

بررسی غلظت آلاینده دوده در شهر کرمانشاه

جلیل صحرایی^۱، پرینا کهراری^۲

استادیار گروه فیزیک اتمسفر، دانشگاه رازی، sahraei@razi.ac.ir
کارشناس ارشد فیزیک اتمسفر، دانشگاه رازی، parisa.kahrari@yahoo.com

چکیده

امروزه آلودگی هوا یکی از مهمترین معضلات زیست محیطی به شمار می‌رود و سالانه شمار زیادی از مردم جان خود را بر اثر آلودگی هوا از دست می‌دهند. سهم آلاینده کربن سیاه یا دوده در این میان تا آن حد است که می‌تواند عاملی برای مرگ مستقیم یا بیماری‌های سرطان‌زا و خطرناکی شود که جز مرگ نتیجه دیگری ندارند. با توجه به اینکه وسایل نقلیه و عوامل ترافیکی عمده‌ترین عامل برای تغییرات غلظت آلاینده دوده محسوب می‌گردند، بنابراین در این مطالعه مقدار آلاینده دوده در محیط‌های کم ترافیک و پر ترافیک شهر کرمانشاه توسط دستگاه نورسنج جذب ذرات دوده در بازه‌های زمانی ۳ ساعته اندازه‌گیری شده است. در این پژوهش غلظت دوده در حاشیه شهر برای سه روز متفاوت به ترتیب ۰/۰۸۶، ۰/۰۷۹ و ۰/۰۷۲ میکروگرم بر مترمکعب و در مرکز شهر برای دو روز متفاوت ۱/۰۹ و ۰/۴۲ میکروگرم بر مترمکعب محاسبه شده است. **واژه‌های کلیدی:** آلودگی هوا، دوده، کربن سیاه، ترافیک، غلظت، شهر کرمانشاه

The investigation of soot pollutant concentration in Kermanshah city

Jalil Sahraei¹, Parisa Kahrari²

¹Assistant Professor of atmospheric physics department, Razi University

²M.Sc. in atmospheric physics, Razi University

Abstract

Air pollution is one of the most recent and important environmental concerns. The health of millions of people is affected by the detrimental impacts of air pollution every year. The portion of soot or black carbon pollutant in this regard is so high that it can be a significant contributor to death rates or dangerous diseases that could lead to human fatality. Since means of transportation and traffic factors are the most major elements in variation of soot concentration, this study aims to measure the amount of soot pollutant in low and high traffic environments over 3 hour periods in Kermanshah city by using Particle Soot Absorption Photometer. The soot concentrations in the urban background (low traffic) for three different days was 0.086, 0.079, and 0.072 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectively, and in the street level (high traffic) for two different days were calculated at 1.09 and 0.42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Keywords: Air Pollution, Soot, Black Carbon, Traffic, Concentration, Kermanshah City

۱ مقدمه

آلاینده دوده که یکی از اجزاء مهم ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرومتر (ذرات ریز) است، به ذرات کربن اشباع شده‌ای اطلاق می‌شود که با مواد قیری آمیخته شده و از انواع فرآیندهای احتراق و بیشتر از احتراق ناقص سوخت‌های فسیلی (به ویژه سوخت دیزل) و زیست توده در جو منتشر می‌شود. با توجه به اینکه ذرات دوده در مقایسه با سایر اجزاء ذرات ریز، آثار زیانبار بیشتری بر سلامت انسان دارند و با جذب تابش خورشید تاثیرات جوی مخربی نیز به بار می‌آورند، بنابراین در نقاط مختلف جهان به اندازه‌گیری، منشأ یابی و مطالعه رفتار این آلاینده پرداخته شده است. پاکاننا و همکاران (۲۰۰۰) جرم کربن سیاه را در هلسینکی، مرکز فنلاند محاسبه کردند (۱). هنسن و همکاران (۲۰۰۱) به اندازه‌گیری غلظت کربن سیاه در ایستگاه تحقیقاتی مک‌موردو قطب جنوب پرداختند (۲). راماجاندان و راجش (۲۰۰۷) روند تغییرات روزانه و فصلی غلظت کربن سیاه در شهر احمدآباد هند را بررسی کردند (۳). بادارینات و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از یک اتالومتر مدل AE-21، جرم کربن سیاه را در نواحی شهری و روستایی هند اندازه‌گیری کردند (۴). وانگ و همکاران (۲۰۱۱) به طراحی یک روش دیجیتالی تصویری برای اندازه‌گیری جرم کربن سیاه پرداختند (۵).

