نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال ششم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۷

Vol.6, No.2, Summer 2018

۱۴۳-۱۶۳

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 سنجش‌ازدور، 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 هوابرد (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 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 بالایی 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، کا رگرشمالی، بالاتر از جلال آل احمد، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، طبقه یک

تلفن: ۶۱۱۱۴۵۲۵

Email : hasanlou@ut.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-09]

[DOI: 10.29252/jgit.6.2.143]

۱- مقدمه

همواره پیشرفت‌های صورت گرفته از لحاظ کیفیت و توان تفکیک مکانی تصاویر در تصویربرداری راداری با روزنه مصنوعی[1] باعث تبدیل این سیستم به یکی از پرکاربردترین فن‌آوری‌های مطالعات سنجش‌ازدور شده است[۱]. 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 سنجش‌ازدور 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 سنجش‌ازدور، آشکارسازی تغییرات دارای کاربردهای وسیعی می‌باشد[۴]. در سنجش‌ازدور آشکارسازی تغییرات با هدف تحلیل و بررسی تغییرات برای یک منطقه جغرافیایی در زمان‌های متفاوت می‌باشد[۵]. به‌دلیل اهمیت آشکارسازی تغییرات در سنجش‌ازدور، تصاویر راداری با روزنه مصنوعی نسبت به تصاویر اپتیکی به‌لیل 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 شبانه‌روزی 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[2] به‌دلیل 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 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[3] و کاهش نویز اسپیکل می‌باشد، گام دوم تهیه نقشه اختلاف براساس ویژگی‌های[4] مختلف استخراج شده و الگوریتم‌های آشکارسازی تغییرات و گام سوم تحلیل نقشه تغییرات و استفاده از روش‌های مختلف قطعه‌بندی[5] 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 خطا[6] و براساس اندازه‌گیری فاصله بر روی ویژگی‌های بافت به آشکارسازی تغییرات تصاویر تمام قطبیده راداری پرداختند. سینونگ گوآن و همکاران[۱۳] با استفاده از ویژگی فریمن سه‌جزئی[7] 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[8] و استفاده از روش‌های بخش‌بندی بر روی ویژگی‌های استخراج شده به آشکارسازی تغییرات تصاویر تمام قطبیده راداری

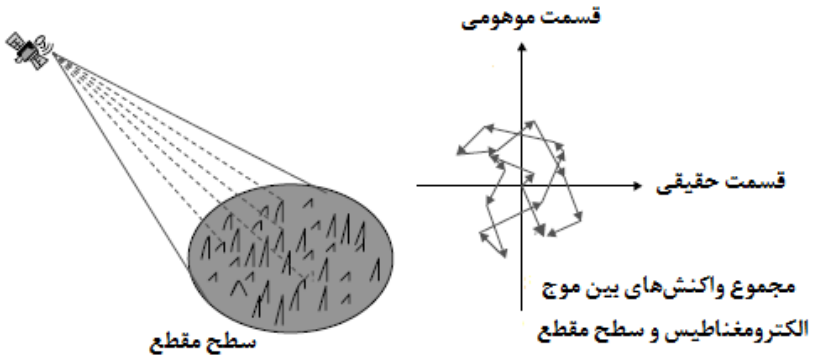
[1] Synthetic Aperture Radar
[2] Polarimetry SAR
[3] Registration
[4] Feature
[5] Segmentation
[6] Kittler and Illingworth
[7] Freeman-Durden Three-Component
[8] Scale-Invariant Feature Transform(SIFT)

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-09]
[DOI: 10.29252/jgit.6.2.143]

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. لوجیا و همکاران[۱۶] با استفاده از الگوریتم‌های خوشه‌بندی براساس نزدیک‌ترین 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 خوشه‌بندی 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 راداری هوابرد تمام قطبیده 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]، کلود[۱۳]، پائولی[۱۴]، توزی[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 به‌عنوان حدآستانه در نظر گرفته شده و این حدآستانه، هیستوگرام را به دو کلاس قبل و بعد از حدآستانه تقسیم نموده و برای پیکسل‌های قبل و بعد از حدآستانه 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 به‌عنوان حدآستانه 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 به‌دست آمده، چهار سناریوی مختلف طراحی و پیاده‌سازی شده است که شامل رویه نرمال‌سازی و فیلترکردن 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.

[1] Entropy
[2] Intensity
[3] Mean-Ratio Image
[4] Log-Ratio Image
[5] Wavelet
[6] Fuzzy C-means(FCM)
[7] Uninhabited Aerial Vehicle SAR(UAVSAR)
[8] Decomposition
[9] Huynen
[10] Barnes
[11] Yang
[12] Holm
[13] Cloude
[14] Pauli
[15] Touzi
[16] Freeman
[17] Yamaguchi
[18] Cube
[19] Otsu
[20] Overall Accuracy (OA)
[21] Area Under Curve (AUC)
[22] False Alarm Rata (FPR)

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-09]
[DOI: 10.29252/jgit.6.2.143]



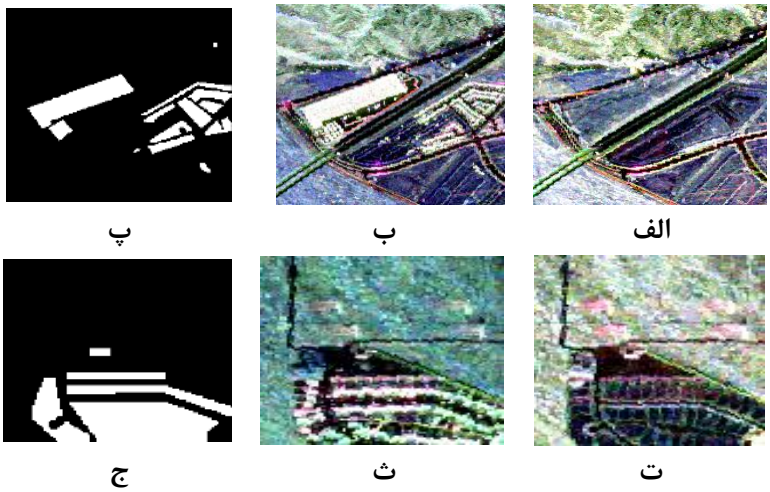
شکل۱: نحوه تشکیل نویز اسپیکل[۵]

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 تاریخ‌های ۱۸سپتامبر ۲۰۰۹و ۱۱ می ۲۰۱۵ اخذ شده است. داده اول با طول طول و عرض ۲۰۰ 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 تصاویر راداری (تصاویر Pauli) و با روش مقایسه بصری و شخص خبره تهیه شده است.

