اولین کنفرانس مهندسی فناوری اطلاعات مکانی
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی نقشه‌برداری
۲۹ و ۳۰ دی ماه ۱۳۹۴

The 1st National Conference on
Geospatial Information Technology
K.N.Toosi University of Technology
Faculty of Geomatics Engineering
19 - 20 January 2016

پهنه بندی NO2 جوی در شهرهای صنعتی با استفاده از تصاویر OMI و MODIS (مطالعه موردی: کلان شهر تهران)

ابوالفضل احمدیان مرج[۱*] محمدرضا مباشری[۲] ، علی‌اکبر متکان[۳]

۱- – **دانشجوی دکتری سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی**
۲- دانشیار گروه سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۳- دانشیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید بهشتی

چکیده :

جو سامانه گازی طبیعی پویا و پیچیده‌ای است که زندگانی در سیاره زمین به آن وابسته است. غلظت ذرات معلق موجود در جو از مهمترین شاخص‌های آلودگی هوا محسوب شده و به همین علت از توجه زیادی برخودار است. تهران یکی از آلوده‌ترین شهرهای جهان می‌باشد که عوامل متعددی در آلودگی هوای آن دخالت دارند. بنابراین تعیین مقدار آلودگی در مناطق مختلف شهر می‌تواند منجر به راهکارهایی جهت کاهش اثرات منفی آن شود. در حال حاضر تعیین مقادیر آلودگی هوا در سطح شهر با استفاده از ایستگاه‌های سنجش آلودگی صورت می‌گیرد. ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا مقادیر آلودگی را در محدوده ایستگاه با دقت بسیار خوب اندازه‌گیری می‌کنند. با وجود این به دلیل هزینه‌های بالای نصب و نگهداری ایستگاه‌ها، امکان نصب تعداد زیادی از آنها در سطح شهر وجود ندارد. همچنین در مناطقی که از ایستگاه‌ها فاصله دارند برای محاسبه میزان آلودگی نیاز به تخمین می‌باشد که با توجه به عوامل مختلف بوجود آوردنده آلودگی در سطح شهر، می‌تواند از دقت بالایی برخوردار نباشد. دی اکسید نیتروژن یکی از مهمترین اجزاء آلودگی هوا در کلان شهرها می‌باشد که در این پژوهش برای تعیین آن در سطح شهر با استفاده از سنجش از دور تلاش خواهد شد. برای این منظور از تصاویر سنجنده OMI که میزان این آلودگی را در مناطق مختلف ارائه می‌کنند استفاده شده است. این تصاویر مقادیر آلودگی را در پیکسل‌هایی با ابعاد بزرگ ارائه می‌کنند که برای مناطق شهری مناسب نمی‌باشد. در این پژوهش با استفاده همزمان از تصاویر OMI و MODIS ۵۰۰ متری و برقراری ارتباط بین بازتابندگی و میزان آلودگی، در نهایت تصاویر آلودگی در سطح شهر و برای روزهای مختلف بدست آمده است. همچنین با استفاده از تجمیع تصاویر بدست آمده در روزهای مختلف مناطق بحرانی و دارای آلودگی زیاد در سطح شهر مشخص گردید. در پایان به منظور ارزیابی نتایج بدست آمده از داده‌های ایستگاه‌های زمینی استفاده شده است

واژه‌های کلیدی : سنجش از دور، آلودگی هوا، دی اکسید نیتروژن.

نویسنده مکاتبه کننده : ابوالفضل احمدیان مرج
آدرس پستی : تهران، خیابان ولی عصر، تقاطع میرداماد غربی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری
تلفن : ۰۲۱-۸۸۷۷۰۲۱۳
آدرس پست الکترونیک : abolfazl_216@yahoo.com

۱- مقدمه

آلودگی هوا تغییر در ویژگی‌های طبیعی جو براثر مواد شیمیایی، غباری یا عامل‌های زیست‌شناختی است. بر اساس تعریف بهداشت عمومی، آلودگی هوا جزء عوامل برهم زننده تعادل جامعه و در نتیجه مخل بهداشت عمومی می‌باشد. وسایل نقلیه موتوری از جمله منابع مصنوعی اساسی آلوده کننده هوا هستند که شامل آلاینده‌هایی همچون دی-اکسیدنیتروژن که جزء مهمترین آلوده کننده‌های هوا است می‌شود. با توجه به اینکه آلودگی هوا تاثیر مستقیم بر روی سلامت انسان دارد پایش آن از جمله موارد مهم در مدیریت کلان شهرها می‌باشد. یکی از راه‌های اندازه‌گیری و پایش آلودگی هوا در شهرها نصب ایستگاه‌های مختلف آلودگی‌سنج در سطح شهر و در مناطق مختلف می‌باشد. از آنجائیکه نصب ایستگاه‌های زیاد در شهر و نگهداری آن‌ها نیازمند صرف هزینه‌های زیادی می‌باشد، این راهکار در مدیریت و پایش آلودگی زیاد مورد توجه نمی‌باشد. همچنین با وجود اینکه اندازه‌گیری‌های ایستگاه‌های زمینی آلودگی دارای دقت بالا هستند، اما ایستگاه‌ها دارای پخشی تنک و غیر همگن می‌باشند و اندازه‌گیری‌ها تنها برای محدوده‌های اطراف آنها معتبر می‌باشد [۱]. بنابراین روش‌هایی که بتوانند با صرف هزینه کمتر میزان آلودگی را در نقاط مختلف شهر تعیین نمایند، می‌توانند به پایش آلودگی کمک بسزایی نمایند. بنابراین استفاده از روش سنجش از دور با توجه به هزینه‌های پایین آن در مقایسه با روش‌های دیگر در این زمینه ضروری و لازم به نظر می‌رسد.

