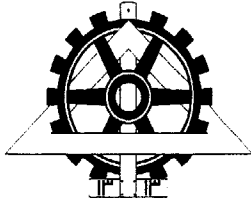


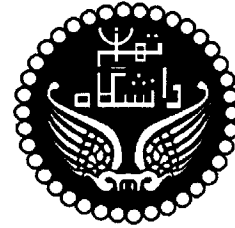
بنام خداوند بخشنده و مهربان

۵۸۵۱۷



دانشگاه تهران

دانشکده فنی



گروه مهندسی نقشه برداری

بررسی امکان سنجش آلودگی هوای تهران با استفاده از تصاویر سنجنده

MODIS

نگارش

سارا موقتی

استاد راهنما

دکتر محمد رضا سراجیان

۳۸۲ / ۱۸۰ / ۳۰۱

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی نقشه برداری - سنجش از دور

شهریورماه ۱۳۸۲

موضوع

بررسی امکان سنجش آلودگی هوای تهران با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS

توسط

سارا موقتی

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
رشته مهندسی نقشه برداری - سنجش از دور

از این پایان نامه در تاریخ ۸۲/۰۶/۱۵ در مقابل
هیئت داوران دفاع بعمل آمده و مورد تصویب قرار گرفت.

محل امضاء

دکتر جواد فیض

سرپرست کمیته تحصیلات تکمیلی دانشکده:

مدیر گروه آموزشی:

نماینده تحصیلات تکمیلی:

استاد راهنما:

عضو هیئت داوران:

عضو هیئت داوران:

دکتر علیرضا آزموده اردلان

دکتر محمودرضا دلاور

دکتر محمدرضا سراجیان

مهندس فریده حبیبی

دکتر جلال لاسینی



تقدیم به باغبانهای باغ زندگی ام پدر و مادر مهربانم

و

سینا

تقدیر و تشکر

با سپاس از خداوند مهربان که به من توفیق داد از اقیانوس بیکران علم قطره ای بنوشم و محفوظات خود را در میدان عمل بکار گیرم، بر خود لازم می دانم از استاد ارجمند آقای دکتر محمد رضا سراجیان به خاطر قبول مسؤولیت استاد راهنما و مرکز سنجش از دور ایران به خاطر در اختیار قراردادن تصاویر ماهواره ای و نرم افزارهای مورد نیاز و شرکت کنترل کیفیت هوا به خاطر در اختیار قرار دادن اندازه گیری های زمینی غلظت آئروسول ها و دیگر عزیزانی که از راهنمایی و نظراتشان بهره مند شدم و خانواده عزیزم که در همه لحظات مشفق و همراه من بودند، تشکر و قدردانی نمایم.

سارا موقتی
شهریور ۱۳۸۲

چکیده

آئروسول های موجود در جو که شامل ذرات جامد و مایع معلق در هوا بوده و دارای منشأ طبیعی و انسانی هستند، یکی از منابع اصلی آلودگی هوا بشمار می روند. مشخصه های نوری و فیزیکی آئروسول ها به کمک روشهای میدانی و سنجش از دور قابل بازیابی است. اندازه گیری های میدانی محدود به ارتفاعات پایین جو هستند و به صورت نقطه ای انجام می شوند ولی وجود آنها برای بدست آوردن اطلاعات مربوط به مشخصه های نوری و فیزیکی آئروسولهای منطقه کاملاً ضروری است. از طرفی روشهای سنجش از دوری، مشخصه های آئروسول ها را مستقیماً اندازه گیری نمی کنند ولی می توانند با بررسی ویژگیهای اپتیکی سیستم زمین- جو اطلاعات مربوط به کل آئروسول ها را در ستون های ارتفاعی و در شرایط طبیعی بدست آورند.

