



بازسازی 6S برای تصحیح تصاویر ماهواره‌ای در جو ایران (مطالعه موردی: تهران)

محمدرضا مباحثی^{۱*}، علی احمدی رستمی^۲، علی صادقی نائینی^۳، جلال کرمی^۴

۱- دانشیار گروه مهندسی سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور GIS، دانشگاه تربیت مدرس

۳- کارشناس ارشد سنجش از دور، سازمان فضایی ایران

۴- دانشجوی دکتری سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۸۸/۱۱/۳

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۴/۱۰

چکیده

فرایند سنجش از دور تحت تأثیر چندین نوع خطا، از جمله اعوجاجات هندسی، عدم تعادل رادیومتریک و تأثیرات جوی قرار دارد، که در میان آنها تأثیرات جوی نقش بسیار مهمی ایفا می‌کند. در پژوهش حاضر با استفاده از داده‌های پنج سال رادیوساوند در ماه ژوئن (۱۱ خرداد تا ۹ تیر)، مدل جوی مناسبی برای منطقه مورد مطالعه تعریف گردید. آنگاه با استفاده از مدل جوی استخراج شده و کد 6S، اصلاح جوی برای تصاویر MODIS منطقه مورد مطالعه صورت گرفت و نتایج با مدل‌های پیش‌فرض کد 6S همچون مدل‌های میان‌تابستانی، میان‌زمستانی و برّ حاره‌ای مقایسه گردید. نتایج نشان می‌دهد که اصلاح جوی تصاویر با استفاده از مدل جوی استخراج شده برای منطقه مورد مطالعه در باندهای جذب بخار آب کاملاً با تصاویر اصلاح‌شده با مدل‌های پیش‌فرض تفاوت دارد. همچنین برای مقایسه بهتر از شاخص NDVI استفاده گردید. نتایج در این منطقه نشان می‌دهد که پس از اصلاح جوی NDVI‌های کمتر از ۰/۴ کاهش و NDVI‌های بیشتر از ۰/۵ افزایش یافته‌اند که با نتایج دیگر پژوهشگران در این زمینه همخوانی دارد.

کلیدواژه‌ها: تصحیح جوی، کد 6S، پروفایل جوی، NDVI، سنجش از دور.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: ایران، تهران، خیابان ولیعصر، تقاطع میرداماد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده نقشه‌برداری. تلفن: ۰۹۱۲۱۲۲۶۶۳۰

۱- مقدمه

پیش از آنکه انرژی الکترومغناطیسی بازتابیده از سطح هدف به وسیله سنجنده هوایی یا ماهواره‌ای دریافت شود، دو بار از میان جو عبور کرده است. این دو مسیر را می‌توان مسیرهای خورشید به هدف و هدف به سنجنده عنوان کرد. در طول این مسیر، انرژی تابشی از دو فرایند تأثیر می‌پذیرد: جذب که شدت تابش را کاهش می‌دهد و پراکنش که مسیر آن را تغییر می‌دهد. در «تصحیحات جوی» سعی می‌شود بازتابندگی سطح از طریق حذف تأثیرات ناخواسته جوی بازیابی شود (Fallah 1996, Fraser 1985, Fraser 1977).

دو روش اصلی برای برطرف ساختن تأثیرات جوی وجود دارد: روش نخست را تصحیحات نسبی می‌نامند، که از جمله می‌توان به اینها اشاره کرد: روش اهداف نامتغیر^۱ (Schott et al., 1988)، روش تطبیق هیستوگرام^۲ (Richter, 1996)، و روش اهداف تیره^۳ (Kaufman et al., 1988). روش دیگر، تصحیحات مطلق نام دارد، که آن را با کمک مدل‌های اصلاح جوی انجام می‌دهند و از مهمترین آنها می‌توان به مدل‌های MODTRAN (Kneizys et al., 1988)، LOWTRAN 5S (Berk et al., 1989)، 6S (Tanre et al. 1990) و 5S (Vermote et al., 1997-1) اشاره کرد.

روش تصحیحات جوی مطلق در کسب نتایج قابل مقایسه برای زمان‌های مختلف و همچنین سنجنده‌های متفاوت به کار می‌رود. در پژوهش حاضر، کد 6S برای اصلاح تأثیرات ناشی از بخار آب در طول موج‌های بین ۰/۲۵ تا ۴ میکرون و همچنین شبیه‌سازی فرایندهای جوی مهم نظیر جذب بخار آب، CO₂، O₂، O₃ و پراکنش مولکول‌ها و هواویزها^۴ (Vermote et al., 1997-2)، برای اصلاح تصاویر MODIS مورد استفاده قرار گرفته است. هدف اصلی کد 6S واسنجی اثر جو در طول موج‌های کوتاه است، بنابراین هنگامی که حذف اثر پراکنش جوی مورد نظر است، مدل مذکور از مدل‌های تصحیح جوی دیگر مناسب‌تر می‌نماید (Zhao et al., 2000).

۱-۱- فیزیک 6S

کد 6S، سیگنال ماهواره‌ای بین ۰/۲۵ و ۴ میکرون را با فرض جو بدون ابر پیش‌بینی می‌کند. بازتابندگی ظاهری در سطح ماهواره برای سطوح غیرلامبرتی می‌تواند به صورت رابطه (۱) نوشته شود (Mobasher, 2006-2).

رابطه (۱)

$$\rho^*(\theta_s, \theta_v, \phi_s - \phi_v) = \{\rho_a(\theta_s, \theta_v, \phi_s - \phi_v) + \frac{T(\theta_s)}{1 - \langle \rho(M) \rangle S} [\rho_c(M) e^{-\tau/\mu_v} + \langle \rho(M) \rangle t_d(\theta_v)]\}$$

که در آن ρ^* بازتابندگی ظاهری، τ ضخامت اپتیکی جو، θ_v زاویه زینت دید، ϕ_v زاویه آزیموت دید، θ_s زاویه زینت خورشید، ϕ_s زاویه آزیموت خورشید و $\mu_v = \cos(\theta_v)$ است. $T(\theta_s)$ قابلیت عبور^۵ کلی جو است که به صورت رابطه (۲) نوشته می‌شود:

$$T(\theta_s) = e^{-\tau/\mu_s} + t_d(\theta_s) \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن $\mu_s = \cos(\theta_s)$ و $t_d(\theta_s)$ فاکتور عبور پخش^۶ جو است که از رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$t_d(\theta_s) = \frac{E_{sol}^{diff}(\theta_s)}{\mu_s E_s} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن E_{sol}^{diff} تابش خورشیدی پخش شده رو به پایین است. تابش ذاتی جو در قالب بازتابندگی به وسیله

1. Invariable-Object Method
2. Histogram Matching
3. Drak-Object Method
4. Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum
5. Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum
6. Aerosol
7. Transmissivity
8. Diffuse Transmittance Factor

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه و تصویر استفاده شده

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق دشت ورامین و جنوب تهران است که ایستگاه هواشناسی فرودگاه مهرآباد در موقعیت ۵۱ درجه و ۲۱ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۵ درجه و ۴۱ دقیقه عرض جغرافیایی و به ارتفاع ۱۱۹۱ متر از سطح دریا در قسمت شمالی آن قرار دارد. در پژوهش حاضر از تصاویر سنجنده MODIS که در تاریخ ۱۱ ژوئن سال ۲۰۰۷ (۲۱ خرداد ۱۳۸۶) دریافت گردیده، استفاده شده است. از آنجا که تصویر MODIS منطقه وسیعی را دربر می‌گیرد و همچنین با توجه به اقلیم‌های گوناگون کشور، بایستی منطقه کوچکی از تصویر به‌عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب می‌شد.