۲ روش تحقیق

در این پژوهش دستگاه نورسنج جذب ذرات دوده برای محاسبه جرم آلاینده دوده در محیط‌های پرتراфик و کم تراфик شهر کرمانشاه مورد استفاده قرار گرفته است. این دستگاه با در نظر گرفتن خاصیت جذب نور توسط ذرات دوده، با روشی مبتنی بر فیلتر کردن، هوا را مکش نموده و مقدار ذرات دوده را که بر روی فیلتر قرار می‌گیرند اندازه‌گیری می‌کند. دستگاه مزبور دارای دو فیلتر، یکی برای گیر انداختن ذرات دوده و دیگری برای بازگشت، است که با یک لامپ LED (۵۲۵ نانومتر) روشن می‌شوند و به میزانی که ذرات دوده بر روی فیلتر قرار می‌گیرند، شدت نور عبوری از میان فیلتر به علت جذب و پراکندگی توسط ذرات دوده کاهش می‌یابد. مقدار تغییر در شدت نور عبوری طی یک بازه زمانی معین تحت عنوان ضریب میرایی توسط دستگاه ثبت خواهد شد.

با محاسبه مقدار ضریب جذب، جرم کربن سیاه تعیین می‌شود. با این حال، دستگاه نورسنج جذب ذرات دوده، ضریب میرایی را به صورت لحظه‌ای و نه تعیین ضریب جذب محاسبه خواهد کرد. با استفاده از تصحیح باند (رابطه ۱) می‌توان ضریب میرایی را به ضریب جذب اولیه تبدیل کرد (۶):

$$\sigma_{ap,raw}^{\lambda} = \frac{\sigma_{atn}^{\lambda} - k_1 \sigma_{sp}}{k_2} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، $\sigma_{ap,raw}^{\lambda}$ ضریب جذب اولیه، σ_{atn}^{λ} ضریب میرایی، K_1 و K_2 ثابت و σ_{sp} ضریب پراکندگی ابرسنجی است که در طول موج مشابه دستگاه عمل می‌کند. با توجه به اینکه رابطه (۱) تنها برای طول موج‌هایی معتبر می‌باشد که در آن‌ها جذب توسط کربن سیاه غالب است، بنابراین باید ضریب جذب اولیه محاسبه شده از طول موج دستگاه (۵۲۵ nm) به طول موج ۶۳۷ nm تبدیل شود (۶):

$$\sigma_{ap,raw}^{\lambda_2} = \sigma_{ap,raw}^{\lambda_1} \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right)^{AAE} \quad (2)$$

در رابطه (۲)، $\sigma_{ap,raw}^{\lambda_2}$ ضریب جذب در طول موج ۶۳۷ nm، $\sigma_{ap,raw}^{\lambda_1}$ ضریب جذب در طول موج دستگاه، λ_1 طول موج دستگاه، $\lambda_2 = 637 \text{ nm}$ و AAE ضریب انگستروم است. به منظور به دست آوردن ضریب جذب باید یک فاکتور تصحیح مورد استفاده قرار گیرد (رابطه ۳):

$$\sigma_{ap}^{\lambda} = \frac{\sigma_{ap,raw}^{\lambda}}{CF_{PSAP}} \quad (3)$$

