

## آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر تمام قطبیده راداری و روش های جبری، فاصله و شباهت مبنا

امیر نجفی<sup>۱</sup> و مهدی حسنلو<sup>۲\*</sup>

۱- کارشناس ارشد سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران

۲- استادیار، دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده های 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 روش ها و تکنیک های قدرتمندی می باشد، بنابراین آشکارسازی و بصری سازی و ارزیابی رشد تغییرات در برنامه ریزی و مدیریت قابل توجه است. استفاده از تصاویر تمام قطبیده راداری به دلیل تعامل بین موج های الکترومغناطیسی و هدف (تارگت) و استفاده از اطلاعات فاز و دامنه و به دلیل بالا بودن توان تفکیک مکانی تا حدود یک متر می تواند برای بررسی تغییرات در سطح زمین استفاده شود. این تحقیق براساس تجزیه تصاویر تمام قطبیده راداری هواپرد (UAVSAR : Uninhabited Aerial Vehicle SAR) و استخراج ویژگی های این تصویر و پیاده سازی الگوریتم های 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 روش های مختلف آشکارسازی تغییرات در تصاویر تمام قطبیده راداری که شامل روش های جبری که براساس ماهیت ریاضی بین بردارهای متناظر، روش های فاصله مبنا براساس اندازه گیری فاصله بین بردارهای متناظر و روش های شباهت مبنا براساس وابستگی بین بردارهای متناظر می باشد. ارزیابی دقت روش پیاده سازی شده با استفاده از داده واقعیت زمینی و استفاده از آماره های ارزیابی دقت کلی، مساحت زیر منحنی راک و نرخ هشدارهای اشتباه می باشد. ارزیابی نتایج نشان می دهد که روش های آشکارسازی تغییرات جبری دارای دقت بالایی نسبت به سایر روش های تشخیص تغییرات می باشند. همچنین، نتایج کمی نشان می دهد که الگوریتم های تشخیص تغییرات جبری دارای دقت کلی بیش از ۹۳٪ 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 می باشد.

**کلیدواژه ها:** آشکارسازی تغییرات، تصویر تمام قطبیده راداری، روش جبری، روش فاصله مبنا، روش شباهت مبنا

\*نویسنده مکاتبه کننده: تهران، کارگرمالی، بالاتر از جلال آل احمد، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران، دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی، طبقه یک

تلفن: ۶۱۱۱۴۵۲۵

Email : hasanlou@ut.ac.ir

## ۱- مقدمه

همواره پیشرفت‌های صورت گرفته از لحاظ کیفیت و توان تفکیک مکانی تصاویر در تصویربرداری راداری با روزنه مصنوعی<sup>۱</sup> 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]. به دلیل اهمیت آشکارسازی تغییرات در سنجش‌ازدور، تصاویر راداری با روزنه مصنوعی نسبت به تصاویر اپتیکی به دلیل 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<sup>۲</sup> 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

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<sup>۳</sup> و کاهش نویز اسپیکل می‌باشد، گام دوم تهیه نقشه اختلاف براساس ویژگی‌های<sup>۴</sup> مختلف استخراج شده و الگوریتم‌های آشکارسازی تغییرات و گام سوم تحلیل نقشه تغییرات و استفاده از روش‌های مختلف قطعه‌بندی<sup>۵</sup> 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<sup>۶</sup> 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 سه‌جرئی<sup>۷</sup> 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<sup>۸</sup> و استفاده از روش‌های بخش‌بندی بر روی ویژگی‌های استخراج شده به آشکارسازی تغییرات تصاویر تمام قطبیده راداری

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

کلود<sup>۱۳</sup>، پائولی<sup>۱۴</sup>، توزی<sup>۱۵</sup>، فریمن<sup>۱۶</sup>، یاماگوچی<sup>۱۷</sup> و غیره می‌باشد [۷]. در ادامه، اقدام به تهیه مکعب<sup>۱۸</sup> ویژگی‌ها کرده که بر روی این مکعب ویژگی‌ها روش‌های آشکارسازی تغییرات پیاده‌سازی و با استفاده از الگوریتم قطعه‌بندی اوتسو<sup>۱۹</sup> اقدام به تهیه نقشه تغییرات در دو کلاس تغییر و غیر تغییر 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<sup>۲۰</sup>، مساحت زیر نمودار راک<sup>۲۱</sup> و نرخ هشدارهای اشتباه<sup>۲۲</sup> 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.

پرداختند. لی و همکاران [۱۵] با استفاده از شبکه‌های عصبی و استفاده از ویژگی‌های آنروپی 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 آنروپی<sup>۱</sup> و روشنایی<sup>۲</sup> تصاویر تمام قطبیده راداری به آشکارسازی تغییرات تصاویر راداری پرداختند. مگیوگانگ و همکاران [۱۷] با استفاده از تصاویر راداری و ادغام تصاویر نسبت میانگین<sup>۳</sup> و نسبت لگاریتمی<sup>۴</sup> با الگوریتم شبکه‌های موجک فازی<sup>۵</sup> و استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی فازی<sup>۶</sup> 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<sup>۷</sup> و اعمال فیلترهای کاهش نویز اسپیکل و هم‌مرجع‌سازی این تصاویر که در دو بازه زمانی متفاوت می‌باشد، اقدام به تجزیه<sup>۸</sup> تصاویر تمام قطبیده راداری می‌نماید. این تجزیه‌ها شامل هاینن<sup>۹</sup>، بارنز<sup>۱۰</sup>، یانگ<sup>۱۱</sup>، هولم<sup>۱۲</sup>،

<sup>1</sup> Entropy

<sup>2</sup> Intensity

<sup>3</sup> Mean-Ratio Image

<sup>4</sup> Log-Ratio Image

<sup>5</sup> Wavelet

<sup>6</sup> Fuzzy C-means(FCM)

<sup>7</sup> Uninhabited Aerial Vehicle SAR(UAVSAR)

<sup>8</sup> Decomposition

<sup>9</sup> Huynen

<sup>10</sup> Barnes

<sup>11</sup> Yang

<sup>12</sup> Holm

<sup>13</sup> Cloude

<sup>14</sup> Pauli

<sup>15</sup> Touzi

<sup>16</sup> Freeman

<sup>17</sup> Yamaguchi

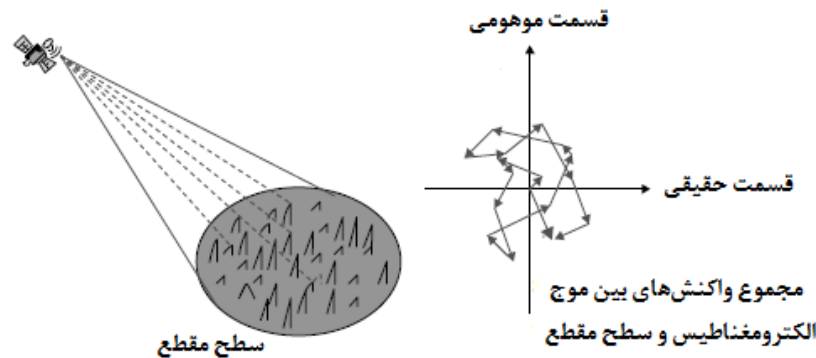
<sup>18</sup> Cube

<sup>19</sup> Otsu

<sup>20</sup> Overall Accuracy (OA)

<sup>21</sup> Area Under Curve (AUC)

<sup>22</sup> False Alarm Rata (FPR)



شکل ۱: نحوه تشکیل نویز اسپیکل [۵]

