می‌آورد که خود عامل اصلی در کاهش دید است (مالم، ۱۹۹۹). نکته قابل ذکر در ارتباط با این موضوع در جدول ۳، نبود ارتباط معنی‌دار در ماه‌های به‌نسبت خشک، به‌ویژه ماه‌های تابستان است. از این رو در ادامه، به بررسی دقیق‌تر نقش رطوبت در ارتباط بین آلاینده‌های جوی و دید افقی پرداخته می‌شود.

### ۳-۳ اثر رطوبت نسبی در ارتباط بین آلاینده‌ها با دید افقی

تغییرات روزانه رطوبت نسبی برای سال ۲۰۰۸ ایستگاه مهرآباد در شکل ۵ آمده است. بیشترین مقادیر رطوبت نسبی مربوط به ماه‌های نوامبر، دسامبر، ژانویه و فوریه است و این بیشینه مقادیر رطوبت همراه با کمترین مقادیر دید افقی است. برای بررسی نقش رطوبت در ارتباط بین آلاینده‌ها و دید افقی، داده‌های رطوبت به مقادیر زیر ۴۰

جدول ۳. همبستگی بین دید افقی و غلظت آلاینده‌ها در سال ۲۰۰۸؛ کادرهای با دو خط معرف همبستگی معنی دار در سطح ۰/۰۱ و کادرهای با یک خط معرف معنی داری ۰/۰۵ است.

سالانه	دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	اوت	ژوئیه	ژوئن	مه	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	
CO	-۰/۴۴	-۰/۴۴	-۰/۵۶	-۰/۳۲	-۰/۲۷	-۰/۰۷	-۰/۰۷	-۰/۳۳	-۰/۴۲	۰/۲	۰/۴	-۰/۳	۰/۰۲
PM <sub>10</sub>	-۰/۲۶	-۰/۲	-۰/۵۶	۰/۰۰۴	-۰/۶۸	-۰/۲۴	-۰/۲۲	-۰/۶	-۰/۲۴	-۰/۳	۰/۰۵	-۰/۰۰۴	-۰/۲۳
O <sub>3</sub>	۰/۰۹	-۰/۱	۰/۲	۰/۲۸	۰/۲۲	-۰/۰۵	۰/۱۱	-۰/۰۵	-۰/۱۱	-۰/۲	۰/۴۵	-۰/۱	-۰/۱۲
SO <sub>2</sub>	-۰/۱	-۰/۴۲	-۰/۱۷	۰/۳۸	-۰/۰۰۱	-۰/۲۸	۰/۰۳	۰/۰۱	-۰/۵۵	-۰/۱۸	۰/۳۶	-۰/۶۶	-۰/۳۳
NO <sub>2</sub>	-۰/۳۶	-۰/۳۱	-۰/۲۶	-۰/۵۶	-۰/۳۷	-۰/۰۱	۰/۳	-۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۲۵	۰/۳۷	-۰/۲۹	-۰/۳۶



شکل ۵. تغییرات روزانه دید افقی و رطوبت نسبی در ایستگاه همدیدی مهرآباد در سال ۲۰۰۸؛ خط چین معرف تغییرات دید و خط پیوسته معرف تغییرات رطوبت است.

جدول ۴. همبستگی بین غلظت آلاینده‌ها و دید افقی در ایستگاه همدیدی مهرآباد به‌ازای رطوبت‌های نسبی متفاوت در سال ۲۰۰۸.

رطوبت نسبی	همبستگی دید و SO <sub>2</sub>	همبستگی دید و O <sub>3</sub>	همبستگی دید و PM <sub>10</sub>	همبستگی دید و CO	همبستگی دید و NO <sub>2</sub>
کمتر از ۴۰ درصد	-۰/۱۱	-۰/۰۴۵	-۰/۳۲	-۰/۳۵	-۰/۲۶
۴۰-۵۰ درصد	-۰/۲۵	-۰/۱۷	-۰/۰۸	-۰/۴۲	-۰/۱۷
۵۰-۶۰ درصد	-۰/۵۷	-۰/۱۴	-۰/۵۳	۰/۳۲	-۰/۳۳
بالای ۶۰ درصد	-۰/۵۴	-۰/۳۲	-۰/۵۳	-۰/۰۴۴	-۰/۳۷

