نخستین همایش بین المللی ایده های نوین در معماری، شهرسازی، جغرافیا و محیط زیست پایدار

The First International Conference on new ideas in architecture, urbanism, geography and environmental sustainability

1th

The first international conference on new ideas in architecture urbanism geography and environment sustainability.

HH-2016-1878366

پژوهشگر محترم

نوید پورمحمد، روزبه شاد، مرجان قائمی

گواهی می شود مقاله ارزشمند شما تحت عنوان:

"برآورد ذرات معلق با به کارگیری اطلاعات ماهواره ای"

در نخستین همایش بین المللی ایده های نوین در معماری، شهرسازی، جغرافیا و محیط زیست پایدار که در شهر مشهد برگذار گردید مورد پذیرش نهایی قرار گرفته است. همچنین مراتب سپاس و قدردانی خود را از همراهی شما ابراز داشته و موفقیت روزافزونتان را در تمام عرصه های زندگی از خداوند متعال خواستاریم.

سید علی محمودی
مدیر عامل شرکت ساج گستر کاسپین

نگار حسینیان
دبیر علمی همایش

رضا نوروزی
دبیر اجرائی همایش

همایش بین المللی ایده های نوین در معماری، شهرسازی، جغرافیا و محیط زیست پایدار

www.Paydarconf.ir
Info@Paydarconf.ir

November, 2016

اولین همایش بین المللی ایده های نوین در معماری شهرسازی جغرافیا و محیط زیست پایدار
1th The first international conference on new ideas in architecture urbanism geography and environment sustainability.

براورد ذرات معلق با به کارگیری اطلاعات ماهواره‌ای

نوید پور محمدی
دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور- دانشگاه فردوسی مشهد- مشهد- ایران
mahno@yahoo.com

روزبه شاد
استادیار گروه عمران- دانشکده‌ی مهندسی- دانشگاه فردوسی مشهد- مشهد- ایران
rouzbeh_shad@yahoo.com

مرجان قائمی
گروه عمران- دانشکده‌ی مهندسی- دانشگاه فردسی مشهد- مشهد- ایران

چکیده

امروزه یکی از مشکلات کلان شهرهای دنیا، بحث آلودگی هوا و صدماتی است که آن بر سلامتی و همچنین روان مردم دارد. معمولا ذرات معلق موجود در جو که اندازه‌ی آن‌ها بسیار کوچک هستند، به سادگی وارد سیستم تنفسی انسان شده و باعث آسیب آن خواهند شد. برارود ذرات معلق، به طور معمول با استفاده از ایستگاه‌های زمینی انجام می‌گیرد. که با توجه به هزینه‌ی ایجاد و دستگاه‌های مورد نیاز هزینه‌ی بالایی دارند از این رو تعداد این ایستگاه‌ها معمولا بسیار کم است. وجود اطلاعات ماهواره‌ای از جو، این امکان را فراهم ساخته است که با استفاده از آنها و بتوان ذرات معلق موجود در جو را پیش‌بینی کرد. AOD یکی از محصولات جوی سنسور مدیس می‌باشد که با استفاده از آن و همچنین به کارگیری اطلاعات ایستگاه‌های زمینی، می‌توان غلظت ذرات معلق را پیش‌بینی کرد. با این کار می‌توان در نواحی که ایستگاه‌های زمینی موجود نیستند نیز غلظت ذرات معلق را به دست آورد. همچنین به کارگیری اطلاعات ماهواره‌ای در پیش-بینی ذرات معلق، این امکان را فراهم آورده است که در هر مکان و در هر زمان بتوان ذرات معلق را پیش-بینی کرده و بعلاوه در هزینه‌ها بسیار صرفه‌جویی کرد. از این رو در این تحقیق، نحوه‌ی به کارگیری اطلاعات ماهواره‌ای و محصول AOD سنسور مدیس در براورد ذرات معلق مورد بررسی قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: AOD، ذرّات معلّق، مودیس.

۱. مقدمه

مشاهدات مربوط به ایستگاه‌های زمینی سنجش آلودگی، دارای دقّت بالایی هستند. امّا ، اندازه‌گیری‌ها تنها محدوده‌های اطراف ایستگاه‌ها را پوشش می‌دهند. همچنین تنها با اتّکا به مقادیر زمینی، مدل‌های پیچیده‌ی آلودگی هوا را که با در نظر گرفتن