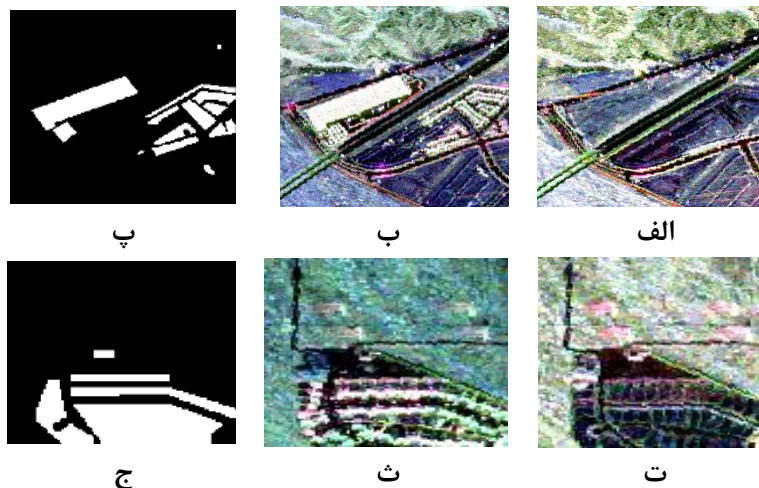
تصاویر راداری (تصاویر Pauli) و با روش مقایسه بصری و شخص خبره تهیه شده است.

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	۲۵ - ۶۵ 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 هواپرد UAVSAR در باند L از سطح شهر سانفرانسیسکو در تاریخ‌های ۱۸ سپتامبر ۲۰۰۹ و 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 هواپرد UAVSAR در جدول (۱) بیان شده است. واقعیت زمینی با استفاده از تصاویر اپتیک و تصاویر گوگل ارث در دو زمان مختلف و رنگ‌های کاذب



شکل ۲: تصاویر پائولی 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.

### ۳-۱- روش های جبری

این روش ها که پیکسل مینا بوده و براساس عملیات ریاضی بر روی تصاویر اخذ شده در زمان های مختلف نقشه تغییرات تهیه می شود (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 ویژگی های استخراج شده با استفاده از مدل های مختلف تجزیه می باشد.

جدول ۲: الگوریتم های روش جبری

مرجع	روابط	روش های جبری
[۱۸]	$ID = Cube(t_2) - Cube(t_1)$	اختلاف تصاویر <sup>۶</sup>
[۲۰]	$IR = \frac{Cube(t_2)}{Cube(t_1)}$	نسبت تصاویر <sup>۷</sup>

### ۳-۲- روش های فاصله مینا

در این روش ها براساس اندازه گیری فاصله بین بردارهای طیفی پیکسل های متناظر در تصاویر اخذ شده در زمان های مختلف نقشه تغییرات تهیه می شود (جدول (۳)).

### ۳-۳- روش های شباهت مینا

در این روش ها براساس وابستگی بین بردارهای طیفی پیکسل های متناظر در تصاویر اخذ شده در زمان های مختلف نقشه تغییرات به دست می آید (جدول (۴)).

### ۳- روش انجام تحقیق

روش انجام تحقیق همانند فلوجارت شکل (۳) می باشد. مراحل مختلف پیاده سازی الگوریتم ها شامل چندین گام می باشد که عبارتند از الف) پیش پردازش: در این مرحله ابتدا داده های موجود برای منطقه مورد مطالعه که به صورت ماتریس کوهرنسی می باشد در زمان های معین را با استفاده از نرم افزار انوی ۵.۱<sup>۱</sup> ثبت هندسی نموده در حقیقت ثبت تصویر به تصویر می شود و سپس برای حذف نویز اسپیکل فیلترهای کاهش نویز که شامل فیلترهای باکس کار<sup>۲</sup>، لی بهبود یافته<sup>۳</sup> و لی سیگما<sup>۴</sup> [۷] می باشد بر روی تصاویر اعمال می شود. ب) در نرم افزار پولسار پرو<sup>۵</sup> تجزیه داده های پلاریمتری پردازش شده برای داده های فیلتر شده و غیر فیلتر شده (داده اولیه) در زمان های معین و تشکیل مکعب ویژگی ها انجام می شود. تجزیه تصاویر پلاریمتری بر اساس نوع تجزیه به انواع مختلفی تقسیم می شود [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 (تئوری های همدوس) شامل تجزیه پائولی، توزی و غیره و در نهایت تجزیه مدل مینا (تئوری های ناهمدوس) که شامل تجزیه فریمن، آنتروپی و غیره می باشد [۷]. در مجموع براساس مدل های مختلف تجزیه، ۱۳۸ ویژگی استخراج شده که با استفاده از این ویژگی ها مکعب ویژگی ها برای داده اولیه و داده های فیلتر شده تهیه می شود. پ) پیاده سازی الگوریتم های آشکارسازی تغییرات:

<sup>1</sup> Envi5.1

<sup>2</sup> BoxCar

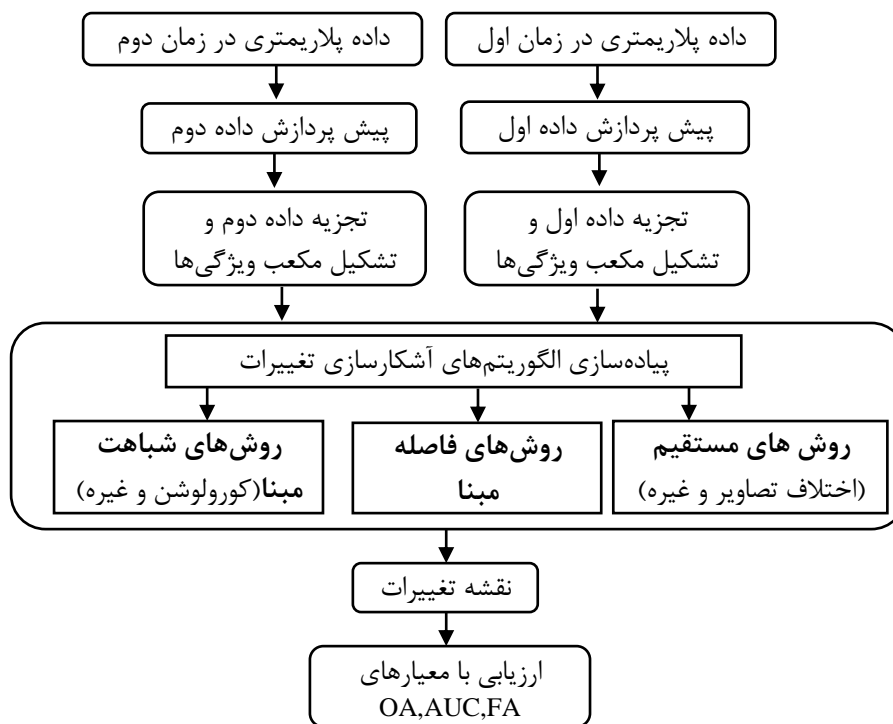
<sup>3</sup> LeeRefined

<sup>4</sup> LeeSigma

<sup>5</sup> PolSARpro

<sup>6</sup> Image Differencing (ID)

<sup>7</sup> Image Ratio (IR)



شکل ۳: مراحل انجام تحقیق

جدول ۳: الگوریتم‌های روش فاصله مبنا

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

<sup>1</sup> Hellinger (HE)

<sup>2</sup> Euclidean (EU)

<sup>3</sup> Canberra (CA)

جدول ۴: الگوریتم‌های روش شباهت‌مبنا

مرجع	روابط	روش‌های شباهت‌مبنا
[۲۱]	$KU(X, Y) = (X \cdot Y) / \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2$	کوژینسکی <sup>۱</sup>
[۲۱]	$TA(X, Y) = \left( \frac{(X \cdot Y)}{( X ^2 \cdot  Y ^2 - X \cdot Y)} \right)$	تامینیتو <sup>۲</sup>
[۲۱]	$PCC(X, Y) = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x) \cdot (y_i - \mu_y)}{(\sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)^2)^{0.5} \cdot (\sum_{i=1}^n (y_i - \mu_y)^2)^{0.5}} \right)$	ضریب همبستگی پیرسون <sup>۳</sup>

به دلیل کشف تغییرات درست یا نادرست می‌باشد [۲۵]. در جدول (۵)، 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 غیر تغییر طبقه‌بندی شده‌اند [۲۶].

