بخش از دورسامانه اطلاعات جغرافیایی منابع طبیعی (سال پانزدهم /شماره اول) بهار ۱۴۰۳
نمایه شده در سایت: پایگاه استنادی علوم جهان اسلام، جهاد دانشگاهی، مگ ایران، نورمگز، سیویلیکا، گوگل اسکولار
آدرس وب سایت : http://girs.iaubushehr.ac.ir

مقاله پژوهشی

بررسی سلامت حوزه آبخیز تالار با استفاده از چارچوب ارزیابی سلامت آبخیز (WHAF)

کاکا شاهدی، بهروز محسنی و بابک مومنی

دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۷ / پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۲۹ / دسترسی اینترنتی: ۰۶/ ۱۴۰۳/۰۴

چکیده

مدیریت یکپارچه آب، زمین و منابع زیستی در یک حوضه، مستلزم آگاهی از سلامت آبخیز است. در این تحقیق، با تقسیم‌بندی حوزه آبخیز تالار به ۳۷ زیر حوضه، شاخص سلامت آن بررسی شد. ابتدا، در هر یک از زیر حوضه‌ها اقدام به انتخاب معیارهای اصلی و مؤثر در میزان سلامت حوضه شد. با در نظر گرفتن ارتباطات و تعاملات بخش‌های تشکیل‌دهنده هر یک از زیر حوضه‌ها، شاخص سلامت در پنج بخش ژئومرفولوژی، کیفیت آب، هیدرولوژی، وضعیت زیستی (غنای گونه‌ای) و پیوستگی هیدرولوژیک ارزیابی شد. زیر حوضه‌های منطقه از نظر هر یک از شاخص‌ها اولویت‌بندی شدند و در پایان نقشه نهایی سلامت از ترکیب تمامی شاخص‌ها به‌دست آمد. شاخص سلامت زیر حوضه‌ها بین ۴۰/۷۹ تا ۷۱/۶۶ متغیر بود.

نتایج نشان داد از نظر شاخص حساسیت به فرسایش، زیر حوضه ۲۳ و ۳۴ به‌ترتیب بیشترین و کمترین امتیاز را دارا هستند. در مورد حساسیت‌پذیری اقلیم، زیر حوضه ۵ دارای بیشترین اختلاف میان بارش و تبخیر- تعرق و اقلیم مرطوب‌تر نسبت به سایر زیر حوضه‌ها است. در مقابل، زیر حوضه ۳۶ دارای حداقل این اختلاف است و اقلیم خشک‌تر است. در بخش کیفیت آب، اغلب زیر حوضه‌ها، در محدوده خوب؛ اما در زیر حوضه‌های دیگر، در محدوده قابل‌قبول تا متوسط قرار گرفتند. با محاسبه امتیاز سلامت معیار هیدرولوژی، نتایج نشان داد زیر حوضه ۳ دارای حداکثر پوشش گیاهی چندساله و زیر حوضه ۳۴ فاقد هرگونه پوشش گیاهی چندساله است. نتایج محاسبات مربوط به غنای گونه‌ای نشان داد که زیر حوضه ۳۴ دارای حداکثر غنای گونه‌ای و بیشترین میزان سلامت و زیر حوضه‌های ۹، ۱۰، ۱۸، ۱۹، ۲۰ و ۲۱ با حداقل امتیاز این شاخص، دارای سلامت کمتری هستند. در شاخص پیوستگی، زیر حوضه ۲ با امتیاز ۲/۰۷ و حداکثر تراکم سازه‌ای، کم‌ترین میزان سلامت و زیر حوضه‌های ۳، ۴، ۶، ۱۱، ۱۲، ۲۲، ۲۳، ۲۵، ۲۸، ۳۳ الی ۳۷ به علت عدم سازه در مسیر رودخانه، بیشترین امتیاز سلامت را به خود اختصاص داده‌اند. در مجموع تعداد ۲۴ زیر حوضه در طبقه ۶۰-۴۰ و در حد متوسط و بقیه زیر حوضه‌ها (تعداد ۱۳ زیر حوضه) در طبقه ۸۰-۶۰ و دارای سلامت زیاد هستند. نتایج پارامترهای ارزیابی سلامت آبخیز برای هر جزء سلامت می‌تواند برای پیشبرد فرآیند برنامه‌ریزی اصلی

کاکا شاهدی[۱]، بهروز محسنی[۲] (✉) و بابک مومنی[۳]

۱. استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی، ساری، ایران

۲. استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات منابع‌طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران.

۳. استادیار گروه مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی؛ ۱۹۳۹۵-۴۶۹۷، تهران، ایران.

DOI: 10.30495/girs.2022.691305

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات : b.mohseni@areeo.ac.ir

آبخیزداری در مقیاس حوضه بر مبنای اهداف مدیریتی خاص مورد استفاده قرار گیرد. همچنین با ترکیب هر یک از پارامترهای فرعی دیگر در آبخیز تالار می‌توان اولویت مناطق را به لحاظ سلامت حوضه تعیین کرد.

پیشینه و هدف

مدیریت یکپارچه آب، زمین و منابع زیستی در یک حوضه، منجر به تأمین آب از منابع آبی موجود در آن حوضه می‌شود. این موضوع به مفهوم آبخیزداری اشاره دارد. حفاظت، بهره‌برداری و مدیریت پایدار منابع آبخیز برای تأمین نیازهای جمعیت روبه رشد در دهه‌های اخیر از اولویت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از اجزای کلیدی استراتژی‌های مدیریت این منابع، افزایش حفاظت از آب‌های سالم (آبخیزهای سالم) است. همچنین یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین بخش‌ها در مدیریت پایدار آبخیز، آگاهی از سلامت آبخیز (Watershed Health) است. دانش سلامت حوضه با یک رویکرد سامانه‌ای به دنبال حفظ اکوسیستم‌های طبیعی از طریق حفاظت از حوضه‌های سالم و جلوگیری از تغییر و اختلال در آن‌هاست. فقدان موضوع سلامت آبخیز در ادبیات آبخیزداری فعلی کشور می‌تواند به‌عنوان یک مشکل اساسی در مدیریت آبخیزها مطرح شود. در ایران شاخصی به‌منظور ارزیابی سلامت آبخیز اندازه‌گیری نمی‌شود و بیشتر شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده، به‌منظور ارائه گزارش‌های زیست‌محیطی بوده است؛ بنابراین با استفاده از این شاخص‌های استاندارد؛ زمینه مدیریت، برنامه‌ریزی و توسعه پایدار آبخیزها فراهم می‌گردد. بر اساس مرور مطالعات انجام‌شده، کلیه شاخص‌های سلامت آبخیز به‌صورت یکجا تابه‌حال بررسی نشدند که این مسئله ارزش تحقیق حاضر را نشان می‌دهد. لذا، موضوع سلامت با توجه به اهمیت و نقش آن در مدیریت آبخیزها به‌طور تمام و کمال در حوزه‌های کشور در نظر گرفته نشده است. آبخیز تالار استان مازندران به‌عنوان یکی از حوضه‌های البرز مرکزی از اهمیت خاصی برخوردار است. هدف از تحقیق حاضر، بررسی سلامت حوزه آبخیز تالار با در نظر گرفتن شاخص‌های استاندارد هیدرولوژی، وضعیت زیستی، پیوستگی، ژئومرفولوژی و کیفیت آب است. هدف دیگر از این مطالعه تعیین مؤثرترین شاخص در منطقه مورد مطالعه و نیز ترکیب شاخص‌های موجود جهت تهیه نقشه جامع سلامت حوضه فوق است.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در حوزه آبخیز تالار استان مازندران انجام‌شده است. آبخیز تالار یکی از آبخیزهای کوهستانی شمال کشور با مساحت ۲۰۵۷ کیلومتر مربع است که در مسیر اصلی جاده تهران- قائم‌شهر واقع‌شده است. این حوضه از غرب به آبخیز بابل رود، از شرق به سیاه رود، از جنوب به آبخیز تجن و از شمال به دشت قائم‌شهر محدود می‌شود. در این مطالعه سعی شده ضمن استفاده از روش اسنادی و جمع‌آوری اطلاعات از منابع مختلف، بازدیدهای مختلف میدانی از نقاط مختلف آن و استفاده از فنّاوری GIS، با در نظر گرفتن شاخص‌های پنج‌گانه سنجش سلامت حوضه طبق روش WHAF (Watershed Health Assessment Framework)، نقشه‌های سلامت هر زیر حوضه ترسیم شوند و هدف اصلی آن تهیه نقشه نهایی سلامت تالار هست. در این پژوهش، ابتدا ۳۷ زیر حوضه تالار بر اساس درجه سلامت آبخیز اولویت‌بندی شدند. سپس جهت ارزیابی سلامت، اقدام به انتخاب شاخص‌های اصلی و مؤثر در میزان سلامت آبخیز مورد مطالعه گردید. این شاخص‌ها به‌عنوان تعاملات بخش‌های تشکیل‌دهنده هر یک از زیر حوضه‌ها برای ارزیابی سلامت در نظر گرفته شدند. شاخص‌های موردبررسی مشتمل بر پنج بخش وضعیت زیستی (غنای گونه‌ای)، پیوستگی هیدرولوژیک، ژئومرفولوژی (حساسیت پذیری خاک به فرسایش و اقلیم)، هیدرولوژی و کیفیت آب بود. درنهایت پس از اولویت‌بندی هر یک از زیر حوضه‌ها و تعیین مؤثرترین عامل در میزان سلامت توسط این شاخص‌ها، نقشه نهایی سلامت حوزه آبخیز تالار از ترکیب کلیه شاخص‌ها تهیه شد.

نتایج و بحث

تحلیل سلامت آبخیز برای هر جزء در ۳۷ زیر حوضه از رودخانه تالار استان مازندران با استفاده از محاسبه نمرات سلامت بر اساس پنج شاخص چارچوب ارزیابی سلامت آبخیز (WHAF) یعنی هیدرولوژی، کیفیت آب، ژئومرفولوژی، پیوستگی و زیستی انجام شد. در این تحقیق یکی از پارامترهای ژئومرفولوژی، حساسیت‌پذیری فرسایش است که به‌عنوان تابعی از حساسیت به تغییر اقلیم تعریف شده است. نتایج نشان داد که زیر حوضه ۲۳، بیشترین امتیاز حساسیت به فرسایش را با توجه به بیشترین درصد شیب و فاکتور فرسایش‌پذیری (K) دارد و کمترین امتیاز آن مربوط به زیر حوضه ۳۴ است. در مورد حساسیت‌پذیری اقلیم، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که زیر حوضه ۵ دارای بیشترین اختلاف

میان بارش و تبخیر- تعرق است و شاید بتوان علت آن‌ها را به نزدیکی بخش‌هایی از این زیر حوضه به دریا نسبت داد و سبب اقلیم مرطوب‌تر نسبت به سایر زیر حوضه‌ها شده است. در مقابل، زیر حوضه ۳۶ دارای حداقل این اختلاف است که بیانگر اقلیم خشک‌تر در این زیر حوضه نسبت به سایرین است. نتایج این پژوهش در بخش کیفیت آب نشان داد که در اغلب زیر حوضه‌ها، کیفیت آب منطقه مورد مطالعه از نظر شرب و با توجه به دیاگرام شولر، در محدوده خوب قرار دارد؛ اما در دوازده زیر حوضه دیگر، به دلیل فعالیت تعداد زیادی از معادن شن و ماسه به‌صورت مجاز یا غیرمجاز در محدوده قابل‌قبول تا متوسط قرار دارند. این امر باعث آلودگی نقطه‌ای بخش اعظمی از منابع آبی پایین‌دست آبخیز تالار می‌شود. در مجموع می‌توان گفت که کیفیت نامناسب آب، استفاده‌های آن را برای اهداف مختلف محدود نموده و ممکن است باوجود منابع آب سطحی فراوان در یک حوضه، کیفیت پایین آن عامل محدودکننده باشد. در این تحقیق، با محاسبه امتیاز سلامت معیار هیدرولوژی مشخص شد که زیر حوضه ۳ دارای حداکثر پوشش گیاهی چندساله و زیر حوضه شماره ۳۴ فاقد هرگونه پوشش گیاهی چندساله است. نتایج محاسبات مربوط به غنای گونه‌ای نشان داد که زیر حوضه ۳۴ نسبت به سایر زیر حوضه‌ها از غنای گونه‌ای بالاتری برخوردار است. حداقل غنای گونه‌ای نیز با توجه به این‌که سلامت اکوسیستم‌ها با افزایش غنای گونه‌ای افزایش می‌یابد مربوط به زیر حوضه‌های ۹، ۱۰، ۱۸، ۱۹، ۲۰ و ۲۱ است که بیانگر سلامت کمتر آن‌ها است. در بحث پیوستگی سازه‌ها به‌عنوان یک معیار مهم و تأثیرگذار بر سلامت حوضه، وجود پُل‌ها و آب‌روها باعث تنگ شدن کانال‌ها و مجراهای طبیعی رودخانه می‌شوند. این عوامل باعث افزایش سرعت آب در زیر پُل و کالورت می‌شوند.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تلفیق کلیه معیارها در این پژوهش نشان داد که زیر حوضه ۳۴ دارای حداکثر سلامت و زیر حوضه ۲۶ دارای حداقل سلامت نسبت به سایر زیر حوضه‌ها است. با توجه به نقشه نهایی سلامت آبخیز، بخش اعظم زیر حوضه‌ها دارای وضعیت متوسط سلامت هستند. در حالت کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد، بخش‌هایی که در معرض عوامل انسانی مانند فعالیت معادن شن و ماسه، تغییر کاربری و فشار بر مراتع از طریق تعداد دام بیش از ظرفیت قرار دارند بر سلامت حوزه تأثیر گذاشته و سلامت آن‌ها را کاهش داده است. با توجه به اینکه کلیه پارامترهای محاسبه‌شده دارای اهمیت بسزایی در شاخص سلامت آبخیز هستند، اما آنچه در این پژوهش به‌عنوان مؤثرترین معیار بر سلامت آبخیز لحاظ شود، معیار پیوستگی است که نسبت به چهار معیار دیگر تأثیرگذاری بیشتری بر اساس نمرات نهایی حاصل از کلیه پارامترها داراست. برای هرچه بهتر مشخص شدن وضعیت سلامت حوضه مورد نظر می‌توان به عوامل تأثیرگذار دیگر بر پایداری حوضه، ازجمله برداشت آب از منابع سطحی و زیرزمینی و انواع تغییرپذیری جریان (مقدار تغییر، فرکانس و مدت پالس حداقل/حداکثر و غیره) اشاره نمود. نتایج پارامترهای ارزیابی سلامت آبخیز برای هر جزء یا معیار سلامت می‌تواند برای پیشبرد فرآیند برنامه‌ریزی اصلی جهت آبخیزداری در مقیاس حوضه بر مبنای اهداف مدیریتی خاص مورداستفاده قرار گیرد. همچنین می‌تواند با هر یک از پارامترهای فرعی دیگر در آبخیز تالار ترکیب شود تا اولویت مناطق را به لحاظ سلامت حوضه تعیین نماید.

واژه‌های کلیدی: پیوستگی، سلامت آبخیز، غنای گونه‌ای، مدیریت یکپارچه، هیدرولوژی.

لطفاً به این مقاله استناد کنید: شاهدی، ک.، محسنی، ب.، مومنی، ب. بررسی سلامت حوزه آبخیز تالار با استفاده از چارچوب ارزیابی سلامت آبخیز (WHAF). نشریه سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۵(۱): ۴۷-۲۰.

