

ارزیابی اولیه تمایز ابر و آئروسول با استفاده از داده‌های سنجنده CALIPSO برای مناطق شرقی ایران

سینا زاهدی اصل^۱، علیرضا فریدحسینی^{۲*}، Yong-Sang Choi^۳ و روزبه شاد^۴ و سیدعلیرضا سیدین^۶

^۱ کارشناس ارشد مهندسی عمران- سنجش از دور، دانشگاه فردوسی مشهد

^۲ دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

^۳ دانشیار گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشگاه Ewha سئول

^۴ آزمایشگاه پیشرانه جت NASA، کالیفرنیا

^۵ استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

^۶ دانشیار گروه مهندسی برق، دانشگاه فردوسی مشهد

(دریافت: ۹۴/۱۲/۲۲، پذیرش: ۹۵/۷/۱۷، نشر آنلاین: ۹۵/۷/۱۸)

چکیده

نظارت بر کیفیت هوا با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای امری حیاتی بوده و استفاده از تکنیک‌های فعال یک روش بسیار مناسب، برای مطالعه ذرات موجود در جو می‌باشد. از طرفی هم، پیچیدگی خواص فیزیکی و نوری ابرها و ذرات معلق در هوا منجر به عدم شناخت کافی از رفتار و ویژگی‌های این ذرات در شرایط مختلف جوی شده است. این تحقیق، یک ارزیابی اولیه از لیدار CALIOP، به منظور تشخیص ابرها و ذرات معلق در هوا در مناطق شرقی ایران، برای دو تاریخ هشتم آگوست سال ۲۰۰۹ (روز) و بیست و هشتم جولای سال ۲۰۱۳ (شب) می‌باشد. بدین منظور داده‌های سطح ۲ CALIOP مربوط به زمان‌های مختلف (روز و شب) به جهت آنالیز و تمایز ابرها و ذرات معلق در هوا (CAD) و همچنین بررسی ویژگی‌های نوری ذرات انتخاب گردید. نتایج حاصل در مجموع نشان می‌دهند که میزان لایه‌های متعلق به عوارضی از جنس آئروسول برای هشتم آگوست سال ۲۰۰۹، بیش از بیست و هشتم جولای سال ۲۰۱۳ بوده است؛ که در واقع موید نتایج حاصل از پروفیل‌های ضرایب انقراض، پروفیل‌های عدم قطعیت آن‌ها و مقایسه پروفیل‌های مربوط به دما و رطوبت نسبی می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: ابر، آئروسول، مناطق شرقی ایران، CALIOP، CAD

۱- مقدمه

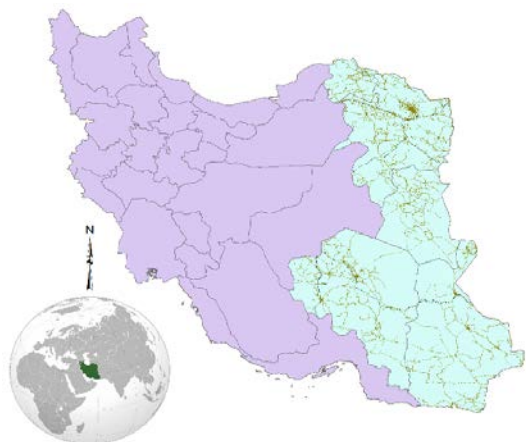
انتشار جهانی تأثیر داشته و به میزان چشم‌گیری موجب محدود شدن درک بشر از سیستم‌های هواشناسی و پتانسیل تغییرات جهانی آب و هوای ناشی از جذب، پراکنش و البته عبور نور خورشیدی از عوارض موجود در اتمسفر به سطح زمین گردند. به عبارتی آئروسول‌ها قادرند که به روند تشکیل و از بین رفتن ابرها (ابر سوزی) و همچنین بر میزان بارش نیز تأثیرات قابل توجهی وارد نمایند (Houghton, Ding et al. 2001; Winker 1999). با توجه به این که بسیاری از سنسورهای مشاهداتی در سنجش از دور مورد استفاده در ارتباط با آئروسول‌ها، اغلب در شرایط عاری از ابر به کار گرفته شده بودند. مطابق تحقیقات Ju و Roy (۲۰۰۸) به طور میانگین ۳۵٪ درصد از سطح جهان همواره دارای پوشش ابری بوده، این موضوع موجب محدود شدن بررسی

پایش و تمایز ذرات معلق در هوا و ابرها همواره بخش بزرگی از نگرانی بشر را در مدل‌سازی سیستم‌های آب و هوایی شامل می‌شود. مسائل مرتبط با آلودگی هوا و آئروسول‌ها نیز یکی از مشکلات عمده زیست‌محیطی برای ساکنان جهان و البته منطقه خاورمیانه در سال‌های اخیر بوده است. شرایط خاص جغرافیایی و سیاسی حاکم بر منطقه خاورمیانه و مجاور بودن با کشورهای خشک و بیابانی باعث افزایش ضرورت پایش و تمایز ذرات معلق در هوا، برای کشورهای منطقه به خصوص ایران شده است. البته قرارگیری در کمربند گردوغبار (Liu, Vaughan et al. 2009) نیز بر میزان اهمیت و چالش این موضوع (برای کشور ایران) افزوده است. آئروسول‌ها به صورت واضح و صریح می‌توانند بر میزان

* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۵۱۳-۳۸۸۰۵۰۰۰

خشک و نیمه‌خشک داخل و خارج از کشور (کشورهای افغانستان و پاکستان) و همچنین قرار گرفتن در کمربند گردوغبار^۷، از اهمیت بسیار بالایی برخوردار می‌باشد. مطابق شواهد ثبت شده در اوایل تابستان سال ۸۸ (۲۰۰۹)، پدیده گردوغبار بیشتر استان‌های کشور ایران را تحت تأثیر قرار داد. این وضعیت آسمان در بسیاری از شهرهای ایران قابل مشاهده بود. روزهای انتخاب شده برای منطقه مورد مطالعه به دلیل نزدیکی و مصادف بودن با تعطیلات مذهبی برای سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۳ (نیمه شعبان و ۱۹ رمضان) و همچنین حجم ترافیکی دارای شرایط یکسانی به جهت مقایسه می‌باشند. در واقع این داده‌ها به لحاظ زمانی (تابستان) و مکانی دارای شرایط نسبتاً یکسانی به جهت مقایسه می‌باشند. در حقیقت دلیل انتخاب این دو روز برای پردازش و تحلیل، وجود آئروسول‌های غلیظ از جمله گردوغبار و دود با غلظت بالا برای مناطق شرقی ایران می‌باشد. شکل (۱) منطقه مورد مطالعه در این تحقیق را نمایش می‌دهد. شکل (۲)، محدوده مورد مطالعه برای مناطق شرق ایران؛ برای گذر روزانه هشتم آگوست سال ۲۰۰۹ و گذر شبانه بیست و هشتم جولای سال ۲۰۱۳ را نمایش می‌دهد.

نوع داده‌های مورد استفاده در این مقاله از نوع سلسله مراتبی نسخه ۴ (HDF4) بوده که شرح آن در Trebbin (۲۰۱۳) و Vaughan و همکاران (۲۰۰۵) ارائه شده است. رزولوشن‌های ارتفاعی و افقی اندازه‌گیری شده در محصولات سنسور CALIOP در اسناد و مقالات منتشر شده توسط Liu و همکاران (۲۰۰۵) و Vaughan و همکاران (۲۰۰۵) ارائه شده است. عمده مزیت این نوع از نسل جدید داده‌های تنوع داده‌های با واحدهای مختلف همراه با اطلاعات توصیفی مرتبط با زیر داده تحت عنوان Meta Data و همچنین دسترسی جامع و سریع به مجموعه جامعی از اطلاعات و پارامترهای اندازه‌گیری شده توسط سنسورهای مختلف برای شرایط مختلف شبانه‌روز می‌باشد.



شکل ۱- نمای منطقه مورد مطالعه واقع در شرق کشور ایران

کامل موضوع گردو غبار می‌گردد (Kahn, Gaitley et al. 2005), (Remer, Kaufman et al. 2005). ماهواره CALIPSO^۱ در آوریل سال ۲۰۰۶ به جهت همکاری با مجموعه ماهواره‌های A-Train به فضا پرتاب شد (Winker, Stephens, Vane et al. 2002), (Hunt et al. 2007). سنسور فعال CALIOP^۲ موجود بر روی سکوی CALIPSO، قادر به اندازه‌گیری اطلاعات (اندازه‌گیری پراکنش ذرات، پروفیل‌های ارتفاعی مرتبط و غیره) در هر شرایط آب و هوایی (ابری و غیر ابری) می‌باشد (Chand, Anderson et al. 2008). این سنسور یک لیدار حساس به قطبش موازی و عمودی در طول موج‌های ۵۳۲ و ۱۰۶۴ نانومتر می‌باشد که اطلاعات تکمیلی در رابطه با نحوه اندازه‌گیری و پردازش اطلاعات توسط Winker و همکاران (۲۰۰۹) ارائه شده است. مشخصات کلی سنسور CALIPSO در جدول (۱) ارائه شده است. البته چندین سنسور غیر فعال نیز در رابطه با اندازه‌گیری خواص و ویژگی‌های آئروسول‌ها از جمله OMI^۳، TOMS^۴، GOME^۵ و SCIAMACHY^۶ (شرح کامل این سنسورها در تحقیقات Yu و همکاران (۲۰۱۲) موجود می‌باشد) تا حد زیادی به جهت آشکارسازی آئروسول‌های موجود در لایه‌های ارتفاعی و لایه‌های زیرین ابری، فعالیت نموده‌اند. اما با توجه به مشکلات مختص سنسورهای غیر فعال به جهت زمان پردازش و برداشت، محققین را به استفاده از داده‌های سنسورهای فعال در این راستا ملزم می‌نماید. پدیده گرد و غبار رویدادی طبیعی بوده و در بخش‌هایی از جهان که دارای مناطق خشک و بیابانی وسیع هستند ایجاد می‌شود.