## ۴ نتیجه گیری

هدف از پژوهش حاضر، بررسی اثر غلظت آلاینده‌های شهری بر دید افقی منطقه جنوب غرب تهران در سال ۲۰۰۸ است. علت انتخاب این منطقه، موقعیت مکانی خاص، تعداد جمعیت و فعالیت‌های صنعتی وسیع در آن است. داده‌های به‌کار رفته شامل دیدبانی‌های روزانه ایستگاه هواشناسی مهرآباد تهران از قبیل میدان دید، گد هوای حاضر، رطوبت نسبی، سمت و تندی باد و دماهای خشک و تر است. برای بررسی تغییرات زمانی دید افقی از صدک‌های ۱۰، ۵۰ و ۹۰ دیده‌بانی‌های ماهانه به ترتیب معرف بهترین، میانه و بدترین دیده‌ها استفاده شده است. علاوه بر این، پالایه‌ای به‌کار رفته است که روزهای همراه با گزارش انواع بارش، مه و رطوبت نسبی بالای ۹۰ درصد، از سری داده‌ها حذف شوند. در این پژوهش، داده‌های مربوط به غلظت آلاینده‌های شهری از جمله نیتروژن دی‌اکسید، گوگرد دی‌اکسید، کربن مونوکسید و ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون و اُزن مورد بررسی قرار گرفته است.

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که میزان غلظت آلاینده‌های جوئی در منطقه شهری تهران در مقایسه با دیگر شهرهای آلوده و پُر جمعیت دنیا مقادیر بسیار بیشتری دارد. بیشترین میانگین غلظت آلاینده‌های شهری، به‌جز اُزن، معمولاً در ماه‌های زمستان رخ داده که این مسئله به علت دمای کم، پدیده وارونگی و عمق کم لایه آمیخته در زمستان است. در میان آلاینده‌های شهری، اُزن دارای روند به‌نسبت متفاوتی است و بیشترین مقادیر آن در فصل تابستان وجود دارد که ارتباط مستقیم این آلاینده با دما را نشان می‌دهد. زیاد بودن غلظت اُزن در تابستان به سبب تشدید فرایند فوتوشیمیایی و وجود شرایط جوئی مطلوب است. آلاینده‌های نیتروژن دی‌اکسید، گوگرد دی‌اکسید و کربن مونوکسید که عموماً از سوخت‌های فسیلی وسایل

نقلیه موتوری تولید می‌شوند، در ساعت‌های اوج ترافیک در چرخه شبانه‌روزی دارای بیشینه مقدار خود هستند. غلظت آلاینده‌های کربن مونوکسید، نیتروژن دی‌اکسید، گوگرد دی‌اکسید و ذرات معلق بر حد پایین دید تاثیرگذار است و بر دیده‌های میانه و بالا اثری ندارد. غلظت نیتروژن دی‌اکسید و ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون ( $PM_{10}$ ) در دیده‌های خوب، کمتر و در دیده‌های ضعیف، بیشتر است که این موضوع بیانگر تاثیر قابل توجه این دو نوع آلاینده در تغییرات دید است.

تحلیل همبستگی بین آلاینده‌ها و دید افقی نیز نشانگر آن است که علت اصلی کاهش دید در منطقه شهری تهران به ترتیب مربوط به کربن مونوکسید، ذرات ثانویه ناشی از فرایندهای فوتوشیمیایی و سپس ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون است. همبستگی قوی بین دید افقی با گسیل نیتروژن دی‌اکسید و کربن مونوکسید که طی فرایند اکسایش به آلاینده‌های ثانویه تبدیل می‌شوند، نقش قابل توجه ذرات در پراکنش نور را نشان می‌دهد و از عوامل کاهش دید افقی به‌شمار می‌رود. نتایج بررسی‌های ماهانه در طول سال ۲۰۰۸ حاکی از آن است که در ماه‌های سرد سال، آلاینده‌های شهری عامل اصلی کاهش دید و گوگرد دی‌اکسید در فصل زمستان دارای بیشترین تاثیر در کاهش دید است. وجود همبستگی بین آلاینده‌ها و دید افقی در ماه‌های سرد سال می‌تواند ناشی از انباشت بیشتر آنها به‌علت وارونگی دمایی باشد. این انباشت منجر به تبدیل آلاینده‌های گازی نیتروژن دی‌اکسید و گوگرد دی‌اکسید به ذرات نیترات و سولفات می‌شود. از سوی دیگر، وجود رطوبت نسبی دارای درصد بالا در این ماه‌ها شرایط رشد ذرات سولفات و نیترات را به دنبال دارد.

