

آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر تمام قطبیده راداری و روش‌های جبری، فاصله و شباهت‌مبنا

*امیر نجفی^۱ و مهدی حسنلو^۲

۱- کارشناس ارشد سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

۲- استادیار، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۲/۱۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۹/۲۱

چکیده

پایش و نظارت تغییرات وسیع در سراسر جهان نیازمند روش‌ها و تکنیک‌های قدرتمندی می‌باشد، بنابراین آشکارسازی و بصری‌سازی و ارزیابی رشد تغییرات در برنامه‌ریزی و مدیریت قابل توجه است. استفاده از تصاویر تمام قطبیده راداری به دلیل تعامل بین موج‌های الکترومغناطیسی و هدف (تارگت) و استفاده از اطلاعات فاز و دامنه و به دلیل بالا بودن توان تفکیک مکانی تا حدود یک متر می‌تواند برای بررسی تغییرات در سطح زمین استفاده شود. این تحقیق براساس تجزیه تصاویر تمام قطبیده راداری هواپرد (SAR : UAVSAR : Uninhabited Aerial Vehicle SAR) و استخراج ویژگی‌های این تصویر و پیاده‌سازی الگوریتم‌های آشکارسازی تغییرات به شناسایی تغییرات در یک منطقه جغرافیایی با استفاده از دو نمونه داده واقعی پرداخته است. هدف از این تحقیق، بررسی و ارزیابی روش‌های مختلف آشکارسازی تغییرات در تصاویر تمام قطبیده راداری که شامل روش‌های جبری که براساس ماهیت ریاضی بین بردارهای متناظر، روش‌های فاصله‌مبنا براساس اندازه‌گیری فاصله بین بردارهای متناظر و روش‌های شباهت‌مبنا براساس وابستگی بین بردارهای متناظر می‌باشد. ارزیابی دقت این روش پیاده‌سازی شده با استفاده از داده واقعیت زمینی و استفاده از آماره‌های ارزیابی دقت کلی، مساحت زیر منحنی راک و نرخ هشدارهای اشتباه می‌باشد. ارزیابی نتایج نشان می‌دهد که روش‌های آشکارسازی تغییرات جبری دارای دقت بالای نسبت به سایر روش‌های تشخیص تغییرات می‌باشند. همچنین، نتایج کمی نشان می‌دهد که الگوریتم‌های تشخیص تغییرات جبری دارای دقت کلی بیش از ۹۲٪ بوده و در سایر معیارهای ارزیابی، روش جبری دارای نرخ هشدارهای اشتباه پایین و مساحت زیر منحنی بالا برای تشخیص تغییرات در تصاویر تمام قطبیده راداری می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: آشکارسازی تغییرات، تصویر تمام قطبیده راداری، روش جبری، روش فاصله‌مبنا، روش شباهت‌مبنا

*نویسنده مکاتبه کننده: تهران، کارگرشمالی، بالاتر از جلال آل احمد، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، طبقه یک
تلفن: ۶۱۱۱۴۵۲۵

۱- مقدمه

حجمی)، دارای اطلاعات مختلفی از سطح زمین در پلاریزاسیون‌های مختلف می‌باشد^[۹]. از طرفی این تصاویر به دلیل تعامل امواج الکترومغناطیسی و اهداف در سطح زمین شامل یک نویز ذاتی و سیستماتیک اسپیکل می‌باشند^[۱۰]. شکل (۱) نحوه تشکیل نویز اسپیکل برای هر پیکسل در تصاویر راداری را با توجه به برخورد موج الکترومغناطیسی با سطح زمین و رفتار موج برگشتی نشان می‌دهد. در حالت تئوری آشکارسازی تغییرات شامل سه گام مهم می‌باشد که گام اول پیش‌پردازش تصاویر که خود شامل هم‌مرجع نمودن^۳ و کاهش نویز اسپیکل می‌باشد، گام دوم تهیه نقشه اختلاف براساس ویژگی‌های^۴ مختلف استخراج شده و الگوریتم‌های آشکارسازی تغییرات و گام سوم تحلیل نقشه تغییرات و استفاده از روش‌های مختلف قطعه‌بندی^۵ برای تبدیل نقشه تغییرات به دو کلاس تغییر و غیرتغییر می‌باشد^[۱۱]. منگ لیو و همکاران^[۱۲] براساس استفاده از روش‌های اندازه‌گیری فاصله و بخش‌بندی تصاویر با روش حداقل خطأ^۶ و براساس اندازه‌گیری فاصله بر روی ویژگی‌های بافت به آشکارسازی تغییرات تصاویر تمام قطبیده راداری پرداختند. سینونگ گوان و همکاران^[۱۳] با استفاده از ویژگی فریمن سه‌جرئی^۷ و اعمال فیلترهای حذف نویز و اندازه‌گیری فاصله به آشکارسازی تغییرات تصاویر تمام قطبیده راداری پرداختند. یانگ دانگ و همکاران^[۱۴] در مورد استفاده از اپراتور انتخاب نقاط متناظر با استفاده از تبدیل مستقل از مقیاس ویژگی^۸ و استفاده از روش‌های بخش‌بندی بر روی ویژگی‌های استخراج شده به آشکارسازی تغییرات تصاویر تمام قطبیده راداری

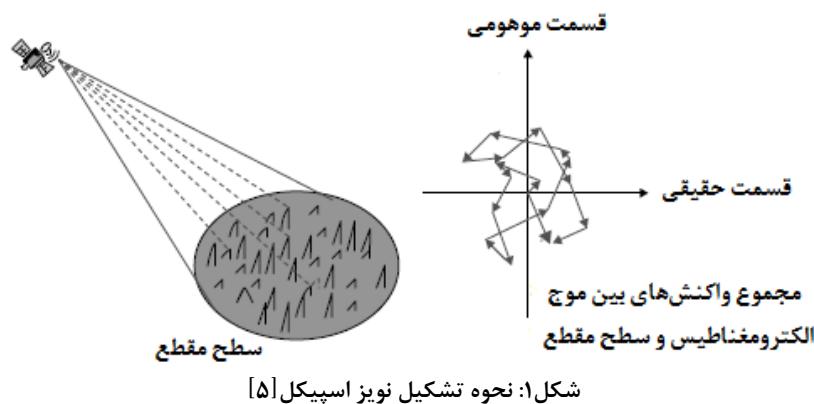
همواره پیشرفت‌های صورت گرفته از لحاظ کیفیت و توان تفکیک مکانی تصاویر در تصویربرداری راداری با روزنه مصنوعی^۱ باعث تبدیل این سیستم به یکی از پرکاربردترین فن‌آوری‌های مطالعات سنجش‌از دور شده است^[۱۱]. تکنولوژی تصاویر راداری با روزنه مصنوعی دارای قابلیت پایش منظم زمین و تغییرات آن در بازه‌های زمانی معین و مختلف می‌باشد^[۲]. همواره با توسعه سیستم تصویربرداری راداری با روزنه مصنوعی توسعه بزرگی در استفاده از قابلیت‌های سنجش‌از دور در کاربردهای متنوع شده است که بارزترین این کاربردها شامل طبقه‌بندی، مدیریت بحران، نظارت بر رشد شهری، نظارت بر جنگل، آشکارسازی تغییرات و غیره می‌باشد^[۳]. در میان قابلیت‌های مختلف سنجش‌از دور، آشکارسازی تغییرات دارای کاربردهای وسیعی می‌باشد^[۴]. در سنجش‌از دور آشکارسازی تغییرات با هدف تحلیل و بررسی تغییرات برای یک منطقه جغرافیایی در زمان‌های متفاوت می‌باشد^[۵]. به دلیل اهمیت آشکارسازی تغییرات در سنجش‌از دور، تصاویر راداری با روزنه مصنوعی نسبت به تصاویر اپتیکی به لیل برخورداری از قابلیت‌های بهتر می‌تواند کاربردی‌تر باشد^[۶]. تصاویر راداری روزنه مصنوعی به دلیل مستقل بودن از شرایط جوی، عدم تأثیر پوشش ابری و نورخورشید پایش شباهه‌روزی سطح زمین را انجام می‌دهند و به دلیل دارا بودن توان تفکیک مکانی بالا (در حدود یک متر) و امکان مشاهده در بازه‌های زمانی کوتاه به منظور آشکارسازی تغییرات مورد استفاده قرار می‌گیرد^[۷، ۸]. در بین تصاویر راداری، تصاویر تمام قطبیده راداری^۲ به دلیل تعامل بین موج‌های الکترومغناطیسی و اهداف و دارا بودن اطلاعات فاز و دامنه و به دلیل برخورداری از مکانیزم‌های پخش مختلف (صفحه‌ای، دو وجهی و

^۳ Registration^۴ Feature^۵ Segmentation^۶ Kittler and Illingworth^۷ Freeman-Durden Three-Component^۸ Scale-Invariant Feature Transform(SIFT)^۱ Synthetic Aperture Radar^۲ Polarimetry SAR

کلود^{۱۳}، پائولی^{۱۴}، توژی^{۱۵}، فریمن^{۱۶}، یاماگوچی^{۱۷} و غیره می‌باشد^[۷]. در ادامه، اقدام به تهیه مکعب^{۱۸} ویژگی‌ها کرده که بر روی این مکعب ویژگی‌ها روش‌های آشکارسازی تغییرات پیاده‌سازی و با استفاده از الگوریتم قطعه‌بندی اوتسو^{۱۹} اقدام به تهیه نقشه تغییرات در دو کلاس تغییر و غیرتغییر می‌نماید. در روش اوتسو یک مقدار درجه خاکستری به عنوان حد آستانه، هیستوگرام را به دو کلاس قبل و بعد از حد آستانه تقسیم نموده و برای پیکسل‌های قبل و بعد از حد آستانه میانگین، انحراف معیار و وزن محاسبه و این روند برای تمامی مقادیر درجه خاکستری انجام شده و سپس کمترین مقدار مجموع وزن‌ها در واریانس‌های هر درجه خاکستری به عنوان حد آستانه مدنظر انتخاب می‌گردد^[۱۸]. در نهایت با استفاده از معیارهای ارزیابی دقت کلی^{۲۰}، مساحت زیر نمودار راک^{۲۱} و نرخ هشدارهای اشتباه^{۲۲} دقت نتایج بررسی می‌شود. برای اثبات نتایج به دست آمده، چهار سناریوی مختلف طراحی و پیاده‌سازی شده است که شامل روش نرم‌السازی و فیلتر کردن داده‌ها برای آشکارسازی تغییرات می‌باشد. این مقاله شامل بخش‌های ذیل می‌باشد که بخش دوم داده‌های مورد استفاده در تحقیق، بخش سوم در مورد روش انجام تحقیق، بخش چهارم پیاده‌سازی و نتایج، پنجم بحث و بخش آخر نتیجه‌گیری می‌باشد.

