

اعتبار سنجی روش Atmospheric Blurring در محاسبه ضخامت اپتیکی هواویزها با استفاده از الگوریتم پیکسل های روشن و تصاویر سنجنده MODIS

مژده سادات مصطفوی دارانی^۱، مهدی مومنی^۲

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی سنجش از دور دانشگاه اصفهان.

m_mostafavi_d@yahoo.com

۲- دانشیار گروه مهندسی نقشه برداری دانشکده مهندسی دانشگاه اصفهان.

mehdimomeni@yahoo.com

چکیده

هواویزها به صورت مستقیم و غیر مستقیم بر شرایط آب و هوایی و اقلیم منطقه تاثیر می گذارند و موجب تغییرات دمای زمین و تغییرات اقلیم منطقه می شوند. الگوریتم های متفاوتی جهت تعیین ضخامت اپتیکی هواویزها وجود دارند که برخی از آن ها برای سنجش هواویزها بر روی خشکی طراحی شده اند. در این نوع الگوریتم ها نیاز به تعیین ضریب بازتاب سطح زمین داریم. هدف اصلی این تحقیق، یافتن پارامتر ضخامت اپتیکی هواویزها با استفاده از الگوریتم پیکسل های روشن بر روی تصاویر باندهای آبی و قرمز سنجنده MODIS و تبدیل این پارامتر به پارامتر PM_{10} می باشد. مناطق مورد مطالعه در این تحقیق شهرهای اصفهان و تهران هستند و روش این تحقیق بر پایه استفاده از درجه خاکستری تصاویر ماهواره ای و تبدیل این درجه خاکستری به رادیانس با استفاده از داده های کالیبراسیون سنجنده و حل معادله انتقال تابش (RT) به صورت معکوس استوار است. جهت ارزیابی صحت الگوریتم مورد استفاده در این پژوهش کرلیشن بین ضخامت اپتیکی به دست آمده از تصاویر ماهواره ای و داده های زمینی اندازه گیری شده توسط دستگاههای سنجش آلودگی هوا (PM_{10}) محاسبه گردید که نتیجه این محاسبه برای باند قرمز سنجنده MODIS برابر با ۶۲٪ و برای باند آبی سنجنده MODIS برابر با ۶۸٪ به دست آمد که این خود دلیلی برای صحت الگوریتم مورد استفاده در این تحقیق است. در مرحله بعد ضخامت اپتیکی هواویزهای به دست آمده به پارامتر PM_{10} برحسب میکروگرم بر متر مکعب تبدیل شد که مقایسه این مقادیر با پارامتر PM_{10} به دست آمده از ایستگاه های زمینی، ماکزیمم خطای نسبی ۲۹٪ را نشان می دهد. کلمات کلیدی: ضخامت اپتیکی هواویزها، معادله انتقال تابش، PM_{10}

یکی از مهمترین مشکلات جوامع امروزی مسأله آلودگی هوا است. منظور از آلودگی هوا تغییر در ویژگی های طبیعی جو در اثر مواد شیمیایی، غبار و یا عامل های زیست شناختی است. یکی از مهمترین انواع آلاینده های هوا، ذرات معلق (هواویزها) موجود در جو هستند (Kaufman et al, 1998 & Dubovik et al, 2002).

ذرات معلق به صورت مستقیم به وسیله جذب و بازتاب رادیانس اتمسفر و به صورت غیر مستقیم با چگالش هسته ایی ابرها بر روی شرایط آب و هوایی منطقه و محیط زیست تاثیر می گذارند به گونه ایی که افزایش میزان $0/1$ ضخامت اپتیکی هواویزها در تروپسفر موجب کاهش 1° سانتی گراد دما بر روی سطح زمین می گردد (Liu et al, 2009).

