کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم محیطی، شماره ۱۱،دوره ۴، فصل تابستان سال ۱۴۰۳،
صص ۵۰-۲۳
Application of remote sensing and GIS in environmental sciences,Vol.4., No.11,Summer 2024, pp. 23-50

تشخیص تغییرات پوشش برفی با استفاده از روش‌های تحلیل شیءگرای تصاویر ماهواره‌ای مطالعه موردی: حوضه‌های آبریز غربی دریاچه ارومیه

نرگس صمدی، علی اکبر رسولی*، داوود مختاری، خلیل ولیزاده کامران

دانشجوی دکتری تخصصی گروه آب و هواشناسی، واحد مرند، دانشگاه آزاد اسلامی، مرند، ایران. رایانامه: samadinarges6565@gmail.com
استاد دانشکده علوم محیطی، دانشگاه مک کواری سیدنی، استرالیا. رایانامه: aliakbar.rasulypirouzian@mq.edu.au
استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: d_mokhtaritabrizu.ac.ir
استاد گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: valizadeh@tabrizu.ac.ir

چکیده

هدف این مقاله، تشخیص تغییرات پوشش برفی با استفاده از روش‌های تحلیل شیءگرای تصاویر ماهواره‌ای در حوضه‌های آبریزغربی دریاچه ارومیه (زولاچای، نازلوچای، شهرچای و باراندوزچای) است. در این راستا، وسعت پوشش برف به کمک تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 و Landsat-8 برای روزهای با بیشترین برف به روش شیءگرا استخراج و در ادامه به کمک روش CA-Markov وضعیت آتی پوشش برفی برفی هر ۴ حوضه در سال ۲۰۲۹ با دقت بالا شبیه‌سازی شد. سپس، عمق برف به کمک داده‌های FLDAS_NOAH و با استفاده از روش منحنی جرم باقیمانده نرمال شده در محیط اکسل مورد بررسی قرار گرفت. تغییرات پوشش و عمق برف در هر ۴ زیرحوضه طی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۳، دارای افت و خیزهایی بوده است و یک روند کاهشی داشته‌اند. بیشترین پوشش برفی مربوط به سال‌های ۲۰۱۸، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۱ می‌باشد. بیشینه و میانگین مقادیر عمق برف در سال ۲۰۲۰ به ترتیب به ۲/۲۸ و ۰/۶۸ و در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ نیز بیشینه عمق برف به کمترین میزان خود یعنی ۱/۰۷ و ۱/۱ رسید. همچنین بررسی نقشه پوشش برفی CA_Markov برای سال ۲۰۲۹ نشان دهنده روند افزایشی نسبی برف است. نتایج نهایی مطالعه حاضر نشان دهنده این واقعیت هستند که روش‌های بهینه‌سازی و همجوشی سنجنده‌های لندست و سنتینل می‌توانند در فرآیند استخراج و شناسایی پوشش برف با دقت بالا بسیار موثر باشند. بنابراین علارغم وجود مشکلات کم‌آبی در منطقه، بررسی نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که عوامل دیگری در تشدید کم‌آبی منطقه و کاهش آب دریاچه ارومیه دارد که یافتن و بررسی این، برای مدیریت مشکلات آبی منطقه بسیار حائز اهمیت است.

کلمات کلیدی: شیءگرا، سطح پوشش برف، عمق‌برف، Sentinel-2، حوضه های‌غربی دریاچه ارومیه

۱- مقدمه

دریاچه ارومیه به عنوان بزرگ‌ترین دریاچه داخلی ایران و بیستمین دریاچه جهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و همچنین به علت قرارگیری ایران در منطقه خشک و نیمه خشک کره‌زمین، بارش برف از مهم‌ترین عوامل مؤثر در میزان ذخایرآب، به ویژه در فصل گرم سال محسوب می‌شود. طی سال‌های گذشته بر اثر یک دوره خشک‌سالی و طرح‌های احداث سد که هم زمان به وقوع پیوسته‌اند، زمینه تبخیر بیش از پیش آب دریاچه ارومیه فراهم گردیده و تفاوت‌های قابل‌توجهی در سطوح آب دریاچه به وجود آمده است. این دریاچه شامل چندین زیرحوضه است که در غرب دریاچه می‌توان به زولا، نازلو چای و باراندوز چای اشاره کرد. در این مطالعه، حوضه‌های آبریز غربی دریاچه ارومیه به تفکیک از نقطه نظر توپوگرافیک (ارتفاع، شیب و جهت) با ویژگی‌های پوشش‌برفی در ارتباط باهم مدل‌سازی خواهند شد.

قبل از دوران سنجش‌ازدور، به دست آوردن اطلاعات پوشش برف بر اساس شبکه‌های رصد زمینی بسیار زمان‌بر و حتی خطرناک بود. کسب اطلاعات پوشش برف در سطح جهانی از زمان اختراع فناوری سنجش‌ازدور ماهواره‌ای امکان پذیر شد. در چند دهه گذشته، ثابت شده است که این فناوری جدید در نقشه برداری پوشش برفی در مقیاس بزرگ امیدوارکننده و کارآمد است (Hall et al., 2005). از این رو، در حوضه‌های آبریز کوهستانی، تصاویر ماهواره‌ای به عنوان جایگزین پایش‌ها و عملیات زمینی تهیه نقشه برف سطح برف مطرح شده‌اند (میر یعقوب زاده و همکاران، ۱۳۸۹).

در این مطالعه نیز با بهره‌گیری از فناوری سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات‌مکانی و طبقه‌بندی شیءگرا سطح پوشش برف در حوضه‌های غربی دریاچه ارومیه استخراج گردید و با استفاده از مدل پیش‌بینی زنجیره مارکوف به پیش‌بینی وضعیت آتی پرداخته شد. همچنین با استفاده از روش ناپارامتریک NRM، داده‌های عمق برف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. لازم به ذکر است، هدف اصلی مدل‌سازی سری‌های زمانی، دادن نظم خاص به مشاهدات وابسته به زمان است تا براساس آن بتوان آینده را پیش‌بینی کرد. به سخن دیگر مهم‌ترین هدف تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی یافتن مدل تغییرات و پیش‌بینی آینده آن است (فرج زاده، ۱۳۸۶).

تاکنون مطالعات زیادی در ارتباط با مطالعات و تحلیل پوشش برف و حتی یخچال‌های کوهستانی توسط محققان داخلی و خارجی صورت گرفته است که به برخی از آنها اشاره می‌گردد. (میرموسوی و همکاران، ۱۳۹۳) با پردازش تصاویر ماهواره‌ای مودیس[۱] تغییرات سطح پوشش برف منطقه شمالغرب ایران را در طی سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۰۹ میلادی بر اساس شاخص تفاضلی نرمال شده برف، طبقه‌بندی نظارت نشده و طبقه‌بندی نظارت شده بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان‌دهنده تغییرات قابل توجهی در میزان پوشش برف شمالغرب ایران در طول یک دهه بود. همچنین، (جویباری مقدم و همکاران، ۱۳۹۳) به تخمین سطح پوشش برف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ در منطقه بهروان پرداختند. آنها، با بررسی رفتار طیفی برف، شاخص و حد آستانه مطلوب بر روی باندهای محدوده مرئی، مادون قرمز میانی و حرارتی طیف الکترومغناطیس، طراحی و پیکسل‌های برفی را شناسایی و محدوده پوشیده شده از برف را تخمین زدند. در یک تحقیق دیگر، (امیدی و همکاران، ۱۳۹۳) تغییرات سطوح پوشش برف در ارتفاعات دنا را با استفاده از داده‌های ماهواره

---

[۱] Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (*MODIS*)

لندست (سنجنده‌های TM[1] و ETM+[2]) طی سال‌های ۱۹۹۲ الی ۲۰۱۳ میلادی بر اساس شاخص NDSI در ماه‌های آوریل و سپتامبر را بررسی نمودند. نتایج حاصله نشان‌دهنده تغییرات قابل توجه مکانی و زمانی پوشش برف در محدوده مورد مطالعه بود. همچنین (سیفی، ۱۴۰۰) با هدف تخمین سطح پوشش برف کوهستان سبلان با پردازش سنجنده‌های OLI[3] و TIRS[4] ماهواره لندست ۸ با استناد به روش‌های مختلف شیءگرا اقدام نمود. نامبرده از طریق استخراج سطح برف در دامنه‌ها و دره‌های مستقر در منطقه مورد مطالعه، پیشنهاد نمود که از نتایج حاصله می‌توان به عنوان جایگزین ایستگاه‌های برف سنجی استفاده کرد. (زینالی وهمکاران، ۱۴۰۰) در پژوهشی اقدام به استخراج سطح پوشش برف کوهستان سبلان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ برای سال ۲۰۰۰ و لندست ۸ برای سال ۲۰۲۰ میلادی نمودند. این محققان با استناد بر روشهای طبقه‌بندی شیءگرا و همچنین با استفاده از شاخص‌های طیفی متفاوت نقشه‌های طبقه‌بندی مورد نظر را تولید نمودند. نتایج نهایی نشان داد که با استناد به روشهای شیءگرا امکان استخراج سطح پوشش برف با دقت نسبی بالا در مناطق سرد کوهستانی میسر است. اما یادآور شدند که فقط استناد بر شاخص NDSI (به دلیل عدم تمایزدقیق میان پهنه های برف با سطوح آب) امکان دارد سطح پوشش برف بطور دقیق قابل شناسایی نباشد.

در محدوده حوضه دریاچه ارومیه، (امینی نیا و همکاران، ۱۳۸۹) به منظور تحلیل و بررسی تغییرات بارش برف سنگین در منطقه شمال‌غرب کشور، آمار روزانه دما و بارش ۱۰ ایستگاه سینوپتیک را بررسی و نشان دادند که بارش برف سنگین در همه ایستگاه‌ها و در طول دوره آماری مشترک دارای نوسانات زیاد و روند کاهشی بوده است. (حیدری، ۱۳۹۵) در مطالعه‌ای مشخص نمود که آذربایجان‌غربی به‌عنوان یکی از استان‌های کوهستانی و فاقد بارش‌های تابستانی است که بخش مهمی از بارش خود را به صورت برف دریافت می‌کند. محقق نامبرده بر مبنای آزمون‌های آماری مختلف اثبات نمود که طی سال‌های اخیر تغییرات شدید و ناگهانی بارش در ایستگاه‌های خوی و ارومیه به وقوع پیوسته است. در تحقیق دیگری (متین نیا، ۱۳۹۷) با پردازش تصاویر سنجنده مودیس طی دوره آماری ۱۸ ساله (۲۰۰۰ الی ۲۰۱۷ میلادی) روند تغییرات سطح پوشش برف را مطالعه نمود. نتایج نشان داد که سطح پوشش برف با مجموع بارش و دما همبستگی معنی داری دارد. ضمنا، (هوشیار و جوانبخت، ۱۳۹۷) به منظور مطالعه سینوپتیکی و دینامیکی روزهای دارای بارش برف سنگین در شهرستان ارومیه، داده‌های مربوط به بارش برف (بیشتر از ۱۵ میلیمتر) را تحلیل و نشان دادند که ورود توده‌های هوای شمال‌غربی و غربی باعث انتقال رطوبت قابل توجه به منطقه شمال‌غرب ایران شده و در نتیجه موجبات ریزش برف سنگین در محدوده شهرستان ارومیه می‌شوند. در نهایت (ختامی، ۱۳۹۹) پوشش برف حوضه آبریز دریاچه ارومیه را با استفاده از محصولات سنجنده مودیس در بازه زمانی ۱۵سال (۱۳۸۳الی ۱۳۹۷) بررسی نمود. نتایج این محقق نهایی نشان داد که این تصاویر (با تفکیک مکانی حدود ۲۵۰ متری) بطور کامل معرف تغییرات دقیق سطوح برف نیستند.

