برآورد روند نوسانات پهنه‌های آبی فرسایش مبتنی بر سری زمانی تصاویر سنجش از دوری (مطالعه موردی: دریاچهٔ نئور)

امین عبدالعلی‌پور: *دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشکدهٔ ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران*
مریم رحمتی*: *استادیار مدعو گروه جغرافیای طبیعی، دانشکدهٔ ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد*
امیر قلیچی: *دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکدهٔ ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران*

مقاله پژوهشی
تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: / ۱۱/ ۱۴۰۱ تاریخ پذیرش: ۲۰/ ۰۴/ ۱۴۰۲)

چکیده

ایران کشوری با تنش آبی بالاست؛ به طوری که در اکثر حوضه‌های آن، بهره‌برداری از منابع آب در عمل از کل آب تجدیدپذیر سالانهٔ آن بیشتر است. این شرایط کمیابی آب با نشانه‌هایی همچون فرسایش خاک، طوفان‌های گرد و غبار و خشک شدن تالاب‌ها و دریاچه‌ها می‌تواند توسعهٔ پایدار را به شدت تحت‌تأثیر قرار دهد. پایش دوره‌ای دریاچه‌ها به عنوان منابع آبی حساس، روشی کارامد برای حفظ این منابع آبی و مدیریت بهینهٔ آنهاست. پژوهش حاضر با هدف آشکارسازی پهنه‌های آبی فرسایش طی دوره‌های کم آبی و پرآبی، سنجش دقت و صحت این پهنه‌ها با کمک شاخص‌های طیفی سنجش از دور و تحلیل علل این تغییرات در دریاچهٔ نئور انجام شد. برای تشخیص تودهٔ آبی و غیر آبی، سه شاخص استخراج اتوماتیک آب (AWEISH)، اختلاف آب نرمال شده (NDWI) و اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) طی یک دورهٔ ۳۲ سالهٔ کم آبی و پرآبی بر روی تصاویر لندست ۵ و ۸ اجرا شد. میزان عملکرد هر یک از شاخص‌ها (صحت کلی و ضریب کاپا) در قالب الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان (SVM) و روش کمترین فاصله ارزیابی شد. نتایج پایش سه دهه تغییرات میانگین سالانهٔ مساحت پهنهٔ آبی دریاچه، روندی نزولی داشت. به طور کلی با توجه به هر سه شاخص آبی، مرز دریاچه در سال ۲۰۰۵ به طور میانگین بیشترین پیشروی را به سمت خشکی (۴/۱۳ کیلومتر مربع) داشت و در سال ۲۰۱۹، کمترین میزان پیشروی (۲/۲۱ کیلومتر مربع) را نشان داد. برای تحلیل هر چه دقیق‌تر این تغییرات طی سال‌های اخیر، داده‌های اقلیمی نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی منطقه (سینوپتیک اردبیل) تجزیه و تحلیل شد و به خوبی توانست تأثیر نوسانات بارشی را بر روند تغییرات مساحت دریاچه نشان دهد.

واژگان کلیدی: آشکارسازی تغییرات، پهنه‌های آبی فرسایش، دریاچهٔ نئور، سنجش از دور.

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.174]

۱ـ مقدمه

شناسایی و مدیریت منابع آبی به عنوان اساسی‌ترین نیاز بشر، برای زندگی انسان‌ها اهمیت زیادی دارد (Kwang et al, 2018). ایران کشوری خشک و نیمه‌خشک است و مطابق با تعاریف بین‌المللی، شرایط ویژه‌ای را از نظر تنش آبی تجربه می‌کند. شدت تنش آبی آن نیز به گونه‌ای است که در اکثر حوضه‌های کشور، بهره‌برداری از منابع آب در عمل از کل آب تجدیدپذیر سالانهٔ آن بیشتر است. در این شرایط، کمبود آب، توسعهٔ پایدار منطقه را به‌شدت تحت‌تأثیر خود قرار می‌دهد (Majidi et al, 2017). بخش زیادی از این بحران تحت‌تأثیر تغییر اقلیم و وقوع خشکسالی‌های متعدد است که مناطق مختلف دنیا را از نظر زیست محیطی، اقتصادی ـ اجتماعی، سیاسی و غیره تحت تأثیر خود قرار می‌دهد (Farajzadeh and Hosaini, 2007 & Feddma, 1998 & Tong et al, 2016). خشکسالی را باید به همراه تأثیرات کاهش دورهٔ بارش بررسی کرد. کاهش نزولات جوی در بازهٔ زمانی طولانی به ویژه در دههٔ اخیر، ضمن بهره‌برداری نامناسب از منابع آب و خاک و استفادهٔ بی‌رویه از عرصه‌های طبیعی، به خشک شدن تالاب‌ها و دریاچه‌ها، ایجاد فرسایش زمین‌های مستعد کشاورزی، بروز پدیدهٔ گرد و غبار و غیره منجر شده‌است (Deng et al, 2019 & Ghebrezgabher et al, 2019). به بیانی دقیق‌تر، تغییرات مکانی و فصلی بارش از عوامل مؤثر بر خشک شدن دریاچه‌ها و به عبارت بهتر، کاهش مساحت دریاچه‌ها است (Knutti and Sedláček, 2013). این رخداد در قالب تغییر در چرخهٔ هیدرولوژیکی با تأثیر بر منابع آب به ویژه در اکوسیستم‌های شکننده‌ای همچون دریاچه‌ها، گسترش پهنه‌های فرسایشی را به همراه دارد و پایداری آنها را به خطر می‌اندازد.

برای مقابله با این بحران می‌توان به پایش مداوم دریاچه‌ها به عنوان یکی از منابع آبی دینامیک و حساس کشور پرداخت. مدیریت دریاچه‌ها به اطلاعات دقیق در دوره‌های زمانی مختلف نیاز دارد. یکی از کارآمدترین ابزارهای مدیریتی در پایش دریاچه‌ها، تکنیک‌های سنجش از دور است (Zhang and Ke, 2016). دسترسی آسان و ارزان به داده‌ها، دقت بالای آنها، جامع و گسترده بودن تصاویر ماهواره‌ای و برخورداری از تنوع طیفی فراوان، از جمله مزیت‌های سنجش از دور نسبت به سایر روش‌های مدیریتی منابع آب است (Goodarzi et al, 2019 & Yousefiroshan, 2022).

محققان بسیاری در سطح داخلی و خارجی، تفاوت در عملکرد شاخص‌های آبی را بر انواع تصاویر ماهواره‌ای بررسی کرده‌اند. Li و همکاران (2022) با استفاده از شاخص‌های آبی، بهترین روش آشکارسازی تغییرات سطوح آبی را در دریاچهٔ بوستون بررسی کردند. آنها با استفاده از ۹ شاخص آبی NDWI، MNDWI، AWEI_nsh، AWEI_sh، EWI، ANWI، NWI، WI2015 و WI2019 در قالب پلتفرم Google Earth Engine (GEE) به این نتیجه رسیدند که شاخص WI2019، بهترین کارایی را در استخراج آب به ویژه در بازهٔ زمانی طولانی در دریاچه‌های وسیع دارد. Bakr and El-Kawy (2022) در تحقیقی با عنوان «مدل‌سازی تغییرات سطح آب در دریاچه‌های مصنوعی مناطق خشک (دریاچهٔ تازه احیا شدهٔ نوبریای غربی[1]، مصر)»، ضمن پیش‌بینی تغییرات تا سال ۲۰۳۰ به استخراج سطوح آب دریاچه طی سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۶ با شاخص MNDWI پرداختند. نتایج این شاخص نشان داد که در سطح آب‌های سطحی، بین سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۷ به ترتیب ۵۹۳ تا ۸۸۳ هکتار افزایش وجود داشت. Gautam و همکاران

[1] West Nubaria

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.174]

