



سجش از دور

GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران / سال هشتم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۵
Iranian Remote Sensing & GIS / Vol.8, No. 2, Summer 2016

۱۷-۳۴



ارزیابی آثار موجک پایه و تعداد سطوح تجزیه جهت تخمین نقشه تغییرات، با استفاده از الگوریتم موجک

روجا حسینی شفیع^{۱*}، عباس علممحمدی^۲، محمدحسن قاسمیان یزدی^۳

۱. کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه تربیت مدرس
۲. دانشیار گروه مهندسی GIS، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی
۳. استاد دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۵/۱۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۱/۳۱

چکیده

روش‌های بارزسازی تغییرات ابزاری قدرتمند در نمایش تغییرات در سطح زمین به‌شمار می‌آیند. برای افزایش دقت نقشه تغییرات تهیه شده می‌شود از تکنیک‌های چندمقیاسی که هم‌زمان مشاهدات را در مقیاس‌های بزرگ و کوچک انجام می‌دهند، استفاده کرد. در این تکنیک‌ها، افزون بر اطلاعات طیفی، اطلاعات مکانی موجود در تصویر نیز در پردازش دخالت داده می‌شود. یکی از این تکنیک‌ها، تکنیک چندمقیاسی موجک است. تکنیک موجک در بسیاری از زمینه‌های پردازش تصویر کاربرد دارد. در تحقیق حاضر، توانایی تکنیک موجک در بارزسازی تغییرات با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای TM ارزیابی شده است. پارامترهای مورد نیاز برای تبدیل موجک تعداد سطوح تجزیه و موجک پایه‌اند. بنابراین، آثار موجک‌های پایه $db4$ و $bior3/7$ و سطوح تجزیه $s=1$ تا $s=6$ در نقشه تغییرات نهایی ارزیابی شده است. همه نتایج با استفاده از روش‌های بررسی دقت، شامل ضریب کاپا و دقت کلی، بیان شده‌اند. نتایج تأثیر نوع موجک پایه انتخاب شده و سطوح تجزیه را در نقشه تغییرات نهایی نشان می‌دهد. نقشه تغییرات محاسبه شده با استفاده از موجک پایه $bior3/7$ دقت کلی بالاتر و آماره کاپا بهتری را در مقایسه با موجک پایه $db4$ نشان می‌دهد. به طوری که برای باند ۳ با موجک پای، $bior3/7$ دقت کلی $۹۰/۵۱$ و آماره کاپا $۰/۷۹$ و برای همین باند با موجک پایه $db4$ ، به ترتیب، برابر $۸۹/۸۰$ و $۰/۷۹$ است. پارامتر بعدی که در اینجا بررسی شده، تأثیر سطوح تجزیه در دقت نقشه بارزسازی تغییرات است. در هر دو، موجک پایه تا سطح تجزیه ۳ روند صعودی دارد و سپس، سیر نزولی پیدا می‌کند. به طوری که بیشتر دقت کلی و آماره کاپا مربوط به سطح تجزیه ۳ در هر دو موجک پایه است. همچنین در این تحقیق بین تکنیک موجک و سه تکنیک تفاضل، نسبت و طبقه‌بندی نظارت شده مقایسه‌ای انجام شده است. بررسی نشان می‌دهد که تکنیک موجک نتایج بهتری دارد.

کلید واژه‌ها: الگوریتم موجک، موجک پایه، سطح تجزیه، ضریب کاپا.

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: بزرگراه صدر، بلوار کاوه شمالی، خیابان روشنایی، خیابان صفا، کوچه گلبرگ، پلاک ۳، واحد ۶، طبقه سوم. تلفن همراه: ۰۹۱۲۸۰۹۱۷۴۸

۱- مقدمه

تغییرات در سطح زمین باعث دگرگونی در سیکل‌های هیدرولوژی و زیست‌زمین‌شناسی-شیمیایی می‌شود (Singh, 1989). این مسئله ممکن است محیط زندگی ما را تحت تأثیر قرار دهد. بارزسازی دقیق و منظم این تغییرات در عناصر سطح زمین از این جهت ارزشمند است که می‌تواند پایه و اساس درک ارتباطات و تعامل‌های بین انسان و محیط طبیعی باشد (Jensen, 1996). بنابراین، انتخاب مناسب و به‌کارگیری درست تکنیک‌های بارزسازی تغییرات تأثیر مهم و اساسی در برنامه‌ریزی‌ها خواهد داشت. از آنجاکه فرایند سنجش از دور داده‌ها را به‌صورت سری پیوسته از منطقه جغرافیایی معین، در زمان‌های گوناگون تهیه می‌کند، چه‌بسا روشی مؤثر و دقیق برای آشکارسازی تغییرات رخ داده در طی زمان باشد. در تحقیقات سینگ^۱ (1989)، چلیک^۲ (2009)، لو^۳ (2004)، موزر^۴ (2011)، آجادی و همکاران^۵ (2016)، می‌شود فهرستی از تکنیک‌های بارزسازی تغییرات تا کنون به‌کاررفته و کاربردهای گوناگون آنها را یافت. مجموعه‌ای از تکنیک‌های بارزسازی تغییرات تکنیک‌های چندمقیاسی‌اند که تصویر را به مقیاس‌های گوناگون تبدیل می‌کنند. این تکنیک‌ها با تجزیه تصویر به مقیاس‌های متفاوت، باعث بهبود نتایج بارزسازی تغییرات می‌شوند (Moser, 2011؛ به نقل از: Hall, 2003؛ Mercier et al., 2008; Hussain et al., 2013). تصاویر در مقیاس‌های بزرگ به‌خوبی جزئیات را نشان می‌دهند، اما از نویز نیز به‌شدت تأثیر می‌پذیرند. درحالی‌که تصاویر در مقیاس‌های کوچک‌تر جزئیات کمتری را نشان می‌دهند، اما نویز در آنها تأثیر کمتری دارد (Moser, ۲۰۱۱). بنابراین، تکنیک‌هایی که ممکن است تصاویر را در مقیاس‌های گوناگون با هم مقایسه کنند، از مقیاس‌های کوچک برای شناسایی تغییرات به‌صورت کلی استفاده می‌کنند و مقیاس‌های بزرگ را برای بهبود نتایج و آشکارسازی جزئیات به‌کار می‌برند (Moser, 2011). در این تکنیک‌ها، افزون‌بر اطلاعات

طیفی، اطلاعات مکانی موجود در تصویر نیز در پردازش استفاده می‌شود (Bruzzone and Prieto, 2000). تکنیک موجک که در واقع تحلیل داده‌ها براساس مقیاس است، یکی از این تکنیک‌هاست (Beuhlel et al., 2015). تکنیک موجک روش ریاضیاتی بسیار قوی است که از سال ۱۹۸۰ استفاده می‌شود (Campas and Bella, 2012). نخستین بار، عبارت موجک در سال ۱۹۰۹، در پایان‌نامه آلفرد هار^۶ ثبت شد. مفهوم موجک، به‌شکل تئوری زمان حاضر، از سوی مورله^۷ (۱۹۸۹)، ژئوفیزیکدان فرانسوی، پیشنهاد شده است. این تکنیک به‌دنبال تبدیل فوریه به‌علت محدودیت‌های آن تعریف شد. در تبدیل موجک، برخلاف تبدیل فوریه که سیگنال یا سری اطلاعاتی را روی توابع سینوسی و کسینوسی و هارمونیک‌های آنها تجزیه می‌کرد، سیگنال روی دسته‌ای از توابع که موجک نامیده می‌شوند و از موج مادر برگرفته شده‌اند، تصویر می‌شود. برخلاف توابع سینوسی و کسینوسی در تبدیل فوریه، تابع موجک در فضای زمان محدود است و بعد از چند ارتعاش، به‌سرعت به سمت صفر میل می‌کند. همچنین در تبدیل فوریه، اطلاعات فرکانس و زمان به‌طور هم‌زمان وجود ندارد. به عبارت دیگر، در تبدیل فوریه اطلاعات مکانی/ زمانی در فضای فرکانس از بین می‌رود. درحالی‌که تبدیل موجک هر دو اطلاعات را نگاه می‌دارد.

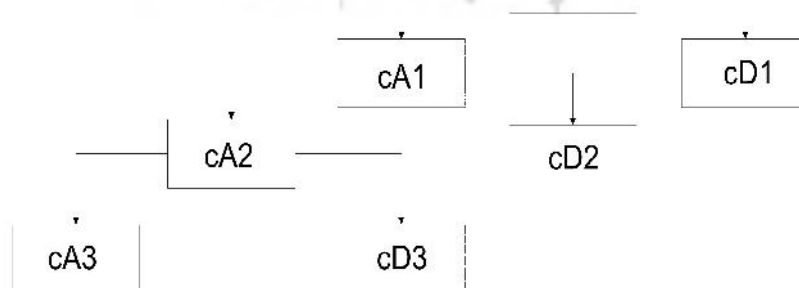
تکنیک موجک نمایش چند قدرت تفکیکی، براساس اطلاعات گوناگون موجود در دو قدرت تفکیک متناوب^۲ و^{۲+۱} ساخته می‌شود. آنچه جزئیات سیگنال در قدرت تفکیک^۲ نامیده می‌شود، همان اختلافات موجود بین تابع $f(x)$ در قدرت تفکیک^۲ و^{۲+۱} است.

