اولین کنفرانس مهندسی فناوری اطلاعات مکانی
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی نقشه‌برداری
۲۹ و ۳۰ دی ماه ۱۳۹۴

The 1st National Conference on Geospatial Information Technology
K.N.Toosi University of Technology
Faculty of Geomatics Engineering
19 - 20 January 2016

تولید پروفایل فشار با استفاده از فرض جو هیدروستاتیک و باندهای حرارتی تصاویر سنجنده مادیس

حمیدرضا حاجی غلامی[1*]، محمدرضا مباشری[2] ، مجید رحیم زادگان[3]

۱-دانشجوی کارشناسی‌ارشد، دانشکده مهندسی ژئوماتیک و ژئودزی ، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
۲- دانشیار، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
۳- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

چکیده :

تهیه پروفایل‌های فشار در سطوح ژئوپتانسیل مختلف برای پیش‌بینی آب‌وهوا و بررسی جریانات جوّی از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. در این تحقیق از داده‌های رادیوساند، تصاویر فشار سطح زمین مادیس و داده‌های ایستگاه سینوپتیک استفاده گردید. استخراج پروفایل فشار با استفاده از معادلات هیدرواستاتیک که بر پایه فرض کوچک بودن حرکات قائم جوی می‌باشد، روش منتخب این تحقیق بود. این تحقیق شامل دو بخش می‌باشد، در بخش اول مدل هیدرواستاتیک با استفاده از داده‌های رادیوساند و براساس شاخص پایداری مورد ارزیابی قرار گرفت. در بخش بعد با استفاده از پروفایل دما و رطوبت و فشار سطح مادیس، پروفایل فشار در سطوح ژئوپتانسیل مختلف محاسبه گردید. مقادیر RMSE متوسط بین پروفایل‌های فشار بدست آمده از مدل هیدرواستاتیک با استفاده از داده‌های مادیس و رادیوساند و پروفایل فشار اندازه‌گیری شده توسط رادیوساند به ترتیب ۰.۴ و ۱ میلی‌بار بدست آمد، نتایج بدست آمده از مدل هیدرواستاتیک هم‌خوانی خوبی با اندازه‌گیری رادیوساند در هر دو شرایط جوّ پایدار و جوّ ناپایدار دارد، همچنین نتایج نشان می‌دهد که با داشتن لایه فشار در سطح، توسط مدل هیدرواستاتیک می‌توان فشار هوا را با دقت قابل قبولی در هر ارتفاعی بدست آورد. میزان عدم قطعیت این رابطه در جداول خاصی در این پژوهش ارائه شده است

واژه‌های کلیدی : فشار جوّی، پروفایل فشار، سنجش از دور، مادیس

نویسنده مکاتبه کننده : حمیدرضا حاجی غلامی
آدرس پستی : تهران، خیابان ولیعصر، تقاطع میرداماد، روبروی ساختمان اسکان.
تلفن : 09102106384
آدرس پست الکترونیک : Hamidrezagholami314@gmail.com

۱- مقدمه

هدف از تحقیق، تهیه و بررسی پروفایل‌های فشار بدست آمده با استفاده از معادلات هیدرواستاتیک و پروفایل‌های دما و رطوبت می‌باشد. فشار هوا یکی از پایه‌ای‌ترین متغیرهای جوّی می‌باشد که مقدار آن در ارتفاعات مختلف برای مدل‌های پیش‌بینی و هواشناسی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نیروی گرادیان فشار هوا یکی از نیروهای اساسی در بررسی جریانات جوّی می‌باشد و الگوهای جوّی عموماً با استفاده از منحنی‌های تراز فشار بیان می‌گردد. در نتیجه استخراج پروفایل فشار برای پیش بینی وضع هوا و مطالعات اقلیمی از اهمیت ویژه‌ای برخورداراست. یکی از روش‌های سنجش‌از-دوری استخراج پروفایل فشار استفاده از مشاهدات در باند A اکسیژن در طول موج ۰.۷۶ متر می‌باشد. کورب اولین بار استفاده از تکنیک لیدار با قدرت تفکیک طیفی بالا برای استخراج پروفایل فشار را ارائه نمود[۱]. کورب و ونگ از تکنیک لیدار با دو طول موج در ناحیه جذب جوّی باند A اکسیژن را برای استخراج پروفایل فشار جوّ استفاده کرد که بر روی داده‌های شبیه‌سازی شده فضایی دارای دقت نسبی ۰.۳ درصد با قدرت تفکیک ۱۲۰ کیلومتر بود[۱]. استفاده از تکنیک لیدار فضای برای استخراج پروفایل فشار به دلیل هزینه‌بر بودن کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. معادلات هیدرواستاتیک بر پایه‌ی فرض هیدرواستاتیک می‌باشد. این فرض یکی از فرض‌های اولیه در مدل‌های عددی پیش‌بینی آب‌وهوا می‌باشد. در این معادلات نیروهای قائم غالب وارد بر یک بسته هوا تنها شامل نیروی جاذبه و نیروی گرادیان قائم فشار فرض می‌گردد که در حالت تعادل می‌باشند[۲]. براساس مقیاس آنالیز، فرض هیدرواستاتیک زمانی دارای اعتبار می‌باشد که نسبت مقیاس حرکت قائم به نسبت حرکت افقی کمتر از واحد باشد[۲]. فرض هیدرواستاتیک برای گردش‌های جوّی بزرگ مقیاس و میان مقیاس آلفا و مقیاس همدید دارای اعتبار می‌باشد[۳،۲]. طبق فرض هیدرواستاتیک وجود شتاب های قائم سبب عدم قطعیت در معادله هیدرواستاتیک می‌گردد. یکی از شاخص‌ها جهت بررسی وجود پتانسیل شتاب‌های قائم، شاخص صعود[1] می‌باشد. طبق تعریف، شاخص صعود برابر اختلاف دمای بسته هوای صعود کرده با آهنگ بی‌درو از سطح زمین تا سطح فشار ۵۰۰ میلی‌بار می‌باشد[۴].