با توجه به وجود کوه‌های شمال تهران و تفاوت پارامترهای محیطی آن با مناطق جنوب تهران و دشت‌های جنوب تهران و همچنین وجود داده‌های اندازه‌گیری زمینی مورد نیاز برای اجرای کد 6S در این ایستگاه (نظیر قابلیت دید)، منطقه مورد مطالعه دشت‌های اطراف ایستگاه سینوپتیک مهرآباد تهران انتخاب شده است. به این منظور یک منطقه کوچک (به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ کیلومتر) از تصویر جدا شد و برای اصلاح جوی مورد استفاده قرار گرفت. همچنین با توجه به اینکه ورودی کد 6S، تصاویر ۸ بیتی‌اند ولی تصاویر سنجنده MODIS دوازده بیتی هستند، تصاویر مورد استفاده به مقیاس ۸ بیتی تبدیل شده‌اند.

۲-۲- استخراج مدل جوی از داده‌های رادیوساوند

در مدل‌های مختلف اصلاح مطلق جوی (همچون مدل‌های انتقال تابش)، پروفایل‌های متفاوتی به‌صورت پیش‌فرض وجود دارند. اما استفاده از این پروفایل‌ها برای تمامی نقاط و در تمامی فصول سبب پیدایش خطاهایی می‌شود که اغلب میزان آنها را نیز نمی‌توان تعیین کرد. در نتیجه هر منطقه براساس شرایط اقلیمی و جغرافیایی خود نیاز به تعریف جوی مشخص با

تابع $\rho_a(\mu_s, \mu_v, \phi_v - \phi_s)$ بیان می‌شود که از رابطه (۴) قابل محاسبه است (Mobasheri, 2006-2).

رابطه (۴)

$$\rho_a(\mu_s, \mu_v, \phi_v - \phi_s) = \rho_a^1(\mu_s, \mu_v, \phi_v - \phi_s) + (1 - e^{-\tau/\mu_s})(1 - e^{-\tau/\mu_v})\Delta(\tau)$$

که در آن $\rho_a^1(\mu_s, \mu_v, \phi_v - \phi_s)$ سهم پراکنش منفرد است. جمله دوم سمت راست تقریباً برای پراکنش دوگانه و بیشتر به کار می‌رود. S آلبدوی کروی نیز به صورت رابطه (۵) نوشته می‌شود.

$$S = \frac{1}{4 + 3\tau} [3\tau - 4E_r(\tau) + 6E_r(\tau)] \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در آن $E_r(\tau)$ و $E_\tau(\tau)$ انتگرال‌های نمایی برای آرگومان τ هستند و بالاخره $\rho_e(M)$ بازتابندگی سطح کوچک M است. حال تنها بایستی یک بازتابندگی محیطی جدید به‌صورت $\langle \rho(M) \rangle$ تعریف شود، که بتواند میانگینی مکانی برای بازتابندگی هر پیکسل در تمام سطح ارائه دهد. با در نظر گرفتن یک هدف دایره‌ای با شعاع r و بازتابندگی ρ_e که با یک سطح همگن با بازتابندگی ρ_e احاطه شده، $\langle \rho(M) \rangle$ به‌صورت رابطه (۶) نوشته می‌شود:

$$\langle \rho(M) \rangle = \rho_e F(r) + (1 - F(r))\rho_e \quad \text{رابطه (۶)}$$

که در آن F(r) سهم نسبی $\langle \rho(M) \rangle$ از نقاط سطح درون دایره‌ای به شعاع r و صرف‌نظر از مبدأ مختصات است و از رابطه (۷) به دست می‌آید:

$$F(r) = 2\pi \int_0^r r' P(r') dr' \quad \text{رابطه (۷)}$$

این کد درون محاسبات خود، اثر جذب به‌وسیله گازهای O_3 ، H_2O ، O_2 و CO_2 و پراکنش به‌وسیله مولکول‌ها و هواویزها را در نظر می‌گیرد، همچنین ممکن است در محاسبات زمین نیز غیرهمگن در نظر گرفته شود (Vermote et al., 1997-1).

تطابق را با پروفایل منطقه دارد استفاده شده است. از سویی با توجه به اینکه قسمت اعظم بخار آب در لایه‌های زیرین جو قرار دارد و تقریباً در بالای ۳۰ کیلومتر بخار آبی موجود نیست، استفاده از داده‌های مدل جوی عرض‌های میانه تابستانی در بالاتر از ۳۰ کیلومتری سطح زمین، نتایج را چندان تحت تأثیر قرار نمی‌دهد.

همچنین از آنجا که ایستگاه مهرآباد در ارتفاع ۱۱۹۱ متری قرار گرفته است و همان‌گونه که گفته شد در کد 6S داده‌ها از ارتفاع صفر شروع می‌شود، داده‌های دما، فشار و چگالی بخار آب برای زیر ارتفاع ایستگاه، از مدل جوی ایستگاه مهرآباد برون‌یابی شده است. البته باید توجه داشت که این اعداد برون‌یابی شده تنها برای شروع اجرای مدل مورد نیاز است و مدل، با توجه به ارتفاع ورودی به آن به‌صورت خودکار داده‌های برون‌یابی‌شده مذکور را حذف خواهد کرد. به عبارت واضح‌تر داده‌های برون‌یابی‌شده مذکور تنها برای ورود به مدل استفاده می‌شوند و مطلقاً در محاسبات دخالت نمی‌کنند.

در شکل‌های (۱ تا ۳) پروفایل‌های دما، بخار آب و فشار به‌دست آمده برای ماه ژوئن (اواخر خرداد و اوایل تیر) جنوب تهران با پروفایل‌های مشابه عرض‌های میانه تابستانی و زمستانی، عرض‌های تحت قطبی تابستانی و زمستانی، عرض بر حاره‌ای و مدل استاندارد ۶۲ آمریکا مقایسه شده است.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، پروفایل بخار آب این منطقه در ارتفاعات ۲ تا ۱۰ کیلومتر با پروفایل‌هایی که به‌صورت پیش‌فرض در نرم‌افزار قرار دارند، تفاوت فاحشی دارد. چنین موضوعی می‌تواند به‌دلیل آن باشد که پروفایل ایستگاه مهرآباد با استفاده از داده‌های ماه ژوئن (اواخر خرداد و اوایل تیر) استخراج شده است که دما در حال افزایش بوده و تبخیر زیاد است، اما پروفایل‌های کد 6S برای فصول مختلف طراحی شده‌اند.

پروفایل‌هایی ویژه خود دارد. به همین دلیل برای تعریف جوی خاص در منطقه مورد مطالعه، از داده‌های رادیوساند ماه ژوئن سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۷ (۱۱ خرداد تا ۹ تیر سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۶) استفاده گردید. این داده‌ها در ارتفاعات مختلفی برداشت می‌شود و برای روزهای مختلف متفاوت‌اند. در نتیجه برای استخراج پروفایل جوی ابتدا با استفاده از روش درون‌یابی خطی، مقادیر دما، فشار و چگالی بخار آب ثبت شده به‌وسیله رادیوساوند برای ارتفاعات معینی از ۱ تا ۳۰ کیلومتر و برای هر روز محاسبه گردید. آنگاه میانگین این مقادیر در ارتفاعات مختلف برای ۳۰ روز ماه ژوئن (۱۱ خرداد تا ۹ تیر) ۵ سال متوالی محاسبه گردید.

