

این مقاله در اولین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی به عنوان مقاله برگزیده انتخاب شده است که پس از تکمیل، داوری مجدد و اخذ پذیرش در این شماره از نشریه به چاپ می رسد.

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

حمیدرضا حاجی غلامی<sup>۱\*</sup>، محمدرضا مباحثی<sup>۲</sup>، مجید رحیم زادگان<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی ژئوماتیک و ژئودزی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

۲- استاد، آزمایشگاه سنجش از دور خاوران، مشهد، ایران

۳- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۱/۳۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۳/۱۰

### چکیده

پروفایل فشار تنها در تعداد نقاط محدودی در سطح زمین و آنهم توسط رادیوساندها تولید می شود که نیاز مدل های پیش بینی عددی هوا را برطرف نمی کند و به تعداد نقاط بیشتری نیاز می باشد. تهیه پروفایل فشار در سطوح ژئوپتانسیل مختلف برای پیش بینی هوا و بررسی جریانات جوی از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. در این تحقیق از داده های رادیوساند، تصاویر فشار سطح زمین مادیس و داده های ایستگاه های سینوپتیک استفاده گردید. استخراج پروفایل فشار با استفاده از معادلات هیدروستاتیک که بر پایه فرض کوچک بودن حرکات قائم جوی می باشد، روش منتخب این تحقیق بود. این تحقیق شامل دو بخش می باشد، در بخش اول مدل هیدروستاتیک با استفاده از داده های 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 میانگین جذر متوسط خطای مربعی (RMSE) بین پروفایل های فشار به دست آمده از روش ارائه شده و اندازه گیری های رادیوساند و داده های مادیس به ترتیب ۰.۴ و ۱ هکتوپاسکال به دست آمد. نتایج به دست آمده از مدل ارائه شده همخوانی خوبی با اندازه گیری رادیوساند در هر دو شرایط جوی پایدار و جوی ناپایدار دارد. همچنین نتایج نشان می دهد که با داشتن فشار در سطح، توسط مدل ارائه شده می توان فشار هوا را با دقت قابل قبولی در هر ارتفاعی به دست آورد. میزان عدم قطعیت این رابطه در جداول خاصی در این پژوهش ارائه شده است.

**کلید واژه ها:** پروفایل فشار، جو هیدروستاتیک، مادیس، سنجش از دور.

\* نویسنده مسئول: تهران، خیابان ولیعصر، تقاطع میرداماد، روبروی ساختمان اسکان

تلفن: ۰۹۱۰۲۱۰۶۳۸۴

## ۱- مقدمه

فشار هوا یکی از پایه‌ای‌ترین متغیرهای جوی 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 جوی می‌باشد و الگوهای جوی عموماً با استفاده از منحنی‌های تراز فشار تجزیه و تحلیل می‌شوند. در نتیجه استخراج پروفایل فشار برای پیش‌بینی وضع هوا و مطالعات اقلیمی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

پروفایل فشار عموماً با استفاده رادیوساندها در ایستگاه‌های هواشناسی اندازه‌گیری می‌شوند که مدل‌های پیش‌بینی عددی از این پروفایل‌ها برای پیش‌بینی‌های عددی خود استفاده می‌کنند [۱]. این پروفایل‌ها دارای دقت بالایی در محل اندازه‌گیری می‌باشند. از طرفی این داده‌ها تنها در نقاط محدودی برداشت می‌گردند که مطمئناً با دور شدن از این نقاط اعتبار آنها کاهش می‌یابد.

یک روش دیگر برای اندازه‌گیری پروفایل فشار استفاده از تکنیک لیدار می‌باشد. کورب (۱۹۷۷) اولین بار استفاده از تکنیک لیدار با قدرت تفکیک طیفی بالا برای اندازه‌گیری پروفایل فشار با استفاده از مشاهدات در باله‌های جذب جوی ارائه کرد [۲]. پایه و اساس این تکنیک براساس اندازه‌گیری‌های اختلاف میزان جذب در باله‌های پهن‌شوندگی‌های برخورد می‌باشد. میزان پهن‌شوندگی برخورد در گازها تابعی از آهنگ برخورد ملکول‌ها به یکدیگر می‌باشد که به پارامترهای سطح مقطع برخورد، دما و فشار گاز بستگی دارد [۳]. میزان این پهن‌شوندگی با توجه به نوع گاز و برای باندهای مختلف در یک گاز مشخص متفاوت می‌باشد [۳ و ۴]. کورب و ونگ (۱۹۸۳) یک تکنیک لیدار تفاضل جذبی دو طول موجی را برای مشاهدات پروفایل فشار در باند A اکسیژن در طول موج ۰.۷۶ میکرومتر ارائه دادند. در این تکنیک

یک فرکانس در باله‌های دور پهن‌شوندگی برخورد باند A اکسیژن که به فشار حساس می‌باشد انتخاب می‌شود. این فرکانس طوری انتخاب می‌شود که نتایج مشاهدات به دما غیر حساس باشد. فرکانس دوم که فرکانس مرجع نامیده می‌شود در فرکانسی نزدیک به فرکانس اول با تشدید جذب کمینه اما با پراکنش بازگشتی برابر انتخاب می‌شود. نسبت این دو فرکانس با طول موج نزدیک در باند A اکسیژن خصوصیات جذب و پراکنش جوی به غیر از جذب اکسیژن را حذف کرده و میزان نسبت جذب در این دو طول موج به فشار هوا وابسته می‌باشد. آنها همچنین تکنیک گودی<sup>۱</sup> را برای کاهش خطاهای ناشی از فرکانس جیتر لیزر<sup>۲</sup> را ارائه دادند. در این تکنیک با انتخاب فرکانس لیدار در ناحیه‌ای گسترده با جذب کمینه بین دو خط جذب قوی، میزان خطاهای ناشی از فرکانس جیتر لیزر را تا دو برابر کاهش داده می‌شود. این روش بر روی داده‌های شبیه‌سازی شده فضایی با قدرت تفکیک مکانی ۱۲۰ کیلومتر و در ارتفاع‌های کمتر از ۵ کیلومتر دارای دقت نسبی ۰.۳ درصد بود. از مزایای این روش می‌توان حساسیت پایین به ابرهای نیمه شفاف پرسا و سایر ابرهای نازک نام برد. این دسته روشها مستلزم وجود سنجنده لیدار می‌باشد که عموم ماهواره‌های سنجنش از دوری فاقد این نوع سنجنده هستند [۲].

در این تحقیق از معادلات جو هیدرواستاتیک و پروفایل‌های دما و رطوبت اصلاح شده مادیس به روش رگرسیون آماری محلی و فشار سطح مادیس به‌منظور استخراج پروفایل فشار استفاده گردید. در زمینه استفاده از معادلات جو هیدرواستاتیک در استخراج پروفایل فشار با استفاده از پروفایل دما و رطوبت می‌توان به‌کار چاپ نشده اطلس و کورب (۱۹۸۱) اشاره کرد [۲]. معادلات هیدرواستاتیک

<sup>1</sup> Trough Technique<sup>2</sup> Laser frequency jitter

شار تابشی اولین بار توسط کینگ مطرح شد [۸]. کاپلان (۱۹۵۹) مفاهیم پروفایل گیری از تابش حرارتی را توسعه داد و نشان داد که توزیع قائم دمای جو می تواند توسط توزیع تابش های جو استخراج گردد. او نشان داد که مشاهدات در باله های جذبی در باندهای جذبی جو به دمای لایه های عمیق جو حساس می باشد درحالی که مشاهدات در مراکز باندها تنها به لایه های بالای جو حساس است [۹]. در نتیجه با انتخاب یک مجموعه باندها با طول موج های مناسب در نواحی جذب جو می توان با استفاده از مشاهدات تابندگی در این باندها، توزیع قائم دمای جو را استخراج نمود.

در حالیکه طیف سنج تصویربردار با قدرت تفکیک متوسط (MODIS<sup>۲</sup>) یک وسیله پروفایل گیر نمی باشد، اما دارای باندهای طیفی زیادی بر روی پروفایل گیر تابش مادون قرمز با قدرت تفکیک بالا می باشد. بنابراین امکان تولید پروفایل رطوبت و دما و شاخص پایداری از مشاهدات مادون قرمز مادیس وجود دارد [۱۰]. الگوریتم مادیس از الگوریتم های ماهواره محیطی کاربردی زمین ایستا (GOES<sup>۳</sup>) و پروفایل بردار تابش حرارتی فروسرخ با قدرت تفکیک زیاد (HIRS<sup>۴</sup>) اقتباس شده است با این تنظیمات که در صورت عدم حضور باندهای طیفی پروفایل بردار در آرام سپهر و به منظور تحقق بخشیدن مزیت افزایش قدرت تفکیک مکانی به همراه سیگنال به نویز، مناسب باشد [۱۰].

الگوریتم مورد استفاده برای بازیابی پروفایل های جو دما و رطوبت مادیس، رگرسیون آماری از پیش تعیین شده بین چگالی شار تابش های اندازه گیری شده یا مدل سازی شده با پروفایل های جو متناظر آنها است که این محصولات بانام های (MOD07) و

بر پایه ی فرض هیدرواستاتیک می باشد. این فرض یکی از فرض های اولیه در مدل های عددی پیش بینی آب و هوا می باشد. در این معادلات نیروهای قائم غالب وارد بر یک بسته هوا تنها شامل نیروی جاذبه و نیروی گرادیان قائم فشار فرض می گردد که در حالت تعادل می باشند [۵]. براساس مقیاس آنالیز، فرض هیدرواستاتیک زمانی دارای اعتبار می باشد که نسبت مقیاس حرکت قائم به نسبت حرکت افقی کمتر از واحد باشد [۵]. فرض هیدرواستاتیک برای گردش های جو بزرگ مقیاس و میان مقیاس آلفا و مقیاس همدید دارای اعتبار می باشد [۵]. طبق فرض هیدرواستاتیک وجود شتاب های قائم سبب عدم قطعیت در معادله هیدرواستاتیک می گردد. یکی از شاخص های مهم جهت بررسی وجود پتانسیل شتاب های قائم، شاخص صعود<sup>۱</sup> می باشد که در این تحقیق از این شاخص به عنوان شاخص پایداری جو استفاده گردید. بر طبق تعریف، شاخص صعود برابر اختلاف دمای اندازه گیری شده در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و دمای محاسبه شده با صعود بسته هوا از سطح زمین به صورت بی درو به سطح میعان محلی آن و سپس به صورت بی درو مرطوب تا سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال است. کم شدن این شاخص نشان دهنده افزایش ناپایداری جو می باشد. به طور کلی برای مقادیر کمتر از صفر، جو را ناپایدار فرض می کنند [۶]. هدف از تحقیق، تهیه پروفایل فشار در هر پیکسل با استفاده توأمان از معادلات هیدرواستاتیک و پروفایل های دما و رطوبت می باشد.

## ۱-۲- استخراج پروفایل دما و رطوبت با استفاده از باندهای حرارتی مادیس

استفاده از باندهای حرارتی تصاویر ماهواره ای در تولید پروفایل های جو به یک روش رایج تبدیل شده است [۷]. بازیابی پروفایل های جو از مشاهدات چگالی

<sup>۲</sup>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

<sup>۳</sup>Geostationary Operational Environmental Satellite

<sup>۴</sup>High resolution Infrared Radiation Sounder

<sup>۱</sup> Lifted Index(LI)

## ۲- مواد و روش‌ها

در این بخش داده‌های مورد استفاده به همراه آماده‌سازی آن‌ها جهت استفاده در این تحقیق ارائه گردید. در بخش بعد مدل ارائه شده در این پژوهش به همراه پیش فرض‌های آن ارائه گردید که در ادامه به تفصیل ارائه شده است.

### ۲-۱- داده‌ها و منطقه مورد مطالعه

به منظور ارزیابی مدل هیدرواستاتیک از داده‌های ۲۶ ایستگاه رادیوساند موجود در مناطق مختلف کشور آمریکا 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 (نوا) استفاده شده است. این داده‌ها به‌طور منظم دوبار در روز در زمان ۰۰۰۰ و ۱۲ به وقت جهانی در سراسر جهان با بالون جمع‌آوری می‌شوند. دما فشار نسبت آمیختگی بخار آب پارامترهایی هستند که با حسگرهای رادیوساند اندازه‌گیری شده و مستقیماً به زمین ارسال می‌گردد. منطقه مورد نظر برای استخراج پروفایل فشار از پروفایل‌های دما و رطوبت و فشار سطح زمین مادیس جزیره کائوآئی واقع در مجمع الجزایر هاوایی می‌باشد، این منطقه در موقعیت جغرافیایی  $21^{\circ}W, 159^{\circ}E$  و  $21^{\circ}0, 59^{\circ}E$  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 ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵ استفاده شد و برای ۶ تصویر دیگر ماه ژانویه سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵ پروفایل دمای اصلاح شده محاسبه گردید.

