بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
۱۴-۱۲ بهمن ۱۴۰۰

بررسی خصوصیات اپتیکی هواویزها در منطقه دریاچه ارومیه با استفاده از شیدسنج خورشیدی دستی کالیتو

سالار علیزاده[۱]، علی بیات[۲] و حمیدرضا خالصی‌فرد[۱]
۱- دانشکده فیزیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، زنجان
۲- گروه فیزیک، دانشگاه زنجان، زنجان
salizadeh@iasbs.ac.ir, abayat@znu.ac.ir, khalesi@iasbs.ac.ir

چکیده - شیدسنج خورشیدی یک ابزار اپتیکی برای اندازه‌گیری عمق اپتیکی هواویزها (AOD) و نمایه آنگستروم (AE) است. در این مقاله، اندازه‌گیری‌های انجام شده توسط شیدسنج دستی کالیتو (Calitoo) در بازه ۶ ماهه در شهر ارومیه و منطقه رشکان گزارش شده است. دوره اندازه‌گیری از ۱ نوامبر ۲۰۲۰ شروع و تا ۳۰ آوریل ۲۰۲۱ ادامه داشت. در این مدت، ۱۱۷ روز اندازه‌گیری انجام شد. میانگین AOD در ۳ طول موج ۴۶۵، ۵۴۰ و ۶۱۹ نانومتر و AE برابر با ۰٫۲۵، ۰٫۲۱، ۰٫۱۸ و ۱٫۰۸ بود. هواویزها بر اساس AOD و AE اندازه‌گیری شده دسته‌بندی می‌شوند. نتایج نشان می‌دهد، در ۸۵ روز از کل روزهای اندازه‌گیری AOD در بازه ۰٫۷ – ۰ و AE در بازه ۱٫۷ – ۰٫۷ (آلودگی شهری صنعتی) است. برای ۱۲ روز AOD از ۱٫۵ – ۰٫۲ و AE از ۰٫۷ – ۰ (غبار) است. برای ۱۲ روز دیگر AOD در ناحیه ۰٫۲ – ۰ و AE در ۰٫۷ – ۰ (غبار آلوده) است. تنها در ۲ روز AOD از ۰٫۲ – ۰ و AE از ۲ – ۱٫۷ (هوای پاک) قرار داشت.

کلید واژه- شیدسنج دستی، عمق اپتیکی هواویزها، نمایه آنگستروم.

Investigation of optical properties of aerosols in Urmia Lake area using Calitoo handheld sun-photometer

Salar Alizadeh[1], Ali Bayat[2], Hamid R. Khalesifard[1]
1- Department of Physics, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS)
2- Department of Physics, University of Zanjan, Zanjan
salizadeh@iasbs.ac.ir, abayat@znu.ac.ir, khalesi@iasbs.ac.ir

Abstract- Sun-photometer is an optical tool for measuring the Aerosol Optical Depth, AOD and Ångström Exponent, AE. In this paper, measurements with Calitoo sun-photometer in Urmia city and Rashkan region, which has been done for six months, are reported. The measurement period started on November 1, 2020, and lasted until April 30, 2021. During this period, 117 days were measured. The average AOD at three wavelengths of 465, 540, and 619 nm and AE was equal to 0.25, 0.21, 0.18, and 1.08. Aerosols were classified based on AOD and AE. Results show that, in 85 days, AOD was equal to 0-0.7 also AE was equal to 0.7-1.7 (industrial urban pollution). For 12 days AOD was 0.2-1.5, and AE was 0-0.7 (dust). For another 12 days, AOD was 0-0.2 also AE was 0-0.7 (mixed dust). Only in two days, AOD was 0-0.2 also AE was 1.7-2 (clear air).