جدول۱: 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 - ۲۵درجه
عرض نوار برداشت	۲۰کیلومتر



شکل ۲: تصاویر پائولی داده‌های مورد استفاده، الف) داده اول در سال ۲۰۰۹، ب) داده اول در سال۲۰۱۵، پ) واقعیت زمینی داده اول، ت) داده دوم در سال۲۰۰۹، ث) داده دوم در سال ۲۰۱۵ و ج) واقعیت زمینی داده دوم.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-09]
[DOI: 10.29252/jgit.6.2.143]

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 انوی۵.۱[1] ثبت هندسی نموده درحقیقت ثبت تصویربه‌تصویر تصاویر در زمان‌های مختلف با دقت ۰.۴ پیکسل انجام می‌شود و سپس برای حذف نویز اسپیکل فیلترهای کاهش نویز که شامل فیلترهای باکس‌کار[2]، لی‌بهبودیافته[3] و لی‌سیگما[4] [۷] می‌باشد بر روی تصاویر اعمال می‌شود. ب) در نرم‌افزار پولسارپرو[5] 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 هاینن، بارنز، 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 مبنا (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:

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

۳-۱- روش‌های جبری

این روش‌ها که پیکسل‌مبنا 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

روش‌های جبری	روابط	مرجع
اختلاف تصاویر[6]	$ID = Cube(t2) - Cube(t1)$	[۱۸]
نسبت تصاویر[7]	$IR = \frac{Cube(t2)}{Cube(t1)}$	[۲۰]

۳-۲- روش‌های فاصله‌مبنا

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

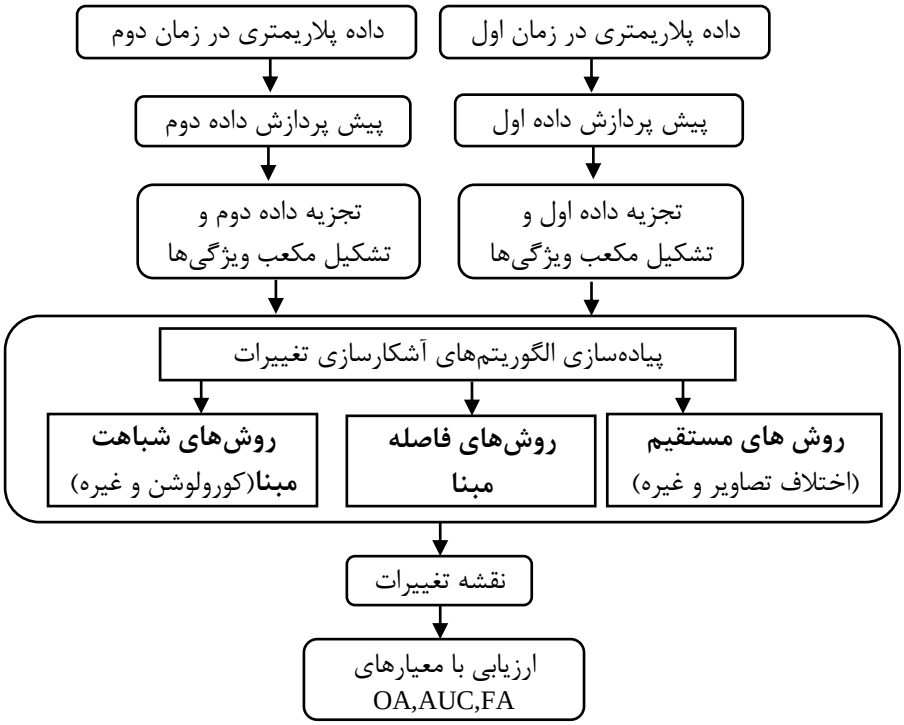
۳-۳- روش‌های شباهت‌مبنا

دراین روش‌ها براساس وابستگی بین بردارهای طیفی پیکسل‌های متناظردر تصاویر اخذ شده در زمان‌های مختلف نقشه تغییرات به‌دست می‌آید (جدول (۴)).

[1] Envi5.1
[2] BoxCar
[3] LeeRefined
[4] LeeSigma
[5] PolSARpro

[6] Image Differencing (ID)
[7] Image Ratio (IR)

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-09]
[DOI: 10.29252/jgit.6.2.143]



شکل ۳: مراحل انجام تحقیق

جدول ۳: الگوریتم‌های روش فاصله‌مبنا

روش‌های فاصله‌مبنا	روابط	مرجع
هلینگر[1]	$\mathrm{HE}(X.Y) = \sqrt{2\left(1-\left((X\cdot Y)\Big/\sqrt[2]{(\lvert X\rvert^2\cdot\lvert Y\rvert^2 - X\cdot Y)}\right)\right)}$	[۲۱]
اقلیدسی[2]	$EU(X.Y) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - y_i)^2}$	[۲۱]
کانبرا[3]	$CA(X.Y) = \sum_{i=1}^{n} \lvert x_i - y_i\rvert \Big/ \lvert x_i\rvert + \lvert y_i\rvert$	[۲۱]

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

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-09]
[DOI: 10.29252/jgit.6.2.143]

جدول ۴: الگوریتم‌های روش شباهت‌مبنا

روش‌های شباهت‌مبنا	روابط	مرجع
کوژینسکی[1]	$KU(X.Y) = (X \cdot Y) / \sum_{i=1}^{n} (x_i - y_i)^2$	[۲۱]
تامینیتو[2]	$TA(X.Y) = \left((X \cdot Y) / (\lvert X \rvert^2 \cdot \lvert Y \rvert^2 - X \cdot Y) \right)$	[۲۱]
ضریب همبستگی پیرسون[3]	$PCC(X.Y) = \left(\sum_{i=1}^{n} (x_i - \mu_X) \cdot (y_i - \mu_y) \right) / \left((\sum_{i=1}^{n} (x_i - \mu_X)^2)^{0.5} \cdot (\sum_{i=1}^{n} (y_i - \mu_Y)^2)^{0.5} \right)$	[۲۱]

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·Y) حاصل ضرب داخلی بین بردارهای متناظر، n تعداد ویژگی‌های استخراج شده از تجزیه تصاویر تمام قطبیده راداری (۱۳۸ ویژگی)، $(X\text{-}Y)^t$ ترانهاده و S^{-1} 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 سنجش‌ازدور می‌باشد[۲۲]. متداولترین روش برای ارزیابی کمی دقت طبقه‌بندی استفاده از داده‌های واقعیت زمینی می‌باشد[۲۳].

نتایج ارزیابی دقت به‌صورت ماتریس خطا ارائه می‌گردد(جدول (۵)). در این‌صورت انواع پارامترها و مقادیری که بیانگر دقت و یا نوعی خطا در نتایج هستند، از این ماتریس استخراج می‌شوند. ماتریس خطا 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 درآشکارسازی تغییرات استفاده از دو پارامتر ارزیابی نتایج مرسوم می‌باشد که شامل مساحت زیر نمودار و نرخ هشدارهای اشتباه به‌دلیل کشف تغییرات درست یا نادرست می‌باشد[۲۵].

در جدول (۵)، TP: تعداد پیکسل‌هایی که به‌عنوان کلاس تغییر طبقه‌بندی شده‌اند، FP: تعداد پیکسل‌هایی که به اشتباه به‌عنوان کلاس تغییر طبقه‌بندی شده‌اند، FN: تعداد پیکسل‌هایی که به اشتباه به‌عنوان کلاس غیر تغییر طبقه‌بندی شده‌اند و TN: تعداد پیکسل‌هایی که به‌عنوان کلاس غیرتغییر طبقه‌بندی شده‌اند [۲۶].