در این تحقیق امکان سنجش آلودگی آئروسول های موجود در تروپوسفر در یک منطقه شهری شامل شهر تهران و اطراف آن با توان تفکیک مکانی ۲۵۰۰ و ۵۰۰۰ متر با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS در محدوده مرئی و مادون قرمز میانی بررسی شده است. برای این منظور از دو الگوریتم سازگار با شرایط اقلیمی منطقه و امکانات موجود که از بین الگوریتم های موجود برای این منظور انتخاب شدند، استفاده گردید. در روش اول با توجه به کمبود پوشش گیاهی متراکم در منطقه میزان پراکندگی جوی به کمک شبیه سازی اهداف تیره برای پنجره های با ابعاد ۱۰×۱۰ و ۵×۵ پیکسل ۵۰۰ متری محاسبه شد. سپس این نتایج با اندازه گیری های زمینی میزان غلظت آئروسول ها مقایسه گردید که این مقایسه در اغلب موارد بیانگر وجود وابستگی مثبت میان نتایج این دو نوع اندازه گیری بود. در روش دوم میزان تفاوت ضخامت نوری آئروسول های مربوط به دو تصویر دارای شرایط اتمسفری و هندسه دید تقریباً مشابه در دو تاریخ مختلف، برای پنجره های با ابعاد ۱۰×۱۰ پیکسل ۲۵۰ متری محاسبه شد که مقایسه آنها با اندازه گیری های زمینی غلظت آئروسول ها حاکی از وجود وابستگی مثبت میان آنها بود. در کل، وجود وابستگی مثبت میان محاسبات سنجش از دوری و اندازه گیری های زمینی حاکی از قابل استفاده بودن تصاویر MODIS در نظارت بر وضعیت آلودگی های از نوع آئروسول در مناطق وسیعتر می باشد.

فهرست مطالب

۱	چکیده
ب	فهرست مطالب
ج	فهرست جداول
خ	فهرست اشکال
۱	فصل اول: مقدمه
۲	۱-۱- ضرورت انجام تحقیق
۴	۲-۱- فرضیات
۷	۳-۱- سابقه سنجش از راه دور آئروسول ها
۸	۴-۱- ساختار پایان نامه
۹	فصل دوم: فیزیک آئروسول ها و ارتباط آن با سنجش از دور
۱۰	۱-۲- مقدمه
۱۱	۲-۲- مشخصه های آئروسول ها
۱۲	۱-۲-۲- مشخصه های فیزیکی آئروسولها
۱۲	۱-۲-۲-۱- شکل آئروسول
۱۲	۲-۲-۱-۲- مخلوط آئروسول ها
۱۳	۲-۲-۱-۳- تابع توزیع اندازه آئروسول
۱۴	۲-۲-۱-۳-۱- تابع توزیع اندازه لگاریتمی نرمال
۱۵	۲-۲-۱-۳-۲- تابع توزیع نمائی
۱۵	۲-۲-۱-۳-۳- تابع توزیع بهبودیافته گاما
۱۵	۲-۲-۲- مشخصه های آپتیکی آئروسول ها
۱۷	۲-۲-۲-۱- جذب و پراکندگی و خاموشی
۲۰	۲-۲-۲-۲- نقش اندازه ذرات
۲۰	۲-۲-۲-۳- مقطع عرضی و میزان کارایی
۲۱	۲-۲-۲-۴- آلبدو برای پراکندگی منفرد
۲۱	۲-۳-۲- دسته بندی ذرات از لحاظ تعداد گروه های تشکیل دهنده
۲۱	۲-۳-۱- ذره منفرد
۲۲	۲-۳-۲- ذرات چندگانه
۲۳	۲-۴- اصول سنجش از دور مرتبط با پراکندگی و خاموشی
۲۴	۲-۴-۱- تابش مستقیم
۲۵	۲-۴-۲- تابش پخشیده
۲۷	۲-۴-۱-۲- پراکندگی درجه اول (منفرد)
۲۸	۲-۵- شبیه سازی سیگنال ماهواره در محدوده طیفی خورشیدی

