Archive of SID



# روشی سریع در برآورد غلظت ذرات معلق با استفاده از سنجنده مودیس: یک مطالعه موردی در تهران

**رضوان قربانی‌سالخورد، محمدرضا مباشری*، مجید رحیم‌زادگان**

گروه مهندسی فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

* نویسنده مسؤول: تهران، خیابان ولی‌عصر (عج)، تقاطع میرداماد، کدپستی ۱۹۹۶۷-۱۵۴۳۳، تلفن: ۸۸۷۷۰۷۲ و ۸۸۷۷۰۷۳ نمابر: ۸۸۷۸۶۲۱۲

پست الکترونیک: Mobasheri@kntu.ac.ir

دریافت: ۹۰/۱۰/۲۱ پذیرش: ۹۱/۴/۲۲

## چکیده

**مقدمه:** *یکی از مهم‌ترین آلاینده‌هایی که پایش آن در جو توسط سنجش از دور میسر می‌باشد، غلظت ذرات معلق با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس است. هدف این پژوهش، بررسی توانایی داده‌های سنجنده مودیس، در سنجش آلودگی ذرات معلق در مناطق شهری و تولید نقشه‌های روزانه آلودگی هوا با استفاده از این داده‌ها می‌باشد.*

**روش کار:** *از تصاویر سطح اول یک کیلومتری و ۲۵۰ متری سنجنده مودیس، در بازه زمانی فروردین تا آبان ماه سال ۸۸، برای مدل‌سازی استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای، به همراه داده‌های ۱۳ ایستگاه زمینی سنجش آلودگی هوا در سطح شهر تهران استفاده شد. مدل مبتنی بر استفاده از تجزیه طیفی خطی برای تفکیک سهم دو عضو خالص می‌باشد که یکی بازتابندگی سطح و دیگری بازتابندگی ناشی از ذرات معلق است. در این رابطه بازتابندگی سطح از تصاویر در یک روز پاک و بازتابندگی ذرات معلق از یک روز کاملاً آلوده که در آن روز سطح زمین دیده نمی‌شود استخراج شده است.*

**یافته‌ها:** *نتایج نشان دادند که ضریب همبستگی بالای ۷۰٪ با انحراف معیار استاندارد برابر با ۱۳۲/۲۲ میکروگرم بر مترمکعب میان محاسبات سنجش از دوری و اندازه‌گیری‌های زمینی وجود دارد. مقایسه انحراف معیار استاندارد و مقادیر زمینی غلظت آلودگی نشان داد که برای مقادیر غلظت اندک (حدود ۱۰۰ میکروگرم بر متر مکعب)، درصد خطای مدل‌سازی بالا بوده و مدل در پیش‌بینی مقادیر مبالغه می‌کند.*

**نتیجه‌گیری:** *به طور کلی، وجود وابستگی میان محاسبات سنجش از دوری و اندازه‌گیری‌های زمینی، حاکی از قابل استفاده بودن تصاویر ماهواره‌ای در نظارت بر وضعیت آلودگی‌هایی از نوع ذرات معلق در مناطق شهری می‌باشد.*

**گل‌واژگان:** *آلودگی هوا، هواویزها، ذرات معلق، سنجنده مودیس*

## مقدمه

هواویزهای[1] موجود در جو، حاصل فعالیت‌های انسانی و پدیده‌های طبیعی (مثل آتش‌سوزی جنگل‌ها و طوفان‌های بیابانی) می‌باشند. این دو عامل می‌توانند باعث تولید توده غلیظی از هواویزها (با ضخامت نوری بزرگ‌تر از یک) تا فاصله صدها کیلومتر دورتر از منبع اصلی شوند. شواهد محکمی مبنی بر تأثیرگذاری شدید اشکال مختلف آلودگی هوا روی آب، خاک، گیاهان، تخریب جنگل‌ها و سلامتی انسان‌ها وجود دارد (۱). مشخصه‌های هواویزها از طریق سنجش از دور زمینی و فضایی قابل اندازه‌گیری هستند. مشکل تکنیک‌های سنجش از دور در این است که قادر به اندازه‌گیری مستقیم مشخصات هواویزها نبوده و از طریق رفتار اپتیکی سیستم زمین- جو، اطلاعاتی در

[1] Aerosol

www.SID.ir

Archive of SID

مورد آن‌ها کسب می‌کنند. اما مزیت آن‌ها شامل امکان اندازه‌گیری در شرایط طبیعی و فراهم آوردن اطلاعات از کل سیستم هواویزها در سطحی وسیع از طریق ماهواره‌ها می‌باشد (۱). از طرف دیگر اندازه‌گیری‌های میدانی در حجم و سطحی محلی انجام می‌شوند که خود از مشکلاتی ذاتی در هنگام نمونه‌برداری برخوردار می‌باشند. با این که ضخامت نوری هواویزهای به دست آمده از ماهواره، دقت کمتری نسبت به اندازه‌گیری‌های زمینی دارد، اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای پوشش مکانی وسیعی را فراهم می‌کنند که در ترکیب با مدل‌ها و اندازه‌گیری‌های زمینی می‌توانند جهت تعیین شاخص کیفیت هوا با هزینه کمتر، مفید باشند (۲). بنابراین معایب مربوط به اندازه‌گیری‌های زمینی، باعث ایجاد نیاز به توسعه تکنیک‌های سنجش از دور شده‌اند. پیشرفت‌های صورت گرفته در سنجش از دور ماهواره‌ای باعث ایجاد زمینه اطلاعاتی جدید برای پایش کیفیت هوا در مقیاس‌های محلی و منطقه‌ای شده است. در صورت دسترسی به امکانات ماهواره‌ای مورد نظر برای هر آلاینده، سنجش آلودگی هوا با این روش بسیار ارزان‌تر و راحت‌تر خواهد بود.

ذرات معلق[2] یکی از شاخص‌های آلودگی هوا است که توسط ایستگاه‌های سنجش آلودگی نیز اندازه‌گیری می‌شود. ذرات معلق، علاوه بر مشکلات سلامتی برای انسان‌ها باعث تأثیر بر روی مقدار تابش خورشید به زمین و تغییر سیستم زمین و جو، تأثیر روی الگوهای جریان جوی، تغییر دمای سطحی زمین و بارش و کاهش دید نیز می‌شوند (۳). به جرأت می‌توان گفت مهم‌ترین آلاینده در شهرهای ایران، ذرات معلق هستند. با توجه به اهمیت موضوع در زمان حاضر و نظر به این که پیش از این، مطالعاتی از این قبیل در کشور به ندرت انجام گرفته است، لزوم پرداختن به این بحث و شناخت و رفع مشکلات مربوط به آن، بسیار واضح و روشن می‌باشد. اخیراً مطالعات بسیاری در زمینه پایش ذرات معلق در جو توسط فن‌آوری سنجش از دور انجام گرفته است. به کارگیری سنجندهایی مانند ژئوس[3]، مودیس[4] و مِسر[5]، در این زمینه بسیار مفید بوده‌اند (۴). در سال ۱۹۹۷ الگوریتم اهداف تیره[6] برای محاسبه هواویزها در قدرت تفکیک مکانی ۱۰×۱۰ کیلومتر، توسط کافمن[7] و همکارانش ارایه شد که اساس آن تعیین پیکسل‌های تاریک در باندهای مادون قرمز میانی و سپس برآورد بازتابندگی آن‌ها در طول موج‌های ۴۷۰ و ۶۶۰ نانومتر از تصاویر سنجنده مودیس بود که این روش محدودیت‌هایی نیز داشت (۱). در سال ۲۰۰۹، چین تسای[8] و همکاران رابطه میان داده‌های ضخامت نوری هواویزهای مودیس را با غلظت‌های ذرات معلق برای دوره زمانی مورد نظر بررسی کردند. نتایج، نشان‌دهنده توانایی بالای این سنجنده برای پایش ذرات معلق بود (۵). در سال ۲۰۰۷، لی لینگ جون[9] و همکاران، ارتباط پارامتر سهم هواویزها در بازتابندگی ظاهری[10]، به دست آمده از سنجنده مودیس و غلظت آلاینده ذرات معلق را مطالعه کردند که این ارتباط در ۳۰ ایستگاه زمینی واقع در شهر پکن در فاصله زمانی آگوست ۲۰۰۳ و آگوست ۲۰۰۴ بررسی شد. نتیجه برازش خطی[11] با ضریب همبستگی بالای ۰/۵۶ به دست آمد. سهرابی‌نیا، در سال ۲۰۰۷ به امکان‌سنجی داده‌های مودیس، جهت پایش آلودگی هوا در شهر تهران پرداخت. در این مطالعه از داده‌های ضخامت نوری مودیس استفاده شده است. با به کارگیری داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌های زمینی و روش‌های درون‌یابی، نقشه‌های مجزایی از هر نوع آلاینده برای کل شهر تولید شدند. همچنین این داده‌ها در یک شبکه مکانی به همراه ایستگاه‌های زمینی سنجش آلودگی هوا نمایش داده شدند (۴). همچنین، عمید و همکاران، مطالعه‌ای در حوزه همبستگی میان مقادیر ضخامت نوری هواویزهای به دست آمده از مودیس و غلظت زمینی آلاینده ذرات معلق در سطح شهر تهران با استفاده از داده‌های تابستان ۲۰۰۵ انجام دادند. نتایج نشان دادند که برای ایستگاه‌های آزادی، پردیسان، تجریش، بهمن، سرخه‌حصار، قلهک و ویلا، همبستگی خوب در حدود ۰/۸ –۰/۷ به دست آمد؛ درحالی که این مقدار برای سایر ایستگاه‌ها پایین‌تر بود و در حدود ۰/۴ –۰/۳ حاصل شد (۶).

