

## مدلسازی PM10 و شاخص NDVI با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ و تعیین نقشه غلظت این آلاینده بر مبنای کاهش پوشش گیاهی در شهرستان عسلویه

محمد رضا منفرد اصطهباناتی<sup>۱</sup>، مهدی حسنلو<sup>۲</sup>، حسن روستا<sup>۳</sup>

- ۱- کارشناسی ارشد عمران سنجش از دور دانشگاه آزاد واحد لار
- ۲- استادیار دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران
- ۳- مدیر گروه بخش عمران سنجش از دور دانشگاه آزاد واحد لار

### چکیده: چکیده

آلودگی مقوله‌ای مهم در حوزه سلامت انسان و سایر موجودات و محیط زیست است. آلودگی صنعتی نوعی از آلودگی است که در دهه‌های اخیر در کشور ایران افزایش یافته است. از ساده‌ترین روش‌ها کنترل بیولوژیکی با افزایش پوشش گیاهی است. سوالی در این رابطه مطرح است، که افزایش پوشش گیاهی کدام مناطق نتایج بهتری در کاهش آلودگی خواهد داشت؟ در این پژوهش، به تاثیر آلودگی‌های صنعتی و روش نظارت با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای پرداخته شده است. بررسی آلودگی‌ها با تصاویر سنجنده مادیس صورت گرفته و ضخامت نوری هوایی هواویزها (AOD) با این تصاویر تعیین شده و با محاسبه رگرسیون رابطه خطی بین ضخامت نوری هوایی هواویزها و میزان PM10 ایستگاه‌های زمینی استخراج شده است. در این روش میانگین مربعی خطای RMSE به میزان ۰.۱۷۷۶ براورد شده است و میزان ضریب تعیین  $R^2$  به میزان ۰.۴۷۳۶ محسوبه شد. بر همین اساس روش دیگری مدنظر قرار گرفت در این روش بررسی آلودگی با تصاویر ماهواره لندست ۸ و تعیین غلظت آلاینده انجام شد و در نهایت یک رگرسیون خطی بین غلظت آلاینده اندازه‌گیری شده از تصاویر و غلظت آلاینده اندازه‌گیری شده از ایستگاه‌های زمینی تشکیل شد. در این روش میانگین مربعی خطای RMSE به میزان ۰.۱۳۴ براورد شده است و میزان ضریب تعیین  $R^2$  به میزان ۰.۷۳۶ محسوبه شده و با روش اول مقایسه شد. روش دوم بهمنظور تعیین آلاینده و مدل‌سازی نهایی انتخاب شد. در این راستا، تصاویر لندست ۸ به عنوان تصاویر با توان تکمیک مکانی بالا برای تعیین شاخص‌ها به کار گرفته شده است. شاخص‌های مختلف گیاهی و شهری قابل استخراج از تصاویر فوق با داده‌های آلاینده اخذ شده از ایستگاه آلودگی‌ها و مدل‌سازی شده، به عنوان بخشی از این مطالعه، بررسی شده است و مدل‌سازی با روش نوروفازی صورت پذیرفت. جهت آموزش مدل در این تحقیق از روش FCM که نوعی از روش C-Means است، استفاده شده است. در این تحقیق میانگین مربعی خطای RMSE مربوط به شاخص NDVI در روش FCM به میزان ۰.۲۴۳ براورد شده است. در نهایت از تلفیق داده‌ها و روش‌های فوق (با تعیین میزان آلاینده از مدل‌سازی با AOD و داده‌های ایستگاه‌های زمینی و شاخص‌های گیاهی و زمینی تعیین شده) مدل‌سازی نهایی صورت گرفت و نقشه‌های غلظت آلاینده تعیین شد. در نهایت با ترکیب شاخص‌ها و نتایج به دست آمده در زمینه آلاینده مورد نظر نقشه پیش‌بینی غلظت آلاینده مورد نظر استخراج شده است و مکان‌های مناسب و مستعد برای توسعه پوشش گیاهی پیشنهاد شده است.

واژه‌های کلیدی: آلاینده PM10، پوشش گیاهی، رگرسیون خطی، ضخامت نوری ذرات هوایی، روش نوروفازی

## ۱- مقدمه

آلودگی هوا یکی از مسایل مهمی است که بسیاری از کشورهای در حال توسعه را در دهه‌های اخیر به چالش کشیده است [۲۴]. راه حل مناسب جهت پیشگیری و یا کاهش آلودگی نیازمند تمهیدات لازم در این مقوله می‌باشد. چندین دهه است که مسائل آلودگی و انعدام محیط زیست یکی از موضوعات مهم و نگران‌کننده، در سطح داخلی، منطقه‌ای و بین المللی به شمار می‌آید. یکی از آلودگی‌هایی که در دهه‌های اخیر به عنوان معضلی مهم از آن یاد می‌شود پدیده گرد و غبار است [۲۴]. پدیده گرد و غبار، گرد و غباری است که مسافت وسیعی را می‌پوشاند و از مناطق خشک و نیمه خشک نشات می‌گیرد [۲۵] و [۲۶] ذرات معلق هوا چه جامد، چه مایع با قطر ده میکرون (PM10) و کمتر موجود در هوا توسط ایستگاه‌های پایش هوا، اندازه‌گیری و میانگین ساعتی آنها در تحلیلگر ثبت می‌گردد. از منابع انتشار آلاینده PM10، می‌توان به ساخت و ساز بی‌رویه در سطح شهر، فعالیت واحدهای آجرپزی و آسفالت‌پزی اطراف شهر اشاره نمود. کمبود فضای سبز و پارک‌های جنگلی و عدم پوشش گیاهی مناسب حومه شهر نیز از عوامل اصلی در تشید آلودگی ذرات معلق به هنگام وقوع طوفان و باد شدید مؤثرند [۷]. نتایج نشان می‌دهد که می‌توان با استفاده از این مقادیر و اعلام این مقادیر به سازمان‌های مسئول از جمله ستاد بحران‌های غیر متربقه استانداری، سازمان آب و برق، سازمان آب و فاضلاب و .... نسبت به تمهیدات لازم از قبیل ذخیره‌سازی آب در مکان‌های مناسب و دور از حضور گرد و غبار و برداشت از آن توسط مصرف‌کنندگان، تغییر مکان‌های برداشت آب از رودخانه، تأمین دبی پایه زیست محیطی، افزایش دبی رودخانه، بالا بردن میزان فضای سبز شهری و انجام تصفیه بر روی فاضلاب‌های شهری قبل از تخلیه به رودخانه و تعیین دقیق نقاط بالقوه‌ی پراکنش منشأ گرد و غبارهای اخیر برای یافتن راه کارهای مناسب جهت ممانعت از بروز این پدیده در حد امکان و ... اشاره نمود [۸]. مطالعات نشان داد که در مناطق دور از مبداء ایستگاه پایش میزان PM10 در فصول مختلف روند افزایشی داشته (در بهار ۱۱٪، تابستان ۲۵.۶۶٪، پائیز ۴۲.۵٪ و در زمستان ۳۱.۰۶٪) و در نزدیکی ایستگاه پایش این روند ثابت می‌گردد. هم‌چنین در ایستگاه‌های درون پارک غلظت آلاینده PM10 کمتر از ایستگاه‌های محیط اطراف می‌باشد [۹]. بررسی آلودگی هوا و تعیین نقشه‌های غلظت آلاینده‌ها، مشخص نمودن مناطق بهینه جهت گسترش پوشش گیاهی به منظور کاهش آلودگی هوا در منطقه مورد نظر، پیشنهادات جدید جهت کاهش آلودگی صنعتی از طریق افزایش پوشش گیاهی منطقه و بهبود در کیفیت هوای منطقه، از اهداف این تحقیق هستند. به طور کلی هدف از این تحقیق تعیین نقشه غلظت آلاینده‌های مهم و خطناک و تعیین مناطق بهینه جهت گسترش پوشش گیاهی به منظور کاهش آلودگی هوا در منطقه عسلویه می‌باشد. یکی از چالش‌های موجود در این تحقیق تعداد کم ایستگاه‌ها و گستردگی نامناسب آن‌ها در منطقه مورد نظر می‌باشد. چالش دیگر در این منطقه کمبود میزان بارندگی در منطقه به منظور استفاده بیشتر برخی پارامترهای هواشناسی در مدل‌سازی است و در این مقاله برای این چالش‌ها تدبیری اندیشیده شده است.