مقدمه

مدیریت یکپارچه آب، زمین و منابع زیستی در یک حوضه، منجر به تأمین آب از منابع آبی موجود در آن حوضه می‌شود که این موضوع به مفهوم آبخیزداری اشاره دارد (۱۹). آبخیزداری می‌تواند به‌عنوان فرآیند تصمیم‌گیری یکپارچه و تکرار شونده تعریف شود و در نهایت برای حفظ پایداری منابع از طریق استفاده متعادل و حفاظت از کمیت آب، زمین، پوشش گیاهی و سایر منابع طبیعی در آبخیز به کار گرفته شود. دبی رودخانه‌ها و کیفیت آب آن‌ها، اجزای کلیدی اکوسیستم‌های آبخیز هستند و تعاملات آن‌ها می‌تواند با استفاده از پوشش گیاهی و کاربری اراضی تحت تأثیر قرار گیرد. حفاظت، بهره‌برداری و مدیریت پایدار منابع آبخیز برای تأمین نیازهای جمعیت رو به رشد در دهه‌های اخیر از اولویت ویژه‌ای برخوردار است (۱۲). یکی از اجزای کلیدی استراتژی‌های مدیریت این منابع، افزایش حفاظت از آب‌های سالم (آبخیزهای سالم) است. همچنین، یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین بخش‌ها در مدیریت پایدار آبخیز، آگاهی از سلامت آبخیز (Watershed Health) است. یکی از اجزای کلیدی سلامت آبخیز، توانایی آن برای مقاومت، بازیابی یا سازگاری با اختلالاتی مانند سیل و خشک‌سالی است. به‌طوری‌که درک کامل‌تر از اجزای اکوسیستم آبخیز که بر سلامت آن تأثیر می‌گذارند، برای شناسایی اقدامات مدیریتی به‌منظور حفاظت از آبخیزهای سالم اهمیت دارد. بدون یک سیستم ارزیابی سلامت آبخیز، هرگونه موفقیت در بازیافت پساب‌ها، دچار مشکل خواهد شد و بسیاری از مزایای اقتصادی- اجتماعی سامانه‌های آبخیز سالم از دست خواهند رفت. به‌طورکلی، ارزیابی اجزای اصلی سلامت آبخیز باید ارزیابی محیط طبیعی (وضعیت زیستی)، پیوستگی هیدرولوژیک (تعداد سازه در واحد طول رودخانه)، ژئومرفولوژی، هیدرولوژی و کیفیت آب را در برگیرد (۲). دانش سلامت حوضه با یک رویکرد سامانه‌ای به دنبال حفظ اکوسیستم‌های طبیعی از طریق حفاظت از حوضه‌های سالم و جلوگیری از تغییر و اختلال در آن‌هاست (۷). سازمان حفاظت از محیط‌زیست ایالات‌متحده یا USEPA (United States Environment Protection Agency)، حوضه سالم را به‌عنوان حوضه‌ای تعریف می‌کند که در آن پوشش طبیعی زمین دارای فرآیندهای هیدرولوژیکی و ژئومرفولوژیکی پویا است و تغییرات آن در محدوده طبیعی خود قرار دارد. این تعریف شامل ویژگی‌های متمایز اما مرتبط با اکوسیستم‌های آبی و جهت پایداری و سلامت سامانه‌های آبی است. ازجمله عوامل بررسی چارچوب مفهومی در آبخیزهای سالم عبارت‌اند از؛ شرایط سیمای سرزمین، زیستگاه، هیدرولوژی، ژئومرفولوژی، کیفیت آب و شرایط بیولوژیک (۸). سلامت می‌تواند به‌عنوان انحراف از شرایط پایه با مشاهده تغییرات نسبت به شرایط طبیعی تعریف شود (۲۶). اکوسیستم‌های سالم به‌طور طبیعی پویا هستند و اغلب توانایی حفظ سلامت خود را دارند. بااین‌حال، در بسیاری از اکوسیستم‌ها به دلیل تغییر کاربری اراضی، افزایش بی‌رویه سطح برداشت آب زیرزمینی، ساخت سدها و غیره این رژیم طبیعی دچار اختلال شده است که این مسئله می‌تواند باعث افزایش آسیب‌پذیری آبخیز شود. شاخص‌های سلامت آبخیز برای تعیین کمیت معیارهای سلامت حوضه مورداستفاده قرار می‌گیرند که شرایط کنونی حوضه را نشان می‌دهند (۹). استفاده از شاخص‌های سلامت آبخیز، روشی برای به دست آوردن اطلاعات در مورد تخریب ناشی از آثار انسانی با عوامل طبیعی است (۱۳). این شاخص‌ها، ارزش خاصی را برای حوضه بیان می‌کنند و منعکس‌کننده خواص فیزیکی، بیولوژیکی، اجتماعی و عوامل اساسی مؤثر بر روند سلامت آبخیز هستند (۱٤). جهت ارزیابی سلامت حوضه با روش سامانه‌ای، فرآیندهای زیست‌محیطی به پنج جزء مختلف تقسیم‌بندی شدند. این اجزاء که رویکرد ثابتی را برای بررسی روابط پیچیده مؤثر بر سلامت حوضه فراهم می‌کنند عبارت‌اند از: ۱) وضعیت زیستی (Biological condition)، ۲) پیوستگی (Continuity)، ۳) ژئومرفولوژی (Geomorphology) ٤) هیدرولوژی (Hydrology) و ۵) کیفیت آب (Water Quality). ارزیابی کمی سلامت اکوسیستم‌ها، با استفاده از اصول مدون و انتخاب شاخص‌هایی باهدف حفاظت آب‌وخاک و ساختارهای زیست‌محیطی صورت می‌گیرد (۵).

برخی از مطالعات به‌تازگی پتانسیلی را برای مدیریت مؤثر آبخیز از طریق تجزیه- تحلیل انواع شاخص‌های سلامت ارزیابی کرده‌اند. مطالعات انجام‌شده در خصوص سلامت حوضه به مطالعه جداگانه زیرشاخص‌ها پرداخته و درواقع مطالعات یکپارچه با لحاظ کردن معیارهای پوشش، ژئومرفولوژی، هیدرولوژی و غیره اندک است (۱٤). سانچز و همکاران (۲۰)، با استفاده از ابزار ارزیابی آب‌وخاک (SWAT) و معیارهای اقتصادی- اجتماعی جوامع، به کمک فن‌های خوشه‌بندی- فضایی و تحلیل عاملی- تأییدی در حوزه آبخیز رودخانه Saginaw در میشیگان، رابطه بین شاخص‌های سلامت درون رودخانه (جریان، رسوب و مواد مغذی) را مشخص کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از پیکربندی فن‌های فوق، پیش‌بینی مدل را بهبود می‌بخشد. کوک و همکاران (٤)، روابط پیچیده مؤثر بر سلامت آبخیز را در پنج حوضه در طول مرز ویرجینیا- کنتاکی بررسی کردند. آن‌ها از داده‌های حاصل از یک مطالعه میدانی سه ساله و درجه‌های شاخص شرایط رودخانه ویرجینیا یا VSCI (Virginia Stream Condition Index)، جهت ارزیابی متغیرهای محیطی خاص- محل (کاربری اراضی، معیارهای زیستگاه و پارامترهای کیفیت آب) استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد روش‌هایی که کیفیت آب، هیدرولوژی کوهستان و ساختارهای زیستگاه محلی را بهبود می‌بخشند ممکن است به‌طور هم‌زمان جهت سلامت اکوسیستم آبی ضروری باشند.

سینگ و همکاران (۲۲) شرایط محیطی رودخانه Surrogates آفریقا را از نظر سلامت حوضه مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه آن‌ها از طریق مقایسه سلامت بین پنج حوضه بزرگ آفریقا (کنگو، چاد، نیل، نیجر و زامبزی (Zambezi)) در مقایسه با وضعیت مناطق حفاظت‌شده، جمعیت و نوع پوشش. نشان داد که در هریک از این حوضه‌ها با توجه به مدیریت‌های متفاوت در آن‌ها، وضعیت پوشش گیاهی باهم متفاوت و حوضه کنگو به علت بیش‌ترین جنگل- های حفاظت‌شده، وضعیت بهتری نسبت به سایر حوضه‌ها دارد. دای و همکاران (۵)، درجه سلامت یک حوضه کوچک فرسایش یافته در تپه‌های لُسی شمال Shanxi را به مدت ۲۰ سال در سه مرحله اصلاح، توسعه پایدار و وضعیت حال مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق آن‌ها با ارزیابی سلامت حوضه از ۱۷ فاکتور برای ایجاد یک ساختار سلسله مراتبی نشان داد، اکوسیستم منطقه مورد مطالعه، دارای پایداری نسبی بوده و به- صورت سالانه دارای یک افزایش نسبی است. شاخص سلامت در منطقه مورد مطالعه در سال ۱۹۸۵، ۰/۳۷ و در سال ۲۰۰۳ این شاخص به ۰/۵۷۳ افزایش‌یافته است که این افزایش، نشان‌دهنده موفقیت عملیات توسعه پایدار بوده است. ژیا و همکاران (۲۷)، شاخص‌های زیستی سلامت رودخانه و تأثیر آن بر سلامت حوضه رودخانه Huai چین را ارزیابی کردند. در مطالعه آن‌ها عوامل زیست‌محیطی (آب و هوا، پوشش زمین، ویژگی‌های خاک، هیدرولوژی و کیفیت آب) ارزیابی شدند. در منطقه موردمطالعه مشخص شد که ٤٤ درصد حوضه دارای وضعیت سالم، سلامت ۵۱ درصد کمتر و ۵ درصد باقی‌مانده ناسالم است. با توجه به اهمیت موضوعات مورد مطالعه در دنیا، سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا، تلاش‌های قابل- توجهی را برای حرکت به سمت ارزیابی یکپارچه از سلامت آبخیز انجام داده است (۱).

جهت ارزیابی آبخیزهای مینه‌سوتا و اورگان در آمریکا، ضمن استفاده از ابزار MWAT (Minnesota's Watershed Assessment Tool)، از شاخص‌های هیدرولوژی، ژئومرفولوژی، زیست‌شناسی، اتصال یا پیوستگی و داده‌های کیفیت آب و از طریق تجزیه- تحلیل مستمر براساس یک طبقه‌بندی و ارزیابی شرایط انواع زیستگاه کانال، سلامت آبخیزها را مورد بررسی قرار دادند (۲٤). تحقیقات داخلی انجام‌شده در خصوص سلامت آبخیزها نیز بسیار محدود است.

مؤمنیان و همکاران (۱۷) به ارزیابی و اولویت‌بندی زیر حوضه‌های قطورچای براساس درجه سلامت آبخیز پرداختند. نتایج اولویت‌بندی کلیه شاخص‌ها نشان داد که وضعیت سلامت تمامی زیر حوضه‌ها، متوسط است.

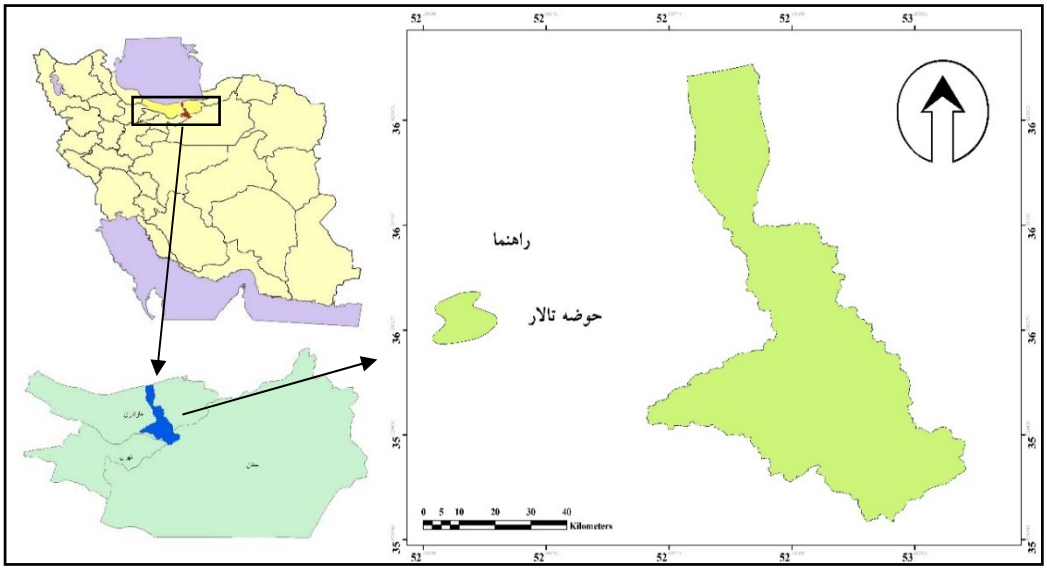
سه‌بری و همکاران (۲۱)، ارزیابی سلامت رودخانه را با استفاده از شاخص‌های زیستی بررسی کردند. آن‌ها پیشنهاد

دادند که از بین شاخص‌های مورد بررسی، دو شاخص HFBI وASPT، که علاوه بر امتیازدهی براساس مقاومت کف زیان، داده‌های کمی جمعیت را نیز مدنظر قرار می‌دهند، قابلیت بهتری جهت ارزیابی دارند. خروشی و همکاران (۱۵)، به ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی شاخص سلامت هیدرولوژیک رودخانه در آبخیزهای استان اردبیل پرداختند. آن‌ها بیان کردند که میزان تغییرات و کاهش درجه سلامت هیدرولوژیک جریان در دوره‌های اخیر، بسیار بیشتر از گذشته بوده است که می‌تواند با افزایش شدت بهره‌برداری از منابع آب سطحی و کاهش آبدهی براثر تغییرات اقلیمی مرتبط باشد. مرور مطالعات انجام‌شده حاکی از آن است که تاکنون تحقیق جامعی برای بررسی تمامی شاخص‌های سلامت آبخیز انجام نشد. با توجه به اهمیت راهبردی حوزه آبخیز تالار در استان مازندران به‌عنوان یکی از حوضه‌های البرز مرکزی، در تحقیق حاضر، سلامت این حوزه آبخیز با در نظر گرفتن شاخص‌های استاندارد هیدرولوژی، وضعیت زیستی، پیوستگی، ژئومرفولوژی و کیفیت آب بررسی می‌شود. هدف دیگر از این مطالعه، تعیین مؤثرترین شاخص در منطقه و ترکیب شاخص‌های موجود جهت تهیه نقشه جامع سلامت حوضه فوق است.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه و ویژگی‌های آن

رودخانه تالار به‌عنوان یکی از جریان‌های مهم حوضه آبریز دریای مازندران بوده که زهکشی آب‌های تولیدی بخشی از دامنه‌های شمالی البرز مرکزی را عهده‌دار است. آبخیز تالار یکی از آبخیزهای شمال کشور با مساحت ۲۰۵۷ کیلومتر مربع است که بخشی از جریان رودخانه در مجاورت مسیر اصلی جاده تهران- قائم‌شهر واقع‌شده است (شکل ۱). این حوضه در حد فاصل طول‌های شرقی (′۳۵ °۵۲ تا ′۲۳ °۵۲) و عرض‌های شمالی (′٤٤ °۳۵ تا ′۱۹ °۳٦) واقع‌شده است که به‌وسیله یک رود اصلی به نام تالار در امتداد جنوب به شمال زهکشی می‌شود. از سرشاخه‌های مهم آن می‌توان به رودخانه‌های سرخ‌آباد، شوراب، کبیر، بزلا، چرات و شش رودبار اشاره کرد. حوضه تالار از غرب به آبخیز بابل‌رود، از شرق به سیاه‌رود، از جنوب به آبخیز تجن و از شمال به دشت قائم‌شهر محدود می‌شود. بلندترین ارتفاع در دورترین نقطه جنوب غرب حوضه، با ارتفاع ۳۹۸۲ و کمترین ارتفاع در خروجی حوضه با ارتفاع ٦۰ متر از سطح دریای آزاد قرارگرفته است. شکل عمومی حوضه، پهن و دارای امتداد شمالی- جنوبی بوده و میانگین ارتفاع آن ۱٦۹۹ متر است (۱۰).



