

شناسایی تغییرات نظارت نشده از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا با استفاده از آنالیز انتخاب ویژگی آماری و بر اساس ادغام روش حد آستانه گذاری دو مقیاسه و روش خوشه بندی سلسله مراتبی بهبود یافته

سارا خانبانی^۱

رضا شاه حسینی^۲

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۲۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۰۵

چکیده

شناسایی تغییرات از تصاویر سنجش از دوری به منظور پایش تغییرات مناطق شهری و غیرشهری - مسائل زیست محیطی بحث مدیریت بحران و دیگر کاربردها یکی از مسائل مطرح میان متخصصان این حوزه می باشد. ارائه روشی مناسب به منظور شناسایی تغییرات از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بسیار بالا می تواند با چالش های زیادی مواجه شود. بسیاری از روش های شناسایی تغییرات با قدرت تفکیک مکانی بالا نیازمند آموزش الگوریتم هستند. در این مقاله روش شناسایی تغییرات از تصاویر سنجش از دوری با قدرت تفکیک مکانی بالا بدون نیاز به آموزش الگوریتم ارائه شده است. در روش ارائه شده ویژگی های طیفی و مکانی از تصاویر قبل و بعد از منطقه مورد مطالعه استخراج شده و سپس تصاویر اختلاف متناظر با ویژگی های حاوی محتوای اطلاعاتی بالا تولید شده اند. در مرحله بعد اطلاعات تغییرات متناظر با نقشه ی تغییرات و ویژگی به فضای کروی نگاشت می یابد. با استفاده از روش حد آستانه گذاری در فضای کروی نقشه ی اولیه ای ایجاد شده و همچنین با روش خوشه بندی سلسله مراتبی منظم شده به وسیله ی روش میدان تصادفی مارکوف نقشه ی ثانویه ای ایجاد می شود. با تصمیم گیری میان نقشه ی اولیه و ثانویه و تصمیم گیری نهایی نقشه ی تغییرات منطقه ی مورد مطالعه ایجاد شده است. نقشه ایجاد شده دقت کلی ۹۲/۵۶ درصدی را در منطقه نشان داده است.

واژه های کلیدی: شناسایی تغییرات نظارت نشده، تصاویر با قدرت تفکیک بسیار بالا، حد آستانه گذاری، خوشه بندی سلسله مراتبی

۱- دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران sara.khanbani@ut.ac.ir

۲- استادیار دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران (نویسنده مسئول) rshahosseini@ut.ac.ir

۱- مقدمه

بر روی تصویر به کار گرفته شده است. دسته دوم تکنیک‌های شناسایی تغییرات نظارت نشده است که نقشه‌ی تغییرات تولید شده از آن‌ها به صورت باینری یا همان صفر و یک می‌باشد و فقط قادر به تمایز مناطق تغییر کرده از مناطق تغییر نکرده هستند و نیازمند داده‌های آموزشی در فرآیند شناسایی تغییرات نمی‌باشند (Rensink 2002, Lu, Mausel et al. 2004). روش‌های نظارت نشده اغلب از روش‌های قطعه‌بندی باینری در پیاده‌سازی‌ها استفاده می‌کنند. از این رو نتایج آن‌ها اغلب تحت تأثیر مقادیر توزیع تصویر اختلاف و مشخصه‌های الگوریتم قطعه‌بندی می‌باشند. از این رو چنانچه تصویر اختلاف تولید شده و روش قطعه‌بندی مناسبی ارائه شود روش‌های نظارت نشده می‌تواند جایگاه ویژه‌ای در بحث شناسایی تغییرات داشته باشد.

از نقطه نظر واحد پردازش تکنیک‌های شناسایی تغییرات به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند. روش‌های مبتنی بر پیکسل^۱ روش‌های مبتنی بر عارضه^۲ و روش‌های مبتنی بر زیر پیکسل^۳. در روش‌های مبتنی بر پیکسل یا پیکسل مبنا شدت پیکسل‌ها به عنوان واحد پردازش مدنظر قرار می‌گیرد و نقشه‌ی شناسایی تغییرات بر اساس مقایسه‌ی مستقیم درجات خاکستری تصاویر چندزمانه ایجاد می‌شود. در روش‌های مبتنی بر عارضه یا عارضه مبنا قطعات تصویر به عنوان واحد پردازش در نظر گرفته می‌شوند.

در مقایسه با روش‌های مبتنی بر پیکسل - روش‌های مبتنی بر عارضه در تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا از اهمیت بیشتری برخوردارند زیرا در روش‌های مبتنی بر شیء همسایگی پیکسل‌ها لحاظ می‌شود و می‌توان اطلاعات مکانی بافتی و طیفی را به صورت غنی‌تری داشت. روش‌های مبتنی بر شیء با چالش‌های مختلفی مواجه هستند که می‌توان به انتخاب روش قطعه‌بندی انتخاب مقیاس مناسب قطعه‌بندی و دیگر پارامترهای مختلف در هر روش اشاره کرد. انتخاب اشتباه پارامترها ممکن است

شناسایی تغییرات از تصاویر سنجش‌ازدوری فرآیند یافتن مناطق تغییرات میان تصاویر چندزمانه یا دوزمانه است که از یک منطقه جغرافیایی یکسان و در بازه‌های زمانی مختلف اخذ شده‌اند. پایش مناطق تغییرات با استفاده از داده‌هایی با قدرت تفکیک طیفی مکانی و زمانی بالا مسئله مهمی برای شناسایی مناطق تغییرات به صورت دینامیک و آنی محسوب می‌شود (Khanbani, Mohammadzadeh et al. 2020). با توسعه تکنولوژی سنجش‌ازدوری و پرتاب ماهواره‌های سنجش‌ازدوری با توانایی بالا و قدرت تفکیک بسیار بالا همانند ماهواره‌های Quick Bird, Ikonos, Geoye و ... این نوع از تصاویر منابع مهمی برای شناسایی تغییرات آنی محسوب می‌شوند. این نوع از منابع توانایی شناسایی مناطق تغییرات با قدرت تفکیک بالا را دارند که جزئیات فراوانی را هم در اختیار قرار می‌دهند. شناسایی تغییرات نقش مهمی را در عرصه‌های مختلف ایفا می‌کند که شامل پایش بلایای طبیعی ارزیابی خسارات ایجاد شده بر اساس رخدادهای مختلف مثل وقوع ناگهانی سیل و زلزله و ... می‌باشد.

مدیریت مناطق با کاربری زمینی رشد شهری تغییرات آب‌وهوا و کاربردهای مختلف صنعتی از دیگر کاربردهای شناسایی تغییرات محسوب می‌شود و نقش مهمی را ایفا می‌کنند (Asokan and Anitha 2019). تکنیک‌های شناسایی تغییرات برحسب استفاده از داده‌های آموزشی به دو دسته‌ی کلی تقسیم می‌شوند. دسته‌ی اول قادر به تولید نقشه تغییرات از - به (From-To) از اطلاعات موجود اولیه تحت عنوان داده‌های آموزشی اولیه می‌باشند که روش‌های نظارت شده نامیده می‌شوند. خروجی این روش‌ها نقشه‌ی تغییراتی است که هر پیکسل آن دارای نشانه‌های معناداری است و نوع کلاس تغییرات در آن‌ها مشخص می‌باشد تکنیک‌های نظارت شده اغلب از روش‌های طبقه‌بندی در فرآیند تولید نقشه تغییرات استفاده می‌کنند از این رو خروجی آن‌ها مستقیم وابسته به عملکرد تکنیک‌های طبقه‌بندی است که

1- Pixel based

2- Object based

3- Subpixel

برای شناسایی تغییرات از تصاویر با قدرت تفکیک بالا ارائه نموده‌اند. در این شبکه نقشه طیفی مکانی از ویژگی‌های سطح بالا استخراج شده و ویژگی‌ها به دامنه قطبی نگاشت یافته و در نهایت روش قطعه‌بندی و خوشه‌بندی برای تولید نقشه نهایی استفاده شده است (Wu, Chen et al. 2019).

Saha و همکاران روشی کاملاً نظارت‌نشده برای شناسایی تغییرات از تصاویر با قدرت تفکیک بالا با استفاده از آنالیز بردار تغییرات ارائه نموده‌اند که براساس به‌کارگیری ویژگی‌های شبکه عصبی کانولوشن می‌باشد (Saha, Bovolo et al. 2019).