### ۲-۲- روش پژوهش و آماده‌سازی داده‌ها

در این پژوهش مبنای کار معادلات هیدرواستاتیک بوده که بر پایه فرض هیدرواستاتیک می‌باشد. این معادلات

(MYD07) به ترتیب برای سکوی ترا و آکوا می‌باشد [۱۰]. از جمله مزایای روش رگرسیون آماری، سادگی، کارایی محاسباتی و پایداری عددی و از معایب این روش می‌توان وابسته بودن جواب به حدس اولیه را نام برد [۱۰]. در این روش از داده‌های حدس اولیه به‌دست آمده از پایگاه داده پروفایل جهانی سی بور<sup>۱</sup> که شامل پروفایل‌های جهانی دما، رطوبت و ازن است، استفاده می‌شود [۷]. برای تبدیل این پروفایل‌ها به تابندگی‌های باند طیفی مادیس، از مدل انتقال تابشی انجمن (CRTM<sup>۲</sup>) استفاده می‌شود [۱۱]. رحیم‌زادگان و مباحثری (۲۰۱۱)، تکنیک روش رگرسیون آماری محلی (LSRPR<sup>۳</sup>) را برای کاهش عدم قطعیت‌ها و بهبود بازیابی پروفایل دمای مادیس ارائه نمودند. در این روش از داده‌های رادیوساند هم‌مکان با داده‌های تصویری استفاده کرده و با درونیابی این داده‌ها در لحظه گذر ماهواره برای تولید حدس اولیه در روش رگرسیون آماری استفاده کردند. آنها همچنین از تابندگی باندهای متناظر سنجنده مادیس برای محاسبه ضرایب رگرسیون و حدس اولیه به جای مدل گذردهی استفاده کرده و مبنایی برای اندازه‌گیری‌های دقیق‌تر پروفایل‌ها از تصاویر مادیس به‌دست آوردند. روش آنها دارای RMSE<sup>۴</sup> بین ۰.۳۸ و ۳.۸۶ کلوین داشت [۱۲]. از مزایای این روش بهبود دقت بازیابی با استفاده از حدس اولیه و ماتریس وزن تولید شده از داده‌هایی که به‌طور مستقیم از منطقه اندازه‌گیری شده است، می‌باشد. این امر سبب حذف عدم قطعیت‌های مدل گذردهی در محاسبه ضرایب رگرسیون آماری می‌گردد و نتایج دارای سازگاری بهتری با شرایط منطقه می‌باشد [۱۲]

<sup>۱</sup> SeeBor

<sup>۲</sup> Community Radiative Transfer Model

<sup>۳</sup> Localized Statistical Regression Profile Retrieval

<sup>۴</sup> Root Mean Squared Error

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 ( $g_0 = 9.80665 \text{ (m/s}^2\text{)}$ ) می‌گردد [۱۳]. با توجه به اینکه نزدیک ۹۸٪ گازهای موجود در جو گازهای ازت و اکسیژن است، تغییرات جرم ملکولی هوای خشک کوچک می‌باشد. در نتیجه مقدار تغییرات جرم ملکولی هوا در محدوده خطاهای کار این پژوهش قرار گرفته و در این تحقیق جرم ملکولی هوا ثابت و برابر ۲۸.۹ گرم بر مول در نظر گرفته شد. ورودی رابطه (۵) پروفایل دمای مجازی و فشار سطح زمین است. پروفایل دمای مجازی با استفاده از پروفایل دما و رطوبت توسط رابطه (۳) به دست می‌آید. در این پژوهش برای محاسبه عددی انتگرال موجود در رابطه (۵) از روش ذوزنقه‌ای استفاده گردید [۱۴] که معادله عددی فشار به صورت رابطه (۶) در می‌آید:

$$p = p_0 e^{-\frac{Mg_0}{2R} \sum \left( \frac{1}{T_i} + \frac{1}{T_{i+1}} \right) \Delta h_i} \quad \text{رابطه (۶)}$$

سپس با داشتن فشار سطح زمین و پروفایل دما و رطوبت و با حل عددی رابطه (۶) در هر ارتفاعی می‌توان فشار هوا را به دست آورد. به منظور ارزیابی مدل هیدرواستاتیک در استخراج پروفایل فشار، از داده‌های رادیوساند مربوط به ۴ سال از تاریخ اول ژوئن سال ۲۰۱۲ تا اول ژوئن ۲۰۱۵ که شامل ۳۰۷۰۰ پروفایل می‌باشد، استفاده گردید. این داده‌ها دارای کمترین شاخص پایداری ۱۰- و بیشترین شاخص پایداری ۴۰ درجه سلسیوس می‌باشد. در مرحله اول، فشار هوا در بازه‌های ۱۰۰ متری از سطح زمین تا ارتفاع ۹۰۰۰ متری با استفاده از درون‌یابی خطی بین پروفایل 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

در ادامه توضیح داده می‌شود. بر طبق فرض هیدرواستاتیک گرادیان قائم فشار به صورت رابطه (۱) می‌باشد.

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه (۱)،  $\rho$  چگالی هوا و  $g$  شتاب گرانش می‌باشد. در گازهای موجود در جو به علت فشار پایین و کمتر از یک اتمسفر می‌توان آنها را با دقت خوبی گازهای ایده‌آل فرض کرد [۱۳]. با در نظر گرفتن این فرض رابطه بین چگالی  $\rho$ ، فشار  $P$  و دمای هوا  $T$  به صورت زیر می‌باشد:

$$P = \rho \frac{R}{M} T \quad \text{رابطه (۲)}$$

در معادله بالا  $R$  ثابت جهانی گازها و  $M$  جرم ملکولی هوا می‌باشد. از آنجایی که بخار آب تنها گاز موجود در جو 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 [۱۳]. دما مجازی را می‌توان در قالب دمای هوای خشک تعریف کرد که فشار و چگالی کل آن برابر فشار و چگالی هوای مرطوب بوده که با دمای هوای واقعی به صورت زیر در رابطه می‌باشد [۱۳].

$$T^* = \frac{T}{1 - \frac{3}{5}q} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در رابطه بالا  $q$  رطوبت ویژه می‌باشد که با استفاده از پروفایل رطوبت به دست 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

$$\frac{dp}{p} = -\frac{Mgz}{RT} \quad \text{رابطه (۴)}$$

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

$$p = p_0 e^{-\frac{Mg}{R} \int_{z_0}^z \frac{dz}{T^*}} \quad \text{رابطه (۵)}$$

رابطه (۵)، معادله فشار هیدرواستاتیک می‌باشد. در معادله فشار هیدرواستاتیک،  $M$  جرم ملکولی

عاری بودن تصاویر از ابر، از آزمون ابر مادیس MYD35 استفاده گردید و پیکسل‌های بدون ابر با سطح اطمینان ۹۵٪ انتخاب شدند. سپس برای هر پیکسل تصویر، میانگین پنجره‌های ۵ در ۵ به مرکزیت پیکسل مورد بررسی محاسبه شد. سپس با استفاده از پروفایل دما و رطوبت به دست آمده، پروفایل دمای مجازی برای روزهای ۱۲، ۸، ۷ ژانویه ۲۰۱۵، ۳ ژانویه ۲۰۱۲، ۲۳ و ۲۶ ژانویه ۲۰۱۱ محاسبه گردید. آنگاه 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-مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی (NCEP-GDAS<sup>۱</sup>) اخذ گردیده و پروفایل دمای مجازی، فشار هوا در بازه‌های ۱۰۰ متری از سطح زمین تا ارتفاع ۸۰۰۰ متری توسط مدل ارائه شده محاسبه گردید. نمودار پروفایل فشار محاسبه شده از مدل هیدرواستاتیک با استفاده از داده‌های مادیس در تاریخ ۱۲ ماه ژانویه ۲۰۱۵ در شکل (۱) آمده است.

### ۳- تجزیه و تحلیل

در این بخش ابتدا مدل ارائه شده در این تحقیق با استفاده از داده‌های رادیوساند در سطوح ارتفاعی مختلف و در شرایط جوی متفاوت مورد ارزیابی قرار گرفت. در ادامه مدل این پژوهش با استفاده از پروفایل‌های دما و رطوبت محصولات جوی مادیس و همچنین پروفایل‌های مستخرج از روش رگرسیون آماری محلی و باندهای حرارتی مادیس مورد ارزیابی قرار گرفت. در ادامه نتایج هر بخش به تفصیل ارائه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته شده است.

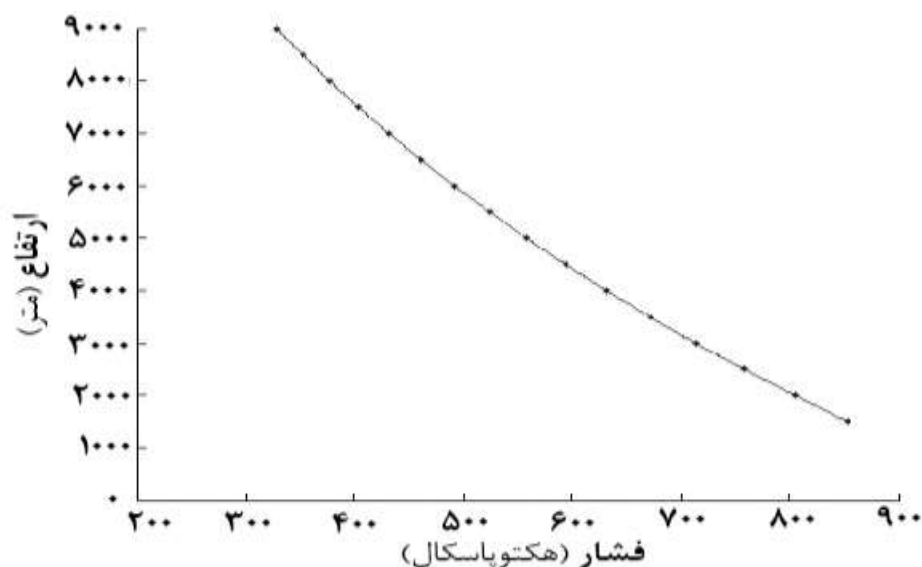
محاسبه گردید. در مرحله بعد پروفایل فشار محاسبه شده با پروفایل‌های اندازه‌گیری شده توسط رادیوساند در دو بخش مجزا مورد ارزیابی قرار گرفت. ابتدا این داده‌ها براساس شاخص پایداری صعود به ۷ کلاس مختلف تقسیم‌بندی گردید و در هر کلاس مقدار خطای متوسط و مقدار خطای متوسط نسبی در تمام سطوح ارتفاعی مختلف به صورت رابطه‌های (۷ و ۸) محاسبه گردید:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (P_R^k(h) - P_M^k(h))^2}{N-1}} \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$RRMSE_{class} = \frac{RMSE_{class}}{\bar{P}_{class}} \quad \text{رابطه (۸)}$$

در این رابطه‌ها،  $P_R^k(h)$  و  $P_M^k(h)$  به ترتیب مقدار فشار محاسبه شده توسط مدل و مقدار فشار اندازه‌گیری شده توسط رادیوساند متناظر در ارتفاع  $h$  و در پروفایل  $k$  ام،  $N$  تعداد سطوح ارتفاعی در تمام پروفایل‌ها و  $\bar{P}_{class}$  متوسط فشار در هر کلاس می‌باشد. 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 LSRPR [۱۰] برای ماه ژانویه اصلاح گردید. بدین منظور برای ایجاد حدس اولیه در روش رگرسیون آماری محلی، میانگین داده‌های رادیوساند مربوط به ۵ سال (۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵) برای زمان گذر ماهواره در ماه ژانویه که در سطوح ارتفاعی ۲۰۰ متری درون‌یابی شده بود، محاسبه گردید. در مرحله بعد به کمک ۵ تصویر کالیبره شده و زمین مرجع شده سطح ۱ مادیس مستقر بر سکوی آکوا برای ماه ژانویه در روزهای ۲۳، ۱۴، ۱۰ ژانویه سال ۲۰۱۵، ۲۷ ژانویه سال ۲۰۱۲ و ۱ ژانویه سال ۲۰۱۱ تابندگی متناظر با حدس اولیه و همچنین ضرایب مربوط به رگرسیون آماری استخراج گردید. به منظور اطمینان از

<sup>1</sup> National Centers for Environmental Prediction - Global Data Assimilation System



شکل ۱: نمونه‌ای از نمودار پروفایل فشار محاسبه شده توسط مدل هیدرواستاتیک و فشار سطح زمین و پروفایل دما و رطوبت مادیس برای تاریخ ۱۲ ژانویه سال ۲۰۱۵

### ۳-۱- اعتبار سنجی مدل ارائه شده با استفاده از داده‌های رادیوساند

برای ارزیابی مدل هیدرواستاتیک، تنها از داده‌های رادیوساند به دلیل حذف عدم قطعیت‌های موجود در داده‌ها استفاده گردید. فشار محاسبه شده از مدل هیدرواستاتیک در دو بخش مجزا مورد ارزیابی قرار گرفت. در بخش اول پروفایل فشار براساس شاخص صعود به ۷ کلاس مختلف از ناپایدارترین تا پایدارترین حالت تقسیم بندی گردید. در جدول (۱) مقدار RMSE مطلق و نسبی بین پروفایل فشار رادیوساند و مدل ارائه شده آمده است. همانطور که

در جدول (۱) مشاهده می‌شود مقدار RMSE در تمام سطوح ارتفاعی برای هر کلاس تقریباً برابر ۰.۴ هکتوپاسکال بوده و با افزایش شاخص پایداری کاهش ناچیزی در مقادیر RMSE مشاهده می‌گردد که در مقابل مقدار متوسط خطای موجود قابل صرف نظر می‌باشد. همچنین مقدار خطای نسبی در تمام کلاس‌ها تقریباً برابر می‌باشد. نتایج حاصل از این بخش حاکی از این موضوع می‌باشد که عملکرد معادله هیدرواستاتیک به‌طور متوسط در سطوح ارتفاعی مختلف تحت تاثیر میزان ناپایداری نبوده و دارای RMSE میانگین ۰.۴ هکتوپاسکال می‌باشد.

جدول ۱: مقادیر خطای نسبی و متوسط بین پروفایل فشار مدل هیدرواستاتیک و فشار اندازه گیری شده توسط رادیوساند بر حسب بازه‌های مختلف شاخص پایداری.