(2015)، تغییرات سطح آبی بنگولار[1] هند را طی بازۀ زمانی ۲۰۱۴ـ ۲۰۰۲ در قالب شاخص‌های MNDWI، NDWI و WRI، طبقه‌بندی نظارت شده و مؤلفه رطوبتی تبدیل K-T استخراج کردند. بخشی از نتایج این پژوهش، از کاهش چشمگیر منابع آبی این منطقه بر اثر پدیدۀ خشکسالی حکایت داشت. شاخص WRI و روش طبقه‌بندی نظارت شده نیز در تشخیص آب عملکرد بهتری از خود نشان دادند. Asghari و همکاران (2020) به ارزیابی شاخص‌های استخراج آب با استفاده از تصاویر لندست در رودخانۀ گاماسیاب کرمانشاه پرداختند. در این تحقیق از شاخص‌های NDWI, MNDWI, AWEI_nsh, AWEI_sh و WRI استفاده شد. با استخراج آستانه بهینه از هیستوگرام شاخص‌ها و اجرای این آستانه، منطقۀ مورد مطالعه به دو کلاس آب و غیر آب طبقه‌بندی شد و صحت کلی و ضریب کاپای هر کدام از شاخص‌ها به دست آمد. در پایان نشان داده شد که شاخص AWEI با صحت کلی ۹۹. ۰۹ درصد و ضریب کاپای ۰. ۹۸ ، در شناسایی پهنه‌های آبی منطقه از میان سایر شاخص‌ها بهترین جواب را نشان می‌دهد. Ali Bakhshi و همکاران (2020) در مطالعه‌ای با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸ در محیط آنلاین Google Earth Engine، به بررسی تغییرات مساحت پهنه‌های آبی حوضۀ آبریز سد شهید عباسپور که ناشی از سیل‌های ۲۰۱۹ بود، طی بیست سال اخیر پرداختند. آنها از الگوریتم NDWI برای جداسازی پدیدۀ آب از سایر پدیده‌ها استفاده کردند. نتایج تحقیق نشان داد که بیشترین حجم آب در حوضۀ یاد شده، به سال ۲۰۱۹ بازمی‌گردد که در آن آبگیرها و سدها سرشار از آب شدند؛ به گونه‌ای که با اختلاف زمانی یک ماه، ۲۵ کیلومترمربع به حجم آب‌های آنها افزوده شد. Jafari و همکاران (2021) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در قالب پلتفرم گوگل ارث انجین، تغییرات بیست ساله پهنه های آبی تالاب مهارلو را مورد مطالعه قرار دادند. ایشان ضمن ارزیابی مساحت پهنه های متغیر آبی، به بررسی برخی از عوامل احتمالی موثر بر آن تغییرات پرداختند. نتایج نشان داد تغییرات استخراج شدۀ توده‌های آبی، در قالب شاخص AWEI_sh روند کاهشی، پوشش گیاهی با کمک شاخص NDVI روند افزایشی، میزان بارش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای TRMM روند افزایشی و تراز آب زیرزمینی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای GRACE روندی کاهشی داشته است. دربارۀ مقادیر تبخیر ـ تعرق نیز روندی مشاهده نشد. به نظر می‌رسد در حوضۀ مورد مطالعه، افزایش وسعت پوشش گیاهی و در پی آن برداشت آب از سفره‌های زیرزمینی، به‌مرور زمان بر روند کاهشی وسعت توده‌های آبی تالاب در حوضۀ مورد مطالعه تأثیر گذاشته‌است. Solimani Sardo و همکاران (2021)، پهنۀ آبی دریاچۀ جازموریان را با استفاده از شاخص‌های سنجش از دور محاسبه کردند. در این پژوهش، بررسی تغییرات سری زمانی مساحت پهنۀ آبی به کمک داده‌های بازتابش سطحی ماهوارۀ لندست ۸ از سال ۲۰۱۹-۲۰۱۳ در محیط نرم‌افزار Google Earth Engine انجام شد. یافته‌های تحقیق نشان داد که نزدیک‌ترین برآورد در مساحت دریاچه از بین سه شاخص MNDWI، AWEI و WRI مربوط به MNDWI است. از سوی دیگر، تحلیل آب سطحی نشان داد که بیشترین میزان تغییرات مربوط به پهنه‌های آبی فصلی موقت و فصلی جدید بوده‌است. میان بارندگی سالانۀ حوضه و افزایش وسعت پهنه‌های آبی حاصل از شاخص MNDWI نیز همبستگی بالایی دیده شد؛ به طوری که افزایش چشمگیر آب سطحی پلایای جازموریان در سال ۲۰۱۷ ناشی از افزایش نزولات جوی و بیلان ورودی آب دریاچه در سال مذکور بود. در زمینۀ بررسی اثر خشکسالی و عوامل اقلیمی به ویژه کاهش نزولات جوی بر تغییرات مساحت پهنه‌های آبی،

[1] Bangalore

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.174]

مطالعات متعددی صورت گرفته‌است. Soleimani and Hagizadeh (2014) در پژوهشی، تأثیر کاهش بارش و خشکسالی‌های اخیر را بر آب‌دهی دریاچهٔ کیو در خرم‌آباد بررسی کردند. آنها با استفاده از شاخص بارش استانداردشده (SPI) و خشکسالی هیدرولوژیکی (SDI) در قالب تحلیل زمانی وقوع خشکسالی بر میزان آبدهی دریاچه، به این نتیجه رسیدند که خشکسالی در بازهٔ زمانی شش ماهه بر آبدهی چشمه‌های داخل دریاچه تأثیر گذاشته و به کاهش چشمگیر آب آن منجر شده‌است. Mozafari and Narangifard (2014) با کمک تصاویر ماهواره‌ای لندست و سنجندهٔ TM، تغییرات مساحت دریاچهٔ مهارلو را در سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹ و ارتباط این تغییرات با داده‌های سنجندهٔ TRMM را بررسی کردند. نتایج مطالعه نشان داد که در سال ۲۰۰۹، مساحت دریاچه ۱۰۷ کیلومتر مربع نسبت به زمان مشابه در سال ۱۹۹۹ کاهش یافت که بیشتر به دلیل کاهش دویست میلی‌متری عمق بارش در سال آبی نسبت به دورهٔ مشابه بود. Khan Ahmadi و همکاران (2021) نیز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و عوامل اقلیمی، تغییرات مساحت دریاچهٔ بختگان و طشک را طی بازهٔ زمانی ۲۰۱۹-۱۹۸۶ بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که کمترین مساحت دریاچه در سال ۲۰۱۱، برابر با ۱۷/۰۳ کیلومتر مربع بود که در مقایسه با حداکثر مساحت دریاچه در سال ۱۹۹۳ کاهش ۹۸٪ داشت. بررسی شاخص خشکسالی هواشناسی در سطح دو دریاچه نیز نشان داد که این شاخص، تغییرات سطح دریاچه‌ها را جز در سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۰۶ به طور مستقیم تحت‌تأثیرخود قرار داده‌است.

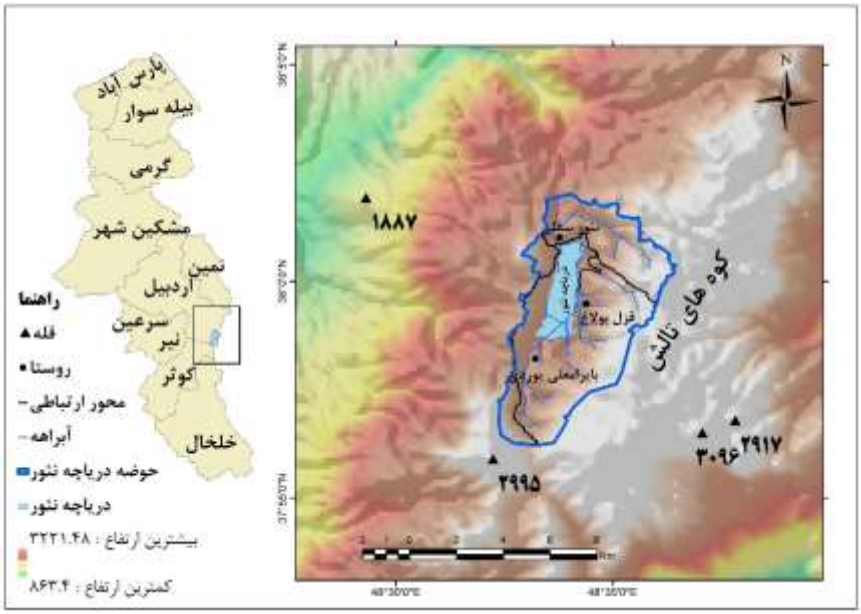
مروری بر پیشینهٔ تحقیق نشان می‌دهد که تغییر و تحول پهنه‌های فرسایشی خشکی و آبی در گذر زمان، وضعیت پایداری اکوسیستم‌های طبیعی دریاچه‌ای را نشان می‌دهد. بنابراین، پایش نوسانات مرز دریاچه‌ها از طریق تهیهٔ سلسلهٔ زمانی داده‌های سنجش از دور با قدرت تفکیک بالای مکانی و زمانی می‌تواند اثر مخاطرات طبیعی از جمله خشکسالی را آشکار کند؛ از این رو، اهمیت پایش تغییرات پهنه‌های آبی ـ خشکی فرسایش دریاچهٔ نئور می‌تواند بستر مناسبی برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی کارامد و اولویت‌بندی برنامه‌های اجرایی برای مقابله با بحران کم آبی باشد. این تحقیق با هدف ارزیابی تغییرات مساحت پهنه‌های فرسایش آبی و خشکی دریاچهٔ نئور ــ که بزرگ‌ترین دریاچهٔ آب شیرین استان اردبیل و از مهم‌ترین جاذبه‌های گردشگری این استان است ــ در زمینهٔ عوامل اقلیمی طی بازهٔ زمانی ۳۲ ساله انجام شد. ذکر این امر لازم است که به این امر در مطالعات صورت گرفتهٔ منطقه کمتر پرداخته شده‌است.

