بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۶-۱۵ بهمن ۱۳۹۸

مطالعه جو دریاچه ارومیه با استفاده از لیدار زمین پایه

سالار علیزاده[۱]، حسین پناهی فر[۱]، روح‌اله مرادحاصلی[۲]، حمیدرضا محمدی خالصی فرد[۱-۳]

۱- دانشکده فیزیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان

۲- گروه فیزیک، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، ایران، کدپستی ۵۸۱۴۵ – ۴۵۱۵۶

۳- پژوهشکده تغییر اقلیم و گرمایش زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان

salizadeh@iasbs.ac.ir, h.panahifar@iasbs.ac.ir, r.moradhaseli.iauz@gmail.com, khalesi@iasbs.ac.ir

چکیده - یک ایستگاه سنجش از دور زمین پایه برای مطالعات جوی در اکتبر ۲۰۱۸ در ساحل دریاچه ارومیه راه‌اندازی شد. این ایستگاه مجهز به لیدار جاروبگر است. مطالعات انجام شده در این ایستگاه نشان می‌دهد، در روزهای گرم سال ذراتی با ضریب واقطبش حجمی ۱۰ تا ۲۰ درصد وارد جو می‌شود. در این هنگام، میزان ضریب خاموشی جو از ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۳ بر متر در حال تغییر بود. این ذرات بطور عمده در ارتفاعات زیر ۵۰۰ متر در جو مشاهده می‌شوند. سرعت باد سطحی بر روی وقوع پدیده‌های جوی که از سطح زمین تا ارتفاع ۱۰۰۰ متری برخاسته باشند تأثیرگذار است. بارش باران روی ارتفاع و نوع این ذرات معلق مؤثر بوده و باعث ته‌نشین شدن آنها می‌شود.

کلید واژه- ذرات معلق، دریاچه ارومیه، ضریب خاموشی، ضریب واقطبش حجمی، لیدار زمین پایه جاروبگر.

Study of Urmia Lake Atmosphere using a ground-based LiDAR

Salar Alizadeh[1], Hossein Panahifar[1], Ruhollah Moradhaseli[2], Hamid R. Khalesifard[1-3]

1 Department of Physics, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS)
2 Department of Physics, Zanjan Branch, Islamic Azad University, Zanjan, Iran
3 Center for Research in Climate Change and Global Warming(CRCC), IASBS

Abstract- A ground-based remote sensing station was installed on the Urmia Lake coast for atmospheric studies in October 2018. The station is equipped with a scanning LiDAR. The studies on this station show, in the warm days of the year, the particles with a volume depolarization ratio of 10 to 20 percent enter the atmosphere. At this time, the atmospheric extinction coefficient was changing from 0.001 to 0.003 m^{-1}. These particles are mainly observed in the heights below 500 meters in the atmosphere. The surface wind speed affects the occurrence of atmospheric phenomena that are rising from the ground up to a height of 1000 meters. Rainfalls affect the height and type of these aerosols and cause them to settle.

Keywords: aerosols, Urmia Lake, extinction coefficient, volume depolarization ratio, ground-based scanning LiDAR.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-07]

مقدمه

دریاچه ارومیه به عنوان یک دریاچه فوق اشباع نمک در شمالغرب ایران قرار دارد. در چند سال اخیر دریاچه در شرایط بحرانی به سر می‌برد. کاهش تراز آب دریاچه ارومیه و خشک شدن بخشی از بستر آن در روزهای گرم سال احتمال وقوع پدیده‌های غباری را که منشأ محلی داشته باشند افزایش می‌دهد.

مطالعات انجام شده به وسیله داده‌های ماهواره‌ای نشان می‌دهد دریاچه ارومیه منشأ قوی تولید ذرات غباری نیست. دریاچه بیشتر تحت تأثیر چشمه‌های غباری فرا منطقه‌ای است. همچنین آلاینده‌های جوی تولید شده به دست بشر بر روی کیفیت هوای این منطقه تأثیرگذار هستند [۲-۱]. از عوامل مؤثر بر روی وقوع پدیده‌های غباری در منطقه دریاچه ارومیه وزش باد شدید در بستر دریاچه است [۳].

یک ایستگاه سنجش از دور نوری در موقعیت جغرافیایی 37.343794° N , 45.294744° E برای مطالعه جو دریاچه ارومیه، راه‌اندازی شد. این ایستگاه از اکتبر ۲۰۱۸ شروع به کار کرد.

