



نسخه از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (سال پانزدهم / شماره اول) بهار ۱۴۰۳

نمایه شده در سایت: پایگاه استنادی علوم جهان اسلام، جهاد دانشگاهی، مگ ایران، نورمگز، سیولیکا، گوگل اسکولار
آدرس وب سایت: <http://girs.iaabushehr.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: ۱۴۰۳/۰۴/۰۶

چکیده

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

نتایج نشان داد از نظر شاخص حساسیت به فرسایش، زیر حوزه ۲۳ و ۳۴ به ترتیب بیشترین و کمترین امتیاز را دارا هستند. در مورد حساسیت‌پذیری اقلیم، زیر حوزه ۵ دارای بیشترین اختلاف میان بارش و تبخیر- تعرق و اقلیم مرطوب‌تر نسبت به سایر زیر حوزه‌ها است. در مقابل، زیر حوزه ۳۶ دارای حداقل این اختلاف است و اقلیم خشک‌تر است. در بخش کیفیت آب، اغلب زیر حوزه‌ها، در محدوده خوب؛ اما در زیر حوزه‌های دیگر، در محدوده قابل قبول تا متوسط قرار گرفتند. با محاسبه امتیاز سلامت معیار هیدرولوژی، نتایج نشان داد زیر حوزه ۳ دارای حداکثر پوشش گیاهی چندساله و زیر حوزه ۳۴ فاقد هرگونه پوشش گیاهی چندساله است. نتایج محاسبات مربوط به غنای گونه‌ای نشان داد که زیر حوزه ۳۴ دارای حداکثر غنای گونه‌ای و بیشترین میزان سلامت و زیر حوزه‌های ۹، ۱۰، ۱۸، ۱۹، ۲۰ و ۲۱ با حداقل امتیاز این شاخص، دارای سلامت کمتری هستند. در شاخص پیوستگی، زیر حوزه ۲ با امتیاز ۲/۰۷ و حداکثر تراکم سازه‌ای، کمترین میزان سلامت و زیر حوزه‌های 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 حوزه در طبقه ۶۰-۴۰ و در حد متوسط و بقیه زیر حوزه‌ها (تعداد ۱۳ زیر حوزه) در طبقه ۸۰-۶۰ و دارای سلامت زیاد هستند. نتایج پارامترهای ارزیابی سلامت آبخیز برای هر جزء سلامت می‌تواند برای پیشبرد فرآیند برنامه‌ریزی اصلی آبخیزداری در مقیاس حوزه بر مبنای اهداف مدیریتی خاص مورد

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

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

۲. استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی 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

تحقیق حاضر در حوزه آبخیز تالار استان مازندران انجام شده است. آبخیز تالار یکی از آبخیزهای کوهستانی شمال کشور با مساحت ۲۰۵۷ کیلومتر مربع است که در مسیر اصلی جاده تهران- قائم شهر واقع شده است. این حوضه از غرب به آبخیز بابل رود، از شرق به سیاه رود، از جنوب به آبخیز تجن و از شمال به دشت قائم شهر 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 فناوری 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 مورد بررسی مشتمل بر پنج بخش وضعیت زیستی (غذای گونه‌ای)، پیوستگی هیدرولوژیک، ژئومورفولوژی (حساسیت پذیری خاک به فرسایش و اقلیم)، هیدرولوژی و کیفیت آب بود. در نهایت 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، ژئومورفولوژی، پیوستگی و زیستی انجام شد. در این تحقیق یکی از پارامترهای ژئومورفولوژی، 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

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 اندازه‌گیری شده، 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 تا به حال 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، ژئومورفولوژی 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

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 دی‌اکسید گوگرد، در محدوده خوب قرار دارد؛ اما در دوازده زیر حوضه دیگر، به دلیل فعالیت تعداد زیادی از معادن شن و ماسه به صورت مجاز یا غیرمجاز در محدوده قابل قبول تا متوسط قرار دارند. این امر باعث آلودگی نقطه‌ای بخش اعظمی از منابع آبی پایین دست آبخیز تالار می‌شود. در مجموع می‌توان گفت که کیفیت نامناسب آب، استفاده‌های آن را برای اهداف مختلف محدود نموده و ممکن است با وجود 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 گونه‌های نشان داد که زیر حوضه ۳۴ نسبت به سایر زیر حوضه‌ها از غنای گونه‌ای بالاتری برخوردار است. حداقل غنای گونه‌ای نیز با توجه به این که 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 به عنوان 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 محاسبه شده دارای اهمیت بسزایی در شاخص سلامت آبخیز هستند، اما آنچه در این پژوهش به عنوان 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، از جمله 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 مورد استفاده 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.

فرسایش یافته در تپه‌های لسی 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 افزایش یافته 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 مورد مطالعه مشخص شد که ۴۴ 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، ژئومورفولوژی، 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 (۲۴). 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

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، ژئومورفولوژی، هیدرولوژی و غیره اندک است (۱۴). 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 (۴)، 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.

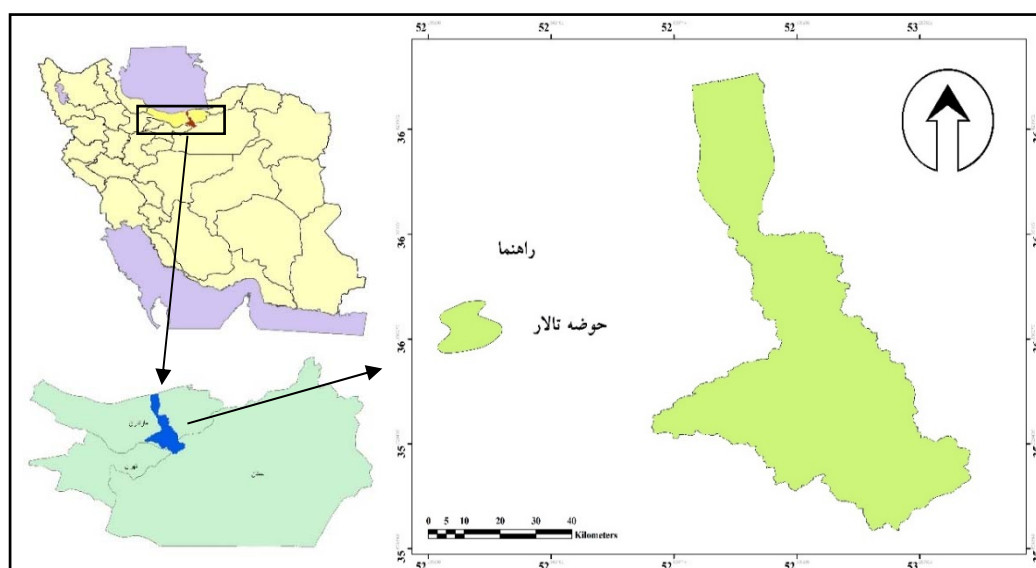
سینگ و همکاران (۲۲) شرایط محیطی رودخانه Surrogates آفریقا را از نظر سلامت حوضه مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه آن‌ها از طریق مقایسه سلامت بین پنج حوضه بزرگ آفریقا (کنگو، چاد، نیل، نیجر و زامبزی (Zambezi)) در مقایسه با وضعیت مناطق حفاظت‌شده، جمعیت و نوع پوشش. نشان داد که در هر یک از این حوضه‌ها با 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

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 واقع شده است (شکل ۱). این حوضه در حد فاصل طول‌های شرقی (۳۵° ۳۵' تا ۵۲° ۲۳') و عرض‌های شمالی (۴۱° ۳۵' تا ۳۶° ۱۹') واقع شده 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 ۶۰ متر از سطح دریای آزاد قرار گرفته است. شکل عمومی حوضه، پهن و دارای امتداد شمالی- جنوبی بوده و میانگین ارتفاع آن ۱۶۹۹ متر است (۱۰).