جدول ۵: ماتریس خطا[۲۷]

نتایج حاصل از طبقه‌بندی		نتایج حاصل از طبقه‌بندی	
		مثبت	منفی
نتایج واقعی	مثبت	TP	FN
	منفی	FP	TN

براساس تعداد پیکسل‌های مشخص شده در ماتریس خطا، دقت کلی و نرخ هشدارهای اشتباه به‌صورت ذیل می‌باشد.

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

رابطه (۲) $$FPR = \frac{FP}{FP+TN}$$

این رابطه برگرفته از [۲۴] است.

[1] Kulczynski (KU)
[2] Taminoto (TA)
[3] Pearson Correlation Coefficient (PCC)

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-09]
[DOI: 10.29252/jgit.6.2.143]

محور عمودی نمودار راک نسبت مثبت‌های درست[1] و محور افقی آن نسبت مثبت‌های غلط[2] می‌باشد که برای طبقه‌بندی دو کلاس تغییر و غیرتغییر براساس نسبت بین مثبت‌های غلط و مثبت‌های درست می‌باشد.[۲۷]

رابطه (۳) $$TPR = \frac{TP}{TP+FN}$$

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 فیلترکردن داده‌ها (با سه فیلتر) قبل از انجام الگوریتم‌ها انجام می‌شود و در نهایت در سناریو چهارم (S_4) علاوه بر نرمال‌سازی، فیلترکردن 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 فاصله‌مبنا

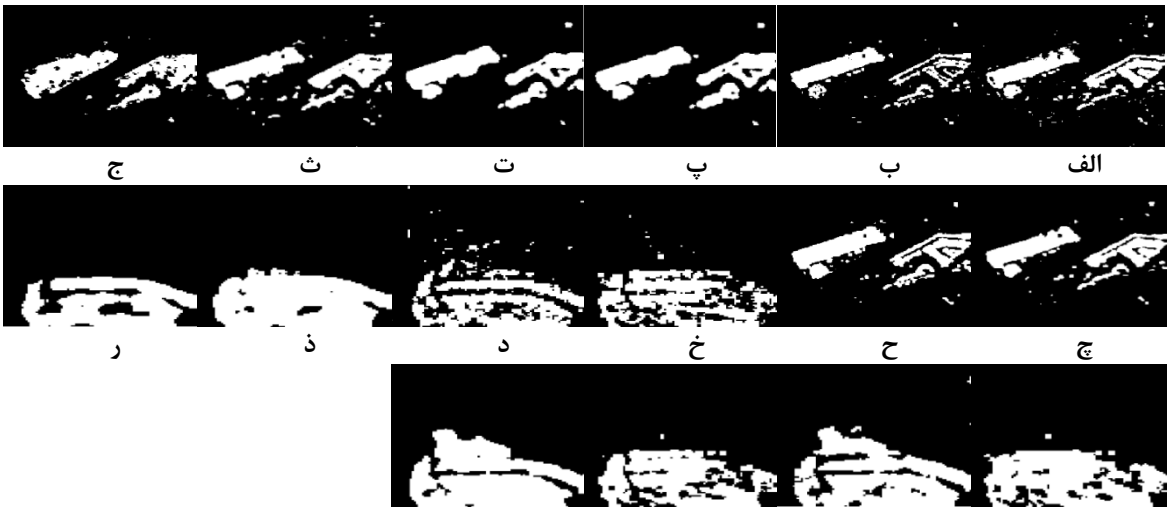
با توجه به این‌که هدف این تحقیق بررسی الگوریتم‌های ارزیابی براساس حالت‌های قید شده در جدول (۶) می‌باشد می‌توان اینطور بیان کرد که الگوریتم فاصله مبنا کانبرا با توجه به نتایج جدول (۷) برای دو سری داده در S_3 که فقط فیلتر داده می‌باشد دارای دقت کلی و مساحت زیر نمودار بالا و نرخ هشدارهای اشتباه پایین می‌باشد. با توجه به اختلاف بی‌معنی در دقت کلی برای فیلترهای مختلف این سناریو، مناسب‌ترین سناریو خواهد بود. در مورد الگوریتم اقلیدسی برای دو 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) به‌دست آمده می‌توان بیان کرد که برای سناریوهای مختلف نتایج نسبتاً ضعیفی به‌دست 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 به‌دست آمده در جدول (۱۰)، S_1 به‌دلیل دارا بودن مساحت زیرنمودار 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. باتوجه به‌شکل (۸) الگوریتم‌های کانبرا و اقلیدسی با توجه به‌حفظ روند دقت کلی برای دو سری داده در بین الگوریتم‌های آشکارساز فاصله مبنا برای آشکارسازی تغییرات مناسب می‌باشند.

[1] True Positive Rate
[2] False Positive Rate

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-09]
[DOI: 10.29252/jgit.6.2.143]

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 باکس‌کار	*	-
	S_{3-2}	فیلتر لی‌بهبودیافته	*	-
	S_{3-3}	فیلتر لی‌سیگما	*	-
S_4	S_{4-1}	نرمال فیلتر باکس‌کار	*	*
	S_{4-2}	نرمال فیلتر لی‌بهبودیافته	*	*
	S_{4-3}	نرمال فیلتر لی‌سیگما	*	*