۱-۱-استخراج پروفیل دما و رطوبت با استفاده از باندهای گرمایی مادیس

استفاده از باندهای‌گرمایی تصاویر ماهواره‌ای در تولید پروفایل‌های جوّی به یک روش رایج تبدیل شده است. در حالیکه طیف‌سنج‌پرتویی با قدرت تفکیک متوسط(MODIS[2]) یک وسیله پروفیل‌گیر نمی‌باشد، اما دارای باندهای طیفی زیادی برروی پروفیل‌گیر تابش مادون‌قرمز با قدرت تفکیک بالا می‌باشد، بنابراین امکان تولید پروفایل رطوبت و دما و شاخص پایداری از مشاهدات مادون قرمز مادیس می‌باشد[۵]. الگوریتم مادیس از الگوریتم‌های ماهواره محیطی کاربردی زمین ایستا(GOES[3]) و پروفایل بردار تابش گرمایی فروسرخ با قدرت تفکیک زیاد(HIRS[4]) گرفته شده است و با این تنظیمات که در صورت عدم حضور باندهای طیفی پروفایل بردار آرام‌سپهر و به منظور تحقق بخشیدن مزیت افزایش قدرت تفکیک مکانی به همراه سیگنال به نویز مناسب می‌باشد[۵]. الگوریتم مورد استفاده برای بازیابی پروفایل‌های جوّی دما و رطوبت مادیس، رگرسیون آماری از پیش تعیین شده بین چگالی شار تابش‌های اندازه‌گیری شده یا مدل-سازی شده با پروفایل‌های جوّی متناظر آنها است که این محصولات بانام‌های (MOD07) و (MYD07) به ترتیب برای سکوی ترا و آکوا می‌باشد[۵]. ازجمله مزایای روش رگرسیون آماری، سادگی، کارایی محاسباتی و پایداری عددی و از معایب این روش می‌توان وابسته بودن جواب به حدس اولیه نام برد[۵]. در این روش از داده‌های حدس اولیه بدست آمده از پایگاه داده پروفایل جهانی سی‌بور(SeeBor) شامل پروفایل‌های جهانی دما، رطوبت و ازن است، استفاده می‌شود [۶]. برای تبدیل این پروفایل‌ها به تابندگی‌های باند طیفی مادیس، از مدل گذردهی انجمن مدل انتقال تابش انرژی

[1] Lifted Index
[2]Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
[3]Geostationary Operational Environmental Satellite
[4]High resolution Infrared Radiation Sounder

(CRTM[5]) استفاده می‌شود [۷]. رحیم‌زادگان و مباشری، تکنیک روش رگرسیون آماری محلی را برای کاهش عدم قطعیت‌ها و بهبود بازیابی پروفایل دمای مادیس ارائه دادند و از داده‌های رادیوساند هم‌مکان با داده‌های تصویری استفاده کردند و با درون‌یابی این داده‌ها در لحظه گذر ماهواره مبنایی برای اندازه‌گیری‌های دقیق‌تر پروفایل‌ها از تصاویر مادیس بدست آوردند که دارای RMSE بین ۰.۳۸ و ۳.۸۶ کلوین می‌باشد[۸]. از مزایای این روش بهبود دقت بازیابی با استفاده از حدس اولیه و ماتریس وزن تولید شده از داده‌هایی که به طور مستقیم از منطقه اندازه‌گیری شده است و با شرایط منطقه دارای سازگاری می‌باشد[۸].

