بررسی یک روز غباری با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، مدل هواشناسی HYSPLIT و اندازه‌گیری‌های زمین-پایه برای شهر تهران

احمد عصار عنایتی، علی بیات

۱- دانشجوی کارشناسی رشته فیزیک، دانشگاه زنجان ahmadassar1375@gmail.com
۲- عضو هیئت علمی‌گروه فیزیک، دانشگاه زنجان abayat@znu.ac.ir

چکیده – در این مقاله با استفاده از داده‌های ماهواره‌های *MODIS* و *OMI*، مدل هواشناسی *HYSPLIT* و اندازه‌گیری‌های زمین پایه توسط سازمان هواشناسی و داده‌های مرکز کنترل کیفیت هوا تهران یک روز غباری مورد بررسی قرار گرفته است. عمق اپتیکی هواویز، معیاری از ذرات جامد یا مایع معلق در جو را نشان می‌دهد. سنجنده *MODIS* که بر روی ماهواره‌های *Aqua* و *Terra* قرار دارد، مقدار عمق اپتیکی هواویز در طول موج ۵۵۰ نانومتر برای روز ۶ جولای ۲۰۰۹ را بالاتر از ۲ ثبت کرده است. همچنین شاخص هواویز اندازه‌گیری شده با سنجنده *OMI* مقدار بالای ۴ را برای این روز نشان می‌دهد. نمای آنگستروم، معیاری از ابعاد ذرات جوی را نشان می‌دهد که اندازه‌گیری سنجنده *MODIS* برای این روز نزدیک صفر است که نشان‌دهنده ذرات درشت دانه است. در این روز غباری، غلظت *PM10* بالای ۸۰۰ میکروگرم در سانتی متر مکعب و دید افقی به زیر ۲ کیلومتر رسیده است. مدل بازگشتی *HYSPLIT* ، نقشه‌های عمق اپتیکی و شاخص هواویز نشان می‌دهند که غبار از چشمه عراق آمده است.

کلید واژه- شاخص‌هواویز، عمق‌اپتیکی هواویز، مدل HYSPLIT، نمای آنگستروم، MODIS.

Study of a dusty day by using satellite data, HYSPLIT meteorological model and ground-based measurements over Tehran city

Ahmad Assar Enayati, Ali Bayat

1-Bachelor student of Physics, University of Zanjan, Zanjan, Iran ahmadassar1375@gmail.com

2- Faculty member of physics, University of Zanjan, Zanjan, Iran abayat@znu.ac.ir

Abstract- In this paper, by using MODIS and OMI satellites sensor data, the HYSPLIT meteorological model and ground-based measurements by the Meteorological Organization and the Air Quality Control Center of Tehran data, a dusty day has been investigated. Aerosol optical depth shows a measure of solid or liquid suspended particles in the atmosphere. The MODIS sensor, which is located on Aqua and Terra satellites, records the amount aerosol optical depth at 550 nm for July 6, 2009 above 2. Also, the aerosol Index measured with OMI sensor is above 4 for the day. The Angstrom exponent shows a measure of atmospheric particle size that the measurement of MODIS sensor for the day is close to zero, indicating coarse particles. On the dusty day, the concentration of PM10 is higher than 800 µg / cm3 and the horizontal visibility below 2 km. The HYSPLIT model, aerosol optical depth maps and aerosol indexes show that dust is coming from the Iraq.

Keywords: Aerosol Index, Aerosol Optical Depth, HYSPLIT model, Angstrom Exponent, MODIS.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-06-20]

۱- مقدمه

هواویزها ذرات معلق جامد یا مایع در جو هستند که اثرات زیادی در سلامتی انسانها، دید افقی، خواص ابرها و بودجه تابشی جو زمین دارد [1]. غبار، آلودگی شهری و صنعتی، هواویز دریایی و هواویزهای ناشی از سوختن جنگل‌ها و مراتع انواع مختلف هواویزها هستند. به دلیل تغییرات زیاد فضایی و زمانی هواویزها بایدبطور پیوسته از فضا و زمین اندازه‌گیری شوند.