با مطالعه و توجه به مطالب فوق، برای ارتقای داده‌های آلودگی مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای در این پژوهش، امکان سنجش آلودگی ذرات معلق موجود در جو شهر تهران با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس بررسی شده است. برای این منظور به معرفی مدلی جهت آشکارسازی آلاینده ذرات معلق با استفاده از تصویر ماهواره‌ای پرداخته شده است. سپس پارامتر به دست آمده

[2] $PM_{10}$
[3] GEOS
[4] MODIS
[5] MISR
[6] Dark Dense Vegetation
[7] Kaufman
[8] Chin Tsai
[9] LI Ling Jun
[10] Aerosol's Contribution to apparent Reflectance
[11] $ACR=0.011\ PM_{10}+4.77$


www.SID.ir

Archive of SID

از تصویر با اندازه‌گیری‌های زمینی غلظت آلاینده ذرات معلق مقایسه گردید. این مقایسه بیانگر وجود همبستگی مثبت، در حدود ۷۰٪، میان نتایج این دو نوع داده می‌باشد. بنابراین مدل، توانایی نسبتاً خوبی برای تعیین غلظت ذرات معلق در سطح شهر تهران دارد.

## روش کار

**مشخصات منطقه مورد مطالعه:** شهر تهران در محدوده طول جغرافیایی ۵۱ تا ۵۱/۶۶ درجه و عرض جغرافیایی ۳۵/۵ تا ۳۵/۵۸ درجه با مساحتی حدود ۸۰۰ کیلومترمربع در دامنه جنوبی کوه‌های البرز واقع شده است. ارتفاع شهر در جنوب، در فرودگاه مهرآباد ۱۲۰۰ متر و در شمال به ۲۰۰۰ متر می‌رسد. اگرچه شیب عمومی شهر به طرف جنوب است ولی در داخل شهر هم ناهمواری بسیار است. ارتفاعات البرز، دیواره شمالی و کوه‌های محدوده بی‌بی شهربانو، دیواره شرقی شهر را تشکیل می‌دهند. اما نواحی جنوبی و غربی تهران چندان مرتفع نیست (۷). در نتیجه سدهای کوهستانی شمال و شرق مانع خروج مواد زایدی می‌شوند که توسط بادهای غربی به داخل فضای شهر آورده شده و سبب می‌شوند که هوای شهر به ویژه در نواحی مرکزی و شرقی آلوده شود. با توجه به این که بادهای غالب تهران جهت غربی و بیشتر صنایع در غرب تهران مستقر هستند می‌توان انتظار داشت که هوای شهر اغلب اوقات آلوده شود.

**داده‌های ایستگاه‌های زمینی پایش آلودگی هوا:** در سراسر شهر تهران در حال حاضر حدود ۲۰ ایستگاه سنجش آلودگی هوا مستقر می‌باشد. از این تعداد ۱۳ ایستگاه متعلق به شرکت کنترل کیفیت آلودگی هوای تهران و ۷ ایستگاه متعلق به سازمان حفاظت محیط زیست است. این ایستگاه‌ها در طول شبانه‌روز به صورت ساعتی، میزان آلاینده‌هایی همچون مونوکسیدکربن[12]، دی‌اکسید گوگرد[13]، دی‌اکسید نیتروژن[14]، ازون[15] و ذرات معلق را اندازه می‌گیرند.

**داده‌های ماهواره‌ای حاصل از سنجنده مودیس:** داده‌های سنجنده مودیس می‌توانند برای کسب اطلاعات زیادی از جمله، دما و رطوبت جوی، پوشش ابر و خواص آن، ویژگی‌های هواویزها، دمای سطح خشکی و دریا، آتش‌سوزی‌های طبیعی و مصنوعی، توزیع و عمق یخ و برف، رنگ اقیانوس، شاخص‌های گیاهی و غیره، به کار روند (۳). داده‌های مودیس در ۳۶ باند طیفی و در محدوده ۱۴/۵ -۰/۴ میکرومتر تولید می‌شوند. این سنجنده در دو باند طیفی تصاویر با توان تفکیک مکانی ۲۵۰متر، در پنج باند طیفی تصاویری با توان تفکیک مکانی۵۰۰ متر و در ۲۹ باند دیگر نیز تصاویری با توان تفکیک مکانی ۱۰۰۰ متر برداشت می‌کند. این سنجنده بر دو سکوی ترا[16] و آکوا[17] نصب شده است. با این وجود، برخی تفاوت‌های فنی بین آن‌ها وجود دارد (۸). باندهای ۱ تا ۷ برای مطالعه هواویزها تعبیه شده‌اند. قدرت تفکیک مکانی این باندها، ۲۵۰ تا ۵۰۰ متر است. یعنی به ازای یک مربع روی زمین با ابعاد ۲۵۰ یا۵۰۰ متر، یک داده رقومی ثبت می‌شود که برای یک منطقه شهری با تغییرات پوشش زیاد، این یک ناحیه بسیار پهناور به شمار می‌رود.

داده‌های سطح اول، شامل بازتابندگی و تابندگی بالای جو[18] است که کاملاً مختصات‌دار، کالیبره و تصحیح شده‌اند و در قالب یک دسته داده‌های علمی[19] و به صورت اعداد صحیح[20] بدون علامت ارایه می‌شوند (۹). این داده‌ها برای تولید تصاویر رنگی و تحلیل‌های کیفی و کمّی مورد استفاده قرار می‌گیرند (۱۰). این محصولات به صورت روزانه و برای هر ناحیه از کره زمین قابل دسترسی هستند. فایل‌های داده مربوطه، دارای سیستم مختصات جغرافیایی بوده و در سه قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰متر[21]، ۵۰۰ متر[22] و یک کیلومتر[23] موجود می‌باشند.

