

تجزیه و تحلیل و تهیه نقشه توزیع مکانی ذرات کمتر از ده میکرون استان خوزستان با استفاده از محصولات سنجنده مادیس

شهناز محمدی نژاد^{1*}، عباس علیمحمدی سراب²، منوچهر فرج زاده اصل³

1- کارشناس ارشد GIS، RS، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

2- دانشیار گروه GIS، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

3- دانشیار گروه جغرافیا و سنجش از دور، دانشگاه تربیت مدرس تهران، ایران

دریافت: 92/5/16 پذیرش: 93/4/11

چکیده

با ورود ریزگردهای عربی در سالهای اخیر و تخریب محیط، موضوع افزایش ذرات معلق در جو و آلودگیهای ناشی از آن به چالش و بحران زیست محیطی جدی در بیشتر شهرها، به ویژه شهرهای نواحی غربی کشور تبدیل شده است. در این تحقیق، امکان تهیه نقشه توزیع مکانی ذرات کمتر از ده میکرون استان خوزستان در دو بازه زمانی ساعتی و روزانه با استفاده از مدل سازی هم بستگی بین محصول (AOD) سنجنده مادیس و داده های مربوط به سنجش ذرات معلق کمتر از ده میکرون (PM_{10}) و دید افقی (HV) در ایستگاه های سنجش آلودگی هوا و هواشناسی شهر اهواز در سال 2009م بررسی شده است. نتایج پژوهش نشان می دهد بین مقادیر AOD سنجنده مادیس و PM_{10} و دید افقی اندازه گیری شده در ایستگاه های زمینی رابطه معناداری هست. در مدل سازی رابطه بین AOD حاصل از سنجنده مادیس و PM_{10} و دید افقی، بازه زمانی ساعتی ($R^2=0.9$) در مقایسه با بازه روزانه ($R^2=0.76$) از ضریب تعیین بالاتری برخوردار است. با توجه به سهولت دسترسی و پیوستگی مکانی اطلاعات، محصولات AOD مادیس قابلیت های خوبی برای نقشه سازی و مطالعات مرتبط با توزیع مکانی زمانی ذرات کمتر از ده میکرون نشان می دهند و بررسی های بیشتر در این زمینه ضرورت دارد.

واژه های کلیدی: محصول AOD مادیس، شهر اهواز، ذرات معلق کمتر از ده میکرون PM_{10} ، رگرسیون خطی.

1- مقدمه

هوایزهای موجود در جو حاصل فعالیت‌های انسانی و پدیده‌های طبیعی هستند. این دو عامل می‌توانند باعث توده غلیظی از هوایزها (با ضخامت نوری بزرگ‌تر از یک) تا فاصله صدها کیلومتر دورتر از منبع اصلی شوند. شواهد محکمی مبنی بر اثرگذاری زیاد شکل‌های مختلف آلودگی هوا بر آب، خاک، گیاهان، تخریب جنگل‌ها و سلامتی انسان‌ها وجود دارد.

ویژگی‌های هوایزها از طریق سنجش از دور زمینی و فضایی قابل اندازه‌گیری است. مشکل روش‌های سنجش از دور این است که در آن‌ها اندازه‌گیری مستقیم مشخصات هوایزها امکان‌پذیر نیست و از طریق بررسی رفتار اپتیکی سیستم زمین - جو، اطلاعاتی درمورد هوایزها به دست می‌آید. اما مهم‌ترین مزیت آن‌ها، امکان اندازه‌گیری در شرایط طبیعی و فراهم کردن اطلاعات از کل سیستم هوایزها در سطوح وسیع از طریق ماهواره‌هاست (Kaufman & Tanre, 1998).

از سوی دیگر، اندازه‌گیری‌های میدانی در حجم و سطحی محلی انجام می‌شوند که دارای مشکلاتی ذاتی هنگام نمونه‌برداری هستند. علاوه بر این، در اکثر شهرها و از جمله استان خوزستان، ایستگاه‌های سنجش آلودگی محدود و با توزیع ناهمگن هستند. بنابراین، فقط با اتکا به اندازه‌گیرهای این ایستگاه‌ها نمی‌توان با دقت مناسب درمورد توزیع آلودگی‌ها نظر داد.

کاستی‌های مربوط به اندازه‌گیری‌های زمینی باعث شده است روش‌های سنجش از دور توسعه یابند. پیشرفت‌های صورت گرفته در سنجش از دور ماهواره‌ای باعث ایجاد زمینه اطلاعاتی جدید برای پایش کیفیت هوا در مقیاس‌های محلی و منطقه‌ای شده است.

سی سال از زمان کاربرد داده‌های سنجش از دوری مانند AOD در پایش هوایزها می‌گذرد. طی این زمان طولانی، روش‌های سنجش از دوری با بهبود و پیشرفت چشم‌گیری مواجه شده‌اند (Wang Et al., 2010). بهره بردن سنجش از دور ماهواره‌ای هوایزها از پوشش مکانی و زمانی وسیع، این توانایی را در این روش به وجود آورده است تا اطلاعات ارزشمندی درباره

مطالعات در زمینهٔ بیماری‌ها، کمک به طراحی شبکه‌های اندازه‌گیری و برآورد آلودگی هوا فراهم کند (Kaufman, 1997). به بیان دیگر، اطلاعات فراوان با هزینهٔ اندک از مزایای داده‌های سنجش از دور است. ¹MODIS (اسپکترومتر تصویربرداری با قدرت تفکیک متوسط) سنجنده‌ای است که توسط NASA² در سال‌های 1999 و 2002م به وسیلهٔ دو ماهوارهٔ EOS³ در فضا قرار گرفت. تفکیک مکانی این باندها 250 تا 500 متر است. بازیابی اطلاعات و محاسبهٔ عمق نوری هواویزها براساس اختلاف بین بازتابندگی سطح و بازتابندگی رسیده به سنجنده استوار است (Kaufman & Tanre, 1998). استخراج هواویزهای جوی از تصاویر ماهواره‌ای ابتدا در سال 1979م شروع شد و برای تشخیص ذرات گردوغبار روی اقیانوس به‌کار برده شد (Amanollahi Et al., 2011). پژوهشگران به‌منظور برآورد غلظت ذرات معلق مدل‌های بسیاری طراحی کرده‌اند؛ اما این مدل‌ها کاربرد جهانی ندارند و اغلب هر مدل در مناطقی که از مشاهدات مربوط به آن منطقه در ساخت آن استفاده شده است، کارایی بیشتری دارد (Martin, 2008). اطلاعات مورد نیاز در پژوهش‌های سنجش از دوری به‌منظور پیش‌بینی غلظت ذرات معلق به‌طور کلی شامل AOD، اطلاعات هواشناسی و اقلیم منطقه است.

