نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و چهارم، شماره ۷۲، بهار ۱۴۰۳

ارزیابی توان عملکردی عکس‌های ماهواره‌ای در تهیه‌ی نقشه مرز، خط ساحلی دریاچه زریبار و تغییرات سطح دریاچه

دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۲۴ **پذیرش نهایی**: ۱۴۰۰/۰۵/۲۸

صفحات: ۴۲۶-۴۰۱

سید هدایت شیخ قادری: دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
Email: hedayatp90@mail.com

عبدالسلام امین‌پور: دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران[۱]
Email: aminpour.abdulsalam@gmail.com

پرویز ضیائیان فیروزآبادی: دانشیار گروه سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
Email: p.zeaiean@gmail.com

چکیده

عکس‌های ماهواره‌ای کرونا و هکساگون با قدرت تفکیک مکانی ۱,۸ تا ۹ متر منبع مناسبی برای پایش و ارزیابی تغییرات پدیده‌های سطح زمین می‌باشند. هدف این تحقیق پایش تغییرات دریاچه زریبار در بازه ۲۰۱۹-۱۹۶۹ با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای کرونا، هکساگون و استر و توانایی عملکرد آن‌ها در پایش و استخراج خط ساحلی، مرزدریاچه و پهنه‌ی آبی می‌باشد. در این تحقیق برای تصحیح هندسی داده‌های کرونا و هکساگون از تصاویر گوگل ارث، از الگوریتم‌های استخراج خطواره، ماسک باینری و قطعه‌بندی شیفت‌میانگین به ترتیب برای استخراج خط ساحلی و مرز دریاچه، آشکارسازی تغییرات دریاچه و استخراج و پایش پهنه‌ی آبی دریاچه زریبار استفاده شد. یافته‌های حاصله نشان داد که در مرحله‌ی اول: تصحیح هندسی عکس‌های کرونا و هکساگون با استفاده از تصاویر گوگل ارث با میزان RMSE ۰,۳ و ۰,۴ پیکسل به دست آمد. در مرحله‌ی دوم، الگوریتم استخراج خطواره برای استخراج مرز دریاچه و خط ساحلی با استفاده از عکس‌های کرونا و هکساگون از دقت بالایی برخوردار بوده و با نقشه‌ی توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ همبستگی بالایی دارد. در مرحله‌ی سوم، روش طبقه‌بندی نظارت‌نشده ماسک باینری به‌منظور آشکارسازی تغییرات دریاچه با استفاده از عکس‌های کرونا و هکساگون به‌صورت قابل قبولی پیکسل‌های تغییریافته و تغییرنیافته را شناسایی کرده، به‌طوری‌که ۱۱ هکتار سطح دریاچه بیشترین تغییرات را داشته است. نهایتاً در مرحله‌ی چهارم مشخص شد که الگوریتم قطعه‌بندی شیفت میانگین و حد آستانه با اعمال بر روی‌داده‌های کرونا، هکساگون و استر جهت استخراج پهنه‌ی آبی موفقیت‌آمیز و در این میان عکس کرونا به علت قدرت تفکیک بالاتر، بهتر عمل کرده است. نتایج فوق نشان داد که دریاچه‌ی زریبار از سال ۱۹۶۹ تا سال ۲۰۱۹ با کاهش ۶,۵٪ مواجه بوده و یافته‌های حاصله همبستگی بالایی با محصول پهنه‌ی آبی استر دارد. به‌طورکلی یافته‌های این پژوهش پتانسیل استفاده از روش‌های پردازش تصویر رقومی برای داده‌های کرونا و هکساگون به‌منظور پایش و آشکارسازی تغییرات دریاچه‌ها را نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: کرونا، هکساگون، استر، قطعه‌بندی شیفت میانگین، استخراج خطواره، ماسک باینری، دریاچه زریبار

[۱] نویسنده مسئول: ۰۹۱۴۸۶۲۹۳۱۰

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.52547/jgs.24.72.401]

مقدمه

آشکارسازی تغییرات یکی از کاربردهای مهم سنجش‌ازدور است. اساساً آشکارسازی تغییرات، تعیین کمیت پدیده‌های زمانمند از تصویربرداری چند زمانه‌ی حاصل از سنجنده‌های چند طیفی مستقر در ماهواره را در برمی‌گیرد (کوپین و مروین[۲]، ۱۹۹۶). در طی چند دهه‌ی گذشته که امکان اخذ تصاویر از سنجنده‌های مختلف از سطح زمین وجود داشته، همواره استفاده از تصاویر مختلف درزمینه‌ی آشکارسازی تغییرات موردتوجه محققان مختلف قرارگرفته است (چن[۳] و همکاران، ۲۰۱۲ و کوپ[۴] و همکاران، ۲۰۰۶). در طی سال‌های گذشته، پایش مناطق ساحلی و استخراج تغییرات سطح آب در فاصله‌های زمانی مختلف به‌عنوان یک پژوهش زیربنایی موردتوجه واقع شده است، زیرا خطوط ساحلی ماهیتی دینامیکی داشته و مدیریت و ارزیابی چنین محیط‌های اکولوژیکی و مهم، نیازمند داشتن اطلاعات دقیق در طول زمان می‌باشد (جاپ[۵]، ۱۹۸۸). نکته‌ای که اهمیت زیادی دارد این است که بتوان چنین تغییراتی را به‌دقت بررسی کرده تا فرایندهای طبیعی و انسانی به‌وجود آورنده این تغییرات را به‌خوبی شناخت. همچنین برنامه‌ریزی برای حفاظت و توسعه تالاب‌ها به پایش تغییرات آن‌ها در طول زمان، نیازمند است. فناوری سنجش‌ازدور در ارزیابی تغییرات، به دلیل پوشش مکرر و تکراری از سطح کره‌ی زمین نقش برجسته‌ای دارد. در این میان استفاده از تصاویر باقدرت تفکیک مکانی بالا به‌علت کیفیت و آشکارسازی جزئیات پدیده‌های سطح زمین جایگاه خاصی نزد محققان دارد (چن و همکاران، ۲۰۱۲ و کوپ و همکاران، ۲۰۰۶). اگرچه آشکارسازی تغییرات سطح زمین با استفاده از سنجش‌ازدور ماهواره‌ای عمدتاً محدود به دوران ماهواره‌های لندست از سال ۱۹۷۲ تا حال حاضر است (سونگ[۶] و همکاران، ۲۰۱۵)، اما در برخی موارد منابع داده‌های باقدرت تفکیک بالای قدیمی‌تر در دسترس هستند نمونه‌ای از چنین آرشیوی برنامه نسبتاً ناشناخته کرونا[۷] است که منبع بسیار خوبی از اطلاعات مربوط به تغییر سطح به‌ویژه برای ایران است. عکس‌های شناسایی ماهواره‌ای مأموریت‌های کرونا و هکساگون[۸] که به‌عنوان بخشی از برنامه کی‌هول[۹] ایالات‌متحده آمریکا به‌دست‌آمده بود، در سال‌های ۱۹۹۵، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۳ از طبقه‌بندی خارج شد (گورلیچ[۱۰] و همکاران، ۲۰۱۷). در سال ۱۹۹۵ عکس‌های طبقه‌بندی نشده از بایگانی خارج و به‌طور وسیع در دسترس جامعه قرار گرفت (رجینا[۱۱]، ۲۰۰۳، بیندچادلر[۱۲] و ورنبرگر[۱۳]، ۱۹۹۸). این

[2] Coppin and Marvin
[3] Chen
[4] Coops
[5] JUPP
[6] Song
[7] CORONA
[8] Hexagon
[9] Key Hole
[10] Goerlich
[11] Regina
[12] Bindschadler
[13] Vornberger

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.401]

عکس‌های ماهواره‌ای از آن زمان در زمینه‌های مختلفی مورداستفاده قرارگرفته است، اگرچه به دلیل مشکلات فنی در پردازش تصویر استاندارد تا حدودی محدود است. در این راستا این داده‌ها با وجود محدودیت‌های موجود در مطالعات مختلف همچون پایش و آشکارسازی تغییرات کاربرد داشته‌اند که از جمله‌ی این موارد می‌توان به تغییر منابع زمین (تاپن[۱۴] و همکاران، ۲۰۰۰)، تغییرات سطح و پهنای برف (بیندچادلر و ورنبرگر، ۱۹۹۸)، نقشه‌برداری تغییرات پوشش جنگلی (سونگ و همکاران، ۲۰۱۵، رندنیکس[۱۵] و همکاران،۲۰۲۰)، تحلیل تغییرات ارتفاع جهانی (دهک[۱۶] و همکاران،۲۰۲۰)، تحلیل تغییرات چشم‌انداز (میهای[۱۷] و همکاران،۲۰۱۶)، تحلیل و آشکارسازی تغییرات به‌منظور توسعه‌ی شهری (ساندریک[۱۸] و همکاران، ۲۰۰۷، استراتولیاس[۱۹] و کبادای[۲۰]، ۲۰۲۰)، ارزیابی و آشکارسازی تغییرات مخاطرات طبیعی (استراتولیاس و کبادای،۲۰۲۰)، مطالعه تغییرات یخچال‌ها (پیک زونکا[۲۱] و همکاران، ۲۰۱۳، لامسال[۲۲] و همکاران، ۲۰۱۷، گورلیچ[۲۳] و همکاران، ۲۰۱۷، هولزر[۲۴] و همکاران، ۲۰۱۵) و غیره اشاره کرد. در واقع در بسیاری از مطالعات انجام‌شده با استفاده از این داده‌ها به‌طور عمده از طریق تفسیر بصری انجام گرفته و از الگوریتم‌های پردازش تصویر به‌ندرت برای استخراج اطلاعات استفاده‌شده است. ازآنجاکه داده‌های کرونا و هکساگون بسیاری از مناطق سطح زمین را پوشش داده‌اند، می‌توان در بسیاری از کاربردها ازجمله پایش منابع آبی از آن‌ها استفاده کرد. در همین راستا هرچند طی دهه‌های اخیر مناطق آبی در مقیاس ناحیه‌ای، منطقه‌ای، قاره‌ای و جهانی با استفاده از داده‌های AVHRR (ژانگ[۲۵] و همکاران، ۲۰۱۳ و چی[۲۶] و همکاران، ۲۰۱۱)، مودیس (بارتون[۲۷] و باتهولس[۲۸]، ۱۹۸۹)، لندست و سنتینل (ایورا[۲۹] و همکاران، ۲۰۰۸) به‌وفور مطالعه شده‌اند، اما آنچه مهم است داده‌های کرونا و هکساگون چندان در زمینه‌ی مطالعات پهنه‌های آبی موردمطالعه قرار نگرفته‌اند. در ادامه به برخی از این پژوهش‌ها که با تصاویر سنجنده‌های دیگر انجام شده است، اشاره خواهد شد.