جدول ۵: ماتریس خطا [۲۷]

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

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

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، حاصل ضرب داخلی بین بردارهای متناظر، n تعداد ویژگی‌های استخراج شده از تجزیه تصاویر تمام قطبیده راداری (۱۳۸ ویژگی)،  $(X-Y)$  ترانهاده و  $S^{-1}$  کوواریانس بین بردارهای متناظر،  $|X|^2$  و  $|Y|^2$  اندازه بردارهای متناظر،  $\mu_x$  و  $\mu_y$  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 به‌صورت ماتریس خطا ارائه می‌گردد (جدول (۵)). در این صورت انواع پارامترها و مقادیری که بیانگر دقت و یا نوعی خطا در نتایج هستند، از این ماتریس استخراج می‌شوند. ماتریس خطا حاصل مقایسه پیکسل‌های 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

<sup>1</sup> Kulczynski (KU)

<sup>2</sup> Taminoto (TA)

<sup>3</sup> Pearson Correlation Coefficient (PCC)

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 ماهالانویس 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<sup>۱</sup> و محور افقی آن نسبت مثبت‌های غلط<sup>۲</sup> 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 پیش‌پردازی 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 فاصله مبنا

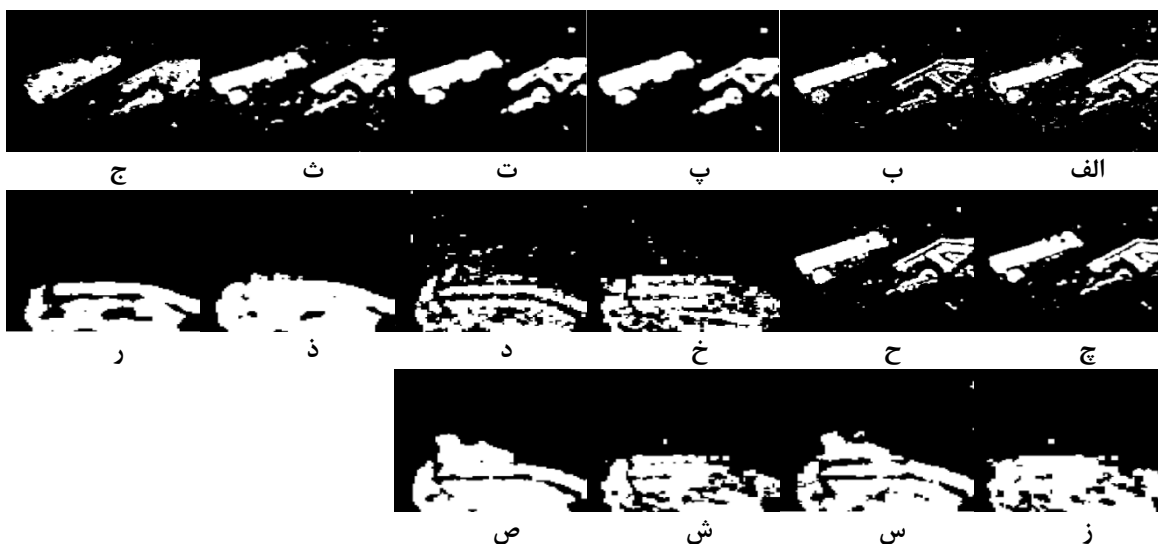
با توجه به این که هدف این تحقیق بررسی الگوریتم‌های ارزیابی براساس حالت‌های قید شده در جدول (۶) می‌باشد می‌توان اینطور بیان کرد که الگوریتم فاصله مبنا کانبرا با توجه به نتایج جدول (۷) برای دو سری داده در  $S_3$  که فقط فیلتر داده می‌باشد دارای دقت کلی و مساحت زیر نمودار بالا و نرخ هشدارهای اشتباه پایین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

<sup>1</sup> True Positive Rate

<sup>2</sup> False Positive Rate

جدول ۶: حالت‌های ارزیابی الگوریتم

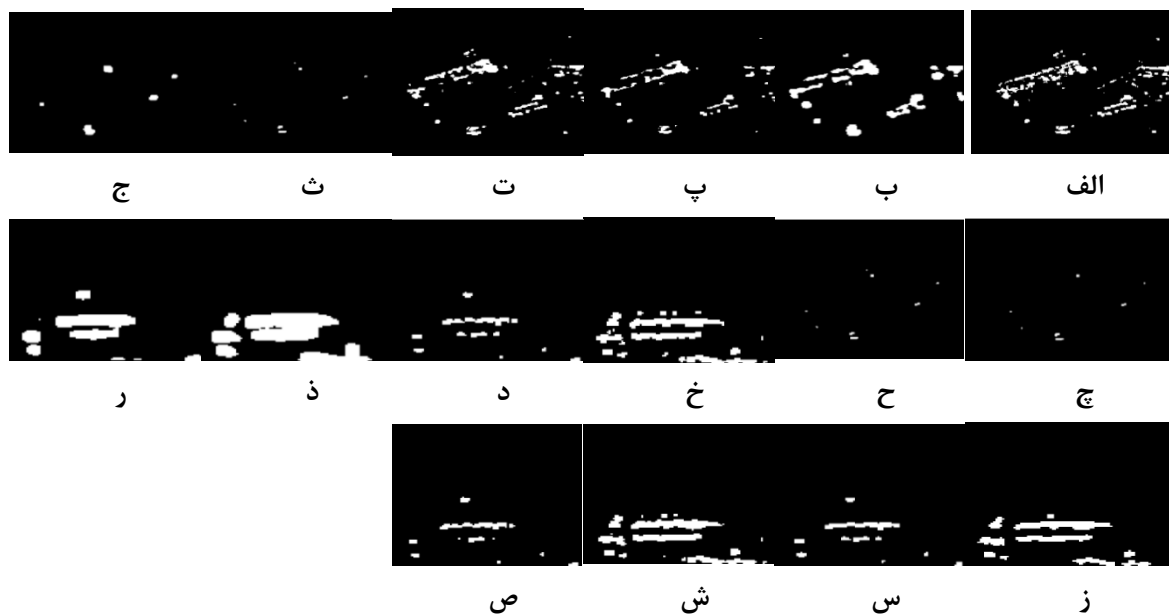
سناریوها	زیر سناریو	پردازش	پیش پردازش‌ها	
			فیلتر	نرمال سازی
S <sub>1</sub>	S <sub>1</sub>	داده اصلی	-	-
S <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>	نرمال داده اصلی	-	*
S <sub>3</sub>	S <sub>3-1</sub>	فیلتر باکس کار	*	-
	S <sub>3-2</sub>	فیلتر لی بهبود یافته	*	-
	S <sub>3-3</sub>	فیلتر لی سیگما	*	-
S <sub>4</sub>	S <sub>4-1</sub>	نرمال فیلتر باکس کار	*	*
	S <sub>4-2</sub>	نرمال فیلتر لی بهبود یافته	*	*
	S <sub>4-3</sub>	نرمال فیلتر لی سیگما	*	*



