

ارزیابی توان عملکردی عکس‌های ماهواره‌ای در تهیهٔ نقشهٔ مرز، خط ساحلی دریاچه زریبار و تغییرات سطح دریاچه

دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۲۴ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۵/۲۸

صفحات: ۴۰۱-۴۲۶

سید هدایت شیخ قادری: دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش‌از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

Email: hedayatp90@mail.com

عبدالسلام امین‌پور: دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش‌از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران^۱

Email: aminpour.abdulsalam@gmail.com

پرویز ضیائیان فیروزآبادی: دانشیار گروه سنجش‌از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

Email: p.zeaiean@gmail.com

چکیده

هدف این تحقیق پایش تغییرات دریاچه زریبار در بازه ۱۹۶۹-۲۰۱۹ با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای کرونا، هكساگون و استر و توانایی عملکرد آن‌ها در پایش و استخراج خط ساحلی، مرز دریاچه و پهنه‌ی آبی می‌باشد. در این تحقیق برای تصحیح هندسی داده‌های کرونا و هكساگون از تصاویر گوگل ارث، از الگوریتم‌های استخراج خط‌واژه، 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 هكساگون با استفاده از تصاویر گوگل ارث با میزان RMSE ۰,۳ و ۰,۴ پیکسل به دست آمد. در مرحله‌ی دوم، الگوریتم استخراج خط‌واژه برای استخراج مرز دریاچه و خط ساحلی با استفاده از عکس‌های کرونا و هكساگون 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 هكساگون 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 روی داده‌های کرونا، هكساگون 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 ۵,۶٪ 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 هكساگون بهمنظور پایش و آشکارسازی تغییرات دریاچه‌ها را نشان می‌دهد.

کلید واژگان: کرونا، هكساگون، استر، قطعه‌بندی شیفت میانگین، استخراج خط‌واژه، ماسک باینری، دریاچه زریبار

۱. نویسنده مسئول: تهران، دانشگاه خوارزمی، دانشکده علوم جغرافیایی، گروه سنجش‌از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی

مقدمه

آشکارسازی تغییرات یکی از کاربردهای مهم سنجش‌از دور است. اساساً آشکارسازی تغییرات، تعیین کمیت پدیده‌های زمانمند از تصویربرداری چند زمانه‌ی حاصل از سنجنده‌های چند طیفی مستقر در ماهواره را در بر می‌گیرد (کوبین و مروین^۱، ۱۹۹۶). در طی چند دهه‌ی گذشته که امکان اخذ تصاویر از سنجنده‌های مختلف از سطح زمین وجود داشته، همواره استفاده از تصاویر مختلف در زمینه‌ی آشکارسازی تغییرات مورد توجه محققان مختلف قرار گرفته است (چن^۲ و همکاران، ۲۰۱۲ و کوب^۳ و همکاران، ۲۰۰۶). در طی سال‌های گذشته، پایش مناطق ساحلی و استخراج تغییرات سطح آب در فاصله‌های زمانی مختلف به عنوان یک پژوهش زیربنایی مورد توجه 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^۴، ۱۹۸۸). نکته‌ای که اهمیت زیادی دارد این است که بتوان چنین تغییراتی را به دقت بررسی کرده تا فرایندهای طبیعی و انسانی به وجود آورنده این تغییرات را به خوبی شناخت. همچنین برنامه‌ریزی برای حفاظت و توسعه تالاب‌ها به پایش تغییرات آن‌ها در طول زمان، نیازمند است. فناوری سنجش‌از دور 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 به علت کیفیت و آشکارسازی جزئیات پدیده‌های سطح زمین جایگاه خاصی نزد محققان دارد (چن و همکاران، ۲۰۱۲ و کوب و همکاران، ۲۰۰۶). اگرچه آشکارسازی تغییرات سطح زمین با استفاده از سنجش‌از دور ماهواره‌ای عمده‌ای محدود به دوران ماهواره‌های لندست از سال ۱۹۷۲ تا حال حاضر است (سونگ^۵ و همکاران، ۲۰۱۵)، اما در برخی موارد منابع داده‌های باقدرت تفکیک بالای قدیمی‌تر در دسترس هستند نمونه‌ای از چنین آرشیوی برنامه نسبتاً ناشناخته کرونا^۶ است که منبع بسیار خوبی از اطلاعات مربوط به تغییر سطح بهویژه برای ایران است. عکس‌های شناسایی ماهواره‌ای مأموریت‌های کرونا و هکساگون^۷ که به عنوان بخشی از برنامه کی‌هول^۸ ایالات متحده آمریکا به دست آمده بود، در سال‌های ۱۹۹۵، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۳ از طبقه‌بندی خارج شد (گورلیچ^۹ و همکاران، ۲۰۱۷). در سال ۱۹۹۵ عکس‌های طبقه‌بندی نشده از بایگانی خارج و به طور وسیع در دسترس جامعه قرار گرفت (رجینا^{۱۰}، ۲۰۰۳، بیندچادرل^{۱۱} و ورنبرگر^{۱۲}، ۱۹۹۸). این عکس‌های ماهواره‌ای از آن زمان در زمینه‌های مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است، اگرچه به دلیل مشکلات

1 Coppin and Marvin

2 Chen

3 Coops

4 JUPP

5 Song

6 CORONA

7 Hexagon

8 Key Hole

9 Goerlich

10 Regina

11 Bindschadler

12 Vornberger

فني در پردازش تصویر استاندارد تا حدودی محدود است. در اين راستا اين دادهها با وجود محدوديت‌های موجود در مطالعات مختلف همچون پايش و آشكارسازی تغييرات کاربرد داشته‌اند که از جمله‌ی اين موارد می‌توان به تغيير منابع زمين (تاپن^۱ و همكاران، ۲۰۰۰)، تغييرات سطح و پهنانی برف (بيندچادر و ورنبرگر، ۱۹۹۸)، نقشه‌برداری تغييرات پوشش جنگلی (سونگ و همكاران، ۲۰۱۵، رندنيکس^۲ و همكاران، ۲۰۲۰)، تحليل تغييرات ارتفاع جهاني (دهک^۳ و همكاران، ۲۰۲۰)، تحليل تغييرات چشم‌انداز (ميهاي^۴ و همكاران، ۲۰۱۶)، تحليل و آشكارسازی تغييرات بهمنظور توسعه‌ی شهری (ساندریك^۵ و همكاران، ۲۰۰۷، استراتولیاس^۶ و کباداي^۷، ارزیابي و آشكارسازی تغييرات مخاطرات طبیعی (استراتولیاس و کباداي، ۲۰۲۰)، مطالعه تغييرات يخچال‌ها (پيك زونكا^۸ و همكاران، ۲۰۱۳، لامسال^۹ و همكاران، ۲۰۱۷، گورلیچ^{۱۰} و همكاران، ۲۰۱۷، هولزرا^{۱۱} و همكاران، ۲۰۱۵) و غيره اشاره کرد. در واقع در بسياري از مطالعات انجام شده با استفاده از اين داده‌ها بهطور عمده از طريقي تفسير بصري انجام گرفته و از الگوريتم‌های پردازش تصویر بهندرت برای استخراج اطلاعات استفاده شده است. ازانجاکه داده‌های کرونا و هكساگون بسياري از مناطق سطح زمين را پوشش داده‌اند، می‌توان در بسياري از کاربردها از جمله پايش منابع آبی از آن‌ها استفاده کرد. در همین راستا هرچند طی داده‌های اخير مناطق آبی در مقیاس ناحیه‌ای، منطقه‌ای، قاره‌ای و جهانی با استفاده از داده‌های AVHRR (ژانگ^{۱۲} و همكاران، ۲۰۱۳ و چي^{۱۳} و همكاران، ۲۰۱۱)، موديس (بارتون^{۱۴} و باتھولس^{۱۵}، ۱۹۸۹)، لندست و سنتينل (ایورا^{۱۶} و همكاران، ۲۰۰۸) بهوفور مطالعه شده‌اند، اما آنچه مهم است داده‌های کرونا و هكساگون چندان در زمينه‌ی مطالعات پهنه‌های آبی موردمطالعه قرار نگرفته‌اند. در ادامه به برخی از اين پژوهش‌ها که تصاویر سنجنده‌های دیگر انجام شده است، اشاره خواهد شد.

