بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شیراز،
شیراز، ایران.
۹-۱۱ بهمن ۱۳۹۷

# مطالعه توزیع عمودی ذرات معلق جوی در تهران با استفاده همزمان از لیدار واقطبیده، داده‌های ماهواره‌ای، اندازه‌گیری‌ها و مدل‌های هواشناسی

**حسین پناهی فر[۱]، حمیدرضا محمدی خالصی فرد[۱-۲]**

**۱- دانشکده فیزیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی در علوم پایه زنجان**

**۲- پژوهشکده تغییر اقلیم و گرمایش زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی در علوم پایه زنجان**

h.panahifar@iasbs.ac.ir , khalesi@iasbs.ac.ir

**چکیده - پروفایل قایم هواویزهای موجود در جو شهر تهران با استفاده از یک لیدار واقطبیده بطور پیوسته اندازه‌گیری شده است. نتایج لیداری همراه با اندازه‌گیری مقدار ذرات معلق، اندازه‌گیری‌های منظم هواشناسی و اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای استفاده شده است. نوع هواویزها بر اساس مقدار کمیت اپتیکی واقطبش دسته‌بندی شده‌اند. مقدار واقطبش در طول موج ۵۳۲ نانومتر عمدتا بین ۰,۰۵ تا ۰,۱۰ است. این نتایج نشان می‌دهد که عمدتا ذرات معلق ناشی از آلودگی شهری، همراه با ذرات غبار محلی در جو شهر تهران وجود دارند. واقطبش در هنگام رخداد پدیده‌های غباری به عددی بین ۰,۲۵ تا ۰,۳۰ می‌رسد.**

کلید واژه- لیدار واقطبیده، نسبت واقطبش حجمی، هواویز، آلودگی شهری، غبار دوربرد .

# Investigation of vertical aerosol profile with simultaneous use of Depolarized Lidar, In-situ measurements and satellite data in Tehran, Iran.

**Hossein Panahifar [1], H. R. Khalesifard [1-2]**

**1 Department of Physics, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS)**
**2 Center for Research in Climate Change and Global Warming(CRCC), IASBS**

Abstract- Continuous vertically resolved aerosol measurements using Lidar were performed in Tehran, Iran. Lidar results has been used in combination with particulate matter monitoring, Synoptic meteorological observation as well as satellite-based measurements. The aerosol types are classified by their optical depolarization. The volume linear particle depolarization ratio (VLDR) at 532 nm lies mostly between $(0.05 < \delta(r) < 0.10)$. These results show that mostly urban pollution mixed with particles are present in the Tehran atmosphere. During dust events, the VLDR at 532 nm lies between $(0.20 < \delta(r) < 0.35)$.

Keywords: Depolarized Lidar, Dust, Urban Pollution.



این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-02-25 ]

## مقدمه

فلات ایران ($\sim 26^{\circ} - 36^{\circ}\mathrm{N}$ ، $\sim 45^{\circ} - 61^{\circ}\mathrm{E}$) بخشی از کمربند غبار است. جلگه دجله و فرات و شبه جزیره عربستان بعنوان مهم‌ترین چشمه‌های غبار خارجی برای فلات ایران محسوب می‌شوند [1-3]. چشمه‌های غبار داخلی، که عمدتا در مجاورت دریاچه‌های فصلی و دریاچه‌های نمک خشک شده واقع شده‌اند نیز در فلات ایران وجود دارند[4].

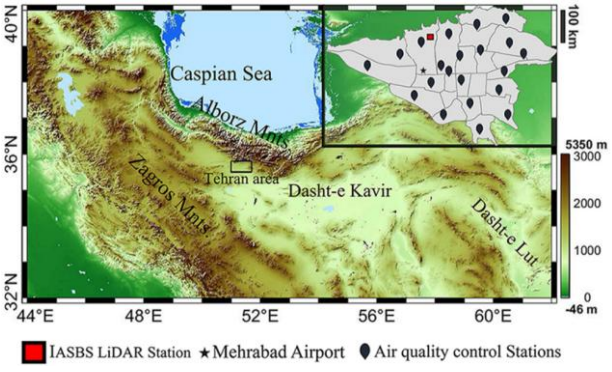
تهران ($\sim 51.1^{\circ} - 51.6^{\circ}E,$ $\sim 35.5^{\circ} - 35.8^{\circ}N$) با جمعیتی بالغ بر ۱۲ میلیون نفر، آلودگی جوی بالایی دارد. بارزترین مشخصه جو شهر تهران، بروز پدیده آلودگی هوا ناشی از وارونگی دما در فصول سرد سال است. پناهی‌فر و همکاران در مورد تحولات ارتفاع لایه مرزی و تاثیر عوامل هواشناسی بر آن، تحقیقی را انجام داده‌اند[5]. در این تحقیق که با استفاده از لیدار واقطبیده در شهر تهران انجام شده است، بیشینه ارتفاع لایه مرزی از سطح زمین (در موقعیت ایستگاه سنجش از دور) تا ۱۰۰۰ متر گزارش شده است. خالصی‌فرد و همکاران نشان دادند که علاوه بر پدیده آلودگی هوا که بطور غالب در شهر تهران مشاهده می‌شود، جو این شهر در طی ماه‌های خشک سال تحت تاثیر طوفان‌های غباری با منشا داخلی و خارجی است[6].

