The 2nd National Conference on
Geospatial Information Technology (NCGIT)

K.N.Toosi University of Technology
Faculty of Geomatics Engineering

18 January 2017

دومین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی نقشه‌برداری
۲۹ دی ماه ۱۳۹۵

ارزیابی داده‌های سنجنده مادیس در شناسایی ذرات معلق (مطالعه ی موردی استان البرز)

حمید انصاری [۱*]، حمدرضا سراجیان مارالان [۲]، مهدی آخوندزاده هنزائی [۳]

۱- دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی و قطب مهندسی نقشه برداری و مقابله با سوانح طبیعی، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران
۲- دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی و قطب مهندسی نقشه برداری و مقابله با سوانح طبیعی، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران
۳- دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی و قطب مهندسی نقشه برداری و مقابله با سوانح طبیعی، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران

چکیده :

آلودگی هوا در سطح استان البرز و شهر کرج یکی از دغدغه های اساسی مسولان است. برای کنترل و پایش میزان آلودگی و ذرات معلق در هوا از داده های ایستگاه های سنجش آلودگی استفاده می شود. این داده ها دقت بالایی دارند ولی به صورت گسسته جمع‌آوری می‌شوند. داده های ماهواره ای به علت پیوستگی و وسعت زیاد مکمل خوبی برای داده های زمینی می باشند. در این تحقیق با استفاده از رگرسیون خطی، همبستگی میان ذرات معلق (PM) ایستگاه های زمینی و محصول عمق نوری هواویز (AOD) سنجنده ی مادیس ماهواره ی آکوا در زمستان ۹۴ ارزیابی شده است. نتایج تحقیق حاکی از آن است که همبستگی مثبت قابل ملاحظه ای بین تراکم ذرات معلق (PM) و عمق نوری هواویزها برقرار است. بعنوان نمونه در ماه بهمن، بین ذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرون (PM10) و محصول AOD سنجنده ی مادیس ضریب تعیین r^2=0/73223 و بین ذرات معلق کوچکتر از ۲.۵ میکرون (PM2.5) و محصول AOD ضریب تعیین r^2=0/34997 بدست آمد، که برای محصول AOD با رزولوشن 10km بسیار مناسب است.

واژه‌های کلیدی : سنجنده ی مادیس، ضخامت نوری هواویز، ذرات معلق، همبستگی

نویسنده مکاتبه کننده : حمیدانصاری
آدرس پستی : خیابان کارگر شمالی، بالاتر از جلال آل احمد، پردیس دانشکده های فنی، ساختمان مرکزی، طبقه ۱← کد پستی: ۱۴۳۹۹۵۷۱۳۱
تلفن : ۰۹۱۲۸۴۴۵۱۶۸
آدرس پست الکترونیک : hamidansari@ut.ac.ir

۱- مقدمه

ذرات معلق هوا (PM)[1] اصطلاحی است که برای توصیف ذرات جامد و مایع پراکنده شده در هوا استفاده می‌گردد. این ذرات بزرگتر از مولکول‌های مجزا (مولکول هایی با قطر تقریباً 1 nm) و کوچکتر از 500 µm می باشند. ذرات معلق هم از نظر جنس و هم از نظر اندازه بسیار متنوع هستند. به ذرات کوچکتر از ۱۰ میکرون، PM10 و به ذرات کوچکتر از ۲.۵ میکرون، PM2.5 می گویند. امروزه از هر دو ذره PM10 و PM2.5 برای کنترل کیفیت هوای مناطق شهری استفاده می‌شود. ذرات معلق در هوا حاصل فعالیت های انسانی و پدیده های طبیعی هستند. این دو عامل می‌توانند باعث توده غلیظی از هواویز ها با ضخامت نوری متفاوت، تا فاصله صدها کیلومتر تا منبع اصلی شوند. مطالعات انجام‌شده بر روی این ذرات معلق، به اثر بسیار منفی این ذرات بر سلامت انسان‌ها اشاره دارد. ذرات معلق باعث بروز بیماری های مختلف مانند بیماری های تنفسی [۱]، قلبی [۲] و کاهش قد و وزن نوزادن در هنگام تولد می‌شوند. [۳]

ویژگی های هواویز از طریق سنجش زمینی و فضایی قابل اندازه گیری است. مشکل روش های سنجش از دور این است که در آن ها اندازه گیری مستقیم مشخصات هواویز ها امکان پذیر نیست. اما مزیت مهم آنها امکان اندازه گیری در شرایط طبیعی و فراهم کردن اطلاعات از کل سیستم هواویز ها در سطوح وسیع از طریق ماهواره هاست. در واقع راه حل، فقط از طریق بررسی رفتار اپتیکی اطلاعات هواویزها امکان پذیر است [۴]. از سوی دیگر اندازه‌گیری های میدانی در مقیاس محلی انجام می شود که دارای مشکلات ذاتی هنگام نمونه برداری هستند. علاوه بر این در اکثر شهرها و از جمله شهرهای استان البرز، ایستگاه های سنجش آلودگی محدود و با توزیع نا همگن هستند. بنابراین برای اظهار نظر راجع به توزیع آلودگی نمی توان صرفا به داده های ایستگاهی اتکا نمود.