به‌تازگی، مطالعات بسیاری در زمینهٔ پایش ذرات معلق در جو با فناوری سنجش از دور انجام شده است. پژوهشگران متعددی ارتباط بین ⁴PM و AOD استخراج‌شده از تصاویر سنجنده مادیس را بررسی کرده‌اند. برای مثال، تیان⁵ (2010) دو مدل را برای پیش‌بینی غلظت ذرات معلق به‌کار گرفت: در مدل اول، فقط از رگرسیون خطی بین مشاهدات AOD و غلظت ذرات معلق اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه‌های زمینی، و در مدل دوم، از یک رابطهٔ شبه‌تجربی بین AOD محاسبه‌شده از تصاویر مادیس و اطلاعات هواشناسی زمینی و ماهواره‌ای استفاده کرد. گوپتا⁶ (2006) نیز با استفاده از AOD و مدل‌های خطی غلظت ذرات با ابعاد کمتر از 2.5 میکرون را برآورد کرد. ون دن‌کلار⁷ (2006) استفاده از مدل

1. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
2. National Aeronautics and Space Administration
3. Earth Observing System
4. Particulate matter
5. Tian
6. Gupta
7. Van Dankelaer

GEOS-CHEM (مدلی که خصوصیات شیمیایی ذرات معلق را وارد محاسبات می‌کند) را موجب بهبود هم‌بستگی مکانی بین PM و AOD دانست؛ به گونه‌ای که ضریب هم‌بستگی از 0/29 تا 0/68-0/54 ارتقا یافت. همچنین، بویا¹ (2010) معتقد است وارد کردن پارامترهای فصلی، در بهبود هم‌بستگی بین AOD و غلظت ذرات معلق تأثیر زیادی دارد. انگل² (2006) بر آن است که تحقیق‌ها در مناطق مختلف مورد مطالعه نشان می‌دهند ترکیب LIDAR، مشاهدات ماهواره‌ای مادیس و اندازه‌گیری‌های زمینی ذرات معلق می‌تواند اساس تشکیل نمایش سه‌بعدی از کیفیت هوا باشند. یک پارچه‌سازی و استفاده هم‌زمان این سه نوع مشاهدات سودمندتر از استفاده جداگانه از آن‌هاست.

از بین مطالعاتی که به بررسی رابطه بین متوسط 24 ساعته و روزانه AOD و PM₁₀ پرداخته‌اند، می‌توان تحقیق گوو³ و همکاران (2009) را نام برد. براساس نتایج این پژوهش، AOD با متوسط ساعتی PM₁₀ نسبت به متوسط روزانه آن هم‌بستگی بیشتری دارد.

موقتی (1382) به‌کارگیری تصاویر مادیس برای سنجش آلودگی هوای ذرات معلق در سطح شهر تهران را بررسی کرد. نتیجه پژوهش او آن بود که روش اهداف تیره- که روشی رایج برای بررسی میزان هواویزها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای است- در تهران و اطراف آن و درواقع در اکثر نقاط ایران به‌دلیل کمبود پوشش گیاهی متراکم، سازگار نیست. سحرابی‌نیا و خورشیددوست (2007) با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و تحلیل‌های مکانی GIS، به مطالعه غلظت آلاینده‌های شهر تهران پرداختند. آن‌ها با استفاده از داده‌های AOD مادیس و داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌های ایستگاه‌های زمینی به پایش و تولید نقشه‌های مجزایی از هر نوع آلاینده برای شهر تهران اقدام کردند. قربانی سال‌خورد، مباحثی و رحیم‌زادگان (1389) از الگوریتم اهداف تیره، تصاویر سنجنده مادیس و داده‌های ایستگاه‌های زمینی سنجش آلودگی هوا برای تحلیل‌های کمی و کیفی

1. Boya

2. Engel

3. Guo

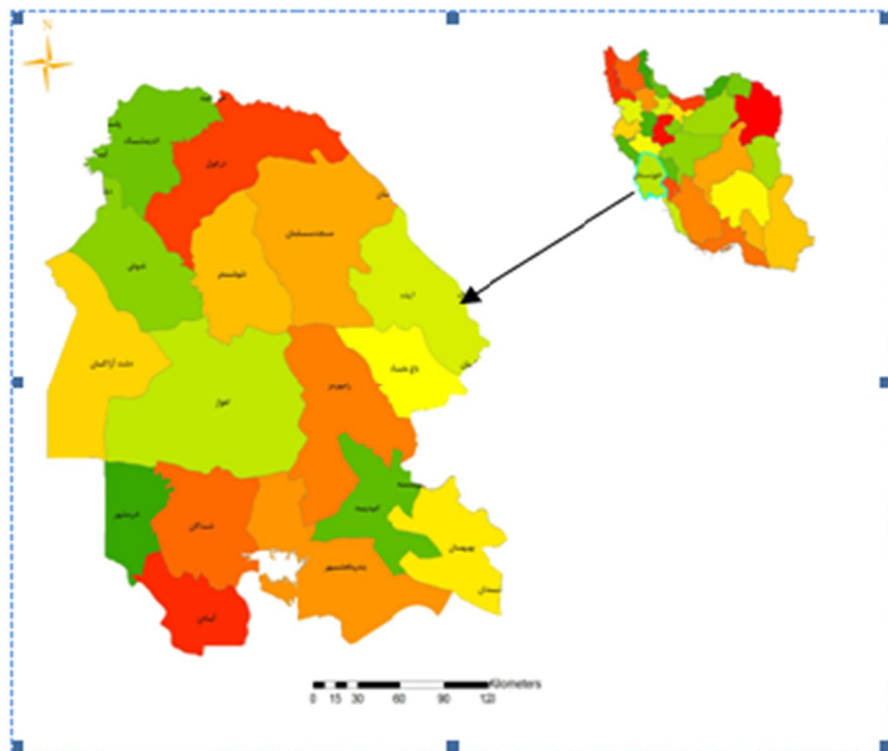
ذرات معلق در شهر تهران استفاده کردند. از محدودیت‌های الگوریتم اهداف تیره در این پژوهش، وجود مناطقی است که با شرایط اهداف تیره مطابقت ندارند (اعم از نبود پیکسل‌های تیره و با بازتابندگی پایین). در این بررسی، پس از استخراج ضخامت نوری هواویزها از تصاویر مادیس، ضریب هم‌بستگی $R^2=0.48$ میان داده‌های ماهواره‌ای و زمینی به دست آمد.