Wei و همکاران روشی نظارت‌نشده براساس زنجیره تصادفی مارکوف و براساس ضرایب ویولت ارائه نموده‌اند. مشخصه‌های ویژگی در هر موقعیت پیکسل در مقیاس‌های مختلف با استفاده از مدل زنجیره ویژگی از ضرایب بالای ویولت ایجاد شده‌اند. در این کار روش kmeans به‌منظور تولید نقشه اولیه به‌کار گرفته شده است (Wei, Zhao et al. 2019).

Ming hao و همکارانش روش شناسایی تغییرات به‌وسیله ادغام ویژگی‌های چند مقیاس ارائه نمودند. ابتدا اختلاف ویژگی‌ها از تصاویر دوزمانه استخراج شده و سپس ویژگی‌های بهینه براساس معیارها انتخاب شده و بعد از آن، روش ادغام دم‌پس‌تر شیفر^۳ به‌منظور ایجاد نقشه‌های نهایی استفاده شده است (Hao, Shi et al. 2019).

Wang و همکارانش روش شناسایی تغییرات نظارت نشده‌ای را براساس پروفیل‌های مورفولوژی و استخراج اتوماتیک نمونه‌های آموزشی ارائه نموده‌اند. اپراتورهای مورفولوژی به‌منظور استخراج ویژگی‌های ساختاری چندمقیاسه استفاده شده است. در نهایت نمونه‌های آموزشی بهبودیافته و پروفیل‌های مورفولوژی در طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان استفاده شده و نقشه تغییرات نهایی ایجاد شده است (Wang, Du et al. 2019). روش‌های شناسایی تغییرات مطرح شده براساس شبکه‌های عصبی عمیق مستلزم وجود پایگاه داده‌ای وسیع از داده‌های آموزشی به‌منظور آموزش

باعث ایجاد قطعه‌های بسیار زیاد^۱ و یا قطعه‌های خیلی کم شود. در روش‌های مبتنی بر زیر پیکسل هر پیکسل به‌عنوان یک پیکسل مختلط از اعضای در نظر گرفته می‌شود و تغییرات طیفی در هر پیکسل به‌صورت مجموعه‌ای از اعضای تشکیل‌دهنده‌ی آن‌ها در نظر گرفته می‌شود (Singh 1989, Hussain, Chen et al. 2013).

در هر کدام از دسته‌بندی‌های مطرح شده استخراج ویژگی‌هایی که قادر به ایجاد تمایز بهتر میان اعضا و مناطق موجود در منطقه‌ی مورد مطالعه باشند از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به اهمیت شناسایی تغییرات از تصاویر با قدرت تفکیک بسیار بالا؛ پژوهشگران مقالات مختلفی را براساس مفاهیم ذکر شده ارائه نموده‌اند که در ادامه به بررسی برخی کارها پرداخته شده است.

Zhan و همکارانش روش شناسایی تغییراتی را براساس ترکیب مزیت‌های روش‌های پیکسل مینا و شیء مینا با استفاده از ارائه‌ی ویژگی‌ها به‌صورت عمیق برای تصاویر با قدرت تفکیک بسیار بالا مطرح نموده‌اند. در روش ارائه شده توسط Zhan و همکارانش بحث یادگیری ویژگی‌ها به‌صورت نظارت‌نشده انجام شده است و ویژگی‌های سطح بالا از داده‌های خام استخراج شده‌اند و سپس نمونه‌های آموزشی برای ایجاد نقشه شبه تغییرات باینری انتخاب شده‌اند. از روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان هم برای تولید نقشه تغییرات استفاده شده است (Zhan and Gong 2019).

در مقاله دیگری که توسط Lv و همکارانش ارائه شده است خوشه‌بندی kmeans به همراه تکنیک رأی‌گیری اکثریت انطباقی استفاده شده است. در این روش مناطق انطباقی حول هر پیکسل براساس قیودی از پیش تعیین شده انتخاب شده و سپس روش خوشه‌بندی Kmeans برای تولید برچسب پیکسل استفاده شده است. روش رأی اکثریت برچسب پیکسل مرکزی را بهبود می‌دهد (Lv, Liu et al. 2019).

Chen و همکارانش الگوریتم یادگیری زیر فضا را براساس آنالیز مؤلفه اصلی با استفاده از شبکه‌های کانولوشن

1- Over segmentation

2- Under segmentation

بخش اول به معرفی منطقه مورد مطالعه اختصاص دارد. سپس روش پیشنهادی و تئوری الگوریتم مطرح شده و در آخر، پیاده‌سازی روش پیشنهادی مورد بحث قرار گرفته است.

۲- منطقه مورد مطالعه

داده مورد استفاده در این مقاله یک زیرمجموعه از داده‌های اصلی با ابعاد 2000×2000 از یک منطقه شهری در شهر مشهد است. این تصاویر مربوط به دو بازه سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ می‌باشند و با UAV اخذ شده‌اند. تصویر ارتو مربوط به زمان اول با قدرت تفکیک مکانی ۶ سانتی‌متر و تصویر دوم با پیکسل سایز ۱۰ سانتی‌متر اخذ شده است. تصاویر در نگاره ۱ نمایش داده شده‌اند.

۳- روش شناسی

در روش ارائه شده در این مقاله به منظور شناسایی تغییرات از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بسیار بالا ابتدا تصاویر از نظر طیفی و مکانی بر هم منطبق شده‌اند و سپس از هر تصویر تصاویر ویژگی استخراج شده است. در مرحله‌ی بعد تصاویر اختلاف مناظر با هر ویژگی استخراج شده در هر دو تصویر محاسبه می‌شود. تصاویر اختلاف بهینه با استفاده از روش‌های آماری انتخاب شده و به منظور تحلیل بهتر- نتایج به فضای کروی نگاشت می‌یابند. در مرحله‌ی بعد بر روی مؤلفه‌ی r فضای کروی حد آستانه‌گذاری دو مقدار اتسو انجام می‌شود و خروجی اولیه‌ای از نقشه تغییرات نهایی محاسبه می‌شود. در گام بعد تصویر اختلاف بهینه نگاشت شده به فضای کروی به بلوک‌هایی بدون هم‌پوشانی با ابعاد یکسان تقسیم شده و برای هر بلوک به صورت مجزا روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی تجمیعی اعمال می‌شود (Khanbani, Mohammadzadeh et al. 2020). در این صورت حجم و فضای محاسباتی مطرح شده در روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی به شدت کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از خوشه‌بندی تجمیعی بلوک‌ها در کنار هم قرار گرفته و سپس از روش زنجیره تصادفی

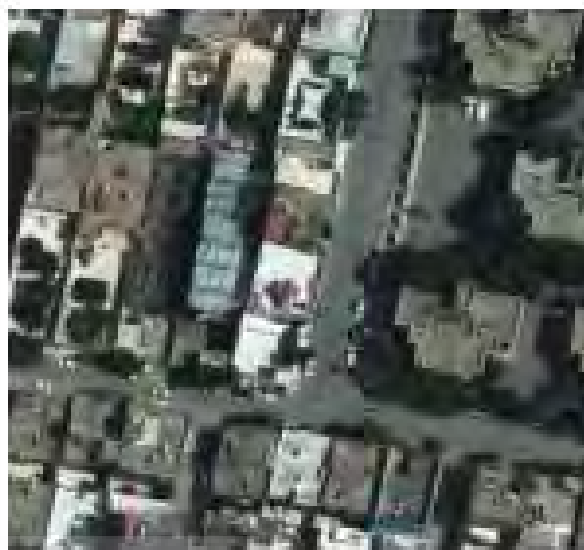
دقیق شبکه‌ی عصبی مناسب می‌باشند - و بررسی و مشخص کردن تعداد لایه‌های شبکه عصبی و فیلترهای استفاده شده در آن نیز خود با چالش‌های مختلفی همراه است. بسیاری از معیارهای از پیش تعریف شده برای شبکه‌های عصبی کانولوشن موجود می‌باشد که انتخاب شبکه‌ی مناسب با هر داده حائز اهمیت است.

