

استفاده از تصویر ماهواره‌ای در محاسبه قابلیت دید افقی جو

سید عباس حجازی*^۱، محمد رضا مباحثی^۲، داود مجیدی^۳

۱- کارشناس ارشد مهندسی سنجش از دور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- دکتری سنجش از دور، دانشیار دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳- کارشناسی ارشد مهندسی الکترواپتیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۱/۵/۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۴/۱۰

چکیده

کاهش قابلیت دید از اولین اثرات قابل ملاحظه آلودگی هوا بر پدیده‌های جوی بشمار می‌آید. در توصیفات هواشناسی قابلیت دید عبارتست از معیار استاندارد شفافیت اتمسفر در طیف مرئی. کاهش دید موجب مخاطرات ایمنی می‌شود و از لحاظ ظاهر نیز ناخواسته است. برای بررسی قدرت دید، محاسبه تیرگی جو مفید خواهد بود. هواویزها به عنوان مهمترین عامل تیرگی جو، با جذب و پراکنده‌سازی نور خورشید موجب کاهش قابلیت دید در جو می‌شوند. در این پژوهش با استفاده از روش سنجش از دوری تیرگی جو محاسبه شده است. به این منظور از تصاویر سنجنده MODIS مستقر بر سکوی Aqua ضخامت نوری هواویز استخراج شده و تصحیحاتی از قبیل رطوبت نسبی و ارتفاع اختلاط بر روی این پارامتر انجام می‌شود و با استفاده از روابط موجود بین ضخامت نوری هواویز و تیرگی جو، پارامتر تیرگی جو محاسبه می‌شود. در نهایت بررسی‌ها در این تحقیق نشان می‌دهد که بین پارامتر تیرگی جو و کاهش قدرت دید جو، یک رابطه خطی با میزان همبستگی ۰/۷۷، وجود دارد که در مجموع این همبستگی نشان می‌دهد که برای سنجنده‌ای با دقت در حد سنجنده MODIS و قدرت تفکیک مکانی آن، قابل قبول می‌باشد از مزایای روش سنجش از دوری در محاسبه تیرگی جو نسبت به سایر روش‌ها، عدم محدودیت مکانی آن می‌باشد. با این حساب در هر روز در نوبت زمانی می‌توان قدرت دید مناطق مختلف را مورد ارزیابی قرار داد. موردی که باید به آن اشاره کرد فرضی است که در این پژوهش از آن استفاده شد و آن در نظر گرفتن توزیع همگن برای عوامل به وجود آورنده تیرگی جو در محیط تحت پوشش یک پیکسل می‌باشد که تا حدودی ممکن است خلاف واقع باشد.

واژگان کلیدی: تیرگی جو، ضخامت نوری هواویز، نمای انگستروم، قدرت دید

مقدمه

محاسبه تیرگی جو و متعاقب آن کاهش دید افقی، محاسبه تاثیر هواویزها در مسیر تابش خورشید می‌باشد.

اساس اپتیک هواویزها بر پایه تغییر میزان انرژی تابشی عبوری بعلمت برهم کنش با ذرات معلق است (کاچار، ۱۳۹۰). وقتی یک ذره در معرض تابش طول موجی از نور قرار می‌گیرد، دو فرآیند جذب و یا پراکنش روی می‌دهد (کاچار، ۱۳۹۰). انرژی تابشی فرودی می‌تواند به صورت‌های دیگر انرژی مانند انرژی گرمایی، انرژی شیمیایی یا تابش در طول موج دیگری تبدیل شود که به این تبدیل انرژی، جذب گفته می‌شود (مباشری، ۱۳۸۹). جذب انرژی تابشی، همراه با برانگیختگی ترازهای انرژی اتم‌ها یا مولکول‌های تشکیل دهنده هواویز می‌باشد (مباشری، ۱۳۸۹). همچنین محیط می‌تواند علاوه بر جذب، باعث پراکنده شدن فتون‌ها شود. فرآیند پراکنش به معنی تغییر راستای انتشار فتون‌ها می‌باشد. این فرآیند بعلمت ناهمگونی محلی محیط که ناشی از وجود ذرات جامد یا قطرات مایع معلق در گاز است، می‌باشد. بعلاوه پدیده پراکنندگی ممکن است بدلیل وجود مولکول‌های گازی باشد (کاچار، ۱۳۹۰). هنگامیکه پراکنندگی انرژی تابشی، محدود به پراکنندگی مولکولی است (یعنی هیچ ذره خارجی وجود ندارد)، پراکنندگی ریلی^۱ نامیده می‌شود. طبق تئوری ریلی، شدت تابش طیفی پراکنده شده متناسب با عکس چهارم طول موج است. بنابراین پراکنندگی ریلی در طول موج‌های کوتاه‌تر اهمیت بیشتری دارد. یکی از پارامترهایی که تحت تاثیر پدیده جذب و پراکنش هواویز محاسبه می‌شود، ضخامت نوری هواویز^۲ می‌باشد (Tian & Chen, 2010). این پارامتر به صورت انتگرال ضریب تضعیف در مسیر قائم و ستونی در جو تعریف می‌شود (Tian & Chen, 2010). با انجام محاسباتی بر روی AOD، تیرگی جو قابل محاسبه است (قربانی، ۱۳۹۰).

