نشربه علمى مهندسي فناوري اطلاعات مكانى

سال یازدهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۴ Vol.11, No.2, Summer 2023 ۱۷ – ۳۹

مقاله پژوهشی DOR: <u>20.1001.1.20089635.1402.11.2.2.5</u>



آشکارسازی ابر به روش استریوگرافی با استفاده از جدیدترین نسل ماهواره های زمین ثابت با قدرت تفکیک مکانی بالا

سحر دهنوی^{۲۹۱}، یاسر مقصودی^۳، محمدجواد ولدان زوج^{۴*}

۱- دانشجوی دکتری سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشهبرداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- مشاور پژوهشی، موسسه تحقیقات آب و هواشناسی، دانشگاه لایبنیز هانوفر، هانوفر، آلمان

۳- دانشیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشهبرداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۴- استاد گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشهبرداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۱۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۳/۲۲

چکیدہ

هدف از پژوهش حاضر ارائه روشی مبتنی بر استریو گرافی برای آشکارسازی ابرها برمبنای مقدار ارتفاع ابرها با بالاترین حدتفکیک مکانی ممکن و با بکارگیری تصاویر هواشناسی زمین ثابت است؛ به این ترتیب که ابتدا با استفاده از باند مرئی با تفکیک مکانی بالا از سنجنده سویری (SEVIRI) نصب شده بر روی دو سکو متیوست-۸ و متیوست-۱۰ یک زوج استریو تشکیل می شود. سپس با توجه به هندسه دید متفاوت دو سنجنده، هر دو تصویر در یک شبکه مرجع تصویرسازی می شوند و در نهایت با تشکیل خطوط مسیر دید دو سنجنده در یک صفحه اپی پلار، پارالاکس در دو تصویر بر روی نقاط ابری بر آورد می شود. از مزیتهای این روش در بر آورد ارتفاع ابر آن است که اندازه گیریهای استریو فقط وابسته به روابط هندسی بنیادی بین مشاهدات اجزای مرئی ابرهاست. در این مطالعه روشی نوین برای آشکارسازی پیکسلهای ابری مبتنی بر ارتفاع ابر ارائه شده است. پس از بر آورد ارتفاع ابرها، امکان تفکیک پیکسلهای ابری از پیکسلهای غیرابری برمبنای اختلاف ارتفاع موجود فراهم شده و در واقع می توان آشکارسازی ابر را برمبنای ارتفاع برآورد شده در پیکسلهای ابری از پیکسلهای غیرابری برمبنای اختلاف ارتفاع موجود فراهم ارتفاع ابر آن است که نه تنها در تصاویر زمین ثابت حدتفکیک مکانی آشکارسازی انها مای استی از واطلاعات شده و در واقع می توان آشکارسازی ابر را برمبنای ارتفاع برآورد شده در پیکسلها انجام داد. نتایج این پژوهش نشاندهنده دقت بالا و امکان پذیر ارتفاع ابر آن است که نه تنها در تصاویر زمین ثابت حدتفکیک مکانی آشکارسازی افزایش می یابد، بلکه امکان استخراج اطلاعات ارتفاع ابر آن است که نه تنها در تصاویر زمین ثابت حدتفکیک مکانی آشکارسازی افزایش می یابد، بلکه امکان استخراج اطلاعات سایر از فراه ار ارتفاع ابر آن است که نه تنها در تصاویر زمین ثابت حدتفکیک مکانی آشکارسازی افزایش می یابد، بلکه امکان استخراج اطلاعات سایر از فراه ایر از امراه است؛ بر از فراه می یابد، بلکه امکان استخراج اطلاعات سایر از فراه می آورد. در نهایت از نقطه نظر اهمیت این پژوهش در ایران، لازم به ذکر است که با انجام این پژوهش، شاخه جدیدی از مطالعات سنجش از دور هواشناسی، با عنوان "استریوگرافی هواشناسی" در کشور پایه گذاری خواهد شد که راهگشای پژوهش های گسترده در این زمینه خواهد دور هواشناسی، با عنوان "استر گرافی هواشناسی" در کشور پایه گذاری خواهد شد که راهگشای پژوهشی می گ

کلید واژهها : آشکارسازی ابر، ارتفاع ابر، استریوگرافی، تصاویر هواشناسی زمین ثابت، سنجش از دور و فتوگرامتری.

^{*} نویسنده مکاتبه کننده: خیابان ولیعصر، بالاتر از میدان ونک، تقاطع میرداماد، دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی. تلفن: ۲۱۸۸۸۷۷۰۷۱

۱– مقدمه

ابرها علاوه بر آنکه اثرات گستردهای در موازنه میزان انرژی در سطح زمین دارند، موجب تغییرات شدید جوی در راستاهای قائم و افقی جو نیز میشوند. به عنوان مثال گردش های جوی در نواحی اقیانوسی و خشکیها انواعی از تغییرات جوی هستند که به خودی خود موجب بروز ترکیبات و شکلهای گوناگونی از ابرها می شوند. به این ترتیب پرواضح است که پایش ابرها و اطلاع از خصوصیات آنها در مکانها و زمانهای مختلف، از جمله مهمترین مسائل تحقیقاتی در بررسی تغییرات جوی، ردیابی اثرات گازهای گلخانهای و مطالعه نقش آنها در اثراتی مانند گرم شدن کره زمین محسوب میی-شود. یکی دیگر از دلایل اهمیت بررسی ابرها و خصوصیات فیزیکی آنها، اطلاع از میزان اثر گذاری دخالتهای انسانی و طبیعی بر روی جو و در نتیجه بر روی ابر است[۱]. در کنار اهمیتی که مطالعه ابرها و خصوصیات آنها دارد می تواند به نقش ابرها در کاهش ایرادیانس فرودی خورشید بر سطح زمین اشاره کرد. چنین نقشی در مباحثی مثل مکانیابی نیروگاههای خورشیدی، برآورد مقدار انرژی قابل تولید با بهرهمندی از سلولهای خورشیدی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار خواهد شد و موجب می شود که مطالعه روشهای متعدد برای آشکارسازی ابرها جالب توجه و البته بسیار مهم تلقی شود. در این میان سالهاست که نقـش سـنجش از دور و تصاویر ماهوارهای به عنوان یکی از ابزارهای کنترل و پایش جو به صورت مستمر و در وسعتهای مکانی بزرگ کاملا شناخته شده است. تاکنون روشهای متفاوتی برای آشکارسازی ابرها با استفاده از تصاویر ماهوارهای ارائه شده است[۲]. اما در هیچیک از مطالعات پیشین از تکنیک آشکارسازی ابر مبتنے بر ارتفاع آن بهره برده نشده است. از طرف دیگر روشهای متنوعی برای برآورد ارتفاع ابر با بهرهمندی از دادههای سنجش از دوری ارائه شدهاند. در جدول (۱)، مروری بر تكنيكهاى سنجشاز دورى متفاوت براى استخراج اطلاعات ارتفاع ابر/ خاکسترهای آتشفشانی که تاکنون

مطالعه و بررسی شدهاند، انجام گرفته است. با اینحال صحت نتايج برآورد شده از تمامي مدلها وابسته به حدتفکیک مکانی سنجندهها و ارتفاع ابر است[۳]. به نحوی که از این جدول روشن است، بهترین دقت تخمین ارتفاع ابر با استفاده از دادههای لیدار سکوی فضایی^۱ حدود ۲۰۰ متر بوده و میتواند در شرایط شب و روز تهیه شود؛ با این اوصاف که امکان انجام این نوع از اندازه گیریها تنها هر ۱۶ روز یکبار فراهم است[۴]. برآورد ارتفاع برمبنای باندهای جذبی کربن دی اکسید هم با دقت کمتر ولی چندین بار در روز و با دقت ۲٬۹ کیلومتر انجام میشود. در این میان یکی از روشهایی که از گذشته تاکنون گاهی توسط محققین برای برآورد ارتفاع ابر مورد توجه قرار گرفته، روش مبتنی بر زوج دادههای استریو و براساس مشاهدات پارالاکس در دو تصویر است. مشاهدات استریوگرافی جو، در ابتدا با عنوان مبانی فتوگرامتری ابر شناخته میشد. اوایل، زوج دوربینهای زمینی^۲ یا یک سری زمانی از عکسهای هوایی با هدف تولید دادههای استریو برای مطالعه ابرها مورد استفاده قرار می گرفتند، به نحوی که اولین مرجع در بحث استریوگرافی هوایی مطالعهای بود که در [۵] انجام گرفت. به طور کلی، مشاهدات استریوگرافیک در گذشته با استفاده از سکوهای هوایی و در ارتفاع پـرواز بالا و با استفاده از دوربینهای قائم تهیه میشدند[۶]. مشاهدات استریوگرافیک ابرها با استفاده از دادههای ماهوارهای اولین بار در [۲, ۸] و با بهره گیری از ماهوارههای هواشناسی انجام گرفت. در سال ۱۹۶۸، عکسهای حدتفکیک بالای استریو از ابرها از آپولو ۶ در یک مدار کم ارتفاع (LEO)^۳ اخذ شد و بعلاوه از این دادهها برای نمایش امکان اندازه گیری ارتفاع ابر با استفاده از روش استریوگرافی استفاده نمودند [۹]. پس از آن در [۱۰] از مجموعهای از سری زمانی تصاویر

Space Platform

^{*} Twin ground stations

[&]quot; Low Earth Orbit (LEO)

آیولو-۶ استفاده کردند تا ساختار ابر را با استفاده از جبهه هوای سرد^۱ آن شناسایی کنند. در مطالعه [۱۱] از دادههای استریو سنجنده اسکایلب ^۲برای مطالعه توفانهای جوی استفاده شد. در سال ۱۹۷۴، اولین ماهواره زمین آهنگ^۳ با امکان تولید تصاویر حد تفکیک بالایی (۱/۹ کیلومتر) با عنوان اس⊣م⊣س−۱ ^{*}پرتاب شد و در موقعیت W 75 قرار گرفت. با عملکرد موفق ماهواره دوم در موقعیت ۱۰۷ درجه غربی با نام -SMS 2، محققان مرکز پرواز فضایی گودارد^۵، به دنبال راهکاری برای توسعه یک روش استریو تصویربرداری , فتند [۵, ۱۲–۱۴]. استفاده از زوج تصاویر استریو در مشاهدات ایستگاههای زمینی هم، براساس ابزارهای مشاهده آسمان پیشتر انجام گرفته است، کـه هـدف در تمامی آنها بهبود نتایج شناسایی و آشکارسازی ابرها ذکر شده است. به عنوان مثال در [۱۵] سنجندههای تصویربردار کامل آسمان *TSI^e و* نیمکره کامل آسمان *HSI^V* دارای یک میدان دید نیمکرهای هستند و با هدف هدف تهیه یک سریزمانی از کسر ابر ^ مورد استفاده قرار می گیرند. در این مقاله از مشاهدات سطحی HSI برای استخراج اطلاعات ارتفاع پایین ابر^۹ (CBH) بهره گرفته شده است. در مطالعه ای که بر مبنای روش استریوگرافی در سال ۲۰۱۰ بر روی خاکسترهای آتش-فشانی انجام گرفت، مقدار ارتفاع خاکستر با دقت ارتفاعی ۶۰۰ متر برآورد شد. در این مطالعه زوج تصویر استریو به ترتیب از دو سنجنده چندطیفی قطبی مودیس و سنجنده زمین ثابت SEVIRI انتخاب شدند.