خصوصیات نوری هواویز ها از قبیل ضخامت نوری (AOD)[2] در درک تاثیرات ریزگرد های اتمسفری، بر تغییرات اقلیم بسیار حیاتی هستند. عمق نوری آئروسل ها[3] کمیتی بی بعد است که میزان عبور دهی پرتو نور در جو را نشان می‌دهد[۴]. مطالعات زیادی در زمینه همبستگی داده های ضخامت نوری و میزان غلظت PM موجود در هوا صورت گرفته است. این مطالعات شامل رابطه خطی [۵-۷]، مدلسازی آماری و شیمیایی انتقال ذرات [۸, ۹]، رگرسیون چندگانه [۱۰] و شبکه های عصبی [۱۱] هستند، که همه آنها به کارایی محصول AOD برای پایش و منشأ یابی آلودگی اشاره دارند.

در این پژوهش از داده‌های سطح دوم سنجنده مادیس[4] ماهواره آکوا[5] استفاده شده است. برای بررسی هواویز ها و آلاینده‌های جوی به خصوص ذرات معلق موجود در جو از پارامتر عمق نوری هواویز (AOD) استفاده شده است. AOD مجموع ضرایب خاموشی و کاهش عبور از جو برای یک طول موج خاص در هر لایه از جو و معیاری از میزان هواویزهای موجود در جو است [۴]. از آنجا که میزان جذب و پراکنش نور را می توان از مقدار کاهش شدت نور مستقیم خورشید تعیین کرد، این مقدار تا حدودی مشخص کننده کیفیت هوا است. مقادیر بیشتر AOD بیانگر انباشت بیشتر هواویز ها در ستون جو و در نتیجه دید افقی کمتر است [۱۲]. در این تحقیق از الگوریتم اهداف تیره (DT)[6] برای محاسبه عمق اپتیکی هواویزها و همبستگی آن با ذرات معلق در زمستان سال ۱۳۹۴ در سطح استان البرز استفاده شده است.

---

[1] Particulate matter
[2] Aerosol Optical Depth
[3] Aerosol
[4] MODIS
[5] Aqua
[6] Dark Target

۲- پیشینه‌ی تحقیق

تحقیقات آلودگی هوا مانند هر پدیده دیگری دارای پیشینه‌ای است که مطالعه آن از دیدگاه متخصصانِ محیط زیست، بخش قابل توجهی از پژوهش‌های کارشناسی را در برمی‌گیرد. دراینجا چند مورد از آنها بررسی می‌شود.

چو و همکاران رابطه همبستگی خطی مناسبی بین متوسط روزانه PM10 و AOD محاسبه شده درشمال ایتالیا گزارش کردند. آنها رابطه AOD زمینی و PM رابررسی کردند[۱۳].

گوپتا و همکاران رابطه PM و AOD ماهواره‌ای را مورد بررسی قرار دادند، که با جمع‌آوری محصول AOD سنجنده مادیس و مقادیر PM در پنج شهر بزرگ دنیا به بررسی رابطه این دو پرداختند[۱۴].

صادقی وهمکاران در دانشگاه تربیت مدرس به شناسایی و پیش بینی کوتاه مدت آلودگی شهر اهواز به کمک شبکه عصبی پرداختند. دراین تحقیق ذرات PM10 برای مدت یکماه پیش بینی شد [۱۵].

تیان از دو مدل برای پیش بینی غلظت ذرات معلق استفاده کرد. در مدل اول تنها از رگرسیون خطی بین مشاهدات AOD و غلظت ذرات معلق اندازه گیری شده در ایستگاه زمینی استفاده کرد. درمدل دوم از یک رابطه تجربی بین AOD محاسبه شده از تصاویر مادیس و اطلاعات هواشناسی زمینی و ماهواره ای استفاده کرد[۱۶].

ون دنکلار استفاده از مدل GEOS-CHEM (مدلی که خصوصیات شیمیایی ذرات معلق راوارد محاسبات کند) را موجب بهبود همبستگی مکانی بین PM-AOD دانست به نحوی که ضریب همبستگی منطقه مورد مطالعه او از۲۹/ به ۶۸/ ارتقا یافت[۱۷].

بویا در پژوهش خود به این نتیجه رسید که واردکردن پارامترهای فصلی تاثیر زیادی در بهبود همبستگی بین AOD و غلظت ذرات معلق ایجاد می کند [۱۸].

شانلین لیانگ و همکاران با استفاده از ضخامت نوری استخراج شده از ماهواره به کمک اندازه گیری‌های زمینی PM کیفیت هوا درچندین شهر آلوده جهان را براورد کردند که یک رابطه تجربی میان این دو پارامتر بدست آمد. همچنین با دراختیار داشتن مجموعه عواملی مانند پوشش ابر رطوبت نسبی وارتفاع لایه اختلاط نشان داده شد که مقادیر همبستگی بالا مربوط به شرایط بدون ابر لایه اختلاط و رطوبت نسبی پایین می‌باشد[۱۹].