تعداد پروفایل‌ها	RRMSE(%)	RMSE(hpa)	بازه‌های شاخص صعود
۳۸۷۰	۰.۰۸۱	۰.۴۰	۵_۹
۸۹۰۰	۰.۰۷۸	۰.۳۸	۰_۴
۵۵۷۷	۰.۰۷۹	۰.۳۸	۵_۱
۴۲۷۶	۰.۰۷۷	۰.۳۷	۱۰_۶
۳۱۸۸	۰.۰۷۶	۰.۳۷	۱۵_۱۱
۲۷۳۵	۰.۰۷۹	۰.۳۸	۲۰_۱۶
۲۱۵۴	۰.۰۷۹	۰.۳۹	۲۵_۲۱

### ۳-۲- اجرای مدل با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای

در بخش قبل توانایی مدل ارائه شده در شرایط جوّی مختلف با استفاده از داده‌های رادیوساند نشان داده شد. در این بخش مدل ارائه شده با استفاده از پروفایل‌های دما و رطوبت استخراج شده از الگوریتم مادیس و فشار سطح مادیس و همچنین با استفاده از پروفایل‌های دما و رطوبت اصلاح شده مادیس توسط روش LSRPR در شرایط جوّی مختلف اجرا گردید. نتایج هر دو بخش توسط پروفایل فشار رادیوساند هم‌زمان و هم‌مکان با تصاویر مادیس مورد ارزیابی قرار گرفت. به‌منظور کاهش عدم قطعیت‌ها و خطاهای موجود در پروفایل دمای مادیس از پروفایل‌های دما و رطوبت هر دو داده در پنجره‌های ۵ در ۵ میانگین‌گیری گردید و از پروفایل‌های میانگین جهت محاسبه پروفایل فشار محاسبه شد. مقدار RMSE متوسط به‌دست آمده از پروفایل فشار محاسبه شده با استفاده از پروفایل‌های دما و رطوبت مادیس و همچنین پروفایل دما و رطوبت روش LSRPR در جدول (۳) آمده است. همچنین نمودارهای خطای پروفایل فشار محاسبه شده در شکل (۳) آمده است. همانطور که در نمودارهای شکل (۳) مشاهده می‌شود خطای پروفایل فشار محاسبه شده توسط پروفایل‌های LSRPR در شرایط جوّی مختلف دارای دقت نسبتاً بهتری نسبت به پروفایل الگوریتم مادیس به جز در روز ۱۲ ژانویه ۲۰۱۵ می‌باشد. به‌طور متوسط در منطقه مورد مطالعه نتایج مدل با استفاده از داده‌های LSRPR دارای ۰.۲ هکتوپاسکال خطای کمتر نسبت به داده‌های الگوریتم مادیس می‌باشد که می‌توان از این روش برای بهبود بازیابی پروفایل فشار استفاده کرد. مقدار خطای بازیابی پروفایل فشار با استفاده از هر دو داده با مقدار ناپایداری ارتباط چندانی نداشته که نشانگر وابستگی ناچیز خطای بازیابی پروفایل دما و رطوبت به شرایط ناپایداری می‌باشد. بنابراین با استفاده از پروفایل‌های دما و رطوبت استخراج شده از

در بخش بعد، اختلاف فشار مدل هیدرواستاتیک و رادیوساند در ارتفاعات مختلف برحسب شاخص پایداری مورد ارزیابی قرار گرفت. شکل (۲) نمودارهای اختلاف فشار بر حسب شاخص پایداری در ارتفاعات مختلف را نشان می‌دهد. همچنین مقادیر  $^{1}RRMSE$  و 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 هکتوپاسکال در ارتفاع ۱۵۰۰ متر تا ۰.۳ هکتوپاسکال در ارتفاع ۹۰۰۰ متر به دلیل افزایش پایداری جوّ کاهش می‌یابد. ولی میزان خطای نسبی با افزایش ارتفاع روند صعودی داشته و از مقدار ۰.۰۶ درصد در ارتفاع ۱۵۰۰ متر تا مقدار ۰.۰۸ درصد افزایش می‌یابد. نتایج جدول (۲) نشانگر کاهش خطای مطلق برآورد فشار با ارتفاع می‌باشد. اما این کاهش خطا در مقابل آهنگ کاهش فشار با ارتفاع کمتر می‌باشد. ولی در هر حال میزان خطای مدل هیدرواستاتیک در تمام سطوح ارتفاعی کمتر از ۰.۱ درصد بوده که نشان دهنده کارایی مناسب مدل ارائه شده در برآورد پروفایل فشار می‌باشد. 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) به‌صورت کاهش کم RMSE با افزایش میزان پایداری مشاهده کرد. این کاهش در مقابل مقدار متوسط RMSE قابل صرف نظر کردن می‌باشد. نتایج بدست آمده از دو بخش فوق نشان دهنده 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.

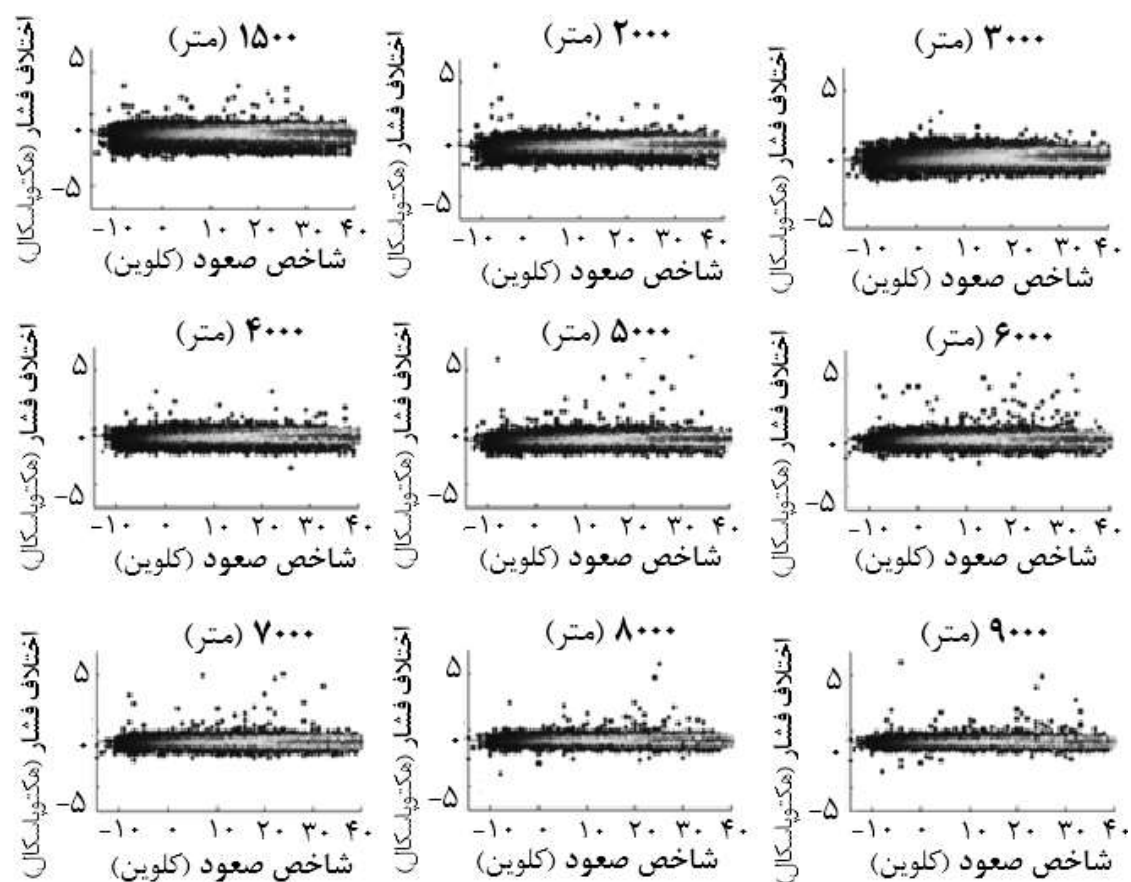
<sup>1</sup> Relative RMSE



تصاویر ماهواره‌ای می‌توان با دقت خوبی مقدار فشار را معلوم بودن مقدار فشار در سطح استخراج نمود. در هر ارتفاعی با استفاده از مدل ارائه شده به شرط

جدول ۲: میزان خطای نسبی و مطلق 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(hpa)	۰.۵	۰.۵	۰.۵	۰.۴	۰.۴	۰.۴	۰.۳	۰.۳	۰.۳
R_RMSE(%)	۰.۰۵۸	۰.۰۶۲	۰.۰۶۴	۰.۰۶۵	۰.۰۷۰	۰.۰۷۵	۰.۰۷	۰.۰۷۱	۰.۰۸۱

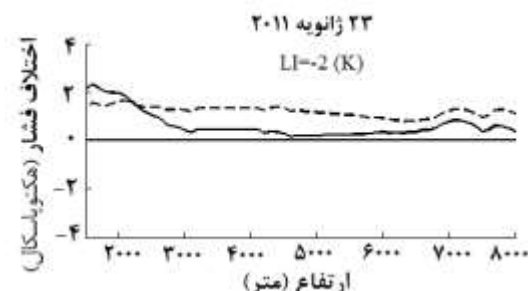
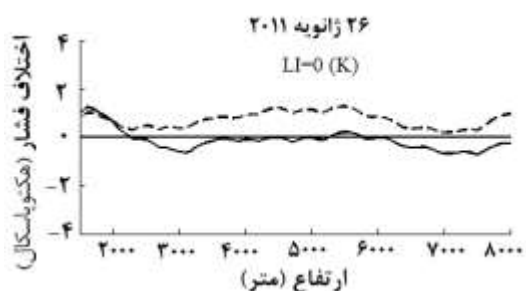
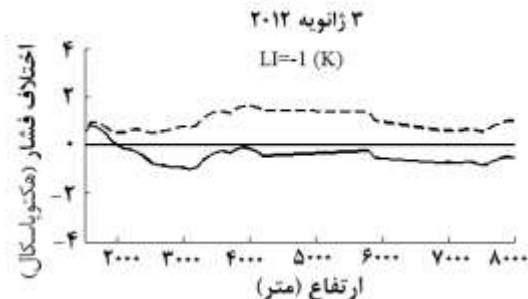
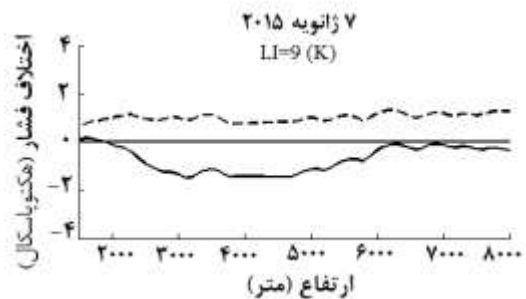
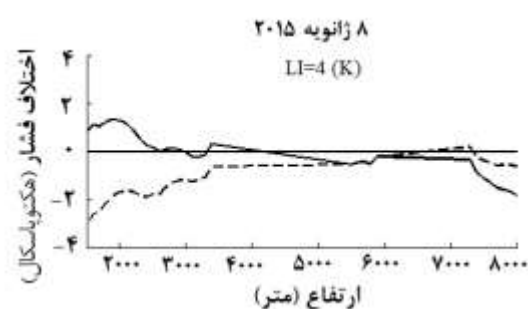
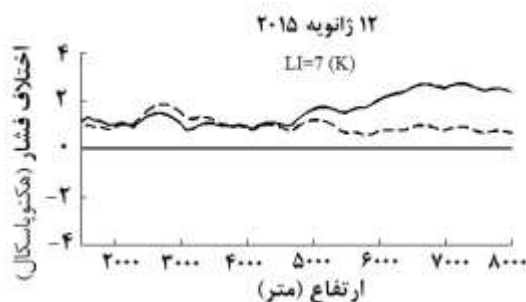


شکل ۲: نمودارهای اختلاف فشار اندازه‌گیری شده توسط رادیوساند و فشار مدل هیدرواستاتیک بر حسب شاخص پایداری صعود در سطوح ارتفاعی مختلف. با افزایش شاخص پایداری اختلاف فشار مدل هیدرواستاتیک و فشار رادیوساند کاهش یافته که در نمودارهای بالا با نقاط خاکستری رنگ نشان داده شده است.

جدول ۳: مقدار خطای نسبی و مطلق پروفایل فشار محاسبه شده با استفاده از مدل ارائه شده و پروفایل های دما و رطوبت

الگوریتم مادیس و همچنین با استفاده از پروفایل های اصلاح شده با استفاده از روش LSRPR

تاریخ	شاخص صعود (k)	LSRPR		MYD07	
		RMSE(hpa)	RRMSE(%)	RMSE(hpa)	RRMSE(%)
۱۲ ژانویه ۲۰۱۵	۷	۱.۶	۰.۳	۱	۰.۱۷
۸ ژانویه ۲۰۱۵	۴	۰.۹	۰.۱۴	۱.۴	۰.۲۲
۷ ژانویه ۲۰۱۵	۹	۰.۸	۰.۱۴	۱	۰.۱۷
۳ ژانویه ۲۰۱۲	-۱	۰.۶	۰.۱	۰.۹	۰.۱۵
۲۶ ژانویه ۲۰۱۱	۰	۰.۴	۰.۰۸	۰.۸	۰.۱۳
۲۳ ژانویه ۲۰۱۱	-۲	۰.۹	۰.۱۶	۱.۲	۰.۲۱



شکل ۳: نمودارهای خطای فشار اندازه گیری شده در سطوح ارتفاعی مختلف توسط پروفایل فشار رادیوساند و پروفایل فشار محاسبه شده توسط پروفایل های دما و رطوبت اصلاح شده مادیس و پروفایل های دما و رطوبت MYD07 (خط چین)

پروفایل فشار از پروفایل‌های دما و رطوبت ماهواره‌ای در شرایط جوّی مختلف می‌باشد. در این تحقیق از پروفایل دما و رطوبت الگوریتم مادیس و همچنین از پروفایل‌های دما و رطوبت اصلاح شده مادیس توسط مدل LSRPR به عنوان داده‌های ماهواره‌ای استفاده شد و پروفایل فشار با استفاده از فشار سطح مادیس استخراج گردید. پروفایل فشار استخراج شده با استفاده از پروفایل‌های دما و رطوبت الگوریتم مادیس و مدل LSRPR به ترتیب دارای RMSE متوسط ۱.۱ و ۰.۸۵ هکتوپاسکال بود. مقایسه نتایج دو بخش حاکی از کاهش خطای برآورد پروفایل فشار با استفاده از پروفایل‌های دما و رطوبت اصلاح شده توسط روش LSRPR می‌باشد. از نتایج بدست آمده از این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که با کاهش عدم قطعیت‌های پروفایل‌های دما و رطوبت به روش رگرسیون آماری محلی برای فصل‌های مختلف می‌توان به نتایج بهتری در استخراج پروفایل فشار با استفاده از روش ارائه شده دست یافت.

#### ۴- نتیجه‌گیری

یکی از روش‌های سنجش از دوری محاسبه پروفایل فشار، استفاده معادلات هیدرواستاتیک و داده‌های پروفایل دما و رطوبت به دست 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 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

#### مراجع

- [1] D. T. Bailey, Meteorological monitoring guidance for regulatory modeling applications. DIANE Publishing, 2000.
- [2] C. Y. Korb, and C. Y. Weng, "Differential absorption lidar technique for measurement of the atmospheric pressure profile", Applied optics, Vol.22(23), pp. 3759-3770, 1982.
- [3] M. R. Mobasheri, "Fundamental of Physics in Remote Sensing and Satellite Technology", KNTOosi university of technology publication, 2010, 3rd version, 57-90(in Farsi).
- [4] D. Andrews. J. Holton, C. Leovy, "Middle Atmosphere Dynamics", Academic Press; 1 edition, 1987, 21-40.
- [5] L. Xu, S. Raman, R. V. Madala "A review of non-hydrostatic numerical models for the atmosphere", 1st World Congress of Nonlinear analysis Fire and Forest Meteorology, New York, 1992.
- [6] J. G. Galway, "The lifted index as a predictor of latent instability", Bull. Amer. Meteor. Soc, Vol. 37, pp. 1993, 1956.
- [7] 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, (in Farsi).
- [8] J. King, "The radiative heat transfer of planet Earth, Scientific uses of the Earth satellites", University of Michigan Press, Ann Arbor, Michigan, pp. 133-136, 1956.
- [9] L. D. Kaplan, "Inference of atmosphere structure from remote radiation measurements", JOSA, 49(10), PP.1004-

- 1006, 1959.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] H. R. Byers, *General Meteorology*. Translated by T. Banihashem, B. Hajebi, A. R. Behrozian, Tehran: University publisher center, 1998, 86-118, (in Farsi).
- [14] K. E. Atkinson, "An Introduction to numerical analysis", John Wiley & Sons, 1988, 250-260.