- ^v Hemispherical Sky Imager (HSI)
- ^ fractional sky
- [\] Cloud base Height (CBH)

آشکارسازی ابر به روش استریوگرافی با استفاده از ... سحر دهنوی و همکاران

با توجه به اینکه حد تفکیک مکانی سنجنده مودیس بهتر از حدتفکیک مکانی SEVIRI است، بنابراین استفاده از تکنیک استریو در این دو تصویر موجب بهبود حدتفکیک مکانی در برآورد ارتفاع ابر خواهدشد. با این وجود تعداد کم تصاویر مودیس در طول یک روز در مقایسه با تعداد تصاویر سنجنده SEVIRI که هر ۱۵ دقیقه اخذ می شوند، موجب می شود که تعداد زوج تصاویر استریو مناسب برای برآورد ارتفاع ابرهای آتشفشانی محدود شود [۱۶]. بنابراین راهکار استفاده از دو سنجنده زمین ثابت، راهی مناسب برای افزایش تعداد زوج تصاویر استریو برای برآورد ارتفاع ابر خواهـد بود. لذا در آخرین مطالعهای که به روش استریوگرافی بر روی ابرهای آتشفشانی انجام گرفت از دو سنجنده زمین ثابت ۱۰ بر روی سکو متیوست، برای برآورد ارتفاع ابرهای آتشفشانی بهره برده شد. در این تحقیق سنجنده اول از زوج استریو، سنجنده SEVIRI مربوط به نسل دوم ماهوارهای متیوست (*MSG*¹¹)، و سنجنده دوم MVIRI مربوط به نسل اول از ماهوارههای متیوست (*MFG*^{1۲}) بوده است[۱۷]. به ایـن ترتیـب در تشکیل این زوج استریو امکان بهر موری از تمامی مزیتهای موجود در نسل دوم دادههای SEVIRI اعـم از حدتفکیک مکانی بالا، فراهم نبود. از آنچه پیشتر بیان شد و بررسی کامل تحقیقات گذشته تا سال ۱۳۹۷، به نظر می سد تاکنون در هیچ مطالعهای از اطلاعات ارتفاع ابر برای آشکارسازی پیکسلهای ابری در تصاویر ماهوارهای استفاده نشده است. بنابراین اولین نوآوری و هدف این تحقیق را می توان استفاده از تکنیک استریو برای تخمین ارتفاع و آشکارسازی پیکسلهای ابر مبتنی بر مقدار ارتفاع آنها دانست. با اینحال با توجه به اینکه این روش از باند مرئی سنجندہ بھرہ بردہ است، لذا این روش به اندازہ-گیریها در ساعات روشنایی روز محدود می شود.

¹⁷ Meteosat First Generation

[\] Cold front

^v Skylab

^r GSO

^{*} SMS-1

^a Godard space flight center

⁹ Total Sky Imager (TSI)

¹ Geostationary

[&]quot; Meteosat Second Generation

مزايا و معايب	روش
+ حد تفکیک مکانی و صحت بسیار بالا	ليدار و رادار ([۴, ۱۸, ۱۹]
- زمان بازنگری مجدد ^۲ بسیار طولانی (هر ۱۶ روز یکبار) و فقط مشاهدات نادیر	
امکانپذیر است	
+ حد تفکیک بالا در تروپوسفر پایین	امواج صوتی ^۳ [۲۰, ۲۱]
- به صورت جهانی در دسترس	
+ امکان مدلسازی حتی در ابرهایی که از مرجع اندازه گیریها دور هستند	مدلسازی مسیر بازگشتی ^۴
-نیازمند دادههای میدانی باد برای مدلسازی بازگشتی قابل اعتماد	[77, 77]
+ بکارگیری راحت، با ابزارهایی با بازنگری زمانی کوتاه	دمای ظاهری ^۵ [۳, ۲۲,
- نیازمند پروفایل جوی و گسیلمندی ابرها/ فرض تعادل دینامیکی جو، مشکلاتی در	[74
ناحيه تروپوپاز	
+صحت بالا	باند جذبی اکسیژن A– O ₂
-نیازمند دادههای با حدتفکیک طیفی بالا (که در تعداد زیادی از ماهوارهها ناموجود	[22] ۶
است، دوره بازنگری طولانی مدت)/ تنها در سطوح تاریک دارای عملکرد خوبی است،	
نیازمند مدلسازی انتقال تابش است/ فقط اندازه گیری در طول روز	
+عملکرد خوب حتی در مقابل ابرهای نیمه شفاف	باند جذبی کربن دی
-دقیق تنها در ارتفاعات بالای تروپوسفر/ دارای مشکلات محاسباتی در نواحی تروپوپاز	اکسید CO _{2 ^۷ [۲۷, ۲۷]}
+روشی ساده در پیادهسازی، بدون نیاز به هیچ نوع داده جانبی	طول سايه^ [۲۴, ۲۸]
-امکان استفاده از این روش تنها در طول روز/ارتفاع لبه افقی ابرها استخراج میشود	
نه ارتفاع بالای ابر	
+صحت بالا/ نیازمند هیچ نوع داده جانبی/ تنها مبتنی بر اطلاعات هندسی است	استريوسکوپي ^۹ [۳, ۱۶,
-نیازمند دادههای همزمان از دو زاویه دید متفاوت	[٣٢-٢٩
+شامل روشی برای محاسبه خطا	برآورد بهینه ٔ (۳۳–۳۵]
-نیازمند اطلاعات پروفایل اتمسفری، ویژگیهای اپتیکی ابر و مدل انتقال تابش	

جدول ۱: مروری بر روشهای سنجش از دوری بر آورد ار تفاع ابر [۱۷]

LiDAR and radar

^r Revisit time

^r Radio occulation

* Backward trajectory modeling

^a Brightness Temperature

 $^{\circ}$ O₂A-band absorption

^v CO₂ Absorption

^ Shadow length

۶ Stereoscopy

^{\.} Optimal estimation

با این وجود با توجه به برنامهریزی پرتاب نسل جدیدی از سنجندههای چندطیفی مانند سنجنده متصل بر روى سكو¹ MTG-1، تصويربردار بازمكانى پيشرفته^۲، تصویربردار هیماواری پیشرفته و تعدادی سنجنده زمین ثابت دیگر که تعداد باندهای حرارتی و مادون قرمز بیشتر و با حد تفکیک مکانی بالاتری در مقایسه با باند مرئى SEVIRI-HRV خواهند داشت، انتظار مىرود استفاده از روش پیشنهادی در این مطالعه بهبود چشمگیری داشته باشد. انتظار میرود که بعد از سال ۲۰۲۰، با پرتاب نسل سوم از ماهوارههای زمین ثابت تمامی بخشهای زمین تحت پوشش تصویربرداری این سنجندهها قرار گیرند. در شکل ۱ ماهوارههای زمین-ثابت فعال و ماهوارههایی که تا سال ۲۰۲۰ در مدار قرار خواهند گرفت نمایش داده شدهاند. سنجندههای زمین-ثابت به طور متوالی در حال پیشرفتهایی از نقطه نظر حدتفكيك مكاني، طيفي، راديومتريك، تعداد دفعات تكرار اخذ تصوير ، و تفاوت زاویه دید بین سنجندهها هستند. این پیشرفتهای مکرر امکان بکارگیری تمامی مزیتهای ذکر شده در روش این تحقیق را برای پایش مـوثر ابرهـا در مقيـاس جهـانی، بـا بانـدهای متفـاوت تصویربرداری و همچنین در هر دو زمان شب و روز فراهم خواهد آورد. از طرف دیگر، با توجه به سیاستهای اخیر یومتست ۵که در اواسط سال ۱۳۹۶ اجرایی، سکو MSG-8 کے از نسے دوم متیوسے بود بے طول جغرافیایی ۴۱/۵ درجه و به بالای اقیانوس هند منتقل شد. بنابراین با افزایش باز مکانی هوایی بین این سنجنده و سکو MSG-10 که هر دو حامل یک سنجنده مشابه هستند، اختلاف زاویه دید بین دو سنجنده افزایش یافته و امکان تشکیل یک زوج استریو

- [\] Flexible combined imager
- ^{*} Advanced baseline imager
- ^{*} Advanced Himawari imager
- * Acquisition repetition cycle
- ^a EUMETSAT

مناسب با حد تفکیک مکانی بالاتر از قبل برای برآورد

ارتفاع ابر فراهم آمده است. از جمله مزیتهای این انتقال در سینجنده SEVIRI-IODC و تغییر سیاسیتهای يومتست که به بهبود نتايج اين مطالعه نيز کمک کرده است می توان به موارد زیر اشاره کرد: ۱- حد تفکیک زمانی اخذ دادهها از ۳۰ دقیقه در نسل اول سنجنده متیوست به ۱۵ دقیقه تنزل داشته است. در نتیجه فاصله زمانی اخذ داده ها کمتر شده و امکان بررسی تغییرات آب و هوایی و ابرها با سرعت بیشتری ممکن شده است. ۲- حدتفکیک مکانی در این سنجنده در مقایسه با نمونه پیشین خود سه برابر شده است به نوعی که در نسل اول آن حدتفکیک مکانی ۳ کیلومتر بوده و در این سنجنده برابر با یک کیلومتر است. ۳-بعلاوه در نسل اول این سنجنده تنها دارای ۴ باند طیفی بود، در حالی که با تغییرات ذکر شده در بالا، هم اکنون این سنجنده دارای ۱۱ باند طیفی و یک باند با حدتفكيك مكانى بالاست.