روش‌های مختلفی که در اندازه‌گیری هواویزها به کار می‌روند عبارت‌اند از: سنجش هواویزها توسط ابزارهای فضابرد مانند ماهواره‌ها، و سنجش هواویزها توسط ابزارهای زمین-پایه مانند شیدسنج‌ها، لیدارها یا ابزارهای سنجش در محل. در حالت کلی سنجندهٔها به ۲ دسته عامل و غیر عامل تقسیم می‌شوند. سنجندهٔهای عامل موج-الکترومغناطیسی مشخصی را به جو می‌زنند و از پراکندگی آن ذرات موجود در جو را مورد مطالعه قرار می‌دهند. سنجندهٔهای غیر عامل از تابش خورشید در طول موج‌های مختلف استفاده می‌کنند و از میزان پراکندگی یا جذب آن، ذرات معلق موجود در جو را اندازه‌گیری می‌کنند [2].

سنجندهٔهای غیر عامل معمولا ارتفاع غبار را تشخیص نمی‌دهند و صرفاً عددی را به جمع مقادیر موجود در ستون جو، نسبت می‌دهند. عمق‌اپتیکی هواویزها، معیاری از غلظت ذرات موجود در جو است که توسط سنجندهٔهای متفاوتی در طول موج‌ها و الگوریتم‌های مختلف اندازه‌گیری می‌شود. در اینجا از سنجندهٔ MODIS که سنجندهٔای غیرعامل است و بر روی ۲ ماهواره Aqua و Terra قرار دارد استفاده شده است. این سنجندهٔ در طول موج ۵۵۰ نانومتر با استفاده از اندازه‌گیری میزان جذب و پراکندگی در آن طول موج، عددی را به عنوان عمق‌اپتیکی هواویزها اعلام می‌کند [3]. داده‌های هرکدام از ۲ ماهواره، با ۳ الگوریتم Dark Target ، Deep blue و الگوریتم Combine که ترکیبی از ۲ الگوریتم قبل است، بررسی می‌شوند. باتوجه به بررسی تمام الگوریتم‌های این سنجندهٔ، الگوریتم Deep blue برای منطقه مورد مطالعه ما نتایج بهتری را نشان داد.

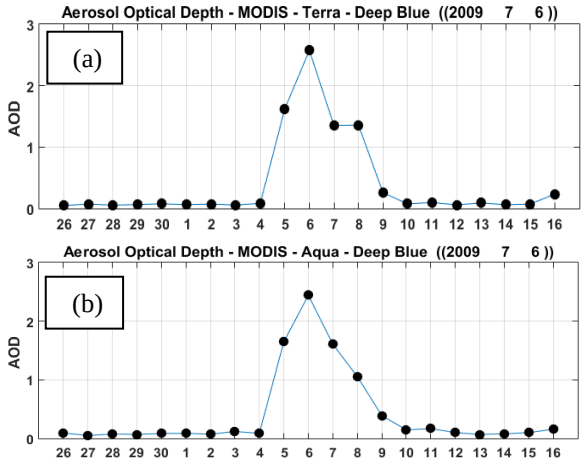
نمای آنگستروم، معیاری از اندازه ذرات موجود در جو زمین است. این ضریب معمولا عددی بین ۰ تا ۲ است که هر چه از ۱ به صفر نزدیک شویم ذرات درشت تر بوده و به اصطلاح درشت دانه می‌شوند و هر چه از ۱ به ۲ نزدیک شویم ذرات ریزتر بوده و به اصطلاح ریز دانه می‌شوند. این ضریب هم توسط چند سنجندهٔ از جمله MODIS اندازه‌گیری می‌شود [4]. شاخص‌هواویزها معیاری از میزان هواویزهای موجود در جو است که بر اساس جذب تابش UV خورشید و تباین ایجاد شده بین طول موج‌های ۳۴۰ و ۳۸۰ نانومتر توسط سنجنده OMI اندازه‌گیری می‌شود [5].

در این مقاله، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در کنار داده‌های سطحی آلودگی و هواشناسی به بررسی یک روز غباری می‌پردازیم. داده‌های ماهواره‌ای از سازمان فضایی آمریکا (NASA)، داده‌های سطحی PM10 از مرکز کنترل کیفیت هوای تهران و داده‌های هواشناسی، از مرکز هواشناسی ایران دریافت شد.