جدول ۱- مشخصات کلی سنسور CALIPSO-CALIOP

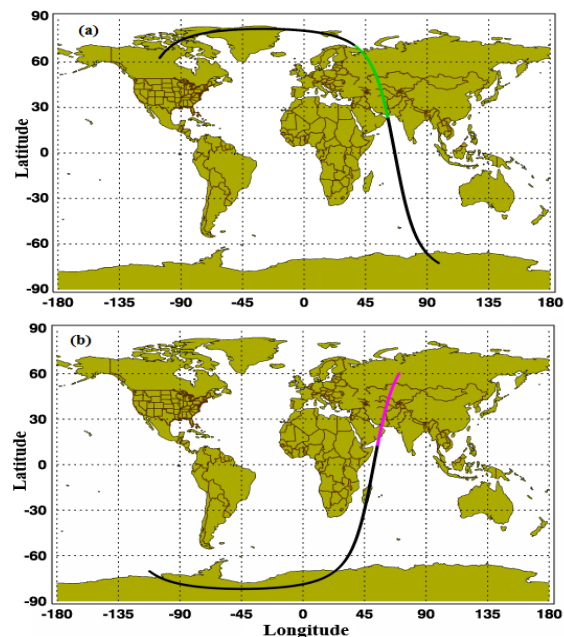
پلاریزاسیون موازی و متعامد (nm)	۵۳۲
طول موج (nm)	۵۳۲ و ۱۰۶۴
قطر ردپا (m)	۷۰
فواصل ردپا (m)	۳۳۵
نرخ تکرار لیزر (Hz)	۲۰/۱۶
زاویه از نادر (درجه)	۳
ارتفاع پرواز (km)	۷۰۵

وجود بیابان‌های وسیع در کشورهای عربستان، عراق، سوریه و ایران نمونه‌هایی از این مناطق هستند. محدوده مطالعاتی مورد بررسی در این مقاله، شرق کشور ایران (طول جغرافیایی ۲۵-۳۸) انتخاب شده است. این منطقه با توجه به مجاورت با مناطق

1. Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations
2. Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization
3. OMI-Ozone Monitoring Instrument
4. TOMS-Total Ozone Mapping Spectrometer
5. GOME- Global Ozone Monitoring Experiment
6. SCIAMACHY-Scanning Imaging Absorption spectrometer for Atmospheric CHartographY

قاره‌ای آلوده و تمیز^{۱۱}، گردوغبار آلوده^{۱۲} و گردوغبار دریایی^{۱۳} می‌باشند. البته تمامی انواع آئروسول‌ها شامل منطقه خاورمیانه و ایران نمی‌باشد و برای منطقه مورد مطالعه به صورت جزئی از کل مجموعه بحث و بررسی صورت می‌گیرد. با این حال مطالعات و آزمایش‌های گسترده و مدل‌سازی‌های متعددی توسط پژوهشگران صورت گرفته است (Young and Vaughan 2009, Alados-Arboledas, Müller et al. 2011, Josset, Rogers et al. 2011, Young, Vaughan et al. 2013). نتایج حاصل از این تحقیقات نشان می‌دهند که تنوع نسبت لیدار در شرایط گرد و غبار وابسته به شرایط فیزیکی، ابعاد، ترکیبات و شکل ذرات می‌باشد. درک کیفی و کمی ذرات و همچنین مشخصات نوری و فیزیکی آن‌ها نقش بسیار مهمی در برنامه‌ریزی به جهت مقابله و مهار ذرات ایفا می‌نماید. در واقع درک صحیح از تنوع، خواص ذرات و طول عمر آن‌ها در ارتفاعات اتمسفر که منجر به تغییرات اساسی در نسبت لیدار آن‌ها در طول موج‌های مختلف می‌گردد، به مراتب برای بازیابی دقیق پروفیل‌های اندازه‌گیری بسیار مهم می‌باشد (Choi 2011). نسبت رطوبت مطلق در دمای t به رطوبت اشباع در همان دما را رطوبت نسبی (RH)^{۱۴} می‌نامند. رطوبت نسبی تأثیر بسیار زیادی بر روی خواص نوری ذرات از جمله جذب، پراکنش و عبور، می‌تواند داشته باشد (Kovalev and Eichinger 2004). مطالعات بسیار زیادی روی خواص نوری ذرات به هنگام فرارگیری در شرایط رطوبت نسبی، انجام شده است که نتایج حاصل از پژوهش‌ها و تحلیل‌های صورت گرفته نشان می‌دهند که پارامتر رطوبت نسبی نسبت مستقیمی با میزان انقراض ذرات دارا می‌باشد (Zieger, Weingartner et al. 2011, Michel Flores, Bar-Or et al. 2012, Yang, al. 2011, Marshak et al. 2012).

بنابر این مطالعه و تحقیق در رابطه با ارتباط دما با رطوبت نسبی می‌تواند اطلاعات بسیار جالبی را به جهت تعیین وضعیت ضرایب انقراض حاصل نماید. به این ترتیب تهیه پروفیل عمودی (ارتفاعی) از متوسط ضرایب انقراض و عدم قطعیت انقراض نسبی با استفاده از داده‌های سطح ۲ CALIOP بسیار ضروری می‌باشد. به همین دلیل در این پژوهش از پارامتر رطوبت نسبی به عنوان یکی از عوامل اعتبارسنجی استفاده شده است. بنابر این از طریق مقایسه مقادیر انقراض برای داده‌های مربوط به زمان‌های مختلف، با پارامترهای اندازه‌گیری شده از قبیل دما، رطوبت نسبی و محاسبه میزان اینورژن‌ها؛ می‌توان به میزان اعتبار لایه-های آشکار شده با استفاده از ماسک عوارض ارتفاعی (VFM) تفسیر نتایج، پی برد.



شکل ۲- مسیر برداشت ماهواره CALIPSO به هنگام عبور از کشور ایران برای گذر روزانه (هشتم آگوست سال ۲۰۰۹) و شبانه (بیست و هشتم جولای سال ۲۰۱۳)

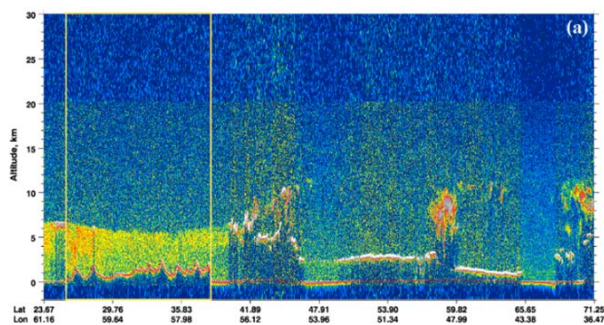
اطلاعات موجود در این نوع از داده‌ها صرفاً مختص سنسور-های ماهواره نبوده و بلکه قابلیت اضافه شدن داده‌های اندازه-گیری در شرایط زمینی را نیز دارا می‌باشد. در واقع بسته به نوع استفاده کاربر، زیر داده‌های موجود در این نوع از داده‌ها تنوع می‌یابد.

اندازه‌گیری‌های پس‌پراکنش برای طول موج ۵۳۲ نانومتر برای محصول لایه آئروسولی CALIOP برای محدوده مورد بررسی (شمال تا جنوب شرق ایران) در شکل‌های (۳- الف و ۴- ب)، نتایج حاصل از نسبت دیپلریزاسیون به ترتیب در شکل‌های (۳- الف و ۴- ب)؛ و همچنین ماسک عوارض ارتفاعی (VFM) به ترتیب در شکل‌های (۳- پ و ۴- ت) نمایش داده شده‌اند.

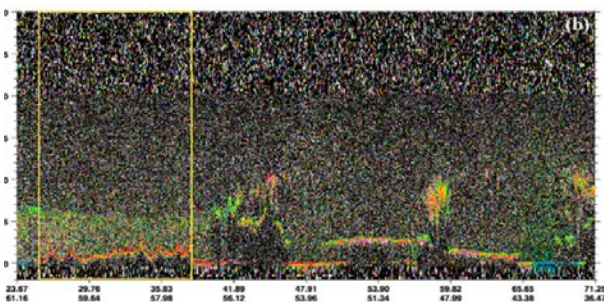
هدف اصلی این مقاله طبقه‌بندی ابر و آئروسول با استفاده از محصول CALIOP-VFM 5.0 km^۸ نسخه‌های ۳.۰۱ و ۳.۳۰ برای روز هشتم آوریل سال ۲۰۰۹ و شب ۲۸ جولای سال ۲۰۱۳ مناطق شرقی کشور ایران می‌باشد. محوریت تمایز صحنه‌های ابری و آلوده به آئروسول، عمدتاً از طریق تفسیر مجموعه داده منتشرشده توسط ناسا بر مبنای بیت سیستم (۱۶ بیت)، دما، ارتفاع کف و نوک لایه ابری و لایه‌های آئروسول می‌باشد. تقسیم-بندی عمده آئروسول‌ها در مقیاس جهانی شامل گردوغبار صحرایی^۹، دود حاصل از سوختن زیست توده^{۱۰}، گردوغبارهای

11. Clean or Background and polluted continental Dust
12. Polluted Dust
13. Marine Dust
14. RH-Relative Humidity

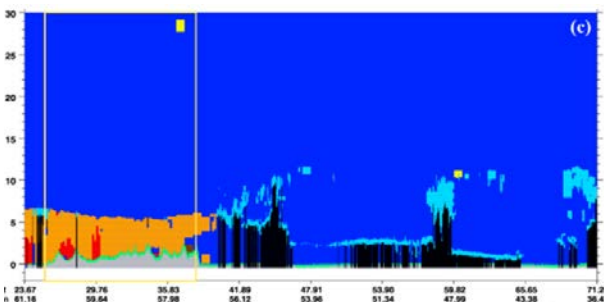
8. Vertical Feature Mask
9. Desert Dust
10. Smoke from burning biomass



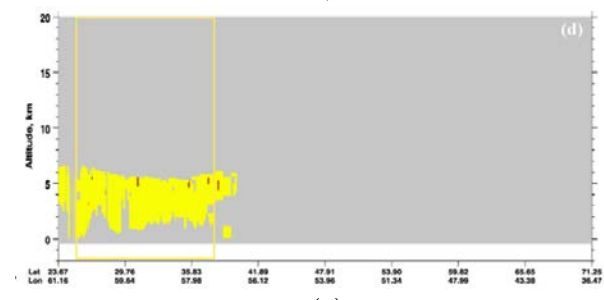
(الف)



(ب)

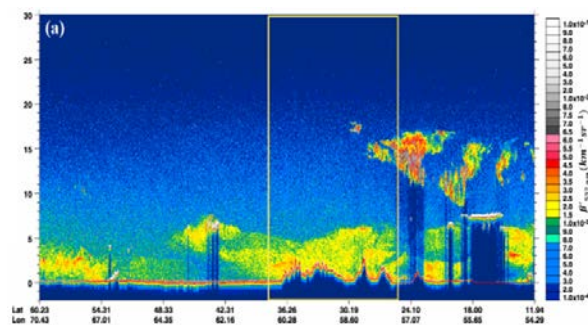


(پ)

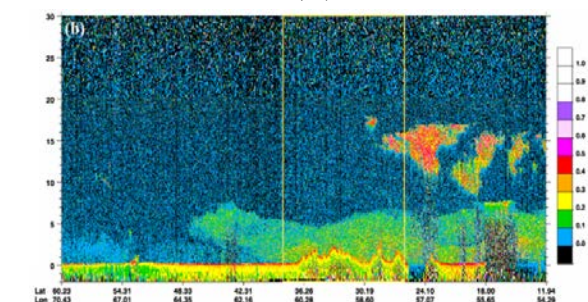


(ت)