در این مقاله برای اولین بار در سطح بینالمللی از ترکیب اطلاعات دو سنجنده نسل دوم ماهواره متیوست بهره برده شده و هر دو سنجنده دارای مزیتهای ذکر شده در بالا هستند (تنها تفاوت این سنجندهها در طول جغرافیایی تصویربرداری آنهاست). بنابراین در کنار سایر نوآوریهای این مطالعه تاثیر مزیتهای فوق نیز بررسی خواهد شد. از دیگر مزایای مطالعه حاضر میتوان به طور اجمالی و موردی به نکات زیر اشاره کرد. اولا، با توجه به اینکه مدل پیشنهادی ژیواستریو برای آشکارسازی ابر تنها از اطلاعات هندسی تصاویر بهره میبرد و اطلاعات بازتابندگی دخیل نمی شوند، بنابراین امکان تفکیک ابر از نواحی برفی براحتی امکان پذیر می شود. این ویژگی را می توان یکی از مهمترین مزیتهای این مدل دانست چراکه یکی از دشوارترین و پرچالشترین بخشهای مطالعه در خصوص ابرها در حال حاضر ارائه روشی برای تفکیک پیکسلهای ابرها از پیکسلهای حاوی برف در تصاویر ماهوارهای است. یکی دیگر از مزیتهای مـدل پیشنهادی ژیواستریو که مبتنے بر فتوگرامتری

ماهوارهای است، استقلال این مدل از دادههای جانبی یا فرضیات مربوط به وضعیت جو در زمان اخذ داده است. در این روش اهمیتی ندارد که ابر در زیر ناحیه تروپوپاز یا بالای آن باشد و همچنین نیازی به هیچ فرضی در خصوص مقدار گسیلمندی ابر وجود ندارد. اینگونه از فرضیات معمولا در سایر مدلهای برآورد ارتفاع ابر به عنوان فرضيات اوليه و كليدي شناخته مي-شوند [۳, ۲۲, ۲۴]، که در روش حاضر به طور کامل حذف شدهاند. از طرف دیگر در این مطالعه با در نظر گرفتن سه تصویر متوالی برای تشکیل زوجهای استریو تلاش بر آن بوده است که خطای حرکت ابر نیز در حین تشکیل زوجهای استریو حذف شود. پیشتر در [۳۷, ۳۷] از باند HRV در سنجنده متیوست به منظور استخراج اطلاعات پوشش ابر ۱ استفاده شده بود، و نتایج این مطالعه حاکی از آن بود که با افزایش حدتفکیک مکانی در باند HRV نسبت به محصولات موجود ابر در یومتست که برمبنای سایر باندهای متیوست هستند، دقت استخراج اطلاعات ابر افزایش یافته است. به عنوان مثال امکان شناسایی ابرهای سیریوس^۲ و باریک در محصولات موجود ابر وجود نداشته و یا اینکه کل محدوده ابری تشخیص داده شده است که به ترتیب می تواند خطاهای تخمین کمتر^۳ یا تخمین بیش از حد^۴ را به خروجیهای مدل اعمال کند. اما لازم به ذکر است که در [۳۶, ۳۷] همچنان از روش حدآستانه گذاری در مقادیر طیفی استفاده شده است که می تواند به خودی خود دارای خطای انتخاب حد آستانه باشد. بنابراین، یکی دیگر از مزیتهای مدل ژیواستریو عدم وابستگی این مدل به حدآستانه گذاریهای تجربی توسط نیروی انسانی است.

در یک جمعبندی کلی میتوان بیان کرد هدف در این

سنجنده SEVIRI که بخشی از آنها در بالا ذکر شد، و بهره گیری از دو زوج استریو، ارتفاع ابر با بیشترین حدتفکیک مکانی انجام گیرد و از اختلاف ارتفاع موجود بین ابرها و سایر عوارض سطح زمین برای آشکارسازی ابرها بهره برده شود. در ادامه کلیات بیشتری از داده-های مورد استفاده، روش مورد استفاده و نتایج حاصله برای انتخاب همزمان زوج تصاویر استریو که از دو

سنجنده متفاوت اخذ شدهاند و بهبود برآوردهای ارتفاعی، جزییات زیادی هستند که لازم است مورد توجه قرار گیرد. به عنوان مثال باید به زمان دقیق اخذ تمامی پیکسلهای تصویری و موقعیت دقیق جغرافیایی آنها کاملا توجه داشت. به این منظور در مرحله اول لازم است که اطلاعات موقعیتی دقیق ماهواره در اختیار باشد. گرچه اصولا انتظار میرود که دادههای ماهوارهای زمین ثابت موقعیت ثابتی در فضا داشته باشند، اما تصویر اطلاعات مداری آنها بر روی سطح زمین نه تنها یک نقطه ثابت نیست بلکه تقریبا به شکل عدد 8 است. بنابراین با توجه به اینکه موقعیت ماهواره میتواند نسبت به وضعیت اسمی خود تا چندین درجه هم جابجایی داشته باشد، لذا لازم است موقعیت ماهواره را با تابعی از زمان محاسبه کرد. گرچه پارامتریزه کردن اطلاعات مداری ماهواره کار سادهای نیست اما میتوان تقریب خوبی از آن را با بهرهگیری از یک چندجملهای درجـه سـه کـه ضـرایب آن در فـراداده مـاهوارههـای متیوست موجود است برآورد نمود [۳۸]. برای آنکه در تشكيل زوج استريو بيشينه اطلاعات مكانى بكار گرفته شود، بنابراین باند^۵/*HRV* (۶/۰–۹/۰ میکرون) از هر دو سنجنده مورد استفاده قرار گرفت.

تحقیق آن است که با بهرهگیری از تمامی مزیتهای

ارائه شده است.

۲ – دادههای مورد استفاده

[\] Cloud Mask

^r Cirius

[&]quot; Under estimation

^{*} Over estimation

^a High Resolution Visible

۲-۱- سنجنده SEVIRI بر روی سکو MSG-10 با ۲
مهمترین بخش سکو MSG رادیومتر SEVIRI با ۱۲
باند طیفی از محدوده مرئی تا مادون قرمز حرارتی است
که با دوره گردش ۱۵ دقیقهای برای ناحیه اسمی
تصویربرداری ماهواره در طول جغرافیایی ۰ درجه است.
ماند با تفکیک مکانی بالا (HRV) در این سنجنده دارای
حد تفکیک ۱ کیلومتر در بخش نادیر تصویر است، در
کیلومتر است. باند تصویری منتخب در سطح ۱۸ از
دادههای یومتست گرفته شده است. در این سطح، دادههای تصویری از نقطه نظر رادیومتریک و اطلاعات

آشکارسازی ابر به روش استریوگرافی با استفاده از ... سحر دهنوی و همکاران

مکانی (Geolocation) پییش پردازش و ترمیم (Rectified) شدهاند و آماده سایر پردازشها برای استخراج محصولات هواشناسی هستند[۳۹]. با توجه به اینکه ابرها با سرعت زیادی جابجا می شوند و ممکن است در فاصله زمانی ۱۵ دقیقه حتی تا ۵۰ پیکسل جابجایی داشته باشند، بنابراین بهتر است از سه تصویر جابجایی داشته باشند، بنابراین بهتر است از سه تصویر متمادی برای تشکیل صفحات اپی پلار استریو استفاده شود تا بتوان میانگین زمانی اخذ این تصاویر را به عنوان یک زمان واحد برای برآورد ارتفاع ابر در نظر گرفت. دو تصویر اول از سنجنده با طول جغرافیایی صفر درجه انتخاب شدند (شکل(۱)).



الف) تصویر سنجنده MSG-10 در تاریخ نهم آگوست ۲۰۱۷، ساعت ۱۲:۱۲:۵۷.



ب) تصویر سنجنده MSG-10 در تاریخ نهم آگوست سال ۲۰۱۷، ساعت ۱۱:۵۷:۵۷



پ) MSG-8 در تاریخ نهم آگوست سال ۲۰۱۷، ساعت ۱۱:۵۸:۰۲

شکل ۱: الف و ب) تصاویر سنجنده (*SEVIRI (λ* = 0، که به صورت متوالی و با فاصله زمانی ۱۵ دقیقه از یکدیگر اخذ شدهاند. پ) تصویر سنجنده (*SEVIRI (λ* = 41.5°.

۲-۲- ســنجنده SEVIRI بـر روی ســکو MSG-8) (۱ODC)

در این سکو نیز سنجنده کاملا مشابه با ماهواره متیوست10- با خصوصیات کاملا مشابه اخذ تصویر می-کند با این تفاوت که طول جغرافیایی مرکز تصویری در این سکو، طول جغرافیایی ۴۱٬۵ درجه است. باند با تفکیک مکانی بالا (HRV) در این سنجنده با حد تفکیک ۱ کیلومتر نیز به عنوان یکی از اجزای زوج استریو مورد استفاده قرار گرفته است. باند تصویری

منتخب در سطح ۱٫۵ از دادههای یومتست گرفته شـده است.

۳- روش اســــتریوگرافی پیشــــنهادی (مــــدل ژیواستریو)

در این پژوهش روش مورد استفاده برای بر آورد ارتفاع ابر مبتنی بر جابجایی ناشی از اختلاف ارتفاع ابر و اثر پارالاکس است. این روش با استفاده از دادههای اخذ شده از دو رادیومتر چندطیفی یکسان و تقریبا به صورت همزمان و بر روی سکوهای زمین ثابت متفاوت پیادهسازی خواهد شد. با توجه به اینکه زوج دادههای تصویری ورودی در روش استریو گرافی پیشنهادی داده-

¹ Indian Ocean Data Coverage

نشریه علمی – مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال یازدهم • شماره دوم • تابستان ۱۴۰۲

های زمین ثابت هستند، مدل پیشنهادی در این تحقیق با عنوان مدل ژیواستریو معرفی شده است.

در این مدل، مقدار پارالاکس میتواند به صورت فاصله بین موقعیت ظاهری یک ابر مشابه از دو نقطه مشاهداتی متفاوت اندازه گیری شود و مسلما با توجه به اصول اولیه فتو گرامتری مقدار آن متناسب با مقدار ارتفاع ابر از سطح زمین میاشد. با توجه به اینکه موقعیت معلوم ماهواره و تصویر زمین مرجع شده معرف هندسه تصویربرداری است، مقدار ارتفاع ابر را میتوان SEVIRI در سه گام کلی تخمین زد. اول، دادههای -SEVIRI در سه گام کلی تخمین زد. اول، دادههای SEVIRI (λ

⁰°) تصویر می شوند. سپس با استفاده از یک فرآیند تناظریابی اتوماتیک هر دو تصویر هم مرجع می شوند و نقاط گرهی و مشترک بین دو تصویر شناسایی و استخراج می شوند. در نهایت پس از تشکیل خطوط مسیر دید ماهواره ها به نقاط مشاهداتی استخراج شده، از معادله تقاطع این خطوط برای برآورد ارتفاع ابر استفاده می شود. ترتیب این مراحل در روندنمای شکل(۲) نمایش داده شده است. در ادامه جزییات مراحل مورد نیاز برای اجرای مدل ژیواستریو در زوج تصاویر زمین ثابت متیوست به تفصیل بیان شده است.



شکل۲: روندنمای مدل ژیواستریو پیشنهادی برای آشکارسازی ابر برمبنای مقدار ارتفاع

۳-۱- یکسانسازی شـبکه مرجـع زوج تصـاویر استریو

با توجه به اینکه تصاویر اخذ شده با سنجنده SEVIRI و بر روی سکوهای متفاوت اخذ شدهاند، باید برای برآورد مقدار پارالاکس، تصویرهای اخذ شده از ماهوارههای متفاوت، در یک شبکه مختصاتی واحد یکمرجعسازی شوند. به این معنا که تمامی دادهها باید دارای مرجع مکانی، سیستم تصویر^۱، دیتوم ژئودتیک^۲ و حد تفکیک

یکسان باشند. پس از انجام این مرجعسازی میبایست تمام خطوط ساحلی در همه تصاویر بر هم منطبق شوند. به این ترتیب در صورتی که یک عارضه دارای ارتفاع باشد، میبایست موقعیت مکانی آن در سیستم مختصات تصویری متناسب با مقدار ارتفاع آن تغییر کند.

