



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^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 واقتبش 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 واقتبش حجمی، لیدار زمین پایه جاروبگر.

Study of Urmia Lake Atmosphere using a ground-based LiDAR

Salar Alizadeh¹, Hossein Panahifar¹, Ruhollah Moradhaseli², 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.

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 می برد. کاهش تراز آب دریاچه ارومیه و خشک شدن بخشی از بستر آن در روزهای گرم سال احتمال وقوع پدیده های غباری را که منشأ محلی داشته باشند افزایش می دهد.

مطالعات انجام شده به وسیله داده های ماهواره ای نشان می دهد دریاچه ارومیه منشأ قوی تولید ذرات غباری نیست. دریاچه بیشتر تحت تأثیر چشمه های غباری فرا منطقه ای است. همچنین آلاینده های جوی تولید شده به دست بشر بر روی کیفیت هوای این منطقه تأثیرگذار هستند [۱-۲]. از عوامل مؤثر بر روی وقوع پدیده های غباری در منطقه دریاچه ارومیه وزش باد شدید در بستر دریاچه است [۳]. یک ایستگاه سنجش از دور نوری در موقعیت جغرافیایی $37.343794^{\circ} \text{ N}$, $45.294744^{\circ} \text{ E}$ برای مطالعه جو دریاچه ارومیه، راه اندازی شد. این ایستگاه از اکتبر ۲۰۱۸ شروع به کار کرد.

مبانی نظری

لیدار (LiDAR) عملاً یک رادار نوری است. سیگنال های یک لیدار پس پراکنشی کشسان که از فاصله R دریافت می شوند را می توان با رابطه زیر نشان داد:

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

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

$$S(R) = P(R) R^2 \quad (2)$$

$$Z(R) = \ln S(R) = \text{Const} - 2\alpha R \quad (3)$$

$S(R)$ سیگنال تصحیح فاصله شده لیدار است. رابطه ۳ نشان می دهد 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 پس پراکنشی 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 می شود. از نسبت این دو سیگنال ضریب واقطبش بدست می آید:

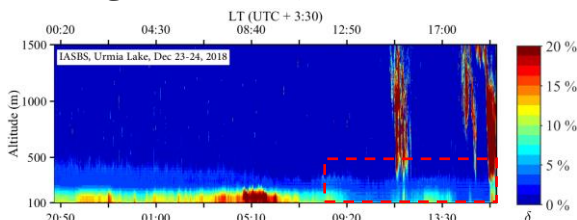
$$\delta(r) = K \frac{P_{\perp}(R)}{P_{\parallel}(R)} = \frac{\beta_{\perp}(R)}{\beta_{\parallel}(R)} \quad (4)$$

که در آن K ثابت درجه بندی ضریب واقطبش است و با آشکارسازی نور کاملاً غیرقطبیده می توان آن را به دست آورد. $\delta(r)$ به جنس و شکل ذرات بستگی دارد [۴-۵]. در طول موج 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 [۶-۸]. ضریب واقطبش در تشخیص نوع ذرات معلق جوی نقش مهمی دارد.

ابزار مورد استفاده

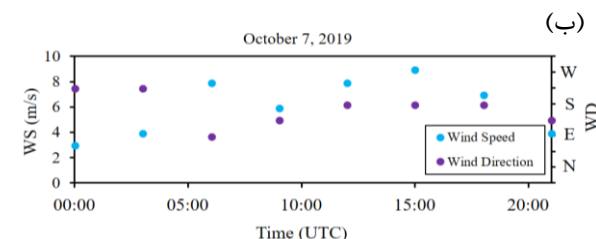
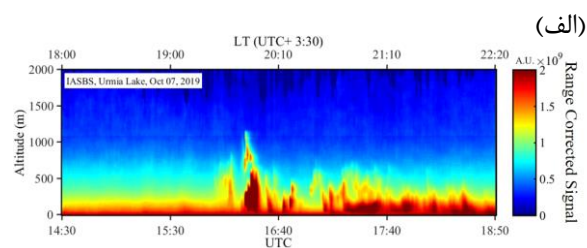
برای مطالعه جو دریاچه از یک لیدار پس پراکنشی واقطبشی جاروبگر استفاده شد. این لیدار جو دریاچه را در راستای افق جاروب می کند و همچنین پروفایل عمودی ذرات معلق جوی را به تصویر می کشد. شکل ۱ الف نمایی از لیدار را در آرایش داده برداری در امتداد سرسو نشان می دهد. در قسمت فرستنده این لیدار، نور قطبیده خطی توسط لیزر Nd-YAG در طول موج ۵۳۲ نانومتر با انرژی پالس ۱۰۰ میلی ژول به سمت جو گسیل می شود. قبل از ارسال پالس های لیزر به جو، واگرایی آن توسط یک باریکه گستر 7X کاهش داده می شود. در قسمت گیرنده، فوتون های برگشتی از

می گیرند که باعث می شود ضریب واقتبش حجمی کمتری داشته باشند. بارش باران باعث می شود ذرات معلق جوی ته نشین شوند. بعد از بارندگی احتمال مشاهده پدیده غباری که منشأ آن بستر خشک دریاچه باشد کاهش می یابد.