۲- نتایج

عمق‌اپتیکی هواویزها (AOD)

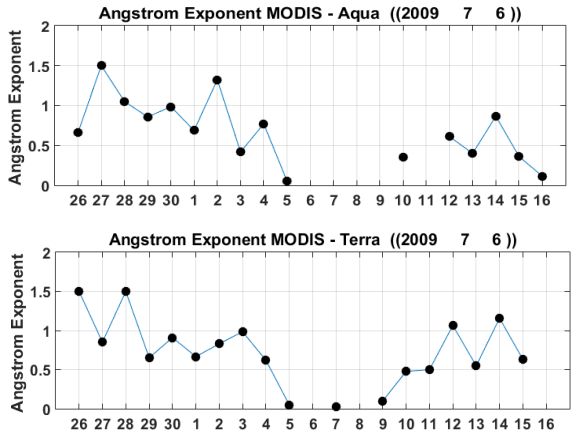
عمق اپتیکی هواویز، معیاری از میزان ذرات موجو در جو را نشان می-دهد. در شکل ۱، عمق اپتیکی هواویز در طول موج ۵۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شده توسط (a) سنجنده MODIS-Terra و (b) سنجنده MODIS-Aqua برای ۲۱ روز رسم شده است. مشاهده می‌کنیم که پدیده غباری از ۵ جولای شروع شده و در روز ۶ جولای به بیشترین حد خود رسیده است.



شکل ۱- نمودار عمق‌اپتیکی هواویز در طول موج ۵۵۰ نانومتر برای پیکسل بالاسر شهر تهران (a) سنجندهٔ MODIS-Aqua و (b) MODIS-Terra.

نمای آنگستروم (Angstrom Exponent)

نمای آنگستروم معیاری از اندازه ذرات هواویز را نشان می‌دهد. برای ذرات بزرگتر (کوچکتر) از ۱ میکرومتر این ضریب کمتر (بیشتر) از یک است. شکل ۲، نمای آنگستروم اندازه‌گیری شده توسط دو سنجنده MODIS-Terra و MODIS-Aqua را برای ۲۱ روز نشان می‌دهد. مشاهده می‌کنیم که در پدیده غباری مقدار نمای آنگستروم به صفر میل می‌کند که نشان دهنده ذرات بسیار درشت دانه است.



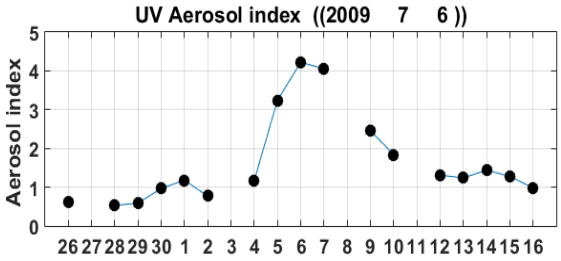
شکل ۲- سری‌زمانی نمای‌آنگستروم برای پیکسل بالای سر شهر تهران سنجندهٔ MODIS-Aqua و MODIS-Terra.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-06-20]

شاخص UV هواویز (UV Aerosol Index)

برای اطمینان بیشتر از نتایج به دست آمده و همچنین تشخیص دقیق‌تر گرد و غبار از شاخص‌هواویز استفاده می‌کنیم. این شاخص با استفاده از ۲ طول موج و اندازه‌گیری میزان UV جذب شده، معیاری از غبار در جو را به ما می‌دهد.

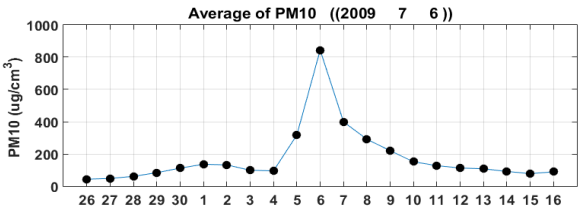


شکل ۳- سری زمانی شاخص‌هواویز برای پیکسل بالای سر تهران سنجندهٔ OMI.

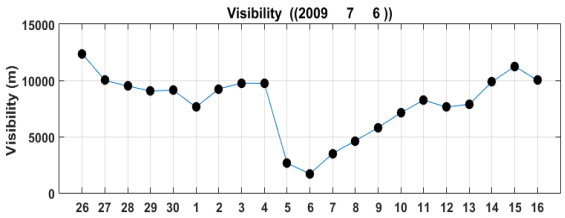
شکل ۳، نشان می‌دهد که در روز نمونه، شاخص هواویز به اوج خود رسیده است و نشان‌دهندهٔ افزایش غبار در ستون بالا سر تهران است.