شکل ۴: خروجی الگوریتم فاصله مبنا کانبرا روی داده اول: الف) S<sub>1</sub>، ب) S<sub>2</sub>، پ) S<sub>3-1</sub>، ت) S<sub>4-1</sub>، ث) S<sub>3-2</sub>، ج) S<sub>4-2</sub>، چ) S<sub>3-3</sub>، ح) S<sub>4-3</sub>، روی داده دوم: خ) S<sub>1</sub>، د) S<sub>2</sub>، ذ) S<sub>3-1</sub>، ر) S<sub>4-1</sub>، ز) S<sub>3-2</sub>، س) S<sub>4-2</sub>، ش) S<sub>3-3</sub>، ص) S<sub>4-3</sub>

جدول ۷: نتایج عددی روش فاصله مبنا کانبرا

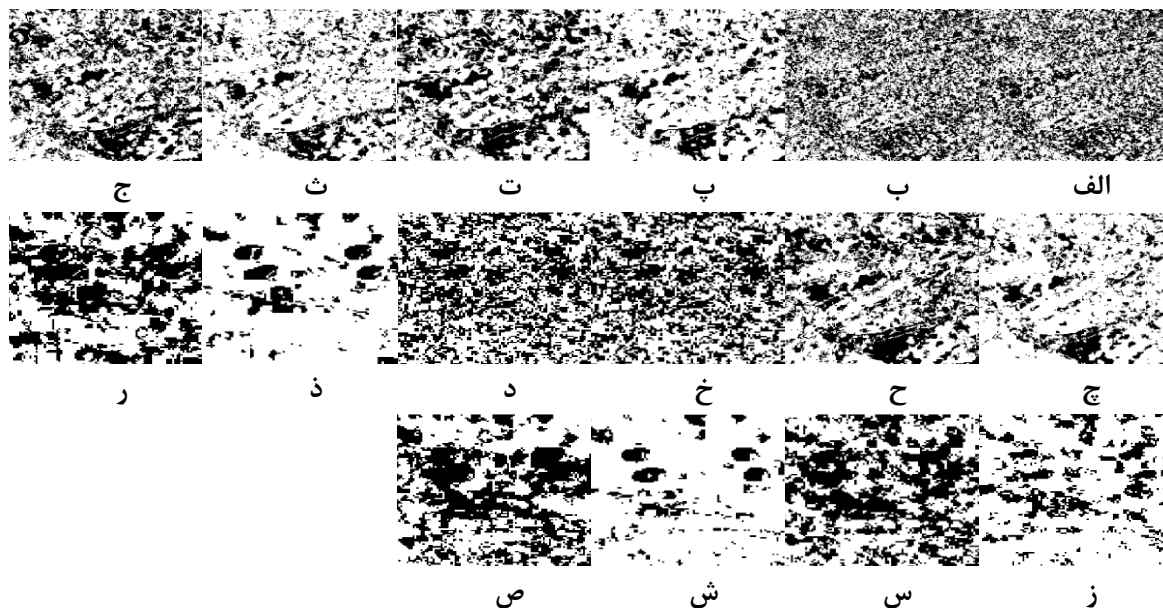
سناریو	دقت کلی		نرخ هشدارهای اشتباه		مساحت زیر نمودار راک	
	داده اول	داده دوم	داده اول	داده دوم	داده اول	داده دوم
S <sub>1</sub>	۹۴.۲۷۰۰	۸۵.۹۲۰۰	۰.۲۹۴۴	۰.۴۷۲۸	۰.۸۲۴۰۶	۰.۷۱۷۰۷
S <sub>2</sub>	۹۲.۴۴۷۵	۷۸.۶۰۰۰	۰.۴۰۰۰	۰.۲۶۸۵	۰.۷۶۲۰۲	۰.۷۵۲۹۰
S <sub>3-1</sub>	۹۵.۶۳۲۵	۹۱.۱۳۰۰	۰.۱۷۲۳	۰.۲۳۱۳	۰.۸۹۹۷۶	۰.۸۶۰۵۴
S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



شکل ۵: خروجی الگوریتم فاصله مینا 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، 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 مینا اقلیدسی

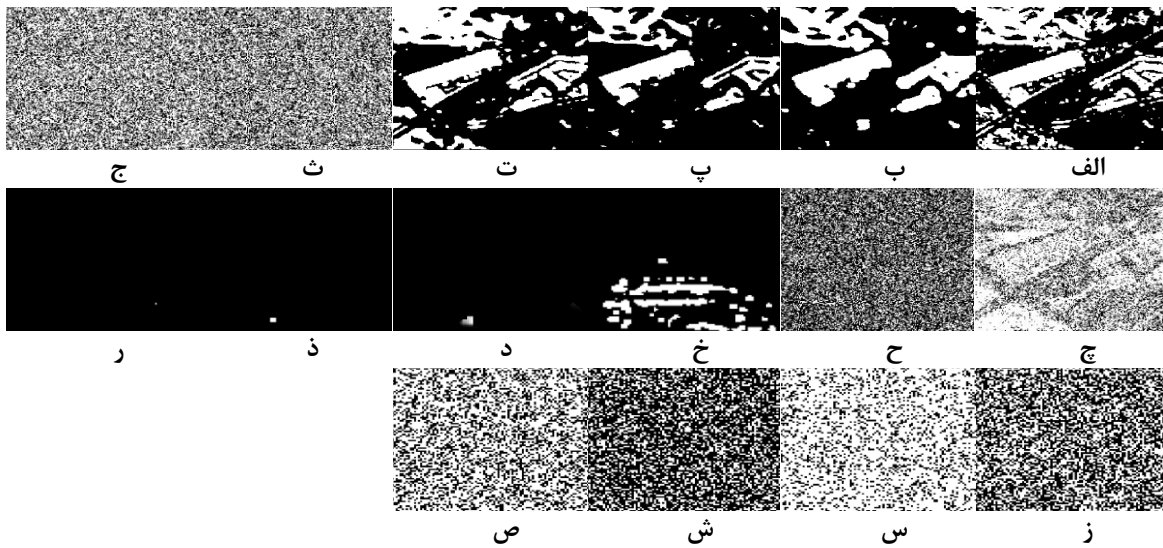
سناریو	دقت کلی		نرخ هشدارهای اشتباه		مساحت زیر نمودار راک	
	داده اول	داده دوم	داده اول	داده دوم	داده اول	داده دوم
S <sub>1</sub>	۸۸.۱۱۷۵	۷۶.۲۲۰۰	۰.۷۶۶۰	۰.۷۸۶۴	۰.۵۶۰۶۱	۰.۵۴۶۶۶
S <sub>2</sub>	۸۵.۷۵۰۰	۷۱.۸۵۰۰	۰.۹۹۳۹	۰.۹۳۲۴	۰.۴۴۴۱۲	۰.۴۷۳۱۵
S <sub>3-1</sub>	۸۸.۰۳۵۰	۸۱.۰۱۰۰	۰.۷۴۴۲	۰.۶۲۱۵	۰.۵۶۶۷۸	۰.۶۲۵۷۰
S <sub>3-2</sub>	۸۷.۴۵۲۵	۷۵.۰۰۰۰	۰.۸۴۰۸	۰.۸۲۹۱	۰.۵۲۰۶۸	۰.۵۲۴۹۳
S <sub>3-3</sub>	۸۷.۷۸۲۵	۷۶.۲۰۰۰	۰.۸۰۰۹	۰.۷۸۷۷	۰.۵۴۳۵۶	۰.۵۴۶۳۰
S <sub>4-1</sub>	۸۵.۹۳۵۰	۷۵.۷۴۰۰	۰.۹۶۶۸	۰.۷۹۴۴	۰.۴۶۰۱۸	۰.۵۳۵۲۴
S <sub>4-2</sub>	۸۵.۷۴۰۰	۷۱.۹۶۰۰	۰.۹۹۴۷	۰.۹۲۹۴	۰.۴۴۳۴۸	۰.۴۷۴۶۰
S <sub>4-3</sub>	۸۵.۷۵۲۵	۷۱.۵۷۰۰	۰.۹۹۳۹	۰.۹۴۱۷	۰.۴۴۴۱۳	۰.۴۶۸۶۸