شکل ۲: سری زمانی ضریب واقتبش حجمی روز ۲۳ تا ۲۴ دسامبر ۲۰۱۸.

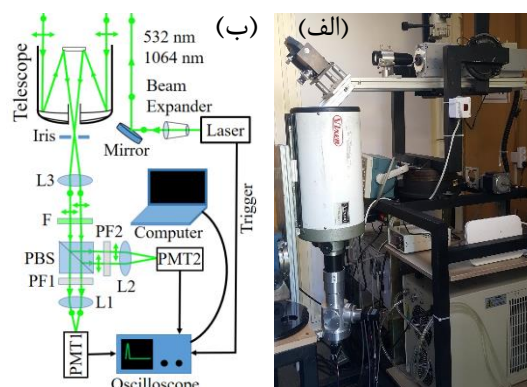
• پدیده ۲۳ تا ۲۴ دسامبر ۲۰۱۸



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 ۱۷ اکتبر ۲۰۱۹ [۹].

شکل ۳ الف سری زمانی سیگنال تصحیح فاصله شده ۷ اکتبر ۲۰۱۹ را نشان می دهد. 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 بخش هایی از بستر جنوبی دریاچه خشک می شوند. در این هنگام، سرعت باد سطحی در وقوع پدیده های 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.

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



شکل ۱: الف) نمایی از دستگاه لیدار در آرایش داده برداری در امتداد سرسو. ب) چیدمان اپتیکی دستگاه لیدار در آرایش داده برداری در امتداد سرسو. L1,2 عدسی های چشمی آشکارسازها، PF1,2 فیلترهای قطبنده، PBS باریکه شکن مکعبی قطبنده، F فیلتر طول موج ۵۳۲ نانومتر، L3 عدسی موازی ساز.

نتایج پژوهش

در این بخش به بررسی نتایج حاصل از داده برداری در امتداد سرسو و جاروب زاویه سمتی می پردازیم. و عوامل تأثیرگذار بر روی پدیده های جوی را بررسی خواهیم کرد.

• پدیده ۲۳ تا ۲۴ دسامبر ۲۰۱۸

شکل ۲ سری زمانی ضریب واقتبش حجمی روز ۲۳ تا ۲۴ دسامبر ۲۰۱۸ را نمایش می دهد. در این سری زمانی ضریب واقتبش حجمی برای ذرات معلق در ارتفاع پایین ۱۰ تا ۲۰ درصد بود. این میزان از ضریب واقتبش حجمی نشانگر وجود ذرات نمک خشک در جو است. با شروع بارندگی، ذرات معلق جوی تحت تأثیر رطوبت جو قرار می گیرند. این ذرات رطوبت جو را جذب کرده و شکل کروی تری به خود

نتیجه‌گیری

در روزهای گرم سال ذراتی با ضریب واقتبش 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

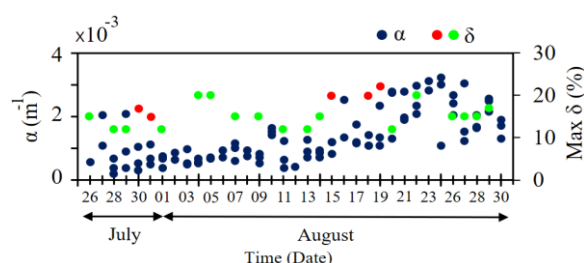
این پروژه با پشتیبانی مالی ستاد احیای دریاچه ارومیه با شماره طرح ۹۶۱۰۰۲۰۱ انجام گردید.

مرجع‌ها

- [1] Ghomashi, F., & Khaledifard, 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] Khaledifard, 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] Haerig, 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>

• 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 0.02 m^{-1} 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 واقتبش حجمی از ۲۶ جولای تا ۳۰ آگوست ۲۰۱۹.

در شکل ۴ تغییرات ضریب واقتبش حجمی پدیده‌ها از ۲۶ جولای تا ۳۰ آگوست ۲۰۱۹ مشاهده می‌شود. غالب ضریب واقتبش حجمی در این بازه زمانی برای پدیده‌های ثبت شده از ۱۰ تا ۲۰ درصد بود. این میزان از ضریب واقتبش 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.