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱-داده‌ها و منطقه مورد مطالعه

به منظور ارزیابی مدل هیدرواستاتیک از داده‌های ۲۶ ایستگاه رادیوساند موجود در مناطق مختلف کشور امریکا استفاده گردید. این داده‌ها شامل پروفایل دما، رطوبت، فشار و ارتفاع ژئوپتانسیل می‌باشد. برای تهیه داده‌های رادیوساند، از مرکز پایگاه داده‌های اقلیمی بین‌المللی متعلق به اداره ملی اقیانوسی و جوی(نوآ) استفاده شده است. این داده‌ها به طور منظم دوبار در روز در زمان ۰۰۰۰و۱۲ به وقت جهانی در سراسر جهان با بالون جمع‌آوری می‌شوند. دما فشار نسبت آمیختگی بخارآب پارامترهایی هستند که با حسگرهای رادیوساند اندازه‌گیری شده و مستقیماً به زمین ارسال می‌گردد. منطقه مورد نظر برای استخراج پروفایل‌های فشار از پروفایل‌های دما و رطوبت و فشار سطح زمین مادیس جزیره کائوآئی واقع در مجمع الجزایر هاوایی می‌باشد، این منطقه در موقعیت جغرافیایی $159^0, 21'W$ و $21^0,59'E$ و در ارتفاع ۴۵ متری از سطح دریا قرار دارد. علت انتخاب این منطقه همزمانی گذر سکوی آکوا با داده‌های رادیوساند جهت ارزیابی مدل هیدرواستاتیک می‌باشد. به منظور اصلاح پروفایل‌های دما و رطوبت مادیس از ۵ تصویر مربوط به ماه ژانویه مربوط به سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۵ استفاده شد و برای ۳ تصویر ۱۲، ۱۴ و ۲۴ ماه ژانویه ۲۰۱۵ پروفایل‌های دمای اصلاح شده محاسبه گردید.

۲-۲-روش پژوهش و آماده سازی داده‌ها

دراین پژوهش مبنای کار معادلات هیدرواستاتیک بوده که بر پایه فرض هیدرواستاتیک می‌باشد که در ادامه توضیح داده می‌شود. بر طبق فرض هیدرواستاتیک گرادیان قائم فشار به صورت رابطه (۱) می‌باشد:

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g \qquad (1)$$

در رابطه (۱)، ρ چگالی هوا و g شتاب گرانش می‌باشد. در گازهای موجود در جوّ بعلت ابعاد بزرگ گسترش آنها می توان آنها را با دقت خوبی گازهای ایده آل فرض کرد[۹]. با در نظر گرفتن این فرض رابطه بین چگالی ρ، فشار P و دمای هوا Tبه صورت زیر می‌باشد:

$$P = \rho \frac{R}{M} T \qquad (2)$$

در معادله بالا R ثابت جهانی گازها و M جرم ملکولی هوا می‌باشد. از آنجایی که بخارآب تنها گاز موجود در جوّ است که به میزان قابل ملاحظه‌ای تغییر می‌کند، جرم ملکولی هوا ثابت نخواهد بود. برای حل این مشکل در رابطه (۲) به جای دما واقعی هوا از دمای مجازی استفاده می‌کنند. دما مجازی را می‌توان به صورت دمای هوای خشک تعریف کرد که فشار و چگالی کل آن برابر فشار و چگالی هوای مرطوب باشد که با دمای هوای واقعی به صورت زیر در رابطه می-باشد[۹]:

[5]Community Radiative Transfer Model

$$T^* = \frac{T}{1 - \frac{3}{5}q} \tag{3}$$

در رابطه بالا q رطوبت ویژه می‌باشد که با استفاده از پروفایل رطوبت بدست می‌آید. با در نظر گرفتن فرض هیدرواستاتیک و قرار دادن چگالی هوا از رابطه (۲)، معادله فرض هیدرواستاتیک به صورت معادله دیفرانسیل زیر در می‌آید:

$$\frac{dp}{p} = -\frac{Mgdz}{RT} \tag{4}$$

با حل معادله دیفرانسیل (۴) و فرض معلوم بودن فشار سطح زمین (p_0)، پروفایل دما و رطوبت، معادله فشار به صورت رابطه (۵) در می‌آید:

$$p = p_o e^{\frac{-Mg}{R}\int_{z.}^{z}\frac{dz}{T^*}} \tag{5}$$

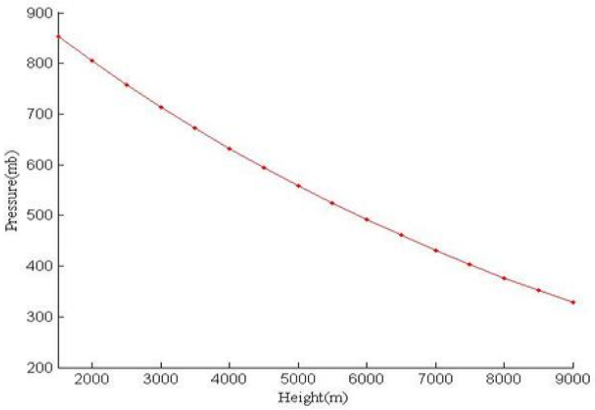
رابطه (۵)، معادله فشار هیدرواستاتیک می‌باشد. در معادله فشار هیدرواستاتیک، M جرم ملکولی هوای خشک و g

شتاب گرانش منطقه می‌باشد که با تبدیل ارتفاع هندسی به ارتفاع ژئوپتانسیل شتاب گرانش تبدیل به شتاب گرانش استاندارد در سطح متوسط دریا(g_o=9.8(m/s^2)) می‌گردد [۹]. ورودی معادله(۵) پروفایل دمای مجازی و فشار سطح زمین بوده که پروفایل دمای مجازی با استفاده از پروفایل دما و رطوبت توسط رابطه(۳) بدست می‌آید. در این پژوهش برای محاسبه عددی انتگرال موجود در رابطه (۵) از روش ذوزنقه‌ای استفاده گردید که معادله عددی فشار به صورت رابطه (۶) در می‌آید:

$$p = p_o e^{\frac{-Mg_o}{2R}\Sigma(\frac{1}{T_i}+\frac{1}{T_{i+1}})\Delta h_i} \tag{6}$$

پس با داشتن فشار سطح زمین و پروفایل دما و رطوبت و با حل عددی رابطه (۶) تا هر ارتفاعی می‌توان فشار هوا را در آن ارتفاع بدست آورد. به منظور ارزیابی مدل هیدرواستاتیک در استخراج پروفایل‌های فشار از داده‌های رادیوساند مربوط به ۴ سال از تاریخ اول ژوئن سال ۲۰۱۲ تا اول ژوئن ۲۰۱۴ که شامل ۳۰۷۰۰ پروفایل می‌باشد، استفاده گردید. این داده‌ها دارای کمترین شاخص صعود ۱۰-و بیشترین شاخص صعود ۴۰ درجه سلسیوس می‌باشد. در مرحله اول، فشار هوا در بازه های ۱۰۰ متری از سطح زمین تا ارتفاع ۹۰۰۰ متری با استفاده از درون‌یابی خطی بین پروفایل‌های فشار اندازه‌گیری شده توسط رادیوساند محاسبه گردید، در ادامه با استفاده از مدل هیدرواستاتیک و پروفایل دمای مجازی درون‌یابی شده در فواصل صد متری و فشار سطح زمین ایستگاه‌های زمینی، فشار هوا در بازه‌های صد متری محاسبه گردید. در مرحله بعد پروفایل‌های فشار محاسبه شده با پروفایل‌های اندازه‌گیری شده توسط رادیوساند در دو بخش مجزا مورد ارزیابی قرار گرفت. ابتدا این داده‌ها براساس شاخص پایداری صعود به ۷ کلاس مختلف تقسیم‌بندی گردید و با استفاده از رگرسیون خطی به روش کمترین مربعات بین پروفایل‌های فشار مدل هیدرواستاتیک و پروفایل-های فشار اندازه‌گیری شده توسط رادیوساند در تمام سطوح ارتفاعی ارتباط بین این دو پروفایل مورد ارزیابی قرار گرفت. در جدول (۱) ضرایب رگرسیون به همراه مقادیر جذر خطای متوسط آمده است. در بخش دوم اختلاف فشار اندازه‌گیری شده توسط رادیوساند با فشار محاسبه شده توسط مدل هیدرواستاتیک در سطوح ارتفاعی مختلف بر حسب شاخص پایداری مورد ارزیابی قرار گرفت. در پایان پروفایل‌های دما و رطوبت مادیس با استفاده از مدل Mobasheri & Rahimzadegan (2011) [۸] برای ماه ژانویه اصلاح گردید و پروفایل‌های دمای مجازی برای روزهای ۱۲، ۱۴، ۲۳ ماه ژانویه ۲۰۱۵ محاسبه گردید، سپس با روش درون‌یابی خطی مقادیر دمای مجازی در فواصل ۱۰۰ متری محاسبه شد. با استفاده از فشار سطح مادیس که از آنالیزهای سیستم یکپارچه‌سازی داده‌های جهانی متعلق به

مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی (NCEP-GDAS[6]) اخذ گردیده و پروفایل دمای مجازی، فشار هوا در بـازه هـای ۱۰۰ متری از سطح زمین تا ارتفاع ۹۰۰۰ متری توسط معادله هیدرواستاتیک محاسبه گردید. نمودار پروفایل فشار محاسـبه شده از مدل هیدرواستاتیک با استفاده از داده‌های مادیس در تاریخ ۲۳ ماه ژانویه ۲۰۱۵در شکل (۱) آمده است.



شکل ۱: نمودار پروفایل فشار محاسبه شده توسط توسط مدل هیدرواستاتیک و فشار سطح زمین و پروفیل دما و رطوبت مادیس برای تاریخ ۲۳ ژانویه سال ۲۰۱۵

۳- بحث و نتیجه‌گیری

برای ارزیابی مدل هیدروستاتیک تنها از داده‌های رادیوساند به دلیل حذف عدم قطعیت‌های موجود در داده‌هـا اسـتفاده گردید و فشار محاسبه شده از مدل هیدرواستاتیک در دو بخش مجزا مورد ارزیابی قرار گرفت. در بخـش اول پروفایـل-های فشار براساس شاخص صعود به ۷ کلاس مختلف از ناپایدارترین تا پایدارترین حالت تقسیم بندی گردید در جـدول (۱) ضرایب رگرسیون بین پروفایل فشار مدل هیدرواستاتیک و رادیوساند به همراه مقادیر RMSE برای هر کلاس آمده است. همانطور که در جدول (۱) مشاهده می‌شود مقدار RMSE در تمام سطوح ارتفاعی برای هـر کـلاس تقریبـاً برابـر ۰.۴ میلی‌بار بوده و با افزایش شاخص پایداری کاهش ناچیزی در مقادیر RMSE مشاهده می‌گردد که در مقابـل مقـدار متوسط خطای موجود قابل صرف نظر می‌باشد و همچنین ضرایب خط برازش داده شده بین پروفایل‌هـای فشـار مـدل هیدرواستاتیک و پروفایل‌های فشار رادیوساند در هر کلاس با توجه به مقدار RMSE تقریباً برابر می‌باشد. نتایج حاصـل از این بخش حاکی از این موضوع می‌باشد که عملکرد معادله هیدرواستاتیک به طور متوسط در سطوح ارتفاعی مختلف تحت تاثیر میزان ناپایداری نبوده و دارای RMSE میانگین ۰.۴ میلی‌بار می‌باشد.

جدول ۱: ضرایب رگرسیون خطی بین پروفایل فشار مدل هیدرواستاتیک و فشار اندازه گیری شده توسط رادیوساند به همراه مقادیر RMSE بر حسب بازه‌های مختلف شاخص پایداری صعود.