شکل ۶: خروجی الگوریتم فاصله مینا 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 مینا هلینگر

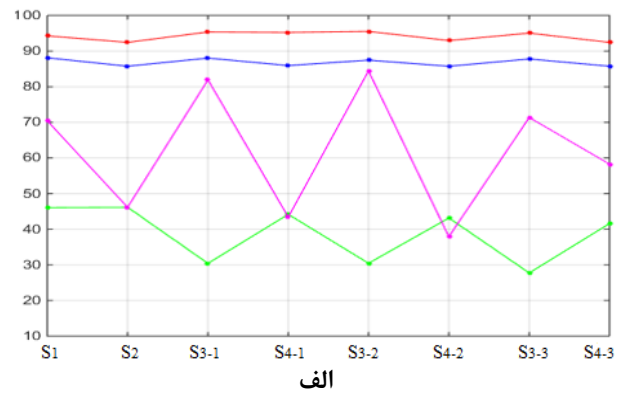
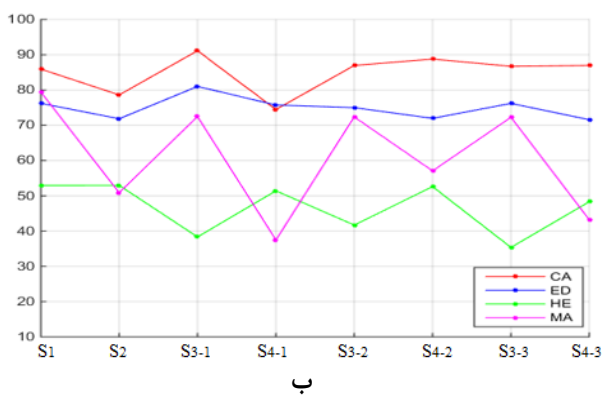
سناریو	دقت کلی		نرخ هشدارهای اشتباه		مساحت زیر نمودار راک	
	داده اول	داده دوم	داده اول	داده دوم	داده اول	داده دوم
S <sub>1</sub>	۴۶.۰۸۰۰	۵۲.۹۵۰۰	۰.۴۴۳۲	۰.۳۹۷۸	۰.۴۶۸۴۶	۰.۵۲۱۶۴
S <sub>2</sub>	۴۶.۱۶۲۵	۵۲.۹۶۰۰	۰.۴۴۴۱	۰.۳۹۶۴	۰.۴۶۸۴۶	۰.۵۲۲۱۳
S <sub>3-1</sub>	۳۰.۴۱۷۵	۳۸.۳۴۰۰	۰.۲۲۹۷	۰.۰۸۰۳	۰.۴۳۹۸۰	۰.۴۹۸۵۹
S <sub>3-2</sub>	۳۰.۴۵۰۰	۴۱.۷۱۰۰	۰.۲۳۲۷	۰.۱۴۰۵	۰.۴۴۰۴۷	۰.۵۰۸۰۷
S <sub>3-3</sub>	۲۷.۷۳۷۵	۳۵.۳۷۰۰	۰.۲۵۹۵	۰.۰۸۲۸	۰.۴۱۳۸۰	۰.۴۷۷۳۳
S <sub>4-1</sub>	۴۴.۱۸۵۰	۵۱.۴۲۰۰	۰.۴۱۵۰	۰.۳۸۹۵	۰.۴۶۶۴۸	۰.۵۱۲۴۹
S <sub>4-2</sub>	۴۳.۱۵۵۰	۵۲.۶۱۰۰	۰.۴۲۴۱	۰.۵۱۱۳	۰.۴۵۷۶۰	۰.۵۰۶۲۲
S <sub>4-3</sub>	۴۱.۵۹۵۰	۴۸.۳۲۰۰	۰.۴۵۹۱	۰.۴۴۵۸	۰.۴۳۵۴۶	۰.۴۷۴۵۴



شکل ۷: خروجی الگوریتم فاصله مبنا ماهالانویس 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، 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 ماهالانویس

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

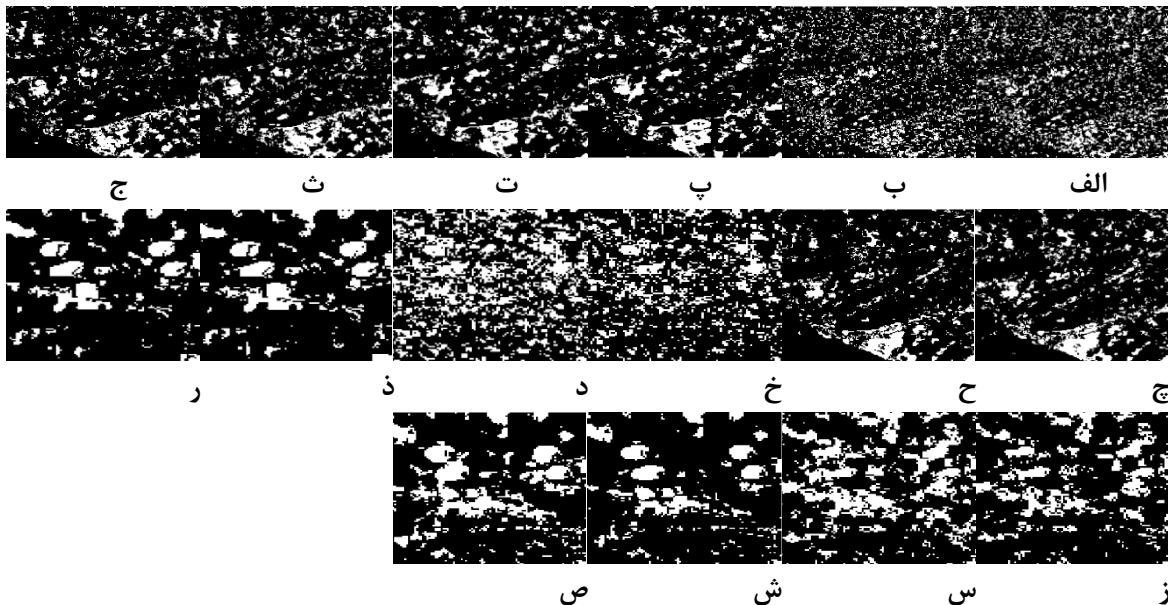


شکل ۸: دقت کلی روش فاصله مبنا الف) برای داده اول و ب) برای داده دوم، محور افقی به ترتیب دقت کلی سناریوهای استفاده شده در تحقیق شامل: S1، S2، S3-1، S4-1، S3-2، S4-2، S3-3 و S4-3 می‌باشد.