بررسی‌های وینتر[۳۰] و همکاران (۲۰۰۱) و گارسیا[۳۱] و سیپهارد[۳۲] (۲۰۰۱) نشان داد که مساحت پهنه‌ی آبی بسیاری از تالاب‌ها در سراسر جهان به دلایلی مانند افزایش جمعیت و استفاده آب در بالادست، انحراف آب،

[14] Tappan
[15] Rendenieks
[16] Dehecq
[17] Mihai
[18] Sandric
[19] Stratoulias
[20] Kabaday
[21] Pieczonka
[22] Lamsal
[23] Goerlich
[24] Holzer
[25] Zhang
[26] Qi
[27] Barton
[28] Bathols
[29] Evora
[30] winter

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.401]

سدسازی، بیابان‌زایی، تغییرات آب و هوایی و سیاست‌های نادرست به‌شدت کاهش یافته است. به‌طوری‌که بیش از ۸۱٪ مساحت تالاب‌ها از طریق تبدیل به زمین‌های کشاورزی طی سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۱ از بین رفته است. در سال ۲۰۰۴ بایرام[۳۳] و همکارانش با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای کرونا، اسپات و IRS به بررسی تغییرات خط ساحلی بخشی از دریای سیاه در استانبول بین سال‌های ۱۹۶۳، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۰ پرداختند. آن‌ها پس از تصحیح داده‌های موجود به‌صورت دستی، خط ساحلی را برای سال‌های مختلف رسم کرده و تغییرات خط ساحلی را برای هرکدام از تاریخ‌ها بررسی کردند. عمادی و همکارانش در سال ۲۰۱۰ روند تغییرات تالاب انزلی را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ارزیابی کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد تالاب انزلی طی دوره ده‌ساله دچار تخریب شده و تغییرات پدیده‌های مرتبط با آن مانند مساحت بخش آبگیر تالاب و نوع پوشش گیاهی به سمت افزایش تغذیه‌گرایی رفته است. در سال ۲۰۱۵ رکنی و همکاران در تحقیقی با استفاده از تصاویر TM و +ETM به بررسی تغییرات دریاچه ارومیه بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ پرداختند. آن‌ها در مطالعه‌ی خویش با استفاده از روش‌های مختلف ادغام تصویر در سطح پیکسل و همچنین روش‌های طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان و روش حداکثر احتمال به استخراج و تهیه‌ی نقشه تغییرات دریاچه ارومیه پرداختند. نتایج حاصله حاکی از آن بود که دریاچه ارومیه بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ حدود یک سوم آب خود را ازدست‌داده است. در سال ۲۰۱۹ لیانگ[۳۴] و همکاران با استفاده از فناوری سنجش‌ازدور و شاخص تفاضل نرمال شده آب اصلاح شده[۳۵] (MNDWI) و پارامترهای اقلیمی بین سال‌های ۱۹۸۸-۲۰۱۴ به کمک پروداکت‌های ماهواره‌ای، محدوده‌ی دریاچه‌ی هونجیانگ[۳۶] (HJLB) را موردبررسی قرار داده و ویژگی پاسخ چندمقیاسی از مساحت دریاچه را با استفاده از تحلیل همبستگی موردبررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها حاکی از آن بود که مساحت دریاچه در طول سال‌های ۱۹۸۸-۲۰۱۴ کاهش داشته است. با توجه به ادبیات تحقیق می‌توان گفت که تاکنون مطالعات چندانی درزمینه‌ی پایش و آشکارسازی تغییرات پهنه‌های آبی با استفاده از عکس‌های ماهواره‌ای کرونا و هکساگون انجام نگرفته است و تحقیق حاضر جزو اولین تحقیق‌ها در داخل و خارج کشور می‌باشد. لذا هدف از انجام این تحقیق به‌کارگیری الگوریتم‌های پردازش تصویر رقومی به‌منظور پایش تغییرات دریاچه زریبار در بازه ۲۰۱۹-۱۹۶۹ با استفاده از عکس‌های ماهواره‌ای کرونا، هکساگون و تصاویر ماهواره‌ای استر و همچنین ارزیابی توان عملکردی این داده‌ها می‌باشد؛ که در مرحله اول به‌منظور شناسایی و استخراج خط ساحلی و مرز دریاچه از الگوریتم استخراج خطواره استفاده می‌گردد. در مرحله‌ی دوم جهت آشکارسازی تغییرات دریاچه زریبار با استفاده از عکس‌های ماهواره‌ای کرونا و هکساگون در بازه‌ی زمانی ۱۹۶۹ و ۱۹۷۵ از روش طبقه‌بندی نظارت‌نشده ماسک باینری استفاده می‌گردد. همچنین جهت استخراج پهنه‌های آبی با استفاده از عکس‌های ماهواره‌ای کرونا، هکساگون و تصاویر ماهواره‌ای استر از روش قطعه‌بندی

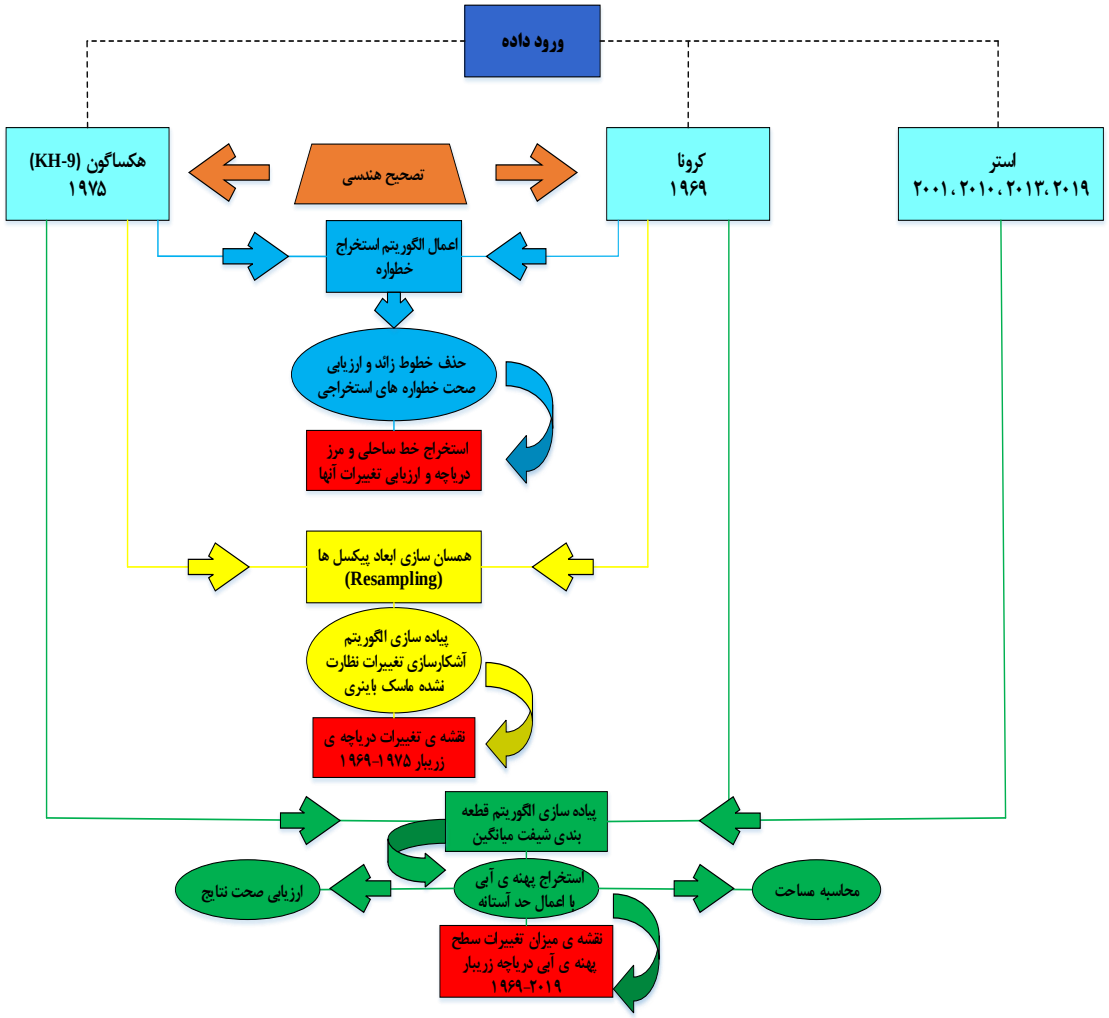
[31] Garcia
[32] Syphard
[33] Bayram
[34] Liang
[35] Modified Normalized Difference Water Index
[36] Hongjian Lake Basin

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.401]

شیفت میانگین همراه با حد آستانه استفاده کرده و درنهایت جهت ارزیابی و صحت سنجی نتایج آن از محصول پهنه‌ی آبی استر استفاده می‌شود.

روش تحقیق

هدف از انجام این تحقیق ارزیابی توان عملکردی عکس‌های ماهواره‌ای کرونا، هکساگون و تصاویر استر در تهیه‌ی نقشه مرز و خط ساحلی دریاچه زریبار و استخراج میزان تغییرات سطح دریاچه در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۱۹ -۱۹۶۹ می‌باشد. در شکل (۱) روند کلی تحقیق نشان داده شده است.



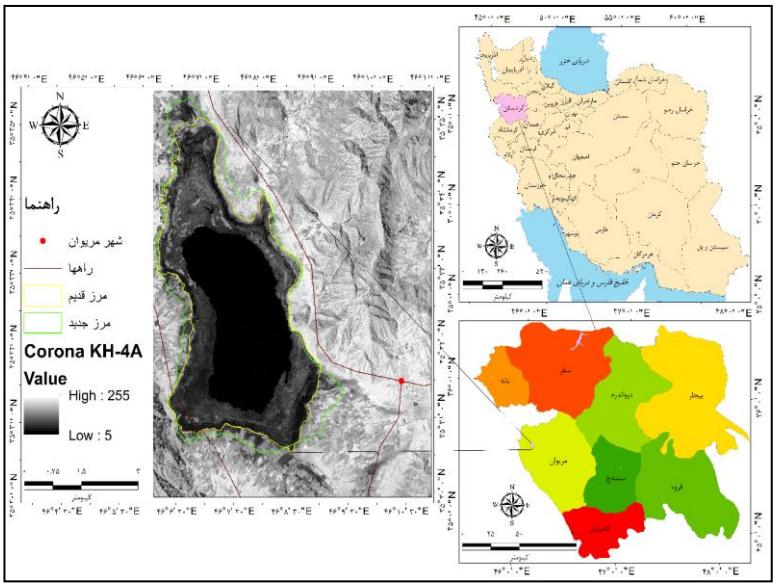
شکل (۱). مدل مفهومی از روند کلی انجام پژوهش

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.52547/jgs.24.72.401]

معرفی محدوده موردمطالعه

دریاچه زریبار یکی از بارزترین و ارزشمندترین اکوسیستم‌های آب شیرین در غرب ایران است. دریاچه‌ی زریبار در ´۳۲ °۳۵ شمالی و ´۰۸ °۴۶ شرقی و ۳ کیلومتری شهر مریوان واقع در استان کردستان ایران قرار دارد. حداکثر ارتفاع حوضه ۲۱۲۰ متر و حداقل ارتفاع آن در محل خروجی تالاب ۱۲۸۵ متر از سطح دریا می‌باشد؛ که دارای طول ۵ کیلومتری، حداکثر عرض ۱/۶ کیلومتری، حداکثر عمق ۶ متری، مساحت ۸/۹ کیلومترمربعی و حجم ۳۰ میلیون مترمکعبی است (ایمانی و همکاران، ۲۰۱۷). به‌این‌ترتیب مساحت کاسه تالاب حدود ۸/۳ است که با حواشی نیزار جمعاً حدود ۲۰ کیلومترمربع وسعت دارد شکل (۲). این موضوع باعث شده تا بتوان به‌راحتی بر روی آن قایقرانی کرد. دریاچه‌ی زریبار یکی از دریاچه‌های آب شیرین بزرگ است که دورتادور آن با کوه‌هایی زیبا از درختان و مراتع احاطه‌شده است که جلوه‌ای منحصربه‌فرد به این دریاچه می‌دهند. آب این دریاچه از چشمه‌های بستر دریاچه و همچنین بارندگی تأمین می‌شود. تالاب زریبار یکی از منحصربه‌فردترین دریاچه‌های جهان به‌شمار می‌رود و شرایط کلی یک تالاب بین‌المللی را دارد. این دریاچه در تاریخ بیستم بهمن ۱۳۸۹ با شماره ۱۰۲ در فهرست میراث طبیعی ایران به ثبت رسیده است. همچنین این تالاب از سال ۱۳۸۸ به‌عنوان پناهگاه حیات‌وحش تحت نظر سازمان محیط‌زیست قرار دارد. ضمناً، دریاچه‌ی زریبار با مشکلاتی اعم از ورود فاضلاب شهری به داخل دریاچه و پوشش گیاهی و رشد جلبک در اعماق آن و رشد نیزار روی سطح دریاچه روبه‌روست (آمار و اطلاعات سازمان محیط‌زیست، ۲۰۱۶).