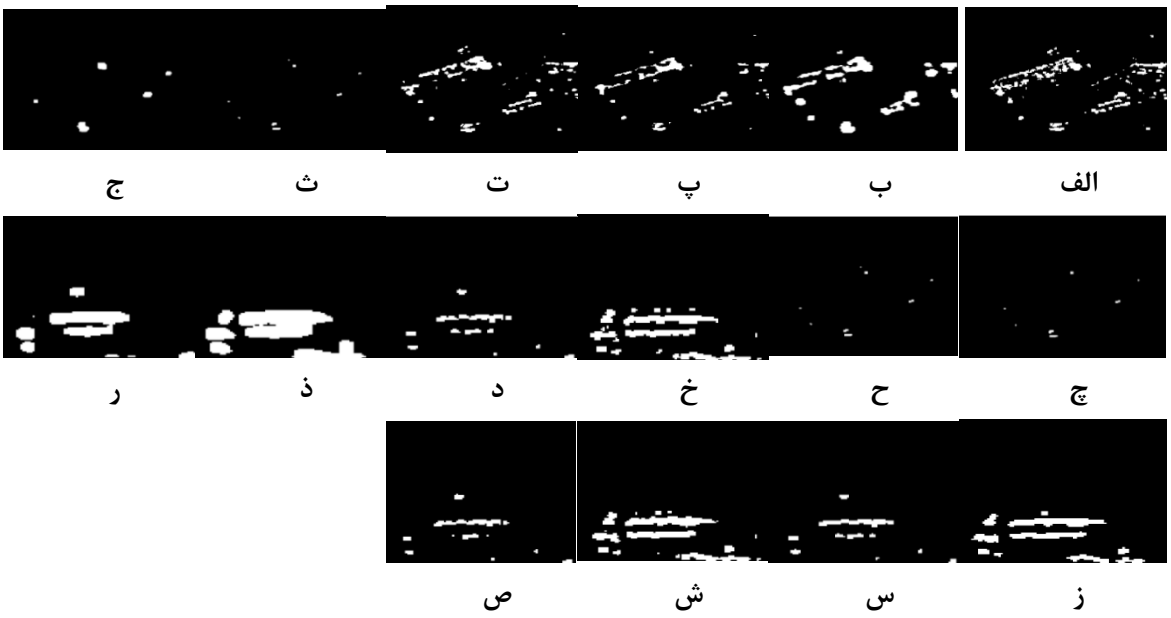


شکل ۴: خروجی الگوریتم فاصله مبنا کانبرا روی داده اول: الف) S1، ب) S2، پ) S3-1، ت) S4-1، ث) S3-2، ج) S4-2، چ) S3-3، ح) S4-3، روی داده دوم: خ) S1، د) S2، ذ) S3-1، ر) S4-1، ز) S3-2، س) S4-2، ش) S3-3، ص) S4-3S4-3

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

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-09]
[DOI: 10.29252/jgit.6.2.143]



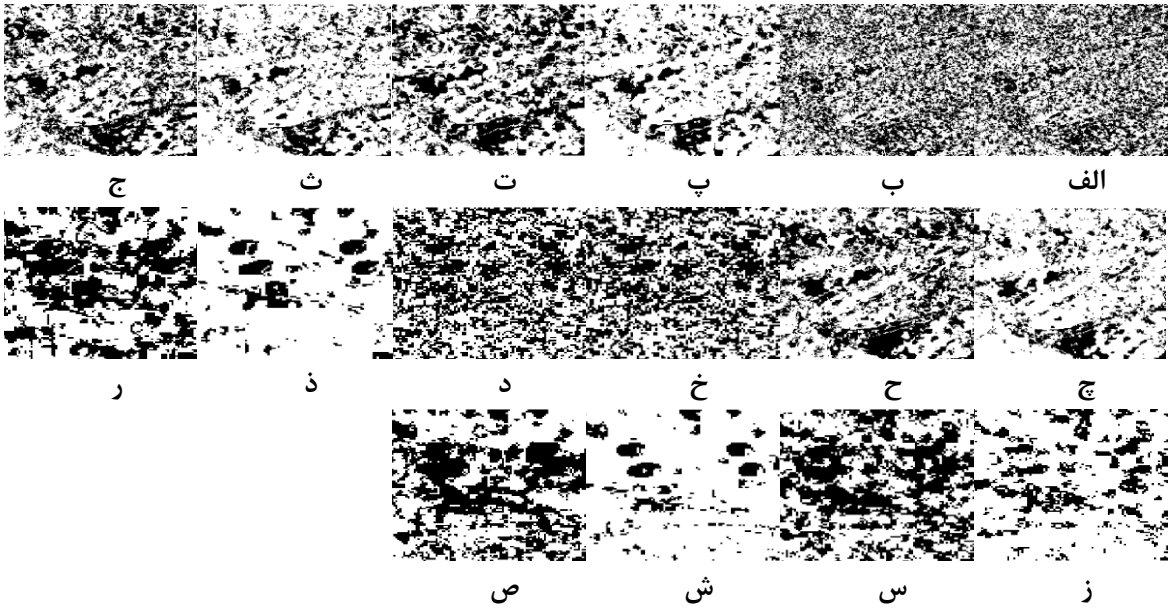
شکل ۵: خروجی الگوریتم فاصله مبنا اقلیدسی روی داده اول: الف) S1، ب) S2، پ) S3-1، ت) S4-1، ث) S3-2، ج) S4-2، چ) S3-3، ح) S4-3، روی داده دوم: خ) S1، د) S2، ذ) S3-1، ر) S4-1، ز) S3-2، س) S4-2، ش) S3-3، ص) S4-3

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	۷۱.۵۷۰۰	۰.۹۹۳۹	۰.۹۴۱۷	۰.۴۴۴۱۳	۰.۴۶۸۶۸

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-09]

[DOI: 10.29252/jgit.6.2.143]



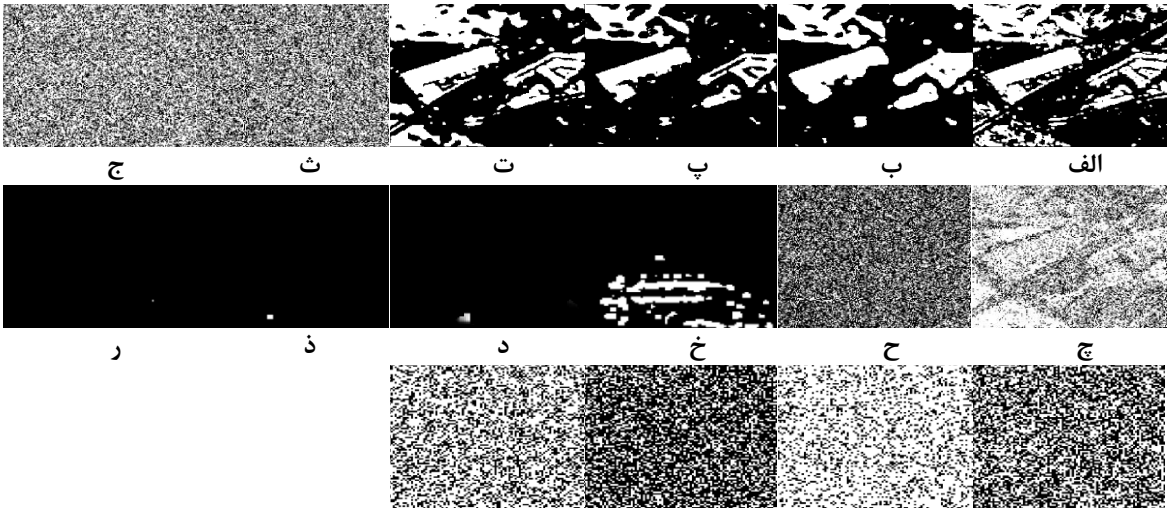
شکل۶: خروجی الگوریتم فاصله مبنا هلینگر روی داده اول: الف) S1، ب) S2، پ) S3-1، ت) S4-1، ث) S3-2، ج) S4-2، چ) S3-3، ح) S4-3، روی داده دوم: خ) S1، د) S2، ذ) S3-1، ر) S4-1، ز) S3-2، س) S4-2، ش) S3-3، ص) S4-3

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	۰.۲۳۲۷	۰.۱۴۰۵	۰.۴۴۰۴۷	۰.۵۰۸۰۷
S_{3-3}	۲۷.۷۳۷۵	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}	۴۳.۱۵۵۰	۵۲.۶۱۰۰	۰.۴۲۴۱	۰.۵۱۱۳	۰.۴۵۷۶۰	۰.۵۰۶۲۲
S_{4-3}	۴۱.۵۹۵۰	۴۸.۳۲۰۰	۰.۴۵۹۱	۰.۴۴۵۸	۰.۴۳۵۴۶	۰.۴۷۴۵۴