## شناسایی ساختمان در مناطق شهری با استفاده از تلفیق ویژگی‌های تصاویر نوری و راداری در شبکه‌های عصبی

مریم تیموری<sup>۱\*</sup>، مهدی مختارزاده<sup>۲</sup>، محمدجواد ولدان زوج<sup>۳</sup>

۱- کارشناسی ارشد سنجش از دور-دانشکده مهندسی نقشه برداری-دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- دانشیار دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک-دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳- استاد دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک-دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله ۱۳۹۵/۰۲/۲۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۶/۰۷

### چکیده

در این مقاله، تصاویر پانکروماتیک، چندطیفی و رادار با گشودگی ترکیبی (SAR) باهدف شناسایی ساختمان تلفیق شده‌اند. این تلفیق به منظور رفع نواقص و ضعف‌های مجموعه داده‌های تک منبعی می‌باشد. به همین منظور ابتدا سه مجموعه داده به صورت جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفته است که از برخی ویژگی‌های ورودی پیشنهادی برای شناسایی ساختمان استفاده شده است. سپس این ویژگی‌ها در ترکیب‌های مختلف با یکدیگر تلفیق شده و نتایج مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. در تمامی بررسی‌ها، شبکه عصبی مصنوعی اعمال شده و عملکرد آن‌ها در پوشش‌های مختلف سقف‌های ساختمان مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که روش بهینه تلفیق شناسایی ساختمان‌ها، بیش از ۱۰٪ ضریب کاپا را افزایش می‌دهد. همچنین استراتژی تلفیق پیشنهادی منجر به حداقل ۸ برابر بهتر شدن همگنی نتایج شناسایی شده در انواع مختلف سقف شده است. بنابراین نتایج حاصل از روش پیشنهادی با دقت کلی، ضریب کاپا و دقت شناسایی ساختمان به ترتیب ۸۷.۱۱٪ و ۶۷.۹۹٪ و ۸۹.۰۸٪ مؤید توانایی این روش در شناسایی ساختمان داده‌های چند منبعی اپتیک و رادار می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** شناسایی ساختمان، تلفیق، تصویر رادار، تصویر نوری، شبکه‌های عصبی

\*نویسنده مسئول: مریم تیموری، آدرس پستی: تهران - خ ولیعصر - تقاطع میرداماد - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، کدپستی: ۱۵۴۳۳-۱۹۹۶۷، تلفن ۰۲۱۸۸۸۷۷۰۷۱

Email: mteimouri@mail.kntu.ac.ir

## ۱- مقدمه

به منظور مدیریت هرچه بهتر مناطق شهری و روستایی، داشتن اطلاعات دقیق و به هنگام از ساختمان‌ها مورد نیاز است. استخراج دستی ساختمان‌ها نیازمند اپراتورهای ماهر، افزایش زمان و هزینه است. به همین دلیل، در چند دهه اخیر رویکرد اتوماتیک سازی استخراج ساختمان از تصاویر هوایی و ماهواره‌ای موضوع بسیاری از تحقیقات بوده است. برخی از الگوریتم‌های شناسایی و استخراج ساختمان برای منابع مختلف داده گسترش یافته است که تصاویر نوری، لیدار و رادار رایج ترین آن‌ها است. منابع مختلف داده مزایایی در موقعیت‌های مختلف فراهم می‌کنند. باین وجود، آن‌ها هنوز از مشکلاتی از قبیل سایه، انسداد، ناهمگونی سقف ساختمان‌ها و شباهت‌های طیفی عوارض شهری رنج می‌برند. اما وجود ویژگی‌های منحصربه‌فرد منابع مختلف داده، ایده‌ای برای به کارگیری مزایای هر منبع و بهبود نتایج به وسیله ترکیب آن‌ها ایجاد می‌کند. همچنین با توجه به بهبود چشمگیری که در قدرت تفکیک مکانی تصاویر نوری و راداری رخ داده است، این تحقیق بر تلفیق داده‌های موجود از این سنجنده‌ها به منظور شناسایی عارضه ساختمان متمرکز شده است.

تصاویر نوری یک منبع غنی از اطلاعات برای شناسایی و استخراج ساختمان فراهم می‌کنند. اطلاعات طیفی و بافت عموماً باهدف شناسایی اطلاعات لبه برای استخراج مرزهای ساختمان استفاده می‌شود. ژانگ در سال ۱۹۹۹ در تحقیقی با استفاده از اطلاعات طیفی و بافت به شناسایی ساختمان پرداخته است. در تحقیق مذکور، ابتدا اقدام به شناسایی پیکسل‌های مناطق مسکونی براساس اطلاعات طیفی شد. سپس با استخراج اطلاعات بافت تصویر از نتایج اولیه کشف ساختمان، اقدام به ناحیه بندی مجدد، ناحیه اولیه کرد. در ادامه ضمن تلفیق نتیجه حاصل از کشف مناطق مسکونی، توسط اطلاعات بافت و طیف به بهبود نتایج اقدام کرد [۱]. بندیکسون و همکاران در سال ۲۰۰۳ به

استخراج ویژگی و طبقه بندی تصاویر پانکروماتیک با به کارگیری توابع مورفولوژی و شبکه عصبی پرداختند [۲]. همچنین در سال ۲۰۰۳، شکلفورد و همکارانش روشی با استفاده از روش‌های لبه مبنا و شیء مبنا برای طبقه بندی تصاویر پن شارپند<sup>۱</sup> ارائه دادند. در تحقیق مذکور ابتدا توسط یک طبقه بندی کننده پیکسل مبنا اقدام به طبقه بندی تصویر کردند. سپس تصویر، بخش بندی شده و ویژگی‌ها از تصویر بخش بندی شده استخراج شدند. در نهایت نتایج طبقه بندی توسط یک طبقه بندی کننده پیکسل مبنای فازی بهبود داده شد [۳]. در سال ۲۰۰۵، جین و همکارانش روشی بر مبنای مشخصات مورفولوژیکی دیفرانسیل به استخراج ساختمان از تصاویر پانکروماتیک با قدرت تفکیک بالا ارائه دادند [۴]. در تحقیق ارائه شده توسط میانگا و همکاران در سال ۲۰۰۷، به ارائه روشی نیمه اتوماتیک به منظور استخراج ساختمان از تصاویر پانکروماتیک با استفاده از الگوریتم‌های منحنی فعال و ردیال کاستینگ پرداخته شد [۵]. در سال ۲۰۱۲، تورلپتی و همکارانش، روشی ترکیبی در استخراج سه بعدی ساختمان با در نظر گرفتن تصاویر ماهواره‌ای ورد-یو<sup>۲</sup> با زوایای زوایای دید متفاوت را پیشنهاد دادند. آن‌ها در روش پیشنهادی شان با استفاده از تناظریابی الگو بر تصویر پن شارپند به استخراج ارتفاع نسبی ساختمان‌ها پرداختند. سپس از طبقه بندی کننده بردار پشتیبان برای استخراج ساختمان‌ها استفاده کردند [۶]. ژائو و همکارانش نیز در سال ۲۰۱۲، با استفاده از عملگرهای ریاضی به بازسازی سه بعدی ساختمان پرداختند [۷]. در سال ۲۰۱۵، وانگ و همکاران روشی جهت استخراج ساختمان براساس شکل‌های هندسی اولیه مانند خطوط و خطوط متقاطع ارائه دادند. آن‌ها در سه مرحله پیش پردازش، استخراج خطوط لبه و در نهایت با استفاده از یک گراف جستجو ساختمان‌های

<sup>1</sup> Pansharpened<sup>2</sup> WorldView-2

روش‌های مورفولوژیکی به تفکیک مناطق ساخته‌شده از پس‌زمینه پرداختند. ضعف اصلی روش پیشنهادی وابستگی الگوریتم ارائه‌شده به انتخاب حد آستانه و نیاز روش پیشنهادی به داشتن منطقه‌ای با پراکندگی‌های قوی است [۱۴]. وانگ و همکارانش در سال ۲۰۰۸، روشی بر مبنای اطلاعات ناحیه مینا و لبه مینا با استفاده از داده پلاریمتری با حد تفکیک بالا ارائه دادند [۱۵]. دانگ و همکارانش در سال ۲۰۱۱، جهت استخراج ویژگی‌های بافتی از دو توصیفگر بافت، جذر اختلاف جفت ریشه ( $SRPD^4$ ) و  $Gi^5$  استفاده کردند. سپس از طریق این دو توصیفگر به استخراج ساختمان‌ها در مناطق شهری با استفاده از تصاویر تراسار-ایکس<sup>۶</sup> و کوسمو-اسکای مد<sup>۷</sup> اقدام کردند. در این روش وجود اغتشاش‌های نویزی به‌خصوص در نرده‌های فلزی و اشتباه گرفته شدن بافت متوسط  $SRPD$  و  $Gi$  با بافت زبر منطقه شهری باعث ایجاد کاهش دقت شد [۱۶]. در مقاله ارائه‌شده توسط کائو و همکاران در سال ۲۰۱۲، با استفاده از اطلاعات بافت به تشخیص ساختمان از طریق طبقه‌بندی تصاویر تراسار-ایکس با حد تفکیک بالا پرداخته شد [۱۷]. در سال ۲۰۱۳، ژائو و همکارانش با استفاده از نشانگر تبدیل حوضه کنترل‌شده با ترکیب ویژگی‌ها و اطلاعات بافت به شناسایی ساختمان از تصویر رادار با گشودگی ترکیبی اقدام کردند. این روش تنها برای ساختمان‌ها با اشکال ساده کاربرد دارد و همچنین وابسته به تعیین حد آستانه است [۱۸].

تعداد اندکی از روش‌های پیشنهادی توسط محققان با استفاده از تلفیق تصاویر نوری و راداری به شناسایی و استخراج ساختمان اقدام شده است. در سال ۲۰۰۳، توپین و همکارش به استخراج اتوماتیک ردپاهای سقف ساختمان‌های مسطح براساس ویژگی‌های خطی

مستطیلی شکل را استخراج کردند [۸]. همچنین در تحقیق صورت گرفته، توسط ترکر و کوک سن در سال ۲۰۱۵، روشی اتوماتیک جهت استخراج ساختمان‌های مستطیلی و دایره‌ای شکل از تصاویر نوری با قدرت تفکیک بالا با استفاده از تبدیل هاف، طبقه‌بندی‌کننده ماشین بردار پشتیبان و گروه‌بندی ادراکی ارائه شد [۹].

شناسایی ساختمان از تصاویر رادار با گشودگی ترکیبی ( $SAR^1$ ) به دلیل آشفتگی‌های هندسی (مانند سایه، وارونگی) و نویز اسپیکل دشوار است [۱۰]. با این وجود ماهیت متفاوت این تصاویر (هندسی و رادیومتریکی) حاوی اطلاعات منحصربه‌فرد در مورد اشیاء است. با توجه به این دلایل و برخی دیگر از مزایای تصاویر رادار (مانند مستقل از شرایط آب و هوایی)، داده‌های مکمل بسیار مناسبی برای شناسایی ساختمان است. در همین راستا توپین و همکاران در سال ۱۹۹۸، روشی برای استخراج ویژگی خطوط روشن از تصاویر رادار با گشودگی ترکیبی توسط یک آشکارساز را پیشنهاد دادند که این خطوط روشن می‌توانند ویژگی از ردپاهای<sup>۲</sup> بخشی از ساختمان باشند [۱۱]. همچنین در سال ۱۹۹۸، شلاپا با استفاده از روش نرخ هشدار کاذب ثابت ( $CFAR^3$ ) و تبدیل هاف به شناسایی خطوط روشن ساختمان‌ها پرداخت. سپس بخش‌بندی بیش‌ترین احتمال را برای شناسایی سایه ساختمان‌ها به‌کار برد و در نهایت از مجموع این اطلاعات برای شناسایی ساختمان استفاده کرد [۱۲]. دل آکوا و همکارش در سال ۲۰۰۳، با استفاده از ترکیب ویژگی‌های بـافتی و طبقه‌بندی‌کننده عصبی فازی به شناسایی مناطق شهری پرداختند [۱۳]. استاسلا و همکارش در سال ۲۰۰۸، با کمک ویژگی‌های محلی همبستگی مکانی و

<sup>4</sup> Square Root Pair Difference

<sup>5</sup> Getis-Ord

<sup>6</sup> TerraSAR-X

<sup>7</sup> COSMO/SkyMed

<sup>1</sup> Synthetic Aperture Radar

<sup>2</sup> Footprints

<sup>3</sup> Constant False Alarm Rate

علاوه بر این، روش‌های لبه مبنا و اپراتورهای مورفولوژیکی رایج‌ترین ابزار برای استخراج مرزهای ساختمان است. اما با این حال هنوز انسداد، سایه و شباهت‌های طیفی چالش اصلی در شناسایی ساختمان از تصاویر نوری است.

شناسایی ساختمان از تصاویر رادار با گشودگی ترکیبی اغلب نیازمند داشتن تصاویری با قدرت تفکیک یک متر یا کمتر از آن است. در این راستا، اکثر مطالعات انجام‌شده متکی بر شناسایی پیکسل‌های روشن، اطلاعات بافت، آنالیز سایه و روش‌های مورفولوژیکی می‌باشند. روش‌های پیشنهادشده از تصاویر رادار با گشودگی ترکیبی یا تلفیقی با تصاویر نوری بر ساختمان‌های بزرگ، ساده، مجزا و بدون پیچیدگی شهری تست شده است.

در این تحقیق علاوه بر شناسایی نقاط ضعف هر منبع داده، به بررسی حالتی متفاوت از روش‌های تلفیقی تصاویر نوری و راداری پیشنهادی توسط محققین تا به امروز، در زمینه‌ی بهبود تصاویر نوری توسط تصویر راداری پرداخته شده است. لذا سهم این مقاله تلفیق بهینه تصاویر نوری و راداری برای شناسایی ساختمان‌ها در هر دو حالت مجزا و بلوک‌های ساختمانی از یک منطقه پیچیده شهری است. علاوه بر آن، با وجود تنوع بام‌پوش‌ها در ایران در این تحقیق تلاش شده است به بررسی پوشش‌های مختلف ساختمانی و بررسی توانایی هر منبع داده در شناسایی آن‌ها پرداخته شود.