1. Singh
2. Celik
3. LU
4. Moser
5. Ajadi et al.
6. Alfred Haar
7. Morelet

تکنیک موجک با بردن تصویر به فضای فرکانس و به دست آوردن ضرایب موجک، تغییرات در تناوب سیگنال را به دست می آورد. به دلیل این ویژگی موجک که سیگنال را در زمان‌ها و مقیاس‌های گوناگون متمرکز می‌کند، امکان آن پیش می‌آید که تغییرات رخ داده در مقیاس‌های متفاوت را بررسی کند. اطلاعات در هر بعد از تحلیل به‌طور کامل در ضریب موجک نگهداری می‌شود. بنابراین، با استفاده از این تبدیل، می‌شود اطلاعات را بدون تغییر در آنها مقایسه کرد. همچنین، تبدیل موجک مانند فیلتری با تابع بالاگذر و پایین‌گذر عمل می‌کند. در نتیجه، این ویژگی باعث می‌شود سیگنال به زیر بخش‌های فرکانس پایین و فرکانس بالا تجزیه شود. این کار امکان اندازه‌گیری‌های مکانی را می‌دهد. در نهایت، مزیت مهم این تکنیک سرعت بسیار بالای پردازش داده‌هاست (Celik, 2009). پس از تحلیل‌های مورد نیاز، می‌شود به کمک موجک معکوس، سیگنال اصلی را دوباره ساخت (Tong and Hu, 2005). شایان ذکر است که تعداد پیکسل‌ها در هر مرحله از تجزیه یکسان، و با تعداد پیکسل‌ها در دو تصویر ورودی برابر است (Moser, 2011). همچنین، تکنیک موجک در سطوح تجزیه گوناگون، مشابه عمل نمی‌کند (Li et al., 2015). بنابراین، باید رفتار آن در سطوح متفاوت تجزیه بررسی شود.

تحلیل چندمقیاسی براساس تئوری موجک امکان بیان جزئیات تصویر در سطوح متفاوت قدرت تفکیک را فراهم می‌کند. تکنیک موجک، تکنیکی بر پایه ترکیب اطلاعات چندمقیاسی و اطلاعات مربوط به بافت است (Moser, 2011). این مسئله ممکن است به بارزسازی دقیق‌تر و با جزئیات بیشتر کمک کند. همچنین، به علت خاصیت تکنیک موجک در بارزسازی دقیق لبه‌ها، می‌شود انتظار داشت که نقشه تغییرات به دست آمده بسیار هموار باشد و مرز بین مناطق دارای تغییر و بدون تغییر را مشخص کند (Celik, 2009).

درواقع، این تکنیک عملگری خطی است که تبدیل عکس نیز دارد و با تبدیل تصویر به زیرمقیاس‌های گوناگون، اطلاعات را در مقیاس‌های گوناگون استخراج می‌کند. در تبدیل موجک چندمقیاسی، سیگنال به تخمینی که همان اطلاعات با فرکانس پایین است و جزئیاتی که اطلاعات با فرکانس بالاست، تجزیه می‌شود (Adithyan et al., 2016). سیگنال تخمین نتیجه شده دوباره در دومین سطح که قدرت تفکیک درشت‌تر است، تجزیه می‌شود. شکل ۱ مراحل تجزیه را نشان می‌دهد. در شکل ۱، عبارت cA1 نشان‌دهنده سیگنال تخمین در سطح تجزیه یک و cD1 سیگنال جزئیات در سطح تجزیه یک است. به همین ترتیب، اعداد سطح تجزیه را نشان می‌دهند.



شکل ۱. درخت تجزیه سیگنال

منبع: (Myint, 2001)

S: سیگنال یا تصویر اصلی، cA: تخمین و cD: جزئیات

این منظور به کار برده می‌شود که همه نسخه‌های انتقال‌یافته و مقیاس‌شده از روی تابع اولیه و پایه به دست می‌آید که در اصطلاحاً به آن «موجک مادر» گفته می‌شود. انتخاب موجک پایه با توجه به هدف و نوع کاربرد آن است (He et al., 2013). از دو موجک پایه dbN و $bior$ بیشترین استفاده در پردازش تصویر شده است (Tong and He, 2005). به‌طور خلاصه، $bior3/7$ از موجک‌های باریک دومتعامدی که متقارن هستند، پشتیبانی می‌کند. همچنین امکان بازسازی دقیق را فراهم می‌کند. این موجک پایه متعلق به خانواده موجک $Biorthogonal$ است که با نام خلاصه‌شده $bior$ شناخته می‌شود و قابلیت استفاده در تحلیل‌های تبدیل موجک گسسته و پیوسته را دارد. مثال‌های آن شامل $bior3/7$ ، $bior1$ ، dbN از خانواده $Dauhechies$ است که با نام خلاصه‌شده db شناخته می‌شود. مثال برای این موجک پایه $db1$ و $db4$ است. این موجک پایه به‌صورت متعامل و دومتعاملی است. همچنین، در تحلیل موجک گسسته و پیوسته نیز به کار می‌رود. تکنیک موجک در زمینه‌های گوناگون پردازش تصویر استفاده شده است. تحقیق اپینات و همکاران^۱ (2001) نمونه‌ای از کاربرد تبدیل موجک در تمایز بین انواع پوشش‌های گیاهی محسوب می‌شود. تحقیق موسوی و همکاران^۲ (2015) نمونه‌ای از ترکیب تصاویر مادیس و تصاویر دمای سطحی لندست با استفاده از تکنیک موجک است. ژانگ و همکاران^۳ (2005) از تبدیل موجک برای ترکیب تصاویر با قدرت تفکیک‌های گوناگون استفاده کردند. در تحقیق آنها، با استفاده از تصاویر TM متعلق به نوزدهم می ۲۰۰۴ و ششم جولای ۲۰۰۴، در منطقه‌ای در بیجینگ، تحلیل‌های فوریه و موجک را در بازسازی تغییرات مقایسه کردند. هر دو تحلیل را روی باندهای اصلی به کار بردند و به این نتیجه رسیدند که

یکی از کاربردهای مهم تکنیک موجک در بازسازی تغییرات رخ داده در تصاویر متعلق به دو زمان متفاوت از یک منطقه جغرافیایی است (Tong and Hu, 2005). این کاربرد، به علت این ویژگی تحلیل موجک است که لبه‌ها و ویژگی‌های مشخص در تصاویر ماهواره‌ای، ضرایب موجک بزرگ در مقیاس‌های گوناگون دارند و در عین حال، نویزها در مقیاس‌های متفاوت به هموار شدن متمایل اند (Mallat and Hwang, 1992; Gosh, 2008). این ویژگی احتمالاً در دقت بازسازی تأثیر بسیاری دارد. همچنین، به نسبت تکنیک‌های دیگر، مدت زمان صرف‌شده جهت تحلیل بسیار اندک، و کمتر به نویز حساس است (Moser et al., 2011; Ajadi et al., 2016). نکته دیگری که در مورد تکنیک موجک باید یادآور شد، این است که تکنیک به دخالت کاربر وابستگی کمتری دارد (Li et al., 2015). این نکته ممکن است باعث افزایش دقت کلی نتایج شود (Bruzzone and Prieto, 2000; Alagu Raja et al., 2013; Ajadi et al., 2016). در مراحل تجزیه برای هر یک از تصاویر ضرایب موجک a_{jk} و d_{jk} جداگانه به دست می‌آید. به طوری که a_{jk1} و d_{jk1} ضرایب مربوط به تصویر اول و a_{jk2} و d_{jk2} ضرایب مربوط به تصویر دوم است. هر یک از این ضرایب در هر سطح تجزیه مقداری اطلاعات دارند (Kingsbury, 2000). اگر منطقه بدون تغییر باشد، این ضرایب نباید تغییر کنند. به این معنا که $a_{jk1} = a_{jk2}$ و $d_{jk1} = d_{jk2}$. با کوچک‌ترین تغییر، ضرایب مورد نظر نیز دچار تغییر می‌شوند. در این روش، فرض شد که پیکسل‌ها در زمان t_1 ، تابع خطی از پیکسل‌ها در زمان t_2 هستند. در واقع، به اختلافات در میانگین و واریانس بین مقادیر پیکسل‌ها در دو تاریخ توجه می‌شود (Moser et al., 2011). این اختلاف‌ها همان تغییرات رخ داده در یک منطقه در دو زمان گوناگون است که می‌شود با کمک آنها مناطق دارای تغییر را شناسایی کرد.

در تبدیل موجک، سیگنال روی دسته‌ای از توابع برگرفته از موج مادر تصویر می‌شود. واژه «مادر» نیز به

1. Epinat et al.
2. Moosavi et al.
3. Zhang et al.

موجک را به کار بردند. مقایسه بین تکنیک موجک و تکنیک‌های کلاسیک مانند تفاضل، بردار تغییرات و تحلیل مؤلفه‌های اصلی، برتری این تکنیک را اثبات کرد. لی و همکاران^۱ (2015) در تحقیق خود، تغییرات را با استفاده از تکنیک موجک با موجک پایه Gabor در تصاویر راداری بارزسازی کردند. در ابتدا، لگاریتم هر دو تصویر را محاسبه کردند. سپس با استفاده از تکنیک موجک، هر دو تصویر را به مقیاس‌های متفاوت تجزیه، و با استفاده از آن، تغییرات را استخراج کردند. برای طبقه‌بندی در سطح اول تجزیه، از روش طبقه‌بندی فازی و سطح دوم تجزیه، از نزدیک‌ترین همسایگی استفاده شده است. با این روش، نقشه تغییرات استخراج شد. نتایج تحقیق آنها نشان‌دهنده کارآتر بودن تکنیک پیشنهاد شده است. در تحقیق سی‌نونگ و همکاران^۲ (2016)، بارزسازی تغییرات به کمک تکنیک موجک به کاررفته روی لگاریتم تفاضل دو تصویر SAR انجام شده است. برای تمایز بین پیکسل‌های دارای تغییر و بدون تغییر روش حد آستانه میانگین فاصله اتخاذ شده است. در نهایت، نقشه تغییرات نهایی با استفاده از روش مارکف به دست آمده است. نتیجه تحقیق آنها نشان می‌دهد روش پیشنهادی در طی زمان روشی مؤثر برای یافتن تغییرات رخ داده است. نیز، نقشه به دست آمده جزئیات بیشتری را مشخص می‌کند. همچنین، دقت محاسبه شده بهبود یافته است و تغییرات حاصل واقعی‌اند.

نمونه‌هایی از تحقیقات انجام شده در بارزسازی تغییرات با کمک تکنیک موجک در مطالعات گالفورد و همکاران^۳ (2008)، لیو و لی^۴ (2008)، دیویس و لی^۵ (2008)، کاروالیو و همکاران^۶ (2007) و چلیک (2009) دیده می‌شود.