۲ـ منطقهٔ مورد مطالعه

دریاچهٔ نئور در محدودهٔ جغرافیایی ۳۷ درجه، ۵۵ دقیقه و ۳۰ ثانیه تا ۳۸ درجه و ۱ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۴۸ درجه ۳۶ دقیقه ۳۰ ثانیه طول شرقی، در ۴۸ کیلومتری جنوب شرقی استان اردبیل قرار دارد. بیشترین ارتفاع حوضهٔ مورد مطالعه از سطح دریاهای آزاد، ۳۰۱۱ و کمترین ارتفاع حوضه ۲۳۳۹ متر است. طول و عرض این دریاچه به ترتیب ۱۸۰۰ و ۶۵۰ متر است (Azizi et al, 2013). حوضهٔ دریاچهٔ نئور در داخل حوضهٔ بزرگ‌تر قره‌سو قرار دارد. به علت کاهش نسبی بارش‌های سالانه، مساحت این دریاچه در فصول مختلف سال تغییر می‌کند؛ به طوری که در فصل گرم با شروع یک دورهٔ کم آبی، وسعت آن به ۲۱۰ هکتار و طی فصول سرد و دورهٔ پرآبی به ۲۴۰ هکتار می‌رسد. عمق متوسط دریاچه سه متر است. منبع اصلی آب دریاچه، چشمه‌های حوضه آبخیز آن است که تعدادشان به ۳۸ عدد می‌رسد و به دریاچه نزدیک است (Nejadsatari, 1978). از نظر آب و هواشناسی، این منطقه میانگین حداکثر درجه حرارت ۱۵/۷۵° cg و حداقل دمای ۳/۱۷° cg را تجربه می‌کند. میانگین درجه حرارت سالانه نیز ۹/۴° cg است. ۲۷۷ mm

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.174]

میانگین میزان بارش منطقه است که بیشتر در فصل بهار، پاییز و زمستان به صورت برف و باران می‌بارد (آمار ۳۲ سالهٔ ایستگاه سینوپتیک اردبیل). از نظر زمین‌شناسی، سنگ‌های مگاپورفیرآندزیت که زیرساخت چالهٔ نئور را تشکیل می‌دهد (نقشهٔ زمین‌شناسی)، در سطحی بسیار گسترده در اثر فازهای انبساطی پس از کوهزایی لارامید پدید آمده‌است. در ائوسن پایانی ـ الیگوسن آغازی فاز کوهزایی پیرنه شکل فعلی کوه‌های منطقه را ترسیم کرده‌است. در طی این دوره‌ها، فعالیت‌های آتشفشانی و ماگماتیسم در منطقه ادامه داشته که نشانه‌های آن کانسارهای نمونه‌ای همچون کانسارهای فلزی به‌ویژه مس در منطقه است (Darvishzade, 1992). فازهای کوهزایی و آتشفشانی در حقیقت، زیرساخت ژئومورفولوژی منطقه را به وجود آورده‌است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مورد مطالعه

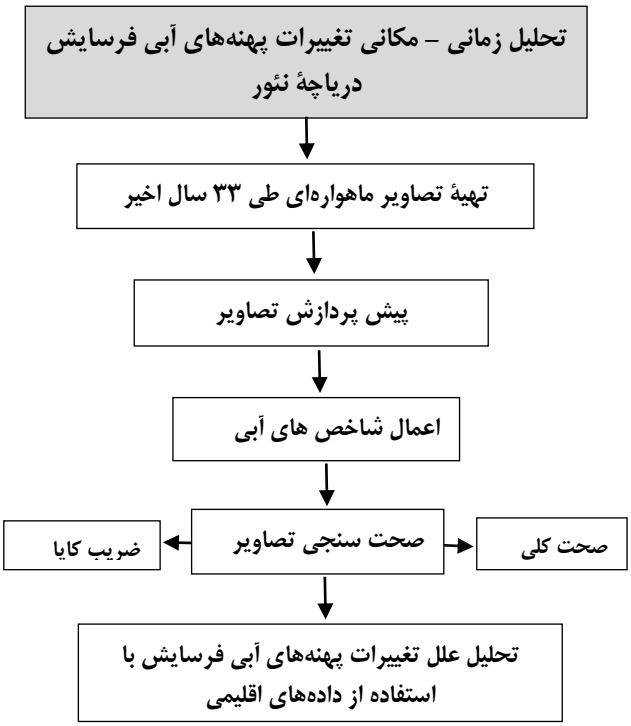
۳ـ مواد و روش

بخش داده‌های این پژوهش سری زمانی، از تصاویر لندست ۵ و ۸ در بازهٔ زمانی ۳۳ ساله است که از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا[1] دریافت شد (جدول ۱). نقشهٔ حوضهٔ مورد مطالعه با استفاده از DEM ASTER و ابزار ARC HYDRO استخراج شد. بر روی تصاویر در نرم‌افزار ENVI 5.3، تصحیح‌های اتمسفری و هندسی صورت گرفت. پهنه‌های آبی نیز با استفاده از شاخص استخراج اتوماتیک آب (AWEI)[2]، اختلاف آب نرمال شده (NDWI)[3] و اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)[4] استخراج شد. برای تهیهٔ نقشه‌ها، از نرم‌افزار ARC GIS 10.2 خروجی‌های نهایی دریافت شد. برای بررسی علل تغییرات پهنه‌های فرسایشی آب دریاچه، آمار اقلیمی ۳۲ سالهٔ ایستگاه

[1] United States Geological Survey (USGS)
[2] Automated Water Extraction Index
2 Normalized Difference Water Index
3 Normalized Difference Vegetation Index

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.174]

سینوپتیک شهر اردبیل از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. نمودار روش کار پژوهش، در شکل ۲ نمـایش داده شده‌است.



شکل ۲: فلوچارت مراحل پژوهش

جدول ۱: مشخصات تصاویر دریافت شدهٔ مورد استفاده در پژوهش

ماهواره	سنجنده	سطر / گذر	تاریخ اخذ
Landsat – 5	TM	۳۴-۱۶۷	۱۹۸۸/۰۷/۳۰
		۳۴-۱۶۷	۱۹۹۱/۰۸/۰۸
		۳۴-۱۶۷	۱۹۹۲/۰۷/۰۹
		۳۴-۱۶۷	۲۰۰۰/۰۷/۳۱
		۳۴-۱۶۷	۲۰۰۲/۰۸/۰۶
		۳۴-۱۶۷	۲۰۰۵/۰۶/۱۱
		۳۴-۱۶۷	۲۰۱۰/۰۸/۱۲
Landsat – 8	OLI	۳۴-۱۶۷	۲۰۱۳/۰۷/۱۹
		۳۴-۱۶۷	۲۰۱۶/۰۸/۱۲
		۳۴-۱۶۷	۲۰۱۹/۰۷/۰۴
		۳۴-۱۶۶	۲۰۲۰/۰۶/۱۳

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.174]

شاخص استخراج اتوماتیک آب در مناطق سایه‌دار (AWEISH)

این شاخص که توسط Feyisa و همکاران (2014) ارائه شد، برای مناطقی کاربرد دارد که پوشش سایه به کاهش دقت شناسایی آب سطحی منجر می‌شود (رابطهٔ ۱).

$$AWEISH=BLUE+2.5*Green-1.5*(NIR+SWIR1)-0.25*SWIR2 \quad \text{رابطهٔ ۱}$$

از این شاخص برای برطرف کردن پیکسل‌های تیره و شناسایی سطوح آبی با دقت بالا در مناطق شهری و کوهستانی استفاده می‌شود؛ چرا که مشکل سایه مانعی در برابر شناسایی درست است. در اجرای این شاخص، مناطقی که مقدار شاخص در آن کوچک‌تر از صفر باشد، به عنوان پیکسل غیر آب تعریف می‌شود و مناطقی که مقدار این شاخص در آن بزرگ‌تر از صفر است، پهنهٔ آبی را نشان می‌دهد (Dasarathy, 1991). برای استخراج این شاخص، از تصویر لندست ۵ باندهای ۱، ۲، ۴، ۵ و ۷ و از لندست ۸ باندهای ۲، ۳، ۵، ۶ و ۷ استفاده شد.

شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)

پوشش گیاهی، جذب بالای باند قرمز و بازتاب شدید باند مادون قرمز را از خود نشان می‌دهد و پوشش گیاهی آشکارسازی می‌شود. از طرف دیگر، بازتاب کم باند قرمز و مادون قرمز در برخی از پدیده‌ها مانند پدیده‌های آبی، به محدود شدن آشکارسازی منجر می‌شود. برای محاسبهٔ این شاخص از رابطهٔ زیر استفاده شد:

$$NDVI= ((NIR-RED))/ ((NIR+RED)) \quad \text{رابطهٔ ۲}$$

در این رابطه برای محاسبهٔ شاخص مورد نظر، از تصاویر لندست ۵ باندهای ۳ و ۴ و از تصاویر لندست ۸ باندهای ۴ و ۵ استفاده شد.

شاخص اختلاف آب نرمال شده (NDWI)

شاخص اختلاف آب نرمال شده، اولین بار توسط مک فیترز در سال ۱۹۹۶ برای استخراج پهنه‌های آب با استفاده از داده‌های سنجش از دور ارائه شد (Mcfeeters, 1996). برای محاسبهٔ این شاخص، از باندهای مادون قرمز نزدیک و باند سبز استفاده شد. شاخص موردنظر با استفاده از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$NDWI= ((Green-NIR))/ ((Green+NIR)) \quad \text{رابطهٔ ۳}$$

از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵، باند ۲ باند سبز و باند ۴ باند مادون‌قرمز و از تصویر لندست ۸ باندهای ۳ و باند ۵، برای استخراج پهنهٔ آبی با کمک این شاخص استفاده شد.