در این پژوهش برای بررسی توزیع عمودی ذرات معلق در جو شهر تهران، بطور همزمان از نتایج حاصل از اندازه-گیری لیدار واقطبیده، اندازه‌گیری میزان تراکم ذرات معلق، اندازه‌گیری‌های سینوپتیک هواشناسی و داده‌های ماهواره‌ای استفاده شده است. استفاده از لیدار واقطبیده، امکان دسته‌بندی هواویزها را بر اساس کمیت نافزونور واقطبش امکان‌پذیر کرده است[7].

در بخش ابزارها و روش انجام پژوهش، دستگاه لیدار و سایر ابزارهای اندازه‌گیری معرفی شده‌اند. در بخش نتایج، سری زمانی واقطبش، نتایج مدل مسیریابی رو به عقب بسته‌های هوا، نتایج مدل‌های هواشناسی و تحلیل مجدد داده‌های ماهواره‌ای مربوط به پدیده غباری ۲۲ آوریل ۲۰۱۵ ارایه شده اند. در بخش آخر نتیجه‌گیری ارایه شده است.

## ابزارها و روش انجام پژوهش

آزمایشگاه سنجش از دور نوری دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان مستقر در تهران در موقعیت ($N$ $35.7669^{\circ}$ ، $E$ $51.3118^{\circ}$) و در ارتفاع ۱۴۳۰ متر (نسبت به سطح دریا) واقع شده است (شکل ۱).




شکل ۱- نقشه توپوگرافی بخش شمالی ایران، نقشه مناطق شهرداری تهران به همراه مکان استقرار ایستگاه سنجش از دور و مکان ایستگاه‌های آلودگی سنجی در سطح شهر تهران.

یک دستگاه لیدار واقطبیده برای اندازه‌گیری‌های دورسنجی استفاده شده است. فرستنده نوری این دستگاه نور قطبیده خطی در طول موج‌های۵۳۲ نانومتر و ۱۰۶۴ نانومتر را تابش می‌کند. رزولوشن داده‌های ثبت شده در راستای قایم ۱۵ متر و رزولوشن زمانی ۳۰ ثانیه است.

مقدار ضریب پس‌پراکندگی تضعیف شده[1]، و ضریب واقطبش حجمی[2] با استفاده از اندازه‌گیری‌های لیداری بدست آمده است[8]. همزمان اندازه‌گیری‌های سینوپتیک و رادیوسوند در ایستگاه مهرآباد انجام شده است. در طول

[1] Attenuates Backscattered Coefficient
[2] Volume linear depolarization ratio



این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

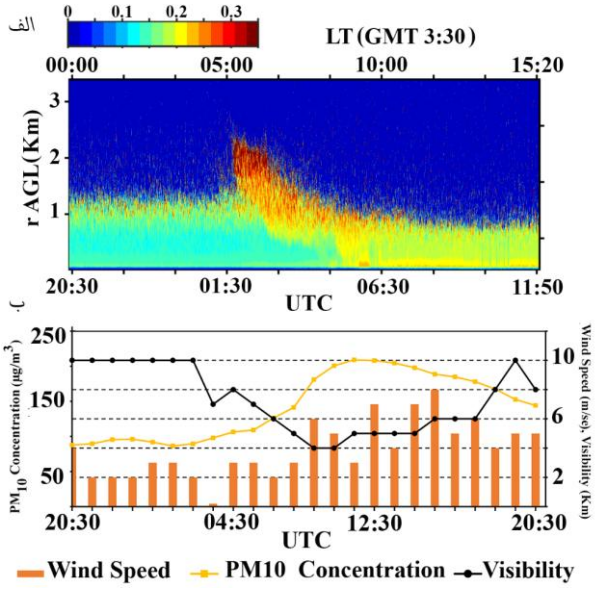
[ Downloaded from opsi.ir on 2026-02-25 ]

