

ارزیابی ارتباط الگوی کاربری اراضی و تغییرات فضایی کیفیت آب در مقیاس حوضه

آبخیز: مطالعه موردی زیرحوضه آبخیز رودخانه مارون

فریبا هدایت زاده^۱، علیرضا ایلدرمی*^۲، نسرين حسن زاده^۱، نادر بهرامی فر^۳، مهدی بنایی^۴

^۱ گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

^۲ گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

^۳ گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، ایران

^۴ گروه آبی پروری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیا (ص) بهبهان، بهبهان، ایران

سابقه و هدف: کیفیت حوضه رودخانه با سلامت اکوسیستم آن مشخص می‌شود تا منابع و خدمات قابل توجه و ارزشمندی را برای استفاده انسان و خود حوضه فراهم کند. با این حال، تغییرات الگوی کاربری اراضی که انعکاسی مؤثر از فعالیت‌های انسانی است، سلامت رودخانه را به شدت مختل کرده و محرک اصلی کاهش کیفیت آب است. بررسی رابطه بین الگوی کاربری اراضی و کیفیت آب رودخانه، مبنای مهمی برای ایمنی کیفیت آب و مدیریت مؤثر کاربری اراضی فراهم می‌کند. لذا هدف این مطالعه بررسی تأثیر الگوهای کاربری اراضی بر کیفیت آب‌های سطحی در محدوده زیرحوضه آبخیز رودخانه مارون است.

مواد و روش‌ها: به منظور نمونه‌برداری از منطقه مطالعاتی ابتدا مرز زیرحوضه آبخیز رودخانه مارون تعیین و سپس زیرحوضه مورد نظر با استفاده از ابزار آنالیز هیدرولوژیکی در نرم‌افزار ArcGIS به زیرحوضه‌های مختلف کوچکتر تقسیم و نقشه آبراهه‌های منطقه تهیه شد. سپس ایستگاه‌های نمونه برداری از نقطه خروجی هر یک از این زیرحوضه‌ها در محدوده‌ی زیرحوضه اصلی انتخاب شدند. سپس به منظور اندازه‌گیری پارامترهای کیفی آب محدوده مورد مطالعه، نمونه برداری از ۳۸ ایستگاه پایش در سطح زیرحوضه‌ها با ۳ تکرار در بهار ۱۴۰۲ انجام شد. نقشه کاربری اراضی نیز جهت ارزیابی تغییرات و تأثیر الگوهای کاربری و پوشش زمین بر وضعیت کیفیت آب زیرحوضه آبخیز رودخانه مارون با استفاده از تصاویر لندست تهیه شد. سپس با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تکنیک‌های آماری چند متغیره، اثرات کاربری اراضی در سطح زیرحوضه مارون بر کیفیت آب رودخانه برآورد گردید. به‌علاوه جهت ارزیابی درجه کیفیت آب رودخانه در زیرحوضه‌های مختلف، از شاخص کیفیت آب (WQI) جهت تجزیه و تحلیل داده‌های کیفیت آب استفاده شد.

نتایج و بحث: نتایج بررسی توزیع الگوهای کاربری اراضی نشان داد که کاربری مرتع کاربری غالب در سطح زیرحوضه رودخانه مارون است و پارامترهای کیفیت آب تغییرات قابل توجهی را در ایستگاه‌های تحت پوشش کاربری کشاورزی و جنگلی نشان دادند. نتایج تجزیه و تحلیل همبستگی و رگرسیون خطی پارامترهای کیفیت آب و الگوهای کاربری اراضی در زیرحوضه رودخانه مارون نشان داد که کاربری کشاورزی با پارامترهای pH و DO ارتباط منفی و با پارامترهای NO_3^- و PO_4^{2-} و Ca^{2+} ارتباط مثبت، کاربری جنگل همبستگی مثبت با Do و منفی با PO_4^{2-} ، و کاربری شهری نیز همبستگی منفی با DO نشان داد. مقادیر WQI در ایستگاه‌های مختلف پایش شده بین $73/80$ و $288/73$ برآورد شد که براساس این شاخص، سطح سلامت رودخانه در بالادست زیرحوضه بهتر از پایین دست بود. به طور کلی براساس طبقه بندی WQI، $62/5$ ، 25% در طبقه "ضعیف"، $12/5\%$ در طبقه "خوب" قرار داشت.

نتیجه گیری: یافته‌های حاصل از پژوهش بیانگر این است که کاربری کشاورزی عامل کلیدی تأثیرگذار بر پارامترها و در نتیجه افت کیفیت آب در سطح زیرحوضه رودخانه مارون می‌باشد و محدود کردن تخلیه رواناب ناشی از فعالیت‌های کشاورزی برای بهبود کیفیت آب در منطقه مورد مطالعه حیاتی است. این مطالعه اهمیت تغییرات کاربری/پوشش اراضی در کیفیت آب را برای تصمیم‌گیری آگاهانه در مورد برنامه ریزی و مدیریت صحیح حوضه برجسته می‌کند.

واژه‌های کلیدی: کاربری اراضی، پایش کیفیت آب، تکنیک‌های آماری چند متغیره، توزیع فضایی، زیرحوضه رودخانه مارون

مقدمه

حوضه‌های آبخیز رودخانه‌ای خدمات اکوسیستمی ارزشمندی را فراهم می‌کنند، و علاوه بر اینکه تأمین‌کننده اصلی آب برای انسان به شمار می‌روند، طیف وسیعی از زیستگاه‌های آبی را نیز شامل می‌شوند (Liu *et al.*, 2017; Sakke *et al.*, 2023). بنابراین، کیفیت آب رودخانه یک عامل حیاتی است که نمی‌توان آن را در توسعه همه جانبه منطقه‌ای نادیده گرفت و ایمنی کیفیت آب تضمین اساسی برای سلامت و ایمنی زندگی انسان است (Khan *et al.*, 2021; Scanlon *et al.*, 2022). با این حال، تراکم بالای جمعیت و افزایش فعالیت‌های انسانی در حوضه‌های رودخانه‌ای، چالش‌های مهمی را برای سلامت اکوسیستم‌های رودخانه‌ای به‌ویژه از نظر تخریب کیفیت آب ایجاد کرده است. به طوری که بدتر شدن کیفیت آب رودخانه به دلیل فعالیت‌های ناپایدار انسانی به یک نگرانی کلیدی در محیط‌زیست تبدیل شده است (Mu *et al.*, 2023). بنابراین، مطالعه سلامت اکوسیستم حوضه رودخانه‌ها بسیار مهم است و ضرورت درک کیفیت آب این اکوسیستم‌ها به عنوان یک زمینه مهم تحقیق و مدیریت در علوم آبریزان پدیدار شده است (Maliki Abdullah *et al.*, 2020). در این زمینه شاخص کیفیت آب (WQI) یکی از روش‌های مورد استفاده برای توصیف سلامت اکوسیستم رودخانه است (Uddin *et al.*, 2021) که تا حدی سطح سلامت اکوسیستم را توضیح می‌دهد. نتایج WQI به شناسایی منابع آلودگی کمک می‌کند و بنابراین می‌تواند برای تسهیل فرآیند حفاظت و نگهداری رودخانه استفاده شود (Sakke *et al.*, 2023). در ارتباط با بررسی کیفیت آب رودخانه‌ها، ویژگی‌های حوزه آبخیز مانند کاربری اراضی، آب و هوا، و ویژگی‌های فیزیوگرافیک

می‌توانند تا حد زیادی بر کیفیت آب رودخانه تأثیر بگذارند (Teixeira and Marques, 2015). اما به طور خاص، تخریب کیفیت آب اغلب به دلیل توسعه و تغییر کاربری اراضی رخ می‌دهد که باعث افزایش رواناب ناگهانی و بار مواد مغذی می‌شود (Sangani *et al.*, 2015). تغییرات کاربری و پوشش اراضی (LULC)* بر ژئومورفولوژی، خواص خاک، فرآیندهای هیدرولوژیکی و کیفیت آب در مقیاس جهانی، منطقه‌ای و محلی (Wan *et al.*, 2014) و بنابراین، یکپارچگی اکولوژیکی اکوسیستم‌های آبی (Miserendino *et al.*, 2011) تأثیر می‌گذارد. از جمله کلیدی‌ترین فعالیت‌های انسانی مؤثر بر تغییرات LULC، بهره‌برداری بیش از حد از زمین‌های کشاورزی، تبدیل پوشش گیاهی طبیعی به جنگل‌داری تجاری یا مرتع و شهرنشینی سریع است (Miserendino *et al.*, 2011; Yu *et al.*, 2013). در واقع، الگوهای مختلف کاربری اراضی می‌توانند تنوع فضایی فعالیت‌های انسانی را منعکس کنند که مسئول تولید و انتقال آلاینده‌های مختلف هستند (Chen *et al.*, 2019). به عنوان مثال، گسترش شهری به طور کلی آلاینده‌های آلی، مواد مغذی و فلزات سنگین درون اکوسیستم رودخانه را افزایش می‌دهد (Tran *et al.*, 2010)، در حالی که کاربری کشاورزی معمولاً با سطح بالایی از مواد مغذی، به ویژه نیترژن و فسفر همراه است (Taranu and Gregory-Eaves, 2008). علاوه بر این، انتشار فاضلاب خانگی و دامی غیرمتمرکز می‌تواند منجر به افت کیفیت آب رودخانه در بسیاری از مناطق روستایی در نتیجه تأسیسات ناکافی تصفیه فاضلاب شود (Liang *et al.*, 2010). علاوه بر این، زمین‌های دارای پوشش گیاهی با دخالت کم انسان می‌توانند نقش مهمی در کاهش فرسایش خاک و فیلتر کردن آلاینده‌های ورودی ایفا کنند (Haidary *et al.*, 2013). بنابراین از آنجا که فعالیت‌های انسانی مستقیماً در الگوهای کاربری اراضی منعکس می‌شود (Chen *et al.*, 2019)، درک رابطه بین کاربری زمین و کیفیت آب برای شناسایی تهدیدهای اولیه برای کیفیت آب مفید است و این روابط برای مدیریت مؤثر کیفیت آب کارآمد است زیرا می‌توان از آنها برای هدف قرار دادن مناطق حساس کاربری زمین و ایجاد اقدامات مربوطه برای به حداقل رساندن بارهای آلاینده استفاده کرد (Kang *et al.*, 2015; Ding *et al.*, 2010). تحلیل رابطه بین کاربری اراضی و کیفیت آب برای مدیریت کیفیت آب، حفاظت از بدنه‌های آب سطحی، برنامه ریزی کاربری اراضی و احیای محیط زیست از اهمیت زیادی برخوردار است (Yang *et al.*, 2022). به همین دلیل، بررسی رابطه بین الگوهای کاربری منطقه‌ای و کیفیت آب موضوع مهمی در تحقیقات هیدرولوژیکی بوده است و مطالعات متعددی تأثیر الگوهای مختلف کاربری اراضی را بر کیفیت آب حوضه آبخیز رودخانه توصیف کرده‌اند (Liu *et al.*, 2017; Namugize *et al.*, 2018; Maurya *et al.*, 2021; Pei *et al.*, 2022; Mu *et al.*, 2023; Mo *et al.*, 2023). با این حال، ارزیابی تعاملات بین LU/LC و کیفیت آب به دلیل پیچیدگی فرآیندها و تعداد زیاد متغیرها و پارامترهای درگیر، چالش برانگیز است (Kändler *et al.*, 2017; Gorgoglione *et al.*, 2020). مطالعه حاضر نیز می‌تواند اطلاعاتی را در خصوص تغییرات LULC در یک زیرحوضه آبریز در حال توسعه سریع با وخت کیفیت آب، که نمونه‌ای مشابهی از بسیاری از کشورهای در حال توسعه است، برای سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان کاربری اراضی در حوضه ارائه دهد.

در سال‌های اخیر، کاهش کیفیت آب را در زیر حوضه آبخیز رودخانه مارون به عنوان یکی از مهم‌ترین سیستم‌های رودخانه‌ای جنوب غرب کشور با ویژگی‌های خاص اکولوژیکی، موقعیتی و عملکردی نمی‌توان نادیده گرفت. کاهش کیفیت آب این سیستم رودخانه‌ای می‌تواند ناشی از افزایش فشار جمعیتی، احداث سد، تهدید آلودگی ناشی از صنایع و نیز تشدید فعالیت‌های کشاورزی در منطقه باشد (Raeisi *et al.*, 2022). بنابراین، درک بهتر پویایی توسعه در زیرحوضه آبریز رودخانه مارون و پیامدهای کیفیت آب به منظور ارائه اطلاعات به تصمیم‌گیرندگان و برنامه‌ریزان در این زیرحوضه آبریز مهم است. پیش از این، اکثر مطالعاتی که اثرات مقیاس فضایی را بر رابطه بین کاربری اراضی و کیفیت آب بررسی می‌کردند، در مقیاس کل حوضه یا مقیاس ساحلی انجام شده‌اند. با این حال، برای مطالعاتی که شامل مقیاس فضایی هستند، مناسب است که در محدوده‌های یک طرح تقسیم‌بندی فضایی انجام شوند. بنابراین، این

* Land Use / Land Cover

مطالعه با استفاده از داده‌های کاربری اراضی به همراه داده‌های اندازه‌گیری شده کیفیت آب در نقاط خروجی زیرحوضه‌های کوچکتر از منطقه مورد مطالعه، بررسی تأثیر الگوی کاربری اراضی بر کیفیت آب را به عنوان هدف اصلی تحقیق در نظر می‌گیرد و اهداف زیر را دنبال می‌کند: (۱) تجزیه و تحلیل الگوهای مکانی متغیرهای فیزیکی و شیمیایی کیفیت آب بر اساس مجموعه داده‌های اندازه‌گیری شده در زیرحوضه مطالعاتی، (۲) ارزیابی تغییرات مکانی LULC در زیر حوضه آبریز رودخانه مارون برای دوره مطالعاتی با استفاده از تکنیک‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، (۳) بررسی رابطه بین الگوهای کاربری اراضی و پارامترهای کیفیت آب در مقیاس زیرحوضه آبخیز، (۴) استفاده از شاخص کیفیت آب (WQI) جهت تفسیر کیفیت کلی آب سطحی و نیز وضعیت کیفیت آب در ایستگاه‌های پایش و زیرحوضه‌های کوچکتر در زیرحوضه رودخانه مارون.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