اندازه‌گیری‌های زمین-پایه

برای تطبیق اطلاعات به دست آمده از ماهواره با داده‌های سطحی که از اعتبار و اهمیت بیشتری برخوردار است، از داده‌های میانگین ایستگاه‌های مرکز کنترل کیفیت هوای تهران و داده‌های سازمان هواشناسی استفاده کردیم.



شکل ۴-نمودار سری زمانی غلظت PM10 – میانگین ۷ ایستگاه مرکز کنترل کیفیت هوای تهران.

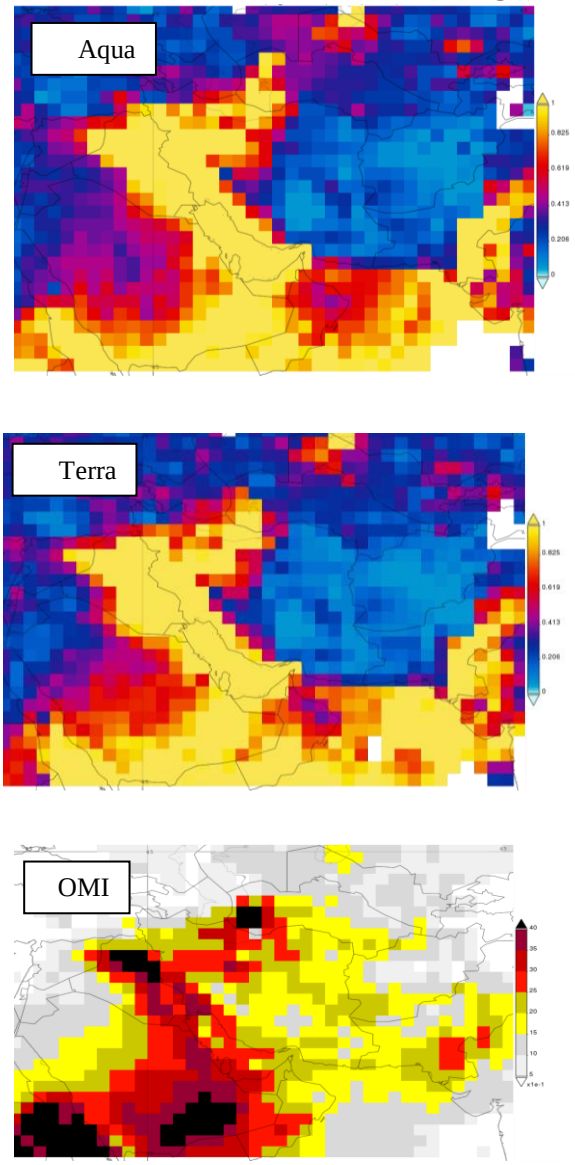


شکل ۵- نمودار سری زمانی دید افقی – مرکز هواشناسی ایران ایستگاه مهرآباد

شکل ۴ سری زمانی غلظت ذرات ۱۰ میکرومتر را نشان می‌دهد، نتایج نشان می‌دهند که در روز ۶ جولای میزان ذرات معلق کوچک‌تر از ۱۰ میکرون به بیش از ۱۶ برابر حد مجاز خود رسیده که با داده‌های ماهواره کاملا مطابقت دارد. شکل ۵، سری زمانی دید افقی را برای بازه مورد نظر نشان می‌دهد که شاهد کاهش شدید دید افقی (کمتر از ۲ کیلومتر) هستیم.

بررسی چشمهٔ غبار

برای تعیین چشمه غبار، نقشه عمق اپتیکی هواویز از دو سنجنده MODIS-Aqua و MODIS-Terra و نیز نقشه شاخص هواویز از داده-های سنجنده OMI برای ۴۸ ساعت قبل روز غباری در شکل ۶ آورده شده است.