مواردی مانند منبع، مسیر حرکت و خصوصیّات شیمیایی انواع آلودگی‌ها، حجم آلودگی در مناطق مختلف را برآورد می‌کنند، با مشکل مواجه می‌سازند. به منظور غلبه بر این مشکلات، لازم است که از روش‌های مبتنی بر داده‌های سنجش از دور کـه دارای قدرت تفکیک زمانی و مکانی قابل قبولی بوده و به عنوان مکمّل ایستگاه‌های زمینی محسوب می‌گردند، استفاده نمود.گسـترش روز افزون منابع آلوده کننده هوا و بالطّبع آن افزایش آلودگی، باعث ایجاد خسارات مالی و جانی فراوانی (از جمله بیمـاری‌هـای تنفسی مختلف) در کلان شهرها از جمله مشهد مقدّس شده است. لذا به منظـور کنتـرل و مـدیریت آلـودگی‌هـای مـذکور بـه تحقیق بیشتری در زمینه‌ی میزان آلودگی و چگونگی پراکنش مکانی آن نیاز است. علاوه بر این، تأسیس ایستگاه‌های زمینی بـا توجه به هزینه‌های زیادی که برای راه‌اندازی و نگهداری آن‌ها نیاز است، مقرون به صرفه نمی‌باشند. بنابراین تعداد ایستگاه‌هـای سنجش در سطح کلان شهرهایی همچون شهر مشهد، محدود می‌باشد. این در حالی است که روش‌های مبتنـی بـر سـنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای، از نظر مادّی و همچنین زمان محاسبات و برآورد مقادیر، مقرون به صرفه می‌باشند. به طور کلّی هدف اصلی از پژوهش حاضر را می‌توان به دست آوردن روشی مقرون به صرفه (از نظر مادّی و زمانی) برای بررسـی توزیـع مکـانی و چگونگی تغییرات ذرّات معلّق ریز (*PM2.5*) در محدوده کلان شهر مشهد، با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس مستقر بـر روی ماهواره ترا، بیان نمود. مضـر بـودن ذرّات گـرد و غبـار بـرای سـلامتی انسـان‌هـا توسـط محققـان زیـادی بـه اثبـات رسـیده است(*Adamson,1999*) ذرّات جامد معلّق در هوا یا ریزگردها به حدی کوچک هستند که بـه راحتـی توسـط دسـتگاه تنفسـی انسان‌ها جذب می‌شون(*Liu and Huza, 1995.*) این ذرّات بر اساس اندازه نام گذاری مـی‌شـوند. بنـابراین اصـطلاحات *PM*۱۰ و *PM*۲/۵ به ذرّاتی اطلاق می‌شوند که به ترتیب دارای ابعادی کوچکتر از ۱۰ و ۲/۵ میکرون باشـند. (*Krewski etal , 2000*) در شرایط معمولی، این ذرّات از طریق فعالیت‌های طبیعی مانند آتشفشان‌ها و آتش سوزی جنگل‌ها یا در اثر فعالیت هـای روزمـره انسانی مانند دود ناشی از حرکت وسایط نقلیه و صنایع ایجاد مـی‌گردنـد(*kaufman and boudcher, 2002.*) هـر یـک از ذرات مذکور به نوبه خود یکی از مشکلات اساسی شهرهای بزرگ به شمار می‌رود. گرد و غباری که هر ساله مناطق غربی کشور ایران را پوشش می‌دهند، منشأ خارجی داشته و ازکشورهایی نظیر عراق، سوریه و عربسـتان نشـأت مـی‌گیرنـد. اسـت (*Gupta et* al *2007*) . در سال ۲۰۰۸ کمپ نشان داد که شیب خط رگرسیونی به کار گرفته شده برای نمایش رابطه‌ی بین داده‌های حاصل از مودیس و ایستگاه‌های زمینی، در شرق سـیبری ۱/۵ برابـر بیشـتر از آمریکـای شـمالی مـی‌باشـد (*Kampe, 2007*) .زهـو و همکاران در سال ۲۰۰۵، در تحقیقی نشان دادند که پراکنش عمودی ریزگردها بستگی به پایین یا بالا بودن لایـه اتمسـفری در جو دارد. علاوه بر این مشخص گردید که در صورت پایین بودن لایه اتمسفری، ذرّات، متراکم شـده و پـراکنش آن هـا یکسـان است و برعکس در صورت بالا بودن لایه اتمسفری، ذرّات به طور نامنظمی پراکنش یافته و سنجنده مودیس عدد دقیقی را ثبت نمی‌نماید. همچنین، وضعیت جغرافیایی ایستگاه اندازه‌گیری نیز بایستی به نحوی باشد که تخمین مناسـبی از میـزان *PM10* در سطح منطقه ارایه گردد(*Zhou,etal,2005*) اخیراً غلظت بالای ذرّات معلّق موجود در هوا که از کشور عراق وارد مناطق غربـی و جنوب غربی ایران می‌شوند، سبب بروز نگرانی‌هایی شدیدی در رابطه با سلامت جامعـه شـده اسـت. طهماسـبی و همکـاران در سال ۱۳۸۸ به بررسی چگونگی وقوع طوفان گرد و غبار و فرسایش بادی در استان خوزستان پرداختنـد و عامـل اصـلی بـروز و وقوع گرد و غبار در نواحی جنوب غربی کشور را جریانات مربوط به وقوع طوفان در کشور عربستان و سپس جنوب عراق عنوان کردند(طهماسبی ،۱۳۸۸)رسولی و همکاران طی تحقیقی در سال ۱۳۸۹ نشان دادند که منطقه غـرب کشـور از لحـاظ فراوانـی وقوع پدیده گرد و غبار و چگونگی روند آن دارای نظام همگنی نیست، به طوری که از شـمال بـه جنـوب بـر فراوانـی وقـوع آن افزوده می‌شود و شرایط سینوپتیکی را عامل غالب در فراوانی وقوع این پدیده بیان کردند (رسولی و همکاران، ۱۳۸۹) . ذوالفقاری و همکاران در سال ۱۳۸۴ با استفاده از تحلیل سینوپتیک سیستم‌های گرد و غبار در غرب ایران نشـان دادنـد کـه خـرداد مـاه دارای بیشترین و آذر ماه دارای کمترین روزهای گرد و غبار بوده است(ذوالفقاری و عابدزاده،۱۳۸۴). عباس حجازی و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیقی یک مدل شبه تجربی با روش الگوریتم ژنتیک برای برآورد غلظت ذرّات معلّق در زمان عبـور مـاهواره و در مقیاس محلی معرفی نمودند. برای این کار از مقادیر تصحیح شده عمق اپتیکی (*AOD*) بدست آمده از تصاویر سنجنده مـودیس استفاده نمودند. بدین منظور *AOD* نسبت به رطوبت نسبی و ارتفاع اختلاط تصحیح شد. در نهایـت مـدل بـرای منطقـه تهـران