---

[1] Thematic Mapper (TM)
[2] Enhanced Thematic Mapper (ETM+)
[3] Operational Land Imager (*OLI*)
[4] Thermal Infrared Sensor (*TIRS*)

در بررسی و مدل‌سازی و تغییرات پوشش برف در خارج از کشور مطالعات بسیار زیادی صورت گرفته است که به اختصار به برخی از آن‌ها اشاره می‌گردد (Wang et al, 2003) با پردازش تصویر ماهواره‌ای لندست-۸ و شاخص تفاصلی پوشش برف مناطق جنگلی[۱] سطح پوشش برف در حوضه آبریز در کشور چین را محاسبه و تحقیقات آن‌ها نشان داد که این شاخص، می‌تواند سطوح پوشیده از پوشش برف در جنگل‌های سوزنی برگ و جنگل‌های همیشه سبز را با دقت بالا تشخیص دهد. در مطالعه دیگری (Singh et al,2020) با هدف شناسایی و نقشه‌برداری از بقایای بهمن برف بخشی از منطقه هیمالیای غربی را با پردازش تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ بررسی نمودند. آنها با بکارگیری و تکنیک‌هایی مانند روش نسبت‌گیری، ماتریس همزمانی سطح خاکستری مبتنی بر روش‌های دانش پایه بقایای بهمن را شناسایی و اعلام کردند که روش‌های مبتنی بر تکنیک‌های شیءگرا با پردازش تصاویر ماهواره‌ای با تفکیک مکانی متوسط، مناسب‌ترین روش برای شناسایی و نقشه برداری از بقایای بهمن است. همچنین، (Rasouli et al, 2020) با پردازش تصاویر ماهواره‌ای لندست (در بازه زمانی ۳۶ سال) و مدل ارتفاعی ماهواره استر[۲] تغییرات مکانی و زمانی در مقادیر پوشش برف منطقه کوه‌های برفی نیوسات ولز[۳] استرالیا را با دقت ۹۶ درصد استخراج نمودند. در این تحقیق از روش‌های شیءگرا با استناد بر توابع قطعه‌بندی پیکسل‌های تصویری، طبقه‌بندی نظارت‌شده و آستانه‌گذاری برای استخراج پوشش برف، درمحیط نرم افزار ایکاگنیشن[۴] استفاده گردید (نیکوخصال و همکاران، ۱۴۰۱). یادآورمی گردد با بررسی اجمالی منابع تحقیقاتی قبلی در داخل و خارج کشور(علیرغم نتایج بسیار قابل قبول حاصله) مشخص می گردد که هیچکدام از محققان مذکور در محدوده کوهستان سیلوانه و با تاکید بر حوضه های آبریز غربی دریاچه ارومیه مبادرت به پردازش همزمان ماهواره‌ای سنتینل-۲ و لندست های ۸ و ۹ با اعمال روش‌های تلفیقی نکرده اند. بنابراین، تحقیق حاضر با استناد به روشهای مختلف و پردازش تصاویر ماهواه ای چند سنجنده ای تلاش نمود تا این نقصان تحقیقاتی را پر نماید.

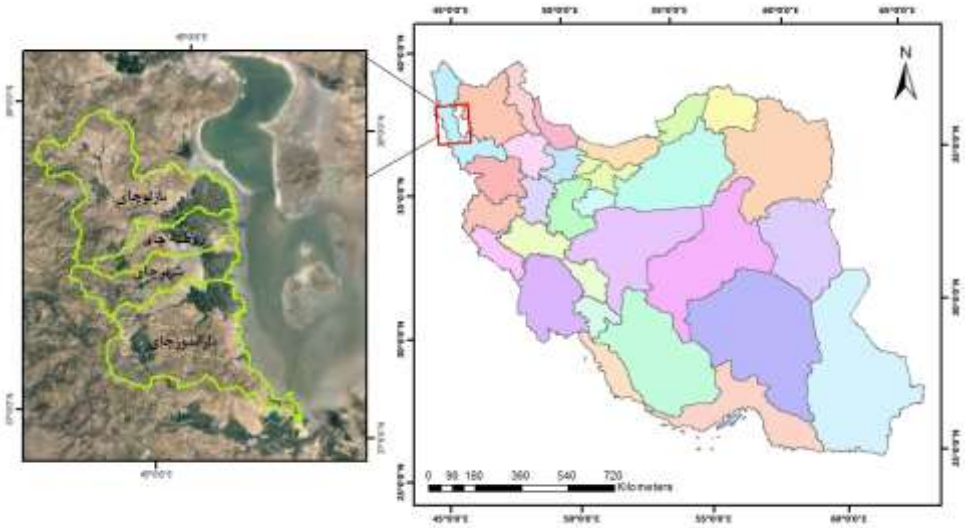
۲- روش تحقیق

۲- ۱- منطقه مورد مطالعه

دریاچه ارومیه به عنوان بزرگترین دریاچه داخلی ایران، از مهم‌ترین و با ارزش‌ترین اکوسیستم‌های آبی ایران و جهان به‌شمار می‌آید. اکوسیستم این دریاچه، نمونه‌ای شاخص از یک حوضه‌آبریز بسته است که کلیه روان‌آب‌های جاری در رودخانه‌های حوضه به آن تخلیه می‌گردد. همچنین اکوسیستم فعال آن شامل دریاچه و حوضه‌آبریز آن است. در نتیجه مرزحوضه‌آبریز دریاچه ارومیه، مرز دقیقی را برای مدیریت عوامل مؤثر بر دریاچه و زیستگاه‌های مهم در حوضه به وجود آورده است. دریاچه ارومیه محدوده‌ای با ابعاد ۱۳۰ در ۴۰ کیلومتر می‌باشد. آب دریاچه ارومیه بسیار شور می‌باشد. این حوضه، نمونه‌ای برجسته از یک حوضه داخلی بسته است که تمامی آب‌های حاصل از بارندگی بطرف مرکز دریاچه، جایی که تبخیر موجب ایجاد شوری بیش ازحد می‌گردد، تخلیه می‌شوند.

---

[۱] Normalized Difference Forest Snow Index (NDFSI)
[۲] ASTER
[۳] New South Wales
[۴] eCognition



شکل (۱): محدوده منطقه مورد مطالعه

Fig. (1): Scope of the study area

همان‌طور که در (شکل ۱) نشان داده شده است؛ تحقیق حاضر بر روی حوضه‌های غربی دریاچه ارومیه، زیر حوضه نازلوچای، روضه‌چای، شهرچای و باراندوزچای می‌شود، صورت گرفته است.

۲- ۲- اقلیم منطقه

بیشتر حوضه دریاچه ارومیه در ارتفاع ۱۳۰۰ تا ۲۰۰۰ متر قرار گرفته است و منطقه‌ای دشتی با ارتفاع متوسط تا نسبتاً بلند با زمستان‌های سرد و تابستان‌های نسبتاً گرم محسوب می‌شود. بر اساس داده‌های چهار ایستگاه مهم هواشناسی مستقر در محدوده ۱۳۰۰ تا ۲۰۰۰ متر حوضه دریاچه ارومیه (تبریز، ارومیه، سقز، سراب) و طبقه بندی دومارتن بیشتر منطقه دارای آب و هوای سرد و نسبتاً مرطوب است.

۲- ۳- مواد تحقیق

۲- ۳- ۱- داده‌های ماهواره‌ای

تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و سنتینل ۲ داده‌های مورد استفاده جهت طبقه بندی و استخراج پوشش برف در این تحقیق می‌باشند. داده ها، براساس حداکثر پوشش برفی و امکان دسترسی با توجه به نبود ابر و وجود پوشش برفی، انجام شده است، چون وجود ابر مانع برداشت تصاویر دقیق می‌شود. مشخصات این داده‌ها در (جدول ۱) آورده شده است:

جدول (۱): مشخصات تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲

Table (1): Characteristics of Sentinel 2 satellite images

ماهواره	تاریخ تصویربرداری(میلادی)	شماره مدار
Sentinel 2	۲۰۱۶/۱۲/۰۹	۱۳۵
Sentinel 2	۲۰۱۷/۰۲/۲۱	۱۳۵
Sentinel 2	۲۰۱۸/۰۲/۰۱	۱۳۵

Sentinel 2	۲۰۱۹/۰۲/۰۶	۱۳۵
Sentinel 2	۲۰۲۰/۰۲/۱۱	۱۳۵
Sentinel 2	۲۰۲۱/۰۱/۲۶	۱۳۵
Sentinel 2	۲۰۲۲/۰۱/۲۳	۱۳۵
Sentinel 2	۲۰۲۳/۰۲/۱۰	۱۳۵

جدول (۲): مشخصات تصاویر رقومی مورد استفاده

Table (2): Specifications of digital images used

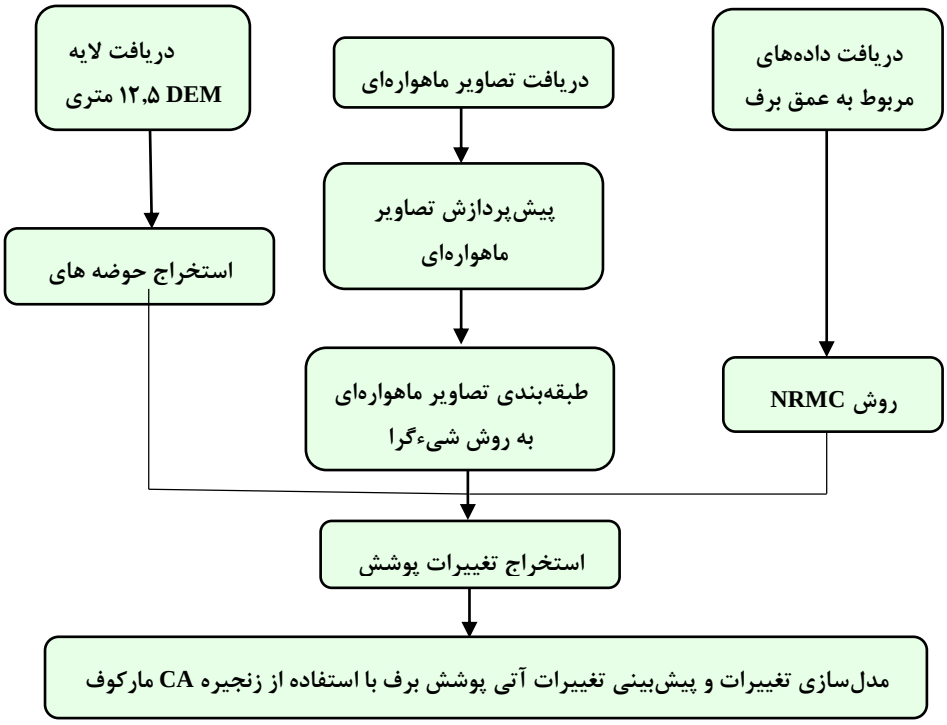
Satelite	Sensor	Orbit	Frame_Number	Spatial resolutin
ALOS	PALSAR	۸۱۵	۷۳۰	۱۲/۵ متر
ALOS	PALSAR	۸۱۵	۷٤۰	۱۲/۵ متر
ALOS	PALSAR	۸۱۵	۷۵۰	۱۲/۵ متر
ALOS	PALSAR	۸۹۳۸	۷۳۰	۱۲/۵ متر
ALOS	PALSAR	۸۹۳۸	۷٤۰	۱۲/۵ متر

جدول (۳): مشخصات تصاویر ماهواره‌ای لندست

Table (3): Characteristics of Landsat satellite images

ماهواره	سنجنده	گذر	ردیف	تاریخ تصویربرداری(میلادی)
Landsat-8	TIRS	۱٦۹	۳٤	۲۰۱٦/۱۲/۰۹
Landsat-8	TIRS	۱٦۹	۳٤	۲۰۱۷/۰۷/۰۷
Landsat-8	TIRS	۱٦۹	۳٤	۲۰۱۸/۰۷/۱٦
Landsat-8	TIRS	۱٦۹	۳٤	۲۰۱۹/۰٦/۲۷
Landsat-8	TIRS	۱٦۹	۳٤	۲۰۲۰/۰۷/۱۱
Landsat-8	TIRS	۱٦۹	۳٤	۲۰۲۱/۰۷/۱٤
Landsat-8	TIRS	۱٦۹	۳٤	۲۰۲۲/۰۷/۰۹
Landsat-8	TIRS	۱٦۹	۳٤	۲۰۲۳/۰۲/۱۱