بررسی‌های وینتر^{۱۷} و همكاران (۲۰۰۱) و گارسیا^{۱۸} و سیپهارد^{۱۹} (۲۰۰۱) نشان داد که مساحت پهنه‌ی آبی بسياري از تالاب‌ها در سراسر جهان به دلایلي مانند افزایش جمعیت و استفاده آب در بالادست، انحراف آب، سدسازی، بیابان‌زايی، تغييرات آب و هوایي و سياست‌های نادرست بهشدت کاهش یافته است. بهطوری که بيش

1 Tappan

2 Rendenieks

3 Dehecq

4 Mihai

5 Sandric

6 Stratoulias

7 Kabaday

8 Pieczonka

9 Lamsal

10 Goerlich

11 Holzer

12 Zhang

13 Qi

14 Barton

15 Bathols

16 Evora

17 winter

18 Garcia

19 Syphard

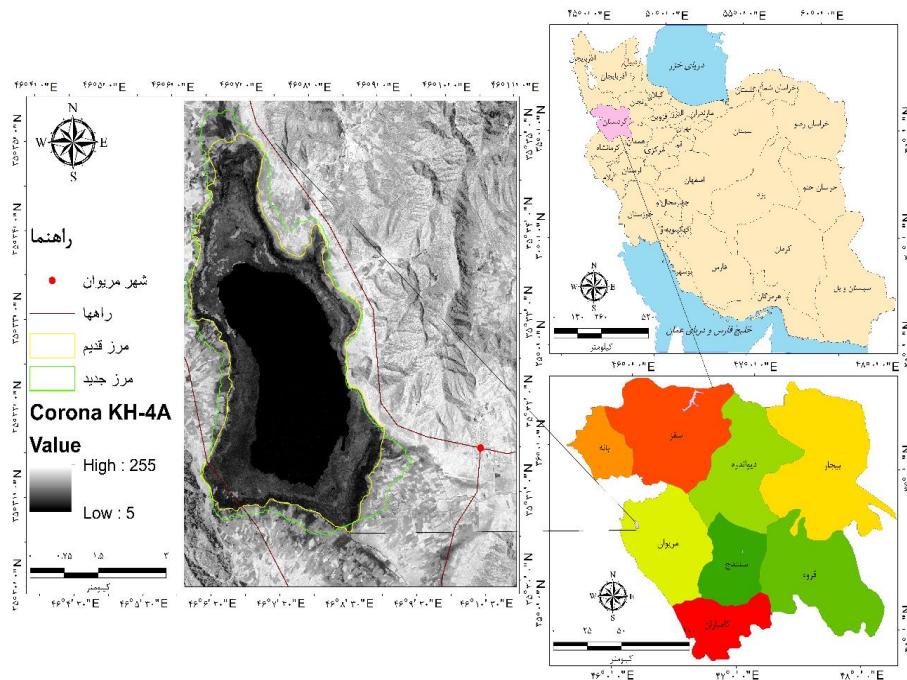
از ۸۱٪ مساحت تالاب‌ها از طریق تبدیل به زمین‌های کشاورزی طی سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۱ از بین رفته است. در سال ۲۰۰۴ بایرام^۱ و همکارانش با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای کرونا، اسپات و IRS به بررسی تغییرات خط ساحلی بخشی از دریای سیاه در استانبول بین سال‌های ۱۹۶۳، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۰ پرداختند. آن‌ها پس از تصحیح داده‌های موجود به صورت دستی، خط ساحلی را برای سال‌های مختلف رسم کرده و تغییرات خط ساحلی را برای هر کدام از تاریخ‌ها بررسی کردند. عمدی 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 تهیی نفشه تغییرات دریاچه ارومیه پرداختند. نتایج حاصله حاکی از آن بود که دریاچه ارومیه بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ حدود یک سوم آب خود را از دستداده است. در سال ۲۰۱۹ لیانگ^۲ و همکاران با استفاده از فناوری سنجش‌ازدور و شاخص تفاضل نرمال شده آب اصلاح شده^۳ (MNDWI) و پارامترهای اقلیمی بین سال‌های ۱۹۸۸-۲۰۱۴ به کمک پروداکت‌های ماهواره‌ای، محدوده‌ی دریاچه هونجیانگ^۴ (HJLB) را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها پاسخ چندمقیاسی از مساحت دریاچه را با استفاده از تحلیل همبستگی مورد بررسی 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 در زمینه 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 به کارگیری الگوریتم‌های پردازش تصویر رقومی به منظور پایش تغییرات دریاچه زریبار در بازه ۱۹۶۹-۲۰۱۹ با استفاده از عکس‌های ماهواره‌ای کرونا، هکساگون و تصاویر ماهواره‌ای استر و همچنین ارزیابی توان عملکردی این داده‌ها می‌باشد؛ که در مرحله اول به منظور شناسایی و استخراج خط ساحلی و مرز دریاچه از الگوریتم استخراج خطواره استفاده می‌گردد. در مرحله 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 شیفت میانگین همراه با حد آستانه استفاده کرده و درنهایت جهت ارزیابی و صحت سنجی نتایج آن از محصول پهنه‌ی آبی استر استفاده می‌شود.