پرداختند. لی و همکاران^[۱۵] با استفاده از شبکه‌های عصبی و استفاده از ویژگی‌های آنتروپی و اعمال ماسک شبکه عصبی به شناسایی و استخراج تغییرات پرداختند. لوچیا و همکاران^[۱۶] با استفاده از الگوریتم‌های خوش‌بندی براساس نزدیک ترین فاصله بر روی ویژگی‌های آنتروپی^۱ و روش‌نایی^۲ تصاویر تمام قطبیده راداری به آشکارسازی تغییرات تصاویر راداری پرداختند. مگیوگانگ و همکاران^[۱۷] با استفاده از تصاویر راداری و ادغام تصاویر نسبت میانگین^۳ و نسبت لگاریتمی^۴ با الگوریتم شبکه‌های موجک فازی^۵ و استفاده از الگوریتم خوش‌بندی فازی^۶ به نقشه تغییرات تصاویر راداری رسیدند. همواره در تحقیقات پیشین با استناد به برخی روش‌های آشکارسازی تغییرات و سعی در استفاده از برخی ویژگی‌های استخراجی خاص براساس نوع منطقه مورد مطالعه به آشکارسازی تغییرات رسیده‌اند ولی در این تحقیق با استفاده از تمامی ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر تمام قطبیده راداری برای دو نوع منطقه متفاوت براساس مدل‌های مختلف تجزیه و بررسی انواع روش‌های آشکارسازی تغییرات به بررسی و ارزیابی نتایج پرداخته شده است. این تحقیق براساس استفاده از سیستم تصویربرداری UAVSAR^۷ و اعمال فیلترهای کاهش نویز اسپیکل و هم‌مرجع‌سازی این تصاویر که در دو بازه زمانی متفاوت می‌باشد، اقدام به تجزیه^۸ تصاویر تمام قطبیده راداری می‌نماید. این تجزیه‌ها شامل هاینن^۹، بارنز^{۱۰}، یانگ^{۱۱}، هولم^{۱۲}،

¹ Entropy² Intensity³ Mean-Ratio Image⁴ Log-Ratio Image⁵ Wavelet⁶ Fuzzy C-means(FCM)⁷ Uninhabited Aerial Vehicle SAR(UAVSAR)⁸ Decomposition⁹ Huynen¹⁰ Barnes¹¹ Yang¹² Holm



شکل ۱: نحوه تشکیل نویز اسپیکل [۵]

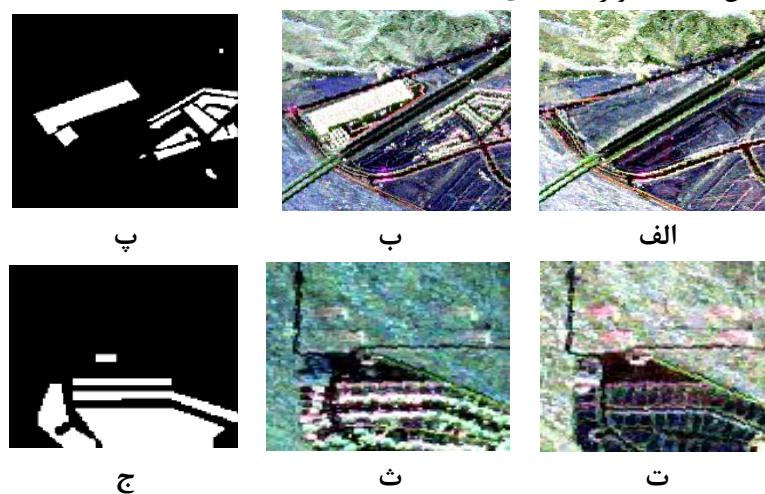
تصاویر راداری (تصاویر Pauli) و با روش مقایسه بصری و شخص خبره تهیه شده است.

جدول ۱: ویژگی‌های سنجنده UAVSAR [۱۹]

پارامتر	مقدار
فرکانس مورد استفاده	۱,۲۶ گیگاهرتز
رزولوشن در راستای رنج	۱,۶۶ متر
رزولوشن در راستای آزیموت	۱ متر
زاویه برخورد اشعه به سطح زمین	۶۵ - ۲۵ درجه
عرض نوار برداشت	۲۰ کیلومتر

۲- داده‌های مورد استفاده

دو جفت تصاویر اخذ شده به صورت تک منظر در چهار کانال تمام پلاریمتری توسط سنجنده هوابرد UAVSAR در باند L از سطح شهر سانفرانسیسکو در ۲۰۱۵ تاریخ‌های ۱۸ سپتامبر و ۱۱ می اخذ شده است. داده اول با طول و عرض ۲۰۰ پیکسل پیکسل و داده دوم با طول و عرض ۱۰۰ پیکسل می‌باشد (شکل (۲)). خلاصه ویژگی‌های سنجنده هوابرد UAVSAR در جدول (۱) بیان شده است. واقعیت زمینی با استفاده از تصاویر اپتیکی و تصاویر گوگل ارث در دو زمان مختلف و رنگ‌های کاذب



شکل ۲: تصاویر پاتولی داده‌های مورد استفاده، (الف) داده اول در سال ۲۰۰۹، (ب) داده اول در سال ۲۰۱۵، (پ) واقعیت زمینی داده اول، (ت) داده دوم در سال ۲۰۰۹، (ث) داده دوم در سال ۲۰۱۵ و (ج) واقعیت زمینی داده دوم.

در این تحقیق برای آشکارسازی تغییرات در تصاویر پلاریمتری راداری از سه روش استفاده شده است.

۱-۳- روش‌های جبری

این روش‌ها که پیکسل‌مُبنا بوده و براساس عملیات ریاضی بر روی تصاویر اخذ شده در زمان‌های مختلف نقشه تغییرات تهیه می‌شود (جدول (۲)). در جدول (۲)، t_1 و t_2 به ترتیب مربوط به زمان اول (داده سال ۲۰۰۹) و زمان دوم (داده سال ۲۰۱۵) و Cube مکعب حاصل از ویژگی‌های استخراج شده با استفاده از مدل‌های مختلف تجزیه می‌باشد.

جدول ۲: الگوریتم‌های روش جبری

مرجع	روابط	روش‌های جبری
[۱۸]	$ID = Cube(t2) - Cube(t1)$	اختلاف تصاویر ^۶
[۲۰]	$IR = \frac{Cube(t2)}{Cube(t1)}$	نسبت تصاویر ^۷

۲-۳- روش‌های فاصله‌مبنا

در این روش‌ها براساس اندازه‌گیری فاصله بین بردارهای طیفی پیکسل‌های متناظر در تصاویر اخذ شده در زمان‌های مختلف نقشه تغییرات تهیه می‌شود (جدول (۳)).

۳-۳- روش‌های شباهت‌مبنا

در این روش‌ها براساس وابستگی بین بردارهای طیفی پیکسل‌های متناظر در تصاویر اخذ شده در زمان‌های مختلف نقشه تغییرات به دست می‌آید (جدول (۴)).

۳- روش انجام تحقیق

روش انجام تحقیق همانند فلوچارت شکل (۳) می‌باشد. مراحل مختلف پیاده‌سازی الگوریتم‌ها شامل چندین گام می‌باشد که عبارتند از (الف) پیش پردازش: در این مرحله ابتدا داده‌های موجود برای منطقه مورد مطالعه که به صورت ماتریس کوهرنسی می‌باشد در زمان‌های معین را با استفاده از نرم‌افزار انوی^۱ ثبت هندسی نموده در حقیقت ثبت تصویر به تصویر تصاویر در زمان‌های مختلف با دقت ۰.۰۰۵ پیکسل انجام می‌شود و سپس برای حذف نویز اسپیکل فیلترهای کاهش نویز که شامل فیلترهای باکس‌کار^۲، لی‌بهمبودیافته^۳ و لی‌سیگما^۴ [۷] می‌باشد بر روی تصاویر اعمال می‌شود. (ب) در نرم‌افزار پولسارپرو^۵ تجزیه داده‌های پلاریمتری پردازش شده برای داده‌های فیلتر شده و غیر فیلتر شده (داده اولیه) در زمان‌های معین و تشکیل مکعب ویژگی‌ها انجام می‌شود. تجزیه تصاویر پلاریمتری بر اساس نوع تجزیه به انواع مختلفی تقسیم می‌شود [۷].

تجزیه براساس ماتریس کوهرنسی که شامل تجزیه هاین، بارنر، یانگ و غیره، تجزیه براساس بردارهای ویژه ماتریس کوواریانس که شامل تجزیه هولم، کلود و غیره، تجزیه براساس ماتریس پراکنش (تئوری‌های همدوس) شامل تجزیه پائولی، توزی و غیره و در نهایت تجزیه مدل مُبنا (تئوری‌های ناهمدوس) که شامل تجزیه فریمن، آنتروپی و غیره می‌باشد [۷]. در مجموع براساس مدل‌های مختلف تجزیه، ۱۳۸ ویژگی استخراج شده که با استفاده از این ویژگی‌ها مکعب ویژگی‌ها برای داده اولیه و داده‌های فیلتر شده تهیه می‌شود. (پ) پیاده‌سازی الگوریتم‌های آشکارسازی تغییرات:

¹ Envi5.1

² BoxCar

³ LeeRefined

⁴ LeeSigma

⁵ PolSARpro

⁶ Image Differencing (ID)

⁷ Image Ratio (IR)



شکل ۳: مراحل انجام تحقیق

جدول ۳: الگوریتم های روش فاصله مبنا

مرجع	روابط	روش های فاصله مبنا
[۲۱]	$HE(X, Y) = \sqrt{2} \cdot \left(\frac{(X \cdot Y)}{\sqrt{(X ^2 \cdot Y ^2 - X \cdot Y)}} \right)$	هلینگر ^۱
[۲۱]	$EU(X, Y) = \sqrt{2} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2$	اقلیدسی ^۲
[۲۱]	$CA(X, Y) = \sum_{i=1}^n x_i - y_i / x_i + y_i $	کانبرا ^۳

¹ Hellinger (HE)² Euclidean (EU)³ Canberra (CA)

جدول ۴: الگوریتم‌های روش شباهت‌مبار

مرجع	روابط	روش‌های شباهت‌مبار
[۲۱]	$KU(X, Y) = (X \cdot Y) / \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2$	کوژنیسکی ^۱
[۲۱]	$TA(X, Y) = \left(\frac{(X \cdot Y)}{(X ^2 \cdot Y ^2 - X \cdot Y)} \right)$	تامینیتو ^۲
[۲۱]	$PCC(X, Y) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu_X) \cdot (y_i - \mu_Y)}{\left(\sum_{i=1}^n (x_i - \mu_X)^2 \right)^{0.5} \cdot \left(\sum_{i=1}^n (y_i - \mu_Y)^2 \right)^{0.5}} \right)$	ضریب همبستگی پیرسون ^۳

به دلیل کشف تغییرات درست یا نادرست می‌باشد [۲۵]. در جدول (۵)، TP: تعداد پیکسل‌هایی که به عنوان کلاس تغییر طبقه‌بندی شده‌اند، FP: تعداد پیکسل‌هایی که به اشتباه به عنوان کلاس تغییر طبقه‌بندی شده‌اند، FN: تعداد پیکسل‌هایی که به اشتباه به عنوان کلاس غیر تغییر طبقه‌بندی شده‌اند و TN: تعداد پیکسل‌هایی که به عنوان کلاس غیر تغییر طبقه‌بندی شده‌اند [۲۶].

جدول ۵: ماتریس خطای [۲۷]

نتایج حاصل از طبقه‌بندی		نتایج حاصل از طبقه‌بندی	
		ثبت	منفی
نتایج	ثبت	TP	FN
	منفی	FP	TN

براساس تعداد پیکسل‌های مشخص شده در ماتریس خطای دقت کلی و نرخ هشدارهای اشتباه به صورت ذیل می‌باشد.

$$OA = \frac{TP + TN}{TP + FN + FP + TN} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$FPR = \frac{FP}{FP + TN} \quad \text{رابطه (۲)}$$

این رابطه برگرفته از [۲۴] است.