در این پژوهش به منظور پایش مداوم سطح پوشش برف در منطقه با دقت مکانی بالا سعی شده تا از مزایای تصاویر ماهواره‌ای Sentinel2 (جدول ۱) و باندهای حرارتی Landsat8 (جدول ۳) استفاده گردد. تصاویر سنتیل۲ بعد از ثبت‌نام و درخواست از سایت s5phub.copernicus.eu و تصاویر لندست ۸ به فرمت Geo TIFF از سایت USGS[1] تهیه شدند. لایه‌های DEM[2] آلوس پالسار[3]نیز از سایت vertex.daac.asf.alaska.edu با قدرت تفکیک ۱۲/۵ متر جهت استخراج حوضه‌های آبریز منطقه و همچنین برای استفاده در طبقه‌بندی تهیه شد (جدول ۲). با استفاده از تصاویر



شکل (۲): فلوچارت مراحل کار
Fig (2): Flowchart of work steps

سنتینل ۲ و باندهای حرارتی لندست۸ و همچنین الگوریتم‌های NDVI و Brightness، NDSI سطح پوشش برف برای ماه بهمن سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۳ که بیشتر میزان برف بارندگی برف را دارا هستند استخراج شد. بعد از آن با استفاده از داده‌های عمق برف جمع‌آوری شده از سایت Giovanni به تحلیل تغییرات عمق برف منطقه پرداخته شد. در ادامه به کمک روش پیش بینی CA_Markov سطح پوشش برف سال ۲۰۲۷ استخراج گردید (شکل ۲).

۲- ۴- پیش‌پردازش تصاویر

در این تحقیق پس از گردآوری تصاویر، برای آماده‌سازی تصاویر جهت پردازش عملیات تصحیحات رادیومتریکی و تصحیحات اتمسفری، ایجاد ترکیب رنگی RGB و جدا کردن محدوده‌ی مورد مطالعاتی و بر روی تصاویر انجام شد.

[1] United States Geological Survey
[2] digital elevation model
[3] Alos Palsar

تصحیح رادیومتریک در تصاویر لندست ۸ از طریق تبدیل DN به Radiance در باندهای حرارتی و تبدیل DN به Reflectance در باندهای انعکاسی از طریق رابطه ۱ در محیط نرم‌افزار ENVI انجام شد اما، به دلیل اینکه در تحقیق حاضر فقط از باندهای حرارتی لندست ۸ استفاده میشود، نیازی به تصححیح باندهای انعکاسی نیست.

رابطه (۱) تبدیل DN به Radiance تصاویر لندست ۸

$$L_\lambda = \left(\frac{L_{max} - L_{min}}{255}\right) \times DN + L_{min}$$

Lλ = رادیانس باندهای لندست

L_{min} و L_{max} مقادیر کالیبره شده برای هر باند

DN = ارزش عددی هر باند

به منظور اعمال تصحیحات برای داده‌های سنتینل۲ از افزونه Sen2Corr نرم افزار SNAP استفاده گردید، و پس از آن تصاویر به منظور محاسبه شاخص‌های طیفی به کار برده شدند. پردازنده تصحیح جوی Sen2Cor توسط Telespazio VEGA Deutschland GmbH به نمایندگی از ESA توسعه داده شد. خروجی‌های Sen2Cor برای وضوح‌های فضایی ۶۰ متر، ۲۰ متر و ۱۰ متر ارائه شده است.

استخراج و تعیین مرز حوضه‌های‌آبریز غربی دریاچه ارومیه به کمک DEM منطقه در محیط ARCMAP صورت می‌گیرد.

۲- ۵- پردازش شیءگرا تصاویر ماهواره‌ای

در این مقاله جهت استخراج بهترین و دقیق‌ترین نقشه‌های پوشش برفی برای استفاده در فرآیند مدل‌سازی از روش طبقه‌بندی شیءگرا[1] استفاده شد. به آن دسته از روش‌های پردازش تصاویر ماهواره‌ای که علاوه بر اطلاعات طیفی حاصله از سنجنده، از سایر منابع متعدد اطلاعاتی نیز در فرآیند پردازش تصویر استفاده می‌کنند روش‌های شیءگرا گفته می‌شود. در این راستا برای پردازش شیءگرای تصاویر ماهواره‌ای سه مرحله اصلی سگمنت‌سازی، طبقه‌بندی فازی و ارزیابی صحت انجام شد.

۲- ۵- ۱- سگمنت‌سازی

در تحقیق حاضر برای انجام سگمنت‌سازی از الگوریتم سگمنت‌سازی چند تفکیکه[2]استفاده‌شده است. تکنیک چند تفکیکه اتصال-نواحی فرآیندی از پایین به بالا می‌باشد که با شیءهای یک پیکسل آغاز می‌شود. مقیاس، شکل، رنگ، فشردگی و نرمی از عوامل مؤثر در سگمنت‌سازی چند تفکیکی می‌باشند. مقیاس بیان‌کننده بزرگی یا سطح جزئیات بر روی یک شیء یا پدیده است. تنظیم پارامتر مقیاس مستقیماً در میانگین اندازه شیءهای تصویری تأثیر می‌گذارد.

۲- ۵- ۲- طبقه‌بندی شیءگرا

در این تحقیق برای انجام طبقه‌بندی ابتدا کلاس‌های موردنظر تعریف شدند که شامل پوشش برف، سدها و حوضچه‌های کشاورزی و همچنین کلاسی که شامل زمین‌هایی با پوشش گیاهی زمستانی، لم یزرع و مناطق مسکونی است. همچنین شاخص‌های موردنظر برای طبقه‌بندی کلاس‌ها در محیط نرم‌افزار eCognition تعریف شدند.

---

1 Object based Oriented
2 Multiresolution Segmentation

شاخص NDVI[1]

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

شاخص NDWI[2]

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR}$$

شاخص NDFSI[3]

$$\mathrm{NDFSI} = \frac{NIR - SWIR11}{NIR + SWIR11}$$

شاخص NDSI[4]

$$NDSI = \frac{\mathrm{Green} - SWIR11}{\mathrm{Green} + \mathrm{SWIR11}}$$

در ادامه نیز با استفاده از الگوریتم Assign Class طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای انجام شد. مقادیر آستانه مناسب گام مهمی برای ارائه نتایج طبقه‌بندی بهتر است.

۲- ۵- ۳- ارزیابی صحت طبقه‌بندی

ارزیابی دقت یا اعتباربخشی کلیدی هر پروژه‌ای است که از داده‌های مکانی استفاده می‌کند. دلایل متعددی وجود دارد که چرا این ارزیابی بسیار مهم است، از جمله:

۱. نیاز به دانستن میزان عملکرد شما و درس گرفتن از اشتباهات خود؛
۲. توانایی مقایسه کمی روش‌ها. و
۳. توانایی استفاده از اطلاعات حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی شما در برخی از فرآیندهای تصمیم‌گیری.

دقت طبقه‌بندی بیانگر سطح اعتماد به نقشه استخراج شده است و در نقشه‌های به دست آمده از تصاویر سنجش‌ازدور بایستی حداقل این دقت ۸۲٪ باشد (Anderson et al., 1975).

پس از پردازش تصاویر نتایج نهایی بایستی به صورت نقشه‌های طبقه‌بندی شده از پوشش برف ارائه شوند. لایه‌های طبقه‌بندی شده بعد از تبدیل فرمت و آماده‌سازی در محیط نرم‌افزاری ArcGIS، در محیط IDRISI مورد تجزیه تحلیل قرار می‌گیرند.

پس از تبدیل فرمت تصویر طبقه‌بندی شده در محیط نرم‌افزار ArcGIS، وارد محیط IDRISI شده و با استفاده از دستور Calculate Area اقدام به محاسبه مساحت هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی شده برحسب کیلومترمربع می‌گردد. جهت بررسی روند تغییرات در بازه‌زمانی مورد مطالعه، از روش Cross Tabulation استفاده شده است که یکی از بهترین روش‌های مقایسه در آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی می‌باشد. لایه‌های کاربری اراضی طبقه‌بندی شده به‌صورت ماتریسی و دوبه‌دو در محیط نرم‌افزار IDRISI با یکدیگر مقایسه شده و میزان و روند تغییرات در کاربری‌ها مورد بررسی استخراج می‌گردند و در انتها مقادیر تغییرات در محیط Excel مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گیرند.

[1] Normalized Difference Vegetation Index
[2] Normalized Difference Water Index
[3] Salinity Index 10
[4] Normalized Difference Salt Index

۲- ۶- مدل‌های مورداستفاده برای پیش‌بینی تغییرات پوشش برف

در این تحقیق از مدل CA- Markov که تلفیقی از زنجیره مارکوف و CA می‌باشد، برای پیش‌بینی تغییرات در آینده استفاده گردید. این مدل به طور موثری مزایای پیش‌بینی‌های بلندمدت مدل مارکوف و توانایی مدل اتوماتای سلولی (CA) را برای شبیه‌سازی تغییرات فضایی در یک سیستم پیچیده ترکیب می‌کند و این مدل ترکیبی می‌تواند به طور موثر تغییر پوشش زمین را شبیه‌سازی کند (Memarian et al., 2012).

۲- ۶- ۱- زنجیره مارکوف

فرآیند شبیه‌سازی مدل عمدتاً یک ماتریس انتقال منطقه کاربری و یک ماتریس انتقال احتمال را برای پیش‌بینی روند تغییر کاربری زمین تولید می‌کند. در اینجا، مدل زنجیره مارکوف را می‌توان به عنوان مجموعه‌ای از حالت‌ها، S = {S0, S1, S2, …, Sn} توصیف کرد، با فرض اینکه وضعیت فعلی St است و سپس در مرحله بعد به حالت Sj تغییر می‌کند. احتمالی که با احتمالات انتقال نشان داده می‌شود. بنابراین، وضعیت St+1 در سیستم را می‌توان با مرحله قبلی St در زنجیره مارکوف با استفاده از رابطه ۲ تعیین کرد:

رابطه (۲) ماتریس احتمالات انتقال

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{n1} & \cdots & p_{nn} \end{bmatrix}$$

$$0 \le p_{ij} \le 1 \ (i.j = 1.2.3. \dots . n)$$

$$\sum_{j=1}^{n} P_{ij} = 1 (i.j = 1.2.3. \dots . n)$$

$$S_{t+1} = P_{ij} \times S_t$$

که در آن Pij ماتریس احتمال انتقال حالت و n شماره نوع کاربری زمین است. S وضعیت کاربری زمین است، t و t+1 نقطه زمانی هستند.

ماتریس مساحت‌های انتقال بیانگر کل مساحت‌های مورد انتظار برای تغییر در زمان بعدی می‌باشد (به تعداد پیکسل). ماتریس مساحتی انتقال به‌وسیله رابطه ۳ اجرا می‌گردد:

رابطه(۳) ماتریس مساحتی انتقال

$$A = (A_{ij}) = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \dots & A_{nn} \end{bmatrix}$$

در این معادله A ماتریس مساحتی انتقال می‌باشد و A_{ij} مجموع مساحت‌های حاصل‌شده از وضعیت i ام به وضعیت j ام در طی سال‌های شروع تا هدف و n تعداد انواع کاربری‌ها می‌باشد (Xin et al., 2012).

۲- ۶- ۲- مدل CA

مدل CA یک مدل پویا از پایین به بالا با یک محاسبه مکانی-زمانی و حالت گسسته است که می‌تواند شبیه سازی‌های پیچیده زمان-فضا را انجام دهد (He et al., 2014). داده‌های هر سلول در حالت St+1 توسط خود سلول و سلول‌های مجاور آن در حالت St تعیین می‌شوند، به این معنی که تغییر در سلول توسط قوانین تعیین می‌شود. مدل CA عمدتاً از سلول، فضای سلول، همسایه، قانون و زمان تشکیل شده است. همسایگان توسط فیلتر مدل CA تعیین می‌شوند.