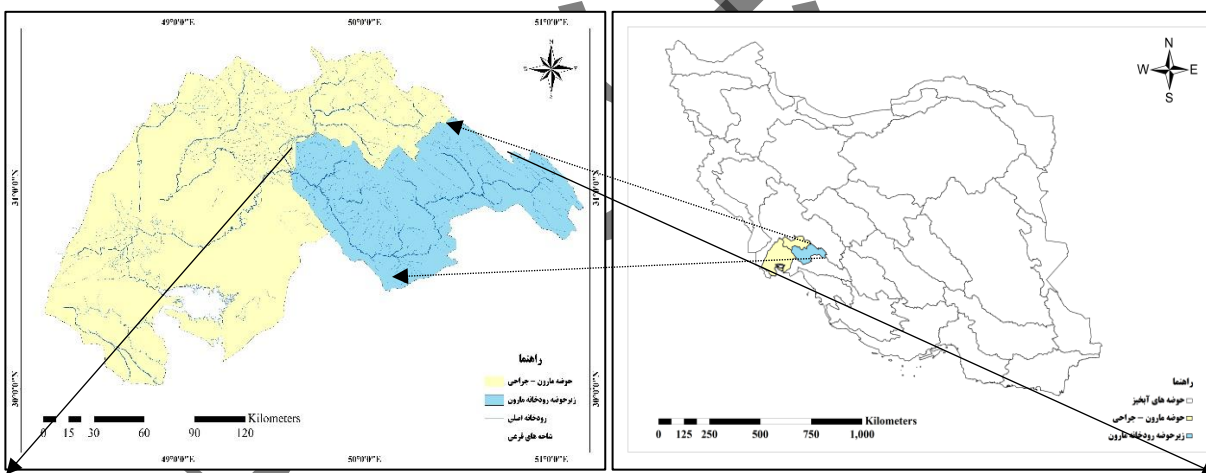
حوضه آبخیز رودخانه مارون یکی از زیرحوضه‌های رودخانه مارون - جراحی است که در جنوب غرب ایران قرار دارد و در محدوده جغرافیایی 05° - 51° الی 11° طول شرقی و 39° - 30° الی 21° - 31° عرض جغرافیایی شمالی واقع شده است. رودخانه مارون توسط سرشاخه‌های سقاوه، لوداب، شور و چاروساق از ارتفاعات زاگرس سرچشمه گرفته و پس از طی مسیری طولانی از طریق تنگ تکاب وارد دشت بهبهان می‌شود (Zalaki Badili *et al.*, 2013). محدوده مورد مطالعه زیرحوضه آبخیز رودخانه مارون دارای مساحتی حدود ۲۷۵۰ کیلومتر مربع و حداکثر ارتفاع در این حوضه ۳۴۸۳ متر و حداقل ارتفاع ۳۶۴ متر در نزدیکی سد مارون می‌باشد. اهمیت کیفیت این رودخانه از آن‌جا مشخص می‌شود که یکی از سرشاخه‌های رود جراحی است، که در مسیر خود آب مورد نیاز شهرها و روستاهای زیاد، و نیز هزاران هکتار اراضی کشاورزی، باغ‌ها و نخلستان‌ها و کارخانه‌های صنعتی را تأمین می‌کند، و در نهایت به تالاب شادگان منتهی می‌گردد (Sharifi Paichoon *et al.*, 2019).

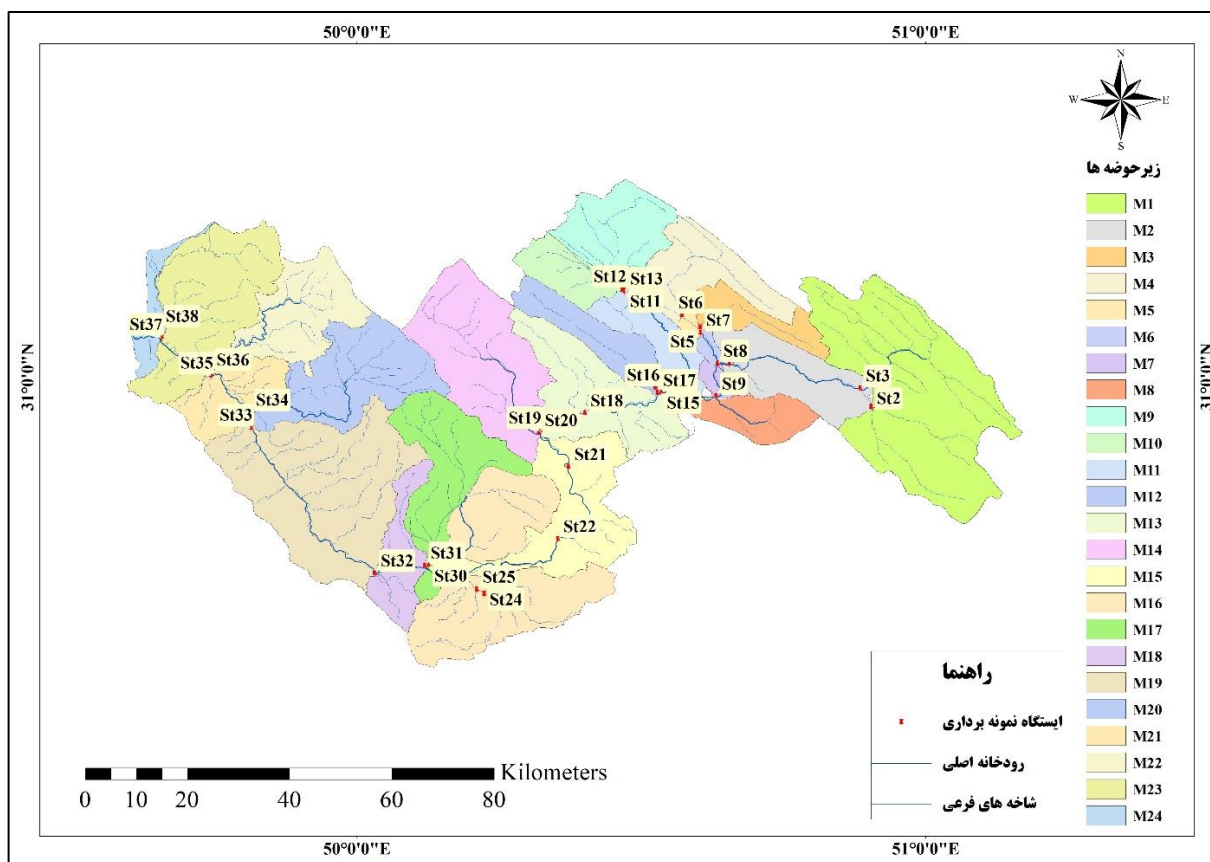
نمونه برداری و آنالیز آزمایشگاهی

به منظور نمونه‌برداری از منطقه مطالعاتی ابتدا مرز زیرحوضه آبخیز رودخانه مارون تعیین و سپس زیرحوضه مورد نظر با استفاده از ابزار آنالیز هیدرولوژیکی در نرم‌افزار ArcGIS به زیرحوضه‌های مختلف کوچکتر تقسیم و نقشه آبراهه‌های منطقه تهیه شد. ایستگاه‌های نمونه برداری از نقطه خروجی این زیرحوضه‌ها در محدوده رودخانه مارون انتخاب شدند. موقعیت دقیق هر ایستگاه نمونه‌برداری با استفاده از سیستم موقعیت یاب جهانی ثبت گردید و سپس به منظور اندازه‌گیری پارامترهای کیفی آب منطقه در بهار ۱۴۰۲ نمونه برداری در ۳۸ ایستگاه پایش در سطح ۲۴ زیرحوضه با ۳ بار تکرار انجام شد. در محل نمونه‌برداری به منظور تهیه یک نمونه با پوشش کل منطقه، نمونه‌ها به روش مرکب جمع‌آوری گردید. هر نمونه با ظرف پلاستیکی ۱ لیتری به گونه‌ای جمع‌آوری شد که ظرف از حدود ۳۰ سانتی متر پایین‌تر از سطح آب پر شد. ظروف حاوی نمونه توسط فویل آلومینیومی محکم پوشانده شدند و در یخدان حاوی یخ برای سنجش به آزمایشگاه منتقل شدند. در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه نشان داده شده است.

در این مطالعه جهت ارزیابی کیفیت آب زیرحوضه آبخیز رودخانه مارون پارامترهای دمای آب (T)، pH، هدایت الکتریکی (EC)، اکسیژن محلول (DO)، کل جامدات محلول (TDS)، نیترات (NO_3^-)، فسفات (PO_4^{2-})، کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg)، سدیم (Na)، و

پتاسیم (K) انتخاب گردید. این پارامترها به این دلیل انتخاب شدند که فاکتورهای وزنی را برای محاسبه شاخص کیفیت آب در متون مختلف تأیید می‌کنند. اندازه گیری میدانی پارامترهای EC، T، DO و TDS در منطقه با استفاده از دستگاه پرتابل مولتی پارامتر (8200M) انجام شد. اندازه گیری نیترات به روش اسپکتروفوتومتری توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر شرکت Hach مدل Dr2800 ساخت آلمان و با استفاده از کیت‌های تخصصی انجام شد. ابتدا نمونه‌های آب بر حسب کیفیت ظاهری نمونه‌ها در صورت لزوم رقیق گردید، سپس یک نمونه به عنوان شاهد و یک نمونه را نیز بعنوان نمونه اصلی که غلظت نیترات را به ما نشان می‌دهد در نظر گرفته شد و به میزان ۱۰ CC از نمونه‌ها در دو سل ریخته شد. سپس ری ایجننت‌های مربوط به شرکت HACH به نمونه‌ها اضافه گردید و پس از واکنش کامل بین ری ایجننت‌ها و محلول مورد نظر و صفر کردن دستگاه با استفاده از نمونه بلانک، سنجش نیترات در نمونه‌های آب به روش اسپکتروفوتومتری انجام شد (Strickland & Parsons, 1972). جهت سنجش میزان فسفات در ابتدا ۱ قطره (۰/۰۵ میلی لیتر) نشانگر فنل فتالین به 100 ml از هر نمونه آب اضافه شد. سپس ۲ قطره H₂SO₄ ۲ مولار اضافه گردید تا به رنگ صورتی تبدیل شود. ۴ میلی لیتر معرف مولیبدات ۱ و ۰/۵ میلی لیتر (۱۰ قطره) معرف کلرید قلع ۱ با مخلوط کردن کامل در دمای اتاق اضافه شد. محلول‌ها به مدت ۱۱ دقیقه اجازه داده شد تا بمانند. سپس نمونه‌ها با استفاده از اسپکتروفوتومتر (مدل ۷۵۲ شیمادزو، ژاپن) در حداکثر طول موج ۶۹۰ نانومتر به صورت اسپکتروفوتومتری آنالیز شدند. این روش مطابق با انجمن بهداشت عمومی آمریکا (APHA) است (SMEWW, 1999). مقادیر کاتیون‌ها نیز توسط دستگاه دستگاه جذب اتمی کوره مدل ۴۱۰۰ کمپانی Perkin Elmer تعیین شد.





شکل ۱- نقشه موقعیت زیرحوضه‌ها، شبکه رودخانه و ایستگاه‌های نمونه برداری در زیرحوضه آبخیز رودخانه مارون
 Fig. 1- Location map of sub-basins, river network and sampling stations in Maroon River sub-basin

استخراج کاربری اراضی محدوده مطالعاتی

در مطالعه حاضر، نقشه کاربری / پوشش زمین جهت ارزیابی تغییرات و تأثیر الگوهای کاربری و پوشش زمین بر وضعیت کیفیت آب زیرحوضه آبخیز رودخانه مارون با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست از سنجنده‌های ETM⁺ که دارای تفکیک مکانی ۳۰ متر برای باند مرئی مربوط به بهار ۱۴۰۲ استفاده شد. پس از تهیه تصاویر ماهواره‌ای برای محدوده مورد مطالعه، به منظور آماده سازی داده‌ها مراحل مختلف پردازش تصویر با استفاده از نرم افزار ENVI انجام شد. قبل از تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای لازم است اصلاحاتی روی تصاویر خام انجام شود. در سنجش از دور خطاهای داده‌های خام، خطاهای ناشی از سنجنده و اثرات جوی است که برای تصحیح خطا نیز، روش تصحیح پراکنش اتمسفری و تصحیح هندسی از نوع سیستماتیک استفاده می‌شود. پس از انجام اصلاحات، برای تفسیر تصاویر نیز روش طبقه بندی نظارت شده مورد استفاده قرار گرفت. به این صورت که ابتدا کلاس‌های کاربردی موجود در منطقه، براساس مشاهدات میدانی و بررسی مطالعه‌های قبلی و استفاده از نقشه‌های گوگل ارث شناسایی شدند. بعد از این مراحل ترکیب رنگی کاذب در نرم افزار ایجاد و پس از برش محدوده با استفاده از نقاط آموزشی ۷ کاربری مختلف (جنگل، کشاورزی، باغ، شهری،

مرتفع، لخت و بدون پوشش، و بدنه‌های آبی) مشخص و تفکیک گردید و با انتقال به نرم افزار ArcGIS درصد مساحت مربوط به کاربری‌ها در هر کدام از زیرحوضه کوچکتر به دست آمد.

محاسبه شاخص کیفیت آب (WQI)

WQI یک شاخص رتبه‌بندی است که تأثیر ترکیبی پارامترهای مختلف کیفیت آب را منعکس می‌کند (Sahu and Sikdar, 2008). ابتدا به هر یک از پارامترها وزن‌های مختلف (w_i) در مقیاس ۱ (کمترین تأثیر بر کیفیت آب) تا ۵ (بیشترین تأثیر بر کیفیت آب) بر اساس اثرات درک شده آنها بر سلامت اولیه و با توجه به اهمیت نسبی آن در کیفیت آب آشامیدنی اختصاص داده شد (جدول ۱). بیشترین وزن ۵ به پارامترهایی اختصاص داده شد که اثرات حیاتی بر سلامتی دارند و حضور آنها بالاتر از حد غلظت بحرانی می‌تواند قابلیت استفاده از منبع را برای مصارف خانگی و آشامیدنی محدود کند (Yidana and Yidana, 2010; Varol and Davraz, 2015). در پژوهش حاضر، در بین پارامترهای مورد بررسی NO_3^- و DO به دلیل اهمیت عمده آنها در ارزیابی کیفیت آب، بیشترین وزن (۵) را به خود اختصاص دادند و به دلیل اهمیت کمتر پارامترهای Ca ، Mg و PO_4^{2-} ، و نیز K در ارزیابی کیفیت آب، حداقل وزن به این پارامترها اختصاص یافت (Ramakrishnalath *et al.*, 2009; Kawo & Karuppanan, 2018). وزن نسبی (W_i) از رابطه زیر محاسبه می‌شود

$$W_i = w_i / \sum_{i=1}^n w_i \quad (1)$$

که در آن W_i وزن نسبی، w_i وزن هر پارامتر و n تعداد پارامترهای مورد بررسی است. سپس، یک رتبه بندی کیفیت (q_i) برای هر پارامتر با تقسیم غلظت آن در هر نمونه آب بر مقادیر حدی که توسط WHO (2011) ارائه شده است و نتیجه در ۱۰۰ ضرب می‌شود، اختصاص داده می‌شود:

$$q_i = \frac{C_i}{S_i} \times 100 \quad (2)$$

که در آن q_i درجه بندی کیفیت است، C_i غلظت هر پارامتر در هر نمونه آب بر حسب میلی گرم در لیتر، و S_i استاندارد آب آشامیدنی برای هر پارامتر بر حسب میلی گرم در لیتر بر اساس دستورالعمل‌های WHO (2011) است. برای محاسبه WQI، ابتدا مقدار S_i باید با معادلات زیر تعیین شود:

$$S_i = W_i \times q_i \quad (3)$$

$$WQI = \sum_{i=1}^n S_i \quad (4)$$

که در آن، SI_i زیرشاخص پارامتر i ام است. q_i رتبه بندی کیفیت بر اساس غلظت پارامتر i th است (Ramakrishnaiah et al., 2009). مقادیر WQI محاسبه شده به پنج دسته به شرح: $50 <$ (کیفیت عالی)، $50-100$ (کیفیت خوب)، $100-200$ (کیفیت ضعیف)، $200-300$ (کیفیت بسیار ضعیف) و $300 >$ (کیفیت نامناسب) طبقه بندی می‌شوند (Sahu and Sikdar, 2008; Yidana and Yidana, 2010).