۳۳	۱-۵-۲- اثرات جذبی
۳۵	۲-۵-۲- اثرات ناشی از پراکندگی
۳۵	۱-۲-۵-۲- پراکندگی از سطح یکنواخت لامبرتی
۳۸	۲-۲-۵-۲- تابع محیطی
۴۰	۳-۲-۵-۲- بازتابندگی ذاتی اتمسفر
۴۱	۱-۳-۲-۵-۲- پراکندگی ریلی
۴۲	۲-۳-۲-۵-۲- پراکندگی ناشی از وجود آئروسول ها
۴۵	۳-۵-۲- شبیه سازی هدف مرتفع
۴۵	۱-۳-۵-۲- جذب گازها
۴۶	۲-۳-۵-۲- تابع پراکندگی
۴۷	فصل سوم: بررسی روشهای تشخیص آئروسول ها از طریق سنجش از دور
۴۸	۱-۳- مقدمه
۵۰	۲-۳- روش های سنجش از دور غیرفعال آئروسول های موجود در تروپوسفر
۵۰	۱-۲-۳- بررسی الگوریتم ها
۵۲	۱-۱-۲-۳- سنجنده های دارای دید نزدیک به نادیر و چند باند طیفی (گروه اول)
۵۴	۲-۱-۲-۳- سنجنده های دارای چندباند طیفی و زاویه دید چندگانه (گروه دوم)
۵۴	۳-۱-۲-۳- سنجنده های دارای زاویه دید چندگانه و چند باند طیفی همراه با پلاریزاسیون (گروه سوم)
۵۵	۳-۳- روش های بازیابی آئروسول ها با استفاده از سنجنده های دارای دید نزدیک به نادیر و چند طیفی
۵۶	۱-۳-۳- تعیین ضخامت نوری آئروسول ها با استفاده از پراکندگی جوی
۵۹	۱-۱-۳-۳- روش DDV
۵۹	۱-۱-۱-۳-۳- براساس شاخص گیاهی
۶۰	۲-۱-۱-۳-۳- با استفاده از رادیانس باند ۳/۷۵ میکرومتر
۶۳	۳-۱-۱-۳-۳- توسعه روش DDV با استفاده از باند ۲/۱ میکرومتر
۶۴	۱-۳-۱-۱-۳-۳- مشخصه های بازتابندگی سطحی در باند ۲/۲ میکرومتر
۶۵	۲-۳-۱-۱-۳-۳- رابطه میان بازتابندگی سطحی در باند ۲/۲ میکرومتر و باندهای آبی و قرمز
۶۹	۳-۳-۱-۱-۳-۳- بازیابی آئروسول ها به کمک باند ۲/۲ میکرومتر
۷۳	۴-۳-۱-۱-۳-۳- وابستگی فصلی بازتابندگی در باندهای مرئی و مادون قرمز میانی
۷۳	۵-۳-۱-۱-۳-۳- حساسیت انتقال تابشی نسبت به تغییر ضخامت نوری و بازتابندگی سطح
۷۶	۶-۳-۱-۱-۴-۳- آنالیزمیزان خطا
۷۸	۴-۱-۱-۳-۳- استفاده از دو باند ۲/۱ و ۳/۷۵ میکرومتر در تصاویر MODIS (روش Kaufman)
۷۸	۱-۴-۱-۱-۳-۳- داده های ورودی

۷۹	..... ۳-۳-۱-۱-۲-۴-۲- استراتژی اساسی
۸۰	..... ۳-۳-۱-۱-۳-۴-۳- بیان روش سنجش از دور آئروسول ها
۸۵	..... ۳-۳-۱-۲- روش پراکندگی جوی بهبود یافته برای بازیابی ضخامت نوری آئروسول ها روی سطح خشکی
۸۵	..... ۳-۳-۱-۲-۱- اصول تئوری
۸۷	..... ۳-۳-۱-۲-۲- خوشه های همگن محلی
۸۷	..... ۳-۳-۱-۲-۳- بازیابی آئروسول ها
۸۸	..... ۳-۳-۲- تعیین ضخامت نوری آئروسول ها با استفاده از قابلیت تراگسیلندگی اتمسفری
۹۰	..... ۳-۳-۲-۱- شرایط لازم برای تخمین تفاوت میزان آئروسول ها روی خشکی در دو روز مختلف با استفاده از محدوده طیفی مرئی
۹۱	..... ۳-۳-۲-۲- روش تخمین تفاوت میزان آئروسول ها روی خشکی در دو روز مختلف با استفاده از محدوده طیفی مرئی
۹۲	..... فصل چهارم: بررسی داده ها
۹۳	..... ۴-۱- ماهواره EOS-AM1
۹۴	..... ۴-۲- سنجنده MODIS
۹۵	..... ۴-۳- مزایای سنجنده MODIS نسبت به دیگر سنجنده ها در مطالعه آئروسول ها
۹۶	..... ۴-۴- داده های کالیبره Level 1 سنجنده MODIS
۹۶	..... ۴-۴-۱- داده های Level 1A
۹۶	..... ۴-۴-۲- داده های Level 1B
۹۹	..... ۴-۴-۱- محتوای SDS های باندهای انعکاسی
۱۰۰	..... ۴-۴-۲- اعداد صحیح مقیاس گذاری شده (SI) نماینده dn^{**}
۱۰۰	..... ۴-۴-۳- رابطه میان dn^{**} و عدد صحیح نماینده آن (SI)
۱۰۱	..... ۴-۵- محاسبه مقدار بازتابندگی و رادیانس برای باندهای انعکاسی
۱۰۱	..... ۴-۶- محاسبه زاویه زینتی خورشید و زاویه زینتی دید ماهواره
۱۰۴	..... فصل پنجم: اجرا و بررسی نتایج
۱۰۵	..... ۵-۱- سنجش آئروسول ها با استفاده از روش پراکندگی جوی بهبود یافته
۱۰۵	..... ۵-۱-۱- پیش پردازش داده های خام سنجنده MODIS
۱۰۵	..... ۵-۱-۲- تصحیح هندسی تصاویر
۱۰۵	..... ۵-۱-۳- محاسبه زاویه زینتی خورشید
۱۰۶	..... ۵-۱-۴- محاسبه بازتابندگی ظاهری
۱۰۶	..... ۵-۱-۵- انتخاب خوشه های همگن
۱۰۸	..... ۵-۱-۶- محاسبه پراکندگی جوی ناشی از وجود آئروسول ها
۱۱۰	..... ۵-۱-۶-۱- نتایج مربوط به تاریخ ۸۱/۶/۱۹