## مراجع

شفیع پور، م.، ۱۳۷۹، تدوین الگوی تهیه اقلام اطلاعاتی

- better elucidate the dependence of ozone on meteorology, *J. Appl. Meteorol.*, **33**, 1182-1199.
- El-Hussainy, F. and Sharobiem, W., 2002, Studies on atmospheric sulfur dioxide values and trends, *Al-Azhar Bull. Sci.*, **13**, 127-146.
- Elminir, H., 2005, Dependence of urban air pollutants on meteorology, *Sci. of the Total Environ.*, **350**, 225-237.
- Environmental Protection Agency Ireland, 2007, Air quality in Ireland 2006, [http://www.epa.ie/downloads/pubs/air/quality/epa\\_air\\_quality\\_report\\_2006.pdf](http://www.epa.ie/downloads/pubs/air/quality/epa_air_quality_report_2006.pdf).
- Fraser, P., Yue, W. and Buzcu, B., 2003, Source apportionment of fine particulate matter in Houston, TX, using organic molecular markers, *Atmos. Environ.*, **37**(2), 117-23.
- Freidlander, S. K., 1977, *Smoke, Dust and Haze*, New York, NY: Wiley, 195 pp.
- Horvath, H., 1981, Atmospheric visibility, *Atmos. Environ.*, **15**, 1785-1796.
- Jacob, D., 1999, *Introduction to atmospheric chemistry*, Princeton University Press, 267pp.
- Khoder, M. I., 2002, Atmospheric conversion of sulfur dioxide to particulate sulfate and nitrogen dioxide to particulate nitrate and gaseous nitric acid in an urban area, *Chemosphere*, **49**, 675-684.
- Lee, D. O., 1990, The influence of wind direction, circulation type and air pollution emissions on summer visibility trends in southern England, *Atmos. Environ.*, **24A**, 195-201.
- Leibensperger, E., Mickley, L., Jacob, D. and Barrett, S., 2011, Intercontinental influence of NO<sub>x</sub> and CO emissions on particulate matter air quality, *Atmos. Environ.*, **45**, 3318-3324.
- Luo, C., John, J., Xiuji, Z., Lam, K., Wang, T. and Chameides, W., 2000, A nonurban ozone air pollution episode over eastern China: observations and model simulations, *J. Geophys. Res.*, **105**, 1889-908.
- Malm, W. C., 1999, *Introduction to visibility*, CIRA, 79 pp.
- Malm, W. C. and Day, D. E., 2001, Estimates of aerosol species scattering characteristics as a function of relative humidity, *Atmos. Environ.*, **35**, 2845-2860.
- Mayer, H., 1999, Air pollution in cities. *Atmos. Environ.*, **33**, 4029-4037.
- Miller, M. E., Canfield, N. L., Ritter, T. A. and Weaver, C. R., 1972, Visibility changes in Ohio, Kentucky, and Tennessee from 1962 to 1969, *Monthly Weather Review*, **100**, 67-71.
- Molnar, A., Meszaros, E., Imre, K. and Rull, A., 2008, Trends in visibility over Hungary
- پایه برای مطالعه آلودگی هوای شهرها، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو.
- Aneja, V., Oommen, R., Riordan, A., Arya, S., Wayland, R. and Murray, G., 1999, Ozone patterns for three metropolitan statistical areas in North Carolina, USA. *Atmos. Environ.*, **33**, 5081-5093.
- Aneja, V. P., Brittig, J. S., Kim, D. S. and Hanna, A., 2004, Ozone and other air quality-related variables affecting visibility in the Southeast United States, *J. of Air and Waste Management Assoc.*, **54**, 681-688.
- Beijing Environmental Protection Bureau, 2007, Beijing environmental statement 2006, <http://www.bjepb.gov.cn/bjhb/portals/0/fujian/zwgk/2006.pdf>.
- Bohren, C. F. and Huffman, D. R., 1983, *Absorption and scattering of light by small particles*, John Wiley and Sons, New York.
- Chang, D., Song, Y. and Liu, B., 2009, Visibility trends in six megacities in China 1973-2007, *Atmos. Res.*, **94**, 161-167.
- Cheng, C. M., Chan, C. C. and Chan, S. T., 1997, Visibility trends in Hong Kong, *HKMet., Bulletin*, **7**, 3-21.
- Comrie, A., 1992, An enhanced synoptic climatology of ozone using a sequencing technique, *Phys. Geogr.*, **13**, 53-65.
- Comrie, A., 1994, A synoptic climatology of rural ozone pollution at three forest sites in Pennsylvania, *Atmos. Environ.*, **28**, 1601-1614.
- Davis, R. and Kalkstein, L., 1990, Development of an automated spatial synoptic climatological classification. *Int. J. Climatol.*, **10**, 769-794.
- Docherty, K., Stone, E., Ulbrich, I., DeCarlo, P., Snyder, D., Schauer, J., Peltier, R., Weber, R., Murphy, S., Seinfeld, J., Grover, B., Eatough, D. and Jimenez, J., 2008, Apportionment of primary and secondary organic aerosols in southern California during the 2005 study of organic aerosols in riverside (SOAR-1). *Environ. Sci. Technol.*, **42**, 7655-7662.
- Dockery, D. W., Pope, C. A., Xu, X., Spengler, J. D., Ware, J. H., Martha, E. F., Ferris, B. G. and Speizer, F. F., 1993, An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *New England J. Med.*, **329**, 1753-1759.
- Doyle, M. and Dorling, S., 2002, Visibility trends in the UK 1950-1997, *Atmos. Environ.*, **36**, 3161-3172.
- Eder, B., Davis, J. and Bloomfield, P., 1994, An automated classification scheme designed to