¹ Kulczynski (KU)

² Taminoto (TA)

³ Pearson Correlation Coefficient (PCC)

در جدول (۳) و جدول (۴)، X و Y بردارهای متناظر در مکعب ویژگی‌ها در دو زمان مختلف، x_i و y_i مقادیر عددی بردارهای متناظر، $(X \cdot Y)$ حاصل ضرب داخلی بین بردارهای متناظر، n تعداد ویژگی‌های استخراج شده از تجزیه تصاویر تمام قطبیده راداری (۱۳۸ ویژگی)، $(X \cdot Y)$ ترانهاده و $|Y|^2$ کوواریانس بین بردارهای متناظر، $|X|^2$ و $|Y|^2$ اندازه بردارهای متناظر، μ_x و μ_y میانگین بردارهای متناظر می‌باشد. ارزیابی نتایج طبقه‌بندی یکی از مراحل مهم پس از طبقه‌بندی در سنجش از دور می‌باشد [۲۲]. متداولترین روش برای ارزیابی کمی دقت طبقه‌بندی استفاده از داده‌های واقعیت زمینی می‌باشد [۲۳]. نتایج ارزیابی دقت به صورت ماتریس خطای ارائه می‌گردد (جدول (۵)). در این صورت انواع پارامترها و مقادیری که بیانگر دقت و یا نوعی خطای در نتایج هستند، از این ماتریس استخراج می‌شوند. ماتریس خطای حاصل مقایسه‌پیکسل‌های داده واقعیت زمینی با پیکسل‌های متناظر در نتایج طبقه‌بندی است [۲۴]. از مهم‌ترین پارامترهای ارزیابی برای طبقه‌بندی می‌توان به دقت کلی اشاره کرد ولی در آشکارسازی تغییرات استفاده از دو پارامتر ارزیابی نتایج مرسوم می‌باشد که شامل مساحت زیر نمودار و نرخ هشدارهای اشتباه

سری داده در جدول (۸) روند حفظ دقت کلی در
حالت‌های قید شده برقرار می‌باشد یعنی این الگوریتم
در چهار سناریو قید شده دارای نتایج مطلوبی بوده ولی
 S_3 نسبت به بقیه سناریوها برتری نسبی دارد.
در مورد الگوریتم هلینگر با توجه به نتایج عددی
جدول (۹) به دست آمده می‌توان بیان کرد که
برای سناریوهای مختلف نتایج نسبتاً ضعیفی
به دست آمده که دارای دقت کلی و مساحت زیر نمودار
پایین و نرخ هشدارهای اشتباه بالایی می‌باشد،
بنابراین این الگوریتم مناسب برای آشکارسازی
تغییرات نمی‌باشد. در مورد الگوریتم ماهالانوبیس با
توجه به نتایج به دست آمده در جدول (۱۰)، S_1
به دلیل دارا بودن مساحت زیر نمودار بالا و بالطبع آن
نرخ هشدارهای اشتباه پایین و با توجه به حفظ
روند دقت کلی در دو سری داده می‌تواند سناریو
مناسبی برای آشکارسازی تغییرات باشد. با توجه
به شکل (۸) الگوریتم‌های کانبرا و اقلیدسی با توجه
به حفظ روند دقت کلی برای دو سری داده در بین
الگوریتم‌های آشکارساز فاصله مبنا برای آشکارسازی
تغییرات مناسب می‌باشند.

محور عمودی نمودار راک نسبت مثبت‌های درست^۱ و
محور افقی آن نسبت مثبت‌های غلط^۲ می‌باشد که
برای طبقه‌بندی دو کلاس تغییر و غیرتغییر براساس
نسبت بین مثبت‌های غلط و مثبت‌های
درست می‌باشد. [۲۷]

$$TPR = \frac{TP}{TP+FN} \quad \text{رابطه (۳)}$$

۴- پیاده‌سازی و نتایج

در مورد ارزیابی نتایج حاصل از تحقیق چهار حالت یا
سناریو در نظر گرفته می‌شود. برای این منظور در
سناریو اول (S_1) بدون هیچ پیش‌پردازشی بر روی هر
دو داده روند آشکارسازی تغییرات انجام می‌شود.
در سناریو دوم (S_2) تنها نرمال‌سازی داده‌های اولیه
بدون پردازش برای روند آشکارسازی تغییرات
انجام می‌شود. در سناریو سوم (S_3) تنها فیلتر کردن
داده‌ها (با سه فیلتر) قبل از انجام الگوریتم‌ها
انجام می‌شود و در نهایت در سناریو چهارم (S_4)
علاوه بر نرمال‌سازی، فیلتر کردن داده‌ها نیز قبل از
انجام الگوریتم‌ها انجام می‌شود. همواره تأثیر رویه
نرمال‌سازی و فیلتر کردن داده‌ها با خصوصیات مختلف
بر روی ارزیابی و صحت نتایج در حالت‌های مختلف
ارزیابی الگوریتم مورد بررسی قرار داده می‌شود.

۴-۱- روش‌های فاصله‌مینا

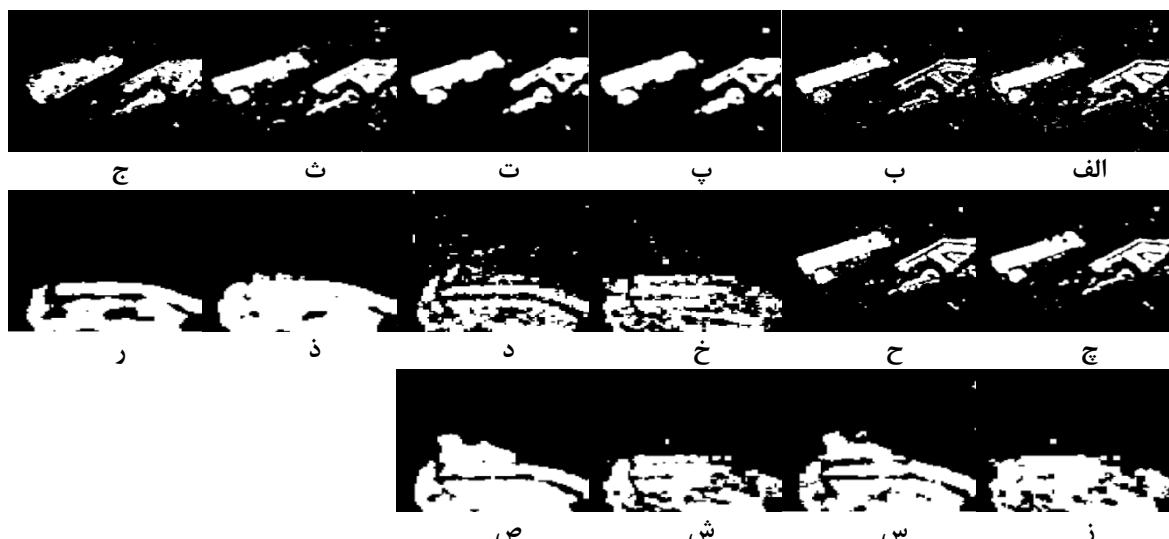
با توجه به این که هدف این تحقیق بررسی الگوریتم‌های
ارزیابی براساس حالت‌های قید شده در جدول (۶)
می‌باشد می‌توان اینطور بیان کرد که الگوریتم فاصله
مینا کانبرا با توجه به نتایج جدول (۷) برای دو سری
داده در S_3 که فقط فیلتر داده می‌باشد دارای دقت کلی
و مساحت زیر نمودار بالا و نرخ هشدارهای اشتباه پایین
می‌باشد. با توجه به اختلاف بی‌معنی در دقت کلی برای
فیلترهای مختلف این سناریو، مناسب‌ترین سناریو
خواهد بود. در مورد الگوریتم اقلیدسی برای دو

¹ True Positive Rate

² False Positive Rate

جدول ۶: حالت‌های ارزیابی الگوریتم

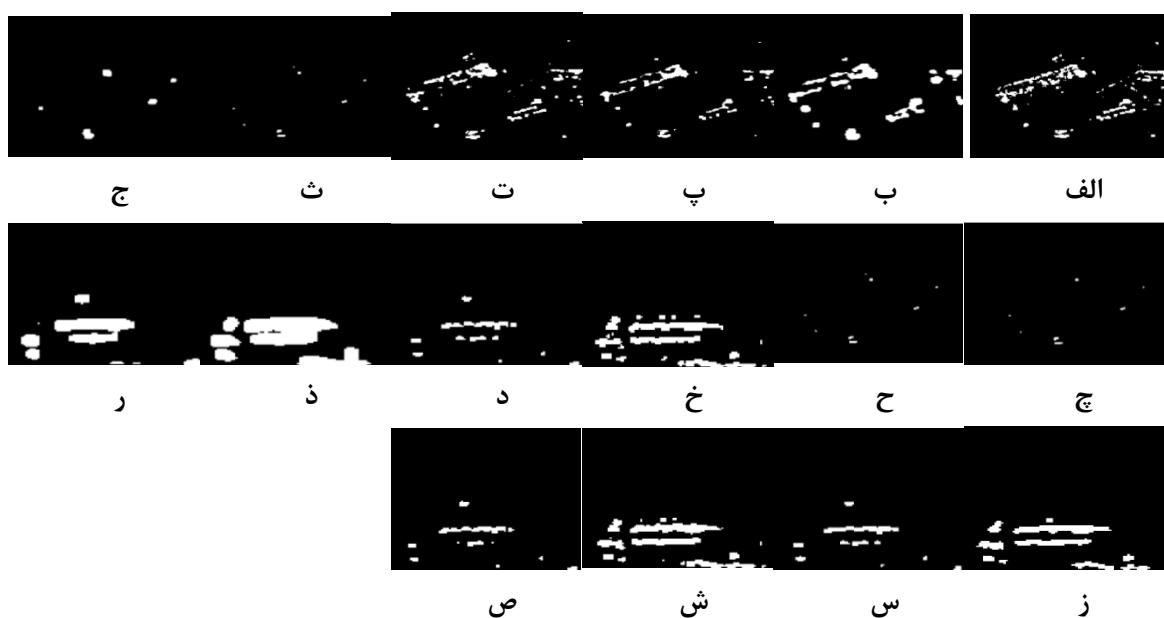
سناریوها	زیر سناریو	پردازش	پیش پردازش‌ها	
			فیلتر	نرم‌السازی
S ₁	S ₁	داده اصلی	-	-
S ₂	S ₂	نرمال داده اصلی	-	*
S ₃	S ₃₋₁	فیلتر باکس کار	*	-
	S ₃₋₂	فیلتر لی بهبود یافته	*	-
	S ₃₋₃	فیلتر لی سیگما	*	-
S ₄	S ₄₋₁	نرمال فیلتر باکس کار	*	*
	S ₄₋₂	نرمال فیلتر لی بهبود یافته	*	*
	S ₄₋₃	نرمال فیلتر لی سیگما	*	*



شکل ۴: خروجی الگوریتم فاصله مبنا کانبرا روی داده اول: (الف) S₁, (ب) S₂, (پ) S₃₋₁, (ت) S₃₋₂, (ث) S₃₋₃, (ج) S₄₋₁, (د) S₄₋₂, (خ) S₄₋₃, (ح) S₄₋₄, (ز) S₄₋₅, (ر) S₄₋₆, (ذ) S₄₋₇, (ص) S₄₋₈, (ش) S₄₋₉, (س) S₄₋₁₀, (ش) S₄₋₁₁