به‌علت توانایی بررسی تصاویر در مقیاس‌ها و مراکز گوناگون، تحلیل موجک روش مؤثرتری در بارزسازی تغییرات است. آنها نشان دادند مزیت دیگری که تحلیل موجک در مقایسه با تحلیل فوریه نشان می‌دهد، این است که تصویر تهیه شده از این روش را به راحتی می‌شود طبقه‌بندی کرد. به این صورت که اگر هیستوگرام تصویر را رسم کنیم، می‌بینیم مقادیر خاکستری در چند عدد ویژه تمرکز یافته‌اند که نشان‌دهنده کلاس‌های تصویر است. تحقیق موزر و همکاران (2003) به دنبال نشان دادن توانایی‌های تحلیل موجک در بارزسازی تغییرات رخ داده در منطقه مورد مطالعه است، به طوری که تصویر نتیجه شده از این تکنیک از آثار اتمسفری، تغییرات فنولوژی گیاهان و نبود تطابق تصویری کمترین تأثیر را بپذیرد. جهت بررسی آثار اتمسفری از تصاویر لندست سپتامبر ۲۰۰۰ و اوت ۲۰۰۵ استفاده کردند. با وجود مه شدید در تصویر سال ۲۰۰۰ و اثر این مه در تغییرات شفافیت اتمسفری هر پیکسل، نقشه تغییرات به دست آمده، کاملاً مستقل از آثار مه بر اساس بزرگ‌ترین درجه روشنایی، مناطق دارای تغییر واقعی را آشکار کرده است. در تحقیق موزر و همکاران (2011) تصاویر، با استفاده از تبدیل موجک و زنجیره مارکف، بارزسازی شده است. در این تحقیق، موجک‌های پایه متفاوت با هم مقایسه شدند و این نتیجه حاصل شد که نقشه تغییرات به دست آمده به نوع موجک پایه اولیه بستگی دارد. با وجود اینکه تکنیک موجک تکنیکی است که روی تک‌باند اعمال می‌شود، روی مجموعه داده‌های تصویر چندطیفی نیز اعمال شده است و نتایج مؤثر بودن این تکنیک را در بارزسازی تغییر، با استفاده از این‌گونه تصاویر نشان می‌دهد (Alagu Raja et al., 2013). طی سال‌های ۱۹۹۶ و ۲۰۰۴، با استفاده از تصاویر MSS و با استفاده از تکنیک موجک، تغییرات رخ داده در مناطق شهر مدوری در هند بارزسازی شد. همچنین، برای طبقه‌بندی تصاویر حاصل، از تکنیک طبقه‌بندی نظارت نشده استفاده کردند. آنها سه سطح تجزیه

1. Li et al.
2. Si-Nong et al.
3. Galford et al.
4. Liu and Li
5. Davis and Li
6. Carvalho et al.

ارزیابی نتایج یکی از مهم‌ترین مراحل هر تحقیق علمی به‌شمار می‌رود. یکی از روش‌های ارزیابی صحت و دقت نتایج محاسبه ماتریس خطاست. بررسی‌ها نشان می‌دهند که ماتریس خطا همیشه روشی بسیار کاره برای ارزیابی صحت و دقت نتایج بدون توجه به نوع تصویر به‌کاررفته است (Du et al., 2013). ماتریس خطا به‌صورت جدول تقاطعی است که داده‌های مربوط به نقشه تغییرات به‌دست‌آمده از تکنیک را در برابر داده‌های مرجع قرار می‌دهد (Lowell et al., 2001; Van, 2007; Alagu Raja et al., 2013). دو معیار دقت کلی و ضریب توافق کاپا نیز از این جدول استخراج می‌شود.

از ضریب توافق کاپا به‌منظور اندازه‌گیری میزان توافق بین مشاهده‌کنندگان و میزان مورد انتظار استفاده می‌شود. مقدار آماره کاپا صحت طبقه‌بندی را درمقابل یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند (Richrds and Jia, 2006). ضریب توافق کاپا مقداری از صفر به معنای ۰٪ تا یک به‌معنای ۱۰۰٪ را محاسبه می‌کند.

آرشیو زمانی تقریباً کاملی از تصاویر ماهواره لندست وجود دارد (Tarantino et al., 2016). بنابراین، می‌شود در بسیاری از تحقیقات بارزسازی تغییرات که به بررسی زمان‌های متفاوت در یک رخداد نیاز دارند، از آن استفاده کرد. متأسفانه جای استفاده از این تصاویر در تحقیقات بارزسازی تغییرات با تکنیک‌های به‌روزی، مانند موجک، خالی است. هدف اصلی از تحقیق حاضر بررسی توانایی تکنیک چندمقیاسی نظارت‌نشده موجک برای تهیه نقشه تغییرات، با استفاده از تصاویر ماهواره لندست است. به‌علاوه، نقشه تغییرات برای قدرت تفکیک‌های گوناگون با موجک‌های مادر گوناگون آزموده شده است. همچنین، برای بررسی عملکرد تکنیک موجک در بارزسازی تغییرات، مقایسه‌ای بین این الگوریتم و تکنیک‌های تفاضل، تقسیم و طبقه‌بندی صورت گرفته است.

بررسی الگوریتم‌ها و داده‌های مورد استفاده در تحقیقات یادشده نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر، از تکنیک موجک در بسیاری از زمینه‌های پردازش تصویر، به‌ویژه بارزسازی تغییرات، بسیار استفاده شده است. بیشتر این کاربردها در زمینه تصاویر SAR (Beuhlel et al., 2015; Rosa et al., 2015; Adithyan et al., 2016)، رادار (Poja and Dhanushree, 2012) و یا هایپراسپکترال (Zhao, 2013; Zare, 2011) بوده است. با وجود اینکه توانایی این تکنیک به‌صورت ترکیبی با روش‌های دیگر و آثار کلی آنها در بارزسازی تغییرات بررسی شده است، اما با توجه به اینکه بارزسازی تغییرات با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای همچنان بحثی به‌روز و کاربردی است، می‌شود این تکنیک را با ترکیبات جدید و تصاویر ماهواره‌ای متنوع دوباره بررسی کرد.

در تحقیق حاضر از تکنیک‌های تفاضل، تقسیم و طبقه‌بندی نیز برای به‌دست آوردن نقشه تغییرات استفاده شده است.

جنسن و تول^۱ (1982) از تکنیک تفاضل برای بارزسازی تغییرات استفاده کردند. در تحقیق خود نشان دادند که پیکسل‌های بدون تغییر و یا با تغییرات بسیار جزئی در نمودار متعلق به توزیع نرمال، اطراف میانگین و پیکسل‌های با تغییرات چشمگیر در دم‌های نمودار توزیع نرمال پراکنده خواهند شد. از تکنیک تقسیم دو تصویر در بارزسازی تغییرات بسیار استفاده شده است. تحقیق سینگ (1998) نیز از این تکنیک برای بارزسازی تغییرات استفاده کرده است. تکنیک طبقه‌بندی، یکی از اولین تکنیک‌ها برای آشکارسازی تغییرات است (Sing, 1989; Elvifge, 1999). در این تکنیک، تعداد و کیفیت داده‌های آموزشی نقش مهمی ایفا می‌کند. مهم‌ترین مزیت این تکنیک فراهم کردن ماتریس کاملی از تغییرات است. حسین و همکاران^۲ (2013) در تحقیق خود از تکنیک طبقه‌بندی استفاده کردند.

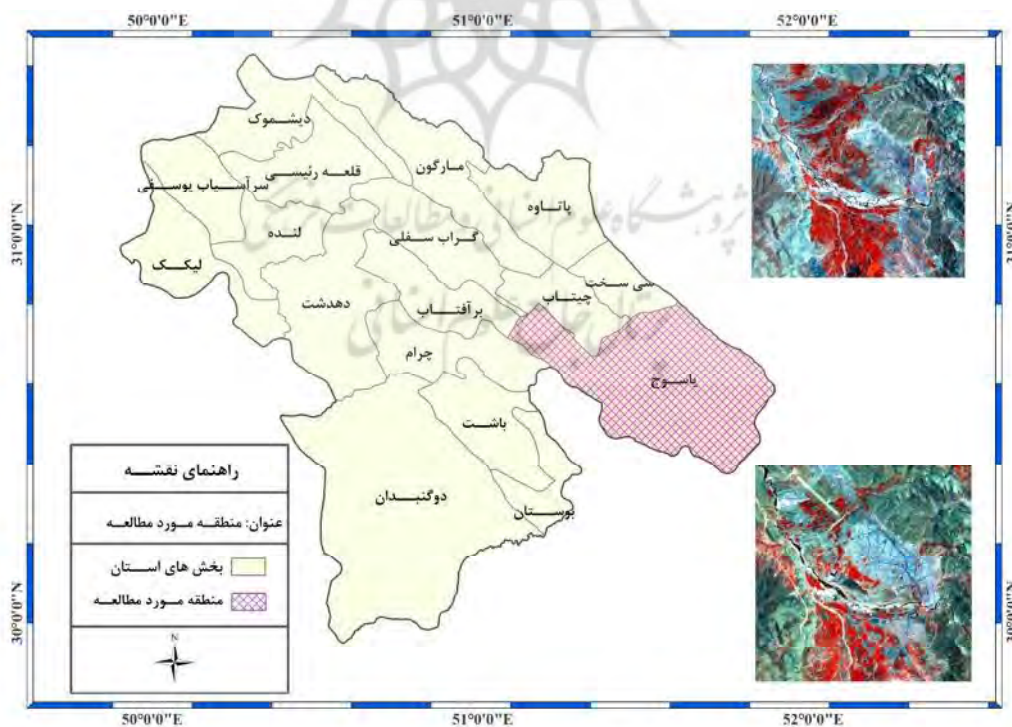
1. Jenson and Toll
2. Hussain et al.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

منطقه مورد مطالعه بخش مرکزی شهرستان بویراحمد، واقع در استان کهگیلویه و بویراحمد است. مرکز این شهرستان شهر یاسوج است. این منطقه در طول ۵۱° و ۳۶' و عرض ۳۰° و ۴۰' قرار گرفته و ارتفاع متوسط آن از سطح آب‌های آزاد، حدود ۱۸۵۰ متر است (شکل ۱). این منطقه در خلال سال‌های مورد مطالعه دچار تغییرات بسیار زیادی شده و این تغییرات تأثیر زیست‌محیطی فراوانی در محیط اطراف خود گذاشته است. علت این تغییرات را می‌شود مهاجرت به شهر و گسترش شهرنشینی دانست (جعفری و همکاران، ۱۳۹۰). در شکل ۲، تصویر حاصل ترکیب رنگی کاذب منطقه در سال ۱۹۹۰ و ۲۰۰۹ را نشان می‌دهد. تصویر گسترش شهر که با آبی روشن نشان داده شده است، کاهش زمین‌های کشاورزی را نشان می‌دهد.