۱۲۲	۵-۱-۶-۲- نتایج مربوط به تاریخ ۸۲/۴/۲۲
۱۳۴	۵-۱-۶-۳- نتایج مربوط به تاریخ ۸۲/۵/۱۰
۱۴۶	۵-۱-۷-۷- ارزیابی دقت اندازه گیری پراکندگی جوی
۱۴۷	۵-۱-۷-۱- مقایسه پراکندگی جوی باند اول و دوم
۱۵۱	۵-۱-۶-۲: مقایسه پراکندگی جوی محاسبه شده در باند اول و دوم با اندازه گیری های زمینی شرکت کنترل کیفیت هوا
۱۵۴	۵-۲-۲- نتایج حاصل از محاسبه تفاوت ضخامت نوری آئروسول ها در دو تصویر با استفاده از روش بحث شده در قسمت ۳-۳-۲-۲
۱۵۵	۵-۲-۱- محاسبه زوایای زینتی دید ماهواره
۱۵۵	۵-۲-۲- ثبت هندسی کردن دو تصویر
۱۵۵	۵-۲-۳- محاسبه تفاوت ضخامت نوری
۱۵۵	۵-۲-۴- ارزیابی نتایج
۱۵۹	فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۶۱	فهرست منابع

فهرست جداول

۴۳	جدول ۱-۲: انواع مدل آئروسول ها
۵۲	جدول ۱-۳: سنجنده های ماهواره ای مورد استفاده در مطالعه آئروسول ها
۶۷	جدول ۲-۳: وابستگی میان انعکاس پذیری در باند ۲/۲ میکرومتر و باندهای مرئی برای سطوح مختلف در تاریخ های مختلف برای دو سنجنده TM و AVIRIS
۶۹	جدول ۳-۳: مقدار بازتابندگی و خطای مطلق میانگین در پیش بینی مقدار بازتابندگی باندهای مرئی برای مقادیر مختلف $\rho_{2.2}$
۷۱	جدول ۴-۳: خطای مطلق متوسط در پیش بینی مقدار بازتابندگی سطح، برای پوشش های سطحی مختلف
۷۲	جدول ۵-۳: تأثیر ذرات گرد و غبار و ذرات قاره ای روی بازتابندگی ظاهری در محدوده طیفی مرئی و مادون قرمز میانی
۹۳	جدول ۱-۴: سنجنده های موجود روی سکوی EOS-AM1
۹۵	جدول ۲-۴: مشخصات سنجنده MODIS
۹۵	جدول ۳-۴: مشخصات باندهای انعکاسی سنجنده MODIS
۱۰۶	جدول ۱-۵: تاریخ و زمان تصاویر بکار برده شده
۱۱۱	جدول ۲-۵: ضرایب همبستگی محاسبه شده بین باندهای اول و هفتم سنجنده MODIS برای پنجره های ۱۰×۱۰ در تاریخ ۸۱/۶/۱۹
۱۱۱	جدول ۳-۵: انحراف معیار محاسبه شده برای پنجره های ۱۰×۱۰ در باند هفتم سنجنده MODIS در تاریخ ۸۱/۶/۱۹