مبانی نظری

لیدار (LiDAR) عملا یک رادار نوری است. سیگنال‌های یک لیدار پس‌پراکنشی کشسان که از فاصله R دریافت می‌شوند را می توان با رابطه زیر نشان داد:

$$P(R) = \frac{1}{R^2} EA\eta\beta(R)e^{-2\int_0^R \alpha(r)dr} \qquad (۱)$$

که در آن R فاصله از گیرنده، E انرژی پالس لیزر، A مساحت دهانه تلسکوپ، η ضریب پاسخ سیستم آشکارساز، $\beta(R)$ ضریب پس‌پراکندگی و $\alpha(R)$ ضریب خاموشی هستند [۴]. هنگامی که لیدار موازی با سطح زمین داده برداری می‌کند، می‌توان جو را همگن و ضریب پس‌پراکنشی و ضریب خاموشی را ثابت و مستقل از فاصله در نظر گرفت. در این حالت می‌توان نوشت:

$$S(R) = P(R)R^2 \qquad (۲)$$

$$Z(R) = \ln S(R) = Const - 2\alpha R \qquad (۳)$$

$S(R)$ سیگنال تصحیح فاصله شده لیدار است. رابطه ۳ نشان می‌دهد که ارتباط $Z(R)$ و R خطی است و ضریب زاویه این خط -2α است. این رابطه مبنای محاسبه ضریب جذب (خاموشی) جو در جاروب افقی لیدار است.

برای لیدار پس‌پراکنشی واقطبشی با در نظر گرفتن قطبش موازی و عمود برای نور دریافتی، نسبت به قطبش باریکه گسیل شده، دو معادله لیدار برای قطبش عمود و موازی در نظر گرفته می‌شود. از نسبت این دو سیگنال ضریب واقطبش بدست می‌آید:

$$\delta(r) = K\frac{P_\perp(R)}{P_\parallel(R)} = \frac{\beta_\perp(R)}{\beta_\parallel(R)} \qquad (۴)$$

که در آن K ثابت درجه‌بندی ضریب واقطبش است و با آشکارسازی نور کاملا غیرقطبیده می‌توان آن را به دست آورد. $\delta(r)$ به جنس و شکل ذرات بستگی دارد [۵-۴]. در طول‌موج ۵۳۲ نانومتر ضریب واقطبش حجمی برای ذرات نمک خشک ٪۱۲ تا ٪۱۸ برای ذرات نمک که با رطوبت همراه باشند ٪۵ و برای ذرات آلودگی شهری و صنعتی کمتر از ٪۱۰ است [۸-۶]. ضریب واقطبش در تشخیص نوع ذرات معلق جوی نقش مهمی دارد.

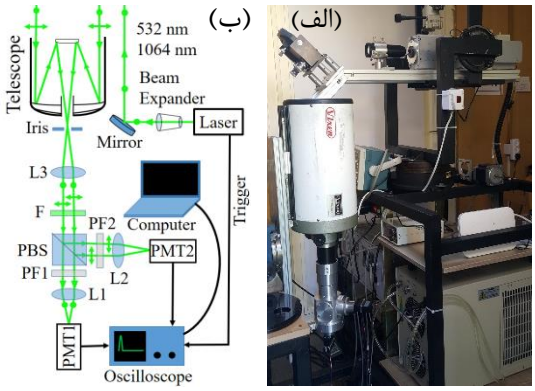
ابزار مورد استفاده

برای مطالعه جو دریاچه از یک لیدار پس‌پراکنشی واقطبشی جاروبگر استفاده شد. این لیدار جو دریاچه را در راستای افق جاروب می‌کند و همچنین پروفایل عمودی ذرات معلق جوی را به تصویر می‌کشد. شکل ۱ الف نمایی از لیدار را در آرایش داده‌برداری در امتداد سرسو نشان می‌دهد. در قسمت فرستنده این لیدار، نور قطبیده خطی توسط لیزر Nd-YAG در طول‌موج ۵۳۲ نانومتر با انرژی پالس ۱۰۰ میلی ژول به سمت جو گسیل می‌شود. قبل از ارسال پالس‌های لیزر به جو، واگرایی آن توسط یک باریکه گستر 7x کاهش داده می‌شود. در قسمت گیرنده، فوتون‌های برگشتی از

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-07]

سمت جو توسط یک تلسکوپ کاسگرین ۸ اینچی جمع شده و به سمت آشکارسازها هدایت می‌شود. در این مسیر نور سبز هدایت شده براساس قطبشی که دارد تفکیک می‌شود. در پایان سیگنال‌هایی با قطبش عمود بر هم در طول موج ۵۳۲ نانومتر ذخیره می‌شود. برد لیدار دریاچه ارومیه در آرایش داده‌برداری در امتداد سرسو ۱۰ کیلومتر و در جاروب زاویه سمتی ۲ تا ۵ کیلومتر وابسته به شرایط مختلف جوی می‌باشد. وضوح فضایی این لیدار ۱۵ متر است (شکل ۱ ب).