تحقیقات پیشین حاکی از مفید بودن نسبی AOD در برآورد غلظت ذرات معلق است؛ اما مشکلاتی مانند قدرت تفکیک‌های نامناسب AOD 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 است (Tian, 2010: 228). با توجه به اهمیت موضوع در زمان حاضر و نظر به اینکه پیش از این مطالعات محدودی در کشور انجام گرفته است، تحقیق در این زمینه اهمیت و ضرورت دارد.

با بررسی پیشینهٔ مطالعاتی در این زمینه، قابلیت داده‌های سنجش از دور ماهواره‌ای در تحلیل حالات مختلف غلظت آلاینده‌های جوئی روشن شد. باتکیه بر آنچه بیان شد، در این پژوهش امکان سنجش و برآورد ساعتی و روزانهٔ آلودگی ذرات معلق PM_{10} در استان خوزستان با استفاده از محصول AOD سنجنده مادیس بررسی شده است.

2- محدودهٔ مطالعه

استان خوزستان در جنوب غربی ایران بین 29 درجه و 57 دقیقه تا 33 درجه عرض شمالی و 47 درجه و 40 دقیقه تا 50 درجه و 33 دقیقه طول شرقی قرار دارد. مساحت این استان 63/213 کیلومترمربع و مرکز آن شهر اهواز با ارتفاع 23 متر از سطح دریاست. همان‌طور که در شکل شمارهٔ یک مشاهده می‌شود، این استان از غرب با کشور عراق، از شمال با استان لرستان و ایلام، از شرق با استان چهارمحال بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد و از جنوب با استان بوشهر و خلیج فارس همسایه است. به لحاظ آب‌وهوایی، این استان به سه ناحیهٔ سردسیر، گرم‌وخشک، و معتدل تقسیم می‌شود.



شکل 1 منطقه مطالعه

3- داده‌های مورد استفاده

نوع داده	توضیحات
داده‌های ذرات معلق (PM_{10})	از آمار ایستگاه هواشناسی اهواز به دلیل کامل تر بودن آمار و موجود بودن اطلاعات هواشناسی برای مدل‌سازی، و از آمار ایستگاه دانشگاه علوم پزشکی به منظور ارزیابی مدل استفاده شد.
دید افقی (HV^1)	از داده‌های دید افقی، ایستگاه هواشناسی شهر اهواز در سال 2009م استفاده شد.
محصولات مادیس (MODIS Level 2)	داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده در این تحقیق شامل داده‌های هواویز روزانه MODIS با سطح پردازش دوم (MOD04_L2) حاصل از الگوریتم سطوح روشن هستند.

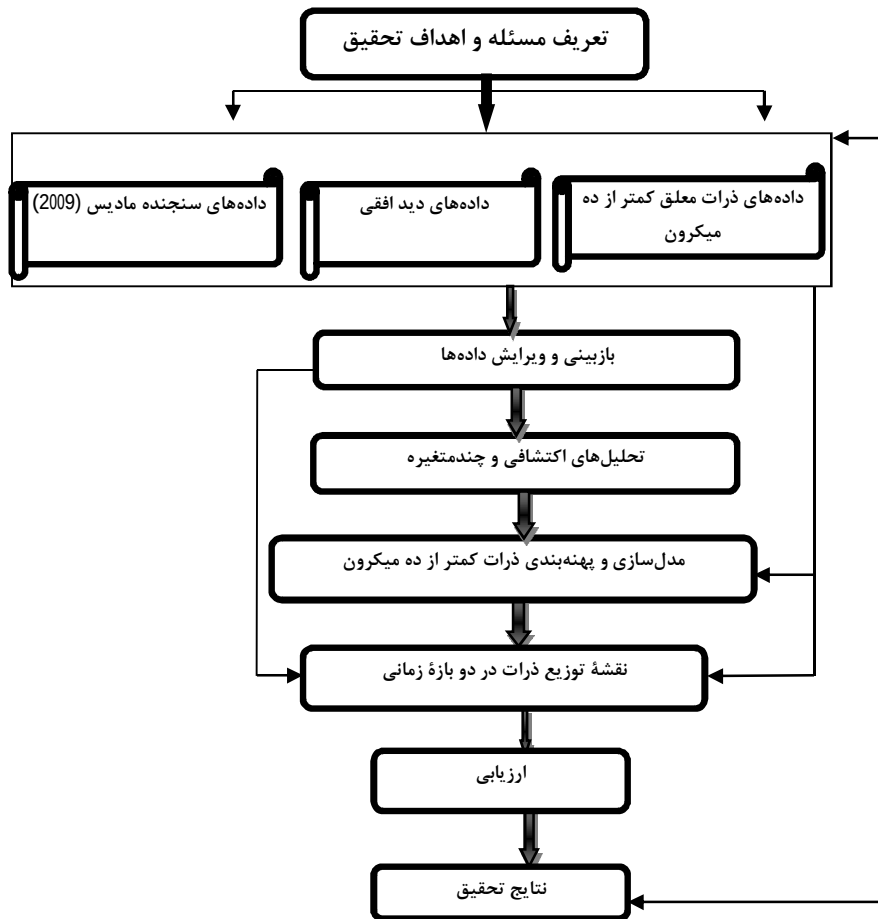
1. horizontally visibility

4- روش تحقیق

در این تحقیق، داده‌های سنجنده مادیس ماهواره ترا و اکوا با دقت مکانی 10 در 10 کیلومتر به کار رفته است. برای به دست آوردن AOD با استفاده از سنجنده مادیس از سه الگوریتم استفاده شده است: یکی روی اقیانوس (Remer Et al., 2005; Tanre Et al., 1997) و دو مورد دیگر روی خشکی قرار دارند و موسوم به الگوریتم پیکسل تیره¹ و دیپ بلو² هستند (Remer Et al., 2008 & 2009).