جدول ۴-۵: پراکندگی جوی محاسبه شده برای پنجره های 10×10 در باند اول سنجنده MODIS در تاریخ ۸۱/۶/۱۹	۱۱۱
جدول ۵-۵: ضرایب همبستگی محاسبه شده بین باند اول و ۷ سنجنده MODIS برای پنجره های 5×5 در تاریخ ۸۱/۶/۱۹	۱۱۳
جدول ۶-۵: انحراف معیار محاسبه شده برای پنجره های 5×5 در باند هفتم سنجنده MODIS در تاریخ ۸۱/۶/۱۹	۱۱۴
جدول ۷-۵: مقادیر عددی پراکندگی جوی محاسبه شده برای پنجره های 5×5 در باند اول سنجنده MODIS در تاریخ ۸۱/۶/۱۹	۱۱۵
جدول ۸-۵: ضرایب همبستگی محاسبه شده بین باند سوم و هفتم سنجنده MODIS برای پنجره های 10×10 در تاریخ ۸۱/۶/۱۹	۱۱۶
جدول ۹-۵: پراکندگی جوی محاسبه شده در باند سوم سنجنده MODIS برای پنجره های 10×10 در تاریخ ۸۱/۶/۱۹	۱۱۶
جدول ۱۰-۵: ضرایب همبستگی محاسبه شده بین باند سوم و هفتم سنجنده MODIS برای پنجره های 5×5 در تاریخ ۸۱/۶/۱۹	۱۱۹
جدول ۱۱-۵: مقادیر عددی پراکندگی جوی محاسبه شده برای پنجره های 5×5 در باند سوم سنجنده MODIS در تاریخ ۸۱/۶/۱۹	۱۲۰
جدول ۱۲-۵: ضرایب همبستگی محاسبه شده بین باند اول و هفتم سنجنده MODIS برای پنجره های 10×10 در تاریخ ۸۲/۴/۲۲	۱۲۳
جدول ۱۳-۵: انحراف معیار محاسبه شده برای پنجره های 10×10 در باند هفتم سنجنده MODIS در تاریخ ۸۲/۴/۲۲	۱۲۳
جدول ۱۴-۵: مقادیر عددی پراکندگی جوی محاسبه شده برای پنجره های 10×10 در باند اول سنجنده MODIS در تاریخ ۸۲/۴/۲۲	۱۲۳
جدول ۱۵-۵: ضرایب همبستگی محاسبه شده بین باند اول و هفتم سنجنده MODIS برای پنجره های 5×5 در تاریخ ۸۲/۴/۲۲	۱۲۶
جدول ۱۶-۵: انحراف معیار محاسبه شده برای پنجره های 5×5 در باند هفتم سنجنده MODIS در تاریخ ۸۲/۴/۲۲	۱۲۷
جدول ۱۷-۵: پراکندگی جوی محاسبه شده برای پنجره های 5×5 در باند اول سنجنده MODIS در تاریخ ۸۲/۴/۲۲	۱۲۸
جدول ۱۸-۵: ضرایب همبستگی محاسبه شده بین باند سوم و هفتم سنجنده MODIS برای پنجره های 10×10 در تاریخ ۸۲/۴/۲۲	۱۲۹
جدول ۱۹-۵: پراکندگی جوی محاسبه شده برای پنجره های 10×10 در باند سوم سنجنده MODIS در تاریخ ۸۲/۴/۲۲	۱۲۹