داده‌های سنجنده مودیس می‌توانند برای کسب اطلاعات زیادی از جمله، دما و رطوبت جوی، پوشش ابر و خواص آن، ویژگی‌های هوایی، دمای سطح خشکی و دریا، آتش سوزی‌های طبیعی و مصنوعی، توزیع و عمق بیخ و برف، رنگ اقیانوس، شاخص‌های گیاهی و غیره، بکار روند [۳۰] تا سال‌های اخیر، داده‌های مورد استفاده مربوط به سنجنده‌هایی بوده‌اند که دارای کارایی بهینه در مطالعه هوایی نبوده‌اند ولی در حال حاضر سنجنده‌های فضایی جدید مانند مودیس نظری آکوا و ترا برای سنجش از دور هوایی‌ها بکار برده می‌شوند که نه تنها قادر به اندازه‌گیری ضخامت نوری هوایی‌ها هستند بلکه می‌توانند اطلاعاتی در مورد مشخصه‌های جزئی تر هوایی‌ها فراهم آورند [۳۱] تلفیق باندهای ۱۰۲ و ۱۰۳ تصاویر ماهواره لنdest ۸ برآورد این آلاینده را امکان‌پذیر می‌سازد [۲۹]

## ۲- روش پژوهش

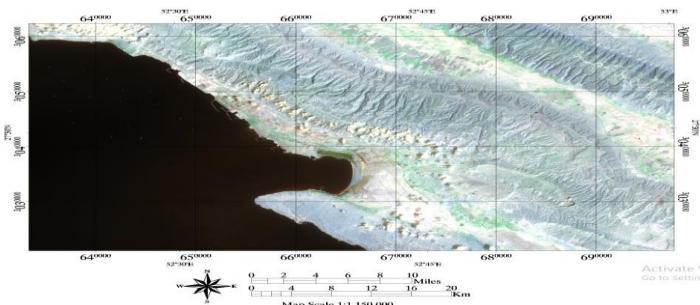
### ۲-۱- روش‌های مدل‌سازی

در سال‌های اخیر تکنیک جدید هوش مصنوعی با عنوان محاسبات نرم توسعه داده شده است که به تلفیق روش‌های هوش مصنوعی از قبیل شبکه عصبی و سیستم استنتاج فازی کمک کرده است. منطق فازی مکانیسم استنتاج را با عدم قطعیت شناخت انجام می‌دهد و شبکه عصبی نیز توانایی‌هایی از قبیل یادگیری، انطباق، پردازش موازی را دارد. سیستم ترکیبی، شبکه فازی عصبی نامیده می‌شود<sup>[۲۸]</sup>. روش کوکریجینگ<sup>۱</sup> نشان داده است می‌تواند به عنوان روشی مناسب برای درون‌یابی آلینده‌ها استفاده شود<sup>[۳]</sup>. امروزه روش‌های مختلفی برای تخمین آلودگی هوا وجود دارد یکی از این روش‌ها تلفیق اطلاعات ماهواره‌های سنجش از دور و روش‌های درون‌یابی است. با استفاده از این روش تلفیقی می‌توان تغییرات زمانی آلودگی هوا را در هر زمان نشان داد، اما توان تفکیک مکانی این روش تلفیقی، به دلیل محدود بودن تعداد ایستگاه‌ها کم است<sup>[۱۹]</sup>. سنجش از دور فن‌آوری بسیار مفیدی است که می‌توان آن را برای به دست آوردن لایه‌های اطلاعاتی از خاک و پوشش گیاهی به کار برد.<sup>[۱۷]</sup> خصوصیاتی نظری فراهم ساختن دید وسیع و یکپارچه از یک منطقه، قابلیت تکرار پذیری، سهل الوصول بودن اطلاعات و دقت بالای اطلاعات حاصله و صرفه‌جویی در زمان از ویژگی‌هایی است که استفاده از این گونه اطلاعات را برای بررسی پوشش گیاهی و کنترل تغییرات آن نسبت به سایر روش‌ها ارجحیت می‌بخشد. بر همین اساس محققین زیادی به منظور بررسی پوشش گیاهی از داده‌های سنجش از دور استفاده نموده و این تکنیک را مناسب این گونه مطالعات ارزیابی نموده‌اند<sup>[۱۵]</sup>.