از آنجائیکه دی اکسید نیتروژن یکی از مهمترین اجزاء آلودگی هوا در کلان شهرها می‌باشد در این پژوهش برای تعیین آن در سطح شهر با استفاده از سنجش از دور تلاش خواهد شد. تصاویر OMI بصورت روزانه تصاویر آلودگی NO2 را برای مناطق مختلف تولید می‌کنند. این تصاویر دارای قدرت تفکیک مکانی پایین می‌باشند (۰/۲۵ درجه) و برای مناطق شهری قابل استفاده نمی‌باشد. در این پژوهش سعی در برقراری ارتباط بین این تصاویر و تصاویر MODIS می-باشد. با توجه به قدرت تفکیک مکانی بالاتر تصاویر MODIS در صورت برقراری این ارتباط، امکان پایش آلودگی در مناطق شهری فراهم خواهد شد.

۲- پیشینه پژوهش

با توجه به قدرت تفکیک مکانی پایین تصاویر OMI استفاده از این تصاویر برای مناطق شهری که دارای وسعت زیاد نمی‌باشند، مناسب نیست. بنابراین از این تصاویر بیشتر برای بررسی در مناطق وسیع استفاده می‌شود. عمده کارهای صورت گرفته بر روی این تصاویر در مناطق شهری مربوط به ارزیابی نتایج در مناطق شهری که وسعت زیادی دارند، می‌شود.

ارزیابی NO2 ستونی بدست آمده از OMI با استفاده از ترکیب مشاهدات زمینی و داده‌های اخذ شده توسط هواپیما (هوابرد) توسط Lamsal و همکاران در سال ۲۰۱۴ برای چندین منطقه مختلف صورت گرفت [۲]. با وجود پیچیدگی زیاد در ارزیابی داده های ماهواره‌ای بدست آمده، مشخص گردید NO2 ستونی بدست آمده با مجموعه‌ای از داده‌های زمینی مشاهده شده ارتباط دارد.

الگوریتم عملیاتی بدست آوردن NO2 از طریق تصاویر OMI توسط .Eric J و همکاران در سال ۲۰۰۶ شرح داده شده است [۳]. در این الگوریتم از روش DOAS[1] استفاده می‌گردد که با استفاده از داده‌های زمینی و اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای صورت می‌گیرد. در این روش از جذب NO2 در محدوده ۴۰۰ تا ۴۵۰ نانومتر (که سایر جذب کننده جذب کمتری در این محدوده دارند) استفاده می‌شود. در نهایت مشخص گردیده است که به منظور دستیابی به نتایج دقیق‌تر در محاسبه NO2 ، استفاده از یک شبکه‌بندی سالیانه میانگین در پروفایل‌های تروپوسفریک NO2 و یک پروفایل استراتوسفریک میانگین نیاز می‌باشد.

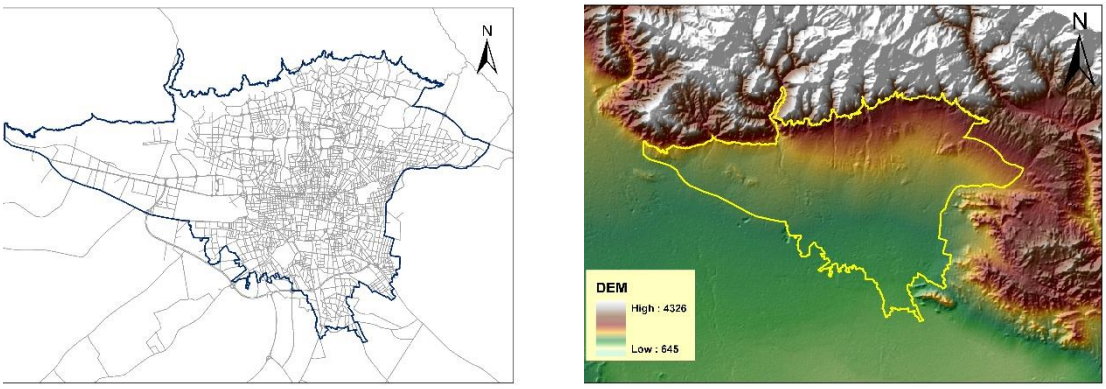
[1] Differential Optical Absorption Spectroscopy

در پژوهش دیگری در سال ۲۰۱۲ .Matthew J و همکاران به مقایسه داده‌های ماهواره ای و زمینی بدست آمده برای NO2 پرداختند [۴]. برای این منظور از ۴۱۳۸ سری داده مربوط به ۲۵ ایستگاه در ایالت کالیرفنیا در سال ۲۰۰۵ استفاده شد. هدف آنها تعیین یک ضریب مقیاس با استفاده از ارتباط بین اندازه‌گیری های ماهواره‌ای و غلظت سطحی آلودگی بود. پس از این مقایسه آنها به این نتیجه رسیدند که با استفاده از تصاویر OMI می‌توان غلظت NO2 را در سطوح پایین بدست آورد و این داده‌ها می‌توانند ابزاری مفید برای بررسی آلودگی NO2 در مناطق مختلف شهری باشند.

در کار دیگری که توسط C.Popp و همکاران در سال ۲۰۱۲ انجام شد، تولید نقشه‌های با قدرت تفکیک مکانی بالا از چگالی ستونی عمودی NO2 با استفاده از طیف سنج هوایی APEX[۲] صورت گرفت [۵]. در این پژوهش از داده‌های هوابرد شهر زوریخ در سوئیس در دو نوبت صبح و عصر و در یک روز تابستانی آفتابی و بدون ابر استفاده شد. استفاده از داده‌های این طیف سنج به منظور پیدا کردن منبع آلودگی، تولید ورودی برای مدل انتشار آلودگی و برقراری ارتباط بین اندازه‌گیری‌های زمینی و ماهواره‌ای مفید می‌باشد. در نهایت مشخص گردید مناطق مرکزی شهر، اطراف فرودگاه و منطقه سوزاندن زباله‌ها بعنوان مناطق با آلودگی زیاد NO2 می‌باشند.