جهت سنجش ذرات معلق موجود در جو می توان از روش های زمینی و ماهواره ایی استفاده نمود. اصولاً پدیده های اتمسفری را باید در محدوده های وسیع بررسی نمود و این امر با اندازه گیری های زمینی که به صورت نقطه ایی می باشند امکان پذیر نیست به همین دلیل روش های ماهواره ایی، به دلیل محدوده دید وسیع تری که دارند، نسبت به روش های زمینی ارجحیت دارند (Chu et al, 2003).

الگوریتم های اولیه جهت تعیین ضخامت اپتیکی هواویزها^۱ بر روی تصاویر ماهواره ایی براساس استفاده از پیکسل های تاریک^۲ بر روی تصاویر مدل سازی شده اند (kaufman et al, 1998 & Levy et al, 2013)، ولی از آن جا که یافتن پیکسل های تاریک بر روی تصاویر ماهواره ایی امری دشوار است، با توسعه الگوریتم های قبلی الگوریتم های جدیدی مدل سازی شده اند که در آنها به جای پیکسل های تاریک از پیکسل های روشن^۳ استفاده می گردد، در این الگوریتم ها نیاز به تخمین ضریب بازتاب سطح زمین داریم (Hsu et al, 2004 & Liu et al, 2009).

بر روی خشکی ضریب بازتاب سطح زمین عموماً ناشناخته می باشد و با زمان و طول موج تغییر می کند، به همین دلیل یافتن ضریب بازتاب سطح زمین در طول موج های مختلف از اهمیت ویژه ای برخوردار است (Vermote et al, 2002). به گونه ایی که خطایی برابر با $0/1$ در تخمین ضریب بازتاب سطح زمین موجب خطایی برابر با $0/1$ در تعیین ضخامت اپتیکی هواویزها در جو می گردد (Liu et al, 2009 & kaufman et al, 1997).

تا کنون پژوهش ها و تحقیقات متعددی جهت تعیین ضریب بازتاب سطح زمین در طول موج های مختلف صورت گرفته است (Dror et al, 2001 & Zoogman, 2016) و روش ها و الگوریتم های مختلفی مانند الگوریتم Walthall, Kernerl, Staylor و کتابخانه های طیفی جهت تعیین ضریب بازتاب سطح زمین طراحی شده اند (Liang, 2004).

مناطق مورد مطالعه در این تحقیق مناطق شهری اصفهان و تهران می باشند که در این پژوهش ضریب بازتاب سطح زمین با توجه به پوشش غالب سطح با استفاده از روش کتابخانه های طیفی تعیین می گردد.

در این پژوهش ضخامت اپتیکی هواویزها با استفاده از الگوریتم پیکسل های روشن محاسبه و سپس جهت بررسی صحت الگوریتم مورد استفاده، کرلیشن نتایج به دست آمده با اندازه گیری های زمینی محاسبه می گردد.

هم چنین در مرحله آخر در این پژوهش مقادیر ضخامت اپتیکی هواویزهای به دست آمده به مقدار PM_{10} بر حسب میکروگرم بر متر مکعب تبدیل شد و نتایج با مقادیر PM_{10} به دست آمده از ایستگاه های زمینی مقایسه گردید که این مقایسه بیانگر ماکزیمم خطای نسبی 29% می باشد.

¹ Aerosol Optical Depth

² Dark Pixels Algorithm

³ Bright Pixels Algorithm

۲. داده ها استفاده شده در تحقیق

داده های ماهواره ایی مورد استفاده در این تحقیق ، تصاویر سنجنده MODIS واقع بر ماهواره Terra می باشد. سنجنده MODIS به دلیل قدرت تفکیک مکانی و قیمت اطلاعات یکی از پرکاربردترین سنجنده ها جهت سنجش ضخامت ایتیکی هواویزها است (capderou, 2005).
داده های زمینی مورد استفاده در این پژوهش در حقیقت همان اندازه گیری ذرات معلق کوچکتر از ده میکرون (PM_{10}) توسط ایستگاه های زمینی می باشند. در این ایستگاه ها از دستگاه bam1020 جهت سنجش آلودگی هوا استفاده می شود.