۴ـ یافته‌ها (نتایج)

مساحت پهنه‌های آبی دریاچهٔ نئور طی بازهٔ زمانی ۲۰۲۰-۱۹۸۸، با استفاده از سه شاخص AWEISH، NDWI و NDVI در اشکال ۴، ۵ و ۶ نمایش داده شد. ارقام مربوط به میزان مساحت پهنهٔ آبی در هر سال نیز در جدول ۲ ارائه

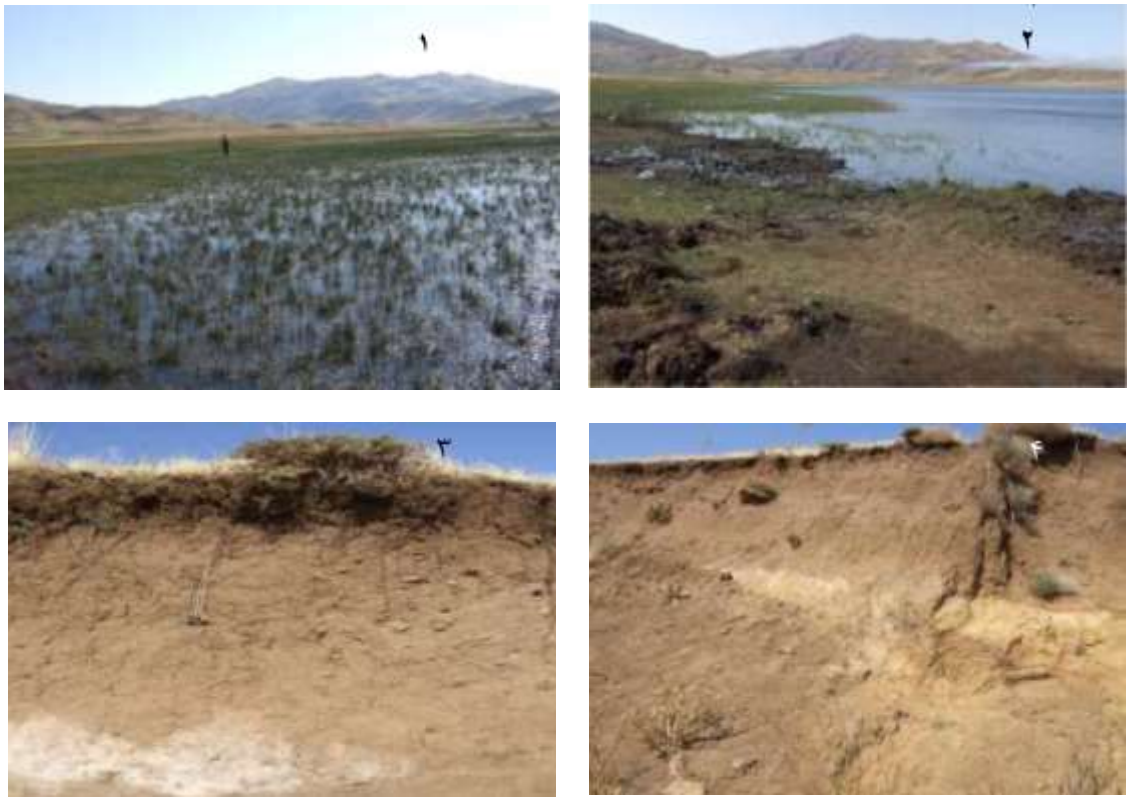
[DOI: 10.61186/jeer.13.4.174]

شد. مرز آبی دریاچه طی سه دهه، نوسانات زیادی داشت که می‌تواند دلایل متعددی داشته باشد. در این پژوهش، تغییرات بارشی طی سال‌های مورد مطالعه در نظر گرفته شد. شکل ۳، بخش‌هایی از نوسانات آبی دریاچه به ویژه پسروی آن را طی سال‌های اخیر نمایش می‌دهد.

اجرای سه شاخص آبی مختلف روی تصاویر نشان می‌دهد که مساحت تودهٔ آبی دریاچه از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۲۰ در هر سه شاخص به دست آمده، روند کاهشی را طی کرده‌است. بیشترین مساحت آبی به دست آمده از شاخص AWEISH مربوط به سال ۱۹۹۲، ۴/۱ کیلومترمربع و سال ۲۰۰۵ با عدد ۴/۰۸ کیلومتر مربع است. کمترین مساحت دریاچه توسط این شاخص نیز مربوط به سال ۲۰۱۹ با مساحت ۲/۲۸ کیلومتر مربع و سال ۱۹۹۱ برابر با ۲/۲۶ کیلومتر مربع است. این ارقام در مورد سال‌های ذکر شدهٔ سایر شاخص‌ها با کمی اختلاف تکرار شده‌است؛ بدین معنی که بیشترین مساحت پهنهٔ آبی به دست آمده از شاخص NDVI مربوط به سال ۲۰۰۵، ۴/۱۸ و سال ۱۹۹۲ معادل به ترتیب ۳/۶۷ کیلومتر مربع محاسبه شد. کمترین مساحت دریاچه توسط این شاخص، مربوط به دو سال ۲۰۱۹ و ۱۹۹۱ برابر با میزانی واحد ۲/۰۶ کیلومتر مربع است. دریاچهٔ نئور کمترین مساحت آب در سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۱۹ را به ترتیب با ارقام ۲/۲ و ۲/۳ کیلومتر مربع براساس شاخص NDWI تجربه کرده‌است. همچنین در سال ۱۹۹۲ همانند سایر شاخص‌های به دست آمده، این دریاچه بیشترین میزان آب اشغال شده را داشت.

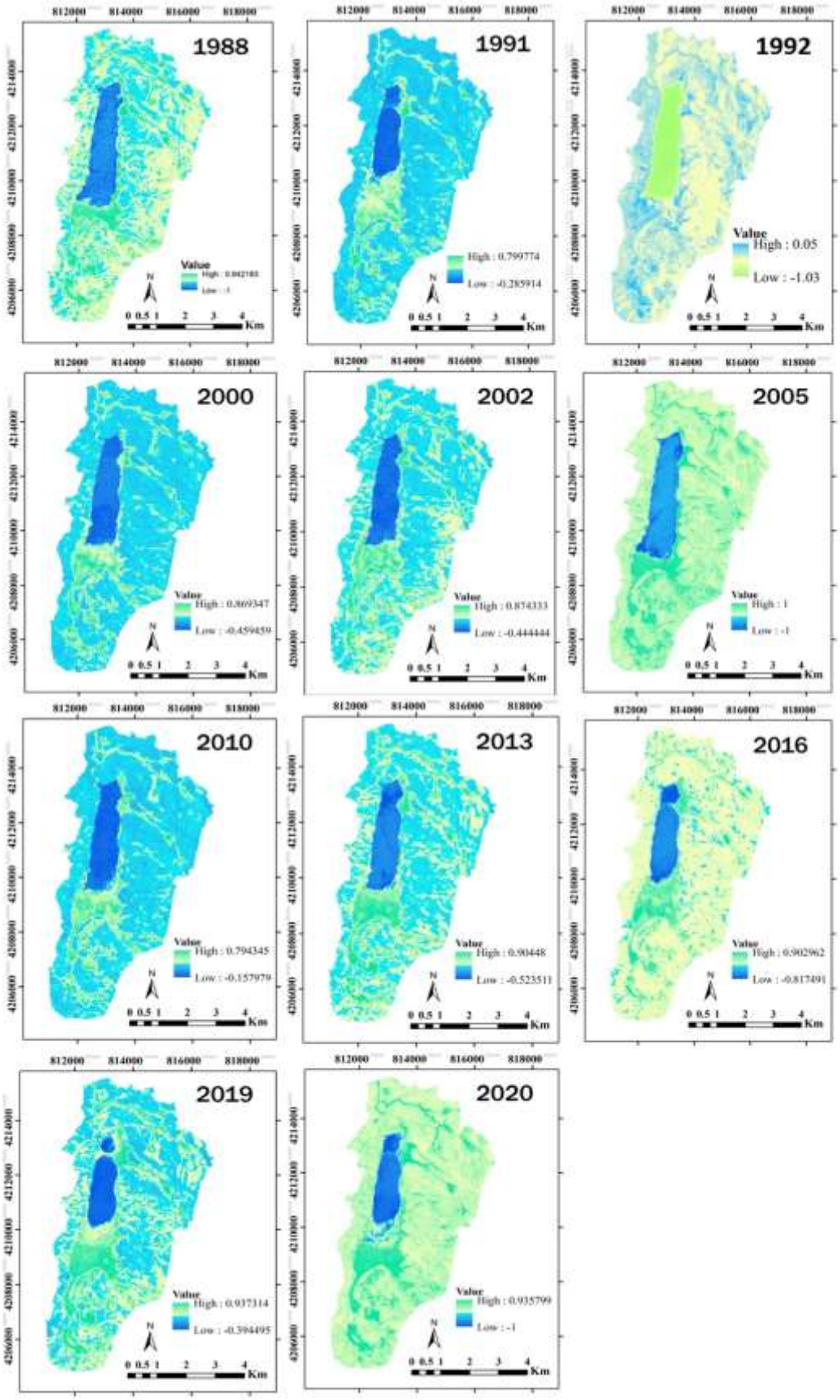
نمودار نوسانات بارندگی سه دهه، برای مقایسه در تصویر ۸ آورده شده‌است و می‌توان جابه‌جا شدن مرز پهنه‌های آبی فرسایشی دریاچه را با آن مقایسه کرد. در سال‌های پر بارش (ترسالی)، آب دریاچه به سمت خشکی پیشروی‌های زیادی داشت؛ به عنوان مثال در سال ۱۹۹۲ و ۲۰۰۵، دریاچه بارش‌های بسیار بالایی را تجربه کرد و همزمان سطح آب آن نیز بیشتر شد. در سال ۲۰۱۰ با کاهش بارش‌ها، در مرز دریاچه پسروی دیده می‌شود و همانند اکثر دریاچه‌های ایران، در این دریاچه نیز افت تراز آب وجود دارد. در حقیقت، باید اعتراف کردکه نوسانات آبی سیستم‌های بسته و حساسی همچون دریاچه‌ها، می‌تواند دلایل گوناگونی داشته باشد؛ مانند سیلاب، دابرشت‌های بی‌رویه، تغییرات و نوسانات رژیم بارندگی و خشکسالی‌ها. از آنجا که این دریاچه در یک محیط کوچک و بسیار بکر در ارتفاع بالای ۲۳۰۰ متر از سطح دریا قرار دارد؛ در این پژوهش عامل بارندگی مطالعه و نمودار و تصاویر مربوطه نیز با آن مقایسه شد (شکل ۵ و ۶).