**پیش پردازش تصاویر مودیس:** تصاویر مورد استفاده در این پژوهش از طریق وب سایت ناسا[24] و در قدرت تفکیک‌های مکانی ۲۵۰ متر (دو باند ۱و۲) و یک کیلومتر (۳۶ باند، ۱ الی ۳۶) اخذ شده‌اند. تصاویر ۲۵۰ متری به عنوان ورودی مدل پیشنهادی و تصاویر یک کیلومتری (به دلیل داشتن باندهای حرارتی) جهت تشخیص پیکسل‌های حاوی ابر استفاده می‌شوند. نکته قابل توجه این است که این تصاویر به صورت کالیبره شده در اختیار کاربران قرار می‌گیرد؛ بدین معنی که تصاویر خام از قبل پردازش شده‌اند و طی انجام عمل کالیبراسیون روی آن‌ها تصاویر خام به صورت بازتابندگی (در باندهای مرئی) و تابندگی

[12] CO
[13] $SO_2$
[14] $NO_2$
[15] $O_3$

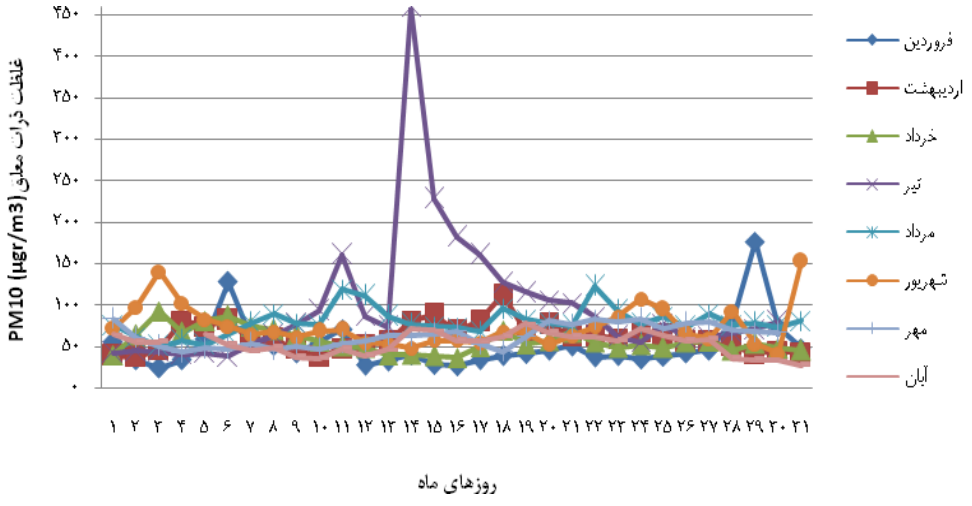
[16] Terra
[17] Aqua
[18] Top Of Atmosphere
[19] Scientific Data Set
[20] Scaled Integer
[21] MOD02QKM
[22] MOD02HKM
[23] MOD021KM
[24] http://daac.gsfc.nasa.gov

www.SID.ir

Archive of SID

(در باندهای مرئی و حرارتی) تبدیل شده‌اند و دیگر نیازی به هیچ گونه پردازشی ندارند. در این جا از سه گروه تصاویر استفاده شده است: ۱- تصویر کاملاً آلوده، مربوط به آلوده‌ترین روز در بازه زمانی مورد مطالعه که بالاترین میزان غلظت آلاینده ذرات معلق را دارا می‌باشد؛ ۲- تصویر مربوط به یک روز پاک، با حداقل میزان ذرات معلق که ترجیحاً پس از بارندگی یا در دهه اول فروردین ماه اخذ شده‌اند؛ ۳- تصاویر نسبتاً آلوده مربوط به روزهای دلخواه دیگر، (منظور از نسبتاً آلوده یعنی این که غلظت آلاینده‌ها در این روزها از روز پاک بیشتر و از روز آلوده کمتر باشد.)

**انتخاب تصاویر جهت استفاده در مدل‌سازی:** جهت انجام مدل‌سازی به سه دسته از تصاویر به شرحی که در بخش قبل بیان شد نیاز است. برای این منظور می‌توان از نمودار ۱، برای سهولت در انتخاب تصاویر پاک و آلوده به عنوان تصاویر مرجع استفاده کرد. در این نمودار که در بازه زمانی ۱ فروردین ۸۸ الی ۳۰ آبان ۸۸، ترسیم شده است، از غلظت‌های روزانه ذرات معلق در تمامی ایستگاه‌های سنجش زمینی آلودگی هوا، میانگین‌گیری شده است. با توجه به نمودار مشخص می‌شود که روز ۸۸/۱/۳ با مقدار ۲۴/۷ میکروگرم بر متر مکعب به عنوان پاک‌ترین و روز ۸۸/۴/۱۵ با مقداری معادل با ۴۵۹/۹۳ میکروگرم بر متر مکعب، به عنوان آلوده‌ترین روز در بازه زمانی مذکور به شمار می‌روند که البته برای روزهای اول فروردین با توجه تعطیلی عید نوروز و کاهش نسبی آلاینده‌ها در شهر انتظار می‌رفت که روز پاک مرجع از میان این روزها انتخاب شود. همچنین در بررسی غلظت زمینی ذرات معلق برای روز آلوده، وقوع طوفان‌های گرد و غبار و ذرات معلق در این ماه را می‌توان دلیلی بر این امر دانست. شکل ۱، نیز نشان‌دهنده وضعیت آب و هوایی در این دو روز است که از وب سایت هواشناسی کشور گرفته شده است. در جدول اطلاعات سایت سازمان هواشناسی، پارامتر مربوط به ستون دید افقی، نشان‌دهنده میزان آلودگی روزهاست. لذا با در نظر گرفتن این پارامتر می‌توان روزهای پاک و آلوده را برای کاربرد مورد نظر انتخاب کرد. برای مثال در این شکل‌ها، دید افقی برای روز پاک به صورت نامحدود بوده است، ولی برای روز آلوده این پارامتر محدود شده و به حدود ۳ کیلومتر رسیده است. لازم به ذکر است که در انتخاب تصاویر دسته سوم (یا نسبتاً آلوده) نیز فرض بر این است که این تصاویر از روزهایی انتخاب شوند که مقدار غلظت آلاینده ذرات معلق در آن‌ها از روز ۸۸/۱/۳ (یعنی روز پاک)، بالاتر باشد. شکل ۲، تصاویر محدوده شهر تهران را در باندهای ۱ و ۲ برای روزهای پاک و آلوده نشان می‌دهد. در بخش (ج) و (د)، حضور ذرات معلق و گرد و غبار بر فراز شهر تهران به روشنی مشهود است.




**نمودار ۱- میانگین روزانه غلظت ذرات معلق در ماه‌های سال و در تمامی ایستگاه‌های سنجش زمینی آلودگی هوا**

www.SID.ir

Archive of SID

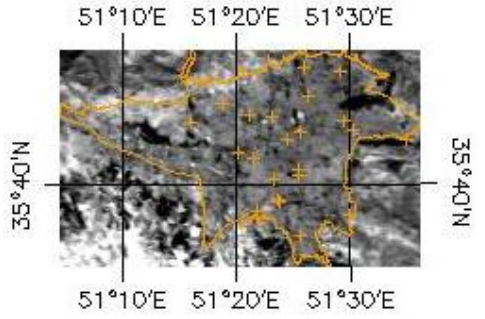
گزارش وضع هوای تهران
در تاریخ: 03/01/1388

| ساعت | وضعیت هوا | درجه حرارت (C) | نقطه شبنم | دید افقی (m) | فشار (Hpa) | سرعت و جهت باد |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 23:30 | | 10 | -1 °C | نامحدود | 1007 | غربی 2 mps |
| 00:00 | | 10 | -1 °C | نامحدود | 1007 | شمال غربی 5 mps |
| 00:30 | | 10 | -1 °C | نامحدود | 1008 | شمال غربی 3 mps |
| 01:00 | | 10 | -1 °C | نامحدود | 1008 | غربی 4 mps |
| 01:30 | | 10 | -2 °C | نامحدود | 1008 | غربی 3 mps |
| 02:00 | | 10 | -2 °C | نامحدود | 1008 | غربی 3 mps |
| 02:30 | | 10 | -3 °C | نامحدود | 1008 | شمال غربی 3 mps |
| 03:00 | | 10 | -2 °C | نامحدود | 1008 | شمال غربی 2 mps |
| 03:30 | | 10 | -2 °C | نامحدود | 1008 | جنوب شرقی 2 mps |
| 04:00 | | 9 | -3 °C | نامحدود | 1008 | --- آرام |
| 04:30 | | 9 | -3 °C | نامحدود | 1008 | --- آرام |
| 05:00 | | 9 | -4 °C | نامحدود | 1009 | شمال غربی 2 mps |
| 05:30 | | 9 | -3 °C | نامحدود | 1009 | --- آرام |
| 06:00 | | 8 | -3 °C | نامحدود | 1010 | شمال غربی 2 mps |
| 06:30 | | 11 | -5 °C | نامحدود | 1010 | شمالی 2 mps |
| 07:00 | | 11 | -5 °C | نامحدود | 1010 | غربی 2 mps |
| 07:30 | | 12 | -4 °C | نامحدود | 1011 | غربی 2 mps |
| 08:00 | | 13 | -3 °C | نامحدود | 1011 | جنوب غربی 3 mps |
| 08:30 | | 16 | -11 °C | نامحدود | 1011 | غربی 5 mps |
| 09:00 | | 16 | -12 °C | نامحدود | 1011 | غربی 7 mps |
| 09:30 | | 16 | -11 °C | نامحدود | 1011 | غربی 7 mps |
| 10:00 | | 16 | -12 °C | نامحدود | 1011 | غربی 7 mps |
| 10:30 | | 16 | -12 °C | نامحدود | 1011 | غربی 7 mps |
| 11:00 | | 16 | -12 °C | نامحدود | 1011 | غربی 7 mps |