- South Coast Air Quality Management District, 2007, 2006 Air quality, <http://www.aqmd.gov/smog/AQSCR2006/aq06card.pdf>.
- Tokyo Metropolitan Government Bureau of General Affairs, 2007, Tokyo Statistical Yearbook 2006, <http://www.toukei.metro.tokyo.jp/tnenkan/tn-eindex.htm>.
- Tsai, Y., Kuo, S., Lee, W., Chen, C. and Chen, P., 2007, Long-term visibility trends in one highly urbanized, one highly industrialized, and two rural areas of Taiwan, *Sci. Total Environ.*, **382**, 324-341.
- Wan, J., Lin, M., Chan, C., Zhang, Z., Engling, G., Wang, X., Chan, I. and Li, S., 2011, Change of air quality and its impact on atmospheric visibility in central-western Pearl River Delta, *Environ. Monit. Assess.*, **172**, 339-351.
- Wang, Z., Sha, W. and Ueda, H., 2000, Numerical modeling of pollutant transport and chemistry during a high-ozone event in northern Taiwan, *Tellus*, **52**, 1189-1205.
- Xue, P. W., Tan, X. P., Cai, J. Z. and Liu, J. S., 2005, Study on influence factors of urban aerosol on visibility and extinction coefficient, *Environ. Pollut. Treat.*, **27**, 410-414.
- between 1996 and 2002, *Atmos. Environ.*, **42**, 2621-2629.
- Oltmans, S., and Levy, H., 1994, Surface ozone measurements from a global network, *Atmos. Environ.*, **28**, 9-24.
- Schichtel, B. A. and Husar, R. B., 2001, Haze trends over the United States, 1980-1995, *Atmos. Environ.*, **35**, 5205-5210.
- Seoul Air Quality Control Division, 2006, Air pollution emission, (<http://statapp.seoul.go.kr/sws/sws999P.jsp>)
- Shanghai Environmental Protection Bureau, 2007, *Environmental Bulletin 2006*, <http://www.envir.gov.cn/law/bulletin/b2006>.
- Seinfeld, J. H. and Pandis, S. N., 1997, *Atmospheric chemistry and physics, from air pollution to climate change*. New York, NY: Wiley-Interscience.
- Sloane, C. S., 1982a, Visibility trends I: methods of analysis, *Atmos. Environ.*, **16**, 41-51.
- Sloane, C. S., 1982b, Visibility trends II: Mideastern United States, *Atmos. Environ.*, **16**, 2309-2321.
- Sloane, C. S., 1983, Summertime visibility declines: meteorological influences, *Atmos. Environ.*, **17**, 763-774.
- Sloane, C. S., 1984, Meteorologically adjusted air quality trends: visibility, *Atmos. Environ.*, **18**, 1217-1229.