تنظیم وزن‌های یادگیری میان لایه‌های مختلف شبکه عصبی بسیار پرچالش است. از طرفی تصاویر با قدرت تفکیک بالا شامل اطلاعات فراوانی از عوارض زمین می‌باشند. پیچیدگی مشخصه‌های مکانی عوارض شهری نیازمند پردازش‌های پیچیده‌تری می‌باشد. با توجه به دلیل اهمیت روش‌های مبتنی بر شیء و اولویت آن‌ها در بحث شناسایی تغییرات از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا و در عین حال وجود چالش‌های فراوان در این روش‌ها و همچنین قابلیت روش‌های مبتنی بر پیکسل در پایش تغییرات با سرعت و قدرت بالا - ارائه‌ی روشی که قادر به پایش تغییرات در تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا باشد که بتواند از مزایای روش‌های مبتنی بر شیء در حالت پیکسل‌منا استفاده کند، اهمیت می‌یابد. فرض استقلال پیکسل‌ها در تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا فرضی است نادرست که روش‌های مبتنی بر پیکسل کلاسیک را بدون در نظر گرفتن اطلاعات متنی و مکانی با شکست مواجه می‌کند. ارائه چهارچوبی به منظور شناسایی تغییرات نظارت نشده با در نظر گرفتن ویژگی‌های طیفی و مکانی از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بسیار بالا و با قابلیت الگوریتمی ساده حائز اهمیت می‌باشد.

در این مقاله به بررسی کارایی روش شناسایی تغییرات با در نظر گرفتن اطلاعات همسایگی و طیفی پیکسل‌ها و به‌کارگیری توأمان روش‌های حد آستانه‌گذاری و خوشه‌بندی بهبود یافته و در نهایت ادغام نتایج حاصل از آن‌ها پرداخته شده است (Wei, Saha, Bovolo et al. 2019) (Wu, Chen et al. 2019) (Wang, Du et al. 2019) (Hao, Shi et al. 2019) (Zhao et al. 2019) مقاله ارائه‌شده در سه بخش اصلی تنظیم شده است. در



الف



ب

نگاره ۱: تصاویر ورودی. الف) تصویر مربوط سال ۱۳۹۰ و ب) تصویر مربوط سال ۱۳۹۵

زنجیره تصادفی مارکوف به منظور ایجاد نقشه تغییرات اولیه، ۶- ادغام نتایج خروجی و پس پردازش برای رسیدن به نقشه تغییرات نهایی، ۷- ارزیابی دقت. در ادامه به تشریح هریک از مراحل پرداخته شده است.

۳-۱- پیش پردازش

پیش پردازش یکی از گام‌های اساسی و در واقع اولین گام اصلی در بحث شناسایی تغییرات محسوب می‌شود تا تصاویر ورودی را در مقیاس مکانی و دامنه طیفی مشابهی قرار داده و مقایسه منطقی و معناداری را بین ورودی‌ها ایجاد نماییم. تصحیحات هندسی به منظور همسان‌سازی ابعاد پیکسل‌های ورودی و هم مرجع‌سازی آن‌ها و بهبود رادیومتریکی از جمله تصحیحات لازم برای بحث پیش پردازش می‌باشند (Hussain, Chen et al. 2013).

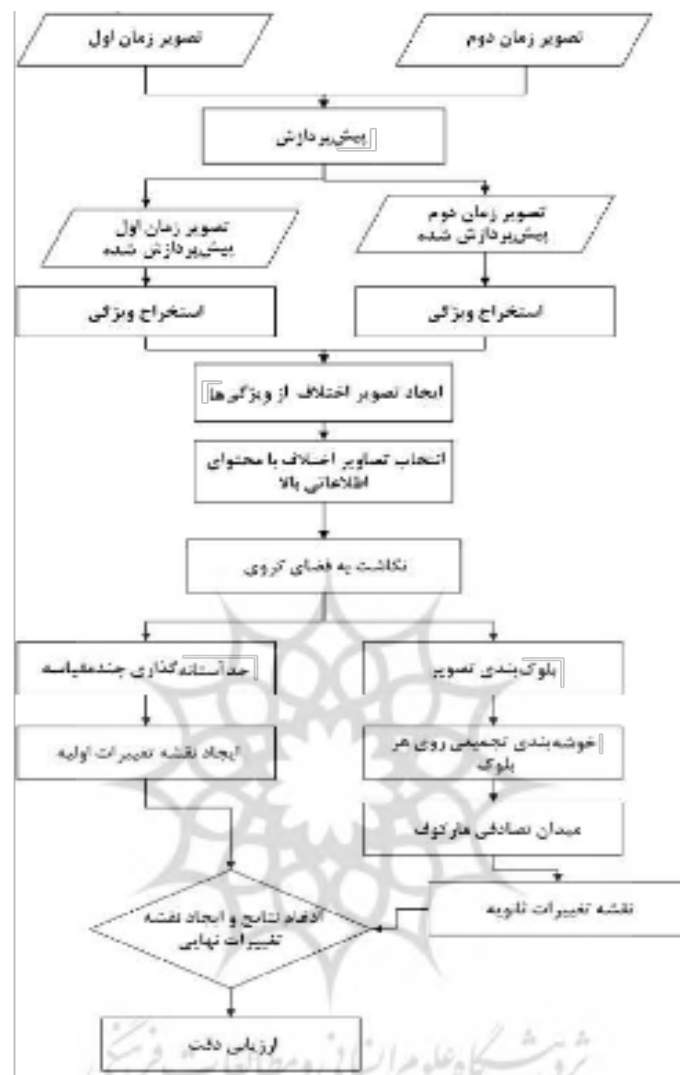
۳-۲- استخراج ویژگی و ایجاد تصاویر اختلاف

استخراج ویژگی فرآیندی است که طی آن اطلاعات مختلفی در سطوح مختلف از پدیده‌های موجود در مناطق مورد مطالعه می‌تواند استخراج شود و این امر برای کاربردهای مختلف به ساده‌سازی و تصمیم‌گیری بهتر برای

مارکوف به منظور منظم‌سازی خوشه‌های حاصل از روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی تجمیعی و حذف نویز استفاده می‌شود. در خوشه‌بندی از حد آستانه‌گذاری دو مقداره اتسو استفاده می‌شود. مقادیر پایین‌تر از کمترین حد آستانه با اطمینان بالا به عنوان پیکسل‌های عدم تغییرات شناخته می‌شوند و مقادیر بالای بیشترین حد آستانه با احتمال بالایی به عنوان پیکسل‌های تغییرات شناسایی می‌شوند.

عدم اطمینان در پیکسل‌های میانی حد آستانه‌ها می‌باشد؛ که در تصمیم‌گیری کلاس متعلق به پیکسل‌های این بازه از نقشه تغییرات خروجی خوشه‌بندی سلسله مراتبی تجمیعی منظم شده با زنجیره تصادفی مارکوف استفاده شده است. در مرحله آخر نیز از ماسک پوشش گیاهی و سایه به منظور پس پردازش خروجی نهایی استفاده شده است. مدل مفهومی روش ارائه شده مطابق با فلوچارت نگاره ۲ از ۷ گام کلی تشکیل شده است.

۱- پیش پردازش، ۲- استخراج تصاویر ویژگی از داده‌های ورودی و ایجاد تصویر اختلاف ویژگی‌ها، ۳- انتخاب تصاویر اختلاف بهینه با استفاده از روش‌های آماری، ۴- نگاشت تصاویر بهینه به فضای کروی، ۵- حد آستانه‌گذاری چند مقیاس و خوشه‌بندی سلسله مراتبی بهبودیافته به وسیله



نگاره ۲: مدل مفهومی روش پیشنهادی

و آنالیز و تحلیل تصاویر کمک می‌کند. در واقع در استخراج دوم و تصویر ورودی دوم

$$X_2 = \{x_2(i, j) | 1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N\}$$

باشد. تصویر اختلاف ساده میان تصاویر ورودی مطابق با رابطه (۱) ایجاد می‌شود.

$$DI^K = |X_2^K - X_1^K|$$

رابطه (۱)

از طرفی فرض مستقل بودن پیکسل‌ها در تصاویر با قدرت تفکیک بسیار بالا فرض درستی نیست. پس لازم است اطلاعات مکانی یا متنی اطراف هر پیکسل نیز در نظر گرفته شود. برای تمام پیکسل‌های مربوط به هر دو تصویر هشت همسایگی مجاور را انتخاب کرده و تصویر اختلاف

را ایجاد کنیم تا تغییرات میان کلاس‌ها عوارض را بتواند برجسته کند (Mitra, Murthy et al. 2002).