Keywords: Ångström exponent, Aerosol optical depth, Calitoo handheld Sun-photometer

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

مقدمه

هواویزها ذرات جامد و مایع هستند که بصورت طبیعی و یا با دخالت بشر وارد جو می‌شوند. به دلیل پراکنده بودن منابع تولیدکننده هواویزها، توزیع فضایی و زمانی آن‌ها در جو زمین غیریکنواخت است [۱]. برای مطالعه و بررسی هواویزها از علم سنجش از دور استفاده می‌شود. شیدسنج یک ابزار اپتیکی بوده که عمق اپتیکی هواویزها را اندازه‌گیری می‌کند. عمق اپتیکی هواویزها (بدون بعد) معیاری از وجود این ذرات در جو است. با دانستن مقدار عمق اپتیکی هواویزها در دو طول موج مجزا، می‌توان نمایه آنگستروم (بدون بعد) را محاسبه کرد. این پارامتر معیاری از ابعاد ذرات معلق در جو است [۲]. در این گزارش به بررسی اندازه‌گیری‌های انجام شده در دوره ۶ ماهه در منطقه دریاچه ارومیه می‌پردازیم.

مبانی نظری

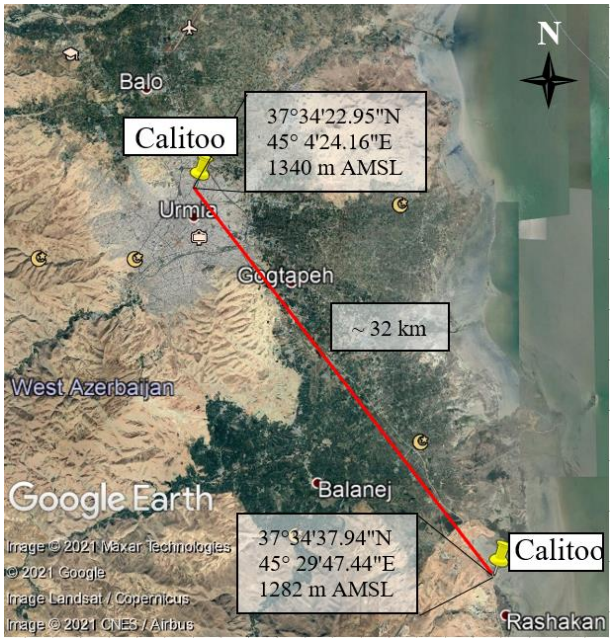
پرتوهای نور در هنگام عبور از جو زمین بوسیله ذرات موجود در جو، جذب و پراکنده می‌شوند. در این شرایط عمق اپتیکی کل برابر خواهد بود با:

$$\tau_{\lambda} = \tau_{\lambda,\,\mathrm{Rayleigh}} + \tau_{\lambda,\,\mathrm{Abs}} + \tau_{\lambda,\,\mathrm{Aerosol}} \qquad (۱)$$

در رابطه بالا $\tau_{\lambda,\,\mathrm{Rayleigh}}$ عمق اپتیکی ناشی از پراکندگی رایلی، $\tau_{\lambda,\,\mathrm{Abs}}$ عمق اپتیکی برای گازهای جاذب و $\tau_{\lambda,\,\mathrm{Aerosol}}$ عمق اپتیکی هواویزها در طول موج λ است. طول موج‌های انتخابی برای دستگاه شیدسنج خورشیدی کالیتو (Calitoo) در ناحیه جذب گازهای جاذب در درون جو قرار نمی‌گیرد. پس می‌توان از عبارت $\tau_{\lambda,\,\mathrm{Abs}}$ در رابطه (۱) صرف نظر کرد [۲]. عمق اپتیکی مربوط به پراکندگی رایلی وابسته به مولکول‌های بالای محل اندازه‌گیری است که با اندازه‌گیری فشار هوا می‌توان آن را محاسبه کرد [۳و۴]. درنهایت با اندازه‌گیری عمق اپتیکی کل بوسیله شیدسنج، می‌توان عمق اپتیکی هواویزها را محاسبه کرد.

