دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی عمران

پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد

گرایش مهندسی محیط زیست

عنوان

توسعه مدل استخراج عمق اپتیکی ذرات معلق با قدرت تفکیک مکانی بالا

نگارش

پریسا حیدری

استاد راهنما

دکتر مسعود تجریشی

دی ماه ۱۳۹۴

چکیده

با توجه به مشکلاتی که انتشار غبارهای ناشی از سطح پلایاها ایجاد می‌کنند و از آنجا که دریاچه ارومیه با پدیده خشک شدن مواجه شده بررسی وجود غبار در این منطقه و پیدا کردن منابع غبار اهمیت زیادی پیدا کرده است. از سه دهه گذشته الگوریتم های بازیابی ریز گردهای جو توسعه داده شده‌اند. هدف تحقیق حاضر اندازه‌گیری شدت و غلظت ذرات موجود در جو، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و با قدرت تفکیک مکانی بالا جهت شناسایی کانون‌های تولید کننده گرد و غبار است. الگوریتم بازیابی ذرات معلق با قدرت تفکیک ۵۰۰ متری با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS توسعه داده شده که در این مطالعه به یکی از آن الگوریتم‌ها پرداخته شده است. این تصاویر تولید شده علاوه بر اینکه همبستگی بسیار خوبی با داده‌های زمینی دارد، با داده‌های عمق اپتیکی با قدرت تفکیک ۱۰ کیلومتری سنجنده MODIS هم در مناطق شهری و هم در مناطق روستایی با همبستگی بالایی همخوانی دارد. الگوریتم‌های بازیابی MODIS برای تخمین ذرات معلق و خواص میکرو فیزیکی اتمسفر، برای حل مسائل مرتبط با ذرات معلق در مقیاس جهانی توسعه داده شده‌اند.

روشی که در حال حاضر روی آن تمرکز شده است، بازیابی عمق اپتیکی به‌وسیله الگوریتم‌های بر پایه سنجش‌ازدور برای پیدا کردن منابع غبار با قدرت تفکیک بالا است. روش به کار گرفته شده تخمین بازتاب ذرات معلق به‌وسیله تجزیه انعکاس بازتابش اتمسفری از انعکاس‌های سطحی و اتمسفری (ریلی) است. در الگوریتم حاضر هدف به دست آوردن تابش ناشی از ذرات معلق موجود در جو است؛ لذا اگر همه پارامترهای مرتبط با مجموعه تابش اتمسفر محاسبه گردد مقدار ناشی از ذرات معلق به دست می آید. این روش تجزیه تابش جو با استفاده از روش بازتاب حداقلی سطح زمین است که برای توسعه روش‌های بازیابی عمق اپتیکی از آن استفاده می‌شود. پس از انجام مراحل موجود در الگوریتم مورد استفاده، شاخص عمق اپتیکی با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر بدست خواهد آمد که از آن‌ها برای صحت سنجی سایرمحصولات آماده عمق اپتیکی که قدرت تفکیک مکانی آن‌ها ۱۰ کیلومتری است استفاده می‌گردد. پس از به دست آوردن تصاویر عمق اپتیکی با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متری می‌توان منابع تولید غبار و پراکنش آن‌ها را با دقت بسیار بالا مورد بررسی قرار داد.

پس از توسعه الگوریتم مورد اشاره، این الگوریتم برای ۳۲ روز منتخب غبار آلود از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ میلادی پیاده‌سازی گردید. نتایج بدست آمده گواه دقت قابل قبول این الگوریتم است. مقادیر AOD به دست آمده در این ۳۲ روز توسط الگوریتم مورد نظر در مقایسه با مقادیر AOD ایستگاه AERONET زنجان در همان روزها دارای همبستگی ۰/۷۳ می‌باشد که با آزمون t معنی دار بودن این ضریب همبستگی بررسی شد و می‌توان گفت با احتمال ۹۹٪ معنی دار است. همچنین در مقایسه با روشی که از محصولات عمق اپتیکی MODIS استفاده شده، می‌توان گفت که هر دو روش موقعیت مکان‌های حاد را یکسان تشخیص داده‌اند؛ اما به لحاظ پراکنش و جزئیات منطقه مورد مطالعه به خصوص پیرامون دریاچه ارومیه، الگوریتم مفروض بهتر عمل کرده وبه صورت موضعی به بررسی پیکسل‌های با مقدار AOD بالا پرداخته است.

کلیدواژه‌ها: *MODIS، AERONET، عمق اپتیکی، بازیابی ذرات معلق، کانونیابی غبار، دریاچه ارومیه*

فهرست مطالب

فصل ۱-کلیات ۱

۱-۱-مقدمه ۱

۱-۱-۱- ذرات معلق در اتمسفر ۱

۱-۱-۲- منشأ تولید ذرات معلق و عوامل مؤثر بر تشدید آن‌ها ۲

۱-۱-۳- عمق اپتیکی و روش‌های اندازه‌گیری آن ۳

۱-۱-۴- شاخص ذرات معلق ۴

۱-۲-ردیابی و مطالعه غبارها ۴

۱-۳- نحوه شناسایی و تشخیص ذرات معلق و کانون‌های آن ۷

۱-۴- ماهواره‌های مورد استفاده در زمینه شناسایی کانون‌ها و محاسبه AOD ۷

۱-۵-طرح مسئله و لزوم بررسی آن ۱۰

۱-۵-۱-کانون یابی و پایش ریز گردهای استان‌های آذربایجان شرقی و غربی با استفاده از شاخص AOD سنجنده MODIS و به کمک فراوانی وقوع ۱۳

۱-۵-۲- کانون یابی ذرات معلق در حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از AOD بازیابی شده به روش MRT و قدرت تفکیک مکانی بالا و به کمک فراوانی وقوع ۱۴

۱-۶-نحوه رویکرد در تحقیق ۱۶

۱-۷-محورهای مطالب فصلهای آینده ۱۷

فصل ۲-زمینه علمی تحقیق و مروری بر ادبیات فنی ۱۹

۲-۱-سابقه تحقیق ۲۰

۲-۱-۱-کانون‌یابی و پایش ذرات معلق با استفاده از شاخص AOD (محصولات موجود) ۲۰

۲-۱-۲-کارهای انجام شده در ایران در زمینه پهنه‌بندی طوفان‌های غبار ۲۷

۲-۱-۳-کارهای انجام شده در دنیا در زمینه کانون یابی ذرات معلق با استفاده از AOD بازیابی شده با قدرت تفکیک مکانی بالا ۳۱

۲-۱-۴- اقدامات صورت گرفته در زمینه غباریابی در حوضه ارومیه ۳۶

۲-۱-۴-۱- بررسی پارامتر میانگین عمق اپتیکی ۳۶
۲-۱-۴-۲- بررسی پارامتر فراوانی وقوع ۴۸
فصل ۳- روش‌شناسی و معرفی منطقه مطالعاتی ٦١
۳-۱-معرفی منطقه مطالعاتی ۶۲
۳-۲-کانون یابی ذرات معلق با استفاده از AOD بازیابی شده با قدرت تفکیک مکانی بالا ۷۱
۳-۲-۱- فرضیات الگوریتم مورد استفاده ۷۲
۳-۲-۲- داده‌های مورد استفاده ۷۲
۳-۲-۳- تشریح کلی روش MRT ۷۶
۳-۲-۳-۱- بازتابش موجود در جو ۷۷
۳-۲-۳-۲- بازتاب‌های ناشی از پخش ریلی ۸۰
۳-۲-۳-۳- بازتاب سطحی ۸۲
۳-۲-۳-۴- محاسبه بازتابندگی ناشی از ذرات معلق و عمق اپتیکی آن‌ها ۸۳
۳-۲-۴- اجرای الگوریتم برای بازیابی AOD با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر ۸۳
۳-۲-۴-۱- مفاهیم موردنیاز ۸۳
۳-۲-۴-۲- تعیین روزهای موردبررسی ۸۵
۳-۲-۴-۳- پردازش تصاویر و داده ها ۸۶
۳-۲-۴-۴- ارزیابی و صحت سنجی ۹۱
۳-۲-۴-۵- روش محاسبه تغییرات میانگین و فراوانی وقوع عمق اپتیکی ذرات معلق در جو ۹۳
۳-۲-۴-۶- شاخص شدت-فراوانی غبار ۹۵
۳-۳-جمع بندی فصل ۹۵
فصل ٤-ارائه نتایج و تحلیل ٩٦
۴-۱-مقدمه ۹۷
۴-۲-استفاده از AOD با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر برای تحلیل فراوانی وقوع و شدت ۹۷
۴-۲-۱- بررسی پارامتر میانگین عمق اپتیکی ۹۷

۴-۲-۲- بررسی پارامتر فراوانی وقوع ۱۰۳
۴-۲-۳- بررسی اثر همزمان شدت و فراوانی وقوع ۱۰۸
۴-۳-جمع بندی ۱۱۴
۴-۴- مقایسه خروجی کانونیابی با استفاده از محصول ۱۰ کیلومتری MODIS و AOD تولید شده
با قدرت تفکیک ۵۰۰ متر ۱۲۰
۴-۴-۱- پارامتر میانگین عمق اپتیکی ۱۲۰
۴-۴-۲- پارامتر فراوانی وقوع ۱۲۱
فصل ۵- جمع‌بندی و پیشنهادات ۱۲۳
۵-۱-جمع بندی ۱۲۴
۵-۲-پیشنهادات برای کارهای پیش‌رو ۱۲۵
فصل ٦- مراجع ۱۲۷
فصل ۷- پیوست ۱۳۸