مدت داده‌برداری با لیدار، میزان تراکم ذرات معلق موجود در جو شهر تهران با ۲۱ ایستگاه در سطح شهر اندازه‌گیری شده است. همچنین برای بررسی توزیع منطقه‌ای هواویزها از داده‌های سطح ۳ عمق اپتیکی سنجنده مادیس بر روی خشکی استفاده شده است. همچنین از داده‌های تحلیل مجدد مرکز پیش‌بینی‌های هواشناسی اتحادیه اروپا (ECMWF) استفاده شده است.

## نتایج

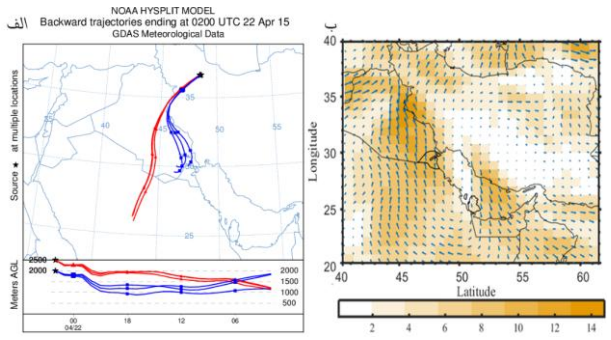
سری زمانی واقطبش در طول‌موج ۵۳۲ نانومتر ثبت شده در تهران بین ساعت ۰۰:۰۰ بامداد روز دوم اردیبهشت ۱۳۹۴ تا ساعت ۱۵:۳۰ همان روز در شکل ۲-الف نشان داده شده است. این شکل نشان می‌دهد که لایه غباری در حوالی ساعت ۰۵:۰۰ صبح روز ۲ اردیبهشت بر فراز ایستگاه اندازه‌گیری رسیده است. مقدار عدد واقطبش برای این لایه بین ۰,۲۵ تا ۰,۳۰ است. شکل ۲-ب سری زمانی سرعت باد سطحی، تراکم میزان ذرات آلاینده با قطر کمتر از ۱۰ میکرومتر و دید افقی را برای همین تاریخ نمایش می‌دهد. با توجه به این شکل با رسیدن جبهه غبار به شهر، تراکم ذرات آلاینده افزایش یافته و به بیش ا ز $\frac{\mu g}{m^3}$ ۲۰۰ رسیده است. همزمان سرعت باد سطحی افزایش یافته و به $۸\frac{m}{s}$ رسیده است. میزان دید افقی بر اساس گزارش ایستگاه مهرآباد به زیر Km ۴ رسیده است.

مراحل تشکیل و انتشار این توده غباری با استفاده از تحلیل داده‌های ماهواره EUMETSAT انجام شده است و بصورت فیلم همراه مقاله ارسال شده است.




شکل ۲ الف- سری زمانی واقطبش ثبت شده در روز ۲ اردیبهشت ۱۳۹۴. ب- سری زمانی سرعت باد سطحی، دید افقی و تراکم ذرات معلق با اندازه کمتر از ۱۰ میکرومتر برای همان تاریخ.

بر اساس این نتایج توده غباری از صحرای النفور عربستان و منطقه‌ای در مرز عراق و عربستان به سمت نواحی مرکزی فلات ایران حرکت کرده است.




شکل۳الف- مسیریابی رو عقب بسته‌های هوا برای تاریخ ۰۲ اردیبهشت ۱۳۹۴ در ارتفاع ۲ و ۲,۵ کیلومتری. ب- تغییرات باد سطحی (رنگ) و جهت باد (پیکان) برای ساعت ۰۶:۰۰ روز ۰۱ اردیبهشت ۱۳۹۴.