## ۲-۴- روش‌های شباهت‌مبنا

ارزیابی روش‌های شباهت‌مبنا 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

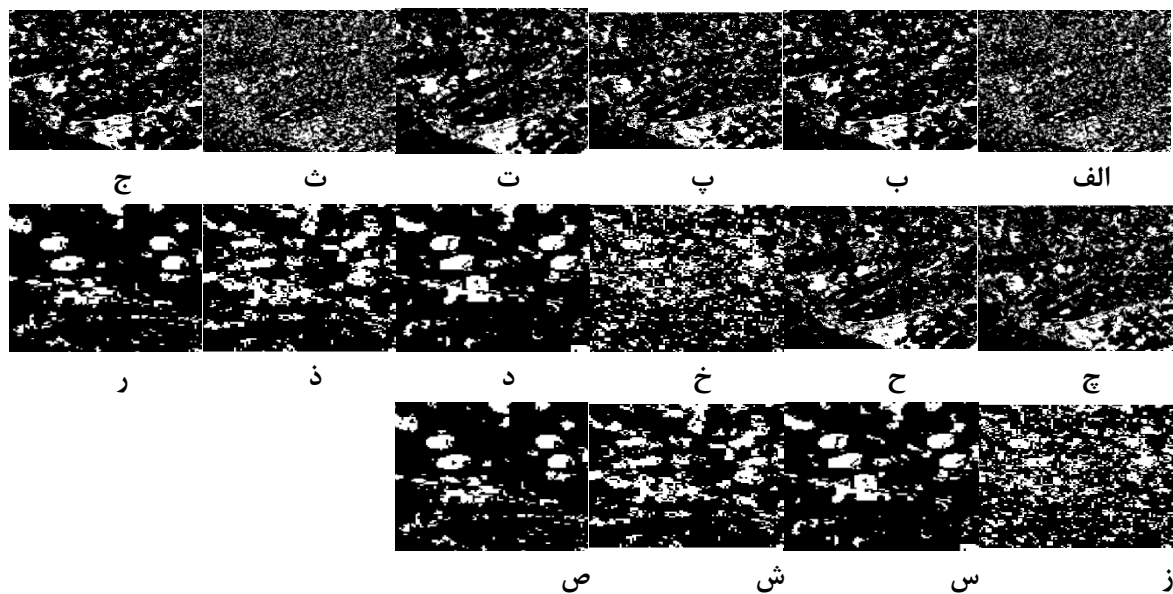
نرمال‌سازی نمی‌شود دارد ولی در تمامی سناریوها دارای دقت کلی نزدیک به هم برای داده‌ها بوده ولی نرخ هشدارهای اشتباه بالا و مساحت زیرنمودار پایینی را خواهد داشت به همین دلیل مناسب برای ارزیابی آشکارسازی تغییرات نخواهد بود. الگوریتم تامینیتو با توجه به جدول (۱۳) دارای دقت‌های کلی نزدیک به هم در تمامی سناریوها 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 به دلیل تأثیر بالای نویز اسپیکل بر وابستگی بین پیکسل‌ها در داده‌های طیفی، الگوریتم‌های شباهت‌مبنا مناسب برای آشکارسازی تغییرات نمی‌باشد.



شکل ۹: خروجی الگوریتم شباهت‌مبنا کوژینسکی 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 ۱۱: نتایج عددی روش شباهت مینا کوژینسکی

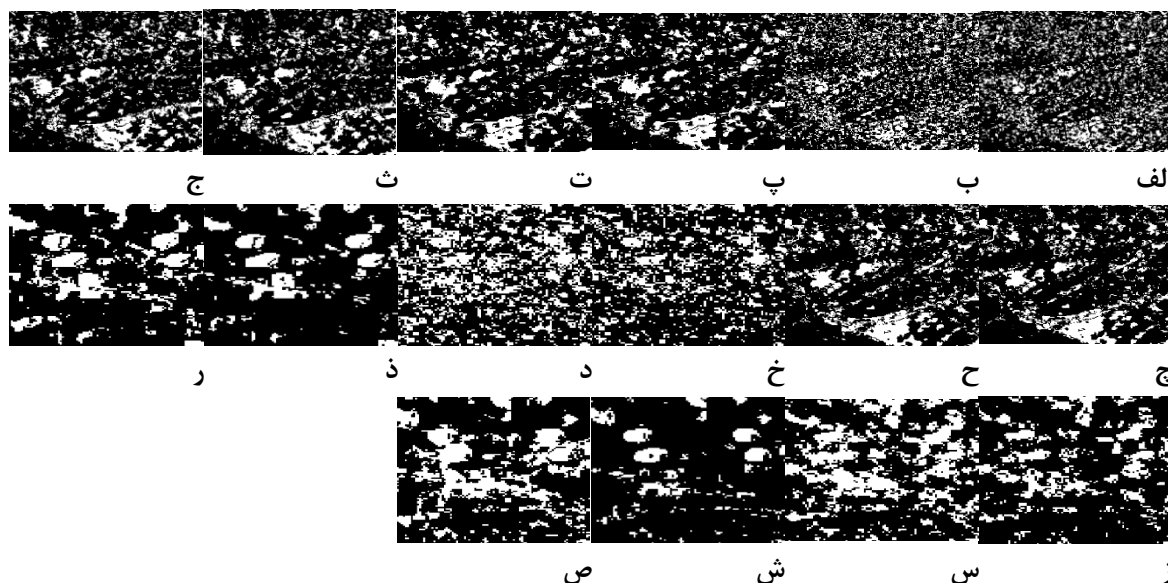
سناریو	دقت کلی		نرخ هشدارهای اشتباه		مساحت زیر نمودار راک	
	داده اول	داده دوم	داده اول	داده دوم	داده اول	داده دوم
S <sub>1</sub>	۷۱.۱۷۵۰	۵۷.۲۳۰۰	۰.۷۹۹۸	۰.۸۵۵۵	۰.۴۴۴۵۶	۰.۳۹۸۸۷
S <sub>2</sub>	۷۳.۵۸۵۰	۵۱.۹۶۰۰	۰.۸۳۱۵	۰.۷۵۵۶	۰.۴۴۰۹۸	۰.۴۰۱۱۱
S <sub>3-1</sub>	۷۳.۵۹۰۰	۶۰.۷۴۰۰	۰.۸۴۳۱	۰.۸۹۸۰	۰.۴۲۸۷۹	۰.۴۰۵۲۵
S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



شکل ۱۰: خروجی الگوریتم شباهت مینا ضریب همبستگی پیرسون روی داده اول: الف) S<sub>1</sub>، ب) S<sub>2</sub>، پ) S<sub>3-1</sub>، ت) S<sub>4-1</sub>، ث) S<sub>3-2</sub>، ج) S<sub>4-2</sub>، چ) S<sub>3-3</sub>، ح) S<sub>4-3</sub>، روی داده دوم: خ) S<sub>1</sub>، د) S<sub>2</sub>، ذ) S<sub>3-1</sub>، ر) S<sub>4-1</sub>، ز) S<sub>3-2</sub>، س) S<sub>4-2</sub>، ش) S<sub>3-3</sub>، ص) S<sub>4-3</sub>

