پژوهش های آبخیزداری
شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱

بازآفرینی شاخص پایداری آبخیز بر اساس چارچوب محرک-فشار-وضعیت-اثر-پاسخ در آبخیز بهشت‌آباد

رفعت زارع‌بیدکی[1*]، شاهین درخشان[2]، سیامک خیبری[3]، هنریک چاوز[4]

۱- دانشیار دانشکدهٔ منابع‌طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، ایران

۲- دانشجوی دکتری دانشکدهٔ منابع‌طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، ایران

۳- استادیار دانشگاه شفیلد، انگلستان

۴- استاد دانشگاه برازیلیلا، برزیل

چکیدهٔ مبسوط

مقدمه و هدف

آبخیزهای سالم خدمات زیست‌بومی بسیاری در زمینه‌های گوناگون اجتماعی و رفاه اقتصادی ارائه می‌دهند. ازاین‌رو، ارزیابی جامع آبخیزها از ضرورت‌های غیرقابل انکار مدیریت منابع آبخیز است. آگاهی از وضعیت سلامت و پایداری آبخیز از ارکان اساسی آبخیزداری پایدار است. دستیابی به این آگاهی، نیازمند یک رویکرد کاملاً نظام‌مند و جامع‌نگر است. روش‌ها و مدل‌های متنوعی برای ارزیابی سلامت زیست‌بوم‌های گوناگون به‌وسیلهٔ پژوهش‌گران محیط زیست و بوم شناختی ارائه‌شده است. آژانس‌های زیست‌محیطی، مدل‌هایی را برای بررسی تغییرات به‌وجود آمده در محیط زیست با رویکرد روابط انسان-محیط زیست گردآوری کرده‌اند که ساده‌ترین آن‌ها مدل فشار-وضعیت-پاسخ است. برای یک آبخیز بر اساس عامل‌های گوناگون باید شاخص‌هایی تعریف و تعیین کرد که به‌وسیلهٔ آن بتوان سلامت یا پایداری آبخیز را ارزیابی کرد و یا با استفاده از روش‌ها و روابط ریاضی وضعیت یک آبخیز را درجه‌بندی کرد. هدف این پژوهش این است که یک شاخص چند بعدی در زمینهٔ پایداری آبخیز ارائه شود که بتوان تا حد ممکن ابعاد بیشتری از مؤلفه‌های سلامت و پایداری آبخیز را پوشش داد.

نوع مقاله: پژوهشی

***مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی:** zare.rafat@sku.ac.ir

استناد: زارع بیدکی، ر.، درخشان، ش.، خیبری، س.، چاوز، ه.، ۱۴۰۳. بازآفرینی شاخص پایداری آبخیز بر اساس چارچوب محرک-فشار-وضعیت-اثر-پاسخ در آبخیز بهشت‌آباد. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۸(۱): ۱۱۲-۹۶.

شناسهٔ دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2024.365917.1586

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۵، **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۳/۰۷/۱۹، **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۳/۰۹/۲۹، **تاریخ انتشار:** ۱۴۰۳/۰۹/۲۹

پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۳، دورهٔ ۳۸، شمارهٔ ۱، شمارهٔ پیاپی ۱۴۶، بهار، ۱۴۰۴، صفحه‌های ۹۶ تا ۱۱۲.

ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی استان فارس

© نویسندگان

مواد و روش‌ها

در راستای هدف این پژوهش، شاخص پایداری آبخیز با انتخاب معیارهای معرفی‌شده در چهار بعد آب‌شناسی (کمی و کیفی)، محیط زیست، زندگی و سیاست (HELP) گردآوری شد. چارچوب محرک-فشار-وضعیت-اثر-پاسخ (DPSIR) یک چارچوب ساختاری انعطاف‌پذیر و حمایت‌گر است که در بسیاری از مراحل تصمیم‌گیری به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند. در این مطالعه، برای انتخاب زیرمعیارهای مناسب‌تر و گویاتر، از میان زیرمعیارهای پرشمار، از بررسی گسترده منابع علمی موجود و بحث و تبادل نظر با کارشناسان و خبرگان استفاده شد. تمام زیرمعیارها در چهار زیرآبخیز از آبخیز بهشت‌آباد در استان چهارمحال و بختیاری ارزیابی شد و نمره‌های بهنجارشده در فاصلهٔ صفر تا یک به هر کدام داده شد. اندازهٔ نهایی شاخص پایداری آبخیز با در نظر گرفتن وزن مساوی برای هر کدام از معیارها با روش میانگین حسابی به‌دست آمد.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد وضعیت شاخص پایداری آبخیز در کل آبخیز بهشت‌آباد متوسط (۰/۶۲۵) بود و زیرآبخیزها تفاوت کمی با هم داشتند. . شاخص پایداری آبخیز در زیرآبخیز بروجن، فارسان، کیار و شهرکرد به ترتیب ۰/۶۵، ۰/۶۱، ۰/۶۵ و ۰/۶۷ به‌دست آمد. معیار محیط زیست در چهار زیرآبخیز از آبخیز بهشت‌آباد امتیاز بیشتری کسب کرد. نمرهٔ سیاست در هر چهار زیرآبخیز مطالعه‌شده یکسان بود، چون معیارها در سطح ملی اندازه‌گیری شده بودند. همچنین، معیار زندگی نیز به‌دلیل بررسی زیرمعیارهایی که در سطوح کلان‌تر از زیرآبخیز اندازه‌گیری شده بودند، امتیازات نزدیک به‌هم کسب کرد. از میان معیارها، معیار محیط زیست، امتیاز بیشتر و معیار زندگی و آب‌شناسی امتیاز کمتر را کسب کردند. در چارچوب نیروی محرک- فشار- وضعیت- اثر- پاسخ امتیاز معیارهای مرتبط با اثر بیشتر بود و امتیاز معیارهای مرتبط با فشار کمتر بود

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

شاخص پایداری آبخیز بهشت‌آباد را می‌توان با تمرکز بر زیر معیار آب‌شناسی، افزایش مشارکت مردم در راه‌کارهای بهبود آبخیز، آموزش جوامع در حفظ آب و افزایش نقش‌آفرینی جوامع محلی در برنامه‌های جنگل‌کاری بهبود بخشید. افزون بر این، معیار محیط زیست را می‌توان با افزایش کاشت گیاهان و با محدود کردن سرعت شهرنشینی در آبخیز بهبود بخشید. به خاطر کم‌بودن امتیاز معیارهای زندگی و سیاست و زیاد بودن امتیاز محیط زیست می‌توان گفت جبر جغرافیایی حاکم بر منطقه به سود آبخیز بوده و فقط مدیریت و سیاست‌های حاکم بر آبخیز درخور نبوده است. این شاخص ابزار ارزشمندی، برای تصمیم‌گیری مدیران آبخیز است. تنگناها و محدودیت‌ها را می‌توان با استفاده از این شاخص شناسایی کرد. شناسایی این محدودیت‌ها، فرصتی برای بهبود وضعیت کنونی آبخیز است که نیازمند همکاری کارآمد میان نهادهای گوناگون است. شاخص WSI یک شاخص کل‌نگر است و برای اهداف مدیریت زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی ظرفیت زیادی دارد. بر اساس نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌شود که اگر مدیران و تصمیم‌گیرندگان از این ابزار به‌شکل منظم (به‌عنوان مثال هر ۵ سال یک‌بار) استفاده کنند می‌توانند توصیف مناسبی از تغییرات پایداری آبخیز را در اختیار داشته باشند.