### ۲-۲- منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

کشور ایران چند دهه است که در صدد کنترل آلودگی‌های صنعتی بخصوص در کلان شهرها و مناطق صنعتی می‌باشد. محدوده مورد مطالعه شهرستان عسلویه واقع در استان بوشهر است. این منطقه با رشد فزاینده‌ای پالایشگاهی در حال صنعتی شدن می‌باشد. در حال حاضر بیست و چهار فاز پالایشگاه گازی در نظر گرفته شده است، که برخی مشغول فعالیت و تعدادی نیز در حال ساخت می‌باشند. تعداد ده پتروشیمی نیز در منطقه فعال می‌باشند که اکثر آن دارای آلودگی صنعتی هستند. با توجه به موقعیت توپوگرافی این منطقه که از شمال محدود به کوه و از سمت جنوب به سواحل خلیج فارس منتهی شده است و دارای گسترش نواری می‌باشد. از سوی دیگر رطوبت زیاد هوا و عدم جابجایی کافی هوا در این قسمت منجر به تجمع آلودگی در این منطقه شده است. بندر عسلویه از شرق به شهرستان پارسیان و از غرب به بندر سیراف منتهی می‌گردد. در این مناطق افراد بومی ساکن و پرسنل شاغل در منطقه نیز در معرض خطر آلودگی هوا هستند. تصویر منطقه مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است. در این منطقه اطلاعات دو یک ایستگاه سنجش آلودگی توسط اداره محیط زیست قبل دستیابی است. با استفاده از این اطلاعات می‌توان مدل‌سازی نمود و میزان غلظت هر کدام از آلینده‌ها را در هر منطقه پیش‌بینی نمود.

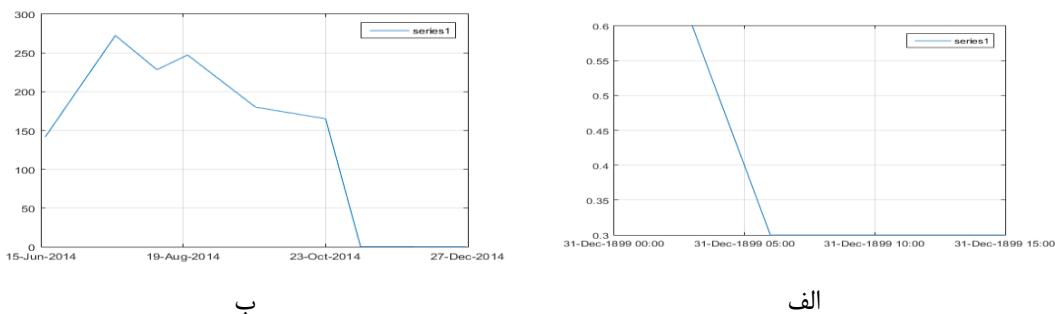
<sup>1</sup>-co kiriging



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه

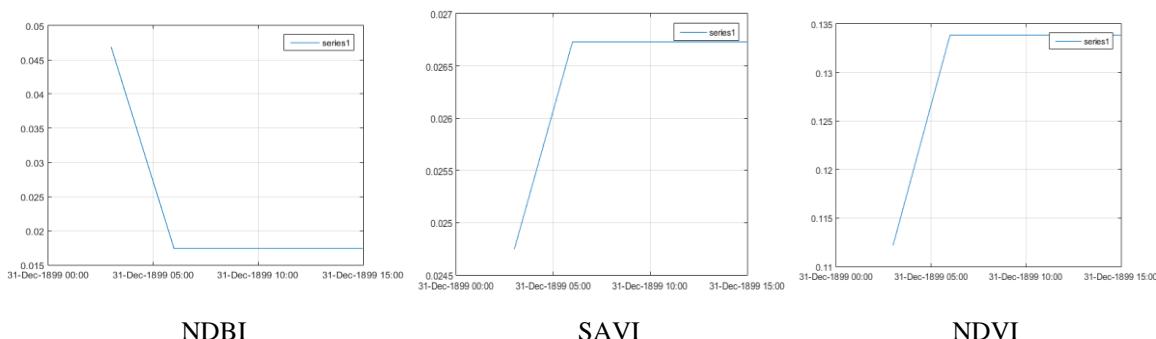
### ۳-۲- روش‌های جمع آوری آلودگی هوا و پیاده سازی آن‌ها

به دلیل عدم دسترسی به داده‌های پایش آلودگی هوا از میان داده‌ها PM10 انتخاب گردید. میانگین غلظت روزانه، ساعتی (دو ساعته) آلاینده فوق در دو ایستگاه موجود پایش آلودگی هوا (علویه - کنگان) به صورت یک فایل Excel دریافت شد. غلظت یک ساعتی این آلاینده در تیرماه تاپستان و بهمن ماه زمستان در دو ایستگاه پایش در دو منطقه مذکور در سال ۹۳ مورد بررسی قرار گرفت. نمودار سری زمانی آلاینده در بازه زمانی داده‌های ایستگاه‌های پایش زمینی در شکل (۲-ب) نشان داده شده است. نمودار سری زمانی ضخامت نوری ذرات معلق در شکل (۲-الف) نشان داده شده است.



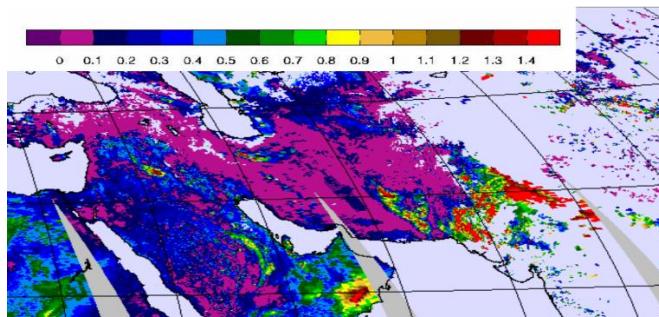
شکل ۲: نمودارهای سری زمانی، (الف) ضخامت نوری ذرات در سال ۲۰۱۴ و (ب) ب: نمودار سری زمانی آلاینده PM10 در سال ۲۰۱۴

نمودار سری زمانی برخی از شاخص‌های گیاهی و شهری مانند NDVI, SAVI, NDBI در بازه زمانی داده‌های ایستگاه‌های پایش زمینی در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل ۳: نمودار سری زمانی برخی از شاخص‌های گیاهی و شهری در سال ۲۰۱۴

پس از تعیین مقدار غلظت روزانه و ساعتی PM10 و با توجه به تعداد محدود ایستگاه‌های پایش از تصاویر سنجده مادیس جهت تعیین غلظت هوایی‌ها استفاده شد. تصاویر سنجنده مادیس در تاریخ‌های مناسب تهیه شدند. این تصاویر از سایت ناسا تهیه شده است. تصحیحات هندسی بر روی این تصاویر انجام شده است. این تصاویر با فرمت HDF بوده و در نرم افزار متلب و در قسمت Matlab Tools فراخوانی شدند. در این فایل تصویری، اطلاعات ارزشمندی وجود دارد. این اطلاعات شامل موارد زیادی است که در طول و عرض جغرافیایی نیز در آن به چشم می‌خورد. در این فایل به تعداد پیکسل‌ها یک فیلد طول جغرافیایی و یک فیلد عرض جغرافیایی و یک فیلد اندازه ضخامت ذرات متعلق وجود دارد. نمونه‌ای از تصاویر سنجنده مادیس جهت تعیین ضخامت نوری ذرات متعلق را در شکل‌های (۴) و (۵) مشاهده می‌نمایید.