دو مجموعه داده در این مطالعه استفاده شده است. نخست، دو تصویر ماهواره لندست ۷ سنجنده TM با تعداد ۳۹۵*۳۹۵ ماهواره لندست است که به ترتیب، در تاریخ‌های ۱۹۹۰/۰۶/۰۶ و ۲۰۰۹/۰۵/۲۵ اخذ شده است. جدول ۱ ویژگی‌های ماهواره لندست ۷ سنجنده TM را نشان می‌دهد. برای تعیین صحت نقشه تغییرات تهیه شده، داده‌های زمینی به کار رفته است. داده‌های زمینی سال ۱۹۹۰ از نقاط کنترل برداشت شده از تصاویر ماهواره‌ای اسپات همان سال است و در مورد سال ۲۰۰۹، نقاط کنترل زمینی برداشت شده با استفاده از GPS به کار رفته است. در تحقیق حاضر، از باندهای ۳، ۴ و ۵ دو تصویر رجیسترشده متعلق به یک منطقه و در دو زمان متفاوت استفاده شده است (Dai and Khorram, 1998).



شکل ۲. منطقه مورد مطالعه. تصویر بالا مربوط به سال ۱۹۹۰ و تصویر پایین تصویر مربوط به سال ۲۰۰۹ است.

در نخستین قدم از الگوریتم پیشنهادشده، هر دو تصویر L_0 و L_1 در فضای موجک جداگانه تجزیه شده‌اند. در تحقیق حاضر، از موجک‌های پایه‌های Bior3.7 و db4 برای تجزیه استفاده شده است. بدین منظور، با استفاده از تکنیک موجک، ابتدا تصویر از فضای مکان به فضای فرکانس برده می‌شود. از آنجاکه تکنیک موجک روی باندها به صورت تک تک به کار می‌رود، هر باند برای هر دو موجک پایه و هر سطح تجزیه جداگانه بررسی شده است (Hussain et al., 2013).

در سطح اول تجزیه برای هر موجک پایه، ابتدا دو تصویر مورد نظر از فضای مکان به فضای فرکانس برده شده و هریک به دو دسته مؤلفه، شامل مؤلفه‌های پایین‌گذر و بالاگذر، تجزیه شده‌اند. اطلاعات مؤلفه‌های پایین‌گذر در راستای عمودی یا 90° درجه، اطلاعات در راستای افقی یا 0° درجه و اطلاعات در راستای قطری یا 45° درجه است. گام دوم از الگوریتم عمل تفاضل است. تفاضل بین مؤلفه پایین‌گذر دو تصویر متعلق به زمان t_1 و t_2 به صورت یک‌به‌یک انجام شده است.

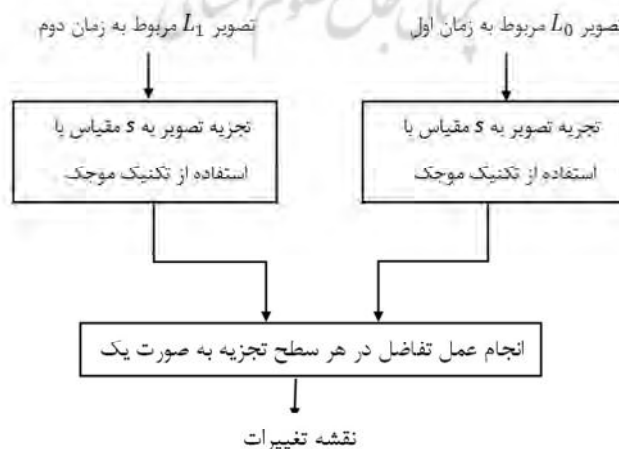
زمان t_1 تابع مؤلفه‌های پایین‌گذر محاسبه‌شده با استفاده از تبدیل موجک برای زمان t_1 و $x_{ij}(t_2)$ تابع مؤلفه‌های پایین‌گذر محاسبه‌شده با استفاده از تبدیل موجک برای زمان t_2 است. تصویر نمایش‌دهنده اختلافات دو تصویر به صورت رابطه (۱) محاسبه شد (Singh, 1968).
 رابطه (۱)
$$D_{X_{ij}} = x_{ij}(t_2) - x_{ij}(t_1)$$

جدول ۱. ویژگی‌های ماهواره لندست ۷ سنجنده TM

| باند | طول موج (nm) | قدرت تفکیک |
|--------|--------------|------------|
| باند ۱ | ۰/۴۵-۰/۵۲ | ۳۰m |
| باند ۲ | ۰/۵۲-۰/۶۰ | ۳۰m |
| باند ۳ | ۰/۶۳-۰/۶۹ | ۳۰m |
| باند ۴ | ۰/۷۶-۰/۹۰ | ۳۰m |
| باند ۵ | ۱/۵۵-۱/۷۵ | ۳۰m |
| باند ۶ | ۱۰/۴۰-۱۲/۵۰ | ۶۰M |
| باند ۷ | ۲/۰۸-۲/۳۵ | ۳۰m |

۲-۲- روش تحقیق

هدف ما یافتن نقشه‌ای از تغییرات رخ داده در طی زمان است که آن را نقشه تغییرات می‌نامیم (Celik, 2009). فرض شد که تصویر متعلق به زمان t_1 با L_0 و تصویر متعلق به زمان t_2 با L_1 نشان داده شده است. الگوریتم پیشنهادشده چهار گام اصلی دارد: ۱. تجزیه هر دو تصویر متعلق به یک منطقه، با دو تاریخ متفاوت، به s مقیاس با استفاده از تکنیک موجک؛ ۲. انجام دادن عمل تفاضل از سطوح تجزیه‌شده به صورت یک‌به‌یک؛ ۳. بازسازی تصویر حاصل شده از تفاضل؛ ۴. استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی k -means برای طبقه‌بندی نقشه تغییرات به دست آمده به دو کلاس دارای تغییر و بدون تغییر (Celik, 2009). شکل ۳ گام‌های الگوریتم مورد استفاده را نشان می‌دهد.



شکل ۳. الگوریتم روند کار

نظر گرفته شده است. در تحقیقاتی که دسته‌بندی براساس صفر و یک است، از ۰.۵ استفاده می‌شود زیرا بالاترین مقدار واریانس و در نتیجه، بیشترین تعداد نمونه را نشان می‌دهد (Morgan and Krejcie, 1970). بنابراین، ۳۸۴ پیکسل به‌مثابه پیکسل نمونه از هر دو کلاس دارای تغییر و بدون تغییر، به‌صورت کاملاً تصادفی، انتخاب شد. مجموعه‌ای نقاط در مناطق مرزی بین دو کلاس قرار گرفته‌اند که برای افزایش دقت حذف شده‌اند. در نهایت، ۳۵۳ نمونه برای کلاس بدون تغییر و ۳۶۰ نمونه برای کلاس دارای تغییر انتخاب شد.

برای بررسی دقت و صحت کار، از ماتریس خطا استفاده شده است. با استفاده از ماتریس خطا دو معیار دقت کلی و ضریب توافق کاپا استخراج شد. نحوه محاسبه ضریب توافق کاپا مطابق رابطه (۳) است.

$$K = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در اینجا، P_o نسبت توافق مشاهده، P_e نسبت توافق مورد انتظار برحسب شانس و k مقدار آماره کاپا است (Cohen, 1960).

در این تحقیق، مقایسه‌ای بین تکنیک موجک با چند تکنیک رایج مانند تفاضل تصاویر، تقسیم تصاویر و طبقه‌بندی نظارت‌شده نیز انجام گرفت.

تکنیک تفاضل

در تکنیک تفاضل تصاویر به شیوه پیکسل‌به‌پیکسل، تصویر متعلق به اولین تاریخ از تصویر متعلق به تاریخ دوم کم شد. رابطه (۴) نحوه محاسبه تکنیک تفاضل را نشان می‌دهد.

$$D_{X_{ij}} = I_1(t_2) - I_1(t_1) \quad \text{رابطه (۴)}$$

تکنیک تقسیم

در این تکنیک، دو تصویر رجیسترشده از دو تاریخ متفاوت، با یک باند یا بیشتر، به‌صورت باندبه‌باند تقسیم شدند. رابطه (۵) تکنیک تقسیم را نشان می‌دهد.

$$D_{X_{ij}} = I_1(t_2) / I_1(t_1) \quad \text{رابطه (۵)}$$

این تفاضل مکان‌های دارای تغییر در سطح تجزیه اول را نشان می‌دهد. سطح دوم تجزیه روی مؤلفه بالاگذر اعمال می‌شود. در سطح دوم تجزیه نیز دو دسته مؤلفه فراهم می‌شود. مؤلفه پایین‌گذر برای یافتن تغییرات در سطح ۲، و مؤلفه‌های بالاگذر برای تجزیه در سطح ۳ به کار می‌روند. این شیوه، به همین صورت، تا تعداد سطوح مورد نظر ادامه می‌یابد. در گام سوم تجزیه، با استفاده از این ویژگی تکنیک موجک که امکان بازسازی را فراهم می‌کند؛ فرایند بازسازی نقشه تغییرات حاصل شده از تفاضل انجام می‌شود. به این معنا که بعد از تجزیه مؤلفه پایین‌گذر و اعمال تفاضل برای به‌دست آوردن تصویر مربوط به تغییرات، تصویر حاصل‌شده در فضای موجک با استفاده از فرایند بازسازی به فضای مکان برگردانده می‌شود. گام آخر الگوریتم به‌کاررفته طبقه‌بندی نقشه تغییرات است. نقشه تغییرات به‌دست‌آمده به‌صورت $D_{X_{ij}}$ در نظر گرفته شده است. اگر d_{n*m} برابر با $n*m$ آمین پیکسل در نقشه تغییرات به‌دست‌آمده $D_{X_{ij}}$ باشد، فرض می‌شود $d_{n*m} \in \{H_0, H_1\}$ است. H_0 معادل مناطق دارای تغییرات و H_1 نشانه منطقه بدون تغییرات است. هر پیکسل این نقشه به یکی از این دو کلاس تعلق دارد. پیکسلی که به یک کلاس تعلق دارد، ممکن نیست به کلاس دیگر متعلق باشد. به همین منظور، در اینجا نقشه تغییرات محاسبه‌شده برای هر باند و در هر سطح تجزیه، با استفاده از داده‌های زمینی موجود، به‌صورت نظارت‌شده به دو دسته کلاس‌های دارای تغییر و کلاس‌های بدون تغییر طبقه‌بندی شده است. از هر کلاس، مجموعه‌ای نمونه تصادفی برای مقایسه برداشت شد. مسئله مهمی که اینجا مطرح می‌شود، تعداد نمونه مورد نیاز جهت مقایسه است. برای به‌دست آوردن حجم این نمونه‌ها، جهت بررسی دقت و صحت نقشه تغییرات، از رابطه (۲) استفاده شد.