براساس ساختار کد 6S، اجرای این کد نیاز به در اختیار داشتن چهار پروفایل جوی (دما، فشار، چگالی بخار آب و وزن) دارد؛ اما از داده‌های رادیوساوند در ایستگاه مهرآباد تنها می‌توان مقادیر دما، فشار و چگالی بخار آب را محاسبه کرد و پروفایل وزن جو در این ایستگاه اندازه‌گیری نمی‌شود. از این رو در این مطالعه، برای مدل جوی منطقه از مقادیر وزن مدل جوی عرض میانه تابستانی - که در کد 6S به‌صورت پیش‌فرض قرار گرفته - استفاده شده است. این مقادیر با یافته‌های مباحثی برای این منطقه تطابق دارد (Mobasher, 2006-1).

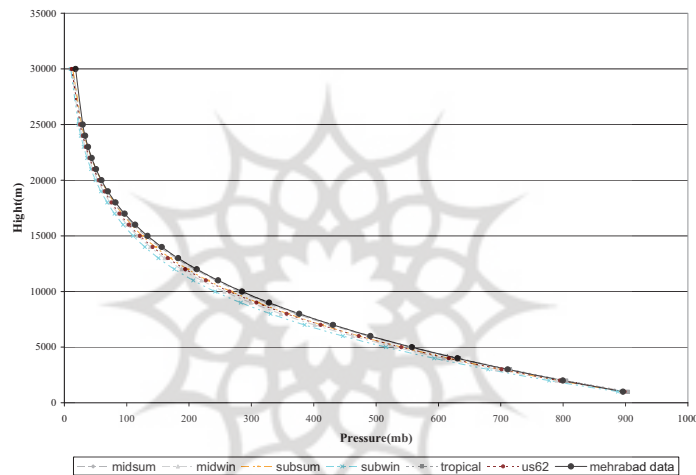
لازم به ذکر است که پروفایل‌های جوی ارائه شده در کد 6S در ارتفاع ۰ تا ۱۰۰ کیلومتر (از ۰ تا ۲۵ کیلومتر با گام ۱ کیلومتری، از ۲۵ تا ۵۰ کیلومتر با گام ۵ کیلومتری و ارتفاع ۷۰ کیلومتری و ۱۰۰ کیلومتری) قرار دارد و لازم است که این روند در ورود داده‌ها رعایت شود. اما به دلیل اینکه داده‌های اندازه‌گیری شده به‌وسیله رادیوساوند در ایستگاه مهرآباد تا ارتفاع ۳۰ کیلومتری قرار دارد، باید ترتیبی اتخاذ می‌شد که برای ارتفاعات بالاتر (۳۰ تا ۱۰۰ کیلومتر) داده‌های مناسب تهیه شود. لذا برای ترمیم این داده‌ها از داده‌های مدل جوی عرض میانه تابستانی که بیشترین

۳-۲- اجرای مدل

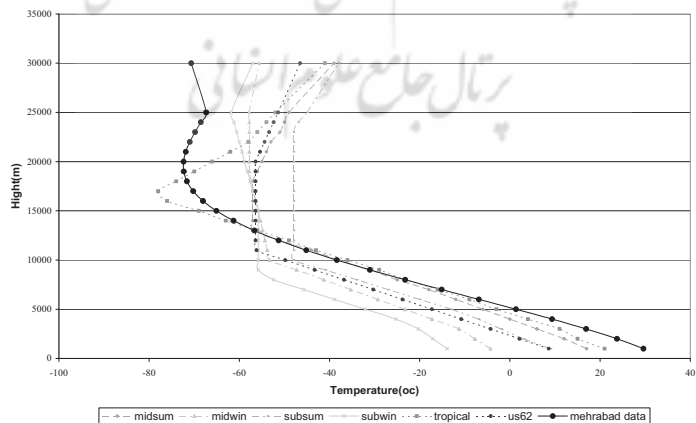
در این تحقیق با استفاده از کد 6S و پروفایل‌های جوی استخراج شده از داده‌های رادیوسوند ایستگاه مهرآباد، برای ۸ باند سنجنده MODIS (باند ۱ تا ۷ و ۱۷) اصلاح جوی صورت گرفته است. همچنین برای مقایسه مدل جوی مهرآباد تهران با مدل‌های پیش‌فرض کد 6S از دو مدل جوی پیش‌فرض کد 6S (مدل جوی عرض میانه تابستانی و حاره‌ای) برای اصلاح جوی استفاده شده است. یکی دیگر از ورودی‌های کد 6S برای اصلاح تصاویر مدل هواویز است، که در این تحقیق به دلیل

عدم اندازه‌گیری داده‌های هواویز در ایران برای اجرای مدل از مدل‌های هواویز پیش‌فرض استفاده شده است. به دلیل وجود شهر تهران و دشت‌های جنوب آن در تصویر انتخابی، اصلاح جوی تصاویر منطقه برای دو نوع مدل هواویز (مدل هواویز شهری و مدل هواویز پس‌زمینه صحرائی صورت گرفته است. به عبارت دقیق‌تر برای هر باند، ۶ ترکیب برای اصلاح جوی به شرح زیر مورد استفاده قرار گرفت:

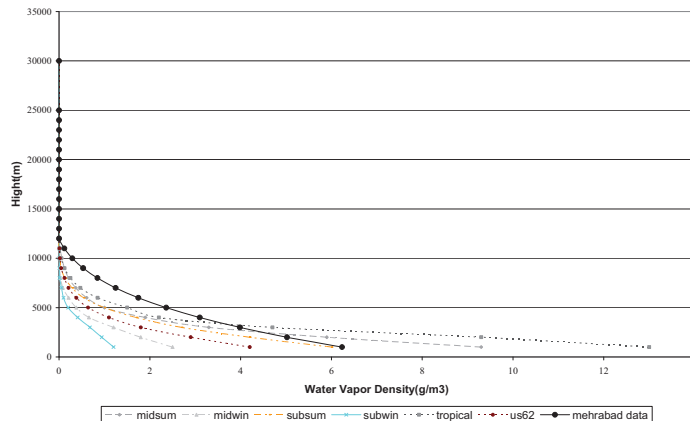
۱. اصلاح جوی با استفاده از مدل جوی مهرآباد و مدل هواویز شهری (ترکیب یک).



شکل ۱. نمودار پروفایل فشار مدل عرض میانه تابستانی، مدل عرض میانه زمستانی، مدل تحت قطبی تابستانی، مدل تحت قطبی زمستانی، مدل حاره‌ای، مدل استاندارد US62 و مدل جوی ایستگاه مهرآباد



شکل ۲. نمودار پروفایل دمای مدل عرض میانه تابستانی، مدل عرض میانه زمستانی، مدل تحت قطبی تابستانی، مدل تحت قطبی زمستانی، مدل حاره‌ای، مدل استاندارد US62 و مدل جوی ایستگاه مهرآباد



شکل ۳. نمودار پروفایل چگالی بخار آب مدل عرض میانه تابستانی، مدل عرض میانه زمستانی، مدل تحت قطبی تابستانی، مدل تحت قطبی زمستانی، مدل حاره‌ای، مدل استاندارد US62 و مدل جوی ایستگاه مهرآباد

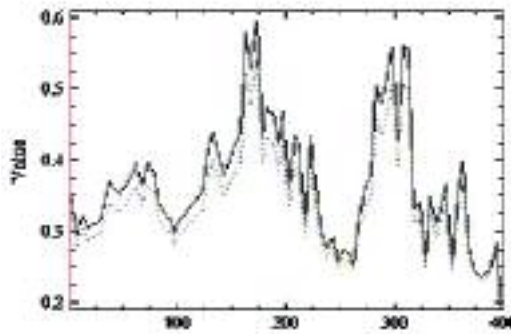
می‌شود، اصلاح جوی با استفاده از کد 6S به صورت خطی انجام گرفته است و مقادیر بازتابندگی پیکسل‌ها پس از اصلاح جوی افزایش یافته‌اند (به غیر از باند ۳). با نگاهی به نتایج به دست آمده برای اصلاح جوی ترکیب‌ها و باندهای مختلف، مشخص می‌گردد که میزان بازتابندگی پیکسل‌ها پس از اصلاح جوی افزایش یافته است (به غیر از باند ۳). میزان این افزایش در ترکیب‌هایی که از مدل هواویز شهری استفاده شده بیشتر است، علت این امر می‌تواند تفاوت در نوع و اندازه ذرات موجود در مدل‌های هواویز باشد. در واقع می‌توان گفت با توجه به این امر جذب و پراکنش امواج الکترومغناطیسی در مدل هواویز شهری بیشتر اتفاق می‌افتد (Vermote et al., 1997-2).