اعتبار سنجی شده و در نتیجه آن همبستگی قابل قبول (*R2*=۰.۵۱) با تغییرات غلظت ذرّات معلّق سطحی با انحراف معیاری معادل ۲۸ میکروگرم بر مترمکعب بدست آمد. در تصحیح *AOD* محدودیت هایی از قبیل ناکافی بودن ایستگاه های هواشناسی و تعیین تقریبی ارتفاع اختلاط وجود دارد که موجب ورود عدم قطعیت هایی به مدل می شود(حجازی، ۱۳۹۳).
قربانی در تحقیقی در سال ۱۳۹۰ ضریب همبستگی برآورد غلظت ذرّات معلّق برای شهر تهران در تحقیقات گذشته در حدود ۰/۵ تا ۰/۶ گزارش شده است(قربانی، ۱۳۹۰).

۲. روش‌های برآورد غلظت ذرّات معلّق جو با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

برای بررسی هواویزها و آلاینده‌های جوّی، به خصوص ذرّات معلّق موجود در جو (با منشأ طبیعی و انسان ساز)، روش‌های مختلفی وجود دارد.
یکی از معمول‌ترین پارامترها که برای این منظور استفاده می‌شود، عمق نوری هواویزها *AOD* می‌باشد. تحقیقات گذشته حکایت از موفقیت نسبی *AOD* در برآورد غلظت ذرّات معلّق دارد. با وجود موفقیت‌های استفاده از این روش، اما مشکلاتی هم همچون قدرت تفکیک‌های نا مناسب *AOD* های استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای در محیط‌های شهری و وابسته بودن مدل‌های موجود به شرایط منطقه‌ای، از محدودیت‌های استفاده از این روش‌ها در محیط‌های شهری می‌باشد(حجازی، ۱۳۹۱).
از روش‌های دیگر برآورد غلظت ذرّات معلّق، محاسبه بازتابندگی ذرّات معلّق هواویزه می‌باشد. در مدل هواویزه به صورت مستقیم بین مقدار بازتابندگی ذرّات معلّق و غلظت آن در جو ارتباط برقرار می‌گردد. از مزایای این روش می‌توان به قابل استخراج بودن هواویزه در قدرت تفکیک‌های مناسب برای محیط‌های شهری اشاره کرد(*Ling et al, 2007*)با استفاده از این روش به ضریب همبستگی ۰/۵۶ بین هواویزه و حجم ذرّات معلّق با قطر کمتر از ۱۰میکرومتر (*PM10*) در شهر پکن دست یافته است .

۲-۱. برآورد غلظت ذرّات معلّق با استفاده از پارامتر AOD

یکی از راه‌های تعیین عمق نوری هواویزها، استفاده از روش‌های سنجش از دور است. از آن جا که میزان جذب و پراکنش نور را می توان از مقدار کاهش شدت نور مستقیم خورشید تعیین کرد، مطابق آنچه که پیشتر ذکر شد؛ عمق نوری از روی طیف خورشیدی و با اندازه گیری مستقیم تابش به کمک دستگاه نورسنج خورشیدی (*Photometer Sun*) زمینی و یا با استفاده از بازتاب تابش سطحی دریافتی با حسگرهای ماهواره‌ای محاسبه می شود. این مقدار تا حدودی مشخص کننده کیفیت هوا است و در مقاصد تحقیقات آلودگی هوا کاربرد دارد. مقادیر بیشتر *AOD* بیانگر انباشت بیشتر هواویزها در ستون جو و در نتیجه دید افقی کمتر است (*Wang et al, 2003*)
AOD حاصل از تصاویر سنجنده *MODIS* نتیجه اندازه گیری ضریب تضعیف هواویز از سطح زمین تا ارتفاع بالای جو، برای یک طول موج ثابت در زمان گذر ماهواره است. *AOD* یک پارامتر کلیدی برای تخمین آلودگی جوی در مطالعات آلودگی هوا می باشد (*Liu et al, 2007*)
تحقیقات مختلفی با استفاده از *AOD* در برآورد غلظت ذرّات معلّق سطح زمین در نقاط مختلف جهان انجام شده است. در این تحقیقات از مدل‌های خطی بین *AOD* و غلظت ذرّات معلّق استفاده شده است.
تیان در سال ۲۰۱۰ از دو مدل برای پیش بینی غلظت ذرّات معلّق استفاده کرد. در مدل اول تنها از رگرسیون خطی بین مشاهدات *AOD* و غلظت ذرّات معلّق اندازه گیری شده در ایستگاه های زمینی استفاده کرده است. او در مدل دوم از یک رابطه شبه تجربی بین *AOD* محاسبه شده از تصاویر مودیس و اطلاعات هواشناسی زمینی و ماهواره‌ای استفاده کرد. گوپتا نیز با استفاده از *AOD* و مدلهای خطی به برآورد غلظت ذرّات معلّق با ابعاد کمتر از ۲,۵ میکرن پرداخته است .همچنین گروهی دیگر از مدل‌های غیر خطی استفاده کرده اند. گروهی از محققان همچون *Van Dankelaar* و *Wang*, نیز از روابط فیزیکی اقدام به برآورد غلظت ذرّات معلّق با استفاده از *AOD* کردند. این تحقیقات نشان دادند همبستگی نسبتاً قابل قبولی (۰/۴ تا r=۰/۹) بین