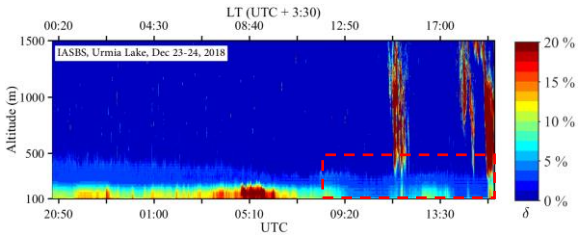
شکل ۱: الف) نمایی از دستگاه لیدار در آرایش داده‌برداری در امتداد سرسو. ب) چیدمان اپتیکی دستگاه لیدار در آرایش داده‌برداری در امتداد سرسو. L1,2 عدسی‌های چشمی آشکارسازها، PF1,2 فیلترهای قطبنده، PBS باریکه شکن مکعبی قطبنده، F فیلتر طول‌موج ۵۳۲ نانومتر، L3 عدسی موازی‌ساز.

نتایج پژوهش

در این بخش به بررسی نتایج حاصل از داده‌برداری در امتداد سرسو و جاروب زاویه سمتی می‌پردازیم. و عوامل تأثیرگذار بر روی پدیده‌های جوی را بررسی خواهیم کرد.

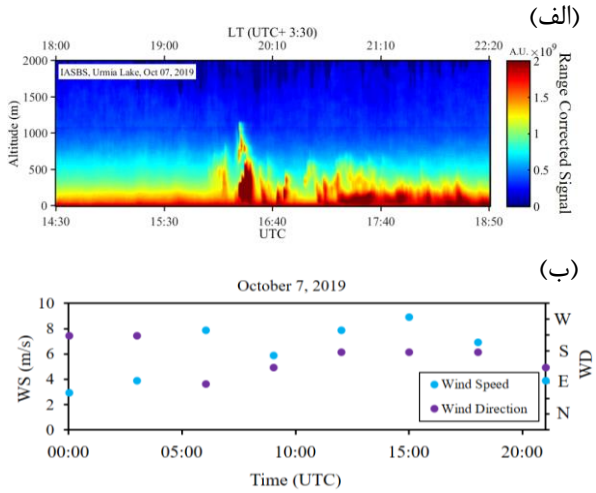
- **پدیده ۲۳ تا ۲۴ دسامبر ۲۰۱۸**

شکل ۲ سری‌زمانی ضریب واقطبش حجمی روز ۲۳ تا ۲۴ دسامبر ۲۰۱۸ را نمایش می‌دهد. در این سری زمانی ضریب واقطبش حجمی برای ذرات معلق در ارتفاع پایین ۱۰ تا ۲۰ درصد بود. این میزان از ضریب واقطبش حجمی نشانگر وجود ذرات نمک خشک در جو است. با شروع بارندگی، ذرات معلق جوی تحت تأثیر رطوبت جو قرار می‌گیرند. این ذرات رطوبت جو را جذب کرده و شکل کروی‌تری به خود می‌گیرند که باعث می‌شود ضریب واقطبش حجمی کمتری داشته باشند. بارش باران باعث می‌شود ذرات معلق جوی ته‌نشین شوند. بعد از بارندگی احتمال مشاهده پدیده غباری که منشأ آن بستر خشک دریاچه باشد کاهش می‌یابد.



شکل ۲: سری‌زمانی ضریب واقطبش حجمی روز ۲۳ تا ۲۴ دسامبر ۲۰۱۸.

- **پدیده ۲۳ تا ۲۴ دسامبر ۲۰۱۸**



شکل ۳: الف) سری زمانی سیگنال تصحیح فاصله شده ۷ اکتبر ۲۰۱۹ و ب) تغییرات سرعت و جهت باد سطحی ایستگاه هواشناسی پل میانگذر دریاچه ارومیه در ۷ اکتبر ۲۰۱۹ [۹].

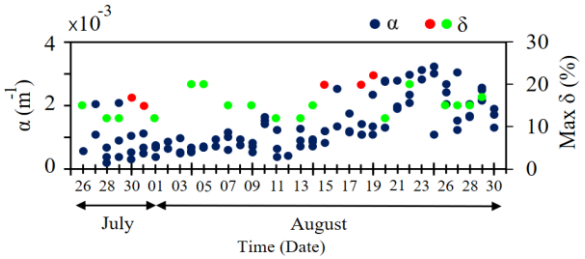
شکل ۳ الف سری زمانی سیگنال تصحیح فاصله شده ۷ اکتبر ۲۰۱۹ را نشان می‌دهد. با افزایش سرعت باد سطحی در موقعیت ایستگاه سنجش از دور دریاچه ارومیه، از ساعت ۱۹:۳۰ تا ۲۰:۱۰ به وقت محلی، پدیده غباری از سطح زمین تا ارتفاع ۱۰۰۰ متری اوج گرفته است (شکل ۳ ب). در روزهای گرم سال بخش‌هایی از بستر جنوبی دریاچه خشک می‌شوند. در این هنگام، سرعت باد سطحی در وقوع پدیده‌های غباری که منشأ آن محلی باشد مؤثر است. جهت باد سطحی عامل تعیین کننده برای مسیر حرکت این ذرات از موقعیت دریاچه ارومیه به مناطق دیگر است.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-07]