ادامه ساختار مقاله به شرح زیر است: بخش دوم، معرفی داده‌های ورودی و پیش‌پردازش. بخش سوم، طبقه‌بندی تصاویر پانکروماتیک، چندطیفی و رادار با استفاده از شبکه عصبی ارائه شده است و سپس به تلفیق در سطح ویژگی تصاویر پرداخته شده است. بخش چهارم خلاصه و نتیجه‌گیری بیان شده است.

با استفاده از تصاویر رادار با گشودگی ترکیبی و نوری پرداختند. آن‌ها از خطوط روشن در تصاویر رادار با گشودگی ترکیبی، جهت اعتباربخشی ساختمان‌های شناسایی‌شده توسط تصاویر نوری استفاده کردند، به این دلیل که خطوط روشن قادر به پیش‌بینی جهت ساختمان‌ها و همچنین بخشی از قسمت‌های ساختمان می‌باشد [۱۹]. اسپارتنش و همکارانش در سال ۲۰۱۱، با استفاده از تصاویر نوری و راداری به استخراج سه‌بعدی ساختمان در سه مرحله شناسایی، برآورد ارتفاع و صلاحیت ساختمان‌ها پرداختند. این روش تنها توانایی استخراج ساختمان‌های بزرگ و مستطیلی شکل را داشت [۲۰]. پالین و همکارانش در سال ۲۰۱۱، با استفاده از تصاویر نوری و رادار با گشودگی ترکیبی به تولید و بروز رسانی ساختمان‌ها در یک پایگاه داده پرداختند. در این روش تنها ویژگی مورد استفاده از تصویر رادار با گشودگی ترکیبی کنتراست می‌باشد که از نسبت میانگین وارونگی و سایه منطقه به دست آورده شد و دیگر ویژگی‌های به کار گرفته‌شده از تصویر نوری استخراج شد [۲۱]. قنبری و صاحبی در سال ۲۰۱۴، روشی جدید به منظور بهبود کیفیت طیفی الگوریتم آی اچ اس (IHS)<sup>۱</sup> برای تلفیق تصاویر راداری و نوری در مناطق شهری پیشنهاد دادند. در این راستا تصویر با حد تفکیک مکانی بالاتر و تصویر شدت براساس اطلاعات آماری‌شان تلفیق شدند. سپس تصویر تلفیقی جایگزین تصویر شدت شده و تبدیل معکوس آی اچ اس اعمال شد [۲۲].

در نگاه کلی بر تحقیقات صورت گرفته در شناسایی و استخراج ساختمان نشان می‌دهد که بیشتر روش‌ها بر تصاویر نوری توسعه یافته است. در این موارد شناسایی ساختمان عمدتاً از طریق الگوریتم‌های طبقه‌بندی با استفاده از اطلاعات طیف و بافت انجام شده است.

<sup>۱</sup> Intensity-Hue-Saturation



تک ساختمان‌ها و بلوک‌های ساختمانی با انواع بام‌پوش‌های مختلف (آسفالت، ایزوگام، بتن) می‌باشد. در این تحقیق از تصاویر سنجنده‌ی نوری و راداری استفاده شده است.



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه، شهر شیراز

با حد تفکیک ۱ متر و در ابعاد  $395 \times 205$  پیکسل است. شکل (۲) تصاویر مورد استفاده را نشان می‌دهد. تصویر باینری از ساختمان‌های موجود به صورت دستی از تصویر پن شارپند و نقشه‌های موجود تولید شده است که به عنوان داده مرجع در ارزیابی نتایج استفاده شده است که در آن مقادیر صفر و یک به ترتیب بیانگر پیکسل زمينه و ساختمان (شکل ۲-ث) است. از میان پیکسل‌های ساختمان و پس زمینه تعدادی نمونه‌های آموزشی و تست به ترتیب برای آموزش شبکه و ارزیابی نتایج انتخاب شد. جدول (۱) تعداد داده‌های آموزشی و تست، برای هر کلاس را نشان می‌دهد. قابل ذکر است که تمام پوشش سقف‌های ساختمانی، صرف نظر از ماهیت و رفتارهای طیفی‌شان در کلاس ساختمان قرار گرفته‌اند.

## ۲- مشخصات داده‌های مورد استفاده و پیش پردازش

منطقه مورد مطالعه، بخشی از شهر شیراز واقع در جنوب ایران (شکل ۱) است. منطقه انتخابی شامل



تصویر راداری تراسار-ایکس در مد اسپات لایت<sup>۱</sup> با حد تفکیک ۱ متر در دو پلاریزاسیون افقی افقی<sup>۲</sup> و عمودی عمودی<sup>۳</sup> می‌باشد. تصویر نوری، شامل تصاویر پانکروماتیک و چندطیفی سنجنده آیکونوس با قدرت تفکیک به ترتیب ۱ و ۴ متر از ماهواره آیکونوس می‌باشد.

جهت هم‌بعدسازی تصویر چندطیفی با دیگر تصاویر (پانکروماتیک و رادار) به حد تفکیک یک متر، از روش نزدیک‌ترین همسایگی برای نمونه‌برداری مجدد استفاده شده است. هم مرجع کردن تصاویر توسط ۱۲ نقطه کنترل با ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)<sup>۴</sup>، ۰.۵۷ پیکسل انجام شده است. تصاویر نهایی

<sup>۱</sup> Spotlight

<sup>۲</sup> HH

<sup>۳</sup> VV

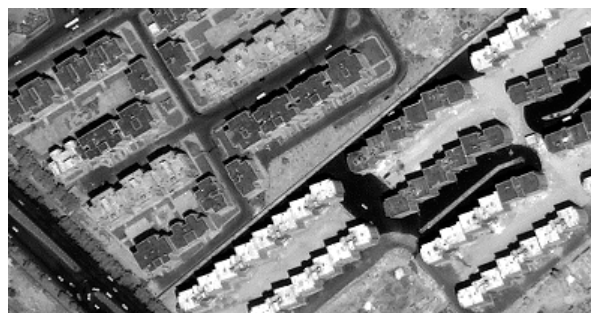
<sup>۴</sup> Root Mean Square Error

جدول ۱: تعداد داده‌های آموزشی و تست برای هر کلاس

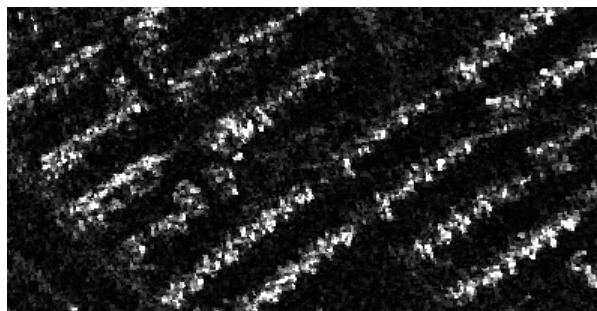
کلاس	داده آموزشی	داده تست
ساختمان	۱۷۲	۱۹۲۴۳
پس زمینه	۱۸۱	۶۱۷۳۲
جمع نهایی	۳۵۳	۸۰۹۷۵



(ب)



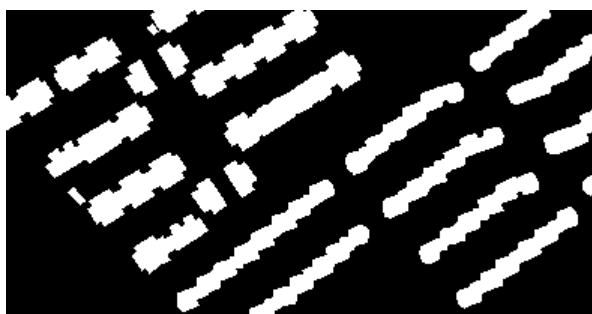
(الف)



(ت)



(پ)



(ث)

شکل ۲: الف) تصویر پانکروماتیک ماهواره آیکونوس (ب) تصویر چندطیفی ماهواره آیکونوس (پ) تصویر رادار با گشودگی ترکیبی در پلاریزاسیون افقی (ت) تصویر رادار با گشودگی ترکیبی در پلاریزاسیون عمودی عمودی (ث) تصویر باینری تولیدشده جهت ارزیابی دقت

### ۳- روش تحقیق

ویژگی‌های گوناگونی (جدول ۲)) از تصاویر تولید شد. سپس ویژگی‌های بهینه برای هر مجموعه داده از بررسی‌های زیادی که توسط آزمون سعی و خطا بر روی ویژگی‌های تولیدشده از منابع داده حاصل شد.

در تحقیق حاضر، ابتدا از منابع مختلف داده شامل تصاویر نوری (پانکروماتیک و چندطیفی) و راداری اقدام به شناسایی ساختمان شد. به همین منظور

در جهت بهبود دقت و نتایج حاصل از شناسایی ساختمان اقدام به تلفیق تصاویر در سطح ویژگی شد.

سپس ویژگی‌های بهینه وارد شبکه عصبی شد. سپس ضمن تجزیه و تحلیل نقاط ضعف و قوت هر منبع، با استفاده از ویژگی‌های مکمل داده‌های نوری و راداری

جدول ۲: ویژگی‌های به کار برده شده در این تحقیق

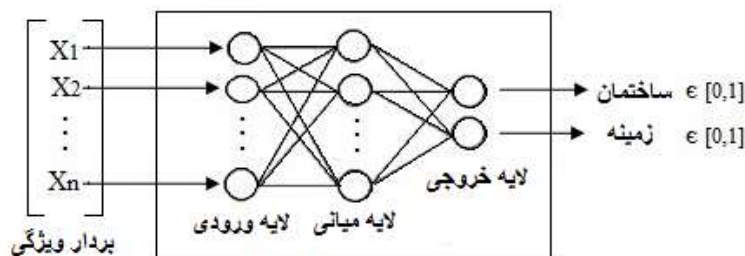
دامنه داده	توصیفگرهای آماری مرتبه اول	بافت	
میانگین			
واریانس			
آنتروپی			
عدم تقارن			
آنتروپی	توصیفگرهای آماری مرتبه دوم		
کنتراست			
واریانس			
عدم شباهت			
همگنی			
میانگین			
ممان مرتبه دوم			
همبستگی			
در مقیاس و جهات متفاوت	فیلتر گابور		
پلاریزاسیون افقی افقی	پراکندگی دوگانه		
پلاریزاسیون عمودی عمودی			
پلاریزاسیون افقی افقی	دامنه تصویر رادار با گشودگی ترکیبی		
پلاریزاسیون عمودی عمودی			
اطلاعات طیفی ۴ باند (قرمز، آبی، سبز، مادون قرمز نزدیک) تصویر چندطیفی			
درجات خاکستری باند پانکروماتیک			

جهت شناسایی ساختمان است. در این راستا به منظور داشتن یک شبکه عصبی بهینه، تعیین مناسب تعداد لایه میانی و نرون‌های موجود در آن‌ها، انتخاب بردار ورودی جهت ارسال به شبکه در لایه ورودی و غیره مورد نیاز است. بر طبق تحقیقات صورت گرفته توسط ریچارد [۲۳] طراحی یک لایه میانی برای اهداف طبقه‌بندی کفایت می‌کند. لذا در این تحقیق از یک شبکه عصبی پیشرو متشکل از یک لایه میانی، انتخاب و طراحی شد. در این راستا تعداد نرون‌های ۱ تا ۴۰ در لایه میانی انتخاب تا به نرونی با بهترین عملکرد دست‌یافته شود. همچنین لایه ورودی برحسب تعداد ویژگی‌های بهینه هر منبع داده تنظیم شده است،

در تمام استراتژی‌های شناسایی ساختمان در این مقاله، شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN<sup>۱</sup>) به عنوان یک طبقه‌بندی کننده دو کلاسه استفاده شده است. ویژگی اصلی شبکه عصبی قابلیت پذیرش و پردازش داده‌های ورودی غیر متجانس و دارای اهمیت متفاوت می‌باشد که شبکه عصبی قادر به تعیین اتوماتیک سطح تأثیر هر یک از منابع ورودی در تصمیم‌گیری نهایی است. بنابراین انعطاف‌پذیری بالای شبکه عصبی دلیلی برای انتخاب آن به عنوان طبقه‌بندی کننده مناسب

<sup>1</sup> Artificial Neural Network

عهده دارند. شکل (۳) ساختار شبکه عصبی با هدف شناسایی ساختمان را نشان می‌دهد.



شکل ۳: ساختار شبکه عصبی باهدف شناسایی ساختمان

ویژگی‌های گوناگونی از هر منبع داده تولید شد و بهترین آن‌ها با بررسی‌های صورت گرفته توسط روند سعی و خطا انتخاب شدند. سپس ویژگی‌های منتخب به شبکه عصبی معرفی شدند و تعداد نرون‌ها در لایه میانی از ۱ تا ۴۰ مورد آزمون قرار گرفتند. در نهایت نتایج شناسایی ساختمان در هر مرحله مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته و نقاط ضعف و قوت هر تصویر شناسایی شد. شکل (۴) روند کلی ارائه شده را نشان می‌دهد.

### ۳-۱-۱- تصویر پانکروماتیک

به دلیل کمبود اطلاعات طیفی این تصویر، از اطلاعات باند پانکروماتیک و بافت استفاده شده است. آنالیز بافت یکی از رایج‌ترین روش‌های ایجاد توصیفگرهای عوارض سطحی در تصاویر رقومی است که می‌تواند به عنوان معیاری جهت تمایز بین اشیاء مختلف موجود در تصویر مورد استنباط قرار گیرد. بنابراین با استفاده از توصیفگرهای آماری مرتبه دوم [۲۴] و فیلتر گابور [۲۵] به استخراج بافت از تصویر اقدام شده است. استفاده از توصیفگرهای آماری مرتبه دوم در استخراج ساختمان از تصاویر نوری مناسب است [۱]. توصیفگرهای آماری مرتبه دوم، علاوه بر در نظر گرفتن توزیع درجات خاکستری، موقعیت پیکسل‌ها نسبت به یکدیگر را نیز لحاظ می‌کنند.

با توجه به بررسی‌های انجام شده، پارامترهای بافت در ۸ جهت مختلف ( $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ$ )

درحالی‌که لایه خروجی در این شبکه متشکل از دو نرون (ساختمان، زمینه) بوده است که وظیفه تصمیم‌گیری درباره ماهیت پیکسل ورودی را به

جهت ارزیابی نتایج، سه معیار دقت کلی، ضریب کاپا و دقت شناسایی ساختمان در نظر گرفته شده است. همچنین به منظور بررسی توانایی الگوریتم در شناسایی ساختمان‌ها با بام‌پوش‌های مختلف، پشت‌بام‌های منطقه مورد مطالعه به سه نوع پوشش مختلف آسفالت، ایزوگام و بتن تفکیک شده است. در این راستا انحراف معیار دقت شناسایی ساختمان مربوط به بام‌پوش‌های مختلف در هر مرحله محاسبه شده تا میزان پراکندگی نتایج، مورد بررسی قرار گرفته شود. بدیهی است هرچه در انحراف معیار مربوطه کمتر باشد، مؤید عملکرد همگن تر الگوریتم بر روی منطقه و مطلوب‌تر است.