۳. روش تحقیق

جهت تخمین ضخامت ایتیکی هواویزها در مرحله اول با استفاده از رابطه ۱ ابتدا ضریب بازتاب اتمسفر (ρ_a) را به دست می آوریم (Liu et al, 2009 & Hsu et al, 2004):

$$\rho^{TOA} = \rho_a + T(\mu_s)T(\mu_v)\frac{\rho}{1-\rho_s} \quad (1)$$

که در رابطه ۱ پارامتر ρ^{TOA} ضریب بازتاب اندازه گیری شده در بالای اتمسفر، ρ_a ضریب بازتاب اتمسفر ، ρ ضریب بازتاب سطح زمین و پارامتر S ضریب آلودگی کروی اتمسفر می باشد. هم چنین $T(\mu_s)$ و $T(\mu_v)$ بیان کننده میزان تأثیر اتمسفر بر روی رادیانس هستند (Liu et al, 2009).
در این پژوهش جهت به دست آوردن پارامترهای $T(\mu_s)$ و $T(\mu_v)$ از نرم افزار 5S استفاده شده است.
پس از دست آوردن پارامتر ρ_a با استفاده از فرمول ۲ می توانیم ضخامت ایتیکی هواویزها (τ_a) را به دست آوریم (Liu et al, 2009 & Hsu et al, 2004):

$$\rho_a = \frac{w_o \tau_a P_a}{4\mu_s \mu_v} + \rho_m \quad (2)$$

که در رابطه ۲ پارامتر w_o ضریب آلودگی پراکنش یک ذره منفرد، P_a تابع فاز ، ρ_m ضریب بازتاب ملکولهای اتمسفر و پارامترهای μ_s و μ_v به ترتیب بیانگر کسینوس زاویه زنیته خورشید و کسینوس زاویه زنیته سنجنده می باشند (Liu et al, 2009).

پس از به بدست آوردن مقدار ضخامت ایتیکی هواویزها با استفاده از فرمول ۳ این مقادیر را به پارامتر PM تبدیل می کنیم (Tsai et al, 2011).

$$PM \approx \frac{\tau_{a0.55\mu m}}{[f(RH)\delta_{ary0.55\mu m}^{ext}]^{Lmix}} \quad (3)$$

که در این رابطه $\tau_{a0.55\mu m}$ ، ضخامت ایتیکی هواویزها در باند سبز، پارامتر $\delta_{ary0.55\mu m}^{ext}$ در حقیقت ضریب جذب هواویزها در باند سبز و $Lmix$ ارتفاع لایه هواویزها است (Tsai et al, 2011).

جهت محاسبه ضخامت ایتیکی هواویزها در باند سبز، ابتدا با استفاده از ضخامت ایتیکی هواویزها ی محاسبه شده برای باند آبی و قرمز سنجنده MODIS ، ضرایب آنگستروم را محاسبه کرده سپس با استفاده از این ضرایب ضخامت ایتیکی هواویزها در باند سبز را به دست می آوریم (Backman et al, 2014).
تابع $f(RH)$ از رابطه ۴ بدست می آید (Tsai et al, 2011).

$$f(RH) = \frac{1}{1 - \left(\frac{RH}{100}\right)} \quad (4)$$

که در این فرمول RH بیانگر رطوبت نسبی اتمسفر است (Tsai et al, 2011). ارتفاع لایه هواویزها (Lmix) با توجه به فصل های تصاویر مورد استفاده و با در نظر گرفتن مدل های موجود به دست می آید (Leon et al, 2009).

پس از تبدیل داده های ضخامت اپتیکی هواویزها به PM با توجه به رابطه بین PM و PM₁₀ مقادیر PM₁₀ را تخمین می زنیم (Duan et al, 2015)، سپس این مقادیر را با مقادیر PM₁₀ به دست آمده از ایستگاههای زمینی مقایسه می کنیم تا دقت الگوریتم به کار رفته را به دست آوریم.