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.174]



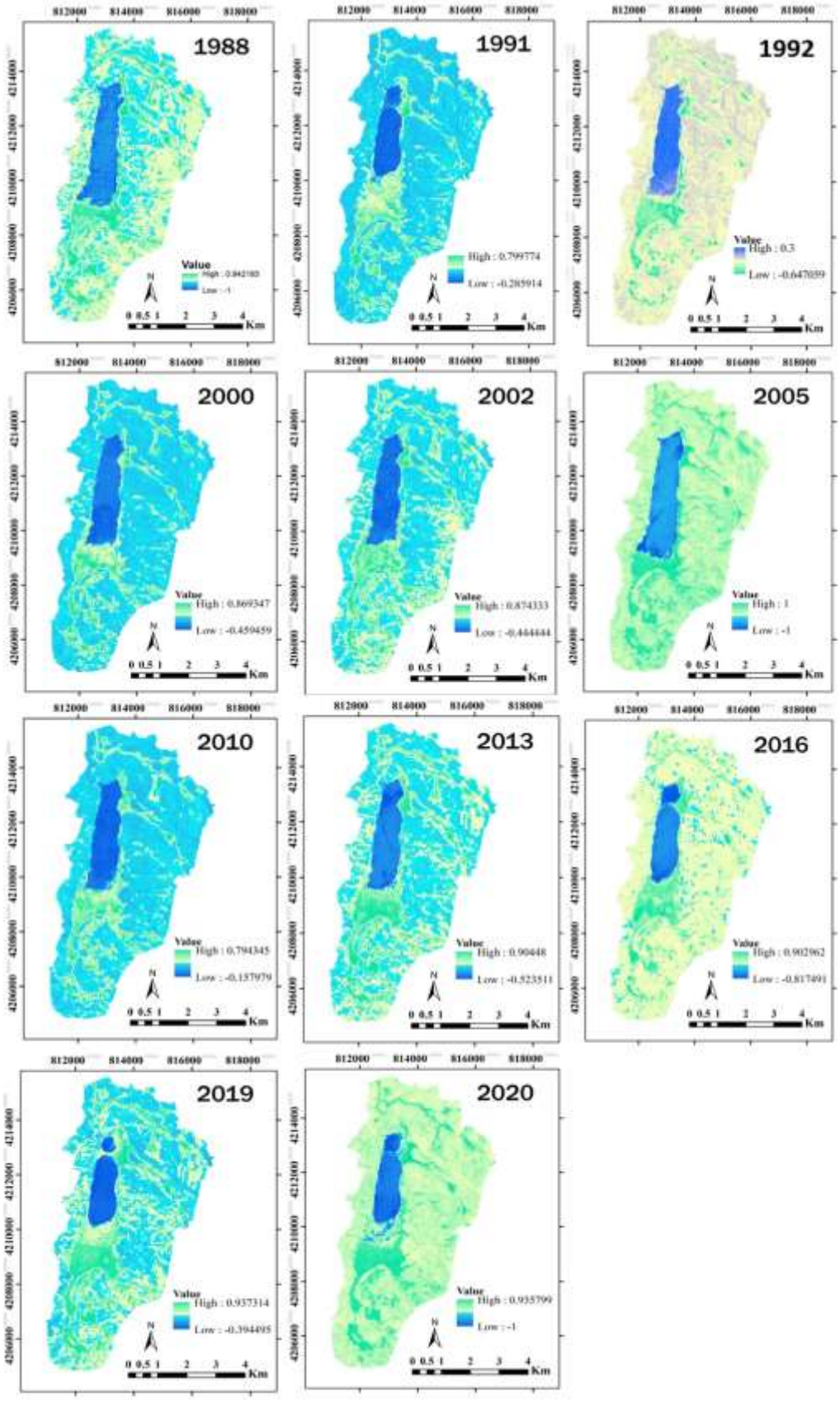
شکل ۳: عکس‌های ۱ و ۲ منظرهٔ دریاچهٔ نئور و شواهد خشکی آن در سال‌های اخیر، عکس‌های ۳ و ۴ بخش جنوبی دریاچه و شواهد پسروی و کاهش آب آن

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.174]



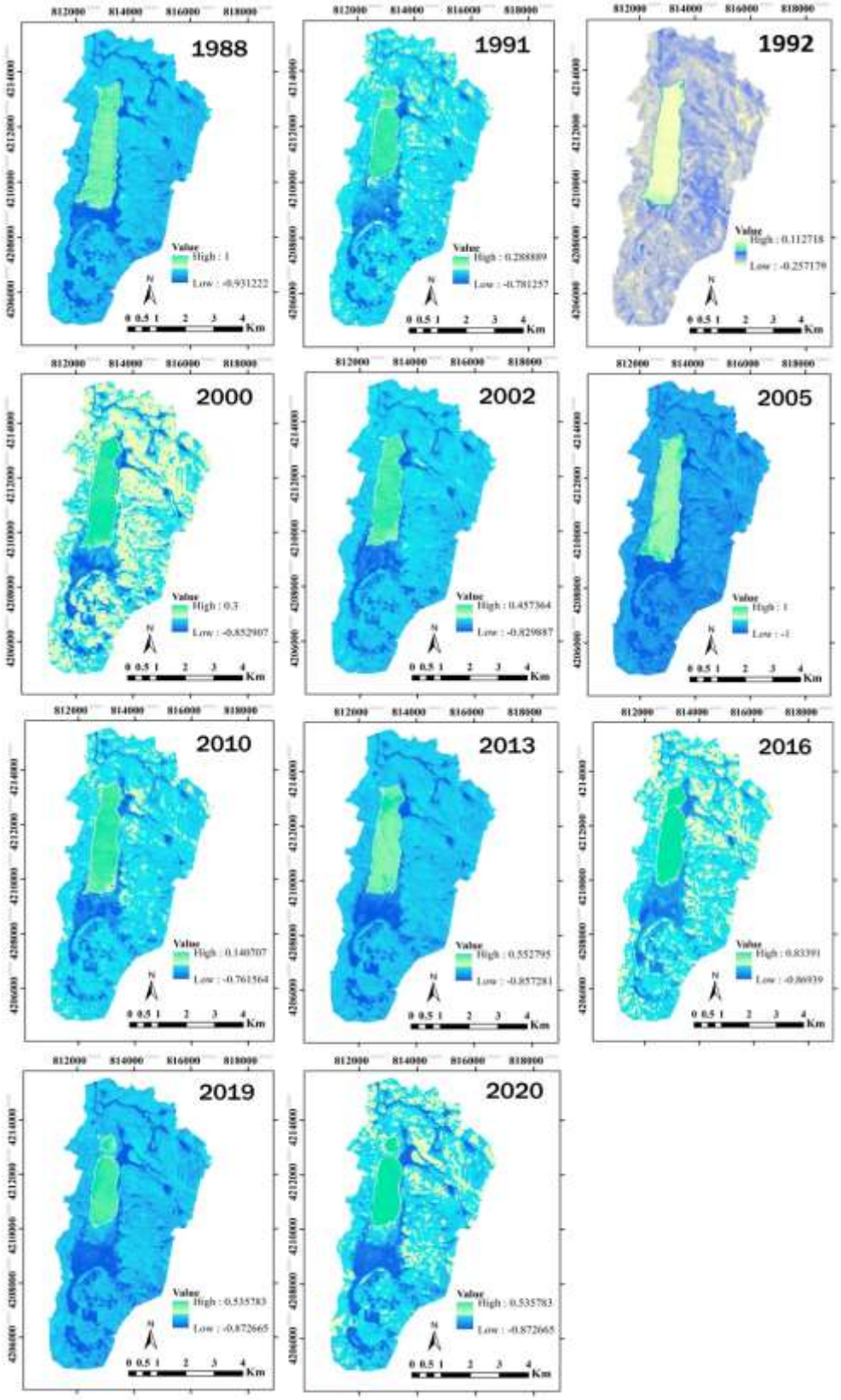
شکل ۴: تغییرات پهنهٔ آبی استخراج شدهٔ دریاچهٔ نئور با شاخص AWEISH