جدول ۱۲: نتایج عددی روش شباهت مبنا ضریب همبستگی پیرسون

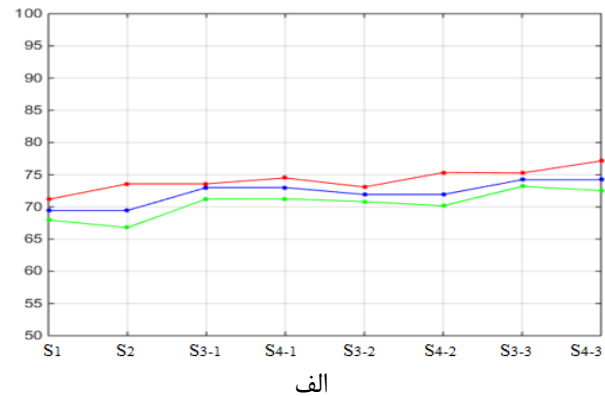
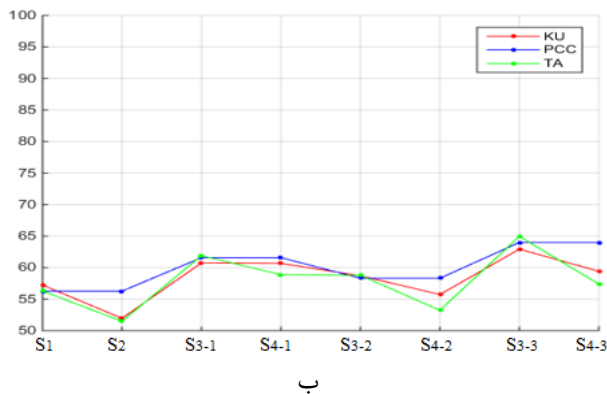
سناریو	دقت کلی		نرخ هشدارهای اشتباه		مساحت زیر نمودار راک	
	داده اول	داده دوم	داده اول	داده دوم	داده اول	داده دوم
S <sub>1</sub>	۶۹.۴۴۲۵	۵۶.۲۶۰۰	۰.۷۷۲۷	۰.۸۴۰۴	۰.۴۴۸۶۲	۰.۳۹۸۶۰
S <sub>2</sub>	۶۹.۴۴۲۵	۵۶.۲۶۰۰	۰.۷۷۲۷	۰.۸۴۰۴	۰.۴۴۸۶۲	۰.۳۹۸۶۰
S <sub>3-1</sub>	۷۳.۰۰۵۰	۶۱.۵۸۰۰	۰.۸۳۴۵	۰.۹۱۴۶	۰.۴۳۰۰۸	۰.۴۰۳۲۱
S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



شکل ۱: خروجی الگوریتم شباهت مبنا تامینیتو روی داده اول: الف) S<sub>1</sub>، ب) S<sub>2</sub>، پ) S<sub>3-1</sub>، ت) S<sub>4-1</sub>، ث) S<sub>3-2</sub>، ج) S<sub>4-2</sub>، چ) S<sub>3-3</sub>، ح) S<sub>4-3</sub>، روی داده دوم: خ) S<sub>1</sub>، د) S<sub>2</sub>، ذ) S<sub>3-1</sub>، ر) S<sub>4-1</sub>، ز) S<sub>3-2</sub>، س) S<sub>4-2</sub>، ش) S<sub>3-3</sub>، ص) S<sub>4-3</sub>

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	۰.۷۴۲۳	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

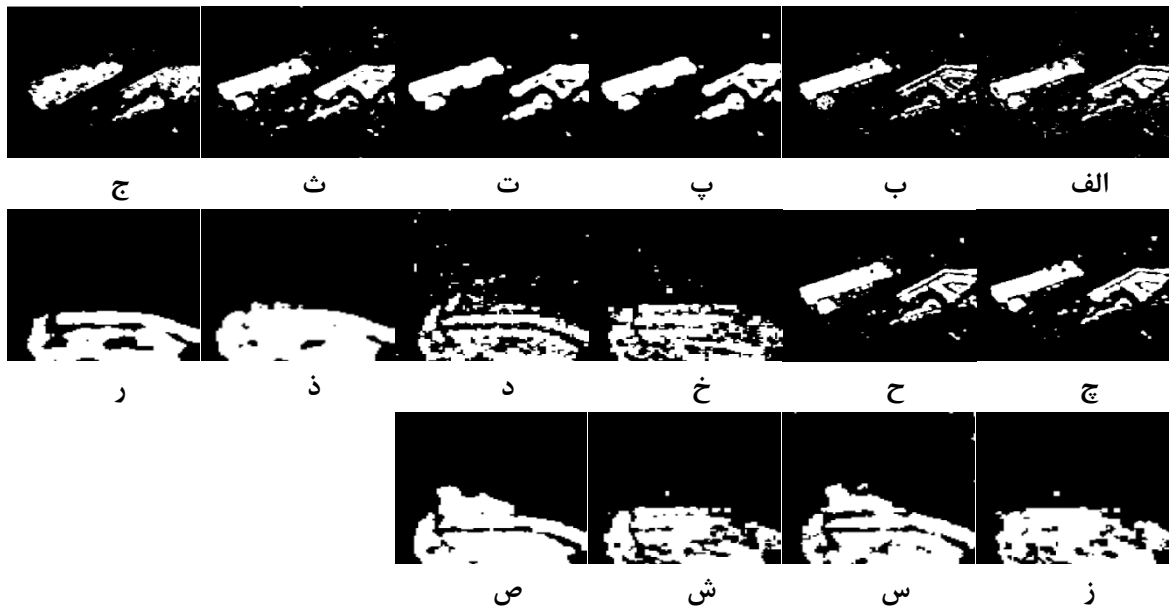


شکل ۱۲: دقت کلی روش شباهت مینا: الف) برای داده اول و ب) برای داده دوم، محرواقتی به ترتیب دقت کلی سناریوهای استفاده شده در تحقیق شامل:  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_{3-1}$ ,  $S_{4-1}$ ,  $S_{3-2}$ ,  $S_{4-2}$ ,  $S_{3-3}$  و  $S_{4-3}$  می باشد.

### ۳-۴- روش های جبری

در مورد روش های آشکارسازی تغییرات جبری که شامل اختلاف تصاویر و نسبت تصاویر می باشد 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 می باشد که کاملاً برای آشکارسازی تغییرات مناسب می باشد، ولی  $S_3$  با توجه به این که در دو سری داده دارای روند یکسانی در دقت کلی و نرخ های هشدارهای پایین سناریوی مناسبی برای آشکارسازی تغییرات خواهد بود. الگوریتم نسبت

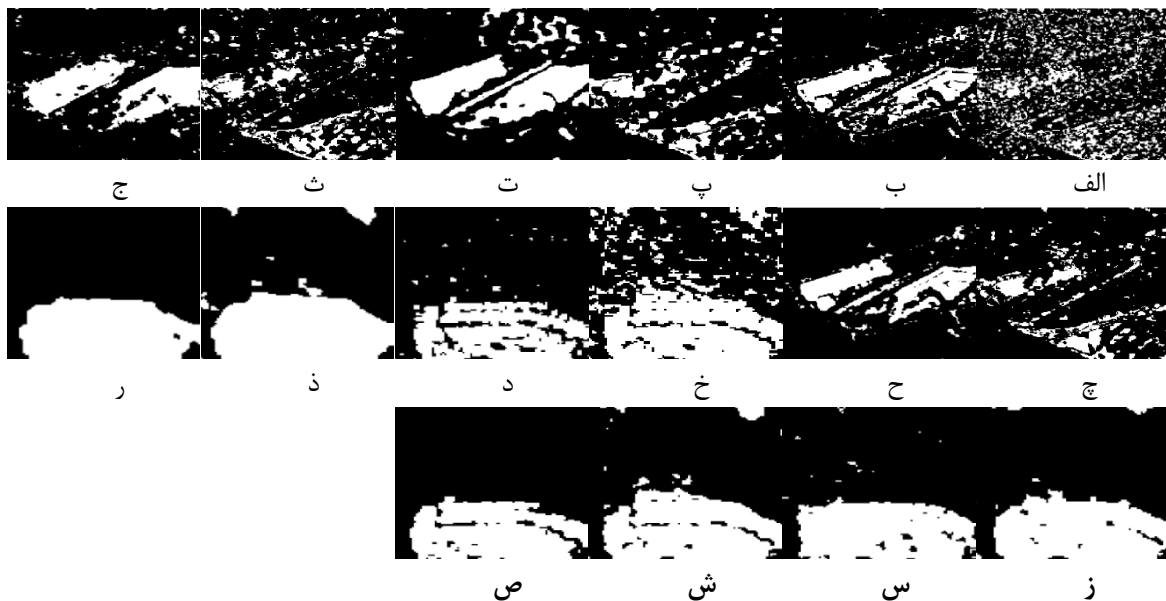
تصاویر براساس نتایج جدول (۱۵) برای دو سری داده در سناریوهای فوق دارای دقت مناسبی می باشد ولی  $S_4$  با توجه به بالا بودن دقت کلی در دو سری داده، نرخ هشدارهای اشتباه کمی را برای دو سری داده دارد که باعث برتری این سناریو نسبت به بقیه سناریوها می باشد. با توجه به شکل (۱۵) و با توجه به روند حفظ شده برای دقت کلی این روش برای آشکارسازی تغییرات مناسب می باشد. مزیت این روش رفع خطاهای نویز اسپیکلی می باشد که به صورت سیستماتیک وارد تصویر شده اند.