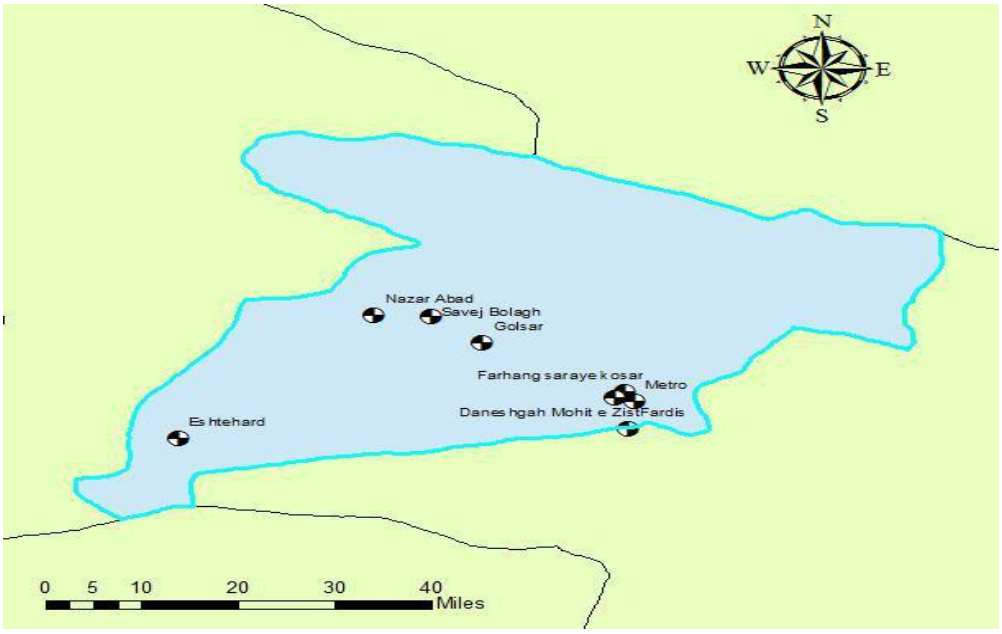
مباشری در تحقیقی که با دوتن از دانشجویان فوتوگرامتری خود انجام دادند به بررسی توانایی دادهای سنجنده مادیس درتحلیل کمی و کیفی هوا در مناطق شهری پرداختند وبه یک رابطه خطی ($PM10=222.78 * AOD - 65.091$) برای تهران رسیدند. [۲۰].

همچنین در تحقیق دیگری رنگزن وهمکاران در دانشگاه شهید چمران اهواز به بررسی PM10 و تودهای گرد و غبار شهر اهواز پرداختند و بدین نتیجه رسیدند که AOD سنجنده مادیس می تواند ابزار بسیار مناسبی جهت پهنه‌بندی ذرات معلق کوچکتر از ده میکرون در منطقه جنوب غربی ایران باشد. همچنین درمدل پیشنهادی آنها رطوبت عامل تاثیر گذاری نبود[۲۱].

۳- منطقه مورد مطالعه

استان تازه تاسیس البرز با مساحت ۶۹۴/۵۱۲۱ کیلومتر مربع در سال ۱۳۸۹ از استان تهران جدا و استان سی و یکم کشور را تشکیل داد. در مجموع 3/56 درصد از مساحت کل کشور به این استان تخصیص یافت. این استان دارای عرض جغرافیایی بین ۳۵ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی بین طول ۵۰ درجه و

۱۰ دقیقه و ۵۱ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی است. کل جمعیت استان بر اساس سرشماری سال ۱۳۸۵، ۲۰۷۶۹۹۱ نفر می‌باشد. استان البرز دارای ۴ شهرستان با نامهای کرج، نظرآباد، ساوجبلاغ و طالقان است. آب و هوای استان البرز معتدل و متوسط میزان بارندگی در آن حدود ۲۵۰ میلیمتر در سال است. هر چند در گذشته زمینها و اراضی کشاورزی حاصلخیز این ناحیه به‌دلیل وجود رودخانه کرج اهمیت بسیار داشته و اکنون نیز تا حدودی این اهمیت را حفظ نموده است، ولی متأسفانه به دلیل اینکه در حال حاضر تقریباً تمام آب رودخانه کرج برای آب شرب تهران استفاده می‌شود، کشاورزی منطقه رونق گذشته را نداشته و بسیاری از اراضی کشاورزی این استان و بخصوص شهرستان کرج با مشکلات و معضلات متعددی روبرو شده است[۲۲]. در سطح استان البرز تعداد هشت ایستگاه سنجش آلودگی وجود دارد. این ایستگاه ها در طول شبانه روز به صورت ساعتی میزان آلاینده‌های همچون منواکسید کربن، دی اکسید نیتروژن، دی اکسید گوگرد و ذرات معلق با قطر کمتر از ده میکرون را اندازه می‌گیرند. شکل (۱) موقعیت مکانی ایستگاه‌های سنجش آلودگی در سطح استان البرز را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت مکانی ایستگاه های سنجش آلودگی در سطح استان البرز