شکل (۲). نقشه‌ی منطقه‌ی موردمطالعه

داده‌ها

کرونا

کی هول نام برنامه عکس‌برداری ماهواره‌ای اکتشافی از سال ۱۹۶۰ تا ۱۹۸۴ است که گستره وسیعی از پایش را در مقایسه با داده‌های ماهواره‌ای بعدی نظیر لندست که به‌طور گسترده مورداستفاده قرار می‌گیرند، فراهم

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.52547/jgs.24.72.401]

می‌کند. ماهواره کرونا از مجموعه‌ای از دوربین‌های پانوراما با مشخصات KH (Key Hole) استفاده می‌کند (داشورا[۳۷] و همکاران، ۲۰۰۷). عکس‌های کرونا در ابتدا توسط دوربین‌های پانوراما گرفته شد و بر روی فیلم، با واکنش شدید در طیف مریی (۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر) ثبت شد. داده‌های کرونا در هر برداشت خود در مأموریت KH4-A به‌صورت تقریبی ۱۷ تا ۲۳۲ کیلومتر و در مأموریت KH4-B ۱۳,۸ تا ۱۸۸ کیلومتر را عکس‌برداری می‌کردند (گالیاتساتوس[۳۸]، ۲۰۰۹). برای اطمینان از دید برجسته‌بینی با دو دوربین پانوراما، دوربین‌های پانورامیک با اسکن از طریق سیستم‌های دوربین KH - 4 A و KH - 4 B تصاویر را روی یک فیلم عکاسی با اندازه ۷۵۷ میلی‌متر تا ۵۵ میلی‌متر، ثبت کردند (گالیاتساتوس، ۲۰۰۹).

هکساگون

Hexagon (KH-9) که داده‌هایش در سال ۲۰۰۲ از طبقه‌بندی خارج شد، بخشی از برنامه ماهواره‌ای شناسایی کی هول ایالات‌متحده آمریکا بود. بااین‌حال، کماکان جزئیات اطلاعات اعوجاج لنز با فیلم از حالت طبقه‌بندی خارج نشده و به‌صورت محرمانه باقی مانده است. سیستم دوربین نقشه‌برداری (MC[۳۹]) بین آوریل ۱۹۷۳ (مأموریت ۱۲۰۵) تا ژوئن ۱۹۸۰ (مأموریت ۱۲۱۶) فعالیت می‌کرد. سیستم لنز زمینی ۱۲ اینچی مورداستفاده، با حداکثر تحریف ۲۶ میکرومتر و میدان دید لحظه‌ای ۸۰ درجه، پوشش زمینی ۲۵۹×۱۲۹ کیلومترمربعی را در مقیاس ۱:۶۰۰۰۰۰ در ارتفاع ۱۷۰ کیلومتر با وضوح ۹–۶ متر فراهم می‌کند (برنت[۴۰]، ۲۰۱۲). با توجه به طراحی قاب دوربین، عکس‌های هکساگون دارای چهار علامت فیدوشال و ۱۰۸۱ شبکه متقاطع بود که می‌توانست برای بازگرداندن هندسه تصویر در زمان برداشت تصویر مورداستفاده قرار گیرد (سورازاکوف[۴۱]:۲۰۱۰). برای مأموریت‌های هکساگون مشابه مأموریت KH-4 که اولین مأموریت ارائه پوشش استریو بود از رزولوشن فیلم حدود ۸۵ lp / mm (جفت خط در هر میلی‌متر) استفاده شد.

استر

پرتوسنج حرارتی تابشی و بازتابشی فضا برد پیشرفته (ASTER[۴۲]) یک تصویرگر چند طیفی پیشرفته است که در دسامبر ۱۹۹۹ روی صفحه‌ی مدار فضاپیمای ترای ناسا پرتاب شد. استر محدوده طیفی گسترده‌ای با ۱۴ باند از مرئی تا مادون‌قرمز حرارتی باقدرت تفکیک مکانی، طیفی و رادیومتریک بالا را پوشش می‌دهد. قدرت تفکیک مکانی با طول‌موج تغییر می‌کند به‌طوری‌که در محدوده مرئی و مادون‌قرمز نزدیک ۱۵ متر، در مادون‌قرمز طول موج‌کوتاه ۳۰ متر و در مادون‌قرمز حرارتی ۹۰ متر به تصویربرداری می‌پردازد که هر تصویر وسعت ۶۰ × ۶۰ کیلومتر را پوشش می‌دهد. (راهنمای کاربران استر[۴۳]، ۲۰۰۱)

[37] Dashora
[38] Galiatsatos
[39] Mapping Camera
[40] Burnett
[41] Surazakov
[42] Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer(ASTER)
[43] Aster User Guide

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.401]

پهنه‌های آبی جهانی استر

محصول داده‌های نسخه‌ی ۱ پایگاه داده‌های پهنه‌های آبی جهانی استر (ASTWBD[۴۴])، پوشش جهانی پهنه‌های آبی بزرگ‌تر از ۰/۲ کیلومترمربع در یک قدرت تفکیک مکانی ۱ آرک ثانیه (تقریباً ۳۰ متر) در خط استوا را همراه با اطلاعات ارتفاعی مربوطه فراهم می‌کند. محصول داده‌های ASTWBD همراه با محصول داده‌های نسخه‌ی ۳ مدل رقومی ارتفاعی جهانی استر[۴۵] توسط انجمن آزمایشگاه اطلاعات سنجنده (SILC) در توکیو ارائه‌شده است. محصول داده‌های نسخه‌ی ۳ با استفاده از تصاویر استری سطح 1A که بین یکم مارس سال ۲۰۰۰ و ۳۰ ام نوامبر سال ۲۰۱۳ به‌دست‌آمده‌اند، تولیدشده است. سپس محصول داده‌های ASTWBD برای تصحیح مقادیر ارتفاعی سطوح پهنه‌ی آب تولید شدند. (https://lpdaac.usgs.gov/products/astwbdv001/) ویژگی‌ها و تاریخ اخذ هر یک از داده‌های مورداستفاده در جداول (۱ و ۲) نمایش داده‌شده است.

جدول (۱). مشخصات داده‌های مورداستفاده

قدرت تفکیک رادیومتریک	محدوده طیفی	قدرت تفکیک مکانی	تاریخ اخذ داده	سنجنده
۸	پانکروماتیک	۲,۷۰-۷,۶۰m^۲	1969/08/03	CORONA KH-4A
۸	پانکروماتیک	۶-۹ m^۲	1975/06/24	Hexagon KH-9
۸	مادون‌قرمز نزدیک	۱۵ m^۲	2001/07/05	ASTER
۸	مادون‌قرمز نزدیک	۱۵ m^۲	2010/07/04	ASTER
۸	مادون‌قرمز نزدیک	۱۵ m^۲	2013/07/18	ASTER
۸	مادون‌قرمز نزدیک	۱۵ m^۲	2019/07/04	ASTER

(منبع: راهنمای کاربران استر، ۲۰۱۰، منابع موجود در متن و سازمان زمین‌شناسی آمریکا)

جدول ۱. مشخصات داده‌های مورداستفاده به‌منظور صحت سنجی نتایج

مقیاس / قدرت تفکیک مکانی	زمان اخذ داده	داده
۳۰m^۲	۲۰۰۰-۲۰۱۳	ASTWBD
۱:۱۵۰۰۰۰	۱۹۹۷	نقشه توپوگرافی

(منبع: https://lpdaac.usgs.gov/products/astwbdv001/) و سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح)

روش کار

پس از اخذ و جمع‌آوری اطلاعات و پیش‌پردازش داده‌ها که در ادامه به آن پرداخته خواهد شد، پردازش روی‌داده‌ها در سه مرحله استخراج خط ساحلی و مرز دریاچه به‌وسیله الگوریتم استخراج خطواره، آشکارسازی تغییرات دریاچه زریبار با استفاده از عکس‌های ماهواره‌ای کرونا و هکساگون و نهایتاً استخراج پهنه‌های آبی با استفاده از عکس‌های ماهواره‌ای کرونا، هکساگون و تصاویر استر انجام خواهد شد. در ادامه به تشریح هریک از مراحل پرداخته می‌شود.

[44] Aster Water Body Data
[45] ASTER GDEM

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.401]

پیش‌پردازش (تصحیح هندسی عکس‌های ماهواره‌ای کرونا و هکساگون)

ازآنجاکه نقاط کنترل زمینی از منطقه موردمطالعه در دسترس نیست بنابراین در این تحقیق برای تصحیح هندسی از روش تصویر به تصویر استفاده می‌شود. لذا با توجه به روش مورداستفاده و کوهستانی بودن منطقه باید نقاط کنترل زمینی پراکندگی مناسب و کمترین تغییرات را داشته باشند. همچنین به‌منظور تهیه نقاط کنترل زمینی باید با توجه به رزولوشن تصویر ماهواره‌ای از نقشه‌ها و تصاویر با دقت مناسب استفاده کرد؛ بنابراین برای تصحیح داده‌ای مدنظر از تصاویر گوگل ارث استفاده می‌شود. به دلیل اینکه عرض برداشت سنجنده‌های موردنظر برای عکس‌برداری بسیار وسیع بودند ابتدا در مرحله اول جهت کاهش حجم داده‌ها و به حداقل رساندن خطای زمین مرجع، داده‌های مورداستفاده در ابعاد کوچک‌تر به‌صورت همسان برش داده شدند. در مرحله بعد ۲۲ نقطه به‌عنوان نقاط کنترل زمینی با پراکنش مناسب از منطقه‌ی مطالعاتی با استفاده از تصاویر گوگل ارث (۲۰۰۰ میلادی به بعد) برداشت کرده و در مرحله سوم با حذف ۷ نقطه دارای خطای زیاد نقاط موردنظر انتخاب و درنهایت جهت انجام تصحیح هندسی از توابع چندجمله‌ای و برای عمل نمونه‌برداری مجدد از روش نزدیک‌ترین همسایه استفاده می‌شود.

استخراج خطواره

الگوریتم استخراج خطواره[۴۶]

در تحقیق حاضر به‌منظور استخراج مرز و خط ساحلی دریاچه‌ی زریبار از الگوریتم استخراج‌خطواره استفاده می‌شود. در واقع ازآنجاکه مرز دقیق برای سال‌های ۱۹۶۹ و ۱۹۷۵ جهت جداسازی محدوده‌ی دریاچه وجود نداشت لذا با استفاده از الگوریتم فوق اقدام به استخراج مرز دریاچه و همچنین خط ساحلی شد. فرایند استخراج عوارض خطی شامل سه مرحله تشخیص لبه، حد آستانه گذاری و استخراج منحنی می‌باشد. در واقع برای استخراج لبه از الگوریتم تشخیص لبه‌ی کنی استفاده می‌شود (کنی[۴۷]، ۱۹۸۶). لذا در ابتدا تصویر ورودی با یک تابع گوسین رابطه (۱) فیلتر می‌شود (گرین[۴۸]، ۲۰۰۲، ماینی[۴۹] و آگروال[۵۰]، ۲۰۰۹)؛ که شعاعش با پارامتر RADI (شعاع فیلتر) تعیین‌شده. سپس، از تصویر فیلتر شده گرادیان محاسبه می‌شود. درنهایت، پیکسل‌هایی که گرادیانشان ماکزیمم محلی نیستند با جایگذاری شدت لبه برابر با صفر حذف می‌شوند.

$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma e^2}}$$ رابطه (۱)

در رابطه (۱)، G(x) فیلتر گوسین و σ انحراف معیار می‌باشد.

سپس تصویر شدت لبه برای دستیابی به یک تصویر باینری حد آستانه گذاری شده و در نهایت منحنی‌ها از

[46] Lineament extraction
[47] Canny
[48] Green
[49] Maini
[50] Aggarwal

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.401]

تصویر لبه‌ی باینری استخراج می‌شوند.

به‌طورکلی فرایند استخراج خطواره بر اساس شش مرحله اصلی انجام می‌گیرد که در زیر به آن‌ها اشاره می‌شود:

شعاع فیلتر[۵۱]، تشخیص لبه را برحسب پیکسل مشخص می‌کند که در تشخیص خطوط تراز نیز مورداستفاده قرار می‌گیرد و کوچک‌ترین سطح جزئیات را در تصویر ورودی تعیین می‌کند. مقدار بزرگ شعاع فیلتر سطح جزییات کمتری نشان می‌دهد؛ بنابراین ارزش ۳ تا ۸ (در واحد پیکسل) برای جلوگیری از ایجاد نویز توصیه می‌شود.

آستانه شیب لبه[۵۲] مقدار گرادیان آستانه که در تشخیص کانتورها باید در نظر گرفته شود و این مقدار بین ۰- ۲۵۵ می‌باشد. ارزش‌های بین ۱۰ تا ۳۰ برای تشخیص خطواره در تصاویر باکیفیت رادیومتریک متوسط قابل‌قبول می‌باشد.