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱- توزیع منابع غبار، خروجی سنجنده TOMS (از حد آستانه ۱ برای کمربند غبار و ۰/۷ برای جاهای دیگر استفاده شده است)(۷) ۲
شکل ۱-۲- خطوط هم‌تراز نشان‌دهنده مراکز تولید غبار(۷) ۳
شکل ۱-۳- شبکه بین‌المللی AERONET ۶
شکل ۱-۴- فلوچارت مراحل اجرای الگوریتم ساده شده بازیابی عمق اپتیکی ۱۷
شکل ۲-۱-ترکیب رنگی کاذب تولیدشده به‌وسیله سنجنده MODIS برای تشخیص غبار که به‌صورت لکه‌های زرد مشخص است(۵۲). ۲۲
شکل ۲-۲-توزیع فراوانی وقوع میانگین شاخص DOD (از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۹) به‌صورت روزانه در فصل تابستان برای حد آستانه بالاتر از ۰/۲ (۵۵) ۲۴
شکل ۲-۳- نسبت طیفی باند ۵ به باند ۴ در سنجنده TM برای بارزسازی مناطق تپه‌های ماسه‌ای (۶۱)..... ۲۵
شکل ۲-۴- نقشه توزیع جغرافیایی نوع روند (افزایشی، بدون روند و کاهشی) روزهای گردوغبار در غرب کشور (۶۴) ۲۶
شکل ۲-۵- پهنه‌بندی مجموع تعداد روزهای گردوغباری در طول دوره انتخابی (۶۶) ۲۷
شکل ۲-۶- توده گردوغبار در تاریخ ۱ خرداد ۱۳۹۱ به روش آکرمن (۶۸) ۲۸
شکل ۲-۷- نقشه مناطق مستعد برداشت غبار به ترتیب اولویت (۷۰) ۲۹
شکل ۲-۸- مناطق گردوغبار استخراج شده با شاخص NDDI- ابر و آب آبی‌رنگ، سطوح خشکی سبزرنگ، غبار با غلظت کن صورتی و طوفان‌های گردوغبار با غلظت بالا قرمزرنگ هستند(۷۱). ۳۰
شکل ۲-۹- مقایسه داده‌های زمینی با سنجنده TERRA مابین ۲۰ اکتبر تا ۷ نوامبر ۲۰۰۴ (۷۲) ۳۰
شکل ۲-۱۰- مقایسه داده‌های زمینی با سنجنده TERRA مابین ۶ تا ۲۲ آوریل ۲۰۰۴ (۷۲) ۳۱
شکل ۲-۱۱- مقایسه داده‌های زمینی با سنجنده AQUA مابین ۶ تا ۲۲ آوریل ۲۰۰۴ (۷۲) ۳۱
شکل ۲-۱۲- نقشه ماهانه عمق اپتیکی، سال ۲۰۱۰ میلادی(۹۱) ۳۸
شکل ۲-۱۳- نقشه ماهانه عمق اپتیکی، سال ۲۰۱۱ میلادی(۹۱) ۳۹
شکل ۲-۱۴- نقشه ماهانه عمق اپتیکی، سال ۲۰۱۲میلادی(۹۱) ۴۰
شکل ۲-۱۵- نقشه ماهانه عمق اپتیکی، سال ۲۰۱۳میلادی(۹۱) ۴۱
شکل ۲-۱۶-نقشه فصلی میانگین عمق اپتیکی، سال ۲۰۱۰ میلادی(۹۱) ۴۲
شکل ۲-۱۷- نقشه فصلی میانگین عمق اپتیکی، سال ۲۰۱۱ میلادی(۹۱) ۴۳

شکل ۲-۱۸- نقشه فصلی میانگین عمق اپتیکی، سال۲۰۱۲ میلادی(۹۱) ۴۴
شکل ۲-۱۹- نقشه فصلی میانگین عمق اپتیکی، سال۲۰۱۳ میلادی(۹۱) ۴۵
شکل ۲-۲۰- نقشه میانگین عمق اپتیکی به‌صورت سالیانه در چهار سال مورد بررسی (سال ۲۰۱۱ بسیار بحرانی‌تر از سالهای دیگر میباشد) (۹۱) ۴۶
شکل ۲-۲۱- نواحی دارای میانگین عمق اپتیکی بالا (پلی گون زردرنگ) در شرق دریاچه که غرب جزیره اسلامی را نیز شامل شده و تا دامنههای کوههای سهند نیز امتداد پیدا کرده و همچنین نواحی محدودی در قسمت غرب دریاچه، شهرستان ارومیه(۹۱) ۴۷
شکل ۲-۲۲- نقشه ماهانه فراوانی وقوع، سال۲۰۱۰میلادی(۹۱) ۵۰
شکل ۲-۲۳- نقشه ماهانه فراوانی وقوع، سال۲۰۱۱میلادی(۹۱) ۵۱
شکل ۲-۲۴- نقشه ماهانه فراوانی وقوع، سال۲۰۱۲میلادی(۹۱) ۵۲
شکل ۲-۲۵- نقشه ماهانه فراوانی وقوع، سال۲۰۱۳میلادی(۹۱) ۵۳
شکل ۲-۲۶- نقشه فصلی فراوانی عمق اپتیکی، سال ۲۰۱۰ میلادی(۹۱) ۵۴
شکل ۲-۲۷- نقشه فصلی فراوانی عمق اپتیکی، سال۲۰۱۱ میلادی(۹۱) ۵۵
شکل ۲-۲۸-نقشه فصلی فراوانی عمق اپتیکی، سال۲۰۱۲ میلادی(۹۱) ۵۶
شکل ۲-۲۹- نقشه فصلی فراوانی عمق اپتیکی، سال۲۰۱۳ میلادی(۹۱) ۵۷
شکل ۲-۳۰- نقشه فراوانی عمق اپتیکی، سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ میلادی(۹۱) ۵۸
شکل ۲-۳۱- مناطق مشخص‌شده با دایره بنفش رنگ بیشترین فراوانی وقوع پدیده غبار را دارا میباشند.....۶۰
شکل ۳-۱- جهت میانگین وزش باد غالب در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال که برای دو سال ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ میانگینگیری شده است(۹۴). ۶۳
شکل ۳-۲- مهم‌ترین جزایری که سابقاً در دریاچه ارومیه قرار داشتند: (۱) شبه‌جزیره اسلامی، (۲) جزیره آرزو، (۳) جزیره اسپیر، (۴) جزیره کبودان و (۵) جزیره اشک داغی ۶۳
شکل ۳-۳-تغییرات بارندگی ماهانه در ایستگاههای سینوپتیک نواحی جنوب غربی دریاچه ارومیه(۹۶).....۶۵
شکل ۳-۴- تغییرات بارندگی ماهانه در ایستگاههای سینوپتیک نواحی شمال شرقی دریاچه ارومیه(۹۶).....۶۵
شکل ۳-۵- تغییرات بارندگی ماهانه در ایستگاههای سینوپتیک نواحی شمال غرب، مرکز و جنوب شرق دریاچه ارومیه(۹۶) ۶۵
شکل ۳-۶-روند بارش در حوضه ارومیه طی سالها ۱۹۶۴ تا ۲۰۰۵ میلادی(۴۰) ۶۶

شکل ۳-۷- نوسان میانگین سرعت باد سالانه برای محدوده زمانی بین ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ در ایستگاههای الف- ارومیه ب- سلماس ج- تبریز د- مراغه(۹۵) ۶۹
شکل ۳-۸- نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۳ میلادی تولید شده در مرکز سنجش از دور دانشگاه صنعتی شریف ۷۰
شکل ۳-۹- محدوده موردبررسی و موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه (تصویر MODIS روز ۱۶ تیرماه ۱۳۹۲) ۷۱
شکل ۳-۱۰- شبکه بین‌المللی AERONET - نام و محل قرارگیری ایستگاه زنجان ۷۶
شکل ۳-۱۱- روش مرسوم استفاده از هیستوگرام داده ها برای تشخیص ابر و غبار(۱۰۰) ۷۸
شکل ۳-۱۲- نمونه‌ای از هیستوگرام مورد استفاده ۷۹
شکل ۳-۱۳- نمودار باند ۱ برحسب باند ۷ ..... ۷۹
شکل ۳-۱۴- نمودار نوسانات روزانه AOD بر فراز محدوده بررسی در خلال سال ۲۰۰۹ ..... ۸۵
شکل ۳-۱۵- سری زمانی پارامتر عدم تقارن اندازه‌گیری شده در ایستگاه AERONET زنجان (۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳) ۸۸
شکل ۳-۱۶- سری زمانی پارامتر SSA اندازه‌گیری شده در ایستگاه AERONET زنجان (۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳) ۸۸
شکل ۳-۱۷- نتیجه آزمون شیب رگرسیون برای پارامتر عدم تقارن ۸۹
شکل ۳-۱۸- نتیجه آزمون شیب رگرسیون برای پارامتر SSA ۸۹
شکل ۳-۱۹- نمونه ای از تصویر حداقل بازتاب سطحی ماهانه تولید شده در برابر تصویر بازتابش موجود در جو برای یکی از روزهای ماه مفروض-الف)حداقل بازتاب سطحی برای ماه جولای سال ۲۰۱۰ میلادی و ب) بازتابش موجود در جو برای روز ۲۳ جولای ۲۰۱۰ میلادی (یکم مرداد ماه ۱۳۸۹) ۹۰
شکل ۳-۲۰- نمونه ای از تصویر AOD به دست آمده برای روز ۲۳ جولای ۲۰۱۰ میلادی(یکم مرداد ماه ۱۳۸۹) ۹۱
شکل ۳-۲۱- نمودار پراکنش عمق اپتیکی اندازه‌گیری شده توسط ایستگاه AERONET زنجان در برابر عمق اپتیکی محاسبه‌شده توسط الگوریتم مفروض با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر ۹۳
شکل ۳-۲۲- بررسی هیستوگرام فراوانی پیکسلهای واقع در منطقه مورد بررسی برای انتخاب حد آستانه مناسب ۹۴
شکل ۴-۱- نقشه میانگین عمق اپتیکی ۳۲ روزه منطقه مورد مطالعه (در فاصله سالهای ۲۰۱۰ الی ۲۰۱۳) ۹۹
شکل ۴-۲- موقعیت مکانی مناطق دارای میانگین عمق اپتیکی بالاتر از ۰/۳۵ ..... ۱۰۰