جدول ۷: نتایج عددی روش فاصله مبنا کانبرا

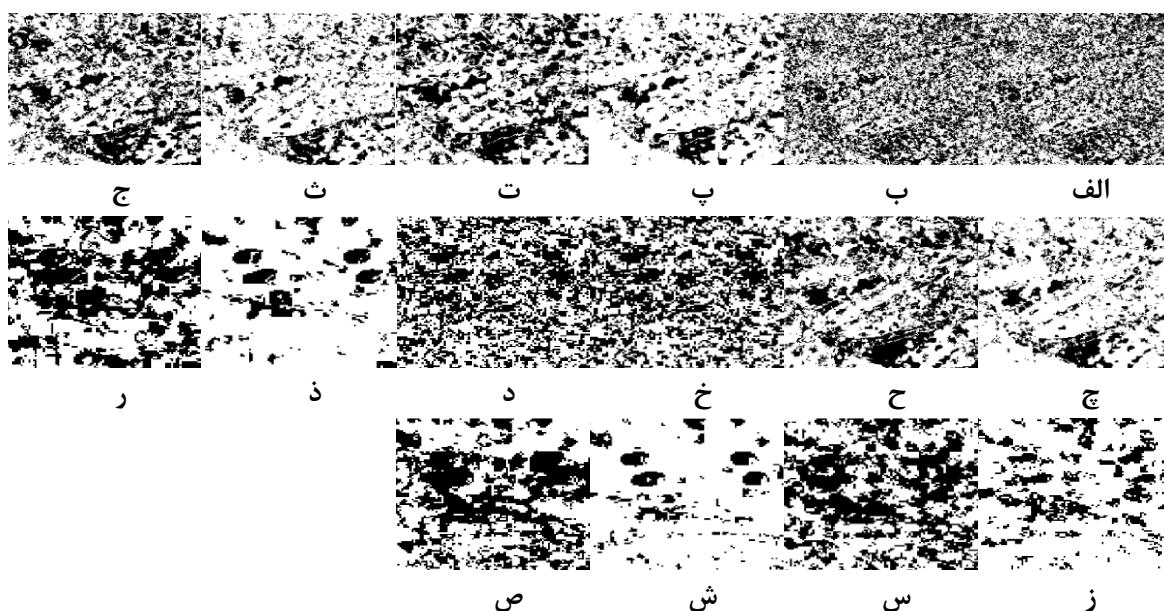
سناریو	دقت کلی		نرخ هشدارهای اشتباه		مساحت زیر نمودار راک	
	داده اول	داده دوم	داده اول	داده دوم	داده اول	داده دوم
S ₁	۹۴.۲۷۰۰	۸۵.۹۲۰۰	۰.۲۹۴۴	۰.۴۷۲۸	۰.۸۲۴۰۶	۰.۷۱۷۰۷
S ₂	۹۲.۴۴۷۵	۷۸.۶۰۰۰	۰.۴۰۰۰	۰.۲۶۸۵	۰.۷۶۲۰۲	۰.۷۵۲۹۰
S ₃₋₁	۹۵.۶۳۲۵	۹۱.۱۳۰۰	۰.۱۷۲۳	۰.۲۳۱۳	۰.۸۹۹۷۶	۰.۸۶۰۵۴
S ₃₋₂	۹۵.۵۲۰۰	۸۶.۹۵۰۰	۰.۲۳۹۱	۰.۴۳۶۰	۰.۸۶۷۲۰	۰.۷۳۴۹۳
S ₃₋₃	۹۵.۰۵۰۰	۸۶.۷۱۰۰	۰.۲۴۲۳	۰.۴۴۲۵	۰.۸۵۴۵۹	۰.۷۳۱۶۹
S ₄₋₁	۹۵.۲۴۰۰	۷۴.۴۶۰۰	۰.۱۹۸۷	۰.۳۴۶۳	۰.۸۸۶۳۹	۰.۷۰۹۶۱
S ₄₋₂	۹۲.۹۵۲۵	۸۸.۷۶۰۰	۰.۴۴۸۹	۰.۱۴۷۷	۰.۷۴۵۶۳	۰.۸۵۲۶۰
S ₄₋₃	۹۲.۴۴۰۰	۸۶.۹۵۰۰	۰.۴۶۳۴	۰.۲۵۸۴	۰.۷۳۶۴۰	۰.۸۰۳۷۰



شکل ۵: خروجی الگوریتم فاصله مبنا اقلیدسی روی داده اول: الف) S1، ب) S2، ج) S3-1، ث) S3-2، د) S3-3، ه) S4-1، ز) S4-2، س) S4-3، ش) S3-1، د) S3-2، ر) S3-3، ص) S3-3، ح) S4-3

جدول ۸: نتایج عددی روش فاصله مبنا اقلیدسی

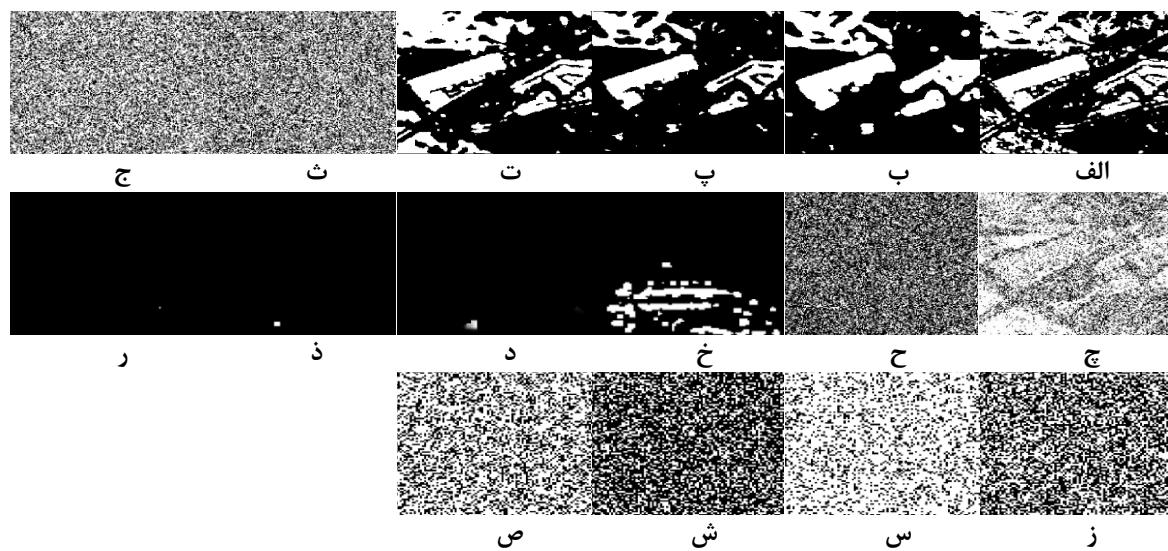
سناریو	دقت کلی		نرخ هشدارهای اشتباه		مساحت زیر نمودار راک	
	داده اول	داده دوم	داده اول	داده دوم	داده اول	داده دوم
S ₁	۸۸.۱۱۷۵	۷۶.۲۲۰۰	۰.۷۶۶۰	۰.۷۸۶۴	۰.۵۶۰۶۱	۰.۵۴۶۶۶
S ₂	۸۵.۷۵۰۰	۷۱.۸۵۰۰	۰.۹۹۳۹	۰.۹۳۲۴	۰.۴۴۴۱۲	۰.۴۷۳۱۵
S ₃₋₁	۸۸.۰۳۵۰	۸۱.۰۱۰۰	۰.۷۴۴۲	۰.۶۲۱۵	۰.۵۶۶۷۸	۰.۶۲۵۷۰
S ₃₋₂	۸۷.۴۵۲۵	۷۵.۰۰۰۰	۰.۸۴۰۸	۰.۸۲۹۱	۰.۵۲۰۶۸	۰.۵۲۴۹۳
S ₃₋₃	۸۷.۷۸۲۵	۷۶.۲۰۰۰	۰.۸۰۰۹	۰.۷۸۷۷	۰.۵۴۳۵۶	۰.۵۴۶۳۰
S ₄₋₁	۸۵.۹۳۵۰	۷۵.۷۴۰۰	۰.۹۶۶۸	۰.۷۹۴۴	۰.۴۶۰۱۸	۰.۵۳۵۲۴
S ₄₋₂	۸۵.۷۴۰۰	۷۱.۹۶۰۰	۰.۹۹۴۷	۰.۹۲۹۴	۰.۴۴۳۴۸	۰.۴۷۴۶۰
S ₄₋₃	۸۵.۷۵۲۵	۷۱.۰۷۰۰	۰.۹۹۳۹	۰.۹۴۱۷	۰.۴۴۴۱۳	۰.۴۶۸۶۸



شکل ۶: خروجی الگوریتم فاصله مبنا هلینگر روی داده اول: (الف) S1 (ب) S2 (پ) S3-1 (ت) S4-1 (ث) S3-2 (ج) S4-2 (ز) S4-3 (ح) داده دوم: (خ) S1 (د) S2 (ر) S3-1 (ص) S3-2 (س) S4-1 (ش) S3-3 (س) S4-3 (ح) داده سوم: (س) S3-3 (ز) S4-3 (ح)

جدول ۹: نتایج عددی روش فاصله مبنا هلینگر

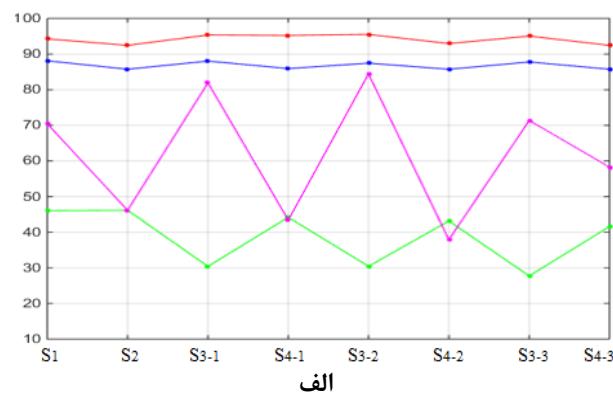
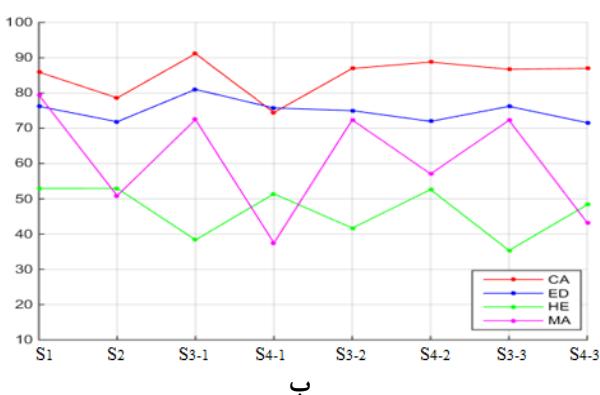
سناریو	دقت کلی		نرخ هشدارهای اشتباه		مساحت زیر نمودار راک	
	داده اول	داده دوم	داده اول	داده دوم	داده اول	داده دوم
S ₁	۴۶.۰۸۰۰	۵۲.۹۵۰۰	۰.۴۴۳۲	۰.۳۹۷۸	۰.۴۶۸۴۶	۰.۵۲۱۶۴
S ₂	۴۶.۱۶۲۵	۵۲.۹۶۰۰	۰.۴۴۴۱	۰.۳۹۶۴	۰.۴۶۸۴۶	۰.۵۲۲۱۳
S ₃₋₁	۳۰.۴۱۷۵	۳۸.۳۴۰۰	۰.۲۲۹۷	۰.۰۸۰۳	۰.۴۳۹۸۰	۰.۴۹۸۵۹
S ₃₋₂	۳۰.۴۵۰۰	۴۱.۷۱۰۰	۰.۲۲۲۷	۰.۱۴۰۵	۰.۴۴۰۴۷	۰.۵۰۸۰۷
S ₃₋₃	۲۷.۷۷۳۷۵	۳۵.۳۷۰۰	۰.۲۵۹۵	۰.۰۸۲۸	۰.۴۱۳۸۰	۰.۴۷۷۳۳
S ₄₋₁	۴۴.۱۸۵۰	۵۱.۴۲۰۰	۰.۴۱۵۰	۰.۳۸۹۵	۰.۴۶۶۴۸	۰.۵۱۲۴۹
S ₄₋₂	۴۳.۱۰۵۰	۵۲.۶۱۰۰	۰.۴۲۴۱	۰.۵۱۱۳	۰.۴۵۷۶۰	۰.۵۰۶۲۲
S ₄₋₃	۴۱.۰۹۵۰	۴۸.۳۲۰۰	۰.۴۵۹۱	۰.۴۴۵۸	۰.۴۳۵۴۶	۰.۴۷۴۵۴