شکل ۱. موقعیت حوزه آبخیز تالار در ایران و استان مازندران

Fig. 1. Location of Talar watershed in Iran and Mazandaran province

تعیین زیر حوضه‌های منطقه مورد مطالعه

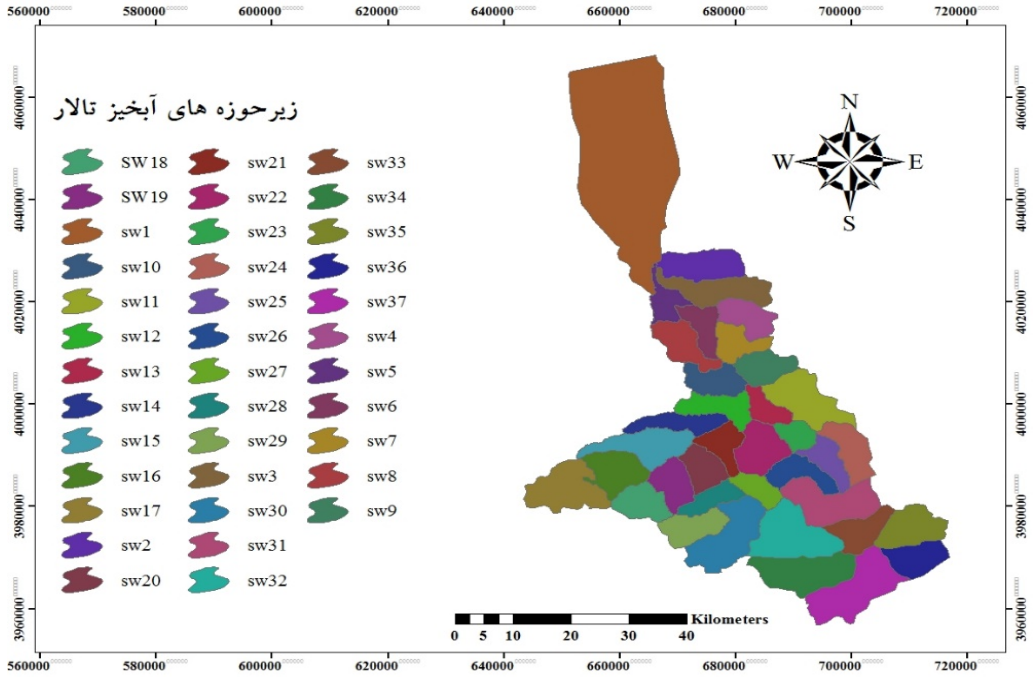
برای تهیه نقشه سلامت حوضه، با استفاده از ابزار Arc Hydro، حوضه تالار به ۳۷ زیر حوضه تقسیم‌بندی شد (شکل ۲). سپس در هریک از بخش‌ها، ارزیابی سلامت انجام شد. در جدول ۱ مشخصات عمومی هر یک از زیر حوضه‌ها ارایه شد.

برای ارزیابی درجه سلامت از پنج مؤلفه ژئومرفولوژی، هیدرولوژی، پیوستگی، کیفیت آب و وضعیت زیستی استفاده شد. در ادامه روش محاسبه هر یک از شاخص‌های مذکور ارائه شده است.

جدول ۱. مساحت زیر حوضه‌های منطقه مورد مطالعه

Table 1. Subwatershed area of study area

کد زیر حوضه	مساحت- km^2	کد زیر حوضه	مساحت- km^2
Sw1	۵۸۸/۲۹	Sw20	۵۰/۱۸
Sw2	۷۶/۲۵	Sw21	٤٥/۸۲
Sw3	۸۱/۷٦	Sw22	٦۹/۹۹
Sw4	۵۳/۷۸	Sw23	۳۰/۰۵
Sw5	۳۷/۳۰	Sw24	٦۱/۲۰
Sw6	٤٤/۷٦	Sw25	٤٤/٤۱
Sw7	٤٦/۷٦	Sw26	۵۰/٦۲
Sw8	٦۰/۵۷	Sw27	۳۵/۰۸
Sw9	۵۳/۱٦	Sw28	۳۸/۳۹
Sw10	۵۳/۵۲	Sw29	۵٦/۸۹
Sw11	٦۹/۵۸	Sw30	۱۱۰/۱٤
Sw12	۵۵/۲۵	Sw31	۱۰۲/۵۹
Sw13	۳۵/۰۷	Sw32	۱۱۷/۵۳
Sw14	۵۲/۰۱	Sw33	۵٦/۲۲
Sw15	۸۵/۲۲	Sw34	۱۰٤/۸۷
Sw16	۹٦/۸۱	Sw35	۷۲/۷۵
Sw17	۹۸/۸۵	Sw36	۵۵/۹۳
Sw18	۵٤/۰۹	Sw37	۱۲۲/٤۷
Sw19	۵۳/۳۵	-	



شکل ۲. زیر حوضه‌های آبخیز تالار

Fig. 2. Subbasins of Talar watershed

شاخص‌های سلامت حوضه

ژئومرفولوژی

ورودی‌های آبخیز (آب، رسوب و مواد آلی) و ویژگی‌های دره (شیب و عرض دره، بستر زمین‌شناسی، خاک و پوشش گیاهی)، شکل یک کانال رودخانه (الگو، پروفایل و ابعاد) را تعیین می‌کنند. برای تعیین شاخص ژئومرفولوژی، نیاز به دو عامل فرسایش‌پذیری خاک و حساسیت‌پذیری اقلیم (براساس محاسبه تبخیر- تعرق) است. فرسایش‌پذیری خاک، پتانسیل نسبی خاک را در برابر اثر رواناب و فرایندهای فرسایش نشان می‌دهد. در این مطالعه، مطابق چارچوب ارزیابی سلامت آبخیز (WHAF) سازمان محیط‌زیست آمریکا، از حاصل‌ضرب طبقه شیب در فرسایش‌پذیری (K) مقدار عامل مذکور محاسبه گردید (۷).

* تعیین تبخیر – تعرق برای محاسبه حساسیت‌پذیری اقلیم

برای برآورد میزان تبخیر – تعرق واقعی سالانه از روش تورک (Turk) براساس رابطه ۱ استفاده شد (٤).

$$E=\frac{P}{[0.9+(\frac{P}{I})^2]^{0.5}} \qquad [۱]$$

که در آن، E؛ تبخیر واقعی سالانه برحسب میلی‌متر، P؛ بارندگی سالانه برحسب میلی‌متر و I؛ عامل مربوط به دمای متوسط سالانه هواست که مقدار آن از رابطه زیر تعیین می‌گردد.

$$I=300+25T + 0.05T^3 \qquad [۲]$$

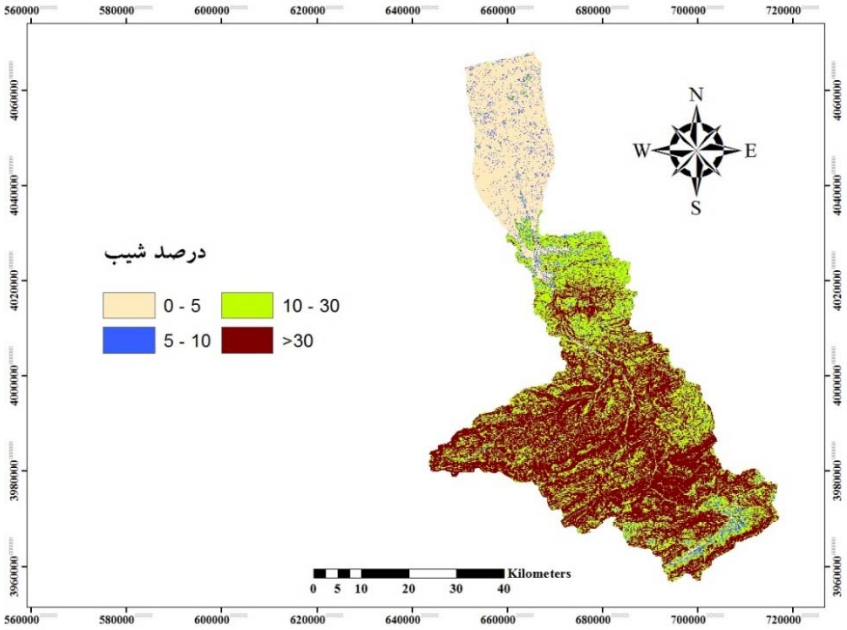
که در آن، T؛ متوسط درجه حرارت سالانه برحسب درجه سانتی‌گراد است. حساسیت‌پذیری اقلیم، رابطه بین تبخیر- تعرق و بارش و نیز شرایط آب و هوایی در سطح منطقه را نشان می‌دهد که این مسئله بر دسترس‌بودن آب تأثیر می‌گذارد. این شاخص با استفاده از رابطه ساده بیلان آب به‌صورت زیر محاسبه شد:

$$V_U=P - ET \qquad [۳]$$

که در آن، Vu؛ حساسیت‌پذیری اقلیم، P؛ میانگین بارش سالانه هر زیر حوضه و ET؛ میانگین تبخیر- تعرق واقعی سالانه است.

* تهیه نقشه شیب برای محاسبه فرسایش‌پذیری خاک

برای تهیه نقشه شیب، از مدل ارتفاع رقومی DEM (Digital Elevation Model) منطقه با دقت مکانی ۳۰ متر استفاده شد. تهیه مدل‌های رقومی ارتفاع که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مختلف یا به شیوهٔ فتوگرامتری از عکس‌های هوایی تهیه می‌شود، نمایش رقومی قسمتی از سطح زمین به‌صورت لایه رستری است که می‌تواند در مدیریت و ارزیابی مدل‌های کمی در زمینه‌های مختلف ازجمله فرسایش خاک مورد استفاده قرار گیرد (۲۸). بر اساس دستورالعمل WAHF، بایستی چهار طبقه شیب برای محاسبه عامل مذکور در نظر گرفته شود (۸). در نرم‌افزار Arc Gis طبقات شیب در چهار کلاس ۵-۰، ۱۰-۵، ۳۰-۱۰ و ۳۰< طبقه‌بندی گردید (شکل ۳). پس از محاسبه عامل فرسایش‌پذیری خاک و تهیه نقشه شیب، رتبه‌بندی امتیاز حساسیت‌پذیری به فرسایش از طریق ضرب امتیاز طبقه شیب (جدول ۲) در مقدار فرسایش‌پذیری (K) هر زیر حوضه انجام شد. جهت تعیین K از منحنی ویشمایر و اسمیت استفاده شد که به این منظور تعداد ۵۸ پروفیل شاهد در حوضه مورد مطالعه با توجه به توپوگرافی منطقه حفر گردید. پس از نمونه‌برداری از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری سطح خاک طبق روش فوق و با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه آزمایشگاهی، عامل فرسایش‌پذیری (K) در هریک از پروفیل‌های مورد مطالعه محاسبه شد.



شکل ۳. نقشه شیب حوزه آبخیز تالار

Fig. 3. Slop map of Talar watershed

جدول ۲. امتیاز طبقات شیب

Table 2. Score of slope classes

امتیاز	شیب (درصد)
۱	۰-۵
۲	۵-۱۰
۳	۱۰-۳۰
٤	>۳۰

کیفیت آب (ارزیابی سلامت زیر حوضه‌ها از نظر کیفیت آب)

به‌طورکلی، کیفیت آب به‌عنوان یکی از عوامل اصلی در استفاده از آب در مصارف شرب، بهداشت، آبیاری و صنعتی توسط پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی ازجمله درجه حرارت، اکسیژن محلول، pH و قلیائیت، مواد مغذی، رسوبات و آلاینده‌ها تعیین می‌شود. نوع سازندهای زمین‌شناسی،

فعالیت‌های انسانی، آلاینده‌های کشاورزی و آب‌وهوا تا حد زیادی بر پارامترهای کیفی آب مورد اندازه‌گیری برای تعیین سلامت رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و برکه‌ها تأثیرگذار است. براین اساس از نظر منابع نقطه‌ای، شاخص کیفی آب با استفاده از دیاگرام شولر و برای آب شرب در آبخیز تالار مورد بررسی قرار گرفت. این بررسی با استفاده از برنامه کیفیت منابع آب Chemistry و در ۵ ایستگاه هیدرومتری موجود در منطقه با دوره آماری مشترک (۱۳۹۷-۱۳۸۱) انجام شد.

تعیین کیفیت آب شرب براساس دیاگرام نیمه‌لگاریتمی شولر، در سال ۱۹۳۵ تهیه و توسط Berkaloff در سال ۱۹۳۸ و ۱۹۵۲ تجدیدنظر و سپس توسط اداره زمین‌شناسی و معادن فرانسه مرسوم گردید. همانطور که ذکر شد، در این پژوهش داده‌های کیفی آب در حوضه مورد مطالعه با دوره آماری ۱۷ ساله (۱۳۸۱-۱۳۹۷) از ایستگاه‌های کیفیت‌سنجی آب منطقه‌ای مازندران جمع‌آوری گردید. ۵ ایستگاه کیاکلا، شیرگاه- تالار، آلاشت، پالندرودبار و خطیر کوه که دارای دوره آماری مشترک بودند جهت انجام محاسبات مربوط به کیفیت آب انتخاب شدند.

وضعیت زیستی (ارزیابی سلامت زیر حوضه‌ها از نظر زیستی)

گیاهان به‌عنوان یکی از اکوسیستم‌های زیست‌محیطی، نقش بسزایی در سلامت آبخیز ایفا می‌کنند. براین اساس، تنوع گیاهی یکی از موضوعات مهم اساسی در اکولوژی جوامع بوده که در رابطه با کاهش و زوال گونه‌ای، فواید تولید در اکوسیستم و حفظ علفزارهای غنی از گونه‌های بومی عمل می‌کند (۳). به جهت محاسبه این شاخص، می‌توان از شاخص غنای منهینیک یا MDI (Menhenik Diversity Index) و شاخص تنوع مارگالف (Margalef) استفاده کرد. در منطقه مورد مطالعه برای هر زیر حوضه، یک مقدار از غنای گونه‌ای بر اساس شاخص موردنظر با استفاده از نرم‌افزار PAST محاسبه گردید.

* محاسبه غنای پوشش گیاهی

تراکم گونه‌ای، عمومی‌ترین راه اندازه‌گیری غنای گونه‌ای است و مورد تأیید گیاه‌شناسان نیز است (۱۷). ازجمله شاخصی که بر اساس تعداد گونه‌ها و تعداد کل افراد در مورد تمام گونه‌ها معرفی‌شده است می‌توان به شاخص منهینیک اشاره کرد که در رابطه زیر نشان داده‌شده است.

$$D_{Mn}=\frac{S}{\sqrt{N}} \qquad [٤]$$

که در آن، S؛ تعداد کل گونه‌ها و N؛ حجم یا اندازه نمونه با تعداد کل افراد در نمونه است. برای تعیین معیار مذکور در فصل رویش گیاهان، اقدام به استقرار پلات جهت تعداد گونه در واحد سطح باهدف محاسبه غنای گونه‌ای شد (۳). به این منظور در هر زیر حوضه، سایتی که معرف پوشش گیاهی باشد انتخاب گردید و تعداد ٦ پلات در منطقه معرف هر زیر حوضه موردبررسی قرار گرفت. امتیازدهی به این شاخص با توجه به مقدار محاسبه‌شده از شاخص غنای منهینیک و شاخص تنوع مارگالف صورت گرفت. به این معنا که هرچه مقدار غنا و تنوع محاسبه‌شده بالاتر باشد، امتیاز بالاتری به آن زیر حوضه تعلق می‌گیرد و زیر حوضه‌ای که مقدار شاخص محاسبه‌شده برای آن پایین‌تر باشد، از امتیاز کمتری برخوردار است (۷).