۳- منطقه مورد مطالعه و داده ها

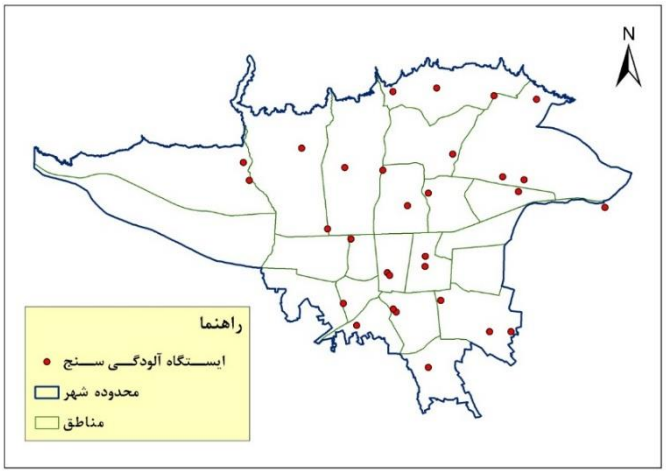
کلان شهر تهران یکی از آلوده‌ترین شهرهای جهان می‌باشد و عوامل متعددی در آلودگی آن دخالت دارند که در بین آنها عوامل جغرافیایی از اهمیت بیشتری برخوردارند. شهر تهران با مساحتی حدود ۸۰۰ کیلومتر مربع در دامنه جنوبی رشته کوه البرز و در یک محیط نیم بسته قرار دارد. وجود شرایط وارونگی دمایی فراوان و استقرار مداوم سیستم‌های پر فشار در طول سال همه از ویژگی‌های طبیعی منطقه هستند که نمی‌توان آنها را تعدیل کرده و یا از بین برد. از طرف دیگر عوامل انسانی مانند جمعیت زیاد و استقرار زیاد کارخانه‌ها در سطح شهر و بویژه در غرب و جنوب غرب آن میزان آلودگی شهر را دوچندان می‌کنند [۶]. با توجه به موارد ذکر شده کلان‌شهر تهران بعنوان محدوده مطالعاتی انتخاب گردید (شکل ۱).



شکل ۱. مدل رقومی ارتفاعی شهر تهران (سمت راست) – نقشه راه های شهر تهران (سمت چپ)

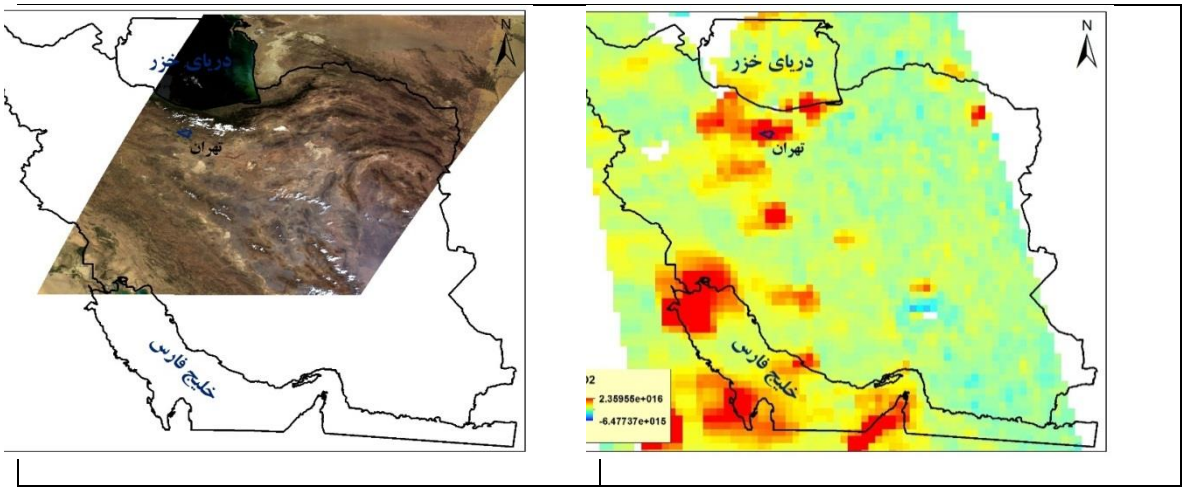
داده‌های مورد استفاده در این پژوهش به دو بخش داده‌های زمینی و داده‌های ماهواره‌ای تقسیم می‌شود. داده‌های زمینی شامل داده‌های آلودگی هوا اندازه گیری شده در ایستگاه های سنجش آلودگی در سطح شهر، مدل رقومی ارتفاعی (DEM)، داده های هواشناسی و همچنین نقشه‌های بزرگ مقیاس موجود از شهر می‌باشد (شکل ۲).

[2] Airborne Prism EXperiment



شکل ۲ : موقعیت ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا در سطح شهر تهران

داده‌های ماهواره‌ای نیز شامل تصاویر OMI (برای NO2) و MODIS می‌باشد. سنجنده OMI بر روی ماهواره Aura قرار دارد که به منظور مطالعه جو طراحی شده است [۲]. ماهواره در یک مدار خورشید آهنگ قرار دارد و لحظه گذر آن ساعت ۱۳:۴۵ به وقت محلی می‌باشد. OMI یک سیستم تصویربرداری طیفی است که پراکنش نور اتمسفر و سطح زمین را در دو محدوده طیفی شامل ۳۶۵-۲۷۰ نانومتر و ۵۰۰-۳۵۰ نانومتر اندازه‌گیری می‌کند. تصاویر OMI بصورت روزانه و با قدرت تفکیک مکانی ۲۴*۱۳ کیلومتر مربع در نادیر اخذ می‌شوند. این تصاویر برای پایش چندین گاز مهم موجود در جو از جمله NO2، ازن، فرمالدئید، دی اکسید کلر و منوکسید برم استفاده می‌شوند. تصاویر MODIS نیز بصورت روزانه در ۳۶ باند و با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ ، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر اخذ می‌شوند، در این پژوهش از تصاویر ۵۰۰ متری آن که در ۷ باند می‌باشد استفاده می‌شود. در این پژوهش از تصاویر ۲۳ روز مختلف که در سال ۲۰۱۰ اخذ شده‌اند، استفاده شده است.