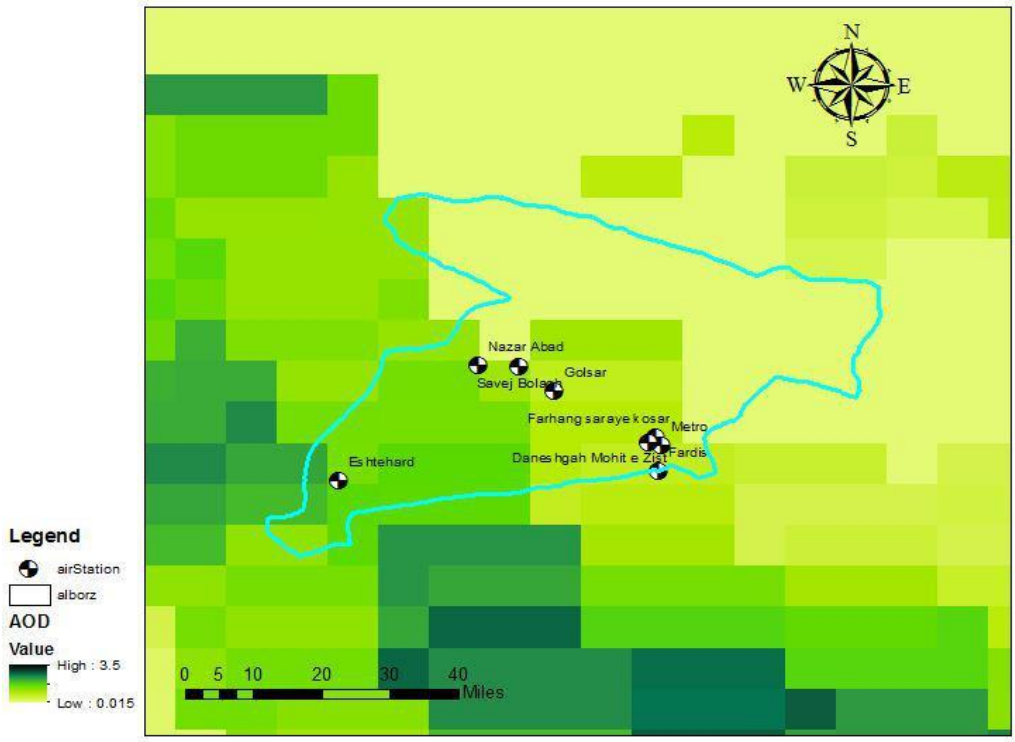
۴- روش تحقیق

داده های هواویز روزانه مادیس با سطح پردازش دوم شامل اطلاعات در مورد هواویز ها و ذرات معلق است. این داده ها برای مطالعه هواویز ها، منابع و محل فرونشت آنها، انواع هواویز ها، برهم کنش آنها با ابرها و تصحیحات جوی به کار می‌روند [۲۰] ضخامت نوری هواویز ها در پیکسل‌هایی با ابعاد ۱۰ کیلومتر مربع به‌دست می آید. استفاده از این داده‌ها در مطالعات هواشناسی، پایش آلودگی هوا و شناسایی محل های ایجاد آلودگی مفید می‌باشد. جهت استخراج ضخامت نوری هواویزها از دو الگوریتم اهداف تیره و عمق آبی استفاده می شود. در این تحقیق از الگوریتم اهداف تیره استفاده شده است. الگوریتم اهداف تیره برای محاسبه ی هواویزها در قدرت تفکیک مکانی ۱۰ کیلومتر توسط کافمن و همکارانش ارائه شد، که اساس آن تعیین پیکسل های تاریک در باندهای مادون قرمز میانی و سپس برآورد بازتابندگی آن ها در طول موج های ۴۷۰ ، ۵۵۰ و ۶۶۰ نانومتر از تصاویر سنجنده ی مادیس می‌باشد. با توجه به این که الگوریتم اهداف تیره نیازمند شرایط خاصی اعم از وجود پیکسل های تیره، بازتابندگی بالا و عدم وجود ابر است، ضخامت نوری درخیلی از روزها دارای داده نیست. استخراج اطلاعات کمی درباره هواویز ها از داده‌های سنجنده مادیس نیازمند الگوریتم‌ها و محاسبات پیچیده‌ای است که ناسا این پردازش ها را انجام داده و نتایج

را به کاربران ارائه می‌دهد. محصولات سطح دوم با پسوند HDF در اولین مرحله باید زمین مرجع شوند تا برای نقاط متناظر زمینی اطلاعات به‌دست آید.

۵- پیاده سازی و بررسی نتایج

شکل (۲) نمونه محصول AOD برای روز دوم اسفند ۹۴ ساعت ۹:۵۵ را در سطح استان البرز نشان می دهد. همانطور که از راهنمای نقشه پیداست، هرچقدر پیکسل های تصویر تیره تر باشند، مقدار AOD بیشتری در آن محدوده ثبت شده است. با این حساب مقدار AOD در ایستگاه های نظرآباد گلسار و فرمانداری ساوجبلاغ بیشتر از ایستگاه‌های فرهنگسرا، مترو و فردیس می‌باشد.