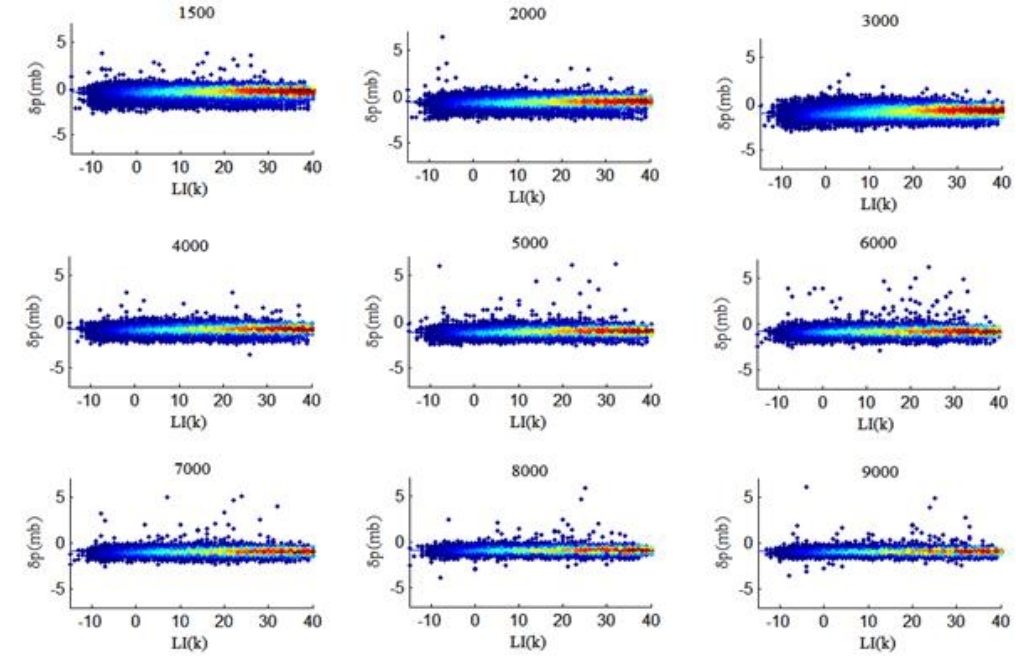
تعداد پروفایل ها	RMSE(mb)	b (mb)	a	بازه‌های شاخص صعود
۳۸۷۰	۰.۴۰	-۰.۹۹	۱.۰۰۰۱	-۹_-۵
۸۹۰۰	۰.۳۸	-۰.۹۷	۱.۰۰۰۲	-۴_۰
۵۵۷۷	۰.۳۸	-۰.۹۹	۱.۰۰۰۴	۱_۵
۴۲۷۶	۰.۳۷	-۱.۰۱	۱.۰۰۰۵	۶_۱۰
۳۱۸۸	۰.۳۷	-۱.۰۳	۱.۰۰۰۵	۱۱_۱۵
۲۷۳۵	۰.۳۸	-۱.۰۳	۱.۰۰۰۵	۱۶_۲۰
۲۱۵۴	۰.۳۹	-۱.۰۴	۱.۰۰۰۵	۲۱_۲۵

[6] National Centers for Environmental Prediction -Global Data Assimilation System

در بخش بعد اختلاف فشار مدل هیدرواستاتیک و رادیوساند در ارتفاعات مختلف برحسب شاخص صعود مورد ارزیابی قرار گرفت. شکل (۲) نمودارهای اختلاف فشار بر حسب شاخص صعود در ارتفاعات مختلف می‌باشد و همچنین مقادیر RMSE بین مدل هیدرواستاتیک و داده‌های رادیوساند در جدول (۲) آمده است. همانطور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود میزان RMSE با افزایش ارتفاع روند نزولی داشته است و از مقدار ۰.۵ میلی‌بار در ارتفاع ۱۵۰۰ متر تا ۰.۳ میلی‌بار در ارتفاع ۹۰۰۰ متر کاهش می‌یابد که نشانگر بهبود دقت مدل هیدرواستاتیک با افزایش ارتفاع می‌باشد، همچنین همانطور که در نمودارهای شکل (۲) مشاهده می‌شود میزان خطای مدل هیدرواستاتیک در ارتفاعات مختلف با افزایش پایداری کاهش بسیار اندکی داشته که نتیجه آن را می‌توان در جدول (۱) به صورت کاهش کم RMSE با افزایش میزان پایداری مشاهده کرد که این کاهش در مقابل مقدار متوسط RMSE قابل صرف نظر کردن می‌باشد. نتایج بدست آمده از دو بخش فوق نشانگر این موضوع می‌باشد که میزان ناپایداری بر روی مدل هیدرواستاتیک تاثیر کمی داشته است و نتایج بدست آمده از مدل هیدرواستاتیک هم در جوّ پایدار و هم در جوّ ناپایدار دارای اعتبار می‌باشد.