دادند که از بین شاخص‌های مورد بررسی، دو شاخص HFBI و ASPT، 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 بر اثر 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.



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

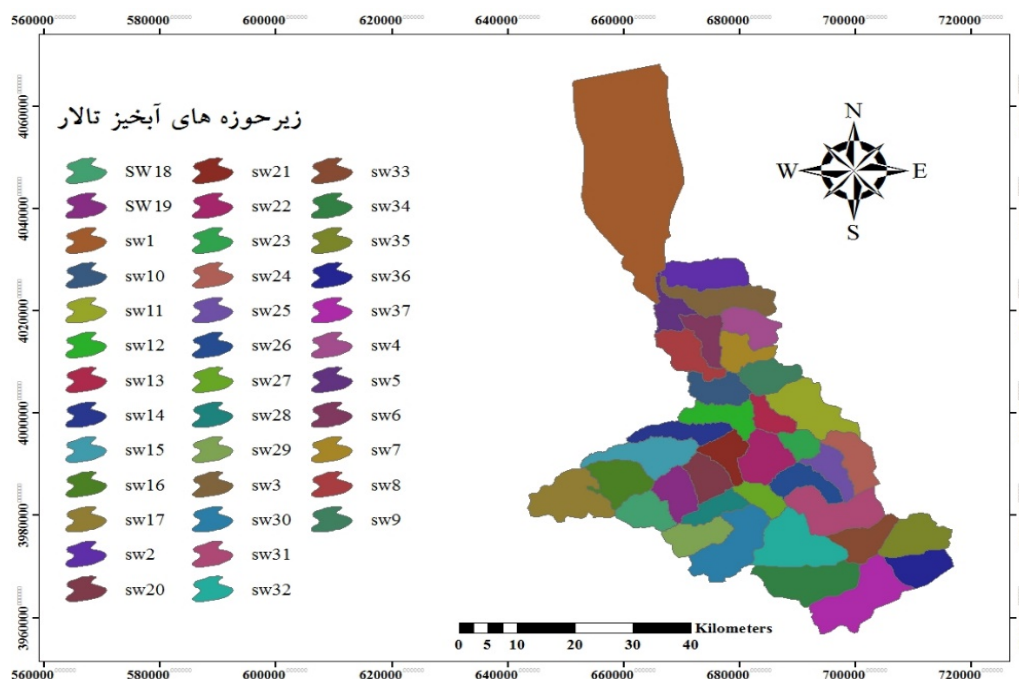
برای تهیه نقشه سلامت حوضه، با استفاده از ابزار Arc Hydro، حوضه تالار به ۳۷ زیر حوضه تقسیم‌بندی شد (شکل ۲). سپس در هریک از بخش‌ها، ارزیابی سلامت انجام شد. در جدول ۱ مشخصات عمومی هر یک از زیر حوضه‌ها ارائه شد.

برای ارزیابی درجه سلامت از پنج مؤلفه ژئومورفولوژی، 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

مساحت - km ²	کد زیر حوضه	مساحت - km ²	کد زیر حوضه
۵۰/۱۸	Sw20	۵۸۸/۲۹	Sw1
۴۵/۸۲	Sw21	۷۶/۲۵	Sw2
۶۹/۹۹	Sw22	۸۱/۷۶	Sw3
۳۰/۰۵	Sw23	۵۳/۷۸	Sw4
۶۱/۲۰	Sw24	۳۷/۳۰	Sw5
۴۴/۴۱	Sw25	۴۴/۷۶	Sw6
۵۰/۶۲	Sw26	۴۶/۷۶	Sw7
۳۵/۰۸	Sw27	۶۰/۵۷	Sw8
۳۸/۳۹	Sw28	۵۳/۱۶	Sw9
۵۶/۸۹	Sw29	۵۳/۵۲	Sw10
۱۱۰/۱۴	Sw30	۶۹/۵۸	Sw11
۱۰۲/۵۹	Sw31	۵۵/۲۵	Sw12
۱۱۷/۵۳	Sw32	۳۵/۰۷	Sw13
۵۶/۲۲	Sw33	۵۲/۰۱	Sw14
۱۰۴/۸۷	Sw34	۸۵/۲۲	Sw15
۷۲/۷۵	Sw35	۹۶/۸۱	Sw16
۵۵/۹۳	Sw36	۹۸/۸۵	Sw17
۱۲۲/۴۷	Sw37	۵۴/۰۹	Sw18
-	-	۵۳/۳۵	Sw19



شکل ۲. زیر حوضه‌های آبخیز تالار
Fig. 2. Subbasins of Talar watershed

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.

$$I=300+25T + 0.05T^3 \quad [۲]$$

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 دسترس بودن آب تأثیر می‌گذارد. این شاخص با استفاده از رابطه ساده بیلان آب به صورت زیر محاسبه شد:

$$V_u=P - ET \quad [۳]$$

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

* تهیه نقشه شیب برای محاسبه فرسایش‌پذیری خاک

شاخص‌های سلامت حوضه

ژئومورفولوژی

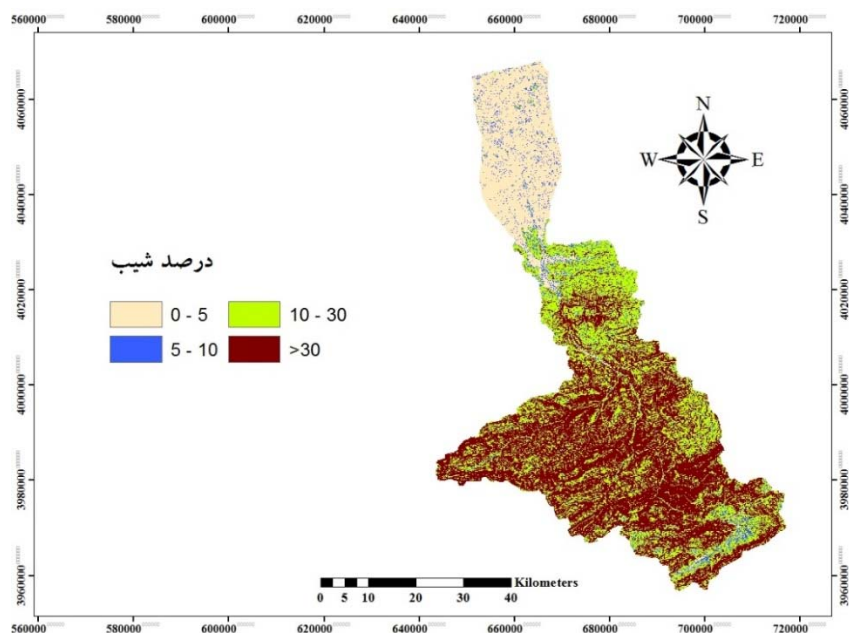
ورودی‌های آبخیز (آب، رسوب و مواد آلی) و ویژگی‌های دره (شیب و عرض دره، بستر زمین‌شناسی، خاک و پوشش گیاهی)، شکل یک کانال رودخانه (الگو، پروفایل و ابعاد) را تعیین می‌کنند. برای تعیین شاخص ژئومورفولوژی، نیاز به دو عامل فرسایش‌پذیری خاک و حساسیت‌پذیری اقلیم (براساس محاسبه تبخیر-تعرق) است. فرسایش‌پذیری خاک، 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 حاصل ضرب 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 (۴).

$$E=\frac{P}{[0.9+(\frac{P}{10})^2]^{0.5}} \quad [۱]$$

عامل فرسایش پذیری خاک و تهیه نقشه شیب، رتبه بندی امتیاز حساسیت پذیری به فرسایش از طریق ضرب امتیاز طبقه شیب (جدول ۲) در مقدار فرسایش پذیری (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 نمونه برداری از عمق ۲۰-۰ سانتی متری سطح خاک طبق روش فوق و با توجه به نتایج به دست آمده از تجزیه آزمایشگاهی، عامل فرسایش پذیری (K) در هریک از پروفیل های مورد مطالعه محاسبه شد.