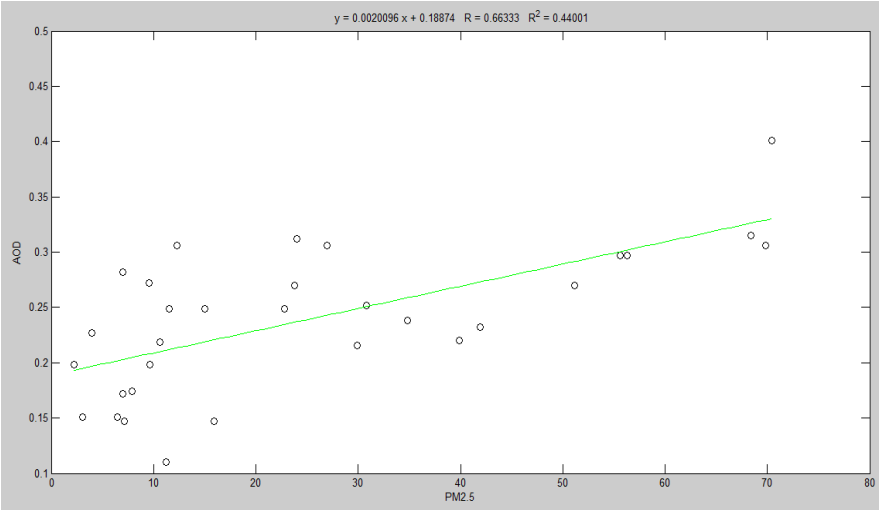
شکل ۲: نمونه محصول AOD برای روز دوم اسفند ۹۴ در سطح استان البرز

در شکل (۳) می‌توان نمونه داده های ساعتی ایستگاه‌های سنجش آلودگی سطح استان البرز در روز دوم اسفند سال ۱۳۹۴ برای ذرات PM10 و PM2.5 را مشاهده کرد. با بررسی داده ها در ساعتی که داده‌های ماهواره‌ای آن هم در دسترس است، ملاحظه می شود که تقریبا در ایستگاه هایی مقدار AOD بیشتر است، غلظت ذرات معلق هم بیشتر است. این مسأله بیان کننده ی یک رابطه ی خوب بین داده‌های ایستگاه های زمینی و محصولات ماهواره‌ای می‌باشد.

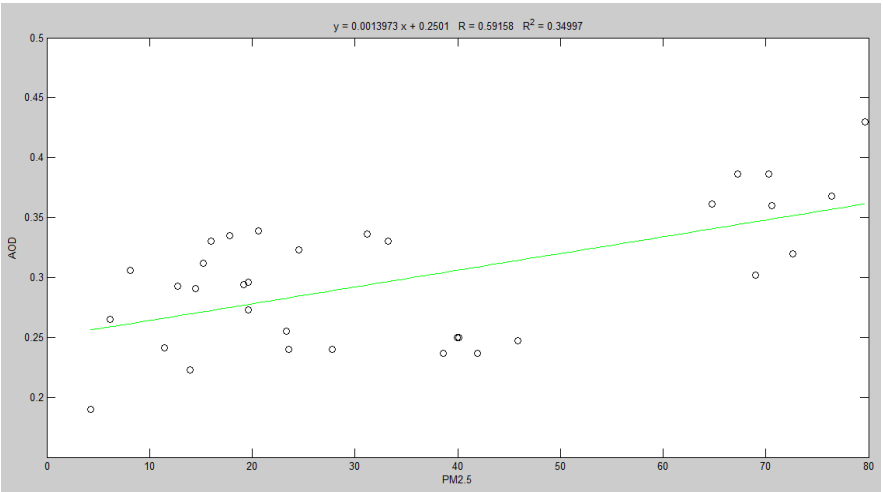
					اشتهارد		دانشگاه محیط زیست		فردیس		فرمانداری - ساوجبلاغ		فرهنگسرا		گلسار -ساوجبلاغ		مترو		نظرآباد	
DATE jalali	TIME jalali	TIME utc	day		pm 2.5	pm 10	pm 2.5	pm 10	pm 2.5	pm 10	pm 2.5	pm 10	pm 2.5	pm 10	pm 2.5	pm 10	pm 2.5	pm 10	pm 2.5	pm 10
1394/12/2	0:00	20:30	51					29.93	15.8	36.79	15.9578		19	39	23.2469		17		17.4672	18.6545
1394/12/2	1:00	21:30	51					38.22	17.51	37.47	26.8216		18	39	22.2161		23		15.7134	16.5572
1394/12/2	2:00	22:30	51					36.03	22.74	41.95	17.1454		20	46	21.6141		24		17.9154	18.7527
1394/12/2	3:00	23:30	51					38.28	32.77	60.35	25.449		23	66	21.3095		22		24.0996	25.3584
1394/12/2	4:00	0:30	52					49.37	37.12	63.42	25.1401		25	66	30.0851		31		26.6137	28.5379
1394/12/2	5:00	1:30	52					70.56	41.18	62.12	34.1075		20		37.1495		36		38.5044	40.8061
1394/12/2	6:00	2:30	52					95.18	46.82	64.55	35.779		57		29.4492		56		76.9809	79.7169
1394/12/2	7:00	3:30	52					152.65	68.98	85.75	26.6797		78		31.0952		80		107.279	109.873
1394/12/2	8:00	4:30	52					287.75	113.36	133.52	32.2786		77		39.9296		96		128.54	131.903
1394/12/2	9:00	5:30	52					371.2	177.04	208.19	41.245		85		53.6198		80		179.436	185.536
1394/12/2	10:00	6:30	52					373.6	267.05	315.65	58.1233		80		52.5781		83		315.33	325.701
1394/12/2	11:00	7:30	52					353.55	400.18	471.44	63.6304		74		52.7061		75		312.572	324.042
1394/12/2	12:00	8:30	52					321.2	440.87	516.38	89.7807		59		57.0136		53		316.606	327.976
1394/12/2	13:00	9:30	52					249.7	380.92	441.82	123.191		54		48.835		52		386.495	401.069
1394/12/2	14:00	10:30	52					235.45	307.2	353.81	130.087		33		40.3596		48		422.572	437.157
1394/12/2	15:00	11:30	52					194.25	243.98	279.2	141.031		39		35.9795		31		395.951	408.964
1394/12/2	16:00	12:30	52					173.7	206.68	238.81	124.952		50		35.3117		59		344.443	354.718
1394/12/2	17:00	13:30	52					200.75	222.8	261.65	91.6644		54		32.9023		69		276.154	286.036
1394/12/2	18:00	14:30	52					299.3	249.44	295.2	79.6913		77		33.3499		99		261.573	270.724
1394/12/2	19:00	15:30	52					265.3	241.54	286.53	73.4694		67		43.2018				300.546	310.276
1394/12/2	20:00	16:30	52					323.75	291.51	346.92	75.8111		65		62.7439		100		309.152	319.134
1394/12/2	21:00	17:30	52					310.75	302.46	360.15	79.8749		60		58.9974		84		344.365	357.051
1394/12/2	22:00	18:30	52					313.75	323.04	383.67	72.223		67		62.466		70		369.688	382.367
1394/12/2	23:00	19:30	52					266.4	365.69	433.07	70.0854		49		59.4766		56		374.738	387.388

