مطالعه ذرات معلق جوی بر روی دریاچه ارومیه با استفاده از لیدار فضابرد کالیپسو (CALIPSO)

فاطمه قماشی[1] و حمیدرضا خالصی‌فرد[1]

۱.دانشکده فیزیک و پژوهشکده تغییر اقلیم و گرمایش زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، زنجان

چکیده – دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران یکی از بزرگترین دریاچه‌های فوق شور در جهان است. در دهه‌های اخیر دریاچه با چالش جدی خشک شدن مواجه بوده است. در مقایسه با سال ۱۹۹۵ میلادی، سطح دریاچه به میزان تقریبا ۸۸٪ خشک شده است که باعث به‌وجود آمدن بستری از نمک در اطراف دریاچه شده است و می‌تواند مقادیر قابل توجهی از هواویزها (غبار و نمک) را در هنگامی‌که باد می‌وزد به منطقه پراکنده کند. ما از داده‌های لیدار فضابرد کالیپسو برای بررسی تغییرات فصلی هواویزهای جو دریاچه ارومیه استفاده می‌کنیم. برای این منظور، پارامترهای اپتیکی انتگرال پس پراکندگی میرا شده (IAB) و عمق اپتیکی هواویزها (AOD) را که در طول موج ۵۳۲ نانومتر محاسبه شده‌اند انتخاب می‌کنیم. مقادیر روزانه IAB و AOD، یک تمایز قابل توجه بین هواویزهای جو دریاچه ارومیه از اطراف آن به ویژه در فصل تابستان نشان می‌دهند. همچنین بیشترین میانگین مقدار AOD برای جو دریاچه درفصل تابستان مشاهده می‌شود. این نتایج می‌تواند به‌دلیل افزایش میزان ذرات نمک در جو دریاچه در فصل تابستان و مقادیر بالاتر ضریب پس پراکندگی برای این ذرات نسبت به هواویزهای غبار باشد.

کلید واژه- دریاچه ارومیه، کالیپسو، هواویز، عمق اپتیکی، پس پراکندگی، ذرات نمک

Investigation of Atmospheric Aerosols Over the Urmia Lake using CALIPSO space-borne Lidar

Fatemeh Ghomashi1 and Hamid R. Khalesifard1

[1] Department of Physics and Center for Research in Climate Change and Global Warming, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), Zanjan, Iran

Abstract- The Urmia Lake in Northwest Iran is one of the largest permanent hypersaline lakes in the world. In recent decades, the lake suffers from a severe drought scenario. Comparing to the year 1995, the lake area has been dried by around 88% and this left a bed of salt around the lake and it can disperse significant amount of aerosols (dust and salt) into the atmosphere while the wind is blowing in the region. We use the recordings of the CALIPSO satellite to investigate the seasonal variations of atmospheric aerosols over the lake. For this purpose, we select integrated attenuated backscatter (IAB) and aerosol optical depth (AOD) that calculated for 532 nm. Daily values of IAB and AOD, show a significant distinction between aerosols over the Urmia Lake from its environs, especially during summer season. Also, the highest average amount of AOD for lake atmosphere observes during the summer season. These results can be attributed to an increase in the amount of salt particles in the lake atmosphere in summer and higher amounts of backscattering coefficient for salt particle relative to dust aerosol.

Keywords: Urmia Lake, CALIPSO, aerosol, optical depth, backscattering, salt particles.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-31]