جدول ۵-۲۰: ضرایب همبستگی محاسبه شده بین باند سوم و هفتم سنجنده MODIS برای پنجره های ۵×۵ در تاریخ ۸۲/۴/۲۲.....	۱۳۲
جدول ۵-۲۱: پراکندگی جوی محاسبه شده برای پنجره های ۵×۵ در باند سوم سنجنده MODIS در تاریخ ۸۲/۴/۲۲.....	۱۳۳
جدول ۵-۲۱: ضرایب همبستگی محاسبه شده بین باند اول و هفتم سنجنده MODIS برای پنجره های ۱۰×۱۰ در تاریخ ۸۲/۵/۱۰.....	۱۳۵
جدول ۵-۲۲: انحراف معیار محاسبه شده برای پنجره های ۱۰×۱۰ در باند هفتم سنجنده MODIS در تاریخ ۸۲/۵/۱۰.....	۱۳۵
جدول ۵-۲۴: ضرایب همبستگی محاسبه شده بین باند اول و هفتم سنجنده MODIS برای پنجره های ۵×۵ در تاریخ ۸۲/۵/۱۰.....	۱۳۸
جدول ۵-۲۵: انحراف معیار محاسبه شده برای پنجره های ۵×۵ در باند هفتم سنجنده MODIS در تاریخ ۸۲/۵/۱۰.....	۱۳۹
جدول ۵-۲۶: پراکندگی جوی محاسبه شده برای پنجره های ۵×۵ در باند اول سنجنده MODIS در تاریخ ۸۲/۵/۱۰.....	۱۴۰
جدول ۵-۲۷: ضرایب همبستگی محاسبه شده بین باند سوم و هفتم سنجنده MODIS برای پنجره های ۱۰×۱۰ در تاریخ ۸۲/۵/۱۰.....	۱۴۱
جدول ۵-۲۸: پراکندگی جوی محاسبه شده برای پنجره های ۱۰×۱۰ در باند سوم سنجنده MODIS در تاریخ ۸۲/۵/۱۰.....	۱۴۱
جدول ۵-۲۹: ضرایب همبستگی محاسبه شده بین باند سوم و هفتم سنجنده MODIS برای پنجره های ۵×۵ در تاریخ ۸۲/۵/۱۰.....	۱۴۴
جدول ۵-۳۰: پراکندگی جوی محاسبه شده در باند سوم سنجنده MODIS برای پنجره های ۵×۵ در تاریخ ۸۲/۵/۱۰.....	۱۴۵
جدول ۵-۳۱: اندازه گیری های زمینی غلظت آئروسول ها در سه نقطه فاطمی و بازار و اقدسیه به صورت ساعتی بر حسب واحد $\mu\text{g}/\text{m}^3$	۱۵۱
جدول ۵-۳۲: مقادیر پراکندگی جوی برای تصاویری که در آنها حداقل برای دو نقطه از سه نقطه فاطمی، بازار، اقدسیه میزان پراکندگی جوی محاسبه شده اند.....	۱۵۲
جدول ۵-۳۳: مقادیر اندازه گیری های زمینی در زمان تصویر برداری با داشتن مقادیر قبل و بعد از تصویر برداری.....	۱۵۲
جدول ۵-۳۴: پارامترهای مداری لازم برای محاسبه زوایای زینیتی دید ماهواره.....	۱۵۵
فهرست اشکال	
شکل ۱-۲: نمایش شماتیک مخلوط های آئروسولی.....	۱۳
شکل ۲-۲: محدوده طیفی مطرح در اپتیک آئروسول ها بر حسب طول موج.....	۱۶
شکل ۲-۳: دسته اشعه تابشی تک رنگ.....	۱۸

- شکل ۲-۴: شارتابشی پراکنده شده از یک عنصر حجمی ۱۹
- شکل ۲-۵: برهم کنش تابش مستقیم با جو ۲۴
- شکل ۲-۶: تابش پخشیده ۲۵
- شکل ۲-۷: اتمسفر دارای لایه های موازی ۲۶
- شکل ۲-۸: پراکندگی درجه اول ۲۷
- شکل ۲-۹: سیستم زمین - اتمسفر ۲۹
- شکل ۲-۱۰: فوتون هائی که بدون تماس با زمین به سمت ماهواره پس پراکنده می شوند. ۳۱
- شکل ۲-۱۱: دسته اول فوتون های روشن کننده سطح هدف ۳۲
- شکل ۲-۱۲: دسته دوم فوتون های روشن کننده سطح هدف ۳۲
- شکل ۲-۱۳: دسته سوم فوتون های روشن کننده سطح هدف ۳۳
- شکل ۲-۱۴: هندسه تصویر برداری توسط ماهواره ۳۶
- شکل ۲-۱۵: شار مستقیم فرودی خورشید ۳۶
- شکل ۲-۱۶: قسمت اول رادیانس پخشیده فرودی خورشید ۳۶
- شکل ۲-۱۷: قسمت دوم شار پراکنده شده ۳۷
- شکل ۲-۱۸: رادیانس ذاتی اتمسفر ۳۷
- شکل ۲-۱۹: سهم محیط در فوتون های پراکنده شده به سمت سنجنده ۳۷
- شکل ۲-۲۰: ساختار تکه ای ۳۹
- شکل ۳-۱: میزان سهم پراکندگی جوی در ρ^* در طول موجهای کوتاهتر و مقادیر پایین بازتابندگی سطحی ۵۸
- شکل ۳-۲: نشانگر وجود وابستگی میان تغییرات بازتابندگی در باندهای قرمز و $3/75$ میکرومتر و شاخص گیاهی NDVI درمورد یک تصویر AVHRR بدون ابر در منطقه جنگلی آمازون. ۶۱
- شکل ۳-۳: فاکتور کارائی پراکندگی (Q_s) به صورت تابعی از پارامتر اندازه می (X) تغییر می کند (برای $n_r = 1/3$ و چهار مقدار ممکن n_i). ۶۲
- شکل ۳-۴: چهار تصویر سمت راست مربوط به یک روز نسبتاً تمیز در Virginia و تصاویر سمت چپ مربوط به روزی که دود منطقه Alta Floresta در برزیل را فرا گرفته، هستند. ۶۶
- شکل ۳-۵: رابطه بین بازتابندگی اهداف مخصوص ($\rho_{2.2 \leq 0.15}$) در باندهای مرئی و مادون قرمز میانی تصاویر سنجنده های TM و AVIRIS در تاریخ های مختلف ۶۸
- شکل ۳-۶: وابستگی فصلی بازتابندگی در باندهای مرئی و مادون قرمز میانی برای گونه های گیاهی و همچنین بهترین خطوط برازش داده شده در منطقه Charles County در دو تاریخ ۲۲ می و ۲۲ آوریل ۷۳
- شکل ۳-۷: مشتق جزئی $\partial \alpha / \partial \tau$ که بیانگر حساسیت بازتابندگی ظاهری نسبت به ضخامت نوری است. ۷۴