هرچه فاصله بین سلول هسته‌ای و همسایه نزدیکتر باشد، ضریب وزن بزرگتر خواهد بود. ضریب وزن با احتمالات انتقال برای پیش‌بینی وضعیت سلول‌های شبکه مجاور ترکیب می‌شود، به طوری که تغییر کاربری زمین یک تصمیم کاملا تصادفی نیست.

قوانین، نقشه‌های تناسب هستند که امکان تغییر سلول از یک وضعیت به وضعیت دیگر را نشان می‌دهند رابطه ۴.

$$S_{t+1} = f(S_t, N)$$ رابطه (۴)

که در آن S مجموعه‌ای از حالات سلول‌های محدود است. t و t+1 لحظات متفاوتی هستند. N همسایگی سلول‌ها و f قانون تبدیل فضای محلی است.

۲- ۶- ۳- مدل CA-Markov

فرآیند پیش‌بینی با مدل CA-Markov عبارت است از:

محاسبه احتمالات تبدیل با استفاده از آنالیز زنجیره مارکوف

محاسبه نقشه‌های شایستگی پوشش و کاربری زمین بر اساس مدل MCE

اختصاص مکانی پوشش و کاربری زمین شبیه‌سازی‌شده بر اساس عملگر مکانی CA

در مرحله دوم این مدل از روش ارزیابی چند معیاره (MCE) جهت ارزیابی شایستگی پوشش و کاربری زمین و تولید نقشه‌های شایستگی استفاده خواهد شد. در روش MCE فاکتورها و محدودیت‌های مکانی تأثیرگذار بر روی مدل در نظر گرفته می‌شود.

در نهایت یک فیلتر CA جهت تغییر حالت سلول‌ها بر اساس همسایگی آن مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲- ۷- روش NRMC

روش ناپارامتریک NRMC یک نمایش گرافیکی از داده‌ها برای نشان دادن تغییرات است(Tosic and Unkasevic, 2005, Green, et al. 2007& Milly, 2003).

روش NRMC را می‌توان با استفاده از رابطه ۵ نتیجه گرفت:

$$NRMC_{T_m} = \frac{Sum[NRMC_{Tn-1} + (T_{i_n} - T_m)]}{T_m}$$ رابطه (۵)

که در آن، Tm و T_{i_n} به ترتیب ماکزیمم مقدار بلندمدت و ماکزیمم مقدار سالانه داده‌ها هستند. $NRMC_{T_m}$ و $NRMC_{Tn-1}$ به ترتیب منحنی جرم باقیمانده نرمال شده در طول اولین و یک سال قبل از سال پایانی داده‌ها هستند. $NRMC_{T_0}$ برابر با ۰ است.

۳- پردازش تصاویر ماهواره‌ای به روش شیءگرا

۳- ۱- نتایج سگمنت‌سازی

مقیاس، شکل، رنگ، فشردگی و نرمی از عوامل مؤثر در سگمنت‌سازی چند تفکیکی می‌باشند (جدول ۴).

جدول (۴): پارامترهای مؤثر در سگمنت‌سازی

Table (4): effective parameters in segmentation

مقیاس	ضریب فشردگی	ضریب شکل	ترکیب وزنی باندها
۳۵	۰,۵	۰,٤	Blue_Sentinel2=3 Green_Sentinel2=1 Red_Sentinel2=2 NIR_Sentinel2=2 SWIR1_Sentinel2=3 SWIR2_Sentinel2=1 Thermal11_Landsat8=2 DEM=1

۳- ۲- نتایج طبقه‌بندی فازی

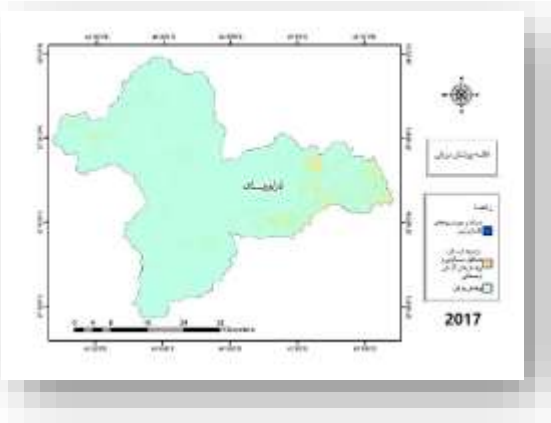
در نهایت با استفاده از شاخص‌ها و الگوریتم‌های مربوطه برای ماه "فوریه" طبقه‌بندی انجام شد که شاخص‌ها و آستانه‌های مربوطه به شرح زیر می‌باشد (شکل ۳).

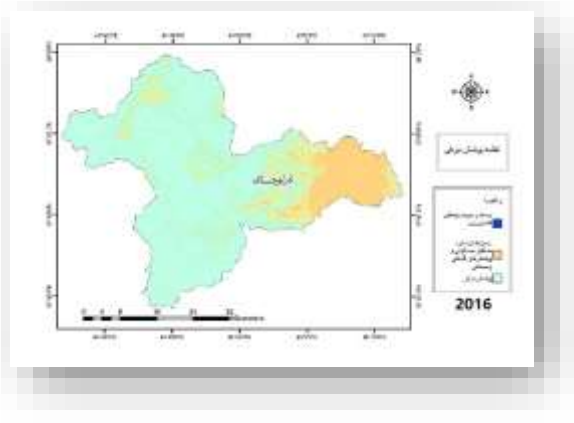
سدها و حوضچه‌های کشاورزی:

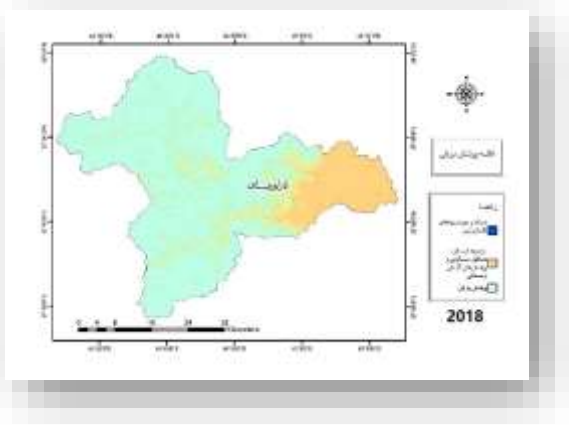
$$\mathrm{NDWI} > 0.16$$
$$\mathrm{NDVI} > -0.02$$

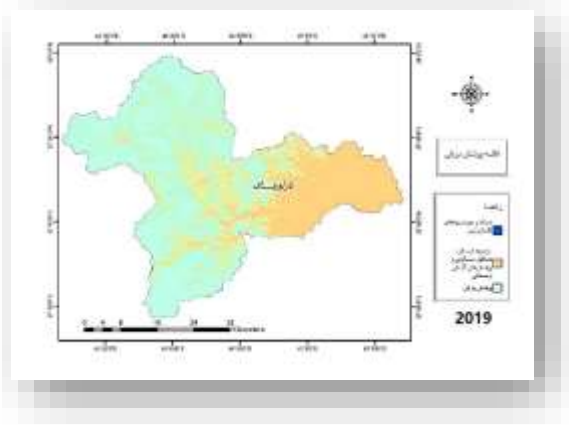
پوشش برفی:

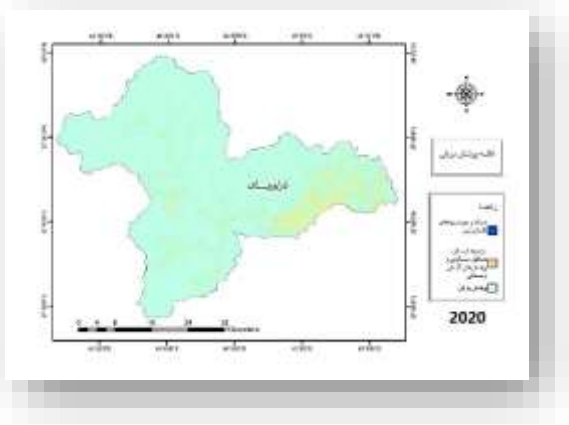
$$\frac{NIR}{SWIR} \geq 1.45$$
$$\mathrm{NDFSI} \geq 0.13$$
$$\mathrm{NDSI} \geq 0.2$$

