تفکیک هواویزها بر اساس ویژگی جذب تابش در منطقه تهران

سمانه ثابت قدم[۱]

[۱]استادیار، گروه فیزیک فضا، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

چکیده

در مقاله حاضر هواویزهای جو منطقه تهران بر اساس ترکیبی از سه ویژگی نوری هواویزها شامل عمق نوری هواویزها، نمای آنگستروم و شاخص جذب هواویز تفکیک شده‌اند. ویژگی‌های نوری از اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای توسط سنجنده-های MODIS و OMI برای دوره سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۷ به‌دست آمده‌است. نتایج تفکیک هواویزها با تاکید بر ویژگی جذب تابش در بازه ده ساله نشان می‌دهد، در جو منطقه تهران در درصد کمی از موارد هواویزهای دوده و سوخت‌های زیست توده حضور دارند. مقادیر کم نمای آنگستروم که با مقادیر زیاد عمق نوری هواویزها همراه است بیانگر حضور هواویزهای درشت است. کاربرد همزمان شاخص جذب هواویز و نمای آنگستروم با استفاده از ویژگی جذب که در شاخص جذب هواویز قابل آشکارسازی است، هواویزهای درشت گردوخاک را از هواویزهای دریایی تفکیک می‌کند. بر اساس نتایج، در جو منطقه تهران در بازه ده ساله حدود ۱۴ درصد روزها هواویزهای شهری-صنعتی، ۱۲ درصد روزها هواویزهای گردوخاک، حدود ۳درصد هواویزهای دریایی و نمک دریا، و کمتر از ۱ درصد هواویزهای دوده غالب هستند و در بقیه موارد ترکیبی از انواع هواویزها به‌صورت آمیخته در جو تهران وجود دارند.

واژه‌های کلیدی: عمق نوری هواویزها، نمای آنگستروم، شاخص جذب هواویز.

Abstract

In this study, satellite data including aerosol optical depth (AOD), Angstrom exponent (AE) and aerosol index (AI) have been used to classify key aerosol types over the Tehran urban area, emphasizing on their characteristics of light absorption. The data sets were derived from MODIS and OMI during the period from 2008 to 2017. Main aerosol types have been classified into urban-industrial aerosols, maritime aerosols, dust aerosols, smoke or biomass burning aerosols and mixed type aerosols. Results show that smoke or biomass burning aerosols that are assessed using their absorbing characteristics, do not have a significant presence over the area. Mixed type aerosol is the dominant aerosol type over the region followed by the urban-industrial aerosols, dust and maritime aerosols dominating in 14, 12 and 3 percent of the days, respectively.

Keywords: Aerosol index; aerosol optical depth; Angstrom exponent, MODIS, OMI.

۱ مقدمه

هواویزها ذرات جامد و مایع معلق در جو هستند که به‌صورت مستقیم با جذب و پراکنش تابش و به‌صورت غیرمستقیم با تغییر ویژگی‌های خردفیزیکی و سپیدایی ابرها بر ترازینه تابشی جو تاثیر می‌گذارند. هواویزها بر اساس چشمه‌های تولید، چگونگی تشکیل، اندازه و ترکیبات شیمیایی دسته‌بندی و به انواع متفاوتی تفکیک می‌شوند که عمدتاً شامل ذرات گردوغبار، هواویزهای دریایی، هواویزهای ناشی از فعالیت‌های انسانی و صنعتی، هواویزهای دوده می‌باشد (کوخانوفسکی و همکاران، ۲۰۰۸). ویژگی‌های هواویزها، با اندازه‌گیری‌های زمینی و ماهواره‌ای به‌دست می‌آید. به دلیل کاستی‌های موجود در اندازه‌گیری‌های زمینی، بسیاری از مطالعات با استفاده از اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای انجام می‌شود . سنجنده‌های ماهواره‌ها، ابزاری هستند که پوشش کاملی از سطح زمین برای پایش هواویزها ارائه می‌دهند (گوپتا و همکاران، ۲۰۰۶). سنجنده‌هایی شامل ابزار پابش ازن(OMI) و سنجنده پرتوسنج طیفی تصویربرداری تفکیک متوسط (MODIS) به صورت گسترده برای پایش اطلاعات مربوط به هواویزها به‌کار می‌روند (کوخانوفسکی، ۲۰۰۸). داده‌های ماهواره‌ای مربوط به ویژگی‌های هواویزها در ستون جو هستند که با استفاده از مشخصه‌های زاویه‌ای، قطبشی و طیفی نور خورشید پراکنده شده تخمین می‌شوند. در سال‌های اخیر اهمیت تعیین انواع هواویز با استفاده از داده‌های ماهواره در مطالعات متعددی در شهرهای مختلف دنیا مطرح شده است و روش‌های متفاوتی برای تعیین انواع هواویزها ارائه شده‌است که از این میان، ارتباط بین عمق نوری هواویزها، شاخص جذب هواویز، سپیدایی پراکنش منفرد هواویزها و نمای آنگستروم معیار مناسبی