۳۰ سال از زمانی که داده‌های ماهواره‌ای در پایش هواویزها استفاده می‌شود، می‌گذرد و در طی گذشت این زمان، تکنیک‌های سنجش از دوری از بهبود و پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ای برخوردار شده‌اند (Wang & Chen, 2010). بهره بردن تصاویر ماهواره‌ای از پوشش مکانی و زمانی بالا، این توانایی را در این تکنیک‌ها بوجود آورده است تا اطلاعات

یکی از اولین واژه‌هایی که همراه با آلودگی هوا در ذهن تداعی می‌شود، کاهش دید افقی است (Malm, 1979). قدرت دید را می‌توان حداکثر فاصله‌ای در نظر گرفت که درک بصری انسان تحت شرایط آب و هوایی محدود می‌شود (Babari et al, 2011). به طور کلی قدرت دید به قابلیت عبور نور به صورت مستقیم در جو بر می‌گردد و حداکثر فاصله‌ای است که انسان در هر زمان از روز می‌تواند ببیند (Sirniviasa & Narasimhan, 2001). دود و آلودگی هوا در شهرها موجب کاهش قابلیت دید خواهد شد. ذرات نمک در مناطق ساحلی نیز یکی از موارد کاهش دید خواهد بود. اما بدون شک زمانی قدرت دید حداقل خود را خواهد داشت که غلظت ذرات معلق در جو حداکثر مقدار خود را دارا باشد (قربانی، ۱۳۹۰).

تهیه اطلاعاتی در مورد قدرت دید افقی با دقت بالا برای خلبانان و کنترل کنندگان ترافیک هوایی با توجه به وجود جت‌های سریع و مافوق صوت، بسیار مهم می‌باشد (Mali & Vashistha, 2005). قدرت دید هواشناسی، مربوط به شفافیت جو و در ارتباط با توانایی دید بشر اساس گذاری شده است. روش معمول برای اندازه‌گیری قدرت دید استفاده از ابزاری است که معمولاً در اطراف فرودگاه‌ها نصب می‌شود و با دقت مطلوب توانایی اندازه‌گیری قدرت دید را دارند، اما محدودیت این روش‌ها زمانی است که خواسته شده باشد در مکانی قدرت دید تعیین شود که این امکانات وجود ندارد.

انرژی تابشی که از خورشید به سطح زمین می‌رسد، به میزان کاهش آن در عبور از جو بستگی دارد (مباشری، ۱۳۸۹). میزان کاهش در جو برای هوای صاف بسیار کم است ولی با افزایش هواویزها و یا تیرگی ناشی از بخار آب، گرد و غبار و گازها میزان کاهش انرژی عبوری افزایش می‌یابد (مباشری، ۱۳۸۹). بنابراین با اندازه‌گیری مستقیم تابش خورشیدی، می‌توان میزان تیرگی جو را بدست آورد (مباشری، ۱۳۸۹). طبیعی است که بین تیرگی جو و کاهش دید افقی جو ارتباط وجود داشته باشد. بنابراین با توجه به آنچه که گفته شد، لازمه

1. Rayleigh Scattering

2. Aerosol Optical Depth (AOD)

تحقیقات مختلفی با استفاده از AOD در برآورد غلظت هواویز سطح زمین در نقاط مختلف جهان انجام شده است. در این تحقیقات از مدل‌های خطی و غیر خطی برای برآورد غلظت هواویزها استفاده شده است (Gupta, 2006, 2008, Liu & Franklin, 2007, Chirostopher, 2008, Van Dankelaar & Martin, 2008, Wang & Chen, 2010, Tian & Chen, 2010) در این تحقیق قصد بر این است که ضخامت نوری هواویز از تصاویر ماهواره‌ای استخراج شود و از آن تیرگی جو محاسبه شده، سپس ارتباط تیرگی جو با قدرت دید افقی بررسی می‌شود. در جدول شماره ۱ روش‌های محاسبه دید افقی بیان شده و مزایا و معایب هر روش به طور مختصر بیان شده است.

ارزشمندی برای مطالعات اپیدمولوژی، کمک به طراحی شبکه اندازه‌گیری و پیش‌بینی آلودگی هوا فراهم کند (Liu & Franklin, 2007). به بیان دیگر اطلاعات فراوان با هزینه اندک از مزایای این روش می‌باشد. پس از آن که سنجنده اسپکترورادیومتر تصویر بردار با قدرت تفکیک متوسط (MODIS) در مدار قرار گرفت، اقدام به برآورد عمق اپتیکی کلی از مشاهدات طیفی آن شده است. AOD حاصل از تصاویر MODIS نتیجه اندازه‌گیری ضریب تضعیف هواویز از سطح زمین تا ارتفاع بالای جو برای یک طول موج ثابت در زمان گذر ماهواره می‌باشد (Tian & Chen, 2010). AOD یک پارامتر کلیدی برای تخمین آلودگی جوی در مطالعات آلودگی هوا می‌باشد.