در این پژوهش برای به دست آوردن AOD از الگوریتم دیپ بلو استفاده شده است. اساس این الگوریتم، استفاده از طول موج‌های آبی و داده‌های بازتابش سطوح مختلف است. مراحل فرایند الگوریتم دیپ بلو عبارت‌اند از: 1. تصحیح عوارض ناخواسته بر روی تصویر شامل پیکسل‌های ابر، آب، یخ، برف و پوشش گیاهی؛ 2. برآورد میزان بازتابش سطح با در نظر گرفتن تغییرات فصلی از بانک داده‌های بازتابی؛ 3. استفاده از روش بیشینه احتمال رخ داد³ برای تعیین مدل هواویز بهینه با الگوریتم دوکانالی برای هواویزهای با غلظت کم و متوسط و الگوریتم سه کانالی برای غلظت زیاد؛ 4. محاسبه عمق نوری هواویزها و دیگر پارامترهای نوری (Levey Et al., 2009). پس از استخراج AOD از تصاویر سنجنده مادیس، داده‌های PM₁₀ از ایستگاه سنجش آلودگی هوا در شهر اهواز (به دلیل کامل بودن دوره آماری سال 2009م) همراه آمار دید افقی از سازمان هواشناسی کشور در بازه زمانی مورد مطالعه برای تجزیه و تحلیل کمی بین متغیرها جمع‌آوری شد. برای بررسی ارتباط زمانی بین مقادیر مشاهدات PM₁₀ در فاصله زمانی نزدیک‌ترین زمان به گذر ماهواره به عنوان میانگین ساعتی (H⁴) PM₁₀ و متوسط مشاهدات در 24 ساعت به عنوان میانگین روزانه PM₁₀(D⁵) محاسبه شد. شکل شماره دو مراحل روش تحقیق را نشان می‌دهد.

1. dark pixel
2. deep blue
3. maximum likelihood
4. hourly
5. day



شکل 2 مراحل کلی روش تحقیق

4-1- تحلیل هم‌بستگی و رگرسیون

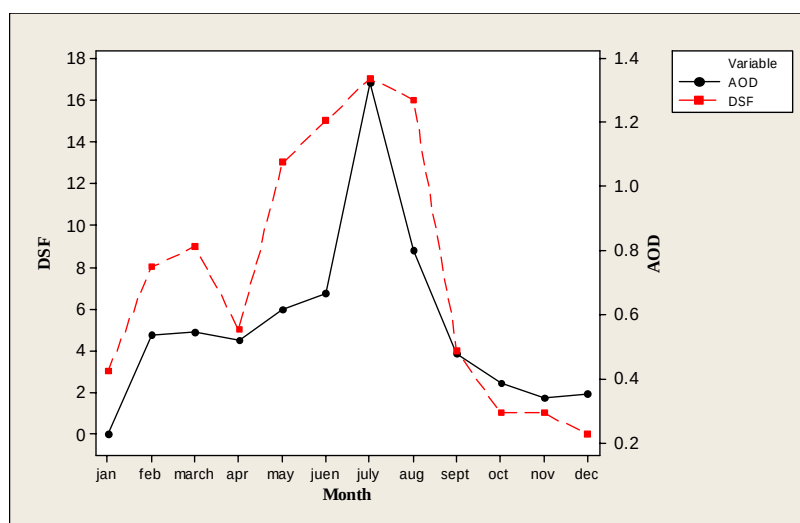
به منظور بررسی رابطه AOD با PM_{10} و HV و پیش‌بینی توزیع فضایی ذرات معلق کمتر از ده میکرون در دو بازه زمانی ساعتی و روزانه، از تحلیل هم‌بستگی و رگرسیون چندمتغیره به روش *stepwise* استفاده شد. در این روش، متغیرها برحسب داشتن بیشترین ضرایب هم‌بستگی و سطح معناداری، به ترتیب وارد مدل می‌شوند. این عمل تا آنجا ادامه می‌یابد که

معناداری متغیر به‌میزان تعیین‌شده (مثلاً 0/95) برسد (غیاثوند، 1387). در این مدل‌سازی، متغیر PM_{10} متغیر وابسته و متغیرهای HV و AOD متغیرهای مستقل هستند. پس از برازش مدل مناسب، نقشهٔ توزیع ذرات معلق کمتر از ده میکرون در هر دو بازهٔ زمانی در محیط GIS تولید شد. به‌منظور ارزیابی مدل استخراج‌شده، مقادیر PM_{10} به‌دست‌آمده از مدل حاصل از روش رگرسیون خطی با اندازه‌گیری‌های زمینی PM_{10} ایستگاه میدان دانشگاه علوم پزشکی اهواز در لحظهٔ گذر ماهواره مقایسه شد.