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-09]

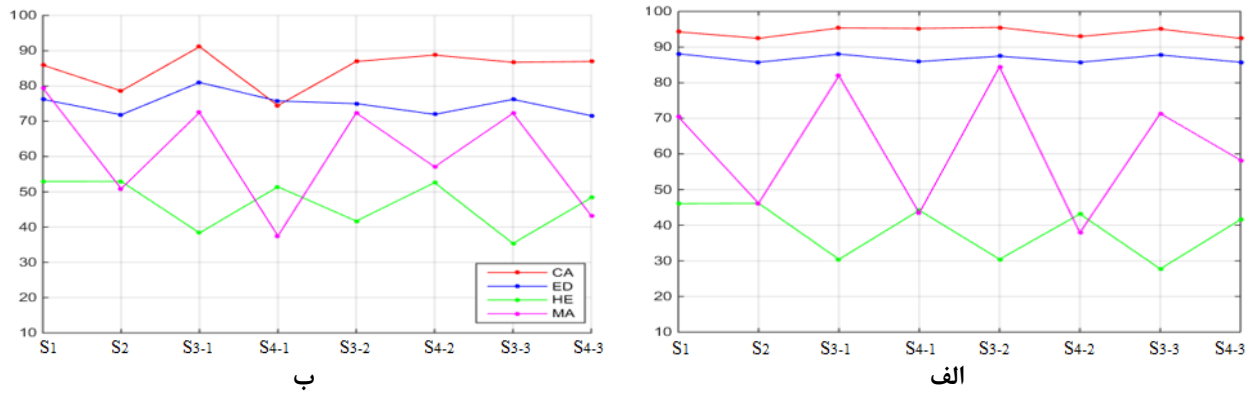
[DOI: 10.29252/jgit.6.2.143]



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

جدول ۱۰: نتایج عددی روش فاصله مبنا ماهالانوبیس

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

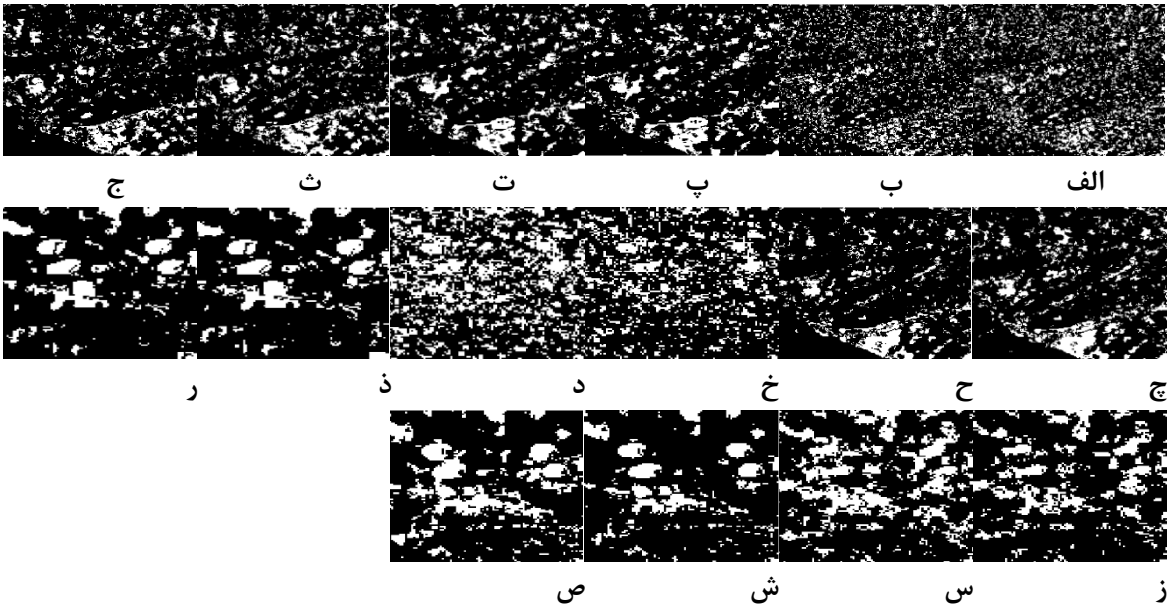


شکل ۸: دقت کلی روش فاصله مبنا الف) برای داده اول و ب) برای داده دوم، محورافقی به ترتیب دقت کلی سناریوهای استفاده شده در تحقیق شامل: S1، S2، S3-1، S4-1، S3-2، S4-2، S3-3 و S4-3 می‌باشد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-09]
[DOI: 10.29252/jgit.6.2.143]

۲-۴- 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 نسبتا 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 نرمال‌سازی نمی‌شود دارد ولی در تمامی سناریوها 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 تامینیتو با توجه به جدول (۱۳) دارای دقت های کلی نزدیک به هم در تمامی سناریوها در 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 به‌دلیل تأثیر بالای نویز اسپیکل بر وابستگی بین پیکسل‌ها در داده‌های طیفی، الگوریتم‌های شباهت مبنا مناسب برای آشکارسازی تغییرات نمی‌باشد.



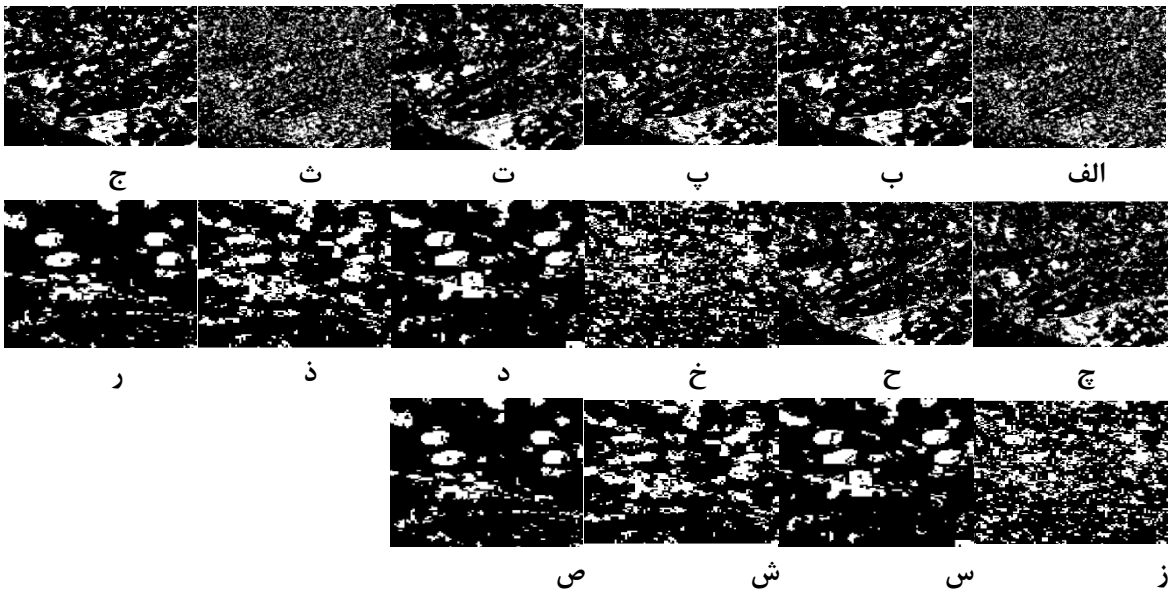
شکل ۹: خروجی الگوریتم شباهت مبنا کوژینسکی روی داده اول: الف) S1، ب) S2، پ) 1-S3، ت) 1-S4، ث) 2-S3، ج) 2-S4، چ) 3-S3، ح) 3-S4، روی داده دوم: خ) S1، د) S2، ذ) 1-S3، ر) 1-S4، ز) 2-S3، س) 2-S4، ش) 3-S3، ص) 3-S4