¹ Bayram² Liang³ Modified Normalized Difference Water Index⁴ Hongjian Lake Basin

روش تحقیق

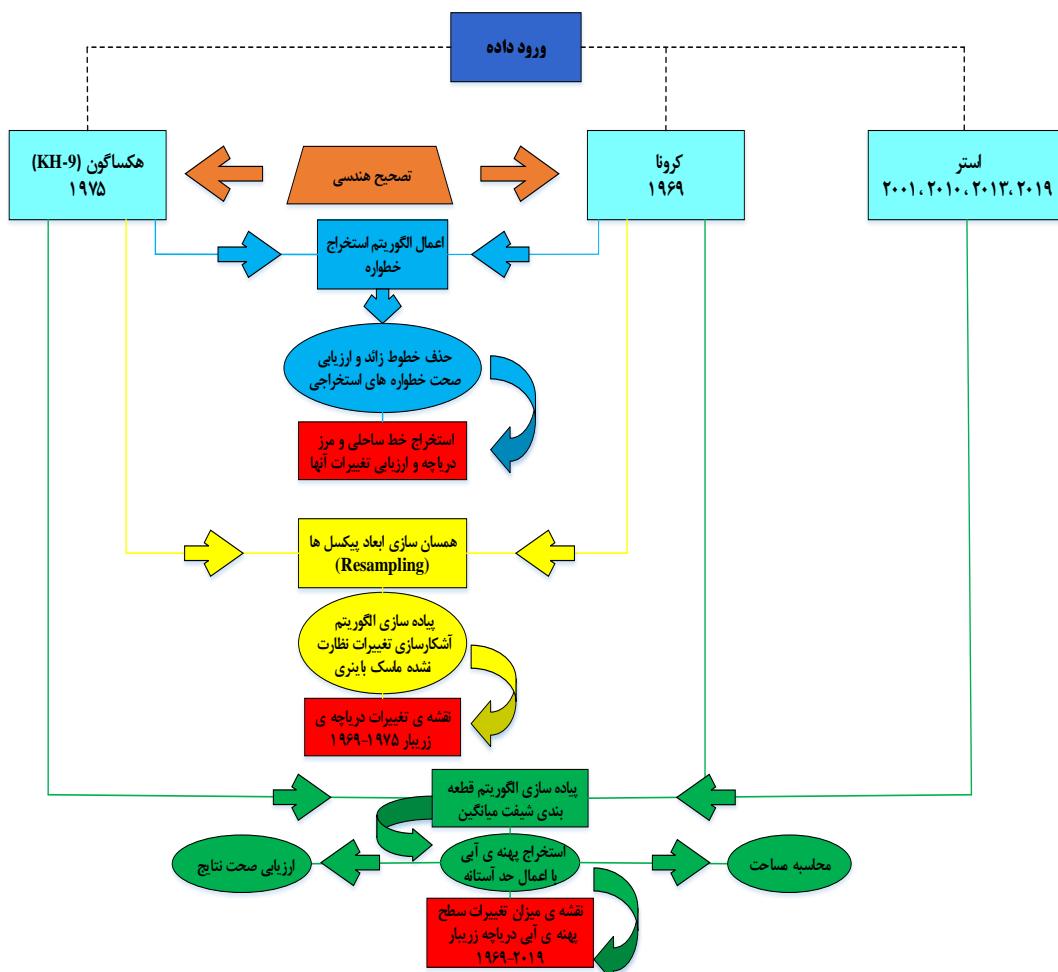
معرفی محدوده مورد مطالعه

دریاچه زریبار یکی از بارزترین و ارزشمندترین اکوسیستم‌های آب شیرین در غرب ایران است. دریاچه‌ی زریبار در $32^{\circ} 35^{\prime}$ شمالی و $46^{\circ} 08^{\prime}$ 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 $1/6$ کیلومتری، حداکثر عمق ۶ متری، مساحت $8/9$ کیلومترمربعی و حجم 30 میلیون مترمکعبی است (ایمانی و همکاران، ۲۰۱۷). به این ترتیب مساحت کاسه تالاب حدود $8/3$ است که با حواشی نیزار جمعاً حدود ۲۰ کیلومترمربع وسعت دارد شکل (۱). این موضوع باعث شده تا بتوان به راحتی بر روی آن قایقرانی کرد. دریاچه‌ی زریبار یکی از جلوه‌های منحصر به فرد به این دریاچه می‌دهند. آب این با کوه‌هایی زیبا از درختان و مراتع احاطه شده است که جلوه‌ای منحصر به فرد به این دریاچه می‌دهند. آب این دریاچه از چشممه‌های بستر دریاچه و همچنین بارندگی تأمین می‌شود. تالاب زریبار یکی از منحصر به فردترین دریاچه‌های جهان به شمار 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 به عنوان 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 روبروست (آمار و اطلاعات سازمان محیط‌زیست، ۲۰۱۶).



شکل (۱). نقشه‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه

هدف از انجام این تحقیق ارزیابی توان عملکردی عکس‌های ماهواره‌ای کرونا، هکساگون و تصاویر استر در تهییه نقشه مرز و خط ساحلی دریاچه زریبار و استخراج میزان تغییرات سطح دریاچه در بازه‌ی زمانی ۱۹۶۹-۲۰۰۱۹ می‌باشد. در شکل (۲) روند کلی تحقیق نشان داده شده است.



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

داده‌ها

کرونا

کی هول نام برنامه عکس‌برداری ماهواره‌ای اکتشافی از سال ۱۹۶۰ تا ۱۹۸۴ است که گستره وسیعی از پاییش را در مقایسه با داده‌های ماهواره‌ای بعدی نظری لنdest است که به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند، فراهم

می‌کند. ماهواره کرونا از مجموعه‌ای از دوربین‌های پانوراما با مشخصات Key Hole (KH) استفاده می‌کند (داشورا^۱ و همکاران، ۲۰۰۷). عکس‌های کرونا در ابتدا توسط دوربین‌های پانوراما گرفته شد و بر روی فیلم، با واکنش شدید در طیف مریبی (۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر) ثبت شد. داده‌های کرونا در هر برداشت خود در مأموریت KH4-A به صورت تقریبی ۱۷ تا ۲۳۲ کیلومتر و در مأموریت B-KH4-A به صورت تقریبی ۱۳,۸ تا ۱۸۸ کیلومتر را عکس‌برداری می‌کردند (گالیاتساتوس^۲، ۲۰۰۹). برای اطمینان از دید برجسته‌بینی با دو دوربین پانوراما، دوربین‌های پانورامیک با اسکن از طریق سیستم‌های دوربین A-KH و B-KH تصاویر را روی یک فیلم عکاسی با اندازه ۷۵۷ میلی‌متر تا ۵۵ میلی‌متر، ثبت کردند (گالیاتساتوس، ۲۰۰۹).

هکساگون

(KH-9) که داده‌هایش در سال ۲۰۰۲ از طبقه‌بندی خارج شد، بخشی از برنامه ماهواره‌ای شناسایی کی هول ایالات متحده آمریکا بود. با این حال، کماکان جزئیات اطلاعات اعوجاج لنز با فیلم از حالت طبقه‌بندی خارج نشده و به صورت محرمانه باقی مانده است. سیستم دوربین نقشه‌برداری (MC^۳) بین آوریل ۱۹۷۳ (مأموریت ۱۲۰۵) تا زوئن ۱۹۸۰ (مأموریت ۱۲۱۶) فعالیت می‌کرد. سیستم لنز زمینی ۱۲ اینچی مورداستفاده، با حداقل تحریف ۲۶ میکرومتر و میدان دید لحظه‌ای ۸۰ درجه، پوشش زمینی ۱۲۹×۲۵۹ کیلومترمربعی را در مقیاس ۱:۶۰۰۰۰۰ در ارتفاع ۱۷۰ کیلومتر با وضوح ۶–۹ متر فراهم می‌کند (برنت^۴، 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^۵: ۲۰۱۰). برای مأموریت‌های هکساگون مشابه مأموریت KH-4 که اولین مأموریت ارائه پوشش استریو بود از رزلوشن فیلم حدود ۸۵ mm / lp (جفت خط در هر میلی‌متر) استفاده شد.

استر

پرتوسنج حرارتی تابشی و بازتابشی فضا برد پیشرفته (ASTER)^۶ یک تصویرگر چند طیفی پیشرفته است که در دسامبر ۱۹۹۹ روی صفحه‌ی مدار فضایی می‌باشد. استر محدوده طیفی گسترده‌ای با ۱۴ باند از مرئی تا مادون قرمز حرارتی با قدرت تکمیک مکانی، طیفی و رادیومتریک بالا را پوشش می‌دهد. قدرت تکمیک مکانی با طول موج تغییر می‌کند به طوری که در محدوده مرئی و مادون قرمز نزدیک ۱۵ متر، در مادون قرمز طول موج کوتاه ۳۰ متر و در مادون قرمز حرارتی ۹۰ متر به تصویربرداری می‌پردازد که هر تصویر وسعت ۶۰ × ۶۰ کیلومتر را پوشش می‌دهد. (راهنمای کاربران استر^۷، ۲۰۰۱)

¹ Dashora

² Galiatsatos

³ Mapping Camera

⁴ Burnett

⁵ Surazakov

⁶ Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer(ASTER)

⁷ Aster User Guide

پهنه‌های آبی جهانی استر

محصول داده‌های نسخه‌ی ۱ پایگاه داده‌های پهنه‌های آبی جهانی استر (ASTWBD^۱، پوشش جهانی پهنه‌های آبی بزرگ‌تر از 0.2 کیلومترمربع در یک قدرت تفکیک مکانی ۱ آرك ثانیه (تقرباً 30 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^۲ توسط انجمن آزمایشگاه اطلاعات سنجنده (SILC) در توکیو ارائه شده است. محصول داده‌های نسخه‌ی ۳ با استفاده از تصاویر استری سطح 1A که بین یکم مارس سال ۲۰۰۰ و ۳۰ آم نوامبر سال ۲۰۱۳ به دست آمده‌اند، تولید شده 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 مورد استفاده در جداول (۱) و (۲) نمایش داده شده است.

جدول (۱). مشخصات داده‌های مورد استفاده

سنجنده	تاریخ اخذ داده	قدرت تفکیک مکانی	محدوده طیفی	قدرت تفکیک رادیومتریک
CORONA KH-4A	1969/08/03	$7,600\text{--}2,700 \text{ m}^3$	پانکروماتیک	۸
Hexagon KH-9	1975/06/24	$6\text{--}9 \text{ m}^3$	پانکروماتیک	۸
ASTER	2001/07/05	15 m^3	مادون‌قرمز نزدیک	۸
ASTER	2010/07/04	15 m^3	مادون‌قرمز نزدیک	۸
ASTER	2013/07/18	15 m^3	مادون‌قرمز نزدیک	۸
ASTER	2019/07/04	15 m^3	مادون‌قرمز نزدیک	۸

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

جدول ۱. مشخصات داده‌های مورد استفاده به منظور صحت سنجی نتایج

داده	زمان اخذ داده	مقیاس / قدرت تفکیک مکانی
ASTWBD	۲۰۱۳-۲۰۰۰	30 m^3
نقشه توپوگرافی	۱۹۹۷	۱:۱۵۰۰۰

(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 روی داده‌ها 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.