آستانه انحنای منحنی[۵۳] حداقل طولی است که باید یک منحنی داشته باشد تا به‌عنوان خطواره شناخته شود. در مطالعه حاضر به دلیل مشخص کردن خط ساحلی و مرز دریاچه، مقدار ۱ (پیکسل) برای تصویر کرونا و مقدار ۱۰ برای تصویر هکساگون در نظر گرفته‌شده است تا خطواره‌های کوچک که به خط ساحلی و مرز دریاچه ارتباط ندارد، کاهش یابد.

آستانه تناسب خطا[۵۴] حدی (در واحد پیکسل) است که به خطوط منحنی مرحله قبل اجازه می‌دهد به‌عنوان خط شناخته شوند. مقادیر بین ۲ تا ۵ به علت این‌که تناسب بیشتری ایجاد می‌کنند برای این فاکتور توصیه شده است.

آستانه اختلاف زاویه‌ای[۵۵] زاویه‌ای است که دو خط برای مرتبط شدن به هم نباید از آن تجاوز کنند. مقادیر بین ۳ تا ۲۰ قابل‌پذیرش می‌باشد.

آستانه فاصله متصل شدن[۵۶] به‌عنوان حداکثر فاصله‌ای که دو خط می‌توانند داشته باشند تا به هم متصل شوند. معمولاً مقادیر بین ۱۰ تا ۴۵ قابل‌پذیرش است.

مقادیر پارامترهای به‌کاررفته در استخراج اتوماتیک خطواره برای عکس‌های ماهواره‌ای کرونا و KH-9 در جدول (۳) نمایش داده‌شده است.

جدول (۳). مقادیر پارامترهای به‌کاررفته در استخراج اتوماتیک خطواره‌ها برای عکس‌های ماهواره‌ای کرونا و هکساگون

مشخصات پارامترها				کرونا	هکساگون
شماره	پارامتر	واحد	دامنه	مقدار	
۱	RADI	پیکسل	۰-۱۰۰	۱۰	۹
۲	GTHR	پیکسل	۰-۲۵۵	۱۰	۹

[51] Filter Radius (RADI)
[52] Edge Gradient Threshold (GTHR)
[53] Curve Length Threshold (LTHR)
[54] Line Fitting Error Threshold (FTHR)
[55] Angular Difference Threshold (ATHR)
[56] Linking Distance Threshold (DTHR)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.401]

۳	LTHR	پیکسل	۰-۱۰۰	۵	۶
۴	FTHR	پیکسل	۰-۱۰۰	۳	۴
۵	ATHR	درجه	۰-۹۰	۲۰	۲۰
۶	DTHR	پیکسل	۰-۱۰۰	۲۰	۲۰

(منبع: نگارندگان)

پس از اجرای الگوریتم، خطواره‌های تصاویر استخراج شده و در این میان به‌منظور حذف خطوط زائد و ارزیابی صحت خطواره‌های استخراجی از عکس‌های توپوگرافی ۵۰۰۰۰ /۱ استفاده می‌گردد. به این صورت که بعد از استخراج خط ساحلی و مرز دریاچه از نقشه‌ی توپوگرافی، برروی خطواره‌های استخراجی از عکس‌های ماهواره‌ای کرونا و هکساگون قرار داده شده و خطوط زائد بر اساس آن حذف می‌گردند. ازآنجاکه یکی از اهداف این تحقیق هم یافتن خطواره‌هایی است که خط ساحلی و مرز دریاچه را نشان دهد، لذا پس از حذف خطوط زائد مرز دریاچه و خط ساحلی استخراج شده و نهایتاً به‌منظور ارزیابی تغییرات، طول هرکدام از خطوط ساحلی و مرز دریاچه مستخرج از داده‌های کرونا (۱۹۶۹) و هکساگون (۱۹۷۵) محاسبه‌شده و تغییرات آن‌ها نسبت به هم و نقشه‌ی توپوگرافی ۱۹۹۷ محاسبه خواهد شد.

روش پیشنهادی برای آشکارسازی تغییرات

در این روش فرض می‌شود دو تصویر X1 و X2 با اندازه‌ی I×J از یک مکان در دو زمان مختلف t_1 و t_2 برداشته شده‌اند. روش آشکا، سا: ، تغ ات نظارت نشده، یک ماسک تغییرات باینری $CM = \{cm(i, j)|1 \leq i \leq I, 1 \leq j \leq J\}$ ای رابطه (۲) ،امه فرض می‌کنیم که چنین تصاویری نسبت به همدیگر ثبت‌شده‌اند (کلیک[57]، ۲۰۱۰)، به‌گونه‌ای که خروجی آن مجموعه‌ای از پیکسل‌های تغییریافته و تغییرنیافته است. در این روش تصویر اختلاف $X_D = \{cm(i, j)|1 \leq i \leq I, 1 \leq j \leq J\}$ با توجه به نوع داده‌های ورودی محاسبه می‌شوند. درواقع هدف اصلی این کار تولید یک ماسک تغییرات باینری است که در آن $cm(i, j)$ بر مبنای اختلاف تصویر Xd که از روی تصاویر چند زمانه محاسبه‌شده، به‌صورت یک خروجی $cm(i, j) \in \{0, 1\}$ خواهد بود. برای تصاویر نوری X_D را می‌توان به‌صورت قدرمطلق تفاضل شدت مقادیر خاکستری تعریف کرد (کلیک، ۲۰۱۰).

$$X(i, j) = |X2(i, j) - X1(i, j)|$$

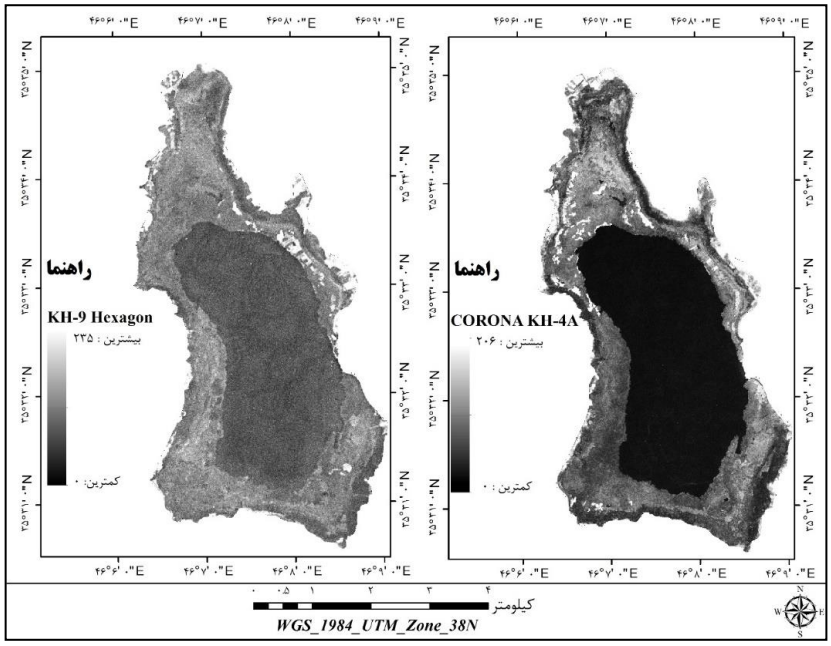
ازآنجاکه اطلاعات میدانی از دریاچه زریبار برای سال‌های ۱۹۷۵-۱۹۶۹ در دسترس نیست و از طرف دیگر داده‌های ماهواره‌ای کرونا و هکساگون هم به‌صورت پانکروماتیک هستند، از روش پیشنهادی یاد شده به‌منظور آشکارسازی تغییرات برای دو تاریخ ذکر شده استفاده می‌شود. هر چند دو داده ماهواره‌ای کرونا و هکساگون از نظر قدرت تفکیک مکانی اختلاف دارند؛ اما وجود اطلاعات مکانی مناسب در هر دو عکس ازیک‌طرف و قدرت

[57] Celik

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.52547/jgs.24.72.401]

تفکیک رادیومتریک یکسان (۸ بیت) از طرف دیگر باعث شده که بتوان با یک سری پیش‌پردازش، تغییرات دریاچه زریبار بین دو تاریخ مختلف را موردبررسی قرار داد شکل (۳). مراحل انجام کار به این صورت است که بعد از اخذ و تصحیح هندسی داده‌ها با تصاویر گوگل ارث، خروجی‌های حاصل از تصحیح هندسی عکس‌های کرونا و هکساگون نسبت به هم ثبت می‌شوند. به این صورت که چون عکس‌های ماهواره‌ای کرونا قدرت تفکیک مکانی بالاتری نسبت به هکساگون داشتند لذا به‌عنوان داده مبنا در نظر گرفته‌شده و عکس ماهواره‌ای هکساگون با استفاده از روش نزدیک‌ترین همسایه نسبت به آن ثبت و نمونه‌برداری مجدد می‌شود و در نهایت ابعاد پیکسل‌های هکساگون به ابعاد پیکسل‌های داده کرونا تغییر پیدا می‌کند. بعد از یکسان‌سازی ابعاد پیکسل‌های دو عکس ماهواره‌ای کرونا و هکساگون اکنون با توجه به رابطه (۲) تغییرات حاصله بین دو تاریخ عکس‌برداری به دست می‌آید.



شکل (۳). عکس‌های ماهواره‌ای کرونا (راست) و هکساگون (چپ) (منبع: نگارندگان)

قطعه‌بندی

ازآنجاکه بخشی از داده‌های مورداستفاده در این تحقیق به‌صورت تک باند هستند، امکان استفاده از بسیاری از روش‌ها مانند شاخص‌های طیفی و طبقه‌بندی جهت استخراج اطلاعات وجود ندارد. لذا پس از مطالعه فراوان و استفاده از روش‌های مختلف نهایتاً جهت استخراج پهنه‌ی آبی دریاچه زریبار از الگوریتمی که متناسب با همه‌ی داده‌های ماهواره‌ای کرونا، هکساگون و تصاویر ماهواره‌ای استر بود، استفاده کرده و تغییرات سطح آب در زمان‌های مختلف مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. همان‌طور که گفته شد عکس‌های پانکروماتیک کرونا و هکساگون دارای اطلاعات طیفی محدودی هستند؛ بنابراین امکان استفاده از بسیاری از روش‌ها مانند شاخص‌های طیفی و طبقه‌بندی جهت استخراج پهنه‌ی آبی وجود ندارد. بااین‌حال به دلیل قدرت تفکیک مکانی بالای این داده‌ها

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.401]

امکان استفاده از روش‌های قطعه‌بندی وجود دارد. روش پیشنهادی ما جهت استخراج پهنه آبی الگوریتم قطعه‌بندی شیفت میانگین همراه با حد آستانه می‌باشد.