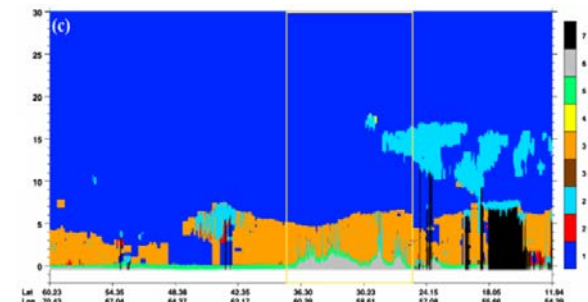
شکل ۴- اندازه‌گیری‌های انجام شده توسط سنسور CALIOP برای ۲۸ جولای سال ۲۰۱۳ مربوط به (الف) پراکنش‌های بازگشتی در طول موج ۵۳۲ نانومتر (با واحد $\text{km}^{-1} \text{sr}^{-1}$)، (ب) نسبت دیپلریزاسیون اندازه‌گیری شده، (پ) ماسک عوارض ارتفاعی یا VFM (۱- هوای صاف، ۲- ابر، ۳- آئروسول، ۴- لایه استروسفریک، ۵- سطح، ۶- زیرسطح، ۷- عاری از اندازه‌گیری یا No Signal) و L نماد عدم یا کم بودن اطمینان، (ت) طبقه بندی نوع آئروسول (۱- هوای صاف، ۲- گردوغبار، ۳- گردوغبار قاره آلوده، ۴- گردوغبار قاره‌ای تمیز، ۵- گردوغبار آلوده، ۶- دود و N/A معرف عاری از هر یک از عوارض) بر اساس درجات طول و عرض جغرافیایی



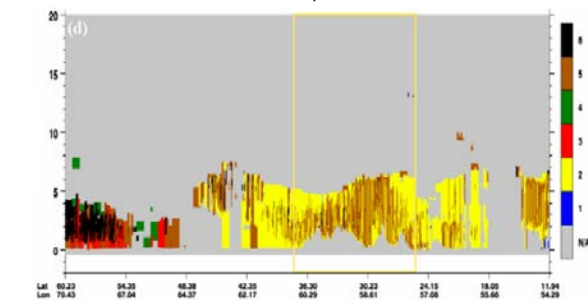
(الف)



(ب)



(پ)



(ت)

شکل ۳- اندازه‌گیری‌های انجام شده توسط سنسور CALIOP برای هشتم آگوست سال ۲۰۰۹ مربوط به (الف) پراکنش‌های بازگشتی در طول موج ۵۳۲ نانومتر (با واحد $\text{km}^{-1} \text{sr}^{-1}$)، (ب) نسبت دیپلریزاسیون اندازه‌گیری شده، (پ) ماسک عوارض ارتفاعی یا VFM (۱- هوای صاف، ۲- ابر، ۳- آئروسول، ۴- لایه استروسفریک، ۵- سطح، ۶- زیرسطح، ۷- عاری از اندازه‌گیری یا No Signal) و L نماد عدم یا کم بودن اطمینان، (ت) طبقه بندی نوع آئروسول (۱- هوای صاف، ۲- گردوغبار، ۳- گردوغبار قاره آلوده، ۴- گردوغبار قاره‌ای تمیز، ۵- گردوغبار آلوده، ۶- دود و N/A معرف عاری از هر یک از عوارض) بر اساس درجات طول و عرض جغرافیایی

استفاده شد و در واقع مطابق شرایط آماری، داده‌هایی که دارای ابهام بالایی به لحاظ صحت بودند از چرخه محاسبات حذف گردیدند. در واقع برای نمایش متوسط انقراض، از تمام نمونه‌هایی که شاخص و شرایط خاص آماری را دارا نمی‌باشند را استفاده شده و متوسط مقادیر را برای یک زمان و یک ارتفاع مشخص محاسبه شده است. سپس عدم قطعیت انقراض نسبی، روی مقادیر متوسط بسط داده شد. شکل‌های (۵-الف و ۵-ب) متوسط انقراض را تحت تابعی از ارتفاع و شکل‌های (۵-ب و ۵-ت) عدم قطعیت انقراض نسبی در طول موج ۵۳۲ نانومتر را بر روی صحنه‌های مورد مطالعه در شرایط روزانه سال ۲۰۰۹ و شبانه سال ۲۰۱۳ را نمایش می‌دهد.

۳- تمایز ابرها و آئروسول‌ها

محصول CALIOP 5.0 km VFM به منظور تهیه نمونه‌های علمی از موقعیت و نوع داده‌های موجود در طول مسیر برداشت سنسور طراحی شده است (Vaughan, Young et al. 2004). داده‌ی VFM شامل آرایه‌ای از اعداد صحیح دسته‌بندی شده بر اساس بیت سیستم (۱ تا ۱۶ بیت) برای محصولات مختلفی از قبیل تمایز نوع عوارض (ابر، آئروسول، سطح، زیر سطوح و غیره برای فواصل بیتی بین ۱-۳)، تقسیم‌بندی فازی ابر (فواصل بیتی ۶-۷)، تقسیم‌بندی نوع آئروسول در مقیاس جهانی (فواصل بیتی ۱۰-۱۲) و غیره که در تقسیم‌بندی‌های مرتبط با فواصل بیتی در راهنمای داده محصولات VFM ارائه شده است (PC-SCI-503 CALIPSO data product catalog V.3.3). بنابراین این محصول VFM حاوی عدد صحیح ۱۶ بیتی است که هر بیت و یا گروهی از آن‌ها شامل مجموعه‌ای از نمایانگرهای (Flags) کلاس‌بندی صحنه که معرف منطقه مورد بررسی به جهت حور و موجودیت عوارض می‌باشد (Vaughan, Young et al. 2004, Liu, Omar et al. 2005, Liu, Vaughan et al. 2009).

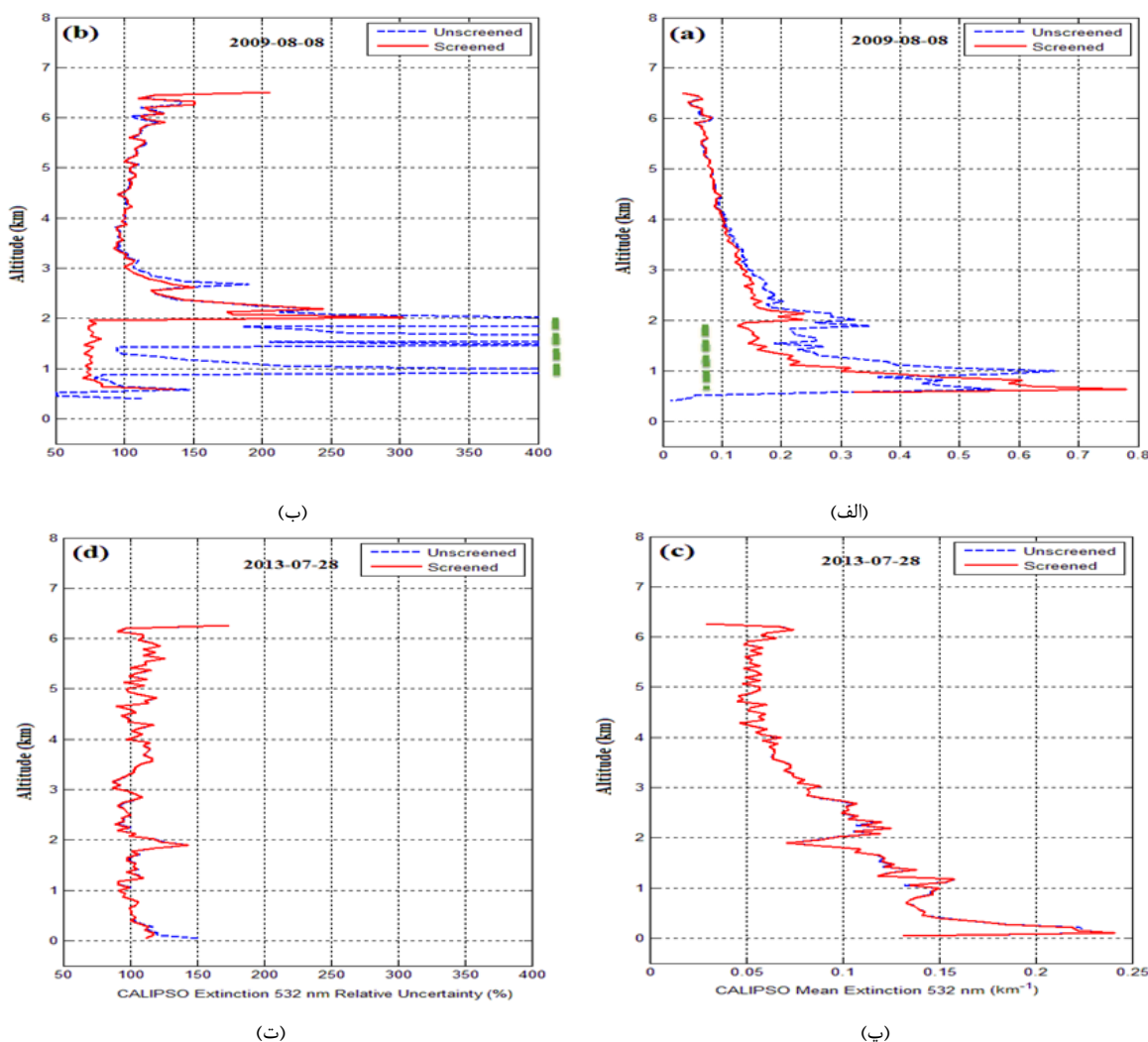
برنامه نویسی‌های انجام شده در محیط MATLAB و IDL به جهت تمایز ذرات برای داده CALIOP 5.0 km VFM با توجه به رزولوشن‌های ذکر شده در تحقیقات Trebbin (۲۰۱۳) و Vaughan و همکاران (۲۰۰۵) می‌باشد. با توجه به توضیحات ذکر شده در رابطه با رزولوشن داده‌های CALIOP، در نظر گرفته شود که داده 5.0 km مصنوعی‌ترین داده به لحاظ متوسط‌گیری می‌باشد؛ اما با این حال این داده بیشترین اطلاعات را نسبت به سایر داده‌ها دارا می‌باشد. کد برنامه نویسی شده ابتدا صحنه‌های ابری و آلوده به آئروسول را با استفاده از توصیف‌گرهای بیتی سیستم (فواصل بیتی بین ۱-۳) تفکیک می‌نماید.

در واقع دلیل تهیه متوسط ضرایب انقراض و عدم قطعیت پروفیل‌های مرتبط، می‌تواند توضیح اعتبار و ارزیابی نتایج به دست آمده توسط سنسور CALIOP باشد. البته بایستی یادآوری نمود که محاسبه و نمایش پروفیل‌های مربوط به میزان انقراض و عدم قطعیت آن با استفاده از روش‌های اساسی ذکر شده در تحقیقات Liu و همکاران (Liu, Omar et al. 2005) صورت گرفته است. مقادیر حد آستانه‌های مورد استفاده برای الگوریتم تمایز ذرات، مشابه شرایط ذکر شده توسط Liu و همکاران (۲۰۰۹) می‌باشد ($CAD^{15} < -20$). البته لازم به ذکر است که استفاده از مقادیر مختلف به عنوان حد آستانه برای موضوعات مختلف و شرایط مورد بررسی متفاوت بوده و تا حدی نیز می‌تواند سلیقه‌ای باشد. اما در نهایت عملکرد سنسور CALIOP در این منطقه از جهان (ایران) با توجه به مشکلات موجود به جهت سیاسی و جغرافیایی، هنوز هم با عدم قطعیت‌هایی نیز مواجه می‌باشد.