در باند ۳ سنجنده MODIS میزان بازتابندگی پیکسل‌ها پس از اصلاح جوی بالاتر از حد آستانه افزایش و پایین‌تر از حد آستانه کاهش می‌یابد، میزان این حد آستانه در مدل هواویز شهری ۰/۲ و در مدل هواویز پس‌زمینه صحرایی ۰/۶ است (شکل‌های ۸ تا ۱۱). این امر می‌تواند به دلیل ناهماهنگی بیشتر سطوح شهری و همچنین تفاوت رفتار هواویزهای شهری در میزان جذب و پراکنش امواج الکترومغناطیسی (جذب بیشتر و پراکنش کمتر هواویزهای شهری نسبت به هواویز صحرایی) باشد (Mobasheri, 2006-2).

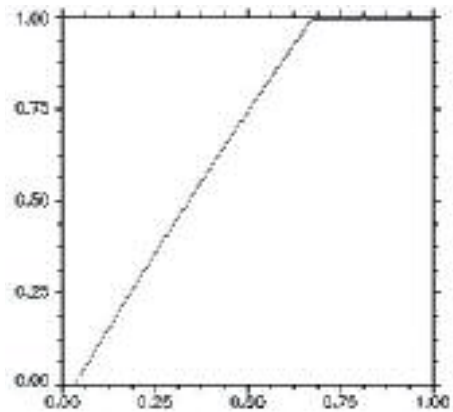
۲. اصلاح جوی با استفاده از مدل جوی مهرآباد و مدل هواویز پس‌زمینه صحرایی (ترکیب دو).
۳. اصلاح جوی با استفاده از مدل جوی عرض میانه تابستانی و مدل هواویز شهری (ترکیب سه).
۴. اصلاح جوی با استفاده از مدل جوی عرض میانه تابستانی و مدل هواویز پس‌زمینه صحرایی (ترکیب چهار).
۵. اصلاح جوی با استفاده از مدل جوی حاره‌ای و مدل هواویز شهری (ترکیب پنج).
۶. اصلاح جوی با استفاده از مدل جوی حاره‌ای و مدل هواویز پس‌زمینه صحرایی (ترکیب شش).

۳- نتایج

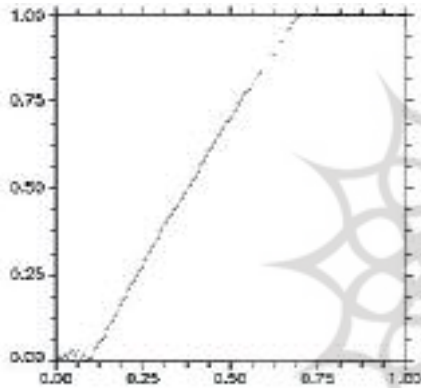
بعد از اجرای کد 6S به منظور مقایسه تصاویر قبل و پس از اصلاح، از نمودار طیفی دوبعدی و پروفایل‌های طولی که مقادیر تصاویر قبل و پس از اصلاح را در مقایسه با یکدیگر نشان می‌دهد، استفاده شده است. با توجه به تعداد ترکیب‌های ذکر شده در بالا فقط نمودارهای اصلاح جوی ترکیب‌های ۱ و ۲ برای باندهای ۱، ۳ و ۱۷ به عنوان نمونه نمایش داده شده است (شکل‌های ۴ تا ۱۵). همان‌گونه که در شکل‌های ۴ تا ۱۵ مشاهده



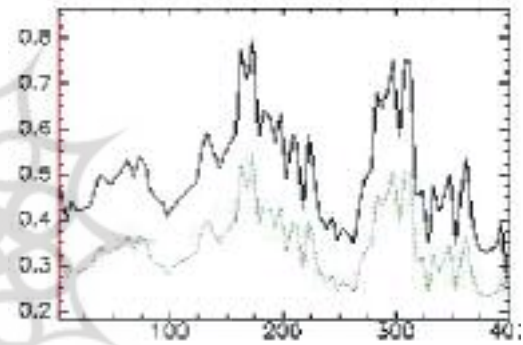
شکل ۷. نمودار پروفایل طولی باند ۱ سنجنده MODIS: تصویر قبل از اصلاح جوی (خط چین) و پس از اصلاح جوی (خط ممتد) (مدل هواویز صحرایی)



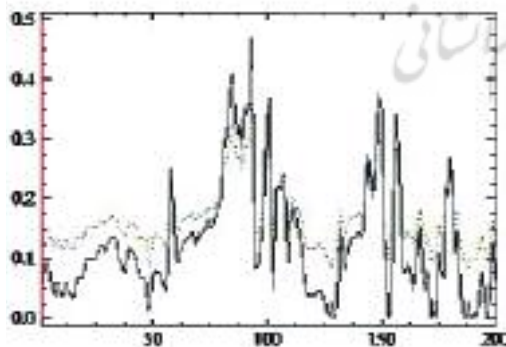
شکل ۴. نمودار طیفی دوبعدی باند ۱ سنجنده MODIS: تصویر قبل از اصلاح (محور x) و تصویر پس از اصلاح (محور y) (مدل هواویز شهری)



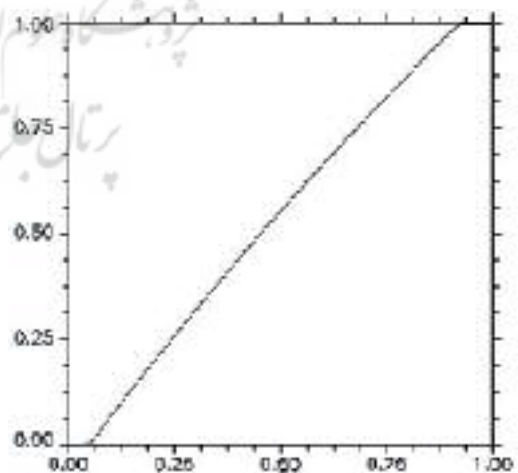
شکل ۸. نمودار طیفی دوبعدی باند ۳ سنجنده MODIS: تصویر قبل از اصلاح (محور x) و تصویر پس از اصلاح (محور y) (مدل هواویز شهری)



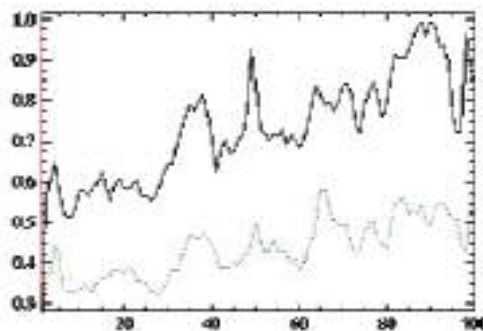
شکل ۵. نمودار پروفایل طولی باند ۱ سنجنده MODIS: تصویر قبل از اصلاح جوی (خط چین) و پس از اصلاح جوی (خط ممتد) (مدل هواویز شهری)