ویژگی‌های طیفی: یکی از بیشترین پاسخ‌های مستقیم به تغییرات میان تصاویر بحث تغییرات طیفی میان تصاویر می‌باشد. اختلاف‌گیری ساده میان تصاویر ورودی می‌تواند تا حدی این اختلافات را نشان دهد. فرض کنید تصویر ورودی اول

$$X_1 = \{x_1(i, j) | 1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N\}$$

قابل توجهی برخوردار است. به بیان دیگر انتخاب ویژگی فرآیند انتخاب ویژگی های مناسب و مفید در کاربرد خاص است. انتخاب ویژگی می تواند به صورت نظارت شده، شبه نظارت شده و نظارت نشده تقسیم شود. الگوریتم مطرح شده به صورت نظارت نشده ارائه شده است لذا مرحله انتخاب ویژگی های مناسب نیز به صورت نظارت نشده انجام شده است.

روش های انتخاب ویژگی نظارت نشده به سه دسته کلی تقسیم بندی می شود: روش های مبتنی بر فیلتر، روش های مبتنی بر wrapper و روش های ترکیبی. در روش های مبتنی بر فیلتر داده ها براساس ویژگی ها و مشخصه هایشان ارزیابی می شوند و نیاز به الگوریتم خوشه بندی ندارند و از سرعت بالایی هم برخوردار می باشند. روش های مبتنی بر فیلتر خود به روش های univariate و multivariate تقسیم می شوند. روش های multivariate روش های مبتنی بر اطلاعات آماری می باشند که به دلیل سرعت و سادگی و روند منطقی موجود در آنها در این مقاله مدنظر قرار گرفته اند. آنالیز هم زمان هم بستگی و آنتروپی در استخراج ویژگی ها مدنظر قرار گرفته است.

ارزیابی هم بستگی دوسویه میان تمام ویژگی ها و حذف بردارهای ویژگی با هم بستگی بالا و آنالیز بردارهای باقی مانده براساس محتوای اطلاعاتی آنها یا همان آنتروپی به کار گرفته شده است. در ابتدا بردارهای ویژگی برحسب آنتروپی مرتب شده و براساس حد آستانه ای بردارهایی با محتوای اطلاعاتی پایین حذف شده و آنالیز هم بستگی بر روی دیگر اعضاء انجام شده و بردارهایی با هم بستگی بالا حذف شده و مجدد آنالیز آنتروپی در حذف بردارهای هم بسته به کار گرفته می شود. عدم هم بستگی میان بردارها همیشه به معنای مناسب بودن ویژگی و تفکیک پذیری بالا نیست زیرا ممکن است بردار ویژگی مذکور از محتوی اطلاعاتی پایین و نامربوط تشکیل شده باشد. این فرآیند تا رسیدن به تعداد دلخواه ویژگی ادامه می یابد- (Solorio

Fernández, Carrasco-Ochoa et al. 2020)

حاصل از تفاضل پیکسل های همسایگی نیز ایجاد می شود. ویژگی های بافتی: علاوه بر اطلاعات طیفی اطلاعات بافتی هم محتوای اطلاعاتی بالایی را برای تصاویر با قدرت تفکیک بسیار بالا فراهم می کنند. اطلاعات بافتی بیانگر اطلاعات قابل توجهی از توزیع مکانی پیکسل ها در تصویر می باشند این رابطه مکانی کمک شایانی به شناسایی تغییرات در طیف های مشابه به هم می کند. در این مقاله ماتریس هم پیشامد درجات خاکستری و گابور به منظور آنالیز بافت در هر دو تصویر به کار گرفته شده اند. ماتریس هم پیشامد درجات خاکستری روشی است به منظور استخراج بافت که سختی بافت را در جهات مختلف برآورد می کند. اگر احتمال π باشد که نقطه ای با درجه ی خاکستری i را به نقطه ای با درجه خاکستری j برساند. پنجره ای در جهات مختلف به منظور مشخص کردن ارتباطات همسایگی در نظر گرفته می شود. این زوایا ۰ و ۴۵ و ۹۰ و ۱۳۵ درجه انتخاب شده است. جوابی که در نهایت داریم میانگین مقادیر میانگین واریانس هموزنتی کتراست عدم تشابه آنتروپی ممان مرتبه دوم و همسایگی در جهات مختلف برای پنجره ی 3×3 می باشد. ویژگی ها از هر دو تصویر خروجی استخراج شده و تصویر اختلاف هر یک از ویژگی ها محاسبه می شود (Tan, Zhang et al. 2019).

موجک گابور هم به عنوان یکی دیگر از استخراج گره های بافت است که مبتنی بر تبدیل فوریه براساس تابع گوسین در دامنه ی فرکانس می باشد. این روش به استخراج عوارض بافتی با جزئیات می پردازد. در این مقاله تصویر اختلاف حاصل از ویژگی های گابور استخراج شده از هر تصویر نیز محاسبه می شود (Tan, Zhang et al. 2019).

۳-۳- انتخاب تصاویر اختلاف بهینه با استفاده از روش های آماری

ویژگی های نامناسب در تحلیل و آنالیز نتایج شناسایی تغییرات تأثیر منفی دارند و باعث کاهش اعتماد پذیری نتایج می شوند. در نتیجه انتخاب ویژگی های مناسب از اهمیت

$$\varphi = \arccos \frac{x_{D,3}}{\rho} \quad \text{رابطه (۶)}$$

در این روابط P نشان‌دهنده مقدار بزرگی و ϕ و θ نشان‌دهنده‌ی جهت متغیرها می‌باشد. توزیع بردارهای تغییرات در فضای کروی به این شکل است که پیکسل‌های تغییر نکرده در فاصله نزدیکی نسبت به مبدأ سیستم مختصات کروی قرار دارند و پیکسل‌های تغییر کرده در فاصله‌ای دورتر از مبدأ مختصات قرار دارند. در این میان انواع مختلفی از تغییرات ممکن است مقادیر P قوی‌تر یا ضعیف‌تری داشته باشند. ممکن است پیکسل‌های احاطه شده توسط پیکسل‌هایی از کلاس دیگر دچار هم‌پوشانی شوند که باید این مسئله مورد توجه قرار بگیرد (Solano-Correa, Bovolo et al. 2019) (Wu, Chen et al. 2019).

۳-۵- حد آستانه‌گذاری چند مقیاس اتسو

در مرحله‌ی اول به منظور تصمیم‌گیری راجع به پیکسل‌های تغییر نکرده و حذف آن‌ها به منظور بررسی راحت‌تر مناطق تغییرات لازم است یک حد آستانه‌گذاری انجام شود.

روش حد آستانه‌گذاری اتسو یکی از معروف‌ترین روش‌های حد آستانه‌گذاری است که به دلیل آسان بودن پیاده‌سازی و عملکرد مستحکم مورد توجه قرار گرفته است. الگوریتم حد آستانه‌گذاری اتسو از هیستوگرام به منظور تعیین بهترین حد آستانه استفاده می‌کند. ایده پایه استفاده از روش اتسو ماکزیمم نمودن واریانس بین کلاسی است. برای قطعه‌بندی براساس حد آستانه‌گذاری چند مقدار اگر q منطقه در تصویر در نظر بگیریم لازم است q-1 حد آستانه انتخاب شود تا فضای مسئله را قسمت‌بندی کند. اگر q-1 حد آستانه به ترتیب k1 تا k_{q-1} شد، حد آستانه‌گذاری چند مقداری پیکسل‌ها براساس درجه خاکستری‌شان تقسیم می‌کند.

$$\delta_{\omega}^2(T) = \omega_0(T) * \delta_0^2(T) + \omega_1(T) * \delta_1^2(T) \quad \text{رابطه (۷)}$$

ضریب هم‌بستگی: یکی از معیارهای اندازه‌گیری شباهت بین دو بردار x و y می‌باشد و مطابق با رابطه (۲) تعریف می‌شود:

$$\rho(x, y) = \frac{cov(x, y)}{\sqrt{var(x) * var(y)}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که cov و var به ترتیب بیان‌کننده واریانس و کوواریانس هستند. اگر x و y کاملاً به هم وابسته باشند، برابر ۱+ یا ۱- است و اگر اصلاً وابسته نباشند صفر است و در غیر این صورت عددی بین ۱+ تا ۱- است.