واژگان کلیدی: آبخیز بهشت آباد، آب‌شناسی، استان چهارمحال و بختیاری، سلامت آبخیز

مقدمه

آبخیزهای سالم خدمات بوم‌نظامی بسیاری در زمینه های گوناگون اجتماعی و رفاه اقتصادی ارائه می‌دهند (آژانس حفاظت از محیط زیست ۲۰۱۲). ازاین‌رو، ارزیابی جامع آبخیزها از ضرورت‌های غیرقابل انکار مدیریت منابع آبخیز است. از عامل‌های کلیدی در توسعه و پیشرفت یک برنامه جامع نظارت این است که آبخیز را باید به‌عنوان یک ساختار یکپارچه که خدمات آن تحت تأثیر عامل‌های فیزیکی، آب‌شناختی، بوم‌شناختی، اقتصادی، اجتماعی و سیاسی است، در نظر گرفت. آگاهی از وضعیت سلامت و پایداری آبخیز از ارکان اساسی مدیریت پایدار آبخیز است. دستیابی به این آگاهی، نیازمند یک رویکرد کاملاً ساختاری و جامع‌نگر است. تاکنون برای ارزیابی پایداری آبخیز رویکردها و روش‌های گوناگونی معرفی، توسعه و به‌کارگرفته شده است. اگر چه در کلیت پایداری، در میان نخبگان و سیاست‌گذاران اجماع جهانی وجود دارد و این مفهوم از سوی بسیاری از دولت‌ها و مجامع بین‌المللی پذیرش‌شده است، اما در مفهوم آن و ساز و کارهای دستیابی به پایداری و در نهایت شاخص‌ها و روش‌های سنجش توسعهٔ پایدار، اجماع همه جانبه‌ای وجود ندارد. شاخص‌های پایداری با دیگر شاخص‌ها متفاوت است، زیرا به یک جهان‌بینی یکپارچه نیاز دارد که لازمهٔ آن ارتباط میان اقتصاد، محیط زیست و جامعه یک جامعهٔ خاص است (سیلوا و همکاران ۲۰۰۹).

شاخص‌های پایداری به منابع اطلاعات مهمی تبدیل می‌شوند که برای نظارت بر فرآیندهای محرک پویایی ساختارهای اجتماعی، اقتصادی، محیطی و نهادی و غیره استفاده می‌شوند (مینارد و همکاران ۲۰۱۷). از جمله این روش‌های جامع‌نگر که برای ارزیابی پایداری آبخیزها معرفی شده‌اند شاخص پایداری آبخیز WSI[1] است که در سال ۲۰۰۷ به‌وسیلهٔ چاوز و آلیپاز معرفی شد. این شاخص با پیروی از ابتکار جهانی آب‌شناسی برای محیط زیست، حیات و سیاست از چهار معیار آب‌شناسی، محیط زیست، معیشت و سیاست (HELP) تشکیل‌شده است. در فوریه ۱۹۹۹، پنجمین کنفرانس مشترک یونسکو و سازمان هواشناسی جهانی در زمینهٔ آب‌شناسی به اتفاق آرا، ابتکار جهانی جدیدی تحت عنوان HELP (آب‌شناسی، محیط زیست، زندگی و سیاست) را تأیید کرد که یک شبکه جهانی از آبخیزها برای بهبود پیوندهای میان آب‌شناسی و نیازهای جامعه ایجاد کند. از آنجایی که آبخیز واحد طبیعی آب‌شناسی است، HELP به‌طور ویژه مبتنی بر آبخیز است (یونسکو ۲۰۰۱). با این حال، HELP مردمی و محیط زیست محور، مشکل محور و پاسخگو به تقاضا است: مسائل محیط زیست، زندگی و سیاست را نقطه شروع و آب‌شناسی را ابزاری برای حل آنها می‌داند (شاتل وورث ۲۰۰۰). ابتکار HELP سیاست‌گزاران، مدیران و جوامع علمی را تشویق می‌کند تا با توسعه این مفهوم با یکدیگر همکاری کنند و علم بتواند از نزدیک با نیازهای سیاست و مدیریت ادغام شود (فالکن مارک ۲۰۰۴).