هیدرولوژی (ارزیابی سلامت زیر حوضه‌ها از نظر هیدرولوژی)

هیدرولوژی آبخیز توسط فرآیندهای اقلیمی، ویژگی‌های سطحی و زیرسطحی مانند توپوگرافی، پوشش گیاهی، زمین‌شناسی و فعالیت‌های انسانی مانند آب و کاربری اراضی هدایت می‌شود. فرآیندهای آشفته طبیعی برای ایجاد رژیم‌های هیدرولوژیکی (جریان رودخانه‌ها، تراز آب دریاچه‌ها و سامانه‌های آب زیرزمینی) در یک محدوده طبیعی تنوع حیاتی است و به فرآیندهای مهم زیست‌محیطی مانند ایجاد زیستگاه و به یک حوضه سالم که در آن پوشش طبیعی زمین دارای چنین فرآیندهایی است منجر می‌شود. در این راستا طبق روش WAHF، اندازه‌گیری شاخص هیدرولوژی از طریق پارامترهایی چون پوشش گیاهی چندساله، سطوح غیرقابل نفوذ، برداشت

آب و تلفات ذخیره می‌تواند در سنجش سلامت حوضه‌ها نقش بسزایی ایفا کند.

* سطوح غیرقابل نفوذ

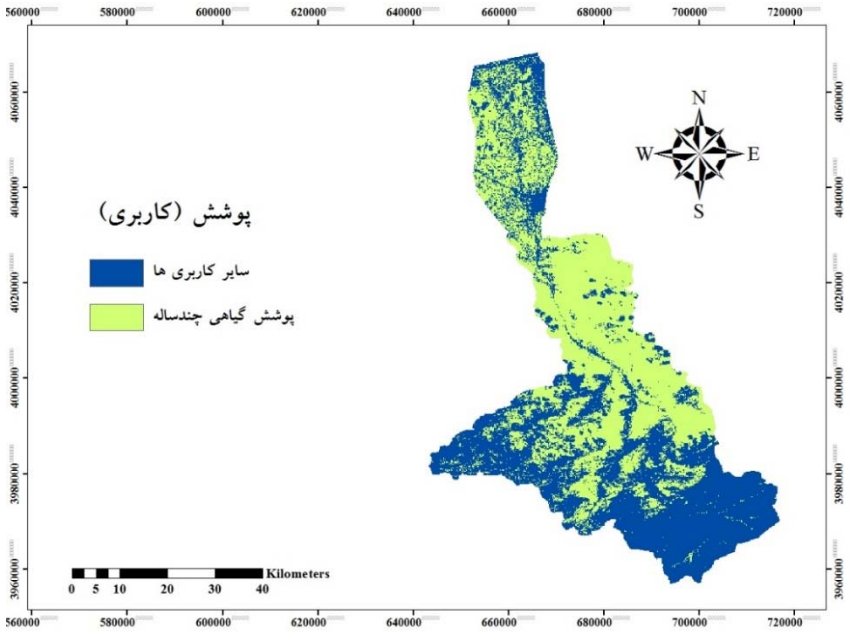
توسعه سطوح غیرقابل نفوذ با جلوگیری از نفوذ آب و افزایش پتانسیل سیل‌خیزی، ضمن افزایش سرعت جریان آب روی سطح زمین، در نهایت سبب افزایش حمل رسوبات می‌شود (۲٤). باتوجه به اهیمت این موضوع، در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار Google Earth، سطوح غیرقابل نفوذ شامل جاده‌ها و مناطق شهری و روستایی به‌صورت پلی‌گون‌هایی ترسیم و سپس در محیط Arc Gis نقشه سطوح غیرقابل نفوذ تهیه گردید.

* پوشش گیاهی چندساله

برای تهیه نقشه تراکم پوشش گیاهی از شاخص پوشش گیاهی تحت عنوان NDVI یا شاخص نرمال اختلاف پوشش گیاهی (Normalized Difference Vegetation Index) برای پایش تغییرات پوشش گیاهی منطقه استفاده گردید. این شاخص با ارزش عددی ۱+ تا ۱- است که از ترکیب باندهای ٤ (قرمز) و ۵ (مادون‌قرمز نزدیک) از روی تصویر ماهواره‌ای قابل محاسبه است (۱۱). بدین منظور برای تهیه نقشه فوق با دقت بالا، از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ سال ۲۰۱۹ مربوط به منطقه مورد مطالعه با حداقل پوشش ابری استفاده شد. سپس بر اساس رابطه ٤، باندهای مورد نظر (باند ٤ رنگ قرمز و باند ۵ نزدیک مادون قرمز) در محیط Arc Gis با کمک Raster Calculator ترکیب و اقدام به تهیه تصویر NDVI با ارزش عددی مورد نظر شد و با روش طبقه‌بندی نظارت‌شده (شدت حداکثر احتمال) نقشه پوشش گیاهی آبخیز تالار برای دو کلاس پوشش گیاهی چندساله و سایر کاربری‌ها طبقه‌بندی گردید (شکل ٤). در نهایت، مساحت پوشش گیاهی چندساله در هریک از زیر حوضه‌ها محاسبه و با استفاده از رابطه ۵، درصد پوشش گیاهی هر زیر حوضه محاسبه گردید.

$$NDVI_{Landsat8}=Float\ (Band5-Band4)/Float(Band5+Band4) \quad [۵]$$

$$\text{درصد پوشش گیاهی چند ساله} = \frac{\text{مساحت پوشش گیاهی چندساله در هر زیرحوضه}}{\text{مساحت کل زیرحوضه}} \quad [٦]$$



شکل ٤. پوشش گیاهی چندساله حاصل از پردازش تصویر ماهواره‌ای لندست (۲۰۱۹) آبخیز تالار

Fig. 4. Perennial vegetation resulting from Landsat satellite image processing (2019) of Talar Watershed

* تلفات ذخیره

تلفات ذخیره، متوسط دو عامل "تلفات مناطق باتلاقی" و فاکتور "پهنه آبی تغییریافته" است. تغییرات، اغلب برای کانال‌های رودخانه‌ها، جریان یا مسیرهای زهکشی و به‌طورمعمول برای بهبود زهکشی، جابجایی کانال یا افزایش ظرفیت حمل سیل در کانال‌ها ایجاد می‌شوند. دو مورد برای حفظ ظرفیت حمل سیلاب از یک پهنه آبی تغییریافته وجود دارد. پهنه آبی تغییریافته یا جابجا شده باید از ظرفیت یکسان یا بیشتری به‌عنوان پهنه آبی اصلی برخوردار باشد. علاوه بر این، پس از ایجاد تغییر، باید باگذشت زمان، ظرفیت پهنه آبی تغییریافته یا جابجا شده حفظ شود. برای محاسبه فاکتور پهنه آبی تغییریافته (یا تلفات ذخیره کانال) می‌توان از نسبت طول پیچان‌رودهای دائمی به‌کل طول رودخانه استفاده شد. با استفاده از نرم‌افزار Google Earth، پیچان‌رودهای دائمی شناسایی گردید و پس از صحت‌سنجی آن‌ها، اقدام به محاسبه پهنه آبی تغییریافته در محیط GIS شد. فاکتور تلفات مناطق باتلاقی نیز

بر اساس نسبت سطح یا مساحت باقی‌مانده پهنه‌های آبی (آب‌بندان‌ها) به‌کل سطح آبخیز محاسبه گردید.

پیوستگی (ارزیابی سلامت زیر حوضه‌ها از نظر پیوستگی)

* تهیه نقشه موقعیت سازه‌های موجود در منطقه

در آبخیز تالار، سه سد احداث‌شده است. تعداد پل‌های موجود در منطقه و موقعیت آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار Google Erath جمع‌آوری و صحت آن‌ها از طریق بازدید میدانی کنترل شد. بر اساس گزارش انجام‌شده توسط اداره مطالعات منابع‌طبیعی استان مازندران، در آبخیز تالار تعداد ۲۶۵ بند اصلاحی احداث شد که این بندها از نوع گابیونی، سنگی‌ملاتی و خشکه‌چین با اهداف رسوب‌گیری، تثبیت بستر و مهار سیل بوده است که نقشه سازه‌های مذکور در ارزیابی پیوستگی جریان مورد استفاده قرار گرفته است (۱۸). از بین رفتن تعادل پایین‌دست، تخریب را به دنبال خواهد داشت. به دلیل از دست‌دادن رسوب، شدت تخریب در پایین‌دست بیشتر می‌شود (۲۳). حداکثر تراکم سازه‌های مکانیکی به‌عنوان حداقل امتیاز سلامت از نظر شاخص پیوستگی در نظر گرفته شد.

محاسبه شاخص سلامت کل حوضه

پس از محاسبه کلیه شاخص‌ها، نقشه کلی سلامت حوضه از نظر تمامی معیارهای محاسبه‌شده تهیه شد. بدین منظور ابتدا همه معیارها با روش استانداردسازی فاصله‌ای (Interval standardisation) بر اساس امتیاز ۱۰۰-۰ استانداردسازی شدند. معیارها به دو گروه از نوع منفعت یا هزینه تقسیم شده و از روابط ۷ (سلامت) و ۸ (اثر معکوس) متناسب با هر گروه برای استانداردسازی مقادیر بهره گرفته شد (۱۶).

$$\text{Standard score: } \frac{\text{Score-lowest score}}{\text{highest score-lowest score}} \qquad [۷]$$

$$\text{Standard score:} 100 - \frac{\text{Score-lowest score}}{\text{highest score-lowest score}} \qquad [۸]$$

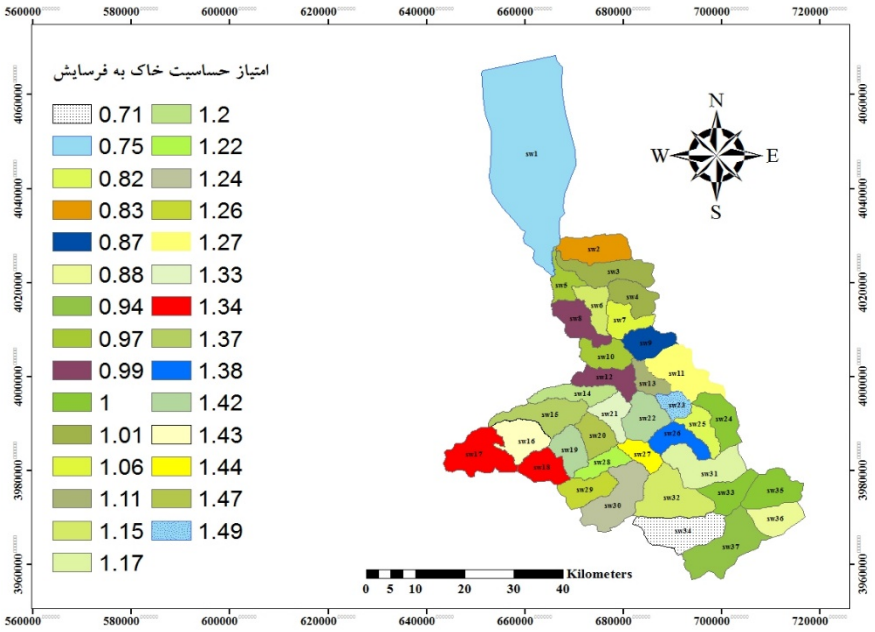
که در آن‌ها؛ Score امتیاز هر معیار، lowest score حداقل امتیاز در هر گروه و highest score حداکثر امتیاز در گروه موردنظر هستند. در برخی از شاخص‌ها (به‌عنوان مثال عامل فرسایش‌پذیری) با افزایش مقدار عددی آن‌ها، امتیاز سلامت کاهش می‌یابد. در مقابل، در برخی دیگر از شاخص‌ها (شاخص غنای گونه‌ای) با افزایش مقدار عددی آن‌ها، امتیاز سلامت افزایش می‌یابد. بنابراین منطقی نیست که اینگونه امتیازها با همدیگر جمع گردد و جهت جلوگیری از این اشتباه در انجام محاسبات، اثر شاخص‌های مورد نظر به‌صورت معکوس اعمال گردید (۱۷). در نهایت بر اساس مطالعات انجام‌شده توسط سازمان محیط‌زیست آمریکا (۸) ، با امتیازدهی در ۵ طبقه ۲۰-۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰، ۸۰-۶۰ و ۱۰۰-۸۰ به ترتیب بر اساس سلامت خیلی ضعیف، ضعیف، متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد، نقشه نهایی سلامت حوضه از طریق تلفیق کلیه معیارها تهیه شد. هرچه مقدار عددی پارامترهای مورد نظر بالاتر باشد، سلامت حوضه افزایش می‌یابد.

نتایج

ارزیابی سلامت زیر حوضه‌ها از نظر ژئومرفولوژی

❋ حساسیت‌پذیری به فرسایش

نقشه سلامت آبخیز از نظر حساسیت‌پذیری خاک به فرسایش در هر زیر حوضه در شکل ۵ آورده شده است. بر اساس شکل ۵، زیر حوضه شماره ۳٤ با امتیاز ۰/۷۱ از کمترین حساسیت‌پذیری به فرسایش نسبت به سایر زیر حوضه‌ها برخوردار است که در این شاخص (همانطور که پیشتر در روش تحقیق ذکر شد) این امتیاز به‌معنی بیشترین میزان سلامت حوضه است. زیر حوضه شماره ۲۳ نیز با امتیاز ۱/٤۹ حداکثر حساسیت‌پذیری به فرسایش را دارد و به معنی کمترین میزان سلامت است.



شکل ۵. امتیاز سلامت زیر حوضه‌های آبخیز تالار از نظر حساسیت‌پذیری خاک به فرسایش

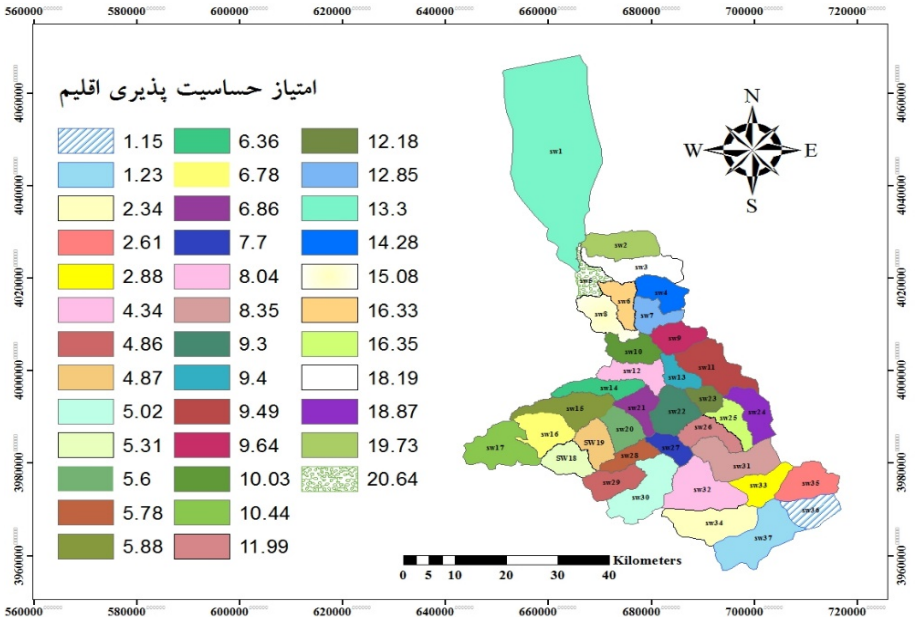
Fig. 5. Health score of Talar Subwatersheds in terms of soil sensivity to erosion

❋ حساسیت‌پذیری اقلیم

نقشه نهایی سلامت آبخیز از نظر حساسیت‌پذیری اقلیم در هر زیر حوضه در شکل ٦ آورده شده است. زیر حوضه شماره ۵ با امتیاز ۲۰/٦٤ دارای حداکثر حساسیت‌پذیری اقلیم نسبت به سایر زیر حوضه‌هاست که برابر با بیشترین رطوبت در منطقه است و زیر حوضه شماره ۳٦ با امتیاز ۱/۱۵ دارای حداقل حساسیت‌پذیری اقلیم نسبت به سایر زیر حوضه‌ها است که برابر با کمترین مقدار رطوبت در منطقه است.