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 <sub>1</sub>	۹۳.۷۳۷۵	۸۶.۹۰۰۰	۰.۳۳۹۴	۰.۴۰۹۲	۰.۸۰۳۶۷	۰.۷۵۷۵۵
S <sub>2</sub>	۹۳.۴۴۲۵	۸۴.۹۸۰۰	۰.۴۱۰۰	۰.۴۴۳۹	۰.۷۴۸۲۷	۰.۷۴۷۶۵
S <sub>3-1</sub>	۹۵.۴۲۷۵	۹۳.۳۰۰۰	۰.۱۸۳۸	۰.۱۹۳۳	۰.۸۸۷۷۴	۰.۸۸۱۶۷
S <sub>3-2</sub>	۹۴.۶۰۷۵	۹۱.۰۱۰۰	۰.۲۳۴۷	۰.۲۷۵۲	۰.۸۶۴۳۸	۰.۸۳۶۳۴
S <sub>3-3</sub>	۹۴.۷۲۵۰	۸۹.۰۲۰۰	۰.۲۸۷۹	۰.۳۴۱۲	۰.۸۳۴۱۳	۰.۷۹۴۵۵
S <sub>4-1</sub>	۹۵.۵۴۵۰	۸۷.۳۶۰۰	۰.۱۸۹۰	۰.۳۹۸۵	۰.۸۸۶۷۷	۰.۷۸۶۰۷
S <sub>4-2</sub>	۹۵.۱۴۰۰	۸۷.۷۴۰۰	۰.۲۵۶۳	۰.۲۸۷۹	۰.۸۶۳۵۹	۰.۸۲۰۳۰
S <sub>4-3</sub>	۹۴.۸۱۷۵	۸۷.۷۴۰۰	۰.۲۶۱۹	۰.۲۳۴۳	۰.۸۳۹۱۲	۰.۸۳۹۸۴



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، 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

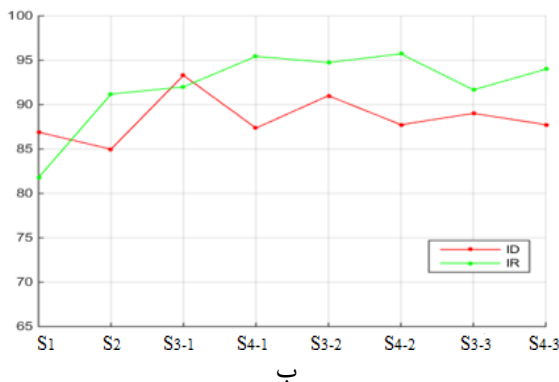
سناریو	دقت کلی		نرخ هشدارهای اشتباه		مساحت زیر نمودار راک	
	داده اول	داده دوم	داده اول	داده دوم	داده اول	داده دوم
S <sub>1</sub>	۶۹.۴۶۰۰	۸۱.۷۹۰۰	۰.۷۲۴۰	۰.۱۲۳۳	۰.۴۶۲۳۶	۰.۸۱۷۳۴
S <sub>2</sub>	۹۰.۰۷۲۵	۹۱.۱۹۰۰	۰.۲۶۲۵	۰.۲۳۶۹	۰.۸۲۴۰۸	۰.۸۵۴۳۷
S <sub>3-1</sub>	۷۷.۳۹۷۵	۹۲.۰۰۰۰	۰.۷۶۵۱	۰.۰۴۱۷	۰.۴۷۱۲۶	۰.۹۲۵۱۱
S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

سناریوی S<sub>3</sub> فیلتر باکس کار (S<sub>3-1</sub>) 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 S<sub>4</sub> نرمال شده فیلتر لی-بهبودیافته (S<sub>4-2</sub>) به ترتیب با دقت کلی ۹۲.۳۰۲۵ و ۹۵.۷۲۰۰ 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

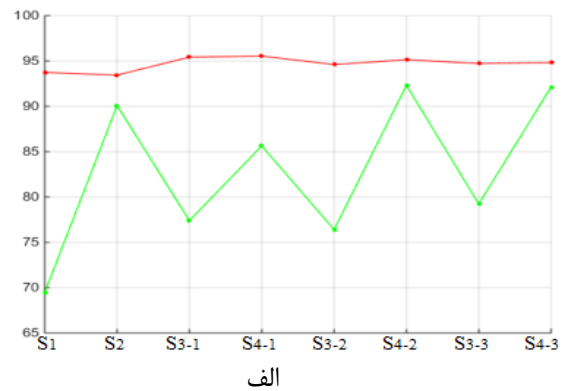
برای دو سری داده مورد استفاده در سناریو  $S_3$  فیلتر باکس کار ( $S_{3-1}$ ) به ترتیب دارای دقت کلی ۹۵.۶۳۲۵ و ۹۱.۱۳۰۰ و نرخ هشدارهای اشتباه ۰.۱۷۲۳ و ۰.۲۳۱۳ و مساحت زیر نمودار ۰.۸۹۹۷۶ و ۰.۸۶۰۵۴ به عنوان سناریوی مناسب برای آشکارسازی تغییرات تصاویر راداری مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۱۵: دقت کلی روش جبری: الف) برای داده اول و ب) برای داده دوم، محروافی 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.

نتایج بصری و عددی الگوریتم‌های روش شباهت‌مبنا بیان‌کننده این موضوع است که این الگوریتم‌ها به دلیل 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 آرایه شده با استفاده از نرمالسازی داده‌های ورودی می‌باشد. استفاده از نرمالسازی داده‌ها به این معنی نیست که حتماً باعث بهتر شدن نتایج می‌شود، بلکه بستگی 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 ۰.۹۴۷۶۷ و ۰.۹۴۰۴۷ 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 بطوریکه



الگوریتم اقلیدسی با توجه به اینکه دارای دقت کلی بالا در سناریو  $S_3$  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 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 به دلیل همین موضوع است که در روش‌های شباهت‌مبنا به دلیل ماهیت الگوریتم‌ها، وابستگی بین بردارهای متناظر از بین می‌رود و در حقیقت باعث می‌شود وابستگی دور از واقعیت باشد.

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 آشکارسازی تغییرات استفاده شده است. براساس معیارهای ارزیابی ارائه شده، در روش‌های 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.

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

#### 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. Aghababae, 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,

- "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<sup>1</sup>, Mehdi Hasanlou<sup>2\*</sup>

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.