در تصاویر زمین ثابت متیوست، تمامی دادههای

^v Geodetic datum

[\] Map projection

تصویری در یک سیستم تصویر عمومی پرسپکتیو^۱ که یک سیستم تصویر استاندارد نیست، تصویرسازی شده-اند. بنابراین به منظور همسان سازی سیستم تصویر در هر دو سنجنده لازم است یکی از اجزای استریو بر روی شبکه زوج استریو دیگر منطبق شود. به این منظور میتوان از یکی از انواع روشهای نمونهبرداری مجدد نظیر همسایگی نزدیک^۲، خطی^۳، دوسویه^۴، سه خطی^۵، نظیر همسایگی نزدیک^۲، خطی^۳، دوسویه^۴، سه خطی^۵، تداخل مکعبی⁹ و درونیابی وزندار معکوس^۷ بهره برد. در این مطالعه، سنجنده SEVIRI-IODC با استفاده از درونیابی وزندار معکوس از سیستم تصویر اولیه خود بر روی شبکه مختصاتی SEVIRI تصویر شده است (شکل(۳)).

۲-۳- تناظریابی اتوماتیک تصویری

در اثر تناظریابی، زوج نقاط مشترک بین دو تصویر ماهوارهای تعیین می گردند. در مطالعاتی که پیش از این در زمینه استریوسازی زوج تصاویر انجام گرفته است[۱۶, ۱۷] با توجه به اینکه سنجندههای تصویری (و در نتیجه حدتفکیک مکانی و تابع پاسخ طیفی) متفاوت بودند، نتایج دارای کیفیت نسبتا پایینتری بودهاند. در این پژوهش با وجود اینکه تفاوتهایی در دو مندسه دید دارند، اما از دو سنجنده یکسان SEVIRI بهره برده شده است. علاوه بر مشابه سازی سیستم بهره برده شده است. علاوه بر مشابه سازی سیستم حدتفکیک مکانی تصویری نیز نسبت به مطالعات پیشین که بر روی خاکسترهای آتشفشانی انجام گرفته بود، افزایش داشته است [۱٫ ۲۷].

با توجه به تفاوتهایی که هنوز در دو زوج استریو از

- [°] Cubic Convolution
- ^Y Inverse Weighted Interpolation

آشکارسازی ابر به روش استریوگرافی با استفاده از ... سحر دهنوی و همکاران

دیدگاه نوردهی و زاویه دید سنجندهها وجود دارد، بنابراین شکل ظاهری یک عارضه مشابه در دو تصویر کاملا متفاوت دیده می شود، به این ترتیب توصیفگرهای محلی^ یک عارضه مشابه در تصویر متفاوت خواهند بود. با تستهای متعددی که در این مطالعه انجام گرفت مشخص شد که نرمافزارها و روشهای متداول فتـوگرامتری و سـنجشاز دوری مثـل انـوی^۹، اردس^{۱۰}، ژهٔوماتیکا٬٬ و ال-پی-اس٬٬ قـادر بـه شناسـایی نقـاط گرهی مشترک و همبستگی^{۱۳} بین دو تصویر نیستند. ییشتر روشهای تناظریابی اتوماتیک متفاوتی برای حل این مسئله توسط محققین متفاوت مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند که میتوان آنها رو به دو دسته روشهای ناحیهمبنا^{۱۴} و ویژگیمبنا^{۱۵} تقسیمبندی كرد[۴۰-۴۴]. علاوه بر اين با توجه به مطالعات صورت گرفته، دیده شد که حتے با تعریف قیود مقیاس و جهت هم امکان شناسایی تعداد کافی از نقاط همبستگی در تصاویر هواشناسی متیوست فراهم نخواهد آمد[18]. به منظور برآورد مقدار همبستگی ب_ین زوج تص_ویر، از روش پیش_نهادی در [۱۶, ۴۵] استفاده شد، که در آن از روابط مکانی سخت گیرانه تری برای شناسایی عوارض همسایه که مبتنی بر همسایگی محلی هستند و روش تحلیل پنجره متحرک^{۱۶} بهره برده شده است. مزیت این روش مکانمبنا، نسبت به روشهای عارضهمبنا آن است که در نتیجه آن تعداد نقاط همبسته بیشتری شناسایی می شوند [۱۶]. گرچه در نتیجه تناظریابی تصویری عموماً مقدار شیفت

[^] Local descriptors

^{&#}x27; General near-side perspective

^r Nearest Neighbour

^v Linear

^{*} BiLinear

^a TriLinear

[•] ENVI

[•] ERDAS

[&]quot; GEOMATICA

۱۲ LPS

¹^r Correlation

¹[†] Area-based

¹ *Feature-based*

¹⁹ Moving window

بین یک زوج تصویر برآورد می شود، اما در روش مورد استفاده در این مطالعه به منظور در نظر داشتن اثر باد در جابجایی ابرها همیشه از سه تصویر متفاوت شامل

یک تصویر SEVIRI-IODC و دو تصویر SEVIRI که دقیقا در فاصله زمانی کوتاهی قبل و بعد از تصویر SEVIRI-IODC اخـذ شـدهانـد، بهـره بـرده مـیشـود.

مرکزیت آن پیکسلی با مختصات تصویری (C,L)

است. (شكل(۴-الف)): پنجره جستجو (نارنجی

کمرنگ) را در تصویر دوم نشان میدهد که در

مرکزیت آن پیکسل با مختصات (C,L) قرار دارد

- در این مرحله در داخل پنجره جستجو، یک پنجره متحرک (با تعداد nL1 سطر و nC1 سـتون) و به

بزرگی پنجره مرجع در تصویر اول انتخاب میشود.

پنجره جستجو نیز در تصویر دوم به رنگ زرد

- این پنجره در داخل محدوده پنجره جستجو حرکت

کرده و برای هر بار جابجایی پنجره متحرک مقدار شاخص همبستگی (^۲/۲) بین پنجره مرجع و

پنجره متحرک تصویر دوم محاسبه می شود

- قابل ذکر است که در رابطه (۱)، CI مقدار شاخص

همبســتگی بــین دو پنجـره جســتجو، DNm_{i,j} و

DNr_{i,i} مقادیر درجات خاکستری پنجره متحرک

(تصویر دوم) و پنجره جستجو مرجع (تصویر اول)،

⁷ Correlation Index

(نارنجی تیرہ)).

نمایش داده شده است.

(رابطه(۱)).



شکل۳: تصویر سنجنده MSG-8 در تاریخ ۲۰۱۷۰۸۰۹، ساعت ۱۱:۵۸:۰۲ پس از تصویرسازی در شبکه مرجع واحد با اسنفاده از درونیابی وزندار معکوس

با توجه به اینکه موقعیت ابرها در سه زمان متفاوت متناسب با سه تصویر مورد استفاده تغییر کرده است، بنابراین فرض برآن است که موقعیت و ارتفاع ابر در لحظه برداشت تصویر SEVIRI-IODC از نظر زمانی و با استفاده از تصویر ISVIRI برداشت شده است. بنابراین در این مطالعه دوبار عملیات تناظریابی تصویری بین سه تصویر و با ثابت بودن جزء SEVIRI-ODC در این سه تصویر و با ثابت بودن جزء SEVIRI این روش عملیات اجرا می شود. در ادامه جزییات بیشتر این روش تناظریابی به تفصیل بیان شده و شامل گامهای زیر است[16, ۴۵]:

- ابتـدا براسـاس پیکسـل مـورد نظـر (پیکسـلی بـا مختصـات تصـویری C و L) یـک پنجـره جسـتجو $(n_{L1}$ نعداد خطوط n_{C1} و تعداد ستونهای (n_{L1}) از تصـویر اول انتخـاب مـیشـود (شـکل(۴-ب)): پیکسـل C و L بـا رنـگ قرمـز و چـارچوب پنجـره جستجو با رنگ زرد نمایش داده شدهاند).

- در تصویر دوم یک پنجره جستجو در نظر گرفته می شود (با تعداد خطوط و ستونهای بیشتر از پنجره جستجو مرجع nc1 > nc2 و nL1 > nL2) کـه

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-04]

Neference subset

سحر دهنوی و همکار ان

بیشینه است را ثبت می کنیم. در شکل(۴)، مرکز پنجره متحرک با بیشترین مقدار CI به رنگ قرمز و مرکز قاب پنجره مرجع به رنگ نارنجی تیره نمایش داده شدهاند. به این ترتیب از جابجایی این دو مرکز به اندازه *D* در راستای ستون و *L* در راستای سطر نسبت به هم مشخص است که ابر در این شکل به میزان دو ستون و سه سطر جابجایی داشته است. µr و 2µ هم به ترتیب مقادیر میانگین درجات خاکستری در پنجره جستجو مرجع و پنجره جستجو متحرک، i و j هم مقدار جابجایی پیکسل مرکزی بین پنجرههای جستجوی مرجع و متحرک هستند.

- پس از محاسبه مقادیر شاخص همبستگی CI در پنجـره متحـرک در موقعیتهـای متفـاوت، مقـدار شیفتی (موقعیتی از پنجره متحرک) کـه در آن CI

$$CI = \frac{\sum_{i=1-\frac{n_{C1}}{2}, j=1-\frac{n_{L1}}{2}}^{i=\frac{n_{C1}}{2}-1, j=\frac{n_{L1}}{2}-1} (DNr_{i,j}-\mu r) . (DNm_{i,j}-\mu s)}{\sqrt{\sum_{i=1-\frac{n_{C1}}{2}, j=1-\frac{n_{L1}}{2}}^{i=\frac{n_{C1}}{2}-1} (DNr_{i,j}-\mu r)^{2}} . \sqrt{\sum_{i=1-\frac{n_{C1}}{2}, j=1-\frac{n_{L1}}{2}}^{i=\frac{n_{C1}}{2}-1} (DNm_{i,j}-\mu s)^{2}}$$
(1)



شکل ۴: نمایی شماتیک از روش تناظریابی ناحیه مبنا [۱۶]

پنجره با ابعاد بزرگ نمی تواند عوارض کوچکتر را شناسایی کند اما عوارض بزرگتر را راحتتر شناسایی و استخراج می کند. بنابراین برای بهینهسازی تناظریابی، بهترین راهکار استفاده از تناظریابی در سطوح متفاوت هرمهای تصویری^۱ است. هرمهای تصویری به نوعی به این ترتیب در نهایت با محاسبه مقدار شیفت (جابجایی) بین دو تصویر میتوان نقاط متناظر زوج تصویر را استخراج کرد. با توجه به اینکه در این مطالعه از سه تصویر استفاده میشود، بنابراین محاسبه شیفت دوبار انجام میگرد تا نقاط متناظر هر سه تصویر استخراج شوند. نتایج این تناظریابی تصویری هم مسلماً وابسته به اندازه ناحیه جستجو و پنجره متحرک است.