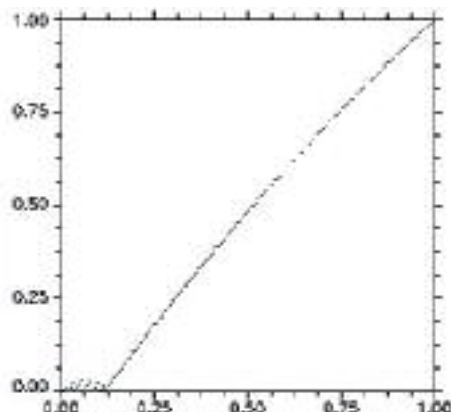
شکل ۹. نمودار پروفایل طولی باند ۳ سنجنده MODIS: تصویر قبل از اصلاح جوی (خط چین) و پس از اصلاح جوی (خط ممتد) (مدل هواویز شهری)



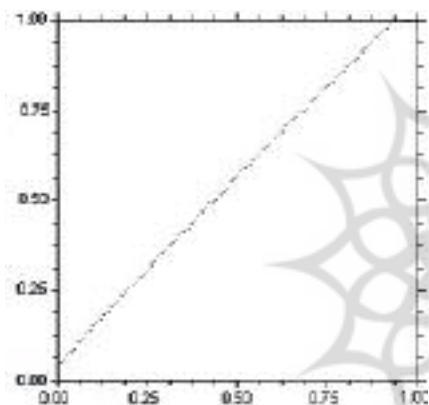
شکل ۶. نمودار طیفی دوبعدی باند ۱ سنجنده MODIS: تصویر قبل از اصلاح (محور x) و تصویر پس از اصلاح (محور y) (مدل هواویز صحرایی)



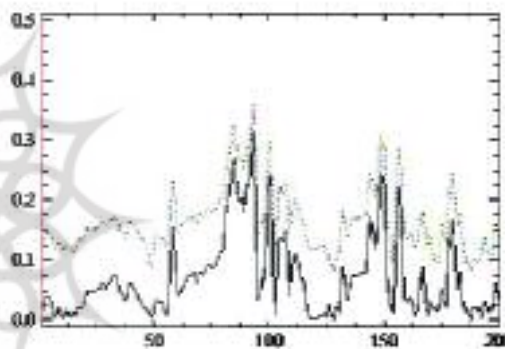
شکل ۱۳. نمودار پروفایل طولی باند ۱۷ سنجنده MODIS: تصویر قبل از اصلاح جوی (خط چین) و پس از اصلاح جوی (خط ممتد) (مدل هواویز شهری)



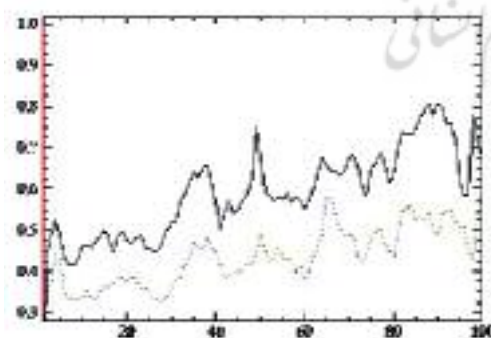
شکل ۱۰. نمودار طیفی دوبعدی باند ۳ سنجنده MODIS: تصویر قبل از اصلاح (محور x) و تصویر پس از اصلاح (محور y) (مدل هواویز صحرائی)



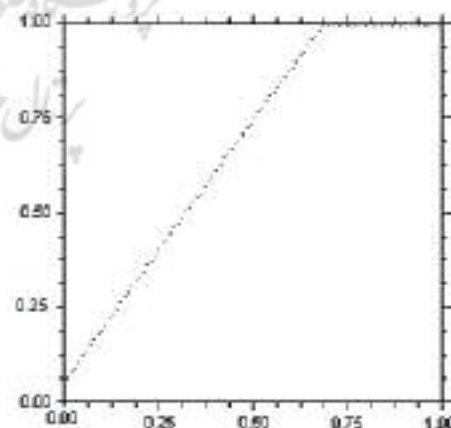
شکل ۱۴. نمودار طیفی دوبعدی باند ۱۷ سنجنده MODIS: تصویر قبل از اصلاح (محور x) و تصویر پس از اصلاح (محور y) (مدل هواویز صحرائی)



شکل ۱۱. نمودار پروفایل طولی باند ۳ سنجنده MODIS: تصویر قبل از اصلاح جوی (خط چین) و پس از اصلاح جوی (خط ممتد) (مدل هواویز صحرائی)



شکل ۱۵. نمودار پروفایل طولی باند ۱۷ سنجنده MODIS: تصویر قبل از اصلاح جوی (خط چین) و پس از اصلاح جوی (خط ممتد) (مدل هواویز صحرائی)



شکل ۱۲. نمودار طیفی دوبعدی باند ۱۷ سنجنده MODIS: تصویر قبل از اصلاح (محور x) و تصویر پس از اصلاح (محور y) (مدل هواویز شهری)

۴- بحث و نتیجه‌گیری

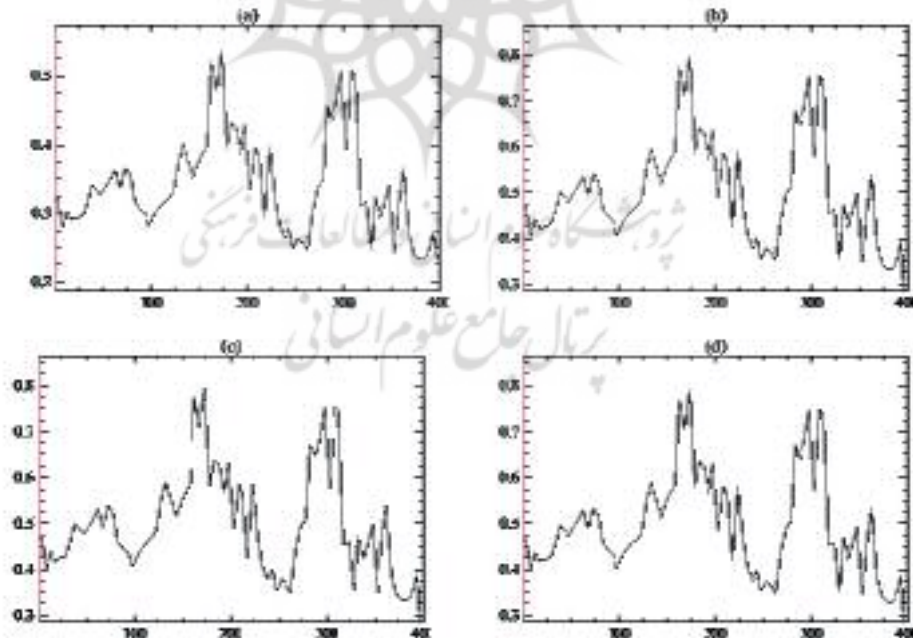
شکل‌های ۱۶ و ۱۷ تصاویر اصلاح‌شده با استفاده از مدل‌های پیش‌فرض کد 6S (مدل‌های جوی عرض میانه تابستانی و حاره‌ای) و مدل استخراجی برای ایستگاه مهرآباد تهران را مورد مقایسه قرار می‌دهد. این مقایسه براساس پروفایل‌های طولی به دست آمده از تصاویر اصلاح‌شده با مدل‌های جوی مذکور صورت گرفته است. لذا در هر نمودار، چهار پروفایل طولی نشان داده شده است. سه پروفایل، مربوط به تصاویر اصلاح ناشی از مدل‌های جوی و یک پروفایل مربوط به تصویر قبل از اصلاح است.