شکل ۳: داده های ساعتی ایستگاه های سنجش آلودگی سطح استان البرز

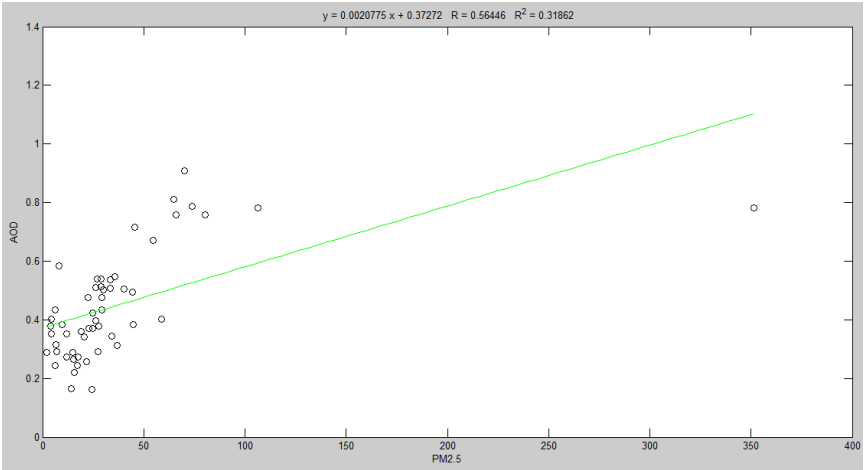
چون در فصل زمستان وارونگی دمایی بیشتر است و وارونگی رابطه ی مستقیمی با تمرکز آلاینده ها دارد، به بررسی محصولات سنجنده مادیس ماهواره ی آکوا برای شناسایی ذرات معلق در فصل زمستان پرداخته شد. ابتدا با رگرسیون خطی این همبستگی بررسی گردید. در شکل‌های (۴، ۵ و ۶) نتیجه ی رگرسیون بین ذرات معلق کوچکتر از ۲.۵ میکرون (PM2.5) و محصول مادیس در ماه‌های دی، بهمن و اسفند ۱۳۹۴ مشاهده می‌شود.



شکل ۴: رگرسیون بین PM2.5 و محصول AOD مادیس در دی ماه ۹۴ با ضریب همبستگی r=0/66333



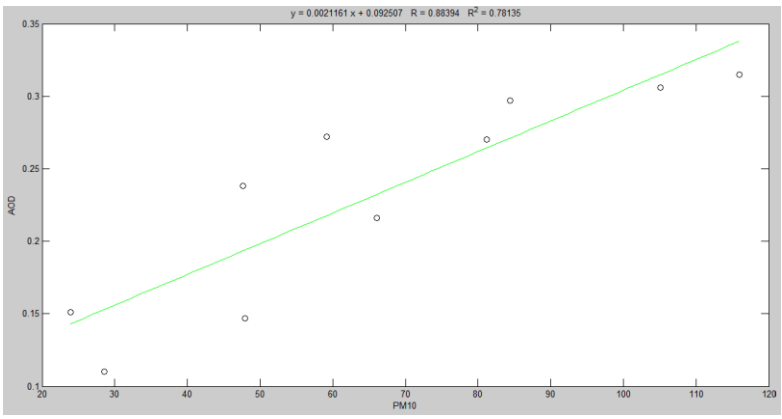
شکل ۵: رگرسیون بین PM2.5 و محصول AOD مادیس دز بهمن ماه ۹۴ با ضریب همبستگی r=0/59168