5- بحث و نتایج

5-1- روند زمانی داده‌های مورد استفاده

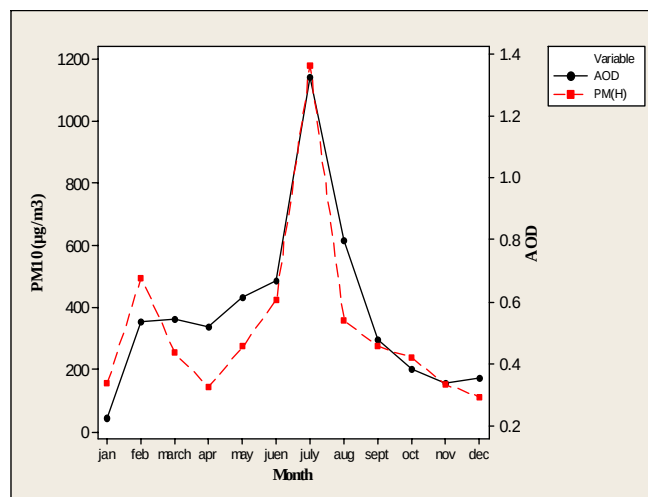
رابطهٔ بین مقادیر میانگین ماهیانهٔ AOD و تعداد روزهای گردوغبار (DSF^1) در ماه‌های مختلف سال 2009م در شکل شمارهٔ سه آمده است. دو متغیر نام‌برده رابطهٔ مثبتی را نشان می‌دهند و حداکثر مقادیر میانگین ماهیانهٔ AOD و بیشترین فراوانی روزهای گردوغبار در ماه جولای است. کمترین مقدار نیز در ماه ژانویه مشاهده می‌شود.



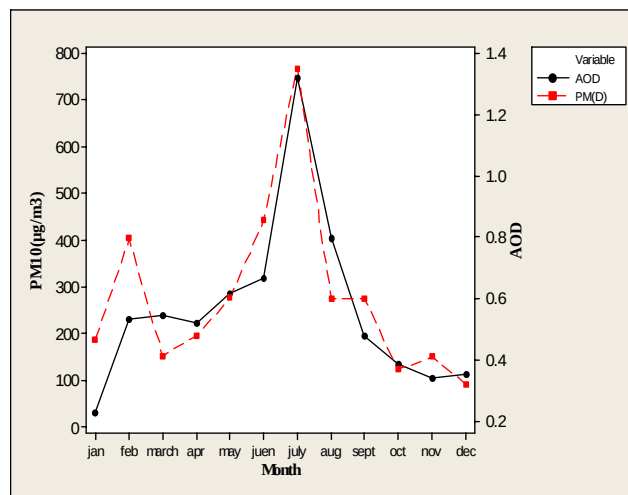
شکل 3 میانگین ماهیانهٔ AOD و تعداد روزهای گردوغبار در دوازده ماه سال 2009

1. dust storms frequency

نتایج بررسی رابطه AOD با PM_{10} در بازه‌های زمانی روزانه و ساعتی نیز نشان‌دهنده رابطه این دو متغیر است (شکل 4).



(الف)



(ب)

شکل 4 میانگین AOD و PM_{10} در بازه‌های زمانی روزانه (الف) و ساعتی (ب)

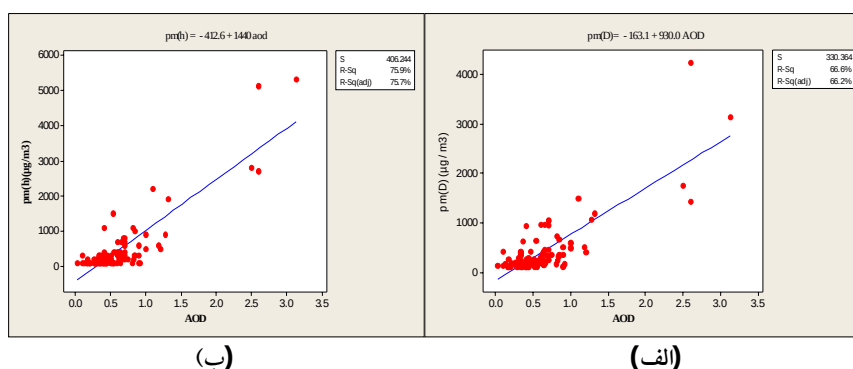
5-2- استخراج و تحلیل مدل پیش‌بینی ذرات کمتر از ده میکرون

در جدول شمارهٔ یک، ضرایب هم‌بستگی پیرسون برای متغیرهای مورد استفاده که در سطح 0/01 معنادارند، آمده است که بیشترین میزان هم‌بستگی مربوط به رابطهٔ بین AOD و PM_{10} ساعتی است.

جدول 1 هم‌بستگی متغیرهای محیطی با PM_{10}

بازه زمانی	ساعتی			روزانه		
	R	R Square	T	R	R Square	T
AOD	0.87	0.75	18.02	0.81	0.66	14.31
HV	-0.63	0.40	-8.32	-0.62	0.38	-8.05

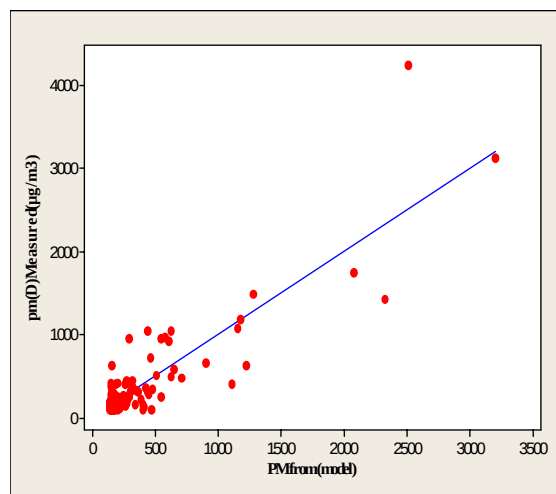
ستون آزمون t همراه سطح معناداری محاسبه‌شده ($Sig < 0.01$) معناداری تأثیر هر متغیر در معادلهٔ رگرسیونی را نشان می‌دهد. برپایهٔ نتایج، متغیرهای AOD و دید افقی با PM_{10} به‌ترتیب رابطهٔ مثبت و منفی دارند. در بررسی نمودار پراکنش متغیرهای AOD و HV با متغیر PM_{10} در هر دو بازهٔ زمانی (شکل 5) دریافت می‌شود که برای مقادیر کم ذرات معلق (حدود 100 میکروگرم بر مترمکعب)، هم‌بستگی معناداری بین PM_{10} و متغیرهای AOD و HV دیده نمی‌شود؛ درحالی که در مقادیر بالای PM_{10} میزان هم‌بستگی افزایش می‌یابد.