چارچوب فشار- وضعیت- پاسخ (PSR) به‌وسیلهٔ سازمان همکاری و توسعهٔ اقتصادی (۲۰۰۳) استفاده‌شده است و هر کدام از معیارها، زیرمعیارهایی دارد که در سه سطح تقسیم شده‌اند (چاوز و آلیپاز ۲۰۰۷). چارچوب PSR برای استفاده از زنجیره علّت و معلولی عامل‌های دخیل در پایداری آبخیز به‌کارگرفته شده است و در حقیقت موجب شکل‌گیری ارتباط میان پژوهش‌گران، ذی‌مدخلان و سیاست‌گزاران می‌شود (وانلی و همکاران ۲۰۱۵). چارچوب فشار- وضعیت- پاسخ به‌وسیلهٔ فرند و راپورت (۱۹۷۹) توسعه یافت و در نتیجه اجرای آن به‌وسیلهٔ سازمان همکاری و توسعه اقتصادی به‌عنوان یک الگو برای توسعه شاخص‌های زیست‌محیطی در سراسر جهان به‌طور گسترده‌ای استفاده شد. مدل PSR به‌دنبال بررسی علت سه مسئله است:

۱- فشار ناشی از فعالیت‌های انسانی در زمینه‌های گوناگون

۲- چگونه این فشارها بر وضعیت ساختارهای طبیعی تأثیرگذار است.

۳- پاسخ دولت‌ها و جوامع عمومی برای رسیدگی، که با سیاست‌ها و قوانین گوناگون تغییر می‌کند.

1-Watershed Sustainability Index

با توجه به اینکه معیار آب‌شناسی خود به معیارهای کیفی و کمّی تقسیم‌شده است در مجموع ۱۵ زیرمعیار این شاخص را می‌سازد. به هرکدام از معیارها با توجه به رابطهٔ معرفی‌شده امتیازی داده می‌شود. امتیازها بهنجار می‌شوند که در مقیاس میان صفر تا یک است. سپس با میانگین حسابی امتیازهای زیرمعیارها، امتیاز معیار تعیین می‌شود و امتیازهای معیارها به امتیاز شاخص تبدیل می‌شود. تفسیر نتایج بر اساس اندازهٔ نهایی شاخص انجام می‌شود. کمتر از ۰/۵، به‌معنی پایداری کم، میان ۰/۵ تا ۰/۸ به معنی متوسط و بیشتر از ۰/۸ به معنی پایداری خوب یا زیاد است (کاسترو و همکاران ۲۰۱۶). شاخص معرفی‌شده بدون وزن است. به‌بیان دیگر، معیارها و زیرمعیارها اهمیت یکسانی دارند. از زمان معرفی شاخص پایداری آبخیز در سال ۲۰۰۷، پژوهشگران برای ارزیابی پایداری آبخیز در مناطق پرشماری از دنیا از آن استفاده کردند. در این راستا می‌توان به پژوهش‌های کاستانو و همکاران (۲۰۰۹)، کاسترو و همکاران (۲۰۱۶)، چاندنیها و همکاران (۲۰۱۴)، کورتز و همکاران (۲۰۱۲)، فیردوس و همکاران (۲۰۱۴)، مینارد و همکاران (۲۰۱۷)، زارع بیدکی و همکاران (۲۰۲۳) اشاره کرد. چارچوب فشار-وضعیت- پاسخ، گسترش یافت و ابعادی به زنجیره علّت و معلولی اضافه شد. چارچوب DPSIR در ابتدا به‌وسیلهٔ سازمان همکاری اقتصادی و توسعه ارائه شد و به‌وسیلهٔ آژانس حفاظت محیط‌زیست اروپا[2] در سال ۱۹۹۹ توسعه یافت و به‌وسیلهٔ سازمان ملل در سال ۲۰۰۷ استفاده شد و نتایج طرح ابتکاری پورتوریکو به‌وسیلهٔ آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا[3]برای ایجاد ارتباط میان فعالیت‌های انسانی با وضع محیط زیست قابل قبول بود (برادلی و همکاران ۲۰۱۶). بر مبنای چارچوب DPSIR، سلسله‌ای از روابط علّی با نیروهای محرک (اعم از بخش‌های اقتصادی، فعالیت‌های انسانی) شروع شد و با اعمال فشار (انتشار آلاینده‌ها، مصرف منابع) بر وضعیت زیست‌محیطی و اثرگذاری بر بوم‌نظام‌ها و سلامت انسان، در نهایت سبب شکل‌گیری پاسخ‌های سیاستی (تقدم و سامان‌دهی اهداف) خواهد شد. چارچوب نیروی محرکه-فشار-وضعیت-اثر-پاسخ[4] یک چارچوب انعطاف‌پذیر و حمایت‌گر از رویکرد ساختار است که تصمیم‌گیرندگان در بسیاری از مراحل تصمیم‌گیری می‌توانند از آن استفاده کنند. ازاین‌رو، این چارچوب ابزاری ارزشمند برای سازمان‌دهی و ایجاد ارتباط با موضوعات پیچیده زیست‌محیطی است. در این راستا می‌توان به پژوهش‌های مصفایی و همکاران (۲۰۲۱، ۲۰۲۲، ۲۰۲۳) در شناخت مشکلات آبخیز و تعیین پاسخ‌های مدیریتی اشاره کرد. این پژوهش بر مبنای خلق شاکلهٔ جامع‌نگری در مفهوم پایداری آبخیز، بر اساس مبانی علمی و تخصصی از فرایندهای دخیل در پایداری انجام شد و تلاش شد تا بستر مناسبی برای درک مشابه از مفاهیم پایدرای آبخیز با کمترین تفاوت نظر طراحی شود. همچنین، در این پژوهش تلاش شد تا یک شاخص چند بعدی در زمینه پایداری آبخیز ارائه شود که بتوان تا حد امکان ابعاد بیشتری از مؤلفه‌های سلامت و پایداری آبخیز را پوشش داد.