آنتروپی: اگر آنتروپی پایین و نزدیک به صفر باشد پراکندگی یکنواخت نبوده و اگر بالا باشد توزیع یکنواخت می‌باشد و به‌خوبی نمی‌توان تمایز ایجاد کرد (Solario-Fernández, Carrasco-Ochoa et al. 2020).

$$H(x) = - \sum_{i=1}^n p(x_i) * \log p(x_i) \quad \text{رابطه (۳)}$$

۳-۴- نگاشت تصاویر بهینه به فضای کروی

تصاویر اختلاف انتخاب‌شده در مرحله‌ی انتخاب ویژگی به منظور افزایش قابلیت نمایش تغییرات به فضایی با مختصات کروی نگاشت داده می‌شوند. با نگاشت تصاویر اختلاف به فضای جدید مقادیر ایجادشده از توزیع چگالی متفاوتی برخوردارند که نیاز به بررسی دقیقی می‌باشد. فضای مسئله می‌تواند در ابعاد مختلف در نظر گرفته شود در این مقاله فضای سه‌بعدی در نظر گرفته شده است. اگر تصاویر اختلاف را به ترتیب D1, D2, D3 نشان دهیم مختصات کروی با استفاده از تبدیلات زیر (روابط ۴ و ۵) حاصل می‌شود (Solano-Correa, Bovolo et al. 2019).

$$\rho = \sqrt{x_{D,1}^2 + x_{D,2}^2 + x_{D,3}^2} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\theta = \arctan \frac{x_{D,3}}{x_{D,1}} \quad \text{رابطه (۵)}$$

پیچیدگی زمانی $O(n^2)$ می باشد. نتایج در جدولی تحت عنوان جدول فواصل بین نقطه ای قرار می گیرد از این رو پیچیدگی فضای محاسبات هم مطرح می شوند. جستجو برای یافتن جفت فاصله ای با کمترین فاصله مطرح می شود و مجدد زمان محاسباتی در نظر گرفته می شود. الگوریتم خوشه بندی سلسله مراتبی تجمیعی الگوریتمی است پایدار و مستحکم و مؤثر که در آنالیز خوشه ها مناسب می باشد (Zhou, Xu et al. 2016).

۳-۷- روش زنجیره تصادفی مارکوف

مسئله زنجیره تصادفی مارکوف قطعه بندی تصویر را به صورت احتمالاتی در نظر می گیرد. این روش به نوعی پیکسل مبناست و دارای توانایی خوبی در لبه ها می باشد. در روش زنجیره تصادفی مارکوف مسئله قطعه بندی تبدیل به مسئله ماکزیم نمودن احتمال پسین شده است. در این روش از مفهوم دسته و توزیع گیبس برای بحث قطعه بندی تصویر استفاده می شود و هدف کمینه نمودن مجموع تابع انرژی مکانی و طیفی برای رسیدن به نتایج مطلوبی از قطعه بندی می باشد. احتمال پسین مبتنی بر تئوری بیز مطابق با رابطه (۱۱) می باشد:

$$p(A|B) = \frac{p(B|A) \times p(A)}{p(B)} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

که در آن $\{A = A_1, A_n\}$ و n نشان دهنده تعداد پیکسل ها می باشد. در این رابطه $p(B)$ مقداری ثابت. مقدار A که قادر به کمینه نمودن مجموع انرژی طیفی و مکانی باشد احتمال پسین نامیده می شود. مجموع طیفی یا $E_{spectral}$ و انرژی مکانی یا $E_{spatial}$ تابع انرژی کلی را تشکیل می دهند و هریک مطابق با رابطه (۱۲) محاسبه می شود (Wei, Zhao et al. 2019)

$$E_{spectral}(x_j) = -\log(p(x_j|A_j)) \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

$$\omega_0(T) = \sum_{i=1}^{T-1} p(i) \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$\omega_1(T) = \sum_{i=T} p(i) \quad \text{رابطه (۹)}$$

$$\delta_b^2(T) = \omega_0(T) * \omega_1(T) [\mu_0(T) - \mu_1(T)] \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

مینیم سازی واریانس داخل کلاسی معادل با ماکزیم نمودن واریانس بین کلاسی می باشد. در روابط ۷ و ۸ و ۹، در صورتی که فرض تک حد آستانه ای در نظر گرفته شود $\omega_0(T)$ و $\omega_1(T)$ نشان دهنده احتمالات کلاس ها، T نشان دهنده مقدار حد آستانه δ_b به ترتیب نشان دهنده واریانس و میانگین هست. در این مقاله ابتدا حد آستانه گذاری دو مقدار اتسو بر روی مقادیر τ اعمال شده تا با قابلیت اعتماد بالاتری مناطق تغییر نکرده را در فرآیند شناسایی و حذف نمود (Rosin 2002).

۳-۶- روش خوشه بندی سلسله مراتبی تجمیعی

الگوریتم های خوشه بندی سلسله مراتبی به دو دسته الگوریتم های از بالا به پایین و از پایین به بالا تقسیم می شوند که الگوریتم های تجمیع کننده و تقسیم کننده نامیده می شوند. روش های تجمیعی با n خوشه منفرد شروع به کار می کنند و با ادغام خوشه ها به صورت سلسله مراتبی و پی در پی دنباله ای را تشکیل می دهند.

الگوریتم خوشه بندی سلسله مراتبی تجمیعی سه اندازه گیری را در نظر می گیرد: ۱- پیوند واحد ۲- پیوند کامل ۳- پیوند متوسط. الگوریتم سلسله مراتبی تجمیعی زمانی که از پیوند واحد برای اندازه گیری بین خوشه ها استفاده کند الگوریتم خوشه بندی نزدیک ترین همسایه نامیده می شود. فرض کنید n نمونه داریم و به دنبال تشکیل خوشه ای c با استفاده از اتصال واحد هستیم پیچیدگی محاسباتی مطابق زیر داریم:

- محاسبه ای فاصله میان تمام نقاط $n(n-1)$ حالت -

اگر پارامترهای M, N به ترتیب تعداد کل داده‌های تست تغییرات و عدم تغییرات باشد، پارامترهای ارزیابی دقت مطابق با روابط ۱۵ تا ۱۹ ارائه می‌شوند:

$$\text{false alarm} = \frac{TF}{N} \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

$$\text{missed alarm} = \frac{FT}{M} \quad \text{رابطه (۱۶)}$$

$$\text{change accuracy} = \frac{TT}{N} \quad \text{رابطه (۱۷)}$$

$$\text{unchange accuracy} = \frac{FF}{M} \quad \text{رابطه (۱۸)}$$

$$\text{overall accuracy} = \frac{TT + FF}{M + N} \quad \text{رابطه (۱۹)}$$

۴- پیاده‌سازی و ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی

به منظور بررسی کارایی الگوریتم پیشنهادی از پایگاه داده معرفی شده در بخش ۲ استفاده شده است در ابتدا تصاویر با استفاده از ۳۰ نقطه کنترل متناظر RMSE، معادل ۰/۷ پیکسل بر هم منطبق شده‌اند. سپس ویژگی‌های طیفی و بافتی مطابق با مرحله ۲-۳ استخراج شده است. در مرحله بعد تصاویر اختلاف متناظر با هر ویژگی استخراج شده در هر دو تصویر محاسبه می‌شوند و طبق بخش ۳-۳ تصاویر اختلاف بهینه با استفاده از روش‌های تحلیل آماری ضریب هم‌بستگی و تحلیل آنتروپی مطابق با تصاویر نگاره ۳ قسمت الف و ب و ج ایجاد شده است.

در تصاویر اختلاف ایجاد شده از ویژگی‌های با محتوای اطلاعاتی بالا مرز و لبه‌ی عوارض مطابق با نگاره ۳ قسمت الف و ب و ج کاملاً تفکیک شده و مشخص می‌باشند. اطلاعات بالای لبه‌ها و مرزها در این خروجی‌ها علیرغم ایجاد محتوای اطلاعاتی بالا افزونگی اطلاعات را ایجاد نموده است. پس به منظور تحلیل بهتر- تصاویر اختلاف ایجاد شده به فضای کروی نگاشت می‌یابند (مطابق با گام ۳-۴).

که در این رابطه $p(x_j|A_j)$ احتمال تعلق x_j به کلاس A_j را بیان می‌کند.

$$E_{spatial}(x_j) = \sum_{x_j \in N_j} \beta(1 - \delta(\theta_i - \theta_j)) \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

در رابطه ۱۳، δ تابع دلتای کروکنر و β پارامتر کنترل همسایگی‌ها می‌باشد. تابع انرژی نهایی مطابق با رابطه (۱۴) می‌باشد (Wei, Zhao et al. 2019).

$$E = E_{spectral} + E_{spatial} \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

۳-۸- ارزیابی دقت

ارزیابی دقت یکی از مهم‌ترین بخش‌های فرآیند طبقه‌بندی و شناسایی تغییرات محسوب می‌شود که روش‌های مختلفی به منظور محاسبات و تفاسیر آن ارائه شده است.