برای دسته بندی هواویزها و تعیین مد غالب آنها می‌باشد (بارنابا و گوبی، ۲۰۰۴؛ پاوار و همکاران، ۲۰۱۵).
پیچیدگی‌های شهری در منطقه تهران و وجود منابع مختلف تولید هواویزها در این منطقه، اهمیت مطالعه در این شهر را دوچندان می‌کند. با این وجود، مطالعات اندکی در زمینه تفکیک هواویزها در منطقه شهری تهران در دوره‌های زمانی بلند مدت انجام شده است. هدف از پژوهش حاضر، بررسی تفکیک هواویزها با تاکید بر ویژگی جذب آنها در منطقه تهران برای دوره ۱۰ ساله از ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۷ است.

۲ داده‌ها و روش کار

در مطالعه حاضر به‌جای تمرکز بر روی یک پارامتر منفرد برای بررسی هواویزها، از ترکیب سه نمایه نورشناخت برای انجام مطالعه استفاده شده‌است. داده‌های شاخص جذب هواویز (AI) از سنجنده OMI تهیه شده‌است. شاخص جذب معیاری برای تعیین میزان جذب هواویز است که بیانگر انحراف وابستگی طیفی تابش فرابنفش پراکنده شده توسط جو شامل هواویز از جو بدون هواویز است (تورس و همکاران، ۱۹۹۸). سنجنده OMI از دو طول موج ۳۳۱ و ۳۶۰ نانومتر برای تعیین شاخص جذب هواویز استفاده می‌کند. در مطالعه حاضر از مقدار آستانه بحرانی ۰/۵ بعنوان عدم قطعیت ابزار اندازه‌گیری استفاده شده‌است (سروشیان و همکاران، ۲۰۱۱).
از سوی دیگر، از اطلاعات داده‌های عمق نوری هواویزها (AOD) و نمای آنگستروم (AE) نیز از سنجنده MODIS برای تفکیک دقیق‌تر استفاده شده‌است. عمق نوری هواویزها کمیتی بی‌بعد است که میزان عبوردهی پرتو نور در جو را نشان می‌دهد و میزان جذب یا پراکنش ناشی از هواویزها در مسیر عبوری نور را نشان می‌دهد (رمر و همکاران، ۲۰۰۸). مقادیر عمق نوری هواویزها برای تعیین میزان غلظت هواویزها در جو استفاده می‌شود. عمق نوری هواویزها در سنجنده MODIS در طول موج‌های ۵۵۰ نانومتر برای انجام بررسی استفاده شده‌است. نمای آنگستروم بیانگر اندازه ذرات هواویز در جو است. توزیع اندازه هواویزها بر اساس مقدار نمای آنگستروم بر اساس مشتق اول عمق نوری هواویزها نسبت به طول‌موج در مقیاس لگاریتمی برای دو طول موج معین محاسبه کرد. نمای آنگستروم بیانگر وابستگی طیفی عمق نوری هواویزها در دو طول موج مختلف است. مقدار نمای آنگستروم در سنجنده MODIS از رابطه زیر محاسبه می‌شود (رمر و همکاران، ۲۰۰۸):

$$AE= \frac{\ln (AOD470/AOD660)}{\ln (470/660)} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، AOD470 و AOD660 به ترتیب عمق نوری هواویزها در طول موج ۴۷۰ و ۶۶۰ نانومتر هستند. بر اساس این محاسبات، مقادیر بزرگ‌تر نمای آنگستروم بیان‌گر کوچک بودن اندازه ذرات و مقادیر نزدیک به صفر نشان‌دهنده غالب بودن ذرات با مد درشت است (رمر و همکاران، ۲۰۰۸). داده‌های مطالعه حاضر از سامانه داده‌گواری GEOS-5 بر اساس داده‌های مشاهداتی NASA با تفکیک افقی $1^\circ \times 1^\circ$ اخذ شده‌است و شامل اطلاعات روزانه از کمیت‌های نامبرده از ۱ ژانویه ۲۰۰۸ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۱۷ هستند.