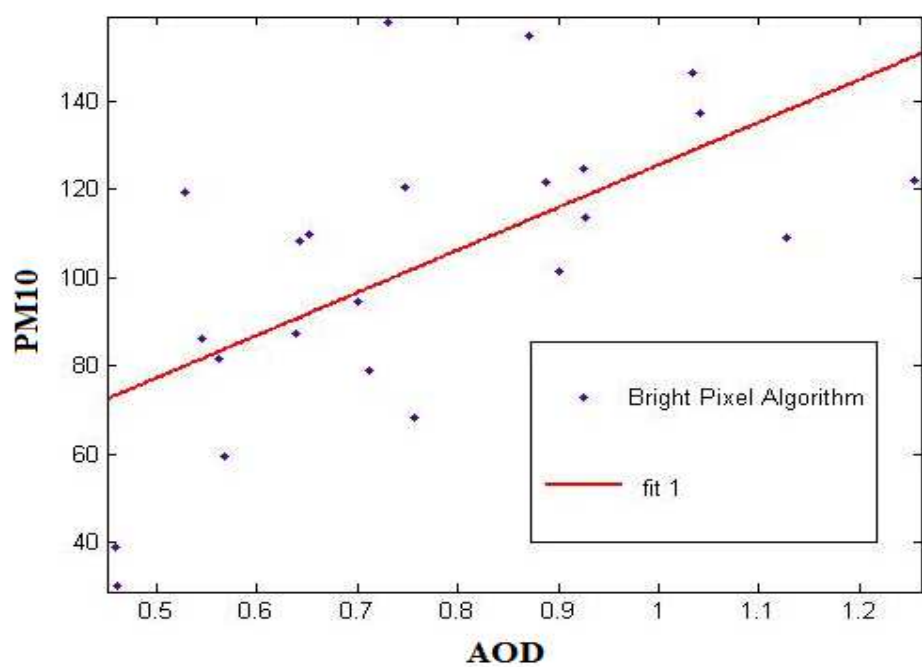
۴. نتایج

پس از محاسبه ضخامت اپتیکی هواویزها به منظور تایید صحت الگوریتم مورد استفاده در این تحقیق کرلیشن بین داده های زمینی و نتایج به دست آمده از تصاویر سنجنده MODIS را به دست آوردیم. نتایج حاصله را می توانید در جدول شماره ۱ مشاهده نمایید.

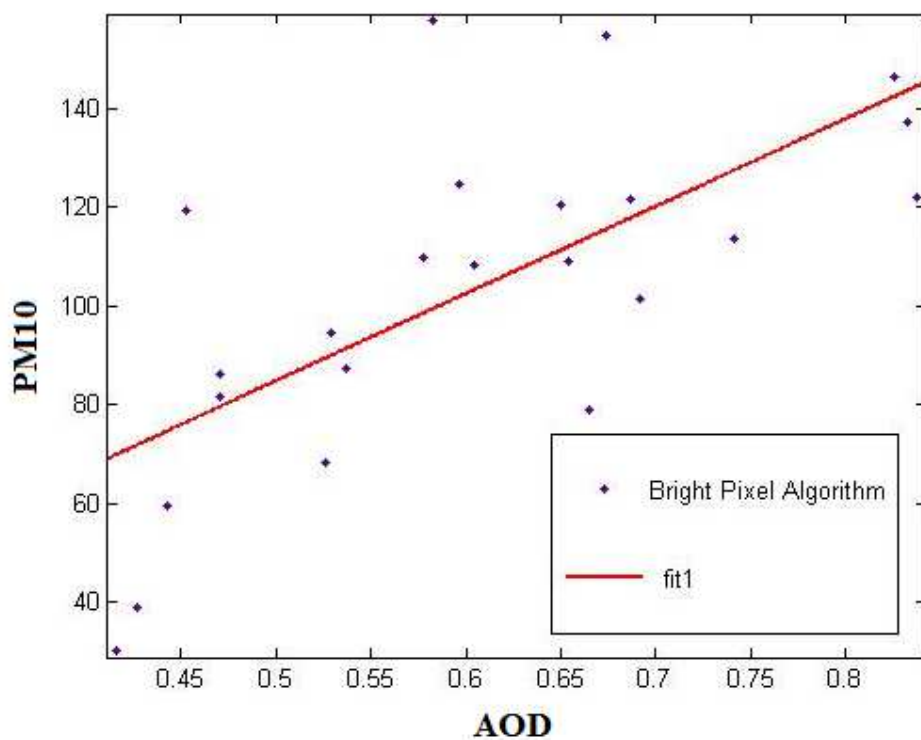
جدول ۱- کرلیشن نتایج به دست آمده بین داده های زمینی و نتایج به دست آمده برای ضخامت اپتیکی هواویزها