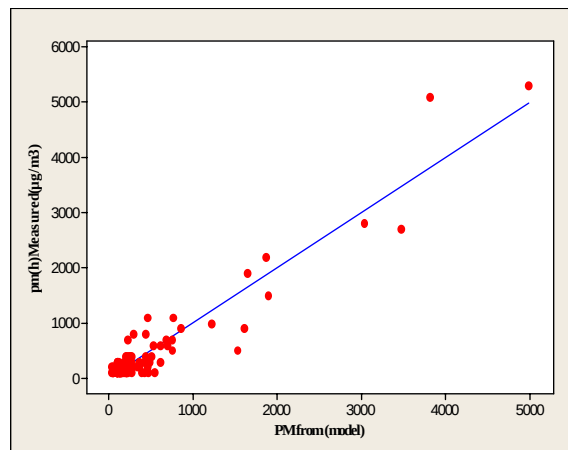
شکل 5 رابطهٔ بین متغیرهای AOD و PM_{10} در بازهٔ زمانی ساعتی (الف) و روزانه (ب)

3-5- تحلیل چندمتغیره

در شکل شماره شش، رابطه بین PM_{10} و خروجی مدل چندمتغیره در دو بازه زمانی روزانه و ساعتی مشاهده می شود. برای مقادیر کم ذرات معلق، همبستگی بین PM_{10} و متغیرهای مستقل ضعیف است؛ درحالی که در مقادیر بالای ذرات معلق همبستگی قوی تری دیده می شود.



(الف)



(ب)

شکل 6 رابطه PM_{10} مشاهده شده و خروجی مدل داده های اولیه در بازه زمانی ساعتی (الف) و روزانه (ب)

نتایج مدل‌سازی چندمتغیره همراه با ضرایب معادله خط رگرسیون، انحراف معیار برآوردها، ضرایب استاندارد شده و آماره t در بازه‌های زمانی ساعتی و روزانه به‌ترتیب در جدول‌های شماره دو و سه آمده است.

جدول 2 مشخصات مدل‌سازی رگرسیون خطی چندمتغیره در بازه زمانی ساعتی

مدل	ضرایب غیراستاندارد B	ضرایب استاندارد (Beta)	t	Sig
ضرایب	6513.5		7.2	.000
AOD	1149.7	.69	8.8	.000
logHV	-1097.9	-.64	-8.0	.000
logaod	.128	.524	5.285	.000
HV	-675.091	-.251	-4.036	.000

معادله رگرسیون جدول‌های شماره دو و سه به‌ترتیب برابر است با:

$$PM_{10}H = 6513 + 1149.7 * AOD - 1097.9 * \log HV + .1 * HV - 675 * \log aod$$

$$PM_{10}(D) = 3543 + 759 * aod - 1097.2 * \log HV - 421.63 * \log aod$$

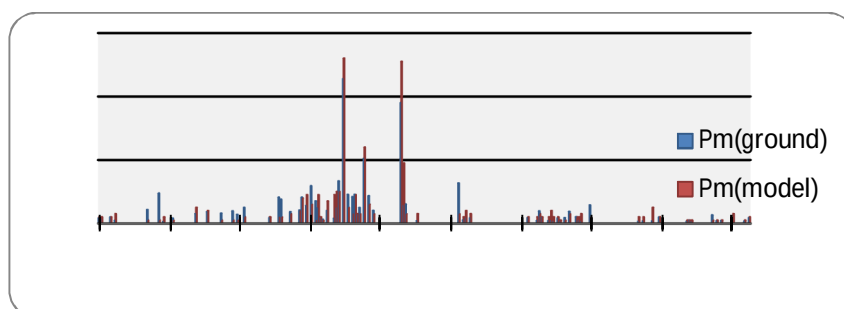
که در آن‌ها $PM_{10}(H)$ و $PM_{10}(D)$ نشان‌دهنده ذرات معلق کمتر از ده میکرون ساعتی و روزانه برحسب میکروگرم بر مترمکعب، AOD ضخامت نوری هواویزها در طول موج 550 نانومتر و HV دید افقی برحسب کیلومتر است.

جدول 3 مشخصات مدل رگرسیون خطی چندمتغیره برای PM_{10} در بازه زمانی روزانه

مدل	ضرایب غیراستاندارد B	ضرایب استاندارد (Beta)	t	Sig
ضرایب	3543		3.721	.000
AOD	759.042	.666	5.510	.000
logHV	-597.264	-.614	-3.997	.000
logaod	-421.653	-.227	-2.389	.019
HV	.054	.320	.037	2.113

برپایه نتایج جدول شماره دو و سه، در هر دو بازه زمانی مورد بررسی، متغیر AOD با دارا بودن بیشترین آماره t مهم‌ترین نقش را در مدل دارد که نشان‌دهنده مفید بودن داده AOD برای

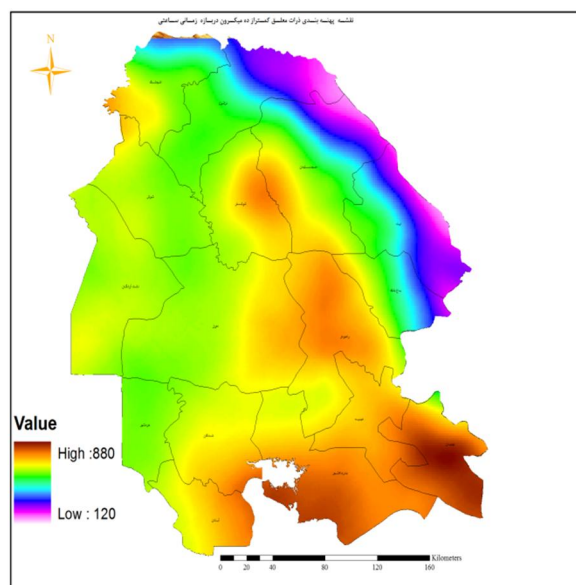
نقشه‌سازی PM_{10} است. تحلیل ضریب هم‌بستگی بیانگر آن است که در سطح معناداری 0/01 بازه زمانی ساعتی رابطه قوی‌تری را نشان می‌دهد. رابطه بین غلظت ذرات PM_{10} اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه زمینی و برآوردشده از مدل که اعتبار مدل را تأیید می‌کند، در شکل شماره هفت مشاهده می‌شود.