1 Aster Water Body Data

2 ASTER GDEM

پیشبردازش (تصحیح هندسی عکس‌های ماهواره‌ای کرونا و هکساگون) از آنچاکه 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 به صورت همسان برش داده شدند. در مرحله بعد ۲۲ نقطه به عنوان 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

در تحقیق حاضر به منظور استخراج مرز و خط ساحلی دریاچه‌ی زریبار از الگوریتم استخراج خطوط اهاره استفاده می‌شود. در واقع از آنجاکه 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 لبه کمی استفاده می‌شود (کنی، ۱۹۸۶). لذا در ابتدا تصویر ورودی با یک تابع گوسین رابطه (۱) فیلتر می‌شود (گرین، ۲۰۰۲، ماینی^۴ و آگرووال، ۲۰۰۹؛ که شعاعش با پارامتر RADI (شعاع فیلتر) تعیین شده. سپس، از تصویر فیلتر شده گرادیان محاسبه می‌شود. درنهایت، پیکسل‌هایی که گردیانشان ممکن است با حدیگر را بشناسند، شدت لبه را با صفر حذف می‌شوند.

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

در رابطه (۱)، (x) G فیلتر گوسین و ۵ انحراف معیار می باشد.
سپس تصویر شدت لبه برای دستیابی به یک تصویر باینری حد آستانه گذاری شده و در نهایت منحنی ها از تصویر لبه، یابنی، استخراج می شوند.

¹ Lineament extraction

² Canny

3 Green

4 Maini

5 Aggarwal

به طور کلی فرایند استخراج خطواره بر اساس شش مرحله اصلی انجام می‌گیرد که در زیر به آن‌ها اشاره می‌شود: شعاع فیلتر^۱، تشخیص لبه را بر حسب پیکسل مشخص می‌کند که در تشخیص خطوط تراز نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد و کوچک‌ترین سطح جزئیات را در تصویر ورودی تعیین می‌کند. مقدار بزرگ شعاع فیلتر سطح جزئیات کمتری نشان می‌دهد؛ بنابراین ارزش ۳ تا ۸ (در واحد پیکسل) برای جلوگیری از ایجاد نویز توصیه می‌شود.

آستانه شب لبه^۲ 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 با کیفیت رادیومتریک متوسط قابل قبول می‌باشد.

آستانه انحنای منحنی^۳ حداقل طولی است که باید یک منحنی داشته باشد تا به عنوان 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 هکسائگون در نظر گرفته شده است تا خطواره‌های کوچک که به خط ساحلی و مرز دریاچه ارتباط ندارد، کاهش یابد.

آستانه تناسب خط^۴ حدی (در واحد پیکسل) است که به خطوط منحنی مرحله قبل اجازه می‌دهد به عنوان خط شناخته شوند. مقادیر بین ۲ تا ۵ به علت این که تناسب بیشتری ایجاد می‌کند برای این فاکتور توصیه شده است.

آستانه اختلاف زاویه‌ای^۵ است که دو خط برای مرتبط شدن به هم نباید از آن تجاوز کنند. مقادیر بین ۳ تا ۲۰ قابل پذیرش می‌باشد.

آستانه فاصله متصل شدن^۶ به عنوان حداکثر فاصله‌ای که دو خط می‌توانند داشته باشند تا به هم متصل شوند. معمولاً مقادیر بین ۱۰ تا ۴۵ قابل پذیرش است.

مقادیر پارامترهای به کار رفته در استخراج اتوماتیک خطواره برای عکس‌های ماهواره‌ای کرونا و KH-9 در جدول (۳) نمایش داده شده است.

جدول (۳). مقادیر پارامترهای به کار رفته در استخراج اتوماتیک خطواره‌ها برای عکس‌های ماهواره‌ای کرونا و هکسائگون

شماره	پارامتر	مشخصات پارامترها		کرونا	هکسائگون
		واحد	دامنه		
۱	RADI	پیکسل	۰-۱۰۰	۱۰	۹
۲	GTHR	پیکسل	۰-۲۵۵	۱۰	۹
۳	LTHR	پیکسل	۰-۱۰۰	۵	۶

^۱ Filter Radius (RADI)

^۲ Edge Gradient Threshold (GTHR)

^۳ Curve Length Threshold (LTHR)

^۴ Line Fitting Error Threshold (FTHR)

^۵ Angular Difference Threshold (ATHR)

^۶ Linking Distance Threshold (DTHR)

ارزیابی توان عملکردی عکس‌های ماهواره‌ای در تهیه ...

۴۱۱

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

(منبع: نگارندگان)

پس از اجرای الگوریتم، خطوط‌های تصاویر استخراج شده و در این میان به منظور حذف خطوط زائد و ارزیابی صحت خطوط‌های استخراجی از عکس‌های توپوگرافی ۱/ ۵۰۰۰۰ استفاده می‌گردد. به این صورت که بعد از استخراج خط ساحلی و مرز دریاچه از نقشه‌ی توپوگرافی، بروی خطوط‌های استخراجی از عکس‌های ماهواره‌ای کرونا و هکساگون قرار داده شده و خطوط زائد بر اساس آن حذف می‌گرددند. از آنجاکه یکی از اهداف این تحقیق هم یافتن خطوط‌هایی 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 به منظور ارزیابی تغییرات، طول هر کدام از خطوط ساحلی و مرز دریاچه مستخرج از داده‌های کرونا (۱۹۶۹) و هکساگون (۱۹۷۵) محاسبه شده و تغییرات آن‌ها نسبت به هم و نقشه‌ی توپوگرافی ۱۹۹۷ محاسبه خواهد شد.

روش پیشنهادی برای آشکارسازی تغییرات

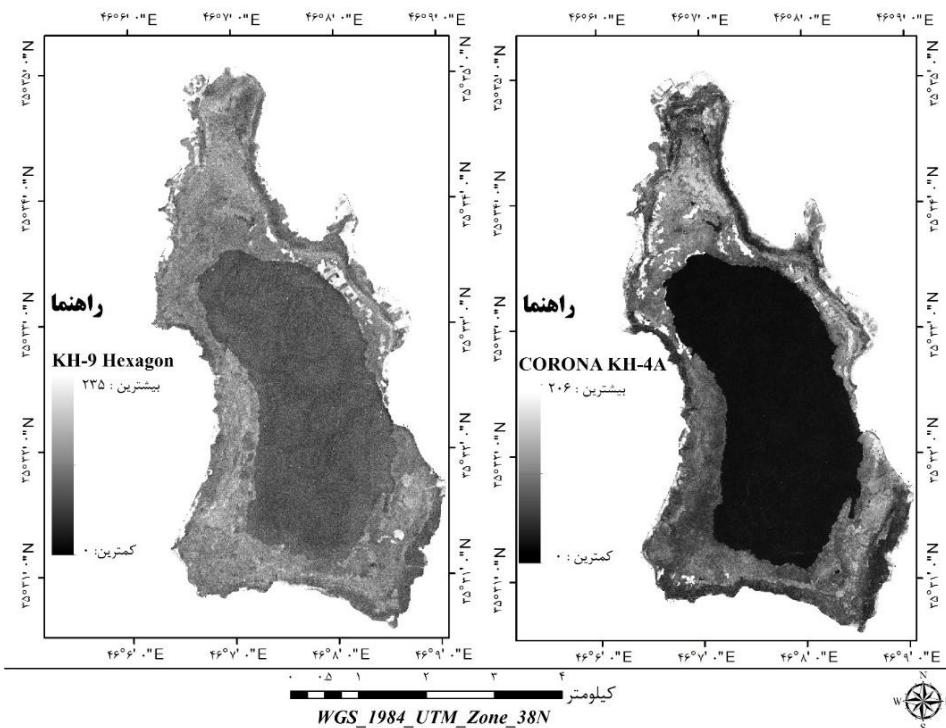
در این روش فرض می‌شود دو تصویر $X1$ و $X2$ با اندازه‌ی $I \times J$ از یک مکان در دو زمان مختلف t_1 و t_2 برداشته شده‌اند. روش آشکارسازی، تغییرات نظارت نشده، یک ماسک تغییرات باینری $\leq CM = \{cm(i, j)|1 \leq i \leq I, 1 \leq j \leq J\}$ است که چنین تصاویری نسبت به همیگر ثبت شده‌اند (کلیک^۱، ۲۰۱۰)، به گونه‌ای که خروجی آن مجموعه‌ای از پیکسل‌های تغییریافته و تغییرنیافته است. در این روش تصویر اختلاف $\{cm(i, j)|1 \leq i \leq I, 1 \leq j \leq J\} = XD = \{cm(i, j)|1 \leq i \leq I, 1 \leq j \leq J\}$ 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 محاسبه شده، به صورت یک خروجی $\{0, 1\} \in \{0, 1\}$ خواهد بود. برای تصاویر نوری XD را می‌توان به صورت قدرمطلق تفاضل شدت مقادیر خاکستری تعريف کرد (کلیک، ۲۰۱۰).