قطعه‌بندی شیفت میانگین[58]

روش قطعه‌بندی شیفت میانگین در سال ۱۹۷۵ ابتدا توسط فوکاناگو[59] و هوستلر[60] پیشنهاد داده شد (کی[61] و آلتیناکار[62]، ۲۰۱۱) و بعداً توسط کومامیک[63] و میر[64] جهت خوشه‌بندی و قطعه‌بندی تصویر مورداستفاده قرار گرفت (رکنی[65] و همکاران، ۲۰۱۴). الگوریتم شیفت میانگین یک روش غیر پارامتریک بر مبنای تراکم، جهت آنالیز فضاهای پیچیده چند ماکزیمم برای توصیف خوشه‌های هم‌شکل است. این رویکرد نتایج فوق‌العاده‌ای را در خوشه‌بندی و توصیف اشیاء در تصاویر رنگی را ایجاد می‌نماید (رکنی و همکاران، ۲۰۱۴). الگوریتم فوق بر مبنای جستجوی حالت تراکم و خوشه‌بندی است. فضای ویژگی به‌طور تجربی به‌صورت تابع توزیع احتمال ویژگی‌های ورودی در نظر گرفته می‌شود و نواحی فشرده مربوط به ماکزیمم‌های محلی است که با روشی تکراری ماکزیمم‌های محلی را پیدا می‌کند. این روش بر مبنای یک تابع کرنل به‌صورت $K(x)$ با دامنه همسایگی جهت برآورد میانگین کار می‌کند و نشان می‌دهد چه تعداد نقاط در برآورد میانگین مشارکت دارند. رابطه (۳) میانگین نمونه را با در نظر گرفتن نقاط x و کرنل را نشان می‌دهد. اختلاف میان میانگین از x شیفت میانگین نامیده می‌شود. نحوه عملکرد این الگوریتم به‌صورت تکراری است و یک نقطه مانند x به را با میانگین$m(x)$ مطابق با رابطه (۳) جابجا می‌کند. همچنین، در این رابطه برای مجموعه‌ای از نقاط به تعداد n که X موقعیت هر نقطه در مجموعه نقاط و اندیسi، از ۱ الی n خواهد بود. علاوه بر این، در رابطه فوق h شعاع کرنل، g کرنل گوسی و بردار شیفت میانگین m متناظر با مقدار محاسبه‌شده در همسایگی مرکز کرنل (یا همان موقعیت نقطه x) می‌باشد.

$$m(x)=\frac{\sum_{i=1}^{n} x_i g\left(\left\|\frac{x-x_i}{h}\right\|^2\right)}{\sum_{i=1}^{n} g\left(\left\|\frac{x-x_i}{h}\right\|^2\right)}-x \qquad \text{رابطه (۳)}$$

برای انجام روش قطعه‌بندی شیفت میانگین ابتدا کل پهنه‌ی دریاچه به‌وسیله مرز آبی برش داده می‌شود. ازآنجاکه داده‌های مربوط به کرونا و هکساگون به‌صورت پانکروماتیک هستند برای فرض کردن شرایط یکسان باید از یک باند طیفی تصاویر ماهواره‌ی استر استفاده شود. لذا از باند مادون‌قرمز نزدیک تصاویر استر به دلیل

[58] Mean Shift Segmentation
[59] Fukunaga
[60] Hostetler
[61] Qi
[62] Altinakar
[63] Comamici
[64] Meer
[65] Rokni,

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.401]

اینکه پهنه‌های آبی در آن جذب بالا و پوشش گیاهی داخل دریاچه در همین محدوده بازتاب بالایی دارد جهت اعمال الگوریتم شیفت میانگین مورداستفاده قرار می‌گیرد. بعد از آماده‌سازی داده‌ها، الگوریتم قطعه‌بندی شیفت میانگین برروی عکس‌های ماهواره‌ای کرونا، هکساگون و تصاویر استر پیاده‌سازی می‌شود. پس از اعمال الگوریتم شیفت میانگین برای استخراج پهنه‌ی آبی از روش حد آستانه استفاده می‌شود. حد آستانه روشی برای بخش‌بندی تصویر بر اساس آستانه بهینه است، به‌نحوی‌که تصویر را به دو کلاس مجزا تقسیم نماید. درواقع درروش آستانه گذاری با استفاده از دو بازه مختلف کمینه و بیشینه می‌توان نواحی مدنظر در تصویر را استخراج کرد. برای مشخص کردن بازه مدنظر از هیستوگرام تصاویر استفاده می‌شود؛ بنابراین پس‌ازآنکه داده‌های مدنظر قطعه‌بندی شدند با استفاده از هیستوگرام برای هرکدام از عکس‌ها و تصاویر در زمان‌های مختلف بازه مقادیر کمینه و بیشینه برای استخراج پهنه‌ی آبی مشخص گردیدند. برای استخراج پهنه‌ی آبی دریاچه زریبار در بین دو بازه مدنظر قسمت کمینه، پیکسل با کمترین ارزش (۰) و در قسمت بیشینه، ارزش بیشترین پیکسل‌هایی که مربوط به پیکسل آب باشد با توجه به داده‌های موردنظر قرار داده می‌شود.

بحث و نتایج

تصحیح هندسی

پس از اخذ داده‌ها اولین قدم در اجرای مراحل تحقیق، تصحیح هندسی عکس‌های ماهواره‌ای کرونا و هکساگون بود. میزان خطای RMSE حاصل از تصحیح هندسی برای داده‌های کرونا ۰,۳ و داده‌های هکساگون ۰,۴ پیکسل به دست آمد که با توجه به کارهای تحقیقاتی انجام‌گرفته در زمینه‌ی تصحیح هندسی، می‌توان بیان کرد که تصحیح هندسی در این پژوهش با دقت مناسب و خطای کمتر از نیم پیکسل انجام‌گرفته و این میزان خطا برای زمین مرجع شدن، مناسب است. کوپین[66] و همکاران در سال ۲۰۰۴ نیز در مقاله مروری خود بیان داشتند که خطای کمتر از نیم پیکسل برای تصحیح هندسی تصاویر ماهواره‌ای قابل‌قبول می‌باشد.

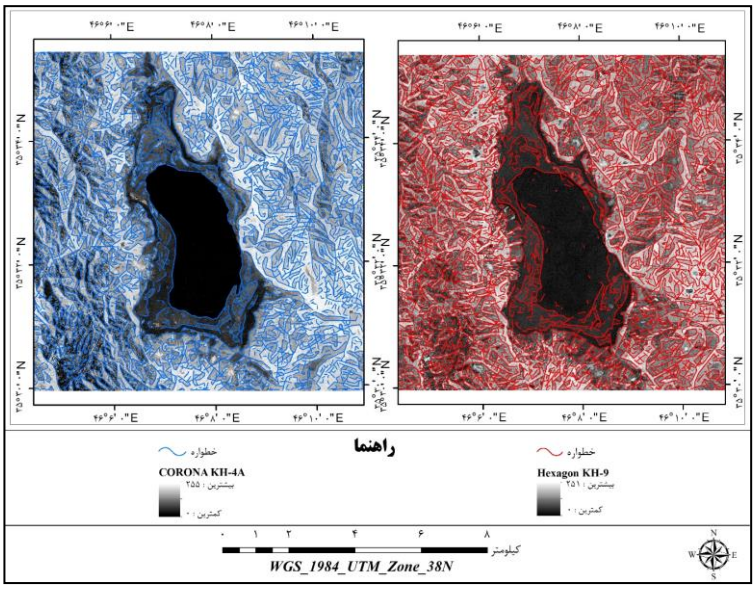
استخراج خط ساحلی و مرز دریاچه

الگوریتم استخراج خطواره به‌منظور استخراج خط ساحلی و مرز دریاچه بر روی عکس‌های ماهواره‌ای کرونا و هکساگون به ترتیب تعداد ۴۳۲۴ و ۴۲۵۰ خطواره را استخراج کرد. نتایج حاصل از الگوریتم فوق در شکل (۴) نمایش داده‌شده است.

[66] Coppin

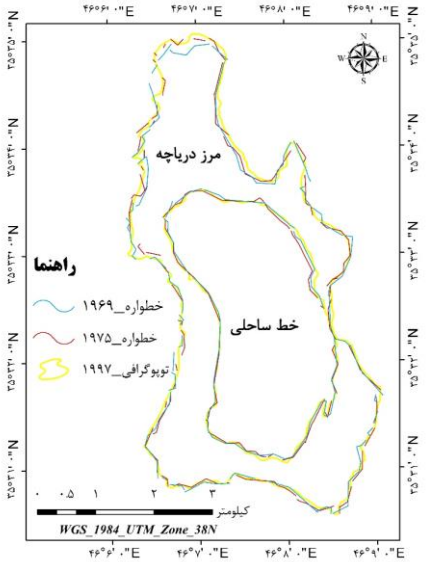
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.52547/jgs.24.72.401]



شکل (۴). نقشه‌ی تراکم خطواره‌ای استخراج‌شده با استفاده از الگوریتم استخراج خطواره (منبع: نگارندگان)

همان‌طور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود نتایج حاصل از الگوریتم استخراج خطواره به‌منظور استخراج خط ساحلی و مرز دریاچه با استفاده از عکس‌های ماهواره‌ای کرونا و هکساگون تطابق بالایی با خط ساحلی و مرز دریاچه استخراج‌شده از نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ دارد.



شکل (۵). نقشه‌ی خط ساحلی و مرز دریاچه مستخرج از عکس‌های ماهواره‌ای کرونا (۱۹۶۹)، هکساگون (۱۹۷۵) و نقشه‌ی توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ (۱۹۹۷) پس از حذف خطوط زائد (منبع: نگارندگان)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

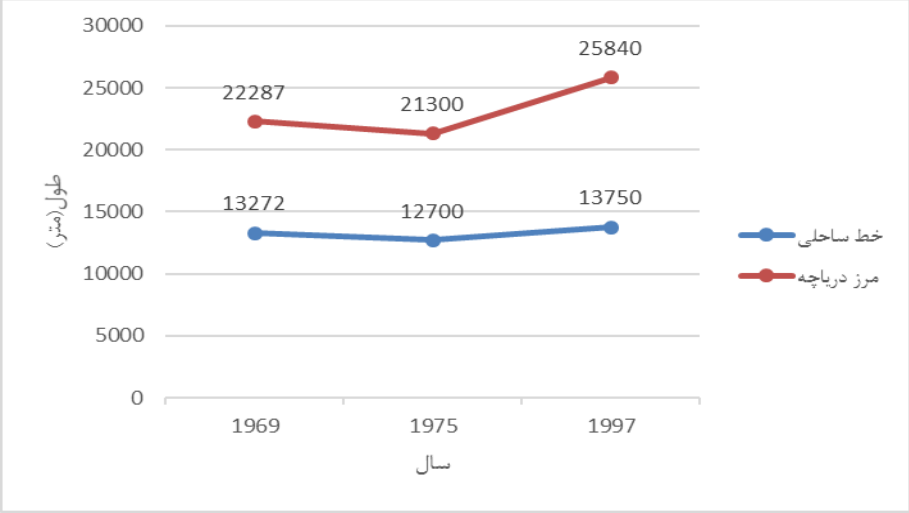
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.401]

طول خط ساحلی و مرز دریاچه برای عکس‌های ماهواره‌ای کرونا، هکساگون و نقشه‌ی توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ در جدول (۴) نمایش داده‌شده است.

جدول (۴). طول خط ساحلی و مرز دریاچه عکس‌های ماهواره‌ای کرونا (۱۹۶۹)، هکساگون (۱۹۷۵) و مقایسه با نقشه‌ی توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ (۱۹۹۷) (منبع: نگارندگان)

طول (کیلومتر)		
مرز دریاچه	خط ساحلی	سال
۲۲,۲۸۷	۱۳,۲۷۲	۱۹۶۹
۲۱,۳۰۰	۱۲,۷۰۰	۱۹۷۵
۲۵,۸۴۰	۱۳۳,۷۵۰	۱۹۹۷

نمودار طول خط ساحلی و مرز دریاچه استخراج‌شده با استفاده از الگوریتم استخراج خطواره دریاچه زریبار در شکل (۶) نمایش داده‌شده است.