شکل ۴ : ضخامت نوری ذرات با استفاده از تصاویر ماهواره مادیس



شکل ۵ : نمونه تصاویر تعیین ضخامت ذرات متعلق با استفاده از تصاویر ماهواره مادیس

ضخامت نوری ذرات متعلق در این تصاویر استخراج شده است. در نهایت یک رگرسیون خطی مابین ضخامت ذرات متعلق و میزان آلاینده بدست آمده از ایستگاه‌های زمینی تشکیل شده است. تعیین ضخامت نوری ذرات متعلق در این روش با محدودیت‌هایی مواجه است. در این روش در تمام موارد اطلاعات مربوط به ضخامت نوری ذرات را وجود ندارد. در زمان‌های وجود ابر و یا برخی موارد مشابه شما این اطلاعات وجود ندارد. بر همین اساس مدل‌سازی نسبتاً بهینه خواهد بود. روش دیگر جهت تعیین میزان آلاینده OLI استفاده از تصاویر ماهواره لنdest است. در این روش از باندهای یک تا چهار سنجنده OLI استفاده می‌شود. از تلفیق مقادیر انعکاس باندهای ذکر شده مقادیر PM10 می‌شود. برای این منظور تصاویر ماهواره لنdest ۸ از سایت USGS تهیه شده است. باندهای یک تا چهار فراخوانی شده است و انعکاس نوری (رفلکتنس) این تصاویر به شرح زیر تهیه شده است.

۱- تبدیل داده‌های لنdest ۸ به رادیانس بالای اتمسفر (TOA = Top Of Atmosphere)

با استفاده از رابطه (۱) و استفاده از داده‌های موجود در فرادراده همراه با تصاویر می‌توان باندهای سنجنده‌های OLI و TIRS ماهواره لنdest ۸ را به رادیانس تبدیل کرد.

$$L_\lambda = M_L Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

که در آن  $L_\lambda$  رادیانس طیفی بالای اتمسفر ( $\text{Watts}/(\text{m}^2 \times \text{srad} \times \mu\text{m})$ ) و  $M_L$  ضریب تبدیل که از فراداده تصویر استخراج می‌شود و  $A_L$  ضریب تبدیل که از فراداده استخراج می‌شود و  $Q_{cal}$  تصویر خام می‌باشد. اگر رادیانس را از تصاویر حرارتی تولید کرده باشید، با استفاده از رابطه (۲) می‌توانید رادیانس را به دمای درخشندگی تبدیل کنید، که ضرایب K1 و K2 برای باندهای حرارتی لندست ۸ یعنی باندهای ۱۰ و ۱۱ در جدول (۱) مشخص است.

جدول ۱: ضرایب

B11	B10	ضرایب
480.89	774.89	K1
1201.14	1321.08	K2

پس از تولید دمای درخشندگی با استفاده از توان تشعشعی پدیده‌ها و با استفاده از فرمول (۲) می‌توانید به دمای واقعی بررسید:

$$T_{br} = E^{1/4} * T_K \quad (2)$$

که در آن  $E$  توان تشعشعی یا همان امیسیویتی و  $T_K$  دمای واقعی و  $T_{br}$  دمای درخشندگی می‌باشد.

## ۲- تبدیل تصاویر لندست ۸ به انعکاس بالای اتمسفر (TOA = Top Of Atmosphere)

با استفاده از فرمول (۳) ابتدا انعکاس طیفی بدون تصحیح زاویه تابش خورشیدی را برای باندهای غیر حرارتی لندست ۸ یا همان سنجنده OLI محاسبه می‌کنیم:

$$\rho_{\lambda'} = M_\rho Q_{cal} + A_\rho \quad (3)$$

که در آن  $\rho_{\lambda'}$  انعکاس بدون تصحیح زاویه خورشیدی و  $M_\rho$  ضریب تبدیل از فراداده استخراج می‌شود و  $A_\rho$  ضریب تبدیل از فراداده استخراج می‌شود و  $Q_{cal}$  تصویر خام می‌باشد. سپس انعکاس بدست آمده را با استفاده از فرمول (۳)، تصحیح می‌کنیم:

$$\rho_\lambda = \frac{\rho_{\lambda'}}{\cos(\theta SE)} = \frac{\rho_{\lambda'}}{\sin(\theta SE)} \quad (4)$$

که در آن  $\rho_\lambda$  انعکاس تصحیح شده با زاویه تابش خورشیدی و  $\theta SE$  زاویه ارتفاع محلی خورشید که از فراداده استخراج می‌شود و  $\theta SE$  زاویه زنیت محلی خورشید م معادل با  $\theta SE = 90^\circ - \theta SE$  می‌باشد. از سوی دیگر انعکاس تصاویر با میزان آلاینده دارای یک رابطه خطی است. این مورد در رابطه (۵) قابل مشاهده است.

$$\rho_\lambda = \text{TOA planetary reflectance} \quad (5)$$

به عبارتی با ترکیب مقادیر انعکاس باندهای این ماهواره می‌توان به مقدار PM10 دست یافت.

$$AOT(\lambda) = a_0 R_{\lambda 1} + a_1 R_{\lambda 2} + a_2 R_{\lambda 3} + a_3 R_{\lambda 4} + \dots \quad (6)$$

$$PM10 = a_0 R_{\lambda 1} + a_1 R_{\lambda 2} + a_2 R_{\lambda 3} + a_3 R_{\lambda 4} + \dots \quad (7)$$

برخی از الگوریتم‌های محاسبه شده در این زمینه در جدول ۲ مشاهده می‌شود (۵۱).

جدول ۲: الگوریتم‌های تعیین آلاینده از انعکاس طیفی باندها

NO	Algorithm	R <sup>2</sup>	RMSE
1	PM10= 0.41 b2+ 2.27 b3-0.66b4 -16.174	0.802	<b>20.985</b>
2	PM10= 0.99 b1+ 1.62 b3-0.45b4 -13.481	0.817	<b>20.986</b>
3	PM10= 4.72b1-4.19b2+ 3.07b3-1.02b4 -13.871	0.834	<b>11.836</b>

در این مرحله با توجه به الگوریتم شماره ۳ از جدول (۲) یک رگرسیون خطی بین مقادیر غلظت آلاینده تهیه شده از ایستگاه‌های پایش و میزان برآورد آلاینده توسط الگوریتم مذکور تشکیل شد و نتایج بررسی شد.