۱- مقدمه

دریاچه ارومیه در شمال غربی ایران، یکی از بزرگترین دریاچه‌های فوق شور در جهان و بزرگترین دریاچه در خاورمیانه است. در دهه‌های گذشته (تقریباً از سال ۱۹۹۵ میلادی) تراز آب دریاچه ارومیه به‌طور قابل ملاحظه‌ای (در حدود ۸ متر) کاهش یافته است و سطح متوسط آب دریاچه تقریباً ٪ ۸۸ کاهش یافته است [1,2]. یکی از نتایج خشک شدن دریاچه ارومیه، تولید طوفان‌های نمک است که به هنگام وزش بادهای قوی می‌توانند به زمین‌های کشاورزی و مسکونی اطراف دریاچه پراکنده شوند [3,4]. ما در این مطالعه، به بررسی هواویزهای جو دریاچه ارومیه و اطراف آن و ویژگی‌های اپتیکی این هواویزها شامل انتگرال پس-پراکندگی میرا شده (IAB) و عمق اپتیکی هواویزها (AOD)، با استفاده از داده‌های لیدار فضابرد کالیپسو (CALIPSO) از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۵ میلادی می-پردازیم. مأموریت کالیپسو فراهم آوردن اندازه‌گیری‌هایی است که کمک می‌کند تا نقش هواویزها و ابرها در شکل-گیری آب و هوا بهتر و ملموس‌تر درک شود [5] .

۲- مجموعه‌ی داده‌ها و روش‌های اندازه‌گیری

ما در این مطالعه برای بررسی میزان و نوع هواویزهای جو دریاچه ارومیه و اطراف آن، به ترتیب از پارامترهای عمق اپتیکی هواویزها (AOD) و انتگرال پس‌پراکندگی میرا شده (IAB) از مجموعه داده‌های CALIPSO 5-km Aerosol Profile Product (Level 2, Version 3) در طول سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۵ میلادی استفاده می‌کنیم. عمق اپتیکی هواویزها (AOD یا τ_p) به عنوان معیاری از میزان هواویزها در جو زمین در نظر گرفته می‌شود [6] و به‌صورت انتگرال‌گیری از ضریب خاموشی (جذب و پراکندگی) ذرات (α_p) در یک ستون قائم از بالای جو تا سطح زمین در طول موج ۵۳۲ نانومتر تعریف می‌شود که با رابطه (1) نشان داده شده است.

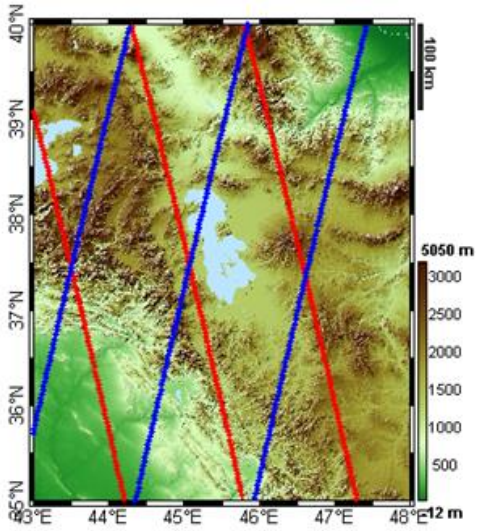
$$\tau_p(z) = \int_{z_{top}}^{z_{base}} \alpha_p(z)dz \qquad (1)$$

پارامتر بعدی که برای بررسی نوع هواویزهای جو دریاچه، استفاده می‌کنیم، انتگرال پس‌پراکندگی میرا شده ذرات (IAB یا $\acute{\gamma}$) است که با انتگرال‌گیری از ضریب پس‌پراکندگی میرا شده ذرات (β') در یک ستون قائم از بالای جو تا سطح زمین در طول موج ۵۳۲ نانومتر به‌دست می‌آید که با رابطه (2) نشان داده شده است [7].

$$\acute{\gamma}(z) = \int_{z_{top}}^{z_{base}} \beta'(z)dz \qquad (2)$$

۳- نتایج و بحث

در شکل (1) محدوده‌ی منطقه مورد مطالعه و مسیرهای عبور ماهواره‌ی کالیپسو از روی دریاچه ارومیه و اطراف آن در روز و شب به‌ترتیب با خطوط قرمز و آبی نشان داده شده است. دوره‌ی تکرار هر یک از این مسیرها، ۱۶ روز است [5]. ما در این مطالعه مسیرهای شب و روز را به‌طور جداگانه مقایسه می‌کنیم، یعنی همه مسیرهای شب را با هم و همه مسیرهای روز را نیز باهم در نظر می‌گیریم. رنگ در شکل (1) نشان‌دهنده ارتفاع از سطح دریا است که در گوشه پائین سمت راست شکل، اطلاعات مربوط به رنگ را آورده‌ایم.