جدول ۱- روش‌های محاسبه دید افقی جو و مزایا و معایب

| نام روش | روش انجام محاسبات | مزایا | معایب |
|---|---|---|---|
| دید انسانی | با استفاده از تجربه | انعطاف‌پذیری، قابلیت تطبیق با شرایط آب‌وهوایی | دقت پایین و عدم اعتماد پذیری و قابلیت استناد، بستگی به قابلیت و توانایی شخص بیننده |
| Photography | پردازش تصویر | ارتباط مستقیم با دید بصری، تحت تاثیر شرایط چشم اندازی (ثبت شرایط محیطی) | حساس به شرایط نوری هنگام عکس- برداری، کاهش کیفیت بسته به نوع فشرده- سازی تصویر، کاهش کیفیت با توجه به نوع فیلم مورد استفاده |
| Integration nephelometer | از طریق محاسبه ضریب جذب | اندازه‌گیری پیوسته، قابلیت اندازه‌گیری در شب، ارتباط مستقیم با هواویز، قابلیت نمایش اتوماتیک، غیر حساس به ابر | اندازه‌گیری نقطه‌ای، فرض بر توزیع همگن ذرات، قرار داشتن تحت تاثیر رطوبت نسبی، محدودیت مکانی، قابل استفاده تنها در روز |
| Multiwavelength telephotometer | از طریق محاسبه ضریب تضعیف (مجموع ضریب جذب و پراکندگی) | قابلیت اندازه‌گیری قدرت دید تا ۱۰۰ کیلومتر، استفاده از ضریب تضعیف در محاسبات، وارد شدن تاثیر پراکندگی و جذب در طول موج‌های مختلف، قابلیت نمایش اتوماتیک | حساس به شرایط آب‌وهوایی، قابل استفاده تنها در روز، قابلیت استفاده تنها در آسمان صاف و بدون ابر، محدودیت مکانی |
| Transmissometer | از طریق محاسبه ضریب تضعیف (مجموع ضریب جذب و پراکندگی) | قابلیت اندازه‌گیری در قدرت دیدهای متوسط، استفاده از ضریب تضعیف کلی، عدم حساسیت به ابر، قابلیت استفاده در شب | مشکلات کالیبراسیون، موارد استفاده‌های خاص، هزینه بالای راه‌اندازی، محدودیت مکانی |
| روش سنجنش از دوری (روش مورد استفاده در این تحقیق) | محاسبه تیرگی جو با استفاده از پارامتر AOD | استفاده از ضریب تضعیف تضعیف، عدم محدودیت مکانی، هزینه کم، جامعیت اطلاعات، قابلیت تبدیل شدن به حالت اتوماتیک | فرض بر توزیع همگن ذرات، دسترس بودن این اطلاعات تنها در زمان عبور ماهواره، حساس به ابر |

مواد و روش

تصاویر سنجنده MODIS و داده‌های سطح

دوم این سنجنده

در این پژوهش از داده‌های سنجنده MODIS استفاده شده است. MODIS (اسپکتروراديو متر تصوير بردار با قدرت تفكيك متوسط) سنجنده ای است که بر روی ماهواره Terra (EOS AM-1) قرار داده شده است. Terra MODIS هر یک الی دو روز یکبار از تمام سطح زمین تصویربرداری کرده و داده‌هایی در ۳۶ باند طیفی اخذ می‌کند. باندهای سنجنده MODIS در محدوده طیفی ۰٫۴ تا ۱۴ میکرومتر با توان تفکیک مکانی ۲۵۰ و ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر قرار دارند (NASA, 2002).

داده‌های هواویز روزانه MODIS (MODIS AOD)، با سطح پردازش دوم شامل اطلاعات مفید در خصوص هواویزها و ذرات معلق هواست که برای مطالعه هواویزها، منابع و محل فرونشست آن‌ها، انواع هواویزها (مانند سولفات‌ها و هواویزهای حاصل از سوخت توده زنده) و برهم‌کنش هواویزها با ابرها و تصحیحات جوی و غیره، به کار می‌روند (Savtchenko & Ouzounov, 2004). این محصولات به صورت ماتریس‌های دوبعدی با ابعاد 203×135 (برای هر صحنه^۲ تصویر در مدت ۵ دقیقه کسب می‌شوند)، در قالب فرمت سلسله مراتبی^۳ موجود می‌باشند (قربانی، ۱۳۹۰). تمام سلول‌های این ماتریس دارای مختصات جغرافیایی هستند که در تهیه لایه‌های اطلاعاتی، و ترکیب با سایر لایه‌های مکانی می‌توان از آن‌ها استفاده کرد.