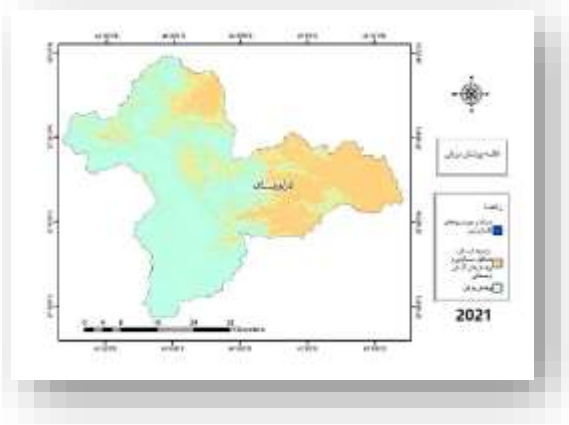


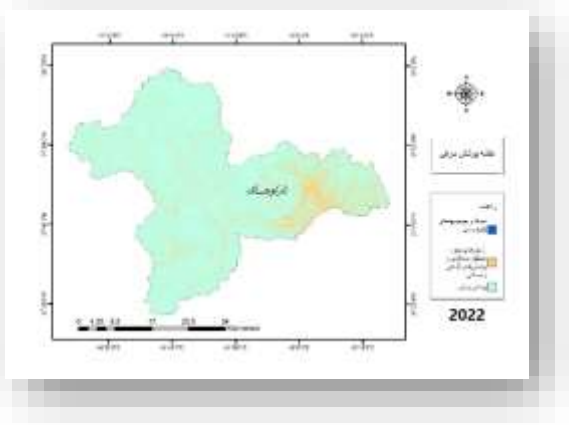


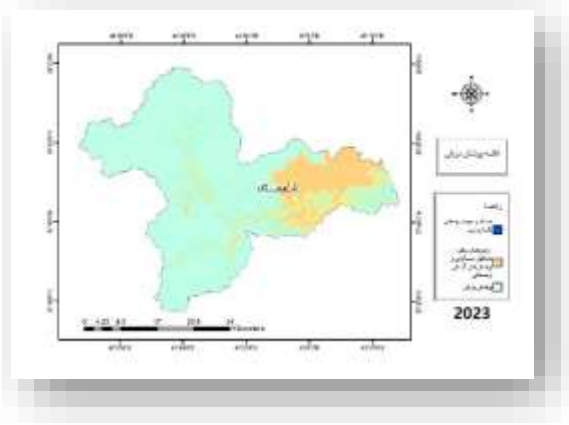

2018

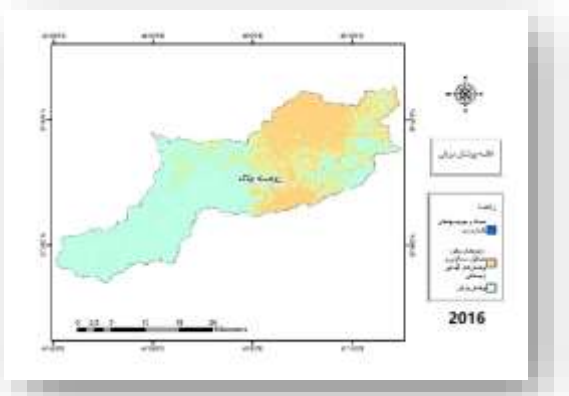

2019

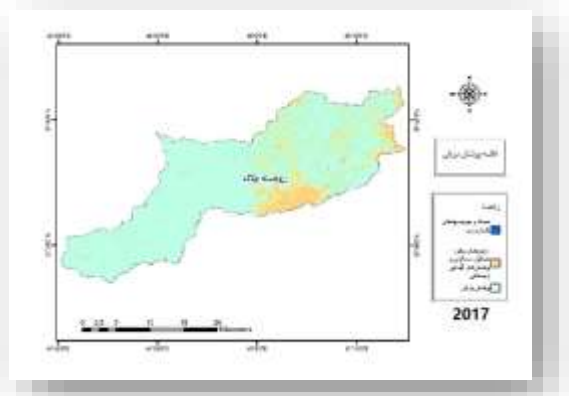

2020

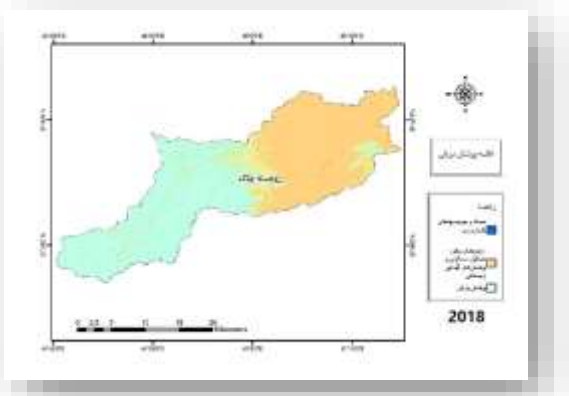

2021

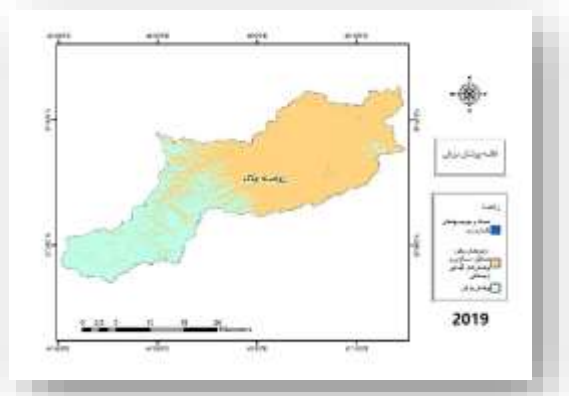

2022

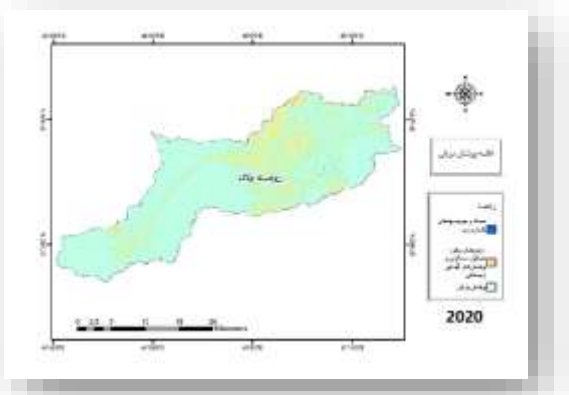

2023

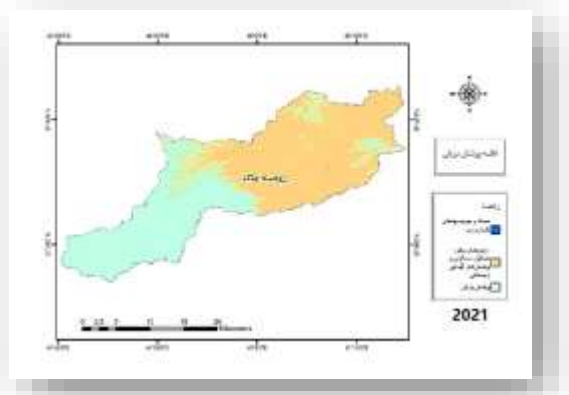

2016

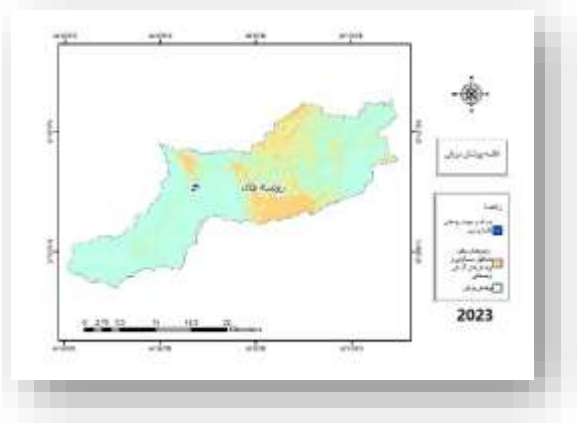

2017

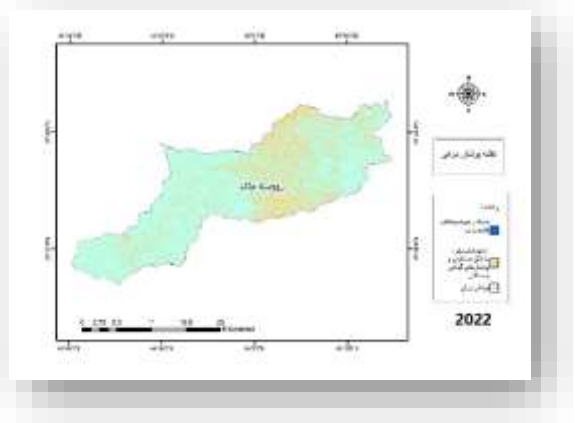

2018

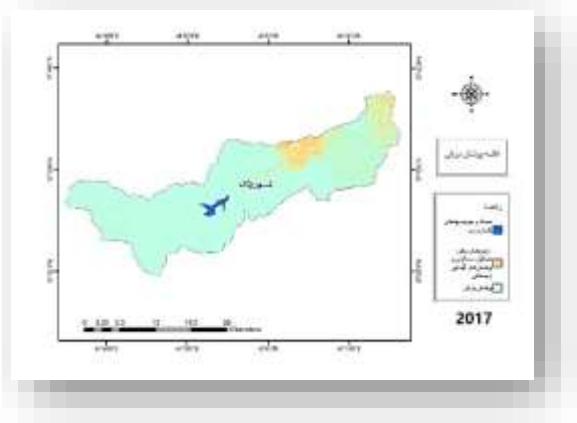

2019

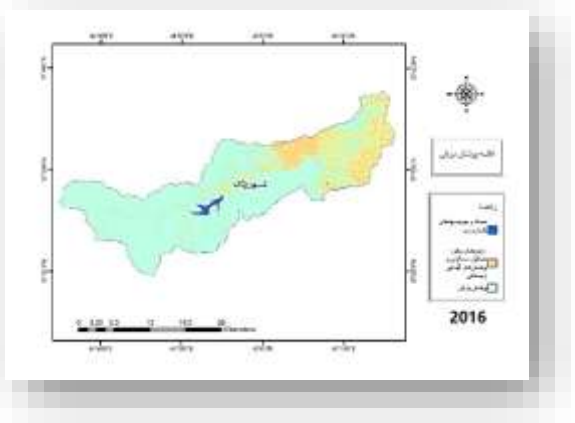

2020

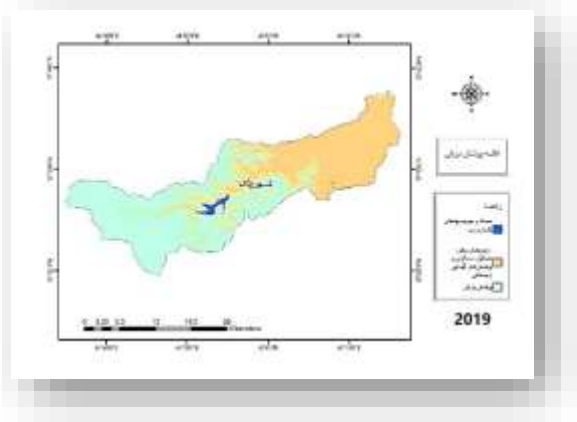

2021

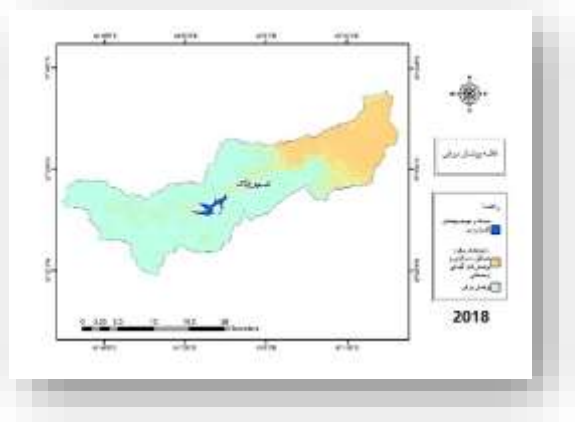

2023

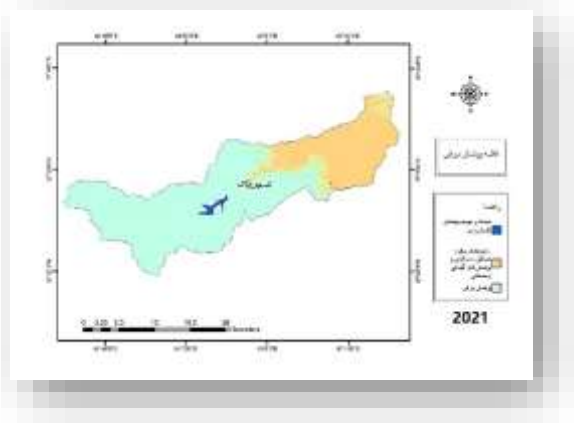

2022

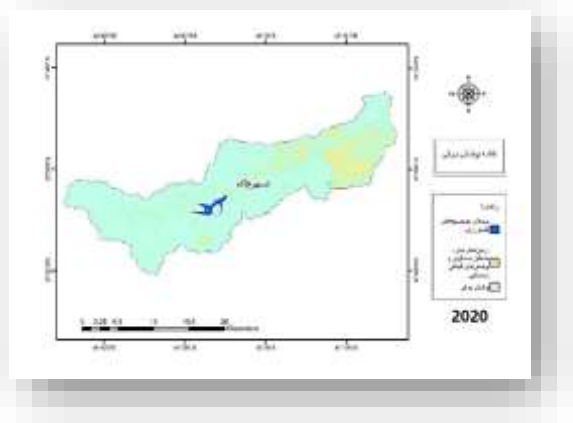

2017

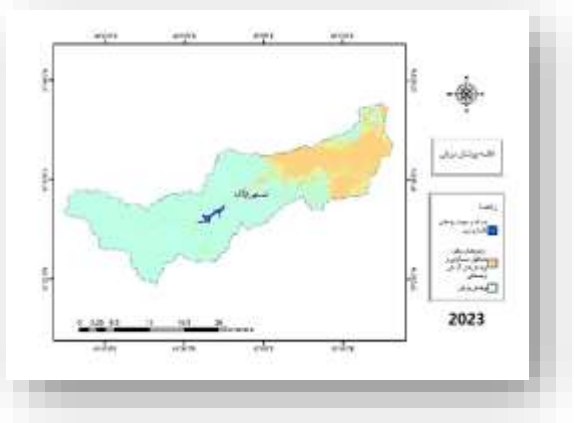

2016

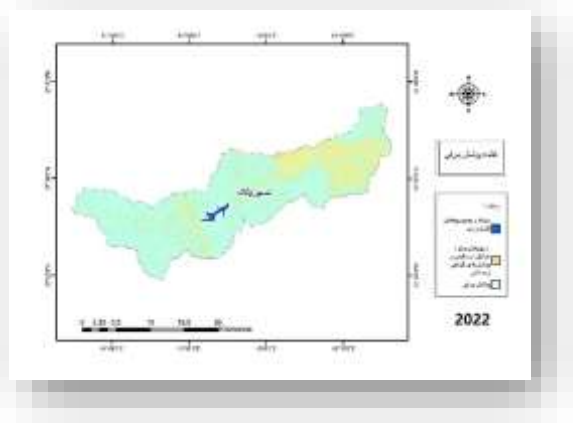

2019

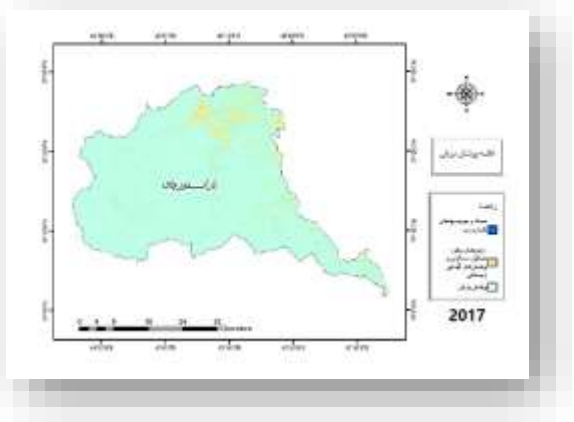

2018

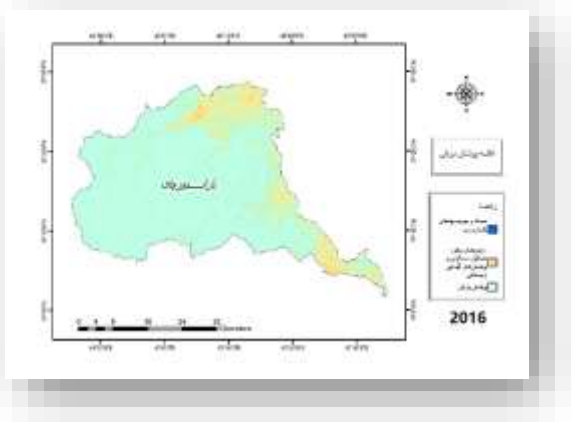

2021

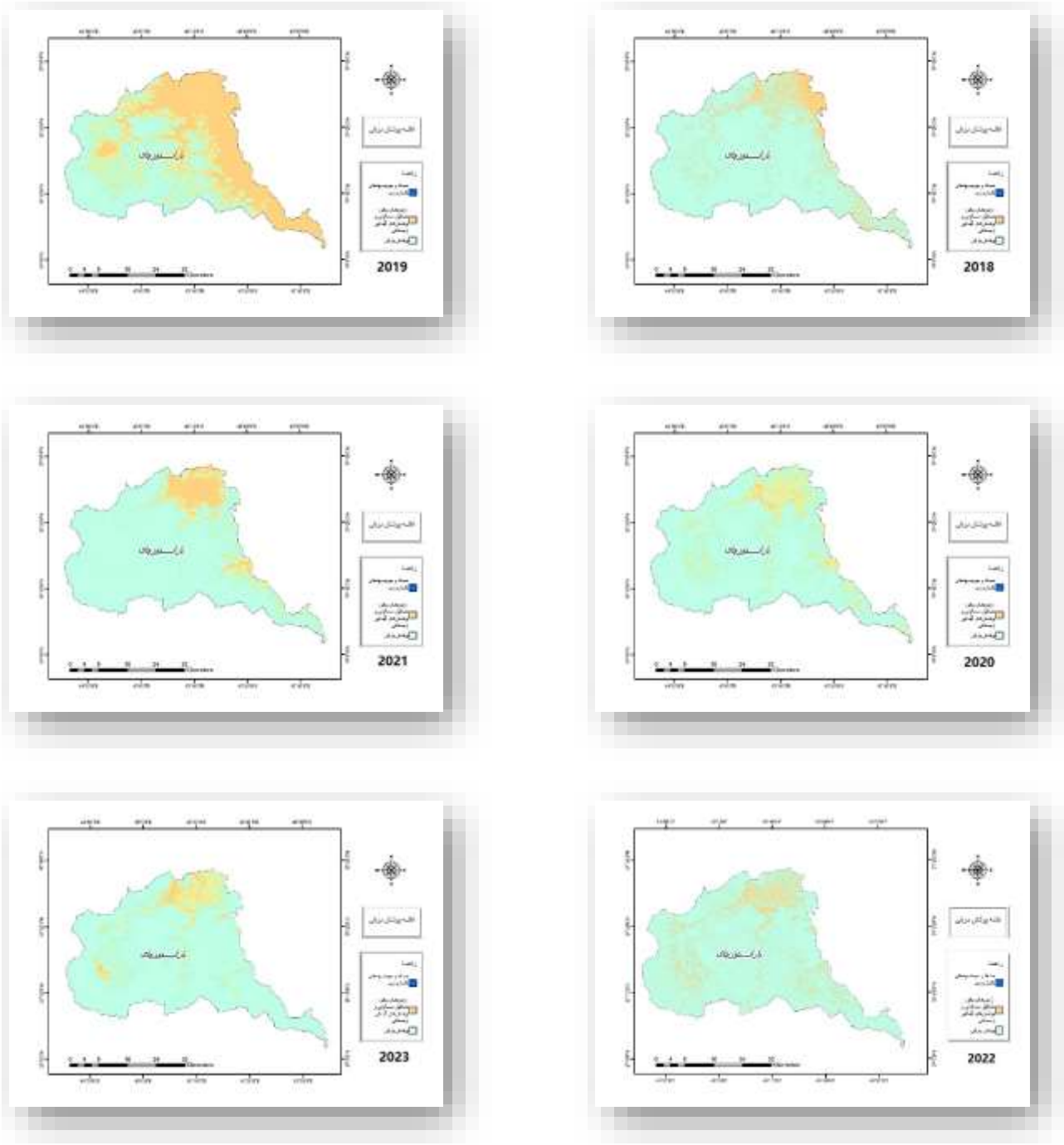

2020


2023


2022


2017


2016



شکل ۳. نقشه های پوشش برفی همجوشی تصاویر ماهواره‌های لندست و سنتینل در محدوده حوضه های آبریز غربی دریاچه ارومیه _ از تمامی ۴ حوضه از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۳ در ماه فوریه نمونه برداری شده است.

Fig 3. The fusion snow cover maps of Landsat and Sentinel satellite images in the western catchment area of Lake Urmia - .from all 4 basins were sampled from 2016 to 2023 in the month of February

۳- ۳- پس‌پردازش تصاویر

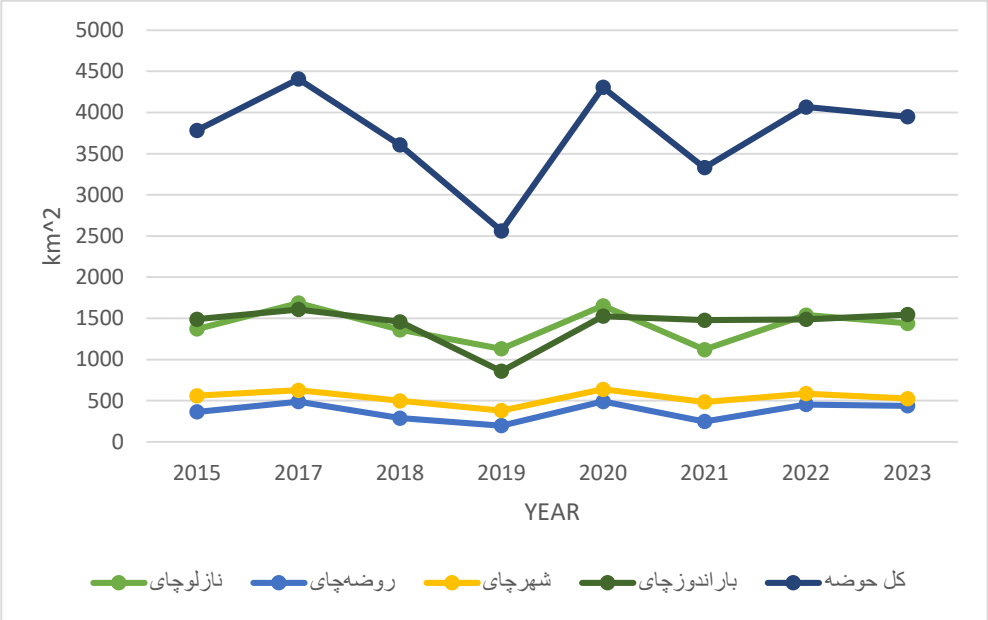