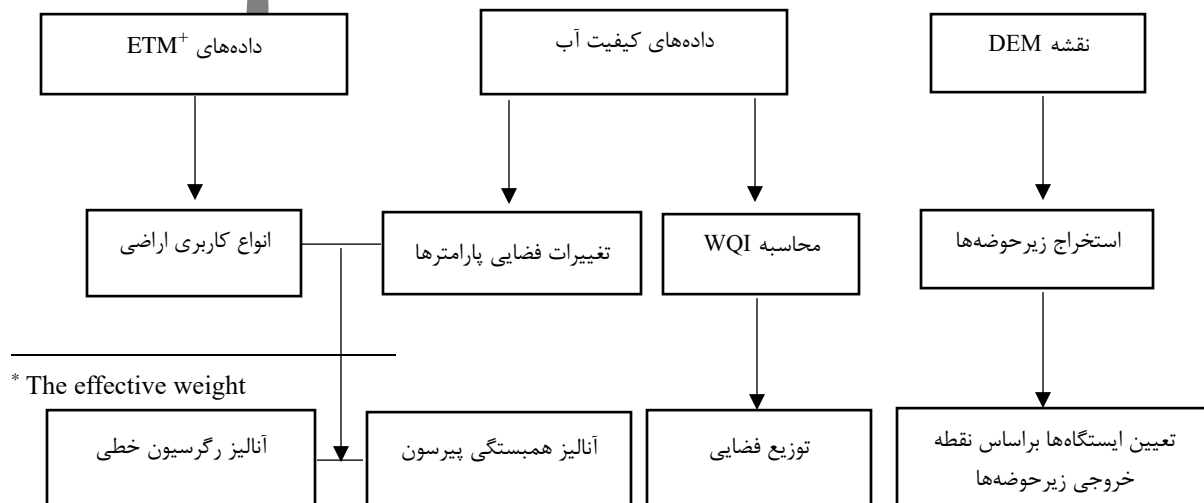
وزن موثر (Ew_i)* برای هر پارامتر با تقسیم مقدار زیرشاخص آن بر مقدار کلی شاخص کیفیت آب و ضرب در 100 برابر با معادلات زیر تعیین شد:

$$Ew_i = \frac{SI_i}{WQI} \times 100 \quad (5)$$

که در آن، Ew_i وزن موثر پارامتر i است. SI_i زیرشاخص پارامتر i و WQI شاخص کلی کیفیت آب است که توسط معادله (4) محاسبه شده است. وزن‌های نسبی با وزن‌های مؤثر مقایسه شدند که نشان‌دهنده اهمیت هر پارامتر با توجه به سایر پارامترهای مورد استفاده در محاسبات WQI است.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

جهت آنالیز داده‌ها از نرم افزار IBM SPSS Statistics نسخه ۲۶ و برای ترسیم نمودارها از Excel 2019 استفاده شد. جهت تعیین زیرحوضه‌ها در محدوده مطالعاتی و نیز ترسیم نقشه منطقه مطالعاتی و توزیع فضایی داده‌ها و نیز نقشه کاربری اراضی نرم افزار ArcGIS 10.3 مورد استفاده قرار گرفت. تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) برای مقایسه تغییرات معنی داری در کیفیت آب زیرحوضه‌های مختلف منطقه مطالعاتی تحت کاربری‌های مختلف اراضی استفاده شد. بررسی ارتباط بین متغیرهای در نظر گرفته شده (pH , EC , DO , TDS , NO_3^- , PO_4^{2-} , Ca , Mg , Na ، و K) و انواع الگوهای کاربری اراضی با استفاده از همبستگی پیرسون مورد آزمون قرار گرفت. همچنین از تحلیل رگرسیون خطی در زیرحوضه‌های مختلف حوضه آبخیز رودخانه مارون برای شناسایی همبستگی بین کیفیت آب و الگوهای کاربری اراضی استفاده شد. در شکل ۲ فلوجارت تجزیه و تحلیل داده‌ها ارائه شده است.



شکل ۲- فلوجارت روش‌های مورد استفاده برای آنالیز ارتباط الگوهای کاربری اراضی و کیفیت آب در زیرحوضه آبخیز رودخانه

مارون

Fig. 2- Flowchart of the methods used to analyze the relationship between land use patterns and water quality in the Maron River sub-basin

نتایج و بحث

حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف معیار پارامترهای کیفی شامل pH، EC، DO، TDS، NO_3^- ، PO_4^{2-} ، Ca، Mg، Na، و K در نمونه‌های آب زیرحوضه آبخیز رودخانه مارون در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج نشان داد میانگین pH نمونه‌های آب سطحی منطقه مورد مطالعه ۷/۷۵ برآورد شد. نتایج نشان داد که در محل‌های نمونه‌برداری، حداقل و حداکثر مقدار EC نمونه‌های آب منطقه به ترتیب ۳۴۸ و $6530 \mu\text{S/cm}$ است، و میانگین EC نمونه‌ها $2139/62 \mu\text{S/cm}$ و بیشتر از حد استاندارد WHO می‌باشد (جدول ۲). بالا بودن محتوای EC می‌تواند ناشی از فعالیت‌های گسترده انسانی مانند دفع زباله، فاضلاب و رواناب کشاورزی در برخی از سایت‌های مطالعاتی باشد (Maurya *et al.*, 2021). کل جامدات محلول (TDS) نیز عمدتاً از نمک‌های معدنی مانند کلریدها، سولفات‌ها، بی‌کربنات‌ها، کربنات‌ها، منیزیم، سدیم، پتاسیم، فسفات‌ها و نیترات‌های کلسیم، آهن و غیره تشکیل شده‌اند. مقادیر TDS در نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه بین ۲۲۹ تا 3560 mg/l مشاهده شد که میانگین آن ($1325/37$) بیشتر از حد استاندارد می‌باشد. اکسیژن محلول (DO) نقش مهمی در حمایت از زندگی آبزیان و ارزیابی تازگی آب دارد. میزان اکسیژن محلول در محدوده ۴ تا 13 mg/l با میانگین $8/04 \text{ mg/l}$ یافت شد. مقدار مناسبی از DO در آب برای آبزیان مانند ماهی و سایر موجودات زنده و برای حفظ تنوع انواع حیات مورد نیاز است، و مقادیر کمتر از حد استاندارد نشان دهنده کاهش کیفیت آب است (Bora and Goswami, 2017)، بنابراین بالا بودن میانگین DO در پژوهش حاضر بیانگر کیفیت مطلوب آب منطقه است که زندگی سالم آبزیان را در بدنه آبی تضمین می‌کند. حداقل و حداکثر غلظت برای Ca^{2+} به ترتیب $99/68 \text{ mg/l}$ و $274/03 \text{ mg/l}$ و برای Mg^{2+} بین $21/45$ تا $165/26 \text{ mg/l}$ ، با میانگین $274/03 \text{ mg/l}$ و 65 mg/l مشاهده شد که میانگین هر دو بیشتر از حد مجازی است که توسط WHO توصیه شده است. برای Na^+ و K^+ در منطقه مورد مطالعه حداقل، حداکثر و میانگین غلظت به ترتیب $9/39$ ، $784/05$ ، $376/76$ و $1/67$ ، $26/50$ ، $11/22$ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد. غلظت بالای Mg^{2+} ، Na^+ و K^+ نیز نشان‌دهنده تخلیه مقدار زیادی فاضلاب و رواناب کشاورزی بدون تصفیه مناسب به رودخانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه است. این موضوع با یافته‌های مشابه از سایر مطالعات در این زمینه مطابقت دارد که نشان می‌دهد کیفیت آب به شدت تحت تأثیر فاضلاب تصفیه نشده قرار می‌گیرد (Jiang *et al.*, 2012; Quintas-Soriano *et al.*, 2016). حداقل و حداکثر NO_3^- به ترتیب $0/40$ و $26/30 \text{ mg/l}$ با میانگین $4/34 \text{ mg/l}$ بود و غلظت PO_4^{2-} در نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه بین $0/25$ تا $7/37 \text{ mg/l}$ با میانگین $1/53 \text{ mg/l}$ متغیر است که میانگین آنها کمتر از حد مجاز است.

نتایج حاصل از آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) جهت بررسی تفاوت بین ۲۴ زیرحوضه مورد مطالعه نشان داد که بین زیرحوضه-های مختلف مورد مطالعه اختلاف آماری معنی داری در میزان پارامترهای کیفیت آب آنها وجود دارد ($P < 0.05$). تغییرات مکانی پارامترهای کیفیت آب در ایستگاه‌های مختلف نمونه برداری در زیرحوضه آبخیز رودخانه مارون به دلیل تفاوت در شرایط طبیعی حوضه و یا تفاوت در فعالیت‌ها و منابع انتشار آلاینده‌ها در طول مسیر حوضه می‌باشد. همچنین این پارامترها تحت تأثیر انواع کاربری زمین و الگوهای فضایی آنها قرار می‌گیرد و بارهای آلاینده بسته به نوع کاربری زمین در مکان‌های مختلف متفاوت است (Yang *et al.*, 2016). براساس مشاهدات میدانی در منطقه مطالعاتی تفاوت در دبی رودخانه، احداث سد، فعالیت‌های تفریحی و تفرجی در محدوده رودخانه‌ها، پساب‌های کشاورزی و کشت غیراصولی در اراضی شیب دار، ورود رودخانه‌های فصلی با کیفیت متفاوت، تخلیه فاضلاب شهری و روستایی، پساب صنایع شیمیایی، پساب حاصل از استخر پرورش ماهی و تراکم دام در مناطق از جمله دلایل اختلاف در غلظت پارامترهای کیفی آب در ایستگاه‌های نمونه برداری منبع آب سطحی مورد بررسی می‌باشد. به عنوان مثال در خصوص پارامتر DO، بسیاری از مطالعات بر وابستگی میزان DO به تخلیه ورودی برای طیف وسیعی از بدنه‌های آبی در مناطق مختلف آب و هوایی تأکید کرده‌اند. به علاوه در این مطالعات اشاره شده است که حجم بیشتر دبی یا سرعت بیشتر جریان نیز به کیفیت بهتر آب منجر می‌شود، زیرا بالا بودن دبی و سرعت جریان آب ظرفیت بیشتری برای کاهش منابع آلودگی دارد و می‌تواند اکسیژن بیشتری را به بدنه آبی برساند (Huang *et al.*, 2009; Rixen *et al.*, 2010). در خصوص منابع مواد مغذی NO_3^- و PO_4^{2-} فقط به منابع نقطه‌ای مانند تأسیسات تصفیه فاضلاب و خروجی صنعتی نسبت داده نمی‌شود، زیرا منابع غیرنقطه‌ای از زمین‌های زراعی نیز منبع اصلی آلودگی در سراسر حوضه هستند (Tang *et al.*, 2008). نتایج پژوهش (Ngoye and Machiwa, 2004) در ارزیابی تأثیر الگوهای کاربری اراضی بر کیفیت آب در حوضه آبخیز رودخانه Ruvu نشان داد که ایستگاه‌های مجاور مناطق شهری و کشاورزی مقادیر EC و TDS بالاتری را به دلیل ورودی‌های بالاتر نمک از مناطق شهری و کشاورزی در حوضه داشتند. در این مطالعه، غلظت‌های پایین DO در ایستگاه‌های ۵-۷ به دلیل تخلیه زباله‌های خانگی و صنعتی (عمدتاً ضایعات سیسال) به رودخانه ثبت شد. زیرا پسماندهای آلی به دلیل مصرف اکسیژن در نتیجه تجزیه مواد آلی در آب باعث کاهش DO در آبهای دریافت کننده می‌شوند.