در این پژوهش از محصولات AOD سنجنده MODIS بر مبنای الگوریتم مجموعه ۵ (C005) بازیابی شده و تحت عنوان (Corrected_Optical_Depth_Land) در دسترس است، استفاده شده است. این AOD در طول موج ۰٫۵۵ میکرومتر در پایگاه اینترنتی <http://Modis.gsf.gov/data/> قابل دسترسی است.

پارامترهای هواشناسی

اطلاعات هواشناسی شهر تهران مورد استفاده در این پژوهش شامل دمای ۵ سانت سطح زمین، رطوبت نسبی، پوشش ابر و وضعیت جوی بوده که در ایستگاه‌های هواشناسی مهرآباد، اقدسیه و فرودگاه امام جمع‌آوری شده‌اند. برای محاسبه مقدار تقریبی ارتفاع اختلاط (BLH) از مدل جهانی CSIRO Mixing Height استفاده شده است. پارامترهای مورد نیاز این مدل که شامل دما، سرعت باد سطحی و وضعیت حضور ابر بود (Hanel, 1976)، از ایستگاه‌های هواشناسی استخراج شد. گرادیان دمایی در این مدل در منطقه تهران به صورت نرمال در نظر گرفته شده است.

پارامتر مورد استفاده دیگر، قابلیت دید افقی است که در ایستگاه‌های هواشناسی و فرودگاه‌های کشور اندازه‌گیری می‌شود و از این پارامتر برای صحت سنجی استفاده می‌شود.

ضخامت نوری هواویز و تیرگی جو

ضخامت نوری هواویزها از انتگرال ضریب تضعیف هواویز از سطح زمین تا بالای جو برای یک طول موج معین λ ، به صورت زیر بدست می‌آید (Tian & Chen, 2010).

$$\tau = z(\lambda) = \int_0^{\infty} \beta_{ext}(\lambda, z) dz = \int_0^{\infty} P(z) \sigma_{ext}(\lambda, z) dz \quad (1)$$

که در آن $\beta_{ext}(\lambda, z)$ ضریب تضعیف، $P(z)$ غلظت هواویز در ارتفاع z و $\sigma_{ext}(\lambda, z)$ سطح مقطع تضعیف هواویز است. صحت و دقت در محاسبه AOD سنجنده MODIS در حدود 0.15 ± 0.05 گزارش شده است، که این نتیجه با مقایسه τ بازیابی شده از مشاهدات MODIS با اندازه‌گیری زمینی توسط دستگاه AERONET به دست آمده است (NASA, 2002). با توجه به تأثیری که رطوبت نسبی و ارتفاع اختلاط یا لایه مرزی (ارتفاع لایه‌ای از جو که در آن لایه، هوا کاملاً مخلوط شده است) بر AOD می‌گذارد، رابطه زیر برای اعمال این تاثیر پیشنهاد شده است (Wang & Chen, 2010).

$$AOD^* = \frac{AOD}{f(\text{humidity})BLH} \quad (2)$$

1. MOD04-L2
3. HDF(Hierarchical Data Format)

2. Scene

در این رابطه BLH ارتفاع لایه مرزی و $f(\text{Humidity})$ تابعی بر اساس رطوبت نسبی جو می‌باشد. این تصحیح، اثر بخار آب و ارتفاع را بر ضریب تضعیف تا حدودی تعدیل می‌کند. هنگامی که رطوبت هوا زیاد باشد، اندازه ذرات معلق به صورت نمایی افزایش می‌یابند و در نتیجه ضریب تضعیف به صورت مشهودی افزایش یافته و غلظت هواویزها نیز بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌شود (Tian & Chen, 2010).

۳ تعریف شده است. در حالت کلی ضریب تجربی g عدد ۱/۰۴ در نظر گرفته می‌شود (Hanel, 1976). رطوبت نسبی مبنا (RH_0) بر اساس میانگین رطوبت نسبی منطقه در نظر گرفته می‌شود، که در این تحقیق میانگین رطوبت نسبی در طول دوره تحقیق (تابستان سال ۱۳۸۸) ۰/۳۵ محاسبه شده است.

جدول ۲- توصیف اطلاعات استفاده شده در این تحقیق

| نام پارامتر | واحد | فراوانی | منبع |
|--|--------------------|---------|--------------------------------------|
| AOD مستخرج از MODIS در $0.550 \mu\text{m}$ | بدون واحد | روزانه | MODIS تصاویر |
| دمای سطح زمین | $^{\circ}\text{C}$ | ساعتی | ایستگاه های هواشناسی |
| رطوبت نسبی | % | روزانه | ایستگاه های هواشناسی |
| ارتفاع اختلاط (BLH) | M | ساعتی | CSIRO Model |
| دید افقی جو | KM | ساعتی | ایستگاه های سنجش آلودگی و فرودگاه‌ها |

ممکن است این مقدار به صفر برسد (Ogunjobi & Kim, 2004).