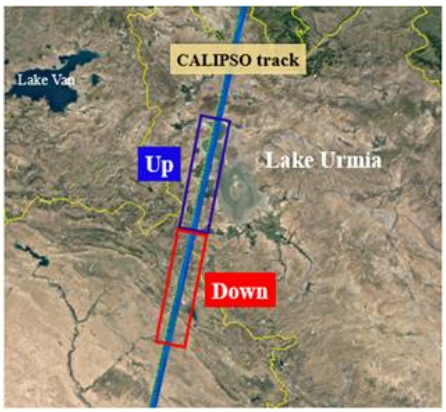


شکل (1). مسیرهای عبور کالیپسو از روی دریاچه و اطراف آن. خطوط آبی، مسیرهای شب و خطوط قرمز، مسیرهای روز عبور کالیپسو را نشان می‌دهد.

به منظور بررسی دقیق‌تر هواویزهای جو دریاچه ارومیه از اطراف آن، هر مسیر کالیپسو را به دو بخش بالا (Up) و پائین (Down) تقسیم‌بندی می‌کنیم و برای هر مسیر نیز، این دو بخش را با هم مقایسه می‌کنیم تا بتوانیم میزان و نوع ذرات را در هر دو بخش با هم مقایسه کنیم. در شکل (2) این تقسیم‌بندی برای مسیر عبور کالیپسو در شب از روی دریاچه نشان داده شده است. برای سایر مسیرها، طول بخش Up و Down به یک اندازه یکسان انتخاب شده است.

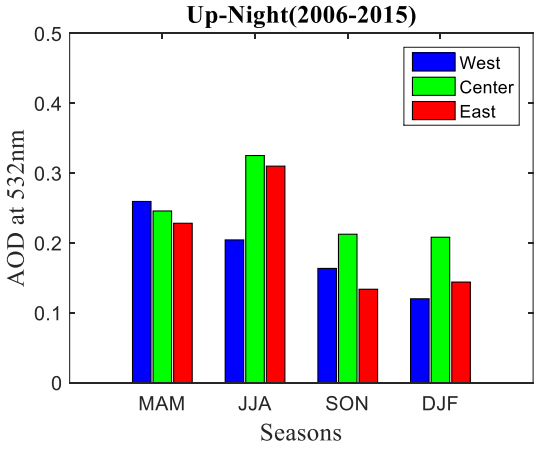
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-31]



). مسیر عبور کالیپسو در شب از روی دریاچه ارومیه و تقسیم‌بندی این 2شکل (
Down. و Upمسیر به دو بخش

ما در این بررسی، مقادیر روزانه پارامترهای AOD و IAB را از داده‌های CALIPSO level 2 Aerosol Profile در مدت زمان ۱۰ سال (ژوئن ۲۰۰۶ تا دسامبر ۲۰۱۵) اندازه-گیری می‌کنیم. میانگین فصلی AOD در ۵۳۲ نانومتر را برای سه مسیر شب کالیپسو در بخش Up مربوط به هر مسیر محاسبه می‌کنیم. نمودار تغییرات فصلی AOD برای ۴ فصل بهار (MAM)، تابستان (JJA)، پائیز (SON) و زمستان (DJF) در شکل (3) آورده شده است. مسیر عبوری از غرب دریاچه با West، مسیر عبوری از روی دریاچه با Center و مسیر عبوری از شرق دریاچه با East نام‌گذاری شده است.



غرب، مرکز برای سه مسیر عبور کالیپسو در AOD). تغییرات فصلی 3شکل (
و شرق دریاچه ارومیه در شب در طول سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۵.