شکل ۴-۳-تصویر Google Earth و موقعیت مناطق با میانگین عمق اپتیکی بالاتر از ۰/۳۵ برای بخشهای شمالی دریاچه ۱۰۰
شکل ۴-۴- تصویر Google Earth و موقعیت مناطق با میانگین عمق اپتیکی بالاتر از ۰/۳۵ برای بخشهای جنوبی دریاچه ۱۰۱
شکل ۴-۵-نقشه فراوانی وقوع عمق اپتیکی بالای ۰/۳ برای ۳۲ روز غبارآلود منتخب از ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ میلادی ۱۰۴
شکل ۴-۶- موقعیت مکانی مناطق با تکرار رخداد بالای ۱۷ بار برای حد آستانه ۰/۳ عمق اپتیکی ۱۰۵
شکل ۴-۷- تصویر Google Earth و موقعیت مناطق با فراوانی وقوع بالای ۱۷ بار برای حد آستانه ۰/۳- بخشهای شمالی دریاچه ۱۰۵
شکل ۴-۸- تصویر Google Earth و موقعیت مناطق با فراوانی وقوع بالای ۱۷ بار برای حد آستانه ۰/۳- بخشهای میانی دریاچه ۱۰۶
شکل ۴-۹- تصویر Google Earth و موقعیت مناطق با فراوانی وقوع بالای ۱۷ بار برای حد آستانه ۰/۳- بخشهای جنوبی دریاچه ۱۰۶
شکل ۴-۱۰-سایت برداشت نمک قسمت جنوب شرقی دریاچه ۱۰۷
شکل ۴-۱۱-هیستوگرام شاخص شدت-فراوانی وقوع ۳۲ روز منتخب ۱۰۹
شکل ۴-۱۲-نقشه شاخص شدت-فراوانی وقوع برای ۳۲ روز مورد بررسی از سالهای ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ میلادی ۱۱۰
شکل ۴-۱۳-مقایسه مناطق دارای میانگین عمق اپتیکی بالای ۰/۳۵ و مناطقی که مقدار شاخص شدت-فراوانی بالای ۰/۸۵ دارند ۱۱۱
شکل ۴-۱۴- تصویر Google Earth و موقعیت مناطق با شاخص شدت-فراوانی وقوع بالای ۰/۸۵- بخشهای شمالی دریاچه ۱۱۱
شکل ۴-۱۵- تصویر Google Earth و موقعیت مناطق با شاخص شدت-فراوانی وقوع بالای ۰/۸۵- بخشهای میانی دریاچه ۱۱۲
شکل ۴-۱۶- تصویر Google Earth و موقعیت مناطق با شاخص شدت-فراوانی وقوع بالای ۰/۸۵- بخشهای جنوبی دریاچه ۱۱۲
شکل ۴-۱۷- کانونهای شناسایی شده در شمالغربی دریاچه ارومیه ۱۱۵
شکل ۴-۱۸- کانونهای شناسایی شده در غرب دریاچه ارومیه ۱۱۵
شکل ۴-۱۹- کانونهای شناسایی شده در شمالشرق و شرق دریاچه ارومیه ۱۱۶

شکل ۴-۲۰- کانونهای شناسایی شده در شرق دریاچه ارومیه ۱۱۷
شکل ۴-۲۱- کانونهای شناسایی شده در ساحل جنوبی دریاچه ارومیه ۱۱۷
شکل ۴-۲۲- کانونهای شناسایی شده جنوبی داخل دریاچه ارومیه ۱۱۸
شکل ۴-۲۳- کانونهای شناسایی شده روی کاربری اراضی سال ۲۰۱۳ تولید شده توسط مرکز سنجش از دور دانشگاه صنعتی شریف ۱۱۹
شکل ۴-۲۴- مقادیر میانگین AOD سالانه برای سال ۲۰۱۳- a) مقادیر به دست آمده برای ۱۳ روز غبار آلود از سال ۲۰۱۳ و b) مقادیر به دست آمده از پردازش محصول ۱۰ کیلومتری MODIS ۱۲۱
شکل ۴-۲۵- مقادیر فراوانی نسبی- a)مقادیر به دست آمده برای ۱۳ روز غبار آلود از سال ۲۰۱۳ و b) مقادیر به دست آمده از پردازش محصول ۱۰ کیلومتری MODIS ۱۲۲
شکل ۷-۱- نمایی از شیدسنج خورشیدی مدل CE318-12 مستقر در دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان ۱۴۰
شکل ۷-۲- قسمتهای مختلف شیدسنج خورشیدی دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان ۱۴۰

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱- مشخصات سنجنده های مهم در زمینه شناسایی کانون‌ها و محاسبه AOD ۹
جدول ۲-۱- نواحی بحرانی ازنظر میانگین عمق اپتیکی غبار و همچنین ماههای بحرانی در محدوده موردمطالعه(۹۱) ۴۸
جدول ۳-۱- مشخصات باندهای تصاویر MOD02HKm ۷۳
جدول ۳-۲- اطلاعات موجود در تصاویر MOD03 .....۷۴
جدول ۳-۳- روزهای منتخب از هر ماه در سال ۸۷
جدول ۴-۱- مساحت هریک از مناطق مشخص شده در شکل ۴-۲(دارای عمق اپتیکی بالای ۰/۳۵) ۱۰۲
جدول ۴-۲- مساحت هریک از مناطق مشخص شده در شکل ۴-۶ (مناطق با تکرار رخداد بالای ۱۷ بار).. ۱۰۸
جدول ۴-۳- مساحت هریک از مناطق مشخص شده در شکل ۴-۱۳ ..... ۱۱۳

فصل ۱- کلیات

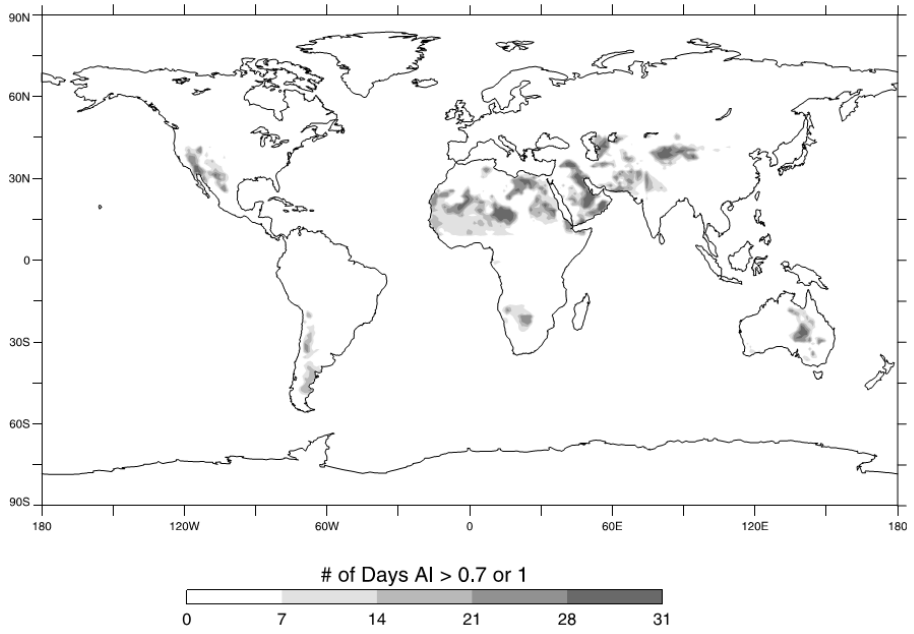
۱-۱- مقدمه

۱-۱-۱- ذرات معلق در اتمسفر

ذرات معلق عموماً به ذرات مایع یا جامد معلق در هوا گفته می‌شود که اغلب منبع تولید آن‌ها سطح زمین است و به‌صورت کاملاً مخلوط در لایه مرزی هوا قرار دارند. ذرات معلق به همان اندازه که در بازتابش امواج ساطع شده و بازتابیده شده از سطح زمین نقش دارند در پخش و یا جذب تابش‌های خورشیدی نیز مؤثر هستند(۱). ذرات معلق نزدیک سطح زمین یکی از آلاینده‌های مهم هوا هستند که سلامت انسان‌ها را در معرض خطر قرار می‌دهند. در مقیاس کلی حجم ذرات معلق طبیعی شامل نمک‌های دریایی و گرد وغبارهای آتشفشانی، حدود ۴ تا ۵ برابر حجم ذرات معلق در هوایی است که از فعالیت‌های انسانی منشأ می‌گیرد. البته واضح است که این نسبت در مناطق مختلف متفاوت خواهد بود. ذرات معلق اتمسفر روی آب، هوا و اقلیم تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم زیادی دارند. اگرچه که تا امروز هم مقادیر زیادی از این تأثیرات ناشناخته مانده است (۲). اثرات ذرات معلق بر شرایط اقلیمی و غیر اقلیمی هر منطقه‌ای را می‌توان به دو دسته مستقیم و غیرمستقیم طبقه‌بندی کرد(۳). از تأثیرات مستقیم ذرات معلق می‌توان از پخش و جذب تابش‌های خورشیدی، و از تأثیرات غیرمستقیم آن نیز می‌توان به تغییر خواص میکرو فیزیکی ابرها اشاره کرد. منظور از تغییر خواص ابر تغییر اندازه و چگالی قطرات ابر و به دنبال آن تغییر آلبدو ابر، طول عمر ابر و مقدار بارش ابر است (۲, ۴). همچنین برخی از ذرات معلق جاذب با اثرگذاری روی ابرها باعث کاهش میزان تابش طول موج کوتاه رسیده به زمین می‌شوند (۲, ۵).

ذرات معلق معدنی توسط باد از سطوح ماسه‌ای، رسی و سیلتی مناطق بیابانی بلندشده و در فواصل طولانی پخش می‌شوند. قسمت اعظم مناطق تولیدکننده گردوغبار طبیعی در اثر فرسایش بادی در کمربند بیابانی جهان با بارش سالانه کمتر از ۲۵۰-۲۰۰ میلی‌متر در سال که از شمال غربی آفریقا شروع شده و تا نواحی مرکزی و جنوبی آسیا امتداد می‌یابد، قرار دارد. منطقه خاورمیانه که مساحت زیادی از آن در این کمربند قرار دارد، جزء منابع اصلی ایجاد طوفان‌های گردوغبار است. شکل ۱-۱ کمربند بیابانی یاد شده را نشان می‌دهد.