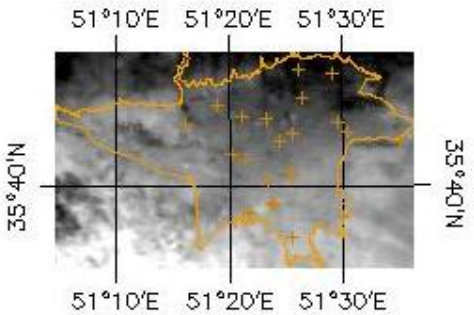
گزارش وضع هوای تهران
در تاریخ: 16/04/1388

| ساعت | وضعیت هوا | درجه حرارت (C) | نقطه شبنم | دید افقی (m) | فشار (Hpa) | سرعت و جهت باد |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 23:30 | | 30 | -1 °C | 3000 m | 1006 | شمالی 4 mps |
| 00:00 | | 30 | -1 °C | 3000 m | 1006 | شمالی 5 mps |
| 00:30 | | 30 | -2 °C | 3000 m | 1006 | شمالی 5 mps |
| 01:00 | | 30 | -2 °C | 3000 m | 1006 | شمال غربی 3 mps |
| 01:30 | | 26 | 8 °C | 3000 m | 1006 | غربی 5 mps |
| 02:00 | | 26 | 8 °C | 3000 m | 1006 | غربی 5 mps |
| 02:30 | | 25 | 10 °C | 3000 m | 1006 | غربی 6 mps |
| 03:00 | | 25 | 10 °C | 3000 m | 1006 | غربی 4 mps |
| 03:30 | | 24 | 9 °C | 3000 m | 1007 | غربی 5 mps |
| 04:00 | | 24 | 9 °C | 3000 m | 1007 | غربی 4 mps |
| 04:30 | | 24 | 9 °C | 3000 m | 1007 | غربی 4 mps |
| 05:00 | | 24 | 9 °C | 3000 m | 1007 | غربی 3 mps |
| 05:30 | | 22 | 9 °C | 3000 m | 1007 | غربی 3 mps |
| 06:00 | | 22 | 9 °C | 3000 m | 1007 | غربی 4 mps |
| 06:30 | | 23 | 8 °C | 3000 m | 1008 | غربی 5 mps |
| 07:00 | | 23 | 8 °C | 3000 m | 1008 | غربی 5 mps |
| 07:30 | | 25 | 7 °C | 3000 m | 1008 | غربی 2 mps |
| 08:00 | | 25 | 8 °C | 3500 m | 1009 | غربی 3 mps |
| 08:30 | | 26 | 6 °C | 4000 m | 1009 | جنوب غربی 2 mps |
| 09:00 | | 26 | 6 °C | 4000 m | 1009 | جنوب غربی 2 mps |
| 09:30 | | 28 | 5 °C | 4000 m | 1009 | جنوب شرقی 3 mps |
| 10:00 | | 29 | 5 °C | 3000 m | 1009 | جنوب شرقی 4 mps |
| 10:30 | | 30 | 4 °C | 3000 m | 1010 | شرقی 2 mps |
| 11:00 | | 30 | 3 °C | 2500 m | 1010 | جنوب شرقی |

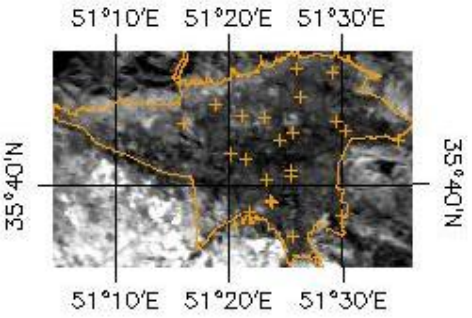
**شکل ۱- گزارش وضع هوای شهر تهران در ۸۸/۱/۳ و ۸۸/۴/۱۶ که از وب‌سایت هواشناسی کشور اخذ گردیده است**



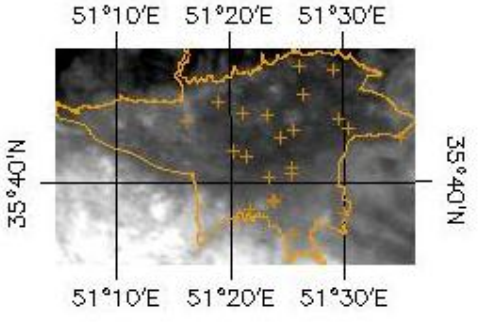

(الف) تصویر روز پاک در باند ۱




(ج) تصویر روز آلوده در باند ۱




(ب) تصویر روز پاک در باند ۲




(د) تصویر روز آلوده در باند ۲

**شکل ۲- تصاویر محدوده شهر تهران برای روزهای پاک و آلوده که با نقشه وکتوری شهر و ایستگاه‌های پایش آلودگی هوا همپوشانی شده است**

www.SID.ir

Archive of SID

**روش جداسازی طیفی برای پیاده‌سازی مدل کیفیت هوای ذرات معلق:** اگر تصویر روز پاک را در نظر بگیریم، به ازای هر پیکسل موجود در تصویر، یک مقدار عددی بازتابندگی اختصاص داده می‌شود که برای باندهای ۱ و ۲ به ترتیب با $\rho^1_{Clear}$ و $\rho^2_{Clear}$ نام‌گذاری شده‌اند. همچنین فرض می‌شود که در یک روز کاملاً آلوده، آلاینده ذرات معلق با بازتابندگی‌های $\rho^1_{Pollutant}$ و $\rho^2_{Pollutan}$ (به ترتیب در باندهای ۱ و ۲) به این تصویر وارد می‌شود که در این جا $\rho^1_{Pollutant}$ و $\rho^2_{Pollutan}$، به عنوان بازتابندگی آلاینده مورد مطالعه، در این دو باند طیفی در نظر گرفته می‌شوند؛ البته با این شرط که فرض شود: ۱- در روز آلوده، مقدار آلاینده آن قدر بالا است که سطح زمین تأثیری در بازتابندگی ثبت شده در پیکسل نداشته و هر آنچه که توسط سنجنده مشاهده شده باشد مربوط به خود آلاینده می‌باشد. ۲- تنها آلاینده ذرات معلق در پیکسل در نظر گرفته شود و از اثر بقیه آلاینده‌ها و گازهای دیگر موجود که در باندهای طیفی مورد استفاده اثر طیفی دارند صرف‌نظر شود.