روش‌کار و داده

جو منطقه دریاچه ارومیه برای اولین بار توسط یک دستگاه شیدسنج دستی کالیتو مورد بررسی قرار گرفت. شیدسنج خورشیدی دستی کالیتو یک دستگاه نورسنج است که نور خورشید را در سه طول موج در طول روز به صورت دستی اندازه گیری می‌کند. از این داده‌ها عمق اپتیکی هواویزها در هر سه طول موج و نمایه آنگستروم استخراج می‌شود. از ۱ نوامبر تا ۳۰ دسامبر ۲۰۲۰ اندازه‌گیری در کنار دریاچه ارومیه در منطقه رشکان با مختصات جغرافیایی 37°34'37.94"N و 45°29'47.44"E انجام شد. از ۱۱ ژانویه تا ۳۰ آوریل ۲۰۲۱ اندازه‌گیری در شهر ارومیه در مختصات جغرافیایی 37°34'22.95"N و 45°4'24.16"E انجام شد. فاصله مکان‌های اندازه‌گیری ۳۲~ کیلومتر است (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت محل‌های اندازه‌گیری در منطقه دریاچه ارومیه.

اندازه‌گیری در طول روز در ساعات مشخص با فاصله زمانی معین توسط شیدسنج صورت می‌گرفت. فقط در مواقعی که خورشید پشت ابر قرار داشت اندازه‌گیری انجام نمی‌شد. در این مدت، در ۱۱۷ روز اندازه‌گیری شده و در مجموع ۲۴۰۳ داده سطح ۱ (اندازه‌گیری‌های اولیه دستگاه) ثبت گردید. در نهایت، ۵۹۱ داده سطح ۱٫۵ (استخراج شده از داده سطح

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

۱ که تأثیر ابر و خطای انسانی در آن کاهش یافته است) بدست آمد (جدول۱). هر داده سطح ۱/۵ شامل اطلاعاتی درباره میزان AOD در ۳ طول موج ۴۶۵، ۵۴۰ و ۶۱۹ نانومتر و AE استخراج شده از AOD در دو طول موج ۴۶۵ و ۶۱۹ نانومتر است. جدول۱ تعداد روزهای اندازه‌گیری در هر ماه و تعداد داده سطح ۱ و ۱/۵ ثبت شده در این مدت را نشان می‌دهد.

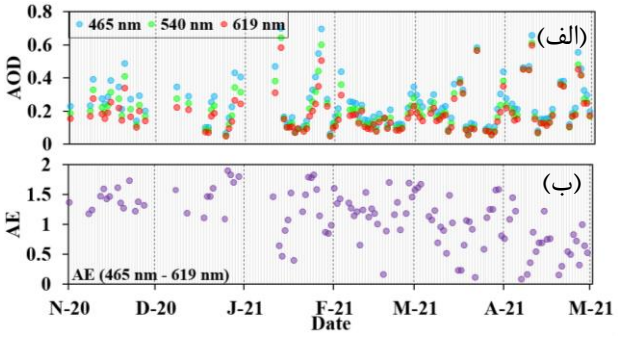
جدول۱ : تعداد روزهای اندازه‌گیری در هر ماه به همراه تعداد داده سطح ۱ و ۱/۵ ثبت شده با استفاده از شیدسنج دستی کالیتو.

سال	(رشکان)۲۰۲۰		(ارومیه)۲۰۲۱				
ماه	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	مجموع
تعداد روز اندازه‌گیری	۱۴	۱۱	۱۸	۲۴	۲۶	۲۴	۱۱۷
تعداد داده سطح ۱	۱۱۲	۱۴۹	۳۸۷	۶۴۲	۵۷۳	۵۴۰	۲۴۰۳
تعداد داده سطح ۱/۵	۳۱	۳۶	۹۲	۱۶۵	۱۳۹	۱۲۸	۵۹۱