به‌طور کلی، به دلیل عدم دانش کافی در خصوص فرآیند شکل‌گیری و توزیع غبار به لحاظ ترکیبات معدنی، قطر آن‌ها، فرآیند انتقال و جابجایی در جو، چگونگی خروج تدریجی آن‌ها از سامانه‌های جوی و از همه مهم‌تر ناشناخته بودن محل دقیق کانون‌های تولید غبار، میزان و حجم فعالیت غبارزایی این مناطق، ارزیابی دقیق اثرات غبارهای معدنی ناشی از فرسایش بادی بسیار دشوار است(۶).

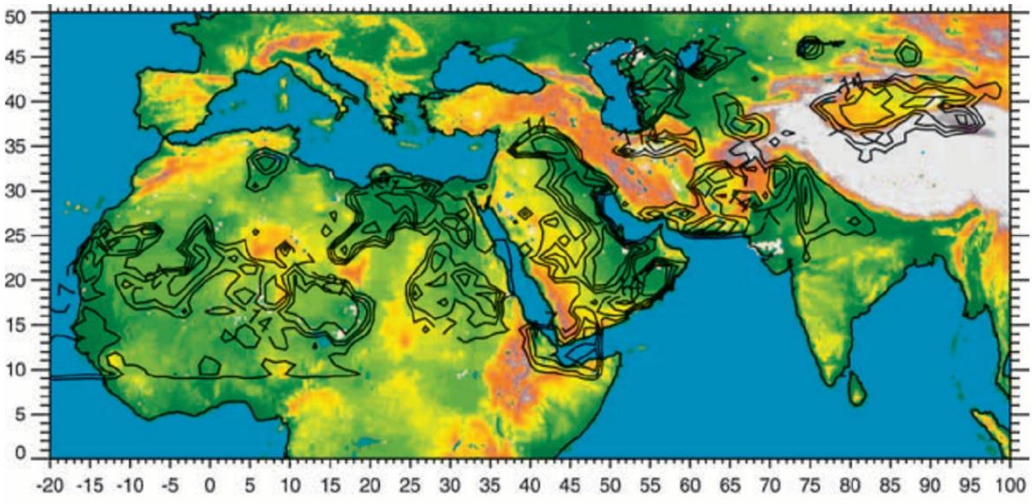


شکل ۱-۱- توزیع منابع غبار، خروجی سنجنده TOMS(از حد آستانه ۱ برای کمربند غبار و ۰/۷ برای جاهای دیگر استفاده شده است)(۷)

۱-۱-۲- منشأ تولید ذرات معلق و عوامل مؤثر بر تشدید آن‌ها

از عوامل تولید و تشدید غبار، فرایندهای تغییر اقلیم و پدیده بیابان‌زایی است. باد و آب به‌عنوان دو عامل اقلیمی مهم که دارای تغییرات و نوسانات نسبتاً زیادی هستند در شکل‌گیری مناطق خشک و بیابانی تأثیر بسزایی دارند. بیشترین و بزرگ‌ترین منابع همیشگی تولید غبار در نیمکره شمالی قرار دارند که از سواحل شمال غربی آفریقا با عبور از خاورمیانه، آسیای مرکزی و جنوبی به چین می‌رسند. منابع غبار عمدتاً مناطقی با بارش کمتر از ۲۰۰-۲۵۰ میلی‌متر بوده و از نظر توپوگرافی در مناطق پست واقع شده‌اند. بسیاری از مناطق تولید گردوغبار نزدیک محل سکونت انسان‌ها است که تحت تأثیر فعالیت‌های بشر قرار می‌گیرند. به‌عنوان مثال حوضه دریای خزر، دریاچه آرال، رودهای دجله و فرات، جنوب غربی آمریکای شمالی و سرزمین‌های شمالی چین مناطقی هستند که

فعالیت‌های انسانی روی آن‌ها اثرگذار است؛ اما باوجود همه این‌ها بزرگ‌ترین مناطق تولید غبار در جهان مناطقی هستند که فعالیت‌های انسانی در آن‌ها کم و یا اصلاً به چشم نمی‌خورد. شکل ۱-۲ خطوط هم‌تراز مراکز تولید غبار را در مناطق مختلف کره زمین نشان می‌دهد(۷).



شکل ۱-۲- خطوط هم‌تراز نشان‌دهنده مراکز تولید غبار(۷)

از مهم‌ترین عوامل مؤثر در تولید غبار می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (۸):

۱- تندبادها که سرعت آن‌ها از سرعت آستانه فرسایش بادی بیشتر است.

۲- کمبود پوشش‌های گیاهی که موجب تشدید و تسریع فرسایش بادی می‌شوند.

۳- عدم وجود چسبندگی بین ذرات خاک (همانند کاهش مواد آلی خاک)

۴- افزایش ضریب درگ با سرعت باد.

۱-۱-۳- عمق اپتیکی[1] و روش‌های اندازه‌گیری آن

ذرات معلق با جذب و پخش تابش خورشید باعث تغییر وضعیت تابشی موجود بین سطح زمین و جو می‌شوند. با توجه به اینکه ماهواره‌ها تابش‌های الکترومغناطیسی بازتابیده یا ساطع شده از سطح زمین را ثبت می‌کنند، تابش عبوری از جو قبل از رسیدن به سنجنده موردنظر با برخورد به ذرات معلق موجود در هوا دچار اعوجاج می‌شود. اعوجاج ایجاد شده را می‌توان با مدل انتقال تابشی تخمین زد و با تبدیل آن به بار ایجاد شده توسط آلاینده مقدار عمق اپتیکی را به دست آورد. این پارامتر برای اولین بار توسط سنجنده MODIS به دست آمد. عمق اپتیکی درواقع معیاری برای تعیین شفافیت اتمسفری

[1] Aerosol Optical Depth (AOD)

است و نشان‌دهنده میزان جلوگیری از ورود تابش خورشید به جو به واسطه جذب و پراکنش ناشی از ذرات معلق موجود در هوا می‌باشد. AOD به‌صورت انتگرال ضریب تضعیف نوری (Extinction Coefficient) آلاینده‌ها تعریف می‌شود(رابطه(۱-۱).

$$AOD = \int_0^{\infty} (\sigma_{ext}) dz \qquad (۱-۱)$$

ضریب تضعیف به میزان جذب نور در یک محیط می‌گویند. این ضریب شاخصی است برای توصیف میزان جذب یک طول موج مشخص توسط یک ماده مشخص.

عمق اپتیکی در واقع بیانگر شدت و میزان تراکم ذرات معلق در جو (ذراتی مانند غبارهای شهری، دود، گردوغبار برخاسته از صحرا و یا نمک دریا) در ستونی از هوا است که در حد فاصل بین سطح زمین تا بالای اتمسفر قرارگرفته است. عمق اپتیکی ذرات معلق (گردوغبار) را می‌توان هم با استفاده از نسبت تابش بازتاب شده از اتمسفر به کل تابش رسیده به اتمسفر با استفاده از سنجنده‌های نصب‌شده بر روی ماهواره‌های مستقر در خارج از اتمسفر اندازه‌گیری کرد و هم آن را به‌صورت نسبتی از تابش رسیده به سطح زمین به‌کل تابش رسیده به اتمسفر بیان که به وسیله ایستگاه‌های زمینی اندازه‌گیری می‌گردد.

۱-۱-٤- شاخص ذرات معلق

شاخص ذرات معلق[۲] پارامتر دیگری است که از سنجنده OMI به دست می‌آید. این شاخص در اندازه‌گیری ذرات معلق بر فراز اقیانوس‌ها، سطوح برف و یخ و همچنین مناطق دارای ابر نتایج قابل اعتمادی بدست داده است. شاخص ذرات معلق(AI)، تابعی از مقدار جذب امواج توسط ذرات معلق موجود در هوا، شاخص پراکندگی و انکسار در محدوده فرابنفش و ارتفاع ذرات معلق از سطح زمین است. به‌طور کلی مقادیر مثبت این پارامتر ذرات معلق جاذب مثل غبار و دود و مقادیر کوچک یا منفی نشان دهنده ابرها و ذرات غیر جاذب است.

۱-۲- ردیابی و مطالعه غبارها

روش‌های اندازه‌گیری ذرات معلق در حال حاضر شامل مشاهدات زمینی، مدل سازی‌های عددی و سنجش‌ازدور است. سنجش‌ازدور قادر به اندازه‌گیری بازتاب ذرات معلق در مقیاس بزرگ از نظر

[2] Aerosol Index(AI)

توزیع مکانی- زمانی و تنوع ذرات است؛ بنابراین بسیاری از کاستی‌های مشاهدات زمینی را جبران می‌کند(۹). اساساً پایش ریز گردهای جوی به دو دلیل مسئله پیچیده‌ای است. زیرا توزیع و پراکنش ذرات معلق در مقایسه با گازهای موجود در اتمسفر بسیار ناهمگن و متغیر است(۱۰, ۱۱). ماهواره‌های سنجش‌ازدور به علت داشتن پوشش جهانی همواره در مطالعه هم‌زمان پدیده‌های مختلف اقلیمی، اتمسفری و فرایندهای هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. مزایای استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در بررسی ذرات معلق به شرح زیر است:

- پوشش وسیع تصاویر ماهواره‌ای
- امکان تهیه تصاویر تکراری با دوره بازگشت‌های متفاوت
- امکان پایش و مطالعه ذرات معلق در سال‌های گذشته و بررسی روند تغییرات آن‌ها
- قابلیت تصویربرداری چند طیفی و فرا طیفی از سطح زمین
- امکان پردازش کامپیوتری و تجزیه و تحلیل نیمه‌خودکار تصاویر ماهواره‌ای
- هزینه (ریالی و زمانی) کمتر تصاویر ماهواره‌ای

با توجه به مطالب یاد شده، دلیل اصلی برای استفاده از داده‌های ماهواره‌ای پوشش وسیع تصاویر ماهواره‌ای نسبت به داده‌های ایستگاه‌های زمینی برای سنجش AOD است، اما باید این نکته را هم مدنظر قرار داد که داده‌های بازیابی شده AOD سنجنده ها عدم قطعیت‌هایی را نیز به همراه دارد(۱۲).