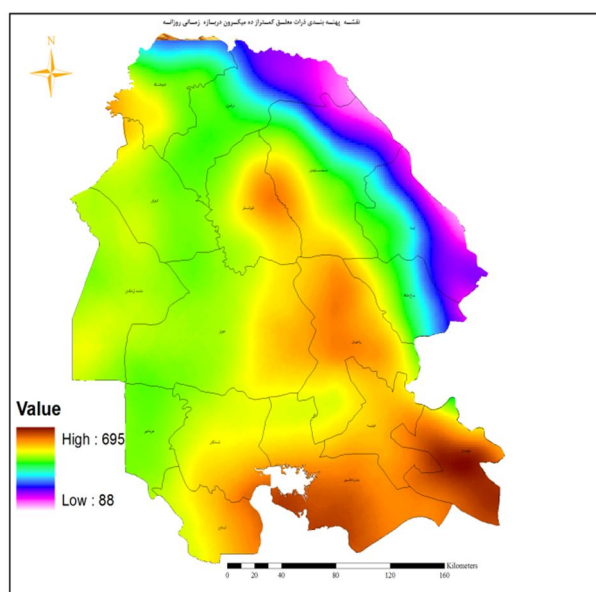
شکل 7 مقایسه غلظت ذرات PM_{10} به‌دست‌آمده از مدل و ایستگاه اندازه‌گیری زمینی

5-4- نقشه توزیع PM_{10} استان خوزستان در دو بازه زمانی ساعتی و روزانه

توزیع لحظه‌ای آلودگی ممکن است متأثر از شرایط مختلف آب‌وهوایی باشد؛ برای مثال جهت و سرعت باد در پراکندگی آلاینده‌ها نقش بسزایی دارد، برای اینکه تأثیر شرایط آب‌وهوایی و محیطی در کیفیت نقشه توزیع آلودگی به حداقل برسد، می‌توان از میانگین تصاویر روزهای مختلف استفاده کرد. در این حالت، شرایط آب‌وهوایی در نقشه نهایی تأثیر کمی خواهد داشت. در این مطالعه، به‌منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی ذرات معلق کمتر از ده میکرون در هر دو بازه زمانی ساعتی و روزانه، از میانگین نقشه‌های تولیدشده استفاده شد. مطابق مدل‌های به‌دست‌آمده در این مرحله، نقشه‌های توزیع PM_{10} در دو بازه زمانی تولید شد. براساس بررسی نقشه‌های تولیدشده (شکل 8)، کمترین مقادیر در قسمت‌های شمال و شمال شرق خوزستان، و بیشترین آن در جنوب و جنوب شرق و همچنین در شرق اهواز، رامهرمز، شرق شوشتر و غرب مسجدسلیمان وجود داشته‌اند. از مهم‌ترین دلایل افزایش تمرکز در نواحی دارای بیشترین مقادیر می‌توان جهت باد را نام برد؛ به‌طوری که باد غالب کل منطقه، شمال غربی است؛ در قسمت‌های کوهستانی شمال منطقه سرعت باد به‌شدت کاهش می‌یابد و جهت آن به‌سمت شمال شرقی منحرف می‌شود؛ در مناطق مرکزی استان جهت باد کاملاً غربی - شرقی امتداد می‌یابد و در مناطق جنوبی استان به‌صورت جنوب شرقی امتداد و سرعت آن به‌شدت افزایش می‌یابد (جلیزاوی، 1388).



(الف)



(ب)

شکل 8 نقشه توزیع PM_{10} در استان خوزستان در بازه زمانی روزانه (الف) و ساعتی (ب)

6- نتیجه

در این تحقیق، از رگرسیون خطی برای برآورد روزانه و ساعتی غلظت ذرات معلق استفاده شد. بررسی نمودار روند میانگین ماهیانه ذرات معلق و AOD نشان می‌دهد در روزهایی که توده گردوغبار وارد استان خوزستان شده است (فصل بهار و تابستان)، روند افزایشی هم‌زمان این دو متغیر مشاهده می‌شود. نتایج رگرسیون حاکی از این است که در مقادیر کم ذرات معلق (حدود 100 میکروگرم بر مترمکعب)، هم‌بستگی معناداری بین PM_{10} و متغیرهای AOD و HV دیده نمی‌شود؛ درحالی که در مقادیر بالای ذرات معلق هم‌بستگی قوی‌تری مشاهده می‌شود. مدل محاسباتی به‌دست‌آمده در این تحقیق بیانگر مفید بودن محصولات مادیس (MODIS Level 2) در پیش‌بینی غلظت ذرات آلاینده است؛ ولی باید یادآوری کرد دقت مدل محاسباتی دارای محدودیت‌هایی، ازجمله پیکسل‌های ضخامت نوری هواویزها با ابعاد 10 در 10 کیلومتری است که در هر گذر ماهواره، منطقه مطالعه توسط تعداد کمی از این پیکسل‌ها پوشیده می‌شود و هر پیکسل نماینده 100 کیلومترمربع است. این درحالی است که داده‌های اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه‌های زمینی پایش آلودگی هوا در شعاع محدودی قابل استناد هستند و اغلب، مقایسه داده‌های زمینی با اطلاعات به‌دست‌آمده از ماهواره مطمئن نیست. از کاربردهای اصلی این مدل، امکان پیش‌بینی رخ‌داده‌ها و غلظت گردوغبار بر مبنای داده‌های آب‌وهوایی و اطلاعات دریافتی از تصاویر ماهواره‌ای است که می‌تواند در تحلیل رفتار گردوغبار در مناطق مفید واقع شود. در نقشه تولیدشده از توزیع ذرات معلق مشاهده می‌شود که جنوب و جنوب شرق استان خوزستان آلودگی بیشتری داشته‌اند.