در این تحقیق از معیار آلام‌های از دست رفته، تعداد پیکسل‌های تغییراتی که به اشتباه به عنوان عدم تغییرات شناسایی شده‌اند، آلام‌های اشتباه، تعداد پیکسل‌های عدم تغییراتی که به اشتباه به عنوان تغییرات شناسایی شده‌اند، دقت کلی، تعداد کل پیکسل‌هایی که به درستی در کلاس خود شناسایی شده‌اند، دقت تغییرات، تعداد پیکسل‌های تغییراتی که به درستی شناخته شده‌اند و دقت عدم تغییرات، تعداد پیکسل‌های عدم تغییراتی که به درستی شناخته شده‌اند، به منظور روش پیشنهادی استفاده شده است (Khanbani, Mohammadzadeh et al. 2020).

| | تصویر خروجی | پیکسل‌های تغییرات | پیکسل‌های عدم تغییرات |
|-----------|-------------------|-------------------|-----------------------|
| تصویر تست | | TT | TF |
| | پیکسل‌های تغییرات | FT | FF |

ماسک NDVI برای حذف محل پوشش گیاهی و ماسک سایه برای بهبود وضعیت سایه استفاده شده است. نگاره ۴ قسمت (ح) خروجی نقشه تغییرات نهایی را نشان می‌دهد. با توجه به خروجی‌ها در هر مرحله تغییرات سطح بالا که عامل آن پوشش گیاهی و وجود سایه در منطقه بوده‌اند حذف شده است.

با آنالیز بصری شکل روش پیشنهادی به خوبی قادر به شناسایی منطقه تغییر یافته‌ی مشخص شده با کادر قرمز رنگ در نگاره ۵ (الف) و (ب) می‌باشد؛ و همچنین به دلیل پیچیدگی منطقه و وجود سایه و درختان نوزهایی نیز نشان داده شده است. به منظور ارزیابی کمی روش پیشنهادی از تصویر صحت زمینی با 11073 پیکسل به عنوان تصویر تست زمینی استفاده شده است.

همانطور که در جدول ۲ نمایش داده شده، روش پیشنهادی دقت کلی $92/56$ را در منطقه مورد مطالعه نشان داده است. دقت شناسایی تغییرات $81/61$ درصد و دقت عدم تغییرات $92/77$ درصد را نشان می‌دهد. درصد هشدار اشتباه $0/21$ درصد و دقت هشدار از دست رفته $0/0723$ درصد نشان داده شده است.

به منظور ارزیابی مقایسه‌ای، روش پیشنهادی با الگوریتم آنالیز بردار تغییرات مورد مقایسه قرار گرفته است. در این قسمت ویژگی‌های منتخب در قسمت استخراج ویژگی در الگوریتم آنالیز تغییرات وارد شده و سپس با استفاده از حد آستانه گذاری دو مقیاسه و آنالیز سایه نقشه تغییرات ایجاد شده است. همانطور که در نگاره ۵ قسمت (د) و جدول ۲ نمایش داده شده، این روش در مقایسه با روش پیشنهادی مقاله مناطق تغییرات اشتباهی را نشان داده است. که در شکل نمونه‌هایی از آن‌ها در کادر سبز رنگ نمایش داده شده است. دقت تغییرات و عدم تغییرات در روش آنالیز بردار تغییرات به ترتیب $52/98$ و $89/24$ درصد ثبت شده است که مقایسه‌ی این نتایج با نتایج روش پیشنهادی مقاله کارایی روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.

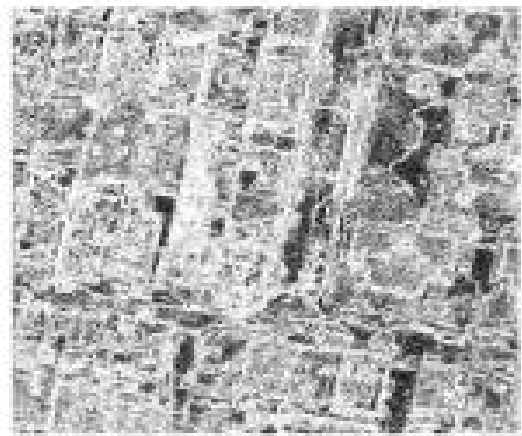
نتایج تصاویر اختلاف نگاشت یافته در نگاره ۳ قسمت‌های د، ه، ی نمایش داده شده است. با توجه به خروجی‌های این مرحله لبه‌ها و مرزهای افزونه حذف شده و کنتراست بالایی میان عوارض مختلف در منطقه ایجاد شده است. در مرحله‌ی بعد بر روی مؤلفه‌ی r فضای کروی حد آستانه گذاری دو مقدار اتسو پیاده سازی شده است.

خروجی اولیه‌ای از نقشه تغییرات نهایی در نگاره ۴ قسمت (الف) نشان داده شده است. در این خروجی تغییرات به سه سطح تقسیم بندی شده‌اند - تغییرات سطح بالا که با رنگ زرد نشان داده شده است. تغییرات سطح متوسط که با رنگ آبی پر رنگ و بازه‌ی بدون تغییرات نیز با رنگ آبی کم رنگ مشخص شده است. در خوشه بندی دو مقدار حد آستانه گذاری اتسو مقادیر پایین تر از کمترین حد آستانه با اطمینان بالا به عنوان پیکسل‌های عدم تغییرات شناخته می‌شوند و مقادیر بالای بیشترین حد آستانه با احتمال بالایی به عنوان پیکسل‌های تغییرات شناسایی می‌شوند. عدم اطمینان در پیکسل‌های میانی حد آستانه‌ها هست؛ که در تصمیم‌گیری کلاس متعلق به پیکسل‌های این بازه از نقشه تغییرات خروجی خوشه بندی سلسله مراتبی تجمیعی منظم شده با زنجیره تصادفی مارکوف استفاده شده است. تصویر اختلاف بهینه‌ی نگاشت شده به فضای کروی با بلوک‌هایی بدون هم‌پوشانی با ابعاد یکسان تقسیم شده و برای هر بلوک به صورت مجزا روش خوشه بندی سلسله مراتبی تجمیعی اعمال می‌شود.

نتایج حاصل از خوشه بندی تجمیعی بلوک‌ها در نگاره ۴ قسمت (ب) نمایش داده شده است و سپس از روش زنجیره تصادفی مارکوف به منظور منظم سازی خوشه‌های حاصل از روش خوشه بندی سلسله مراتبی تجمیعی و حذف نویز استفاده می‌شود. نتیجه‌ی منظم سازی و حذف نویز از روش مارکوف در نگاره ۴ قسمت (ج) نمایش داده شده است. نتایج خروجی نقشه تغییرات نهایی در نگاره ۴ قسمت (د) نمایش داده شده است. در مرحله‌ی آخر نیز از



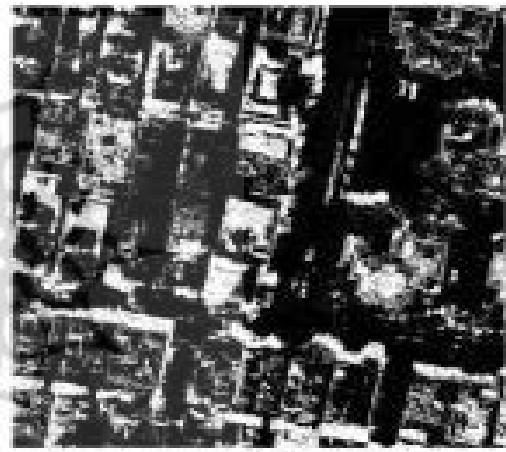
(الف)