ارزیابی سلامت زیر حوضه‌ها از نظر کیفیت آب

با توجه به موقعیت ایستگاه‌ها در حوضه مورد مطالعه که در شکل ۷ نشان داده شد، مقادیر اندازه‌گیری‌شده در هریک از ایستگاه‌ها به زیر حوضه‌های بالادست آن ایستگاه تعمیم داده شد. در این راستا سعی شده است از ایستگاه‌های موجود برای تحت پوشش قراردادن حداکثری تمامی زیر حوضه‌ها استفاده شود. نتایج دیاگرام شولر در شکل ۸ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود به‌ترتیب از پایین‌دست تا بالادست حوضه تالار، در چهار ایستگاه کیاکلا، شیرگاه، آلاشت و پالندرودبار، پارامترهای کیفی آب در دیاگرام شولر دارای کیفیت خوب و در ایستگاه خطیر کوه به دلیل وجود معادن شن و ماسه در محدوده قابل‌قبول تا متوسط قرار دارند.

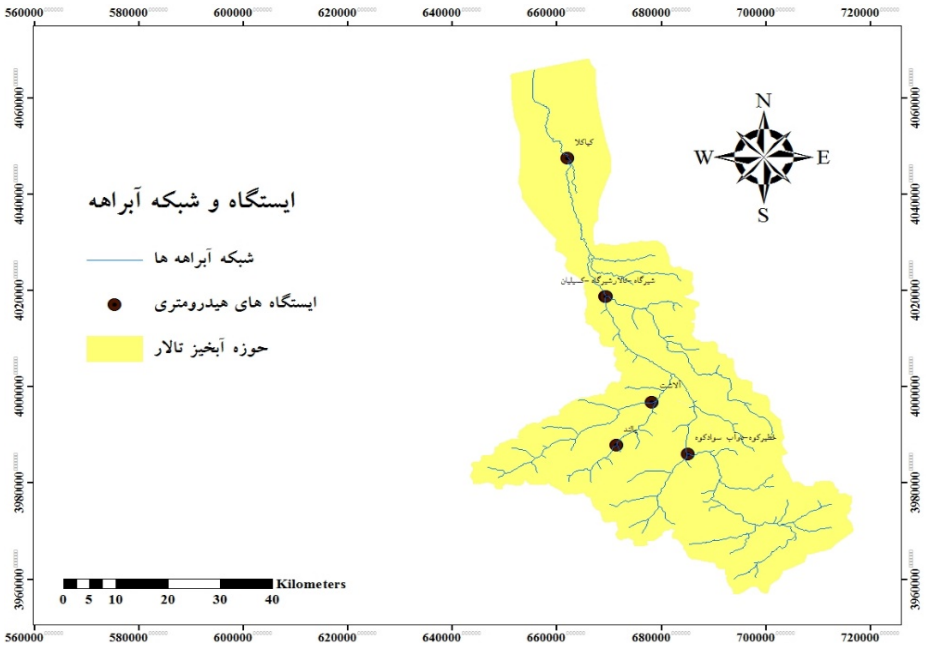


شکل ٦. امتیاز سلامت زیر حوضه‌های آبخیز تالار از نظر حساسیت‌پذیری اقلیم

Fig. 6. Health score of Talar Subwatersheds in terms of climate sensivity

❋ حساسیت‌پذیری اقلیم

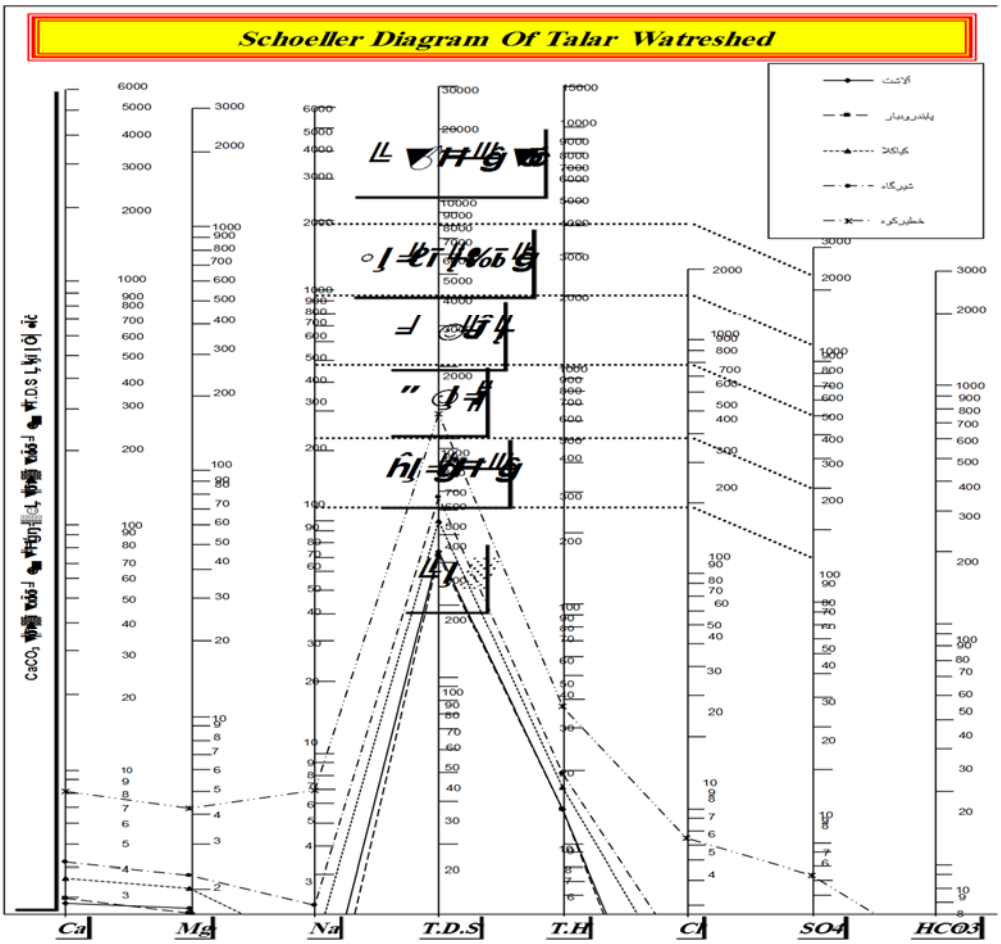
نقشه نهایی سلامت آبخیز از نظر حساسیت‌پذیری اقلیم در هر زیر حوضه در شکل ٦ آورده شده است. زیر حوضه شماره ٥ با امتیاز ٢٠/٦٤ دارای حداکثر حساسیت‌پذیری اقلیم نسبت به سایر زیر حوضه‌هاست که برابر با بیشترین رطوبت در منطقه است و زیر حوضه شماره ٣٦ با امتیاز ١/١٥ دارای حداقل حساسیت‌پذیری اقلیم نسبت به سایر زیر حوضه‌ها است که برابر با کمترین مقدار رطوبت در منطقه است.



شکل ٧. موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری زیر حوضه‌های آبخیز تالار

Fig. 7. Loacation of hydrometery stations on Talar subwatersheds

براساس شکل ۸، با افزایش مقدار پارامترهای مورد نظر، در حقیقت، سلامت حوضه به لحاظ کیفیت آب کاهش می‌یابد. پس از تهیه نقشه‌های مربوط به هر پارامتر شولر و میانگین-گیری آن‌ها توسط Raster Calculator، یک نقشه واحد تحت عنوان نقشه امتیاز سلامت آبخیز از نظر کیفیت آب (منابع نقطه‌ای) به‌دست آمد (شکل ۹). با توجه به این شکل، زیر حوضه‌های شماره ۱۸ و ۱۹ با محوریت ایستگاه پالندرودبار، بیشترین سلامت و پس‌ازآن زیر حوضه‌های مربوط به بالادست ایستگاه خطیر کوه (۲۶ الی ۳۷) دارای کمترین سلامت از نظر پارامترهای دیاگرام شولر هستند. بخش اعظم زیر حوضه‌ها از نظر کیفیت آب براساس پارامترهای دیاگرام شولر در طبقه خوب قرار دارند، اما از نظر مقایسه زیر حوضه‌ها با یکدیگر اختلاف دارند.



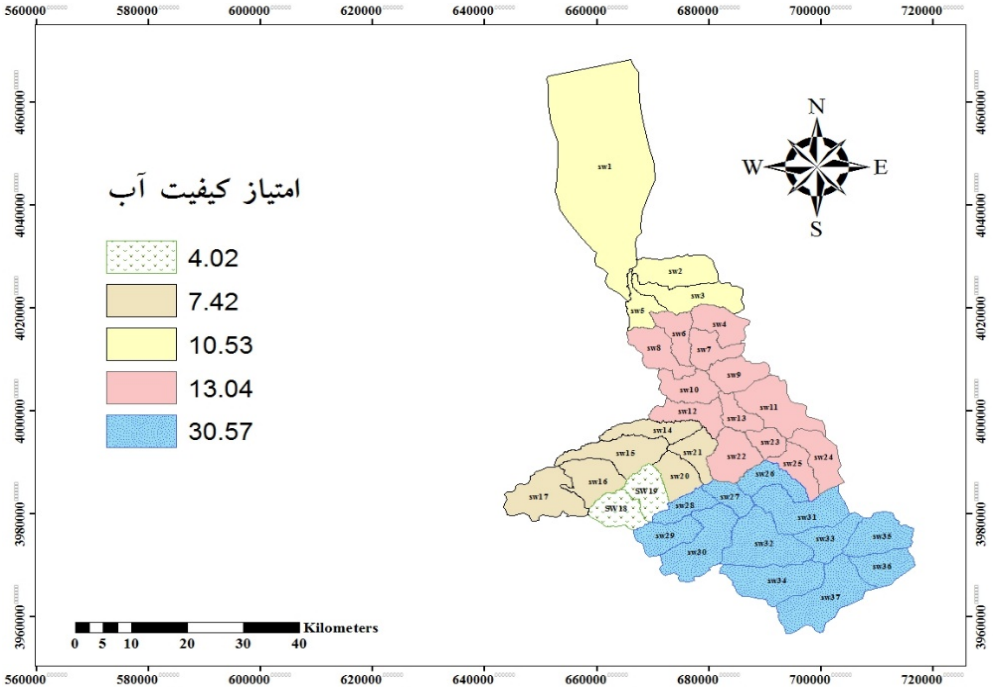
شکل ۸. نتایج کیفی آب در ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه براساس دیاگرام شولر

Fig. 8. Water quality results in the study area stations based on Schoeller Diagram

ارزیابی سلامت زیر حوضه‌ها از نظر زیستی

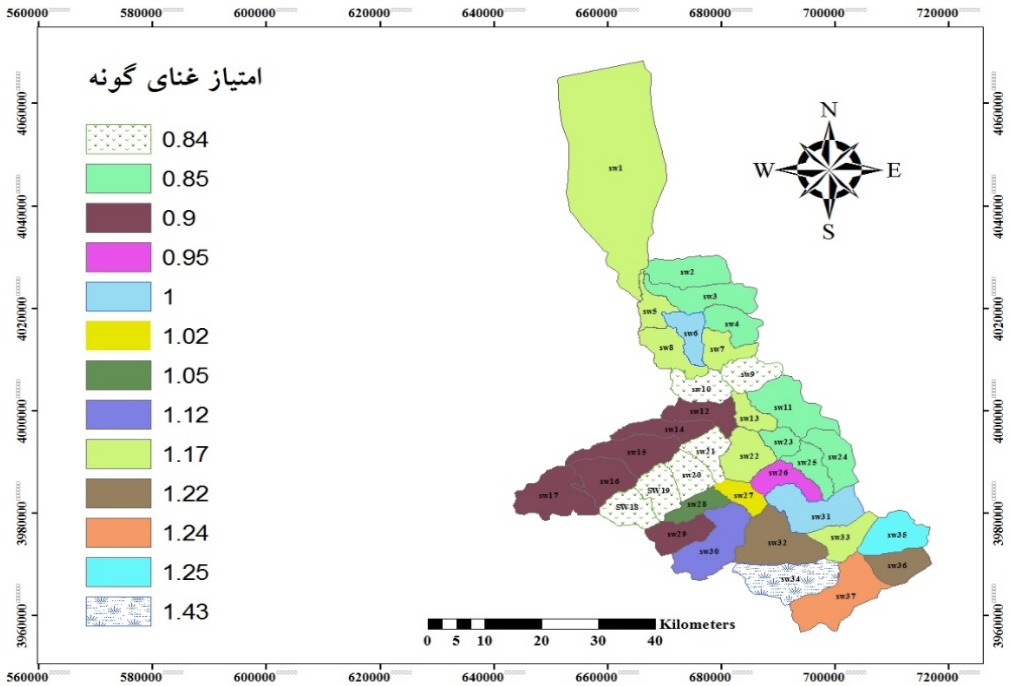
همان‌طور که در بخش مواد و روش‌ها اشاره شد، جهت ارزیابی تنوع زیستی از دو شاخص غنای گونه‌ای منهیتیک و مارگالف استفاده شد. پس از ورود داده‌ها در محیط اکسل برای تجزیه وتحلیل داده‌ها، مقادیر در نرم‌افزار PAST وارد شد و درنهایت شاخص غنا گونه‌ای به‌شرح جدول ۳ در هر یک از زیر حوضه‌ها محاسبه گردید. طبق جدول، زیر حوضه‌هایی که عدد بیشتری از شاخص منهیتیک و مارگالف را به خود اختصاص داده امتیاز بالاتری داشته و از سلامت بیشتری برخوردارند و بالعکس زیر حوضه‌هایی که عدد پایین‌تری از

این دو شاخص را به خود اختصاص داده‌اند امتیاز کمتری داشته و از سلامت کمتر برخوردارند. بنابراین با توجه به جدول زیر و شکل ۱۰، زیر حوضه‌های ۹، ۱۰، ۱۸، ۱۹، ۲۰ و ۲۱ کمترین امتیاز و زیر حوضه ۳٤ بیشترین امتیاز را دارا است.