- **مشاهدات زمینی**

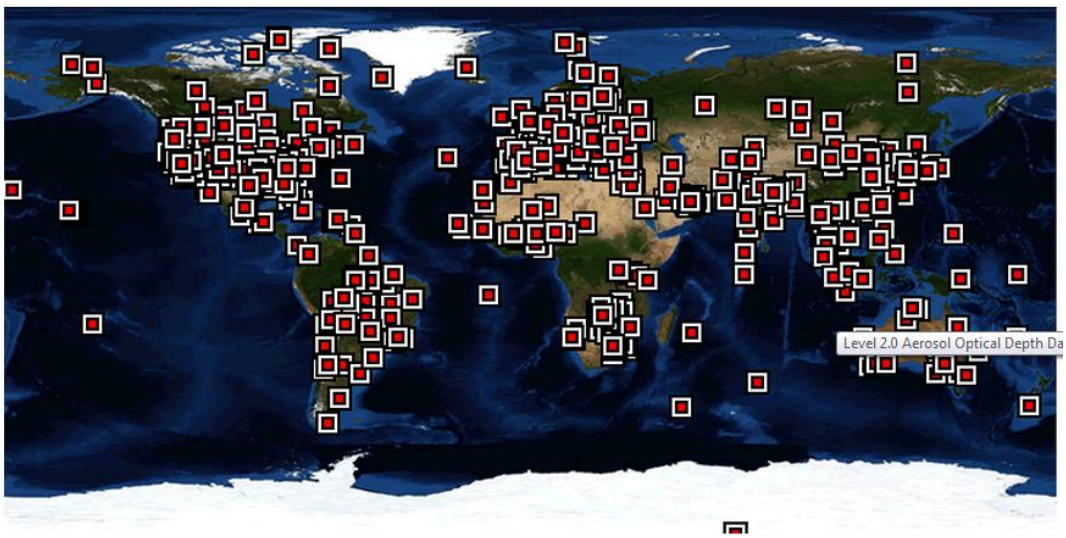
از مهم‌ترین و پرکاربردترین ادوات پایش زمینی ذرات معلق می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱) شبکه AERONET(۱۳): یکی از موفق‌ترین شبکه‌های بین‌المللی سنجش زمینی ذرات معلق ایستگاه‌های شبکه AERONET هستند که دارای ۳۸۵ عدد تجهیزات پایش گردوغبار می‌باشد که به‌صورت پراکنده وکاملا تصادفی توسط سازمان ملی هوافضای آمریکا، NASA در جهان نصب شده‌اند. این سیستم به‌صورت خودکار هر ۱۵ دقیقه یک‌بار اندازه‌گیری انجام داده و در هرساعت از شبانه‌روز به‌عکس برداری از آسمان می‌پردازد. اطلاعات حاصل از اندازه‌گیری‌های این شبکه عبارتند از:

- Aerosol Optical Thickness
- Angstrom Exponent
- Particle Size Distribution
- Single Scattering Albedo (SSA)

- Asymmetry Factor
- Phase Function
- Complex Refractive Index
- Spectral flus
- Coincident Aerosol Optical Depth
- Volume Mean Radius, Effective Radius, Volume Concentration, Standard Deviation
- Absorption Aerosol Optical Depth
- Extinction Aerosol Optical Depth

این اطلاعات در سه سطح ۱/۵ (حذف ابرها) و ۲ (با حذف ابر و تضمین کیفیت) و همچنین به‌صورت میانگین روزانه و میانگین ماهانه ارائه شده‌اند. این شبکه مقدار AOD آسمان بدون ابر را در ۷ باند (۰/۳۴-۱/۰۲) در هر ۱۵ دقیقه با خطای تقریبی ۰/۰۱-۰/۰۲ اندازه‌گیری می‌کند(۱۴). متأسفانه از ایستگاه‌های این شبکه تعداد محدودی در کشورهای همسایه ایران از قبیل امارات متحده عربی، عراق، پاکستان و سایر کشورها و همچنین از سال ۲۰۰۹ در زنجان نصب شده است. شکل ۱-۳ نحوه پراکنش این ایستگاه‌ها در جهان را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۳- شبکه بین‌المللی AERONET[3]

۲) Microtops II Sun photometer: یک وسیله اندازه‌گیری قابل حمل است. این وسیله مقدار AOD را با اندازه‌گیری درخشندگی خورشید به‌طور مستقیم در ۵ باند (۰/۳۸-۱/۰۲ میکرومتر) با خطای تقریبی ۰/۰۱۵-۰/۰۲ اندازه‌گیری می‌کند(۱۲, ۱۵).

[3] http://aeronet.gsfc.nasa.gov/

۳) Sky-radiometer: دستگاه قابل حملی است که پرتوهای طیفی را اسکن می‌کند. این وسیله هم AOD را در ۵ باند (۰/۴-۱/۰۲ میکرومتر) با اندازه‌گیری مستقیم و پخش شده درخشندگی خورشید و خطای ۰/۰۱-۰/۰۲۵ اندازه می‌گیرد(۱۲, ۱۶). اختلاف AOD این دستگاه‌ها با شبکه‌های AERONET زمینی از ۰/۰۱ تا ۰/۰۳ متغیر است(۱۲, ۱۷, ۱۸).

۱-۳- نحوه شناسایی و تشخیص ذرات معلق و کانون‌های آن

چندین روش برای منشأیابی گردوغبار و طوفان‌های گردوغباری وجود دارد. یکی از روش‌ها، جمع‌آوری نمونه‌های خاک و آنالیز آن جهت تعیین منبع گردوغبار است که نمونه‌های جمع‌آوری شده از مناطق مختلف جهت مشخص کردن اندازه ذرات، درصد شن، سیلت، رس، محتوای عنصری، محتوای کربنی و پتانسیل انتشار ذرات کوچک‌تر و مساوی ۱۰ تا ۲/۵ میکرون بررسی می‌گردد(۳, ۱۹). استفاده از نمودار خصوصیات عنصری، یونی، فراوانی کربن در نمونه‌های برداشت شده جهت تمایز قابل شدن بین منبع طبیعی و مصنوعی مثل وسایل نقلیه، سوزاندن گیاهان، زغال‌سنگ، اشتعال و انتشارات صنایع از مزایای این روش است(۱۹). یکی دیگر از روش‌های مؤثر در منشأیابی، استفاده از روند (خط سیر) گردوغبار می‌باشد که در مناطق پایین‌دست جهت وزش باد انجام می‌شود(۲۰). در این روش با استفاده از اطلاعات هواشناسی در منطقه و نمونه‌برداری از ذرات، منشأ واقعی آن مشخص می‌گردد. آنالیزهای عنصری و شیمیایی از ذرات گردوغبار، اطلاعاتی درباره منشأ یا منابع گردوغبار و مسیرهای انتقالی فراهم می‌نماید(۲۱, ۲۲).

روش دیگر منشأیابی استفاده از تصاویر ماهواره‌ای جهت تعیین نواحی تولید و همچنین مسیرهای انتقال گردوغبار است. در این روش با توجه به اینکه همه منطقه موردنظر در یک سری زمانی خاص و با قدرت تفکیک مکانی بالا پوشش داده می‌شود، عدم نیاز به ایستگاه‌های پایش زمینی، و بررسی یک منطقه خاص چندین بار در روز و همچنین در دسترس بودن اطلاعات آن، بسیار مؤثر خواهد بود.

۱-٤- ماهواره‌های مورد استفاده در زمینه شناسایی کانون‌ها و محاسبه AOD

سنجنده AVHRR[4] برای تعیین پوشش ابر و دمای سطح زمین استفاده می‌شود. این سنجنده با استفاده از ۶ آشکارساز به جمع‌آوری باندهای مختلف از طول موج‌های بازتابیده شده می‌پردازد. آخرین

[4] Advance Very High Resolution Radiometer

نسخه‌ی سنجنده یAVHRR ، دارای ۶ باند می‌باشد که بر روی ماهواره NOAA راه‌اندازی شده است. سنجنده AVHRR با هدف اندازه‌گیری ذرات معلق طراحی نشده است، بنابراین دقت پایینی دارد. از این سنجنده عمدتاً برای تشخیص نوع ذرات معلق استفاده نمی‌شود. هدف اصلی این سنجنده، نظارت بر ابرها و اندازه‌گیری انتشار حرارتی از زمین است. از ویژگی‌های داده‌های AVHRR نظارت بر سطح زمین، اقیانوس و ذرات معلق در هوا، همچنین مطالعات تغییر اقلیم و آلودگی محیط‌زیست است. مدار ماهواره‌ای که این سنجنده بر روی آن قرار دارد بین ۸۳۳ تا ۸۷۰ کیلومتر از سطح زمین ارتفاع دارد. ازجمله مشکلات اصلی این سنجنده، کالیبراسیون حسگر، رانش مداری، نمونه‌برداری‌های طیفی و جهت محدود در آن است. داده‌های AVHRR به‌طور مداوم از سال ۱۹۸۱ جمع‌آوری شده است.

از جمله سنجنده هایی که سالیان دراز در زمینه پایش ذرات معلق فعالیت می‌کند، سنجنده TOMS[5] است که در سال ۱۹۷۸ بر روی ماهواره Nimbus 7 نصب گردیده است. این سنجنده علاوه بر کنترل و سنجش ازن، در مورد انواع ذرات معلق در هوا بر اساس خواص جذب و اندازه آن‌ها اطلاعاتی مفیدی در اختیار می‌گذارد. اطلاعات در دسترس سنجنده TOMS مربوط به نوامبر ۱۹۷۸ تا می ۱۹۹۳ و جولای ۱۹۹۶ تا دسامبر ۲۰۰۵ میلادی است. از سال ۲۰۰۶ میلادی سنجنده OMI (Ozone Monitoring Instrument) جایگزین TOMS شده است.