۲- تهیه پروفیل‌های متوسط ضرایب انقراض و عدم قطعیت انقراض نسبی ذرات

پروفیل ارتفاعی متوسط ضرایب انقراض را با استفاده از داده CALIOP Level 2 همراه با میزان عدم قطعیت انقراض نسبی با استفاده از روش‌های اساسی برای هر دو داده مورد استفاده در این تحقیق به دست آمده است. همان طور که قبلاً نیز اشاره شد، میانگین انقراض و عدم قطعیت آن، میزان اهمیت و توجه به کیفیت توصیف‌گرهای موجود در محصول مورد استفاده را به هنگام تفسیر داده CALIOP نشان می‌دهند. به جهت برآورد میزان آئروسول‌ها، انقراض ذرات و عدم قطعیت آن‌ها با استفاده از توصیف‌گرهای زیربط در داده CALIOP Level 2، به منظور آشکارسازی کیفیت نتایج در پروسه تمایز مورد استفاده قرار گرفته شده است (Liu, Vaughan et al. Liu, Omar et al. 2005, Liu, Vaughan et al. 2009). نتایج به دست آمده برای طول موج ۵۳۲ نانومتر در شکل (۵) ارائه شده است. البته محوریت بحث برای طول موج ۵۳۲ نانومتر خواهد بود.

بنابر این اطلاعات مربوط به آئروسول‌ها تحت عنوان عوارضی از جنس آئروسول برای ناحیه مورد مطالعه استخراج شد. علائم با مقدار 9999- (Fill Values) نشان دهنده عدم وجود نمونه به جهت برداشت و شناسایی عوارض و همچنین گزارش‌دهی می‌باشد. در نهایت با استفاده از نمرات CAD با شرط $CAD > -80$ و مقادیر AVD برابر با 2 اقدام به نمایش متوسط انقراض شد (Alados-Arboledas, Müller et al. 2011) برای نمایش عدم قطعیت نیز، تمام نمونه‌هایی که فاقد مقدار Fill Values بودند،



شکل ۵- پروفیل‌های ضرایب انقراضی لایه‌های آئروسول (الف و پ) و عدم قطعیت آن‌ها (ب و ت) در طول موج ۵۳۲ نانومتر به ترتیب برای سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۳

۴- تجزیه تحلیل داده‌های هواشناسی

کل اندازه‌گیری‌های پس‌پراکنش تضعیف شده، بازتابش عوارض اندازه‌گیری شده در مناطق مورد بررسی را نشان می‌دهد. پروفیل‌های سه بعدی نمایانگرهای توصیفی AVD و نمرات CAD به جهت نمایش تعداد نمونه‌های انقراضی که دارای درصد اطمینان پایین و یا عدم وجود نمونه به منظور گزارش‌دهی برای یک ناحیه خاص را مورد استفاده قرار گرفته شده است. توجه به کیفیت نمایانگرهای توصیفی موجود در داده محصولات پروفیل آئروسولی به هنگام تفسیر داده‌ها بسیار مهم قابل توجه می‌باشد؛ به نحوی که متوسط انقراض و عدم قطعیت انقراض نسبی ضرورت این موضوع را نشان می‌دهد. روال کار به منظور ارزیابی پردازش‌ها و تحلیل نتایج برای تحقیقات و پژوهش‌های مرتبط با این تحقیق عموماً به سه دسته تقسیم‌بندی می‌شوند:

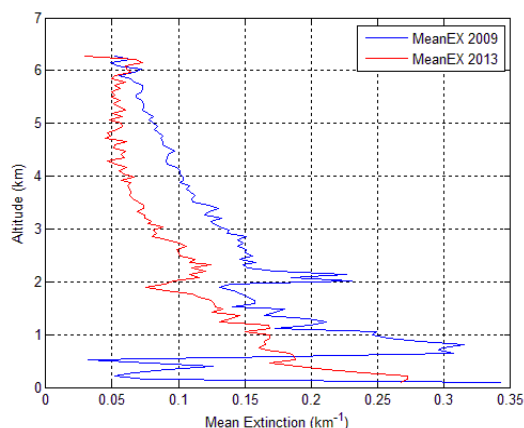
الف) استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی، تقریباً در اکثر

جدول ۲- نتایج حاصل از طبقه‌بندی کلی عوارض با استفاده از داده CALIOP 5-km VFM برای هشتم آگوست سال ۲۰۰۹ و

بیست و هشتم جولای سال ۲۰۱۳

۲۰۱۳-۰۷-۲۸	۲۰۰۹-۰۸-۰۸	
(%)	(%)	
۳۱/۱۵	۲۹/۷۵	هوای صاف
۴/۲۰	۴/۸۰	ابر
۴۸/۰۰	۴۶/۱۵	آئروسول
۵/۴۴	۴/۲۱	سطح
۱۱/۱۷	۱۳/۶۱	زیرسطح
۰/۰۴	۱/۴۷	عاری از سیگنال

نتایج حاصل از طبقه‌بندی عوارض برای مناطق شرقی ایران به ترتیب برای ۸ آگوست سال ۲۰۰۹ و ۲۸ جولای سال ۲۰۱۳ در جدول (۲) ارائه شده است.



شکل ۶- پروفیل‌های تفاوت مقادیر ضرایب انقراض در طول موج ۵۳۲ نانومتر برای هشتم آگوست سال ۲۰۰۹ و بیست و هشتم جولای ۲۰۱۳

به نظر می‌رسد که تعداد نمونه‌های حذف شده مربوط به نمونه‌های بحرانی سال ۲۰۰۹ نسبت به تعداد نمونه‌های حذف شده از داده‌های سال ۲۰۱۳ به مراتب بیشتر می‌باشد؛ و یا یک دلیل دیگر می‌تواند وجود تعداد زیادی ابرهای گسسته باشد که منجر به کاهش تعداد نمونه‌های مربوط به آئروسول‌ها شده است. در نتیجه باعث شده است که مقادیر انقراض بازیابی شده در سال ۲۰۰۹ در ارتفاع کمتر از 3.0 km، مقدار عدم قطعیت بالاتری را به خود اختصاص دهد. با توجه به این که سنسور CALIOP قادر به نفوذ در لایه‌های ابری ضخیم، ناشی از تضعیف بالای سیگنال در طول موج‌های ۵۳۲ و ۱۰۶۴ نانومتر به هنگام برخورد با ابرها نمی‌باشد.

از طرف دیگر سیگنال CALIOP به هنگام برخورد با توده‌های آئروسول ضخیم و غلیظ، سیگنال وارده به شدت جذب توده شده و به هنگام رسیدن به سطح به شدت تضعیف می‌گردد. این میزان جذب بالای توده‌های آئروسولی و بالا رفتن دما در این توده‌ها را نشان می‌دهد و به نوعی جزء محدودیت‌های سنسور CALIOP به هنگام برداشت اطلاعات می‌باشد (Liu, Omar et al. 2005, Nowotnick, Colarco et al. 2011). این نتایج می‌تواند یکی از دلایل افزایش انقراض در سال ۲۰۰۹ در مقایسه با سال ۲۰۱۳ بوده (شکل‌های (۵) و (۶))، و با توجه به بالا بودن میزان انقراض در هشتم آگوست سال ۲۰۰۹ در طول موج ۵۳۲ نانومتر (Liu, Vaughan et al. 2009, Liu, Omar et al. 2005) و بالا رفتن میزان رطوبت نسبی (که در بخش‌های بعدی توضیح داده خواهد شد) امکان موجودیت و حضور آئروسول‌ها و دود نیز افزایش می‌یابد.

تحقیقات انجام شده در رابطه با ارزیابی و اعتبارسنجی نتایج سنسور CALIOP، از نتایج حاصل از یک لیدار هوایی HSRL^{۱۶} متعلق به سازمان فضایی NASA، و یا مقایسه با سایر داده‌های ماهواره‌ای از قبیل CloudSat و MODIS به منظور مقایسه و صحت داده‌ها استفاده شده است. البته در برخی مناطق از جمله مناطق خاور دور (کشورهای چین، کره جنوبی، اندونزی و غیره) از سنسورهای بومی هوایی و همچنین از سنسورهای زمینی نیز استفاده شده است (Chan and Chazette, Raut et al. 2010, Comiso 2011, Nowotnick, Colarco et al. 2011, Zieger, Weingartner et al. 2011, Rogers, Vaughan et al. 2014).

(ب) اعمال خطاهای سیستماتیک به الگوریتم‌های مورد استفاده و طرحی شده به منظور تعیین میران پایداری و ثبات الگوریتم (Choi 2011).

(ج) استفاده از المان‌های واسط به جهت رصد نمودن رفتار و تغییرات المان‌های واسط و حاشیه به هنگام قرارگیری در شرایط آزمایش (Yang, Michel Flores, Bar-Or et al. 2012, Marshak et al. 2012).

در حقیقت با توجه به مشکلات سخت‌افزاری موجود در کشور و البته شرایط این تحقیق، از متوسط انقراض به جهت، و برخی المان‌های هواشناسی به جهت ارزیابی داده CALIOP استفاده شده است. با توجه به مطالب ذکر شده، روی هم رفته میزان انقراض برای هشتم آگوست سال ۲۰۰۹ حدود سه درصد بیشتر از بیست و هشتم جولای سال ۲۰۱۳ می‌باشد (شکل (۶)). در ارتباط با نمرات CAD، نمره CAD برابر 127- تحت عنوان Fill Values موجود در محصول لایه آئروسولی مربوط به هوای صاف، عوارض ابری و یا عدم تشخیص و وجود عارضه می‌باشد. در واقع عوارضی خارج از مجموعه تقسیم‌بندی آئروسول‌ها، با این نمره CAD نمایش داده می‌شوند. کلیت این مقادیر و پیکسل‌های با مقدار نمره CAD برابر با 127- به عنوان نمونه‌های بحرانی در سیستم تمایز ذرات تعریف شده‌اند. به عنوان نمونه عدم قطعیت مشاهده شده در شکل (۵-b) در ارتفاع تقریباً زیر 2.0 km، بیش از ۴۰۰ در صد بوده است که بعد از حذف نمونه‌های بحرانی، عدم قطعیت به مقدار ۷۰ الی ۱۴۰ درصد کاهش پیدا کرده است.

با توجه به شکل (۳-پ) (VFM روز ۲۰۰۹)، اکثر عوارضی که به عنوان آئروسول طبقه‌بندی شده‌اند، دارای مقادیر انقراض پایینی می‌باشند. در حال که متوسط مقادیر انقراض در ارتفاع کمتر از 2.0 km دارای مقادیر بیشتری قبل از حذف نمونه‌های بحرانی می‌باشند (شکل (۵-الف)). یک دلیل می‌تواند مربوط به نوع ماهیت برداشت لیدار مورد استفاده باشد که با کاهش ارتفاع، میزان عدم قطعیت افزایش می‌یابد (Liu, Omar et al. 2005).