برای تهیه نقشه شیب، از مدل ارتفاع رقومی DEM (Digital Elevation Model) منطقه با دقت مکانی ۳۰ متر استفاده شد. تهیه مدل های رقومی ارتفاع که با استفاده از تصاویر ماهواره ای مختلف یا به شیوه فتوگرامتری از عکس های هوایی تهیه می شود، نمایش رقومی قسمتی از سطح زمین به صورت لایه رستری است که می تواند در مدیریت و ارزیابی مدل های کمی در زمینه های مختلف از جمله 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 نرم افزار Arc Gis طبقات شیب در چهار کلاس ۰-۵، ۵-۱۰، ۱۰-۳۰ و >30 طبقه بندی گردید (شکل ۳). پس از محاسبه



شکل ۳. نقشه شیب حوزه آبخیز تالار

Fig. 3. Slope map of Talar watershed

کیفیت آب (ارزیابی سلامت زیر حوضه ها از نظر کیفیت

آب)

به طور کلی، کیفیت آب به عنوان یکی از عوامل اصلی در استفاده از آب در مصارف شرب، بهداشت، آبیاری و صنعتی توسط پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی از جمله درجه حرارت، اکسیژن محلول، pH و قلیائیت، مواد مغذی، رسوبات و آلاینده ها تعیین می شود. نوع سازندهای زمین شناسی،

جدول ۲. امتیاز طبقات شیب

Table 2. Score of slope classes

شیب (درصد)	امتیاز
۰-۵	۱
۵-۱۰	۲
۱۰-۳۰	۳
>30	۴

* محاسبه غنای پوشش گیاهی

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

$$D_{Mn} = \frac{S}{\sqrt{N}} \quad [4]$$

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 ۶ پلات در منطقه معرف هر زیر حوضه مورد بررسی 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

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 دیگرام 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 دیگرام 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.

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 (۲۴). باتوجه به اهمیت این موضوع، در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار Google Earth، سطوح غیرقابل نفوذ شامل جاده‌ها و مناطق شهری و روستایی به صورت پلی‌گون‌هایی ترسیم و سپس در محیط Arc Gis نقشه سطوح غیرقابل نفوذ تهیه گردید.

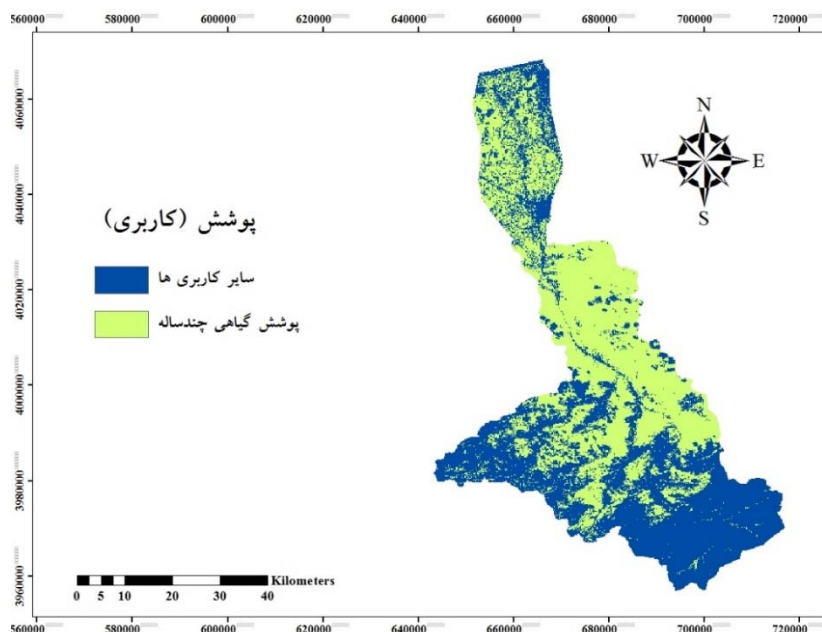
* پوشش گیاهی چندساله

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 ۴ (قرمز) و ۵ (مادون قرمز 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 ۴، باندهای مورد نظر (باند ۴ 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 ۴). در نهایت، مساحت پوشش گیاهی چندساله در هر یک از زیر حوضه‌ها محاسبه و با استفاده از رابطه ۵، درصد پوشش گیاهی هر زیر حوضه محاسبه گردید.

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

$$\text{درصد پوشش گیاهی چند ساله} = \frac{\text{مساحت پوشش گیاهی چندساله در هر زیرحوضه}}{\text{مساحت کل زیرحوضه}} \quad [۶]$$



شکل ۴. 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 تغییر یافته" است. تغییرات، اغلب برای کانال‌های رودخانه‌ها، جریان یا مسیرهای زهکشی و به‌طور معمول 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 تغییر یافته وجود دارد. پهنه آبی تغییر یافته 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 تغییر یافته یا جابجا شده حفظ شود. برای محاسبه فاکتور پهنه آبی تغییر یافته (یا تلفات ذخیره کانال) می‌توان از نسبت طول پیچان‌رودهای دائمی به کل طول رودخانه استفاده شد. با استفاده از نرم‌افزار Google Earth، پیچان‌رودهای دائمی شناسایی گردید و پس از صحت‌سنجی آن‌ها، اقدام به محاسبه پهنه آبی تغییر یافته در محیط GIS شد. فاکتور تلفات مناطق باتلاقی نیز

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

پیوستگی (ارزیابی سلامت زیر حوضه‌ها از نظر پیوستگی)

* تهیه نقشه موقعیت سازه‌های موجود در منطقه

در آبخیز تالار، سه سد احداث شده 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 منابع طبیعی استان مازندران، در آبخیز تالار تعداد ۲۶۵ بند اصلاحی احداث شد که این بندها از نوع گابیونی، سنگی ملاتی 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).

$$\text{Standard score: } \frac{\text{Score-lowest score}}{\text{highest score-lowest score}} \quad [7]$$

$$\text{Standard score: } 100 - \frac{\text{Score-lowest score}}{\text{highest score-lowest score}} \quad [8]$$

که در آن‌ها؛ Score امتیاز هر معیار، lowest score حداقل امتیاز در هر گروه و highest score حداکثر امتیاز در هر 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 ۰-۲۰، ۲۰-۴۰، ۴۰-۶۰، ۶۰-۸۰ و ۸۰-۱۰۰ به ترتیب بر اساس سلامت خیلی ضعیف، ضعیف، متوسط، زیاد و خیلی زیاد، نقشه نهایی سلامت حوضه از طریق تلفیق کلیه معیارها تهیه شد. هرچه مقدار عددی پارامترهای مورد نظر بالاتر باشد، سلامت حوضه افزایش می‌یابد.