شکل (۶). نمودار روند تغییرات خط ساحلی و مرز دریاچه مستخرج از الگوریتم استخراج خطواره با استفاده از عکس‌های ماهواره‌ای کرونا (۱۹۶۹)، هکساگون (۱۹۷۵) و مقایسه نقشه‌ی توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ (۱۹۹۷) (منبع: نگارندگان)

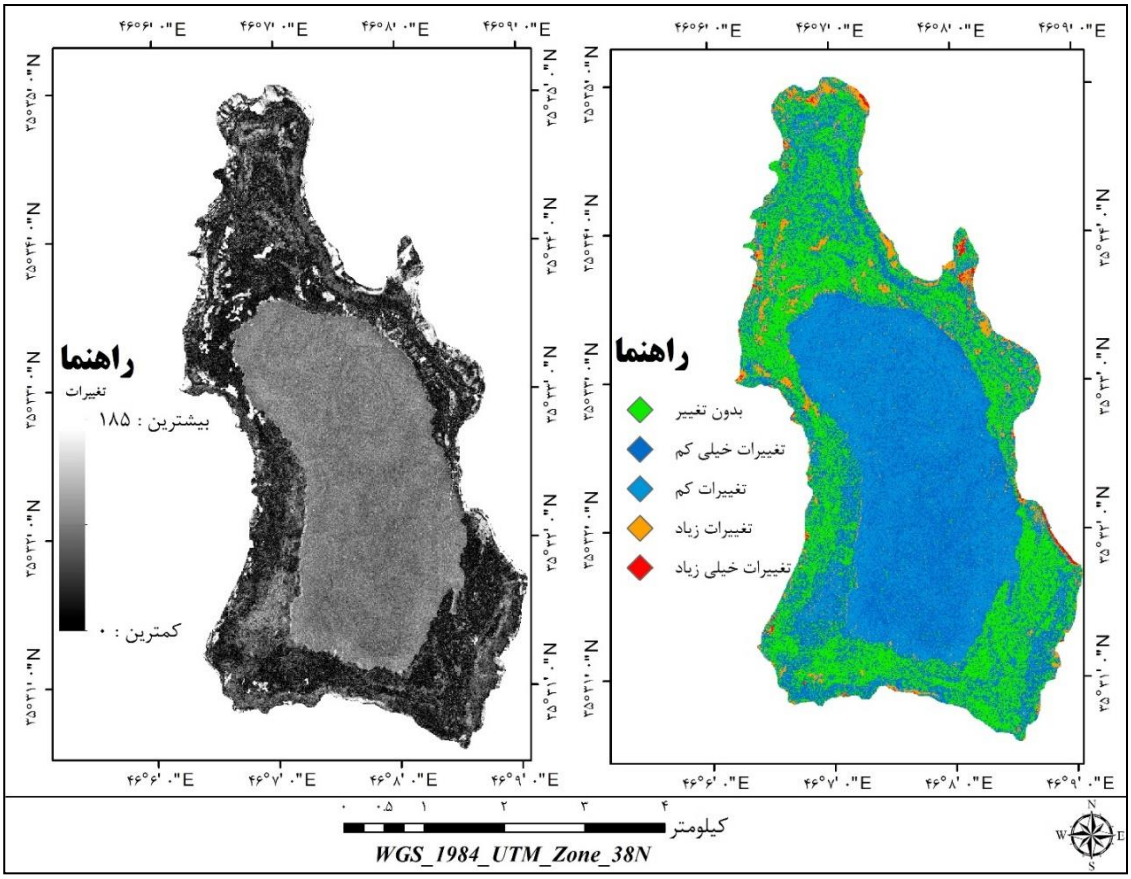
همان‌طور که در شکل (۶) مشاهده می‌شود طول خط ساحلی و مرز دریاچه در سال ۱۹۷۵ نسبت به سال ۱۹۶۹ کمتر است که علت آن قدرت تفکیک مکانی پایین عکس ماهواره‌ای هکساگون است که باعث شده تعداد خطواره‌های کمتری استخراج شود.

آشکارسازی تغییرات دریاچه زریبار (۱۹۷۵-۱۹۶۹)

همان‌طور که در بخش روش تحقیق به آن اشاره شد بعد از تصحیح هندسی داده‌ها و ریجیستر کردن آن‌ها نسبت به هم با استفاده از رابطه (۲) به ارزیابی تغییرات دریاچه زریبار در بازه‌ی زمانی ۱۹۷۵-۱۹۶۹ پرداخته

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.401]

شد. هرچند دو عکس ماهواره‌ای کرونا و هکساگون از دو سیستم عکس‌برداری متفاوت بودند و ازنظر قدرت تفکیک مکانی باهم اختلاف دارند اما نتایج حاصل از این کار نشان داد که با استفاده از نمونه‌برداری مجدد خروجی حاصل‌شده با داده‌های ورودی انطباق قابل‌توجهی دارد. به این صورت که در عکس‌های ورودی بیشترین تغییرات بین دو داده‌ی موردنظر در مرز دریاچه خصوصاً مرزهای شرقی دریاچه و قسمت‌های بالایی دریاچه ازنظر بصری کاملاً نمایان است شکل (۷). محاسبه مساحت تغییرات با استفاده از روش آستانه گذاری در ۵ کلاس طبقه‌بندی شده است شکل (۷).



شکل (۷). نقشه‌ی آشکارسازی تغییرات دریاچه زریبار در بازه‌ی ۱۹۶۹ (کرونا) و ۱۹۷۵(هکساگون) با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌نشده ماسک باینری (منبع: نگارندگان)

همان‌طور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود بیشترین تغییرات حاصله مربوط نواحی مرز دریاچه و قسمت‌های شمالی آن می‌باشد. همچنین نمایان است که پهنه‌ی آبی ازنظر کاربری تغییرات چندانی نداشته است. در جدول (۵) مساحت هریک از کلاس‌ها نشان داده‌شده است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

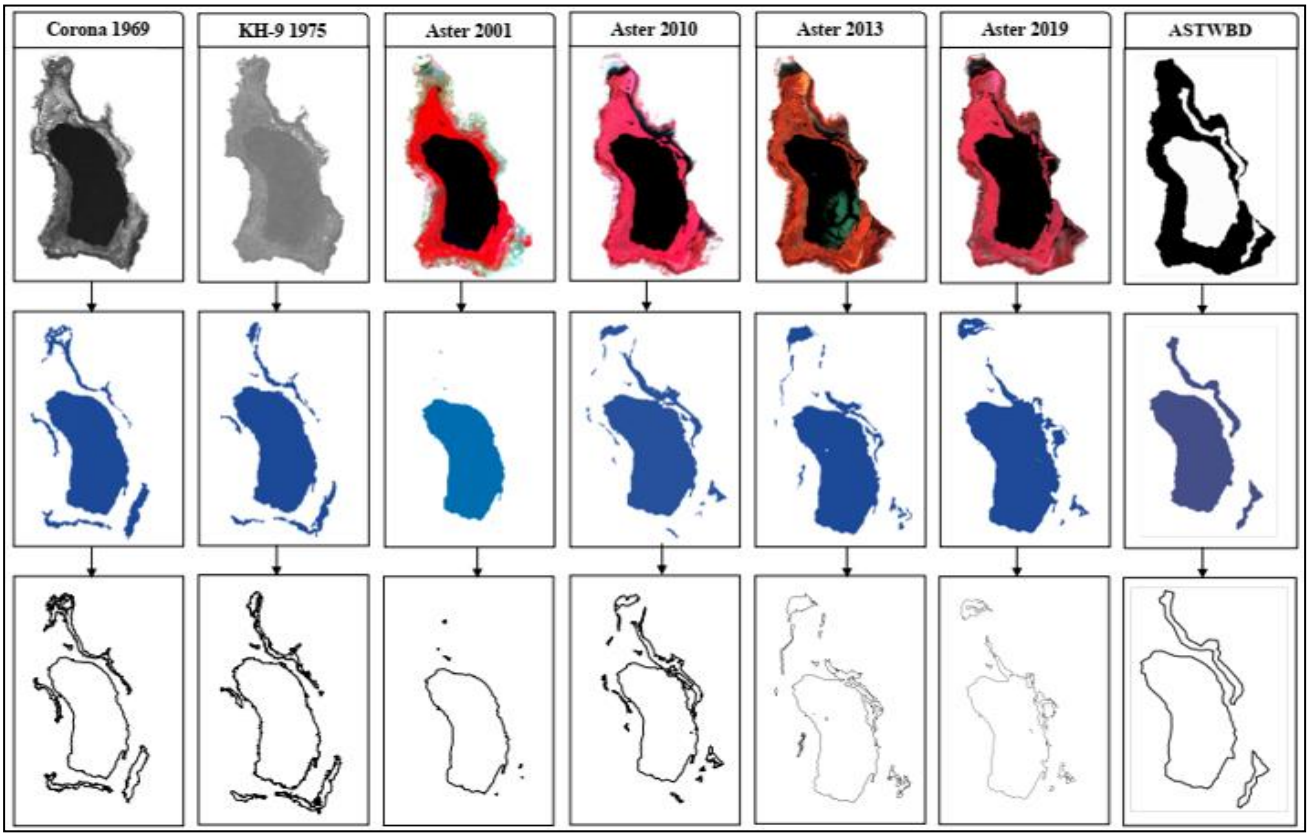
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.401]

جدول (۲). مساحت تغییرات به‌دست‌آمده در بازه‌ی زمانی (۱۹۷۵-۱۹۶۹) با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌نشده ماسک باینری (منبع: نگارندگان)

کلاس	مساحت (مترمربع)
بدون تغییر	۶۱۰,۴۴۱
تغییرات خیلی کم	۶,۹۷۸,۶۲۳
تغییرات کم	۶۴,۰۲۲,۶۵۶
تغییرات زیاد	۸۸۰,۸۱۰
تغییرات خیلی زیاد	۱۰۹,۵۸۵

استخراج پهنه‌ی آبی

نتایج حاصل از الگوریتم قطعه‌بندی شفیت میانگین و حد آستانه به‌منظور استخراج پهنه‌ی آبی دریاچه زریبار با استفاده از عکس‌های ماهواره‌ای کرونا، هکساگون و تصاویر استر در شکل (۸) نشان داده‌شده است.



شکل (۸). نقشه‌ی پهنه‌ی آبی استخراج‌شده دریاچه زریبار در بازه‌ی ۲۰۱۹-۱۹۶۹ با استفاده از الگوریتم قطعه‌بندی شیفت میانگین و حد آستانه (منبع: نگارندگان)

همان‌طور که در جدول (۶) مشاهده می‌شود پهنه‌ی آبی دریاچه زریبار در سال ۱۹۷۵ نسبت به سال ۱۹۶۹ با

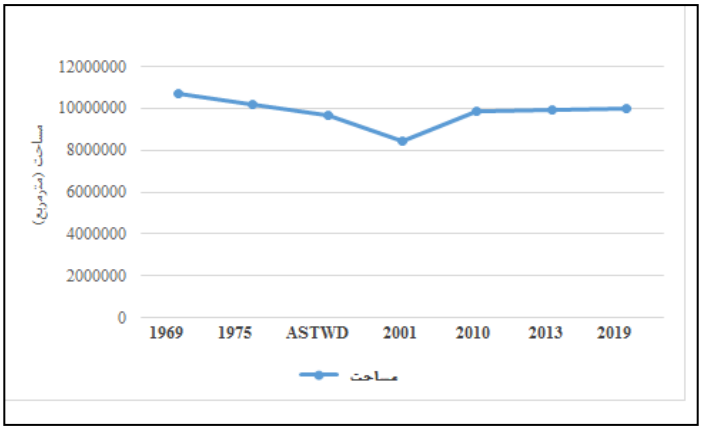
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.401]

کاهش بیش از ۴٫۵٪ روبه‌رو بوده است. در این میان بیشتر تغییرات مربوط به نوار بالایی (شمال دریاچه) و قسمتی هم در شرق دریاچه می‌باشد. به‌منظور ارزیابی و نوسانات پهنه‌ی آبی دریاچه زریبار در دو دهه قبل از تصاویر ماهواره‌ای استر در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۱۳،۲۰۱۰،۲۰۰۱ استفاده شد. ازآنجاکه پهنه‌های آبی در محدوده طیفی مادون‌قرمز نزدیک جذب بالایی دارد، باند مادون‌قرمز نزدیک تصاویر استر جهت استخراج پهنه‌ی آبی مورداستفاده قرار گرفت. نتایج حاصله نشان داد که پهنه‌ی آبی از سال ۱۹۷۵ تا ۲۰۰۱ کاهش شدیدی را تجربه کرده و دریاچه زریبار نزدیک ۱۷٪ سطح آب خود را ازدست‌داده است. همچنین در بازه‌ی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۹ به‌غیراز سال ۲۰۰۱ شاهد روند افزایش پهنه‌ی آبی به‌صورت محدود هستیم به‌طوری‌که از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۹ پهنه‌ی آبی دریاچه زریبار بیش از ۱۸٪ افزایش داشته است. در جدول (۶) مساحت پهنه‌ی آبی دریاچه زریبار به تفکیک تاریخ و سنجنده نمایش داده‌شده است.