جدول ۱- آمار توصیفی، وزن و وزن نسبی برای پارامترهای تعیین شده آب سطحی زیرحوضه آبخیز رودخانه مارون

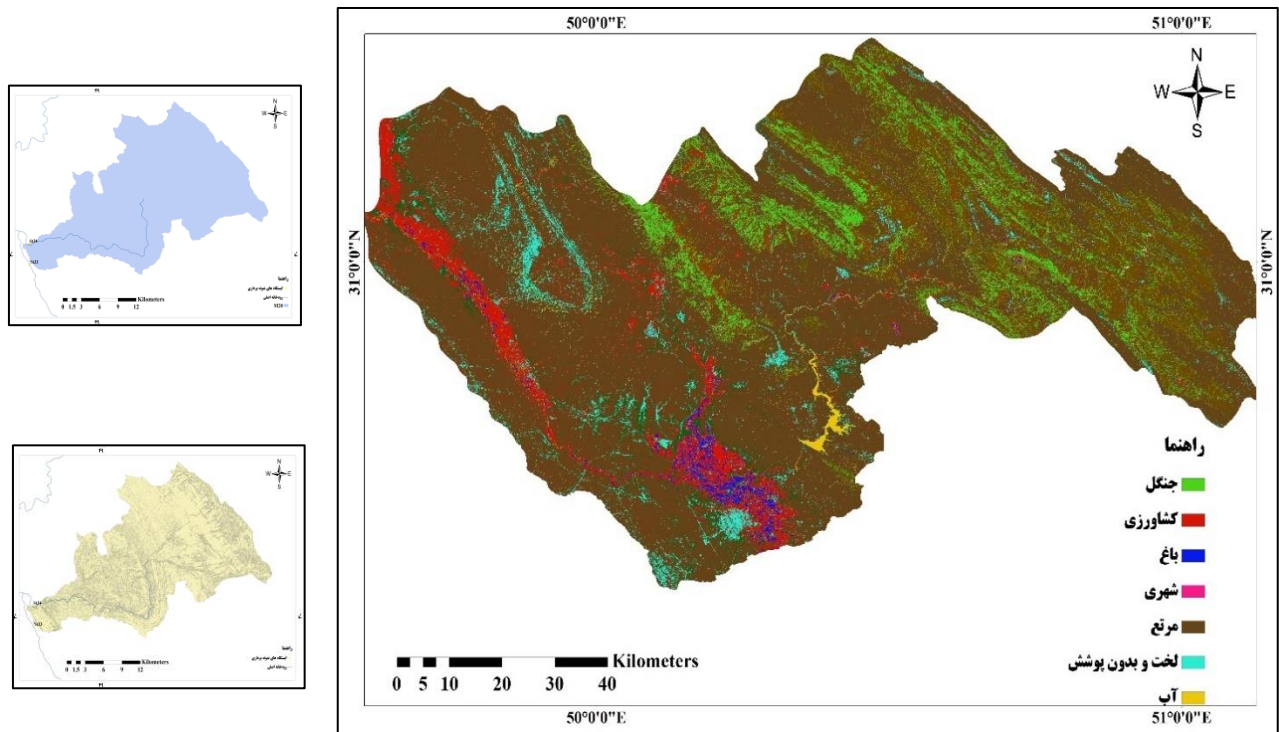
Table 1- Descriptive statistics, weight and relative weight for determined surface water parameters of the Maroon River sub-basin

وزن نسبی (W_i)	وزن (w_i)	WHO (۲۰۱۱)	انحراف استاندارد (SD)	میانگین (Mean)	ماکزیمم (Max)	مینیمم (Min)	تعداد (N)	پارامترها Parameters
0.129	4	7.5	0.33	7.75	8.93	6.98	114	pH
0.129	4	1000	1227.42	2139.62	6530	348	114	(μ S/cm) EC
0.129	4	500	691.97	1325.67	3560	229	114	(mg/l) TDS
0.161	5	5	2.08	8.04	13	4	114	(mg/l) DO
0.161	5	50	2.68	4.34	26.30	0.40	114	(mg/l) NO_3^-
0.032	1	10	0.64	1.53	7.37	0.25	114	(mg/l) PO_4^{2-}
0.064	2	75	115.63	274.03	617.10	99.68	76	(mg/l) Ca^{2+}
0.064	2	50	32.24	65	165.26	21.45	76	(mg/l) Mg^{2+}
0.096	3	200	248.66	376.72	784.05	9.39	76	(mg/l) Na^+
0.032	1	12	5.74	11.22	26.50	1.67	76	(mg/l) K^+

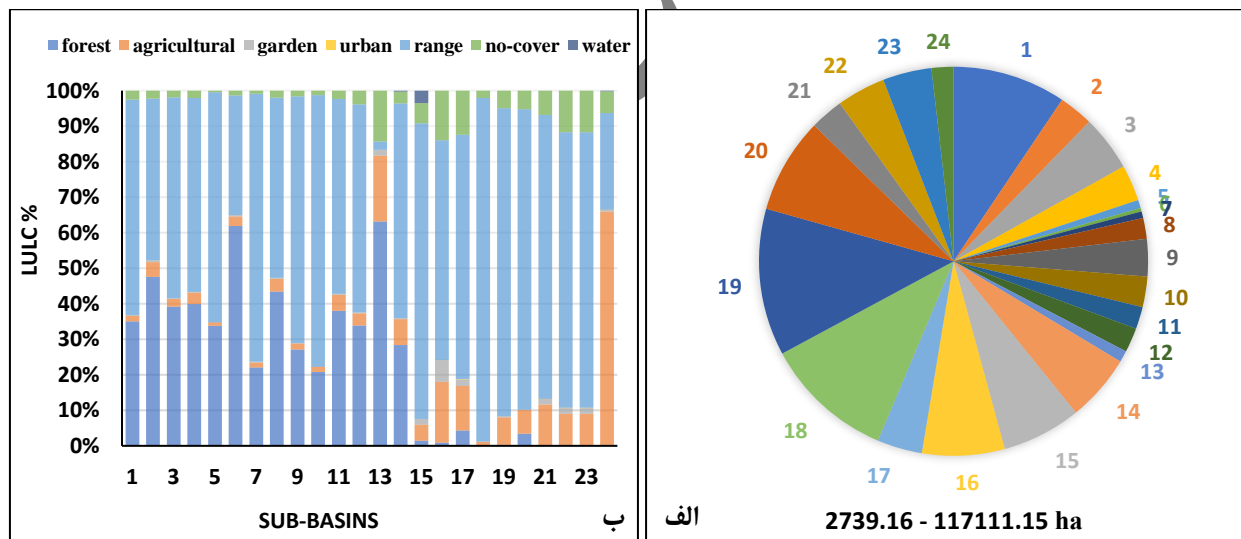
$$\sum W_i = 1 \quad \sum w_i = 31$$

توزیع الگوهای کاربری اراضی

نقشه کلی مربوط به الگوی کاربری اراضی زیرحوضه رودخانه مارون در شکل ۳ و اطلاعات توزیع و تغییرات الگوهای کاربری اراضی در زیرحوضه‌های مختلف (۲۴-۱) حوضه آبخیز رودخانه مارون و مساحت آنها در شکل ۴ نشان داده شده است. تجزیه و تحلیل GIS داده‌های به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که رایج‌ترین انواع کاربری اراضی نشان داده شده در حوضه کامل رودخانه مارون مرتع، کشاورزی و جنگل است. براساس یافته‌های حاصل، مرتع نوع کاربری غالب زمین در هر ۲۴ زیرحوضه بود، با مساحتی که از ۲/۳۳٪ تا ۹۶/۷۲٪ متغیر بوده و مساحت اراضی را پوشش داد. اگرچه کشاورزی به طور گسترده در سراسر حوضه توزیع شده است، اما عمدتاً در مناطق ۲۴-۱۳ متمرکز بوده است. کاربری شهری کمتر از ۱ درصد از مساحت حوضه آبخیز را اشغال کرده است. اراضی جنگلی در زیرحوضه‌های ۱ تا ۱۴ درصد بیشتری داشتند و از ۱۹/۵۶٪ تا ۶۳/۱۲٪ متغیر بودند. کاربری باغ نیز به جز در زیرحوضه‌های ۱۳، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۲۱، ۲۲ و ۲۳، در تمامی زیرحوضه‌ها توزیعی کمتر از ۱٪ را به خود اختصاص داده است که بیشترین درصد آن در زیرحوضه ۱۶ با ۶/۱۳٪ مشاهده شد. اراضی بدون پوشش نیز در تمامی زیرحوضه‌ها (از ۰/۴۰٪ تا ۱۴/۳۳٪) توزیع داشته است، اما بیشترین درصد مساحت کاربری را در زیرحوضه ۱۳ تا ۲۴ به خود اختصاص داده است. بیشترین درصد کاربری آبی نیز مربوط به زیرحوضه ۱۵ (موقعیت استقرار سد مخزنی مارون) با ۳/۴۸٪ بوده است. بنابراین، براساس تجزیه و تحلیل صورت گرفته کاربری‌های مرتع، کشاورزی و بدون پوشش اساساً در تمامی زیرحوضه‌ها موجود هستند. همانطور که در نقشه الگوهای کاربری اراضی در زیرحوضه رودخانه مارون نشان داده شد (شکل ۲)، بطور کلی، بیشترین پوشش زیرحوضه رودخانه مارون مربوط به کاربری مرتع است و بخش‌های جنوبی و غربی زیرحوضه بیشتر تحت تسلط زمین‌های کشاورزی و بدون پوشش می‌باشد، در حالی که نواحی شمالی و شرقی بیشتر تحت تسلط اراضی جنگلی هستند. سیستم آبی قابل مشاهده در قسمت جنوب منطقه نیز مربوط به سد مخزنی مارون واقع در شهرستان بهبهان است. در مطالعه‌ای توسط Wang et al. (2014) تجزیه و تحلیل فضایی تأثیر الگوهای کاربری اراضی بر کیفیت آب حوضه رودخانه Daliao نشان داد که حوضه رودخانه دالیائو به طور عمده تحت پوشش کاربری‌های جنگل، کشاورزی و شهری بوده است. جنگل نوع کاربری غالب زمین در هر ۲۰ زیرحوضه با مساحتی متغیر از ۰/۴۳٪ تا ۰/۸۵٪ (میانگین = ۰/۶۴٪) مشاهده شد. با حرکت به سمت پایین دست در سطوح سلسله مراتبی مقیاس، کاربری زمین متنوع تر شد و انواع کاربری‌های کشاورزی و شهری درصد بیشتری از کل چشم انداز را تشکیل می‌دادند.



شکل ۳- نقشه الگوهای کاربری اراضی در زیرحوضه آبخیز رودخانه مارون
 Fig. 3- Map of land use patterns in the Maroon River sub-basin



شکل ۴- الف) مساحت کل زیرحوضه‌ها و ب) درصد الگوهای کاربری‌های مختلف اراضی در زیرحوضه‌ها
 Fig. 3- a) total area of sub-basins, and b) percentage of different land use patterns in sub-basins

ارتباط کاربری اراضی و پارامترهای کیفیت آب زیرحوضه آبخیز رودخانه مارون

نتایج تجزیه و تحلیل همبستگی و رگرسیون خطی مقادیر میانگین پارامترهای کیفیت آب و الگوهای کاربری اراضی در محدوده زیرحوضه آبخیز رودخانه مارون در جدول ۲ و ۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد که کاربری کشاورزی و شهری به طور معنی داری با pH ارتباط منفی دارد (به ترتیب، $P < 0/01$ و $P < 0/05$). کاربری جنگل با میزان DO رابطه مثبت معنی داری نشان داد ($P < 0/01$). در حالی که این پارامتر با کاربری کشاورزی و اراضی بدون پوشش رابطه منفی معنی داری داشت. کاربری کشاورزی همبستگی مثبت قوی با پارامترهای NO_3^- و PO_4^{2-} نشان داد ($P < 0/01$). کاربری جنگل ارتباط منفی معنی داری با میزان PO_4^{2-} داشته است ($P < 0/05$). همچنین ارتباط مثبت معنی داری بین کاربری کشاورزی و Ca^{2+} مشاهده شد ($P < 0/05$). مشابه یافته‌های حاضر، نتایج پژوهش **Bu et al. (2014)** در بررسی روابط بین الگوهای کاربری زمین و کیفیت آب در حوضه رودخانه Taizi در چین نشان داد اراضی کشاورزی، شالیزارها و کاربری‌های مسکونی همبستگی منفی معنی داری با pH و DO و همبستگی مثبت با متغیرهای EC، SO_4 و مواد مغذی دارند ($P < 0/05$). نتایج پژوهش **Liang et al. (2023)** در ارزیابی تأثیر کاربری اراضی و الگوی منظر بر تغییرات فضایی کیفیت آب در حوضه رودخانه Pearl نشان داد که تیپ‌های مختلف کاربری اراضی و شاخص‌های منظر از نظر همبستگی با شاخص‌های کیفیت آب تفاوت معنی داری دارند، به طوری که کاربری اراضی بایر و اراضی شهری هر دو اثر منفی بر DO داشتند، در حالی که اراضی جنگلی مشابه مطالعه حاضر اثر مثبت بر روی پارامتر DO نشان داد. همبستگی منفی بین پارامتر DO و کشاورزی در مقیاس نشان می‌دهد که فعالیت‌ها در این نوع کاربری زمین منجر به کاهش DO، به ویژه در مقیاس‌های کوچکتر زیرحوضه می‌شود (Boeder and Chang, 2009). همبستگی مثبت کاربری جنگل با میزان DO و منفی با PO_4^{2-} نشان می‌دهد که جنگل نقش مهمی در حفاظت از کیفیت آب در مقیاس حوضه کامل دارد. در منظر حوضه کامل، نقش مهم جنگل در حفاظت از کیفیت آب، به احتمال زیاد به دلیل توقف موثر گسترش شهری و توسعه کشاورزی و در نتیجه کاهش تخلیه آلاینده‌ها به آب‌های سطحی است. اما نتایج پژوهش **Wang et al. (2014)** در بررسی همبستگی بین درصد پوشش هر نوع کاربری اراضی و متغیرهای کیفیت آب در حوضه رودخانه Daliao نشان داد که به استثنای DO، متغیرهای کیفیت آب با حداقل یک نوع کاربری زمین همبستگی داشتند. فقدان همبستگی بین کاربری زمین و DO نشان می‌دهد که مصرف اکسیژن و فرآیند اکسیژن‌رسانی مجدد پیچیده بوده و به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر عوامل دیگری هستند که در این مطالعه مورد بررسی قرار نگرفته‌اند، مانند جوامع باکتریایی در آب. آنالیز رگرسیون خطی جهت بررسی ارتباط بین پارامترهای کیفیت آب (پارامتر وابسته) و الگوهای کاربری اراضی (پارامتر مستقل) صورت گرفت. براساس طبقه بندی **Verla et al. (2020)**، اگر میزان R^2 مساوی صفر باشد، نشان دهنده عدم وجود رابطه خطی، $R^2 \geq 0/30$ بیانگر یک رابطه خطی ضعیف، $R^2 \geq 0/50$ نشان دهنده یک رابطه خطی متوسط، $R^2 \geq 0/70$ نشان دهنده رابطه خطی قوی و زمانی که $+1$ باشد، نشان دهنده یک رابطه کامل است. نتایج رگرسیون خطی نشان داد که هیچ نوع کاربری اراضی منفرد قادر به توصیف کیفیت کلی آب نیست، اما برخی پارامترهای کیفیت آب را می‌توان با استفاده از یک یا دو نوع کاربری اراضی پیش بینی کرد (جدول ۳). براساس یافته‌های حاصل، پارامتر pH را می‌توان با استفاده از کاربری کشاورزی ($P < 0/01$ ، $R^2 = 0/393$)، پارامتر DO را توسط کاربری جنگل و کشاورزی ($P < 0/01$ ، $R^2 = 0/751$)، NO_3^- را از طریق کاربری کشاورزی ($P < 0/01$ ، $R^2 = 0/771$) و PO_4^{2-} را نیز توسط کاربری جنگل و کشاورزی ($P < 0/01$ ، $R^2 = 0/832$) پیش بینی کرد. این نتایج نشان می‌دهد که اراضی کشاورزی و جنگلی انواع کاربری اصلی هستند که بر کیفیت آب در زیر حوضه رودخانه مارون تأثیر می‌گذارند. بر اساس تحلیل رگرسیون، کاربری کشاورزی با متغیرهای کیفیت آب نسبت به هر نوع کاربری دیگر در مقیاس‌های کوچک ارتباط نزدیکی داشت. این نتایج نشان می‌دهد که تصمیمات مدیریت حوضه در ناحیه بالادست باید تأثیر کاربری زمین کشاورزی را مورد توجه قرار دهد. این نتایج با تحقیقات **Wang et al. (2023)** در مورد تعامل بین انواع کاربری زمین و کیفیت آب در یک حوضه معمولی از حوضه رودخانه Huai در چین در یک دوره ۷ ساله مطابقت دارد که نشان داد تأثیر کاربری جنگل / علفزار بر کیفیت آب مثبت بود، در حالی که تأثیر کاربری کشاورزی/توسعه یافته بر کیفیت آب منفی بوده است. نتایج پژوهش **Bu et al.**

(2014) در بررسی روابط بین الگوهای کاربری زمین و کیفیت آب در حوضه رودخانه Taizi در چین نشان داد کاربری کشاورزی متغیرهای کیفیت آب کمتری را نسبت به کاربری مسکونی و شهری در طول فصل خشک پیش بینی می‌کند، که نشان می‌دهد کاربری مسکونی نسبت به کاربری کشاورزی، عامل اصلی کاهش کیفیت آب رودخانه است و متغیرهای مواد مغذی در طول فصل خشک را نمی‌توان با استفاده از کاربری کشاورزی علیرغم استفاده از کود در این دوره ارزیابی کرد. بنابراین، کیفیت آب رودخانه در طول فصل خشک توسط منابع نقطه‌ای احتمالی عمدتاً ناشی از تخلیه‌های خانگی و صنعتی آلوده می‌شود. در مطالعه‌ای توسط Ding (2015) بررسی اثرات کاربری اراضی بر کیفیت آب سطحی در حوضه رودخانه نیمه گرمسیری Dongjiang، در جنوب شرقی چین نشان داد که کاربری اراضی کشاورزی تأثیر قابل توجهی بر کیفیت آب نداشت، اما کاربری اراضی شهری عامل کلیدی تأثیرگذار بر تغییر کیفیت آب بوده است و محدود کردن تخلیه زباله‌ها و فاضلاب در مناطق شهری در طول فصل خشک برای بهبود کیفیت آب در منطقه مورد مطالعه حیاتی است.