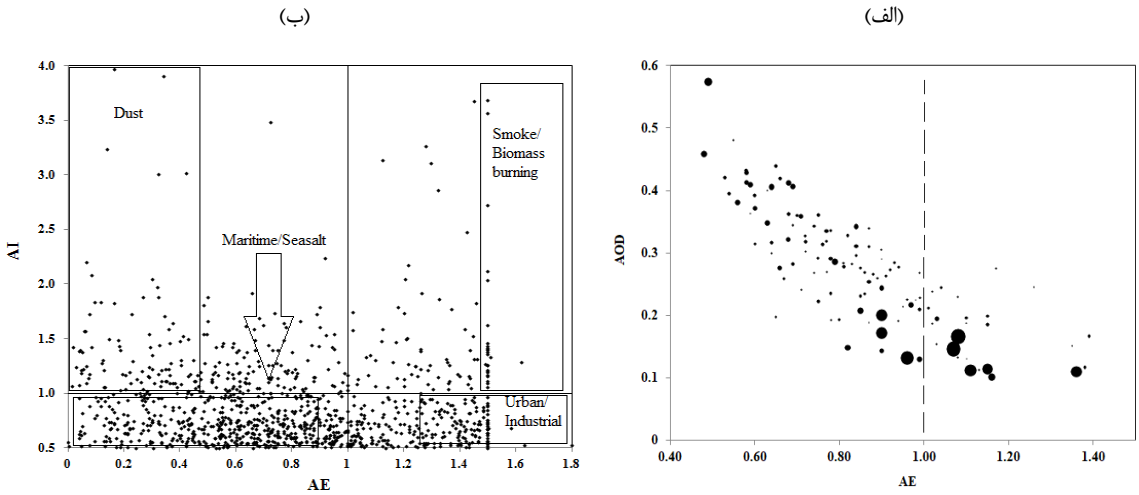
کاربرد همزمان شاخص جذب هواویز و نمای آنگستروم، علاوه بر عمق نوری هواویزها که بیانگر میزان غلظت هواویزها در جو است، می‌تواند معیار مناسبی برای تفکیک هواویز بر اساس اندازه و چگونگی جذب تابش توسط هواویز باشد؛ به این معنا که استفاده از شاخص جذب هواویز امکان تفکیک گردوخاک و نمک صحرا، که هر دو در دسته هواویزهای درشت قرار دارند و دارای خواص جذبی متفاوتی هستند را مهیا می‌کند، زیرا گردوخاک دارای جذب بالای تابش و نمک دریا دارای جذب کم است. هم‌چنین با کاربست شاخص جذب هواویز، تفکیک دوده به عنوان هواویز جاذب تابش با اندازه کوچک و آلاینده‌های صنعتی که آنها هم دارای ابعاد کوچک اما جذب کم تابش هستند، امکان پذیر می‌شود (پنینگ دوریس و همکاران، ۲۰۱۵). بر این اساس، الگوریتم تفکیک هواویزها با تعریف مقادیر حدی برای پارامتر شاخص جذب هواویز، عمق نوری و نمای آنگستروم تعریف و در جدول ۱ خلاصه شده‌است. مقادیر حدی بر اساس ترکیبی از نتایج مطالعات پیشین تعیین شده‌است (بارنا و گوبی، ۲۰۰۴ ؛ مولچای و همکاران، ۲۰۰۹ ؛ پاتاک و همکاران، ۲۰۱۲ ؛ پاوار و همکاران، ۲۰۱۵ ؛ علم و همکاران، ۲۰۱۶؛ ثابت قدم و همکاران، ۲۰۲۰).

جدول -۱ مقادیر حدی برای تفکیک هواویزها با تاکید بر نقش شاخص جذب هواویز.