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.174]



شکل۵: تغییرات پهنهٔ آبی استخراج شدهٔ دریاچهٔ نئور با شاخص NDVI

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.174]

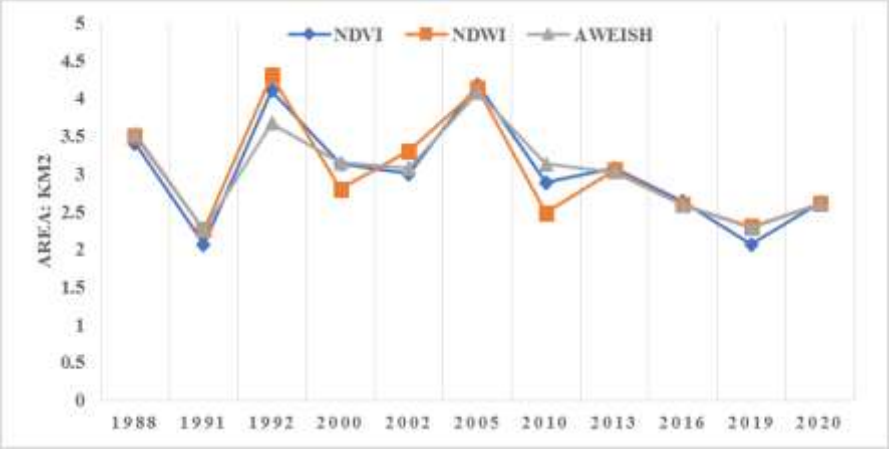


شکل ۶: تغییرات پهنهٔ آبی استخراج شدهٔ دریاچهٔ نئور با شاخص NDWI

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.174]

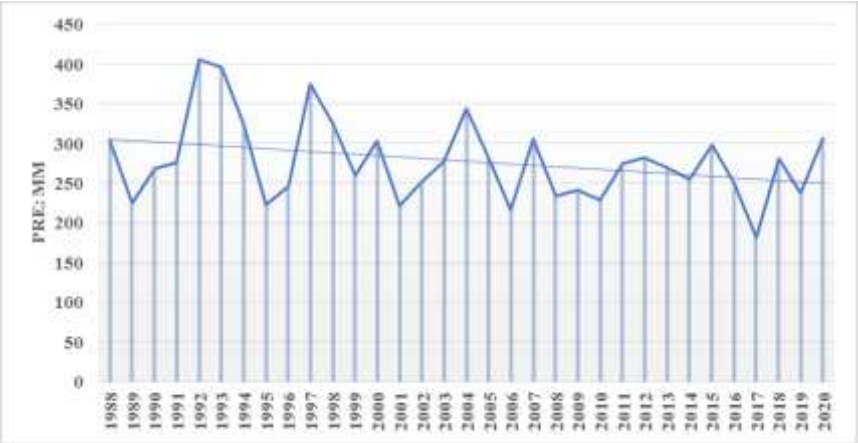
جدول۲: میزان تغییرات مساحت آبی دریاچهٔ نئور با استفاده از شاخص AWEISH، NDVI و NDWI

ماهواره / سنجنده	سال تصویربرداری		مساحت حجم تودهٔ آبی براساس شاخص‌ها (کیلومترمربع)		
	سال میلادی	سال شمسی	AWEISH	NDWI	NDVI
لندست ۵	۱۹۸۸/۷/۳۰	۱۳۶۷/۵/۸	۳/۵۳	۳/۵	۳/۴
لندست ۵	۱۹۹۱/۸/۸	۱۳۷۰/۵/۱۷	۲/۲۶	۲/۲۶	۲/۰۶
لندست ۵	۱۹۹۲/۰۷/۰۹	۱۳۷۵/۳/۲۹	۴/۱	۴/۳	۳/۶۷
لندست ۵	۲۰۰۰/۷/۳۱	۱۳۷۹/۵/۱۰	۳/۱۴	۲/۸	۳/۱۳
لندست ۵	۲۰۰۲/۸/۶	۱۳۸۱/۵/۱۵	۳/۰۷	۳/۳	۳
لندست ۵	۲۰۰۵/۶/۱۱	۱۳۸۴/۳/۲۱	۴/۰۸	۴/۱۳	۴/۱۸
لندست ۵	۲۰۱۰/۸/۱۲	۱۳۸۹/۵/۲۱	۳/۱۳	۲/۴۸	۲/۸۸
لندست ۸	۲۰۱۳/۷/۱۹	۱۳۹۲/۰۴/۲۸	۳/۰۲	۳/۰۵	۳/۰۷
لندست ۸	۲۰۱۶/۸/۱۲	۱۳۹۵/۵/۲۲	۲/۵۸	۲/۵۹	۲/۶۳
لندست ۸	۲۰۱۹/۷/۴	۱۳۹۸/۴/۱۳	۲/۲۸	۲/۳	۲/۰۶
لندست ۸	۲۰۲۰/۶/۳۱	۱۳۹۹/۰۴/۱۰	۲/۶	۲/۶	۲/۶۲



شکل ۷: تغییرات سطح دریاچهٔ نئور (براساس کیلومتر مربع) طی سه دهه پایش با استفاده از سه شاخص NDVI، NDWI و AWEISH

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.174]



شکل ۸: تغییرات بارندگی ایستگاه سینوپتیک اردبیل (میلی‌متر در سال) در بازهٔ زمانی ۲۰۲۰-۱۹۸۸

برای اعتبارسنجی شاخص‌های به‌کار رفته در بازهٔ زمانی ۳۳ ساله از سال‌های ۱۹۸۸، ۱۹۹۱، ۱۹۹۲، ۲۰۰۰، ۲۰۰۲، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰، ۲۰۱۳، ۲۰۱۶، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰، از الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان[1] و روش کمترین فاصله[2] استفاده شد. نتایج صحت‌سنجی هرکدام از شاخص‌ها، با استفاده از طبقه‌بندی‌های مختلف مقایسه و در جدول ۳ ارائه شد. براساس این نتایج، صحت کلی و ضریب کاپا در هر سه شاخص بالاتر از ۰/۹۲ است که نشان می‌دهد روش‌های به کار رفته در استخراج سطوح آب، با کاربری موجود در زمین انطباق بالایی داشت. از بین این سه، شاخص AWEISH نتایج دقیق‌تری ارائه کرد؛ بنابراین در مقام مقایسه، این شاخص توانست تغییرات سطح دریاچهٔ نئور را بهتر تشخیص دهد.

جدول۳: میزان دقت کلی و ضریب کاپا شاخص‌های AWEISH، NDVI و NDWI به روش SVM

سال	AWEISH		NDWI		NDVI	
	Overall Accuracy	Kappa Coefficient	Overall Accuracy	Kappa Coefficient	Overall Accuracy	Kappa Coefficient
۱۹۸۸	۱۰۰	۱	۹۸/۲	۰/۹۶	۹۸/۰۲	۰/۹۷
۱۹۹۱	۱۰۰	۱	۹۹/۰۶	۰/۹۹	۱۰۰	۱
۱۹۹۲	۱۰۰	۱	۹۸/۷	۰/۹۷	۹۸/۶	۰/۹۷
۲۰۰۰	۱۰۰	۱	۹۸/۸۹	۰/۹۸	۱۰۰	۱
۲۰۰۲	۱۰۰	۱	۹۷/۹۹	۰/۹۶	۹۸/۱۳	۰/۹۷
۲۰۰۵	۱۰۰	۱	۹۹/۱۸	۰/۹۸	۱۰۰	۱
۲۰۱۰	۹۹/۰۹	۰/۹۸	۹۸/۴۸	۰/۹۷	۹۸/۵۶	۰/۹۷
۲۰۱۳	۹۷/۹۷	۰/۹۶	۹۶/۴۷	۰/۹۴	۰/۹۷	۰/۹۵
۲۰۱۶	۱۰۰	۱	۹۹/۳۹	۰/۹۹	۱۰۰	۱
۲۰۱۹	۱۰۰	۱	۹۸/۰۵	۰/۹۶	۹۸/۵۹	۰/۹۷
۲۰۲۰	۱۰۰	۱	۹۵/۰۶	۰/۹۲	۹۹/۳	۰/۹۸