#### ۴-۲- شاخص‌های گیاهی و شهری

در این تحقیق تصاویر ماهواره لنdest ۸ جهت استخراج شاخص‌های پوشش گیاهی و شهری انتخاب شد. سنجنده عملیاتی تصویرساز زمین (OLI) ماهواره لنdest ۸، از هشت باند طیفی با توان تفکیک فضایی ۳۰ متر برای باندهای ۱ تا ۷ و ۹ تشکیل شده است. باند ۱ (فوق العاده آبی رنگ) که به محدوده مأواها بتنفس نزدیک تمایل دارد و برای مطالعات ساحلی و تعلیق مایع یا جسم بصورت گرد و گاز در هوا مفید است. باند ۹ برای تشخیص ابر سیروس مفید است. توان تفکیک مکانی برای باند ۸ (پانکروماتیک) ۱۵ متر است. باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱ در ارائه درجه حرارت دقیق‌تر از سطح زمین مفید هستند و در ابعاد ۱۰۰ متری بر روی زمین جمع‌آوری می‌شوند. اندازه هر تصویر برداشت شده بر روی زمین تقریباً ۱۷۰ کیلومتر از شمال به جنوب ۱۸۳ کیلومتر از شرق به غرب است [۱۱]. اولین شاخص مورد بررسی NDVI است. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که سطوح پوشیده از گیاه، دمای سطح کمری دارند و پوشش گیاهی آثار خنک‌کننده‌ی بر پیرامون دارد. شاخص<sup>۱</sup> NDVI نشان دهنده ویژگی‌های بیوفیزیکی پوشش گیاهی مانند شاخص سطح برگ، ظرفیت فتوسنتری (میزان کلروفیل) و فراوانی پوشش گیاهی است [۲۹]. بر روی شاخص فاکتورهای زیادی نظری ساختار گیاهی، اثرات متقابل با تاج پوشش گیاهی، ارتفاع گیاه، ترکیب گونه‌ای، سلامتی و شادابی گیاه، ویژگی‌های برگ و تنفس گیاه، توپوگرافی و ارتفاع، مؤثر می‌باشند [۳۰]. این شاخص از رابطه (۸) محاسبه می‌شود [۲۲].

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (8)$$

یکی دیگر از شاخص‌های مورد نظر شاخص تعديل کننده خاک است. شاخص دوم، شاخص SAVI یا شاخص گیاهی تعديل کننده اثر خاک می‌باشد. این شاخص با افزودن پارامتر تعديل کننده اثر خاک (L) اثر پس زمینه‌های خاکی در مناطق گیاهی را کاهش می‌دهد. فاکتور تعديل کننده خاک در مناطق با پوشش گیاهی پایین ۱ و در مناطق با پوشش گیاهی متوسط ۰.۵ و در مناطق با پوشش گیاهی بالا صفر در نظر گرفته می‌شود. این شاخص از رابطه (۹) محاسبه می‌شود [۲۲].

$$SAVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED + L)} * (1 + L) \quad (9)$$

یکی دیگر از شاخص‌های مورد نظر شاخص NDBI است. این شاخص یکی از مهمترین شاخص‌های پوشش شهری است. این شاخص از رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود [۲۲].

$$NDBI = \frac{(SWIR1 - NIR)}{(SWIR1 + RED)} \quad (10)$$

#### ۳- بحث و نتایج

##### ۳-۱- یافته‌های مدل‌سازی اولیه

در مدل‌سازی اولیه همانطور که تشریح شد تصاویر ماهواره مادیس تهیه شد و ضخامت ذرات معلق<sup>۲</sup> استخراج شد. بر همین اساس یک رگرسیون خطی بین ضخامت ذرات معلق و آلاینده PM10 تشکیل شد. نتایج آن مورد بررسی

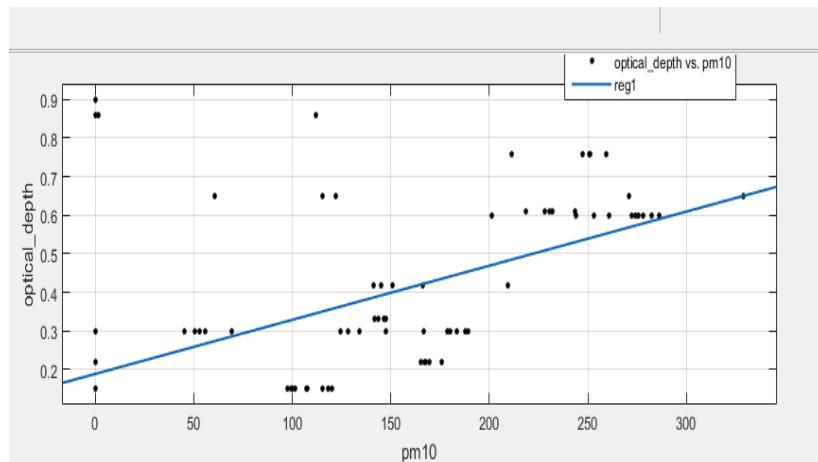
<sup>۱</sup> شاخص نرمال شده پوشش گیاهی

<sup>۲</sup> Aerosol optical depth

قرار گرفت. این رگرسیون در شکل(۶) مشاهده می‌شود. میزان RMSE در این رگرسیون ۰.۱۷۷ براورد شده است. مقدار  $R^2$  در این رگرسیون ۰.۴۶۸ به دست آمد. رابطه خطی این رگرسیون در رابطه (۱۱) مشاهده می‌شود.

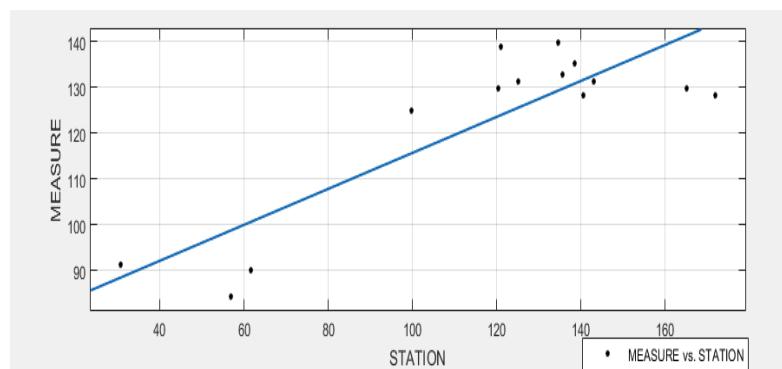
$$\text{AOD} = 0.0014 * \text{PM10} + 0.189 \quad (11)$$

با توجه به مقادیر براورد شده این مدل زیاد مناسب نیست. در این مدل به دلیل شرایط منطقه در تمام موارد اطلاعات مناسب جهت مدل‌سازی وجود ندارد.