AI≥1	AI<1
هواویز گرد و خاک (AE<0.6, AOD>0.3)	هواویز شهری-صنعتی (AE>0.8, AOD>0.2)
هواویز دوده (AE>1.3, AOD>0.35)	هواویزهای دریایی (AE<0.8, AOD>0.2)
هواویز آمیخته (باقیمانده مقادیر)	هواویز آمیخته (باقیمانده مقادیر)

۳ تحلیل نتایج

برای تفکیک هواویزها بر اساس ویژگی جذب تابش در منطقه تهران، در شکل ۱الف مقادیر عمق نوری هواویزها و نمای آنگستروم در مقابل هم ترسیم شده‌اند. اندازه قطر دایره‌ها در شکل بیانگر مقدار شاخص جذب هواویز است. همانطورکه در شکل مشاهده می‌شود، ارتباط معکوس میان غلظت هواویزها و اندازه هواویزها در جو منطقه تهران وجود دارد. بر اساس الگوریتم تعیین شده در بخش ۲، مشاهده می‌شود که در دوره ۱۰ ساله مورد مطالعه، هواویزهای متفاوتی در منطقه تهران حضور دارند. هواویزهای با ابعاد ریز (سمت راست خط چین) که دارای جذب زیاد هستند (دایره‌های با قطر بزرگتر) غلظت کمی در جو تهران دارند. ازسوی دیگر هواویزهای با ابعاد درشت، در مواردی که جذب آنها قابل توجه باشد و عمق نوری مقادیر بیش از ۰.۳ را داشته باشد، هواویزهای ذرات گرد و خاک هستند. بر اساس شکل، بخش عمده هواویزها دارای ابعاد متوسط هستند که نمای آنگستروم دارای مقادیر بیش از ۰.۸ و کمتر از ۱ هستند و مقادیر جذب در آنها متفاوت است. این هواویزها ار نوع هواویزهای آمیخته هستند.



شکل۱- پراکنش (الف) عمق نوری هواویزها و نمای آنگستروم با در نظر گرفتن شاخص جذب هواویز (ب) شاخص جذب هواویز و نمای آنگستروم در منطقه تهران در بازه ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۷. در شکل الف خط چین عمودی بیانگر محدوده تفکیک هواویزهای ریز و درشت است. اندازه قطر دایره ها مقادیر نرمال شده شاخص جذب هواویز را نشان می دهد. دایره‌های با قطر بیشتر بیانگر هواویزهای با جذب بیشتر هستند.

از آنجا که با استفاده از دو معیار عمق نوری هواویزها و نمای آنگستروم نمی‌توان تفکیک دقیقی میان هواویزهای دوده و هواویزهای شهری، هر دو دارای اندازه کوچک ولی مقادیر جذب و پراکنش متفاوت ارائه داد، شاخص جذب هواویز و نمای آنگستروم در شکل ۲ب در مقابل هم ترسیم شده‌اند. بنابراین از مقایسه نمای آنگستروم و شاخص جذب هواویز که اطلاعات جزئی‌تری برای تفکیک هواویزهای جاذب و غیرجاذب ارائه می‌کند، استفاده می‌شود. بر اساس شکل می‌توان با استفاده از ویژگی جذب، هواویزهای دوده را از هواویزهای شهری-صنعتی تفکیک کرد. هم‌چنین با توجه به اینکه هواویزهای درشت گرد و خاک دارای جذب بیشتر نسبت به هواویزهای درشت دریایی هستند، این دو هواویز نیز قابل تشخیص هستند. بر اساس شکل ۲، هواویزهای منطقه تهران در بازه ده ساله، بر حسب درصد به شکل زیر تفکیک می‌شوند: حدود ۱۴ درصد روزها هواویزها دارای ویژگی‌های هواویزهای شهری و صنعتی، ۱۲ درصد روزها به هواویزهای

گردوخاک، حدود ۳ درصد به هواویزهای دریایی و نمک دریا، و کمتر از ۱ درصد به هواویزهای دوده تفکیک می‌شوند و در بقیه موارد انواع متفاوت هواویزها به‌صورت همزمان وجود دارند که ترکیبی از چند نوع هواویز هستند.

۳ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

اهمیت تعیین انواع هواویز با استفاده از اطلاعات نورشناخت هواویزها در مطالعات متعددی در شهرهای مختلف دنیا مطرح شده است و روش‌های متفاوتی برای تعیین انواع هواویزها ارائه شده‌است. پیچیدگی‌های شهری و و وجود منابع مختلف تولید هواویزها در منطقه تهران اهمیت مطالعه در این شهر را دوچندان می‌کند. در پژوهش حاضر، تفکیک هواویزها با تاکید بر ویژگی جذب تابش توسط هواویزها برای دوره ۱۰ ساله از ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۷ در منطقه تهران انجام شده‌است. برای این منظور به‌جای تمرکز بر روی یک پارامتر منفرد از سه ویژگی نورشناخت هواویزها شامل عمق نوری، نمای آنگستروم و شاخص جذب استفاده شده‌است که از اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای توسط سنجنده‌های MODIS و OMI به‌دست آمده‌است.