سنجنده OMI با قدرت تفکیک مکانی ۱۳×۲۴ کیلومتر (نادیر) بر روی ماهواره AURA نصب و در ۱۵ جولای ۲۰۰۴ به فضا پرتاب شده است. این سنجنده می‌تواند دوده، غبار و سولفات را از هم تمیز بدهد. همچنین به‌وسیله اطلاعات ازن تروپوسفری می‌تواند فشار و پوشش ابر را اندازه بگیرد. شاخص ذرات معلق آن (AI) برای شناسایی و ردیابی ذرات معلق در مقیاس جهانی استفاده می‌شود(۲۳).

سنجنده MISR نیز به‌منظور مطالعه شرایط آب و هوایی و محیط زیستی در مقیاس جهانی بر روی ماهواره TERRA نصب شده است. ویژگی منحصربه‌فرد این سنجنده توانایی آن در تهیه تصاویر در ۹ زاویه به‌طور گسترده و هر زاویه در ۴ باند مختلف است. داده‌های این سنجنده از سال ۱۹۹۹ در دسترس است. این سنجنده تصاویر را در دو سطح قدرت تفکیک مکانی ارائه می‌دهد. در سطح

[5] Total Ozone Mapping Spectrometer

جهانی تصاویر با قدرت تفکیک مکانی ۱/۱ کیلومتر و در سطح منطقه‌ای تصاویر با قدرت تفکیک مکانی ۲۷۵ متر را دارد. البته پیش‌فرض آن سطح جهانی است. البته در نادیر بدون توجه به سطح‌های جهانی و منطقه‌ای قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر را دارد.

سنجنده مورد استفاده دیگر MODIS بر روی دو ماهواره TERRA و AQUA است. به کمک این سنجنده اطلاعات بسیار ارزشمندی در مورد تغییرات فرایندهای جهانی بر روی خشکی‌ها و اقیانوس‌ها کسب گردیده است. این سنجنده در پایش‌های خود علاوه بر باندهای مرئی از تعداد زیادی باندهای حرارتی و مادون‌قرمز استفاده می‌کند؛ بنابراین برای ردیابی غبار در مناطقی که غلظت غبار با باندهای مرئی مشخص نیست، استفاده می‌شود. گستردگی طیف باندهای MODIS این اطمینان را می‌دهد که طیف وسیعی از غبارها از دید این سنجنده پنهان نمی‌ماند (۲۴). دقت بسیاری در انتخاب باندهای MODIS صورت گرفته تا اثرات جذب توسط گازهای موجود در اتمسفر (به‌خصوص بخارآب) را کاهش دهند. وجود این گازها برای سنجش‌ازدور بر فراز سطح زمین مشکل‌ساز هستند(۱۲, ۲۵). جدول ۱-۱ مشخصات سنجنده های فوق را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۱- مشخصات سنجنده های مهم در زمینه شناسایی کانون‌ها و محاسبه AOD

سنجنده / مشخصات	AVHRR	TOMS	OMI	MISR	MODIS
زمان پرتاب	می ۱۹۹۸ روی ماهواره NOAA15	نوامبر ۱۹۷۸ روی ماهواره NIMBUS7	جولای ۲۰۰۴ روی ماهواره AURA	۱۸ دسامبر ۱۹۹۹ روی ماهواره TERRA	● ۱۸ دسامبر ۱۹۹۹ روی ماهواره TERRA ● ۴ می ۲۰۰۲ روی ماهواره AQUA
باندهای طیفی	۶ باند طیفی از ۰/۵۸ تا ۱۲/۵ میکرومتر	۶ باند طیفی از ۰/۳۱ تا ۰/۳۸ میکرومتر	باندهای طیفی ۰/۴۵ تا ۱ نانومتر	۴ باند ۰/۴۴۶، ۰/۵۵۸، ۰/۶۷۲ و ۰/۸۶۶	● ۳۶ باند مختلف از مرئی تا مادون‌قرمز ● ۰/۶۶ تا ۳/۸ میکرومتر
قدرت تفکیک	۱۱۰۰ متر	۵۰ کیلومتر در نادیر	۱۳×۲۴ کیلومتر در نادیر	● ۲۵۰ و ۲۷۵ متر ● ۱۱۰۰ متر	● ۲۵۰ متر- باندهای ۱ و ۲ ● ۵۰۰ متر- باندهای ۳ تا ۷ ● ۱۰۰۰ متر- باندهای ۸ تا ۳۶

۱-۵- طرح مسئله و لزوم بررسی آن

افزایش فعالیت‌های انسانی و استفاده از مناطق نیمه‌خشک تا حتی مناطق خشک جهان باعث شده مناطق حساس بیابانی متحمل فشارهای بسیار زیادی شوند. با کاهش آب در مناطقی که قبلاً دارای زمین‌های مرطوب و یا با پوشش گیاهی تثبیت شده بودند، به‌طور فزاینده‌ای حساس به باد شده که نتیجه آن بیابان‌زایی و طوفان‌های گردوغبار است(۲۶). پدیده غبار به‌عنوان پدیده‌ی بارز در مناطق بیابانی، سبب اخلال در فعالیت‌های انسانی، کشاورزی، زیرساخت‌های کشاورزی و شهری، حمل‌ونقل و صنایع می‌گردد. همچنین حجم فراوان ذرات حمل شده به جو، بیلان انرژی را تحت تأثیر و متعاقب آن شرایط اقلیمی نواحی نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد(۲۷). یکی از مهم‌ترین پیامدهای زیست‌محیطی رخداد گردوغبار در جو، اثر عمده آن بر اقلیم است. گردوغبار می‌تواند بر روی درجه حرارت، جذب و پخش تابش خورشید (با تغییر در تابش موج کوتاه ارسالی به سطح زمین و تابش موج بلند از زمین) اثر بگذارد. بااین‌حال توازن بین این دو گرایش که گردوغبار باعث گرم شدن و یا سرد شدن می‌شود به متغیرهای زیادی ازجمله اندازه ذرات گردوغبار و ترکیبات شیمیایی آن‌ها وابسته است(۲۸).

در مناطق مختلف دنیا دریاچه‌هایی با موقعیت مشابه دریاچه ارومیه بسیار یافت می‌شود. بستر این دریاچه‌های خشک شده منبع نمک، غبار معدنی و حتی مواد سمی هستند که به‌مرور زمان در بستر رسوب‌کرده‌اند و با خشک شدن سطح بستر و وزش باد به مناطق اطراف منتقل می‌شوند(۲۶). دو مشکل اصلی انتشار غبار از منابع ایجاد شده توسط دریاچه‌های خشک (پلایاها)، خطر سلامتی انسان‌ها و مسئله غبار جهانی است (۲۹). غبارهای معدنی که از انواع ذرات معلق محسوب می‌شوند، اقلیم زمین را تحت تأثیر قرار می‌دهند. برای مثال روی بیلان انرژی خورشید، فتوشیمی اتمسفر (تغییرات شیمیایی ممکن توسط انرژی نور ماورای بنفش تا مادون‌قرمز) و فرایندهای مربوط به حوضه فعالیت ابرها تأثیرات زیادی دارد(۳۰).

دریاچه آرال (Aral Sea) در قاره آسیا در سال ۱۹۶۰ چهارمین دریاچه جهان بود که وسعت آن ۱۵ برابر دریاچه ارومیه است. بحران زیست‌محیطی دریاچه آرال که به واسطه انحراف رودخانه‌های تغذیه‌کننده آن ایجاد شده، پیامدهای بسیاری برای منطقه به وجود آورده است. ازجمله این پیامدها ایجاد آلودگی هوا به دلیل افزایش ذرات معلق، مواد شیمیایی و نمک است(۳۱). به‌طور کلی مطالعات اخیر ارتباط معنی داری بین افزایش ذرات معلق و بیماری‌های تنفسی نشان می‌دهد(۳۲). همچنین

طوفان‌های شدیدی که هر ۱۰ سال یک‌بار در آن منطقه رخ می‌دهد، نمک‌های آلوده به آفت‌کش‌ها را از بستر خشک شده دریاچه بلند کرده و به مناطق اطراف منتقل می‌کند(۳۱, ۳۳).

دریاچه ابینور (Ebinur Lake) در شمال غرب کشور چین دارای غلظت نمک ۸۰ تا ۱۲۰ گرم بر لیتر است. این دریاچه از سال ۲۰۰۴ به دلیل کاهش دبی ورودی به آن شروع به خشک شدن کرد. هم‌اکنون بستر خشک شده آن را لایه‌ای از نمک به ضخامت ۲ تا ۵ سانتی‌متر فراگرفته است(۳۱, ۳۴). طی مطالعه‌ای نشان داده شد که بادهای شمال غربی نمک‌های بستر را تا شعاع ۳۰۰ کیلومتری به مناطق اطراف انتقال می‌دهند(۳۱, ۳۵, ۳۶).

دریاچه بگا[6] در استرالیا در سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹ دچار کم‌آبی شد و حجم آب آن به صفر کاهش پیدا کرد. پس از خشک شدن آن، پیامدهای زیست‌محیطی محسوسی به منطقه وارد شد. ازجمله اثرات منفی این بحران زیست‌محیطی افزایش طوفان‌های گردوغبار بود(۳۱).

دریاچه آونز (Owens Lake) در اواخر ۱۸۰۰ یکی از بزرگ‌ترین دریاچه‌های طبیعی کالیفرنیا بود. این دریاچه از سال ۱۸۶۰ به دلیل انتقال آب رودخانه تغذیه‌کننده آن به شهر لس‌آنجلس، شروع به خشک شدن کرد تا اینکه در ۱۹۱۳ تقریباً خشک شده بود. در بررسی‌های صورت گرفته توسط آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا در سال ۱۹۸۷ معلوم شد که سطح خشک شده این دریاچه منبع اصلی طوفان‌های غبار در کالیفرنیا می‌باشد که طی اقداماتی از سال ۱۹۸۹ شروع به کنترل این غبارها کردند(۳۷).