جدول ۲- ضریب همبستگی پیرسون بین الگوهای کاربری اراضی و پارامترهای کیفیت آب در زیر حوضه آبخیز رودخانه مارون

Table 2- Pearson's correlation coefficient between land use patterns and water quality parameters in the Maroon River sub-basin

الگوهای کاربری اراضی (land use patterns)							پارامترها parameters
آب Water	بدون پوشش No cover	مرتع Range	شهری urban	باغات Gardens	کشاورزی Agriculture	جنگل Forest	
0.531	-0.168	-0.087	-0.750 ^a	0.097	-0.627 ^b	0.232	pH
-0.464	-0.220	-0.092	-0.621	-0.160	0.066	0.378	EC
-0.472	-0.204	-0.130	-0.678	-0.161	0.103	0.298	TDS
0.171	-0.440 ^a	-0.225	0.453	-0.223	-0.617 ^b	0.637 ^b	DO
-0.492	0.091	-0.239	-0.504	-0.046	0.881 ^b	-0.181	NO ₃ ⁻
-0.418	0.123	-0.016	-0.463	-0.019	0.771 ^b	-0.536 ^a	PO ₄ ²⁻
-0.822	0.100	-0.247	-0.673	-0.150	0.360 ^a	0.321	Ca ²⁺
-0.941	-0.012	-0.153	-0.457	-0.188	0.235	0.131	Mg ²⁺
-0.477	0.005	0.023	-0.555	-0.083	0.217	0.213	Na ⁺
-0.643	-0.168	-0.152	-0.648	-0.182	0.146	0.339	K ⁺

a: همبستگی در سطح ۰/۰۵ معنی دار است.

b: همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنی دار است.

جدول ۳- مدل‌های رگرسیون خطی برای پارامترهای کیفیت آب و الگوهای کاربری اراضی در زیرحوضه آبخیز رودخانه مارون

Table 3- Linear regression models for water quality parameters and land use patterns in the Maroon River sub-basin

P	Adjusted R ²	R ²	معادلات رگرسیون Regression equations	متغیرهای مستقل Independent variables	پارامتر parameter
0.001	0.366	0.393	7.887-0.015AGR	کشاورزی (Agricultural)	pH
0.000	0.704	0.751	7.470+0.057FOR-0.080AGR	جنگل (Forest) کشاورزی (Agricultural)	DO
0.000	0.767	0.777	1.181+0.378AGR	کشاورزی (Agricultural)	NO ₃ ⁻
0.000	0.812	0.832	1.801-0.037FOR+0.085AGR	جنگل (Forest) کشاورزی (Agricultural)	PO ₄ ²⁻

AGR: کشاورزی (Agricultural)، FOR: جنگل (Forest)

ارزیابی کیفیت آب براساس شاخص WQI

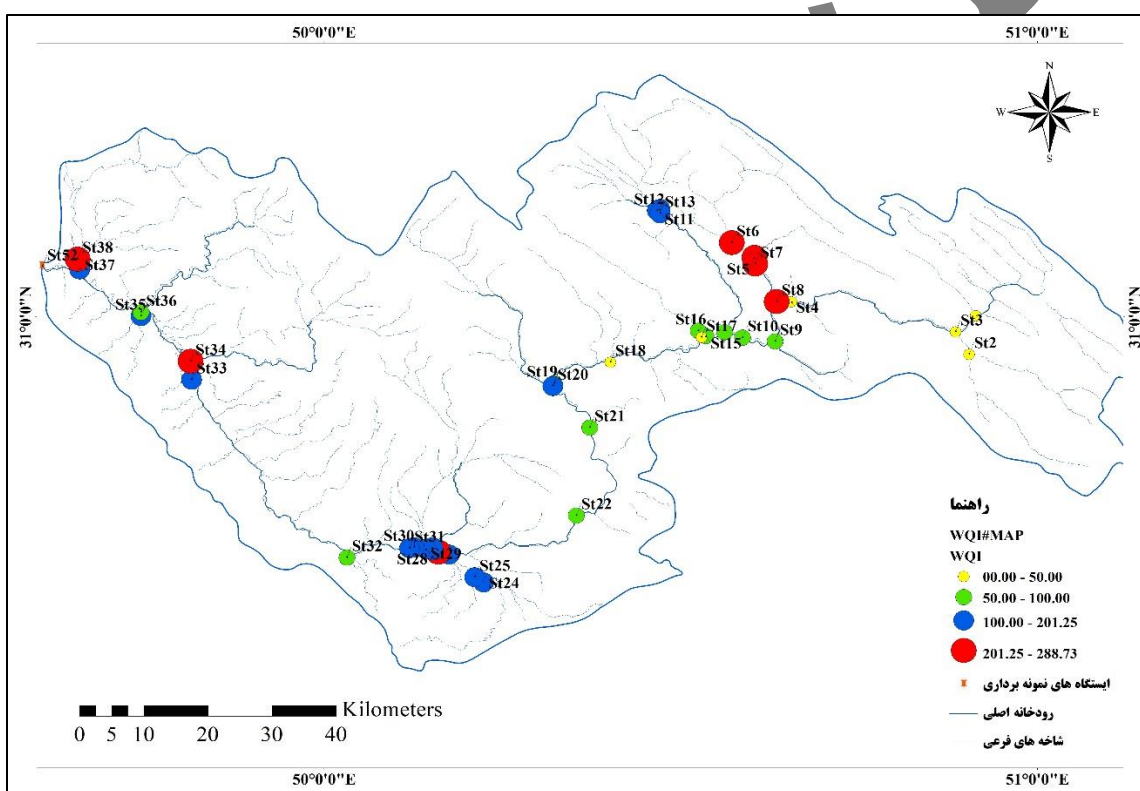
مقادیر WQI برای تمام نقاط پایش (۳۸ ایستگاه) جهت ارزیابی کیفیت آب رودخانه با استفاده از معادلات مرتبط محاسبه شد و انواع کیفیت آب برای هر نقطه نمونه برداری تعیین شد (جدول ۴). براساس یافته‌های حاصل، مقادیر WQI محاسبه شده در ایستگاه‌های پایش مختلف بین ۷۳/۸۰ و ۲۸۸/۷۳ است و وضعیت کیفیت آب زیرحوضه آبخیز رودخانه مارون در محدوده "بسیار ضعیف" تا "خوب" برآورد شده است. به طور کلی، کلاس‌های کیفیت آب در اکثر نمونه‌های آب محل‌های نمونه برداری زیرحوضه آبخیز رودخانه مارون (به جز ایستگاه‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۱۷ و ۱۸) در محدوده ضعیف و بسیار ضعیف برآورد شد که عمدتاً می‌تواند به دلیل ورود زباله‌ها و فاضلاب‌های شهری و صنعتی و / یا تخلیه ناشی از فعالیت‌های کشاورزی در ساحل رودخانه باشد. توزیع فضایی و تغییرات مکانی شاخص کیفیت آب (WQI) در زیرحوضه آبخیز رودخانه مارون در شکل ۵ قابل مشاهده است. در مطالعه‌ای توسط *Maurya et al.* (2021) در بررسی تأثیرات تغییر کاربری اراضی بر شاخص کیفیت آب در رودخانه Upper Ganges در نزدیکی هاریدوار، نتایج نشان داد مقادیر WQI بین ۷۴/۴۵ تا ۱۲۵/۹۸ متغیر بوده است که براساس WQI سایت‌های ۱ و ۲ در شرایط خوب تا منصفانه قرار داشتند، در حالی که سه سایت دیگر در رده ضعیف تا بسیار ضعیف بودند. در این مطالعه، WQI بسیار ضعیف (۱۳۵/۹۸) در سایت ۵ (روستای بوگپور) نسبت داده شد و اشاره گردید با توجه به اینکه کشاورزی و دامداری از مشاغل اصلی اهالی این روستا است، فرآیندهای مختلف کشاورزی، آبیاری، جنگل زدایی و غیره، بزرگترین مداخلات انسان بر روی آب گنگ در این سایت می‌باشد که در نتیجه آلودگی بیشتری نسبت به سایر سایت‌ها دارد. در پژوهش دیگری توسط *Chabuk et al.* (2020) در ارزیابی کیفیت آب در امتداد رودخانه دجله (عراق)، مقادیر WQI از ایستگاه (۱) تا ایستگاه (۷) کمتر از ۱۰۰ بود و این ایستگاه‌ها به عنوان کیفیت آب خوب طبقه‌بندی شدند. اشاره گردید در این ایستگاه‌ها، افزایش سطح آب به داخل آبراه رودخانه می‌تواند غلظت پارامترها را کاهش دهد، زیرا رودخانه می‌تواند خود پالایی شود و سپس مقادیر WQI را کاهش دهد. اما، کیفیت آب ایستگاه‌ها از ایستگاه (۸) شهر Aziziyah تا ایستگاه (۱۱) شهر Qurnah، بر اساس مقادیر WQI محاسبه شده، ضعیف طبقه‌بندی شد. این به این دلیل اشاره گردید که اکثر مقادیر اندازه‌گیری شده پارامترها در این ایستگاه‌ها (۸-۱۱) بالاتر از حد مجاز استاندارد بودند. علاوه بر این، نتایج نشان داد که مقادیر WQI در پایین دست رودخانه دجله به طور قابل توجهی افزایش یافته است و این نشان دهنده تخلیه آلاینده‌ها به سیستم رودخانه از منابع مختلف مانند رواناب کشاورزی، فاضلاب خانگی و تخلیه پسماندهای صنعتی است. این عوامل و بسیاری از پروژه‌های آبیاری موجود که از پایتخت بغداد شروع می‌شود، می‌تواند مقدار WQI را در این ایستگاه‌ها افزایش دهد.

جدول ۴- مقادیر WQI و وضعیت کیفیت آب ایستگاه‌های پایش زیرحوضه آبخیز رودخانه مارون

Table 4- WQI values and water quality status of the monitoring stations in the maroon river sub-basin

شماره ایستگاه	WQI	طبقه کیفیت آب	شماره ایستگاه	WQI	طبقه کیفیت آب
Station No		Water quality class	Station No		Water quality class
1	82.20	خوب (good)	20	165.81	ضعیف (poor)
2	73.80	خوب (good)	21	121.84	ضعیف (poor)
3	78.13	خوب (good)	22	128.15	ضعیف (poor)
4	85.36	خوب (good)	23	172.48	ضعیف (poor)
5	235.91	بسیار ضعیف (very poor)	24	201.25	بسیار ضعیف (very poor)
6	225.23	بسیار ضعیف (very poor)	25	189.66	ضعیف (poor)
7	288.73	بسیار ضعیف (very poor)	26	212.60	بسیار ضعیف (very poor)
8	217.16	بسیار ضعیف (very poor)	27	168.49	ضعیف (poor)

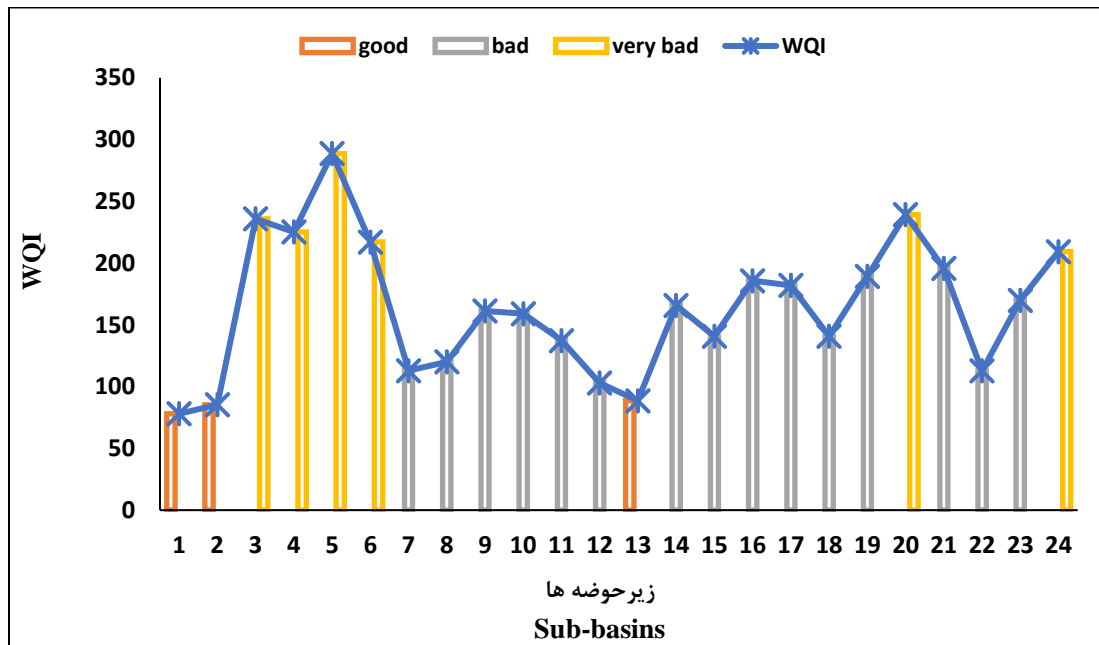
ضعیف (poor)	178.35	28	ضعیف (poor)	112.93	9
ضعیف (poor)	163.98	29	ضعیف (poor)	120.09	10
ضعیف (poor)	181.72	30	ضعیف (poor)	161.30	11
ضعیف (poor)	183.26	31	ضعیف (poor)	159.00	12
ضعیف (poor)	140.74	32	ضعیف (poor)	158.40	13
ضعیف (poor)	189.26	33	ضعیف (poor)	133.12	14
بسیار ضعیف (very poor)	239.27	34	ضعیف (poor)	120.29	15
ضعیف (poor)	195.79	35	ضعیف (poor)	102.92	16
ضعیف (poor)	112.85	36	خوب (good)	80.16	17
ضعیف (poor)	169.99	37	خوب (good)	74.00	18
بسیار ضعیف (very poor)	209.32	38	ضعیف (poor)	111.49	19