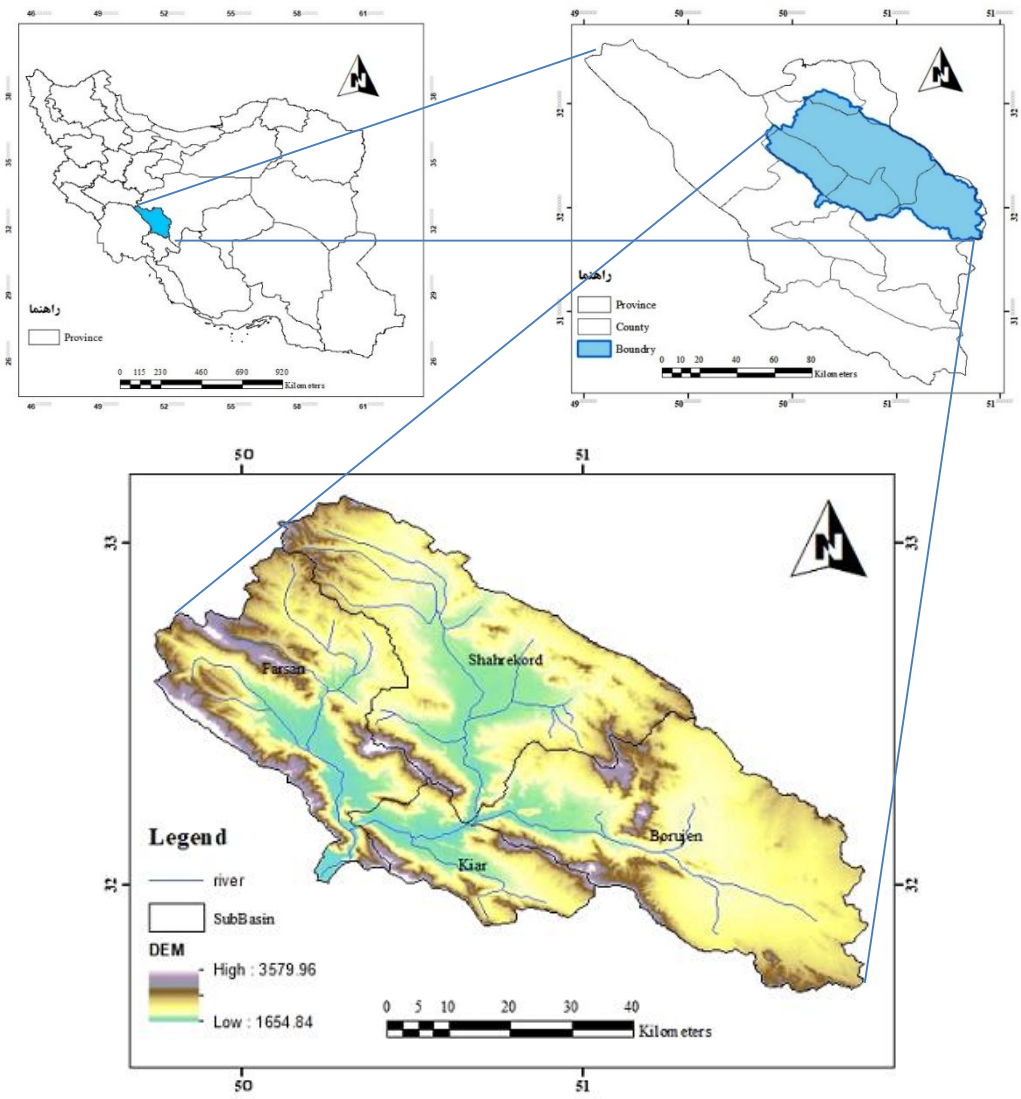
مواد و روش‌ها

منطقهٔ مطالعه‌شده

آبخیز بهشت‌آباد با مساحت ۳۸۷۰/۹۳ کیلومتر مربع در میان رشته کوه‌های زاگرس و در شمال‌شرق استان چهارمحال و بختیاری است و از زیرآبخیزهای آبخیز کارون بزرگ به‌شمار می‌آید. این آبخیز میان عرض‌های جغرافیایی شمالی ′۸۲ °۳۱ و ′۵۶ °۳۲ و طول‌های جغرافیایی شرقی ′۳۷ °۵۰ و ′۴۲ °۵۱ است. این آبخیز در بخش‌هایی از شش زیرآبخیز آب‌شناخت شهرکرد، بروجن، فارسان، شلمزار، سفیددشت و کیار است. در این آبخیز بیشترین بلندی ۳۶۰۶ متر و کمترین بلندی ۱۶۵۴ متر است. موقعیت آبخیز مطالعه‌شده در شکل ۱ نشان‌داده شده است. جمعیت این آبخیز بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵ شمسی ۵۳۰۵۳۱ نفر بود و بر پایهٔ برآورد سرشماری سال ۱۴۰۰ شمسی ۵۵۸۵۱۷ نفر بود. جمعیت شهری آبخیز در سال ۱۳۹۵ برابر با

2-European Environmental Agency
3-US Environmental Protection Agency
4-Driving Force-Pressure-State-Impact-Response