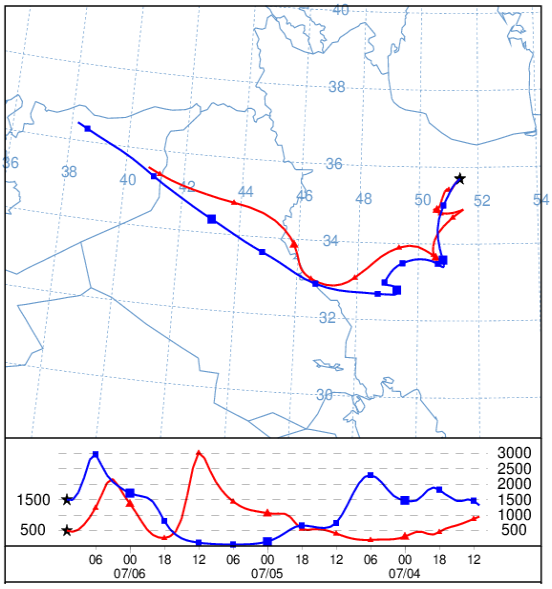


شکل ۶- نقشه عمق‌اپتیکی هواویز از دو سنجنده MODIS-Aqua و MODIS-Terra. مناطق زرد نشان‌دهندهٔ افزایش شدید عمق‌اپتیکی در آن منطقه است. همچنین شاخص‌هواویز سنجندهٔ OMI. رنگ قرمز و تیره نشان‌دهندهٔ افزایش غبار در آن منطقه بوده است.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-06-20]

هر سه این نقشه‌ها نشان می‌دهند که چشمه غبار در عراق فعال می‌باشد. برای بررسی مسیر بازگشتی حرکت بسته‌های هوایی از مدل HYSPLIT استفاده می‌کنیم که به ما اطلاعات مسیر حرکت بسته هوای بالاسر تهران را می‌دهد (شکل ۹).



شکل ۹- مسیر بازگشتی بسته‌های هوا برای ۲ ارتفاع ۵۰۰ و ۱۵۰۰ متری از سطح زمین استخراج شده از مدل HYSPLIT در ۶ جولای ۲۰۰۹ برای ۷۲ ساعت قبل.

این مدل نشان می‌دهد که بسته‌های هوا در ارتفاعات مختلف در ۷۲ ساعت قبل از کدام مناطق عبور کرده‌اند و در آن مناطق چه ارتفاعی داشته‌اند که با توجه به خطوط قرمز و آبی می‌توان گفت که این بسته‌های غباری از چشمه‌های شمال عراق به تهران رسیده است.

۳- نتیجه گیری

در اینجا یک روز غباری (۶ جولای ۲۰۰۹) در شهر تهران را بررسی می‌کنیم. عمق اپتیکی هواویز در طول موج ۵۵۰ نانومتر، نمای آنگستروم اندازه‌گیری شده با سنجنده MODIS که بر روی دو ماهواره Aqua و Terra قرار دارند و شاخص هواویز استخراج شده از داده‌های سنجنده OMI برای بررسی روز غباری از فضا مورد استفاده قرار گرفته‌اند. عمق اپتیکی و شاخص هواویز نشان می‌دهند که در روز غباری مقدار آنها به شدت افزایش می‌یابد. دید افقی و غلظت PM10 نشان می‌دهند که غبار موجب کاهش دید افقی و افزایش ذرات معلق کوچکتر ۱۰ میکومتر شده است. ردیابی بسته‌های هوای بالاسر شهر تهران در دو ارتفاع مختلف از سطح زمین نشان می‌دهد که غبار، ناشی از چشمه‌های فعال عراق است. همچنین نقشه عمق اپتیکی هواویز و شاخص هواویز نشان می‌دهد که در ۴۸ ساعت قبل از روز غباری، چشمه عراق به شدت فعال بوده است.

۴- منابع

[1] معینی، ل، ارتباط بین غلظت آلاینده‌های استنشاقی دی‌اکسید نیتروژن، دی‌اکسید گوگرد، منواکسید کربن و عملکرد ریوی، مجله دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد، دوره ۱۳ – شماره ۱ – فروردین و اردیبهشت ۱۳۸۸.

[2] بیات، علی، دسته‌بندی هواویزهای جوی با استفاده از داده‌های قطبیده شیدسنج خورشیدی، پایان نامه دکتری، دی‌ماه ۹۲.

[3] https://disc.gsfc.nasa.gov/information/glossary

[4] بیات, علی و حمیدرضا خالصی فرد، ۱۳۸۷، بررسی توزیع ابعادی هواویزها در طول دو سال در جو زنجان با استفاده از محاسبه نمایه آنگستروم، پانزدهمین کنفرانس اپتیک و فتونیک ایران، اصفهان، دانشگاه اصفهان.

[5]https://disc.sci.gsfc.nasa.gov/datasets/OMTO3d_003/summary

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-06-20]