غلظت ذرّات معلّق و *AOD* وجود دارد. در حالی که تحقیقات مشابه در ایران دقت کمتری داشته و دارای ضریب همبستگی ۰/۵ تا ۰/۶ هستند . مباشری و همکاران از روش جداسازی طیفی داده های سنجنده مودیس در برآورد غلظت ذرّات معلّق استفاده نمودند. ایشان در تحقیقی دیگر از روش جداسازی سهم ذرّات معلّق در انرژی کل رسیده سنجنده، به محاسبه غلظت ذرّات معلّق پرداخته است. در این پژوهش از مقادیر *AOD* مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای به منظور برآورد غلظت ذرّات معلّق جو استفاده شده است.

تحقیقات نشان می‌دهند که چگونگی توزیع ارتفاعی ذرّات معلّق و رطوبت نسبی (*RH*) در برآورد *AOD* تأثیرگذار است. بنابراین اگر تنها از *AOD* در تعیین غلظت ذرّات معلّق سطح زمین استفاده شود، این برآورد با عدم قطعیت های فراوان روبه‌رو خواهد بود. از این رو بهتر است که تأثیر پارامترهای جوی در این برآورد لحاظ شود.

با توجّه به تأثیری که رطوبت نسبی و ارتفاع احتلاط (ارتفاع لایه‌ای از هوا که در آن لایه، هوا کاملاً مخلوط شده است) بر AOD می‌گذارد، رابطه زیر برای اعمال این تأثیر پیشنهاد شده است .

$$AOD^{*} = \frac{AOD}{f(humidity).BLH} \qquad (۱)$$

در این رابطه *BLH* ارتفاع اختلاط و *f(humidity)* تابعی براساس رطوبت نسبی جو است. این تصحیح، اثر بخار آب و ارتفاع را بر ضریب تضعیف تا حدودی تعدیل می‌کند. هنگامی که رطوبت هوا زیاد باشد، اندازه ذرّات معلّق به صورت نمایی افزایش می‌یابند و غلظت هواویزها نیز بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌شود.

f(humidity) توسط Hanel به صورت ذیل تعریف شده است:

$$f(humidity) = \frac{(1-RH)}{(1-RH_0)^{-g}} \qquad (۲)$$

در حالت کلی برای ضریب تجربی g عدد ۱/۰۴ در نظر گرفته می‌شود. رطوبت نسبی مبنا (RH0) براساس میانگین رطوبت نسبی منطقه در نظر گرفته می‌شود.

۲-۲. برآورد غلظت ذرّات معلّق با استفاده از مدل هواویزه

همانطور که ذکر شد، از روش‌های دیگر برآورد غلظت ذرّات معلّق، محاسبه بازتابندگی ذرّات معلّق هواویزه می باشد. در مدل هواویزه به صورت مستقیم بین مقدار بازتابندگی ذرّات معلّق و غلظت آن در جو ارتباط برقرار می‌گردد.

انرژی رسیده به سنجنده در بالای جو در تمامی طول موج‌ها از سه منبع سطح زمین، جو و هواویز نشأت می‌گیرد.

$$R(\theta) \approx R_m(\theta) + R_a(\theta) + R_s(\theta) \qquad (۳)$$

در این رابطه θ، $Rm(\theta)$، $Ra(\theta)$ و $Rs(\theta)$ به ترتیب زاویه پراکندگی، پراکندگی مولکولی (بازتابندگی جو)، بازتابندگی ناشی از هواویزها و بازتابندگی سطحی می‌باشد.

پراکندگی مولکولی با استفاده از روابط موجود قابل محاسبه است. اگر بتوان به طریقی سهم سطح زمین را در بازتابندگی کل رسیده به سنجنده محاسبه کرد، دستیابی به بازتابندگی ناشی از ذرّات معلّق امکان‌پذیر خواهد بود. بنابراین محاسبه بازتابندگی سطح از ضروریات اندازه‌گیری ماهواره‌ای هواویزها می‌باشد.