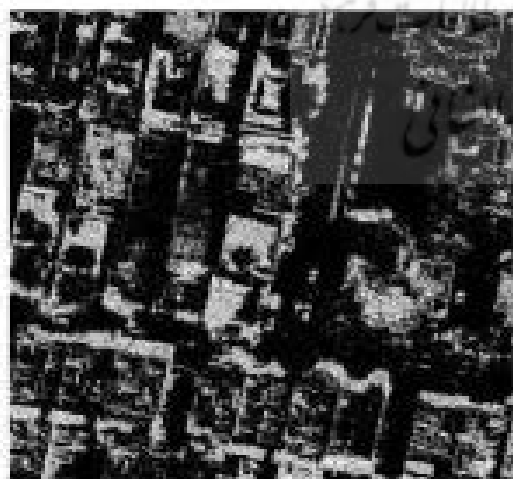
(ب)



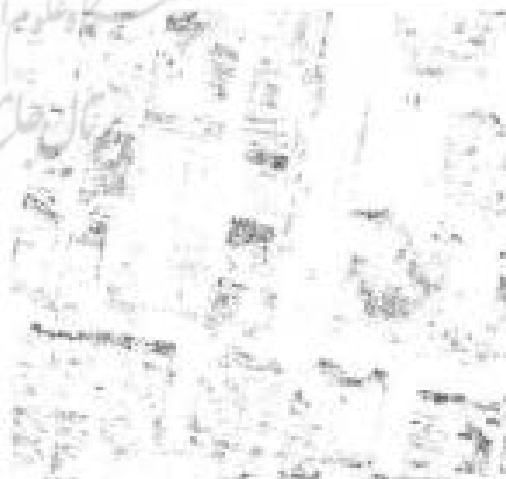
(ج)



(د)

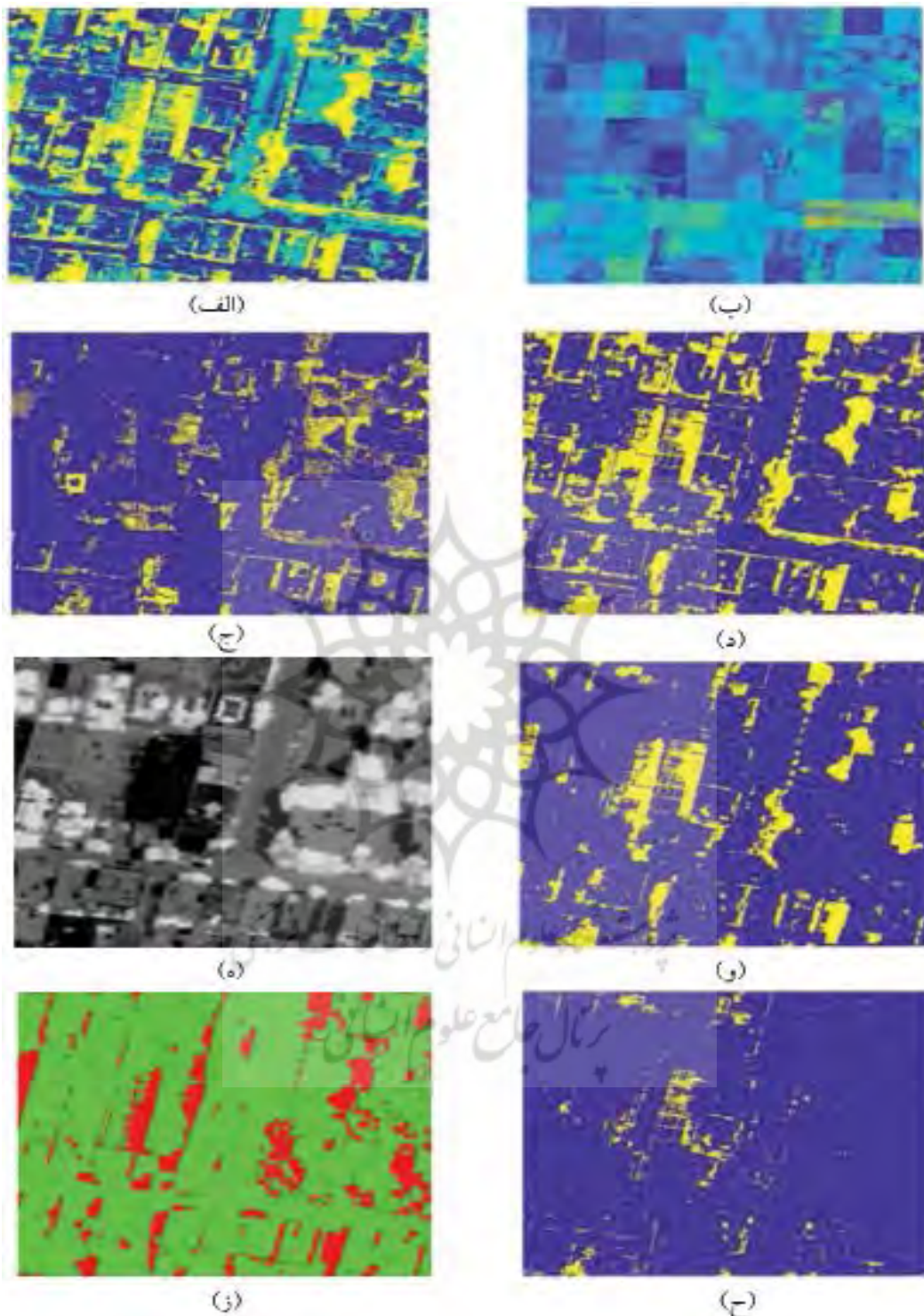


(ه)

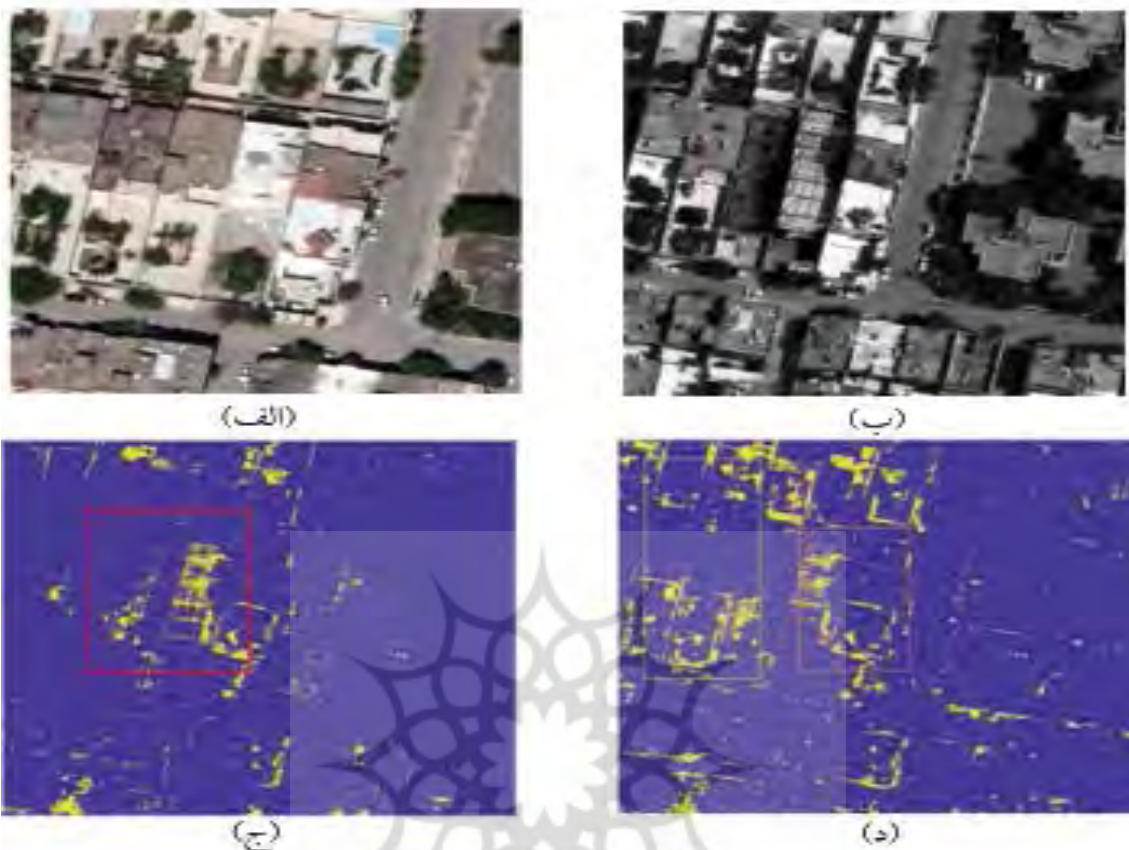


(و)