$$N = Z^2 \times P \times (1 - P) / E^2 \quad \text{رابطه (۲)}$$

Z مقدار آماره به‌کاررفته، p دقت مورد انتظار و E خطای مجاز را نشان می‌دهد. در اینجا P برابر ۰.۵٪ در

تکنیک طبقه‌بندی

در تکنیک طبقه‌بندی، هریک از تصاویر متعلق به دو تاریخ متفاوت، جداگانه طبقه‌بندی، و سپس، تصاویر طبقه‌بندی‌شده پیکسل‌به‌پیکسل مقایسه شدند. داده‌های زمینی جمع‌آوری‌شده به‌منزله نمونه‌های آموزشی به کار رفت و براساس آنها، هر دو تصویر طبقه‌بندی شدند. برای به‌دست آوردن نقشه تغییرات، هر دو تصویر از هم کم شدند.

۳- نتایج

۳-۱- نتایج حاصل از تکنیک موجک

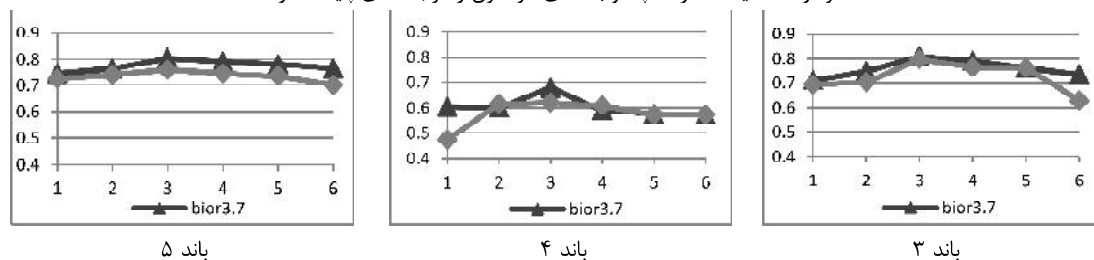
نتایج هر باند، براساس موجک پایه و سطوح تجزیه گوناگون، جداگانه تحلیل شده است. یکی از پارامترهایی که در این تحقیق بررسی شده، نوع موجک پایه مورد استفاده است. در اینجا موجک پایه bior3/7 و db4 مقایسه شده‌اند.

جدول ۲ و نمودار ۱ مقایسه آماره کاپا، و جدول ۳ و نمودار ۲ مقایسه دقت کلی محاسبه‌شده با به‌کارگیری هر دو موجک پایه برای سه باند ۳، ۴ و ۵ را نشان می‌دهند. برای باند ۳ بیشترین دقت کلی و آماره کاپای محاسبه‌شده با استفاده از موجک پایه bior3/7، به ترتیب، برابر ۹۰/۵۱ و ۰/۸۱، و برای موجک پایه db4 برابر ۸۰/۸۰ و ۰/۸۰ است. در باند ۴ بیشترین دقت و بالاترین آماره کاپا برای موجک پایه bior3/7 برابر ۸۰/۴۳ و ۰/۶۸، و برای موجک پایه db4 برابر ۷۱/۲۵ و ۰/۶۲ است. در باند ۵ بیشترین دقت و بالاترین آماره کاپا برای موجک پایه bior3/7 برابر ۹۰/۲۱ و ۰/۸۰، و برای موجک پایه db4 برابر ۸۸/۰۷ و ۰/۷۶ است. به‌طورکلی، نقشه تغییرات حاصل از موجک پایه bior3/7 دقت بالاتر و آماره کاپای بهتری درمقایسه با موجک پایه db4 دارد. این مسئله نشان می‌دهد چه‌بسا انتخاب نوع موجک در نتیجه نهایی مؤثر باشد.

جدول ۲. آماره کاپای محاسبه‌شده براساس موجک‌های پایه گوناگون در سطوح تجزیه متفاوت، براساس هر باند

| شماره باند | باند ۳ | | باند ۴ | | باند ۵ | |
|------------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|
| | db4 | bior3/7 | db4 | bior3/7 | db4 | bior3/7 |
| ۱ | ۰/۶۹ | ۰/۷۱ | ۰/۴۷ | ۰/۶۰ | ۰/۷۲ | ۰/۷۶ |
| ۲ | ۰/۷۰ | ۰/۷۵ | ۰/۶۱ | ۰/۶۰ | ۰/۷۴ | ۰/۷۶ |
| ۳ | ۰/۸۰ | ۰/۸۱ | ۰/۶۲ | ۰/۶۸ | ۰/۷۶ | ۰/۸۰ |
| ۴ | ۰/۷۶ | ۰/۷۹ | ۰/۶۱ | ۰/۵۹ | ۰/۷۵ | ۰/۷۹ |
| ۵ | ۰/۷۵ | ۰/۷۶ | ۰/۵۷ | ۰/۵۸ | ۰/۷۴ | ۰/۷۸ |
| ۶ | ۰/۶۳ | ۰/۷۳ | ۰/۵۷ | ۰/۵۷ | ۰/۷۰ | ۰/۷۷ |

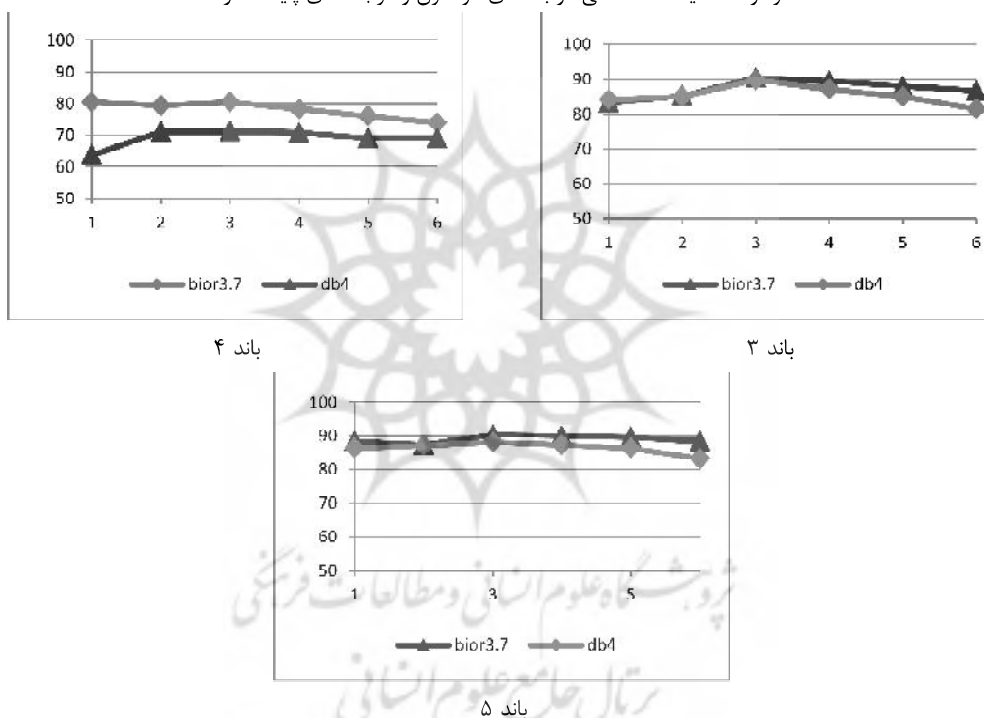
نمودار ۱. مقایسه آماره کاپا در باندهای گوناگون و موجک‌های پایه متفاوت



جدول ۳. دقت کلی محاسبه شده براساس موجک‌های پایه گوناگون در سطوح تجزیه متفاوت، براساس هر باند

| شماره باند | باند ۳ | | باند ۴ | | باند ۵ | | موجک پایه سطح تجزیه |
|------------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|------------------------|
| | bior3/7 | db4 | bior3/7 | db4 | bior3/7 | db4 | |
| ۱ | ۸۳/۲۹ | ۸۴/۱۵ | ۸۰/۳۹ | ۶۳/۸۳ | ۸۸/۳۷ | ۸۶/۲۸ | |
| ۲ | ۸۵/۲۳ | ۸۵/۰۱ | ۷۹/۳۴ | ۷۱/۰۶ | ۸۷/۲۵ | ۸۷/۰۶ | |
| ۳ | ۹۰/۵۱ | ۸۹/۸۰ | ۸۰/۴۳ | ۷۱/۲۵ | ۹۰/۲۱ | ۸۸/۰۸ | |
| ۴ | ۸۹/۴۶ | ۸۷/۱۹ | ۷۸/۲۳ | ۷۰/۷۳ | ۸۹/۹۹ | ۸۷/۲۹ | |
| ۵ | ۸۸/۰۴ | ۸۵/۰۳ | ۷۶/۰۰ | ۶۹/۰۴ | ۸۹/۶۱ | ۸۶/۲۷ | |
| ۶ | ۸۶/۶۶ | ۸۱/۴۸ | ۷۳/۸۷ | ۶۹/۰۴ | ۸۸/۳۰ | ۸۳/۱۴ | |