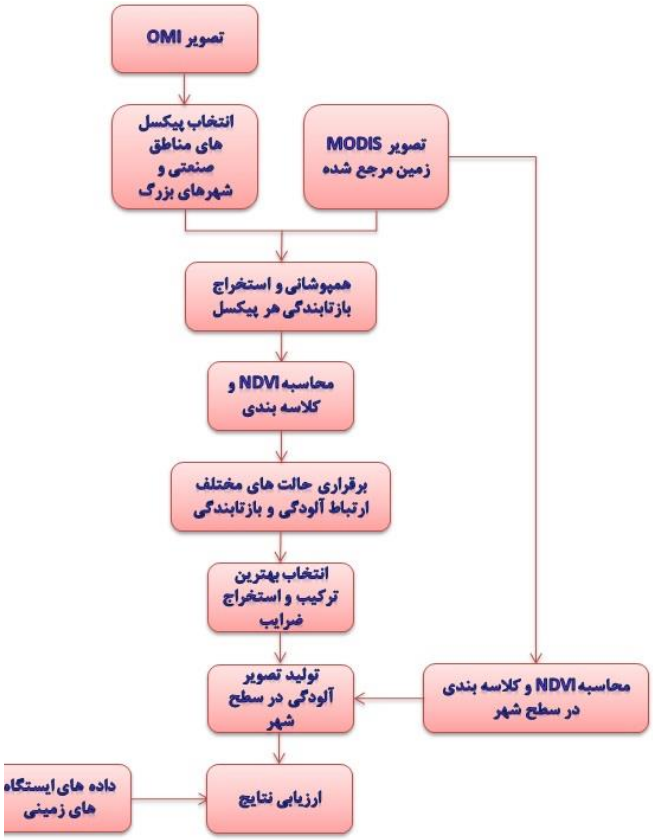


شکل ۳ : تصویر NO2 سنجنده OMI (سمت راست) – تصویر MODIS (سمت چپ)

۴- روش انجام پژوهش

همانگونه که در بخش‌های قبل توضیح داده شد هدف از انجام این پژوهش تعیین میزان آلودگی NO2 در سطح شهر می‌باشد. برای این منظور ابتدا سعی در برقراری ارتباط بین تصاویر OMI و MODIS خواهد شد و سپس از طریق تصاویر MODIS آلودگی در سطح شهر بدست خواهد آمد. فرض اساسی در انجام این پژوهش این است که آلودگی هوا اثر متفاوتی بر روی بازتابندگی سطوح مختلف دارد. برای این منظور همانگونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود ابتدا

تعدای از پیکسل‌های OMI که مربوط به مناطق صنعتی و بعضی از شهرهای بزرگ (کـه دارای آلـودگی هـوا) هسـتند، انتخاب می‌شوند. با همپوشانی این پیکسل‌ها و تصاویر MODIS، بازتابندگی هـر پیکسـل در بانـدهای مختلـف بدسـت خواهد آمد. در مرحله بعد با استفاده از شاخص NDVI کلاسه بندی پیکسل‌ها انجام خواهد شد و سپس بـا اسـتفاده از ترکیب‌های مختلف معادله-باند ارتباط مورد بررسی قرار می‌گیرد. حال بهترین ترکیب برای هر کـلاس بدسـت آمـده و ضرایب مربوطه استخراج می‌گردد. در مرحله بعد کار به سطح شهر تعمـیم داده مـی‌شـود و بـا اسـتفاده از بازتابنـدگی پیکسل‌های MODIS ابتدا کلاسه بندی صورت گرفته و سپس با استفاده از رابطه بهینه هر کلاس میزان آلودگی در آن پیکسل محاسبه می‌گردد. در انتها نیز به منظور ارزیابی نتایج بدست آمده میزان آلودگی بدست آمـده بـا مقـادیر ثبـت شده در ایستگاه‌های زمینی سنجش آلودگی مورد مقایسه قرار خواهند گرفت.

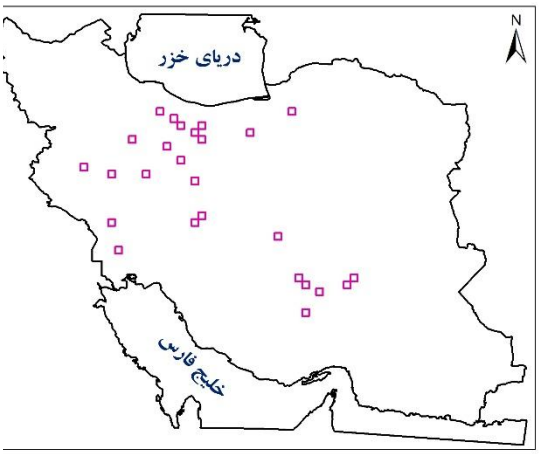


شکل ۴. روندنمای انجام پژوهش

۴-۱- کلاسه بندی تصویر OMI

با توجه به هدف این پژوهش که تعیین آلودگی در سطح شهر می‌باشد در اولین مرحله اقدام به تعیین پیکسل‌هـایی در تصویر OMI گردید که در مناطق صنعتی و یا شهرهای بزرگ قرار گرفته‌اند (شـکل ۵). از ایـن پیکسـل‌هـا بـه منظـور ساخت مدل ارتباط بین آلودگی و بازتابندگی استفاده خواهد شد. پس از انتخاب پیکسل‌ها به منظور تعیین بازتابنـدگی در هر کدام از پیکسل‌ها، همپوشانی تصاویر OMI و MODIS در روزهای مختلف صورت گرفـت. از آنجائیکـه ابعـاد هـر پیکسل OMI چندین برابر پیکسل‌های MODIS می‌باشد میانگین بازتابندگی پیکسل‌هایی کـه در یـک پیکسـل OMI قرار گرفته اند، بعنوان بازتابندگی آن پیکسل در باندهای مختلـف در نظـر گرفتـه شـد (شـکل ۶). حـال بـا اسـتفاده از بازتابندگی بدست آمده برای هر پیکسل اقدام به محاسبه شاخص NDVI شد و بـرای کلاسـه‌بنـدی پیکسـل‌هـا از ایـن شاخص استفاده گردید. با توجه به اینکه پیکسل‌های ۵۰۰ متری در سطوح شـهری عمـدتاً دارای مقـادیر مثبـت بـرای شاخص NDVI هستند، بنابراین کلاسه بندی برای مقادیر مثبت این شاخص انجـام گرفـت. در ایـن پـژوهش شـاخص

NDVI به ۵ قسمت (بصورت ۰/۰۵-۰، ۰/۱-۰/۰۵، ۰/۱۵-۰/۱، ۰/۲-۰/۱۵ و بیشتر از ۰/۲) تقسیم بندی شد که بر اساس آن پیکسل‌ها در ۵ کلاس مختلف قرار گرفتند.