شکل ۷: خروجی الگوریتم فاصله مبنا ماهالانویس روی داده اول: (الف) S1، (ب) S2، (ت) S3-1، (ث) S3-2، (ج) S4-2، (ز) S3-3، (س) S4-1، (د) S3-1، (ذ) S2، (خ) S4-3، (ح) S3-2، (س) S4-2، (ش) S3-3، (ص) S4-3، (ج) S3-1، (ز) S4-3 روی داده دوم: (خ) S1، (د) S2، (ذ) S3-1، (ز) S4-1، (س) S3-2، (ش) S4-2، (ص) S3-3، (ج) S4-3

جدول ۱۰: نتایج عددی روش فاصله مبنا ماهالانویس

سناریو	دقت کلی		نرخ هشدارهای اشتباه		مساحت زیر نمودار راک	
	داده اول	داده دوم	داده اول	داده دوم	داده اول	داده دوم
S ₁	۷۰.۴۴۵۰	۷۹.۴۱۰۰	۰.۲۴۱۲	۰.۷۲۱۴	۰.۶۸۰۱۷	۰.۵۷۸۷۷
S ₂	۴۶.۱۴۷۵	۵۰.۸۹۰۰	۰.۴۴۹۸	۰.۵۲۱۱	۰.۴۶۸۳۳	۰.۴۶۸۶۶
S ₃₋₁	۸۱.۹۲۲۵	۷۲.۴۸۰۰	۰.۱۲۱۰	۰.۹۹۱۷	۰.۸۱۶۳۰	۰.۴۴۱۹۳
S ₃₋₂	۸۴.۴۳۵۰	۷۲.۳۶۰۰	۰.۲۸۹۹	۰.۹۹۶۰	۰.۷۴۷۳۴	۰.۴۴۰۰۸
S ₃₋₃	۷۱.۳۷۰۰	۷۲.۲۶۰۰	۰.۲۱۳۳	۰.۹۹۹۶	۰.۶۹۲۰۸	۰.۴۳۸۴۷
S ₄₋₁	۴۳.۴۱۲۵	۳۷.۴۷۰۰	۰.۳۹۹۷	۰.۲۲۱۳	۰.۴۷۳۶۵	۰.۴۵۹۲۴
S ₄₋₂	۳۷.۹۲۰۰	۵۷.۰۶۰۰	۰.۱۹۳۳	۰.۶۴۹۰	۰.۵۱۴۲۸	۰.۴۷۰۴۸
S ₄₋₃	۵۸.۲۷۰۰	۴۳.۲۳۰۰	۰.۶۰۶۸	۰.۳۶۷۹	۰.۴۷۲۰۲	۰.۴۶۰۸۵

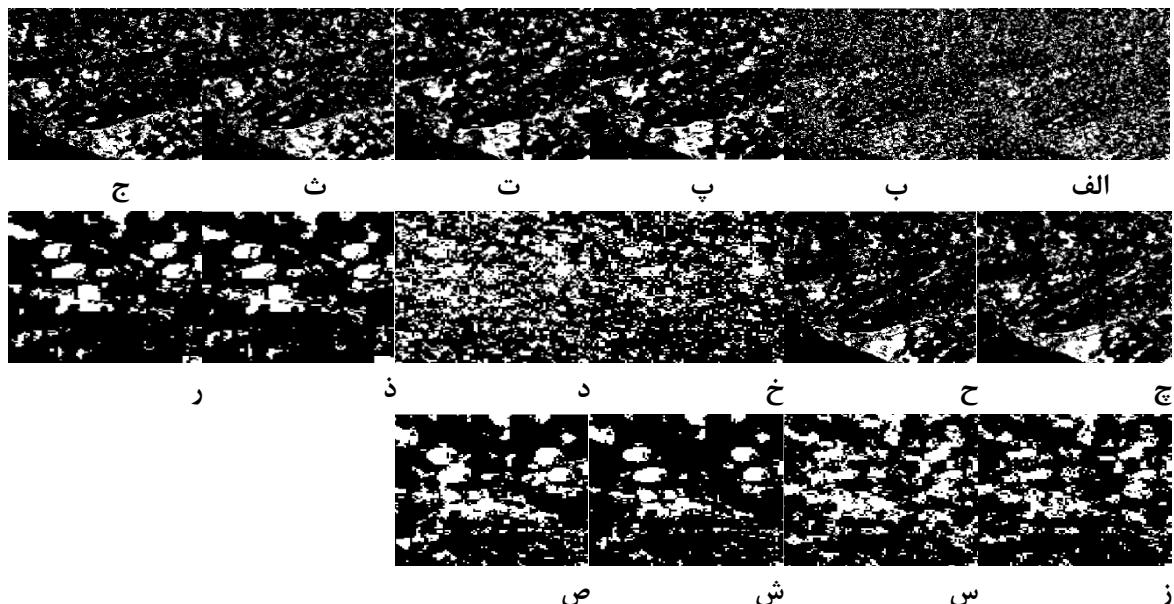


شکل ۸: دقتهای روش فاصله مبنا (الف) برای داده اول و (ب) برای داده دوم، محورافقی به ترتیب دقتهای کلی سناریوهای استفاده شده در تحقیق شامل: S1، S2، S3-1، S3-2، S3-3، S4-1، S4-2، S4-3 و S4-3 می‌باشد.

نرمال‌سازی نمی‌شود دارد ولی در تمامی سناریوهای دارای دقت کلی نزدیک به هم برای داده‌ها بوده ولی نرخ هشدارهای اشتباه بالا و مساحت زیرنمودار پایینی را خواهد داشت به همین دلیل مناسب برای ارزیابی آشکارسازی تغییرات نخواهد بود. الگوریتم کوژینسکی با توجه به جدول (۱۳) دارای دقت‌های کلی نزدیک به هم در تمامی سناریوهای دو سری داده می‌باشد ولی به دلیل بالا بودن میزان نرخ هشدارهای اشتباه و پایین بودن مساحت زیرنمودار منحنی مناسب برای آشکارسازی تغییرات نمی‌باشد. در حالت کلی با توجه به روند دقت کلی در شکل (۱۲) برای دو سری داده و به دلیل تأثیر بالای نویز اسپیکل بر وابستگی بین پیکسل‌ها در داده‌های طیفی، الگوریتم‌های شباهت مبنا مناسب برای آشکارسازی تغییرات نمی‌باشد.

۴-۲- روش‌های شباهت‌مبنا

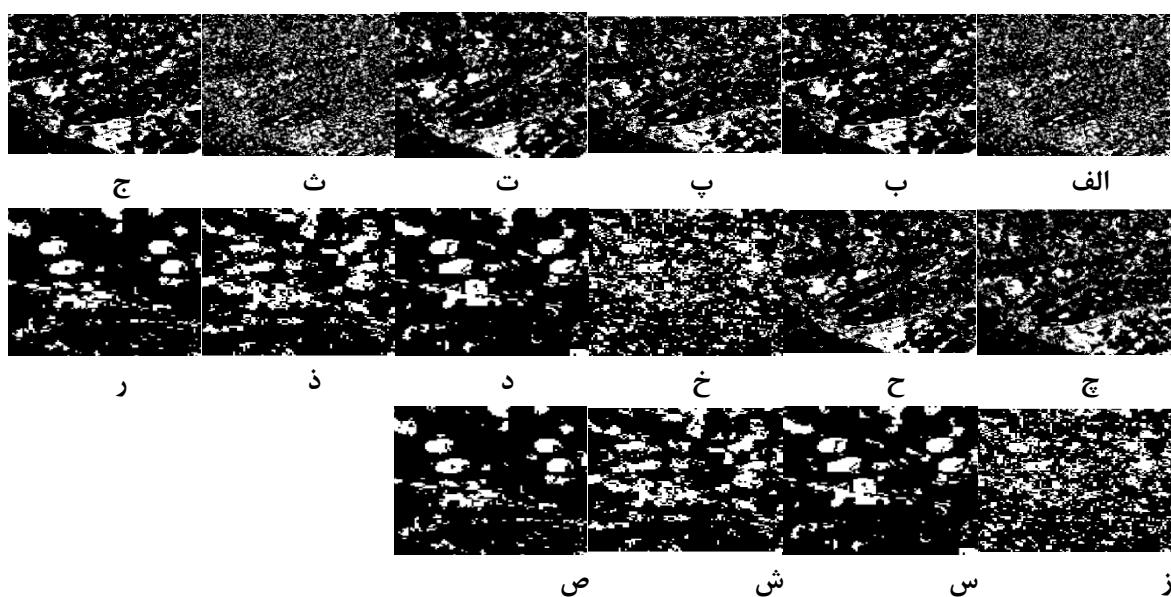
ارزیابی روش‌های شباهت مبنا براساس سناریوهای بیان شده جدول (۶) می‌باشد. این روش‌ها بر اساس وابستگی بین بردارهای طیفی تصاویر در بازه‌های زمانی مختلف عمل می‌کند. الگوریتم کوژینسکی با توجه به نتایج جدول (۱۱) به دلیل برخورداری از روند نسبتاً یکسان در سناریوهای فوق برای دو سری داده دارای دقت کلی با روند یکنواخت بوده ولی نرخ هشدارهای اشتباه برای این الگوریتم بالاتر بوده که به همین دلیل نمی‌توان در آشکارسازی تغییرات از آن استفاده نمود. روند الگوریتم ضریب همبستگی پیرسون براساس نتایج جدول (۱۲) به این صورت می‌باشد که نتایج سناریوی نرمال‌سازی داده‌ها با سناریوی عدم نرمال‌سازی داده‌ها یکسان می‌باشد، یعنی این الگوریتم نتایج یکسانی برای سناریوهایی که نرمال‌سازی می‌شود با سناریوهایی که



شکل ۹: خروجی الگوریتم شباهت مبنا کوژینسکی روی داده اول: (الف) S1، (ب) S2، (پ) S3-1، (ت) S3-2، (ث) S3-3، (ج) S4-2، (د) S4-1، (ز) S3-2، (ر) S3-1، (ذ) S2، (س) S4-2، (ش) S3-3، (خ) S4-3، (ج) S4-3 روی داده دوم: (خ) S1، (د) S2، (ز) S3-2، (س) S3-3، (ش) S4-3، (ص) S4-2، (ص) S4-3