[\] Image pyramids

نمایش تصویر اولیه در حدود تفکیک مکانی (متفاوت هستند. به نحوى كه پايينترين سطح هرم تصوير اوليه بوده و هرمهای سطوح بالاتر بازسازی مجدد سطح پایینی هرم در یک حدتفکیک متفاوت هستند. در سطوح بالایی هرم حدتفکیک متناسب با ضریب هرم انتخابی٬ تغییر می کند. در این مطالعه مشابه با روش زاکسک (۲۰۱۳) [۱۶]، از ضریب ۳ استفاده شده، بنابراین هر سطح بالایی هرم، میانگین ۳×۳ از پیکسلها در سطح پایینی است. به این ترتیب مقدار شیفت برای تمامی سطوح هرم محاسبه می شود و اگر مقدار CI در سطح انتهایی هرم (با کمترین حد تفکیک مکانی^۳) کمتر از ۰٫۷ باشد، به این ترتیب مقدار جابجایی محاسبه شده غیرقابل اعتماد تلقی شده و مقدار آن صفر در نظر گرفته می شود. در این مطالعه، با توجه به نتیجه خوبی که از پژوهش [۱۶] حاصل شده بود، ابعاد ینجره متحرک ۷×۷ و ابعاد ینجره جستجو ۱۳×۱۳ انتخاب شد.

پس از تکمیل فرآیند تناظریابی بین دو تصویر، روشن است که با داشتن موقعیت ابر و هر دو ماهواره امکان تشکیل خطوط مسیر دید دو ماهواره فراهم شده و از تقاطع این خطوط مقدار ارتفاع ابر قابل برآورد خواهد بود.

۳-۳- عملیات تقاطع و بر آورد ار تفاع ابر پس از عملیات تناظریابی، مقادیر مختصاتی هار ساه تصویر برآورد و تعیین خواهد شد. اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه مقدار طول و عرض جغرافیایی پیکسلها معمولاً در فراداده ٔ ماهواره موجود است و بخشی از داده مـاهوار های^۵ اسـت. بعـلاوه اطلاعـات مـوقعیتی

- [\] Multi-resolution
- ^r Chosen pyramid factor
- " Coarser resolution
- * metadata
- ^a Satellite dataset

ماهواره^ع نیز در قالب فراداده ماهواره در اختیار قرار می-

پذير

- در این مرحله معادله پارامتریک سهبعدی بین خطوط تشكيل دهنده مختصاتهاي مجازي تصوير SEVIRI و موقعیت مکانی ماهواره SEVIRI و خوط متناظر که متشکل از موقعیت ماهواره -SEVIRI *IODC* و پیکسلهای متناطر زمینی در این تصویر

^{\.} Reference ellipsoid

۲۸

^{*} Satellite ephemerides

^v Geographic coordinate system

^A Geocentric Cartesian coordinate system

[°] Radius

آشکارسازی ابر به روش استریوگرافی با استفاده از ...

بین دو نقطه برآورد نمود، کـه در ایـن مقالـه موقعیـت میانگین دو نقطه به عنوان موقعیت ابر در نظر گرفته

می شود. یکی از مزیتهای این نوع محاسبه مقدار ارتفاع

به روش تقاطع آن است که می توان تخمینی از کیفیت

دادههای تصویری مورد استفاده برای ارتفاع ابر شامل

باندهای HRV از دو سنجنده یکسان SEVIRI که به

ترتیب بر روی دو سکو در طولهای جغرافیایی ۰ و ۴۱٬۵

درجه بودهاند. علت عدم استفاده از حالت تصویر برداری

RSS^۴ آن است که در این مود طول جغرافیایی مرکز

تصویر ۹٫۵ درجه شرقی خواهد بود که در نتیجه مقـدار

طول باز مکانی فضایی بین دو سنجنده (B) کاهش

خواهد یافت. در بررسیهای که بر روی روش دقت

برآورد ارتفاع از یک زوج استریو انجام گرفته است، رابطه (B/H) در فتوگرامتری که به عنوان نسبت باز به

ارتفاع^۵ شناخته می شود معرفی شده است[۴۶]. دقت برآورد ارتفاع را متناسب با این نسبت دانستهاند. به نحوى كه افزايش اين نسبت موجب افزايش دقت

برآورد ارتفاع (کاهش خطای ارتفاعی)، میشود. بنابراین

روشن است که افزایش طول باز مکانی *B* موجب بزرگتر

شدن این نسبت و در نتیجه دقت برآورد ارتفاع می شود.

بنابراین در این مطالعه از دو تصویر با بیشترین بازمکانی

ممکن بهره برده شد. از طرف دیگر یکی از دلایـل ذکـر

شده در مطالعات پیشین [۱۷] برای بهرهمندی از باند

RSS آن بوده است که فاصله زمانی اخذ دو تصویر

تقاطع برمبنای فاصله تقاطع^۳ دو خط برآورد نمود.

زوج استريو را تعيين مي كند.

سحر دهنوی و همکار ان

۴- نتايج

هستند، تعریف می شود.
وج خطوط هر زوج استریو را تعیین می کند.
- حل سیستم معادلات خطی رابطه (۴)، محل تقاطع

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{IODC} + t_{IODC} . \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix}_{IODC} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{SEVIRI} + t_{SEVIRI} . \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix}_{SEVIRI}$$

(۴) ابطه

-در رابطه(۴)، $\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{SEVIRI}$ و $\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{IODC}$ (۴)، در رابطه نجندههای SEVIRI-IODC و SEVIRI ھای مکـانے، س در مدار خود، $\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix}_{SEVIRI}$ و $\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix}_{IODC}$ در مدار خود، جهت خطوط دو سکو (بردارهای CI و CS) و در نهایت t_{SEVIRI} و t_{IODC} نيز مجهولات تعيين کننده موقعيت نقطه تقاطع هستند. با توجه به اینکه سیستم معادلات رابطـه (۴)، يـک سيسـتم معـادلات فـرامعين اسـت بنابراین با استفاده از روش کمترین مربعات^۲ قابل حل خواهد بود. در نهایت مقادیر مختصاتی در سیستم کارتزین به سیستم مختصات جغرافیایی بازگردادنده می شود تا به این ترتیب مقدار ارتفاع از سطح بیضوی تعیین شود. به این منظور از رابطه (۵) بهره بـرده مـی-شود.

 $tan\lambda = \frac{1}{v}$

با توجه به ماهیت گسسته پیکسلهای تصویری باید توجه داشت که خطوط دو سنجنده هیچگاه همدیگر را قطع نمی کنند، بلکه به نوعی از هم عبور می کنند. به این ترتیب سیستم معادلات رابطه (۴) به دنبال تعیین نقطه تقاطع واقعى اين خطوط نيست، بلكه به نوعى نزدیکترین زوج نقاط در این دو خط را تعیین خواهد کرد. به این ترتیب مقدار ارتفاع ابر را هم میتوان با استفاده از موقعیت یکی از این نقاط یا موقعیت میانگین

\ overdetermined

^{*} Least Square

^v Intersection distance

^{*} Rapid Scan Service Mode

^a Base to Height Ratio

نشریہ علمی – مہندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال یازدهم • شماره دوم • تابستان ۱۴۰۲

کمینه شود. با توجه به تنظیمات یکسان در دو سنجنده SEVIRI مورد استفاده در کار پژوهشی حاضر به نحوی که هر دو هر ۱۵ دقیقه یکبار تصویربرداری می کنند، بنابراین اختلاف زمانی اخذ تصاویر در این دو سنجنده بسیار کوتاه (کمتر از یک دقیقه است). به عنوان مثال با نگاهی به زمان اخذ تصویر در دادههای مورد استفاده در این مطالعه در شکل (۱) مشاهده می-شود که اختلاف زمانی اخذ دو تصویر تنها ۵ ثانیه بوده است. بنابراین انتظار میرود برآوردهای ارتفاعی با استفاده از دادههای نسل جدید متیوست، بیشترین دقت قابل برآورد را ارائه كنند. با توجه به اينكه هر دو تصوير توسط يک سنجنده يکسان اخذ شدهاند بنابراين اختلاف زيادى بين ابعاد پيكسلها وجود نخواهد داشت (یک کیلومتر) و عوارض به جز اختلاف زاویه دیدی که باهم دارند، تقريبا يكسان ديده مى شوند. البته توجه به این نکته ضروری است که حدتفکیک مکانی از نادیر به سمت حاشیه در تصویر متیوست کاهش مییابد، به این ترتیب انتظار می رود که تصویر IODC در ناحیه اروپا

حدتفکیکی در حدود ۳ کیلومتر داشته باشد که دقت برآورد ارتفاع و تناظریابی را اندکی تحت تاثیر قرار می-دهد.

فاصله بین خطوط اپیپلار (خطوط تقاطع در زوج استریو)، نشاندهنده دقت برآورد ارتفاع ابر است (شکل(۵)). این خطوط که در واقع خطوط مسیر دید سنجنده به عارضه زمینی یا ابرها هستند، هیچگاه در دادههای تصویری مورد استفاده، تقاطع کامل ایجاد نمی شود. زیرا دادههای مورد استفاده تصویری در یک فضای گسسته هستند. بنابراین کمترین فاصله بین این فضله موجود در محل تقاطع شناخته شده و فاصله موجود در محل تقاطع میاری از عدم قطعیت در نتایج برآورد ارتفاع خواهد بود. با توجه به اینکه این فاصله معیاری از عدم قطعیت است، بنابراین باید تا حد مکان کوچک باشد. هرچه این فاصله کمتر باشد، رنگ پیکسلهای شکل(۵–الف))، تیرهتر و قطعیت مدل ژیواستریو بیشتر خواهد بود.





شکل ۵: الف) فاصله خطوط اپیپلار (*km*)، ب) مقدار ارتفاع بالای ابر بر آورد شده

با توجه به حضور ابرهای تکهای و وجود مرزهای ساحلی در دماغه ایتالیا، شناسایی ابرها و نمایش

خروجیها در این ناحیه سادهتر است. بنابراین خروجیهای نمایش داده شده در شکلهای (۹)، در این آشکارسازی ابر به روش استریوگرافی با استفاده از ... سحر دهنوی و همکاران

ناحیه متمرکز شده اند.

با نگاهی به تمامی بخشهای شکل(۵-ب))، پر واضح است که ابرها به علت دارا بودن ارتفاعی بالاتر از سطح زمین به خوبی نسبت به سایر پیکسلهای تصویر تفکیک و شناسایی شدهاند. بنابراین روشن است که روش مورد مطالعه به نتایج خوبی منتهی شده است. با این وجود برای تفکیک سادهتر ابرها از سایر پیکسلهای موجود در تصویر به نظر میرسد استفاده همزمان از اطلاعات فاصله تقاطع خطوط اپیپلار، مقدار ارتفاع بالای ابر و پارالاکس به صورت تصویر ترکیب رنگی میتوان ابرها را با دقت بالاتری نسبت به سایر پیکسلها تفکیک نمود و

همچنین نتایج از نظر نمایشی ملموستر خواهد بود. بنابراین در شکل(۶) نمایی از تصویر ترکیب رنگی این پارامترها نمایش داده شده است. جهت مقایسه بهتر خروجیها، ناحیه بزرگنمایی در این تصویر بخش متناظر بزرگنمایی شده در شکل(۶) در نظر گرفته شده است. آنچنان که در شکل(۶) مشاهده می شود، نواحی با پارالاکس بیشتر که به رنگ قرمز در تصویر نمایش داده شده است، نواحی حضور ابرها هستند، که کاملا همسو با مفهوم پارالاکس و ارتفاع بیشتر ابرها نسبت به سطح زمین است.