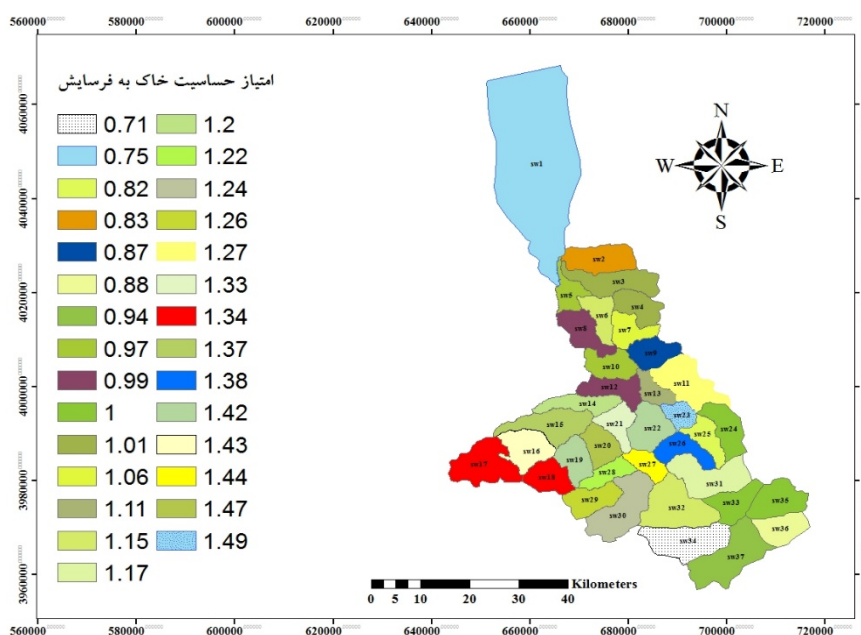
نتایج

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 ۳۴ 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 به معنی بیشترین میزان سلامت حوضه است. زیر حوضه شماره ۲۳ نیز با امتیاز ۱/۴۹ 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 sensitivity to erosion

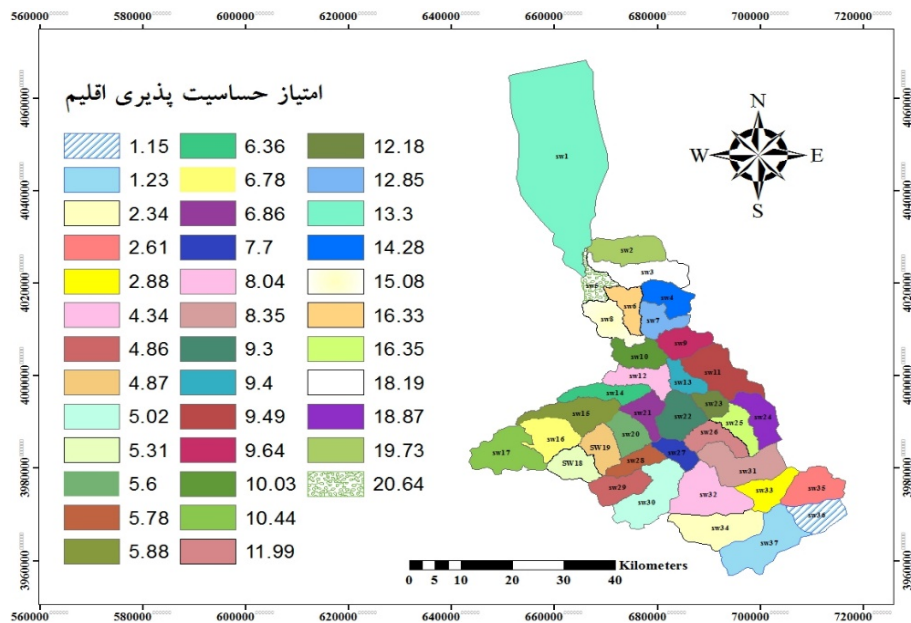
* حساسیت‌پذیری اقلیم

نقشه نهایی سلامت آبخیز از نظر حساسیت‌پذیری اقلیم در هر زیر حوضه در شکل ۶ آورده شده است. زیر حوضه شماره ۵ با امتیاز ۲۰/۶۴ دارای حداکثر حساسیت‌پذیری اقلیم نسبت به سایر زیر حوضه‌هاست که برابر با بیشترین رطوبت در منطقه است و زیر حوضه شماره ۳۶ 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 اندازه‌گیری شده در هریک از

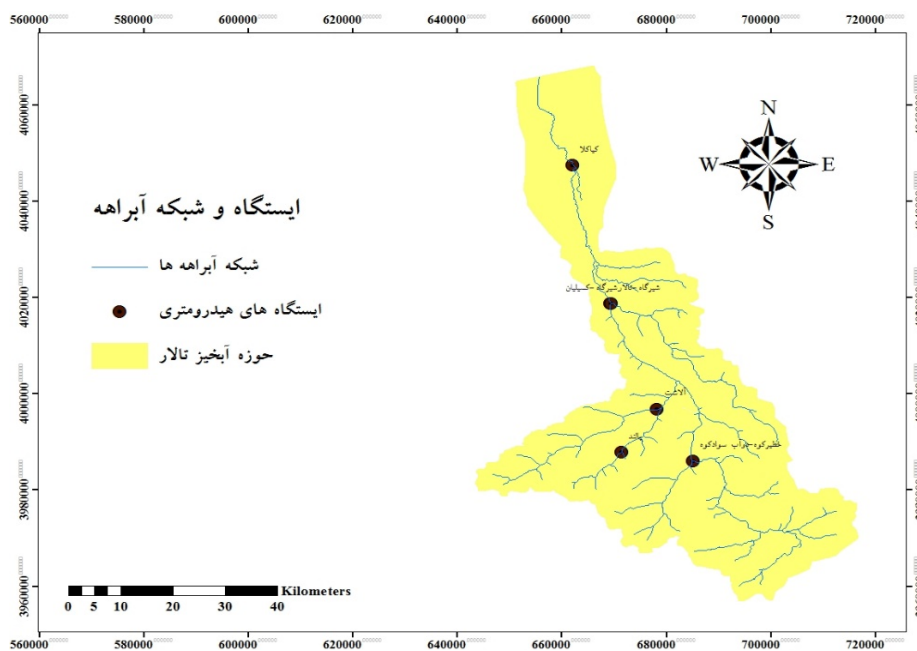
ایستگاه‌ها به زیر حوضه‌های بالادست آن ایستگاه تعمیم داده شد. در این راستا سعی شده است از ایستگاه‌های موجود برای تحت پوشش قراردادن حداکثری تمامی زیر حوضه‌ها استفاده شود. نتایج دیاگرام شولر در شکل ۸ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود به ترتیب از پایین‌دست تا بالادست حوضه تالار، در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



شکل ۶. امتیاز سلامت زیر حوضه‌های آبخیز تالار از نظر حساسیت‌پذیری اقلیم
 Fig. 6. Health score of Talar Subwatersheds in terms of climate sensitivity

به سایر زیر حوضه‌هاست که برابر با بیشترین رطوبت در منطقه است و زیر حوضه شماره ۳۶ با امتیاز ۱/۱۵ دارای حداقل حساسیت‌پذیری اقلیم نسبت به سایر زیر حوضه‌ها است که برابر با کمترین مقدار رطوبت در منطقه است.