شکل ۵- نقشه توزیع فضایی و تغییرات مکانی شاخص کیفیت آب (WQI) در زیرحوضه آبخیز رودخانه مارون
Fig. 5- Spatial distribution map and spatial changes of water quality index (WQI) in Maroon River sub-basin

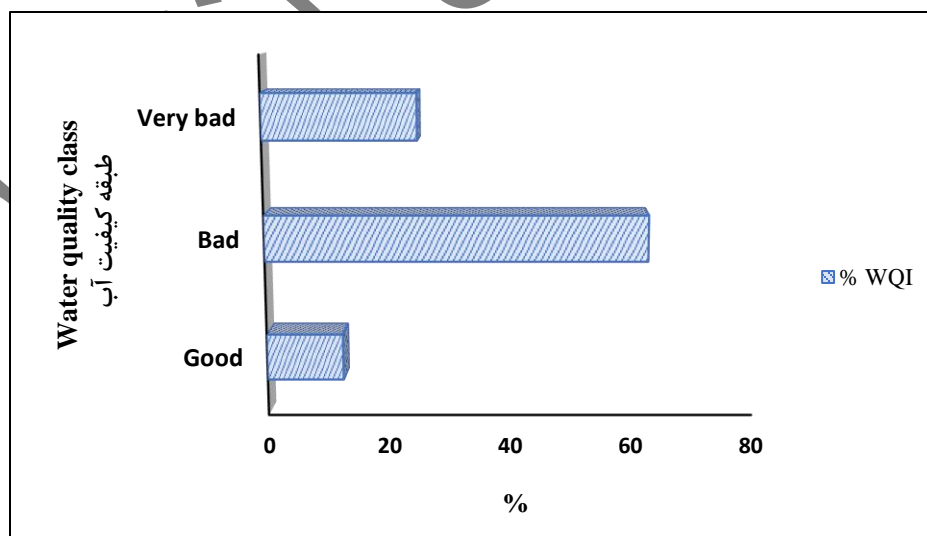
همچنین نتایج تجزیه و تحلیل و توزیع میزان WQI در بین زیرحوضه‌های آبخیز مختلف (۱-۲۴) در سطح حوضه رودخانه مارون در شکل ۶ نشان داده شده است. براساس یافته‌ها، کمترین میزان WQI در زیرحوضه ۱ (۷۸/۰۴)، ۲ (۸۵/۳۶) و ۱۳ (۸۸/۵۵) با طبقه "خوب" کیفیت و بیشترین میزان در زیرحوضه ۵ (۲۸۸/۷۳) و ۲۰ (۲۳۹/۲۷) در طبقه "بسیار ضعیف" کیفیت بوده است. به طور کلی، بررسی وضعیت کیفیت آب براساس WQI نشان داد که ۶۲/۵٪ کیفیت آب زیرحوضه آبخیز رودخانه مارون در طبقه "ضعیف"، ۲۵٪ در طبقه "بسیار ضعیف" و ۱۲/۵٪ در طبقه "خوب" است (شکل ۷). در پژوهش [Tian et al. \(2019\)](#) در ارزیابی کیفیت آب

رودخانه Luanhe در شمال چین، بر اساس طبقه بندی WQI، مکان‌های نمونه برداری با کیفیت «متوسط» در سه دوره نمونه برداری غالب بودند و ۷۵/۳٪ را به خود اختصاص دادند. محل نمونه برداری با کیفیت "عالی" فقط یک نقطه با نسبت ۰/۴٪ بود. سایت‌های نمونه برداری با کیفیت "خوب" و "بد" به ترتیب ۱۹/۶٪ و ۴/۷٪ بود. در این سه دوره نمونه برداری سایت با کیفیت "خیلی بد" یافت نشد.



شکل ۶- تفاوت در توزیع مقادیر WQI در زیرحوضه‌های مختلف در حوضه رودخانه مارون

Fig. 6- The difference in the distribution of WQI values in different sub-basins in the Maroon river basin



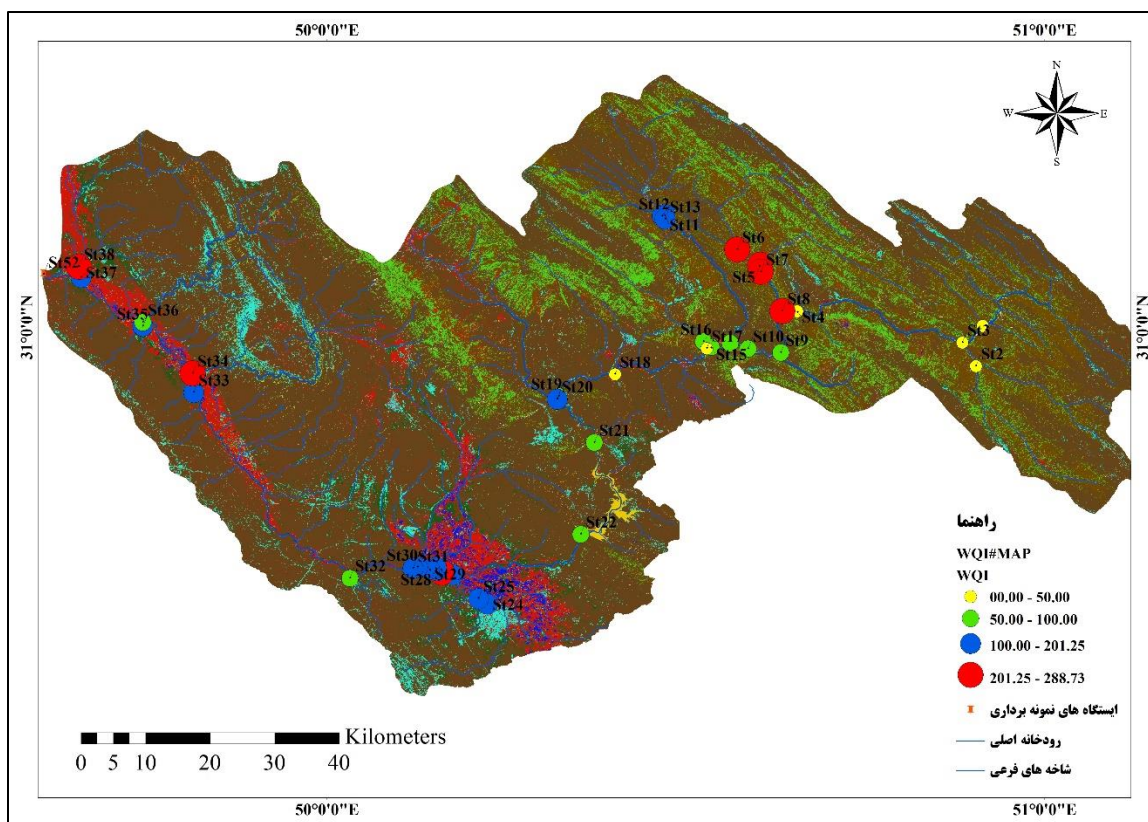
شکل ۷- درصد وضعیت کلی کیفیت آب زیرحوضه رودخانه مارون براساس WQI

Fig. 7- Percentage of water quality status of the Maroon River sub-basin based on WQI

تأثیر الگوی کاربری اراضی بر WQI

همبستگی فضایی بین الگوهای کاربری اراضی و شاخص کیفیت آب زیرحوضه رودخانه مارون در شکل ۷ ارائه شده است. همسان سازی فضایی نشان می‌دهد که اکثر مناطق به ویژه در پایین دست زیرحوضه در معرض حداکثر دخالت انسان هستند. فعالیت‌های خانگی، ماهیگیری و به ویژه کشت و زرع به طور مداوم در این مکان‌ها رخ می‌دهد و بار آلودگی زیادی به آب رودخانه وارد می‌کند. به استثنای ایستگاه‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۱۷ و ۱۸، میانگین شاخص کیفیت آب بالاتر از ۱۰۰ بود که آن را برای استفاده انسانی نامناسب می‌کند. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که مداخله انسان در تغییر کاربری اراضی تأثیرات قابل توجهی بر کیفیت آب در منطقه مورد مطالعه داشته است. تجزیه و تحلیل پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب نیز بیانگر این بوده است که کیفیت آب در مناطقی با حداکثر اراضی در معرض مداخله انسان رضایت بخش نیست. تغییرات شاخص کیفیت آب در منطقه مطالعاتی تحت تأثیر انواع کاربری اراضی و الگوهای فضایی آنها قرار می‌گیرد و بارهای آلاینده بسته به نوع کاربری اراضی در مقیاس‌های مختلف متفاوت است (Yang et al., 2016). کاربری اراضی تحت پوشش جنگلی طبیعی به عنوان حفظ مواد مغذی عمل می‌کند و یک سیستم بیولوژیکی غنی را برای آب و زندگی آبریان ارائه می‌دهد (Piatek et al., 2009). با این حال، نتایج معکوس در کاربری‌هایی با ورودی آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی بیشتر ظاهر می‌شود (Ding et al., 2015). بنابراین، تفاوت‌های مکانی در شاخص کیفیت آب در منطقه مورد مطالعه می‌تواند به دلیل تأثیر کاربری‌های جنگل، شهری و کشاورزی توضیح داده شود. این نتایج به وضوح از فرض مطالعه حاضر حمایت می‌کند که تغییر کاربری اراضی و مداخله انسان به دلیل افزایش فشار انسانی و پساب‌های کشاورزی تأثیر زیادی بر کیفیت آب دارد. در پژوهش Tian et al. (2019) در ارزیابی کیفیت کلی آب در جریان‌های بالایی و میانی رودخانه Luanhe، براساس نتایج ANOVA یک طرفه تغییرات قابل توجهی در شاخه‌ها یافت شد. کیفیت آب در رودخانه Liu، Bao و Yixun در بین همه شاخه‌ها ضعیف‌تر بود. رودخانه بائو و رودخانه لیو بالاترین نسبت اراضی ساخته شده را داشتند (به ترتیب ۷/۷٪ و ۵/۷٪). این نتیجه نشان می‌دهد که فاضلاب‌های صنعتی و خانگی در اراضی ساخته شده کیفیت آب را به‌طور جدی‌تری نسبت به سایر کاربری‌ها بدتر کرده است، اگرچه نسبت زمین‌های ساخته‌شده در این رودخانه‌ها قابل توجه نبود. در رودخانه Yixun، با داشتن بیشترین نسبت اراضی زیر کشت (۱۹٪)، فاضلاب کشاورزی با مصرف کودهای شیمیایی می‌تواند منبع اولیه آلودگی در این رودخانه باشد.

انتشار

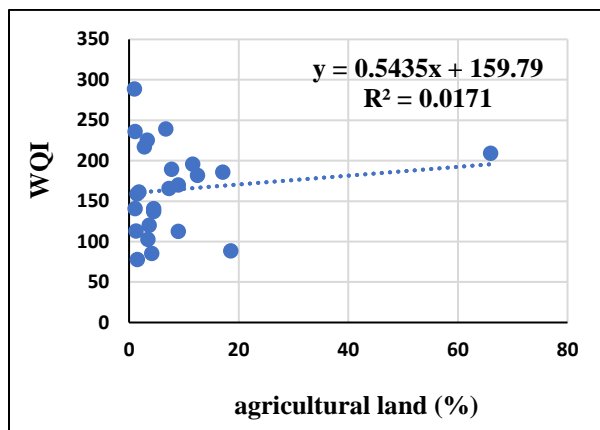


شکل ۷- همبستگی فضایی بین الگوهای کاربری اراضی و شاخص کیفیت آب زیرحوضه رودخانه مارون
 Fig. 7- Spatial correlation between land use patterns and water quality index of Maroon River sub-basin

ارتباط کاربری اراضی و میزان WQI

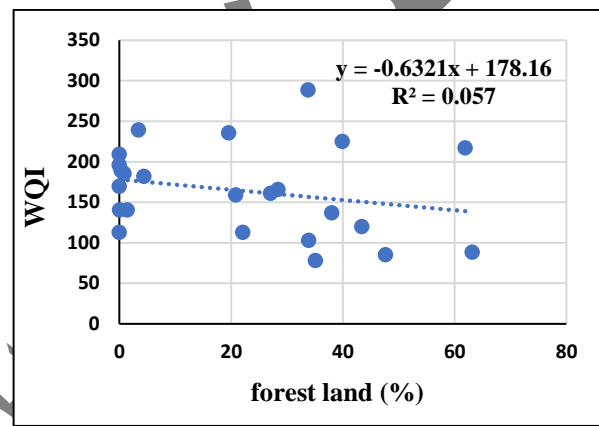
نتایج آنالیز رگرسیون خطی جهت تجزیه و تحلیل رابطه بین درصد الگوهای مختلف کاربری اراضی با میزان شاخص کیفیت آب (WQI) در زیرحوضه آبخیز رودخانه مارون در شکل ۸ ارائه شده است. براساس طبقه بندی (Verla et al. (2020)، یافته‌های حاصل از این بخش بیانگر ارتباط خطی ضعیف بین انواع مختلف درصد الگوهای کاربری اراضی با شاخص کیفیت آب (WQI) در سطح زیرحوضه آبخیز رودخانه مارون است. این ارتباط ضعیف می‌تواند به این دلیل باشد که شاخص WQI در زیرحوضه مطالعاتی تنها تحت تأثیر یک نوع الگوی کاربری نیست و ترکیبی از انواع کاربری اراضی در سایت‌های مطالعاتی می‌توانند بر کیفیت آب منطقه تأثیر گذار باشند. دلیل دیگر این است که روابط بین کاربری‌ها و کیفیت آب ممکن است به طور قابل توجهی تحت تأثیر ویژگی‌های زیرحوضه نیز باشد، بنابراین باید در تعمیم رابطه بین کاربری اراضی و کیفیت آب احتیاط کرد. مطالعه‌ای توسط (Jung et al. (2008) در ارزیابی تأثیر تغییرات فضایی کاربری اراضی بر کیفیت آب رودخانه‌ها در یک حوضه آبخیز ساحلی در کره نیز نشان داد که روابط بین کاربری‌های دوردست و کیفیت آب ممکن است به طور قابل توجهی تحت تأثیر ویژگی‌های زیرحوضه قرار گیرد تا خود کاربری. پژوهش (Mo et al. (2023) در بررسی تأثیر الگوهای کاربری اراضی بر کیفیت آب رودخانه در حوضه دریاچه Dongjiang، چین نشان داد الگوهای کاربری زمین می‌تواند کیفیت آب را در مقیاس‌های زمانی- مکانی خاص تغییر دهد، اما این شامل فرآیندهای پیچیده و عوامل متعددی است. بنابراین، در کنار ارزیابی تأثیر الگوهای کاربری اراضی مؤثر بر کیفیت آب، عوامل غالب باید دائماً بررسی شوند. در واقع می‌توان ادعان داشت که کاربری اراضی نقش مهمی در تولید آلاینده ایفا می‌کند، در حالی که انتقال آلاینده‌ها به آب‌های