| کرلیشن باند قرمز | کرلیشن باند آبی |
|------------------|-----------------|
| ۶۳٪ | ۶۸٪ |

مقادیر بالای کرلیشن به دست آمده خود بیانگر صحت الگوریتم مورد استفاده می باشد. در تصاویر شماره ۱ و ۲ نتایج به دست آمده برای پارامتر ضخامت اپتیکی هواویزها برای باندهای قرمز و آبی تصاویر سنجنده MODIS نمایش داده شده است:

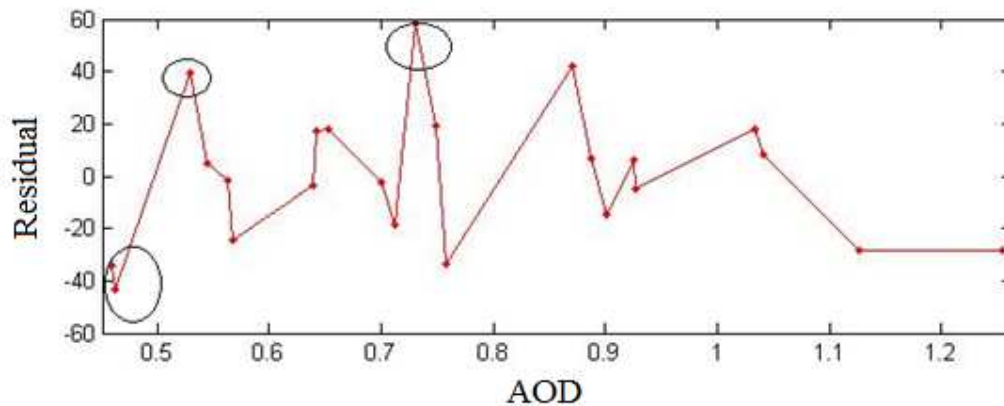


شکل ۱- نمودار ضخامت اپتیکی هواویزها برای باند قرمز سنجنده MODIS بر حسب اندازه گیری های زمینی PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

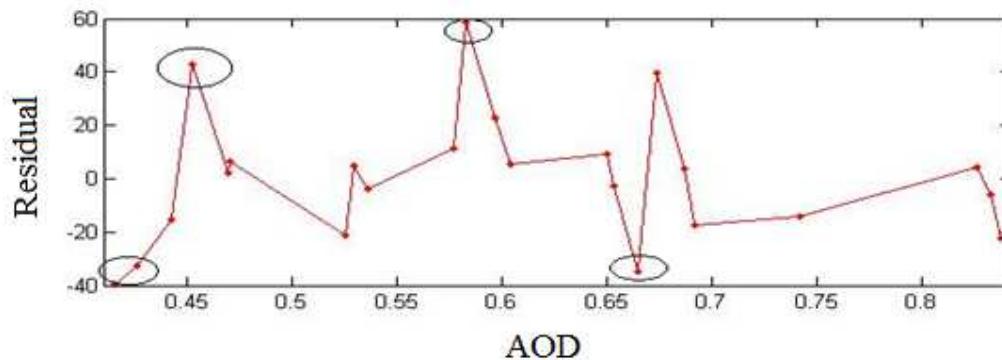


شکل ۲- نمودار ضخامت اپتیکی هواویزها برای باند آبی سنجنده MODIS بر حسب اندازه گیری های زمینی PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