در طول موج ۲/۱۲ میکرومتر وجود هواویز و ذرّات معلّق تأثیر محسوسی بر مشاهدات ماهواره‌ای ندارد. به این ترتیب در این طول موج امکان محاسبه بازتابندگی سطحی وجود دارد. اما در طول موج ۰/۶۴۴ میکرومتر تاثیر ذرّات معلّق بر اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای محسوس می‌باشد. بنابراین اگر در این طول موج بازتابندگی سطح مشخص باشد، می توان بازتابندگی ناشی از ذرّات معلّق را برآورد کرد. براساس مشاهدات توسط محققان، یک ارتباط بین بازتابندگی سطح در طول موج ۰/۶۴۴ و ۲/۱۲ میکرومتر مشاهده شده است که با استفاده از آن میتوان بازتابندگی سطحی را در طول موج ۰/۶۴۴ میکرومتر محاسبه کرد .

۳. برآورد بازتابندگی ذرّات معلّق

مدل هواویزه بر اساس معادله (۴)نوشته می‌شود.

$$ACR_1 = \rho_1 - \rho_1^* - m_\lambda \quad (۴)$$

ρ_1^* ،ρ_1 و m_λ به ترتیب بازتابندگی سطح در طول موج ۰/۶۴۴ میکرومتر، بازتابندگی ظاهری در طول موج ۰/۶۴۴ میکرومتر و پراکنده‌سازی و جذب مولکولهای هوا می‌باشد. لازم به ذکر است که این رابطه در حالت جو پایدار صادق است. یک رگرسیون خطی بین هواویزه و غلظت ذرّات معلّق به صورت زیر خواهد بود.

$$ACR = K \times PM + b = \rho_1 - \rho_1^* - m_\lambda \quad (۵)$$

در این رابطه تمامی پارامترها به جزء m_λ در دسترس هستند. بنابراین رابطه به صورت زیر تبدیل می‌شود.

$$\rho_1 - \rho_1^* = K \times PM + (b + m_\lambda) \quad (۶)$$

در رابطه نهایی m_λ به عنوان یک پارامتر نامعین در معادله وجود دارد و ممکن است تأثیر منفی بر نتیجه رگرسیون بگذارد. به منظور بررسی چگونگی تأثیر مولکول‌های هوا بر مشاهدات و تأثیر نادیده گرفتن آن در یک محیط محدود مانند تهران بر روش هواویزه، از تئوری پراکنش ریلی استفاده شده است. عمق نوری پراکنش ریلی از رابطه محاسبه می‌شود.

پس از استخراج مقادیر *AOD* از تصاویر ماهواره‌ای، به منظور پیش بینی غلظت ذرّات معلّق توسط ماهواره، بین مقادیر مذکور و مقادیر اندازه‌گیری شده غلظت ذرّات معلّق (*PM2.5*) در ایستگاه‌ها، با استفاده از روابط خطی و غیر خطی ارتباط برقرار می‌شود و سپس همبستگی رابطه‌ی ایجاد شده، بررسی می‌شود. با توجه به ماهیت داده‌ها از همبستگی پیرسون استفاده می شود که فرمول آن به صورت ذیل است:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n} Y \cdot \hat{Y}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} Y^2 \sum_{i=1}^{n} \hat{Y}^2}} \quad (۷)$$

در روابط فوق، Y مقدار غلظت ذرّات معلّق اندازه گیری شده توسط ایستگاه‌ها و $\hat{Y}$ مقدار غلظت ذرّات معلّق محاسبه شده توسط روابط خطی و غیر خطی است.

۴. استخراج بازتابندگی سطحی

در استخراج پارامترهای جوی از سنجنده مودیس و یا هر سنجنده دیگری، چالش اصلی جداسازی سهم‌های بازتایندگی سطح، جو و هواویز از بازتابندگی کل می‌باشد. در سطوح اقیانوس و سطوح تیره در طول موج‌های قرمز و بالاتر، فرض ناچیز بودن بازتابندگی سطح تقریب خوبی می‌باشد . اما برای سطوح خشکی در طول موج‌های مرئی و مادون قرمز مقدار بازتابندگی از مقدار صفر فاصله گرفته و بر اساس نوع پوشش سطح، مقادیر متنوعی از بازتابندگی‌ها توسط سنجنده ثبت می‌گردد .

باید توجه داشت که خطایی کوچک در برآورد بازتابندگی سطح، موجب خطای زیادی در استخراج پارامترهای جوی میشود. به عنوان مثال خطایی در حد ۰/۱ در برآورد عمق نوری هواویز می‌شود. با این حساب دقت محصولات هواویزی سنجش از دور تا حد زیادی وابسته به دقت برآورد بازتابندگی سطح می‌باشد.

کافمن در سال ۱۹۹۷ با مشاهده بازتابندگی در سطوح پوشیده از گیاه و تیره به یک ارتباط بین بازتابندگی این سطوح در طول موج‌های مرئی و *SWIR* پی برد. با شبیه سازی مدل‌های گیاهی، مشخص شد دلیل این ارتباط جذب نور در ناحیه مرئی و تابش نور در طول موج‌های مادون قرمز در گیاهان می‌باشد بر اساس نتایج این تحقیق‌ها نسبت بازتابندگی‌ها در سطوح تیره یا پوشیده از گیاه در طول موج‌های ۰/۶۴۴ و ۲/۱۲ میکرومتر تقریباً مقداری ثابت است.

$$\rho^{s}_{0.66} \approx {}^{\rho_{2.12}}/_{2} \quad (۸)$$

در این رابطه $\rho^{s}_{0.66}$ و $\rho_{2.12}$ به ترتیب بازتابندگی سطح در طول موج ۰/۶۴۴ و بازتابندگی ظاهری در طول موج ۲/۱۲ میکرومتر می‌باشد. مقدار این نسبت برای سطوح روشن تر تغییر می‌کند.