[1] Support Vector Machine
[2] Minimum Distance Classification

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.174]

جدول۴: میزان دقت کلی و ضریب کاپا شاخص‌های AWEISH، NDVI و NDWI به روش کمترین فاصله

سال	AWEISH		NDWI		NDVI	
	Overall Accuracy	Kappa Coefficient	Overall Accuracy	Kappa Coefficient	Overall Accuracy	Kappa Coefficient
۱۹۸۸	۰/۹۷	۰/۹۴	۹۳/۱۰	۰/۸۵	۹۴/۲۶	۰/۹۲
۱۹۹۱	۹۸/۲۵	۰/۹۶	۹۸/۸۳	۰/۹۸	۹۸/۱۳	۰/۹۸
۱۹۹۲	۹۹/۶۸	۰/۹۸	۹۷/۸۳	۰/۹۵	۹۷/۶۳	۰/۹۴
۲۰۰۰	۹۸/۲۷	۰/۹۷	۹۶/۹۵	۰/۹۵	۹۷/۹۸	۰/۹۷
۲۰۰۲	۹۶/۷۸	۰/۹۴	۱۰۰	۱	۹۵/۱۳	۰/۹۳
۲۰۰۵	۹۷/۵۴	۰/۹۵	۹۸/۶۳	۰/۹۷	۹۷/۰۳	۰/۹۶
۲۰۱۰	۹۶/۳۶	۰/۹۳	۹۹/۲۴	۰/۹۸	۹۵/۸۶	۰/۹۴
۲۰۱۳	۹۶/۴۷	۰/۹۴	۹۶/۹۶	۰/۹۵	۹۶/۱۶	۰/۹۵
۲۰۱۶	۹۸/۷۸	۰/۹۸	۹۷/۰۱	۰/۹۴	۰/۹۸	۰/۹۶
۲۰۱۹	۹۸/۷۳	۰/۹۸	۹۸/۰۵	۰/۹۶	۹۸/۳۷	۰/۹۷
۲۰۲۰	۱۰۰	۱	۹۳/۸۲	۰/۹۰	۹۸/۳۶	۰/۹۷

۵ـ بحث و نتیجه‌گیری

سیستم‌های دریاچه‌ای از حساس‌ترین سیستم‌های فرسایش محیطی محسوب می‌شود که به دلیل فرایندهای هیدرودینامیکی حاکم، تغییر و تحول در آنها نسبت به سایر سیستم‌های ژئومورفولوژیکی نسبتاً سریع است. مطالعهٔ نوسانات مساحت دریاچه‌ها و میزان تأثیرگذاری عوامل محیطی بر آنها، با توجه به آستانهٔ بالای حساسیت زیست محیطی‌شان اهمیت ویژه‌ای دارد. در این پژوهش با استفاده از داده‌های چند زمانهٔ تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ و ۸، تغییرات دینامیک سطحی آب دریاچهٔ نئور طی بازهٔ زمانی ۲۰۲۰-۱۹۸۸ مطالعه شد. برای آشکارسازی تغییرات زمانی ـ مکانی سطح آب دریاچه نیز از سه شاخص مختلف استخراج کمی آب (AWEISH، NDVI و NDWI) استفاده شد. میزان عملکرد هر یک از آنها (صحت کلی و ضریب کاپا)، در قالب الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM) و روش کمترین فاصله ارزیابی شد و در نهایت، مشخص شد که شاخص AWEISH در تشخیص پهنه‌های فرسایشی آب نسبت به سایر شاخص‌های مورد استفاده دارای کمترین خطاست. Fisher و همکاران (2016) نیز معتقدند که این شاخص به دلیل دقت کلی بالای ۹۵٪ برای پیکسل‌های خالص و ۷۵٪ برای پیکسل‌های مختلط، در غرب استرالیا دارای بهترین عملکرد است. نتایج پایش سه دهه تغییرات میانگین مساحت پهنهٔ آبی فرسایشی دریاچه نیز روندی نزولی داشت. کاهش مساحت در سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۱۹ چشمگیرتر بود. این روند نزولی طی سال‌های اخیر به دلیل تغییرات اقلیمی و خشکسالی‌های اخیر تشدید شد. خروجی‌های دریافت شده از استخراج پهنه‌های فرسایشی آبی و خشکی در زمینهٔ داده-های اقلیمی بارش ایستگاه سینوپتیک منطقه، این الگوی کاهشی مساحت دریاچه را اثبات می‌کند؛ بنابراین، رفتار هیدرولوژیکی این دریاچه در ارتباط با عوامل اقلیمی، مشابه اکثر دریاچه‌های ایران به ویژه طی سال‌های بعد از ۲۰۰۰ است (Yousefi et al, 2022 & Khan Ahmadi et al, 2021 & Khosravian et al, 2018). از دلایل اصلی این پدیده، وقوع خشکسالی و کم شدن بارش‌های جوی است (Spinoni et al, 2015)؛ به بیانی دقیق‌تر، این عامل با کاهش سطح

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.174]

دریاچهٔ نئور ارتباط تنگاتنگی دارد. یافته‌های این پژوهش با نتایج مطالعاتی همچون Rahimi Balouchi and Mohammadi Malek (2012)، Yousefi (2022) و Khan Ahmadi و همکاران (2021) همخوانی دارد. با توجه به اهمیت زیست محیطی و جاذبه‌های گردشگری این دریاچه، برای مدیریت بهینهٔ آن بایستی حد بستر و حریم دریاچه توسط سازمان‌های مربوطه همچون سازمان حفاظت محیط زیست، سازمان مدیریت منابع آب و محققان عرصه-های سنجش از دور تعیین شود. پیشنهاد دیگر در این راستا، استفاده کردن از این شاخص‌ها در محیط‌هایی با شرایط ژئومورفولوژیکی، اقلیمی و زیست محیطی متنوع به طور همزمان است تا بتوان از میزان دقت آنها در تشخیص پهنه‌های آبی ارزیابی بهتری داشت.

۶- سپاس گزاری

نویسندگان مراتب تشکر و قدردانی خویش را از همکاری ارزندهٔ طیبه اکبری ازیرانی، استادیار اقلیم‌شناسی دانشگاه شهید بهشتی تهران به جهت دسترسی به آرشیو تصاویر دریاچهٔ نئور، ابراز می دارند.

منابع

1. Ali Bakhshi, T.; Azizi, Z.;Vafaeinejad, A.; & H. Aghamohammadi Zanjirabadi, 2020. Survey of Area Changes in Water Basins of Shahid Abbaspour Dam Caused by 2019 Floods Using Google Earth Engine, *Acohydrology*, 7(2), 345-357. (In Persion).
2. Asghari, S.; Jalilyan, R.; Pirozineghad, N.; Madadi, A.; & M. Yadeghari, 2020. Evaluation of Water Extraction Indices Using Landsat Satellite Images (Case Study: Gamasiab River of Kermanshah), *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*, 20(58), 53-70. (in Persian).
3. Azizi, Gh.; Akbari, T.; Hashemi, H.; Yamani, M.; Maghsoudi, M.; & A. Abasi, 2013. Pollen Analysis for Reconstruction the Palaeoclimatic Phases in Lake Neor during the Late-Pleistocene to Holocene, *Physical Geography Research*, 45(1), 1-20. (in Persian).
4. Bakr, N., & O. El-Kawy., (2020). Modeling The Artificial Lake-Surface Area Change In Arid Agro-Ecosystem: A Case Study In The Newly Reclaimed Area, Egypt. *Journal Of Environmental Management*. 271, 1-15.
5. Darvishzade, A., 1992. Geology of Iran. Amirkabir Press, 902Pp. (in Persian).
6. Dasarathy, B. V., 1991. Nearest Neighbor Pattern Classification Techniques, IEEE Computer Society Press, 230P p.
7. Deng, Z.; Zhu, X.; He, Q.; & L. Tang, 2019. Land use/land cover classification using time series Landsat 8 images in a heavily urbanized area, *Advances in Space Research*, 63(7), 2144-2154.
8. Farajzadeh Asl, M., & A. B. Hosaini., (2007). Analysis of Water Crisis in Nishabor Plain. *Journal of Spatial Planning*. 11(53), 215-238. (In Persian).
9. Feddema, J., 1998. Estimated impacts of soil degradation on the African water balance and climate, *Climate Research*, 10(2), 127-141.
10. Feyisa, G. L.; Meilby, H.; Fensholt, R.; & S. R. Proud, 2014. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery, *Remote Sensing of Environment*, 140, 23-35.
11. Gautam, V. K.; Gaurav, P. K.; Murugan, P.; & M. Annadurai, 2015. Assessment Of Surface Water Dynamics In Bangalore Using WRI, NDWI, MNDWI, Supervised Classification And K-T Transformation, *Aquatic Procedia*, (4), 739-746.