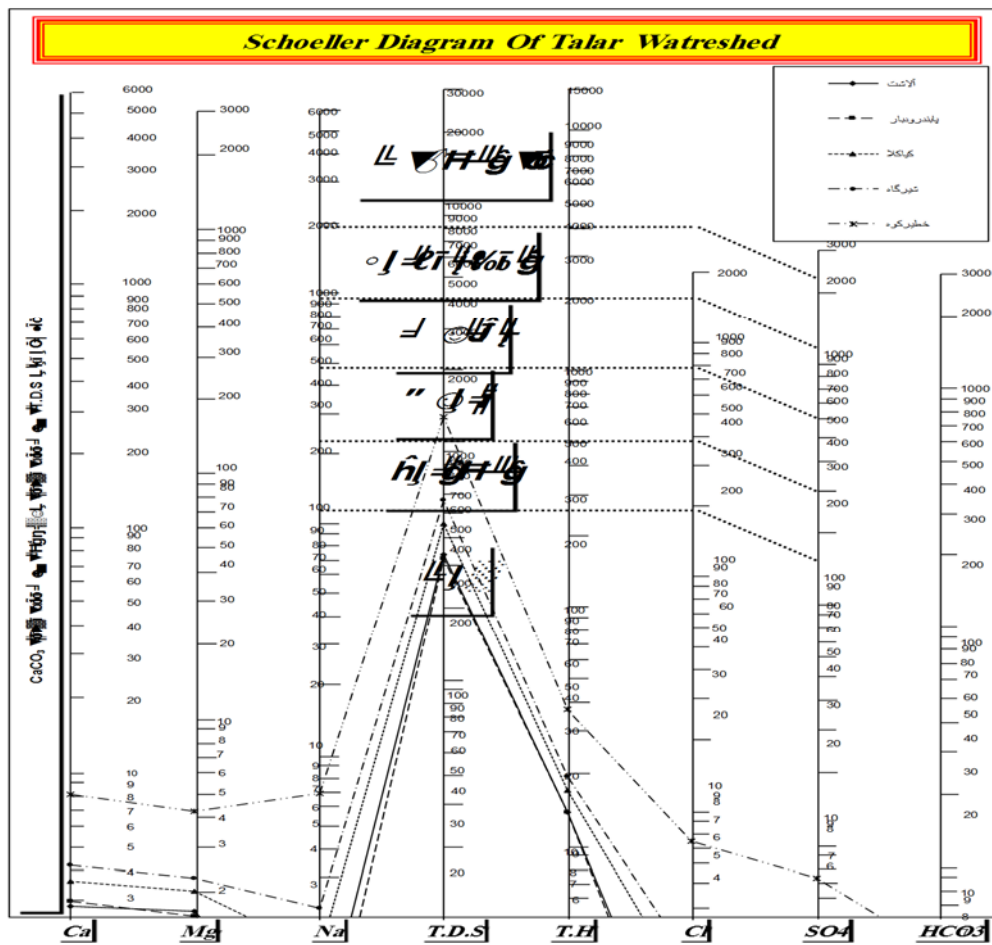
* حساسیت‌پذیری اقلیم
 نقشه نهایی سلامت آبخیز از نظر حساسیت‌پذیری اقلیم در هر زیر حوضه در شکل ۶ آورده شده است. زیر حوضه شماره ۵ با امتیاز ۲۰/۶۴ دارای حداکثر حساسیت‌پذیری اقلیم نسبت



شکل ۷. موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری زیر حوضه‌های آبخیز تالار
 Fig. 7. Location of hydrometry stations on Talar subwatersheds

بیشترین سلامت و پس‌از آن 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.

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 پالندردبار،



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

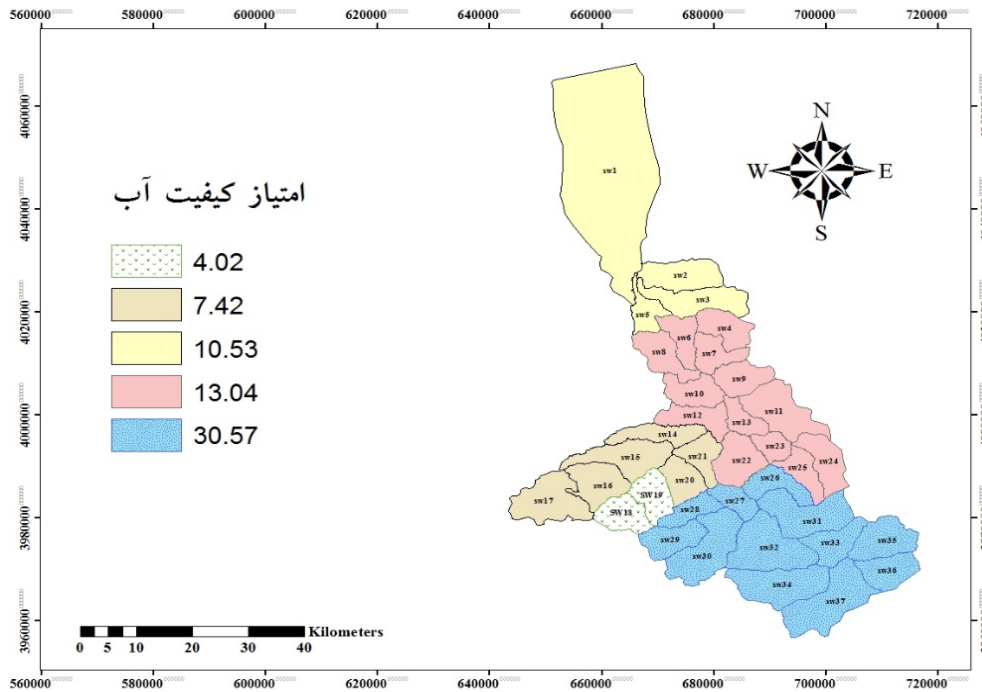
Fig. 8. Water quality results in the study area stations based on Schoeller Diagram

در نهایت شاخص غنا گونه‌ای به‌شرح جدول ۳ در هر یک از زیر حوضه‌ها محاسبه گردید. طبق جدول، زیر حوضه‌هایی که عدد بیشتری از شاخص منهتیک و مارگالف را به خود اختصاص داده امتیاز بالاتری داشته و از سلامت بیشتری برخوردارند و بالعکس زیر حوضه‌هایی که عدد پایین‌تری از

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 منهتیک و مارگالف استفاده شد. پس از ورود داده‌ها در محیط اکسل برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، مقادیر در نرم‌افزار PAST وارد شد و

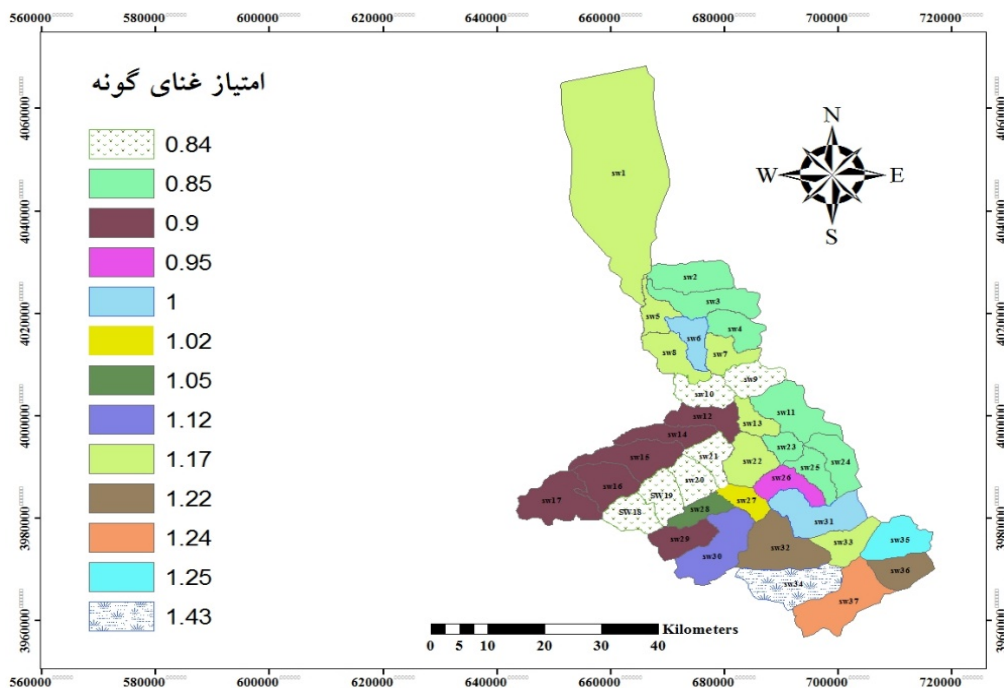
جدول زیر و شکل ۱۰، ۱۰، ۱۸، ۱۹، ۲۰ و ۲۱ کمترین امتیاز و زیر حوضه های ۳۴ بیشترین امتیاز را دارا است.