شكل ۶: تصوير تركيب رنگی (RGB) محدوده مطالعاتی. R: پارالاكس، G: فاصله تقاطع خطوط اپيپلار، B: ارتفاع بالای ابر

با بررسی ظاهری شکل(۶) مشاهده می شود که در نواحی با پارالاکس بیشتر (رنگ قرمز بیشتر)، ابرهای بیشتری حضور دارند. از آنجاکه پارالاکس، نشاندهنده مدل استریو، با توجه به مفهوم پارالاکس، نشاندهنده ارتفاع بیشتر عوارض است؛ به این ترتیب خروجی شکل(۶) دارای تطابق کامل با این مفهوم است. اما با توجه به خروجیهای بدست آمده در بالا و آنچه پیشتر بیان شد، ما در این تحقیق به دنبال پیکسلهایی هستیم که دارای بیشترین ارتفاع یا پارالاکس (*q* یا *CTH*) و کمترین عدم قطعیت (*b*) در برآورد ارتفاع

باشند. بنابراین می توان با بهرهمندی از یک فضای

دوبعدی^۱ و اعمال شرط در این فضا، پیکسلهای مناسب را به عنوان پیکسلهای ابر تفکیک نمود. با تمرکز بر ناحیه کوچکی از تصویر این روند جداسازی پیکسلهای ابری در شکل(۷) نمایش داده شده است. در این شکل باند اول نماینده مقدار پارالاکس (که با درجات خاکستری تصویری نمایش داده شده است) و باند دوم نماینده مقدار فاصله تقاطع (به عبارتی میزان عدم قطعیت در برآورد ارتفاع) هستند. بنابراین برای یافتن پیکسلهایی که بهترین نمایندگان ابر هستند لازم است پیکسلهایی که در باند یک دارای مقادیر بزرگتر و در

[\] 2D scatter plot

منظور در فضای دوبعدی شکل(۷-ب)، از تعریف ناحیه آبی رنگ با این هدف استفاده شده است. به این ترتیب که پیکسلهایی که دارای مقدار پارالاکس زیاد و مقدار کم فاصله تقاطع هستند به عنوان

پیکسلهای ابر آشکارسازی میشوند. در شکل(۷-پ)، پیکسلهای ابری جداسازی شده به روش استریو بر روی تصویر خام ورودی اولیه نمایش داده شدهاند.







ت)



شکل ۷: جداسازی پیکسلهای ابری با استفاده از فضای دوبعدی. الف)خروجی ترکیب رنگی شکل ۱۲ که در ناحیه ایتالیا بزرگنمایی شده است. ب) فضای دوبعدی برای جداسازی پیکسلهای ابری، در این فضا باند یک معادل اطلاعات پارالاکس و باند دو معادل اطلاعات عدم قطعیت در برآورد ارتفاع است. پ) ناحیه آبی رنگ در این قسمت معادل با پیکسلهای جداسازی شده در فضای دوبعدی قسمت (ب) و به رنگ آبی است که در تصویر اولیه بازیابی و نمایش داده شدهاند.

> با نگاهی به این تصویر کاملا آشکار است که معیار ارتفاع به خوبی در آشکارسازی ابرها عمل کرده و امکان استخراج اطلاعات ابر با حد تفکیک مکانی بالاتر را از دادههای HRV فراهم نموده است.

> از طرف دیگر به منظور ارزیابی نتایج آشکارسازی حاصل از مدل استریو، سه روش آشکارسازی ACE و MF و MF بر روی تصاویر چندطیفی^۱ متیوست پیادهسازی شدند. لازم به ذکر است که مروری کلی بر پژوهشهای پیشین حاکی از آن است که روشهای آشکارسازی مذکور در تصاویر هواشناسی و به منظور شناسایی ابر استفاده نشدهاند. بنابراین نه تنها در این مطالعه، خروجیهای حاصل از سه روش آشکارسازی مذکور بررسی شد، بلکه مقایسهای بین عملکردهای همه روشهای آشکارسازی مورد مطالعه نیز انجام گرفت. برای انجام مقایسه عملکرد، از روش متداول ترسیم

منحنی ارزیابی آشکارسازی ROC [۴۷] بهره برده شد. به این منظور پیکسلهای واحدی به عنوان پیکسلهای تست برای ارزیابی نتایج آشکارسازی به صورت بصری انتخاب شدند. در نهایت ارزیابی آشکارسازی مطابق شکل(۸) قابل نمایش خواهد بود.

از تحلیل منحنیهای ترسیم شده در شکل(۸)، به نظر میرسد قدرت آشکارسازی در دو روش *MF* و *MF* مشابه بوده است، در حالیکه روش *ACE* عملکرد ضعیفتری در این خصوص داشته است. این مقایسه حاکی از عملکرد مناسبتر روش پیشنهادی ژیواستریو تصویر چندطیفی و نتایج آشکارسازی آن، این است که حدتفکیک مکانی در این تصویر برابر با ۳ کیلومتر است در حالیکه حدتفکیک مکانی در باند *HRV* برابر با ۱ کیلومتر است. به این ترتیب واضح است که اولین مزیت استفاده از باند *HRV* برای آشکارسازی ابرها، فارغ از عملکرد روش آشکارسازی، افزایش حدتفکیک مکانی در

[\] Multispectral images

سحر دهنوی و همکار ان

عملیات آشکارسازی است. با ایـن وجـود بـرای انجـام مقایسـه بهتـر خروجیهـای آشکارسـازی در روشـهای ACE و MF نیـز در



شکل۸: عملکرد منحنی ROC در آشکارسازی ابرها. سه روش آشکارسازی CEM ،ACE و MF با مدل پیشنهادی ژیواستریو مقایسه شدهاند.



ب شکل ۹: نتایج آشکارسازی روشهای الف) MF، ب) CEM، پ) ACE،

نگاهی کلی به این نتایج نشان میدهد که گرچه روشهای آشکارسازی ابر که مبتنی بر باندهای طیفی هستند، ابرها را در بیشتر نواحی به خوبی تشخیص دادهاند، اما نه تنها حد تفکیک خروجیها نسبت به خروجی مدل ژیواستریو کمتر است، بلکه در شناسایی تکه ابرهای کوچک نیز ضعیف عمل کردهاند. در صورتی که ابرهای کوچک در خروجی استریو به خوبی شناسایی شدهاند. با اینحال با نگاهی به شکل(۷–پ)، به نظر میرسد روش استریو با وجود داشتن مزیتهای

واضحی نسبت به آشکارسازی بر مبنای باندهای طیفی، دارای نویز بیشتری در خروجیهاست. اما مبتنی بودن این روش بر ارتفاع ابر، این امکان را فراهم میآورد که ابرها در نواحی قطبی را بتوان سادهتر از پیکسلهای ابری تفکیک نمود. به این ترتیب مشکلی که تاکنون محققان به دنبال یافتن راه حلی مناسب برای آن بوده-اند، با این روش قابل حل خواهد بود.

۵- بحث و بررسی آشکار ایران با با استام آنیا می مار ک

آشکارسازی ابرها برمبنای ارتفاع آنها به عنـوان یکـی از

یارامترهای مهم هواشناسی است که اطلاعات مورد نیاز از ساختار قائم ابر را در اختیار می گذارد، در این کار پژوهشیی مرورد مطالعیه قرار گرفتیه است. روش استریوگرافی جهت برآورد ارتفاع ابر تنها یکی از روشهای مطرح و موجود به منظور برآورد ارتفاع ابر است که دارای مزیتها و معایب خاص خود است. مهمترین خصوصیات، نقاط ضعف و قوت روش مورد استفاده در این مطالعه در ادامه بحث و بررسی شده است. در یک نگاه جامع دقت روش استریوگرافی وابسته به موارد زیر است[۱۶].۱- دقت موقعیتی ماهواره، ۲-دقت رجیستر تصاویر (به نو،عی دقت مکانی تصویر)، ۳-خطای حرکت ابر، ۴- دقت تناظریابی تصویر. در این میان موارد ۱ و ۲ کاملا خارج از کنترل کاربر داده های سنجشازدوری است. از طرف دیگر موقعیت ماهواره در ماهوارههای زمین ثابت مسئله بسیار مهمی نیست. این یارامتر بیشتر در ماهوارههای با مدار قطبی امسئلهساز می شود، چراکه در این نوع سنجنده ها موقعیت ماهواره بسیار سریع (در حدود چند کیلومتر در هر ثانیه) تغییر می کند.

اما موقعیت مکانی تصویر در هر نوعی از تصاویر همیشه تاثیر قابل توجهی بر نتایج نهایی می گذارد. در مقایسه با سایر روشهای موجود برای مطالعه ارتفاع ابر در روش استریو گرافی نیازمند اطلاعات تصویری همزمان از دو ماهواره هستیم که به صورت همزمان یک ناحیه مشخص از سطح زمین را پوشش میدهند. در نتیجه از نواقص این روش آن است که صحت نتایج وابسته به اطلاعات موقعیتی تصویر به خصوص موقعیت نسبی در دو تصویر ورودی است.

به این ترتیب دو مورد ۳و ۴ نیاز به بررسی بیشتر خواهند داشت. که در این بین خطای حرکت ابر در این مطالعه با در نظر گرفتن سه تصویر متوالی برای تشکیل زوجهای استریو مرتفع شده است. لذا منبع خطای

اصلی در روش استریو گرافی مورد استفاده در این مطالعه را می توان خطای تناظریابی تصاویر در نظر گرفت. تناظریابی اتوماتیک تصویری که بیشترین زمان پردازش دادهها را به خود اختصاص می دهد، نیازمند در اختیار داشتن اطلاعات بافت و ساختار ابرهاست. در صورتی که ابرها هیچگونه ساختار مشخصی نداشته باشند، امکان شناسایی نقاط متناظر در آنها بسیار کم می شود، و به این ترتیب در اینگونه ابرها تنها می توان به استخراج اطلاعات لبههای ابر اکتفا کرد. بنابراین انتظار می رود این مدل در ابرهایی با ساختار یکنواخت با کیفیت خیلی بالایی عمل نکند.