- **نتایج جاروب افقی جو، جولای و آگوست ۲۰۱۹**

با استفاده از داده‌های موازی با سطح دریاچه ارومیه در آرایش جاروب زاویه سمتی، ضریب خاموشی لایه سطحی جو محاسبه شد. بطور مثال هنگامی که ضریب خاموشی برابر با m^{-1} ۰/۰۰۲ باشد برای فاصله یک کیلومتری عمق اپتیکی جو برابر با ۲ می‌شود. در این حالت گذردهی فاصله یک کیلومتری از جو تنها برابر با ۱۰ درصد است. به همین دلیل دید افقی در چنین حالتی بسیار کاهش پیدا می‌کند (شکل ۴).



شکل ۴: تغییرات ضریب خاموشی جو و ضریب واقطبش حجمی از ۲۶ جولای تا ۳۰ آگوست ۲۰۱۹.

در شکل ۴ تغییرات ضریب واقطبش حجمی پدیده‌ها از ۲۶ جولای تا ۳۰ آگوست ۲۰۱۹ مشاهده می‌شود. غالب ضریب واقطبش حجمی در این بازه زمانی برای پدیده‌های ثبت شده از ۱۰ تا ۲۰ درصد بود. این میزان از ضریب واقطبش مربوط به ذرات نمک خشک است. این ذرات در ارتفاعات پایین و نزدیک سطح زمین توسط لیدار مشاهده شده‌اند. داده‌برداری در آرایش جاروب زاویه سمتی در شب انجام می‌شد. زیرا در شب نور پس زمینه جو کم بوده و میزان نویز در سیگنال نسبت به روز کمتر است. در شکل ۴ پدیده‌های جوی که گستره فضایی بیشتری (در مقیاس ۱ تا ۲ کیلومتری) اشغال کرده بودند با رنگ قرمز مشخص شده‌اند.

نتیجه‌گیری

در روزهای گرم سال ذراتی با ضریب واقطبش ۱۰ تا ۲۰ درصد از بستر دریاچه وارد جو می‌شوند. این ذرات تحت تأثیر سرعت و جهت باد سطحی قرار می‌گیرند. بارش باران و افزایش رطوبت نسبی یک عامل منفی برای برخاستن این ذرات از بستر خشک دریاچه محسوب می‌شود. وجود ذرات معلق در جو دریاچه ارومیه باعث کاهش دید افقی می‌شود.

سپاسگزاری

این پروژه با پشتیبانی مالی ستاد احیای دریاچه ارومیه با شماره طرح ۹۶۱۰۰۲۰۱ انجام گردید.

مرجع‌ها

[1] Ghomashi, F., & Khalesifard, H. R. (2019, June). "*CALIPSO Recordings and Categorization of Atmospheric Aerosols over the Urmia Lake.*" In E3S Web of Conferences (Vol. 99, p. 01005). EDP Sciences.

[2] Khalesifard, Hamid R., et al. "MONITORING ATMOSPHERIC AEROSOLS OVER THE URMIA LAKE BY CALIPSO AND A GROUND BASE DEPOLARIZED LIDAR."

[3] P. Ginoux, J.M. Prospero, T.E. Gill, N.C. Hsu, M. Zhao, Reviews of Geophysics 50 (2012)

[4] Weitkamp, Claus, ed. Lidar: range-resolved optical remote sensing of the atmosphere. Vol. 102. Springer Science & Business, 2006.

[5] Kovalev, Vladimir A., and William E. Eichinger. Elastic lidar: theory, practice, and analysis methods. John Wiley & Sons, 2004.

[6] Haarig, Moritz, et al. "Dry versus wet marine particle optical properties: RH dependence of depolarization ratio, backscatter, and extinction from multiwavelength lidar measurements during SALTRACE." Atmospheric Chemistry and Physics 17.23 (2017): 14199.

[7] Groß, Silke, et al. "*Aerosol classification by airborne high spectral resolution lidar observations.*" Atmospheric chemistry and physics 13.5 (2013): 2487-2505.

[8] Burton, S. P., et al. "Aerosol classification using airborne High Spectral Resolution Lidar measurements–methodology and examples." Atmospheric Measurement Techniques 5.1 (2012): 73-98.

[9] http://irimo.ir

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-07]