شکل ۹: امتیاز سلامت زیر حوضه‌های آبخیز تالار از نظر معیار کیفیت آب (پارامترهای شولر)

Fig. 9. Health score of Talar Subwatersheds in terms of water quality (Schoeller parameters)



شکل ۱۰. امتیاز سلامت زیر حوضه‌های آبخیز تالار از نظر شاخص غنای گونه‌ای

Fig. 10. Health score of Talar Subwatersheds in terms of species richness index

جدول ۳. امتیاز غنای گونه‌ای محاسبه‌شده با روش منهینیک و مارگالف

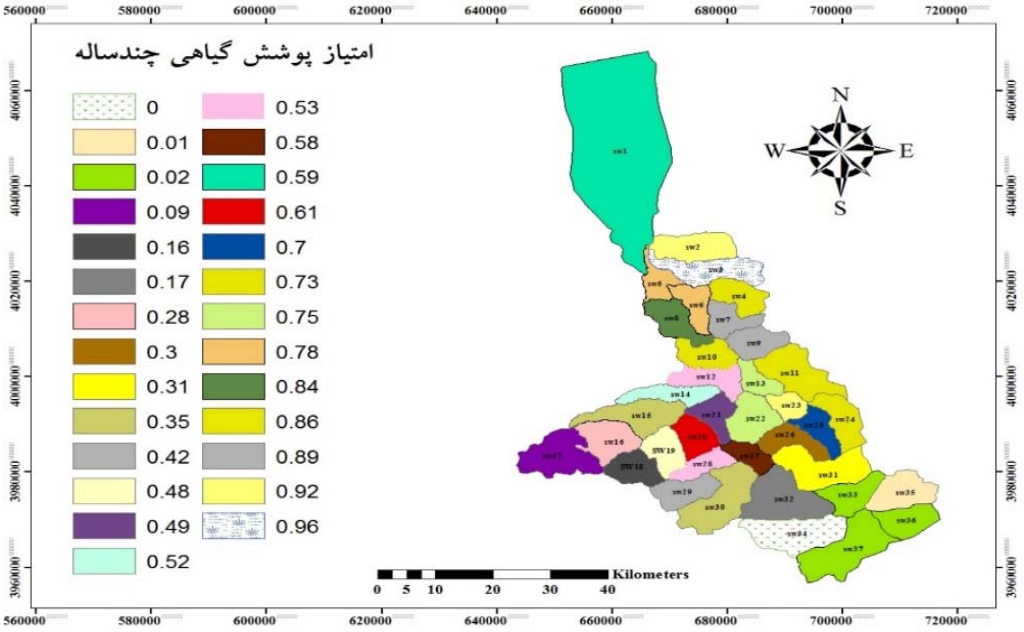
Table 3. Score of species richness index with Menhenik and Margalef methods

کد زیر حوضه	غنای گونه‌ای		کد زیر حوضه	غنای گونه‌ای	
	منهینیک	مارگالف		منهینیک	مارگالف
Sw1	۱/۱۷	۱/۴۳	Sw20	۰/۸۴	۱/۲۳
Sw2	۰/۸۵	۱/۲۷	Sw21	۰/۸۴	۱/۲۳
Sw3	۰/۸۵	۱/۲۷	Sw22	۱/۱۷	۱/۴۳
Sw4	۰/۸۵	۱/۲۷	Sw23	۰/۸۵	۱/۲۷
Sw5	۱/۱۷	۱/۴۳	Sw24	۰/۸۵	۱/۲۷
Sw6	۱/۰۰	۱/۳۵	Sw25	۰/۸۵	۱/۲۷
Sw7	۱/۱۷	۱/۴۳	Sw26	۰/۹۵	۱/۳۶
Sw8	۱/۱۷	۱/۴۳	Sw27	۱/۰۲	۱/۰۴
Sw9	۰/۸۴	۱/۲۳	Sw28	۱/۰۵	۱/۳۷
Sw10	۰/۸۴	۱/۲۳	Sw29	۰/۹	۱/۳۲
Sw11	۰/۸۵	۱/۴۳	Sw30	۱/۱۲	۱/۴۹
Sw12	۰/۹	۱/۳۲	Sw31	۱/۰۰	۱/۴۵
Sw13	۱/۱۷	۱/۴۳	Sw32	۱/۲۲	۱/۴۵
Sw14	۰/۹	۱/۳۲	Sw33	۱/۱۷	۱/۵۲
Sw15	۰/۹	۱/۳۲	Sw34	۱/۴۳	۱/۶۹
Sw16	۰/۹	۱/۳۲	Sw35	۱/۲۵	۱/۶۰
Sw17	۰/۹	۱/۳۲	Sw36	۱/۲۲	۱/۵۸
Sw18	۰/۸۴	۱/۲۳	Sw37	۱/۲۴	۱/۵۵
Sw19	۰/۸۴	۱/۲۳			

ارزیابی سلامت زیر حوضه‌ها از نظر هیدرولوژی

* پوشش گیاهی چندساله

مطابق آنچه در روش تحقیق ذکر شد، نقشه نهایی سلامت آبخیز از نظر پوشش گیاهی چندساله هر زیر حوضه در شکل ۱۱ آورده شده است. با توجه به این شکل زیر حوضه شماره ۳ با امتیاز ۰/۹۶ درصدی مساحت، از حداکثر پوشش گیاهی چندساله نسبت به سایر زیر حوضه‌ها برخوردار است که برابر با بیشترین میزان سلامت حوضه است. زیر حوضه شماره ۳۴ فاقد پوشش گیاهی چندساله بوده که حداقل مساحت و کمترین میزان سلامت را در بین زیر حوضه‌های مورد مطالعه دارا است.

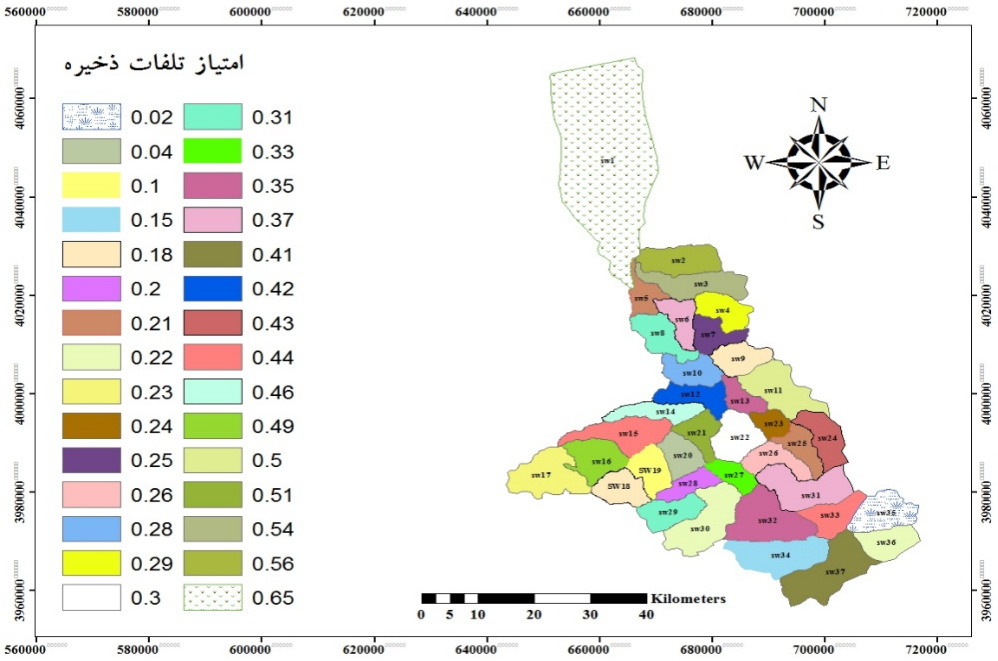


شکل ۱۱. امتیاز سلامت زیر حوضه‌های آبخیز تالار از نظر معیار هیدرولوژی (پوشش گیاهی چندساله)

Fig. 11. Health score of Talar Subwatersheds in terms of hydrology (perennial vegetation cover

❋ تلفات ذخیره

نقشه سلامت آبخیز به لحاظ مقدار تلفات ذخیره (متوسط تلفات مناطق باتلاقی و فاکتور پهنه آبی تغییریافته) در هر زیر حوضه در شکل ۱۲ آورده شده است. با توجه به شکل، زیر حوضه شماره ۱ با امتیاز ۰/٦۵ بیشترین مقدار تلفات که بیانگر کمترین میزان سلامت آن است و زیر حوضه شماره ۳۵ نیز با امتیاز ۰/۰۲، کمترین مقدار تلفات و بیشترین سلامت را به خود اختصاص داده است.

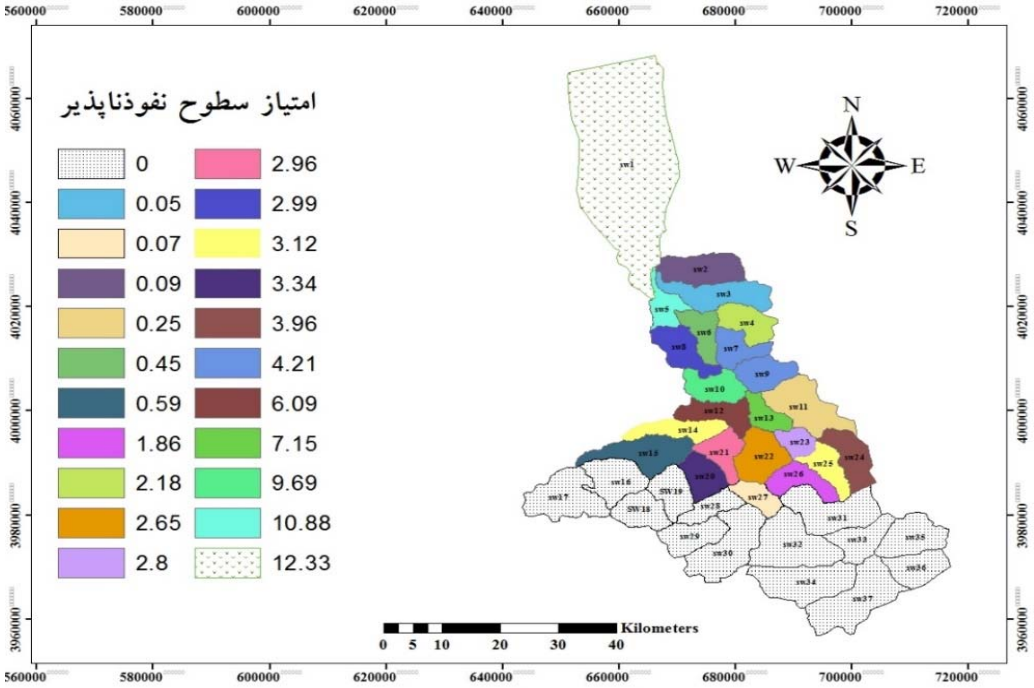


شکل ۱۲. امتیاز سلامت زیر حوضه‌های آبخیز تالار از نظر معیار هیدرولوژی (تلفات ذخیره)

Fig. 12. Health score of Talar Subwatersheds in terms of hydrology (storage losses)

* سطوح غیرقابل نفوذ

سطوح غیرقابل نفوذ مانند جاده‌ها، ساختمان‌ها و غیره مانع از نفوذ جریان می‌شوند که این امر سبب افزایش جریان سطحی و در پی آن نیز افزایش سرعت آن می‌شود، که افزایش رسوبات حمل شده را به دنبال خواهد داشت (۲۴). نقشه سلامت آبخیز از نظر شاخص سطوح غیرقابل نفوذ در هر زیر حوضه در شکل ۱۳ آورده شده است. با توجه به این شکل، زیر حوضه‌های ۱۶ تا ۱۸ و اغلب زیر حوضه‌های بالادست یعنی زیر حوضه‌های ۲۸ الی ۳۷، فاقد هرگونه سطوح غیرقابل نفوذ نسبت به سایر زیر حوضه‌ها هستند که برابر با بیشترین میزان سلامت حوضه است. اما زیر حوضه شماره ۱ با امتیاز ۱۲/۳۳ درصد از مساحت کل آن، حداکثر سطوح غیرقابل نفوذ را داراست و کمترین میزان سلامت نیز نسبت به سایر، مربوط به این زیر حوضه است.



شکل ۱۳. امتیاز سلامت زیر حوضه‌های آبخیز تالار از نظر معیار هیدرولوژی (درصد سطوح غیرقابل نفوذ)

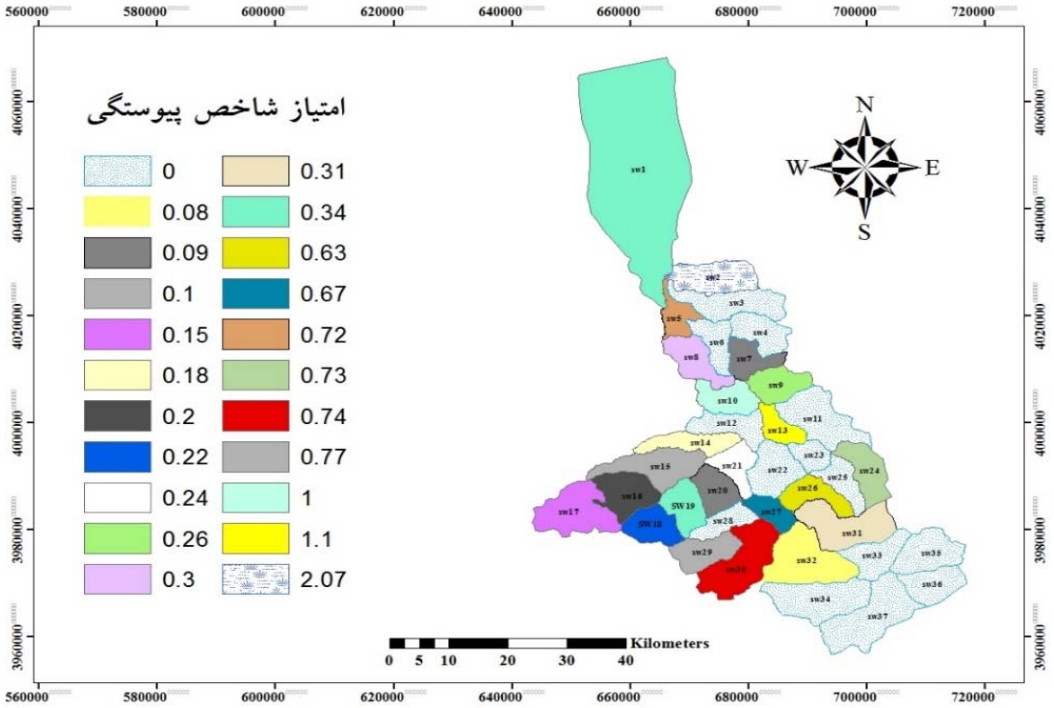
Fig. 13. Health score of Talar Subwatersheds in terms of hydrology (percent of impermeable surfaces)

ارزیابی سلامت زیر حوضه‌ها از نظر پیوستگی

نقشه نهایی شاخص پیوستگی در هر زیر حوضه در شکل ۱۴ آورده شده است. با توجه به این شکل، زیر حوضه شماره ۲ با امتیاز ۲/۰۷ دارای حداکثر تراکم سازه در واحد طول رودخانه است که کمترین امتیاز سلامت و زیر حوضه‌های ۳، ۴، ۶، ۱۱، ۱۲، ۲۲، ۲۳، ۲۵، ۲۸، ۳۳ الی ۳۷ به علت اینکه هیچ سازه‌ای در آن‌ها احداث نشده بود حداقل تراکم را دارا هستند و بیشترین امتیاز سلامت را به خود اختصاص داده‌اند.

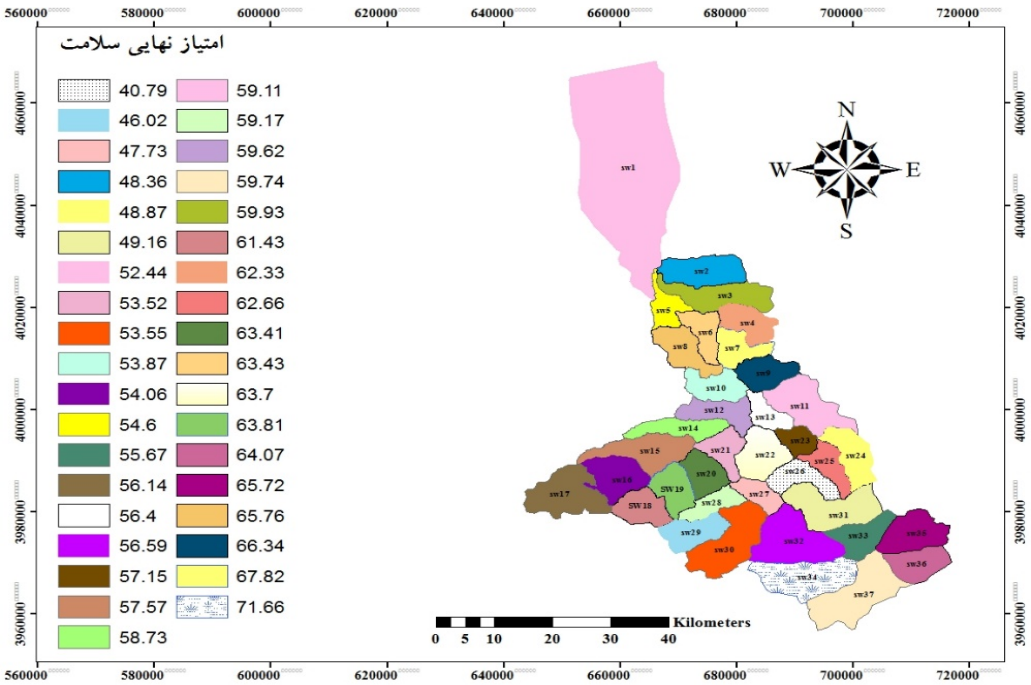
نقشه نهایی سلامت آبخیز تالار

مطابق آنچه از تلفیق معیارهای ۵گانه شاخص سلامت آبخیز به‌دست آمد، در شکل ۱۵ مشاهده می‌شود که زیر حوضه ۲۶ با امتیاز ۴۰/۷۹ از حداقل سلامت برخوردار است و زیر حوضه ۳۴ با امتیاز ۷۱/۶۶ بیشترین سلامت را در آبخیز تالار به خود اختصاص داد. همچنین بر اساس روش طبقه‌بندی امتیاز نهایی سلامت (۵ طبقه) در زیر حوضه‌های مورد مطالعه، ۲۴ زیر حوضه دارای سلامت متوسط و تعداد ۱۳ زیر حوضه از سلامت زیاد برخوردار هستند (شکل ۱۶).