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

از آنجاکه اطلاعات میدانی از دریاچه زریبار برای سال‌های ۱۹۶۹-۱۹۷۵ در دسترس نیست و از طرف دیگر داده‌های ماهواره‌ای کرونا و هکساگون هم به صورت پانکروماتیک هستند، از روش پیشنهادی یاد شده به منظور 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 ازیک طرف و قدرت تفکیک رادیومتریک یکسان (۸ بیت) از طرف دیگر باعث شده که بتوان با یک سری پیش‌پردازش، تغییرات

¹ Celik

دریاچه زریبار بین دو تاریخ مختلف را موردنبررسی قرار داد شکل (۳). مراحل انجام کار به این صورت است که بعد از اخذ و تصحیح هندسی داده‌ها با تصاویر گوگل ارت، 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 به عنوان داده مبنا در نظر گرفته شده 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

از آنجاکه بخشی از داده‌های مورداستفاده در این تحقیق به صورت 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 روش‌ها مانند شاخص‌های طیفی و

طبقه‌بندی جهت استخراج پهنه‌ی آبی وجود ندارد. با این حال به دلیل قدرت تفکیک مکانی بالای این داده‌ها امکان استفاده از روش‌های قطعه‌بندی وجود دارد. روش پیشنهادی ما جهت استخراج پهنه‌ی آبی الگوریتم قطعه‌بندی شیفت میانگین همراه با حد آستانه می‌باشد.

قطعه‌بندی شیفت میانگین^۱

روش قطعه‌بندی شیفت میانگین در سال ۱۹۷۵ ابتدا توسط فوکاناگو^۲ و هوستلر^۳ پیشنهاد داده شد (کی^۴ و آلتیناکار^۵، ۲۰۱۱) و بعداً توسط کومامیک^۶ و میر^۷ جهت خوشبندی و قطعه‌بندی تصویر مورداستفاده قرار گرفت (رکنی^۸ و همکاران، ۲۰۱۴). الگوریتم شیفت میانگین یک روش غیر پارامتریک بر مبنای تراکم، جهت آنالیز فضاهای پیچیده چند ماکریم برای توصیف خوشبتهای هم‌شکل است. این رویکرد نتایج فوق العاده‌ای را در خوشبندی و توصیف اشیاء در تصاویر رنگی را ایجاد می‌نماید (رکنی و همکاران، ۲۰۱۴). الگوریتم فوق بر مبنای جستجوی حالت تراکم و خوشبندی است. فضای ویژگی به طور تجربی به صورت تابع توزیع احتمال ویژگی‌های ورودی در نظر گرفته می‌شود و نواحی فشرده مربوط به ماکریم‌های محلی است که با روشی تکراری ماکریم‌های محلی را پیدا می‌کند. این روش بر مبنای یک تابع کرنل به صورت (x) با دامنه همسایگی جهت برآورد میانگین کار می‌کند. این روش بر مبنای یک تابع کرنل به صورت K با 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 به صورت تکراری است و یک نقطه مانند X به را با میانگین (X) مطابق با رابطه (۳) جایجا می‌کند. همچنین، در این رابطه برای مجموعه‌ای از نقاط به تعداد n که X موقعیت هر نقطه در مجموعه نقاط و اندیس‌های ۱ الی n خواهد بود. علاوه بر این، در رابطه فوق h ساعت کرنل، g کرنل گوسی و بردار شیفت میانگین m متناظر با مقدار محاسبه شده در همسایگی مرکز کرنل (یا همان موقعیت نقطه X) می‌باشد.

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

برای انجام روش قطعه‌بندی شیفت میانگین ابتدا کل پهنه‌ی دریاچه به وسیله مرز آبی برش داده می‌شود. از آنجاکه داده‌های مربوط به کرونا و هکساگون به صورت پانکروماتیک هستند برای فرض کردن شرایط یکسان

¹ Mean Shift Segmentation

² Fukunaga

³ Hostetler

⁴ Qi

⁵ Altinakar

⁶ Comamici

⁷ Meer

⁸ Rokni,

باید از یک باند طیفی تصاویر ماهواره‌ی استر استفاده شود. لذا از باند مادون‌قرمز نزدیک تصاویر استر به دلیل اینکه پنهانهای 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 بر روی عکس‌های ماهواره‌ای کرونا، هکساگون و تصاویر استر پیاده‌سازی می‌شود. پس از اعمال الگوریتم شیفت میانگین برای استخراج پنهانه‌ی آبی از روش حد آستانه استفاده می‌شود. حد آستانه روشی برای بخش‌بندی تصویر بر اساس آستانه بهینه است، بهنحوی که 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 پس از آنکه داده‌های مدنظر قطعه‌بندی شدند با استفاده از هیستوگرام برای هر کدام از عکس‌ها و تصاویر در زمان‌های مختلف بازه مقادیر کمینه و بیشینه برای استخراج پنهانه‌ی آبی مشخص گردیدند. برای استخراج پنهانه‌ی آبی دریاچه زریبار در بین دو بازه مدنظر قسمت کمینه، پیکسل با کمترین ارزش (0°) و در قسمت بیشینه، ارزش بیشترین پیکسل‌هایی که مربوط به پیکسل آب باشد با توجه به داده‌های موردنظر قرار داده می‌شود.