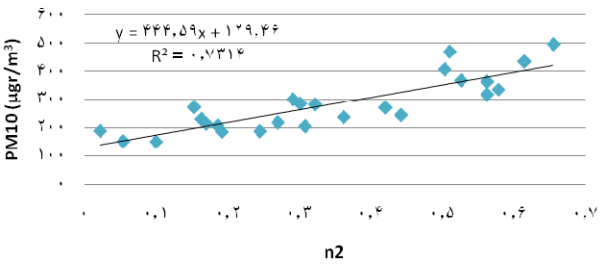
با توجه به فرضیات بالا و با در اختیار داشتن تصاویر دسته سوم (یعنی تصاویری که از نظر آلودگی) بین تصویر پاک و تصویر آلوده قرار دارند، معادله جدا سازی طیفی به ازای هر پیکسل تصویری به صورت معادله ۱، نوشته می‌شود:

$$\rho^1 = n_1\,\rho^1_{Clear} + n_2\,\rho^1_{Pollutant}$$
$$\rho^2 = n_1\,\rho^2_{Clear} + n_2\,\rho^2_{Pollutant} \qquad (۱)$$

که در این معادله، $\rho^1$ و $\rho^2$، مقادیر بازتابندگی به دست آمده از تصویر متناظر با پیکسل‌هایی هستند که در آن‌ها، هم اثر سطح زمین و هم اثر آلودگی وجود داشته باشد. با حل دستگاه دو معادله و دو مجهولی بالا به ازای هر یک از پیکسل‌ها، مجهولات $n_1$ و$n_2$، در این باندهای خاص از سنجنده به دست می‌آید. در این جا ضریب $n_2$ را، متناسب با میزان آلودگی در نظر می‌گیریم که البته هدف اصلی از حل این معادله، استخراج مقادیر $n_2$ برای هر پیکسل تصویر است. بنابراین با حل عددی این دو معادله، میزان آلودگی در پیکسل‌هایی که هم زمین دیده می‌شود و هم آلودگی وجود دارد (تصاویر نسبتاً آلوده)، محاسبه می‌شود. سپس این درصد آلودگی به دست آمده از تصویر با غلظت آلاینده در لحظه گذر ماهواره که توسط ایستگاه‌های زمینی پایش آلودگی هوا اندازه‌گیری شده است مقایسه می‌شوند.

از حل عددی معادله ۱، با استفاده از تصاویر ۸۸/۴/۱۶، ۸۸/۴/۱۷، ۸۸/۴/۱۸ و ۸۸/۴/۲۰ برای هفت ایستگاه (امام خمینی، تجریش، آزادی، بهمن، اقدسیه، گلبرگ و استانداری)، ضرایب $n_2$ به دست آمدند و با غلظت آلاینده ذرات معلق در زمان گذر ماهواره از منطقه مورد نظر در یک نمودار پراکنش[25] ترسیم شدند. نتایج در نمودار ۲، نشان داده شده است. نتیجه رگرسیون خطی میان دو نوع داده، نشان‌دهنده میزان همبستگی خوب در حدود ۰/۷۳، بین داده‌های به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های اندازه‌گیری شده زمینی می‌باشد. معادله (۲)، این ارتباط خطی را نشان می‌دهد:

$$PM10=444.59\times n_2+129.46 \qquad (۲)$$




**نمودار ۲- نتیجه رگرسیون خطی میان کسر آلودگی ($n_2$) به دست آمده از تصویر و غلظت‌های آلاینده ذرات معلق اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌ها**

نمودار ۳، نتایج به دست آمده از مدل را با اندازه‌گیری‌های زمینی برای چهار روز ۸۸/۴/۱۶، ۸۸/۴/۱۷، ۸۸/۴/۱۸ و ۸۸/۴/۲۰ مقایسه می‌کنند، که بیانگر رفتار مشابه مقادیر به دست آمده از ماهواره ($n_2$) و مقادیر به دست آمده از ایستگاه‌های زمینی (ذرات معلق) می‌باشند. نمودار ($n_2$) بیان می‌کند که درصد حضور آلاینده در روز ۸۸/۴/۱۶ بیشترین مقدار را داشته و به تدریج کاهش یافته و در روز ۸۸/۴/۲۰ به کمترین مقدار خود در میان این چهار روز رسیده است. از طرفی ملاحظه می‌شود که نمودار ذرات معلق نیز این روند را تأیید کرده است.

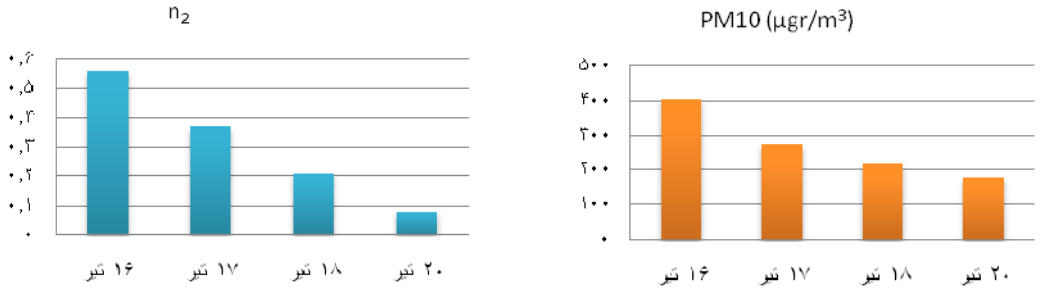
همان طور که گفته شد $\rho_{Pollutant}$، در این جا معرف بازتابندگی مربوط به نوع آلاینده ذرات معلق است. نکته قابل توجهی که در اینجا لازم به ذکر است، چگونگی یافتن آلوده‌ترین پیکسل موجود در میان پیکسل‌های تصویر آلوده است تا بتوان مقدار بازتابندگی متناظر با آن پیکسل را به عنوان یک بازتابندگی مرجع در معادله ۱ قرار داد. برای این منظور نموداری برای چهار روز بسیار آلوده در بازه زمانی مورد نظر ترسیم شد که در این نمودار نیز روز ۸۸/۴/۱۶ به عنوان آلوده‌ترین روز و ایستگاه امام خمینی با مقدار غلظتی بالاتر از ۱۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب، آلوده‌ترین ایستگاه در این روز به شمار می‌رود (نمودار ۴). در نتیجه می‌توان با مراجعه به تصویر زمین مرجع شده مربوط به

[25] Scatter Plot

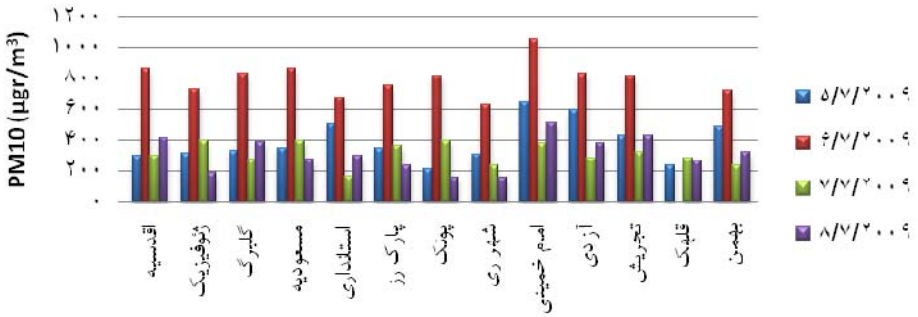
www.SID.ir

Archive of SID

همان روز، مقادیر بازتابندگی پیکسل متناظر با این نقطه در هر یک از دو باند تصویر با قدرت تفکیک ۲۵۰ متری را استخراج کرد و به عنوان بازتابندگی‌های آلاینده ذرات معلق در دو باند مورد نظر ($\rho^1_{Pollutant}$ و $\rho^2_{Pollutan}$) استفاده کرد.