همان‌گونه که در شکل‌ها مشاهده می‌شود، پروفایل‌های منتج از تصاویر اصلاح‌شده با مدل‌های مختلف جوی بر روی هم منطبق شده‌اند. نتایج به دست آمده برای باند ۲ تا ۷ سنجنده MODIS نیز مشابه نتایج باند ۱ است. با نگاهی به محدوده باندهای طیفی

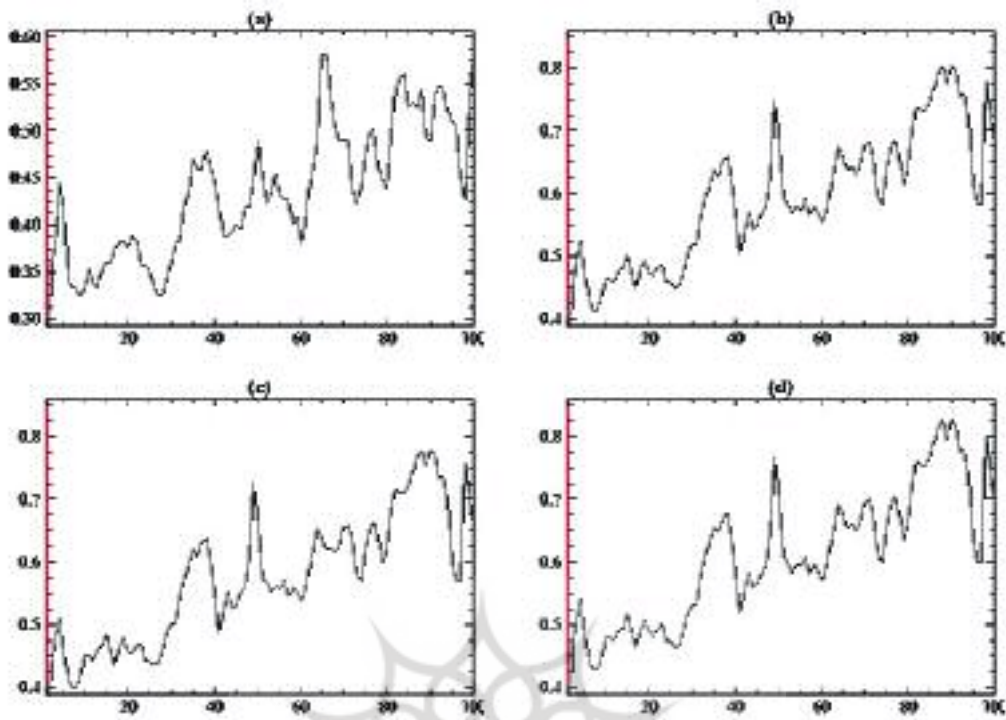
سنجنده MODIS مشخص می‌گردد که این هفت باند در محدوده جذب بخار آب قرار ندارند (شکل ۱۸)، به همین دلیل پروفایل‌های تهیه شده از تصاویر پس از اصلاح جوی با استفاده از مدل‌های مختلف جوی بر روی هم قرار می‌گیرند.

به دلیل اینکه باند ۱۷ سنجنده MODIS در محدوده جذب بخار آب قرار گرفته است (شکل ۱۸)، نتایج به دست آمده اصلاح جوی با استفاده از مدل‌های مختلف جوی با هم متفاوت است.

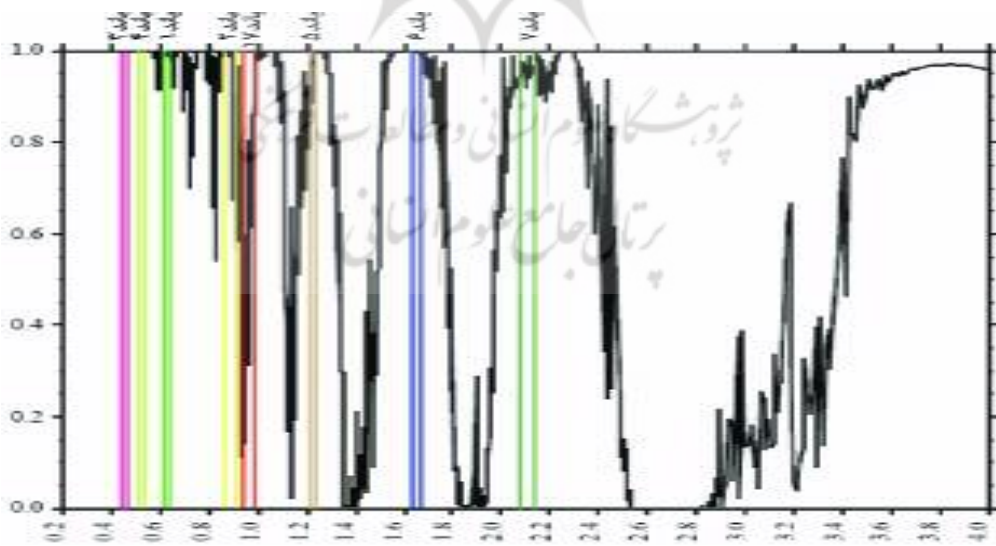
همان‌گونه که در شکل‌های ۱۹ و ۲۰ مشاهده می‌گردد، پروفایل‌های ناشی از تصاویر با مدل‌های مختلف جوی کاملاً از هم متمایزند و پروفایل تهیه‌شده از تصویر اصلاح‌شده با مدل جوی مهرآباد، در بین پروفایل‌های تصاویر اصلاح‌شده با استفاده از مدل‌های جوی عرض میانه تابستانی و حاره‌ای قرار گرفته است.



شکل ۱۶. نمودار پروفایل‌های طولی باند ۱ سنجنده MODIS: نمودار قبل از اصلاح (a)، نمودار اصلاح با مدل جوی مهرآباد (b)، مدل جوی عرض میانه تابستانی (c)، مدل جوی حاره‌ای (d)، (مدل هواویز شهری)

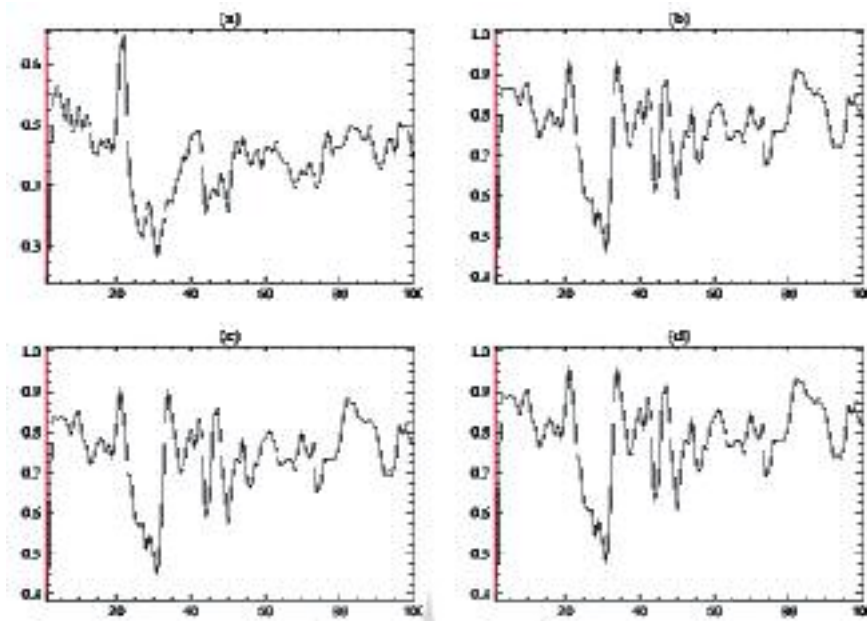


شکل ۱۷. نمودار پروفایل‌های طولی باند ۱ سنجنده MODIS: نمودار قبل از اصلاح (a)، نمودار اصلاح با مدل جوی مهرآباد (b)، مدل جوی عرض میانه تابستانی (c)، مدل جوی حاره‌ای (d)، (مدل هواویز پس‌زمینه صحرایی)