بسیاری از پژوهشگران از جمله به بررسی ارتباط بین بازتابندگی سطحی در طول موج ۰/۶۴۴ و ۲/۱۲ میکرومتر بر اساس تغییرات پوشش گیاهی و تقسیم مناطق به شهری و غیر شهری پرداخته‌اند.

البته با توجه به پرهزینه بودن اندازه‌گیری بازتابندگی سطحی در طول موج ۰/۶۴۴ در سطح شهر، معمولا از روابط و معادلاتی که بدین منظور ارائه شده است، استفاده می‌شود.

۵. سنجنده MODIS

سنجنده مودیس (*MODIS: MODerate resolution Imagine Spectroradiometer*) بر روی ماهواره‌های ترا (*Terra*) و آکوآ (*Aqua*) نصب شده است. مودیس از جمله سنجنده های مطالعات منابع زمینی است که توسط سازمان فضایی ایالات متحده امریکا، ناسا (*NASA*) در دسامبر سال ۱۹۹۹ به فضا پرتاب شده است. زمان عبور ماهواره ترا در ساعت ۱۰:۳۰ صبح و آکوآ در ساعت ۱:۳۰ بعد از ظهر به وقت محلی می باشد. در این پژوهش از تصاویر سنجنده مودیس بر روی ماهواره ترا استفاده شده است.

۵-۱. اصول طراحی سنجنده مودیس

سنجندۀ مودیس دارای حساسیت رادیومتریکی بالا (۱۲ بیت) و در ۳۶ باند طیفی می باشد و دامنۀ طیفی آن از طول موجهای ۱۴/۴ – ۰/۴ میکرومتر می باشد که این امر م یتواند نیازهای کاربران مختلف را برطرف سازد. این سنجنده در ۲ باند طیفی تصاویر با قدرت تفکیک اسمی ۲۵۰ متر، در ۴ باند طیفی تصاویری با قدرت تفکیک اسمی ۵۰۰ متر و در ۲۹ باند دیگر نیز تصاویری با قدرت تفکیک ۱۰۰۰ متر برداشت می کند. به خاطر اینکه زاویه اسکن این سنجنده ۵۵ ± درجه بوده و در مدار ۷۰۵ کیلومتر از سطح زمین قرار دارد، پهنای نوارهای تصویربرداری این سنجنده ۲۳۳۰ کیلومتر می باشد و در نتیجه در هر یک یا دو روز، پوشش جهانی را فراهم می سازد.

مجموعۀ آینه اسکن این سنجنده، از یک آینه اسکن که به طور پیوسته به دو طرف می چرخد، استفاده می کند و سیستم عدسی این سنجنده نیز از یک تلسکوپ غیرکانونی دو آین های تشکیل شده است که انرژی را به چهار مجموعۀ انعکاس کننده هدایت می کند هر کدام از این مجموعه ها، یکی از نواحی طیف مرئی (*VIS*)، مادون قرمز نزدیک (*NIR*)، مادون قرمز با طول موج کوتاه (*SIR*) و یا مادون قرمز میانی (*MIR*) و مادون قرمز با طول موجهای بلند را می پوشانند و در کل دامنۀ طیفی ۱۴/۴ – ۰/۴ میکرومتر را پوشش می دهند. ابعاد این سنجنده ۱×۱/۶×۱ متر می‌باشد و وزن آن نیز ۲۲۸/۷ کیلوگرم می‌باشد.

۵-۲. کاربردهای داده‌های سنجندۀ مودیس

هدف از سنجندۀ مودیس، فراهم کردن یک سری جامع از مشاهدات جهانی از سطح زمین، اقیانوس‌ها و جو در نواحی مختلف طیفی می باشد به گونه ای که بتوان تمام سطح کرۀ زمین را در هر ۲ روز یک بار مشاهده نمود. در این جا کلمه‌ی «جامع» بیانگر وسیع بودن دامنۀ طیفی و کامل بودن پوشش مکانی می باشد. علاوه بر این، مودیس یک سنجندۀ کامل می باشد که اندازه گیری های آن در نواحی طیفی مختلف صورت می‌گیرد. مجموعه داده‌هایی که سنجندۀ مودیس جمع آوری می‌کند مشابه با سنجنده‌های *AVHRR* (مورد استفاده در هواشناسی و نمایش درجۀ حرارت سطح زمین – یخ – دریا و پوشش گیاهی) و *CZCS* (مورد استفاده در نمایش تودۀ گیاهی اقیانوس‌ها و الگوی جریانات اقیانوسی) می باشد. اما باید خاطر نشان ساخت که