با در نظر گرفتن تصاویر شماره ۱ و ۲ در می یابیم که بین نتایج در نمودارهای بالا یک رابطه خطی برقرار است. در تصاویر شماره ۳ و ۴ نتایج خطای باقیمانده به دست آمده برای پارامتر ضخامت اپتیکی هواویزها نمایش داده شده است:



شکل ۳- نمودار خطای باقی مانده برای ضخامت اپتیکی هواویزها (AOD) در باند قرمز سنجنده MODIS



شکل ۴- نمودار خطای باقی مانده برای ضخامت اپتیکی هواویزها (AOD) در باند آبی سنجنده MODIS

در تصاویر شماره ۳ و ۴ نقاط ماکزیمم و مینیمم بیانگر داده هایی با بیشترین خطای باقیمانده می باشند که با حذف آن ها میزان دقت محاسبات و کرلیشن به دست آمده افزایش پیدا می کند. این داده ها در تصاویر با دایره سیاه رنگ مشخص گردیده اند.

همچنین در این تحقیق به منظور بررسی دقت و صحت الگوریتم مورد استفاده، مقادیر ضخامت اپتیکی هواویزهای به دست آمده به پارامتر PM_{10} تبدیل گردید و نتایج آن با پارامتر PM_{10} به دست آمده از ایستگاه های زمینی مقایسه شد که نتایج این مقایسه در جدول شماره ۲ بیان شده است.

جدول شماره ۲-مقایسه نتایج PM_{10} به دست آمده از الگوریتم این تحقیق با نتایج PM_{10} به دست آمده از ایستگاه های زمینی

| | |
|-----|-------------------|
| ۲۰٪ | میانگین خطای نسبی |
| ۲۹٪ | ماکزیمم خطای نسبی |
| ۱۵٪ | مینیمم خطای نسبی |

۵. نتیجه گیری

هدف اصلی این تحقیق، تخمین ضخامت اپتیکی هواویزها برای مناطق شهری و تبدیل این پارامتر به پارامتر PM_{10} می باشد. نتایج به دست آمده از الگوریتم پیشنهادی این پژوهش با داده های اندازه گیری شده به وسیله ایستگاههای زمینی دارای کرلیشن ۶۸٪ در باند آبی و ۶۲٪ در باند قرمز می باشد که این مقدار کرلیشن خود نشان دهنده صحت الگوریتم مورد استفاده است. هم چنین پس از تبدیل پارامتر ضخامت اپتیکی هواویزها به پارامتر PM_{10} و مقایسه آن با داده های PM_{10} زمینی به ماکزیمم خطای نسبی ۲۹٪ دست یافتیم. این مقادیر خود بیانگر صحت و دقت الگوریتم مورد استفاده این پژوهش است. نصب و تجهیز ایستگاههای زمینی به منظور تخمین آلودگی هوا دارای هزینه زیاد می باشد و بسیار وقت گیر است ولی با استفاده از الگوریتم توضیح داده شده در این تحقیق می توانیم با استفاده از تصاویر ماهواره ای مقدار پارامتر PM_{10} را برای هر نقطه با دقت خوبی به دست بیاوریم، که این امر موجب صرفه جویی در وقت و هزینه می گردد.