دریاچه سالتون (Salton Sea) تا اوایل قرن بیستم گودالی نمکین بود که در زمستان و بهار پر از آب می‌شد و در تابستان و پاییز با تبخیر آب به معدن نمک تبدیل می‌شد و مردم محلی با برداشتن نمک آن به‌عنوان نمک طعام امرار معاش می‌کردند. در سال ۱۹۰۵ در یک اتفاق غیرمنتظره دیوار یک کانال آب‌رسانی سست‌بنیاد در دویست کیلومتری شرق این گودال می‌شکند و آب کانال که منشأ آن رودخانه کلرادو می‌باشد، به مدت دو سال یا بیشتر به‌سوی این گودال که گودترین نقطه آن بیش از ۹۰ متر زیر سطح دریای آزاد است، روان می‌شود و درنتیجه دریاچه‌ای به وسعت یک‌پنجم دریاچه ارومیه در مدت بسیارکوتاهی شکل می‌گیرد. خروجی این دریاچه نیز، فقط تبخیر است. آوردهای نمکی ورودی به دریاچه آن را به شورابه تبدیل کرده است. با کم شدن آب دریاچه

[6] Boga

کناره‌های آن شروع به خشک شدن کرده و کریستال‌های نمکی و همچنین ترکیبات شیمیایی بسیاری در بستر آن شکل گرفته است. کناره‌های خشک شده دریاچه با وزش باد دچار فرسایش شده و تهدیدی برای کیفیت هوای مناطق اطراف محسوب می‌شوند(۳۸, ۳۹)

با توجه به تجربیات مشابه ارائه شده در بالا پیامدهای خشک شدن پلایاها را می‌توان به این صورت جمع‌بندی کرد:

- فرسایش سطوح خشک شده توسط باد و انتقال ذرات معلق به مناطق اطراف
- آلودگی هوا به‌واسطه وجود ذرات معلق ناشی از سطوح خشک شده
- خطر سلامتی انسان‌ها به دلیل ورود ذرات معلق به دستگاه تنفسی، حساسیت‌های پوستی ناشی از تماس ذرات معلق معدنی و سمی و...
- وقوع تغییرات و نوسانات اقلیمی در اثر افزایش ذرات معلق جو

طی سالیان اخیر مناطق وسیعی در اطراف دریاچه ارومیه خشک شده، به‌گونه‌ای که تقریباً نیمی از دریاچه به پهنه‌های نمکی تبدیل شده است(۴۰-۴۲). این پسروی و کوچک شدن دریاچه هشدار مهمی است زیرا شوره زارهای حاصل از این عقب نشینی تمامی اراضی، مزارع و نواحی مسکونی اطراف خود را تهدید خواهد کرد و با وزش باد نمک‌های موجود در شوره زارهای پدید آمده به سوی اراضی و نواحی مسکونی منتشر شده و همین امر تاثیر مستقیمی بر روی کشاورزی منطقه، سلامت مردم و افزایش مهاجرت خواهد داشت. با توجه به اینکه کویر حاصل از عقب نشینی دریاچه ارومیه از نوع کویرهای نمکی و بسیار خطرناک است، ادامه حیات گونه‌های بومی منطقه نیز مورد مخاطرات جدی قرار خواهد گرفت. در بررسی پیامدهای بهداشتی و زیست محیطی حادث شده به علت پسروی آب دریاچه‌های آرال، ابینور، بگا در همه موارد، اکوسیستم منطقه با تنزل کارکردهای اکولوژیکی مواجه شده است. پیامدهای بهداشتی شامل افزایش مرگ و میر کودکان و زنان، شیوع بیماریهای تنفسی، چشمی، سرطان‌ها و ... می‌باشد؛ همچنین پیامدهای زیست محیطی شامل از بین رفتن گونه‌های گیاهی و جانوری، افزایش آلودگی هوا و منابع آب و خاک نیز مشاهده شده است(۳۱). با خشک شدن دریاچه ارومیه یک کویر نمکی به وسعت بیش از ۴۴۰۰ کیلومتر مربع تشکیل می‌شود و عناصر و ترکیبات آن توسط باد به مزارع منتقل خواهد شد. همچنین تشکیل کویر

نمک با این ابعاد باعث تغییر آب و هوای منطقه و موجب افزایش فراوانی و شدت طوفان‌های گرد و غبار در منطقه خواهد شد(۳۱, ۴۳).

ازاین‌رو برای جلوگیری از پیامدهای زیان‌بار ناشی از ایجاد غبار از سطوح خشک شده دریاچه، بررسی غبار منطقه و پیدا کردن منابع تولید غبار بسیار مهم می‌باشد. درواقع هدف اصلی این مطالعه، توسعه و پیاده‌سازی الگوریتم مناسب اندازه‌گیری عمق اپتیکی با دقت و قدرت تفکیک مکانی بالا جهت شناسایی کانون‌های گرد و غبار در اطراف و حاشیه دریاچه ارومیه است. بدین منظور دو روش مختلف و با قدرت تفکیک مکانی مختلف مورد ارزیابی قرار خواهند گرفت که در روش اول توسط یک کار تیمی در مرکز سنجش‌ازدور دانشگاه صنعتی شریف و در گروه غبار آن صورت گرفته است. نتایج این کار در ادامه به تفصیل بیان شده است.

۱-۵-۱- کانون یابی و پایش ریز گردهای استان‌های آذربایجان شرقی و غربی با استفاده از شاخص AOD سنجنده MODIS و به کمک فراوانی وقوع

در این روش با شناسایی پیکسل‌های دارای مقادیر عمق اپتیکی بالا، می‌توان اقدام به شناسایی کانون‌های احتمالی تولید کننده غبار نمود. از طرفی ممکن است در برخی نواحی، شدت بسیار بالایی از ذرات معلق در جو، نسبت به حد آستانه در نظر گرفته شده برای رخداد طوفان‌های غبار مشاهده نشود؛ اما به دلیل فراوانی بالای مشاهده عمق اپتیکی بالاتر از حد آستانه، اینگونه نواحی را می‌توان به‌عنوان کانون‌هایی با فرآوانی وقوع بالا انتخاب کرد. انتخاب نواحی با شدت AOD بالا و یا با تعداد دفعات بالای مشاهده AOD بالاتر از حد آستانه تا حد زیادی بسته به نگاه مدیریتی دستگاه اجرایی مقابله‌کننده با پدیده گردوغبار دارد. از همین رو، در این تحقیق دسته‌بندی نواحی مختلف از محدوده جغرافیایی موردبررسی صورت گرفته که بر اساس فراوانی و شدت رخدادهای گردوغبار ثبت شده می‌باشد. همچنین نقشه‌های شدت و فراوانی مقادیر عمق اپتیکی بالاتر از حد آستانه در نظر گرفته شده برای محدوده مطالعاتی استخراج شده است تا کاربر نهایی بتواند بسته به نیاز خود در خصوص به‌کارگیری داده‌های موردنیاز تصمیم‌گیری کند.

۱-۵-۲- کانون یابی ذرات معلق در حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از AOD بازیابی شده به روش MRT و قدرت تفکیک مکانی بالا و به کمک فراوانی وقوع

- **لزوم استفاده از الگوریتم‌های اندازه‌گیری AOD با قدرت تفکیک بالا و روش آن**

بازیابی ذرات معلق به کمک ابزارهای سنجش‌ازدور از زمان‌های گذشته توسعه پیدا کرده است. بسیاری از روش‌های بازیابی ذرات معلق وجود دارد که به خواص ذرات معلق در مقیاس جهانی پرداخته‌اند؛ ولی همچنان یک سری خواص جزئی آن‌ها به دلیل قدرت تفکیک مکانی پایین این روش‌ها (10km×10km) ناشناخته می‌ماند. هدف اصلی از توسعه مدل‌های اندازه‌گیری AOD، یافتن اطلاعاتی درباره منطقه محصور بین زمین و ماهواره است که ذرات معلق نیز در این قسمت توزیع شده‌اند. ادغام بازتاب‌های سطحی در بازتاب‌های ثبت شده توسط سنجنده باعث پیچیده شدن این الگوریتم‌ها شده است(۳۲). الگوریتم‌های توسعه داده شده اندازه‌گیری ذرات معلق با شاخص AOD به‌وسیله ماهواره‌ها باعث می‌شوند از داده‌ها و اطلاعات موجود راجع به تابش بر فراز جو به بهترین شکل استفاده گردد. بازیابی ذرات معلق معمولاً برای شرایط بدون ابر انجام می‌شود و برای شرایط ابری، ابتدا باید الگوریتم‌های حذف ابر انجام گیرد و سپس به بازیابی ذرات معلق پرداخته شود. اصلی‌ترین مرحله در توسعه این الگوریتم‌ها تفکیک تابش‌های ناشی از اتمسفر و زمین از مقدار تابش‌های رسیده به سنجنده است. برای این کار روش‌های متعددی ارائه شده است که به سنجنده و مشخصات آن بستگی دارد. به‌عنوان مثال برای سنجنده های با یک زاویه دید مانند MODIS تابش از سطح زمین باید ساخته شود(۴۴). الگوریتم‌های بازیابی MODIS برای تخمین ذرات معلق و خواص میکرو فیزیکی اتمسفر، برای حل مسائل مرتبط با ذرات معلق در مقیاس جهانی و محلی با دو الگوریتم Deep Blue و Dark target توسعه داده شده‌اند. این داده‌ها با داده‌های AOD ایستگاه‌های زمینی شبکه AERONET همبستگی خوبی دارند(۱۲, ۴۵). جهت به دست آوردن اطلاعات دقیق راجع به مشخصات ذرات معلق موجود در اتمسفر در یک منطقه خاص، باید شاخص AOD با قدرت تفکیک مکانی مناسب اندازه‌گیری شود(۱۲). محصولات ذرات معلق با قدرت تفکیک مکانی بالا برای مطالعه در مناطق محلی(Local)، به دلیل تشابه ذرات معلق با سطوح درخشنده پیچیده و بررسی نشده است(۳۲). بنابراین به دلیل احساس نیاز برای مناطق با ناهمواری‌های زیاد و جزئی‌تر کردن محدوده

موردمطالعه، این الگوریتم‌های بازیابی با قدرت تفکیک‌های ۱ کیلومتری و یا ۵۰۰ متری توسعه داده شده‌اند.