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-09]

[DOI: 10.29252/jgit.6.2.143]

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



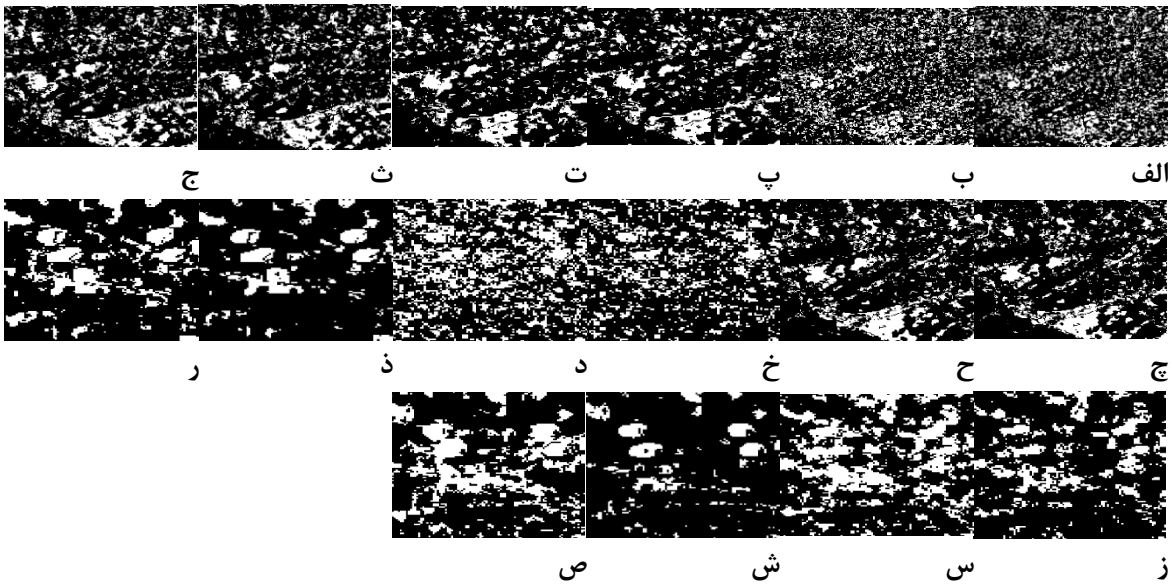
شکل ۱۰: خروجی الگوریتم شباهت مبنا ضریب همبستگی پیرسون روی داده اول: الف) S1، ب) S2، پ) S3-1، ت) S4-1، ث) S3-2، ج) S4-2، چ) S3-3، ح) S4-3، روی داده دوم: خ) S1، د) S2، ذ) S3-1، ر) S4-1، ز) S3-2، س) S4-2، ش) S3-3، ص) S4-3

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-09]

[DOI: 10.29252/jgit.6.2.143]

جدول ۱۲: نتایج عددی روش شباهت مبنا 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
$S_{3\text{-}1}$	۷۳.۰۰۵۰	۶۱.۵۸۰۰	۰.۸۳۴۵	۰.۹۱۴۶	۰.۴۳۰۰۸	۰.۴۰۳۲۱
$S_{3\text{-}2}$	۷۱.۹۲۷۵	۵۸.۳۱۰۰	۰.۸۲۵۴	۰.۸۶۶۳	۰.۴۳۰۲۷	۰.۳۹۸۶۷
$S_{3\text{-}3}$	۷۴.۲۲۰۰	۶۳.۹۹۰۰	۰.۷۸۰۹	۰.۹۰۴۵	۰.۴۶۳۲۶	۰.۴۲۳۲۸
$S_{4\text{-}1}$	۷۳.۰۰۵۰	۶۱.۵۸۰۰	۰.۸۳۴۵	۰.۹۱۴۶	۰.۴۳۰۰۸	۰.۴۰۳۲۱
$S_{4\text{-}2}$	۷۱.۹۲۷۵	۵۸.۳۱۰۰	۰.۸۲۵۴	۰.۸۶۶۳	۰.۴۳۰۲۷	۰.۳۹۸۶۷
$S_{4\text{-}3}$	۷۴.۲۲۰۰	۶۳.۹۹۰۰	۰.۷۸۰۹	۰.۹۰۴۵	۰.۴۶۳۲۷	۰.۴۲۳۲۸



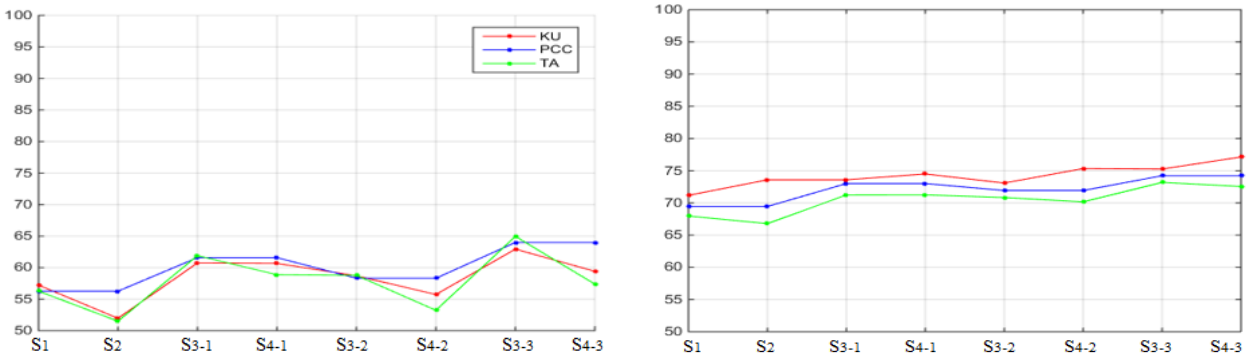
شکل ۱۱: خروجی الگوریتم شباهت مبنا تامینیتو روی داده اول: الف) S1، ب) S2، پ) S3-1، ت) S4-1، ث) S3-2، ج) S4-2، چ) S3-3، ح) S4-3، روی داده دوم: خ) S1، د) S2، ذ) S3-1، ر) S4-1، ز) S3-2، س) S4-2، ش) S3-3، ص) S4-3