سنجندۀ مودیس از لحاظ هندسه عدسی به گونه ای طراحی گردیده است که قابلیت‌های تمامی سنجنده‌های دیگر را دارا می باشد. اصطلاح «جامع بودن» نیز بیانگر طبیعت منحصر به فرد مشاهدات مودیس می باشد که برای مطالعات خشکی‌ها، اقیانوس‌ها و جو و همچنین روابط متقابل بین آنها مفید و لازم می‌باشد. به طور خلاصه، مودیس یک ابزار اصلی بر روی ماهواره های *EOS* جهت هدایت و انجام تحقیقات مربوط به تغییرات جهانی می باشد. با پرتاب مودیس، داده های بهتر و کاملتری جهت نمایش تغییرات سریع ایجاد شده در سطح زمین بدست آمدند. با استفاده از داده های مودیس می توان نقشه های پوشش گیاهی بهتری از سطح زمین تهیه کرد. با این نقشه ها می توان برآوردهای بهنگامی از توزیع انواع پوشش گیاهی در سطح زمین بدست آورد. همچنین، داده های مودیس در تشخیص و تعیین امراض پوشش گیاهی نیز کارآیی دارند. علاوه بر این، شدت تغییرات ایجاد شده در سطح زمین را نیز می توان با داده‌های مودیس تعیین کرد. برای مثال، با استفاده از این داده‌ها می توان وسعت و میزان خسارات ناشی از خشکسالی را تعیین کرد.

۵. نتیجه گیری

با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای همچون *GOES*، *MODIS* و*MISR* و داشتن اطلاعات مکان‌دار (قابل استفاده در *GIS*) از اطلاعاتی مانند فاصله راه‌های اصلی، تراکم جمعیت و متغیّرهای هواشناسی، می توان میزان میانگین ماهانه ذرّات معلّق را برآورد نمود. در دسترس بودن این داده‌ها در بهینه سازی مدل‌های هواشناسی و مطالعات مربوط به آلودگی هوا نقش بسیار مؤثری دارد.براساس تحقیقات انجام شده، سنجنده مودیس یکی از پرکابردترین و مناسب ترین سنجنده‌ها برای پایش آلودگی هوا و پیش بینی غلظت ذرّات معلّق می‌باشد. برای بررسی هواویزها و آلاینده‌های جوّی، به خصوص ذرّات معلّق موجود در جو (با منشأ طبیعی و انسان ساز)، با استفاده از ابزار سنجش از دور، روش‌های مختلفی وجود دارد. یکی از معمول‌ترین پارامترها که برای این منظور استفاده می‌شود، عمق نوری هواویزها *AOD* می‌باشد. تحقیقات گذشته حکایت از موفقیت نسبی *AOD* در برآورد غلظت ذرّات معلّق دارد.، در این مطالعه از تصاویر سنجنده مودیس و مقادیر *AOD* مستخرج از آن اقدام به برآورد غلظت ذرّات معلّق ریز (*PM2.5*) جو می‌شود. همچنین سعی می شود توزیع مکانی کیفیّت هوای شهر مشهد و میزان تأثیر کاربری شهری بر میزان آلودگی هوا، ناشی از وجود ذرّات معلّق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نیز مورد بررسی قرار گیرد. تحقیقات نشان می‌دهند، چگونگی توزیع ارتفاعی ذرّات معلّق و رطوبت نسبی (*RH*) در برآورد *AOD* تأثیرگذار است. بنابراین اگر تنها از *AOD* در تعیین غلظت ذرّات معلّق سطح زمین استفاده شود، این برآورد با عدم قطعیت های فراوان روبه‌رو خواهد بود. از این رو بهتر است که تأثیر پارامترهای جوی در این برآورد لحاظ شود. تحقیقات نشان می‌دهند، چگونگی توزیع ارتفاعی ذرّات معلّق و رطوبت نسبی (*RH*) در برآورد *AOD* تأثیرگذار است. بنابراین اگر تنها از *AOD* در تعیین غلظت ذرّات معلّق سطح زمین استفاده شود، این برآورد با عدم قطعیت های فراوان روبه‌رو خواهد بود. از این رو بهتر است که تأثیر پارامترهای جوی در این برآورد لحاظ شود.

بر اساس نتایج بررسی شده، پیشنهاد می شود:

با توجه به اهمیت و اثرات ذرّات *PM 2.5* و فلزات سنگین، در سال های آتی مطالعات و بررسی های بیشتری در مورد غلظت، اثرات و ارتباط آن با بیماری های به وجود آمده در طی دوره آلودگی صورت گرفته و راه کارهای کنترلی همچون مالچ پاشی، حذف دستگاه های فرسوده فعال از صنایع و حذف سرب از بنزین مورد ملاحظه قرار گیرد.

راه‌کارهایی به منظور افزایش کیفیت سیستم حمل و نقل عمومی سنجیده شود.ایجاد و تأمین فضای سبز مورد نیاز و افزایش سرانه‌ی فضای سبز درمناطق شهری، نقش موثری در کاهش و منترل آلودگی هوا خواهد داشت.استقرار مرکز معاینه فنی خودرو ها در منطقه می تواند در کنترل آلودگی، نقش به سزایی داشته باشد.

طرح ترافیکی : وجود طرح ترافیکی و طرح زوج و فرد در منطقه به خصوص در مناطق حساس که بیشتر معین شده اند می تواند عامل موثری در کاهش ترافیک و انتشار آلاینده ها باشد.

استقرار ایستگاه های ثابت سنجش آلودگی هوا در منطقه به منظور پایش و نظارت بر مقادیر مختلف آلاینده های هوا.