(۵)

$$\alpha = -\frac{\log \frac{\tau_{\lambda_1}}{\tau_{\lambda_2}}}{\log \frac{\lambda_1}{\lambda_2}}$$

در این رابطه τ_1 عمق نوری هواویز در طول موج λ_1 و τ_2 عمق نوری هواویز در طول موج λ_2 می‌باشد. در حقیقت اگر نمای انگستروم در یک طول موج مشخص باشد، می‌توان در تمام طول موج‌ها می‌توان عمق نوری هواویز را محاسبه نمود. معمولاً برای محاسبه نمای انگستروم، در دو طول موج عمق نوری هواویز محاسبه می‌شود و سپس از رابطه ۶ نمای انگستروم برآورد می‌شود.

(۶)

$$\frac{\tau_2}{\tau_1} = \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right)^{-\alpha}$$

در نهایت با استفاده از رابطه ۷، تیرگی جو (β) محاسبه می‌شود.

$$f(\text{humidity}) = \frac{(1-RH)}{(1-RH_0)^g} \quad (۳)$$

مشاهدات میدانی، یک رابطه خطی بین AOD و ضریب تیرگی (β) را نشان می‌دهند. تیرگی جو که با میزان هواویزهای جوی ارتباط مستقیم دارد، یک نماینده مهم برای نظارت بر کیفیت هوا می‌باشد. اگر توزیع اندازه ذرات هواویز (نمای انگستروم (α)) و AOD معلوم باشند، تیرگی جو می‌تواند از رابطه انگستروم که بصورت زیر بیان می‌شود بدست آید (Veefkind, 1999). در این رابطه $\tau_{a\lambda}$ ضخامت نوری تصحیح شده می‌باشد.

$$\tau_{a\lambda} = \beta \lambda^{-\alpha} \quad (۴)$$

پارامتر β با تیرگی جو همبستگی مثبت دارد. مقادیر تیرگی بالاتر نشان‌دهنده غلظت بیشتری از هواویز است. پارامتر α در واقع بیان کننده اندازه ذرات هواویز است. پارامتر α با مقادیر کمتر، نماینده توزیع ذرات درشت در جو بوده و بر عکس مقادیر بزرگ α توزیع ذرات ریز در جو را نمایندگی می‌کنند. دامنه تغییرات α بین مقادیر ۰ (پراکنش می) تا ۴ (پراکنش ریلی) می‌باشد. برای گردوغبار

توزیع ذرات درشت موجود در جو می‌باشد. دامنه تغییرات α بین مقادیر ۰ (پراکنش ریلی) تا ۴ (پراکنش مای) می‌باشد که برای گرد و غبار این مقدار ممکن است حتی به صفر برسد و در حالتی که در جو تنها مولکول هوا وجود داشته باشد این مقدار به ۴ خواهد رسید. در شکل‌های ۱ تصویر ماهواره‌ای و نمای انگستروم در یک روز طوفان شن در غرب ایران به نمایش در آمده است. در این روز طوفان گرد و غبار و ذرات معلق برخاسته از صحراهای کشور عراق، در غرب کشور اتفاق افتاد. در این روز ضخامت نوری هواویز در این مناطق حتی به ۳ نیز رسیده است. این در حالی است که نمای انگستروم در این روز مقادیر بسیار پایینی را به خود اختصاص داده است و مطابق انتظار نشان‌دهنده درشت بودن ذرات گرد و غبار موجود در جو می‌باشد.

در شکل ۲ پراکنش نمای انگستروم بر حسب ضخامت نوری هواویز دیده می‌شود. همانطور که در این شکل دیده می‌شود تغییرات نمای انگستروم در جهت عکس با تغییرات ضخامت نوری هواویز می‌باشد. با افزایش ضخامت نوری هواویز نمای انگستروم به تدریج کاهش می‌یابد و این نشان دهنده آن است که ذرات درشت‌تر مسئول اصلی افزایش ضخامت نوری هواویز می‌باشند و این ذرات نیز مسبب اصلی تیرگی جو می‌باشند.

همانطور که بالا اشاره شد ضریب تیرگی با استفاده از ضخامت نوری هواویز و نمای انگستروم قابل محاسبه است. در شکل ۳ نمایش توزیعی مقادیر AOD و β برای ناحیه تصویری شکل ۳ در تاریخ ۸۸/۴/۱۵ نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که میزان هم‌خوانی خوبی میان این دو پارامتر برقرار است.