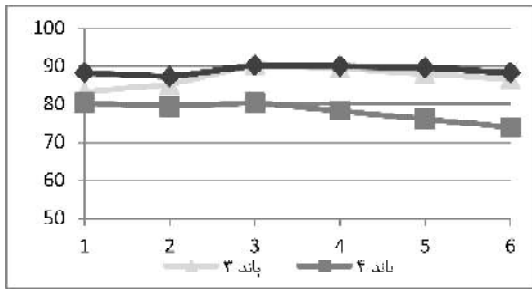
نمودار ۲. مقایسه دقت کلی در باندهای گوناگون و موجک‌های پایه متفاوت



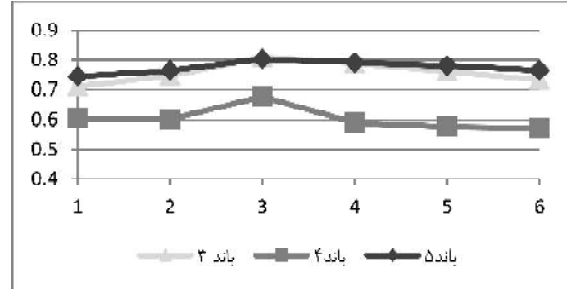
برابر ۰/۵۷ و با دقت کلی ۷۳/۸۷ برای سطح تجزیه ۶ و بیشترین آنها، به ترتیب، برابر ۰/۶۸ و ۸۰/۴۳ برای سطح تجزیه ۳ است. در باند ۵ با استفاده از موجک پایه Bior 3/7، کمترین آماره کاپای محاسبه شده برابر ۰/۷۵ برای سطح تجزیه ۱ و پایین ترین دقت کل محاسبه شده برابر ۸۸/۳۰ برای سطح تجزیه ۶ است. بیشترین آماره کاپا و بالاترین دقت کل محاسبه شده برابر ۰/۸۰ و ۹۰/۲۱ برای سطح تجزیه ۳ است.

پارامتر بعدی که در این تحقیق بررسی شده، اندازه سطوح تجزیه متفاوت برای هر موجک پایه روی هر باند است. با توجه به جدول ۲ و نمودار ۳، در موجک پایه Bior3/7 در باند ۳ کمترین آماره کاپا و دقت کلی محاسبه شده برای سطح تجزیه ۱، به ترتیب، برابر ۰/۷۱ و ۸۳/۲۹ و بیشترین برای سطح تجزیه ۳ با آماره کاپا و دقت کلی محاسبه شده ۰/۸۱ و ۹۰/۵۱ است. در باند ۴ با موجک پایه Bior3/7 کمترین آماره کاپای محاسبه شده

نمودار ۳. دقت کلی و آماره کاپای محاسبه شده برای باندهای ۳، ۴ و ۵ در سطوح تجزیه متفاوت، با استفاده از موجک پایه Bior 3/7



دقت کلی



آماره کاپا

دقت کلی برای موجک پایه db4 برای باندهای ۳، ۴ و ۵ را دربر دارد.

در همه باندها، بالاترین آماره کاپا و بالاترین دقت کلی متعلق به سطح تجزیه ۳ است. روند کلی نمودار به این صورت است که در همه باندها، نمودار تا سطح تجزیه ۳ روند صعودی دارد و بیشترین آماره کاپا در بین سطوح تجزیه هر باند، در سطح تجزیه ۳ است. سپس، از سطح تجزیه ۴، دوباره آماره کاپا و دقت کلی به دست آمده روند نزولی پیدا می کند.

۳-۲- مقایسه تکنیک موجک با روش های دیگر

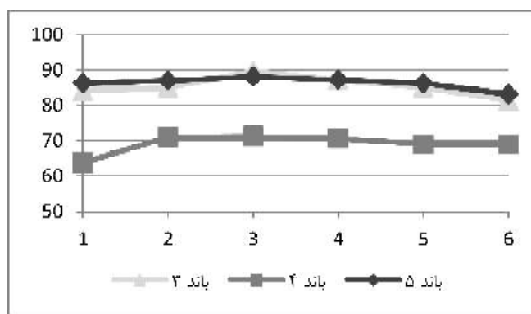
در اینجا، تکنیک موجک و سه تکنیک رایج تفاضل، نسبت و طبقه بندی نظارت شده برای بارسازی تغییرات با یکدیگر مقایسه شده اند. نتایج در جدول ۴ آمده است.

در تکنیک طبقه بندی نظارت شده، داده های زمینی به منزله نمونه های آموزشی به کار رفته و طبقه بندی براساس آنها انجام شده است. شکل ۴ نقشه تغییرات محاسبه شده طراز تکنیک طبقه بندی نظارت شده را نشان می دهد.

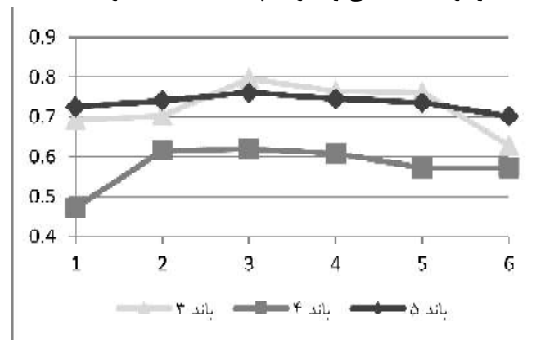
برای موجک پایه db4 نیز روندی تقریباً مشابه با Bior3/7 وجود دارد. جدول ۳ و نمودار ۴ آماره کاپا و جدول ۴ دقت کلی محاسبه شده برای موجک پایه db4 برای باندهای ۳، ۴ و ۵ را نشان می دهد. در باند ۳ کمترین آماره کاپا و پایین ترین دقت کلی محاسبه شده، به ترتیب، برابر ۰/۶۳ و ۸۱/۴۸ برای سطح تجزیه ۱ و بیشترین آنها، به ترتیب، برابر ۰/۸۰ و ۸۹/۸۰ برای سطح تجزیه ۳ است. در باند ۴ کمترین آماره کاپا و پایین ترین دقت کلی محاسبه شده برابر ۰/۴۷ و ۶۳/۸۳ و بیشترین آنها، به ترتیب، برابر ۰/۶۲ و ۷۱/۲۵ برای سطح تجزیه ۳ است. در باند ۵ کمترین آماره کاپای و ۸۳/۱۴ برای سطح تجزیه ۶ و بیشترین آنها، به ترتیب، برابر ۰/۷۶ و ۸۸/۰۸ برای سطح تجزیه ۳ است. نمودار ۴ مقایسه آماره کاپا و نمودار ۳ مقایسه دقت کلی برای موجک پایه db4 برای باندهای ۳، ۴ و ۵ را دربر دارد.

محاسبه شده و پایین ترین دقت محاسبه شده برابر ۰/۷۰ و ۸۳/۱۴ برای سطح تجزیه ۶ و بیشترین آنها، به ترتیب، برابر ۰/۷۶ و ۸۸/۰۸ برای سطح تجزیه ۳ است. نمودار ۳ مقایسه آماره کاپا و نمودار ۴ مقایسه

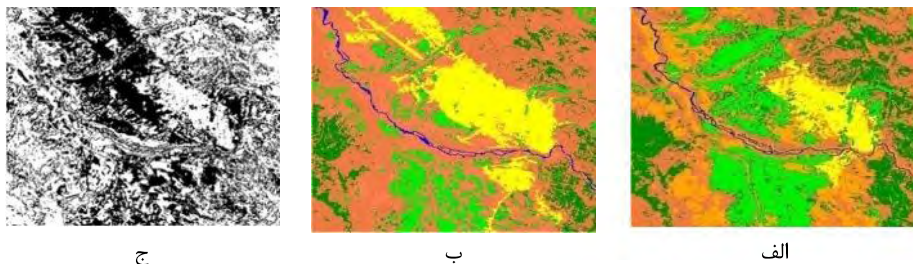
نمودار ۴. دقت کلی و آماره کاپای محاسبه شده برای باندهای ۳، ۴ و ۵ در سطوح تجزیه گوناگون، با استفاده از موجک پایه db4



دقت کلی



آماره کاپا



شکل ۴. الف) تصویر طبقه‌بندی نظارت‌شده برای سال ۱۹۹۰، ب) تصویر طبقه‌بندی نظارت‌شده برای سال ۲۰۰۹، ج) نقشه تغییرات به‌دست‌آمده

جدول ۴. مقایسه دقت کلی و آماره کاپای محاسبه‌شده براساس تکنیک‌های موجک، تفاضل، نسبت و طبقه‌بندی براساس هر باند

| شماره باند | موجک | | تفریق | | نسبت | | طبقه‌بندی نظارت‌شده | |
|------------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|---------------------|---------|
| | آماره کاپا | دقت کلی | آماره کاپا | دقت کلی | آماره کاپا | دقت کلی | آماره کاپا | دقت کلی |
| باند ۳ | ۰/۸۱ | ۹۰/۵۱ | ۰/۴۱ | ۵۳/۳۱ | ۰/۳۰ | ۴۶/۶۸ | | |
| باند ۴ | ۰/۶۸ | ۸۰/۴۳ | ۰/۳۶ | ۴۳/۹۷ | ۰/۵۶ | ۵۶/۰۳ | ۰/۷۱ | ۵۹/۷۶ |
| باند ۵ | ۰/۸۰ | ۹۰/۲۱ | ۰/۵۴ | ۵۶/۰۴ | ۰/۶۷ | ۵۷/۱۶ | | |

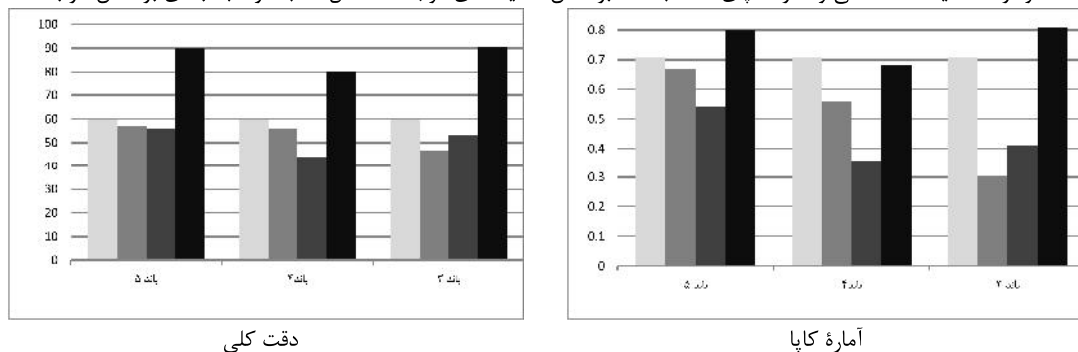
۹۰/۵۱ هستند. جدول ۴ این مقایسه را نشان می‌دهد. نمودار ۵ مقایسه بین دقت کلی و آماره کاپا را برای باندهای ۳، ۴ و ۵ به‌صورت نمودار میله‌ای نشان می‌دهد.