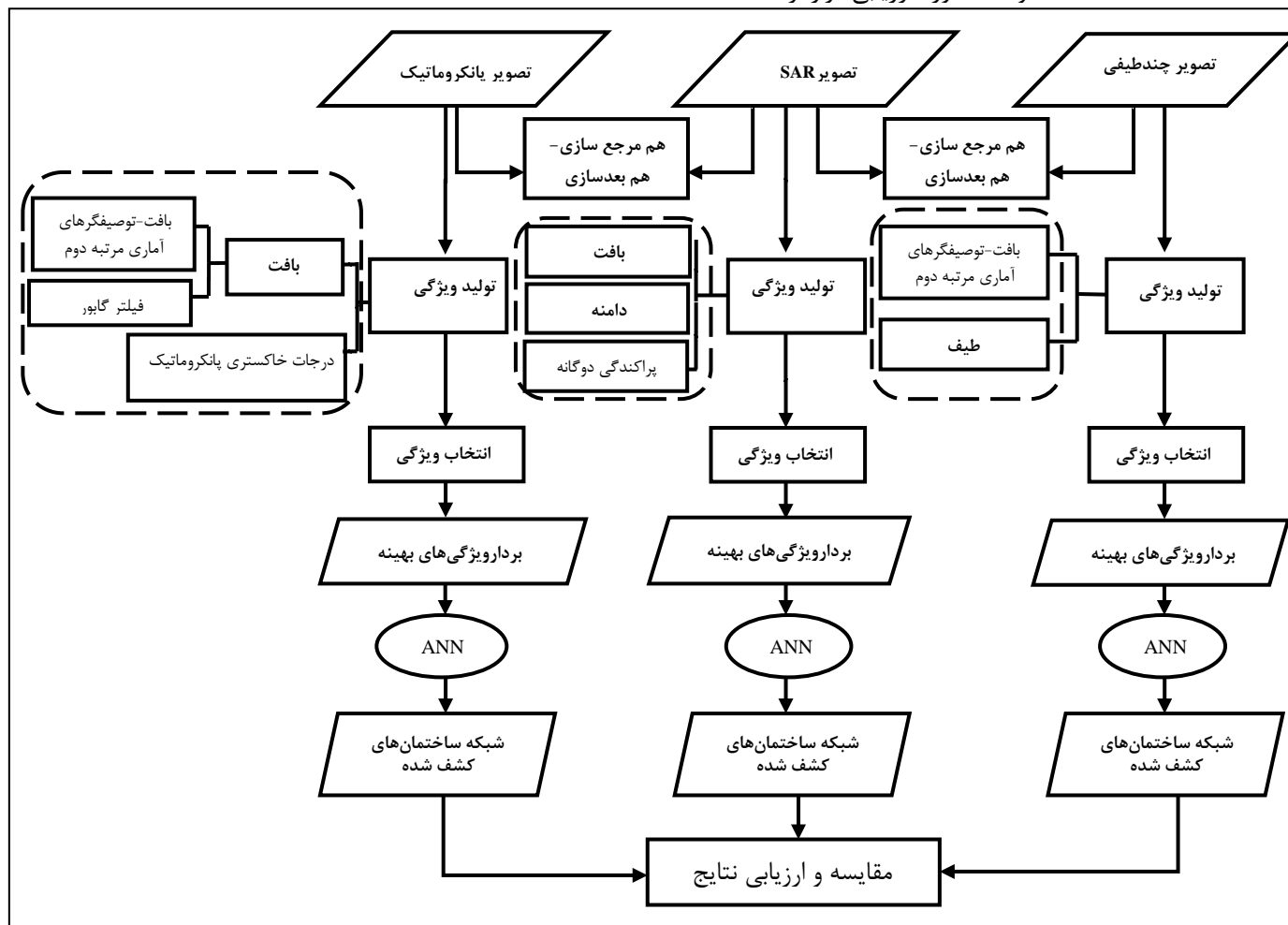
در ادامه به شناسایی ساختمان به‌طور مجزا از منبع مختلف داده پرداخته شده است. سپس اقدام به بررسی راهکارهای بهبود نقاط ضعف داده‌های مستقل شده است. در این راستا ابتدا هر یک از تصاویر پانکروماتیک و چندطیفی به صورت جداگانه و سپس یکجا با تصویر رادار در سطح ویژگی تلفیق شده‌اند.

### ۳-۱- استفاده مجزا از تصاویر نوری و راداری

در الگوریتم‌های مبتنی بر ویژگی لازم است که از تصویر ورودی، آن دسته از بردار ویژگی که توانایی ارائه خصلت‌های تصویر را داشته باشند استخراج و سپس در این فضا به پردازش بپردازند. هرچه بردارهای ویژگی مستخرج از تصویر کارایی بهتری داشته باشند بازده کلی طبقه‌بندی بهبود می‌یابد. در این راستا،

ابعاد پنجره با ابعاد  $3 \times 3$  نتایج به مراتب بهتری را داشته است.

$270^\circ$  و  $315^\circ$  تولیدشده و سپس از جهات مختلف میانگین گرفته شده است. همچنین پنجره‌هایی با ابعاد مختلف،  $3 \times 3$ ،  $5 \times 5$  و  $7 \times 7$  مورد ارزیابی قرار گرفته که



شکل ۴: روند کلی بررسی جداگانه تصاویر

انتخاب شده است.

بنابراین بردار ورودی، متشکل از ۷ ویژگی بهینه (درجات خاکستری باند پانکروماتیک، ۵ پارامتر فیلتر گابور و میانگین) از تصویر پانکروماتیک در نظر گرفته شده است. این ویژگی‌ها به شبکه عصبی با تعداد نرون‌های متفاوتی از ۱ تا ۴۰ در لایه میانی معرفی شده و شبکه با ۵ نرون در لایه میانی بالاترین دقت کلی را داشته است. نتایج حاصل شده در جدول (۳) نشان داده شده است.

به منظور انتخاب ویژگی‌های بافت بهینه، بررسی‌های جامعی از طریق روند سعی و خطا صورت گرفته است. در این بررسی‌ها، ترکیبات مناسبی از پارامترهای بافت منجر به دستیابی به بالاترین دقت کلی شده است. بر طبق این بررسی‌ها، پارامتر میانگین به عنوان تنها ویژگی مؤثر پارامترهای بافت مرتبه دوم انتخاب شده است. همچنین پارامترهای فیلتر گابور تأثیر بسزایی داشته است، در این راستا فیلتر گابور در ۵ مقیاس و در ۸ جهت تولید شده است، سپس از تمامی جهات میانگین گرفته شده و در انتها ۵ ویژگی بافت بهینه

جدول ۳: پارامترهای ارزیابی الگوریتم شناسایی ساختمان مربوط به تصویر پانکروماتیک

دقت شناسایی ساختمان	ضریب کاپا	دقت کلی	دقت شناسایی پوشش‌ها			بردار ویژگی بهینه
			بتن	ایزوگام	آسفالت	
۵۰.۲۸	۳۹.۷۴	۷۹	۱.۶۵	۶۱.۱۹	۵۷.۷۱	درجات خاکستری باند پانکروماتیک ۵ پارامتر فیلتر گابور پارامتر میانگین از ماتریس هم رخداد

را داشته‌اند. بنابراین این دو ویژگی در پنجره‌ای با ابعاد  $3 \times 3$  و برای دو پلاریزاسیون افقی عمودی و عمودی استخراج شده‌اند.

اثر پراکندگی دوگانه به عنوان ویژگی مفید استخراج شده از تصویر رادار با گشودگی ترکیبی در نظر گرفته شد. پراکندگی دوگانه در ساختمان‌ها، به وسیله‌ی بازتابندگی گوشه‌ای ناشی از دیوارهای جلویی ساختمان و زمین‌های اطراف آن ایجاد می‌شود که نقش مهمی در تشخیص ساختمان‌ها ایفا می‌کند [۲۷] که این اثر وابسته به ارتفاع ساختمان و زاویه انحراف است [۲۸]. همچنین عاملی برای ایجاد پیکسل‌های روشن با دامنه بزرگ در تصویر می‌باشد.

در تحقیق حاضر از الگوریتم  $OS-CFAR^2$  [۱۸] با پنجره متحرک  $55 \times 55$  پیکسل با منطقه محافظ  $53 \times 53$  پیکسل و همچنین نرخ هشدار کاذب  $4-10$  برای شناسایی پیکسل‌های روشن ساختمان‌ها استفاده شده است. بنابراین علاوه بر ویژگی‌های بافت، پراکندگی دوگانه و دامنه تصاویر در هر دو پلاریزاسیون به عنوان ویژگی‌های ورودی در نظر گرفته شدند.

۸ ویژگی بهینه به عنوان پارامترهای ورودی به شبکه عصبی معرفی شدند. تعداد نرون‌های مختلفی برای لایه میانی مورد بررسی قرار گرفته است. بهترین دقت کلی، توسط شبکه با ۲۰ نرون در لایه میانی به دست آمد. جدول (۴) نشان حاصل شده را نشان می‌دهد.

همان‌طور که از جدول بالا و شکل (۵-الف) مشخص است عملکرد شبکه در کل تصویر به خصوص در پشت‌بام‌هایی از جنس بتن بسیار ضعیف بوده و تنها  $1.65\%$  از ساختمان‌های مربوطه شناسایی شده است. همچنین پشت‌بام‌ها از جنس آسفالت به دلیل نزدیکی بافت این پشت‌بام‌ها با راه، قسمتی از راه به اشتباه ساختمان شناسایی شده است، بنابراین شبکه عصبی در این ناحیه عملکرد مناسبی نداشته است. انحراف معیار دقت شناسایی ساختمان در سه ناحیه موردنظر  $33.42$  است که بیانگر عملکرد ضعیف در همگنی نتایج می‌باشد.

### ۳-۱-۲- تصویر راداری

تفسیر عوارض سطح زمین در تصاویر راداری بر اساس شکل، تن، اندازه اشیاء و ساختار اشیاء است. بافت یکی از جنبه‌های مهم در تفسیر تصاویر راداری است. بنابراین در این راستا از توصیفگرهای مرتبه اول [۲۶] در تصویر تراسار-ایکس استفاده شده است.

توصیفگرهای مرتبه اول بر اساس هیستوگرام تصویر و یا به عبارت دیگر، احتمال رخداد درجات خاکستری در سطح تصویر، اقدام به برآورد پارامترهای مختلف می‌کنند. بر اساس سعی و خطاهای گسترده‌ای که بر روی پارامترهای بافت و در ابعاد پنجره‌های مختلف انجام شده است، دو ویژگی میانگین و دامنه داده<sup>۱</sup> از توصیفگرهای مرتبه اول دارای بیش‌ترین تأثیر در شناسایی ساختمان از تصویر رادار با گشودگی ترکیبی

<sup>2</sup> Order Statistics - Constant False Alarm Rate

<sup>1</sup> data range

جدول ۴: پارامترهای ارزیابی الگوریتم شناسایی ساختمان مربوط به تصویر رادار

دقت شناسایی ساختمان	ضریب کاپا	دقت کلی	دقت شناسایی پوشش‌ها			بردار ویژگی بهینه
			بتن	ایزوگام	آسفالت	
۷۱.۷۸	۵۵.۶۴	۸۳.۱۲	۵۸.۱۵	۸۶.۹۵	۶۷.۲۰	میانگین مرتبه اول (افقی افقی - عمودی عمودی) دامنه داده مرتبه اول (افقی افقی - عمودی عمودی) پراکندگی دوگانه (افقی افقی - عمودی عمودی) دامنه (افقی افقی - عمودی عمودی)

می‌باشند. اما استفاده تنها از اطلاعات طیفی در طبقه‌بندی عوارض در مناطق شهری به دلیل شباهت طیفی عوارض شهری کافی نمی‌باشد. در این راستا برای بهبود طبقه‌بندی از اطلاعات بافت تصویر نیز استفاده شد.

به‌منظور انتخاب پارامترهای بافت مناسب تعداد وسیعی از آن‌ها برای دستیابی به بالاترین دقت کلی مورد آزمایش قرار گرفت. در این بررسی‌ها، پارامترهای میانگین و واریانس از توصیفگرهای آماری مرتبه دوم عملکرد مناسب‌تری در شناسایی بام‌پوش‌های مختلف داشته‌اند. این دو پارامتر، در پنجره‌ای با ابعاد  $3 \times 3$  از ۴ باند طیفی استخراج شدند. درنهایت بردار ورودی متشکل از ۱۲ نرون، حاوی اطلاعات ۴ باند طیفی و ۸ پارامتر بافت در نظر گرفته شد. این ویژگی‌ها به شبکه عصبی با نرون‌های مختلف در لایه میانی وارد شده و درنهایت ۷ نرون به‌عنوان نرون بهینه در لایه میانی منجر به بیش‌ترین دقت کلی شد. جدول (۵) نتایج به‌دست‌آمده را نشان می‌دهد.

از مقایسه پارامترهای ارزیابی در جدول (۳ و ۴) مشاهده می‌شود که تصاویر رادار در شناسایی ساختمان‌ها نسبت به تصویر پانکروماتیک توانا تر بوده است. با اینکه در بام‌پوش‌های بتنی تصویر رادار عملکرد به‌مراتب بهتری نسبت به تصویر پانکروماتیک داشته است اما عملکرد آن به‌مراتب ضعیف‌تر از بام‌پوش‌های دیگر است. با این حال استفاده از داده‌های رادار باعث همگونی بیشتر پاسخ‌ها در نواحی مختلف شده است که انحراف معیار دقت شناسایی ساختمان در تصویر رادار ۱۴.۷۳ و در تصویر پانکروماتیک ۳۳.۴۲ بیانگر این موضوع است. شکل (۵-ب) پاسخ شبکه عصبی را نشان می‌دهد و همان‌طور که از شکل مربوطه مشخص است پشت‌بام‌ها با پوشش‌های مختلف مربوط به تصویر رادار نسبت به تصویر پانکروماتیک عملکرد بهتری داشته است.