7- منابع

- جلیزای، محمد، «تهیه نقشه اقلیمی استان خوزستان با استفاده از GIS» در همایش ژئوماتیک، تهران: سازمان نقشه‌برداری کشور، 1388.
- غیاثوند، احمد، کاربرد آمار و نرم‌افزار Spss در تحلیل داده‌ها (آموزش جامع نرم‌افزار)، تهران: لویه، متفکران، 1387.

- قربانی سالخورد، رضوان، محمدرضا مباحثری و مجید رحیم‌زادگان، «توانایی داده‌های سنجنده مادیس در تحلیل‌های کمی و کیفی هوا در مناطق شهری»، نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، س 1، ش 3 و 4، 1389.

- موقتی، سارا، بررسی امکان سنجش آلودگی هوای تهران با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، 1382.

- ندافی، کاظم، «آلودگی هوا با تأکید بر ریزگردها و اثرات بهداشتی و زیست‌محیطی آنها» در دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران، دانشگاه علوم پزشکی شهیدبهشتی، صص 34-47، 1388.

- Amanollahi, S. Et al., "Accuracy Assessment of Moderate Resolution Image Spectro Radiometer Products for Dust Storms in Semiarid Environment", *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, Vol. 8, No. 2, Pp. 373- 380, 2011.

- Bouya, Z., G. Box & M. Box, "Seasonal Variability of Aerosol Optical Properties in Darwin, Australia", *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, No. 72, Pp. 726- 739, 2010.

- Engel, J.A. & R.M. Hoff, "Integrating Lidar and Satellite Optical Depth with Ambient Monitoring for 3-Dimensional Particulate Characterization", *Atmos. Environ*, No. 40, Pp. 8056- 8067, 2006.

- Ghorbani Salkhord, R., M.R. Mobasheri & M. Rahimzadeghan, "Ability of Modis Sensors to Analyze Quantitative and Qualitative air in Urban Areas", *Journal of Climatology*, Y. 1, No. 3 & 4, 2010. [In Persian].

- Ghyasvand, A., *Application of Statistics and SPSS Software in Data Analysis* (Training Extensive of Software), 2008. [In Persian]

- Guo, J.P. Et al., "Correlation between PM Concentrations and Aerosol Optical Depth in Eastern China", *Atmospheric Environment*, No. 43(37), Pp. 5876- 5886, 2009.

- Gupta, P. Et al., "Satellite Remote Sensing of Particulate Matter and air Quality Assessment Over Global Cities", *Atmospheric Environment*, No. 40 (30), Pp. 5880- 5892, 2006.

- Jelizvay, M., "Preparing Climatic map of Khuzestan Province Using GIS" in *Proceedings of Geomatic Conference*, 2009. [In Persian]
- Kasturi, D. Et al., "Preliminary Analysis of the Spatial and Temporal Patterns of Aerosols and Their Impact on Climate in Malaysia Using MODIS Satellite Data", *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, Vol. XXXVIII, Part 8, Kyoto Japan, 2010.
- Kaufman, Y.J. & D. Tanre, "Remote Sensing of Tropospheric Aerosols from EOS MODISoverland", *Geophys Res, No. 102*, Pp. 17051- 17067, 1998.
- Kaufman, Y.J., "Passive Remote Sensing of Tropospheric Aerosol and Atmospheric Correction for the Aerosol Effect", *Journal of Geophysical Research*, No. 102, Pp. 16815- 16830, 1997.
- Levy, R. Et al., "A Optical depth from Satellite Data, IEEE TGeosci", *Remote, No. 47(8)*, Pp. 2942- 2956, 2009.
- Martin, R., "Review Satellite Remote Sensing of Surface Air Hourly Round-Level Fine Particulate Matter (PM_{2.5}) Concentration in Southern Ontario from Satellite Remote Sensing and Ground-Based Meteorological Measurements", *Remote Sensing of Environment*, Pp. 221- 229, 2008.
- Movagati, S., "The Feasibility Study of Air Pollution Measurement Using MODIS Images", *Master Thesis of Engineer Faculty of Tehran University*, 2003. [In Persian]
- Nadafi, K., 2009, "Air Pollution with Emphasis on Particulate Matters and Their Health and Environmental Effects, Twelfth National Conferences on Environmental Health of Iran" in *Shahid Beheshti University of Medical Science*, Pp. 34- 47. [In Persian]
- Remer, L.A. Et al., "Algorithm for Remote Sensing of Tropospheric Aerosol from MODIS, Collection 005, Rev. 2, 97", at: <http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov>, 2009.
- _____, "Global Aerosol Climatology from the MODIS Satellite Sensors", *J. Geophys. Res*, No. 113, Pp. 426- 403, 2008.
- _____, "The MODIS Aerosol Algorithm ,Products, and validation", *American Meteorological Society, Sci*, No. 62, Pp. 947- 973, 2005.

- Tanré, D. Et al., "Remote Sensing of Aerosol Properties Over Oceans Using the MODIS/ EOS Spectral Radiances", *J. Geophys. Res*, Vol. 102, Pp. 16971- 16988, 1997.
- Tian, J. & D. Chen, "A Semi-Empirical model for Predicting Hourly Ground-Level Fine Particulate Matter (PM_{2.5}) Concentration in Southern Ontario from Satellite Remote Sensing and Ground-Based Meteorological Measurements", *Remote Sensing of Environment*, Vol. 114, Pp. 221- 229, 2010.
- Van Dankelaar, V., R. Martin & R.J. Park, "Estimating Ground-Level PM_{2.5} with Aerosol Optical Depth Determined from Satellite Remote Sensing", *Journal of Geophysical Research*, Vol. 111, Pp. 69-77, 2006.
- Wang, Z. Et al., "Satellite-Based Estimation of Regional Particulate Matter (PM) in Beijing Using Vertical-and-RH Correcting Method", *Remote Sensing of Environment*, Vol. 114, Pp. 50- 63, 2010.