$$\beta = \frac{\tau_{a\lambda}}{\lambda^{-\alpha}} \quad (7)$$

روش تحقیق

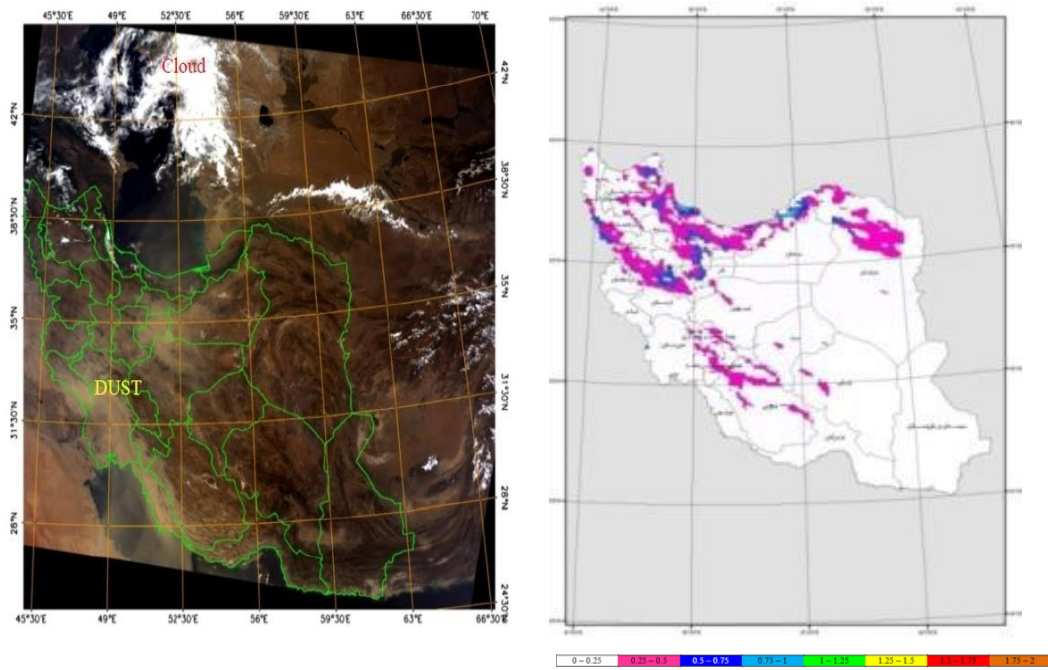
در انتخاب تصاویر ماهواره‌ای برای بررسی هواویزها، نیاز به تصاویری می‌باشد که پیکسل‌های آن خالی از ابر باشند، زیرا ابرها تحمیل تابشی زیادی دارند و حضور آنها عدم قطعیت فراوانی وارد محاسبات می‌کند. برای کسب اطمینان عدم حضور ابر در تصویر مورد استفاده، از تست ابر استفاده می‌شود. در این تست از محصولات سطح دو MODIS استفاده می‌شود و با عنوان MOD 35 در اختیار استفاده-کنندگان قرار می‌گیرد. این تست از الگوریتم آستانه‌گذاری دمایی استفاده می‌کند.

در مرحله بعد از تصاویر MOD04 زمین مرجع شده، ضخامت نوری هواویز استخراج می‌شود و تصحیح نسبت به رطوبت و ارتفاع اختلاط صورت می‌گیرد. پس از استخراج ضخامت نوری هواویز در دو طول موج مختلف، نمای انگستروم محاسبه می‌شود و با استفاده از رابطه ۷ ضریب تیرگی جو محاسبه می‌شود.

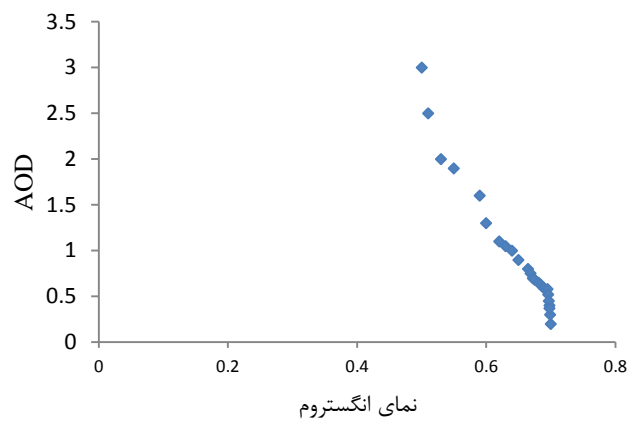
بعد از محاسبه تیرگی جو ارتباط بین این پارامتر و قدرت دید افقی که از سوی سازمان هواشناسی اعلام شده است، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

نتایج و بحث

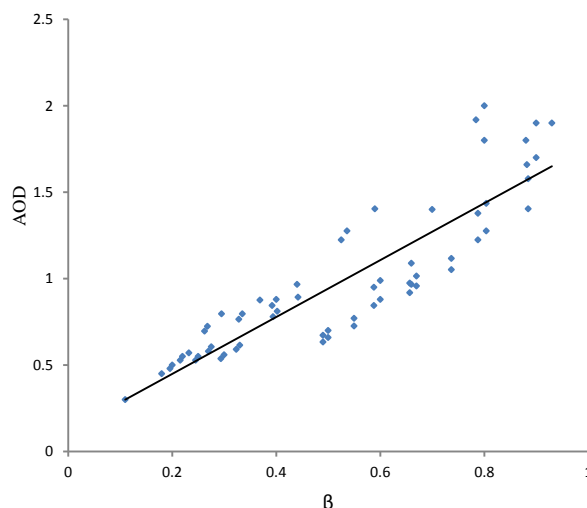
همانطور که بیان شد نمای انگستروم با اندازه ذرات معلق رابطه معکوس دارد. دامنه تغییرات این پارامتر از صفر تا ۰/۵ و یا حتی بالاتر می‌باشد. پارامتر α با مقادیر کمتر، نماینده