شکل ۶: رگرسیون بین ضخامت ذرات معلق و PM10

در روش بعد از تصاویر لنست ۸ استفاده شد و از الگوریتم‌های موجود (جدول (۲)) جهت تعیین میزان غلظت آلاینده استفاده شد. در این مرحله نیز بین غلظت آلاینده براورد شده از تصاویر و غلظت آلاینده تهیه شده از ایستگاه‌های پایش یک رگرسیون خطی تشکیل شد. این رگرسیون در شکل(۷) مشاهده می‌شود.



شکل ۷: رگرسیون بین PM10 تصاویر و PM10 ایستگاه

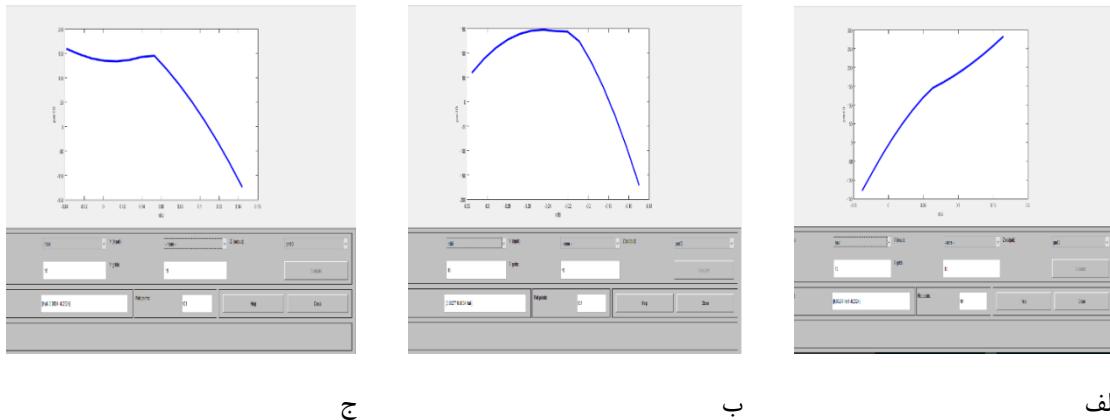
میزان RMSE در این رگرسیون ۰.۱۳۴ براورد شده است. مقدار  $R^2$  در این رگرسیون ۰.۷۱۳ به دست آمد. رابطه خطی این رگرسیون در رابطه (۱۲) مشاهده می‌شود.

$$\text{PM10}_{\text{Measure}} = 0.39 * \text{PM10}_{\text{Station}} + 76 \quad (12)$$

این نتایج مناسب است بر همین اساس از این روش جهت تعیین غلظت آلاینده در نقاط خارج از ایستگاه‌ها استفاده شد.

### ۲-۳- یافته‌های مدل‌سازی نوروفازی

به منظور انجام مدل‌سازی بین آلینده و شاخص‌ها از روش مدل‌سازی ANFIS در این پژوهش استفاده شد. اولین نتایج بررسی توسط داده‌های آموزشی (به طور تصادفی ۲۵ درصد مربوط به آموزش هستند) مدل‌سازی انجام شد و توسط داده‌های آزمایشی (۷۵ درصد) تست مدل انجام شد. به عنوان مثال در ابتدا روابط بین NDVI و آلینده بررسی شد.