دریافت کننده را می توان تحت تأثیر عوامل غیر از کاربری اراضی، به ویژه آب و هوا و ویژگی های توپوگرافی قرار داد (Delpla and Rodriguez, 2014; Hurley and Mazumder, 2013). بنابراین، اثرات میانجی عوامل غیر کاربری اراضی و همبستگی فضایی باید در هنگام تحلیل رابطه کاربری اراضی و کیفیت آب در نظر گرفته شود. در پژوهشی توسط Gani et al. (2023) در ارزیابی تأثیر کاربری و پوشش زمین بر کیفیت آب رودخانه با استفاده از شاخص کیفیت آب، نتایج نشان داد که WQI همبستگی مثبت قابل توجهی با کاربری کشاورزی ($P < 0.01$, $r = 0.68$) و یک ارتباط منفی معنادار با کاربری مسکونی ($P < 0.01$, $r = -0.94$) دارد. در پژوهش Tian et al. (2019) بررسی رابطه بین کاربری اراضی و WQI ایستگاه های نمونه برداری آب رودخانه Luanhe در شمال چین نشان داد که نسبت اراضی جنگلی با WQI در پاییز و بهار همبستگی منفی معنی داری داشت ($P < 0.05$). با این حال، نسبت اراضی زیر کشت تنها در تابستان با WQI همبستگی منفی معنی دار داشت و نسبت اراضی ساخته شده با WQI در سه دوره نمونه گیری همبستگی منفی معنی دار داشت ($P < 0.05$).



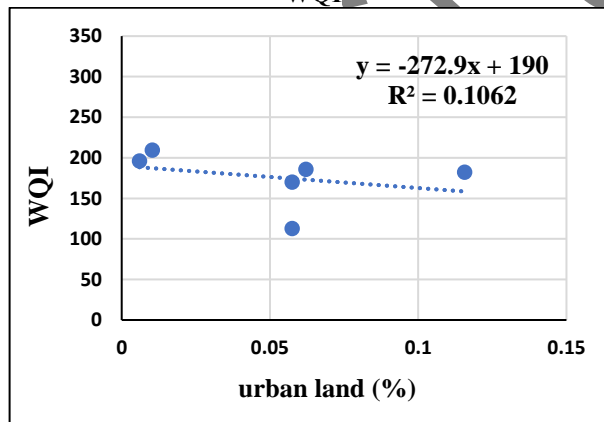
ب. ارتباط درصد کاربری کشاورزی و WQI

b. Relationship between agricultural land (%) and WQI



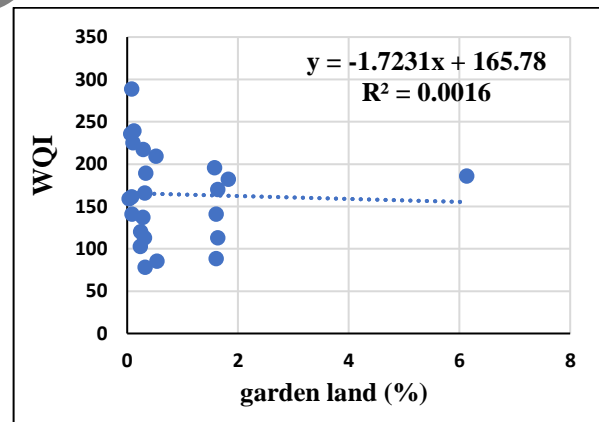
الف. ارتباط درصد کاربری جنگل و WQI

a. Relationship between forest land (%) and WQI



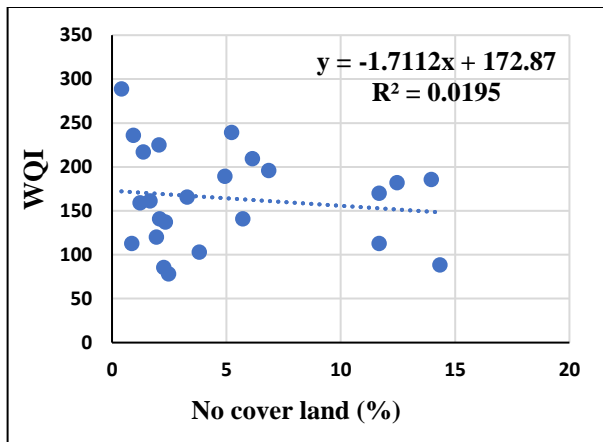
د. ارتباط درصد کاربری شهری و WQI

d. Relationship between urban land (%) and WQI



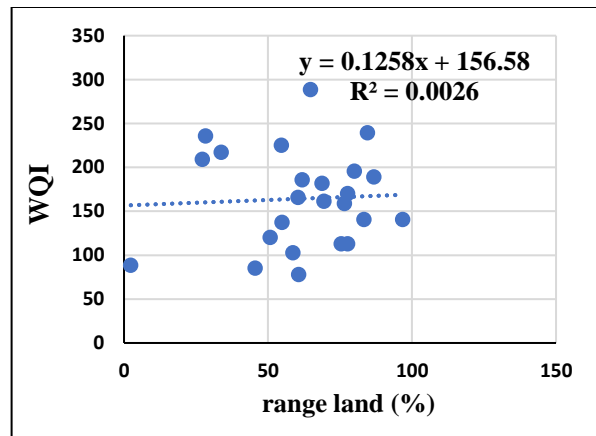
ج. ارتباط درصد کاربری باغ و WQI

c. Relationship between garden land (%) and WQI



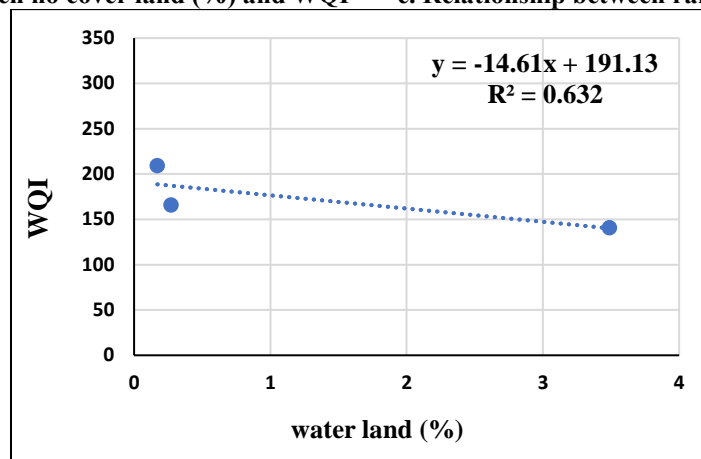
ه. ارتباط درصد کاربری بدون پوشش و WQI

f. Relationship between no cover land (%) and WQI



و. ارتباط درصد کاربری مرتع و WQI

e. Relationship between range land (%) and WQI



ی. ارتباط درصد کاربری مناطق آبی و WQI

g. Relationship between water land (%) and WQI

شکل ۸- رگرسیون خطی بین درصد الگوهای کاربری اراضی و شاخص کیفیت آب (WQI) در زیرحوضه رودخانه مارون

Fig. 8- Linear regression between the percentage of land use patterns and water quality index (WQI) in Maroon River sub-basin

نتیجه گیری

مطالعه حاضر تلاشی برای بررسی تأثیر تعاملات و فعالیت‌های انسانی بر کیفیت آب بوده است. یک فرض پیچیده در نظر گرفته شد که پدیده تغییر الگوی کاربری اراضی به دلیل مداخله انسان ممکن است منجر به افت کیفیت آب در مسیر زیرحوضه آبخیز رودخانه مارون شود. لذا، نمونه‌هایی برای آزمایش ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در ایستگاه‌های واقع در نقطه خروجی زیرحوضه‌ها با در نظر گرفتن مکان‌هایی که حداقل و حداکثر درجات دخالت انسان را می‌توان مشاهده کرد، جمع‌آوری شد. نتایج حاصل از آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) جهت بررسی تفاوت بین ۲۴ زیرحوضه مورد مطالعه نشان داد که بین زیرحوضه‌های مختلف مورد مطالعه اختلاف آماری معنی داری در میزان پارامترهای کیفیت آب آنها وجود دارد ($P < 0.05$). تغییرات مکانی پارامترهای کیفیت آب تحت تأثیر انواع کاربری زمین و الگوهای فضایی آنها قرار می‌گیرد و بارهای آلاینده بسته به نوع کاربری زمین در مقیاس‌های مختلف

متفاوت است. بنابراین، از تکنیک‌های GIS برای تهیه نقشه کاربری اراضی و تشخیص تغییر برای انجام همبستگی مکانی با شاخص کیفیت آب استفاده شد. نتایج نشان داد که از ۳۸ سایت نمونه برداری شده، تمامی ایستگاه‌های پایش (به جز چند ایستگاه در بالادست رودخانه) تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی بوده و درجات بالایی از نقش انسان در تغییر و اصلاح اراضی مانند جاده سازی، سکونت، جنگل زدایی و کشت بیشینه تحمیل شده است، که با فشار مستقیم یا غیرمستقیم بر روی آب رودخانه، در نتیجه کیفیت آب نیز در وضعیت ضعیف تا بسیار ضعیف قرار می‌گیرد که منجر به کاهش شاخص کیفیت آب، نامناسب شدن آب برای آبیاری و سایر مصارف می‌شود. بررسی ارتباط بین انواع کاربری اراضی و پارامترهای کیفی آب نشان داد که اراضی کشاورزی و جنگلی انواع کاربری اصلی هستند که بر کیفیت آب در زیر حوضه رودخانه مارون تأثیر می‌گذارند. این نتایج نشان می‌دهد که تصمیمات مدیریت حوضه در ناحیه بالادست باید تأثیر کاربری زمین کشاورزی را مورد توجه قرار دهد. در واقع، این نتایج به وضوح از فرض مطالعه حاضر حمایت می‌کند که تغییر کاربری اراضی و مداخله انسان به دلیل افزایش فشار انسانی و پساب‌های کشاورزی تأثیر زیادی بر کیفیت آب دارد. این نتایج نشان می‌دهد که تصمیمات مدیریت حوضه در ناحیه بالادست باید تأثیر کاربری کشاورزی را مورد توجه قرار دهد، از جمله اینکه فعالیت‌های آبی پروری، کشاورزی و دامپروری به منظور کاهش مصرف نهاده‌ها و تخلیه آلاینده‌ها و در نتیجه تخلیه زهاب‌های کشاورزی تأثیر گذار بر رودخانه کنترل گردد و از تلنبار کردن زباله و کودهای دامی در داخل و حاشیه رودخانه جلوگیری شود. بر این اساس، انتظار می‌رود که نتایج این مطالعه درک روابط بین کاربری اراضی و کیفیت آب‌های سطحی را در سراسر جهان افزایش دهد و در نتیجه تصمیم‌گیری آگاهانه را در طراحی اقدامات برای کاهش اثرات آلودگی بر بدنه آب‌های پذیرنده تسهیل کند. اما پیشنهاد می‌گردد با توجه به اینکه روابط بین الگوهای کاربری اراضی و کیفیت آب ممکن است به طور قابل توجهی تحت تأثیر عوامل غیر از کاربری اراضی، به ویژه آب و هوا و ویژگی‌های توپوگرافی حوضه آبخیز رودخانه‌ها باشد، بنابراین در مطالعات آتی اثرات میانجی عوامل غیر کاربری اراضی و همبستگی فضایی در هنگام تحلیل رابطه کاربری اراضی و کیفیت آب با استفاده از مدل‌های مناسب‌تر جهت تجزیه و تحلیل بهتر در نظر گرفته شود.

سیاسگزاری

این مقاله حاصل کار پژوهشی مستخرج از رساله دکتری از گروه محیط زیست دانشگاه ملایر می‌باشد. نویسندگان از دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه ملایر برای فراهم کردن امکانات آزمایشگاهی لازم و انجام آنالیزها تشکر می‌کنند.

منابع

Alias, S.W.A.N., 2020. Ecosystem Health Assessment of Sungai Pengkalan Chepa Basin: Water Quality and Heavy Metal Analysis. *Sains Malays.* 49, 1787-1798.

Boeder, M. and Chang, H., 2008. Multi-scale analysis of oxygen demand trends in an urbanizing Oregon watershed, USA. *Journal of Environmental Management.* 87, 567-581.

Bora, M. and Goswami, D. C., 2017. Water quality assessment in terms of water quality index (WQI): case study of the Kolong River, Assam, India. *Applied Water Science.* 7, 3125-3135.

Bu, H., Meng, W., Zhang, Y. and Wan, J., 2014. Relationships between land use patterns and water quality in the Taizi River basin, China. *Ecological indicators.* 41, 187-197.

Chabuk, A., Al-Madhloom, Q., Al-Maliki, A., Al-Ansari, N., Hussain, H. M. and Laue, J., 2020. Water quality assessment along Tigris River (Iraq) using water quality index (WQI) and GIS software. *Arabian Journal of Geosciences.* 13, 1-23.