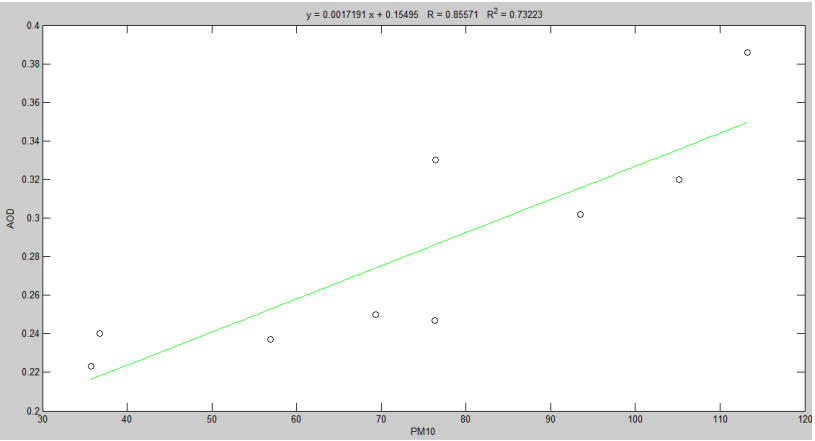
شکل ۶: رگرسیون بین PM2.5 و محصول AOD مادیس در اسفند ماه ۹۴ با ضریب همبستگی r=0/55446

با توجه به آمارهای سازمان هواشناسی ماه اسفند کمترین روزهای ابری را در زمستان ۹۴ داشته است به همین علت تعداد روزهای بیشتری از داده های ماهواره ای در رگرسیون گیری شرکت کرده اند. تعداد بیشتر داده طبیعتا نتایج رگرسیون را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

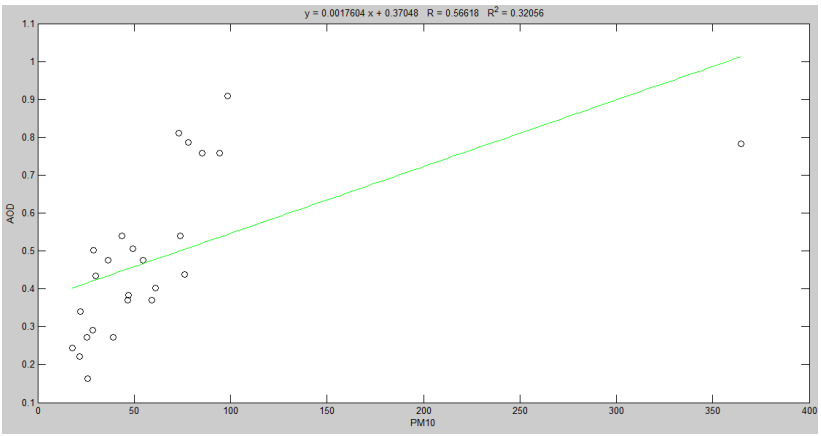
در سطح استان البرز فقط ۴ عدد از ایستگاه های سازمان حفاظت محیط زیست ذرات معلق PM10 را اندازه‌گیری می‌کنند. به همین علت رگرسیون با تعداد داده های کمتری گرفته می‌شود. در عکس های ۷، ۸ و ۹ نتیجه‌ی همبستگی بین ذرات معلق ۱۰ میکرون و محصول عمق نوری هواویزهای سنجنده ی مادیس مشاهده می‌شود.



شکل ۷: رگرسیون بین PM2.5 و محصول AOD مادیس در دی ماه ۹۴ با ضریب همبستگی r=0/88394



شکل ۸: رگرسیون بین PM2.5 و محصول AOD مادیس در بهمن ماه ۹۴ با ضریب همبستگی r=0/85571



شکل ۹: رگرسیون بین PM2.5 و محصول AOD مادیس در اسفند ماه ۹۴ با ضریب همبستگی r=0/56618

۶- نتیجه گیری

از یافته‌های تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که برای پایش وسیع آلودگی هوا روش‌های سنجش از دوری مناسب می‌باشند. سنجنده ی مادیس با داشتن ۳۶ باند طیفی و محصولات متنوع یکی از سنجنده‌های مناسب برای تحلیل آلودگی هوا می‌باشد.

در این تحقیق از محصول AOD مادیس، الگوریتم اهداف تیره استفاده شد و بین این محصول و ذرات معلق زمینی در زمستان ۹۴ همبستگی مناسبی بدست آمد. نتایج حاکی از آن است که ذرات معلق ۱۰ میکرون همبستگی بهتری نسبت به ذرات معلق ۲.۵ میکرون دارند. همچنین در ماه های مختلف ضریب همبستگی بین۰/۵۰ تا ۰/۹۰ می‌باشد، که برای محصول عمق نوری با رزولوشن ۱۰ کیلومتر مناسب می‌باشد.