جدول ۱۱: نتایج عددی روش شباهت مبنا کوژینسکی

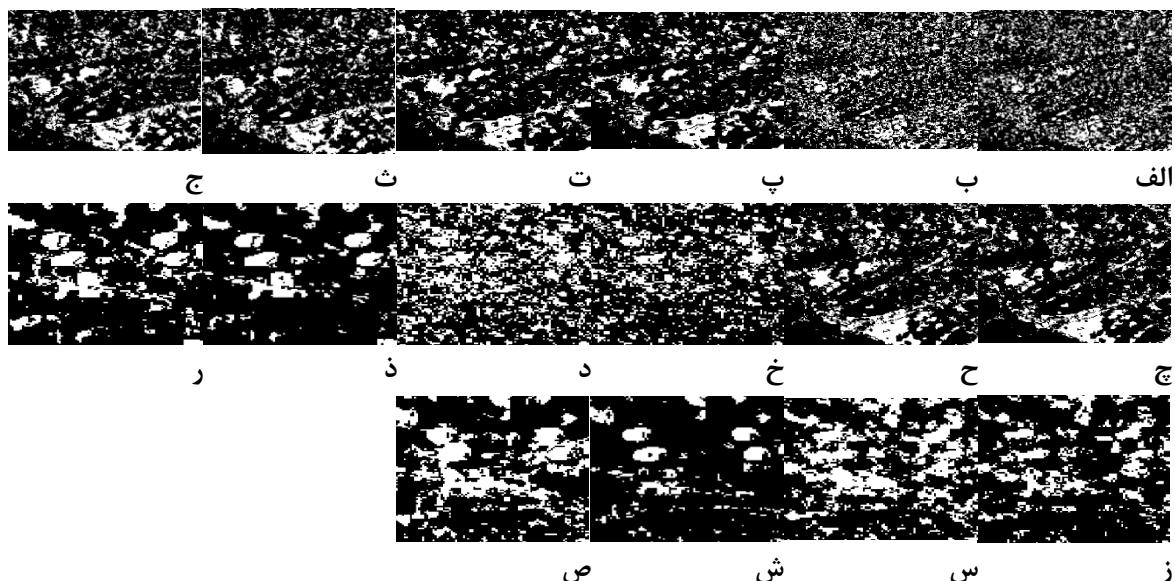
سناریو	دقت کلی		نرخ هشدارهای اشتباه		مساحت زیر نمودار راک	
	داده اول	داده دوم	داده اول	داده دوم	داده اول	داده دوم
S ₁	۷۱.۱۷۵۰	۵۷.۲۳۰۰	۰.۷۹۹۸	۰.۸۵۵۵	۰.۴۴۴۵۶	۰.۳۹۸۸۷
S ₂	۷۳.۵۸۵۰	۵۱.۹۶۰۰	۰.۸۳۱۵	۰.۷۵۵۶	۰.۴۴۰۹۸	۰.۴۰۱۱۱
S ₃₋₁	۷۳.۵۹۰۰	۶۰.۷۴۰۰	۰.۸۴۳۱	۰.۸۹۸۰	۰.۴۲۸۷۹	۰.۴۰۵۲۵
S ₃₋₂	۷۳.۰۸۵۲	۵۸.۷۰۰۰	۰.۸۲۶۰	۰.۸۷۳۸	۰.۴۲۷۶۹	۰.۳۹۷۵۵
S ₃₋₃	۷۵.۲۵۷۵	۶۲.۹۳۰۰	۰.۸۲۶۵	۰.۸۸۹۰	۰.۴۴۹۰۹	۰.۴۲۳۵۰
S ₄₋₁	۷۴.۴۹۵۰	۶۰.۶۷۰۰	۰.۸۵۰۵	۰.۹۱۴۳	۰.۴۲۹۱۱	۰.۳۹۷۳۶
S ₄₋₂	۷۳.۳۳۲۵	۵۵.۷۳۰۰	۰.۸۶۸۷	۰.۸۰۸۰	۰.۴۲۴۸۹	۰.۴۰۵۱۰
S ₄₋₃	۷۷.۱۳۰۰	۵۹.۴۱۰۰	۰.۸۶۲۲	۰.۸۳۱۳	۰.۴۳۹۹۵	۰.۴۲۳۵۶



شکل ۱۰: خروجی الگوریتم شباهت مبنا ضربی همبستگی پیرسون روی داده اول: (الف) S₂, (ب) S₁, (پ) S₃₋₁, (ت) S₃₋₂, (ث) S₃₋₃, (ر) S₄₋₁, (ذ) S₄₋₂, (د) S₄₋₃, (خ) S₄₋₁, (ح) S₄₋₂, (ز) S₄₋₃, (س) S₄₋₁, (ش) S₄₋₂, (ص) S₄₋₃

جدول ۱۲: نتایج عددی روش شباهت مینا ضریب همبستگی پیرسون

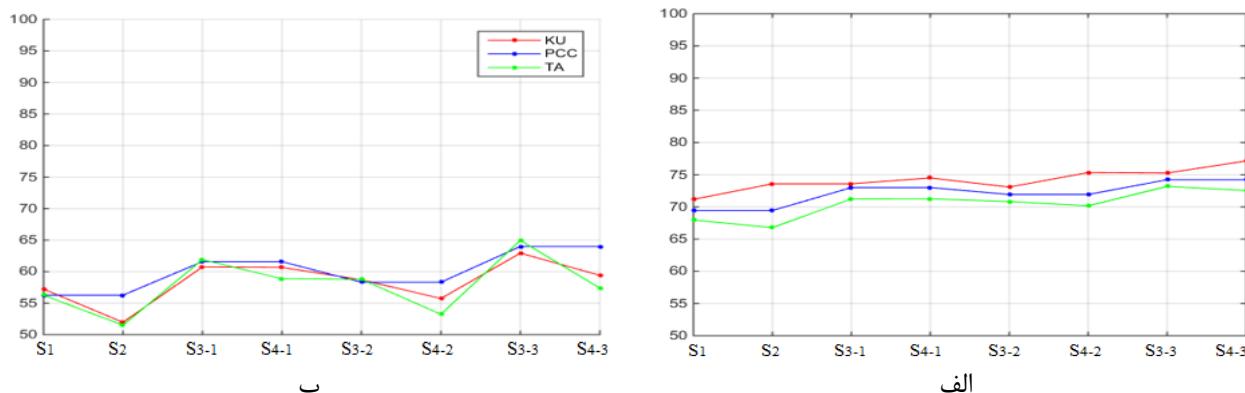
سناریو	دقت کلی		نرخ هشدارهای اشتباه		مساحت زیر نمودار راک	
	داده اول	داده دوم	داده اول	داده دوم	داده اول	داده دوم
S ₁	۶۹.۴۴۲۵	۵۶.۲۶۰۰	۰.۷۷۲۷	۰.۸۴۰۴	۰.۴۴۸۶۲	۰.۳۹۸۶۰
S ₂	۶۹.۴۴۲۵	۵۶.۲۶۰۰	۰.۷۷۲۷	۰.۸۴.۴	۰.۴۴۸۶۲	۰.۳۹۸۶۰
S ₃₋₁	۷۳.۰۰۵۰	۶۱.۵۸۰۰	۰.۸۳۴۵	۰.۹۱۴۶	۰.۴۳۰۰۸	۰.۴۰۳۲۱
S ₃₋₂	۷۱.۹۲۷۵	۵۸.۳۱۰۰	۰.۸۲۵۴	۰.۸۶۶۳	۰.۴۳۰۲۷	۰.۳۹۸۶۷
S ₃₋₃	۷۴.۲۲۰۰	۶۳.۹۹۰۰	۰.۷۸۰۹	۰.۹۰۴۵	۰.۴۶۳۲۶	۰.۴۲۳۲۸
S ₄₋₁	۷۳.۰۰۵۰	۶۱.۵۸۰۰	۰.۸۳۴۵	۰.۹۱۴۶	۰.۴۳۰۰۸	۰.۴۰۳۲۱
S ₄₋₂	۷۱.۹۲۷۵	۵۸.۳۱۰۰	۰.۸۲۵۴	۰.۸۶۶۳	۰.۴۳۰۲۷	۰.۳۹۸۶۷
S ₄₋₃	۷۴.۲۲۰۰	۶۳.۹۹۰۰	۰.۷۸۰۹	۰.۹۰۴۵	۰.۴۶۳۲۷	۰.۴۲۳۲۸



شکل ۱۱: خروجی الگوریتم شباهت مینا تامینیتو روی داده اول: (الف) S1، (ب) S2، (پ) S1، (ث) S2، (ت) S3-1، (د) S1، (ذ) S2، (خ) S3-1، (ز) S3-2، (س) S4-1، (ش) S3-3، (چ) S4-2، (چ) S4-3، (ح) S4-3، (ح) روى داده دوم: (خ) S1، (ذ) S2، (ز) S3-1، (س) S3-2، (ش) S4-2، (چ) S3-3، (چ) S4-3

جدول ۱۳: نتایج عددی روش شباهت مینا تامینیتو

سناریو	دقت کلی		نرخ هشدارهای اشتباه		مساحت زیر نمودار راک	
	داده اول	داده دوم	داده اول	داده دوم	داده اول	داده دوم
S ₁	۶۷.۹۶۰۰	۵۶.۲۷۰۰	۰.۷۵۲۲	۰.۸۳۹۷	۰.۴۴۹۹۸	۰.۳۹۹۰۷
S ₂	۶۶.۷۸۲۵	۵۱.۵۰۰۰	۰.۷۳۵۲	۰.۷۴۲۲	۰.۴۵۰۷۸	۰.۴۰۲۹۱
S ₃₋₁	۷۱.۲۳۲۵	۶۱.۹۰۰۰	۰.۸۰۳۲	۰.۹۲۰۷	۰.۴۳۴۹۴	۰.۴۰۲۶۸
S ₃₋₂	۷۰.۸۳۲۵	۵۸.۷۷۰۰	۰.۷۸۸۲	۰.۸۷۷۱	۰.۴۴۱۶۱	۰.۳۹۶۷۳
S ₃₋₃	۷۳.۱۸۰۰	۶۴.۹۵۰۰	۰.۲۳۹۶	۰.۹۲۰۳	۰.۴۶۷۷۷	۰.۴۲۳۳۶
S ₄₋₁	۷۱.۲۴۷۵	۵۸.۸۷۰۰	۰.۷۹۴۲	۰.۸۵۶۵	۰.۴۳۸۲۰	۰.۴۱۰۶۰
S ₄₋₂	۷۰.۱۶۰۰	۵۳.۲۳۰۰	۰.۷۷۳۷	۰.۷۶۱۸	۰.۴۴۴۲۲	۰.۴۰۳۹۱
S ₄₋₃	۷۲.۵۵۰۰	۵۷.۳۸۰۰	۰.۷۴۸۲	۰.۷۷۹۸	۰.۴۶۹۳۲	۰.۴۲۷۴۴

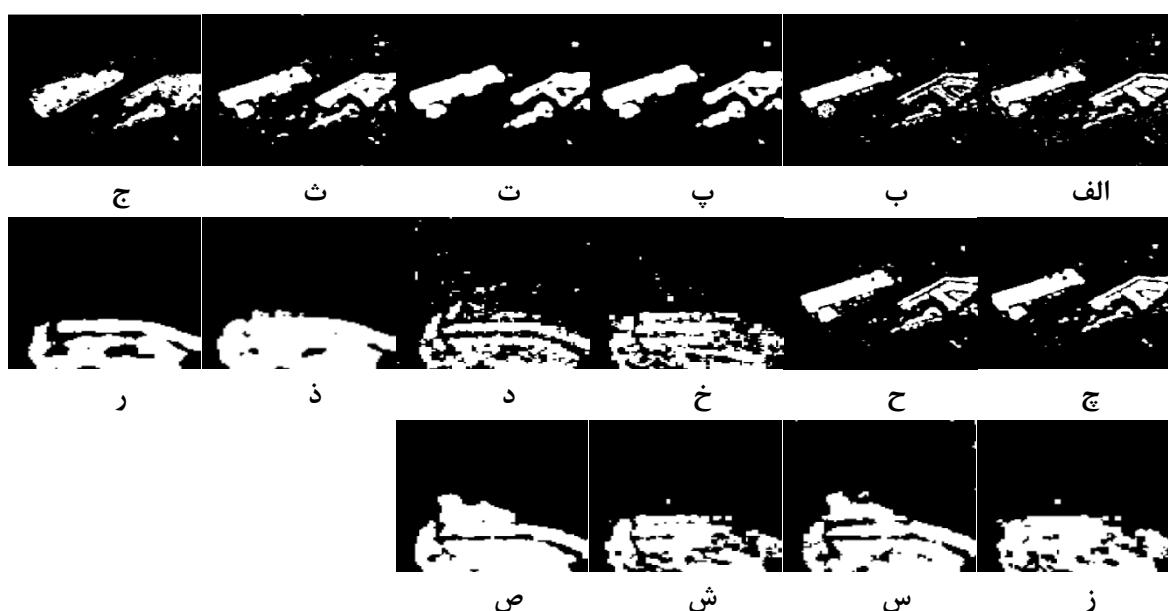


شکل ۱۲: دقت کلی روش شباهت مینا: الف) برای داده اول و ب) برای داده دوم، محورافقی به ترتیب دقت کلی سناریوهای استفاده شده در تحقیق شامل: S₁, S₂, S₃₋₁, S₄₋₁, S₃₋₂, S₄₋₂, S₃₋₃ و S₄₋₃ می‌باشد.