تأسیس شبکه ایستگاه‌های *AERONET* به منظور صحت سنجی مقادیر *AOD* مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای.

۶. منابع

۱. حجازی، . علیرضا. محمد، مباشری. احمد، احمدیان. (۱۳۹۳). " بهینه سازی یک مدل شبیه تجربی با استفاده از الگوریتم ژنتیک به منظور برآورد غلظت ذرات معلّق سطحی در شهر تهران با استفاده از داده های ماهواره ای و داده های هواشناسی. مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی. شماره ۲. تابستان ۱۳۹۳.

۲. حجازی، علیرضا. محمد.رضا، مباشری، احمد، احمدیان مرج، (۱۳۹۱). تهیه نقشه توزیع مکانی ذرات معلّق با قطر کمتر از دو نیم میکرومتردر هوای شهر تهران با استفاده از دادههای سنجنده مودیس. مجله تحقیقات کابردی علوم جغرافیایی، ۱۲ (۲۶): ۱۶۱-۱۷۸.

۳. خوش سیما، محمود، عادل، علی اکبری (۱۳۹۲). " تعیین عمق نوری هوایزها با استفاده از داده های دید افقی و سنجش از دور در دو منطقه شهری در ایران" مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۹. شماره۱، ۱۳۹۲. ص ۱۶۳- ۱۷۴

۴. ذوالفقاری، حسن، حامد، عابدزاده (۱۳۸۴)." تحلیل سینوپتیک سسیستم های گردو غبار در غرب ایران". مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۸، ص ۱۷۳-۱۸۷

۵. رسولی، عباس، بابک، ساری صراف. غلامحسین، محمدی. (۱۳۸۹)." تحلیل روند وقوع پدیده اقلیمی گرد و غبار در غرب کشور در ۵۵ سال اخیر با استفاده از روش‌های آمارهای ناپارامتری ". فصلنامه جغرافیای طبیعی، شماره نهم ، ص ۱۵-۲۸

۶. قربانی ،رحمان (۱۳۹۰) ا"عتبار سنجی داده های سنجنده مودیس در رابطه با آلودگیهای جوی در مناطق شهری". پایان نامه کارشناسی ارشد سنجش ازدور به راهنمایی دکتر محمدرضا مباشری ، دانشکده نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۷. طهماسبی بیرگانی، علی. غلامعلی، عبدی نژاد. بهرام، نوش آفرین. (۱۳۸۸). "بررسی چگونگی وقوع طوفان گرد و غبار و فرسایش بادی در استان خوزستان و راهکارهای مقابله با آن". مجله جنگل و مرتع شماره ۸۱ ، صص ۱۴-۲۹.

8. Adamson. H Prieditis. and Vincent, R (1999), "Pulmonary toxicity of an atmospheric particulate sample is due to the soluble fraction", Toxicology and Applied Pharmacology. 157: 43–50.

9. Gupta, P. Christopher, S.A. Box, M.A. and Box, G.P (2007), "Multiyear satellite remote sensing of particulate matter air quality over Sydney, Australia", International Journal of Remote Sensing. 20: 4483–4498.

10. J. Tian and D. Chen, (2010). A semi-empirical model for predicting hourly round-level fine particulate matter (PM2. 5) concentration in southern Ontario from satellite remote sensing and ground-based meteorological measurements. Journal of Remote Sensing of Environment,114: 221–229.

11. Kaufman, Y.J. Tanre, D. and Boucher, O. (2002), "A satellite view of aerosols in climate systems", Nature. 419: 215–223.

12. Krewski, D. Bumett, R.T. Goldberg, M.S. Hoover, K. Siemiatycki, J. Jerrett, M. Abrahamowicz, A. and White, W.H (2000), "Reanalysis of the Harvard Six Cities Study and the American Cancer Society Study of Particulate Air Pollution and Mortality", A Special Report of the Institute's Particle Epidemiology Reanalysis Project. Health Effects Institute, Cambridge MA pp. 273

13. Kampe, T.U (2008), "Data analysis from remote sensing to better constrain emission and transport of carbonaceous aerosol and carbon monoxide resulting from burning processes", PhD thesis, Colorado University, 272 pp.

14. Ling-jun, L., Y. Wang, Q. Zhang, T. Yu, Y. Zhao and J. Jin, (2007(Spatial distribution of aerosol pollution based on MODIS data over Beijing, China, Journal of Environmental Sciences 19955–960

15. Wang, J. and Christopher, S.A., (2003), "Inter comparison between satellite-derived aerosol optical thickness and PM 2.5 mass: Implication for air quality studies", Geophysical research letters. 30: 1-4.

16.Liu, Y,. Franklin, M., Kahn R (2007). Using aerosol optical thickness to predict groundlevel PM2.5 concentrations in the St. Louis area: A comparison between MISR and MODIS. Remote Sensing of Environment, 107, 33–44.

17. R, Liu. and M.A, Huza (1995), "Filtration and indoor air quality: A practical approach", ASHRAE Journal. 37: 18–23.

18. Zhou, L. Xu, X. Ding, G. Zhou, M. and Cheng, X., (2005), "Diurnal variations of air pollution and atmospheric boundary layer structure in Beijing during winter 2000/2001", Advances in Atmospheric Sciences. 22: 126–132.