نتایج مدل مسیریابی رو به عقب بسته‌های هوا (HYSPLIT) برای ارتفاع ۲ کیلومتر و ۲,۵ کیلومتری هم این ادعا را تایید می‌کند (شکل ۳الف). بسته هوای بالایی از عربستان و بسته هوای پایینی از جنوب شرقی عراق سرچشمه گرفته اند. شکل ۳ب نشان می‌دهد که سرعت



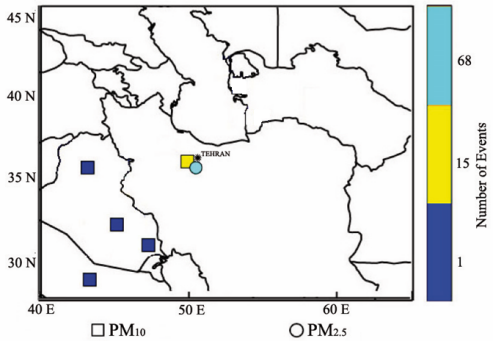
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-02-25 ]

باد سطحی در هنگام تشکیل توده غبار به ۱۴ m/s رسیده است.

## نتیجه‌گیری

برای اولین بار، جو شهر تهران با استفاده از یک لیدار واقطبیده مورد بررسی قرار گرفته است. دسته بندی نوع هواویزها بر اساس واقطبش نشان می‌دهد که آلودگی شهری و غبار جو این شهر را تحت تاثیر قرار می‌دهند. مقدار واقطبش با نتایج اندازه‌گیری سازمان کنترل کیفی تهران مقایسه شده است. بر این اساس ذرات آلاینده ناشی از فعالیت انسان‌ها و سوزاندن سوخت‌های فسیلی ابعاد ($PM_{2.5}$) و واقطبش کمتری ($\delta(r) < 0.10$) دارند. ذرات غبار ($PM_{10}$) بسته به منشا آن‌ها مقدار واقطبشی بین ۰,۲۰ تا ۰,۳۵ دارند. بررسی منشا هواویزها نشان می‌دهد که بیشتر آن‌ها از چشمه‌های داخلی سرچشمه می‌گیرند(شکل ۴).




شکل ۴- بررسی محل چشمه‌های آلودگی برای ۸۷ پدیده بر اساس نتایج مدل HYSPLIT .

عمده روزها با آلودگی شهری در فصل پاییز و زمستان اتفاق می‌افتد درحالیکه سرعت وزش باد بسیار اندک است ($< 3 \frac{m}{s}$). پدیده غبار در طی ماه‌های گرم سال اتفاق می‌افتد.

## مرجع‌ها

**[1]** Léon, Jean-François, and Michel Legrand. "Mineral dust sources in the surroundings of the north Indian Ocean." *Geophysical Research Letters* 30, no. 6 (2003).

**[2]** Ginoux, Paul, Joseph M. Prospero, Thomas E. Gill, N. Christina Hsu, and Ming Zhao. "Global-scale attribution of anthropogenic and natural dust sources and their emission rates based on MODIS Deep Blue aerosol products." *Reviews of Geophysics* 50, no. 3 (2012).

**[3]** Hofer, Julian, Dietrich Althausen, Sabur F. Abdullaev, Abduvosit N. Makhmudov, Bakhron I. Nazarov, Georg Schettler, Ronny Engelmann et al. "Long-term profiling of mineral dust and pollution aerosol with multiwavelength polarization Raman lidar at the Central Asian site of Dushanbe, Tajikistan: case studies." *Atmospheric Chemistry and Physics* 17, no. 23 (2017): 14559.

**[4]** Gerivani, Hadi, Gholam Reza Lashkaripour, Mohammad Ghafoori, and Nader Jalali. "The source of dust storm in Iran: a case study based on geological information and rainfall data." *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 6 (2011).

**[5]** Panahifar, Hossein, and Hamid Khalesifard. "Tracking atmospheric boundary layer in tehran using combined lidar remote sensing and ground base measurements." In *EPJ Web of Conferences*, vol. 176, p. 06011. EDP Sciences, 2018.

**[6]** Khalesifard, Hamid Reza, and Hossein Panahifar. "Monitoring Atmospheric Particulate Matters in Tehran by Synergy of LiDAR Measurement, Atmospheric Models and Satellite Data." In *Optics and Photonics for Energy and the Environment*, pp. EM4A-1. Optical Society of America, 2015.

**[7]** Heese, Birgit, Dietrich Althausen, Tilman Dinter, Michael Esselborn, Thomas Müller, Matthias Tesche, and Matthias Wiegner. "Vertically resolved dust optical properties during SAMUM: Tinfou compared to Ouarzazate." *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology* 61, no. 1 (2009): 195-205.

**[8]** Weitkamp, Claus, ed. *Lidar: range-resolved optical remote sensing of the atmosphere*. Vol. 102. Springer Science & Business, 2006.



این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-02-25 ]