تصاویر براساس نتایج جدول (۱۵) برای دو سری داده در سناریوهای فوق دارای دقت مناسبی می‌باشد ولی S₄ با توجه به بالابودن دقت کلی در دو سری داده، نرخ هشدارهای اشتباه کمی را برای دو سری داده دارد که باعث برتری این سناریو نسبت به بقیه سناریوهای می‌باشد. با توجه به شکل (۱۵) و با توجه به روند حفظ شده برای دقت کلی این روش برای آشکارسازی تغییرات مناسب می‌باشد. مزیت این روش رفع خطاهای نویز اسپیکلی می‌باشد که به صورت سیستماتیک وارد تصویر شده‌اند.

۴-۴- روش‌های جبری

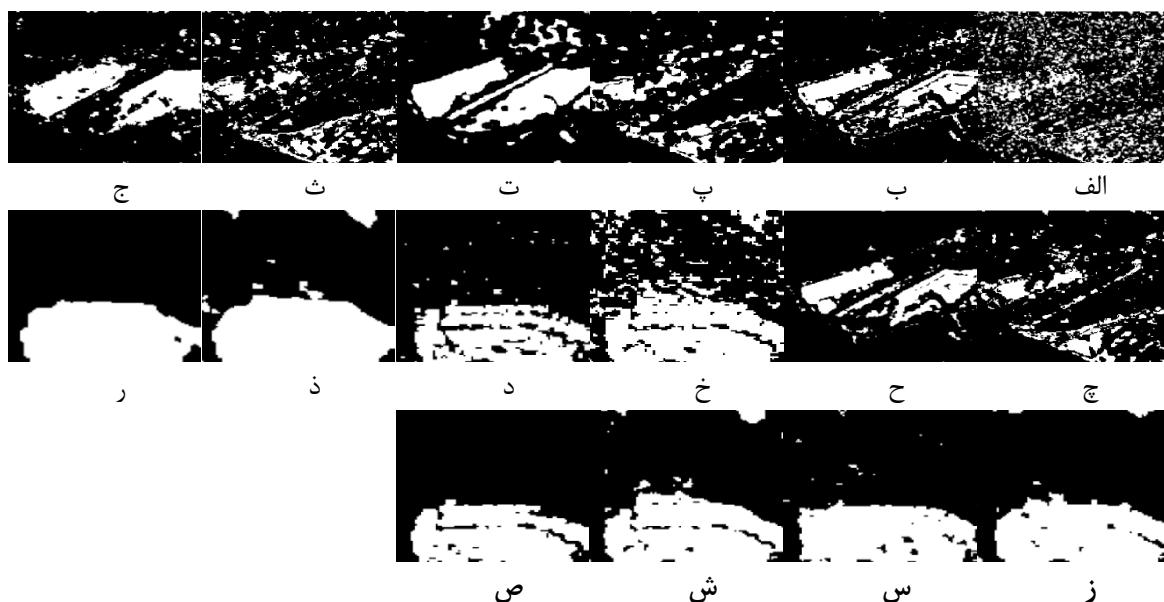
در مورد روش‌های آشکارسازی تغییرات جبری که شامل اختلاف تصاویر و نسبت تصاویر می‌باشد الگوریتم آشکارسازی تغییرات اختلاف تصاویر با توجه به جدول (۱۴) در چهار سناریوی قید شده دارای دقت کلی و مساحت زیر نمودار بالا ولی نرخ هشدارهای اشتباه پایینی می‌باشد که کاملاً برای آشکارسازی تغییرات مناسب می‌باشد، ولی S₃ با توجه به این که در دو سری داده دارای روند یکسانی در دقت کلی و نرخ‌های هشدارهای پایین سناریوی مناسبی برای آشکارسازی تغییرات خواهد بود. الگوریتم نسبت



شکل ۱۳: خروجی الگوریتم جبری اختلاف تصاویر روی داده اول: الف) S1، ب) S2، پ) S3-1، ت) S4-1، ث) S3-2، ج) S4-2، ح) S3-3، س) S4-3، ز) S3-1، د) S2، ر) S3-2، خ) S4-1، ش) S3-3، ص) S4-2، ج) S4-3، ح) S3-3، ر) S4-3، داده دوم: خ) S1، ذ) S2، د) S3-1، ز) S4-1، ح) S3-2، س) S3-3، ش) S4-2، ص) S3-3، ج) S4-3، ر) S4-3، داده اول: ج) S1، ذ) S2، د) S3-1، ز) S4-1، ح) S3-2، س) S3-3، ش) S4-2، ص) S3-3، ج) S4-3، ح) S3-3، ر) S4-3

جدول ۱۴: نتایج عددی روش جبری اختلاف تصاویر

سناریو	دقت کلی		نرخ هشدارهای اشتباه		مساحت زیر نمودار راک	
	داده اول	داده دوم	داده اول	داده دوم	داده اول	داده دوم
S ₁	۹۳.۷۳۷۵	۸۶.۹۰۰	۰.۳۳۹۴	۰.۴۰۹۲	۰.۸۰۳۶۷	۰.۷۵۷۵۵
S ₂	۹۳.۴۴۲۵	۸۴.۹۸۰	۰.۴۱۰۰	۰.۴۴۳۹	۰.۷۴۸۲۷	۰.۷۴۷۶۵
S ₃₋₁	۹۵.۴۲۷۵	۹۳.۳۰۰	۰.۱۸۳۸	۰.۱۹۳۳	۰.۸۸۷۷۴	۰.۸۸۱۶۷
S ₃₋₂	۹۴.۶۰۷۵	۹۱.۰۱۰	۰.۲۳۴۷	۰.۲۷۵۲	۰.۸۶۴۳۸	۰.۸۳۶۳۴
S ₃₋₃	۹۴.۷۲۵۰	۸۹.۰۲۰	۰.۲۸۷۹	۰.۳۴۱۲	۰.۸۳۴۱۳	۰.۷۹۴۵۵
S ₄₋₁	۹۵.۵۴۵۰	۸۷.۳۶۰	۰.۱۸۹۰	۰.۳۹۸۵	۰.۸۸۶۷۷	۰.۷۸۶۰۷
S ₄₋₂	۹۵.۱۴۰۰	۸۷.۷۴۰	۰.۲۵۶۳	۰.۲۸۷۹	۰.۸۶۳۵۹	۰.۸۲۰۳۰
S ₄₋₃	۹۴.۸۱۷۵	۸۷.۷۴۰	۰.۲۶۱۹	۰.۲۳۴۳	۰.۸۳۹۱۲	۰.۸۳۹۸۴



شکل ۱۴: خروجی الگوریتم جبری نسبت تصاویر روی داده اول: الف) (S1 ب) (S2 ت) (S3-1 ب) (S3-2 ث) (S3-3 ج) (S4-1 د) (S4-2 خ) (S4-3 ز) روی داده دوم: (S1 ر) (S2 د) (S3-1 ح) (S3-2 س) (S3-3 ش) (S4-1 ص) (S4-2 ج) (S4-3 ح)

جدول ۱۵: نتایج عددی روش جبری نسبت تصاویر

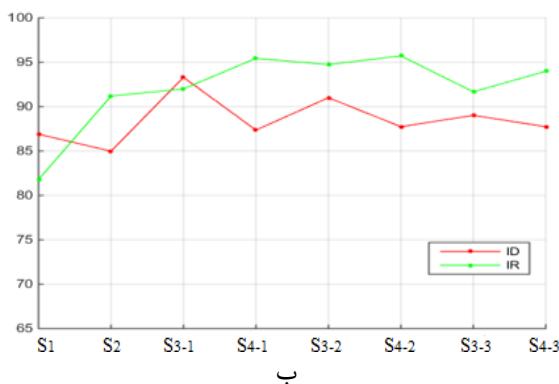
سناریو	دقت کلی		نرخ هشدارهای اشتباه		مساحت زیر نمودار راک	
	داده اول	داده دوم	داده اول	داده دوم	داده اول	داده دوم
S ₁	۶۹.۴۶۰۰	۸۱.۷۹۰۰	۰.۷۲۴۰	۰.۱۲۳۳	۰.۴۶۲۳۶	۰.۸۱۷۳۴
S ₂	۹۰.۰۷۲۵	۹۱.۱۹۰۰	۰.۲۶۲۵	۰.۲۳۶۹	۰.۸۲۴۰۸	۰.۸۵۴۳۷
S ₃₋₁	۷۷.۳۹۷۵	۹۲.۰۰۰۰	۰.۷۶۵۱	۰.۰۴۱۷	۰.۴۷۱۲۶	۰.۹۲۵۱۱
S ₃₋₂	۷۶.۴۰۲۵	۹۴.۷۴۰۰	۰.۷۶۷۰	۰.۰۷۰۰	۰.۴۶۶۰۷	۰.۹۳۹۳۷
S ₃₋₃	۷۹.۲۴۰۰	۹۱.۶۷۰۰	۰.۷۶۸۱	۰.۰۹۸۳	۰.۴۷۹۷۴	۰.۹۰۹۱۳
S ₄₋₁	۸۵.۶۳۰۰	۹۵.۴۴۰۰	۰.۰۷۶۶	۰.۰۷۶۳	۰.۸۹۱۳۸	۰.۹۳۶۵۳
S ₄₋₂	۹۲.۳۰۲۵	۹۵.۷۲۰۰	۰.۰۴۸۰	۰.۰۸۲۶	۰.۹۴۷۶۷	۰.۹۴۰۴۷
S ₄₋₃	۹۲.۱۳۲۵	۹۳.۹۹۰۰	۰.۲۱۵۹	۰.۱۵۹۶	۰.۸۶۰۷۷	۰.۹۰۰۷۰

سناریوی S₃ فیلتر باکس‌کار (S₃₋₁) به ترتیب با دقت کلی ۹۵.۴۲۷۵ و ۹۳.۳۰۰ و نرخ هشدارهای اشتباه ۰.۱۸۳۸ و ۰.۱۹۳۳ و مساحت زیر نمودار ۰.۸۸۷۴۴ و ۰.۸۸۱۶۷ و برای الگوریتم نسبت تصاویر برای دو سری داده در سناریوی S₄ نرمال شده فیلتر لی بهبود یافته (S₄₋₂) به ترتیب با دقต کلی ۹۲.۳۰۲۵ و ۹۵.۷۲۰۰ و ۹۲.۳۰۲۵ و

۵- بحث

در این قسمت هدف بررسی عملکرد الگوریتم‌های مختلف روش‌های آشکارسازی تغییرات می‌باشد. با استدلال به نتایج به دست آمده برای الگوریتم اختلاف تصاویر برای دو سری داده در

برای دو سری داده مورد استفاده در سناریو₃ فیلتر باکس کار ($S_{3.1}$) به ترتیب دارای دقت کلی ۹۵.۶۳۲۵ و ۹۱.۱۳۰۰ و نرخ هشدارهای اشتباه ۰.۲۳۱۳ و ۰.۱۷۲۳ و مساحت زیر نمودار ۰.۸۹۹۷۶ و ۰.۸۶۰۵۴ به عنوان سناریوی مناسب برای آشکارسازی تغییرات تصاویر راداری مورد استفاده قرار می‌گیرد.