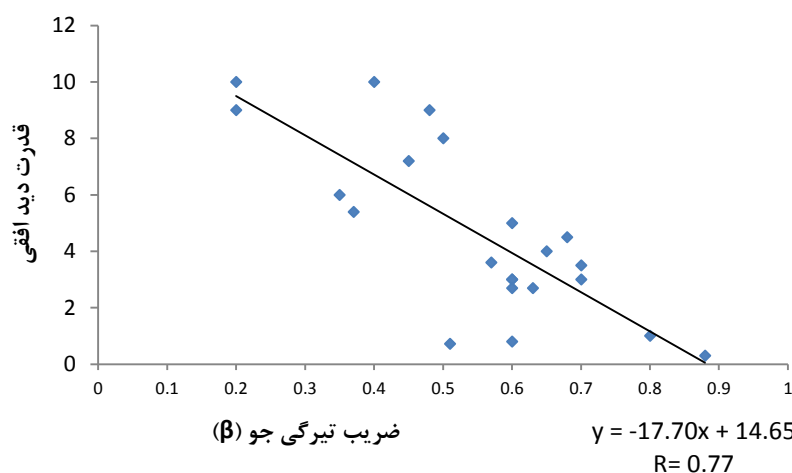
شکل ۱- تصویری از سنجنده MODIS بر فراز ایران در یک روز توفانی گرد و غبار (شکل سمت راست)، نقشه محاسبه شده نمای انگستروم در همان روز توفانی (شکل سمت چپ).



شکل ۲- نمودار پراکنش نمای انگستروم بر حسب MODIS AOD در تاریخ ۸۸/۴/۱۵



شکل ۳- ارتباط میان مقادیر AOD و β بدست آمده از سنجنده MODIS در تاریخ ۸۸/۴/۱۵



شکل ۴- همبستگی میان ضریب تیرگی جو به دست آمده از سنجنده MODIS و قدرت دید افقی در لحظه گذر ماهواره

عبور ماهواره بر فراز منطقه مورد نظر قابلیت دسترسی دارد و به عنوان مثال سنجنده MODIS مستقر بر دو سکوی Aqua و Terra هر روز دو بار (سکوی Terra بین ساعت ۹ تا ۱۱ صبح و سکوی Aqua بین ساعت ۴ تا ۶ بعدازظهر) بر فراز ایران عبور می‌کند. البته از اطلاعات سنجنده‌های دیگری چون MISR نیز می‌توان استفاده کرد که مشکل این سنجنده‌ها رزولوشن زمانی پایین آنها می‌باشد.

نتیجه‌گیری

ضخامت نوری هواویز که از تصاویر ماهواره‌ای استخراج می‌شود، یک پارامتر کلیدی برای تخمین آلودگی جوی در

هر چند ممکن است مقدار ۰/۷۷ برای همبستگی بین این دو پارامتر، از لحاظ آماری مقدار بالایی نباشد، اما در خلاء اطلاعات در مورد قدرت دید افقی در بسیاری از نقاط (به غیر از مناطق اطراف ایستگاه‌ها هواشناسی و فرودگاه‌ها)، همین حد دقت در آن نقاط نیز قابل توجه خواهد بود. با توجه به محدودیت‌های موجود در روش‌هایی که در جدول ۱، به آنها اشاره شد که مهمترین آنها، محدودیت مکانی آن روش‌هاست، می‌توان بیان داشت مهمترین مزیت این روش عدم محدودیت مکانی می‌باشد (شکل ۴).

از مشکلات این روش به عدم دسترسی به این اطلاعات در هر زمان مورد نیاز اشاره کرد. این اطلاعات تنها در زمان

تشکر و قدردانی:

این نویسندگان بر خود لازم میدانند که از همکاری سازمان هواشناسی کشور در تامین داده‌های مورد نیاز این تحقیق تشکر و قدردانی نمایند.