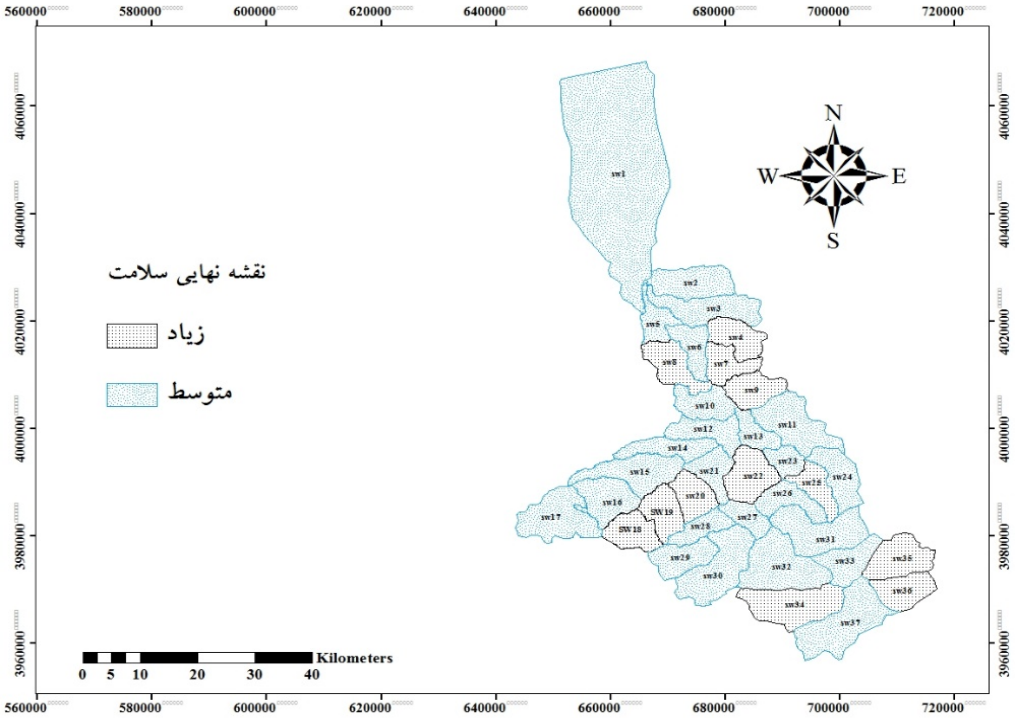
شکل ١٤. امتیاز سلامت زیر حوضه‌های آبخیز تالار از نظر معیار پیوستگی

Fig. 14. Health score of Talar Subwatersheds in terms of continuity index



شکل ١٥. امتیاز نهایی زیر حوضه‌های آبخیز تالار از نظر شاخص سلامت کل

Fig. 15. Final score of Talar Subwatersheds in terms of total health index



شکل ۱۶. نقشه نهایی وضعیت سلامت در حوزه آبخیز تالار

Fig. 16. Final map health status on watershed Talar

بحث و نتیجه‌گیری

تحلیل سلامت آبخیز برای هر جزء در ۳۷ زیر حوضه از رودخانه تالار استان مازندران با استفاده از محاسبه نمرات سلامت بر اساس پنج معیار استاندارد چارچوب ارزیابی سلامت آبخیز (WHAF) یعنی هیدرولوژی، کیفیت آب، ژئومرفولوژی، پیوستگی و زیستی انجام شد. سپس مؤثرترین معیار مذکور بر سلامت حوضه تعیین و درنهایت نقشه نهایی سلامت حوضه مربوطه با تلفیق معیارهای پنج‌گانه به‌دست‌آمده آمد. هدف عمده در آبخیزداری، حفظ سلامت اکولوژیکی منابع طبیعی به‌عنوان پیش‌شرط نیل به توسعه پایدار اقتصادی و اجتماعی است. ارزیابی و بهبود سلامت آبخیزها درواقع نمودی از مدیریت جامع آن‌ها است (۱۷). در این تحقیق یکی از پارامترهای معیار ژئومرفولوژی، حساسیت‌پذیری فرسایش است که به‌عنوان تابعی از حساسیت به تغییر اقلیم تعریف‌شده است. درواقع تغییر اقلیم باعث حساسیت‌پذیری نسبت به فرسایش می‌شود و زمانی افزایش می‌یابد که اقلیم منطقه به سمت خشکی پیش رود و درنهایت باعث کاهش پوشش گیاهی می‌شود و دسترسی به منابع آب نیز کاهش می‌یابد که این مسئله بر مسائل اقتصادی- اجتماعی تأثیر می‌گذارد. فرسایش خاک یک مسئله محیطی جهانی است که از حاصلخیزی خاک و کیفیت آب کاسته، رسوب‌زایی و احتمال وقوع سیل را افزایش می‌دهد (۲۵). با توجه به شکل ۵ نتایج نشان داد که زیر حوضه ۲۳، بیشترین امتیاز حساسیت به فرسایش را با توجه به بیشترین درصد شیب و فاکتور فرسایش‌پذیری (K) دارد و کمترین امتیاز آن مربوط به زیر حوضه ۳٤ است. در مورد حساسیت‌پذیری اقلیم بر اساس شکل ٦، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که زیر حوضه ۵ دارای بیشترین اختلاف میان بارش و تبخیر- تعرق است و شاید بتوان علت آن‌ها به نزدیکی بخش‌هایی از این زیر حوضه به دریا نسبت داد و سبب اقلیم مرطوب‌تر نسبت به سایر زیر حوضه‌ها شده است. در مقابل، زیر حوضه ۳٦ دارای حداقل این اختلاف است که بیانگر اقلیم خشک تر در این زیر حوضه نسبت به سایرین است. کمیت و کیفیت آب، یکی از ارکان اصلی توسعه پایدار محسوب می‌گردد. از طرفی رودخانه‌ها

به‌عنوان منبع اصلی و قابل‌دسترس تأمین‌کننده نیازهای جوامع بشری مطرح بوده که علاوه بر کمیت آب، کیفیت آب نیز جزء پارامترهای مهم تعیین‌کننده محسوب می‌شوند. کاربری اراضی یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر کیفیت آب منابع سطحی و به‌خصوص رودخانه‌ها است. هم‌زمان با افزایش جمعیت، نوع کاربری اراضی نیز تغییر می‌کند، بنابراین رواناب ناشی از بارندگی‌ها و نیز تخلیه پساب‌های شهری، منجر به افزایش مواد مغذی و دیگر آلاینده‌ها به داخل رودخانه‌ها و منابع سطحی می‌شود. دخالت‌های بشر در اغلب کاربری‌ها منجر به تغییرات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در رودخانه‌ها و منابع آبی هم‌جوار می‌گردد. این تغییرات عموماً منفی بوده و بهره‌برداری از منابع آبی را به‌شدت محدود می‌کند. نتایج این پژوهش در بخش کیفیت آب نشان داد که در اغلب زیر حوضه‌ها، کیفیت آب منطقه مورد مطالعه از نظر شرب و با توجه به دیاگرام شولر، در محدوده خوب قرار دارد. اما در دوازده زیر حوضه باقی‌مانده (مطابق شکل ١٦)، به دلیل فعالیت تعداد زیادی از معادن شن و ماسه به‌صورت مجاز یا غیرمجاز در محدوده قابل‌قبول تا متوسط قرار دارند و این امر باعث آلودگی نقطه‌ای بخش اعظمی از منابع آبی پایین‌دست آبخیز تالار می‌شود. درمجموع می‌توان گفت که کیفیت نامناسب آب، استفاده‌های آن را برای اهداف مختلف محدود نموده و ممکن است باوجود منابع آب سطحی فراوان در یک حوضه، کیفیت پایین آن عامل محدودکننده باشد (١٧). از طرفی با توجه به تأثیرپذیری بسیار بالای کیفیت آب از فعالیت‌های کشاورزی و نیز ترکیب کاربری‌های اراضی در مقیاس آبخیز، شاخص کیفیت آب می‌تواند عامل مناسبی از برآیند اثر فعالیت‌های انسانی بر شاخص سلامت آبخیز مدنظر قرار گیرد. گسترش روزافزون پهنه شهرها و ساخت‌وسازهای شهری، با تبدیل زمین‌های کشاورزی و منابع طبیعی همراه است. بنابراین پیامد آن، گسترش پهنه‌های نفوذناپذیر و افزایش رواناب‌های سطحی خواهد بود که در بلندمدت ممکن است سبب ایجاد سیلاب‌های ویرانگر شهری شود. به راین اساس، ارزیابی شرایط هیدرولوژی رودخانه ضرورت پیدا می‌کند (١). در این تحقیق، با محاسبه امتیاز سلامت معیار هیدرولوژی مشخص شد که زیر حوضه ٣ دارای حداکثر پوشش گیاهی چندساله و زیر حوضه شماره ٣٤ فاقد هرگونه پوشش گیاهی چندساله است (شکل ١١). این نتایج نشان داد که احتمال وقوع سیلاب و رواناب در این زیر حوضه نسبت به سایر زیر حوضه‌ها بیشتر است و درواقع شاخص سلامت حوضه از این نظر کاهش می‌یابد. موارد دیگر در افزایش سیل‌خیزی و وقوع سیلاب، تلفات ذخیره است. همانطوری‌که از نتایج این تحقیق حاصل شد و اطلاع از میزان تلفات ذخیره می‌تواند در سلامت آبخیز نقش بسزایی ایفا نماید، با توجه به شکل ١٢، زیر حوضه شماره ١ با امتیاز ٠/٦٥ بیشترین مقدار تلفات با کمترین میزان سلامت و زیر حوضه شماره ٣٥ نیز با امتیاز ٠/٠٢، کمترین مقدار تلفات و بیشترین سلامت را به خود اختصاص داده است. در بخش سطوح غیرقابل نفوذ نیز با توجه به شکل ١٣، حداکثر مساحت غیرقابل نفوذ و حداقل سلامت مربوط به زیر حوضه شماره ١ بوده و در مقابل زیر حوضه‌های ١٦ تا ١٨ و ٢٨ الی ٣٧، فاقد هرگونه سطوح غیرقابل نفوذ نسبت به سایر زیر حوضه‌ها هستند که حداکثر سلامت را به خود اختصاص دادند. بررسی نمرات معیار زیستی نیز وضعیت سلامت حوضه را بر اساس چارچوب WHAF مشخص می‌کند. چراکه کاهش تنوع زیستی، انقراض گونه‌های گیاهی و جانوری را به دنبال دارد. با توجه به اینکه هریک ازاین‌گونه‌ها نقش اساسی را در زنجیره غذایی اکوسیستم ایفاء می‌کنند، با نابودی یک‌گونه، تعادل حیاتی در طبیعت نیز به هم می‌خورد. در پژوهش حاضر، نتایج محاسبات مربوط به غنای گونه‌ای نشان داد که زیر حوضه ٣٤ نسبت به سایر زیر حوضه‌ها از غنای گونه‌ای بالاتری برخوردار است و حداقل غنای گونه‌ای نیز با توجه به این‌که سلامت اکوسیستم‌ها با افزایش غنای گونه‌ای افزایش می‌یابد مربوط به زیر حوضه‌های ٩، ١٠، ١٨، ١٩، ٢٠ و ٢١ است که بیانگر سلامت کمتر آن‌ها است (شکل ١٠). در تطبیق با یافته‌های مؤمنیان و همکاران (١٧)، بالا بودن سلامت زیر حوضه ٣٤ را می‌توان به میزان بارندگی بالا آن نسبت داد که بارش مناسب، امکان رشد گونه‌های گیاهی را افزایش می‌دهد. همچنین پایین

بودن غنای گونه‌ای زیر حوضه‌های فوق را می‌توان به چرای سنگین و بیش‌ازحد تعداد زیادی از دام‌های مراتع ییلاقی اطراف نسبت به سایر زیر حوضه‌ها نسبت داد. در بحث پیوستگی سازه‌ها به‌عنوان یک معیار مهم و تأثیرگذار بر سلامت حوضه، وجود پُل‌ها و آب‌روها باعث تنگ شدن کانال‌ها و مجراهای طبیعی رودخانه می‌شوند و این عوامل باعث افزایش سرعت آب در زیر پُل و کالورت می‌شوند. درواقع جریان سریع‌تر است و توانایی جریان باعث فرسایش بستر در زیر پل‌ها و انتقال رسوبات به پایین‌دست می‌شود. چراکه اگر جریان طولی رودخانه‌ها مختل شود، ساختار بیولوژیکی جریان به‌طور قابل‌توجهی تغییر خواهد کرد. بر اساس شکل ١٤، نتایج پژوهش حال حاضر نشان داد که زیر حوضه شماره ۲ با امتیاز ۲/۰۷ با حداکثر تراکم سازه‌های مذکور، درواقع کم‌ترین سلامت را نسبت به سایر زیر حوضه‌ها دارا است. در مقابل، زیر حوضه‌های ۳، ٤، ٦، ١١، ١٢، ٢٢، ٢٣، ٢٥، ٢٨، ٣٣ الی ٣٧ به علت اینکه هیچ‌گونه سازه‌ای در مسیر رودخانه آن‌ها احداث نشده است، از نظر سلامت نسبت به سایر زیر حوضه‌ها بیشترین امتیاز را به خود اختصاص داده‌اند. به علت محدود شدن جریان در پای سازه‌های احداث‌شده، سرعت جریان افزایش‌یافته و این افزایش به‌مرورزمان فرسایش و پیچان‌رودی‌شدن مسیر رودخانه را به دنبال خواهد داشت.

نتایج حاصل از تلفیق کلیه معیارهای پنج‌گانه شاخص سلامت (ژئومرفولوژی، کیفیت آب، هیدرولوژی، تنوع زیستی و پیوستگی) در این پژوهش نشان داد که زیر حوضه ٣٤ دارای حداکثر سلامت و زیر حوضه ٢٦ دارای حداقل سلامت نسبت به سایر زیر حوضه‌ها است. با توجه به نقشه نهایی سلامت آبخیز (شکل ١٦)، سلامت بخش اعظم زیر حوضه‌ها دارای وضعیت متوسط هستند. در حالت کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد، بخش‌هایی که در معرض عوامل انسانی مانند فعالیت معادن شن و ماسه، تغییر کاربری و فشار بر مراتع از طریق تعداد دام بیش از ظرفیت قراردارند بر سلامت حوضه تأثیر گذاشته و سلامت آن‌ها را کاهش داده است. با توجه به اینکه کلیه پارامترهای محاسبه‌شده دارای اهمیت بسزایی در شاخص سلامت آبخیز هستند، اما آنچه در این پژوهش به‌عنوان مؤثرترین معیار بر سلامت آبخیز لحاظ شود، معیار پیوستگی است که نسبت به چهار معیار دیگر تأثیرگذاری بیشتری بر اساس نمرات نهایی حاصل از کلیه پارامترها داراست. برای هرچه بهتر مشخص شدن وضعیت سلامت حوضه موردنظر می‌توان به عوامل تأثیرگذار دیگر بر پایداری حوضه، ازجمله برداشت آب از منابع سطحی و زیرزمینی و انواع تغییرپذیری جریان (مقدار تغییر، فرکانس و مدت پالس حداقل/حداکثر و غیره) اشاره نمود. نتایج پارامترهای ارزیابی سلامت آبخیز برای هر جزء یا معیار سلامت می‌تواند برای پیشبرد فرآیند برنامه‌ریزی اصلی جهت آبخیزداری در مقیاس حوضه بر مبنای اهداف مدیریتی خاص مورداستفاده قرار گیرد و می‌تواند با هر یک از پارامترهای فرعی دیگر در آبخیز تالار ترکیب شود تا اولویت مناطق را به لحاظ سلامت حوضه تعیین نماید.