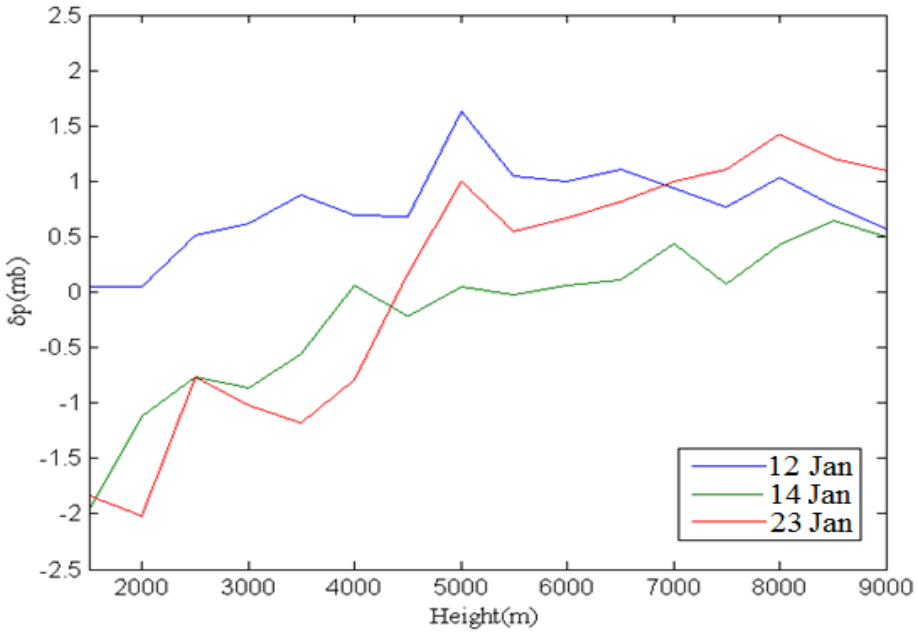
جدول۲: میزان خطای مدل هیدرواستاتیک در ارتفاعات مختلف بر اساس مقادیر شاخص پایداری بین ۱۰- تا ۴۰ درجه سلسیوس

ارتفاع (متر)	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۳۰۰۰	۴۰۰۰	۵۰۰۰	۶۰۰۰	۷۰۰۰	۸۰۰۰	۹۰۰۰
RMSE(mb)	۰.۵	۰.۵	۰.۵	۰.۴	۰.۴	۰.۴	۰.۳	۰.۳	۰.۳



شکل۲: نمودارهای اختلاف فشار اندازه‌گیری شده توسط رادیوساند و فشار مدل هیدرواستاتیک بر حسب شاخص پایداری صعود در سطوح ارتفاعی مختلف. با افزایش شاخص پایداری اختلاف فشار مدل هیدرواستاتیک و فشار رادیوساند کاهش یافته که در نمودارهای بالا با نقاط قرمز نشان داده شده است.

در پایان با استفاده از پروفایل‌های دما و رطوبت اصلاح شده مادیس با استفاده از مدل Rahimzadegan & Mobashei (2011) برای ماه ژانویه و فشار سطح زمین مادیس، پروفایل فشار محاسبه گردید که مقادیر RMSE متوسط در ارتفاعات مختلف بین پروفایل‌های فشار محاسبه شده با پروفایل فشار رادیوساند در جدول (۳) و نمودارهای اختلاف فشار محاسباتی و رادیوساند در شکل (۳) آمده است.



شکل ۳: نمودارهای اختلاف فشار اندازه‌گیری شده توسط رادیوساند و فشارمدل هیدرواستاتیک با استفاده از داده‌های مادیس

جدول۳: مقادیرRMSE متوسط بین پروفایل‌های استخراج شده از مدل هیدرو استاتیک با استفاده از داده‌های مادیس، و پروفایل فشار رادیوساند

تاریخ اخذ تصویر مادیس	RMSE(mb)	LI(C)
۱۲ژانویه ۲۰۱۵	۰.۴۱	۶.۵
۱۴ ژانویه ۲۰۱۵	۱.۰۳	۴.۶
۲۳ ژانویه ۲۰۱۵	۱.۳	۴

۴- جمع‌بندی

یکی از روش‌های سنجش از دوری محاسبه پروفایل‌های فشار استفاده معادلات هیدرواستاتیک و داده‌های پروفایل دما و رطوبت بدست آمده از باندهای گرمایی تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد. این معادلات برپایه فرض تعادل هیدرواستاتیک بین نیروی جاذبه و گرادیان قائم فشار می‌باشد، بر طبق این فرض، وجود شتاب‌های قائم سبب عدم قطعیت در محاسبه پروفایل فشار می‌گردد. برای بررسی عدم قطعیت‌های ناشی از شتاب‌های قائم در معادلات هیدرواستاتیک از داده‌های رادیوساند به سبب حذف عدم قطعیت داده‌های ورودی استفاده گردید، این داده‌ها براساس شاخص پایداری صعود که شاخصی برای وجود پتانسیل شتاب‌های قائم می‌باشد، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بدست آمده از مدل هیدرواستاتیک همخوانی خوبی با داده‌های رادیوساند، هم در شرایط جوّ پایدار و هم در شرایط جوّ ناپایدار دربرداشت، که نشانگر کارایی این مدل در استخراج پروفایل‌های فشار از پروفایل‌های دما و رطوبت ماهواره‌ای در شرایط جوّی مختلف می‌باشد. در این تحقیق از پروفایل دما و رطوبت اصلاح شده از مدل Rahimzadegan & Mobasheri (2011) و فشار سطح زمین مادیس جهت استخراج پروفایل فشار استفاده گردید که نتایج دارای RMSE بین ۰.۴ تا ۱ میلی‌بار داشت. این انتظار می‌رود که با مدل‌سازی و بهبود فشار سطح زمین به دقت‌های بهتری دست یافت. در نتیجه با استفاده از فشار سطح زمین و پروفایل دما و رطوبت گرفته شده از مادیس می‌توان توسط رابطه فشار هیدرواستاتیک در