این نتایج نشان می‌دهد دقت کلی و آماره کاپای به‌دست‌آمده برای تکنیک موجک از سه روش محاسبه‌شده بیشتر است. نکته دیگری که باید به آن اشاره کرد، بارزسازی مشخص‌تر لبه‌های عوارض روی تصویر است. مقایسه بصری بین نقشه تغییرات محاسبه‌شده با سه تکنیک معرفی‌شده از تکنیک موجک این موضوع را نشان می‌دهد. شکل ۵ نقشه‌های تغییرات به‌دست‌آمده از هر چهار روش را دربر دارد.

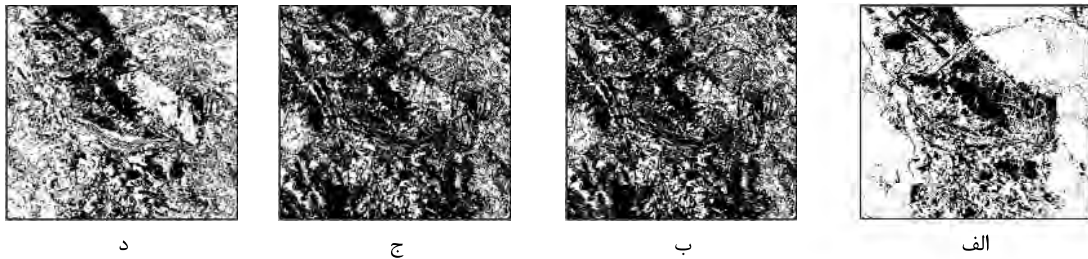
دو تکنیک تفاضل و نسبت دو تصویر جداگانه روی هر باند انجام می‌شوند. این تکنیک‌ها روی باندهای ۳، ۴ و ۵ جداگانه اعمال شده‌اند و دقت آنها نیز جداگانه بررسی شده است.

برای تکنیک تفاضل، باند ۵ بیشترین دقت کلی و آماره کاپا را به‌دست آورده که، به‌ترتیب، برابر با ۰/۵۴ و ۵۶/۰۴ است. در تکنیک نسبت دو تصویر، بیشترین دقت کلی و آماره کاپا برای باند ۵ برابر با ۰/۶۷ و ۵۷/۱۶ است. در تکنیک طبقه‌بندی نظارت‌شده، مقدار دقت کلی و آماره کاپا برابر ۰/۷۱ و ۵۹/۷۶ است. برای تکنیک موجک، بالاترین دقت کلی و آماره کاپا متعلق به باند ۳ و سطح تجزیه ۳ است که، به‌ترتیب، ۰/۸۱ و

نمودار ۵. مقایسه دقت کلی و آماره کاپای محاسبه‌شده براساس تکنیک‌های موجک، تفاضل، نسبت و طبقه‌بندی براساس هر باند



طبقه‌بندی نظارت‌شده ■ نسبت ■ تفریق ■ موجک



شکل ۵. نقشه تغییرات به دست آمده از تکنیک‌های موجک، تفاضل، نسبت و طبقه‌بندی (رنگ مشکی: مناطق دارای تغییر، رنگ سفید: مناطق بدون تغییر). الف) تکنیک موجک، ب) تفاضل، ج) نسبت، د) طبقه‌بندی

۴- بحث و نتیجه‌گیری

به کارگیری تکنیک موجک روی تصاویر ماهواره‌ی لندست جهت بارزسازی تغییرات رخ داده در شهرستان یاسوج نشان می‌دهد طی ۲۰۰۹-۱۹۹۹ تغییرات کاربری بسیاری در زمین‌های اطراف شهر رخ داده است. طبق نقشه تغییرات به دست آمده، می‌شود مشاهده کرد که شهر گسترش پیدا کرده و زمین‌های دارای پوشش گیاهی به کاربری شهری و سکونتگاه ساکنان تبدیل شده است. این به معنای نابودی زمین‌های با خاک مناسب و از بین رفتن اکوسیستم منطقه است. علت آن را می‌شود در مهاجرت گسترده به شهر و گسترش شهرنشینی دانست. نقشه تغییرات به دست آمده نشان می‌دهد تغییرات عمده‌ای که رخ داده، به سمت زمین‌های جنوبی محدوده شهری یاسوج است. زمین‌های اطراف محدوده شمالی شهر کمتر دچار تغییر شده‌اند که این ممکن است به علت کوهستانی بودن مناطق شمالی شهرستان باشد.

هدف تحقیق حاضر بررسی آثار تعداد سطوح تجزیه و موجک پایه در دقت نقشه تغییرات نهایی، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ی لندست است تا بشود با کنترل پارامترهای مؤثر در تکنیک موجک به نقشه تغییرات بهتر و دقیق‌تری رسید. بنابراین، تکنیک موجک معرفی شده در $k \in \{0, 1, 2, 3, 4, 5\}$ سطح تجزیه و با موجک‌های مادر Bior3/7 و db4 آزموده شده است. همچنین، عملکرد تکنیک موجک و چند تکنیک رایج دیگر با هم مقایسه شدند. برای کمی‌سازی مقایسه، دقت بارزسازی و آماره کاپای استخراج شده از ماتریس خطا به کار رفته است.

بررسی نشان می‌دهد تکنیک به کاررفته در سطوح تجزیه گوناگون مشابه عمل نمی‌کند. به طوری که در موجک پایه Bior3/7 بالاترین آماره کاپا و دقت کلی برابر ۰/۸۱ و ۹۰/۵۱ برای سطح تجزیه ۳ و برای باند ۳ است. در موجک پایه db4 نیز روندی مشابه با موجک پایه Bior3/7 دیده می‌شود. بدین معنا که بیشترین آماره کاپا و دقت کلی معادل ۰/۸۰ و ۸۹/۸۰ به دست آمده در سطح تجزیه ۳ برای باند ۳ است. روند تغییرات در دقت کلی و آماره کاپا را می‌شود چنین بیان کرد که تا سطح تجزیه ۳، دقت افزایش پیدا می‌کند و سپس، روند نزولی دارد. برای نمونه، در موجک پایه Bior3/7 در باند ۳، دقت کلی و آماره کاپا از ۸۳/۲۹ و ۰/۷۱ در سطح تجزیه ۱ آغاز می‌شود و به بیشترین مقدار، یعنی ۹۰/۵۱ و ۰/۸۱، در سطح تجزیه ۳ می‌رسد و دوباره روند نزولی در پیش می‌گیرد و در نهایت، به ۸۶/۶۶ و ۰/۷۳ در سطح تجزیه ۶ می‌رسد. در موجک پایه db4 نیز چنین روندی وجود دارد. به طوری که دقت کلی و آماره کاپا در باند ۳ از ۸۴/۱۵ و ۰/۶۹ به بیشترین مقدار در سطح تجزیه ۳، یعنی ۸۹/۸۰ و ۰/۷۶، می‌رسد و با روندی نزولی، در سطح تجزیه ۶ برابر با ۸۱/۴۸ و ۰/۶۳ می‌شود. در مورد دیگر باندها نیز چنین روندی وجود دارد. این نتیجه بیان می‌دارد که سطح تجزیه در دقت نقشه تغییرات حاصل شده تأثیر دارد.

موجک پایه دارای خانواده‌ای از موجک‌های پایه است. نوع موجک پایه اولیه نیز در نتایج حاصل شده تأثیر دارد. مقایسه نشان می‌دهد که دقت کلی و آماره کاپای حاصل از موجک پایه Bior3/7، برابر با ۹۰/۵۱ و

شهرستان بویراحمد). فصلنامه علوم محیطی، دوره هشتم، شماره ۳ (پیاپی ۳۱)، صص. ۱۹-۱.

Adithyan, M., Pandi, R.A., Ramesh, A., Venkatesen, J. & Tech, M., 2016, **Dual Ratio Operator and Wavelet Fusion Based Supervised Change Detection in SAR Image**, International Journal of Engineering Science and Computing, Vol. 6, No. 4, PP. 3260-3263.

Alagu Raja, R.A., Anand, V., Senthil Lumar, A., Maithani, S. & Abhai Kumar, V., 2013, **Wavelet Based Post Classification Change Detection Technique for Urban Growth Monitoring**, Springer Journal of the Indian Society of Remote Sensing, Vol. 41, No. 1, PP. 35-43

Ajadi, A.O., Franz, J., Meyer, F.G., Peter, W. & Webley, P.W., 2016, **Change Detection in Synthetic Aperture Radar Images Using a Multiscale-Driven Approach**, Remote Sensing, Vol. 8, No. 6, PP. 1-27.

Bouhleb, N., Ginolhac, G., Jolibois, E & Atto, A., 2015, **Multivariate Statistical Modeling for Multi-Temporal SAR Change Detection Using Wavelet Transforms**, Analysis of Multitemporal Remote Sensing Images (Multi-Temp), 8th International Workshop.

Bruzzone, L. & Prieto, D.F., 2000, **Automatic Analysis of the Difference Image for Unsupervised Change Detection**, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, Vol. 38, No. 3, pp. 1171-1182.

Zare Baghbidi, M., Jamshidi, K., Naghsh Nilchi, A.R. & Homayouni, S., 2011, **Improvement of Anomaly Detection Algorithms in Hyperspectral Image Using Discrete Wavelet Transform**, Signal and Image Processing, Vol. 2, No. 4, PP. 13-25.

Carvalho, O.A., Guimaraes, R.F., Gomes, R.A.T., deCarvalho, A.P.F. & daSilva, N.C., 2006, **Normalization of Multi-Temporal Images Using a New Change Detection Method Based on the Spectral Classifier**, Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS, IEEE International Conference, PP. 771 - 774.