ج

ب

الف

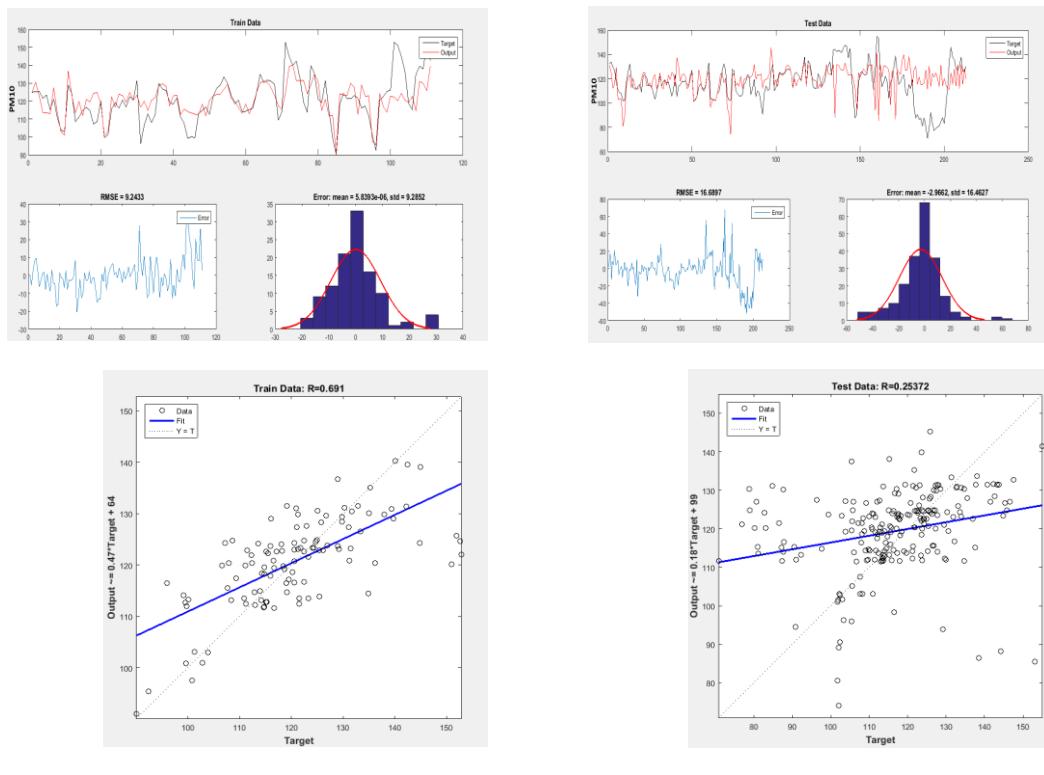
شکل ۸: رابطه شاخص‌ها با آلینده PM10

در شکل (۸) بخش رابطه بین شاخص PM10 و آلینده NDVI نشان داده شده که به طور کلی با افزایش شاخص پوشش گیاهی میزان PM10 به طور چشم‌گیری کاهش داشته است. به بیان دقیق‌تر می‌توان با افزایش شاخص NDVI در کاهش آلینده PM10 گام برد. در شکل (۸) بخش ج در قسمت‌های اولیه با افزایش این شاخص میزان آلینده نیز کاهش یافته است. در ادامه در قسمت کوچکی افزایش شاخص افزایش آلینده را در پی دارد. با نگاهی عمیق‌تر می‌توان دریافت که عامل این افزایش را می‌توان در پارامترهای دیگر نظری شدت باد یافت. با دقت در این مورد مطابق شکل (۸) بخش ج پارامترهای دیگر نظری شدت باد و جهت آن نیز تاثیرگذار خواهد بود. در قسمت ابتدایی شکل با افزایش پارامترهای دیگر نظری شدت باد میزان آلودگی بیشتر شده است. به طور کلی تاثیر شاخص‌های پوشش گیاهی و زمینی بر روی آلینده مورد نظر از ثبات بیشتری نسبت به تاثیر پارامترهای هواشناسی برخوردار است. در شاخص‌های باقی‌مانده نتایج حاکی از آن است که با افزایش برخی شاخص‌ها میزان آلینده کاهش خواهد داشت. در شکل (۸) بخش ب رابطه شاخص NDBI و PM10 مشخص است. در شکل (۸) بخش الف رابطه شاخص SAVI و PM10 مشخص است.

### ۳-۳- روش پیشنهادی

ابتدا تصویر بازخوانی شده و در باندهای مورد نظر (۶ و ۵ و ۴) تبدیل به Radiance و Reflectance شده است. سپس شاخص‌های پوشش گیاهی NDVI, SAVI, NDBI به همراه تصاویر مربوطه تهیه شدند. در نهایت عملیات طبقه‌بندی نیز بر روی تصویر دوم صورت پذیرفت. طبقه‌بندی در تصویر دوم نیز مشابه تصویر اول در کلاس‌های ذکر شده صورت پذیرفت. به عبارت ساده برای هر یک از تصاویر در تاریخ‌های فوق کلیه شاخص‌های پوشش گیاهی شامل NDVI, SAVI, NDBI تهیه شده است. از سوی دیگر میزان PM10 در تاریخ فوق مدنظر قرار گرفت. در تاریخ‌های مذکور جمع‌آوری شده است. البته با توجه به تعداد کم ایستگاه‌ها یک رگرسیون خطی قابل قبول تشکیل شد و پس از اعمال آن به تصویر مورد نظر در مناطق دیگر نیز میزان PM10 به دست آمد و تعداد ۳۱۴ پیکسل در مناطق مختلف انتخاب شد و در مدل‌سازی استفاده شد. از سوی دیگر کلیه شاخص‌ها گیاهی نیز مدنظر قرار گرفته است. به بیان ساده‌تر یک ماتریس تشکیل شد که درایه‌های ستون نخست میزان PM10 و ستون دوم شاخص‌های نظری آن هستند. در واقع ستون اول شامل میزان PM10 در تاریخ‌های عنوان شده در جدول (۲) و

ستون دوم مقادیر نظیر شاخص پوشش گیاهی نرمال شده NDVI در تاریخ‌های مذکور در جدول(۲) و ستون‌های سوم مقادیر شاخص SAVI در تاریخ‌های ذکر شده و ستون چهارم نیز مقادیر NDBI در همان تاریخ‌های مشترک هستند. این ماتریس در نرم افزار متلب فراخوانی شد و مدل سازی با روش ANFIS صورت گرفت. در این مدل سازی FIS با روش FCM صورت پذیرفت و نتایج آن در شکل(۹) نمایان است. در مرحله بعد برای تاریخ پس از انجام مدل سازی ضرایب به دست آمده از مدل به همراه ضرایب به دست آمد. نتایج به دست آمده در مرحله آموزش با روش FCM در تصویرشماره (۹) بخش الف قابل رویت است. در شکل (۹) خطاهای در مراحل آموزش و آزمایش مدل مربوط به شاخص NDVI با روش FCM مشخص شده است.



شکل ۹: خطاهای مدل مربوط به شاخص NDVI در روش FCM. (الف) مرحله آموزش داده‌ها و (ب) مرحله تست داده‌ها

در نهایت از تلفیق داده‌ها و روش‌های فوق (با تعیین میزان آلينده از مدل‌سازی با AOD و داده‌های ایستگاه‌های زمینی و شاخص‌های گیاهی و زمینی تعیین شده) مدل‌سازی نهایی صورت گرفت و نقشه‌های غلظت آلينده تعیین شد. در نهایت با ترکیب شاخص‌ها و نتایج به دست آمده در زمینه آلينده مورد نظر نقشه پیش‌بینی غلظت آلينده مورد نظر استخراج شده است و مکان‌های مناسب و مستعد برای توسعه پوشش گیاهی پیشنهاد شده است. نتایج عددی استخراج شده از منطقه صنعتی عسلویه به وضوح نشان داد که روش پیشنهادی به پیشرفت‌های قابل توجهی در انتخاب محل مناسب برای گسترش فضای سبز و برای نظارت بر آلودگی هوا منجر شده است.



شکل ۱۰: نقشه غلظت آلاینده

#### ۴- نتیجه‌گیری

اگر در نقشه موجود در شکل ۱۰ جزئیات بیشتری بررسی شود مناطق مستعد برای تقویت پوشش گیاهی مشخص می‌شود. در نقشه شکل (۱۰) و در راهنمای نقشه میزان غلظت آلاینده که مدلسازی شده بین ۳۰ تا ۲۵۲ میکروگرم بر مترمکعب متغیر است. در این نقشه جهت نمایش مناسب‌تر ده کلاس طبقه‌بندی مشخص است. اولین کلاس با رنگ آبی کم رنگ است که میزان PM10 در آن بین ۳۰ تا ۵۷ میکروگرم بر مترمکعب است. بیشترین مقادیر آن در کلاس آخر که با رنگ قهوه‌ای پر رنگ مشخص شده است، نشان داده شده است. میزان PM10 در این بازه بین ۱۶۰ تا ۲۵۲ میکروگرم بر مترمکعب است. واضح است که مناطق با رنگ قهوه‌ای پر رنگ اولویت بیشتری را جهت تقویت پوشش گیاهی خواهند داشت. این نقشه در نرم‌افزار ARCGIS تهیه شده است و می‌توان موقعیت این نقاط را به صورت UTM در این نرم‌افزار مشاهده نمود.