نتایج

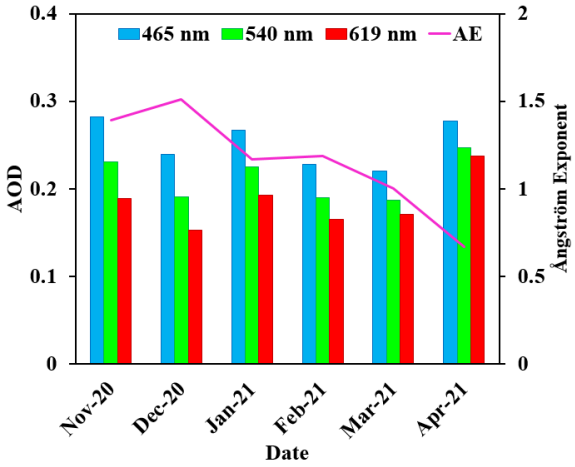
شکل۲ (الف) تغییرات میانگین روزانه AOD در ۳ طول موج ۴۶۵، ۵۴۰ و ۶۱۹ نانومتر را نمایش می‌دهد. در شکل۲ (ب) سری زمانی تغییرات میانگین روزانه AE در طول موج ۴۶۵-۶۱۹ نانومتر مشخص است. به وضوح مشاهده می‌شود تغییرات میانگین روزانه AE روند نزولی دارند. نتایج نشان می‌دهد، گاهی با کاهش (افزایش) AOD، AE روند افزایشی (کاهشی) داشته است. بخش عمده AOD اندازه‌گیری شده زیر ۰/۵ بوده و تعداد روزهایی که در آنها AOD بالاتر از ۰/۵ بوده، کمتر است. میانگین کل AOD در طول موج ۴۶۵، ۵۴۰ و ۶۱۹ نانومتر و AE برابر با ۰/۲۵، ۰/۲۱، ۰/۱۸ و ۱/۰۸ است. هر چه طول موج کوتاه‌تر باشد ضریب پراکندگی افزایش می‌یابد، در نتیجه همواره AOD ثبت شده برای طول موج کوتاه (۴۶۵ نانومتر) بیشتر از طول موج بلندتر (۶۱۹ نانومتر) است. در شکل۳ تغییرات پارامترهای فوق بصورت میانگین ماهانه گزارش شده است. بیشترین (کمترین) میزان AOD ثبت شده در طول موج ۴۶۵ نانومتر برای ماه نوامبر (مارس) و بیشترین (کمترین) میزان AE ثبت شده برای ماه دسامبر (آوریل) است. هرچه میزان AE بیشتر (کمتر) باشد ذرات ریزتر (درشت‌تر) است. چون میانگین AE برای کل بازه اندازه‌گیری بزرگتر از ۱ است (۱/۰۸)، پس در این مدت ذرات ریز دانه بر ذرات درشت دانه (ذرات با ابعاد بزرگ‌تر از یک میکرون) غلبه داشتند.

در شکل ۴ برای ۱۱۷ روز اندازه‌گیری، پراکندگی AOD در طول موج ۴۶۵ نانومتر نسبت به AE در طول موج ۶۱۹-۴۶۵ نانومتر نشان داده شده است. با دانستن AOD و AE اندازه‌گیری شده می‌توان ذرات را دسته‌بندی کرد. در این شکل ذرات در ۴ گروه غبار، غبارآلوده، آلودگی شهری صنعتی و هوای پاک تفکیک شده‌اند [۵ و۶]. در این مدت، بخش عمده‌ای از ذرات در دسته آلودگی شهری صنعتی قرار داشت. در تعدادی از روزها غبار و غبار آلوده عامل آلودگی جو ارومیه بوده و تعداد روزهای عاری از آلودگی به نسبت کمتر بود.

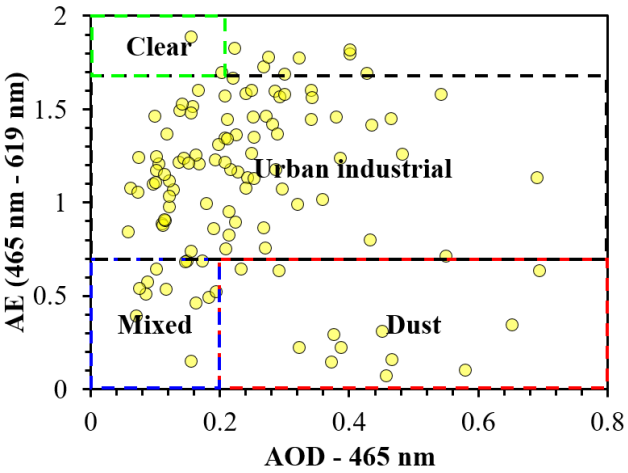


شکل ۲: (الف) تغییرات میانگین روزانه AOD در ۳ طول موج ۴۶۵، ۵۴۰ و ۶۱۹ نانومتر و (ب) تغییرات میانگین روزانه AE در طول موج ۶۱۹-۴۶۵ نانومتر از ۱ نوامبر ۲۰۲۰ تا ۳۰ آوریل ۲۰۲۱.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]