۳- ۳- ۱- محاسبه مساحت طبقات

پس از تبدیل فرمت تصویر طبقه‌بندی‌شده در محیط نرم‌افزار ArcGIS، وارد محیط IDRISI شده و با استفاده از دستور Calculate Area اقدام به محاسبه مساحت هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی شده برحسب کیلومترمربع می‌گردد(رسولی و همکاران، ۱۳۹۴). در (جدول ۵) و (شکل ۴) مساحت هرکدام از کاربری‌ها همراه با درصد مساحت اختصاص یافته به هر کلاس در سال‌های مختلف آورده شده است.

جدول ۵- میزان پوشش برف بر حسب km2 طی ۲۰۱۶-۲۰۲۳

Table 5- The amount of snow cover in terms of km2 during 2016-2023

	۲۰۱۶	۲۰۱۷	۲۰۱۸	۲۰۱۹	۲۰۲۰	۲۰۲۱	۲۰۲۲	۲۰۲۳
نازلوچای	۱۳۷۰/۶۷۱	۱۶۸۵/۰۷۴	۱۳۶۱/۷۴۳	۱۱۲۹/۲۶۶	۱۶۵۲/۹۲۲	۱۱۱۹/۵۷۸	۱۵۴۰/۸۹۴	۱۴۳۸/۵۷۴
روضه‌چای	۳۶۳/۴۹۳	۴۸۷/۶۴۳	۲۸۸/۲۴۴	۱۹۵/۷۹۳	۴۹۰/۳۹۱	۲۴۷/۷۲۵	۴۵۳/۷۱۸	۴۳۸/۶۶۹
شهرچای	۵۵۹/۹۹۸	۶۲۶/۷۳۱	۴۹۸/۷۸۳	۳۸۰/۰۵۹	۶۳۷/۲۷۴	۴۸۴/۰۴۸	۵۸۵/۴۰۵	۵۲۵/۵۳۲
باراندوزچای	۱۴۸۹/۸۸۶	۱۶۰۷/۸۳۷	۱۴۵۷/۵۵۳	۸۵۷/۱۳۲	۱۵۲۶/۶۲۲	۱۴۷۸/۲۲۶	۱۴۸۷/۷۸۴	۱۵۴۵/۲۴۳
کل	۳۷۸۴/۰۴۸	۴۴۰۷/۲۸۵	۳۶۰۶/۳۲۳	۲۵۶۲/۲۵	۴۳۰۷/۲۰۹	۳۳۲۹/۵۷۷	۴۰۶۷/۸۰۱	۳۹۴۸/۰۱۸



شکل ۴. میزان پوشش برف بر حسب km2 طی ۲۰۱۶-۲۰۲۳

Fig 4. Amount of snow cover in km2 during 2016-2023

۳- ۴- نتایج زنجیره مارکوف

بعد از تهیه نقشه‌های پوشش برفی، جهت پیش‌بینی تغییرات از مدل CA مارکوف استفاده شد. مقدار ضریب کاپا که نشان دهنده دقت پیش‌بینی مدل CA مارکوف می‌باشد عددی بین ۰ و ۱ هست که در این تحقیق دقت بالای ۰/۸ به‌دست آمد. قابل ذکر هست که هرچه‌قدر مقدار این عدد نزدیک به یک باشد نشان دهنده دقت بالای مدل خواهد بود.

برای به‌دست آوردن نقشه‌ی پیش‌بینی سال ۲۰۲۹ از تصاویر طبقه‌بندی سال ۲۰۱۶ و ۲۰۲۲ استفاده شد (جدول ۶). فاصله زمانی بین دو تصویر ۷ سال و فاصله زمانی برای پیش‌بینی در سال ۲۰۲۹، ۷ سال در نظر گرفته شد.