هر ارتفاعی فشار هوا را محاسبه کرد. میزان عدم قطعیت مدل هیدرواستاتیک در استخراج فشار در ارتفاعات مختلف در جدول (۲) آورده شده است.

مراجع

[1] C. Y. Korb, and C. Y. Weng, "Differential absorption lidar technique for measurement of the atmospheric pressure profile", Applied oprics, Vol.22(23), pp. 3759-3770, 1982.

[2] L. Xu, S. Raman, RV. Madala "A review of non-hydrostatic numerical models for the atmosphere", 1st World Congress of Nonlinear analysis Fire and Forest Metetorology, New York, 1992.

[3] J. Marshall, C. Hill, L. Perelman, A. Adcroft "Hydrostatic, quasi-hydrostatic, nonhydrostatic ocean modeling", Journal of geophysical research, Vol.102, pp.5733-5752,1997.

[4] J. G. Galway, "The lifted index as a predictor of latent instability", Ball. Amer. Meteor. Soc, Vol. 37, pp. 1993, 1956.

[5] E. Borbas, S. W. Seemann, A. Kern, L. Moy, J. Li, L. Gumley, W. P. MENZEL, "MODIS atmospheric profile retrieval algorithm theoretical basis document" (version 7). University of Wisconsin Madison, 2011.

[6] M. Rahimzadegan, and M. R. Mobasheri,"Preparation of atmospheric temperature and humidity isopleths maps using thermal bands of MODIS satellite images temperature profiles products in clear sky" Meteorological Applications, 18(2), pp. 159-176, 2013,(Presian).

[7] L.McMillin, L. M., Xiong, X., Han, Y., Kleespies,T. J. and Van Delst, P, "Atmospheric transmittance of an absorbing gas. 7. Further improvements to the OPTRAN 6 approach", Applied optics, 45(9), 2028-2034, 2006.

[8] M. Rahimzadegan,and M. R. Mobasheri,"An attempt for improving MODIS atmospheric temperature profiles products in clear sky" Meteorological Applications, Vol. 18(2), pp. 181-187,2011.

[9] H. R. Byers, *General Meteorology*. Translated by T. Banihashem, B. Hajebi, A. R. Behrozian, Tehran: University publisher center, 1998,86-118.

Producing atmospheric pressure profile based on Hydrostatic hypothesis and using termal bands of MODIS images

Haji Gholami, H. R.*[1],Mobasheri, M. R. [2],Rahimzadegan, M.[3]

1-Ms.c student of remote sensing Eng. Dept., K.N. Toosi University of Technology, Tehran

2- Associate professor in Department of Geomatics., K.N. Toosi University of Technology, Tehran

3- Assisstant professor in Department of Civil Eng., K.N. Toosi University of Technology, Tehran

Abstract

Producing pressure profile at different geopotential height in atmospheric is important in atmospheric circulation study and weather forecasting. In this research, Radiosonde data, MODIS satellite images and surface pressure is used. Pressure profile is extracted using hydrostatic equation that is based on assumption of small vertical movements. This research consist of two parts, in the first part hydrostatic model has been evaluated based on stability index and use of Radiosonde data, In The next part pressure profile was calculated at different geopotential height using MODIS temperautre and moisture profiles and MODIS surface pressure. The average RMSE between Radiosonde calculated profiles and MODIS data was 0.4 and 1 milibar, respectively. The results acquired from the Hydrostatic models have a logical conformity with the one from the radiosonde measurements in both stable and unstable atmospheric conditions. The results show that by having surface pressure layer and temperature and moisture profile, one can calculate atmospheric pressure using Hydrostatic model precisely in different altitudes. The amount of uncertainties are provided in a table.

Keywords: Pressure profile,Atmospheric pressure,MODIS,Remote sensing.

Email: Hamidrezagholami314@gmail.com