شکل۳: تغییرات میانگین ماهانه AOD در ۳ طول موج ۴۶۵، ۵۴۰ و ۶۱۹ نانومتر و میانگین ماهانه AE در طول موج ۶۱۹-۴۶۵ نانومتر.



شکل۴: پراکندگی AOD در طول موج ۴۶۵ نانومتر نسبت به AE در طول موج ۶۱۹-۴۶۵ نانومتر استخراج شده از میانگین روزانه داده‌های سطح ۱.۵.

اندازه‌گیری با استفاده از شیدسنج دستی کالیتو در منطقه دریاچه ارومیه ادامه دارد تا خصوصیات هواویزها با استفاده از این دستگاه در دراز مدت (از زمان شروع اندازه‌گیری) مورد پایش قرار گیرد. نتایج تکمیلی در آینده گزارش خواهد شد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد، در ۸۵ روز از کل روزهای اندازه‌گیری آلاینده‌های شهری صنعتی عامل اصلی آلودگی هوا بوده. سپس غبار برای ۱۲روز و غبار آلوده برای ۱۲ روز دیگر منطقه داده‌برداری را تحت تأثیر قرار داده است. بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام شده تنها در ۲ روز هوای این منطقه عاری از هواویز بود. همچنین در بازه اندازه‌گیری سهم ذرات ریز دانه بیشتر از ذرات درشت دانه است. میانگین AE ثبت شده در ماه‌های نوامبر، دسامبر، ژانویه و فوریه بالاتر از ۱ است. یعنی ذرات ریزدانه در ماه‌های سرد سال عامل اصلی آلودگی بوده. اما با نزدیک شدن به ماه‌های گرم‌تر سهم ذرات درشت دانه افزایش می‌یابد که نشان می‌دهد ذرات غبار و غبار آلوده بیشتر در ماه‌های گرم این منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

مرجع‌ها

[۱] Ramachandran, S., Kedia, S., “Aerosol optical properties over South Asia from ground-based observations and remote sensing,” a review. Climate 1, pp. 84-119, 2013.

[۲] Calitoo handheld sun-photometer, “User Manual,” [Online]. Available: http://www.tenumshop.com/en/home/1-calitoo-aerosol-photometer.html.

[۳] Bayat, A., Khalesifard, H.R., Masoumi, A., “Retrieval of aerosol single-scattering albedo and polarized phase function from polarized sun-photometer measurements for Zanjan’s atmosphere.,” Atmospheric Measurement Techniques 6, p. 2659–2669, 2013.

[۴] Bayat, A., Masoumi, A., Khalesifard, H.R., “Retrieval of atmospheric optical parameters from ground-based sun-photometer measurementsfor Zanjan, Iran,” Atmospheric Measurement Techniques 4, p. 857–863, 2011.

[۵] Toledano C, Cachorro VE, Berjon A, De Frutos AM, Sorribas M, De la Morena BA, Goloub P. Aerosol optical depth and Ångström exponent climatology at El Arenosillo AERONET site (Huelva, Spain). Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society: A journal of the atmospheric sciences, applied meteorology and physical oceanography. 2007 Apr;133(624):795-807.

[۶] Deep A, Pandey CP, Nandan H, Singh N, Yadav G, Joshi PC, Purohit KD, Bhatt SC. Aerosols optical depth and Ångström exponent over different regions in Garhwal Himalaya, India. Environmental Monitoring and Assessment. 2021 Jun;193(6):1-9.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]