**نمودار ۳- مقایسه نتایج به دست آمده از مدل و اندازه‌گیری‌های زمینی برای چهار روز مختلف**




**نمودار ۴- نمودار فراوانی مقادیر متوسط ۲۴ ساعتی غلظت آلودگی ذرات معلق در ایستگاه‌های مختلف برای چهار روز آلوده**

## نتایج و بحث

**تولید نقشه‌های توزیع ذرات معلق در سطح شهر تهران:**

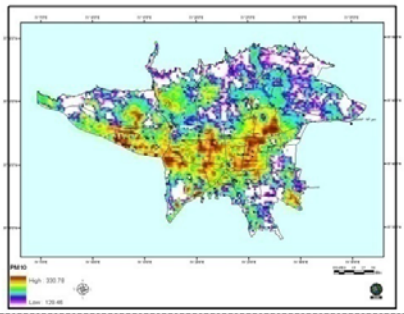
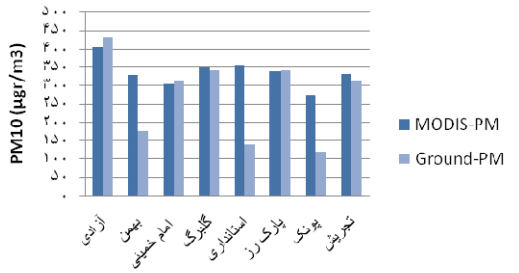
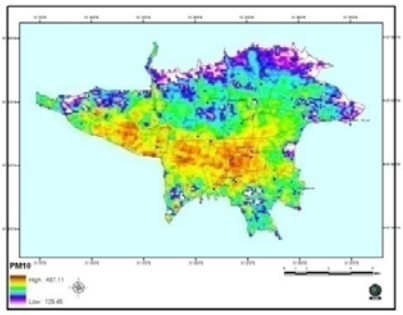
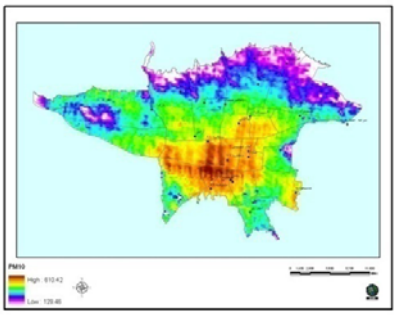
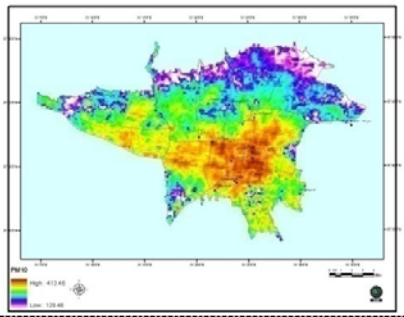
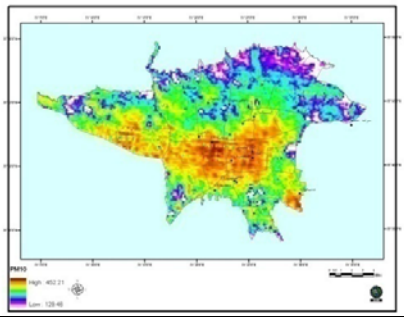
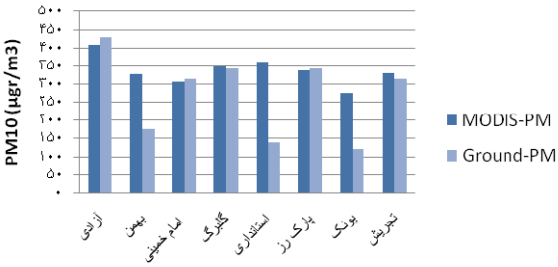
در این بخش از تعدادی تصویر، در بازه زمانی فروردین تا آبان ماه سال ۸۸ و در محدوده جغرافیایی شهر تهران استفاده شده است. در هر یک از تصاویر، پس از حل معادله ۳، برای تک تک پیکسل‌ها، سهم کسر آلودگی ($n_2$) به دست آمد. با جای‌گذاری در معادله ۴، مقادیر ذرات معلق محاسبه می‌شوند. در شکل ۳، تعدادی از نقشه‌های ذرات معلق استخراج شده از مدل نمایش داده شده است. لازم به ذکر است که در این روزها، اطلاعات ثبت شده درباره مقادیر غلظت آلاینده ذرات معلق، تنها برای تعداد معدودی از ایستگاه‌های زمینی سنجش آلودگی هوا موجود بودند و در بسیاری از ایستگاه‌ها ستون مربوط به این پارامتر به صورت ناکامل و یا خالی از داده بودند.

با توجه به نقشه‌های توزیع ذرات معلق که از تصاویر سنجنده مودیس حاصل شده‌اند و توضیحات ارایه شده در قبل، می‌توان نتیجه گرفت که نواحی جنوبی و مرکزی شهر تهران بیشتر در معرض آلودگی هوا و ذرات معلق قرار دارد و با توجه به خصوصیات توپوگرافی و آب و هوایی شهر تهران این نتایج قابل قبول بوده و می‌توان انتظارداشت که هوای شهر در این مناطق، اغلب اوقات آلوده باشد. همان گونه که از جدول ۱ مشاهده می‌شود، به جز منطقه میدان امام خمینی، قلهک و تجریش در سایر مناطق، داده‌های مادیس بزرگ‌تر از ایستگاه‌های سنجش است. در تمامی موارد مقادیر انحراف معیار داده‌های مادیس بزرگ‌تر از ۱۰٪ بوده و مقادیر در مقایسه با داده‌های ایستگاهی بیش از ۳۰٪ بوده است. این تفاوت به علت مختلط بودن بیش از حد پیکسل‌ها و نقطه‌ای بودن اندازه‌گیری‌های ایستگاهی می‌باشد. ناشناخته بودن بازتابندگی سطح و متفاوت بودن نوع آلودگی در ایستگاه‌های مختلف نیز می‌تواند تأثیری مضاعف داشته باشند.

www.SID.ir

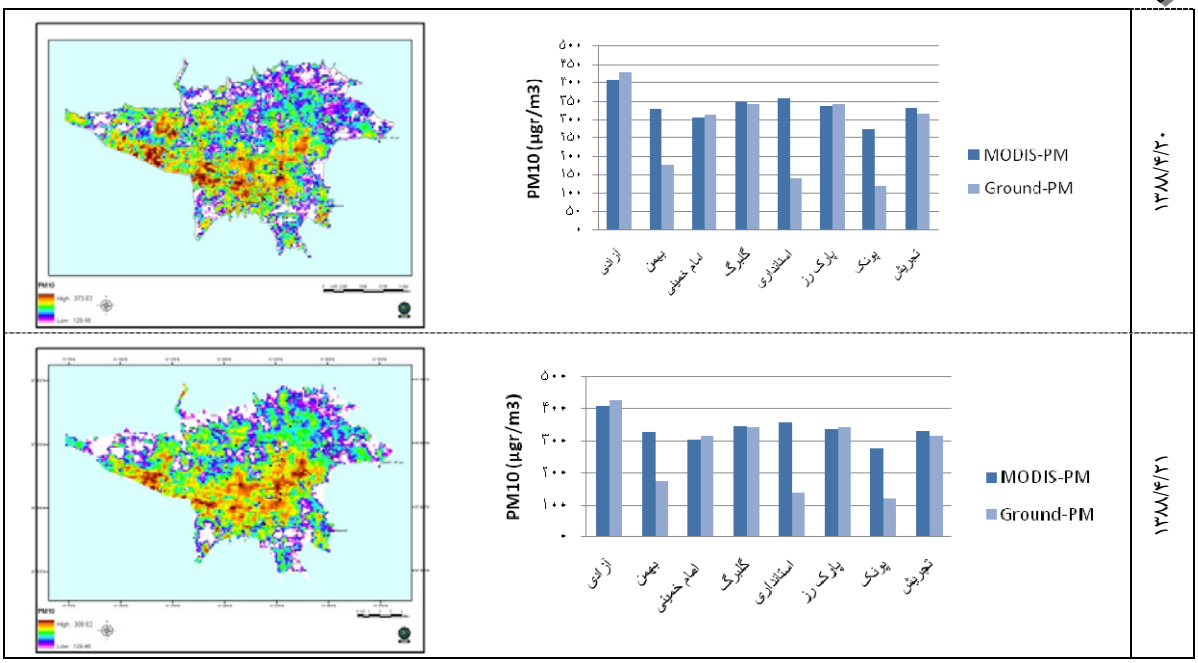
Archive of SID



| | | |
|---|---|---|
| ۱۳۸۸/۴/۱۰ |  |   |
| ۱۳۸۸/۴/۱۴ |  | |
| ۱۳۸۸/۴/۱۵ |  | |
| ۱۳۸۸/۴/۱۶ |  | |
| ۱۳۸۸/۴/۱۷ |  |   |

www.SID.ir

Archive of SID




**شکل ۳- نقشه‌های توزیع ذرات معلق استخراج شده از تصویر ترا- مودیس با قدرت تفکیک ۲۵۰ متر از شهر تهران به همراه نمودار میله‌ای مقایسه داده‌های حاصل از ماهواره و داده‌های زمینی**