نتایج

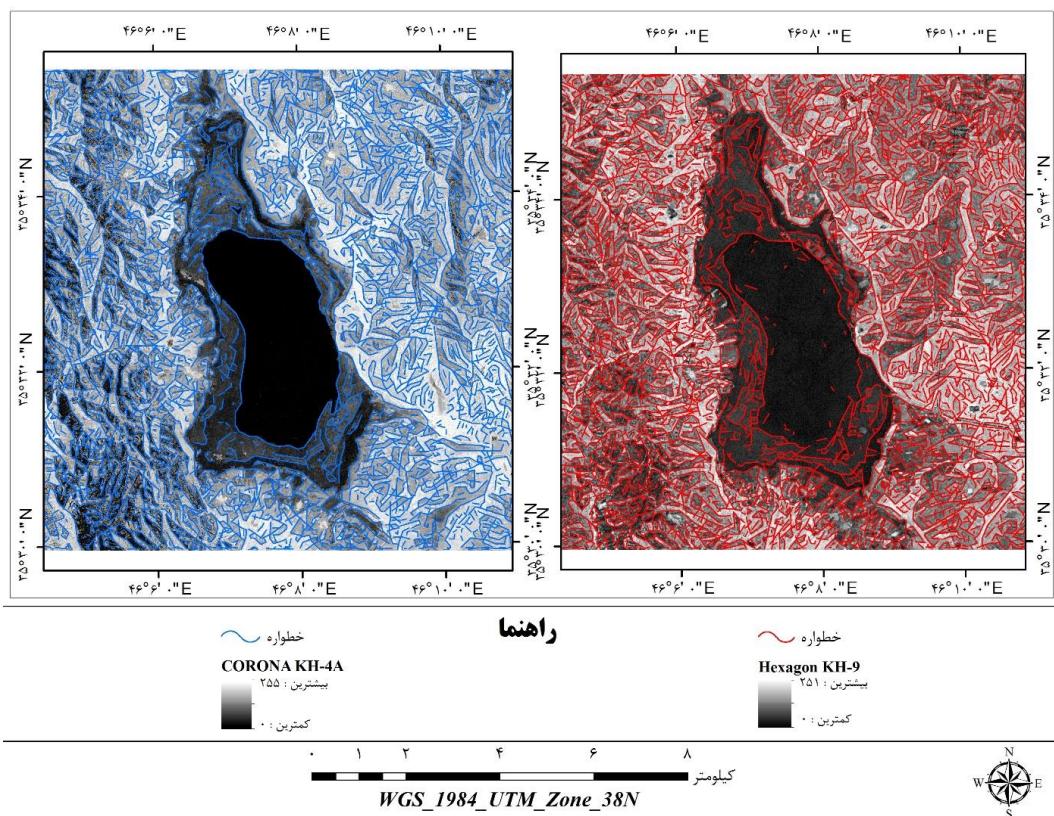
تصحیح هندسی

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 خطای زمین مرجع شدن، مناسب است. کوپین^۱ و همکاران در سال ۲۰۰۴ نیز در مقاله موروی خود بیان داشتند که خطای کمتر از نیم پیکسل برای تصحیح هندسی تصاویر ماهواره‌ای قابل قبول می‌باشد.

استخراج خط ساحلی و مرز دریاچه

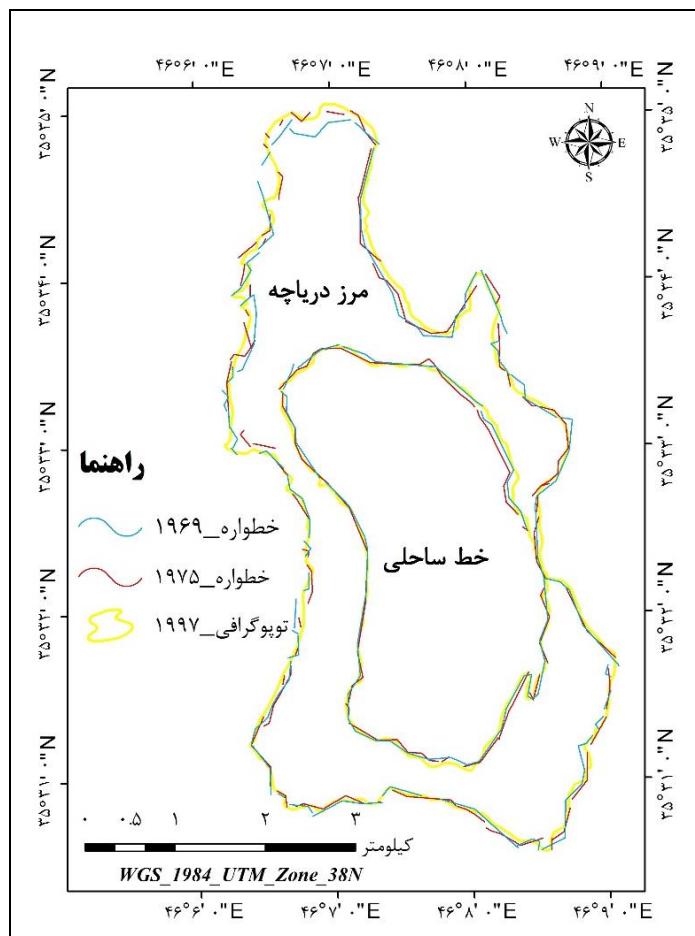
الگوریتم استخراج خطواره به منظور استخراج خط ساحلی و مرز دریاچه بر روی عکس‌های ماهواره‌ای کرونا و هکساگون به ترتیب تعداد ۴۳۲۴ و ۴۲۵۰ خطواره را استخراج کرد. نتایج حاصل از الگوریتم فوق در شکل (۴) نمایش داده شده است.

¹ Coppin



شکل (۴). نقشه‌ی تراکم خطواره‌ای استخراج شده 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 استخراج شده از نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ دارد.



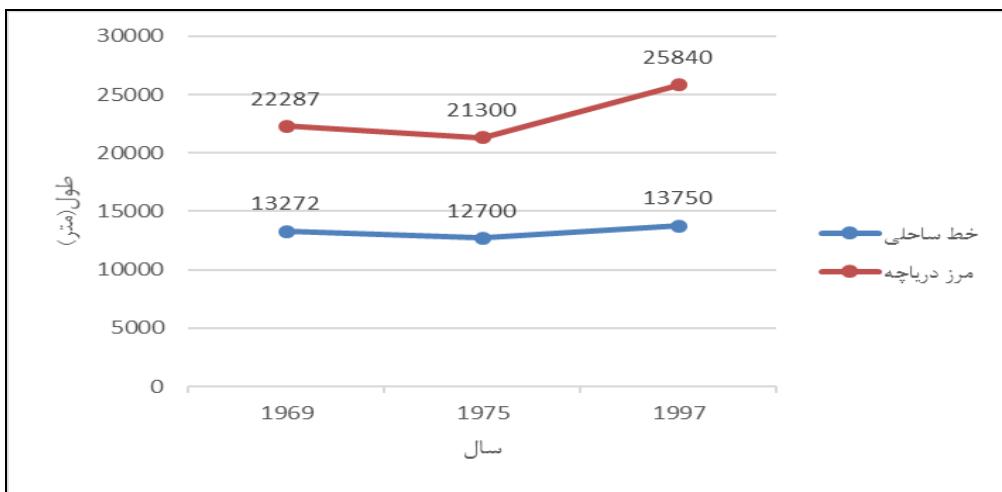
شکل (۵). نقشه‌ی خط ساحلی و مرز دریاچه مستخرج از عکس‌های ماهواره‌ای کرونا (۱۹۶۹)، هکساگون (۱۹۷۵) و نقشه‌ی توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ (۱۹۹۷) پس از حذف خطوط زائد (منبع: نگارندگان)

طول خط ساحلی و مرز دریاچه برای عکس‌های ماهواره‌ای کرونا، هکساگون و نقشه‌ی توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ در جدول (۴) نمایش داده شده 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)		
سال	خط ساحلی	مرز دریاچه
۱۹۶۹	۱۳,۲۷۲	۲۲,۲۸۷
۱۹۷۵	۱۲,۷۰۰	۲۱,۳۰۰
۱۹۹۷	۱۳۳,۷۵۰	۲۵,۸۴۰