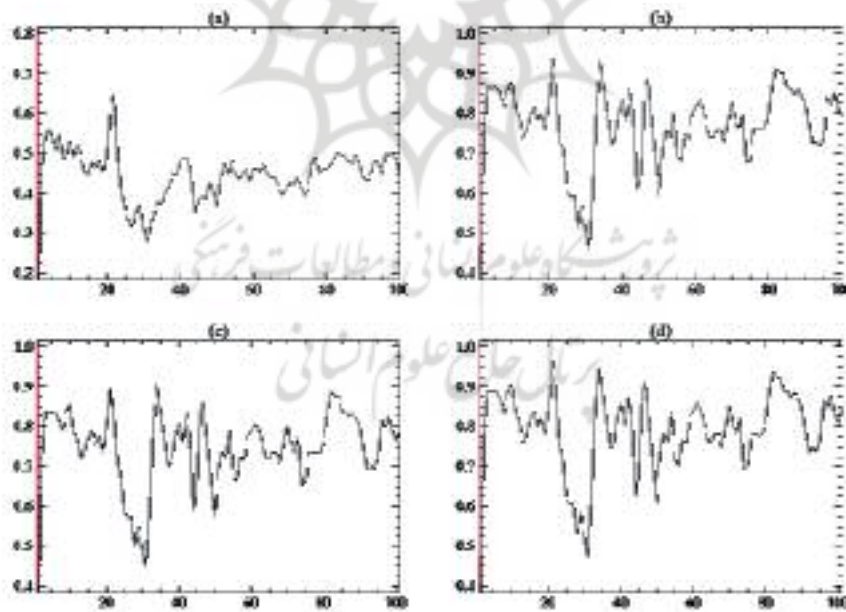


شکل ۱۸. محدوده جذب طیفی بخار آب و باندهای سنجنده MODIS (باند ۱ تا ۷ و باند ۱۷)

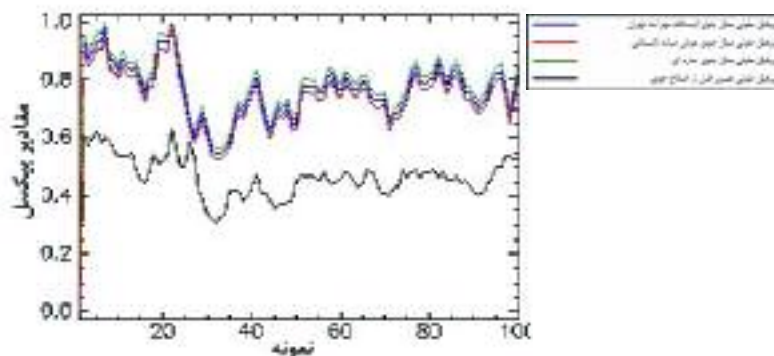
بازسازی 6S برای تصحیح تصاویر ماهواره‌ای در جو ایران (مطالعه موردی: تهران)



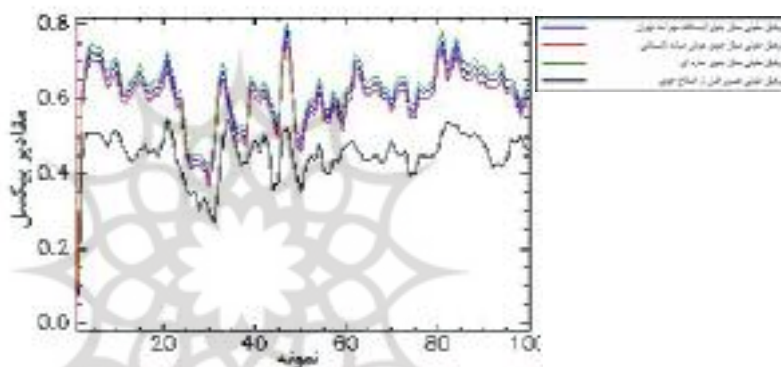
شکل ۱۹. نمودار پروفایل‌های طولی باند ۱۷ سنجنده MODIS: نمودار قبل از اصلاح (a)، نمودار اصلاح با مدل جوی مهرآباد (b)، مدل جوی عرض میانه تابستانی (c)، مدل جوی حاره‌ای (d)، (مدل هواویز شهری)



شکل ۲۰. نمودار پروفایل‌های طولی باند ۱۷ سنجنده MODIS: نمودار قبل از اصلاح (a)، نمودار اصلاح با مدل جوی مهرآباد (b)، مدل جوی عرض میانه تابستانی (c)، مدل جوی حاره‌ای (d)، (مدل هواویز پس‌زمینه صحرایی)



شکل ۲۰. نمودار پروفایل طولی باند ۱۷ سنجنده MODIS. خط سیاه پروفایل قبل از اصلاح جوی و خطوط رنگی، پروفایل‌های پس از اصلاح (مدل هواویزه شهری) را نشان می‌دهند.

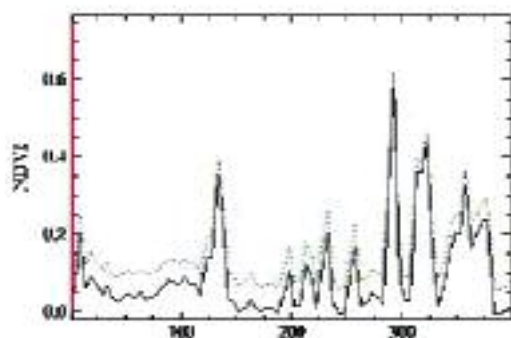


شکل ۲۱. نمودار پروفایل طولی باند ۱۷ سنجنده MODIS. خط سیاه پروفایل قبل از اصلاح جوی و خطوط رنگی پروفایل‌های پس از اصلاح (مدل هواویزه شهری) را نشان می‌دهند.

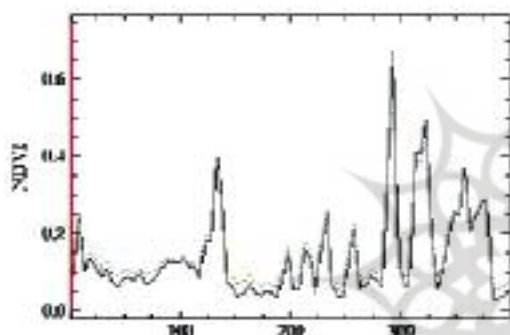
منطقه مورد مطالعه داشته باشد، مطالعه‌ی لی و همکاران (Lei et al., 1999) انتخاب شد.