نتایج تفکیک هواویزها با تاکید بر ویژگی جذب تابش در بازه ده ساله نشان می‌دهد، ارتباط معکوس میان غلظت هواویزها و اندازه هواویزها در جو منطقه تهران وجود دارد به‌طوریکه مقادیر کم نمای آنگستروم با مقادیر زیاد عمق نوری هواویزها همراه است که بیانگر حضور هواویزهای درشت است. هواویزهای دوده و سوخت‌های زیست توده که ابعاد کوچک و جذب زیادی دارند، در درصد کمی از موارد در جو تهران حضور دارند. کاربرد همزمان شاخص جذب هواویز و نمای آنگستروم با استفاده از ویژگی جذب که در شاخص جذب هواویز قابل آشکارسازی است، هواویزهای درشت گردوخاک را از هواویزهای دریایی تفکیک می‌کند. در نهایت تفکیک هواویزها در جو منطقه تهران نشان می‌دهد که حدود ۱۴ درصد روزها هواویزهای شهری صنعتی، ۱۲ درصد روزها هواویزهای گردوخاک، حدود ۳درصد هواویزهای دریایی و نمک دریا، و کمتر از ۱ درصد هواویزهای دوده غالب هستند و در بقیه موارد ترکیبی از انواع هواویزها به‌صورت آمیخته در جو تهران وجود دارند.

منابع

Alam, K., Shaheen, K., Blaschke, T., Chishtie, F., Khan, H.U. and Haq, B.S., 2016. Classification of aerosols in an urban environment on the basis of optical measurements. Aerosol Air Qual. Res, 16(10), pp.2535-2549.

Barnaba, F. and Gobbi, G.P., 2004. Aerosol seasonal variability over the Mediterranean region and relative impact of maritime, continental and Saharan dust particles over the basin from MODIS data in the year 2001. Atmospheric Chemistry and Physics, 4(9/10), pp.2367-2391.

Gupta, P., Sundar A. Christopher, Jun Wang, Robert Gehrig, Yc Lee, Naresh Kumar., 2006: Satellite remote sensing of particulate matter and air quality assessment over global cities. Atmos. Environ. 40, 5880–5892 Kokhanovsky, A.A., 2009. Satellite aerosol remote sensing over land. Berlin: Springer, 399 pp.

Remer, L.A., Kleidman, R.G., Levy, R.C., Kaufman, Y.J., Tanré, D., Mattoo, S., Martins, J.V., Ichoku, C., Koren, I., Yu, H. and Holben, B.N., 2008. Global aerosol climatology from the MODIS satellite sensors. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 113(D14).

Mulcahy, J.P., O'Dowd, C.D. and Jennings, S.G., 2009. Aerosol optical depth in clean marine and continental northeast Atlantic air. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 114(D20).

Pathak, B., Bhuyan, P.K., Gogoi, M. and Bhuyan, K., 2012. Seasonal heterogeneity in aerosol types over Dibrugarh-North-Eastern India. Atmospheric environment, 47, 307-315.

Pawar, G.V., Devara, P.C.S. and Aher, G.R., 2015. Identification of aerosol types over an urban site based on air-mass trajectory classification. Atmospheric Research, 164, 142-155.

Penning de Vries, M.J.M., Beirle, S., Hörmann, C., Kaiser, J.W., Stammes, P., Tilstra, L.G. and Wagner, T., 2015. A global aerosol classification algorithm incorporating multiple satellite data sets of aerosol and trace gas abundances. Atmospheric Chemistry and Physics, 15(18), 10597-10618.

Sabetghadam, S., Khoshsima, M. and Pierleoni, A., 2020. Aerosol climatology and determination of different types over the semi-arid urban area of Tehran, Iran: Application of multi-platform remote sensing satellite data. Atmospheric Pollution Research, 11(9), pp.1625-1636.

Sorooshian, A., Wonaschütz, A., Jarjour, E.G., Hashimoto, B.I., Schichtel, B.A. and Betterton, E.A., 2011. An aerosol climatology for a rapidly growing arid region (southern Arizona): Major aerosol species and remotely sensed aerosol properties. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 116(D19).

Torres, O., Tanskanen, A., Veihelmann, B., Ahn, C., Braak, R., Bhartia, P.K., Veefkind, P. and Levelt, P., 2007. Aerosols and surface UV products from Ozone Monitoring Instrument observations: An overview. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 112(D24).