بنابراین یکی از چالشهای پیشرو در مطالعه استریوگرافی ابرها داشتن بافت همگن در ابرهاست. چراکه با داشتن بافت همگن تصویری^۲ در پیکسلهای ابری انتظار میرود که شناسایی نقاط گرهی و ییکسلهای متناظر به عنوان ورودی استریو با مشکل مواجه شده و یا امکانپذیر نباشد. اما توجه به این نکته ضروری است که اطلاعات ابر تنها زمانی مسئلهساز است که حدتفکیک مکانی تصاویر مورد استفاده یا خیلی بالا (حدتفکیک بهتر از ۵۰ متر) و یا خیلی کم ^۴ (حد تفکیک کمتر از ۵۰۰۰ متر) باشد[۱۶]. با در نظر داشتن باند HRV از سنجنده SEVIRI به عنوان تصویر ورودی می توان گفت که ابرهای هواشناسی در این تصاوير داراى بافت كافى براى انجام عمليات تناظريابي هستند و با توجه به اینکه هر دو تصویر مورد استفاده از یک سنجنده هستند انتظار میرود انجام تناظریابی بین آنها بسیار سادهتر باشد. بعلاوه با توجه حد تفکیک رادیومتریک ۱۰ بیتی در سنجنده SEVIRI، استخراج و بازیابی جزییات بافت تصویرنه تنها از نقطه نظر بصری بلکه با استفاده از روشهای اتوماتیک نیز سادهتر خواهـد بود. از طرف دیگر نتایج تناظریابی بین دادههای

[\] Polar orbiting satellites

^{*} Homogenous Image Texture

^r Fine resolution

^{*} Coarse resolution

تصویری متفاوت به باندهای منتخب مورد استفاده نیز وابسته است. با توجه به اینکه در هر دو سنجنده مورد استفاده از باندهای HRV (شامل بخش اعظم باند مرئی و طيف مادون قرمز نزديک) استفاده شده است، بنابراین در این خصوص مشکلی وجود نخواهد داشت. دیگر مهمترین مزیتهای تکنیک پیشنهادی در این تحقیق که مبتنی بر فتوگرامتری ابر است را میتوان استقلال این مدل از دادههای جانبی یا فرضیات مربوط به وضعیت جو در زمان اخذ داده دانست. در این روش اهمیتی ندارد که ابر در زیر ناحیه تروپوپاز یا بالای آن باشـد. نیـازی بـه هـیچ فرضـی در خصـوص مقـدار گسیلمندی ابر وجود ندارد. بعلاوه نیازی به دادههای جانبی نظیر پروفایل قائم دما و رطوبت در این روش وجود ندارد. قابلیت اطمینان تناظریابی را می توان از مقدار فاصله بین خطوط مسیر دید دو سنجنده در محل تقاطع آنها تعیین نمود. به عبارت دیگر میزان اطمينان به نتيجه معادله كمترين مربعات رابطه (٣) زماني بيشينه است كه فاصله بين خطوط متقاطع برابر با صفر باشد. نکته دیگر آن است که فاصله تقاطع نه تنها به دقت تناظريابي تصوير وابسته است، بلكـه متـاثر از موقعیت ماهواره و صحت موقعیتی داده تصویری هـم می،باشد. به این ترتیب فاصله تقاطع را میتوان در مجموع معيار مناسبي براي تخمين دقت كلي مدل دانست.

مهمت رین ویژگی روش استریو گرافی دقت نهایی اطلاعات خروجی آن است. بنابر مقایسه انجام شده در [۱۶] که بر روی ابرهای آتشفشانی انجام گرفته بود، دقت این مدل سه برابر بیشتر از برآوردهای ارتفاع براساس باند جذبی CO2 و حدود سه برابر کمتر از دقت قابل دستیابی براساس اندازه گیریهای فضایی لیدار است. در دادههای مورد استفاده در در مطالعه [۱۶]، دقت تخمین تحلیلی ارتفاع ابر برابر با ۲۰۰ متر بوده

است. با اینحال با توجه به اینکه در این مطالعه هدف برآورد مقدار ارتفاع ابر نبوده بلکه تنها بر روی آشکارسازی ابر متمرکز شده است، بنابراین پرداختن بیشتر به مقدار دقت ارتفاعی خارج از حوصله این بحث است. از طرف دیگر همانطور که پیشتر نیز ذکر شد با توجه به اینکه در هر دو تصویر مورد استفاده از باند *HRV* استفاده شده است، لذا از بالاترین حد تفکیک مکانی دو سنجنده بهره برده شده است. به این ترتیب انتظار می رود در نتیجه این مطالعه بیشترین دقت قابل حصول از این دو سنجنده کسب شود. با اینحال با توجه است، لذا این روش از باند مرئی سنجنده بهره برده است، لذا این روش به اندازه گیریها در ساعات روشنایی روز^۲ محدود می شود.

اما پیشرفتهای مکرر در سنجندههای زمین ثابت، امکان بکارگیری تمامی مزیتهای ذکر شده در روش این تحقیق را برای پایش موثر ابرها در مقیاس جهانی، با باندهای متفاوت تصویربرداری و همچنین در هر دو زمان شب و روز فراهم خواهد آورد. از دیگر مزیتهای بسیار مهم مدل ژیواستریو برای آشکارسازی ابر میتوان به این نکته اشاره کرد که با توجه به اینکه در این مدل تنها از اطلاعات هندسی بهره برده می شود و اطلاعات از نواحی برفی براحتی امکان پذیر می شود. با توجه به آنچه در بخش مقدمه نیز ذکر شد، یکی دیگر از مزیتهای مدل ژیواستریو عدم وابستگی این مدل به حدآستانه گذاریهای تجربی توسط نیروی انسانی است.

در این مطالعه روشی نوین برای آشکارسازی ابرها مبتنی بر اختلاف ارتفاع موجود در ابرها و سایر عوارض سطح زمین با عنوان مدل ژیواستریو معرفی شده است. به این منظور از تکنیک نوین استریوگرافی بین دو زوج تصویر زمین ثابت بهره برده شده است. این روش شاخه

[\] Intersection distance

^r Daylight hours

مناسب برای مرتفع نمودن مشکل تفکیک ابر از پیکسلهای حاوی برف دانست. بعلاوه با توجه به آنچه پیشتر نیز بیان شد، پرتاب نسلهای بعدی ماهوارههای زمین ثابت امکان تست مجدد تکنیک ارائه شده در این مطالعه بر انواع مختلف دادهها و در مناطق مطالعاتی متفاوت فراهم خواهد آورد.

قدردانی

نویسندگان این مقاله بر خود لازم میدانند از مشارکت و همکاری دوستان ارجمند جناب آقای دکتر کلمن زاکسک مشاور ارشد پژوهشی دانشگاه هامبورگ جهت راهنماییهای بیدریغشان در بحث کدنویسی مدل استريو، جناب آقاى دكتر ولادمير اسكيراپاچوف مشاور یژوهشی سازمان فضایی روسیه در حوزه حل مشکلات كدنويسى، جناب پروفسور كريستين هايپكه استادتمام دانشكده ژئوانفورماتيك دانشگاه لايبنيتز هانوفر جهت جلسات حضوری و غیرحضوری و ارائله راهنمایی در جزییات مدل استریو پیادهسازی شده، و همچنین جناب آقاى مهندس محمدجواد ميرزاده دانشجوى دکتری موسسه تحقیقات نجومی شانگهای آکادمی علوم چین در تست روشهای متفاوت برای ایجاد مدل استریو و سایر دوستان و همکاران ارجمند در دانشگاه هانوفر، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی و دانشگاه تهران که هریک به نوعی در دستیابی به اهداف این پروژه ياري رسان بودند مراتب كامل قدرداني و سیاسگزاری را به جا آورند.

- [1] Mobasheri, M. and Karimi Asl, N., "A rapid method for determining high cloud pressure using MODIS images.", Geography and Development, 1131, 165-182.
- [2] Geethu Chandran A J and C. Jojy, "A Survey of Cloud Detection Techniques for Satellite Images," International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), vol .02, 2015.
- [3] I. Genkova, G. Seiz, P. Zuidema, G. Zhao,

جدیدی از مطالعات سنجشاز دور هواشناسی، با عنوان "استریوگرافی هواشناسی" در کشور پایهگذاری کرده است. بعلت منحصر به فرد بودن تصاویر مورد استفاده در این تحقیق (جدیدترین نسل ماهوراههای زمین ثابت) با بالاترین حدتفکیک مکانی و زمانی، استفاده از تکنیک استریوگرافی به خودی خود از نوآوریهای این پژوهش به حساب می آید. به عبارت دیگر نه تنها تکنیک پیشنهادی برای آشکارسازی ابر، بلکے تکنیے معرفے شده برای برآورد ارتفاع ابر و همچنین نوع دادههای مورد استفاده در این مطالعه، این کار پژوهشی را کاملا جدید و در همه زمینههای ذکر شده یگانه کرده است. نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان داده است که آشکارسازی ابرها بر مبنای تکنیک استریو با صحت بالایی انجام گرفته است و این مطالعه را میتوان راهگشای بسیاری از مطالعات دیگر در حوزه تحقیقات خورشیدی و ابرها دانست. از دیگر مزیتهای بسیار مهم مدل ژیواستریو برای آشکارسازی ابر میتوان به این نکته اشاره کرد که با توجه به اینکه در این مدل تنها از اطلاعات هندسی بهره برده میشود و اطلاعات بازتابندگی دخیل نمیشوند، بنابراین امکان تفکیک ابر از نواحی برفی براحتی امکان پذیر می شود. مشکل تفکیک ابر از نواحی برفی در تصاویر سالهاست که از مشـکلات عمـده بسـیاری از محققـین در مطالعـات هواشناسی بوده و هست. گرچه مشکل مذکور در این تحقیق با جزییات کامل بررسی نشده است اما نتایج این تحقیق را می توان راهگشا و راه حل بسیار مهم و مراجع

and L. Di Girolamo, "Cloud top height comparisons from ASTER, MISR, and MODIS for trade wind cumuli," Remote Sensing of Environment, vol. 107, pp. 211-222, 2007/03/15/ 2007.

[4] D. M. Winker, J. Pelon, J. A. C. Jr., S. A. Ackerman, R. J. Charlson, P. R. Colarco, et al., "The CALIPSO Mission," Bulletin of the American Meteorological Society, vol. 91, pp. 1211-1230, 2010. آشکارسازی ابر به روش استریوگرافی با استفاده از...

سحر دهنوی و همکار ان

- [5] A. Hasler, "Stereographic observations from geosynchronous satellites: An important new tool for the atmospheric sciences," Bulletin of the American Meteorological Society, vol. 62, pp. 194-212, 1981.
- [6] W. T. Roach, "On the nature of the summit areas of severe storms in Oklahoma," Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, vol. 93, pp. 318-336, 1967.
- [7] O. R. J. Ondrejka, J. H. Conover, and R. J. Ondrejka, "Note on the stereo interpretation of Nimbus II APT photography," 1966.
- [8] K. Kikuchi and T. Kasai, "Stereoscopic analysis of photographs taken by NIMBUS II APT system," J. Meteor. Soc. Japan, vol. 46, pp. 60-67, 1968.
- [9] I. Browne, J. Garcia ,and V. Whitehead, "Cloud height contouring from Apollo 6 photography," 1969.
- [10] W. Shenk, R. Holub, and R. Neff, "Stereographic cloud analysis from Apollo 6 photographs over a cold front," 1975.
- [11] P. G. Black, "Some aspects of tropical storm structure revealed by handheldcamera photographs from space," in Skylab Explores the Earth, 1977, p. 417.
- [12]W. R. Bryson, Cloud height determination from geosynchronous satellite images: University of Wisconsin, 1978.
- [13]D. Lorenz, "On the feasibility of cloud stereoscopy and wind determination with the Along-Track Scanning Radiometer," International Journal of Remote Sensing, vol. 6, pp. 1445-1461, 1985.
- [14]C. Bristor and W. Pichel, "3-D CLOUD VIEWING USING OVERLAPPED PICTURES FROM 2 GEOSTATIONARY SATELLITES," vol. 55, ed: AMER METEOROLOGICAL SOC 45 BEACON ST, BOSTON, MA 02108-3693, 1974, pp. 1353-1355.
- [15] E. Kassianov, C. N. Long, and J. Christy,

"Cloud-base-height estimation from paired ground-based hemispherical observations," Journal of Applied Meteorology, vol. 44, pp. 1221-1233, 2005.