جدول ۳- ارزیابی تمایز عوارض ابری و آئروسول با استفاده از کد محاسباتی مورد استفاده برای داده CALIOP 5-KM VFM برای هشتم آگوست سال ۲۰۰۹ و بیست و هشتم جولای سال ۲۰۱۳

تعداد کل عوارض	میزان طبقه‌بندی اشتباه عوارض آئروسولی (%)		میزان طبقه‌بندی اشتباه عوارض ابری (%)		میزان عوارض عاری از اطمینان (%)	
	۲۰۰۹-۰۸-۰۸	۲۰۱۳-۰۷-۲۸	۲۰۰۹-۰۸-۰۸	۲۰۱۳-۰۷-۲۸	۲۰۰۹-۰۸-۰۸	۲۰۱۳-۰۷-۲۸
۸۴،۳۹۰	۳/۲۵	۰/۰۱	۰/۶۳	۳/۲۰	۱/۴۷	۰/۰۴

آشکارنشده و همچنین تأثیر نویز پس‌زمینه خورشیدی در رفتار آشکارسازهای سنسور CALIOP (شکل‌های (۳- الف و ۴- الف))، در طول روز را اشاره نمود. البته برخی توده‌های ابری بسیار نازک سیروس که طول عمر کوتاه‌تری دارند را نیز می‌توان به عنوان یکی دیگر از عوامل مؤثر در طبقه‌بندی اشتباه نیز عنوان نمود. به عبارتی میزان آئروسول موجود در هشتم آگوست سال ۲۰۰۹ به مراتب بیشتر از بیست و هشتم جولای سال ۲۰۱۳ می‌باشد.

۵- ارزیابی و اعتبارسنجی

ارزیابی‌های صورت گرفته در این تحقیق از طریق پروفیل-های ارتفاعی مربوط به داده‌های واسط هواشناسی اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های سینوپتیکی و اندازه‌گیری‌های جو بالا می-باشد. در واقع از این اندازه‌گیری‌ها که با هم در ارتباط هستند، به جهت ارزیابی و تفسیر عوارض استفاده می‌شوند. به همین جهت از دو گروه اندازه‌گیری‌ها استفاده شده است. این اندازه‌گیری شامل:

الف) اندازه‌گیری‌های جو بالا^{۱۷}.

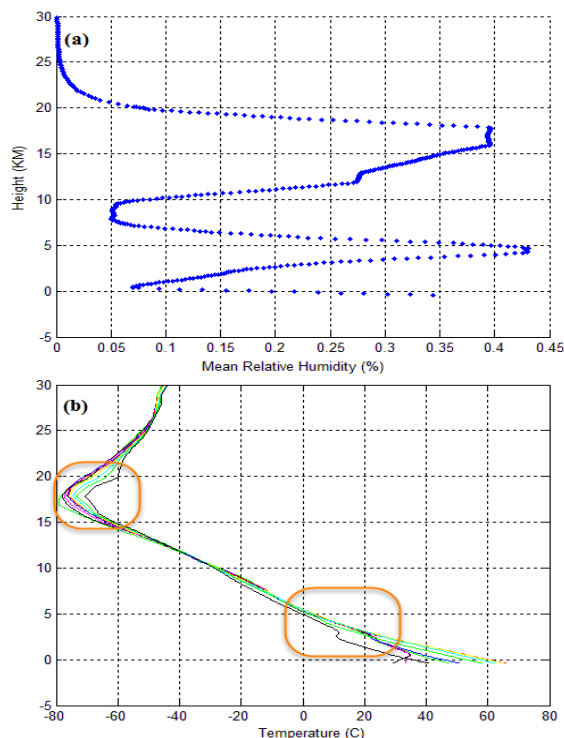
ب) اندازه‌گیری ایستگاه‌های سینوپتیکی که قابل تهیه از سازمان هواشناسی استان خراسان رضوی و همچنین پایگاه داده موجود بر روی سایت دانشگاه Wyoming می‌باشد. در واقع به منظور تعیین محدوده وارونگی یا اینورژن بایستی مشتق دوم پروفیل‌های مورد محاسبه قرار گرفته و شیب‌های واضح به ناشی از تغییر عوارض و یا به عبارتی از بین رفتن میزان همگنی لایه‌ها آشکار شود. سپس با توجه به روال طبیعی اندازه-گیری‌ها و وجود برخی بی‌نظمی‌ها با توجه به شرایط آماری داده-ها، عملیات نرم‌سازی^{۱۸} صورت گرفت.

دلیل دیگر این که، این لیدار ابرها و برخی از آئروسول‌ها از قبیل ترکیب دود حاصل از سوختن زیست توده و گرد و غبارهای ترکیبی و یا آلودگی‌های سربی با مقادیر انقراض و جذب بالا برای ارتفاعات پایین تشخیص می‌دهد. غلظت ذرات به طور چشمگیری وابسته به مکان، زمان (روز، شب و فصل) از سال می‌باشد. اما به طور معمول با افزایش ارتفاع غلظت ذرات کاهش یافته و از طرفی هم با توجه به این که ذرات جاذب رطوبت هستند، ابعاد و توزیع آن‌ها به شدت وابسته به رطوبت نسبی می‌باشند (Kovalev and Eichinger 2004). با توجه به نتایج حاصل از طبقه‌بندی عوارض برای منطقه مورد بررسی با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی ارائه شده در جدول (۲)، ارزیابی اولیه نیز با استفاده از نتایج حاصل از میانگین ضرایب انقراض و عدم قطعیت هریک از آن‌ها (سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۳)، در رابطه با میزان طبقه‌بندی اشتباه عوارض نیز به دست آمد که نتایج حاصل در جدول (۳) ارائه شده است. جدول (۳)، نتایج حاصل از بررسی ۸۴۳۹۰ پیکسل برای هر یک از داده‌های CALIOP 5.0 km مورد استفاده با استفاده از داده‌های هواشناسی اندازه‌گیری شده را نمایش می‌دهد. البته با ذکر این نکته که ارزیابی‌های انجام شده برای این دو روز از سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۳، نمی‌توان به کل داده‌های حاصله توسط سنسور CALIOP بسط داد. و صرفاً یک ایده کلی و عمومی در رابطه با عملکرد این سنسور برای تمایز ذرات در مناطق شرقی ایران می‌باشد.

بررسی نتایج موجود در جدول (۳)، نشان می‌دهد که تعداد پیکسل‌های متعلق به مجموعه آئروسول‌های به اشتباه طبقه‌بندی شده به عنوان ابر در سال ۲۰۱۳، کمتر از میزان طبقه‌بندی اشتباه برای ابرها در سال ۲۰۱۳ می‌باشد در حالی که میزان طبقه‌بندی اشتباه صورت گرفته برای آئروسول‌ها در سال ۲۰۰۹ بیشتر از ابرها در این سال می‌باشد. از دلایل این امر می‌توان به وجود لایه‌های ترکیبی ابر و آئروسول در لایه‌های لایه‌های آشکار شده و لایه‌های ابری موجود در زیر لایه‌های غلیظ آئروسول که به دلیل تضعیف بالای سیگنال ورودی توسط آئروسول‌ها به خوبی

می‌شوند (شکل ۷-الف)). به جهت کم بودن دما در تروپوپاز و کاهش میزان رطوبت نسبی، شکل‌گیری ابر در این محدوده از احتمال کمتری برخوردار می‌باشد، اما در صورت تشکیل ابر، از نوع سیروس می‌تواند باشد. در حالی که با توجه به شرایط و وضعیت پروفیل رطوبت نسبی، ارتفاع کمتر از ۵ کیلومتر، مناسب‌ترین سطح برای شکل‌گیری ابرها می‌باشد (شکل ۷-ب)). لایه وارونه نسبتاً قوی در ارتفاع کمتر از ۵ کیلومتر نشان داده شده در شکل ۷-ب) وجود آئروسول در زیر لایه وارونه را در این ناحیه ارتفاعی تأیید می‌کند.

نتایج حاصل از طبقه‌بندی عوارض کلی در بازه ۱-۳ بیتی و طبقه‌بندی عوارض نوع آئروسولی در بازه ۱۰-۱۲ بیتی با استفاده از داده CALIOP 5.0 km برای تاریخ‌های مورد مطالعه (عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۳۸ درجه شمالی) در شکل ۸) ارائه شده است. با توجه به نتایج و اندازه‌گیری‌های صورت گرفته می‌توان متوجه شد که بیشتر انواع آئروسول‌ها از جمله دود حاصل از سوختن زیست توده، گرد و غبارهای قاره‌ای آلوده و تمیز، گرد و غبار آلوده در روز هشتم آگوست سال ۲۰۰۹ بین ارتفاعات 5.0 km و 6.5 km و به خصوص در مناطق جنوبی ایران (عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۲۶ درجه شمالی) واقع شده‌اند. اما لایه گرد و غبار صحرایی از جنوب به سمت شمال ایران توزیع شده است که توزیع جامع‌تری را دارا می‌باشد (شکل ۸-ب)). از طرف دیگر هم برای بیست و هشتم جولای سال ۲۰۱۳ لایه‌های آئروسولی از جمله گرد و غبار صحرایی، گرد و غبار قاره‌ای آلوده و دود بین ارتفاعات 1.0 km تا 6.5 km به طور گسترده توزیع شده‌اند (شکل ۸-پ)). با توجه به شکل ۷-ب)، لایه وارونه‌ای در ارتفاع حدود 5.0 km وجود دارد که امکان وجود آئروسول را برای این محدوده را افزایش می‌دهد و البته وجود لایه دود در زیر ارتفاع 5.0 km را در شکل ۸-ب) تأیید می‌نماید. نکته جالب این که، بخش‌هایی لایه‌های مربوط به ذرات قاره‌ای آلوده (عوارض قرمز رنگ) و تمیز^{۲۱} یا عاری از آلودگی (عوارض سبز رنگ) در شکل-های ۸-الف) و ۸-ب) به عنوان ابر (عوارض سفید رنگ)؛ و گرد و غبار آلوده^{۲۲} (عوارض قهوه‌ای رنگ) به عنوان لایه آئروسول (عوارض سبز) در تصاویر VFM (به ترتیب در شکل‌های ۸-ب) و ۸-پ)) شناسایی شده‌اند. با توجه به افزایش شدید نویز پس-زمینه خورشیدی به هنگام گذر سنسور در طول روز (هشتم آگوست سال ۲۰۰۹)، میزان و تنوع تشخیص نوع آئروسول در طول گذر شبانه (بیست و هشتم جولای سال ۲۰۱۳) سنسور بسیار مناسب‌تر می‌باشد.