همان‌گونه که در شکل نشان داده شده است مقدار میانگین فصلی AOD برای مسیر عبور کالیپسو از روی دریاچه ارومیه (Center، رنگ سبز) در فصل‌های تابستان، پائیز و زمستان بیشتر از مقدار آن برای دو مسیر کالیپسو در غرب و شرق دریاچه است. علاوه بر این، مقدار میانگین فصلی AOD برای این مسیر در فصل تابستان بیشترین مقدار را دارد. این نتایج نشان می‌دهد که میزان هواویزهای AOD برای مسیر Center نسبت به دو مسیر West و East بیشتر است که می‌تواند به‌دلیل وجود هواویزهای نمک برای مسیر Center که از روی دریاچه عبور می‌کند، باشد. همچنین میزان این هواویزها در فصل تابستان به بیشینه مقدار خود می‌رسد که می‌توان نتیجه گرفت ذرات نمک دریاچه ارومیه در فصل تابستان بیشترین مقدار را در جو دریاچه دارد.

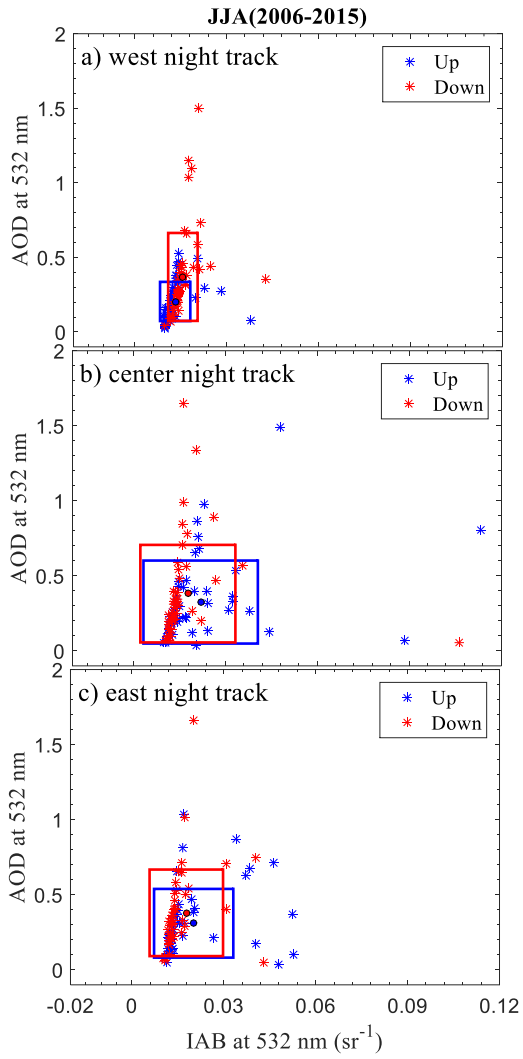
ما در ادامه‌ی بررسی، نمودارهای مقادیر روزانه AOD را بر حسب IAB در طول موج ۵۳۲ نانومتر برای هر کدام از مسیرهای عبور کالیپسو در شب در غرب دریاچه ارومیه (west night track)، روی دریاچه (center night track) و شرق دریاچه (east night track)، در فصل تابستان (JJA) در طول سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۵ میلادی به‌طور جداگانه رسم می‌کنیم و مقادیر پارامترهای ذکر شده در دو بخش Up و Down را با دو رنگ به‌ترتیب آبی و قرمز مشخص می‌کنیم. طول هر یک از مستطیل‌ها در راستای محور x در شکل نشان‌دهنده دو برابر انحراف معیار مقادیر روزانه IAB است و در راستای محور y نشان‌دهنده دو برابر انحراف معیار مقادیر روزانه AOD است. دایره های قرمز و آبی در مرکز هر کدام از مستطیل‌های قرمز و آبی، نشان-دهنده مقدار میانگین تمام مقادیر روزانه IAB و AOD رسم شده در شکل (4) است.