**جدول ۱- نتایج به دست آمده از مقایسه داده‌های ماهواره‌ای و زمینی ذرات معلق برای ایستگاه‌های مختلف**

| نام ایستگاه | Mean MODIS PM10 | Mean Ground PM10 | RMSE | تعداد داده |
|---|---|---|---|---|
| اقدسیه | ۱۴/۴۸ (SD=۱۹۱/۵۶) | ۱۴/۸ (SD=۱۴۳/۵۷) | ۶۲/۶۴ | ۶ |
| آزادی | ۸۸/۶ (SD=۲۹۵/۵۹) | ۱۰۲/۲ (SD=۲۷۹/۲) | ۱۱۹/۳۶ | ۱۳ |
| بهمن | ۶۱/۰۵(SD=۲۸۲/۶۲) | ۳۹/۳ (SD=۲۶۲/۲۴) | ۱۲۳/۵۴ | ۱۲ |
| امام خمینی | ۶۱/۷۲ (SD=۲۹۸/۳۵) | ۷۶/۵ (SD=۳۱۷/۹۰) | ۱۷۴/۱۷ | ۱۵ |
| ژئوفیزیک | ۱۴/۰۳ (SD=۱۹۱/۱۹) | ۲۶/۵ (SD=۱۷۹/۵۲) | ۵۴/۰۳ | ۳ |
| قلهک | ۳۶/۵ (SD=۲۴۳/۰۳) | ۲۱۸/۰۵ (SD=۲۶۰/۰۸) | ۷۶/۷۱ | ۵ |
| گلبرگ | ۶۶/۱۸ (SD=۲۵۵/۸۳) | ۷۱/۶۹ (SD=۲۴۰/۳۶) | ۱۰۵/۹۱ | ۱۲ |
| مسعودیه | ۲۵/۱۶ (SD=۲۲۴/۲۶) | ۴۲/۱۱ (SD=۱۹۰/۹۰) | ۹۴/۰۳ | ۷ |
| استانداری | ۵۲/۰۸ (SD=۳۰۷/۶۴) | ۸۶/۱۲ (SD=۲۴۵/۸۴) | ۱۴۸/۳۶ | ۱۲ |
| پارک رز | ۴۵/۴ (SD=۲۴۹/۰۷) | ۹۸/۶۸ (SD=۲۴۶/۵) | ۱۰۲/۳۳ | ۱۲ |
| پونک | ۴۰/۶۸ (SD=۲۵۰/۰۶) | ۲۴/۱۸ (SD=۲۱۱/۷۲) | ۱۶۷/۶۵ | ۱۳ |
| شهر ری | ۳۲/۴۰ (SD=۱۹۶/۶۲) | ۴۱/۶۵ (SD=۱۳۹/۳۴) | ۷۳/۸۰ | ۷ |
| تجریش | ۶۰/۰۹ (SD=۲۴۴/۷۶) | ۹۸/۸ (SD=۲۵۵/۱۳) | ۱۶۹/۵۷ | ۱۴ |
| پردیسان | – | – | – | – |
| سرخه حصار | – | – | – | – |

در مجموع با توجه به بررسی‌های انجام شده در این پژوهش، می‌توان از موارد ذیل به عنوان منابع عدم قطعیت یاد کرد:

۱- پیکسل‌هایی که در معادله به عنوان مرجع در نظر گرفته شده‌اند، از پوشش‌های سطحی متنوعی برخوردارند که در طول سال تغییر می‌کنند، ولی در این جا ثابت در نظر گرفته شده‌اند. همان طور که در قبل اشاره شد، در معادله ۱، بازتابندگی‌های مربوط به پیکسل‌های روز پاک ($\rho^1_{clear}$ و $\rho^2_{clear}$)، به عنوان بازتابندگی‌های مرجع در نظر گرفته شد و سپس با اخذ تصاویر نسبتاً آلوده بعد از روز پاک، از مقادیر بازتابندگی متناظر با پیکسل‌های همین تصاویر ($\rho^1$ و $\rho^1$)، جهت حل عددی معادله استفاده گردید. بنابراین مناسب به نظر می‌رسد که پیکسل‌هایی که در معادله فوق به کار می‌روند به گونه‌ای انتخاب شوند که پوشش سطح زمین آن‌ها در طول زمان، نسبت به روز پاک تغییر نکند. به این صورت که یا از لحاظ زمانی، بلافاصله بعد از این روز باشد که پوشش زمین هیچ تغییری نکرده باشد و یا این که نقاطی از زمین در نظر گرفته شوند که از پوشش ثابت در طول سال برخوردار باشند.

۲- از آنجا که برای بررسی نهایی نتایج مدل و لزوم مقایسه با داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌های زمینی، نیاز به استفاده از پیکسل‌های متناظر با ایستگاه‌های پایش آلودگی هوا وجود دارد، با توجه به بحث فوق، باید دانست که منطقه اطراف ایستگاه از چه پوششی برخوردار است. برای مناطقی که شامل

www.SID.ir

Archive of SID

ساختمان‌های زیاد و متراکم بوده و پوشش گیاهی اطراف ایستگاه از نوع چمن و یا درختان سوزنی برگ است که در سراسر سال سبز هستند، می‌توان پوشش سطحی این مناطق را در زمستان و تابستان، ثابت فرض کرد. حال اگر مقدار کمی گیاه در اطراف آن وجود داشته باشد که در زمستان خشک می‌شوند (مثلاً درختان پهن برگ باشند)، در مقدار بازتابندگی‌های تصاویر مربوط به زمان‌های مختلف، مقداری تغییر ایجاد می‌شود.

۳- مدل پیشنهادی، تنها برای تصاویر نسبتاً آلوده جواب می‌دهد. در صورت استفاده از تصاویر نزدیک به روز پاک، مقادیر n۲ برای برخی از پیکسل‌ها منفی می‌شود. زیرا که آلودگی، بازتابندگی پیکسل‌ها را افزایش می‌دهد. بنابراین با توجه به معادله ۱، اگر بازتابندگی تصویر دلخواه از بازتابندگی تصویر پاک کمتر باشد، ضریب آلودگی n۲ تقریباً نزدیک به صفر یا منفی می‌شود؛ وجود این مسأله باعث محدودیت در انتخاب تصاویر شده است. بنابراین برای انتخاب تصاویر مناسب، باید ابتدا وضعیت غلظت ذرات معلق در آن روز مورد نظر با روز پاک مقایسه شود.

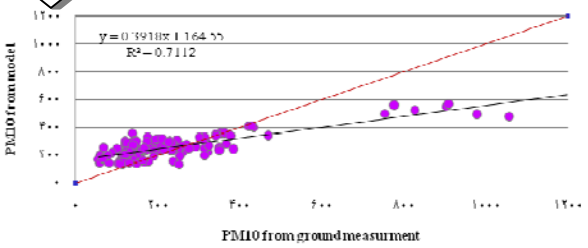
۴- مقادیر بازتابندگی ($\rho^1_{Pollutant}$ و $\rho^2_{Pollutan}$)، تنها مربوط به ذرات معلق نیست، بلکه ممکن است عوامل یا آلودگی‌های دیگری نیز در پیکسل‌ها وجود داشته باشند که در این جا از اثر طیفی آن‌ها در طول موج‌های مورد استفاده صرف نظر شده است.

۵- اندازه پیکسل‌های سنجنده مودیس بسیار بزرگ است، لذا وجود پیکسل‌های مختلط، باعث ایجاد عدم قطعیت شده است.

۶- اعتبار داده‌های ایستگاه‌های زمینی منوط بر کالیبراسیون و نگهداری دقیق دستگاه‌ها بوده و در صورت عدم رعایت این امر، باعث ایجاد خطاهای اندازه‌گیری و عدم قطعیت می‌شوند.

## نتیجه‌گیری

پس از آماده‌سازی نقشه‌ها مقادیر ذرات معلق به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای با اندازه‌گیری‌های زمینی در لحظه گذر ماهواره مقایسه می‌شوند. نمودار ۵ و جدول ۲ نتایج این مقایسه و برازش خطی میان این دو پارامتر را نشان می‌دهد. مقایسه انحراف معیار با مقادیر غلظت ذرات معلق، نشان می‌دهد که برای مقادیر غلظت ذرات معلق (حدود ۱۰۰ میکروگرم بر مترمکعب)، درصد خطا بالا بوده و مدل در پیش‌بینی مقادیر مبالغه می‌کند. در حالی که در مقادیر بالای غلظت ذرات معلق (مثلاً در حدود ۴۰۰ میکروگرم بر مترمکعب)، میزان خطا کاهش یافته و مدل جواب بهتری می‌دهد.