جدول ۶. میزان پوشش برف پیش‌بینی شده بر حسب km2 در سال ۲۰۲۹

Table 6. The amount of snow cover predicted in terms of km2 in 2029

نازلوچای	۱۶۴۲/۲۱۳
روضه‌چای	۵۰۳/۸۴۷
شهرچای	۶۲۵/۲۱۶
باراندوزچای	۱۶۰۳/۴۹
کل حوضه	۴۳۷۴/۷۶۶

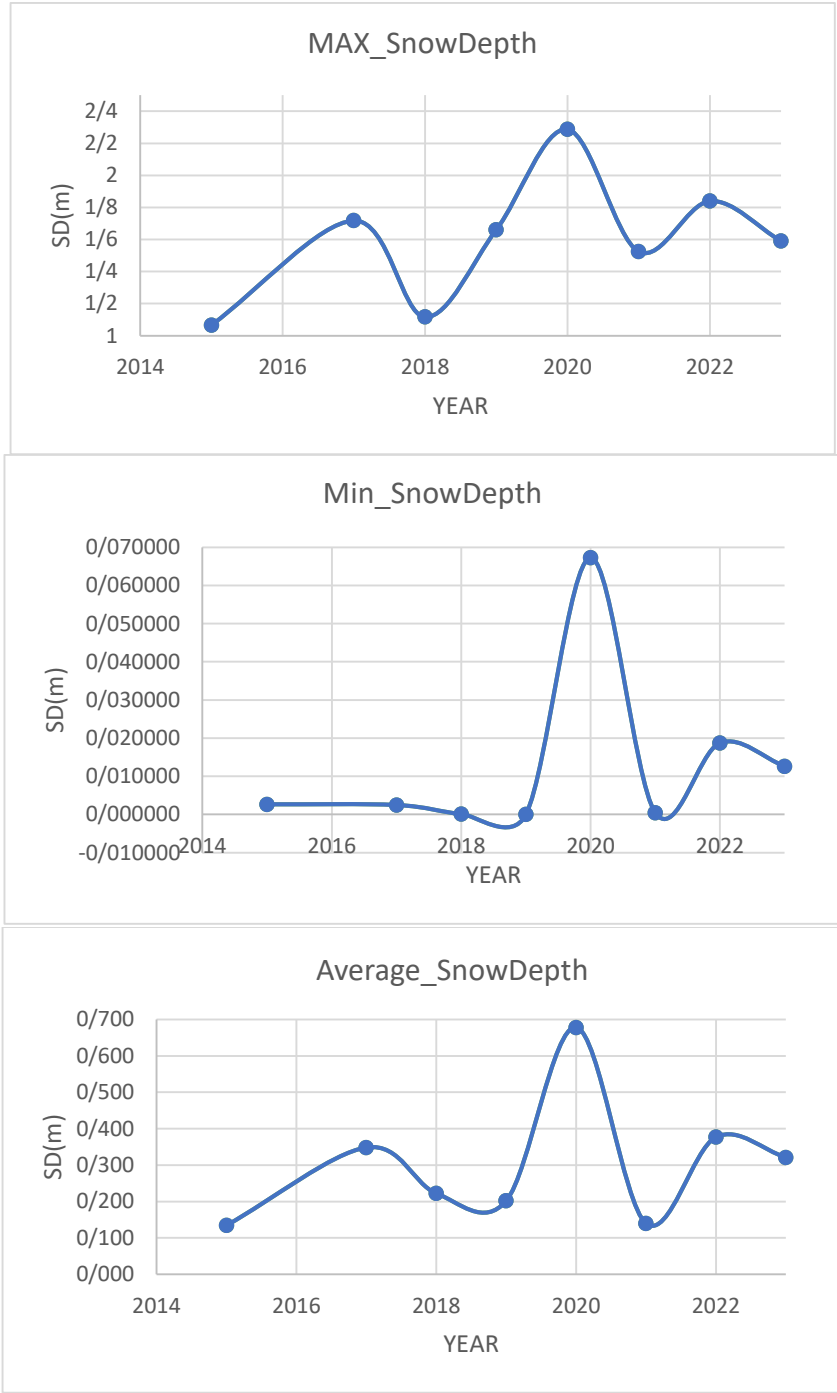
۳- ۵- مشخصات آماری اولیه

به منظور بررسی چگونگی توزیع داده‌ها و دستیابی به خلاصه‌ای از اطلاعات آماری عمق برف، شاخص‌های آماری اولیه شامل میانگین، حداکثر، حداقل، انحراف معیار، ضریب تغییرات و ضریب چولگی به دست آمد و مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۷) و طراحی‌های گرافیکی مورد نیاز در محیط نرم افزار اکسل صورت پذیرفت. مشخصات آماری اولیه عمق برف به صورت نمودار گرافیکی به قرار ذیل است:

جدول ۷. مشخصات آماری اولیه عمق برف

Table 7. Basic statistical characteristics of snow depth

	Min	Average	Max	StD	CV	Skew
۲۰۱۶	۰/۰۰۳	۰/۱۳٤	۱/۰٦٦	۰/۱۸۰	۱۳٤/۲۱۳	۲/۲۸۲
۲۰۱۷	۰/۰۰۲	۰/۳٤۸	۱/۷۱۷	۰/۳٦۲	۱۰۳/۸۹۷	۱/٤٤۱
۲۰۱۸	۰/۰۰۰	۰/۲۲۲	۱/۱۱٦	۰/۲۱۷	۹۷/۷۸۳	۱/٤۹۷
۲۰۱۹	۰/۰۰۰	۰/۲۰۲	۱/٦٦۱	۰/۳۳۲	۱٦٤/٤٦٤	۲/۱۹۸
۲۰۲۰	۰/۰٦۷	۰/٦۷۸	۲/۲۸۸	۰/٤۳٦	٦٤/۲۳۱	۱/۰٤۷
۲۰۲۱	۰/۰۰۰	۰/۱۳۹	۱/٥۲٥	۰/۲٤۰	۱۷۲/٤٤۸	۳/۰۱٦
۲۰۲۲	۰/۰۱۹	۰/۳۷۷	۱/۸٤۰	۰/۳۲٥	۸٦/۳۹۱	۱/۹٤٥
۲۰۲۳	۰/۰۱۳	۰/۳۲۱	۱/٥۹۰	۰/۲۹۳	۹۱/٤۱٦	۱/٥٤۹



شکل ۵. مقادیر مینیمم، ماکزیمم و میانگین عمق برف

Fig 5. Minimum, maximum and average snow depth values

با اندکی توجه به (شکلهای ۵) افت و خیزهایی را در مقدار عمق برف که بیشترین پوشش برف را در آن روزها داشتیم، مشاهده می‌کنیم که در مجموع روندی کاهشی را شامل می‌شود. همچنین با توجه به اشکال فوق، ملاحظه می‌گردد که

۳ نوع مقدار (حداکثر، میانگین و حداقل) از رفتارهای مشابه اما غیر یکسان تبعیت می‌کنند و قابل ذکر هست که مقادیر عمق برف در منطقه در طی ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۳ در دامنه ۰ تا ۲,۲۸۸ متر قرار دارد.

همانگونه که ملاحظه می‌شود، در سال ۲۰۲۰، منطقه مورد مطالعه دارای حداکثر میزان عمق‌برف طی این چند سال بوده است، درحالیکه در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۱ دارای کمترین عمق‌برف می‌باشد.

۳- ۶ - نتایج حاصل از روش NRMC بر روی داده‌های عمق برف

بعد از بررسی‌های آماری اولیه نهایتا داده‌ها با روش NRMC مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۸) و خط روند[1] نمودار نیز ترسیم شد (شکلهای ۶ و ۷). خط روند که به آن برازش‌منحنی هم گفته می‌شود، یک خط مستقیم یا منحنی در نمودار است که الگو یا جهت کلی داده‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۸. تغییرات ماکزیمم مقادیر عمق برف با روش NRMC

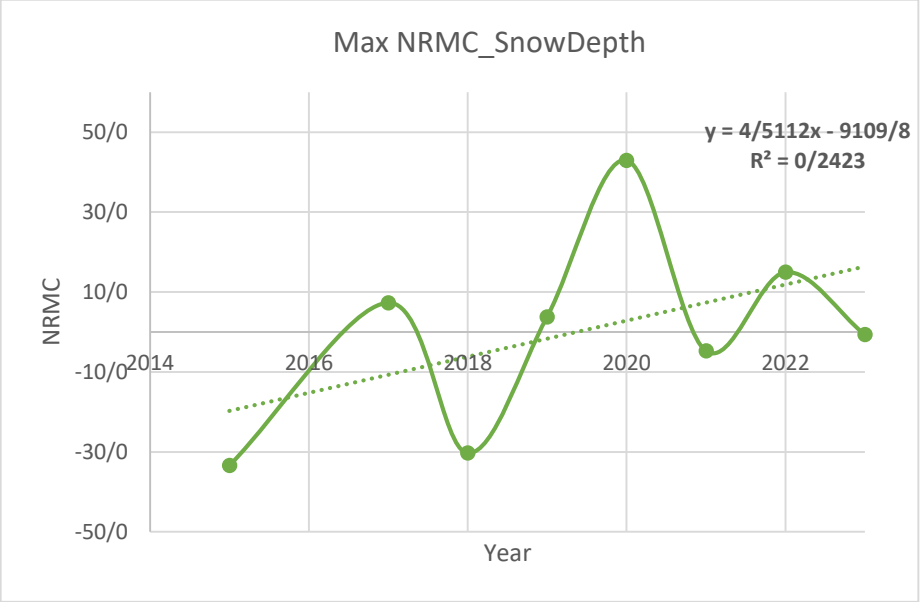
Table 8. Changes of the maximum values of snow depth with the NRMC method

	Max SD	Xi-Xm	(Xi-Xm)/Xm	{(Xi-Xm)/Xm}*100	(%)NRMC
۲۰۱۶	۱/۰۶۵۸۷	- ۰/۵۳	- ۰/۳۳	- ۳۳/۳۹	- ۳۳/٤
۲۰۱۷	۱/۷۱۷۳۸	۰/۱۲	۰/۰۷	۷/۳۲	۷/۳
۲۰۱۸	۱/۱۱٦۱۳	- ۰/٤۸	- ۰/۳۰	- ۳۰/۲۵	- ۳۰/۳
۲۰۱۹	۱/٦٦۰۸۸	۰/۰٦	۰/۰٤	۳/۷۹	۳/۸
۲۰۲۰	۲/۲۸۷٦۳	۰/٦۹	۰/٤۳	٤۲/۹۵	٤۳/۰
۲۰۲۱	۱/۵۲٤۵۰	- ۰/۰۸	- ۰/۰۵	- ٤/۷۳	- ٤/۷
۲۰۲۲	۱/۸۳۹۵٤	۰/۲٤	۰/۱۵	۱٤/۹۵	۱۵/۰
۲۰۲۳	۱/۵۹۰۱۰	- ۰/۰۱	- ۰/۰۱	- ۰/٦۳	- ۰/٦

شکل ۶. تغییرات ماکزیمم مقادیر عمق برف با روش NRMC

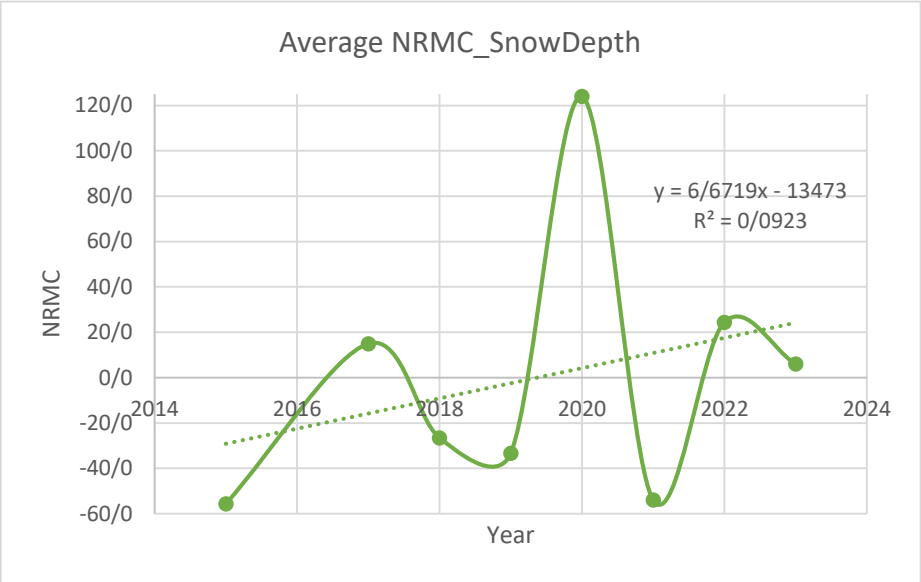
[1] Trend line

Fig 6. Changes of the maximum values of snow depth with the NRMC method



شکل ۷. تغییرات میانگین مقادیر عمق برف با روش NRMC

Fig 7. Changes in the average values of snow depth with the NRMC method



تغییرات بیشینه مقدار میزان عمق برف با اینکه در سال ۲۰۲۰ افزایش ناگهانی داشته است اما در کل دارای یک روند کاهشی بوده است.