شکل ۵ : پیکسل‌های انتخابی OMI (مناطق صنعتی و شهرهای بزرگ)

شکل ۶ : همپوشانی یک پیکسل OMI و تصویر MODIS ۵۰۰ متری

۲-۴- برقراری ارتباط بین آلودگی OMI و بازتابندگی

برای برقراری ارتباط بین بازتابندگی در پیکسل‌های OMI و مقدار آلودگی در آنها از بازتابندگی میانگین بدست آمده برای پیکسل‌ها در مرحله قبل استفاده شد. در این پژوهش سعی در استفاده همزمان از ۲ باند برای برقراری ارتباط بازتابندگی و آلودگی شده است. بنابراین از رابطه زیر برای این منظور استفاده شده است.

$$W_{OMI} = A * \alpha + B * \beta + \gamma$$

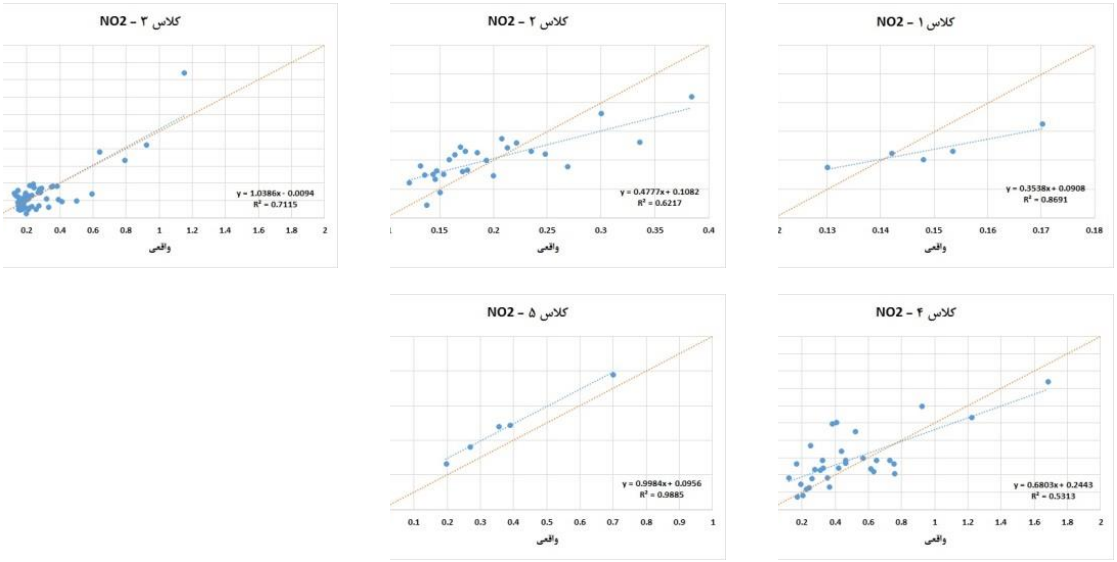
در این رابطه W میزان آلودگی و A و B مقادیری بدست آمده از بازتابندگی پیکسل می‌باشد. در واقع مقادیر A و B ترکیبی از معادله-باندهای مختلف می‌باشند که بصورت معادلات مختلف در ۷ باند MODIS در نظر گرفته خواهند شد که برای بدست آوردن آنها از روابط گوناگون بین ۲ باند مختلف استفاده خواهد شد. برخی از روابط استفاده شده در این حالت به شرح زیر می‌باشد:

$$B1+B2\,,B1-B2\,,B1*B2\,,\frac{B1}{B2},\frac{B1-B2}{B1+B2},\ldots$$

که B1 و B2 در معادلات فوق بازتابندگی در ۲ باند مختلف می‌باشد. حل معادلات بالا بدین صورت است که ابتدا برای مقادیر A و B ترکیب‌های مختلف معادله-باند در نظر گرفته می‌شود و سپس در معادله اصلی جایگزاری می‌گردند. برای مثال برای هر کدام از روابط فوق با در نظر گرفتن ۷ باند، ۲۱ حالت مختلف بدست خواهد آمد. همچنین مقادیر بدست آمده از تصاویر OMI بعنوان آلودگی پیکسل در نظر گرفته می‌شوند. حال با حل معادلات مقادیر $\alpha\,,\beta\,,\gamma$ بدست می‌آیند. از آنجاییکه به تعداد ترکیب‌های مختلف معادله-باند که در نظر گرفته می‌شود، مقادیر متفاوت برای ضرایب بدست می‌آید که در مرحله بعد سعی در بدست آوردن بهترین حالت برای آنها می‌گردد. برای این منظور از بخشی از داده‌ها که در مدلسازی استفاده نشده است به منظور تست مدل استفاده خواهد شد.

با توجه به کلاسه بندی پیکسل‌ها در مرحله قبل حل معادله برای هر کلاس بصورت مجزا صورت خواهد گرفت و در نهایت برای هر کلاس بهترین ضرایب تعیین خواهد شد. در این خصوص لازم به ذکر است به منظور انتخاب بخشی از داده ها برای مدلسازی در هر کلاس، ابتدا داده‌ها بر اساس میزان آلودگی بصورت نزولی مرتب شد و سپس نسبت به انتخاب داده‌های مدل و تست اقدام گردید. دلیل این امر استفاده از تمام محدوده آلودگی برای مدلسازی و تست مدل می‌باشد.

پس از حل معادله در حالت‌های مختلف به منظور تعیین بهترین حالت از داده‌های تست استفاده گردید. بدین صورت که در هر پیکسل مقادیر تصویر OMI بعنوان میزان واقعی آلودگی، با مقادیر بدست آمده از مدل مورد مقایسه قرار گرفت. در این حالت پارامترهایی از قبیل RMSE ، RSQUARE ، خطای نسبی و شیب خط برازش داده شده محاسبه و با در نظر گرفتن همزمان این پارامترها بهترین حالت (ترکیب معادله-باند) انتخاب گردید. با توجه به اینکه مدلسازی برای کلاس‌های مختلف بصورت مجزا انجام شده است لذا برای هر کلاس یک ترکیب باند-معادله بدست آمد. مقادیر بدست آمده برای ضرایب مقادیر ثابت می‌باشند و با استفاده از بازتابندگی و ترکیب معادله-باند معادله مربوطه مقدار آلودگی در پیکسل‌های دیگر قابل محاسبه می‌باشد.