درواقع با توسعه این الگوریتم که هدف اصلی این تحقیق است، می‌توان نسبت به شناسایی کانون‌های تولید کننده غبار اقدام و در نهایت به سؤالات زیر پاسخ داد:

۱- آیا امکان استفاده از الگوریتم‌های با قدرت تفکیک مکانی بالا جهت اندازه‌گیری عمق اپتیکی و در نتیجه شناسایی کانون‌های تولید کننده غبار وجود دارد؟

۲- تغییرات مکانی کانون‌های تولید کننده غبار در بازه زمانی پس از بحران (خشک شدن) دریاچه در نواحی مستعد تولید غبار اطراف دریاچه چگونه بوده است؟

۳- کدام مناطق ازلحاظ شدت عمق اپتیکی غبار در بازه زمانی موردمطالعه برای انجام اقدامات کنترلی اولویت خواهند داشت؟

در نهایت پس از انجام تحقیق و پاسخ به سؤالات فوق انتظار می‌رود اهداف زیر حاصل گردد:

۱- تهیه نقشه پراکندگی شاخص غبار با قدرت تفکیک بالا برای مناطق اطراف دریاچه ارومیه.

۲- ارائه نقشه دقیق کانون‌های غبار اطراف دریاچه ارومیه.

۳- ارائه نقشه مناطق بحرانی تولید کننده غبار.

همچنین شناسایی منشأ غبار و به دنبال آن انجام اقدامات کنترلی در آن مناطق به پایین آمدن میزان نرخ انتشار در مناطق منبع کمک می‌کند. شناسایی کانون‌های غبار در حقیقت مجموعه‌ای از اقداماتی می‌باشد که طی آن یک منطقه به‌طور کامل مورد پایش قرار می‌گیرد تا منبع اصلی ذرات معلق آزاد شده در منطقه مشخص گردد.

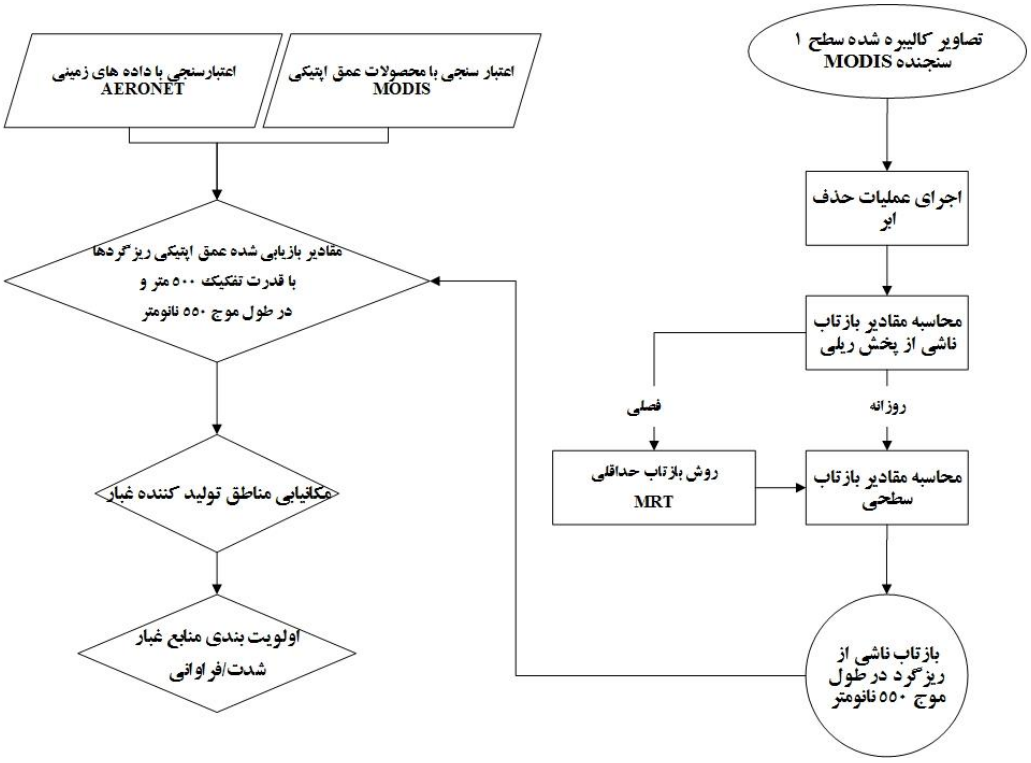
الگوریتم‌های توسعه داده شده برای به دست آوردن شاخص عمق اپتیکی ذرات معلق با قدرت تفکیک بالا (۵۰۰ متر) در چند سال گذشته رواج پیدا کرده و برای مناطق شهری و محلی اجرا شده‌اند. در ایران اغلب کارهایی که در زمینه غبار انجام شده مربوط به پهنه‌بندی طوفان‌های غبار می‌باشد. حال‌آنکه در این تحقیق به کمک یکی از الگوریتم‌های ساده‌شده بازیابی شاخص ذرات

معلق، برای اولین بار این شاخص با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر برای اطراف دریاچه ارومیه که در بحران خشک شدن و برخاستن غبار از قسمت‌های خشک شده می‌باشد، به‌دست‌آمده است.

۱-٦- نحوه رویکرد در تحقیق

رویکرد کلی در این مطالعه با فرض اولیه برخاستن غبارهای نمکی از سطح خشک شده دریاچه ارومیه آغاز می‌شود. برای بررسی وجود یا عدم وجود مناطق مستعد بلند شدن غبار و یافتن کانون‌های غبار محلی نیازمند استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای تسریع در انجام مراحل کار و همچنین بررسی سال‌های قبل از بحران می‌باشد. شاخص‌های بسیاری برای شناسایی غبار وجود دارد که در این مطالعه از شاخص عمق اپتیکی استفاده شده است. نحوه به دست آوردن شاخص عمق اپتیکی از دو دیدگاه مورد بررسی قرار گرفته است. استفاده از محصول عمق اپتیکی سنجنده MODIS به دلیل موجود بودن داده‌ها اندکی راحت‌تر است ولی قدرت تفکیک ۱۰ کیلومتری آن برای مناطق شهری و بررسی در مقیاس حوضه‌های آبریز مناسب نیست. به همین دلیل الگوریتم‌های بازیابی عمق اپتیکی برای تصاویر با قدرت تفکیک بالا توسعه داده شده‌اند. انتخاب الگوریتم مناسب با توجه به داده‌های زمینی مورد نیاز در هر الگوریتم و وجود یا عدم وجود این نوع داده‌ها در منطقه مورد بررسی صورت می‌گیرد. بسیاری از این الگوریتم‌ها نیاز به داده‌های روزانه زمینی دارند ولی در ایران دستگاه‌های سنجش زمینی عمق اپتیکی و پارامترهای ماهواره‌ای در همه مناطق موجود نیست.

الگوریتم استفاده شده در بخش دوم این مطالعه الگوریتم ساده شده بازیابی عمق اپتیکی است که ورودی‌های پیچیده‌ای نداشته و میتوان از ایستگاه AERONET موجود در زنجان استفاده کرد؛ البته برای مناطق اطراف شهر زنجان و با پذیرش خطاهایی که ایجاد می‌شود. این الگوریتم روی تصاویر سنجنده MODIS با قدرت تفکیک ۵۰۰ متر پیاده و در نهایت خروجی حاصل از آن عمق اپتیکی با پیکسل ساز ۵۰۰ متر می‌باشد. فلوچارت مراحل انجام الگوریتم پیشنهادی در شکل ۱-۴ آورده شده است.



شکل ۱-۴-فلوچارت مراحل اجرای الگوریتم ساده شده بازیابی عمق اپتیکی

۱-۷- محورهای مطالب فصل‌های آینده

ساختار کلی این مطالعه و هریک از فصل‌ها به دو بخش اصلی (دو روش مورد بررسی) تقسیم شده است؛ ۱- روش کانونیابی ذرات معلق با استفاده از محصول عمق اپتیکی سنجنده MODIS و ۲- روش کانونیابی ذرات معلق به کمک AOD بازیابی شده با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر و با استفاده از الگوریتم منتخب. در هریک از فصل‌های تحقیق به طور جداگانه مطالب مربوط به هر روش آورده شده است.

در فصل دوم، بخش اول به سابقه تحقیق و بررسی و مرور بر منابع مرتبط با آن پرداخته شده است. بخش دوم آن نیز به مطالعه و بررسی‌های صورت گرفته در مورد انواع الگوریتم‌های بازیابی AOD با قدرت تفکیک مکانی بالا اختصاص یافته است. در انتهای این فصل نیز پروژه انجام شده در زمینه پایش غبار در حوضه ارومیه که توسط مرکز سنجش از دور دانشگاه صنعتی شریف انجام شده است، به دلیل اهمیت آن و مقایسه با نتایج این تحقیق به تفصیل آورده شده است.

فصل سوم با معرفی منطقه مطالعاتی آغاز می‌شود و پس از آن روش‌شناسی هریک از دیدگاه‌ها را بیان می‌کند. در بخش روش شناسی داده‌های مورد نیاز و پارامترهایی که برای مدل نیاز است؛

همچنین روش کار گام به گام و با جزئیات کامل شرح داده می‌شود. پس از توضیح نحوه انجام کار در هر روش نیزمفاهیم آماری مورد نیاز برای ارزیابی و صحت سنجی الگوریتم و نیز نحوه تعیین روزهای مورد بررسی آورده شده است. پس از به دست آوردن نقشه‌های عمق اپتیکی برای مکانیابی و تشخیص مناطق مستعد به بلند شدن غبار نیاز به نقشه‌های شدت، فراوانی وقوع و همچنین اثر مشترک این دو پارامتر است که در مورد چگونگی تعیین این پارامترها نیز در این فصل بحث شده است.

در فصل چهارم نتایج هر روش آورده شده است. پس از نشان دادن خروجی‌های هریک از روش‌ها و تحلیل هریک، در انتها مقایسه ای بین خروجی‌های قابل مقایسه در دو روش انجام خواهد شد و به ارزیابی دقت الگوریتم مورد نظر نیز پرداخته می‌شود.

درنهایت در فصل پنجم با توجه به نتایج حاصل از فصل‌های پیشین به جمع بندی و ارائه پیشنهادات برای مطالعات آتی پرداخته شده است.