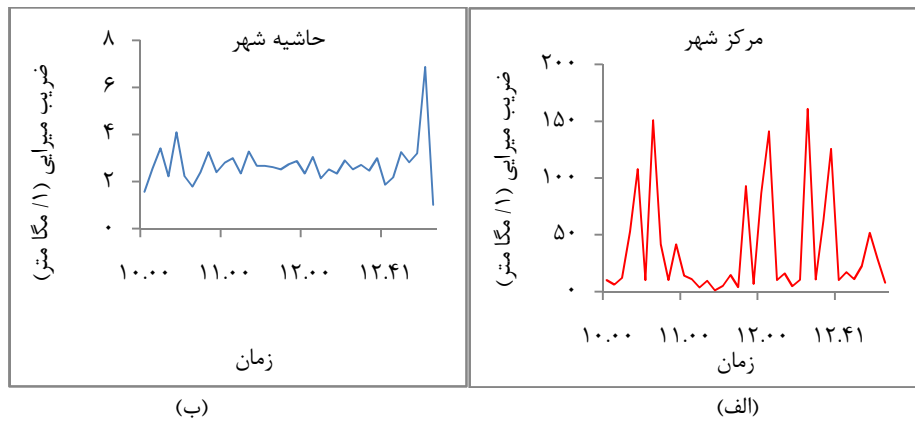
در رابطه (۳)، σ_{ap}^{λ} ضریب جذب نهایی، $\sigma_{ap,raw}^{\lambda}$ ضریب جذب اولیه و CF_{PSAP} فاکتور تصحیح برای دستگاه است. در نهایت برای محاسبه جرم کربن سیاه در هوا باید ضریب جذب را بر سطح مقطع جذب جرم تقسیم کرد (۶):

$$m_{BC} = \frac{\sigma_{ap}^{\lambda}}{MAC^{\lambda}} \quad (4)$$

در رابطه (۴)، m_{BC} جرم کربن سیاه بر حسب میکروگرم بر مترمکعب، σ_{ap}^{λ} ضریب جذب و MAC^{λ} سطح مقطع جذب جرم برای طول موج معین λ است.

در این تحقیق، جرم کربن سیاه برای ۳ مطالعه موردی در محیط‌های کم تراфик (حاشیه شهر) و ۲ مطالعه موردی در محیط‌های پرتراфик (مرکز شهر) در بازه‌های زمانی سه ساعته (۱۳:۰۰ - ۱۰:۰۰) محاسبه شده است. همچنین به منظور بررسی روند تغییرات ساعتی ضریب میرایی در دو شرایط، نمودار تغییرات ضریب میرایی با زمان رسم و برای دو مورد در شکل ۱ آورده شده است.

همانطور که در شکل ۱ ملاحظه می‌گردد ضریب میرایی در کل زمان اندازه‌گیری در مرکز شهر، حول مقادیر بزرگی افت و خیز دارد که حاکی از قرار گرفتن مقدار زیاد ذرات دوده بر روی فیلتر دستگاه اندازه‌گیری است. لازم به ذکر است توقف وسایل نقلیه مختلف (به دلیل وجود چراغ قرمز چهار زمانه در محل اندازه‌گیری) و نیز عبور و مرور لحظه‌ای آن‌ها یک دلیل عمده وجود پیک‌های قابل توجه است. در واقع افزایش تعداد وسایل نقلیه در محیط مورد بررسی باعث افزایش مقدار ضریب میرایی شده است. این در حالی است که ضریب میرایی در حاشیه شهر بین مقادیر نزدیک به هم (۱/Mm) (۴ - ۱) نوسان کرده و دارای پیک (۱/Mm) (۶/۸۷۰۳۴۳) است که ناشی از تردد وسایل نقلیه در ساعات اوج تراфик ظهرگاهی است.