۰/۸۱، از دقت کلی و آماره کاپا در db4، معادل ۸۹/۸۰ و ۰/۸۰، بالاتر است.

بین آماره کاپا و دقت کلی حاصل از روش‌های بارزسازی تفاضل، نسبت و طبقه بندی با تکنیک موجک مقایسه‌ای انجام شده است. برای نمونه، در باند ۳ دقت کلی و آماره کاپا برای سه روش یادشده، به ترتیب، برابر ۹۰/۵۱ و ۰/۸۱ و ۵۳/۳۱ و ۰/۴۱ و ۴۶/۶۸ و ۰/۳۰ و ۵۹/۷۶ و ۰/۷۱ است. نتایج این مقایسه نشان می‌دهد که دقت کلی و آماره کاپای محاسبه شده برای تبدیل موجک از دیگر روش‌ها بهتر است. همچنین، طبق نقشه تغییرات به دست آمده می‌شود دید لبه‌ها واضح و دقیق نمایش داده شده‌اند. این ویژگی امکان بارزسازی بصری را برای ببیننده فراهم می‌کند.

مهم‌ترین نوآوری این تحقیق به کارگیری تکنیک چندمقیاسی موجک، به صورت ترکیب با تفاضل روی تصاویر ماهواره لندست است که طبق نتایج، روی این تصاویر نیز به خوبی عمل می‌کند و تغییرات را نشان می‌دهد.

روش‌های گوناگونی برای بهبود عملکرد تکنیک موجک وجود دارد. پیشنهاد می‌شود محققان این روش‌ها را بررسی کنند، برای نمونه، ترکیب با رگرسیون خطی یا بررسی توزیع مکانی پیکسل‌های دارای تغییر و بدون تغییر.

هرچند تبدیل موجک روی باندها به صورت تکی کار می‌کند، می‌شود هم‌زمان کاربرد آن را روی داده‌های چندطیفی بررسی کرد.

۵- منابع

جعفری، ح.، حمزه، م.، نصیری، ح.، رفیعی، ی.، ۱۳۹۰، توسعه مدل مفهومی مبتنی بر الگوریتم Decision Tree و داده‌کاوی به منظور آشکارسازی تغییرات پوشش اراضی با استفاده از تصاویر سنجنده TM و داده‌های کمکی (مطالعه موردی: بخش مرکزی

- Carvalho, L.M.T., Acerbi, F.W., Scolforo, J.R., de Mello, J.M. & de Oliveira, A.D., 2007, **Wavechange: A Procedure for Change Detection Based on Wavelet Product Spaces**, Analysis of Multi-temporal Remote Sensing Images, PP. 1-5 .
- Celik, T., 2009, **Unsupervised Change Detection in Satellite Images Using Principal Component Analysis and K-Means Clustering**, Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE ,Vol. 6, Issue 4, PP. 772 – 776.
- Dai, X. & Khorram, S.,1998, **The Effects of Image Misregistration on the Accuracy of Remotely Sensed Change Detection**, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, Vol. 36, No. 5, PP. 1566–1577.
- Peijun Du, P., Sicong Liu, S., Xia, J. & Zhao, Y., 2013, **Information Fusion Techniques for Change Detection from Multi-Temporal Remote Sensing Images**, Information Fusion, Vol. 14, No. 1, PP. 19–27.
- Elvidge, Y. & Lunetta, R.S, 1999, **Survey of Multi-Spectral Methods for Land-Cover Change Detection Analysis in Remote Sensing Change Detection**, Environmental Monitoring Methods and Applications, edited by R.S. Lunetta and C.D. Elvidge, London, UK: Taylor & Francis, PP. 21-39.
- Epinat, V., Stein, A. , Jong, S. & Bournal, J., 2001, **A Wavelet Characterization of High-Resolution NDVI Patterns for Precision Agriculture**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol. 3, No. 2, PP. 121–132.
- Cohen, J.,1960, **A Coefficient of Agreement for Nominal Scale**, Educ. Psychol Measure, Vol. 20, PP. 37-46.
- Galford, G.L., Mustard, J.F, Melillo, J., Gendrin, A., Cerri, C. & Cerri, C.E.P.C., 2008, **Wavelet Analysis of MODIS Time Series to Detect Expansion and Intensification of Row-Crop Agriculture in Brazil**, Remote Sensing of Environment, Vol. 112 , PP. 576–587.
- He, Z., Wei, Zh., Feng, H. & Wang, L.,2013, **The Application of Wavelet Transform and the Adaptive Threshold Segmentation in Image Change Detection**, Advanced Materials Research, Vol. 709, PP. 547-550.
- Hussain, M., Chen, D.,Cheng, A. & Wei, H.,2013, **Change Detection from Remotely Sensed Images: From Pixel-Based to Object-Based Approaches**, Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 80, PP. 91-106.
- Jensen, J.R., 1996, **Introductory Digital Image Processing: Remote Sensing Preperspective**, second edition, New Jersey, USA: Prentice Hall, PP. 257-278.
- Jia, L., Wu, Y., An, L., Song, W., Li, M. & Zhang, P., 2016, **Remote-Sensing Image Change Detection with Fusion of Multiple Wavelet Kernels**, Applied Earth Observations and Remote Sensing, Vol. 99, PP. 1-14.
- Khare, M., Srivastava, R.K. & Khare, A., 2014, **Single Change Detection-Based Moving Object Segmentation by Using Daubechies Complex Wavelet Transform**, IET Image Processing, Vol. 8, No. 6, PP. 334 - 344.
- Kingsbury, N., 2000, **A Dual-Tree Complex Wavelet Transform with Improved Orthogonality and Symmetry Properties**, in Proc. IEEE Int. Conf. Image Process., PP. 375–378.
- Krejcie, R.V. & Morgan, D.W.,1970, **Determining Sample Size for Research Activities**, Educational and Psychological Measurement, Vol. 30, PP. 607-610.
- Li, ZH. & Liu, G.,2008, **A Novel Scene Change Detection Algorithm Based on the 3d Wavelet Transform**, IEEE, 15th International Conference, PP. 1536- 1539.
- Li,Y., Davis, C.H., 2008, **Unsupervised Change Detection in High Resolution Satellite Imagery from Fusion of Spectral and Spatial Information**, **Geoscience and Remote Sensing Symposium, IEEE International**, II-109 - II-112.

- Li, H., Celik, T., Longbotham, N. & Emery, W.J., 2015, **Gabor Feature Based Unsupervised Change Detection of Multitemporal SAR Images Based on Two-Level Clustering**, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Vol. 12, No. 12, PP. 2458 – 2462.
- Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E. & Moran, E., 2004, **Change Detection Techniques**, International Journal of Remote Sensing, Vol. 25, No. 12, PP. 2365-2407.
- Lowell, K., 2001, **An Area-Base Accuracy Assessment Methodology for Digital Change Detection Maps**, International Journal of remote Sensing, Vol. 22, Issue 17, PP. 3571-3596.
- Mallat, S.G., 1998, **A Theory for Multi-Resolution Signal Decomposition; The Wavelet Representation**, IEEE Transactions On Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 2, No. 7, PP. 674-693.
- Mercier, G. & Inglad, J., 2008, **Change Detection with Misregistration Errors**, Geoscience and Remote Sensing Symposium, IEEE International 3, PP. 154-157.
- Moosavi, V., Talebi, A., Mokhtari, M.H., Fallah Shamsi, S.R. & Yaghoub Niazi, Y., 2015, **A Wavelet-Artificial Intelligence Fusion Approach (WAIFA) for Blending Landsat and MODIS Surface Temperature**, Remote Sensing of Environment, Vol. 169, PP. 243–254.
- Moser, G., Melgani, F., Serpico, B.S. & Caruso, A., 2003, **Partially Supervised Detection of Changes from Remote Sensing Images**, IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium, PP. 299-301.
- Moser, G., 2011, **Multiscale Unsupervised Change Detection on Optical Images by Markov Random Fields and Wavelets**, IEEE Geoscience and Remote Sensing letters, Vol. 8, No. 4, PP. 725-729.
- Pooja, H.M. & Dhanushree, M.C., 2012, **Change Detection in Synthetic Aperture Radar Image based Image Fusion And Fuzzy Clustering**, International, Journal of Engineering Science and Computing, PP. 201-206.
- Campos, A.N. & Bella, C.M.D., 2012, **Multi-Temporal Analysis of Remotely Sensed Information Using Wavelets**, Earth & Environmental Sciences, Vol. 4, No. 4, PP. 383-391.
- Richards, J.A. & Jia, X., 2006, **Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction**, Springer-Verlag, Berlin.
- Singh A., 1986, **Tropical Forest Monitoring Using Digital Landsat Data in Northeastern India**, Remote Sensing and Tropical Land Management, edited by M.J. Eden and J.T. Parry (London: John Wiley & Sons), PP.237-254.
- Si-Nong, Q., Ying, C., Bo-Li, X. & Gang-Yao, K., 2016, **Employing Multi-scale Fusion for SAR Image Change Detection**, **Signal Processing**, Vol. 32, No. 4, PP. 430-437.
- Tarantino, C., Adamo, M., Lucas, R. & Blonda, P., 2016, **Detection of Changes in Semi-Natural Grasslands by Cross Correlation Analysis with WorldView-2 Images and New Landsat 8 Data**, Remote Sensing of Environment, Vol. 175, PP. 65-72.
- Tong, T & He, G., 2005, **A Comparison of Wavelet and Fourier Analysis for Image Change Detection**, Geoscience and Remote Sensing Symposium.
- Van Oort, P.A.J., 2007, **Interpreting the Change Detection Error Matrix**, Remote Sensing of Environment, Vol. 108, No. 1, PP. 1–8.
- Zhang, J., Wang, X., Chen, T. & Zhang, Y., 2005, **Change Detection for the Urban Area Based on Multiple Sensor Information Fusion**, Geoscience and Remote Sensing Symposium IEEE, Vol. 1, PP. 226-228.
- Zhao, K., Valle, D., Popescu, S., Zhang, X. & Mallick, B., 2013, **Hyperspectral Remote Sensing of Plant Biochemistry Using Bayesian Model Averaging with Variable and Band Selection**, Geoscience and Remote Sensing Symposium IEEE, Vol. 132, PP. 102-119.