این دو شاخص را به خود اختصاص داده اند امتیاز کمتری داشته و از سلامت کمتر برخوردارند. بنابراین با توجه به



شکل ۹: امتیاز سلامت زیر حوضه های 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 حوضه های آبخیز تالار از نظر شاخص غنای گونه ای

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

جدول ۳. امتیاز غنای گونه‌ای محاسبه شده با روش منهینیک و مارگالف

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

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

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

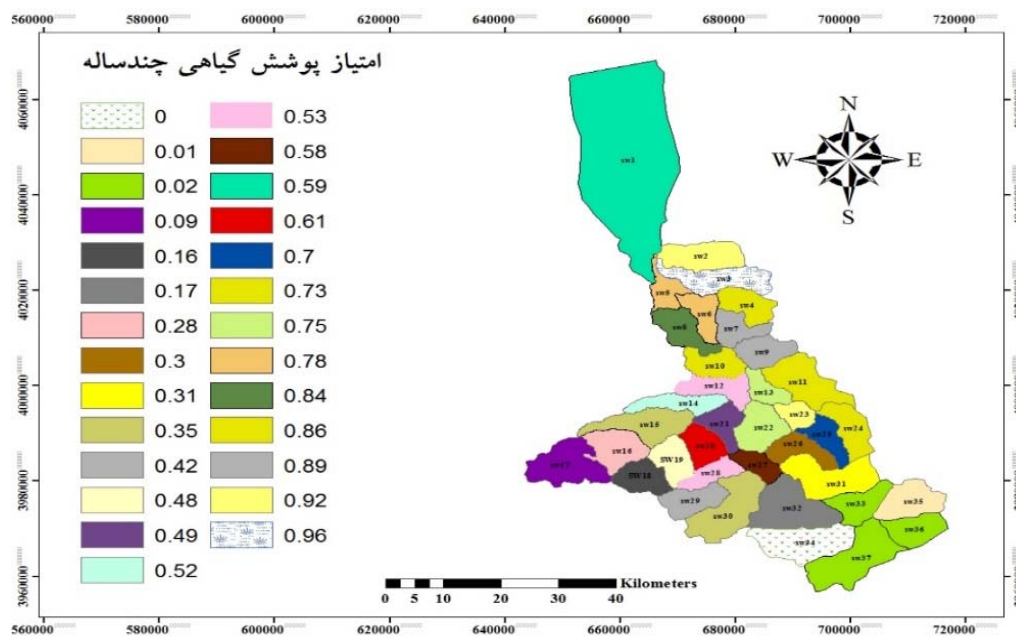
چندساله نسبت به سایر زیر حوضه‌ها برخوردار است که برابر

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.



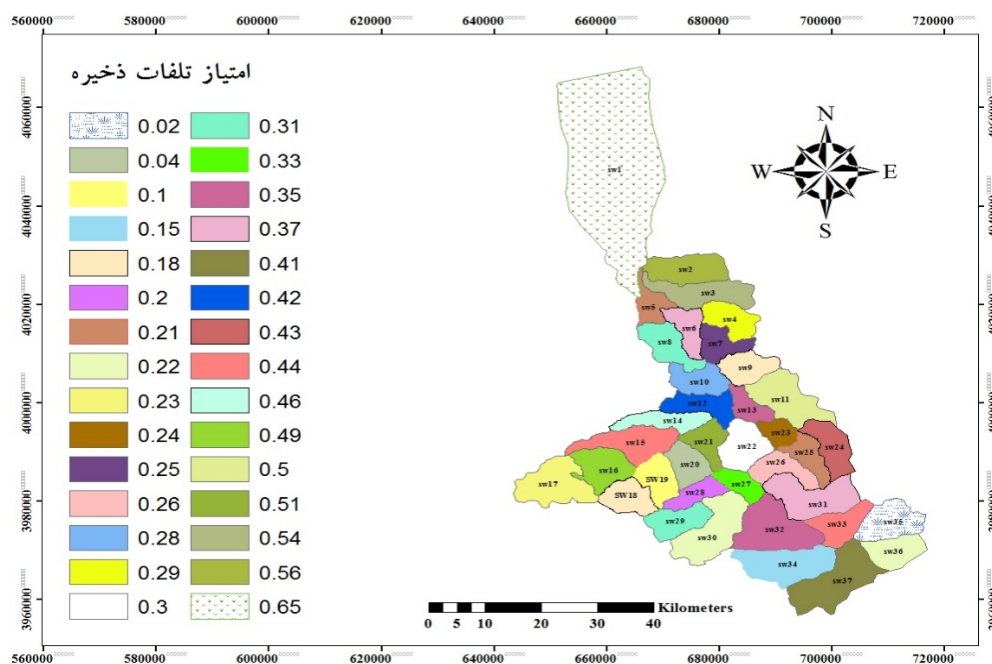
شکل ۱۱. امتیاز سلامت زیر حوضه‌های آبخیز تالار از نظر معیار هیدرولوژی (پوشش گیاهی چندساله)

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

حوضه شماره ۱ با امتیاز ۰/۶۵ 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.

* تلفات ذخیره

نقشه سلامت آبخیز به لحاظ مقدار تلفات ذخیره (متوسط تلفات مناطق باتلاقی و فاکتور پهنه آبی تغییر یافته) در هر زیر حوضه در شکل ۱۲ آورده شده است. با توجه به شکل، زیر



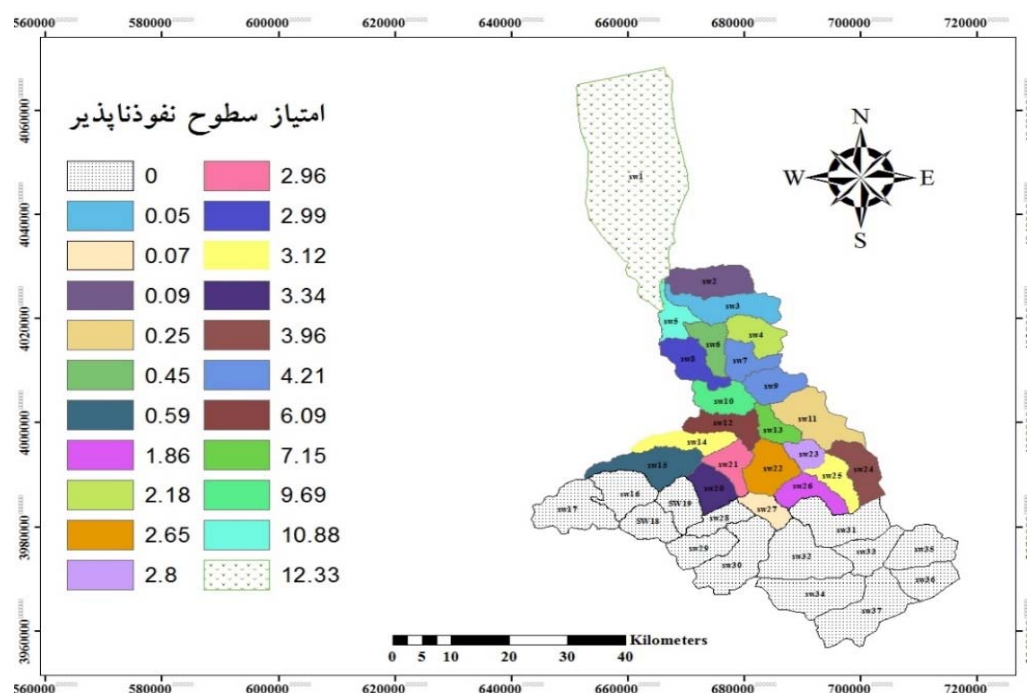
شکل ۱۲. امتیاز سلامت زیر حوضه‌های آبخیز تالار از نظر معیار هیدرولوژی (تلفات ذخیره)