نگاره ۳: الف) و (ب) و (ج) نمایش رنگی سه تصویر اختلاف انتخاب شده با محتوای اطلاعاتی بالا -
(د) مؤلفه شعاع در تبدیل به مختصات کروی - (ه) مؤلفه تتا - (و) مؤلفه فی



نگاره ۴: (الف) خروجی تصویر اختلاف دو مقیاس بر روی مؤلفه شعاع - (ب) خروجی خوشه‌بندی سلسله مراتبی بر روی تصویر بلوک‌بندی شده - (ج) خروجی میدان تصادفی مارکوف - (د) تصویر تغییرات نهایی - (ه) تصویر ماسک سایه NDVI - (و) تصویر تغییراتی که ماسک NDVI بر روی آن اعمال شده است - (ز) تصویر ماسک سایه - (ح) نقشه تغییرات نهایی پس از اعمال ماسک سایه



نگاره ۵: (الف) تصویر زمان اول - (ب) تصویر زمان دوم - (ج) نقشه تغییرات نهایی روش پیشنهادی - (د) نقشه تغییرات نهایی روش آنالیز بردار تغییرات

جدول ۲: نتایج خروجی ارزیابی دقت

| روش مورد ارزیابی | دقت عدم تغییرات | دقت تغییرات | دقت کلی | هشدار اشتباه | هشدار از دست رفته |
|--------------------------|-----------------|-------------|---------|--------------|-------------------|
| روش ارائه شده | ۷۷/۹۲ | ۸۱/۶۱ | ۹۲/۵۶ | ۰/۲۱ | ۰/۰۷ |
| روش آنالیز بردار تغییرات | ۸۹/۲۴ | ۵۲/۹۸ | ۸۷/۶۶ | ۰/۳۵ | ۰/۰۲ |

۵- نتیجه گیری

را پوشش می دهد. در مرحله ی بعد ویژگی های استخراج شده که محتوای اطلاعاتی بالایی دارند انتخاب شده که این امر به کاهش افزونگی اطلاعات کمک می کند. تصاویر اختلاف حاصل از ویژگی هایی با محتوای اطلاعاتی بالا به منظور متمایز نمودن محل تغییرات ایجاد شده اند. فضای محاسباتی کروی به عنوان فضای محاسبات پایه در نظر گرفته شده است. به منظور ایجاد نقشه تغییرات باینری دو آنالیز بر روی فضای محاسباتی کروی انجام شده است. ابتدا روش حد آستانه گذاری دو مقدار هی اتسو اعمال شده

در این مقاله روش شناسایی تغییرات نظارت نشده ی جدیدی براساس تلفیق نتایج حد آستانه گذاری دو مقدار هی و روش خوشه بندی سلسله مراتبی ارائه شده است. در مقایسه با روش های نظارت شده که نیازمند داده ی آموزشی هستند این روش به داده ی آموزشی نیاز ندارد. در این روش ویژگی های طیفی بافتی و مکانی از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا استخراج می شود که این امر بحث اهمیت همسایگی ها در تصاویر با قدر تفکیک مکانی بالا

(2020). "Unsupervised change detection of remotely sensed images from rural areas based on using the hybrid of improved Thresholding techniques and particle swarm optimization." *Earth Science Informatics*: 1-14.

6- Lu, D., P. Mausel, E. Brondizio and E. Moran (2004). "Change detection techniques." *International journal of remote sensing* 25(12): 2365-2401.

7- Lv, Z., T. Liu, C. Shi, J. A. Benediktsson and H. Du (2019). "Novel land cover change detection method based on K-means clustering and adaptive majority voting using bitemporal remote sensing images." *IEEE Access* 7: 34425-34437.

8- Mitra, P., C. Murthy and S. K. Pal (2002). "Unsupervised feature selection using feature similarity." *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence* 24(3): 301-312.

9- Rensink, R. A. (2002). "Change detection." *Annual review of psychology* 53(1): 245-277.

10- Rosin, P. L. (2002). "Thresholding for change detection." *Computer vision and image understanding* 86

11- Saha, S., F. Bovolo and L. Bruzzone (2019). "Unsupervised deep change vector analysis for multiple-change detection in VHR images." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 57(6): 3677-3693.

12- Singh, A. (1989). "Review article digital change detection techniques using remotely-sensed data." *International journal of remote sensing* 10(6): 989-1003.

13- Solano-Correa, Y. T., F. Bovolo and L. Bruzzone (2019). "An approach to multiple change detection in VHR optical images based on iterative clustering and adaptive thresholding." *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 16(8): 1334-1338.

14- Solorio-Fernández, S., J. A. Carrasco-Ochoa and J. F. Martínez-Trinidad (2020). "A review of unsupervised feature selection methods." *Artificial Intelligence Review* 53(2): 907-948.

15- Tan, K., Y. Zhang, X. Wang and Y. Chen (2019). "Object-based change detection using multiple classifiers and multi-scale uncertainty analysis." *Remote Sensing* 11(3): 359.

16- Wang, X., P. Du, S. Liu, Y. Meng and C. Lin (2019). *Unsupervised Change Detection in VHR Images Based*

است. در این روش مقادیر پایین از حدآستانه‌ی کوچک‌تر به‌عنوان مقادیر عدم تغییرات قطعی و مقادیر بزرگ‌تر از حدآستانه‌ی بزرگ‌تر به‌عنوان مقادیر تغییرات قطعی در نظر گرفته می‌شوند. مقادیر میانی حدآستانه‌ی کوچک‌تر و بزرگ‌تر می‌بایست مورد تحلیل بیشتر قرار گیرند که به‌این منظور از روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی استفاده شده است. در این قسمت کلاس پیکسل‌های میانی مورد بررسی قرار گرفته و سپس یک منظم‌سازی نهایی با استفاده از میدان مارکوف و آنالیز سایه و پوشش گیاهی به منظور پس‌پردازش و جلوگیری از تغییرات به‌صورت کاذب انجام شده است. در این مقاله از پارامترهای دقت تغییرات - دقت عدم تغییرات - دقت کلی - هشدارهای اشتباه و از دست رفته به منظور ارزیابی دقت روش پیشنهادی با نقشه‌صحت زمینی استفاده شده است. به منظور بررسی مقایسه‌ای نیز از مقایسه‌ی روش پیشنهادی با روش آنالیز بردار تغییرات بر روی فضای ویژگی ایجاد شده استفاده شده است. نتایج نشان‌دهنده‌ی کارایی روش ارائه شده می‌باشد.

منابع و مأخذ

1- Asokan, A. and J. Anitha (2019). "Change detection techniques for remote sensing applications: a survey." *Earth Science Informatics* 12(2): 143-160.

2- Hao, M., W. Shi, Y. Ye, H. Zhang and K. Deng (2019). "A novel change detection approach for VHR remote sensing images by integrating multi-scale features." *International Journal of Remote Sensing* 40(13): 4910-4933.

3- Hussain, M., D. Chen, A. Cheng, H. Wei and D. Stanley (2013). "Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches." *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing* 80: 91-106.

4- Khanbani, S., A. Mohammadzadeh and M. Janalipour (2020). "A novel unsupervised change detection method from remotely sensed imagery based on an improved thresholding algorithm." *Applied Geomatics*: 1-17.

5- Khanbani, S., A. Mohammadzadeh and M. Janalipour

on Morphological Profiles and Automated Training Sample Extraction. 2019 10th International Workshop on the Analysis of Multitemporal Remote Sensing Images (MultiTemp), IEEE.

17- Wei, C., P. Zhao, X. Li, Y. Wang and F. Liu (2019). "Unsupervised change detection of VHR remote sensing images based on multi-resolution Markov Random Field in wavelet domain." International Journal of Remote Sensing 40(20): 7750-7766.

18- Wu, C., H. Chen, B. Do and L. Zhang (2019). "Unsupervised Change Detection in Multi-temporal VHR Images Based on Deep Kernel PCA Convolutional Mapping Network." arXiv preprint arXiv:1912.08628.

19- Zhan, T. and M. Gong (2019). A Hybrid Change Detection Method using Deep Feature Representations for VHR Images. 2019 10th International Workshop on the Analysis of Multitemporal Remote Sensing Images (MultiTemp), IEEE.

20- Zhou, S., Z. Xu and F. Liu (2016). "Method for determining the optimal number of clusters based on agglomerative hierarchical clustering." IEEE Transactions on Neural Networks and learning systems 28(12): 3007-3017.