#### مراجع

- [۱] خزائی ، الهه ، همکاران ، "مقایسه دو روش مدل سازی با استفاده از شبکه عصبی - فازی در پیش‌بینی غلظت آلاینده مونوکسید کربن "، محیط‌شناسی، سال سی و هشتم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۱، صفحه ۲۹
- [۲] بوداپور ، سیامک ، "پیش‌بینی میزان غلظت آلاینده‌های هوای تهران با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی "چاپ ۱ بهار ۱۳۹۰
- [۳] مตکان ، علی اکبر ، "تعیین تغییرات مکانی و زمانی آلودگی‌های منواکسید کربن و ذرات معلق، با استفاده از تکنیک‌های GIS در شهر تهران"
- [۴] رنجبر، ابوالفضل، "استفاده از قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی در مدیریت آلودگی هوای شهر تبریز"
- [۵] تشهنه لب. م. ۱۳۸۸. "سیستم‌های فازی و کنترل فازی". دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.
- [۶] قربانی سالخورده ، رضوان و سایر همکاران ، روش سریع در برآورد غلظت ذرات معلق با استفاده از سنجنده مودیس (یک مطالعه موردي در تهران)
- [۷] بهداشت هوای "وضعیت آلودگی هوای شهر تبریز در سال ۱۳۸۶" خرداد ۱۳۸۶
- [۸] صابوری. ر، و دیگران ۱۳۸۹ . "تعیین میزان اثرپذیری پارامترهای کیفی آب رودخانه‌ی کارون در شرایط رخداد پدیده گرد و غبار در قالب مدل پیش‌بینی (مطالعه موردي : مقطع شهری اهواز)" مجله تالاب ، دانش گاه آزاد اسلامی واحد اهواز، سال دوم، شماره هفتم ، بهار ۱۳۹۰-۴۷-۵۶ صفحات
- [۹] عباسپور طهرانی فرد. م و دیگران بهار ۱۳۹۳ ، "تأثیر بostan های شهری بر میزان انتشار ذرات معلق PM10 با استفاده از نرم افزار GIS" ، مقاله ۱، دوره ۱۶، شماره ۱، بهار ۱۳۹۳، صفحه ۱-۱۲

[۱۰] زلقی‌الله و دیگران، "وجود مرگهای تنفسی و قلبی عروقی منتبه به آلاینده PM10 در هوای شهر تبریز با استفاده کمی سازی از مدل AIRQ، "دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تبریز شانزدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران -مهر ۱۳۹۲

[۱۱] پاکدامن.مص، "دانلود تصاویر لندست، سنجش از دور در علوم زمین"، خردادماه ۱۳۹۳

- [12] Yildirim. Y, M. Bayramoglu ,(2006)" Adaptive neuro-fuzzy based modelling for prediction of air pollution daily levels in city of Zonguldak. Chemosphere", Vol. 63, pp. 1575–1582.
- [13] Morabito,F. M.,Versaci .2003. "Fuzzy neural identification and forecasting techniques to process experimental urban air pollution data. Neural Networks", Vol. 16, pp. 493–506. of traffic indicators and geographic information systems .Epidemiology .Vol. 14. pp. 228–239.
- [14] Heo,J.S., D.S.,Kim. 2004. "A new method of ozone forecasting using fuzzy expert and neural network systems. cience of the Total Environment", Vol. 325, pp. 221–237.back-propagation algorithm. 5, IEEE Trans Neural Netw , Vol. 3, pp. 801–806. doi:10.1109/72.159069.
- [15] Huete. A ,(2004), "Remote sensing for natural Resources Management and Enviromental Monitoring: Manual of remote sensing Univercity of Arizona"
- [16] Jang, J.S.R. 1993." ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference Systems. IEEE Transaction on Systems, Man", and Cybernetics 23, pp. 665-685
- [17] Adamchu. k , pp53, and Schepers. J. (2004). "Application of remote sensing in sitespecific management. Institute of agriculture and natural resources. University of Nebraska cooperative Extension precision Agriculture". data. Atmos Environ, Vol. 42, pp. 4884–4903.
- [18] www.region6.tehran.ir, 1389
- [19] Basu, R., Woodruff, T.J., Parker, J.D, Saulnier, L., Schoendorf, K.C., 2004, "Comparing Exposure Metrics in the Relationship Between PM2.5 and Birth Weight in California, Journal of Exposure Analysisand Environmental Epidemiology", 14, 391–396
- [20] Jerrett, M., Arain, A., Kanaroglou, P., Beckerman, B., Potoglou, D., Sahsuvaroglu, T., Morrison, J., Giovis ,C., 2005, A "Review and Evaluation of Intraurban Air:
- [21] Borowiak , Annete , Remote sensing of Air Pollution
- [22] Hassanlou . M , Mostofi. N ,: Investigation Urban Heat Island Estimation and Relation between various Land cover indices in Tehran city using Landsat8 Imagery ", 1 ST Internatonal Electronic Conference on Remote sensing , 22june-5joly2015.
- [23] Matejicek ,L," Spatial Estimations of Air Pollution in Urban Areas by LIDAR Measurements"
- [24] Eckhoff, R.K., 2009. "Understanding dust explosions. The role of powder science and technology". J. Loss Prevent. Proc., 22(1), 105-116.
- [25] Sun, J., Zhang, M. and Liu, T., 2001. "Spatial and temporal characteristics of dust storm in china and surrounding region"s, 1960-1999: relations to source area and climate. J. Geophys. Res-Atmos., 106(D10),10325-10333.
- [26] Zhao, L. and Zhao, S., 2006. "Diagnosis and simulation of rapidly developing cyclone related to a severe dust storm in East Asia. Global Planet". Change, 52, 105-120.
- [27] Yang, J., McBridea, J., Zhou, J., Sun, Z., 2005." The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction, Urban Forestry & Urban Greening," Vol. 3, pp. 65–78.
- [28] Fuller,R. 1995. Neural Fuzzy Systems
- [29] Salah Abdul Hameed Saleh1.2014. "Estimation of PM10 Concentration using Ground Measurements and Landsat 8 OLI Satellite Image. Geophysics & Remote Sensing"
- [30] Lili Wang a, Yuesi Wanga, Jinyuan Xin a, Zhanqing Li b, Xiaoyuan Wanga., 2010, "Assessment and comparison of three years of Terra and Aqua MODIS Aerosol Optical Depth Retrieval (C005) in Chinese terrestrial regions", Atmospheric Research 97(229–240).
- [31] Kasturi Devi Kanniah and Norbaizura Yaso, 2010," Preliminary analysis of the spatial and temporal patterns aerosols and their impact on climate in Malaysia using MODIS satellite data, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial". Information Science, Volume XXXVIII, Part 8, Kyoto Japan