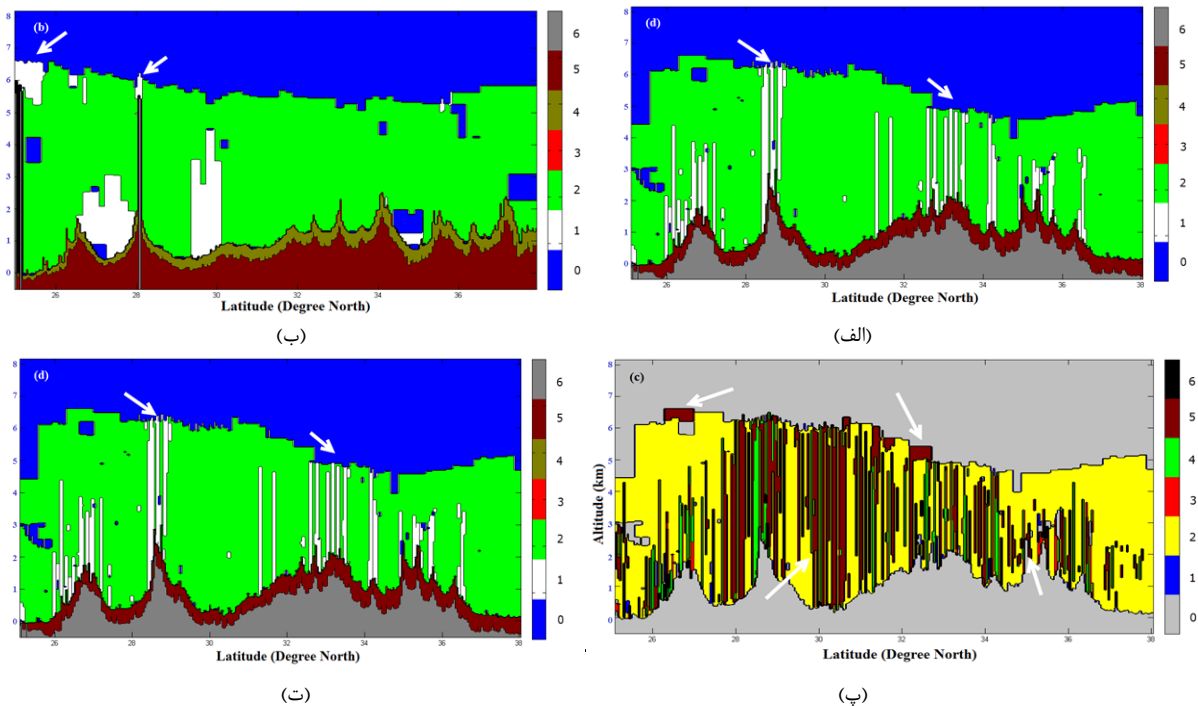
شکل ۷- نتایج حاصل از میانگین رطوبت نسبی (الف) و پروفیل‌های مربوط به دما (ب)، برای ۹ موقعیت مختلف از منطقه مورد مطالعه برای بیست و هشتم جولای سال ۲۰۱۳ (سازمان هواشناسی استان خراسان رضوی)

نرم‌سازی به معنی، حذف تغییرات بسیار کوتاه، نویز و یا به عبارتی صاف کردن و نرم‌سازی پروفیل‌ها به منظور خالص‌سازی فرم داده می‌باشد. تمامی پروفیل‌ها با استفاده از ۵ روش نرم‌سازی پروفیل‌ها (الف- گوسین^{۱۹}، ۲۰-SG، Igor's، میانگین و مد) مورد بررسی قرار گرفتند. در نهایت پس از مقایسه روش‌های مذکور، نتایج برگرفته از فیلتر گوسین وضعیت بهتری نسبت به سایر روش‌ها، شامل گردید (Jia, Liang et al. 2014). شکل ۷) نتایج حاصل از میانگین رطوبت نسبی و پروفیل‌های مربوط به دما برای ۹ منطقه مختلف در طول عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۳۸ شمالی همراه با لایه‌های وارونه آشکار شده را به منظور مقایسه نمایش می‌دهد. با توجه به تحقیقات صورت گرفته، رفتار رطوبت و وارونگی رطوبت هنوز به طور قطع شناخته شده نیست، اما نتایج حاصل نشان می‌دهند که وارونگی رطوبت، نزدیک و نوک ابرهای سیروس مشاهده می‌شوند (Sedlar, Shupe et al. 2012, Vihma, Kilpeläinen et al. 2012, Nygård, Valkonen et al. 2014).

اینورژن یا وارونگی رطوبت موجود در ارتفاع کمتر از ۵ کیلومتری و محدوده تروپوپاز (۱۰ تا ۲۰ کیلومتری) مشاهده

21. Polluted and clean continental
22. Polluted dust

19. Gaussian
20. SG-Savitzky-Golay



شکل ۸- نتایج حاصل از طبقه‌بندی عوارض براساس VFM در بازه ۱-۳ بیتی (ب و ت) (۱- هوای صاف، ۲- ابر، ۳- آئروسول، ۴- لایه استروسفریک، ۵- سطح، ۶- زیر سطح، ۷- عاری از سیگنال یا No Signal) و طبقه‌بندی نوع آئروسول در بازه ۱۰-۱۲ بیتی (الف و پ) (۱- هوای صاف، ۲- گرد و غبار، ۳- گرد و غبار قاره‌ای آلوده، ۴- گرد و غبار قاره‌ای تمیز، ۵- گرد و غبار آلوده، ۶- دود و N/A معرف عاری از هریک از عوارض ۱ تا ۶) بر اساس درجات عرض جغرافیایی در طول ارتفاعات برای هشتم آگوست سال ۲۰۰۹ و بیست و هشتم جولای سال ۲۰۱۳

جدول ۴- توزیع نمرات CAD برای داده CALIOP 5 KM برای هشتم آگوست سال ۲۰۰۹ و بیست و هشتم جولای سال ۲۰۱۳

CAD نمرات	-۱۲۷	-۲۰ تا -۱۰۰ (درصد عوارض آئروسولی)	-۲۰ تا +۲۰ (درصد عوارض عاری از اطمینان)	+۲۰ تا +۱۰۰ (درصد عوارض ابری)
۲۰۰۹-۰۸-۰۸	۴۲/۶۸	۴۶/۳۰	۱۰/۲۶	۰/۷۶
۲۰۱۳-۰۷-۲۸	۵۵/۹۳	۳۷/۴۹	۶/۳۸	۰/۲۰

آئروسول منفی می‌باشد و مقادیر مطلق یا نمرات CAD میزان درصد اطمینان عوارض آشکار شده می‌باشد که هر قدر این مقادیر افزایش یابد میزان تعلق پیکسل مورد نظر به عارضه متناظر افزایش می‌یابد (Liu, Vaughan et al. 2009). به طور کلی نمرات مطلق CAD بزرگ‌تر از ۲۰ ($|CAD| > 20$) نشان دهنده میزان اطمینان مناسب برای عوارض شناسایی شده است. عوارض با نمرات مطلق CAD کوچک‌تر از ۲۰ ($|CAD| < 20$) مربوط به عوارضی است که با قطعیت نمی‌توان در رابطه با آنها اظهار نظر نمود و نشان دهنده عدم اطمینان از کلاس‌بندی صورت گرفته می‌باشد. این عوارض می‌تواند ناشی از مسائل مربوط به پاسخ متفاوت آشکارسازها در شرایط مختلف زمانی از روز، عبور دوگانه، پراکنش چندگانه و همچنین ترکیب شدن

این طبقه‌بندی اشتباه و یا کاهش میزان تشخیص در واقع به دلیل کاهش میزان سیگنال به نویز (SNR) در طول روز به جهت تابش و وجود نور خورشید می‌باشد (Vaughan, Winker et al. 2005). توزیع نمرات CAD محصولات سطح ۲ مورد استفاده به صورت مقادیر درصدی صحیح در بازه بین ۱۰۰- الی ۱۰۰ برای مناطق شرقی ایران در جدول (۴) گزارش شده است. شناسایی عوارض به عنوان ابر و آئروسول با توجه به مقادیر حاصل از تابع چگالی احتمال به عنوان مقادیر یا نمرات به ترتیب $CAD \geq 20$ و $CAD < 20$ می‌باشد.

همچنین نمرات $20 < CAD < 20$ - موجود، به عنوان عوارضی با احتمال یکسان به جهت ابری و آلوده به آئروسول تعلق می‌گیرند. در حقیقت علامت این نمرات برای ابر مثبت و برای

طول عمر کوتاه این ذرات می‌باشد. از آن‌جا که متوسط پراکنش بازگشتی و متوسط نسبت رنگی کلی تضعیف شده این نوع از ذرات (دود)، نسبتاً بزرگ بوده و مقادیر بالایی را به خود اختصاص می‌دهد. بنابر این مشابه موارد حاکم بر لایه ابر برای یک ارتفاع مشخص، در مورد این عارضه نیز امکان طبقه‌بندی اشتباه به عنوان ابر نیز وجود دارد. در نهایت عوارض به رنگ قرمز در تصویر نسبت دپلاریزاسیون (شکل ۴-ب))، محدوده‌ی بین 25°N و 40°N در بازه ارتفاعی بین سطح 2.0 km ، نشان‌دهنده عوارض با مقدار نسبت دپلاریزاسیون تقریباً برابر با 0.5 می‌باشد. این مقدار برای عوارض ابری کمتر می‌باشد (تقریباً 0.2). در نهایت با توجه به مطالب ذکر شده و آگاهی از این نکته که تمامی الگوریتم‌های طبقه‌بندی مورد استفاده در تحقیقات و پژوهش‌ها دارای محدودیت‌های منحصر به فرد خود الگوریتم می‌باشد و احتمال وجود عوارض با طبقه‌بندی اشتباه هم وجود دارد. با توجه به اولیه بودن این ارزیابی با استفاده از الگوریتم عارضه یاب CALIOP، بهبود دادن این الگوریتم و برخی اصلاحات برای مناطق ایران احساس می‌شود.

۶- نتیجه‌گیری

این مقاله یک ارزیابی اولیه از داده‌های CALIOP به جهت تمایز ابر و آئروسول و ذرات معلق در هوا برای ۲ روز بحرانی از سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۳ بوده و در واقع پیش‌زمینه مطالعات و تحقیقات بعدی (ایران و خاورمیانه) در این زمینه می‌باشد. افزایش دقت، صحت و بررسی مشکلات موجود در این راستا و همچنین تأثیر شرایط زیست محیطی وابسته به موقعیت جغرافیایی و سیاسی منطقه خاورمیانه از جمله عوامل تأثیرگذار در ادامه تحقیقات آتی خواهد بود. نتایج حاصل از ارزیابی اولیه از طریق پروفیل‌های ارتفاعی مربوط به متوسط ضرایب انقراض و عدم قطعیت آن‌ها و البته تمایز عوارض (ابر و آئروسول) و کلاس-بندی آن‌ها با استفاده از داده‌های 5 km VFM CALIOP و محصولات ابری و آئروسول مربوط به بخش‌های شرقی ایران برای روز هشتم آگوست سال ۲۰۰۹ و شب بیست و هشتم سال ۲۰۱۳ مورد بحث و بررسی قرار گرفت. به طور کلی الگوریتم CAD عملکرد خوبی داشته و نتایج حاصل، نشان‌دهنده میزان موفقیت بسیار بالا می‌باشد. سناریوهای مختلفی در رابطه با خطای طبقه‌بندی اشتباه الگوریتم CAD مورد بررسی قرار گرفت که در نتیجه مشخص گردید که لایه‌های گرد و غبار و دود غلیظ از شایع‌ترین نوع آئروسول‌ها در طبقه‌بندی اشتباه هستند. دلیل این امر بالا بودن مقادیر متوسط پراکنش بازگشتی و متوسط نسبت رنگی کلی تضعیف شده این نوع از ذرات بوده که بسیار شبیه با مقادیر متناظر با ابرها بوده که اغلب اوقات