با توجه به شکل (4) ملاحظه می‌کنیم که پراکندگی مقادیر IAB برای مسیر center night track (شکل 4b)، که از روی دریاچه می‌گذرد نسبت به دو مسیر دیگر بیشتر است. از طرف دیگر یک تمایز آشکار بین مقادیر IAB در بخش Up و Down برای این مسیر وجود دارد و میانگین مقادیر IAB در بخش Up بیشتر از Down است. این تمایز آشکار می‌تواند به‌دلیل تفاوت نوع ذرات بخش Up و Down باشد. چون بخش Up در محدوده‌ی دریاچه قرار دارد و نوع ذرات در این بخش شامل ذرات نمک است. مقادیر بزرگتر IAB در بخش Up نسبت به Down می‌تواند در نتیجه بالا بودن

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-31]

ضریب پس‌پراکندگی میرا شده برای ذرات نمک نسبت به دیگر ذرات در جو پائین دریاچه باشد.



شکل 4. مقادیر روزانه AOD بر حسب IAB در فصل تابستان (JJA) در طول سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۵ برای مسیرهای عبور کالیپسو در شب در غرب دریاچه (a)، روی دریاچه (b) و شرق دریاچه (c) و track های آبی و قرمز (east night track و west night track) مستطیل‌های (center night track). نشان‌دهنده‌ی دو برابر انحراف معیار مقادیر AOD و IAB در بخش Up و Down است.

۴- نتیجه گیری

مقدار میانگین فصلی AOD برای مسیر عبور کالیپسو از روی دریاچه ارومیه در فصل‌های تابستان، پائیز و زمستان، مقادیر بالاتری نسبت به مسیرهای غرب و شرق دریاچه دارد. این مقدار در فصل تابستان به بیشینه مقدار خود می‌رسد. این نتایج می‌تواند نشان‌دهنده وجود ذرات نمک در جو دریاچه ارومیه باشد که باعث ثبت مقدار AOD بالاتری برای این مسیر عبور کالیپسو نسبت به دیگر مسیرها می‌شود. همچنین ذرات نمک در فصل تابستان بیشترین مقدار را در جو دریاچه دارند. در نمودار مقادیر روزانه AOD بر حسب IAB، تمایز آشکار میانگین مقادیر روزانه IAB در فصل تابستان برای مسیر عبور کالیپسو از روی دریاچه ارومیه می‌تواند به‌دلیل تفاوت نوع ذرات بخش Up و Down باشد. چون بخش Up در محدوده‌ی دریاچه قرار دارد و نوع ذرات در این بخش شامل ذرات نمک است. مقادیر بزرگتر IAB در بخش Up نسبت به Down می‌تواند در نتیجه بالا بودن ضریب پس‌پراکندگی میرا شده برای ذرات نمک نسبت به دیگر ذرات در جو پائین دریاچه باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از مرکز تحقیقات لانگی (LaRC) ناسا برای فراهم نمودن داده‌های کالیپسو (CALIPSO) سپاس‌گزار هستند.

مراجع

[1] AghaKouchak, A., et al., Aral Sea syndrome desiccates Lake Urmia: Call for action, J. Great Lakes Res., **41**, 307–311, 2015.
[2] Taravat, A., et al., A Space borne Multisensory, Multitemporal Approach to Monitor Water Level and Storage Variations of Lakes, Water., **8**, 478, 2016
[3] UNEP and GEAS, The drying of Iran's Lake Urmia and its environmental consequences. J. Environ. Dev., **2**, 128–137, 2012.
[4] Ginoux, P., Global-scale attribution of anthropogenic and natural dust sources and their emission rates based on MODIS Deep Blue aerosol products, Rev. Geophys. , **50**, 1-36, 2012.
[5] Winker, D., et al., The CALIPSO Mission: a global 3D view of aerosols and clouds, B. Am. Meteor. Soc., **91**, 1211–1229, 2010.
[6] Kokhanovsky, A. A. Aerosol optics: Light absorption and scattering by particles in the atmosphere. Springer-Praxis, 2008.
[7] Vaughan, M., et al., CALIOP Algorithm Theoretical Basis Document, PC-SCI-202 Part 2, 2005.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-31]