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)

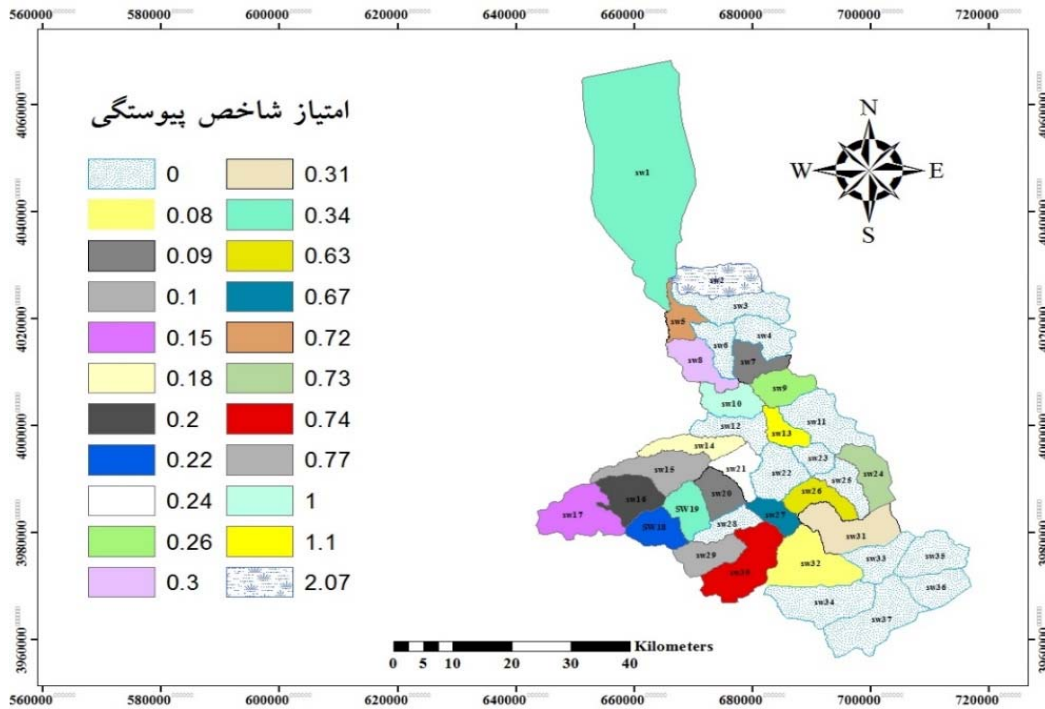
Fig. 13. Health score of Talar Subwatersheds in terms of hydrology (percent of impermeable surfaces)

نقشه نهایی سلامت آبخیز تالار

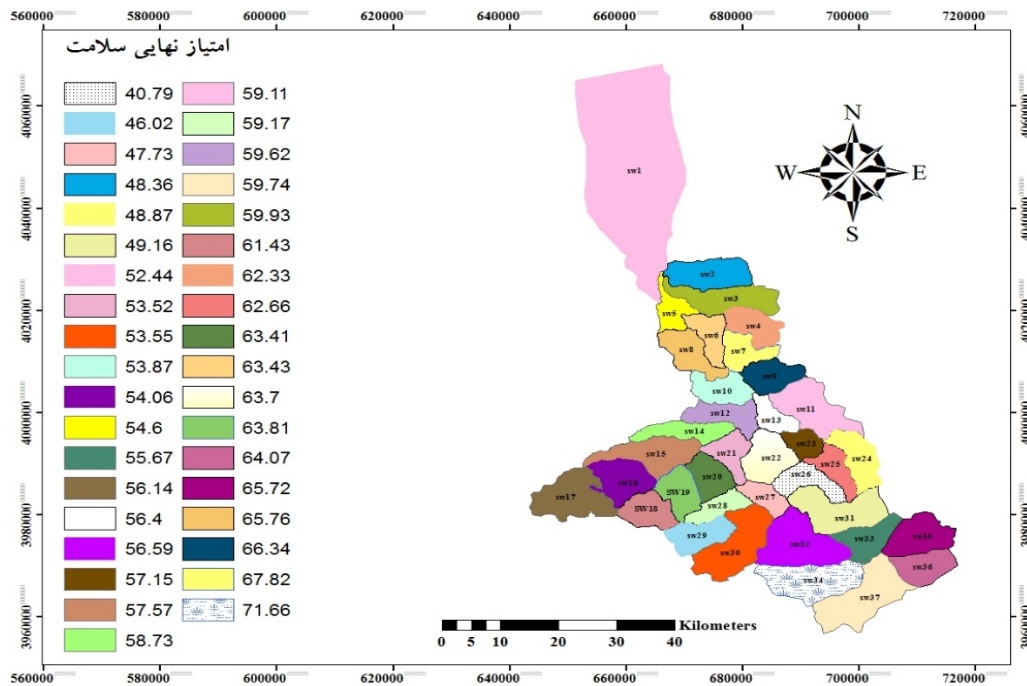
مطابق آنچه از تلفیق معیارهای ۵ گانه شاخص سلامت آبخیز به دست آمد، در شکل ۱۵ مشاهده می‌شود که زیر حوضه ۲۶ با امتیاز ۴۰/۷۹ از حداقل سلامت برخوردار است و زیر حوضه ۳۴ با امتیاز ۷۱/۶۶ بیشترین سلامت را در آبخیز تالار به خود اختصاص داد. همچنین بر اساس روش طبقه‌بندی امتیاز نهایی سلامت (۵ طبقه) در زیر حوضه‌های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