جدول ۶. تغییرات مساحت پهنه‌ی آبی دریاچه‌ی زریبار در بازه‌ی ۲۰۱۹-۱۹۶۹ (منبع: نگارندگان)

مساحت (مترمربع)	تاریخ اخذ داده	سنجنده
۱۰,۶۹۰,۰۶۰	1969/08/03	کرونا
۱۰,۱۷۶,۵۹۸	1975/06/24	هکساگون
۹,۶۵۲,۰۵۶	2000-2013	ASTWBD
۸,۴۵۷,۲۸۱	2001/07/05	استر
۹,۸۷۹,۷۷۴	2010/07/04	استر
۹,۹۳۷,۹۵۷	2013/07/18	استر
۹,۹۹۵,۷۸۷	2019/07/04	استر

پس از استخراج پهنه‌ی آبی دریاچه زریبار با استفاده از عکس‌های ماهواره‌ای کرونا، هکساگون و تصاویر استر به‌منظور صحت سنجی یافته‌های حاصله از پهنه‌ی آبی ASTWBD که در بازه‌ی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ استخراج‌شده بود استفاده گردید. همان‌طور که مشاهده می‌شود روند تغییرات دریاچه زریبار از سال ۲۰۱۹-۱۹۶۹ همبستگی بالایی با پهنه آبی ASTWBD دارد شکل (۹).

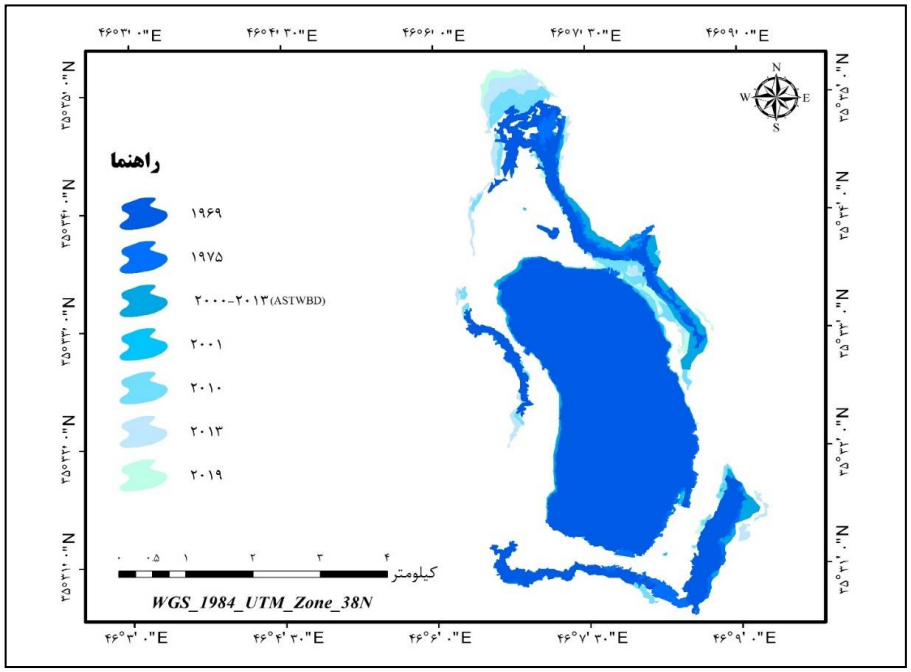


شکل (۹). نمودار روند تغییرات پهنه‌ی آبی دریاچه زریبار در بازه‌ی ۲۰۱۹-۱۹۶۹

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.52547/jgs.24.72.401]

همان‌طور که در شکل (۹) مشاهده می‌شود، از سال ۱۹۶۹ تا سال ۲۰۰۱ دریاچه زریبار روند کاهشی داشته و از سال ۲۰۰۱ به بعد دریاچه به‌صورت محدود روند افزایشی را تجربه کرده است. نقشه‌ی تغییرات پهنه‌ی دریاچه زریبار در شکل (۱۰) نشان داده‌شده است.



شکل (۱۰). نقشه‌ی تغییرات پهنه‌ی آبی دریاچه زریبار از سال ۱۹۶۹ تا ۲۰۱۹ (منبع: نگارندگان)

در این مطالعه از به‌منظور پایش و ارزیابی تغییرات دریاچه زریبار از داده‌های ماهواره‌ای کرونا، هکساگون و استر با استفاده از روش‌های پردازش رقومی تصویر استفاده شد. در زیر به تشریح نتایج هر قسمت پرداخته می‌شود.

تصحیح هندسی

تصحیح هندسی و ریجستر عکس‌های ماهواره‌ای کرونا و هکساگون با استفاده از تصاویر گوگل ارث و توابع چندجمله‌ای از دقت بسیار بالایی برخوردار بود. مهم‌ترین دلیل استفاده از تصاویر گوگل ارث به‌منظور تصحیح هندسی این عکس‌ها قدرت تفکیک مکانی مناسب و متناسب با عکس‌های ماهواره‌ای کرونا و هکساگون می‌باشد. همچنین در این تحقیق مشخص شد که جهت دقت بالای تصحیح هندسی و کاهش میزان خطا لازم است که عکس‌های موردنظر برای زمین مرجع کردن به سایزهای کوچک‌تر به‌منظور مدل‌سازی بهتر قطعه‌بندی شوند؛ که در این مورد بایرام و همکاران هم در سال ۲۰۰۴ و سونگ و همکاران در سال ۲۰۱۵ به این موضوع اشاره‌کرده‌اند.

استخراج خط ساحلی و مرز دریاچه

نتایج حاصل از الگوریتم پیشنهادی ما برای استخراج مرز دریاچه و تغییرات خط ساحلی با عکس‌های ماهواره‌ای کرونا و هکساگون از دقت و سرعت بالایی برخوردار است و نسبت به روش‌های دستی استفاده‌شده

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.401]

در تحقیقات پیشین (بایرام و همکاران، ۲۰۰۴) کارآمدتر و سریع‌تر می‌باشد. همچنین در این مطالعه مشخص شد که الگوریتم استخراج خطواره بر روی عکس‌های ماهواره‌ای کرونا به علت قدرت تفکیک مکانی بالاتر با سطح جزئیات بیشتری نسبت به عکس‌های هکساگون خطواره‌ها را استخراج کرده است. هرچند با توجه به مطالعات قبلی، قدرت تفکیک رادیومتریک بالاتر، خطواره‌هایی با دقت بهتر و سطح جزئیات بیشتر استخراج می‌کند (امیری و همکاران، ۲۰۱۹)؛ اما ازآنجاکه عکس‌های ماهواره‌ای کرونا و هکساگون دارای قدرت تفکیک رادیومتریک یکسان بودند؛ بنابراین قدرت تفکیک مکانی بالاتر نقش قابل‌توجهی در استخراج خطواره‌ها ایفا کرده است.

آشکارسازی تغییرات

یافته‌های به‌دست آمده حاصل از روش پیشنهادی (طبقه‌بندی نظارت نشده ماسک باینری)، به‌منظور آشکارسازی تغییرات دریاچه زریبار با استفاده از عکس‌های ماهواره‌ای کرونا و هکساگون به‌صورت قابل قبولی پیکسل‌های تغییریافته و تغییرنیافته در بازه‌ی ۱۹۷۵-۱۹۶۹ را شناسایی کرده است، به‌صورتی که نتایج حاصله ازنظر بصری تطابق بالایی با تغییرات موجود در دو تاریخ عکس‌برداری دارد. درواقع الگوریتم پیشنهادی مورداستفاده در این پژوهش تنها بر اساس تفاوت درجات خاکستری پیکسل‌های موجود در دو داده‌ی ورودی، فرایند آشکارسازی تغییرات را انجام می‌دهد. در این میان هرچند عکس‌های ماهواره‌ای کرونا و هکساگون ازنظر تجزیه‌وتحلیل با الگوریتم‌های آشکارسازی تغییرات به علت قدرت تفکیک طیفی محدود هستند، اما بااین‌حال نسبت به روش‌های بصری کارآمدتر می‌باشند.

استخراج پهنه‌ی آبی

الگوریتم قطعه‌بندی شیفت میانگین همراه با حد آستانه با اعمال بر روی عکس‌های ماهواره‌ای کرونا، هکساگون و تصاویر استر به‌منظور استخراج پهنه‌ی آبی موفقیت‌آمیز بوده و نسبت به روش‌های دستی و تفسیر بصری از سرعت و پردازش با دقت عمل بالاتر برخوردار بود (گروسی و همکاران، ۲۰۰۵). در این میان الگوریتم فوق توانست با سطح جزئیات بیشتری پهنه‌ی آبی را از عکس ماهواره‌ای کرونا استخراج کند که علت این امر قدرت تفکیک مکانی بالا و کمتر بودن تعداد پیکسل‌های مخلوط می‌باشد. همچنین عمده دلیل استفاده از تصاویر استر قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر و قدرت تفکیک رادیومتریک ۸ بیت و متناسب با داده‌های کرونا و هکساگون بود. نتایج حاصل از ارزیابی صحت داده‌ی ASTWBD با خروجی‌های حاصله از قطعه‌بندی داده‌های ماهواره‌ای کرونا، هکساگون و استر از همبستگی بالایی برخوردار بود. در این میان تنها محدودیتی داده‌ی ASTWBD نبود تاریخ دقیق مربوط به برداشت آن بود.

همان‌طور که از نتایج تحقیق هم قابل استناد است سطح دریاچه‌ی زریبار در بازه‌ی ۵۰ ساله روند کاهشی داشته است. در این میان مطالعات قبلی که در زمینه‌ی پایش و آشکارسازی تغییرات دریاچه‌ی زریبار کار کرده‌اند، نتایج همسو با یافته‌های پژوهش حاضر دارند. به‌طوری‌که در مطالعه‌ی نظم‌فر و همکارانش که در سال ۱۳۹۳ انجام داده‌اند، سطح دریاچه‌ی زریبار در بازه‌ی ۸ ساله با کاهش نزدیک ۱۴ کیلومترمربع مواجه بوده است. در پژوهشی دیگر که عابدینی و همکارانش در سال ۱۳۹۶ به انجام رساندند، مشخص شد که در بازه‌ی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.52547/jgs.24.72.401]

۱۳۳۵ تا ۱۳۹۲ دریاچه‌ی زریبار با کاهش جدی مواجه بوده است. همچنین نتایج تحقیق مالیان و همکارانش در سال ۱۳۹۷ حاکی از آن است که وسعت دریاچه‌ی زریبار در یک بازه‌ی ۵۸ ساله، روند کاهشی را تجربه کرده است. در این راستا مهمترین علل کاهش سطح آب دریاچه ناشی از تغییرات بارشی، سرریزهای اتفاقی دریاچه و فعالیت‌های انسانی بوده است که در بین این موارد نقش عوامل انسانی در کاهش سطح آب دریاچه شامل حفر بی‌رویه‌ی چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق برای آبیاری، رشد سریع جمعیت و ایجاد سد بر روی رودخانه‌ی قزلچه‌سو چشمگیرتر از تغییرات حاصل از فاکتورهای آب و هوایی می‌باشد. در این میان، در کنار کاهش سطح آب دریاچه، منابع آلاینده شهری و روستایی، صنعتی، کشاورزی، خدماتی و تأسیساتی باعث آلودگی دریاچه شده‌اند و ازآنجاکه دریاچه زریبار یک اکوسیستم نیمه‌بسته است، از نظر آسیب‌پذیری دارای نقاط ضعف می‌باشد؛ بنابراین با توجه به نتایج تحقیقات پیشین و یافته‌های حاصل از این تحقیق، می‌توان استناد کرد که دریاچه‌ی زریبار با یک چالش بزرگ زیست‌محیطی مواجه بوده و لازم است که تصمیمات راهبردی و عملیاتی در این زمینه اتخاذ شود.