در این مطالعه، لی و همکاران کاهش NDVI‌های کمتر از ۰/۲۵ پس از اصلاح جوی و افزایش NDVI‌های بالاتر از ۰/۵ پس از اصلاح جوی را نشان داده‌اند. از سویی پس از اصلاح جوی تصاویر MODIS در ایستگاه مهرآباد تهران با استفاده از مدل هواویزه شهری، میزان NDVI‌های کمتر از ۰/۴ کاهش و NDVI‌های بیشتر از ۰/۵ افزایش پیدا کرده و مقادیر NDVI میان این دو عدد ثابت باقی مانده است (شکل ۲۳). میزان این دو حد آستانه برای تصاویر اصلاح‌شده با استفاده از مدل هواویزه پس‌زمینه صحرايي ۰/۳ و ۰/۵۵ است (شکل

برای دستیابی به برآوردی کلی از نتایج حاصل از مدل، در اختیار داشتن داده‌های زمینی همزمان با گذر ماهواره می‌تواند بسیار کمک‌کننده باشد، اما در شرایط در اختیار نداشتن این داده‌ها، لازم است از داده‌های دیگری که امکان ارزیابی نتایج را به‌وجود می‌آورد، استفاده کرد. با بررسی و مرور منابع مختلف (Tachiri, Karnieli, Holben, 1986; Zheng et al., 2007; 2005; et al., 2001 و Lei et al., 1999) نخست داده‌های NDVI به عنوان داده‌هایی که امکان تحلیل نتایج حاصل از مدل را در اختیار می‌گذارد انتخاب شد. سپس با توجه به لزوم در اختیار داشتن نتیجه‌ای قابل اعتماد که مشابهت‌های کلی با شرایط جوی و جغرافیایی



شکل ۲۳. نمودار پروفایل طولی تصویر NDVI. قبل از اصلاح جوی (خط چین) و پس از اصلاح جوی (خط ممتد) (مدل هواویز شهری)



شکل ۲۴. نمودار پروفایل طولی تصویر NDVI. قبل از اصلاح جوی (خط چین) و پس از اصلاح جوی (خط ممتد) (مدل هواویز پس‌زمینه صحرایی)

۲۴). این موضوع اثر اصلاح جوی روی NDVI را نشان می‌دهد و می‌توان از آن نتیجه‌گیری کرد که این مشاهدات با نتایج به‌دست آمده در مطالعه‌ی و همکاران (Lei et al., 1999) مطابقت دارد. مقادیر اندک تفاوت موجود بین مقادیر حدی (۰/۲۵ و ۰/۴) NDVI، می‌تواند ناشی از تفاوت شرایط زمینی مناطق مورد مطالعه و یا استفاده‌ی محققان مذکور از داده‌های سنجنده‌ی AVHRR باشد. اما در نگاهی جامع، نتایج در قالبی کلی (وجود دو حد آستانه بعد از اصلاح تصاویر) هماهنگ قرار می‌گیرند.

با توجه به نتایج به‌دست آمده مشخص می‌گردد که در باندهایی که در محدوده‌ی جذب بخار آب قرار ندارند، پراکنش مولکول‌ها و هواویزها نقش مهمی در تأثیرات جوی دارند. در این باندها انتخاب مدل‌های هواویز نقش مهمی در اصلاح تأثیرات جوی دارد. در باندهایی که در محدوده‌ی جذب بخار آب قرار دارند، علاوه بر پراکنش مولکول‌ها و هواویزها جذب مولکول‌ها نیز نقش مهمی در تأثیرات جوی ایفا می‌کنند. در این باندها انتخاب مدل‌های پیش‌فرض کد 6S می‌تواند نتایج متفاوتی با واقعیت به همراه داشته باشد. این یافته لزوم استفاده از مدل‌های خاص هر منطقه را نشان می‌دهد.

پژوهش حاضر در شرایط جوی ایستگاه مهرآباد انجام شده است و با توجه به گستردگی جغرافیایی کشور و وجود شرایط مختلف جوی، پیشنهاد می‌گردد که این مدل در دیگر شرایط جوی که برای آنها داده‌های رادیوساوند موجود است نیز انجام شود. همچنین با توجه به تأثیر بسیار زیاد مدل‌های هواویز بر روی نتایج اصلاح جوی، لازم است بررسی مدل‌های هواویز در کشور و امکان به وجود آوردن یک بانک داده‌ی قوی برای اصلاح تصاویر ماهواره‌ای، در اولویت‌های بالای برنامه‌های پژوهشی دستگاه‌های مرتبط و پژوهشگران سنجش از دور قرار گیرد.

۵- منابع

- Berk, A., Bernstein, L.S. and Robertson, D.C. 1989, **MODTRAN: A Moderate Resolution Model for LOWTRAN 7**, GL-TR-89- 0122, Phillips Lab., Hanscom Air Force Base, Mass.
- Fallah, H. 1996, **High Performance Computing Algorithms for Atmospheric Correction of Remotely Sensed Data**, Dissertation submitted to the Faculty of the Graduate school of the University of Maryland in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy.

- Fraser, R.S., and Kaufman, Y.J. 1985, **The Relative Importance of Scattering and Absorption in Remote Sensing**, IEEE Trans. Geosciences and Remote Sensing, (18):2577-2584.
- Fraser, R.S., Bahethi O.P., and Al-Abbas, A.H. 1977, **The Effect of the Atmosphere on Classification of Satellite Observations to Identify Surface Features**, Remote Sens, Environment, 6:229-239.
- Holben, B.N., 1986, **Characteristics of Maximum-Value Composite Images from Temporal AVHRR Data**, International Journal of Remote Sensing 7 (11), 1417-1434.
- Karnieli, A., Kaufman Y.J., Remer L., and Wald. A., 2001, **AFRI— aerosol Free Vegetation Index**, Remote Sensing of Environment 77 (1), 10- 21.
- Kaufman Y.J., and Sendra C., 1988, **Algorithm for Automatic Atmospheric Correction to Visible and Near-ir Satellite Imagery**, Int. J. Remote Sens, 9: 1357-1381.
- Kneizys, F.X., Shettle E.P., Abreu L.W., Chetwind J.H., Anderson G.P., Gallery W.O., Selby J.E.A., and Clough S.A., 1988, **Users Guide to LOWTRAN 7**, AFGL-TR-88-0177. Phillips Lab, Hanscom Air Force Base, Mass.
- Lei, L., and Yokoyama R., 1999, **An Atmospheric Correction Algorithm for AVHRR Data by 6S Code**, GIS Development.
<http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/1999/ts15/ts15636.asp>
- Model for LOWTRAN 7**, GL-TR-89- 0122. Phillips Lab., Hanscom Air Force Base, Mass.
- Mobasheri, M.R., 2006-1, **Monitoring of Changes in the Ozone layer in Iran Atmosphere using Satellite Images (in Farsi)**, J. of Environment. 44:43-54.
- Mobasheri, M.R., 2006-2, **Fundamental of Physics in Remote Sensing and Satellite Technology (Farsi ed.)**, K.N. Toosi Univ. of Technology Publication, P. 318.
- Richter R., 1996, **A Spatially Adaptive Fast Atmospheric Correction Algorithm**, Int. J. of Remote Sens. 17: 1201-1214.
- Schott, J.R., Salvaggio C., and Volchok. W.J., 1988, **Radio Atmospheric Metric Scene Normalization Using Pseudo-invariant Features**, Remote Sens. Environ, 26: 1-16.
- Tachiiri K., **Calculating NDVI for NOAA/AVHRR Data After Atmospheric Correction for Extensive Images Using 6S Code: A Case Study in the Marsabit District, Kenya**, 2005, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 59, 103-114.
- Tanre' D., Deroo C., Duhaut P., Herman M., J. Morcrette J.J, Perbos J., Deschamps P.Y., 1990, **Description of a Computer Code to Simulate the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 5s Code**, International Journal of Remote Sensing 11(4): 659- 668.
- Vermote E.F., Tanre D., and Dzuze J. L., 1997-1, **Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: an overview**, IEEE Trans, Geosci, Remote Sens, 35: 675-686.

Vermote E.F., Tanre D., Dzuze J. L., Herman M., and Morcrette J. J., 1997-2, **Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum (6S)**, 6S User Guide Version 2.

Zhao W., Tamura M., and Takahashi, H., 2000, **Atmospheric and Spectral Corrections for Estimating Surface Albedo from Satellite Data Using 6S Code**, Remote Sensing of Environment, 76: 202-212.

Zheng W., L. Chuang, Z. Zhi-yuan, and L. En., 2007, **A Feasible Atmospheric Correction Method to TM image**, Journal of China University of Mining & Technology, 17(1): 0112-0115.