از جمله مسایل عدم قطعیت مقایسه‌ی محصول ماهواره ای با رزولوشن ۱۰ کیلومتر با داده ی نقطه ای ایستگاه‌های زمینی می‌باشد. هم چنین برای مناطق روشن که با شرایط الگوریتم اهداف تیره همخوانی ندارند و روزهای ابری داده‌ی عمق نوری وجود نداشت.

مراجع

[1] Gent, J.F., et al., Symptoms and medication use in children with asthma and traffic-related sources of fine particle pollution. Environmental Health Perspectives, 2009. 117(7): p. 1168

[2] Franklin, M., A. Zeka, and J. Schwartz, Association between PM2 ۵ .and all-cause and specific-cause mortality in 27 US communities. Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology, 2007. 17(3): p. 279-287

[3] Ballester, F., et al., Air pollution exposure during pregnancy and reduced birth size: a prospective birth cohort study in Valencia, Spain. Environmental Health, 2010. 9(1): p. 1.

[4] Holben, B.N., et al., AERONET—A federated instrument network and data archive for aerosol characterization. Remote sensing of environment, 1998. 66(1): p. 1-16

[5] Hu, X ,.et al., Estimating ground-level PM 2.5 concentrations in the Southeastern United States using MAIAC AOD retrievals and a two-stage model. Remote Sensing of Environment, 2014. 140: p. 220-232

[6] Hu, Z., Spatial analysis of MODIS aerosol optical depth, PM 2.5, and chronic coronary heart disease. International journal of health geographics, 2009. 8(1): p. 1

[7] Schaap, M., et al., Exploring the relation between aerosol optical depth and PM 2.5 at Cabauw, the Netherlands. Atmospheric Chemistry and Physics :(۳)۹ .۲۰۰۹ ,p. 909-925

[8] Al-Saadi, J., et al., Improving national air quality forecasts with satellite aerosol observations. Bulletin of the American Meteorological Society, 2005. 86(9): p. 1249

[9] Van Donkelaar, A., et al., Satellite-based estimates of ground-level fine particulate matter during extreme events: A case study of the Moscow fires in 2010. Atmospheric Environment, 2011. 45(34): p. 6225-6232

[10] Kumar, N., A. Chu, and A. Foster, An empirical relationship between PM 2.5 and aerosol optical depth in Delhi Metropolitan. Atmospheric Environment, 2007. 41(21): p. 4492-4503

[11] Song, W., et al., A satellite-based geographically weighted regression model for regional PM 2.5 estimation over the Pearl River Delta region in China. Remote Sensing of Environment, 2014. 154: p. 1-7

[12] Van Donkelaar, A., R.V. Martin, and R.J. Park, Estimating ground-level PM2. 5 using aerosol optical depth determined from satellite remote sensing. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2006. 111(D21)

[13] Chu.D.A.,Kaufman .Y.J., zibordi.G.,Chern.J.D.,Mao.J.T.,Li.C.C. ,Holben.B.N.,(2003) Global monitoring of air pollution over land from the earth observating system-Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) journal of Geophysical Reserch vol :108.

[14] Gupta .P and S.Chrisopher(2008) seven year particulate matter air qualiy assessment from surface and satellite measurment atmospheric chemistry and physics discussion,vol.8,no.1, 327-365.

[۱۵] دکترصادقی ، (۱۳۹۳) پیش بینی کوتاه مدت آلودگی ذرات معلق PM10 شهر اهواز به کمک شبکه های عصبی.

[16] Tian J. and D.Chen,(2010) Asemi-empirical model for predicting hourly round- level fine particulate matter(PM2.5) conentration in southern ontario from satellite remote sensing and ground- based meteorological measuments – remote sensing of enviroment, 114,221-229.

[17] Van Dankelaar, V., R. Martine and R.J.Park,(2006) estimating ground – level PM10 with aerosol optical depth determined from satellite remote sensing journal of geophysical reserch , 111.69-77.

[18] Bouya ,Z.,G.Box and ,.M.Box (2010) sesonal variability of aerosol properties in Darwin , australia, journal of atmospheric and solar terrestrial physics 72 . 726-739.

[19] Shunlin Liang,BoZhang , Hongling Fong (2006) Improved estimation of aerosol optical depth from MODIS imagery over land surfaces , remote sensing of enviroment 104, pps . 416-425.

[۲۰] قربانی، رضوان ، (۱۳۹۰) توانایی دادهای سنجنده MODIS درتحلیل کیفی و کمی کیفیت هوا در مناطق شـهری پایان نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور به راهنمایی دکتر محمدرضا مباشری.

[۲۱] دکتر رنگزن، (۱۳۹۳) مدلسازی آلودگی هوا بـا اسـتفاده از تصـاویر سـنجنده MODIS مطالعـه مـوردی تودهـای گردوغبار استان خوزستان.

[22] http://www.amar.org.ir/Portals/2/pdf/jamiat_shahrestan_keshvar3.pdf