**نمودار ۵- نمودار پراکنش میان مقادیر غلظت ذرات معلق به دست آمده از ایستگاه‌های زمینی و مقادیر متناظر به دست آمده از سنجنده مودیس**

**جدول ۲- مشخصات نتایج به دست آمده از تطابق داده‌های مودیس با اندازه‌گیری‌های زمینی آلاینده ذرات معلق**

| Mean Model PM10 | Mean Ground PM10 | RMSE | Number of data | $R^2$ |
|---|---|---|---|---|
| ۹۹/۶۶±۲۵۹/۵۱ | ۱۹۹/۴۲±۲۴۲/۳۶ | ۱۳۲/۲۲ | ۱۳۲ | ۰/۷۱ |

با بررسی‌های انجام شده در این تحقیق، این طور نتیجه گرفته می‌شود که پیشرفت‌های اخیر در زمینه سنجش از دور، امکان به کارگیری تصاویر ماهواره‌ای برای اندازه گیری آلاینده‌ها در شرایط طبیعی و در سطح وسیع از مناطق شهری و حتی کشور را فراهم کرده است. همچنین استفاده از این علم باعث کاهش قابل توجهی در هزینه‌ها و نیروی کار انسانی در مقایسه با روش‌های زمینی می‌شود. باتوجه به در دسترس بودن امکانات ماهواره‌ای در کشور، هزینه پایش آلودگی هوا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بسیار پایین است، چرا که تهیه تصاویر رایگان بوده و می‌توان آن‌ها را به راحتی از اینترنت تهیه کرد و از تکنولوژی روز دنیا برای پایش آلودگی هوا استفاده کرد. سنجنده مودیس برای بررسی روزانه و یا یک روز در میان هواویزهای موجود در جو مفید می‌باشد. در این پژوهش از تصاویر مودیس به عنوان ابزاری برای استخراج کمّی ذرات معلق و گرد و غبار موجود در جو استفاده شد. با توجه به گذر روزانه این سنجنده از فراز کشور ایران، درحال حاضر مناسب‌ترین وسیله برای تولید تصاویر ماهواره‌ای جهت مطالعه ذرات معلق هوا است که ناسا تصاویر آن را به طور رایگان در اینترنت در دسترس کاربران قرار داده است. در این پژوهش، امکان سنجش آلودگی ذرات معلق موجود در جو شهر تهران با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس بررسی شد. برای این منظور به معرفی مدلی جهت آشکارسازی آلاینده ذرات معلق با استفاده از تصویر مودیس پرداخته شد. سپس پارامتر به دست آمده از تصویر با اندازه‌گیری‌های زمینی غلظت آلاینده ذرات معلق مقایسه گردید. این مقایسه بیانگر وجود همبستگی مثبت، در حدود ۷۰٪، میان نتایج این دو نوع داده می‌باشد. بنابراین مدل، توانایی نسبتاً خوبی برای تعیین غلظت ذرات معلق در سطح شهر تهران دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

## تشکر و قدردانی

این پژوهشگران برخود لازم می‌دانند تا از همکاری‌های سازمان محترم حفاظت محیط زیست و اداره نظارت بر آلودگی و سازمان هواشناسی کشور در تأمین داده‌های مورد نیاز قدردانی نماید. همچنین از مسؤولین سایت مودیس به خاطر در اختیار قرار دادن رایگان تصاویر مورد نیاز تشکر و قدردانی می‌شود.

## References

1- Yoram Kaufman J, Tanré D, Algorithm for remote sensing of tropospheric aerosol from MODIS,IEEE transactions on geoscience and remote sensing,1998;35:1286–1298.

2- Koelemeijer RBA, Homan CD, Matthijsen J. Comparison of spatial and temporal variations of aerosol optical thickness and particulate matter over Europe. Journal of Atmospheric Environment 2006; 40: 5304-5315.

3- Gupta P, Sundar CA. An evaluation of Terra-MODIS sampling for monthly and annual particulate matter air quality assessment over the Southeastern United States. Atmospheric Environment 2008; 42: 6465-6471.

4- Sohrabinia M, Khorshiddoust AM. Application of satellite data and GIS in studying air pollutants in Tehran. Habitat International 2007; 31: 268-275.

5- Tsai T, JengY, Chu D, ChenJ, Chang S. Analysis of the relationship between MODIS aerosol optical depth and particulate matter from 2006 to 2008. Atmospheric Environment 2009: 1-12.

6- Torkian A, Amid F, Keshavarzi H. The application of MODIS satellite remote sensing in estimation of particulate urban air pollution, Proceeding 100th AWMA Conference Pittsburg: 2007; 103: 26 – 29.

7- Safavi Y. The Analysis of Geographic factors in air pollution in Tehran. Geographic Researches 2006: 58: 99-112.

8- Chin T, Yung-Jyh J, Allen Chu D. Analysis of the relationship between MODIS aerosol optical depth and particulate matter from 2006 to 2008. Atmospheric Environment 2009; 45: 4777–4788.

9- Ling-jun L, Ying W, Qiang Z, Tong Y, Yue Z, Jun J. Spatial distribution of aerosol pollution based on MODIS data over Beijing, China. Journal of Environmental Sciences 2007; 19: 955–960.

10- Engel-Cox JA, Holloman HW, Coutant B, Raymond MH. Qualitative and quantitative evaluation of MODIS satellite sensor data for regional and urban scale air quality. Atmospheric Environment 2004; 38: 2495-2509.

www.SID.ir

Archive of SID

# A Fast Method for Assessment of PM10 Concentration Using MODIS Images, A Case Study in Tehran

Qorbani Salkhord R (MSc), Mobasheri MR* (PhD), Rahimzadehgan M (PhD Student)

*Department of Remote Sensing, Faculty of Geodesy and Geomatics, K.N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran*

**Received: 11 Jan 2012, Accepted: 13 Jul 2012**

## Abstract

**Introduction:** One of the most important pollutants that can be monitored in the atmosphere through remote sensing technology is particulate matter's concentration (PM10). This study aimed to assess the MODIS sensor's ability in monitoring of the PM10 in urban areas and producing daily maps of this pollutant.

**Methods:** The MODIS Level 1B-1KM, MODIS Level 1B-250M images, as well as pollutants data collected from pollution surveying stations at different parts of Tehran were used in this study. The model was based on the concept of linear spectral unmixing of only two endmembers; surface reflectance without pollution and PM10 reflectance in the air. These two reflectances are extracted from MODIS images itself. In this respect, the surface reflectance was extracted from an image of a clear day and reflectance of aerosols was calculated from an image of highly polluted day when the surface was completely masked by the pollutants.

**Results:** Findings showed that there was an acceptable correlation between model prediction and insitu measurements. This correlation was found to be about 70% with a RMSE of about 132.22 µg/m3 between model predicted and insitu measured for Tehran. Comparing RMSE with those of ground measurement of PM10, the relative error was high for low PM10 concentrations (about 200 µgr/m3); consequently model was exaggerated. This relative error was low for the higher values of the PM10.

**Conclusion:** Existance of acceptable correlation between model prediction and insitu measurements were indicative of the ability of satellite images in monitoring of the air pollution due to particulate matter particularly over urban areas.

**Key words:** air pollution, aerosol, PM10, MODIS

**Please cite this article as follows:**

Qorbani Salkhord R, Mobasheri MR, Rahimzadehgan M. A Fast Method for Assessment of PM10 Concentration Using MODIS Images, a Case Study in Tehran. Hakim Research Journal 2012;15(2):166-177.

*Corresponding Author: ValiAsr Street, Mirdamad cross, Tehran, Iran, Post Code 19967-15433, Tel: +98-21-88877072, +98- 21- 8887 7073 ext. 306. E-mail: Mobasheri@kntu.ac.ir

www.SID.ir