ارزیابی سلامت زیر حوضه‌ها از نظر پیوستگی

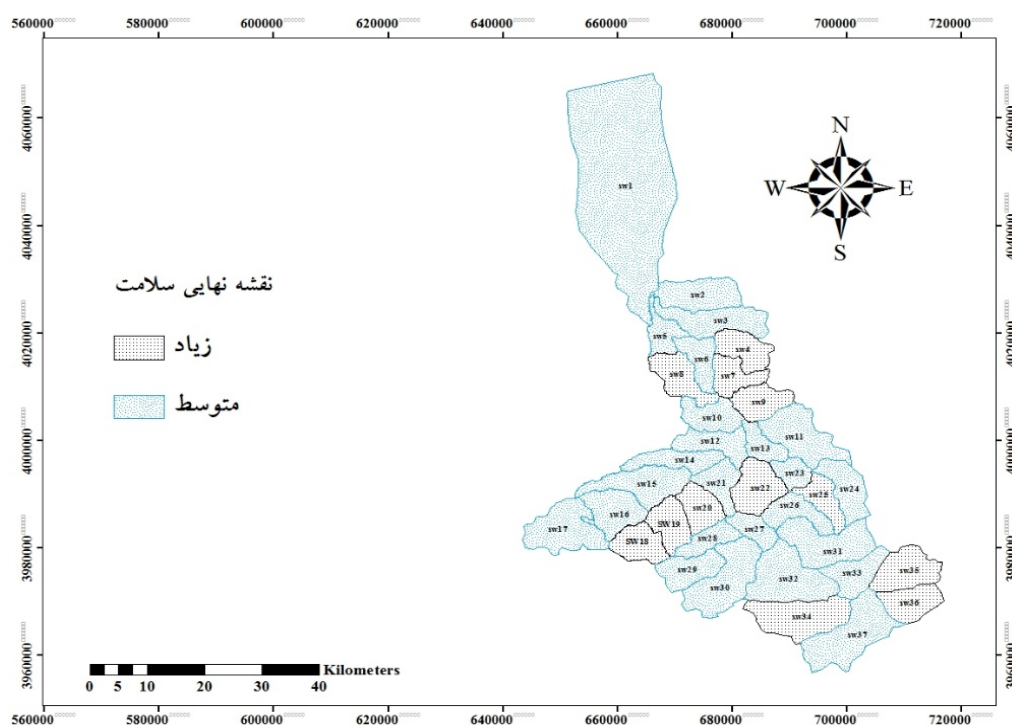
نقشه نهایی شاخص پیوستگی در هر زیر حوضه در شکل ۱۴ آورده شده است. با توجه به این شکل، زیر حوضه شماره ۲ با امتیاز ۲/۰۷ دارای حداکثر تراکم سازه در واحد طول رودخانه است که کمترین امتیاز سلامت و زیر حوضه‌های ۳، ۴، ۶، ۱۱، ۱۲، ۲۲، ۲۳، ۲۵، ۲۸، ۳۳ الی ۳۷ به علت اینکه هیچ سازه‌ای در آن‌ها احداث نشده بود حداقل تراکم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



شکل ۱۴. امتیاز سلامت زیر حوضه‌های آبخیز تالار از نظر معیار پیوستگی
 Fig. 14. Health score of Talar Subwatersheds in terms of continuity index



شکل ۱۵. 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 نتیجه گیری

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، ژئومورفولوژی، پیوستگی و زیستی انجام شد. سپس مؤثرترین معیار مذکور بر سلامت حوضه تعیین و در نهایت نقشه نهایی سلامت حوضه مربوطه با تلفیق معیارهای پنج گانه به دست آمده آمد. هدف عمده در آبخیزداری، حفظ سلامت اکولوژیکی منابع طبیعی به عنوان پیش شرط نیل به توسعه پایدار اقتصادی و اجتماعی است. ارزیابی و بهبود سلامت آبخیزها در واقع نمودی از مدیریت جامع آنها است (۱۷). در این تحقیق یکی از پارامترهای معیار ژئومورفولوژی، حساسیت پذیری فرسایش است که به عنوان تابعی از حساسیت به تغییر اقلیم تعریف شده است. در واقع تغییر اقلیم باعث حساسیت پذیری نسبت به فرسایش می شود و زمانی افزایش می یابد که اقلیم منطقه به سمت خشکی پیش رود و در نهایت باعث کاهش پوشش

گیاهی می شود و دسترسی به منابع آب نیز کاهش می یابد که این مسئله بر مسائل اقتصادی- اجتماعی تأثیر می گذارد. فرسایش خاک یک مسئله محیطی جهانی است که از حاصلخیزی خاک و کیفیت آب کاسته، رسوب زایی و احتمال وقوع سیل را افزایش می دهد (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 فرسایش پذیری (K) دارد و کمترین امتیاز آن مربوط به زیر حوضه ۳۴ است. در مورد حساسیت پذیری اقلیم بر اساس شکل ۶، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که زیر حوضه ۵ دارای بیشترین اختلاف میان بارش و تبخیر- تعرق است و شاید بتوان علت آن ها به نزدیکی بخش هایی از این زیر حوضه به دریا نسبت داد و سبب اقلیم مرطوب تر نسبت به سایر زیر حوضه ها شده است. در مقابل، زیر حوضه ۳۶ 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 می گردد. از طرفی رودخانه ها

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 (شکل ۱۱). این نتایج نشان داد که احتمال وقوع سیلاب و رواناب در این زیر حوضه نسبت به سایر زیر حوضه‌ها بیشتر است و در واقع 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 ۱۲، زیر حوضه شماره ۱ با امتیاز ۰/۶۵ بیشترین مقدار تلفات با کمترین میزان سلامت و زیر حوضه شماره ۳۵ نیز با امتیاز ۰/۰۲، کمترین مقدار تلفات و بیشترین سلامت را به خود اختصاص داده است. در بخش سطوح غیرقابل نفوذ نیز با توجه به شکل ۱۳، حداکثر مساحت غیرقابل نفوذ و حداقل سلامت مربوط به زیر حوضه شماره ۱ بوده و در مقابل زیر حوضه‌های ۱۶ تا ۱۸ و ۲۸ الی ۳۷، 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 از این‌گونه‌ها 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 ۳۴ 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 ۹، ۱۰، ۱۸، ۱۹، ۲۰ و ۲۱ است که بیانگر سلامت کمتر آن‌ها است (شکل ۱۰). در تطبیق با یافته‌های مؤمنیان و همکاران (۱۷)، بالا بودن سلامت زیر حوضه ۳۴ را می‌توان به میزان بارندگی بالا آن نسبت داد که بارش مناسب، امکان رشد گونه‌های گیاهی را افزایش می‌دهد. همچنین پایین

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 هم-جوار 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 ۱۶)، 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. 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 (۱۷). 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 سیلاب-های ویرانگر شهری شود. به راین اساس، ارزیابی شرایط هیدرولوژی رودخانه ضرورت پیدا می‌کند (۱). در این تحقیق،

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، از جمله 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 مورد استفاده 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.*

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 پل‌ها و آب‌روها باعث تنگ شدن کانال‌ها و مجراهای طبیعی رودخانه می‌شوند و این عوامل باعث افزایش سرعت آب در زیر پل و کالورت می‌شوند. در واقع 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 ۱۴، نتایج پژوهش حال حاضر نشان داد که زیر حوضه شماره ۲ با امتیاز ۲/۰۷ با حداکثر تراکم سازه‌های مذکور، در واقع کم‌ترین سلامت را نسبت به سایر زیر حوضه‌ها دارا است. در مقابل، زیر حوضه‌های ۳، ۴، ۶، ۱۱، ۱۲، ۲۲، ۲۳، ۲۵، ۲۸، ۳۳ الی ۳۷ 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 به‌مرور زمان فرسایش و پیچان-رودی شدن 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 ۳۴ دارای حداکثر سلامت و زیر حوضه ۲۶ دارای حداقل سلامت نسبت به سایر زیر حوضه‌ها است. با توجه به نقشه نهایی سلامت آبخیز (شکل ۱۶)، 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

17. Momenian P, Nazarnejhadd 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 Environmental 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>.
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-watersheds using Morphometric and LandUse change Analysis. *Ecohydrology*, 2 (3): 261-274. doi:<https://doi.org/10.22059/ije.2015.57296>. (In Persian).
11. Haghghi 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): 1-17 http://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 Sadequal 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. Khoroshi 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>.

- doi:[https://doi.org/10.1061/\(asce\)he.1943-5584.0000989](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).
- 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.



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-

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 Shahedi¹, Behrooz Mohseni¹✉, Babak Moumeni³

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 km², 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.