ب

شکل ۱۵: دقت کلی روش جبری: (الف) برای داده اول و (ب) برای داده دوم، محورافقی به ترتیب دقت کلی سناریوهای استفاده شده در تحقیق شامل: S_1 , S_2 , S_3-1 , S_3-2 , S_4-1 , S_3-3 , S_4-2 , S_3-1 , S_2 , S_4-1 , S_3-2 , S_4-2 , S_3-3 و S_4-3 می‌باشد.

نتایج بصری و عددی الگوریتم‌های روش شباهت‌مبنا بیان کننده این موضوع است که این الگوریتم‌ها به دلیل واپستگی بین پیکسل‌ها بیشتر تحت تأثیر نویز اسپیکل قرار گرفته و دقت کلی و مساحت زیر نمودار پایین و نرخ هشدارهای اشتباه بالا الگوریتم‌های این روش باعث نامناسب بودن این روش برای آشکارسازی تغییرات تصاویر راداری شده است. در مورد سناریوهایی که نرمالسازی داده‌ها (داده اصلی یا داده فیلتر شده) می‌باشد هدف بررسی توانایی الگوریتم‌های ارایه شده با استفاده از نرمالسازی داده‌های ورودی می‌باشد. استفاده از نرمالسازی داده‌ها یه این معنی نیست که حتماً باعث بهتر شدن نتایج می‌شود، بلکه واپستگی به ماهیت الگوریتم‌های ارائه شده دارد. به عنوان مثال در شکل (۸) برای الگوریتم ماهالویوس می‌توان گفت که نرمالسازی داده‌ها نتایج را بهتر نمی‌کند، یعنی تعریف سناریوهای نرمالسازی برای این الگوریتم نسبت به عدم نرمالسازی باعث بهتر شدن نتایج خروجی

نرخ هشدارهای اشتباه ۰.۰۴۸۰ و ۰.۰۸۲۶ و مساحت زیر نمودار ۰.۹۴۰۴۷ و ۰.۹۴۷۶ به عنوان سناریوهای مناسب این الگوریتم‌ها برای آشکارسازی تغییرات می‌باشد. الگوریتم فاصله‌مبنا کانبرا نسبت به سایر الگوریتم‌ها از لحاظ دقت کلی و نرخ هشدارهای اشتباه پایین و مساحت زیر نمودار بالا برای آشکارسازی تغییرات مناسب می‌باشد بطوريکه



الف

الگوریتم اقلیدسی با توجه به اینکه دارای دقت کلی بالا در سناریو₃ فیلتر باکس کار ($S_{3.1}$) می‌باشد ولی نرخ هشدارهای اشتباه بالا و مساحت زیر نمودار پایین برای این الگوریتم باعث نامناسب بودن این الگوریتم برای آشکارسازی تغییرات شده است و سایر الگوریتم‌های این روش به دلیل پایین بودن دقت کلی و مساحت زیر نمودار و بالا بودن نرخ هشدارهای اشتباه برای آشکارسازی تغییرات مناسب نمی‌باشد. هدف روش‌های شباهت‌مبنا در حقیقت این است که فاصله را براساس واپستگی بین بردارهای متناظر محاسبه کند و در این وضعیت امکان دارد داده اصلی یا داده فیلتر شده در زمان‌های مختلف امکان منطبق شدن را نداشته باشند و به دلیل همین موضوع است که در روش‌های شباهت‌مبنا به دلیل ماهیت الگوریتم‌ها، واپستگی بین بردارهای متناظر از بین می‌رود و در حقیقت باعث می‌شود واپستگی دور از واقعیت باشد.

است. در این مقاله از روش‌های جبری که براساس ماهیت ریاضی بین بردارهای متناظر، روش‌های فاصله‌مبتنا که براساس اندازه‌گیری فاصله بین بردارهای متناظر و روش‌های شباهت‌مبتنا که براساس وابستگی بین بردارهای متناظر برای اشکارسازی تغییرات استفاده شده است. براساس معیارهای ارزیابی ارایه شده، در روش‌های جبری الگوریتم‌های اختلاف تصاویر و نسبت تصاویر و در روش‌های فاصله‌مبتنا الگوریتم کانبرا با توجه به بالا بودن دقت کلی و مساحت زیر نمودار و پایین بودن نرخ هشدارهای اشتباه، برای آشکارسازی تغییرات مناسب می‌باشند.

- [1] A. H. S. Solberg, "Remote sensing of ocean oil-spill pollution," Proceedings of the IEEE, vol. 100, no. 10, pp. 2931-2945, 2012.
- [2] T. T. Lê, A. M. Atto, E. Trouvé, A. Solikhin, and V. Pinel, "Change detection matrix for multitemporal filtering and change analysis of SAR and PolSAR image time series," ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 107, pp. 64-76, 2015.
- [3] V. Akbari, S. N. Anfinsen, A. P. Doulgeris, T. Eltoft, G. Moser, and S. B. Serpico, "Polarimetric SAR Change Detection With the Complex Hotelling-Lawley Trace Statistic," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 54, no. 7, pp. 3953-3966, 2016.
- [4] H. Li, M. Gong, Q. Wang, J. Liu, and L. Su, "A multiobjective fuzzy clustering method for change detection in SAR images," Applied Soft Computing, vol. 46, pp. 767-777, 2016.
- [5] H. Aghababaee, J. Amini, and Y. Tzeng, "Improving change detection methods of SAR images using fractals," Scientia Iranica, vol. 20, no. 1, pp. 15-22, 2013.
- [6] K. Conradsen, A. A. Nielsen, and H.

نمی‌شود. در شکل (۱۲) برای الگوریتم شباهت مبتنا ضریب همبستگی پیرسون، نرمالسازی یا عدم نرمالسازی تأثیری بر بهتر شدن نتایج ندارد. در شکل (۱۵) برای الگوریتم نسبت تصاویر می‌توان بیان کرد که نرمالسازی داده‌ها نتایج را بهتر می‌کند و بهتر است در آشکارسازی تغییرات با استفاده از الگوریتم نسبت تصاویر از نرمالسازی داده‌ها استفاده شود.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی و ارزیابی انواع روش‌های آشکارسازی تغییرات تصاویر قطبیده راداری UAVSAR با استفاده از دو سری داده پرداخته شده

مراجع

- Skriver, "Determining the points of change in time series of polarimetric SAR data," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 54, no. 5, pp. 3007-3024, 2016.
- [7] J.-S. Lee and E. Pottier, Polarimetric radar imaging: from basics to applications. CRC press, 2009.
- [8] J. A. Richards, Remote sensing with imaging radar. Springer, 2009.
- [9] R. M. Kurian and T. Thomas, "Change Detection on Images Using Morphological Processing," International Journal, vol. 5, no. 3, 2015.
- [10] F. T. Ulaby and C. Elachi, "Radar polarimetry for geoscience applications," Norwood, MA, Artech House, Inc., 1990, 376 p. No individual items are abstracted in this volume., vol. 1, 1990.
- [11] M. Liu, H. Zhang, C. Wang, and Y. Tang, "PolSAR change detection for specific land cover type by testing equality of two PolInSAR coherency matrixes," in Computer Vision in Remote Sensing (CVRS), 2012 International Conference on, 2012, pp. 371-376: Ieee.
- [12] M. Liu, H. Zhang, C. Wang, and Z. Shan,

- "Urban change detection for high-resolution fully polarimetric SAR using a modified heterogeneous clutter model," in Synthetic Aperture Radar, 2012. EUSAR. 9th European Conference on, 2012, pp. 87-90: VDE.
- [13] S. Quan, B. Xiong, L. Zhao, G. Kuang, and S. Zhang, "Polarimetric SAR image change detection based on three-component decomposition," in Radar Conference 2015, IET International, 2015, pp. 1-5: IET.
- [14] Y. Wang, L. Du, and H. Dai, "Unsupervised SAR Image Change Detection Based on SIFT Keypoints and Region Information," IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 13, no. 7, pp. 931-935, 2016.
- [15] R. Liu, Z. Jia, X. Qin, J. Yang, and N. Kasabov, "SAR Image Change Detection Method Based on Pulse-Coupled Neural Network," Journal of the Indian Society of Remote Sensing, vol. 44, no. 3, pp. 443-450, 2016.
- [16] L. Jia, M. Li, P. Zhang, Y. Wu, and H. Zhu, "SAR image change detection based on multiple kernel k-means clustering with local-neighborhood information," IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 13, no. 6, pp. 856-860, 2016.
- [17] M. Gong, Z. Zhou, and J. Ma, "Change detection in synthetic aperture radar images based on image fusion and fuzzy clustering," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 21, no. 4, pp. 2141-2151, 2012.
- [18] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms," IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, vol. 9, no. 1, pp. 62-66, 1979.
- [19] A. G. Fore et al., "UAVSAR polarimetric calibration," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 53, no. 6, pp. 3481-3491, 2015.
- [20] M. İlsever and C. Unsalan, Two-dimensional change detection methods: remote sensing applications. Springer Science & Business Media, 2012.
- [21] S.-S. Choi, S.-H. Cha, and C. C. Tappert, "A survey of binary similarity and distance measures," Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics, vol. 8, no. 1, pp. 43-48, 2010.
- [22] S. V. Stehman, "Selecting and interpreting measures of thematic classification accuracy," Remote sensing of Environment, vol. 62, no. 1, pp. 77-89, 1997.
- [23] M. J. Carlotto, "Effect of errors in ground truth on classification accuracy," International Journal of Remote Sensing, vol. 30, no. 18, pp. 4831-4849, 2009.
- [24] D. M. Powers, "Evaluation: from precision, recall and F-measure to ROC, informedness, markedness and correlation," 2011.
- [25] L.-F. Cheong, "Scene-based shot change detection and comparative evaluation," Computer Vision and Image Understanding, vol. 79, no. 2, pp. 224-235, 2000.
- [26] M. Gong, Y. Cao, and Q. Wu, "A neighborhood-based ratio approach for change detection in SAR images," IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 9, no. 2, pp. 307-311, 2012.
- [27] T. Fawcett, "An introduction to ROC analysis," Pattern recognition letters, vol. 27, no. 8, pp. 861-874, 2006.



Land cover changes detection in polarimetric SAR data using algebra, similarity, and distance based methods

Amir Najafi ¹, Mehdi Hasaniou ^{*}2

1- Ms.c graduated of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran

2- Assistant Professor, School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

Abstract

Monitoring and surveillance changes around the world need powerful methods and techniques; consequently, detection, visualization, and assessment of significant changes are essential for planning and management. Incorporating PolSAR images as the result of interactions between electromagnetic waves and target due to a high spatial resolution almost one meter can be incorporated for studying changes on the Earth's surface. Analyzing full-polarized radar images comparing to single polarized radar images used amplitude and phase information of the surface in different available polarization (HH, HV, and VV). This study is based on the decomposition of full-polarized airborne UAVSAR images and integration of these features with algebra, similarity, and distance based methods for change detecting purposes using two real datasets. Assessing the accuracy of the method is implemented using ground truth data and different criteria for evaluating such as overall accuracy (OA), area under ROC curve (AUC) and false alarms rate (FAR). The output results showed that algebra change detection method has superiority to detect changes comparing to other implemented methods. Also, numerical results showed the superiority of algebra change detection algorithms comparing to others.

Key words: Change detection, Full Polarized radar images, algebra, distance-based, similarity-based.

Correspondence Address : School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.
Tel: +98 21 61114525
Email: hasaniou@ut.ac.ir