- [16] K. Zaksek, M. Hort, J. Zaletelj, and B. Langmann, "Monitoring volcanic ash cloud top height through simultaneous retrieval of optical data from polar orbiting and geostationary satellites," Chemistry and Physics, pp. 2589-2606, 2013.
- [17]L. Merucci, K. Zakšek, E. Carboni, and S. Corradini, "Stereoscopic Estimation of Volcanic Ash Cloud-Top Height from Two Geostationary Satellites," Remote Sensing, vol. 8, p. 206, 2016.
- [18]A. Stohl, A. J. Prata, S. Eckhardt, L. Clarisse, A. Durant, S. Henne, et al., "Determination of time- and heightresolved volcanic ash emissions and their use for quantitative ash dispersion modeling: the 2010 Eyjafjallajökull eruption," Atmos. Chem. Phys., vol. 11, pp. 4333-4351, 2011.
- [19]S. A. Carn, J. S. Pallister, L. Lara, J. W. Ewert, S. Watt, A. J. Prata, et al., "The Unexpected Awakening of Chaitén Volcano, Chile," Eos, Transactions American Geophysical Union, vol. 90, pp. 205-206, 2009.
- [20] E. R. Kursinski, G. A. Hajj, J. T. Schofield, R. P. Linfield, and K. R. Hardy, "Observing Earth's atmosphere with radio occultation measurements using the Global Positioning System," Journal of Geophysical Research: Atmospheres, vol. 102, pp. 23429-23465, 1997/10/20 1997.
- [21]F. S. Solheim ,J. Vivekanandan, R. H. Ware, and C. Rocken, "Propagation delays induced in GPS signals by dry air, water vapor, hydrometeors, and other particulates," Journal of Geophysical Research: Atmospheres, vol. 104, pp. 9663-9670, 1999/04/27 1999.
- [22] C. Oppenheimer, "Review article: Volcanological applications of meteorological satellites," International

سال دهم 🛛 شماره سوم 🖌 پاییز ۱۴۰۱

Journal of Remote Sensing, vol. 19, pp. 2829-2864, 1998/01/01 1998.

- [23]S. Eckhardt, A. J. Prata, P. Seibert, K. Stebel, and A. Stohl, "Estimation of the vertical profile of sulfur dioxide injection into the atmosphere by a volcanic eruption using satellite column measurements and inverse transport modeling," Atmos. Chem. Phys., vol. 8, pp. 3881-3897, 2008.
- [24]A. J. Prata and I. F. Grant, "Retrieval of microphysical and morphological properties of volcanic ash plumes from satellite data: Application to Mt Ruapehu, New Zealand," Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, vol. 127, pp. 2153-2179, 2001/07/01 2006.
- [25] P. Dubuisson, R. Frouin, D. Dessailly, L. Duforêt, J.-F. Léon, K. Voss, et al., "Estimating the altitude of aerosol plumes over the ocean from reflectance ratio measurements in the O2 A-band," Remote Sensing of Environment, vol. 113, pp. 1899-1911, 2009/09/01/2009.
- [26]M. Richards ,S. Ackerman, M. Pavolonis, and W. Feltz, "Volcanic ash cloud heights using the MODIS CO2-slicing algorithm," MSc, University of Wisconsin-Madison, 2006.
- [27] F.-L. Chang, P. Minnis, B. Lin, M. M. Khaiyer, R. Palikonda, and D. A. Spangenberg, "A modified method for inferring upper troposphere cloud top height using the GOES 12 imager 10.7 and 13.3 μm data," Journal of Geophysical Research: Atmospheres, vol. 115, 2010/03/27 2010.
- [28]L. S. Glaze, P. W. Francis, S. Self, and D. A. Rothery, "The 16 September 1986 eruption of Lascar volcano, north Chile: Satellite investigations," Bulletin of Volcanology, vol. 51, pp. 149-160, May 01 1989.
- [29]A. F. Hasler, "Stereographic Observations from Geosynchronous Satellites: An Important New Tool for the Atmospheric Sciences," Bulletin of the American

Meteorological Society, vol. 62, pp. 194-212, 1981/02/01 1981.

- [30]A. J. Prata and P. J. Turner, "Cloud-top height determination using ATSR data," Remote Sensing of Environment, vol. 59, pp. 1-13, 1997/01/01/1997.
- [31]S. Scollo, R. A. Kahn, D. L. Nelson, M. Coltelli, D. J. Diner, M. J. Garay, et al., "MISR observations of Etna volcanic plumes," Journal of Geophysical Research: Atmospheres, vol. 117, 2012/03/27 2012.
- [32] T. H. Virtanen, P. Kolmonen, E. Rodríguez, L. Sogacheva, A. M. Sundström, and G. de Leeuw, "Ash plume top height estimation using AATSR," Atmos. Meas. Tech., vol. 7, pp. 2437-2456, 2014.
- [33] P. N. Francis, M. C. Cooke, and R. W. Saunders, "Retrieval of physical properties of volcanic ash using Meteosat: A case study from the 2010 Eyjafjallajökull eruption," Journal of Geophysical Research: Atmospheres, vol. 117, 2012/10/27 2012.
- [34] M. J. Pavolonis, A. K. Heidinger, and J. Sieglaff, "Automated retrievals of volcanic ash and dust cloud properties from upwelling infrared measurements," Journal of Geophysical Research: Atmospheres, vol. 118, pp. 1436-1458, 2013/02/16 2013.
- [35] C. A. Poulsen, R. Siddans, G. E. Thomas, A. M. Sayer, R. G. Grainger, E. Campmany, et al., "Cloud retrievals from satellite data using optimal estimation: evaluation and application to ATSR," Atmos. Meas. Tech., vol. 5, pp. 1889-1910, 2012.
- [36] S. Bley and H. Deneke, A threshold-based cloud mask for the high-resolution visible channel of Meteosat Second Generation SEVIRI vol.2013,6.
- [37]Hocking J., P. N. Francis, and R. W. Saunders, "Cloud detection in Meteosat second generation imagery at the Met office," Meteorological Applications, vol. 18, pp. 307-323, 2011.

[38] EUMETSAT, "MSG Level 1.5 Image Data

آشکارسازی ابر به روش استریوگرافی با استفاده از...

سحر دهنوی و همکار ان

Format Description ,'in Issue v8 e-signed, ed. EUMETSAT, 2017, p. 129.

- [39] Euemetsat. (2019, 1/1/2019). High Rate SEVIRI Level 1.5 Image Data - MSG - 0 degree. Available: https://www.europeandataportal.eu/data/en /dataset/acronym-msg15-satellite-msg1msg2-msg3-fileid-eo-eum-dat-msg-hrseviri
- [40] C. Evans, "notes on the opensurf library," University of Bristol, 2009.
- [41]H. Goncalves, L. Corte-Real, and J. A. Goncalves, "Automatic Image Registration Through Image Segmentation and SIFT," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 49, pp. 2589-2600, 2011.
- [42]M. Hasan, X. Jia, A. Robles-Kelly, J. Zhou, and M. R. Pickering, "Multi-spectral remote sensing image registration via spatial relationship analysis on sift keypoints," in 2010 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2010, pp. 1011-1014.
- [43] C. Huo, C. Pan, L. Huo, and Z. Zhou, "Multilevel SIFT Matching for Large-Size VHR Image Registration," IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 9, pp. 171-175, 2012.
- [44] M. Teke and A. Temizel, "Multi-spectral Satellite Image Registration Using Scale-Restricted SURF," in 2010 20th International Conference on Pattern Recognition, 2010, pp. 2310-2313.
- [45]T. A. Scambos, M. J. Dutkiewicz, J. C. Wilson, and R. A. Bindschadler, "Application of image cross-correlation to the measurement of glacier velocity using satellite image data," Remote Sensing of Environment, vol. 42, pp. 177-186, 1992/12/01/1992.
- [46]Hiroyuki HASEGAWA, Kaoru MATSUO, Mamoru KOARAI, H. M. Nobuyuki WATANABE, and Y. FUKUSHIMA, "DEM ACCURACY AND THE BASE TO HEIGHT (B/H) RATIO OF STEREO IMAGES," vol. XXXXIII, ed. Amesterdam: International

Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), 2000.

[47]H. R. Goldberg, "A performance characterization of kernel-based algorithmsfor anomaly detection in hyperspectral imagery," p. 119, 2007.



Journal of Geospatial Information Technology Vol.11, No.2, Summer 2023

Research Paper

Using Stereographic Observations of two High Resolution Geostationary Satellite Images for Cloud Detection

Sahar Dehnavi^{1,2}, Yaser Maghsoudi³, Mohammad Javad Valadan Zouj⁴*

1- Remote Sensing scientist, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology

2- Research assistant, Institute of Meteorolgy and Climathology, Leibniz University of Hanover, Germany

3- Associate Professor, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology

4- Professor, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology

Abstract

The aim of the current research is to propose a stereographic-based method for cloud detection using the height information of clouds with the highest possible spatial resolution and utilizing ground-based meteorological images. This goal is achieved as follows: first, a stereo pair is created using the high spatial resolution visible band from the Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager (SEVIRI) sensor mounted on the Meteosat-8 and Meteosat-10 platforms. Then, the two images are registered to a common reference imaging grid by taking the different viewing geometries of the two sensors into consideration. And finally, by forming the lines of the sight connecting the two sensor views on an epipolar plane, the parallax in the two images is estimated for the cloudy points. One advantage of this cloud height estimation method is that the stereo measurements depend solely on the fundamental geometric relationships between the observable components of the clouds. This study introduces a novel approach for the cloud pixel detection based on the cloud height. After estimating the cloud heights, it is possible to distinguish the cloudy pixels from the noncloudy ones on the basis of the height differences, hence enabling us to detect the clouds based on the estimated heights in pixels. The results of this research demonstrate high accuracy and feasibility of using stereography for cloud pixel detection in satellite imagery. The benefit of the cloud detection based on cloud height information is twofold: it not only enhances the spatial resolution of the cloud detection in fixedground images but also facilitates the extraction of the three-dimensional cloud information. This is of particular importance in solar irradiance estimation studies, cloud feature extraction, and the other cloudrelated applications. Ultimately, this research is so valuable in Iran, it lays the foundation for a new branch of remote sensing meteorology called "Meteorological Stereography," which will pave the way for broader research in this field.

Key words: Cloud detection, Stereography, Meteorology, Geostationary observations (Meteosat), SEVIRI, High Resolution.

Correspondence Address: Remote Sensing Group, Department of Geodesy and Geomatics Engineering, KNToosi University of Technology, Tehran, Iran. Tel: 021-88877071 Email: valadanzouj@kntu.ac.ir