۴- نتیجه‌گیری

تصاویر ماهواره‌ای می‌توانند در روند برآورد سطح پوشش برف بسیار مؤثر و سودمند باشند. تنها عیب این نوع از تصاویر پایین بودن قدرت تفکیک زمانی آن‌ها می‌باشد و همچین وجود پوشش ابری در منطقه گاهی باعث می‌شود کل تصویر مناسب طبقه‌بندی جهت استخراج پوشش برفی نشود. برف در ناحیه مرئی دارای انعکاس بالا و در مادون قرمز نزدیک دارای انعکاس پایینی است که در این تحقیق برای تفکیک برف از ابر و سایر پدیده‌ها در تصاویری که دارای کمی پوشش‌برفی بودند از این ویژگی بهره برده شد اما گاهی بخش‌هایی از تصاویر وجود دارند که دارای برف بوده‌اند و از طریق این دو باند استخراج نمی‌گردد. به همین دلیل الگوریتم‌های NDSI، NDFSI و $\frac{NIR}{SWIR}$ برای استخراج کامل سطوح برفی استفاده شدند.

عمق برف نیز همانند سطح برف طی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۳ دارای افت و خیزهایی بوده است اما یک روند کاهشی طی کرده است که بیشنه مقدار برف از ۱/۰۶۶ متر در سال ۲۰۱۶ به ۱/۵۹۰ متر در سال ۲۰۲۳ و میانگین مقدار آن از ۰/۱۳۴ متر در سال ۲۰۱۶ به ۰/۳۲۱ متر در سال ۲۰۲۳ رسیده است. در سال ۲۰۲۰ عمق برف هم از نظر بیشینه مقدار و هم از نظر میانگین در بالاترین سطح خود بوده است؛ بطوریکه در سال ۲۰۲۰ بیشینه مقدار به عدد ۲/۲۸۸ متر و میانگین آن به عدد ۰/۶۷۸ متر رسیده است. همچنین استفاده از داده‌های دیگری همچون ذوب برف و آب برف معادل می‌تواند برای تأیید همگنی نتایج روش NRMC مؤثر باشد. این نتایج اطلاعات مفیدی را برای برنامه‌ریزی بلند مدت در مدیریت آب منطقه فراهم می‌کند. علاوه‌براین، وسعت پوشش‌برفی در حوضه‌های آبریز غربی دریاچه ارومیه همراه افت‌وخیزهایی بوده است. از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۹ نیز افت با شدیدی همراه بوده است ولی روند کلی در طی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۳ افزایش جزئی بوده است. در طول سال‌های گذشته، عمق ذخایر برفی دارای نوساناتی بوده است و یک روند افزایش کندی به میزان ۱۶۰ کیلومتر مربع در طی دوره مطالعاتی داشته است، در سال ۲۰۱۸ در کل منطقه پوشش برفی، کاهش چشمگیری داشته است. با توجه به نتایج، مساحت و عمق‌برف دارای نوساناتی بوده و در کل روند کاهشی بوده است. همچنین همواره با کاهش/ افزایش سطح پوشش برفی منطقه، عمق ذخایر برفی نیز کاهش/ افزایش یافته است و با کاهش/ افزایش یک متغییر، متغییر دیگر نیز کاهش/ افزایش داشته است. علیرغم اختلاف اندک در مقادیر پوشش‌برف، روش‌های بهینه‌سازی و همجوشی سنجنده‌های لندست و سنتینل می توانند در فرآیند استخراج و شناسایی پوشش‌برف بسیار موثر باشند.

منابع :

Amininia, K; Lashkari, H; Alijani, B (2009). Investigation and analysis of fluctuations of heavy snowfall in North-West of Iran, Geospatial Journal, No. 29. (In Persian)
Anderson, J. R., Hardy, E.E., Roach, J.T. Witmer, R.E., (1975). A Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data, United States Government Printing Office, Washington.
Hall, D. K., & Riggs, G. A. (2005). Accuracy assessment of the MODIS snow products. Hydrological Processes: An International Journal, 21(12), 1534-1547.
He, D., Zhou, J., Gao, W., Guo, H. Y. U. S., Yu, S., & Liu, Y. (2014). An integrated CA-markov model for dynamic simulation of land use change in Lake Dianchi watershed. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 50(6), 1095-1105.
Heydari, H (2015). Analysis of changes in snowfall and rain in selected stations of West Azarbaijan Province, Journal of Geographical Studies of Dry Areas, Volume 7, Number 26, 92-110. (In Persian)
Hoshiar, M; Shin Abad, N (2017) Synoptic analysis of heavy snowfall in Urmia city, the second national hydrometeorological conference of Iran. (In Persian)
Joibari Moghadam, Y., Akhundzadeh, M., Sarajian, M.R. (1393). Estimation of snow cover level using Landsat-8 satellite images. First International Conference on Environmental Engineering, Tehran, Center for Sustainable Development Solutions. (In Persian)
Khatami, M. (2019). Spatial analysis of snow cover in Urmia Lake catchment using MODI sensor, thesis for obtaining a master's degree in hydrology and meteorology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz. (In Persian)
Matinnia, V (2017). Investigating the changes in the snow cover level in Urmia lake basin. Master's thesis in Civil Engineering, Shahrood University of Technology. (In Persian)
Memarian, H., Balasundram, S. K., Talib, J. B., Sung, C. T. B., Sood, A. M., & Abbaspour, K. (2012). Validation of CA-Markov for simulation of land use and cover change in the Langat Basin, Malaysia.
Milly, P. C. D., Cazenave, A., & Gennero, C. (2003). Contribution of climate-driven change in continental water storage to recent sea-level rise. Proceedings of the National Academy of Sciences, 100(23), 13158-13161.
Mir Mousavi, S.H, Sabour, L. (2013). Monitoring snow cover changes using MODIS sensor images in the northwest region of Iran, Geography and Development, No. 35. (In Persian)
Mir Yaqubzadeh, M.H., Qanbarpour, M .R. (1389). Investigating the application of snow cover maps obtained from MODIS satellite images in snowmelt runoff modeling (case study: Karaj Dam watershed) Summer 89, 19th year, number 76, pages 141 to 148. (In Persian)
Nikhokhasal, Y; Rasouli, A.Ar; Mokhtari, D; Valizade Kamran, Kh (1401). Analyzing the relationship between changes in rainfall and the level of underground water in the Marand plain with the NRMC method. Scientific Journal of Geography and Planning; Year 26, No. 81, 276-265. (In Persian)
Omid Qala Mohammadi, M. (2013). Investigating changes in snow cover in the heights of Zardkoh Bakhtiari using remote sensing, master's thesis, Sistan Baluchistan University. (In Persian)
Rasouli, A. A., Cheung, K. K., Mohammadzadeh Alajujeh, K., & Ji, F. (2020). On the Detection of Snow Cover Changes over the Australian Snowy Mountains Using a Dynamic OBIA Approach. Atmosphere, 13(5), 826.
Rasouli, A.A; Abdian, M; Ranjbar, F (2014). Studying the changes in the snow and ice cover of Sablan mountain during the last three decades using remote sensing and GIS. First International Congress of Earth, Space and Clean Energy, 14 November 2016, Ardabil city, Mohaghegh Ardabili University. (In Persian)
Seifi, H. (1400). Estimating the snow cover level through object-oriented techniques using OLI and TIRS sensor images (case study: Sabalan Mountain). (In Persian)

Singh, K. K., Singh, D. K., Thakur, N. K., Dewali, S. K., Negi, H. S., Snehmani, & Mishra, V. D. (2020). Detection and mapping of snow avalanche debris from Western Himalaya, India using remote sensing satellite images. Geocarto International, 37(9), 2561-2579.
Tošić, I., & Unkašević, M. (2005). Analysis of precipitation series for Belgrade. Theoretical and Applied Climatology, 80(1), 67-77.
Wang, X. Y., Wang, J., Jiang, Z. Y., Li, H. Y., & Hao, X. H. (2015). An effective method for snow-cover mapping of dense coniferous forests in the Upper Heihe River Basin using Landsat Operational Land Imager data. Remote Sensing, 7(12), 17246-17257.
Zinali, B; Qala, E; Safari, Sh. (1400). Extraction of the snow-covered area of Sablan mountain using Landsat satellite images by object-oriented classification method. Journal of Hydrogeomorphology, 8. (In Persian)

Detection of the Snow-Cover Changes on the Urmia Lake western Basins Using Object-Based Image Analysis (OBIA) Methods

Narges Samadi[1], Aliakbar Rasouli[2*], Davood Mokhtari[3], Khalil Valizadeh Kamaran[4]

1. Ph.D. student, Department of Hydrology and Meteorology, Marand Branch, Islamic Azad University, Marand, Iran samadinarges6565@gmail.com
2. Professor, School of Sciences, Macquarie University, Sydney, Australia. aliakbar.rasulypirouzian@mq.edu.au
3. Professor, Department of Geomorphology, Faculty of Planning and Environmental Sciences University of Tabriz, Tabriz, Iran. d_mokhtaritabrizu.ac.ir
4. Professor, Department of Remote Sensing & GIS, Faculty of Planning and Environmental Sciences University of Tabriz, Tabriz, Iran. valizadeh@tabrizu.ac.ir

Abstract:

The purpose of this paper is to detect snow cover changes using object-oriented analysis methods of satellite images in the western watersheds of Lake Urmia (Zola-Chay, Nazlu-Chay, Shahr-Chay, and Baranduz-Chay). In this regard, the extent of snow cover was extracted using Sentinel-2 and Landsat-8 satellite images for the days with the most snowfall by object-oriented method and then the future snow cover of all 4 basins in 2029 was simulated with high accuracy using the CA-Markov method. Then, the depth of the snow was investigated using FLDAS_NOAH data using the normalized residual mass curve method in Excel environment. Changes in snow cover and depth in all four sub-basins during the years 2016 to 2023 have had ups and downs and have had a decreasing trend. The highest snow cover is related to the years 2018, 2019, and 2021. The maximum and average snow depth values in 2020 were 2.28 and 0.68, respectively, and in 2016 and 2018, the maximum snow depth reached its lowest values of 1.07 and 1.1, respectively. Also, a review of the CA-Markov snow cover map for 2029 shows a relative increasing trend of snow. The final results of the present study indicate that optimization methods and fusion of Landsat and Sentinel sensors can be highly effective in the process of snow cover extraction and identification with high accuracy Therefore, despite water scarcity issues in the region, examining the results of this research shows that other factors contribute to the exacerbation of water scarcity in the area and the reduction of Lake Urmia's water Finding and investigating these factors is crucial for water management in the region.

Keywords: Object-oriented, Snow-covered, Snow depth, Sentinel2, Western basins of Lake Urmia