شکل ۱. روند تغییرات ضریب میرایی با زمان (الف) در مرکز شهر در تاریخ ۱۳۹۵/۱۱/۲۸ و (ب) در حاشیه شهر در تاریخ ۱۳۹۵/۰۹/۰۷

برای محاسبه جرم کربن سیاه برای مطالعات انجام گرفته در حاشیه و مرکز شهر، ابتدا میانگین ضریب میرایی ($\bar{\sigma}_{atn}^{\lambda}$) برای کل زمان اندازه‌گیری در هر مورد آزمایش، محاسبه شده است. سپس تصحیح باند (رابطه ۱)، برای به دست آوردن ضریب جذب اولیه ($\sigma_{ap,raw}^{\lambda}$) بکار برده شده است. مقدار ثوابت K1 و K2 در رابطه (۱) با توجه به طول موجی که دستگاه در آن کار می‌کند ($\lambda = 525 \text{ nm}$)، $K1 = 0.02$ و $K2 = 1/22$ در نظر گرفته شده و سه ضریب پراکندگی (σ_{sp}) در رابطه (۱) بکار رفته است. $\sigma_{sp} = 0 \text{ Mm}^{-1}$ ؛ که مربوط به عدم پراکندگی است، $\sigma_{sp} = 8/9373 \text{ Mm}^{-1}$ ؛ که ضریب پراکندگی ابرسنجی است که در دستگاه جذب دوده موجود استفاده شده است، و $\sigma_{sp} = 33 \text{ Mm}^{-1}$ ؛ که یک ضریب پراکندگی بزرگ اندازه‌گیری شده در اسپانیا است (۸) که دارای مقادیر زیادی گرد و غبار است.

پس از آن با استفاده از رابطه ۲، ضریب جذب اولیه محاسبه شده از طول موج دستگاه به طول موج ۶۳۷ nm تبدیل شده است؛ در این رابطه مقدار ضریب انگستروم $A_{AE} = 1$ در نظر گرفته شده است. با استفاده از رابطه ۳، فاکتور تصحیح $CF_{PSAP} = 2$ به منظور به دست آوردن ضریب جذب دقیق σ_{ap}^{λ} مورد استفاده قرار گرفته است. در نهایت برای محاسبه جرم کربن سیاه در هوا ضریب جذب بر سطح مقطع جذب جرم $MAC^{637} = 10 \text{ m}^2/\text{g}$ تقسیم گردیده است (رابطه ۴).
جرم دوده برای ۵ مورد آزمایش، در شرایط کم ترافیک و پر ترافیک محاسبه شده که در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱. جرم دوده محاسبه شده برای ۵ مطالعه موردی انجام گرفته در حاشیه (۱۳۹۵/۰۹/۰۷، ۱۳۹۵/۰۹/۰۹ و ۱۳۹۵/۰۹/۱۷) و نواحی مرکزی شهر کرمانشاه (۱۳۹۵/۱۱/۲۸ و ۱۳۹۵/۱۲/۱۰) برای سه مقدار مختلف ضریب پراکندگی

تاریخ	$m_{BC} (\sigma_{sp} = 0 \text{ Mm}^{-1})$	$m_{BC} (\sigma_{sp} = 8/9373 \text{ Mm}^{-1})$	$m_{BC} (\sigma_{sp} = 33 \text{ Mm}^{-1})$
۱۳۹۵/۰۹/۰۷	$0.092 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$0.086 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$0.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$
۱۳۹۵/۰۹/۰۹	$0.084 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$0.079 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$0.062 \mu\text{g}/\text{m}^3$
۱۳۹۵/۰۹/۱۷	$0.078 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$0.072 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$0.056 \mu\text{g}/\text{m}^3$
۱۳۹۵/۱۱/۲۸	$0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$0.09 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$0.08 \mu\text{g}/\text{m}^3$
۱۳۹۵/۱۲/۱۰	$0.043 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$0.042 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$0.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$

جرم دوده برای دو مورد انجام گرفته در شرایط پر ترافیک در نواحی مرکزی شهر کرمانشاه در مدت زمان اندازه‌گیری ۳ ساعته، ۱/۰۹ و ۰/۴۲ میکروگرم بر مترمکعب محاسبه شده است، به طوری که حداکثر مقدار مجاز این آلاینده در ۲۴ ساعت، ۵۰ میکروگرم بر مترمکعب است. در صورت اندازه‌گیری در دوره‌های زمانی ۲۴ ساعته می‌توان تعیین کرد که آیا مقدار آلاینده دوده در شهر پر ترافیک کرمانشاه در حد مجاز است یا خیر.