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-09]

[DOI: 10.29252/jgit.6.2.143]

جدول ۱۳: نتایج عددی روش شباهت مبنا 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	۰.۷۴۲۳	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



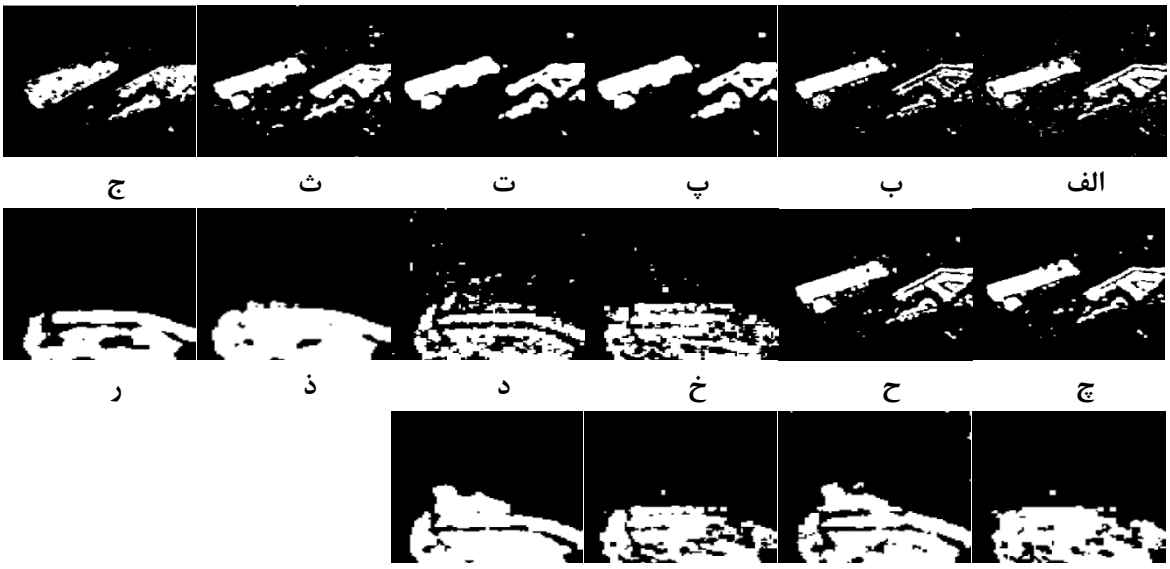
ب الف

شکل ۱۲: دقت کلی روش شباهت مبنا: 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.

۳-۴- 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 S_3 با توجه به این‌که در دو سری داده دارای روند یکسانی در دقت کلی و نرخ‌های هشدارهای پایین سناریوی مناسبی برای آشکارسازی تغییرات خواهد بود. الگوریتم نسبت تصاویر براساس نتایج جدول (۱۵) برای دو سری داده در سناریوهای فوق دارای دقت مناسبی می‌باشد ولی S_4 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 سناریوها 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.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-09]
[DOI: 10.29252/jgit.6.2.143]



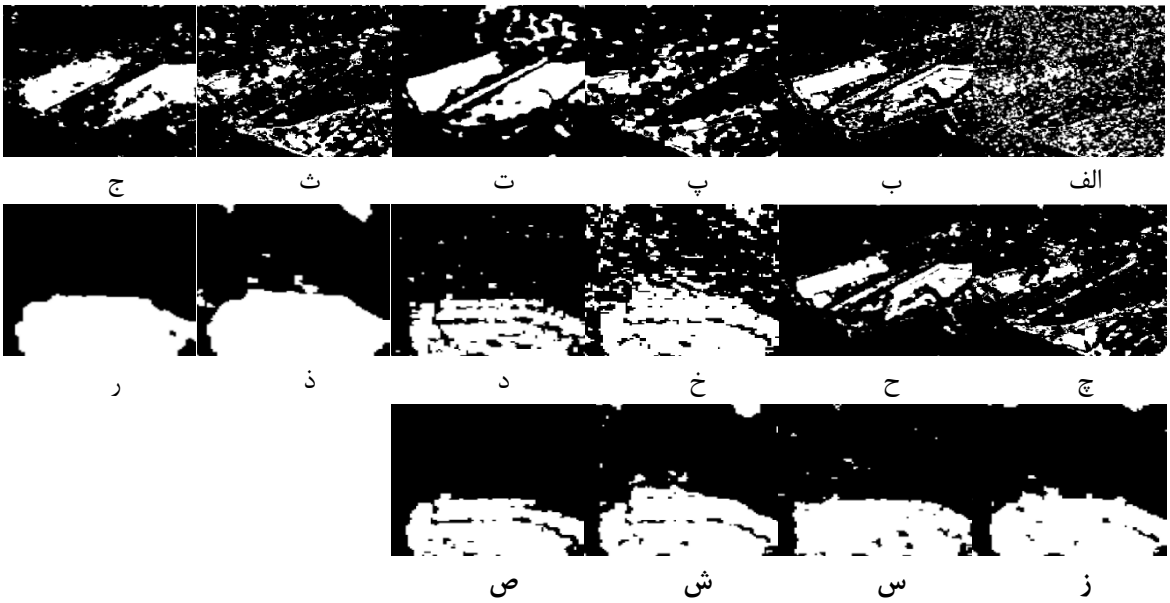
شکل ۱۳: خروجی الگوریتم جبری اختلاف تصاویر روی داده اول: الف) S1، ب) S2، پ) S3-1، ت) S4-1، ث) S3-2، ج) S4-2، چ) S3-3، ح) S4-3، روی داده دوم: خ) S1، د) S2، ذ) S3-1، ر) S4-1، ز) S3-2، س) S4-2، ش) S3-3، ص) S4-3S4-3

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	۸۶.۹۰۰۰	۰.۳۳۹۴	۰.۴۰۹۲	۰.۸۰۳۶۷	۰.۷۵۷۵۵
S_2	۹۳.۴۴۲۵	۸۴.۹۸۰۰	۰.۴۱۰۰	۰.۴۴۳۹	۰.۷۴۸۲۷	۰.۷۴۷۶۵
S_{3-1}	۹۵.۴۲۷۵	۹۳.۳۰۰۰	۰.۱۸۳۸	۰.۱۹۳۳	۰.۸۸۷۷۴	۰.۸۸۱۶۷
S_{3-2}	۹۴.۶۰۷۵	۹۱.۰۱۰۰	۰.۲۳۴۷	۰.۲۷۵۲	۰.۸۶۴۳۸	۰.۸۳۶۳۴
S_{3-3}	۹۴.۷۲۵۰	۸۹.۰۲۰۰	۰.۲۸۷۹	۰.۳۴۱۲	۰.۸۳۴۱۳	۰.۷۹۴۵۵
S_{4-1}	۹۵.۵۴۵۰	۸۷.۳۶۰۰	۰.۱۸۹۰	۰.۳۹۸۵	۰.۸۸۶۷۷	۰.۷۸۶۰۷
S_{4-2}	۹۵.۱۴۰۰	۸۷.۷۴۰۰	۰.۲۵۶۳	۰.۲۸۷۹	۰.۸۶۳۵۹	۰.۸۲۰۳۰
S_{4-3}	۹۴.۸۱۷۵	۸۷.۷۴۰۰	۰.۲۶۱۹	۰.۲۳۴۳	۰.۸۳۹۱۲	۰.۸۳۹۸۴