شکل ۳-۸: مشتق جزئی $\partial\alpha/\partial\rho$ که بیانگر حساسیت بازتابندگی ظاهری نسبت به بازتابندگی سطح است.	۷۴
شکل ۳-۹: عامل انتشار خطا (E) برای دو باند آبی و قرمز که تابعی از ضخامت نوری آئروسول و بازتابندگی سطحی است.	۷۷
شکل ۴-۱: سنجنده MODIS.	۹۴
شکل ۴-۲: اجزاء مختلف فایل‌های Level 1B با فرمت HDF.	۹۸
شکل ۴-۳: هندسه تابش خورشیدی روی سطح زمین.	۱۰۲
شکل ۴-۴: هندسه دید ماهواره.	۱۰۳
شکل ۵-۱: پلات نقطه ای رابطه میان باندهای ۲/۱۳۰-۰/۴۶۹ میکرومتر و ۲/۱۳۰-۰/۶۴۵ میکرومتر قسمتی از یک تصویر MODIS با ابعاد ۱۰۰×۹۰ پیکسل با توان تفکیک ۵۰۰ متر مربوط به منطقه تهران و اطراف آن.	۱۰۶
شکل ۲-۵: بیانگر میانگین‌های محلی مقادیر بازتابندگی در باندهای مرئی و مادون قرمز میانی برای خوشه‌های همگن با ابعاد ۵×۵ پیکسل تا ۱۰×۱۰ پیکسل برای تصویر در شکل ۵-۱.	۱۰۷
شکل ۳-۵: یک خوشه همگن با ابعاد ۱۰×۱۰ پیکسل از تصویر در شکل ۵-۱.	۱۰۸
شکل ۴-۵: بیانگر مثالی از برازش خط مستقیم به یک خوشه همگن با ابعاد ۱۰×۱۰ پیکسل از خوشه مرز پایینی تصویر نشان داده شده در شکل ۵-۱.	۱۰۹
شکل ۵-۵: تصویر سنجنده MODIS با ترکیب باندی ۱-۳-۴ در تاریخ ۸۱/۶/۱۹.	۱۱۰
شکل ۵-۶: پراکندگی جوی محاسبه شده برای پنجره‌های ۱۰×۱۰ در باند اول سنجنده MODIS در تاریخ ۸۱/۶/۱۹.	۱۱۲
شکل ۵-۷: پراکندگی جوی محاسبه شده برای پنجره‌های ۵×۵ در باند اول سنجنده MODIS در تاریخ ۸۱/۶/۱۹.	۱۱۶
شکل ۵-۸: پراکندگی جوی محاسبه شده برای پنجره‌های ۱۰×۱۰ در باند سوم سنجنده MODIS در تاریخ ۸۱/۶/۱۹.	۱۱۸
شکل ۵-۹: پراکندگی جوی محاسبه شده برای پنجره‌های ۵×۵ در باند سوم سنجنده MODIS در تاریخ ۸۱/۶/۱۹.	۱۲۱
شکل ۵-۱۰: تصویر سنجنده MODIS با ترکیب باندی ۱-۴-۳ در تاریخ ۸۲/۴/۲۲.	۱۲۲
شکل ۵-۱۱: پراکندگی جوی محاسبه شده برای پنجره‌های ۱۰×۱۰ در باند اول سنجنده MODIS در تاریخ ۸۲/۴/۲۲.	۱۲۴
شکل ۵-۱۲: پراکندگی جوی محاسبه شده برای پنجره‌های ۵×۵ در باند اول سنجنده MODIS در تاریخ ۸۲/۴/۲۲.	۱۲۵
شکل ۵-۱۳: پراکندگی جوی محاسبه شده در باند سوم سنجنده MODIS برای پنجره‌های ۱۰×۱۰ در تاریخ ۸۲/۴/۲۲.	۱۳۰