لازم است با شناسایی و کنترل منابع انتشار آلاینده کربن سیاه از اثرات مخرب آن بر سلامت و محیط زیست جلوگیری نمود. کنترل فعالیت‌هایی که منجر به احتراق ناقص سوخت‌های فسیلی، سوخت‌های زیستی و زیست‌توده‌ها می‌شود می‌تواند در

کاهش انتشار آلاینده دوده مفید واقع شود. به عنوان مثال کنترل نحوه عملکرد خودروهای دیزلی و نیز کاهش تعداد آن‌ها، عدم استفاده از اجاق‌های آشپزی قدیمی، جلوگیری از سوزاندن چوب و آتش‌سوزی جنگل‌ها، کاهش سوخت‌های فسیلی و صنعتی می‌تواند انتشار این آلاینده را به میزان قابل توجهی کاهش دهد.

۳ نتیجه‌گیری

نتایج اندازه‌گیری‌هایی که به منظور محاسبه جرم آلاینده کربن سیاه در حاشیه و مرکز شهر کرمانشاه صورت گرفته است به شرح زیر است:

- افزایش تعداد وسایل نقلیه و تردد باعث افزایش مقدار ضریب میرایی و به تبع آن افزایش جرم آلاینده دوده می‌گردد.
- جرم $1/09 \mu\text{g}/\text{m}^3$ محاسبه شده در نواحی مرکزی شهر کرمانشاه نشان می‌دهد که غلظت کربن سیاه می‌تواند در مکان‌های پر ترافیک و خصوصاً طی ساعات اوج ترافیک در شهر زیاد باشد.
- مقادیر متفاوت ضریب پراکندگی منجر به ایجاد اختلاف نسبتاً کوچکی در محاسبه جرم‌های دوده گردیده است که می‌تواند ناشی از وابستگی بسیار کم منبع احتمالی پراکندگی (گرد و غبار) به طول موج باشد.

منابع

- Pakkanena, T. A., Kerminen. V. M., Ojanen. C. H., Hillamo. R. E., Aarnio. P., and Koskentalo. T., 2000, Atmospheric black carbon in Helsinki : *Atmospheric Environment* **34** (9), 1497 – 1506.
- Hansen, A. D., Lowenthal, D. H., Chow, J. C., and Waston, J. G., 2001, Black carbon aerosol at McMurdo station, Antarctica: *Journal of the Air and Waste Management Association*, **51**(4), 593-600.
- Ramachandran, S., and Rajesh, T. A., 2007, Black carbon mass concentrations over Ahmedabad, an urban location in western India: comparison with urban sites in Asia, Europe, Canada, and the United States: *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **112**(D6).
- Badarinath, K. V. S., Kharol, S. K., Reddy, R. R., Gopal, K. R., Narasimhulu, K., Reddy, L. S. S., Kumar, K. R., 2008, Black carbon aerosol mass concentration variation in urban and rural environments of India- a case study: *Atmospheric science letters* **10**, 29 – 33.
- Wang, Y., Du, K., Wang, K., Shi, P., 2011, A digital photographic method to measure ambient black carbon concentration: *IEEE Conference Publications*, 4275 – 4277.
- Bond, T. C., Anderson, T. L., Campbell, D., 1999, Calibration and Intercomparison of Filter-Based Measurements of Visible Light Absorption by Aerosol: *Aerosol Science and Technology* **30**, 582-600.
- Mogo, S., Lopez, J. F., Cachorro, V. E., de Frutos, A., Zocca, R., Barroso, A., Mateos, D., and Conceicao, E., 2017, Comparison between the optical properties of aerosols in the fine and coarse fractions over Valladolid, Spain: *Environmental Science* **19**, 123–133.