شکل ۷ : بهترین ترکیب‌های معادله-باند برای کلاس‌های مختلف

جدول ۱ : بهترین ترکیب معادله باند بدست آمده برای کلاس‌های مختلف

NDVI Class	A			B			RSQ	RMSE
	Band1	Band2	EQ1	Band1	Band2	EQ2		
1	2	7	log(B1+B2)./log(B1-B2)	3	6	exp(B1./B2)	0.87	0.01
2	5	7	(B1-B2)./(B1+B2)	6	7	log(B1+B2)./log(B1-B2)	0.62	0.05
3	1	4	(B1-B2)./(B1+B2)	1	4	log(B1-B2)./log(B1+B2)	0.71	0.13
4	1	4	log(B1+B2)./log(B1-B2)	2	3	log(B1+B2)	0.53	0.27
5	2	7	B1+B2	2	7	log(B1+B2)./log(B1-B2)	0.99	0.10

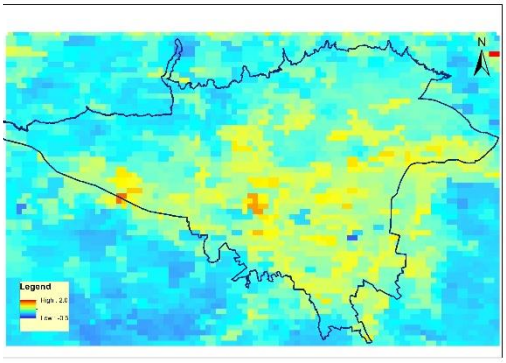
۴-۳- تولید تصویر آلودگی در سطح شهر

ضرایب بدست آمده در مرحله قبل مقادیر ثابت می‌باشند که با استفاده از آنها و ترکیب معادله-باند مربوطه می‌توان مقدار آلودگی را در پیکسل‌های دیگر محاسبه کرد. بنابراین برای تولید تصویر آلودگی در سطح شهر (در ابعاد ۵۰۰ متر) ابتدا لازم است کلاسه بندی پیکسل با استفاده از شاخص NDVI انجام گیرد. سپس برای محاسبه آلودگی در هر پیکسل بسته به اینکه پیکسل در کدام کلاس قرار دارد از ترکیب باند-معادله و ضرایب بدست آمده برای آن استفاده شده و مقادیر آلودگی در پیکسل محاسبه می‌گردد. بنابراین تصویر آل ضودگی در روزهای مختلف در سطح شهر با استفاده از این مدل بدست می‌آید.

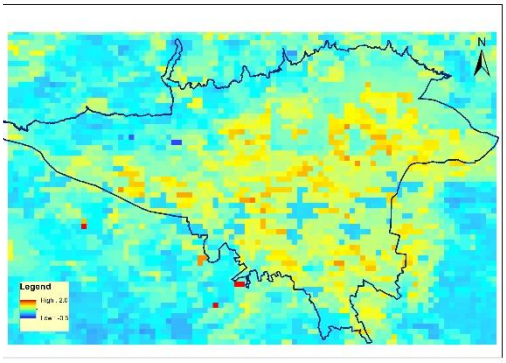
۵- نتایج

تعیین آلودگی هوا در سطح شهر با توجه به اهمیت آن بر سلامتی انسان از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. یکی از روش‌های تعیین آلودگی استفاده از سنجش از دور می‌باشد. از آنجاییکه تصاویر سنجش از دوری که میزان آلودگی هوا را نشان می‌دهند دارای قدرت تفکیک مکانی بالا هستند، مناطق وسیعی از شهر در یک پیکسل قرار گرفته و امکان تعیین آلودگی در ابعاد کوچک وجود ندارد. در این پژوهش سعی شد با استفاده همزمان از تصاویر OMI و MODIS میزان آلودگی در ابعاد کوچکتر در سطح شهر تعیین گردد. در شکل ۸ تصاویر آلودگی در سطح شهر تهران در روزهای مختلف و در ابعاد پیکسل ۵۰۰ متری مشاهده می‌شود.

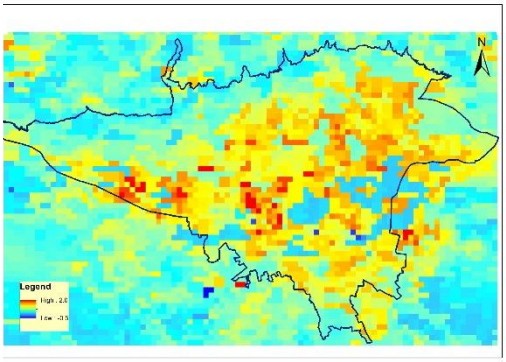
تصاویر نشان داده شده مربوط به میزان NO2 در سطح شهر تهران برای چند روز مختلف در سال ۲۰۱۰ می‌باشد. مناطق قرمز رنگ دارای مقادیر بیشتر NO2 و مقادیر آبی رنگ دارای مقادیر کمتر می‌باشند. همانگونه که مشاهده می-شود آلودگی NO2 در دو تصویر اول مقدار کمتر و در دو تصویر بعدی دارای مقدار بیشتری می‌باشد. برای بررسی دقت تصاویر بدست آمده از داده‌های ایستگاه‌های زمینی استفاده گردید. برای این منظور موقعیت ایستگاه‌های زمینی و میزان آلودگی آنها در روی تصویر مشخص گردید (شکل ۹).