چندین نوع از عوارض در یک لایه که منجر به صحیح اندازه-گیری نشدن ذرات توسط سنسور نیز باشد (Liu, Vaughan et al. 2009). مطابق نتایج مورد اشاره، فقط عوارض با نمرات CAD در بازه $20 < \text{CAD} < 100$ - به عنوان آئروسول در نظر گرفته شده است (جدول ۴)). میزان لایه آئروسول در هشتم آگوست سال ۲۰۰۹ بیش از بیست و هشتم جولای سال ۲۰۱۳ می‌باشد. نمرات ویژه CAD برابر با 127- به عنوان مقادیر Fill Value، اختصاص به موقعیت‌های از مسیر برداشت سنسور می‌باشد که هیچ عارضه‌ای توسط الگوریتم‌های شناسایی ذرات مورد استفاده در CALIOP ثبت نشده است. این مقادیر متعلق به هوای صاف (عاری از ابر و آئروسول) و یا متعلق به عوارض کمتر از میزان حد آستانه مورد استفاده می‌باشد. مطابق شکل ۴)، در راستای ارتفاعی، لایه گرد و غبار عموماً از سطح تا چندین کیلومتر در ارتفاعات و برای عوارض آئروسولی با غلظت بالا تا ارتفاع بیش از 5.0 km نیز گسترده شده است. نوع دیگری از آئروسول نیز بین 25°N و 40°N که شبیه به گردوغبارهای آلوده^{۳۳} می‌باشد نیز مشاهده می‌گردد (عوارض با رنگ‌های متمایل به قهوه‌ای در شکل ۴-ت)). به علاوه این که ابرهای سیروس در ارتفاعات بالا (بالتر از 10 km با رنگ‌های خاکستری، زرد و حتی قرمز در شکل ۴-الف)) نیز بین 25°N و 30°N مشاهده می‌شود. با توجه به تصویر VFM مربوط به شکل ۴-پ)، ملاحظه می‌شود که الگوریتم طبقه‌بندی مورد استفاده بیشتر عوارض را برای این منطقه به درستی تشخیص داده است. اما برخی طبقه‌بندی با امکان اشتباه نیز با فرکانس‌های متفاوت نیز صورت گرفته است. در این میان، شایع‌ترین آن‌ها (طبقه‌بندی با امکان اشتباه) عوارض از نوع سطح، ابر و نوع آئروسول دود می‌باشد. لازم به ذکر است که هنگامی که یک لایه ابری در مجاورت یک لایه از آئروسول قرار می‌گیرد، موجب ترکیب لایه مذکور شده و احتمال شناسایی یک لایه واحد توسط سنسور وجود دارد (Vaughan, Powell et al. 2009). اما با این حال تعداد اندکی از لایه‌های ترکیبی نیز به صورت خطوط نواری در بین 25°N و 37°N (شکل‌های ۴-پ و ت)) دارای کلاس‌بندی صحیحی می‌باشند.

راه حل مورد استفاده در این گونه موارد، اندازه‌گیری عبور ۲ طرفه، به جهت تعیین میزان شفافیت و در حقیقت همان همگنی لایه مورد نظر می‌باشد (Liu, Vaughan Liu, Omar et al. 2005), نکته دیگر در رابطه با سطوح و زیر سطوح می‌باشد. نتایج حاصل از الگوریتم کلاس‌بندی صحنه، محدوده بین 25°N و 36.5°N در گسترده ارتفاعی صفر تا بالای 2.0 km را مربوط به این عوارض نشان می‌دهد. علاوه بر این نوع دیگری از امکان طبقه‌بندی اشتباه نیز متوجه نوع آئروسول دود، با توجه به

- Ju J, Roy DP, "The availability of cloud-free Landsat ETM+ data over the conterminous United States and globally", *Remote Sensing of Environment*, 2008, 112 (3), 1196-1211.
- Kahn RA, Gaitley BJ, Martonchik JV, Diner DJ, Crean KA, Holben B, "Multiangle Imaging Spectroradiometer (MISR) global aerosol optical depth validation based on 2 years of coincident Aerosol Robotic Network (AERONET) observations", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984-2012), 2005, 110 (D10).
- Kovalev VA, Eichinger WE, "Elastic lidar: theory, practice, and analysis methods", John Wiley & Sons, US, 2004.
- Liu Z, Omar A, Hu Y, Vaughan M, Winker D, Poole L, Kovacs T, "CALIOP algorithm theoretical basis document, part 3: Scene classification algorithms. NASA-CNES document PC-SCI-203", 2005.
- Liu Z, Vaughan M, Winker D, Kittaka C, Getzewich B, Kuehn R, Omar A, Powell K, Treppe C, Hostetler C, "The CALIPSO lidar cloud and aerosol discrimination: Version 2 algorithm and initial assessment of performance", *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 2009, 26 (7), 1198-1213.
- Michel Flores J, Bar-Or R, Bluvshstein N, Abo-Riziq A, Kostinski A, Borrmann S, Koren I, Rudich Y, "Absorbing aerosols at high relative humidity: linking hygroscopic growth to optical properties", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2012, 12 (12), 5511-5521.
- Nowottnick E, Colarco P, da Silva A, Hlavka D, McGill M, "The fate of Saharan dust across the Atlantic and implications for a central American dust barrier", 2011.
- Nygård T, Valkonen T, Vihma T, "Characteristics of Arctic low-tropospheric humidity inversions based on radio soundings", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2014, 14 (4), 1959-1971.
- Remer LA, Kaufman Y, Tanré D, Mattoo S, Chu D, Martins JV, Li RR, Ichoku C, Levy R, Kleidman R, "The MODIS aerosol algorithm, products, and validation", *Journal of the Atmospheric Sciences*, 2005, 62 (4), 947-973.
- Rogers R, Vaughan M, Hostetler C, Burton S, Ferrare R, Young S, Hair J, Obland M, Harper D, Cook A, "Looking through the haze: evaluating the CALIPSO level 2 aerosol optical depth using airborne high spectral resolution lidar data", *Atmospheric Measurement Techniques*, 2014, 7 (12), 4317-4340.
- Sedlar J, Shupe MD, Tjernström M, "On the relationship between thermodynamic structure and cloud top, and its climate significance in the Arctic", *Journal of Climate*, 2012, 25 (7), 2374-2393.
- Stephens GL, Vane DG, Boain RJ, Mace GG, Sassen K, Wang Z, Illingworth AJ, O'Connor EJ, Rossow WB, Durden SL, "The CloudSat mission and the A-Train: A new dimension of space-based observations of clouds and precipitation", *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2002, 83 (12), 1771-1790.

منجر به طبقه‌بندی اشتباه به عنوان ابر می‌شوند. فرکانس وقوع طبقه‌بندی اشتباه لایه‌های دود به عنوان ابر نسبت به لایه‌های گرد و غبار کمتر می‌باشد. هر چند که در مجموع مقادیر این دو لایه درصد بسیار پایینی را دارا می‌باشد؛ که با استفاده از امتیازات CAD اختصاص یافته به عوارض در الگوریتم‌های تمایز ابر و آئروسول و استفاده از پروفیل‌های داده‌های هواشناسی می‌توان میزان طبقه‌بندی‌های اشتباه صورت گرفته کاهش داد (جدول (۳)). در مجموع نتایج حاصل نشان می‌دهد که میزان لایه‌های متعلق به عوارضی از جنس آئروسول برای هشتم آگوست سال ۲۰۰۹، بیش از بیست و هشتم جولای سال ۲۰۱۳ بوده است که موید نتایج حاصل از پروفیل‌های ضرایب انقراض، پروفیل‌های عدم قطعیت آن‌ها و مقایسه پروفیل‌های مربوط به دما و رطوبت نسبی می‌باشد.

۷- مراجع

- Alados-Arboledas L, Müller D, Guerrero-Rascado J, Navas-Guzmán F, Pérez-Ramírez D, Olmo F, "Optical and microphysical properties of fresh biomass burning aerosol retrieved by Raman lidar, and star-and sun-photometry", *Geophysical Research Letters*, 2011, 38 (1).
- Chan MA, Comiso JC, "Cloud features detected by MODIS but not by CloudSat and CALIOP", *Geophysical Research Letters*, 2011, 38 (24).
- Chand D, Anderson T, Wood R, Charlson R, Hu Y, Liu Z, Vaughan M, "Quantifying above-cloud aerosol using spaceborne lidar for improved understanding of cloudy-sky direct climate forcing", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984-2012), 2008, 113 (D13).
- Chazette P, Raut JC, Dulac F, Berthier S, Kim SW, Royer P, Sanak J, Loaëc S, Grigaut-Desbrosses H, "Simultaneous observations of lower tropospheric continental aerosols with a ground-based, an airborne, and the spaceborne CALIOP lidar system", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984-2012), 2010, 115 (D4).
- Choi HJ, "Characterization of properties and spatiotemporal fields of mineral aerosol and its radiative impact using CALIPSO data in conjunction with A-Train satellite and ground-based observations and modeling", 2011.
- Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, Noguier M, van der Linden PJ, Dai X, Maskell K, Johnson C, "Climate change 2001: the scientific basis", 2001.
- Jia K, Liang S, Zhang N, Wei X, Gu X, Zhao X, Yao Y, Xie X, "Land cover classification of finer resolution remote sensing data integrating temporal features from time series coarser resolution data", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2014, 93, 49-55.
- Josset D, Rogers R, Pelon J, Hu Y, Liu Z, Omar A, Zhai PW, "CALIPSO lidar ratio retrieval over the ocean", *Optics Express*, 2011, 19 (19), 18696-18706.

- Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2009, 26 (11), 2310-2323.
- Yang W, Marshak A, Várnai T, Kalashnikova OV, Kostinski AB, "CALIPSO observations of transatlantic dust: vertical stratification and effect of clouds", Atmospheric Chemistry and Physics, 2012, 12 (23), 11339-11354.
- Young SA, Vaughan MA, "The retrieval of profiles of particulate extinction from Cloud-Aerosol Lidar Infrared Pathfinder Satellite Observations (CALIPSO) data: Algorithm description", Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2009, 26 (6), 1105-1119.
- Young SA, Vaughan MA, Kuehn RE, Winker DM, "The retrieval of profiles of particulate extinction from Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations (CALIPSO) data: Uncertainty and error sensitivity analyses", Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2013, 30 (3), 395-428.
- Yu H, Zhang Y, Chin M, Liu Z, Omar A, Remer LA, Yang Y, Yuan T, Zhang J, "An integrated analysis of aerosol above clouds from A-Train multi-sensor measurements", Remote Sensing of Environment, 2012, 121, 125-131.
- Zieger P, Weingartner E, Henzing J, Moerman M, Leeuw G, Mikkilä J, Ehn M, Petäjä T, Clémer K, Roozendael MV, "Comparison of ambient aerosol extinction coefficients obtained from in-situ, MAX-DOAS and LIDAR measurements at Cabauw", Atmospheric Chemistry and Physics, 2011, 11 (6), 2603-2624.
- Trebbin N, "Cloud statistics from Calipso lidar data for the performance assessment of a methane space lidar", Technische Universität München, 2013.
- Vaughan M, Winker D, K. Powell K, "CALIOP Algorithm Theoretical Basis Document, part 2: Feature detection and layer properties algorithms", PC-SCI-202.01, NASA Langley Res. Cent., Hampton, 2005.
- Vaughan MA, Powell KA, Winker DM, Hostetler CA, Kuehn RE, Hunt WH, Getzewich BJ, Young SA, Liu Z, McGill MJ, "Fully automated detection of cloud and aerosol layers in the CALIPSO lidar measurements", Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2009, 26 (10), 2034-2050.
- Vaughan MA, Young SA, Winker DM, Powell KA, Omar AH, Liu Z, Hu Y, Hostetler CA, "Fully automated analysis of space-based lidar data: An overview of the CALIPSO retrieval algorithms and data products", Remote Sensing, International Society for Optics and Photonics, 2004.
- Vihma T, Kilpeläinen T, Manninen M, Sjöblom A, Jakobson E, Palo T, Jaagus J, Maturilli M, "Characteristics of temperature and humidity inversions and low-level jets over Svalbard fjords in spring", Advances in Meteorology, 2012.
- Winker DM, "Global observations of aerosols and clouds from combined lidar and passive instruments to improve radiation budget and climate studies", 1999.
- Winker DM, Hunt WH, McGill MJ, "Initial performance assessment of CALIOP", Geophysical Research Letters, 2007, 34 (19).
- Winker DM, Vaughan MA, Omar A, Hu Y, Powell KA, Liu Z, Hunt WH, Young SA, "Overview of the CALIPSO mission and CALIOP data processing algorithms",