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

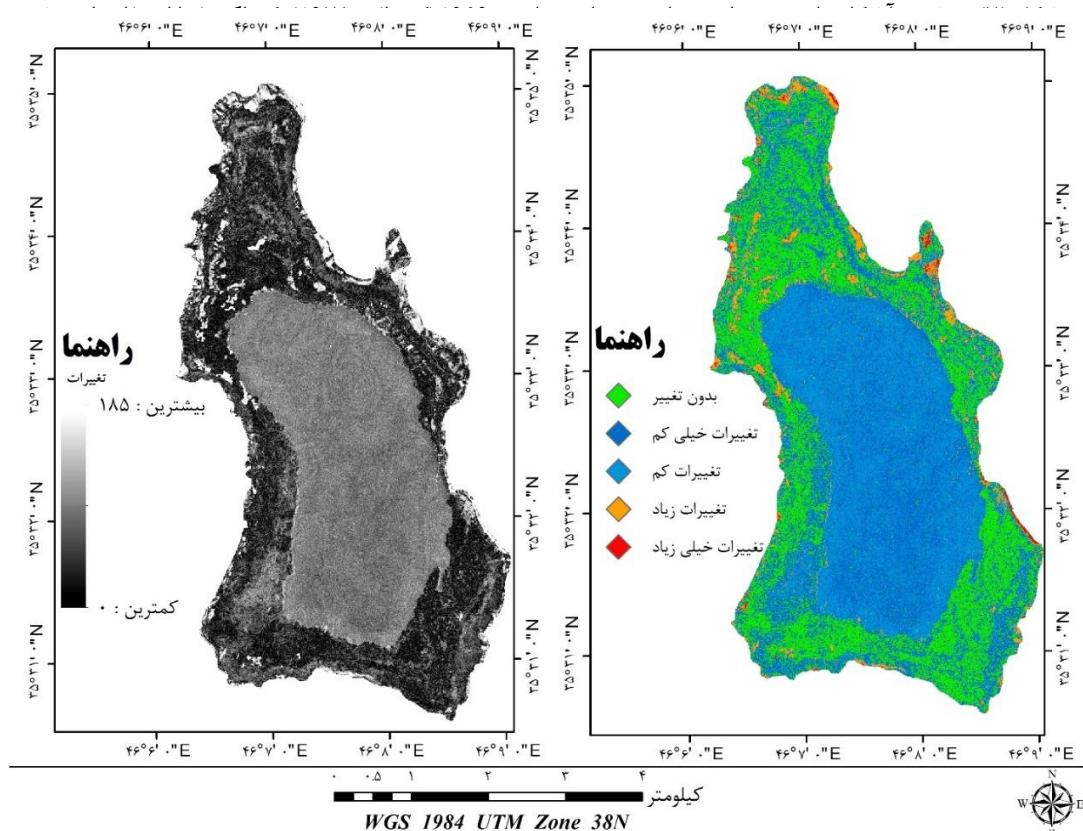


شکل (۶). نمودار روند تغییرات خط ساحلی و مرز دریاچه مستخرج از الگوریتم استخراج خطواره با استفاده از عکس‌های ماهواره‌ای کرونا (۱۹۶۹)، هکساگون (۱۹۷۵) و مقایسه نقشه‌ی توبوگرافی ۱/۵۰۰۰ (۱۹۹۷) (منبع: نگارندگان)

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 (۱۹۶۹-۱۹۷۵)

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 بازه زمانی ۱۹۶۹-۱۹۷۵ پرداخته شد. هرچند دو عکس ماهواره‌ای کرونا و هکساگون از دو سیستم عکس‌برداری متفاوت بودند و از نظر قدرت تفکیک مکانی باهم اختلاف دارند اما نتایج حاصل از این کار نشان داد که با استفاده از نمونه‌برداری مجدد خروجی حاصل شده با داده‌های ورودی انطباق قابل توجهی دارد. به این صورت که در عکس‌های ورودی بیشترین تغییرات بین دو داده موردنظر در مرز دریاچه خصوصاً مرزهای شرقی دریاچه و قسمت‌های بالایی دریاچه از نظر بصری کاملاً نمایان است شکل (۷). محاسبه مساحت تغییرات با استفاده از روش آستانه گذاری در ۵ کلاس طبقه‌بندی شده است شکل (۷).



طبقه‌بندی نظارت‌نشده ماسک بازی‌ری (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 از نظر کاربری تغییرات چندانی نداشته است. در جدول (۵) مساحت هریک از کلاس‌ها نشان داده شده است.

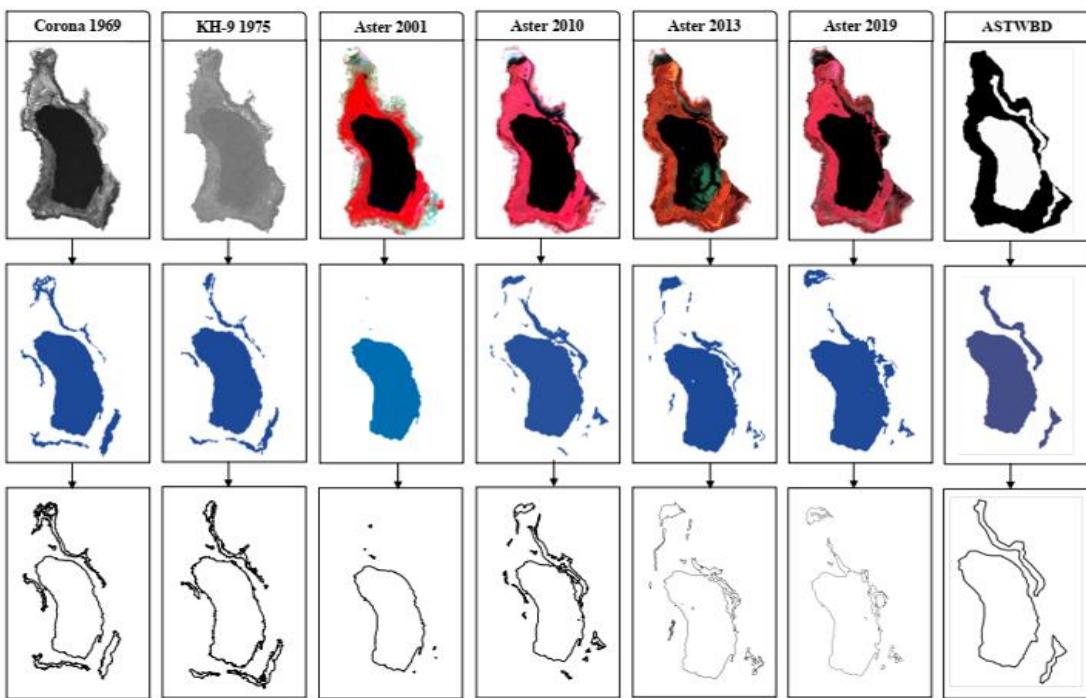
جدول (۲). مساحت تغییرات بدست آمده در بازه‌ی زمانی (۱۹۶۹-۱۹۷۵) با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌نشده ماسک بازی‌ری (منبع: نگارندگان)

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 به منظور استخراج پهنه‌ی آبی دریاچه زریبار با

استفاده از عکس‌های ماهواره‌ای کرونا، هکساگون و تصاویر استر در شکل (۸) نشان داده شده است.



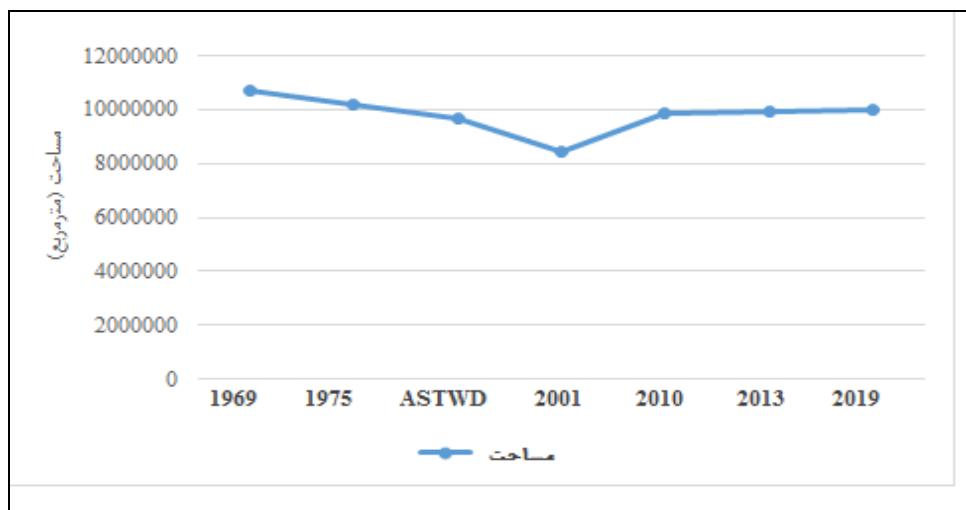
شکل (۸). نقشه‌ی پهنه‌ی آبی استخراج شده دریاچه زریبار در بازه‌ی ۱۹۶۹-۲۰۱۹ با استفاده از الگوریتم قطعه‌بندی
شیفت میانگین و حد آستانه (منبع: نگارندگان)

همان‌طور که در جدول (۶) مشاهده می‌شود پهنه‌ی آبی دریاچه زریبار در سال ۱۹۷۵ نسبت به سال ۱۹۶۹ با کاهش بیش از ۴,۵٪ روبرو 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، ۲۰۱۱ استفاده شد. از آنجاکه پهنه‌های آبی در محدوده طیفی مادون‌قرمز نزدیک جذب بالایی دارد، باند مادون‌قرمز نزدیک تصاویر استر جهت استخراج پهنه‌ی آبی مورد استفاده 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. همچنانی 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 داده شده است.