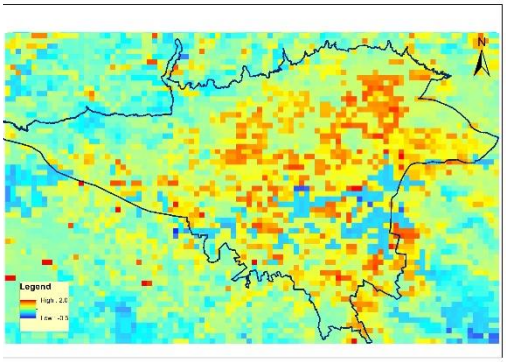
الف – ۲۰۱۰/۱۰/۱۵



ب – ۲۰۱۰/۱۰/۲۹



پ – ۲۰۱۰/۱۱/۰۷

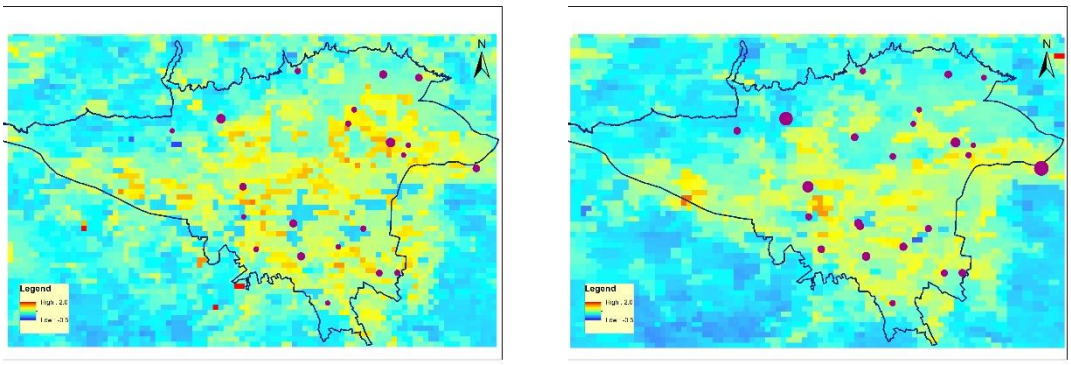


ت – ۲۰۱۰/۱۱/۱۷

شکل ۸ : تصویر آلودگی هوای NO2 در سطح شهر تهران در روزهای مختلف

همانگونه که مشاهده می‌شود در ایستگاه‌های زمینی نیز برای روزهایی که تصاویر مقدار آلودگی کم را نشان می‌دهند مقادیر کمتر و برای روزهایی که تصاویر مقدار آلودگی بیشتری را نشان می‌دهند مقادیر بیشتر ثبت شده است.

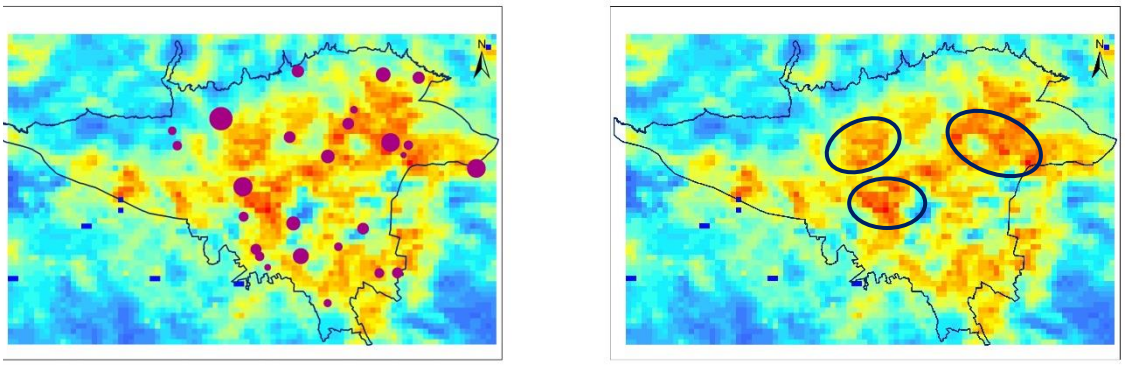
همچنین به منظور تعیین مناطق آلوده از تجمیع تصاویر بدست آمده در روزهای مختلف استفاده شد و برای بررسی این مناطق همزمان از تجمیع مقادیر ثبت شده در ایستگاه‌های زمینی در روزهای معادل تصاویر استفاده گردیده است (شکل ۱۰). همانگونه که در شکل نیز مشخص است چندین منطقه بعنوان مناطق آلوده در سطح شهر مشخص گردیده است که ایستگاه‌های زمینی نیز این مناطق را بعنوان مناطق آلوده نشان می‌دهند.



الف – ۲۰۱۰/۱۰/۱۵ ب – ۲۰۱۰/۱۰/۲۹

پ – ۲۰۱۰/۱۱/۰۷ ت – ۲۰۱۰/۱۱/۱۷

شکل ۹ : مقایسه داده‌های ایستگاه‌های زمینی و تصویر بدست آمده NO2 در روزهای مختلف



شکل ۱۰ : مناطق با آلودگی زیاد NO2 در سطح شهر تهران (سمت راست) – مقایسه داده‌های ایستگاه‌های زمینی و مناطق آلوده (سمت چپ)

۶- نتیجه گیری و پیشنهادها

تصاویر سنجنده OMI میزان آلودگی NO2 را در مناطق مختلف و در ابعاد پیکسل ۰/۲۵ درجه اندازه گیری می‌کنند. بنابراین در مناطق شهری که عمدتا ابعادی کوچکتر از یک پیکسل دارند استفاده از این تصاویر مناسب نمی‌باشد. در این پژوهش با برقراری ارتباط بین میزان آلودگی و بازتابندگی، تصویر آلودگی در سطح شهر در ابعاد پیکسل ۵۰۰ متری بدست آمد. با توجه به اینکه تصاویر MODIS بصورت روزانه اخذ می‌شوند بنابراین تولید تصویر آلودگی در هر