نتیجه‌گیری

از دیرباز محققین به دنبال داده‌هایی با قدرت تفکیک بالا جهت نظارت و پایش منابع زمینی بوده و هستند، در این میان با رفع ممنوعیت و طبقه‌بندی عکس‌های ماهواره‌ای کرونا و هکساگون که پوشش نسبتاً کاملی از سطح زمین با قدرت تفکیک مکانی بالا ارائه می‌دهند، این فرصت به پژوهشگران داده شده تا به به‌طور هم‌زمان به بررسی توان این داده‌ها در ارزیابی و پایش منابع آبی پرداخته و هم به سؤالات گوناگون حقوقی در تشخیص مرزهای مورد مناقشه پاسخ مناسب داده شود. در این تحقیق از طریق مطالعه‌ی موردی دریاچه زریبار در غرب ایران، امکان استفاده از روش‌های پردازش تصویر رقومی جهت پایش و ارزیابی تغییرات با استفاده از عکس‌های ماهواره‌ای کرونا، هکساگون و تصاویر ماهواره‌ای استر در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۹- ۱۹۶۹ فراهم گردید. یافته‌های این پژوهش حاکی آن است که تصحیح و ثبت هندسی عکس‌های ماهواره‌ای کرونا و هکساگون با استفاده از تصاویر گوگل ارث از دقت قابل قبولی برخوردار بود. در این تحقیق مشخص شد که نتایج حاصل از الگوریتم استخراج خطواره برای استخراج مرز دریاچه و تغییرات خط ساحلی با عکس‌های ماهواره‌ای کرونا و هکساگون از دقت و سرعت بالایی برخوردار بوده است. یافته‌های مربوط به بخش آشکارسازی تغییرات در این پژوهش نشان داد که روش طبقه‌بندی نظارت‌نشده ماسک باینری توانسته است که پیکسل‌های متغیر در دو عکس ماهواره‌ای کرونا و هکساگون را به‌خوبی آشکار کند. همچنین در فرایند پژوهش حاضر یافته‌ها نشان داد که الگوریتم قطعه‌بندی شیفت میانگین و حد آستانه با دقت زیادی پهنه‌ی آبی را از روی‌داده‌های ماهواره‌ای کرونا، هکساگون و استر استخراج کرده و به‌صورت قابل استناد تغییرات حاصله در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۹-۱۹۶۹ را ارزیابی کند. به‌طورکلی نتایج این پژوهش پتانسیل استفاده از روش‌های پردازش تصویر رقومی را برای داده‌های کرونا و هکساگون به‌منظور پایش و آشکارسازی تغییرات دریاچه‌ها را نشان می‌دهد بااین‌حال هرچند در این تحقیق نتایج حاصل از تصحیح هندسی با دقت قابل قبولی به دست آمد، اما پیشنهاد می‌شود برای مناطق وسیع‌تر مطالعات بیشتری انجام داده و اگر لازم است از روش‌های با دقت بالا همچون استفاده از نقاط کنترل زمینی برداشت‌شده به‌صورت میدانی و یا از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا مانند کوئیک‌برد برای تصحیح

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.52547/jgs.24.72.401]

هندسی استفاده کنند. با توجه به اینکه داده‌های کرونا و هکساگون اطلاعات طیفی محدودی داشتند اما الگوریتم طبقه‌بندی نظارت‌نشده ماسک باینری توانست به‌خوبی تغییرات را آشکار کند بااین‌حال پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده علاوه بر استفاده از این روش از الگوریتم‌های دیگر طبقه‌بندی هم استفاده شود. با توجه به نتایج شگفت‌انگیز حاصل از الگوریتم‌های استخراج خطواره و قطعه‌بندی شیفت میانگین در مطالعات مربوط به پایش مناطق آبی با استفاده از عکس‌های ماهواره‌ای کرونا و هکساگون در این تحقیق، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی مورداستفاده قرار گیرند.

منابع

امیری، عبدالهی کاکرودی، عطا اله، قدیمی، & مهرنوش. (۲۰۱۹). آشکارسازی خطواره‌های مرتبط با گسل دهشیر با داده‌های سنجش‌ازدور اپتیک و رادار. **نشریه علمی علوم و فنون نقشه‌برداری, ۹(۲), ۵۱-۶۴**.

سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح جمهوری اسلامی ایران

عابدینی، م؛ و ستوده پور، ا. (۱۳۹۶). آشکارسازی روند تغییرات دریاچه‌ها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور مطالعه موردی: دریاچه تکتونیکی زریوار. **جغرافیای طبیعی، ۱۰(۱ (پیاپی ۳۵)), ۴۵-۶۰**.

مالیان، عباس، خادمی، شاهو، حسینعلی، فرهاد، ساکیزاده، محمد. (۱۳۹۷). به‌کارگیری دورکاوی و سامانه اطلاعات مکانی در آشکارسازی تغییرات تالاب زریبار .**فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست :doi: -. (), , 10.22034/jest.2018.16609.2523**

نظم فر، حسین و اسفندیاری درآباد، فریبا و رحیمی، امید،۱۳۹۳، بررسی تغییرات سطح آب دریاچه‌ی زریوار با استفاده از تکنیک سنجش‌ازدور، GISو شواهد رسوب‌شناسی بین سال‌های ۲۰۰۳-۲۰۱۱، **دومین همایش ملی بحران آب (تغییر اقلیم، آب و محیط‌زیست)، شهرکرد**.

Aster User Guide, v. 3,1, 2001.

Barton, I.J. and J.M. Bathols, Monitoring floods with AVHRR. **Remote sensing of Environment, 1989. 30(1): p. 89-94.**

Bayram, B. Bayraktar, H. Helvaci, C. & Acar, U. (2004). Coastline change detection using CORONA, SPOT and IRS 1D images. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 35, 437-441.**

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.52547/jgs.24.72.401]

Bindschadler, R. & Vornberger, P. (1998). Changes in the West Antarctic ice sheet since 1963 from declassified satellite photography. **Science, 279(5351), 689-692.**

Burnett, M.G. (2012) Hexagon (KH-9) Mapping Program and Evolution. National Reconnaissance Office, Chantilly, Virginia. **ISBN: 978-1-937219-08-6.**

Canny, J. A computational approach to edge detection. **IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 1986, PAMI-8, 679–698. CrossRef]**

Chen, G., Hay, G. J., Carvalho, L. M., & Wulder, M. A. (2012). Object-based change detection**. International Journal of Remote Sensing, 33(14), 4434-4457**.

Coops, N. C., Wulder, M. A., & White, J. C. (2006). 2 Identifying and Describing Forest Disturbance and Spatial Pattern: Data Selection Issues and. **Understanding forest disturbance and spatial pattern: Remote sensing and GIS approaches, 31**.

Coppin,Pol R. and Marvin E. Bauer. (1996). Change Detection in Forest Ecosystems with Remote Sensing Digital Imagery. **Remote Sensing Reviews 13:207-234.**

Dashora, A., Lohani, B., & Malik, J. N. (2007). A repository of earth resource information–CORONA satellite programme. **Current Science, 926-932.**

Dehecq, A., Gardner, A. S., Alexandrov, O., McMichael, S., Hugonnet, R., Shean, D., & Marty, M. (2020). Automated processing of declassified KH-9 Hexagon satellite images for global elevation change analysis since the 1970s. **Frontiers in Earth Science, 8, 566802.**

Evora, N.D., D. Tapsoba, and D. De Seve, Combining artificial neural network models, geostatistics, and passive microwave data for snow water equivalent retrieval and mapping. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2008. 46(7): p. 1925-1939.**

Galiatsatos, N. (2009). The shift from film to digital product: focus on CORONA imagery. **Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation., (3), 251-260.**

Goerlich, F., Bolch, T., Mukherjee, K., & Pieczonka, T. (2017). Glacier mass loss during the 1960s and 1970s in the Ak-Shirak range (Kyrgyzstan) from multiple stereoscopic Corona and Hexagon imagery. **Remote Sensing, 9(3), 275.**

Green, B., 2002. Canny edge detection tutorial. Retrieved: March, 6, p.2005.Hanssen, R.F., 2001. Radar interferometry: data interpretation and error analysis (Vol. 2). **Springer Science & Business Media.**

Grosse, G., Schirrmeister, L., Kunitsky, V. V., & Hubberten, H. W. (2005). The use of CORONA images in remote sensing of periglacial geomorphology: an illustration from the NE Siberian coast. **Permafrost and periglacial processes, 16(2), 163-172.**

Holzer, N., Vijay, S., Yao, T., Xu, B., Buchroithner, M., & Bolch, T. (2015). Four decades of glacier variations at Muztag Ata (Eastern Pamir): a multi-sensor study including Hexagon KH-9 and Pléiades data. **Cryosphere Discussions, 9(2).**

https://earthexplorer.usgs.gov/

https://lpdaac.usgs.gov/products/astwbdv001/

Imani, S., Niksokhan, M.H., Jamshidi, S. et al. Discharge permit market and farm management nexus: an approach for eutrophication control in small basins with low-income farmers**. Environ Monit Assess** 189**,** 346 (2017). https://doi.org/10.1007/s10661-017-6066-4/

JUPP, D. L. (1988). Background and extensions to depth of penetration (DOP) mapping in shallow coastal waters. In **Proceeding of The Symposium on Remote Sensing of the Coastal Zone Queensland.**

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.52547/jgs.24.72.401]

Lamsal, D., Fujita, K., & Sakai, A. (2017). Surface lowering of the debris-covered area of Kanchenjunga Glacier in the eastern Nepal Himalaya since 1975, as revealed by Hexagon KH-9 and ALOS satellite observations**. The Cryosphere**, 11(6), 2815.

Liang, K., & Li, Y. (2019). Changes in lake area in response to climatic forcing in the endorheic Hongjian Lake Basin, China. **Remote Sensing, 11(24), 3046.**

Maini, R.; Aggarwal, H. Study and comparison of various image edge detection techniques. Int. J. **Image Process. 2009, 3, 1–11.**

Mihai, B., Nistor, C., Toma, L., & Săvulescu, I. (2016). High resolution landscape change analysis with CORONA KH-4B imagery. A case study from Iron Gates Reservoir Area. **Procedia Environmental Sciences**, 32, 200-210.

Pieczonka, T., Bolch, T., Junfeng, W., & Shiyin, L. (2013). Heterogeneous mass loss of glaciers in the Aksu-Tarim Catchment (Central Tien Shan) revealed by 1976 KH-9 Hexagon and 2009 SPOT-5 stereo imagery. **Remote Sensing of Environment, 130, 233-244**.

Qi, H. and M. Altinakar, Simulation-based decision support system for flood damage assessment under sensing and census block information. **Natural uncertainty using remote hazards, 2011. 59(2): p. 1125-1143.**

Rendenieks, Z., Nita, M. D., Nikodemus, O., & Radeloff, V. C. (2020). Half a century of forest cover change along the Latvian-Russian border captured by object-based image analysis of Corona and Landsat TM/OLI data. **Remote Sensing of Environment, 249**, 112010.

Rigina, O. (2003). Detection of boreal forest decline with high-resolution panchromatic satellite imagery. **International Journal of Remote Sensing, 24**(9), 1895-1912.

Rokni, K., Ahmad, A., Selamat, A., & Hazini, S. (2014). Water feature extraction and change detection using multitemporal Landsat imagery. **Remote sensing, 6(5), 4173-4189.**

Rokni, K., Ahmad, A., Solaimani, K., & Hazini, S. (2015). A new approach for surface water change detection: Integration of pixel level image fusion and image classification techniques. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 34, 226-234.**

Sandric, I., Mihai, B., Savulescu, I., Suditu, B., & Chitu, Z. (2007, April). Change detection analysis for urban development in Bucharest-Romania, using high resolution satellite imagery. In **2007 Urban Remote Sensing Joint Event** (pp. 1-8). IEEE.

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

Song, D. X., Huang, C., Sexton, J. O., Channan, S., Feng, M., & Townshend, J. R. (2015). Use of Landsat and Corona data for mapping forest cover change from the mid-1960s to 2000s: Case studies from the Eastern United States and Central Brazil. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 103, 81-92.**

Statistics and information of environment organization2006: **124-141 (Persian).**

Stratoulias, D., & Kabadayı, M. E. (2020, August). Feature and information extraction for regions of Southeast Europe from Corona satellite images acquired in 1968. In **Eighth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2020)** (Vol. 11524, p. 115241R). International Society for Optics and Photonics.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.52547/jgs.24.72.401]

Surazakov, A., & Aizen, V.B. (2010). Positional accuracy evaluation of declassified Hexagon KH-9 mapping camera imagery. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 76, 603–608.**

T. Celik, "Change detection in satellite images using a genetic algorithm approach," **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 7, pp. 386-390, 2010**

Tappan, G. G., Hadj, A., Wood, E. C., & Lietzow, R. W. (2000). Use of Argon, Corona, and Landsat imagery to assess 30 years of land resource changes in west-central Senegal. **Photogrammetric engineering and remote sensing, 66(6), 727-736.**

Zhang, Y., I.O. Odeh, and E. Ramadan, Assessment of land surface temperature in relation to landscape metrics and fractional vegetation cover in an urban/peri-urban region using Landsat data. **International Journal of Remote Sensing, 2013. 34(1): p. 168-189.**

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.52547/jgs.24.72.401]