- Chen, X., Strokal, M., Van Vliet, M. T., Stuver, J., Wang, M., Bai, Z., ... and Kroeze, C., 2019. Multi-scale modeling of nutrient pollution in the rivers of China. *Environmental science & technology*. 53(16), 9614-9625.
- Delpla, I. and Rodriguez, M. J., 2014. Effects of future climate and land use scenarios on riverine source water quality. *Science of the total environment*. 493, 1014-1024.
- Ding, J., Jiang, Y., Fu, L., Liu, Q., Peng, Q. and Kang, M., 2015. Impacts of land use on surface water quality in a subtropical River Basin: a case study of the Dongjiang River Basin, Southeastern China. *Water*. 7(8), 4427-4445.
- Gani, M. A., Sajib, A. M., Siddik, M. A. and Moniruzzaman, M., 2023. Assessing the impact of land use and land cover on river water quality using water quality index and remote sensing techniques. *Environmental Monitoring and Assessment*. 195(4), 449.
- Gorgoglione, A., Gregorio, J., Rios, A., Alonso, J., Chreties, C. and Fossati, M., 2020. Influence of land use/land cover on surface-water quality of Santa Lucia river, Uruguay. *Sustainability*. 12(11), 4692.
- Haidary, A., Amiri, B. J., Adamowski, J., Fohrer, N. and Nakane, K., 2013. Assessing the impacts of four land use types on the water quality of wetlands in Japan. *Water Resources Management*. 27, 2217-2229.
- Hasani Sangani, M., Jabbarian Amiri, B., Alizadeh Shabani, A., Sakieh, Y. and Ashrafi, S., 2015. Modeling relationships between catchment attributes and river water quality in southern catchments of the Caspian Sea. *Environmental Science and Pollution Research*. 22, 4985-5002.
- Huang, F., Wang, X., Lou, L., Zhou, Z. and Wu, J., 2010. Spatial variation and source apportionment of water pollution in Qiantang River (China) using statistical techniques. *Water research*. 44(5), 1562-1572.
- Hurley, T. and Mazumder, A., 2013. Spatial scale of land-use impacts on riverine drinking source water quality. *Water Resources Research*. 49(3), 1591-1601.
- Jiang, Y., Ding, Z., Peng, Q., Liao, J. and Lv, L., 2012. Spatial distribution and corresponding factors of heavy metals concentrations in the Dongjiang River basin, southeast China. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*. 4(4), 448-459.
- Jung, K. W., Lee, S. W., Hwang, H. S. and Jang, J. H., 2008. The effects of spatial variability of land use on stream water quality in a costal watershed. *Paddy and Water Environment*. 6, 275-284.
- Kändler, M., Blechinger, K., Seidler, C., Pavlů, V., Šanda, M., Dostál, T., ... and Štich, M., 2017. Impact of land use on water quality in the upper Nisa catchment in the Czech Republic and in Germany. *Science of the total Environment*. 586, 1316-1325.
- Kang, J. H., Lee, S. W., Cho, K. H., Ki, S. J., Cha, S. M. and Kim, J. H., 2010. Linking land-use type and stream water quality using spatial data of fecal indicator bacteria and heavy metals in the Yeongsan River basin. *Water Research*. 44(14), 4143-4157.
- Kawo, N. S. and Karuppanan, S., 2018. Groundwater quality assessment using water quality index and GIS technique in Modjo River Basin, central Ethiopia. *Journal of African Earth Sciences*. 147, 300-311.
- Khan, A., Khan, A., Khan, F. A., Shah, L. A., Rauf, A. U., Badrashi, Y. I., ... and Khan, J., 2021. Assessment of the impacts of terrestrial determinants on surface water quality at multiple spatial scales. *Polish Journal of Environmental Studies*. 30(3), 2137-2147.
- Liang, H., Gao, M., Liu, J., Wei, Y. and Guo, X., 2010. A novel integrated step-feed biofilm process for the treatment of decentralized domestic wastewater in rural areas of China. *Journal of Environmental Sciences*. 22(3), 321-327.
- Liang, X., Pan, Y., Li, C., Wu, W. and Huang, X., 2023. Evaluating the Influence of Land Use and Landscape Pattern on the Spatial Pattern of Water Quality in the Pearl River Basin. *Sustainability*. 15(20), 15146.

Liu, J., Zhang, X., Wu, B., Pan, G., Xu, J. and Wu, S., 2017. Spatial scale and seasonal dependence of land use impacts on riverine water quality in the Huai River basin, China. *Environmental Science and Pollution Research*. 24, 20995-21010.

Maurya, P. K., Ali, S. A., Alharbi, R. S., Yadav, K. K., Alfaisal, F. M., Ahmad, A., ... and Jeon, B. H., 2021. Impacts of land use change on water quality index in the Upper Ganges River near Haridwar, Uttarakhand: a GIS-based analysis. *Water*. 13(24), 3572.

Maurya, P. K., Ali, S. A., Alharbi, R. S., Yadav, K. K., Alfaisal, F. M., Ahmad, A., ... and Jeon, B. H., 2021. Impacts of land use change on water quality index in the Upper Ganges River near Haridwar, Uttarakhand: a GIS-based analysis. *Water*. 13(24), 3572.

Mo, W., Yang, N., Zhao, Y. and Xu, Z., 2023. Impacts of land use patterns on river water quality: the case of Dongjiang Lake Basin, China. *Ecological Informatics*. 75, 102083.

Mu, M., Gao, L., Zhang, H., Ge, J., Zhang, Z., Qiu, Y. and Zhao, X., 2023. Effects of land use on water quality at different spatial scales in the middle reaches of Huaihe River. *Journal of Freshwater Ecology*. 38(1), 2176373.

Namugize, J. N., Jewitt, G. and Graham, M., 2018. Effects of land use and land cover changes on water quality in the uMngeni river catchment, South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts a/b/c*. 105, 247-264.

Ngoye, E. and Machiwa, J. F., 2004. The influence of land-use patterns in the Ruvu river watershed on water quality in the river system. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 29(15-18), 1161-1166.

Pei, L., Wang, C., Zuo, Y., Liu, X. and Chi, Y., 2022. Impacts of Land Use on Surface Water Quality Using Self-Organizing Map in Middle Region of the Yellow River Basin, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 19(17), 10946.

Permatasari, P. A., Setiawan, Y., Khairiah, R. N. and Effendi, H., 2017. The effect of land use change on water quality: A case study in Ciliwung Watershed. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 54 (1), p. 012026). IOP Publishing.

Piatek, K. B., Christopher, S. F. and Mitchell, M. J., 2009. Spatial and temporal dynamics of stream chemistry in a forested watershed. *Hydrology and Earth System Sciences*. 13(3), 423-439.

Quintas-Soriano, C., Castro, A. J., Castro, H. and García-Llorente, M., 2016. Impacts of land use change on ecosystem services and implications for human well-being in Spanish drylands. *Land use policy*. 54, 534-548.

Raeisi, N., Moradi, S. and Scholz, M., 2022. Surface water resources assessment and planning with the QUAL2Kw model: a case study of the Maroon and Jarahi Basin (Iran). *Water*. 14(5), 705.

Ramakrishnaiah, C. R., Sadashivaiah, C. and Ranganna, G., 2009. Assessment of water quality index for the groundwater in Tumkur Taluk, Karnataka State, India. *E-Journal of chemistry*. 6(2), 523-530.

Rixen, T., Baum, A., Sepryani, H., Pohlmann, T., Jose, C. and Samiaji, J., 2010. Dissolved oxygen and its response to eutrophication in a tropical black water river. *Journal of environmental management*. 91(8), 1730-1737.

Sahu, P. and Sikdar, P. K., 2008. Hydrochemical framework of the aquifer in and around East Kolkata Wetlands, West Bengal, India. *Environmental Geology*. 55, 823-835.

Sakke, N., Jafar, A., Dollah, R., Asis, A. H. B., Mapa, M. T. and Abas, A., 2023. Water Quality Index (WQI) Analysis as an Indicator of Ecosystem Health in an Urban River Basin on Borneo Island. *Water*. 15(15), 2717.

Scanlon, B. R., Fakhreddine, S., Reedy, R. C., Yang, Q. and Malito, J.G., 2022. Drivers of spatiotemporal variability in drinking water quality in the United States. *Environmental Science & Technology*. 56(18), 12965-12974.

Sharifi Paichoon, M., Omidvar, K. and Motazaker, K., 2019. Assessment of flooding using cluster analysis and multivariable regression methods with emphasis on hydro geomorphological parameters (Case study: Maroon catchment). *Journal of Natural Environmental Hazards*. 8(21), 75-92.

- SMEWW, 1999. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 4500-P, APHA, AWWA and WEF. American Public health, Washington DC.
- Strickland, J. D. H. and Parsons, T. R., 1972. A practical handbook of seawater analysis. 11-1, (1) 18.
- Taranu, Z.E. and Gregory-Eaves, I., 2008. Quantifying relationships among phosphorus, agriculture, and lake depth at an inter-regional scale. *Ecosystems*. 11, 715-725.
- Teixeira, Z. and Marques, J.C., 2016. Relating landscape to stream nitrate-N levels in a coastal eastern-Atlantic watershed (Portugal). *Ecological Indicators*. 61, 693-706.
- Tian, Y., Jiang, Y., Liu, Q., Dong, M., Xu, D., Liu, Y. and Xu, X., 2019. Using a water quality index to assess the water quality of the upper and middle streams of the Luanhe River, northern China. *Science of the Total Environment*. 667, 142-151.
- Tran, C. P., Bode, R. W., Smith, A. J. and Kleppel, G. S., 2010. Land-use proximity as a basis for assessing stream water quality in New York State (USA). *Ecological Indicators*. 10(3), 727-733.
- Uddin, M. G., Nash, S. and Olbert, A. I., 2021. A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. *Ecological Indicators*. 122, 107218.
- Varol, S. and Davraz, A., 2015. Evaluation of the groundwater quality with WQI (Water Quality Index) and multivariate analysis: a case study of the Tefenni plain (Burdur/Turkey). *Environmental earth sciences*. 73, 1725-1744.
- Wang, G., Xu, Z. and Zhang, S., 2014. The influence of land use patterns on water quality at multiple spatial scales in a river system. *Hydrological Processes*. 28(20), 5259-5272.
- Wang, L., Han, X., Zhang, Y., Zhang, Q., Wan, X., Liang, T., ... and Rinklebe, J., 2023. Impacts of land uses on spatio-temporal variations of seasonal water quality in a regulated river basin, Huai River, China. *Science of The Total Environment*. 857, 159584.
- WHO, 2008. Guidelines for Drinking-Water Quality. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- Yang, H., Wang, G., Wang, L. and Zheng, B., 2016. Impact of land use changes on water quality in headwaters of the Three Gorges Reservoir. *Environmental Science and Pollution Research*. 23, 11448-11460.
- Yang, Y., Zhang, X., Jiang, J., Han, J., Li, W., Li, X., ... and Alvarez, P.J., 2021. Which micropollutants in water environments deserve more attention globally? *Environmental Science & Technology*. 56(1), 13-29.
- Yidana, S.M. and Yidana, A., 2010. Assessing water quality using water quality index and multivariate analysis. *Environmental Earth Sciences*. 59, 1461-1473.
- Yuan, D., Wang, J. and Wang, H., 2019. Study of characteristics of DOM in urban runoff in Beijing and the mechanism with typical heavy metal. *Acta Ecologica Sinica*. 39(22), 8404-8415.
- Zalaki Badili, N., Sayyad, G., Hemadi, K., Akhavan, S. and Abdi, A., 2013. Simulation of Runoff on Murun Dam Watershed (Idanak) using by. *Journal of Agricultural Engineering Soil Science and Agricultural Mechanization, (Scientific Journal of Agriculture)*. 35(2), 25-36.
- Zhang, Z., Chen, Y., Wang, P., Shuai, J., Tao, F. and Shi, P., 2014. River discharge, land use change, and surface water quality in the Xiangjiang River, China. *Hydrological processes*. 28(13), 4130-4140.

Original Article

Assessment of Relationship between Land Use Pattern and Spatial Distribution of Water Quality at the Watershed Scale: A Case Study of Maroon River Sub-basin

Fariba Hedayatzadeh,¹ Alireza Ildoromi,^{2*} Nasrin Hassanzadeh,¹ Nader Bahramifar,³ Mahdi Banaee⁴

¹ Department of Environmental Science, Faculty of Environment and Natural Resources, Malayer University, Malayer, Iran

² Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran

³ Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Mazandaran, Iran

⁴ Department of Aquaculture, Faculty of Natural Resources and Environment, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran

Introduction: The health of the river basin is determined by the health of its ecosystem to provide important and valuable resources and services for human use and the basin itself. However, the changes in the land use pattern, which is an effective reflection of anthropic activities, have greatly disturbed the health of the river and are the main driver of water quality reduction. Examining the relationship between land use pattern and river water quality provides an important basis for water quality safety and effective land use management. Therefore, the aim of this study is to investigate the influence of land use patterns on surface water quality based on the water quality monitoring data and land use data from 38 sampling points in the sub-basin of the Maroon River.

Material and methods: In order to sampling from the study area, first the boundary of the sub-basin of the maroon river was determined, and then the sub-basin was divided into different smaller sub-basins using the hydrological analysis tool in ArcGIS software, and the map of waterways in the region was also prepared. Then sampling stations were selected from the exit point of each of these sub-basins in the main sub-basin area. In order to measure the water quality parameters of the studied area, sampling was done from 38 monitoring stations in the sub-basins with 3 repetitions in the spring of 2023. The land use map was prepared using Landsat satellite images to evaluate the changes and the impact of land use patterns on the water quality status of the Maroon River sub-basin. Then, using geographic information system and multivariate statistical techniques, the effects of land use in the Maroon sub-basin on river water quality were estimated. In addition, in order to evaluate the quality of river water in different sub-basins, water quality data was analyzed using water quality index (WQI).

Results and discussion: The results of the evaluation of the distribution of land use patterns showed that the use of pasture is the dominant use in the sub-basin of the Maroon River and the water quality parameters exhibited significant changes in the stations covered by agricultural and forest use. The results of correlation analysis and linear regression

* Corresponding Author: *Email Address.* ildoromi@gmail.com

of water quality parameters and land use patterns in the Maroon River sub-basin showed that agricultural land has a negative relationship with pH and DO parameters and positive relationship with parameters NO_3^- , PO_4^{2-} and Ca^{2+} , forest land has a positive correlation with Do and negative correlation with PO_4^{2-} , and urban land also showed a negative correlation with DO. WQI values in different monitoring stations were estimated between 73.80 and 288.73 which based on this index, the health level of the river upstream of the sub-basin was better than downstream. In general, based on the WQI classification, 62.5% of the water quality of the Maroon River sub-basin was in the "poor" class, 25% in the "very poor" class, and 12.5% in the "good" class.

Conclusion: The findings of the research show that agricultural land was the key factor affecting the water quality parameters and as a result the decrease in water quality in the sub-basin of the Maroon River, so limiting the discharge of runoff from agricultural activities is critical for improving water quality in the study area. This study highlights the importance of LULC changes on water quality for making informed decisions on proper watershed planning and management.

Keywords: land use, water quality monitoring, multivariate statistical techniques, spatial distribution, Maroon River sub-basin