### ۳-۱-۳- تصویر چندطیفی

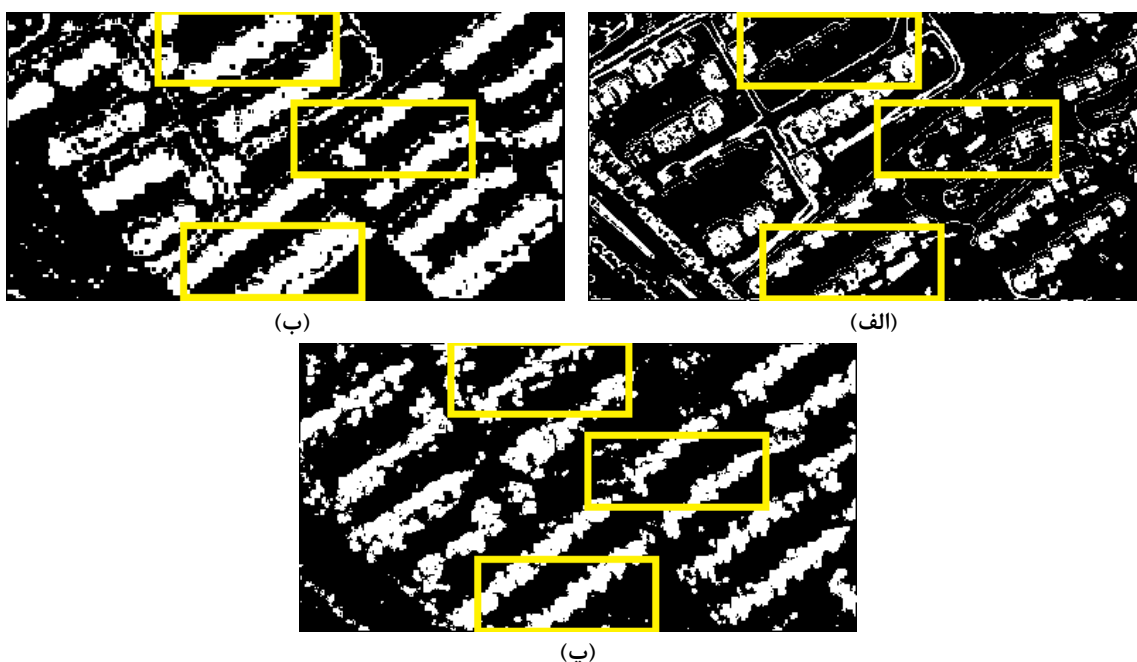
اطلاعات طیفی، چهار باند تصویر آیکونوس استفاده شد که حاوی اطلاعات مفیدی جهت شناسایی ساختمان

جدول ۵: پارامترهای ارزیابی الگوریتم شناسایی ساختمان مربوط به تصویر چندطیفی

دقت شناسایی ساختمان	ضریب کاپا	دقت کلی	دقت شناسایی پوشش‌ها			بردار ویژگی بهینه
			بتن	ایزوگام	آسفالت	
۸۲.۳۱	۵۸.۵۳	۸۳.۱۴	۸۷.۶۸	۹۱.۴۴	۷۵.۷۹	میانگین مرتبه دوم از ۴ باند طیفی واریانس مرتبه دوم از ۴ باند طیفی اطلاعات ۴ باند طیفی

نسبت به پاسخ تصویر پانکروماتیک و رادار که به ترتیب ۳۳.۴۲ و ۱۴.۷۳ است عملکرد بهتری داشته است. همان طور که از شکل (۵-پ) مشاهده می گردد پاسخ خروجی این مرحله نیز مانند پاسخ شبکه عصبی تصویر پانکروماتیک در تفکیک برخی راهها از پشت بامها ناتوان بوده است، پس می توان نتیجه گرفت بافت برخی راهها در تصاویر نوری مشابه با بافت پشت بامها است.

همان طور که نتایج حاصل از پاسخ شبکه عصبی برای پشت بامها با پوشش های مختلف نشان می دهد، پشت بامهای ایزوگام و بتن نسبت به پشت بامهای آسفالت عملکرد مناسبی تری داشته اند. بنابراین می توان از توانایی تصویر چندطیفی در شناسایی پشت بامهایی از جنس بتن، در تلفیق تصاویر سود برد. انحراف معیار دقت شناسایی ساختمان در این تصویر ۸.۱۷ است که



شکل ۵: پاسخ شبکه عصبی الف: تصویر پانکروماتیک ب: تصویر رادار پ: چندطیفی

### ۳-۲- تلفیق در سطح ویژگی

تلفیق در سطح ویژگی، نیازمند استخراج ویژگی مناسب از تصاویر ورودی است. بنابراین ویژگی های گوناگونی وابسته به طبیعت تصویر و کاربرد تلفیق در نظر گرفته می شوند [۲۹]. در این سطح از تلفیق، بردار ویژگی های مختلف از هر منبع داده با یکدیگر ادغام شده و بردار ویژگی جدیدی ایجاد می کنند. در این راستا ویژگی های بهینه تصاویر پانکروماتیک و چندطیفی به صورت جداگانه و سپس یکجا با تصویر رادار در سطح ویژگی تلفیق شدند. شکل (۶) روند اجرایی کلی این مراحل را نشان می دهد.

### ۳-۲-۱- تلفیق تصاویر پانکروماتیک و رادار

در این مرحله از تلفیق، تمام ویژگی های بهینه از تصاویر پانکروماتیک و رادار به طور همزمان به شبکه عصبی معرفی شدند. ۱۵ نرون در لایه ورودی در نظر گرفته شد که ۸ نرون مرتبط با تصویر رادار و ۷ نرون برای تصویر پانکروماتیک است. با بررسی های صورت گرفته، ۲۶ نرون در لایه میانی دقت کلی بیشتری نسبت به دیگر نرون ها داشته است. جدول (۶-الف) نتایج حاصل شده را نشان می دهد.



جدول ۶: پارامترهای ارزیابی الگوریتم تلفیق در سطح ویژگی

بردار ویژگی‌های بهینه			#نرون در لایه میانی	دقت شناسایی پوشش‌ها			دقت کلی	ضریب کاپا	دقت شناسایی ساختمان
				آسفالت	ایزوگام	بتن			
الف	پانکروماتیک	درجات خاکستری باند پانکروماتیک، ۵ پارامتر میانگین از ماتریس هم رخدادفیلتر گابور،	۲۶	۶۹.۵۶	۹۳.۱۵	۵۵.۲۷	۸۵.۷۵	۶۱.۸۶	۷۴.۵۰
	رادار	میانگین مرتبه اول، دامنه داده مرتبه اول، پراکندگی دوگانه و دامنه از دو پلاریزاسیون افقی افقی - عمودی عمودی							
ب	چندطیفی	میانگین و واریانس مرتبه دوم از ۴ باند طیفی، اطلاعات ۴ باند طیفی	۳۰	۸۲.۹۷	۹۵.۴۸	۹۲.۴۱	۸۶.۴۴	۶۶.۴۴	۸۸.۱۷
	رادار	میانگین مرتبه اول، دامنه داده مرتبه اول، پراکندگی دوگانه و دامنه از دو پلاریزاسیون افقی افقی - عمودی عمودی							
پ	پانکروماتیک	درجات خاکستری باند پانکروماتیک، ۵ پارامتر میانگین از ماتریس هم رخدادفیلتر گابور،	۳۰	۸۹.۰۵	۸۹.۸۹	۸۷.۶۱	۸۷.۱۱	۶۷.۹۹	۸۹.۰۸
	رادار	میانگین مرتبه اول، دامنه داده مرتبه اول، پراکندگی دوگانه و دامنه از دو پلاریزاسیون افقی افقی - عمودی عمودی							
	چندطیفی	میانگین و واریانس مرتبه دوم از ۴ باند طیفی، اطلاعات ۴ باند طیفی							

همان‌طور که در جدول (۶-الف) نشان داده شده است دقت پارامترهای ارزیابی از تلفیق دو تصویر، بهبود چشمگیری در تمامی پارامترها نسبت به استفاده مجزا از دو تصویر (پانکروماتیک، رادار) داشته است. با این وجود، هنوز در شناسایی پشت‌بام‌های بتنی ضعف وجود دارد. انحراف معیار دقت شناسایی ساختمان با پوشش‌های مختلف ۱۹.۱۳ است که دلیل بالا بودن انحراف معیار، اختلاف زیاد دقت شناسایی پشت‌بام‌های بتنی نسبت به پشت‌بام‌های ایزوگام و آسفالت است.

### ۳-۲-۲- تلفیق تصاویر چندطیفی و راداری

به‌منظور تلفیق این تصاویر، ویژگی‌های بهینه از تصاویر راداری و چندطیفی همزمان وارد شبکه عصبی شدند. تعداد نرون‌های بردار ورودی شبکه عصبی شامل ۸ نرون مربوط به ویژگی‌های تصویر راداری و ۱۲ نرون،

مرتبط با ویژگی‌های بهینه تصویر چندطیفی است. تعداد نرون‌های متفاوتی برای لایه میانی طراحی شد که شبکه عصبی با داشتن ۳۰ نرون در لایه میانی دارای عملکرد بهتری بوده است. نتایج حاصل از تلفیق این دو تصویر در جدول (۶-ب) آورده شده است. همان‌طور که از جدول مربوطه مشخص است، تلفیق ویژگی تصاویر رادار و چندطیفی باعث افزایش دقت در تمامی پارامترهای ارزیابی نسبت به استفاده مجزا از تصاویر راداری و چندطیفی شده است. پاسخ تلفیق این دو تصویر در پشت‌بام‌های بتنی عملکرد بسیار مناسبی از خود نشان داده است. میزان انحراف معیار دقت شناسایی ساختمان با پوشش‌های مختلف نیز برابر با ۶.۵۲ است.

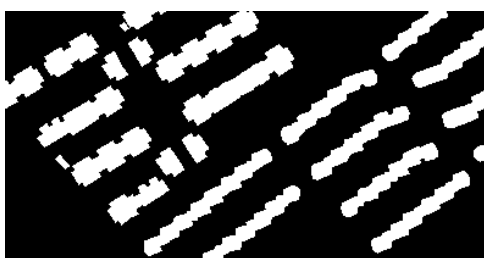
## ۳-۲-۳- تلفیق تصاویر پانکروماتیک، چندطیفی

## و راداری

در این مرحله از تلفیق کلیه ویژگی‌های بهینه از سه منبع داده (پانکروماتیک، چندطیفی و راداری) به‌طور همزمان به شبکه عصبی معرفی شدند، بردار ورودی شامل ۲۷ ویژگی می‌باشد که ۱۲ ویژگی از تصویر چندطیفی، ۸ ویژگی از تصویر رادار و در نهایت ۷ ویژگی از تصویر پانکروماتیک می‌باشد. سپس با بررسی‌های صورت گرفته مشخص شد نتایج آماری حاصل از اجرای این الگوریتم برای لایه میانی با ۳۰ نرون دارای نتیجه بالاتری است که در جدول (۶-پ) آورده شده است.

نتایج ارائه شده در جدول (۵-پ) نشان می‌دهد که تلفیق سه تصویر در سطح ویژگی، انتظار ما را

در برطرف کردن ضعف هر یک از تصاویر تا حدودی برطرف و باعث افزایش دقت در ساختمان‌های شناسایی شده و دیگر پارامترهای ارزیابی شده است. انحراف معیار دقت شناسایی ساختمان ۱.۱۵ می‌باشد که بهبود چشمگیری نسبت به مراحل قبلی حاصل شده است. در کل فرآیند اجرایی، این تلفیق نسبت به حالت استفاده از داده‌های تک منبعی، حداقل ۸ برابر بهبود در انحراف معیار دقت ساختمان را به همراه داشته است که این مسئله بیانگر همگن تر شدن نتایج حاصل شده در پوشش‌های مختلف پشت‌بام‌های مورد بررسی است. لذا این تلفیق به‌عنوان بهینه‌ترین روش تلفیق در سطح ویژگی انتخاب شد. شکل (۷) تصویر خروجی حاصل از این تلفیق را نشان می‌دهد.



ب



الف

شکل ۷: الف) پاسخ شبکه عصبی از تلفیق در سطح ویژگی تصاویر نوری و راداری ب: تصویر باینری تولید شده

ساختمان و پس‌زمینه انتخاب شده‌اند. تمامی الگوریتم‌های تلفیقی بر این منطقه به‌طور مجدد پیاده‌سازی شدند. در همه موارد تعداد بهینه نرون‌ها در لایه میانی شبکه عصبی با جستجوی ۱ تا ۴۰ نرون به‌دست آمدند. نتایج حاصل شده مجدداً برتری تلفیق بر سطح ویژگی تصاویر نوری و راداری را نشان دادند. جدول (۷) نتایج به‌دست آمده را نشان می‌دهد.