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.174]

12. Ghebrezgabher, G.; Yang, T.; Yang, X.; & C. Wang, 2019. Assessment of desertification in Eritrea: land degradation based on Landsat images, *Journal of Arid Land*, 11, 319-331.
13. Goodarzi, M.; Pourhashemi, M.; & Z. Azizi, 2019. Investigation on Zagros forests cover changes under the recent droughts using satellite imagery, *Journal of Forest Science*, 65(1), 9-17.
14. Jafari, S.; Hamzeh, S.; Abdolazimi, H.; & S. Attarchi, 2021. Two decades of monitoring Maharloo Wetland using satellite data provided in Google Earth Engine, *Geographical Data (SEPEHR)*, 30(118), 153-168. (In Persion).
15. Khan Ahmadi, H.; Saghafian, B., & P. Daneshkar Arasteh, 2021. Forecasting the Area of the Bakhtegan and Tashk Lake Using Remote Sensing and Climatic Factors, *Iran-Water Resources Research*, 17(1), 151- 165. (In Persian).
16. Khosravian, M.; Entezari, A.; Rahmani, A.; & M. Baaghide, 2018. Monitoring the Disturbance of Lake District Water Level Changes Using Remote Sensing Indices, *Hydrogeomorphology*, 4(13), 99-120. (In Persian).
17. Knutti, R., & J. Sedláček., (2013). Robustness and uncertainties in the new CMIP5 climate model projections. *Journal of Nature Climate Change*. 3(4), 369-373.
18. Kwang, C.; Osei Jnr, E. M.; & A. S. Amoah, 2018. Comparing of Landsat 8 and Sentinel 2A using Water Extraction Indexes over Volta River, *Journal of Geography and Geology*, 10(1), 1-7.
19. Li, X.; Zhang, F.; Chan, N, W.; Shi, J.; Liu, C.; & D. Chen, 2022. High Precision Extraction of Surface Water from Complex Terrain in Bosten Lake Basin Based on Water Index and Slope Mask Data, *Water*, 14(18), 1-17.
20. Majidi, M.; Alizadeh, A.; Farid Hosseini, A.;& M. Vazifedoust, 2017. Estimating Evaporation From Dam Reservoirs By Development And Aplication Of A New Method Based On Energy Balance Case Study: Doosti Dam, *Civil Engineering*, 32(4.1), 3-10. (In Persion).
21. Mcfeeters, S. K., 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features, *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425-1432.
22. Mozafari, Gh., & M. Narangifard., (2014). The Effects of Changing Level of Maharlou lake on Humidity and Temperature Level of Shiraz City. *Geography and Territorial Spatial Arrangement*. 5(14), 215-230. (In Persian).
23. Nejadsatari, S., 1978. Systematic study of algae in Lake Neor. Ms.c thesis. Biology department. Tehran University. 149p. (In Persion).
24. Rahimi Balouchi, L., & B. Malek Mohammadi., (2012). Application of remote sensing in the conservation and management of wetlands. In 3rd national conference on combating desertification and sustainable development of Iran Desert Wetlands (Relying on Meighan Desert Wetland-2012). 15 September. Islamic Azad University of Arak, Iran. (In Persian).
25. Soleimani, L., & A. Hagizadeh., (2014). An Evaluation of the Effect of Recent Droughts on Lakes Discharge Reduction: A Case Study of Lake Keeyow, Khorramabad, Iran. *Journal of International Bulletin of Water Resources and Development.* 3(11), 99-108. (In Persian).
26. Solimani Sardo, M.; Ebrahimi, Z.; & M. Zarei, 2021. Extraction of surface water zones of seasonal lake Jazmourian using remote sensing indicators, *Physical Geography*,14(53), 119-134. (In Persion).
27. Spinoni, J.; Naumann, G.; Vogt, J.; & P. Barbosa, 2015. The biggest drought events in Europe from 1950 to 2012, *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3, 509-524.
28. Tong, X.; Pan, H.; Xie, H.; Xu, X.; Li, F.; Chen, L.; Luo, X.; Lio, Sh.; Chen, P.; & Y. Jin, 2016. Estimating water volume variations in Lake Victoria over the past 22 years using multi-mission altimetry and remotely sensed images, Journal of Remote Sensing of Environment, 187, 400-413.

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.174]

29. Yousefi, H.; Torabi podeh, H.; Haghizadeh, A.; Samadi, A.; Arshiya, A.;& Y. Yarahmadi, 2022. Monitoring the Changes of Zaribar Lake in Kurdistan Using Spectral Indicators and Landsat Images in Google Earth Engine System, *Hydrogeology*, 6(2), 30-41. (In Persian).
30. Yousefiroshan, M., 2022. Estimation of Lake Urmia water area using Landsat 8 satellite imagery using MNDWI Index, *Geography*, 20(74), 165-186. (In Persion).
31. Zhang, Z., & C. Ke., (2016). Monitoring and analysis of changes in a wetland landscape in Xingzi county. *Journal of Earth Science Informatics*. 9(1), 35- 45.

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.174]

Fluctuation Trend Estimation of Water Erosion Zones based on the Time Series of Remote Sensing Images (Case Study: Neor Lake)

Amin Abdolalipour *: MS.c in Geomorphology, Faculty of Humanities, University of Tarbiat Modarres*
Maryam Rahmati [1]*: Assistant Professor of Geomorphology, Faculty of Humanities, University of Lorestan*
Amir Ghelichi *: Ph.D Candidate in geomorphology, Faculty of Humanities, University of Tarbiat Modarres*

Article History (Received: 2023/ 02/ Accepted: 2023/ 07/ 11)

Extended abstract

1- Introduction

The change and evolution of land and water erosion zones through time shows the stability of natural lake ecosystems. Therefore, monitoring the fluctuations of the lake boundary through the preparation of remote sensing data through time, with high spatial and temporal resolution, can reveal the effects of natural hazards, including drought. Compared to other methods, the remote sensing methods due to their ability to easily and cheaply access data, their high accuracy and comprehensiveness, wideness of satellite images and their spectral diversity are considered an effective tool in water resource management and lakes monitoring. Therefore, the importance of monitoring the changes in water-land erosion areas of Lake Neor can provide a suitable platform for making efficient management decisions and prioritizing executive programs to deal with the water shortage crisis. This research has been conducted with the aim of evaluating the changes in water and land erosion areas of lake Neor (as the largest fresh water lake in Ardabil province and one of the most important tourist attractions of this province) in relation to climatic factors during a period of 32 years. This issue has been less discussed in the studies conducted in the region.

2- Methodology

Most of the data of this research are time series of Landsat 5 and 8 images during the period of 1988-2020, which were obtained from the website of the US Geological Survey. The map of the studied basin was extracted using ASTER DEM and ARC HYDRO tool. Atmospheric and geometric corrections on the images were applied in ENVI 5.3 software. Water areas were extracted using AWEI, NDWI and NDVI indexes. ARC GIS 10.2 software was used to get the final outputs of the maps. The 32-year climate statistics of the synoptic station of Ardabil city were obtained from the Meteorological Organization of the country in order to investigate the causes of changes in water erosion zones.

3- Results

The application of three different water indicators on the images indicated that the water area of the lake has decreased from 1988 to 2020 . The largest water area obtained from the AWEISH index in 1992 is 4.1 square kilometers and the smallest lake area in 2019 is 2.2 square kilometers and 2005 with 4.08 square kilometers. The lowest area of the lake according to this index is related to the year 2019 with an area of 2.28 square kilometers and in 1991 with an area equal to 2.26 square kilometers. These numbers have been repeated in other indices with a slight difference. This great fluctuation of the water level of the lake during three decades can have several reasons. In this study, rainfall changes during the

[1] **Corresponding Author: Mary.rahmati88@Gmail.com**

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.174]

studied years have been considered as the main cause. The comparison of the fluctuations of rainfall with changes in the lake level shows the water of the lake has prograded a lot towards the land in the rainy years (1992 and 2005). Also, the performances of three water indexes (general accuracy and Kappa coefficient) were evaluated in the form of Support Vector Machine (SVM) algorithm and the Minimum Distance method. The overall accuracy and Kappa coefficient in all three indicators is higher than 0.92 which indicates the used methods in the extraction of water have high compliance with the land use.

4- Discussion & Conclusions

In this research, the surface dynamic changes of Lake Neor in relation to climate fluctuations (precipitation) during the period of 1988-2020 were studied using multi-temporal data. In order to detect the temporal-spatial changes of the lake water level, three different indices of quantitative water extraction (AWEISH, NDVI and NDWI) were used. The performance of each of them (general accuracy and Kappa coefficient) was evaluated in the form of Support Vector Machine (SVM) algorithm and the Minimum Distance method. It was found that the AWEISH index had the lowest error compared to other indices used in the detection of water areas. The results of monitoring three decades of changes in the area revealed that the annual average of the water area of the lake has experienced a decreasing trend. This downward trend has become more intense during the last years of this period due to climate changes and occurrence of recent droughts. In order to optimally manage this lake, considering its environmental importance and tourist attractions, the boundaries of the lake's bed and privacy should be determined by the relevant organizations such as Department Of Environment, Water Resources Management Company and remote sensing researchers. Another suggestion in this regard is to use these indicators in places with diverse geomorphological, climatic and environmental conditions simultaneously to be able to have a better assessment of their accuracy in detecting water areas.

Key Words: Change detection; Erosion water zones; Neor lake; Remote sensing

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.174]