روز امکان پذیر می‌باشد. با بررسی کلی میزان آلودگی ثبت شده در ایستگاه‌های زمینی و تعیین محل آنها بر روی تصاویر، مشخص گردید آلودگی بدست آمده از تصاویر با مقادیر زمینی دارای ارتباط می‌باشند. با بررسی دقیق‌تر مشخص شد در بعضی از ایستگاه‌ها میزان آلودگی ثبت شده زمینی و بدست آمده از تصویر بصورت نقطه‌ای با هم مطابقت ندارند. یکی از دلایل این عدم انطباق این است که اندازه‌گیری آلودگی در ایستگاه‌ها بصورت نقطه‌ای صورت می‌گیرد در حالیکه ماهواره یکباره ستون مربوط به یک پیکسل را مشاهده کرده و آلودگی را در حجم پیکسل ارائه می-دهد. برای مثال ممکن است مشاهدات ثبت شده در یک ایستگاه حاکی از عدم وجود آلودگی باشد در حالیکه در لایه-های بالایی آلودگی وجود داشته و توسط تصاویر ماهواره‌ای ثبت شود. همچنین در بررسی صورت گرفته مشخص شد که عمدتا برای ایستگاه‌هایی که آلودگی زیاد را نشان می‌دهند، پیکسل‌های آلوده در تصاویر بدست آمده با چند پیکسل فاصله (در سمت شرق) نسبت به موقعیت ایستگاه قرار گرفته‌اند. دلیل این موضوع نیز می‌تواند وزش باد در سطح شهر باشد. در تهران عمدتاً جهت باد از سمت غرب به شرق می‌باشد. بنابراین انتظار می‌رود وزش باد باعث انتقال آلودگی در سطوح بالاتر جو به سمت شرق باشد، که در نتیجه در تصویر برای پیکسل ایستگاه آلودگی کمتر ثبت خواهد شد و برای پیکسل‌های کناری (شرقی) آلودگی بیشتری بدست خواهد آمد. همچنین برای تعیین مناطقی از شهر که اکثراً دارای آلودگی هستند از تجمیع تصاویر در روزهای مختلف استفاده شد. با بررسی دقیق‌تر این مناطق در روی نقشه مشخص گردید که دو منطقه (در غرب شهر) به دلیل تردد زیاد وسایل نقلیه و منطقه‌ای که در سمت شرق قرار گرفته است علاوه بر این مورد به دلیل توپوگرافی شهر و وجود بادهای غرب به شرق که باعث انتقال آلودگی به آن منطقه می‌شود، بعنوان مناطق آلوده مشخص شده‌اند.

در روش ارا۰ ئه شده در این پژوهش تصویر آلودگی در سطح شهر بصورت روزانه و با قدرت تفکیک مکانی بالا بدست آمد. تصاویر بدست آمده از لحاظ کیفی با ایستگاه‌های سنجش آلودگی در سطح شهر دارای ارتباط می‌باشند. بنابراین پیشنهاد می‌شود به منظور افزایش دقت مدل از داده‌های بیشتری برای مدلسازی استفاده شود و به روز رسانی مدل مرتباً صورت گیرد. همچنین برای بررسی دقیق اثر باد بر روی آلودگی در سطح شهر پیشنهاد می‌شود در خصوص ارائه مدل حرکت باد (شامل جهت و سرعت) در سطح شهر تحقیق شود.

مراجع

[1] A. Hejazi, M. R. Mobasheri, "Investigating and Assessing the Relationship Between Air Pollution of Industrial Cities and Respiratory Disease Casualties by Relative Determination of Polluted Areas via MODIS Imagery(Case Study: Tehran)" MSc thesis, K. N. Toosi University of Technology, 2012.

[2] L. N. Lamsal, N. A. Krotkov, E. A. Celarier, … , "Evaluation of OMI operational standard NO2 column retrievals using in situ and surface-based NO2 observations", Atmos. Chem. Phys., 14, 11587–11609, 2014.

[3] Eric J. Bucsela, Edward A. Celarier, Mark O. Wenig, … , "Algorithm for NO2 Vertical Column Retrieval From the Ozone Monitoring Instrument", IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, VOL. 44, NO. 5, MAY 2006.

[4] Matthew J. Bechle, Dylan B. Millet, Julian D. Marshall, "Remote sensing of exposure to NO2: Satellite versus ground-based measurement in a large urban area", Atmospheric Environment 69, 345-353, 2013.

[5] C. Popp, D. Brunner, A.Damm, … , "High-resolution NO2 remote sensing from the Airborne Prism EXperiment (APEX) imaging spectrometer", Atmos. Meas. Tech., 5, 2211–2225, 2012.

[6] Y. Safavi, "Geographical factors in air pollution of Tehran", Geographical Research, 58, 99–112, 2004.

Distribution of atmospheric NO2 in the industrial cities using OMI and MODIS images

(Case study: Tehran metropolis)

Ahmadian Marj, A. *[1], Mobasheri, M, R. [2] Matkan, A, A. [3]

1-PhD student of Remote Sensing in Department of Geomatics, K. N. Toosi University of Technology

2- Associate professor in Department of Geomatics, K. N. Toosi University of Technology

3- Associate professor in Department of RS and GIS, Shahid Beheshti University

Abstract

Life on the Earth depends on the atmosphere which is a natural complex system. Concentration of particles in the atmosphere is one of the most important parameters in the air pollution. Tehran is one of the most polluted cities in the world that many factors have role in that. So, determination of air pollution in different regions of the city could reduce negative impacts of that. These days, determination of air pollution values is carrying out via station measurements. Air pollution measure in these stations with a high precision. Since the installation and maintenance costs of stations are noticeable, a limit number of them can be installed in the city. So, for regions that are far from stations, determination of air pollution requires an assessment which could results in a low precision. NO2 is one of the most important parts of air pollution in big cities. In this study, NO2 will be determined via remote sensing in the city. NO2 is determined using OMI images in different regions with low resolution that is not suitable for urban areas. Therefore, it is tried to combine OMI and 500m images of MODIS for determination of air pollution. By simultaneous use of OMI and MODIS images, a model was developed between reflectance of pixels and pollution values. Finally, NO2 images were obtained for the city in different days. Also, critical areas in the city were determined by accumulation of NO2 images in different days. At the end, in order to evaluate the results, the data of stations was compared with NO2 images.

Keywords: Remote Sensing, Air Pollution, Nitrogen dioxide.

Correspondence Address: Remote Sensing Department, Faculty of Geodesy and Geomatics, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, P.O. Box: 15875-4416, Iran, Fax: +98-21-88770213.

Email: abolfazl_216@yahoo.com