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

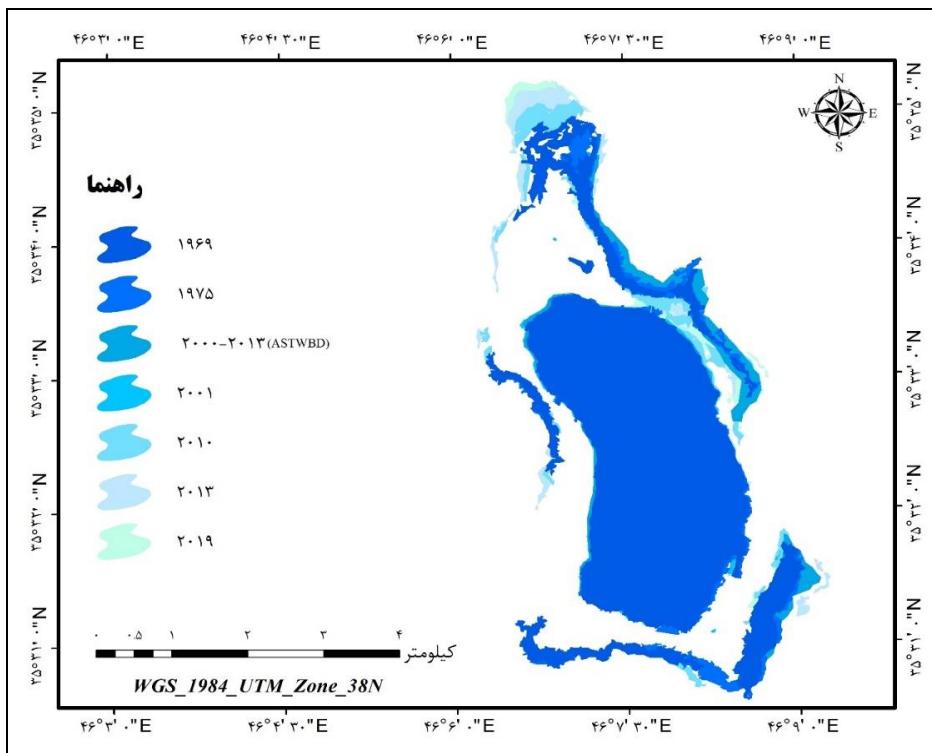
سنجدنده	تاریخ اخذ داده	مساحت (مترمربع)
کرون	۱۹۶۹/۰۸/۰۳	۱۰,۶۹۰,۰۶۰
هکساگون	۱۹۷۵/۰۶/۲۴	۱۰,۱۷۶,۵۹۸
ASTWBD	۲۰۰۰-۲۰۱۳	۹,۶۵۲,۰۵۶
استر	۲۰۰۱/۰۷/۰۵	۸,۴۵۷,۲۸۱
استر	۲۰۱۰/۰۷/۰۴	۹,۸۷۹,۷۷۴
استر	۲۰۱۳/۰۷/۱۸	۹,۹۳۷,۹۵۷
استر	۲۰۱۹/۰۷/۰۴	۹,۹۹۵,۷۸۷

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 استخراج شده بود استفاده گردید. همان‌طور که مشاهده می‌شود روند تغییرات دریاچه زریبار از سال ۱۹۶۹ همبستگی بالایی با پهنه‌ی آبی ASTWBD دارد شکل (۹).



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

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



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

در این مطالعه از بهمنظور پایش و ارزیابی تغییرات دریاچه زربیار 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 خطای 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 اشاره کرده‌اند.

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

آشکارسازی تغییرات

یافته‌های به دست آمده حاصل از روش پیشنهادی (طبقه‌بندی نظارت نشده ماسک باینری)، به‌منظور آشکارسازی تغییرات دریاچه زربیار با استفاده از عکس‌های ماهواره‌ای کرونا و هکساگون به صورت قابل قبولی پیکسل‌های تغییریافته و تغییرنیافته در بازه‌ی ۱۹۶۹-۱۹۷۵ را شناسایی کرده است، به صورتی که نتایج حاصله از نظر بصری تطابق بالایی با تغییرات موجود در دو تاریخ عکس‌برداری دارد. در واقع الگوریتم پیشنهادی مورد استفاده 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 از نظر تجزیه و تحلیل با الگوریتم‌های آشکارسازی تغییرات به علت قدرت تفکیک طیفی محدود هستند، اما بالین حال 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 موقیت‌آمیز 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 عده 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 زربیار در بازه‌ی ۵۰ ساله روند کاهشی داشته است. در این میان مطالعات قبلی که در زمینه‌ی پایش و آشکارسازی تغییرات دریاچه‌ی زربیار کار

کرده‌اند، نتایج همسو با یافته‌های پژوهش حاضر دارند. به‌طوری‌که در مطالعه‌ی نظم فر و همکارانش که در سال ۱۳۹۳ انجام داده‌اند، سطح دریاچه‌ی زربیار 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 ۱۳۳۵ تا ۱۳۹۲ دریاچه‌ی زربیار با کاهش جدی مواجه بوده است. همچنین نتایج تحقیق تحقیق مالیان و همکارانش در سال ۱۳۹۷ حاکی از آن است که وسعت دریاچه‌ی زربیار در یک بازه‌ی ۵۸ ساله، روند کاهشی را تجربه کرده است. در این راستا مهمترین علل کاهش سطح آب دریاچه ناشی از تغییرات بارشی، سریزهای اتفاقی دریاچه و فعالیت‌های انسانی بوده است که در بین این موارد نقش عوامل انسانی در کاهش سطح آب دریاچه شامل حفر بی‌رویه 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 روستاپی، صنعتی، کشاورزی، خدماتی و تأسیساتی باعث آلودگی دریاچه شده‌اند و از آنجاکه دریاچه زربیار 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 زربیار 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 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 موردي دریاچه زربیار 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 ۱۹۶۹-۲۰۱۹ 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 دو عکس نشان داد که روش طبقه‌بندی نظارت‌نشده ماسک باینری توانسته است که بیکسل‌های 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 پنهانی آبی را از روی داده‌های ماهواره‌ای کرونا، هکساگون و استر استخراج کرده و به صورت قبل از استناد تغییرات حاصله در بازه‌ی زمانی ۱۹۶۹-۲۰۱۹ را ارزیابی کند. به‌طور کلی 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 با این حال 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 برداشت شده به صورت میدانی و یا از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا مانند کوئیک‌برد برای تصحیح هندسی استفاده کنند. با توجه به اینکه داده‌های کرونا و هکساگون اطلاعات طیفی محدودی داشتند اما الگوریتم طبقه‌بندی نظارت‌نشده ماسک باینری توانست به خوبی تغییرات را آشکار کند با این حال 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 مورد استفاده قرار گیرند.

منابع

- امیری، عبدالهی کاکرودی، عطا الله، قدیمی، مهرنوش. (۲۰۱۹). آشکارسازی خطواره‌های مرتبط با گسل دهشیر با داده‌های سنجش‌از دور اپتیک و رادار. نشریه علمی علوم و فنون نقشه‌برداری، ۲۹(۲)، ۵۱-۶۴.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح جمهوری اسلامی ایران
- عبدی‌نی، م؛ و ستوده پور، ا. (۱۳۹۶). آشکارسازی روند تغییرات دریاچه‌ها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌از دور مطالعه موردنی: دریاچه تکتونیکی زریوار. جغرافیای طبیعی، ۳۵(پیاپی ۱۱)، ۴۵-۶۰.
- مالیان، عباس، خادمی، شاهو، حسینعلی، فرهاد، ساکیزاده، محمد. (۱۳۹۷). به کارگیری دورکاوی و سامانه اطلاعات مکانی در آشکارسازی تغییرات تالاب زریبار. *فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست*.
- نظم فر، حسین و اسفندیاری درآباد، فربا و رحیمی، امید، ۱۳۹۳، بررسی تغییرات سطح آب دریاچه‌ی زریوار با استفاده از تکنیک سنجش‌از دور، GIS و شواهد رسوب‌شناسی بین سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۰۳، 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. Helvacı, C. & Acar, U. (2004). Coastline change detection using CORONA, SPOT and IRS 1D images. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 35, 437-441.
- 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., Schirrmeyer, 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/](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**.
- 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., Mihaei, 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., & Kabadayi, 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.
- 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.**