شکل ۵-۱۴: پراکندگی جوی محاسبه شده برای پنجره های ۵×۵ در باند سوم سنجنده MODIS در تاریخ ۸۲/۴/۲۲ ۱۳۱

شکل ۵-۱۵: تصویر سنجنده MODIS با ترکیب باندی ۱-۴-۳ در تاریخ ۸۲/۵/۱۰ ۱۳۴

شکل ۵-۱۶: پراکندگی جوی محاسبه شده برای پنجره های ۱۰×۱۰ در باند اول سنجنده MODIS در تاریخ ۸۲/۵/۱۰ ۱۳۶

شکل ۵-۱۸: پراکندگی جوی محاسبه شده برای پنجره های ۵×۵ در باند اول سنجنده MODIS در تاریخ ۸۲/۵/۱۰ ۱۳۷

شکل ۵-۱۹: پراکندگی جوی محاسبه شده برای پنجره های ۱۰×۱۰ در باند سوم سنجنده MODIS در تاریخ ۸۲/۵/۱۰ ۱۴۲

شکل ۵-۲۰: پراکندگی جوی محاسبه شده برای پنجره های ۵×۵ در باند سوم سنجنده MODIS در تاریخ ۸۲/۵/۱۰ ۱۴۳

شکل ۵-۲۱: مقایسه پراکندگی جوی محاسبه شده برای پنجره های با ابعاد ۱۰×۱۰ در دو باند آبی و قرمز در تاریخ ۸۱/۶/۱۹ ۱۴۸

شکل ۵-۲۲: مقایسه پراکندگی جوی محاسبه شده برای پنجره های با ابعاد ۵×۵ در دو باند آبی و قرمز در تاریخ ۸۱/۶/۱۹ ۱۴۸

شکل ۵-۲۳: مقایسه پراکندگی جوی محاسبه شده برای پنجره های با ابعاد ۱۰×۱۰ در دو باند آبی و قرمز در تاریخ ۸۲/۴/۲۲ ۱۴۹

شکل ۵-۲۴: مقایسه پراکندگی جوی محاسبه شده برای پنجره های با ابعاد ۵×۵ در دو باند آبی و قرمز در تاریخ ۸۲/۴/۲۲ ۱۴۹

شکل ۵-۲۵: مقایسه پراکندگی جوی محاسبه شده برای پنجره های با ابعاد ۱۰×۱۰ در دو باند آبی و قرمز در تاریخ ۸۲/۵/۱۰ ۱۴۹

شکل ۵-۲۶: مقایسه پراکندگی جوی محاسبه شده برای پنجره های با ابعاد ۵×۵ در دو باند آبی و قرمز در تاریخ ۸۲/۵/۱۰ ۱۴۹

شکل ۵-۲۷: مقایسه مقادیر پراکندگی جوی برای پنجره های ۵×۵ در باند اول (در واحد بازتابندگی) و میزان غلظت آئروسول ها در ساعت ۱۰:۵۶:۵۸ در تاریخ ۸۱/۶/۱۹ ۱۵۳

شکل ۵-۲۸: مقایسه مقادیر پراکندگی جوی برای پنجره های ۵×۵ در باند اول (در واحد بازتابندگی) و نیز میزان غلظت آئروسول ها در ساعت ۱۰:۵۶:۵۸ در تاریخ ۸۱/۶/۱۹ ۱۵۳

شکل ۵-۲۹: مقایسه مقادیر پراکندگی جوی در پنجره های ۵×۵ در باند اول (در واحد بازتابندگی) و نیز میزان غلظت آئروسول ها در ساعت ۱۰:۵۶:۵۸ در تاریخ ۸۲/۵/۱۰ ۱۵۴

شکل ۵-۳۰: تفاوت ضخامت نوری تصاویر سنجنده MODIS برای پنجره های ۱۰×۱۰ در باند قرمز در تاریخ ۸۱/۶/۱۹ و ۸۲/۵/۲۱ ۱۵۶

شکل ۵-۳۱: مقایسه تفاوت ضخامت نوری محاسبه شده برای پنجره های ۱۰×۱۰ و تفاوت اندازه گیری های زمینی غلظت آئروسول ها در ساعت ۱۰ در دو تاریخ ۸۱/۶/۱۹ و ۸۲/۵/۲۱ ۱۵۶