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-09]

[DOI: 10.29252/jgit.6.2.143]



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

جدول ۱۵: نتایج عددی روش جبری نسبت تصاویر

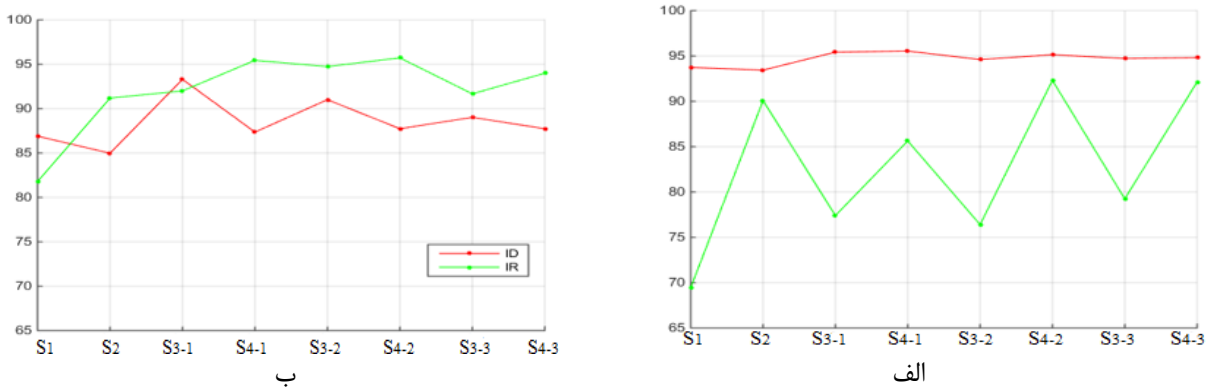
سناریو	دقت کلی		نرخ هشدارهای اشتباه		مساحت زیر نمودار راک	
	داده اول	داده دوم	داده اول	داده دوم	داده اول	داده دوم
S_1	۶۹.۴۶۰۰	۸۱.۷۹۰۰	۰.۷۲۴۰	۰.۱۲۳۳	۰.۴۶۲۳۶	۰.۸۱۷۳۴
S_2	۹۰.۰۷۲۵	۹۱.۱۹۰۰	۰.۲۶۲۵	۰.۲۳۶۹	۰.۸۲۴۰۸	۰.۸۵۴۳۷
S_{3-1}	۷۷.۳۹۷۵	۹۲.۰۰۰۰	۰.۷۶۵۱	۰.۰۴۱۷	۰.۴۷۱۲۶	۰.۹۲۵۱۱
S_{3-2}	۷۶.۴۰۲۵	۹۴.۷۴۰۰	۰.۷۶۷۰	۰.۰۷۰۰	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

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 سناریوی S_3 فیلتر باکس‌کار (S_{3-1}) به ترتیب با دقت کلی ۹۵.۴۲۷۵ و۹۳.۳۰۰ 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 S_4 نرمال شده فیلتر لی‌بهبودیافته (S_{4-2}) به ترتیب با دقت کلی ۹۲.۳۰۲۵ و۹۵.۷۲۰۰ و

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-09]
[DOI: 10.29252/jgit.6.2.143]

نرخ هشدارهای اشتباه ۰.۰۴۸۰ و۰.۰۸۲۶ و مساحت زیر نمودار ۰.۹۴۷۶۷ و ۰.۹۴۰۴۷ به‌عنوان 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 بطوریکه برای دو سری داده مورد استفاده در سناریو S_3 فیلتر باکس‌کار ($S_{3\text{-}1}$) به ترتیب دارای دقت کلی ۹۵.۶۳۲۵ و ۹۱.۱۳۰۰ و نرخ هشدارهای اشتباه ۰.۱۷۲۳ و ۰.۲۳۱۳ و مساحت زیر نمودار ۰.۸۹۹۷۶ و ۰.۸۶۰۵۴ به‌عنوان سناریوی مناسب برای آشکارسازی تغییرات تصاویر راداری مورد استفاده قرار می‌گیرد.



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: S1، S2، S3-1، S4-1، S3-2، S4-2، S3-3 و S4-3 می‌باشد.

الگوریتم اقلیدسی باتوجه به اینکه دارای دقت کلی بالا در سناریو S_3 فیلتر باکس‌کار ($S_{3\text{-}1}$) می‌باشد ولی نرخ هشدارهای اشتباه بالا و مساحت زیرنمودار 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 وابستگی 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 به‌دلیل همین موضوع است که در روش‌های شباهت‌مبنا به‌دلیل ماهیت الگوریتم‌ها، وابستگی بین بردارهای متناظر از بین می‌رود و در حقیقت باعث می‌شود وابستگی دور از واقعیت باشد.

نتایج بصری و عددی الگوریتم‌های روش شباهت‌مبنا بیان کننده این موضوع است که این الگوریتم‌ها به‌دلیل وابستگی 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 بستگی به ماهیت الگوریتم‌های ارائه شده دارد. به‌عنوان مثال در شکل (۸) برای الگوریتم ماهالوبیوس 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

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-09]
[DOI: 10.29252/jgit.6.2.143]

نمی‌شود. در شکل (۱۲) برای الگوریتم شباهت مبنا 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 تمام قطبیده راداری UAVSAR با استفاده از دو سری داده پرداخته شده است. در این مقاله از روش‌های جبری که براساس ماهیت ریاضی بین بردارهای متناظر، روش‌های فاصله‌مبنا که براساس اندازه‌گیری فاصله بین بردارهای متناظر و روش‌های شباهت‌مبنا که براساس وابستگی بین بردارهای متناظر برای اشکارسازی تغییرات استفاده شده است. براساس معیارهای ارزیابی ارایه شده، در روش های جبری الگوریتم‌های اختلاف تصاویر و نسبت تصاویر و در روش‌های فاصله‌مبنا الگوریتم کانبرا با توجه به بالا بودن دقت کلی و مساحت زیر نمودار و پایین بودن نرخ هشدارهای اشتباه، برای آشکارسازی تغییرات مناسب می‌باشند.

مراجع

[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. 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,

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-09]

[DOI: 10.29252/jgit.6.2.143]

"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.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-09]

[DOI: 10.29252/jgit.6.2.143]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.6, No.2, Summer 2018

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

Amir Najafi [1],Mehdi Hasanlou[*2]

1- Ms.c graducated 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: hasanlou@ut.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-09]

[DOI: 10.29252/jgit.6.2.143]