منابع

- Kaufman, Y. J, Tanre, D., "Algorithm for remote sensing of tropospheric aerosol from modis, modis atbd," Remote Sensing, Vol. 46, NO. 15, pp. 410-495, 1998.
- Dubovik, O., Holben, B., F. Eck, T., Smirnov, A., Kaufman, Y. J., King, M. D, Tanre, D., Slutsker, I., "Variability of absorption and optical properties of key Aerosol types observed in worldwide locations," the Atmospheric Science, Vol. 59, pp. 590-608, 2002.
- Liu, C-H, Liu, G-R., "Aerosol optical depth retrieval for spot hrv images," Marine Science and Technology, Vol. 17, No. 4, pp. 300-305, 2009.
- Chu, D. A, Kaufman, Y. J., Zibordi, G., Chern, J. D., Mao, Jietai, Li, Chengcai, Holben, B. N., "Global monitoring of air pollution over land from the earth observing system-Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)," Geophysical Research, Vol. 108, pp. 250-265, 2003.
- Levy, R. C., Matoo, S., Munchak, L. A., Rammer, L. A., Sayer, A. M., Patadia, F., Hsu, N. C., "The collection 6 MODIS aerosol products over land and ocean," Atmospheric Measurement Technique, Vol. 6, pp. 2989-3034, 2013.
- Hsu, N. Christina, Tsay, Si-Chee, King, Michael D., Herman, Jay R., "Aerosol properties over bright-reflecting source regions," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 42, No. 3, pp. 557-569, 2004.
- Vermote, E., Slonaker, R., Vibert, S., Kilcoyne, H., Hoyt, D., Zhao, T., Yong, W., "Aerosol optical thickness and particle size parameter visible/infrared imager/radiometer suite algorithm theoretical basis document," Raytheon System Company Informcientific Seration Technology and Scientific Sevice, pp., 2002.
- Kaufman, Y. J., Wald, A. E., Ramer, L. A., Gao, B.-C., Li, R.-R., Flhyy, L., "The MODIS 2.1- μ m channel – correlation with visible reflectance for use in remote sensing of aerosol," IEEE Transactions on Geoscience and Remote sensing, Vol. 35, pp. 1286-1298, 1997.

Zoogman, P. , Liu, X., Chance, K. , Sun, Q., Schaal, C., Mahr, T. , Wanger, T., “A climatology of visible surface reflectance spectra,” *Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, Vol. 180, pp. 39-46, 2016.

Dror , R. O., Adelson, E. H., Willsky, A. S., “Estimating surface reflectance properties from image under unknown illumination,” *Human Vision and Electronic Imaging Tv*, pp, 2001.

Liang, Sh., “ Quantitative Remote Sensing of Land Surfaces,” John Wiley & sons, pp. 29-46, 2004.

Capderou, M., “satellites orbits and missions,” Springer, pp. 453-493 , 2005.

Tsai, T-C., Jeng, Y-J., Chu, D. A. , Chen, L-P., Chang, Sh-C., “ Analysis of the relationship between MODIS aerosol optical depth and particulate matter from 2006 to 2008,” *Atmospheric of Environment*, Vol. 45, pp. 4777-4788, 2011.

Backman, J. , Virkkula, A., Vakkari, V. , Beukes, J. P., Van Zyl, P. G., Josipovic, M. , Piketh, S. , Tittaa, P., Chiloane, K., petäjä, T., Kulmala, M. , Laakso, L., “Diffrences in aerosol absorption Angström exponents between correction algorithms for a particle soot absorption photometer measured on the south African Highveld , ” *Atmospheric Measurement Techniques*, Vol. 7, pp. 4285-4298,2014.

Leon, J.-F, Derimian, Y., Chiapello, I., Tanre, D., Podvin, T., Chatenet, B. , Diallo, A. , Deroo, C., “ Aerosol vertical distribution optical properties over M'BOUR(16.96° W, 14.39° N) ,Senegal from 2006 to 2008, 2009,” *Atmospheric Chemistry and Physics*, Vol. 9, pp. 9249-9261, 2009

Duan, J., Chen, Y., Fang, W., Su, Zh., “Characteristics and relationship of PM,PM₁₀,PM_{2.5} concentration in a polluted city in northern China,” *Procedia Engineering*, Vol. 102 , pp. 1150-1155, 2015.