References

1. Ahn S R, Kim S J. 2019. Assessment of watershed health, vulnerability and resilience for determining protection and restoration Priorities. Environmental Modelling & Software, 122: 103926 pp. doi:https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.03.014.
2. Ahn S R, Kim, S J. 2017. Assessment of integrated watershed health based on the natural environment, hydrology, water quality, and aquatic ecology. Hydrology and Earth System Sciences, 21: 5583–5602. doi:https://doi.org/10.5194/hess-21-5583-2017.
3. Bahmany H, Ataei I, Moradmand Jalali A. 2014. Compression of Tree Species Indices in the Darabkola Forest, Mazandaran. Journal of Environmental Science and Technology (JEST), 15 (4): 55-64. https://jest.srbiau.ac.ir/article_2563.html?lang=en. (In Persian).
4. Alizadeh A. 2009. Principles of applied hydrology. 26th ed., Emam Reza University, Mashhad, Iran, 941 pp (In Persian).
5. Dai Q, Liu G, Xue Sh, Lan X, Zhai Sh, Tian J, Wang G. 2007. Health diagnoses of ecosystems subject to a typical erosion environment in Zhifanggou watershed, north-west China, Front of Forestry China, 2(3): 241-250. doi:https://doi.org/10.1007/s11461-007-0040-1.
6. Diebel M, Fedora M, Cogswell S, Ohanley J R. 2014. Effects of road crossing on habitat connectivity for stream- resident fish. River Res.

7. EPA (United States Environment Protection Agency). 2011. Healthy Watersheds Initiative, National Framework and Action Plan, EPA 841 -R-11-005.
8. EPA (United States Environment Protection Agency). 2012. Identifying and protecting Healthy Watersheds: Concepts, Assessments and Management Approaches, EPA 841-B-11-002g/
9. EPA (United States Environment Protection Agency). 2014. Wisconsin Integrated Assessment of Watershed Health, A Report on the status and Vulnerability of watershed Health in Wisconsin, EPA 841-R-14-001.
10. Fallah M, Mohammadi M, Kavian A. 2015. Prioritization of Sub-watershedsusing Morphometric and LandUse change Analysis. Ecohydrology, 2 (3): 261-274. doi:https://doi.org/ 10.22059/ije.2015.57296. (In Persian).
11. Haghighi Khomami M, Tajaddod M J, Ravanbakhsh M, Jamalzad F. 2021. FallahVegetation classification based on wetland index using object based classification of satellite images (Case study: Anzali wetland). Journal of RS and GIS for Natural Resources, 12 (3): 1-17http://girs.iaubushehr.ac.ir/article_679321.html?lang=en. . (In Persian).
12. Homauonfar V, Khaledi-Darvishan A V, Sadeghi S H. 2016. Effects of Soil Preparation for Sadecual Managem Laboratorial Erosion Studies on Surface Runoff. Journal of Watershed Management Research, 7(1): 60-68 pp. doi:https://doi.org/10.29252/jwmr.7.14.68. (In Persian).
13. Isabel D A, Ferreira V, Graca M. 2012. The performance of biological indicators in assessing the ecological state of streams with varying catchment urbanization levels in Coimbra, Portugal, Limnetica. 31(1): 141-154. doi:https://doi.org/10.23818/limn.31.13.
14. Jat M K, Khare D, Garge K, Shankar V. 2009. Remote Sensing and GIS-based assessment of urbanization and degradation of watershed health. Urban Water Journal, 6(3): 251-263. doi:https://doi.org/ 10.1080/15730620801971920.
15. Khorooshi S, Mostafazadeh R, Esmali Ouri A, Mostafazadeh R. 2017. Spatiotemporal assessment of the hydrologic river health index variations in Ardabil Province Watersheds. Water Resources Management in Natural Ecosystems, 4 (2): 379-393. doi:https://doi.org/10.22059/ije.2017.61475. (In Persian).
16. Minnesota Department of Natural Resources (DNR). 2021. https://gisdata.mn.gov/dataset/env-watershed-health-assessment.
17. Momenian P, Nazarnejhad H A, Miryaghoubzadeh M H, Mostafazadeh R. 2018. Assessment and Prioritizing of Subwatersheds Based on Watershed Health Scores (Case Study: Ghotorchay, Khoy, West Azerbaijan). Journal of Watershed Management Research, 9 (17): 1-13. doi:https://doi.org/ 10.29252/jwmr.9.17.1. (In Persian).
18. Natural Resources and Watershed Management Organization. 2020. Hydrology report of the Talar watershed, Mazandaran province. (In Persian).
19. Nerkar S S, Tamhankar A J, Johansson E, Lundburg C S. 2013. Improvement in health and empowerment of families as a result of watershed management in a tribal area in India-a qualitative study. International Health and Human Rights, 13(42): 1-12. doi:https://doi.org/ 10.1186/1472-698x-13-42.
20. Sanchez G M, Nejadhashemi A P. Zhang Z, Marquart-Pyatt S, Habron G, Shortridge A. 2015. Linking watershed-scale stream health and socioeconomic indicators with spatial clustering and structural equation modeling. Environmental Modelling & Software, 70, 113–127. doi:https://doi.org/ 10.1016/j.envsoft.2015.04.012.
21. Sebari S, Safari O, Farashi A. 2017. Rivers health assessment using bio indicators, The International Conference 4th Environmental Planning and Management, Faculty of Environment, Tehran University Environmental, 9 pp. https://profdoc.um.ac.ir/articles/a/1063108.pdf. (In Persian).
22. Singh A, Dieye A, Finco M. 1999. Assessing Enviromental Condition Major River Basins in Africa as Surrogates for Watershed Health. Ecosystem Health, 5(4): 265-274. doi:https://doi.org/ 10.1046/j.1526-0992.1999.09945.x.
23. Staton S, Dextrase K A, MetcalfeSmith J, Maio J D, Nelson M, Parish J, Kilgour B, Holm E. 2003. Status and trends of Ontario's Sydenham River Ecosystem in relation to aquatic species at risk. Environmental Monitoring and Assessment, 88(1): 283-310. doi:https://doi.org/10.1023/a:1025529409422.
24. White M D, Greer K A. 2006. The effects of watershed urbanization on the stream hydrology and riparian vegetation of Los Penasquitos Creek, California. Landscape and Urban Planning, 74(2): 125-138. doi:https://doi.org/ 10.1016/j.landurbplan.2004.11.015.
25. Wildhaber, Y S, Bnninger D, Burri K, Alewell C. 2012. Evaluation and application of a portable rainfall simulator on subalpine grassland. Catena, 91: 56-62. doi:https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.03.004.
26. Wohl E E, Angermeier P L, Bledsoe B, Kondolf G M, MacDonnell L, Merritt D M, Palmer M A, Poff Applic, 31 (10): 1251-1261. doi:https://doi.org/ 10.1002/rra.2822.

N L, Tarboton D. 2005. River restoration, Water Resources Research, 41(10): 1-12. doi:https://doi.org/ 10.1029/2005wr003985.

27. Xia J, Zhang Y, Zhao Ch, Bunn S E. 2014. A bio indicator assessment framework of river ecosystem health and the detection of factors influencing the health of the Huai River Basin, China. Journal of Hydrologic Engineering, 19(8): 1-34. doi:https://doi.org/ 10.1061/(asce)he.1943-5584.0000989.
28. Zakerinejad R. 2020. Evaluation of of DEMs to the modeling of the potential of gully erosion using Maxent model (Case study: Semirom catchment in the south of Isfahan Province, Iran). Journal of RS and GIS for Natural Resources, 11 (3): 106- 122. http://girs.iaubushehr.ac.ir/article_674955.html?lang=en. . (In Persian).

RS & GIS for Natural Resources
(Vol. 15/ Issue 1) Spring 2024
Indexed by ISC, SID, Magiran, Noormags, Civilica, Google Scholar
journal homepage : www.girs.iaubushehr.ac.ir

Original paper

Investigation of Talar Watershed Health the using Watershed Health Assessment Framework

Kaka Shahedi, Behrooz Mohseni, Babak Moumeni

Received:2022-03-18 / Accepted: 2022-05-19 / Available online: 2024-06-26

Abstract

Integrated management of water, land and biological resources in a watershed requires awareness of watershed health. In this research, the watershed health index was investigated by dividing the Talar watershed into 37 sub-basins. For this purpose, in each of the sub-watersheds, the main and effective criteria in the health of the watershed were selected. Considering the connections and interactions of the constituent parts of each sub-watershed, the health index was evaluated based on five indicators: geomorphology, water quality, hydrology, biological status (species richness) and hydrological continuity. The sub-watersheds were prioritized according to each of the indicators and at the end, the final health map was obtained from the combination of all indicators. The health index of the basins varied between 40.79 and 71.66.The health status of the sub-watersheds also showed that 24 sub-watersheds are in the 40-60 class and in the average level and the rest (13 sub-watersheds) are in the 80-60 class and have high health. The results of watershed health assessment parameters for each health component can be used to advance the watersheds are in the 40-60 class and in the average level and the rest (13 sub-watersheds) are in the 80-60 class and have high health. main watershed management planning process at the watershed scale based on specific management objectives. Also, by combining any of the other sub-parameters in the Talar watershed, the priority of the areas in terms of watershed health can be determined.

Background and Objective

Integrated management of water, land, and biological resources in a basin leads to water supply from existing water resources. The subject refers to the concept of watershed management. Protection, exploitation, and sustainable management of watershed resources have a special priority to meet the needs of population growth in recent decades. One of the critical components of management strategies for these resources is to increase healthy water protection (healthy watersheds). Also, one of the most important and most basic sectors in sustainable management of the watersheds is awareness of watershed health. The health knowledge of the basin with a system approach is to maintain natural ecosystems through the protection of healthy basins and prevent changes and disruptions. Lack of watershed health in current watershed literature can be considered a significant problem in watershed management. In Iran, an indicator is not measured to evaluate the health of the watershed, and most measured indices have been in order to provide environmental reports. So, using these

Kaka Shahedi[1], Behrooz Mohseni[1](✉), Babak Moumeni[3]
1. Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
2. Assistant Professor, Research Department of Natural Resources, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran. Tel: 09113263032
3. Assistant Professor, Department of Engineering and Agricultural Technology, Payam-e- Noor University (PNU), P.O. Box 19395-4697, Tehran, Iran

DOI: 10.30495/girs.2022.691305

e-mail: b.mohseni@areeo.ac.ir

standard indicators, management, planning, and sustainable development of the watershed is prepared. Based on the review of the studies, all watershed health indicators have not yet been investigated and which indicates the value of the present research. Therefore, the issue of health, regarding its importance and role in watershed management, is not entirely in the areas of the country. The Talar watershed of Mazandaran province as one of the central Alborz basins is of particularly important. The purpose of this study was to investigate the health of the Talar watershed by considering the hydrological, biological conditions, conjugation, geomorphology, and water quality standard indices. Another goal of this study was to determine the most effective indicator in the study area and the combination of existing indicators for preparing a comprehensive health map of the above basin.

Materials and Methods

The present study was conducted in the Talar watershed of Mazandaran province. Talar watershed is one of the northern watersheds with an area of 2057 km^2, located on the main route of Qaemshahr- Tehran Road. This watershed is limited from the west to Babolrood, from the east to Siyahrood, from the south to Tajan watershed, and from the north to Qaemshahr plain. In this study, while using the documentary method and collecting information from various sources, different field visits from its different points and the use of GIS, considering the five indices of the basin health assessment according to the WHAF method (Watershed Health Assessment Framework), health maps for each subwatershed is drawn, and its primary goal is to provide the final health map of Talar. In this research, 37 sub-basins were prioritized based on watershed health. Then, for health assessment, was selected the principal and effective indices in watershed health. These indices were considered as interactions in the formation of each sub-basin for health assessment. The indicators studied were in five parts of the biological condition (species richness), hydrological conjugation, geomorphology (soil sensitivity to erosion and climate), hydrology, and water quality. Finally, after prioritizing each sub-basin and determining the most influential factors in the health rate by these indices, the final health map of the Talar watershed was prepared from the composition of all indices.

Results and Discussion

Watershed health analysis was performed for each component in 37 sub-basins of the Talar river of Mazandaran province using health scores based on five indices of watershed health assessment frameworks, i.e. hydrology, water quality, geomorphology, conjugation, and biodiversity. In this research, one of the parameters of geomorphology is erosion sensitivity, which is defined as a function of sensitivity to climate change. The results showed that in 23 sub-basins, the highest score of erosion sensitivity was due to the highest percentage of gradient and erosion factor (K), and its lowest score was due to the 34 sub-basins. In the case of climate sensitivity, the results of this study showed that five sub-basins have the highest difference between rainfall and evapotranspiration, and maybe they could attribute the cause of them near parts of this sub-basin and it has been the cause of a wetter climate than other basins. In contrast, under the 36 basin, there has at least one a difference, representing a dry climate in this sub-basin than others.

The results of this research on the water quality showed that in most sub-basins, the water quality is in the drinking, and, according to the Schooler diagram, it is a good range; but in twelve other basins, due to the activity of a large number of sand mines, they are allowed or unauthorized in the adequate to moderate range. This leads to a point contamination portion of the water supplies on Talar watershed downstream. In general, the inappropriate water quality limits its use for different purposes and may be limited by its low due to abundant surface water resources in a basin. In this research, by calculating the health scores of hydrology, we basics determined the three basins, is maximum perennial vegetation and under domain 34 lacks any perennial vegetation. The results of species richness calculations showed that 34 sub-basin, compared to other sub-basins, have a higher richness of richness. The minimum species richness, given that the health of ecosystems increases with increasing species richness, is related to 9, 10, 18, 19, 20, and 21 sub-basins, which represent their lower health. In the conjugation of structures as an essential and influential criterion for the basin's health, the presence of bridges leads to the narrowing of the canals and the natural channels of the river. These factors increase water velocity under the bridge and culvert.

Conclusion

The combination of all criteria in this study showed that 34 sub-basin had maximum health and 26 sub-basin, with minimal health than other basins. According to the watershed health final plan, most basins have a moderate health status. In general, it can be concluded that parts exposed to human factors such as sand mines, land-use change, and pressure on rangelands through the number of livestock overcapacity have affected the health of the domain and reduced their health. Considering that all calculated parameters are essential in the watershed health index, what is considered as the most effective criteria on watershed health is the criterion of continuity that has more effect on the other four criteria based on the final scores obtained from all parameters. To better identify the health status of the basin, other factors include other influential factors on the stability of the basin, including water harvesting from surface and groundwater resources, and a variety of flow changes (the amount of change, frequency, and pulse period of minimum /maximum, etc). The results of watershed health assessment parameters for each component or health criteria can advance the primary planning process for watershed-scale based on specific

organizational goals. It can also combine with any other sub-parameters in the Talar watershed to determine the priority of the areas in terms of the basin's health.

Key Words: Conjugation, Watershed health, Species richness, Integrate management, Hydrology.

Please cite this article as: Shahedi K, Mohseni B, Moumeni B. Investigation of Talar Watershed Health the using Watershed Health Assessment Framework. Journal of RS and GIS for Natural Resources, 15(1): 20-47.