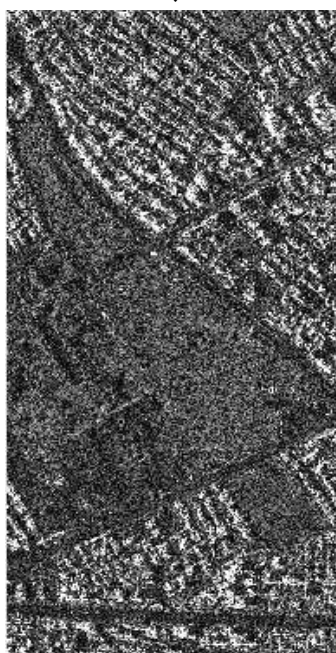
به‌منظور ارزیابی روش تلفیقی پیشنهادی بر منطقه‌ای بزرگ‌تر و پیچیده‌تر، منطقه‌ای با ابعاد  $1560 \times 770$  پیکسل (شکل ۸) انتخاب شد. در این راستا کورجیستر تصاویر با ۳۹ نقطه کنترل با ریشه میانگین مربعات خطا، ۰.۵۲ پیکسل انجام شد. برای ارزیابی دقت، ۳۰۰۰ پیکسل (شامل ۲۰۰۰ پیکسل ساختمان و ۱۰۰۰ پیکسل پس‌زمینه) به‌طور تصادفی از بخش‌های مختلف تصویر برای کلاس‌های



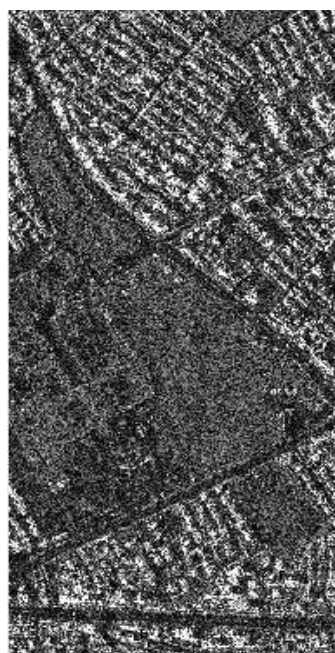
(ب)



(الف)



(ت)



(پ)

شکل ۸: الف) تصویر پانکروماتیک ماهواره آیکونوس ب) تصویر چندطیفی ماهواره آیکونوس پ) تصویر رادار با گشودگی ترکیبی در پلاریزاسیون افقی افقی ت) تصویر رادار با گشودگی ترکیبی در پلاریزاسیون عمودی عمودی  
صاحبی (۲۰۱۴) و آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA)<sup>۱</sup> بر بخشی از منطقه‌ی بالا (شکل ۹) پرداخته شده است.  
در این مرحله به مقایسه‌ی سه روش مختلف تلفیق تصاویر شامل تلفیق در سطح ویژگی (روش پیشنهادی ما)، آی اچ اس (روش پیشنهادشده توسط قنبری و

<sup>1</sup> Principal Component Analysis

جدول ۷: پارامترهای ارزیابی منطقه  $۷۷۰ \times ۱۵۶۰$ 

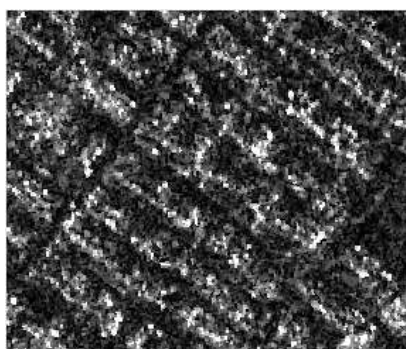
تلفیق در سطح ویژگی			استفاده مجزا از داده			استراتژی
پانکروماتیک+رادار+چندطیفی	رادار+چندطیفی	پانکروماتیک+رادار	چندطیفی	رادار	پانکروماتیک	داده ورودی
۲۳	۳۳	۲۴	۲۳	۱۸	۲۵	نرون
۹۰.۲۰	۸۹.۸۴	۸۵.۱۶	۸۶.۱۶	۷۸.۵۲	۷۵.۶۰	دقت کلی
۸۰.۴۰	۷۹.۶۸	۷۰.۳۲	۷۲.۳۲	۵۷.۰۴	۵۱.۲۰	ضریب کاپا
۹۱.۱۲	۹۰.۲۴	۸۴.۱۶	۸۴.۵۶	۸۲.۸	۶۸.۴۰	دقت شناسایی ساختمان



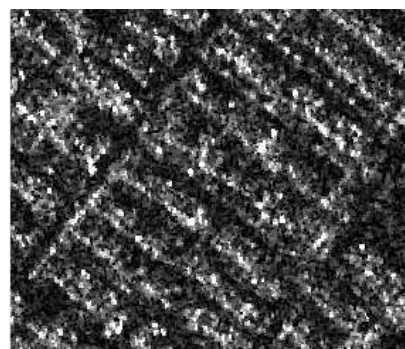
ب



الف



ت



پ

شکل ۹: الف) تصویر پانکروماتیک ماهواره آیکنوس (ب) تصویر چندطیفی ماهواره آیکنوس (پ) تصویر رادار با گشودگی ترکیبی در پلاریزاسیون افقی افقی (ت) تصویر رادار با گشودگی ترکیبی در پلاریزاسیون عمودی عمودی

دو روش آی اچ اس و PCA در پی داشته است. جدول (۸) نتایج به دست آمده از الگوریتم های مختلف را نشان می دهد.

نتایج نشان می دهد که روش پیشنهادی ما، جهت تلفیق تصاویر نتایج بهتری را چه در مرحله تلفیق در سطح ویژگی تصاویر رادار+چندطیفی و همچنین تلفیق ویژگی تصاویر پانکروماتیک+رادار+چندطیفی نسبت به



جدول ۸: مقایسه‌ی پارامترهای ارزیابی روش پیشنهادی با روش قنبری و صاحبی در مقاله [۲۲] و آنالیز مؤلفه‌های اصلی

الگوریتم پیاده‌سازی شده		دقت کلی	ضریب کاپا	دقت شناسایی ساختمان
تلفیق در سطح ویژگی (الگوریتم پیشنهادی)	رادار+چندطیفی	۹۲.۰۳	۸۲.۴۵	۹۱.۹۰
	پانکروماتیک+رادار+چندطیفی	۹۲.۸۰	۸۴.۳۹	۹۰.۸۵
آی اچ اس (روش پیشنهادشده توسط قنبری و صاحبی (۲۰۱۴))		۸۷.۱۷	۷۲.۶۰	۸۵.۰۰
آنالیز مؤلفه‌های اصلی(PCA)		۸۶.۴۰	۷۱.۳۵	۸۳.۰۰

#### ۴- خلاصه و نتیجه‌گیری

در این مقاله، به بررسی حالت‌های مختلف تلفیق در سطح ویژگی داده‌های پانکروماتیک، چندطیفی و رادار با گشودگی ترکیبی با استفاده از ویژگی‌های استخراج‌شده از هر یک از تصاویر به‌منظور تشخیص ساختمان با حد تفکیک بالا پرداخته شد. نتایج حاصل از مقایسه کیفی و کمی الگوریتم‌ها نشان داد که هر یک از الگوریتم‌ها دارای نواقصی در شناسایی ساختمان می‌باشد. درحالی‌که هر یک از آن‌ها در کنار این نواقص دارای توانایی‌هایی می‌باشند که می‌توانند توسط تصویر دیگر پوشش داده شوند. همان‌طور که در تحقیق نشان داده‌شده است در تصاویر نوری در برخی مناطق پیکسل‌های راه به‌اشتباه به‌عنوان پیکسل ساختمان شناسایی شده است و این به دلیل بافت و طیف نزدیک این دو عارضه در تصاویر نوری می‌باشد درحالی‌که تصاویر رادار دارای بافت متفاوت می‌باشد. تصاویر رادار در برخی مناطق قادر به تفکیک

ساختمان از پوشش‌های گیاهی نبوده است درحالی‌که تصاویر نوری توانایی بیشتری در تمایز بین این دو دارد. با بررسی‌های صورت گرفته در این تحقیق مشخص شد که استفاده توأمان از تصاویر راداری و نوری باعث افزایش دقت در شناسایی ساختمان‌ها شده است و تلفیق در سطح ویژگی با استفاده از شبکه عصبی بر روی بردار ورودی متشکل از ویژگی‌های تصاویر پانکروماتیک، چندطیفی و راداری، روش بهینه‌ای برای شناسایی ساختمان می‌باشد. نتایج حاصل نشان داد که روش بهینه تلفیق شناسایی ساختمان‌ها، حداقل ۱۰٪ ضریب کاپا، ۴٪ دقت کلی و ۷٪ دقت شناسایی ساختمان‌ها را نسبت به استفاده مجزا از منابع داده افزایش داده است. همچنین استراتژی تلفیق پیشنهادی منجر به حداقل ۸ برابر همگنی نتایج شناسایی شده در انواع مختلف پشت‌بام‌ها شده است. در مطالعات آینده، ما به بررسی روش تلفیق در سطح تصمیم‌گیری تصاویر رادار و اپتیک می‌پردازیم.

#### مراجع

- [1] Y. Zhang, "Optimisation of building detection in satellite images by combining multispectral classification and texture filtering," ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 54, pp. 50-60, 1999.
- [2] J. A. Benediktsson, M. Pesaresi, and K. Amason, "Classification and feature extraction for remote sensing images from urban areas based on morphological transformations," Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, vol. 41, pp. 1940-1949, 2003.
- [3] A. K. Shackelford and C. H. Davis, "A combined fuzzy pixel-based and object-based approach for classification of high-resolution multispectral data over urban areas," Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, vol. 41, pp. 2354-

- 2363, 2003.
- [4] X. Jin and C. H. Davis, "Automated building extraction from high-resolution satellite imagery in urban areas using structural, contextual, and spectral information," *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, vol. 2005, pp. 2196-2206, 2005.
- [5] S. Mayunga, D. Coleman, and Y. Zhang, "A semi-automated approach for extracting buildings from QuickBird imagery applied to informal settlement mapping," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 28, pp. 2343-2357, 2007.
- [6] A. Turlapaty, B. Gokaraju, Q. Du, N. H. Younan, and J. V. Aanstoos, "A hybrid approach for building extraction from spaceborne multi-angular optical imagery," *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of*, vol. 5, pp. 89-100, 2012.
- [7] J. Zhao, Q. Zhu, Z. Du, T. Feng, and Y. Zhang, "Mathematical morphology-based generalization of complex 3D building models incorporating semantic relationships," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 68, pp. 95-111, 2012.
- [8] J. Wang, X. Yang, X. Qin, X. Ye, and Q. Qin, "An Efficient Approach for Automatic Rectangular Building Extraction From Very High Resolution Optical Satellite Imagery," 2015.
- [9] M. Turker and D. Koc-San, "Building extraction from high-resolution optical spaceborne images using the integration of support vector machine (SVM) classification, Hough transformation and perceptual grouping," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 34, pp. 58-69, 2015.
- [10] E. Simonetto, H. Oriot, and R. Garelo, "Rectangular building extraction from stereoscopic airborne radar images," *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 43, pp. 2386-2395, 2005.
- [11] F. Tupin, H. Maitre, J.-F. Mangin, J.-M. Nicolas, and E. Pechersky, "Detection of linear features in SAR images: application to road network extraction," *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 36, pp. 434-453, 1998.
- [12] R. Chellappa, "Advanced Automatic Target Recognition," *DTIC Document* 1998.
- [13] F. Dell'Acqua and P. Gamba, "Texture-based characterization of urban environments on satellite SAR images," *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 41, pp. 153-159, 2003.
- [14] M. Stasolla and P. Gamba, "Spatial indexes for the extraction of formal and informal human settlements from high-resolution SAR images," *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of*, vol. 1, pp. 98-106, 2008.
- [15] Y. Wang, F. Tupin, C. Han, and J.-M. Nicolas, "Building detection from high resolution POLSAR data by combining region and edge information," in *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2008. IGARSS 2008. IEEE International*, 2008, pp. IV-153-IV-156.
- [16] Y. Dong, H. Chen, D. Yu, Y. Pan, and J. Zhang, "Building extraction from high resolution SAR imagery in urban areas," *Geo-spatial Information Science*, vol. 14, pp. 164-168, 2011.
- [17] Y. Cao, C. Su, and J. Liang, "High resolution SAR building detection with scene context priming," in *Signal Processing (ICSP), 2012 IEEE 11th International Conference on*, 2012, pp. 1791-1794.
- [18] L. Zhao, X. Zhou, and G. Kuang, "Building detection from urban SAR image using building characteristics and contextual

- information," EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, vol. 2013, pp. 1-16, 2013.
- [19] F. Tupin and M. Roux, "Detection of building outlines based on the fusion of SAR and optical features," ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 58, pp. 71-82, 2003.
- [20] H. Sportouche, F. Tupin, and L. Denise, "Extraction and three-dimensional reconstruction of isolated buildings in urban scenes from high-resolution optical and SAR spaceborne images," Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, vol. 49, pp. 3932-3946, 2011.
- [21] V. Poulain, J. Inglada, M. Spigai, J.-Y. Tourneret, and P. Marthon, "High-resolution optical and SAR image fusion for building database updating," Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, vol. 49, pp. 2900-2910, 2011.
- [22] Z. Ghanbari and M. R. Sahebi, "Improved IHS Algorithm for Fusing High Resolution Satellite Images of Urban Areas," Journal of the Indian Society of Remote Sensing, vol. 42, pp. 689-699, 2014.
- [23] J. Richards Remote Sensing Digital Image Analysis: Introduction, Second ed. New York: Springer, 1993.
- [24] R. M. Haralick, K. Shanmugam, and I. H. Dinstein, "Textural features for image classification," Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on, pp. 610-621, 1973.
- [25] M. Haghighat, S. Zonouz, and M. Abdel-Mottaleb, "Identification Using Encrypted Biometrics," Computer Analysis of Images and Patterns, pp. 440-448, 2013.
- [26] H. Anys, A. Bannari, D. He, and D. Morin, "Texture analysis for the mapping of urban areas using airborne MEIS-II images," in Proc. First International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition, Strasbourg, France, 1994, pp. 231-245.
- [27] D. Brunner, L. Bruzzone, A. Ferro, and G. Lemoine, "Analysis of the reliability of the double bounce scattering mechanism for detecting buildings in VHR SAR images," in Radar Conference, 2009 IEEE, 2009, pp. 1-6.
- [28] R. Guida, G. Franceschetti, A. Iodice, D. Riccio, G. Ruello, and U. Stilla, "Building feature extraction via a deterministic approach: Application to real high resolution SAR images," in IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2008, pp. 2681-2684.
- [29] F. A. Al-Wassai, N. Kalyankar, and A. A. Al-Zaky, "Multisensor Images Fusion Based on Feature-Level," arXiv preprint arXiv:1108.4098, 2011.



## **Producing atmospheric pressure profile based on Hydrostatic hypothesis and using MODIS thermal images**

**Hamidreza Haji Gholami<sup>\*1</sup>, Mohamadreza Mobasheri<sup>2</sup>, Majid Rahimzadegan<sup>3</sup>**

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

2- Profesor, khavaran remote sensing Laboratory, Mashhad, Iran

3- Assisstant profesor, Civil Eng. Faculty, K.N. Toosi University of Technology, Tehran

### **Abstract**

Measurement of pressure profiles at limited number of synoptic stations are performed by the Radiosondes on a routine basis where this usually do not meet the need for numerical weather forecasting and there is need for more input data. Producing pressure values at different geopotential heights in the atmosphere is very important especially in the study of atmospheric circulation and weather forecasting. The data used in this research are: Radiosonde data, MODIS satellite images and surface pressure collected at synoptic stations. The method used is based on the hydrostatic hypothesis that is based on the assumption of small vertical movements in the air. The pressure profile is extracted from hydrostatic equation. This research consists of two parts, in the first part hydrostatic model has been evaluated for the stability index based on Radiosonde data, In the second part, pressure profile was calculated at different geopotential height using MODIS products of temperature, moisture profiles and MODIS surface pressure. The average RMSE between Radiosonde measured profiles and MODIS data was 0.4 and 1 milibar, respectively. The results calculated through 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 and temperature and moisture profile, one can calculate atmospheric pressure precisely in different altitudes using Hydrostatic model. The amount of uncertainties of the results of this method has been evaluated and is presented a separate table.

**Key words:** Pressure profile, Hydrostatic atmosphere, MODIS, Remote sensing.