EXTENDED ABSTRACT

Initial Assessment of Cloud and Aerosol Discrimination over the Eastern Regions of Iran Using CALIOP Satellite Data

Sina Zahedi ^a, Alireza Faridhosseini ^{b,*}, Yong-Sang Choi ^c, Ruzbeh Shad ^d, Alireza Seyedin ^e

^a Department of Remote Sensing Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran

^b Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran

^c Department of Environmental Science and Engineering, Ewha Womans University, Seoul, Korea

^d Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran

^e Department of Electronic Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran

Received: 12 March 2016; **Accepted:** 08 October 2016

Keywords:

Cloud, Aerosol, East Part of Iran, CAD, CALIOP

1. Introduction

Clouds and aerosols discrimination and also its monitoring always is a big part of human concerns including the modeling of climate systems. Issues related to air pollution and aerosols are one of the major problems of the environment for the residents of the world and the Middle East in recent years. Specific geographical and political conditions which are prevailed in the Middle East, being neighbored with dry and desert countries, also being located in the dust belt path (Liu, Vaughan et al. 2009), increases the necessity of monitoring and discrimination of clouds and aerosols for countries in this region, especially Iran. Aerosols are clearly and explicitly can have an impact on global emission rate and significantly limits the human's understanding of climate systems and its potential for global climate change which is caused by the absorption, scattering and of course in the sunlight passes through the atmosphere features to the Earth's surface.

2. Methodology

The mean extinction coefficient and its relative uncertainty, shows the importance of the quality flags that are built into the profile products during the interpreting the CALIPSO data. Vertical profiles of mean extinction coefficient and relative uncertainty were generated from the CALIPSO level two profile products. In order to estimate the amount of aerosols, particles extinction and its uncertainty using the quality flags of relevant CALIOP Level 2 data product, for the purpose of reveal the quality of the results has been used in the process of discrimination (Liu, Omar et al. 2005, Liu, Vaughan et al. 2009). Fig. 1 shows the mean extinction coefficient (Fig. 1a and c) and extinction coefficient relative uncertainty (Fig. 1b and d) profiles for the unscreened and screened cases over Iran on August 8, 2009 and July 28, 2013.

* Corresponding Author

E-mail addresses: sina.zahedi.asl@alumni.um.ac.ir (Sina Zahedi-Asl), farid-h@ferdowsi.um.ac.ir (Alireza Faridhosseini), ysc@ewha.ac.kr (Yong-Sang Choi), r.shad@um.ac.ir (Rouzbeh Shad), seyedin.um.ac.ir (Alireza Seyedin)

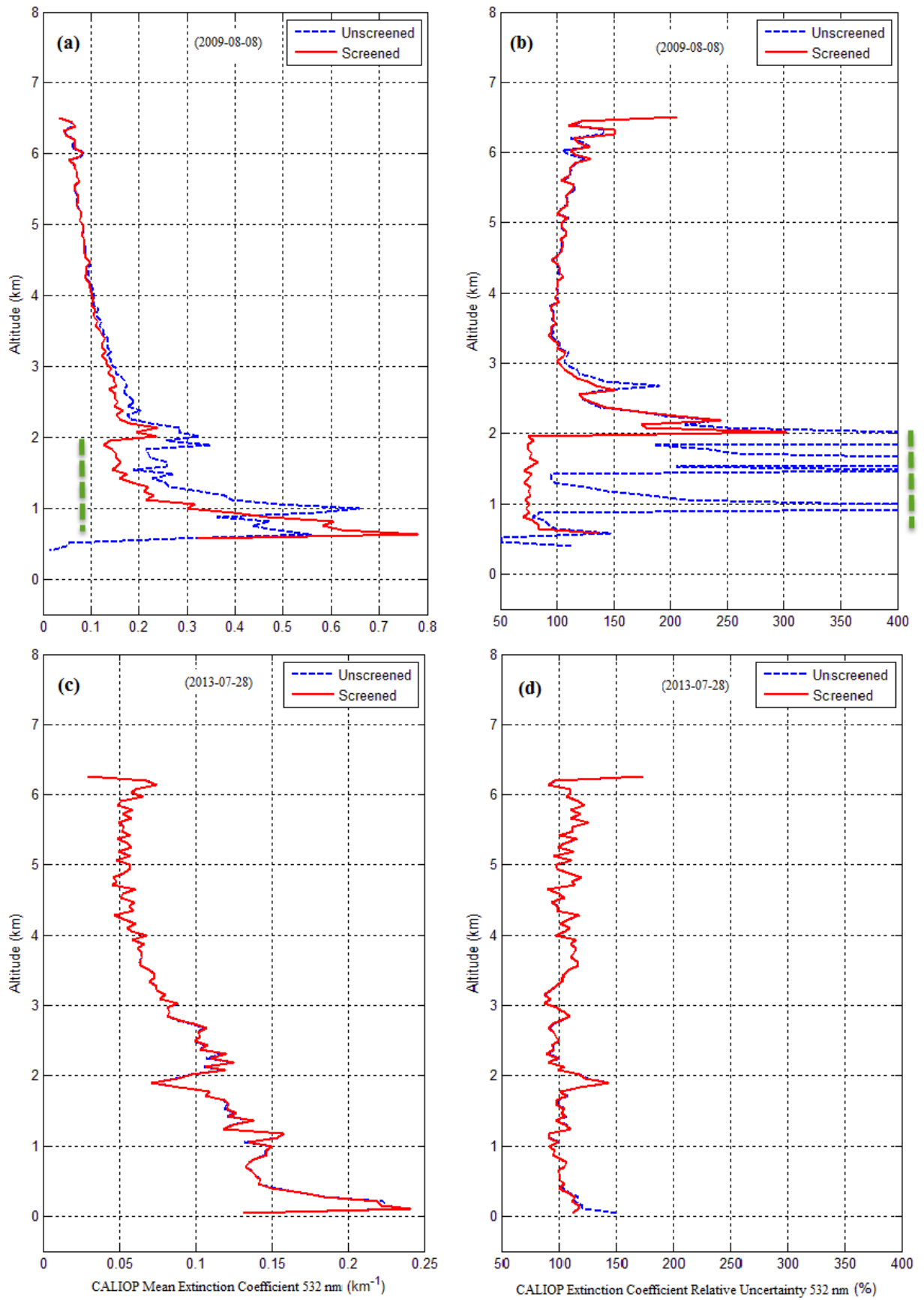


Fig. 1. (a and c) The mean extinction coefficient as a function of altitude and (bandd) the relative extinction coefficient uncertainty in percent for the unscreened and screened cases over Iran on August 8, 2009 and July 28, 2013.

3. Results and discussion

Classification and discrimination of particles programming code in IDL and MATLAB on the CALIOP 5.0 km VFM carried out with respect to the data resolution which are mentioned in Trebbin (2013) and Vaughan et al (2005) investigations. The aerosol discrimination algorithm distinguishes cloud scenes from aerosol scenes by interpreting of the individual bits and the group of bits, which is provided in PC-SCI-503 CALIPSO data products catalog. Meanwhile, the cloud-phase sub-algorithm used the interpretation of the feature-type bits as well as the cloud top and bottom temperatures. The results of the feature classification on August 8, 2009 and July 28, 2013 over the eastern part of Iran is provided in Table 1.

Table 1. The results of the features classification on August 8, 2009 and July 28, 2013 over the eastern part of Iran.

Total No	08-08-2009	07-28-2013
Clear Air	29.75%	31.15%
Cloud	4.80%	4.20%
Aerosol	46.15%	48.00%
Surface	4.21%	5.44%
Subsurface	13.61%	11.17%
No Signal	1.47%	0.04%

4. Conclusions

This paper presents a preliminary assessment of the CALIOP data to discriminate the clouds, aerosols and particulates for two critical days of 2009 and 2013. The results of the initial assessment through vertical profiles of the mean extinction coefficients and its uncertainties, features discriminations (clouds and aerosols) and classification using CALIOP 5 km VFM data products related to eastern regions of Iran for August 8, 2009 and July 28, 2013 were discussed. In general, cloud and aerosol discrimination algorithm performance was appropriate and the results indicate high rates of the success. Various scenarios in conjunction with the misclassification of the cloud and aerosol discrimination algorithm were investigated.

As a result, it was found that the most common type of aerosol layers included the dust and smoke were misclassified, which are misclassified with less frequency. The mean attenuated backscatter and mean attenuated total color ratio of this layer type are both relatively large, which is similar to what would be expected for cloud at the same altitude. This feature can be occasionally misclassified as a cloud. However, smoke layers are misclassified as cloud less frequently than dust layers are. Although the total amounts of these features are included very small percentage of the total data layers. Overall, the results show that the rate of aerosol subtype for the August 8, 2009, more than July 28, 2013, which confirm the results of the extinction coefficient and its uncertainties profiles and comparison of the relative humidity, temperature, and their inversion.

5. References

- Liu, Z., A. Omar, Y. Hu, M. Vaughan, D. Winker, L. Poole and T. Kovacs (2005). CALIOP algorithm theoretical basis document, part 3: Scene classification algorithms. NASA-CNES document PC-SCI-203.
- Liu, Z., M. Vaughan, D. Winker, C. Kittaka, B. Getzewich, R. Kuehn, A. Omar, K. Powell, C. Trepte and C. Hostetler (2009). "The CALIPSO lidar cloud and aerosol discrimination: Version 2 algorithm and initial assessment of performance." *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 26(7): 1198-1213.
- Trebbin, N. (2013). Cloud Statistics from Calipso Lidar Data for the Performance Assessment of a Methane Space Lidar, Technische Universität München.
- Vaughan, M., D. M. Winker and K. Powell (2005). "CALIOP algorithm theoretical basis document, part 2: Feature detection and layer properties algorithms." Rep. PC-SCI 202: 87.