منابع

1. Kachar, H, 2011, To evaluate the ability of the MODIS sensor for detection of temperature inversion, Department of Remote Sensing, KNToosi University of Technology, Tehran
2. Ghorbani, R, 2010, validation of MODIS data in relation to atmospheric pollution in urban areas, Department of Remote Sensing, KNToosi University of Technology, Tehran
3. Mobasheri, MR, 2010, Foundations of Physics in remote sensing and satellite technology, Department of Remote Sensing, KNToosi University of Technology, Tehran
4. Babari, R., Hautière. N, Dumont. E, 2011, Computer Vision for the Remote Sensing of Atmospheric Visibility, 2011 IEEE International Conference on Computer Vision Workshops 978-1-4673-0063-6/11
5. Gupta, P., Christopher. A, Wang. J, 2006, Satellite remote sensing of particulate matter and air quality assessment over global cities. Atmospheric Environment, No. 40, pp. 5880-5892.
6. Gupta, P., Christopher. A, 2008, Seven year particulate matter air quality assessment from surface and satellite measurements Atmospheric Chemistry and Physics Discussions, No. 8, pp 327-365.
7. Hanel, G., 1976, The properties of atmospheric aerosol particles as functions of the relative humidity at thermodynamic equilibrium with the surrounding moist air, Advances in Geophysics, No. 19, pp 73-188.
8. http://modis.gsfc.nasa.gov/sci_team/meetings/200610/atmosAgenda.pdf
9. Veefkind., J, 1999, Aerosol Satellite Remote Sensing, Phd thesis.
10. Ogunjobi., K.O, He. Z, Kim. K.W, 2004, Aerosol optical depth during episodes of Asian dust storms and biomass burning at Kwangju, South Korea, Atmospheric Environment, No. 38, pp 1313-1323
11. Liu., Y, Franklin. M, Kahn. R, 2007, Using aerosol optical thickness to predict ground-level PM25 concentrations in the St. Louis area: A comparison between MISR and

مطالعات آلودگی هوا می باشد. یکی دیگر از پارامترهای مفیدی که از داده‌های ماهواره‌ای و به طور ویژه سنجنده MODIS قابل حصول است، پارامتر نمای انگستروم می باشد. با در اختیار داشتن این پارامتر دسترسی به اندازه ذرات موجود در جو مقدور خواهد بود. نمای انگستروم با مقادیر کمتر، نماینده توزیع ذرات درشت در جو بوده و بر عکس مقادیر بزرگ آن توزیع ذرات ریز در جو را نمایندگی می کنند. دامنه تغییرات این پارامتر بین مقادیر ۰ (پراکنش مای) تا ۴ (پراکنش ریلی) می باشد. برای گردوغبار ممکن است این مقدار به صفر برسد.

یکی از بحث‌های مهم در زمینه هواشناسی و کاربردهایی نظیر هدایت ناوگان هوایی، پارامتر تیرگی جو می باشد. این پارامتر با ضخامت نوری هواویز همبستگی مثبت دارد. روش - های مختلفی جهت محاسبه تیرگی جو از قبیل Integration و Multiwavelength telephotometer, nephelometer و Transmissometer وجود دارد که علی رغم داشتن دقت بسیار مناسب، به دلیل داشتن محدودیت مکانی استفاده از آنها محدود خواهد بود. بنابراین استفاده از روش سنجنش از دوری با در نظر گرفتن عدم محدودیت مکانی، مناسب به نظر می - رسد.

در این پژوهش، پس از استخراج ضریب تیرگی جو از تصاویر سنجنده MODIS در هنگام گذر بر فراز ایران، همبستگی در حدود ۷۷ درصد میان این داده‌ها با داده‌های قدرت دید افقی که از ایستگاه‌های هواشناسی و فرودگاه‌ها بدست آمد که در مجموع این همبستگی نشان داد که برای سنجنده‌ای با دقت در حد MODIS و قدرت تفکیک مکانی آن، قابل قبول می باشد.

از مزایای این روش نسبت به سایر روش‌ها، عدم محدودیت مکانی آن می باشد. با این حساب در هر روز در نوبت زمانی می توان قدرت دید مناطق مختلف را مورد ارزیابی قرار داد. موردی که باید به آن اشاره کرد فرضی است که در این پژوهش از آن استفاده شد و آن در نظر گرفتن توزیع همگن برای عوامل به وجود آورنده تیرگی جو در محیط تحت پوشش یک پیکسل می باشد که تا حدودی ممکن است خلاف واقع باشد.

16. Srinivasa., G, Narasimhan. S, 2001, Vision and the Atmosphere, International Journal of Computer Vision, No. 48, pp 233–254,
17. Tian., J, Chen. D, 2010, A semi-empirical model for predicting 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, No. 114, pp 221–229.
18. Van Donkelaar., A, Martin. V, 2006, Estimating ground-level PM_{2.5} with aerosol optical depth determined from satellite remote sensing, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, No. 111, pp 69-77
19. Wang., Z, Chen. L, Tao. J, Zhang, 2010, Satellite-based estimation of regional particulate matter (PM) in Beijing using vertical-and-RH correcting method
- MODIS, Remote Sensing of Environment, No.107, pp 33–44.
12. Malm., W, 1979, Visibility A Physical Perspective. In: Proceedings of the Workshop in Visibility Values, Fox D., R. J. Loomis and T. C. Greene (technical coordinators). Fort Collins, Colorado, U.S. Department of Agriculture, pp 56-68
13. Mali., R, Vashistha. R, 2005 ,Visibility Measurent Techniqe and its Application Aviation Services at International Airports india
14. NASA, 2002, MODIS Brochures, GSFC, (MODIS Moderate Resalution Imaging Spectroradiometer.
15. Savtchenko., A, Ouzounov. D, Ahmad. S, 2004, Terra and Aqua MODIS products available from NASA GES DAAC, Advances in Space Research, No. 34, pp 710 - 714