۴۶۷۱۲۳ نفر و جمعیت روستایی آن ۶۳۴۰۸ نفر بود. جمعیت شهری و روستایی در سال ۱۴۰۰ به‌ترتیب به ۵۳۸۱۲۶ و ۴۹۶۷۳ نفر رسید. رشد جمعیت شهری ۱۵/۰۳٪ بود و جمعیت روستایی ۲۱/۶۶-٪ بود که دلیل آن مهاجرت از روستا به شهر و یا مشمول تعاریف تبدیل روستا به شهر است. باید توجه داشت که ۵۹٪ از جمعیت استان در این آبخیز سکونت دارد. شهرهای شهرکرد، بروجن و فارسان شهرهای پرجمعیت استان هستند و بیشتر صنایع و زیرساخت‌های استان در آن است.



شکل ۱- موقعیت آبخیز بهشت آباد در استان چهارمحال و بختیاری و ایران.

Figure 1- Location of Beheshtabad Watershed in Chaharmahal-va-Bakhtiari Province and Iran.

روش پژوهش

شاخص پایداری آبخیز (WSI) را چاوز و آلیپاز (۲۰۰۷) معرفی کردند. در این شاخص معیارهای آب‌شناسی، محیط‌زیست، زندگی و سیاست در نظر گرفته‌شده است. شاخص WSI به‌شکل ویژه برای ارزیابی پایداری آبخیز ارائه‌شده است. در این پژوهش شاخص WSI با استفاده از رابطه زیر (HELP) محاسبه شد.

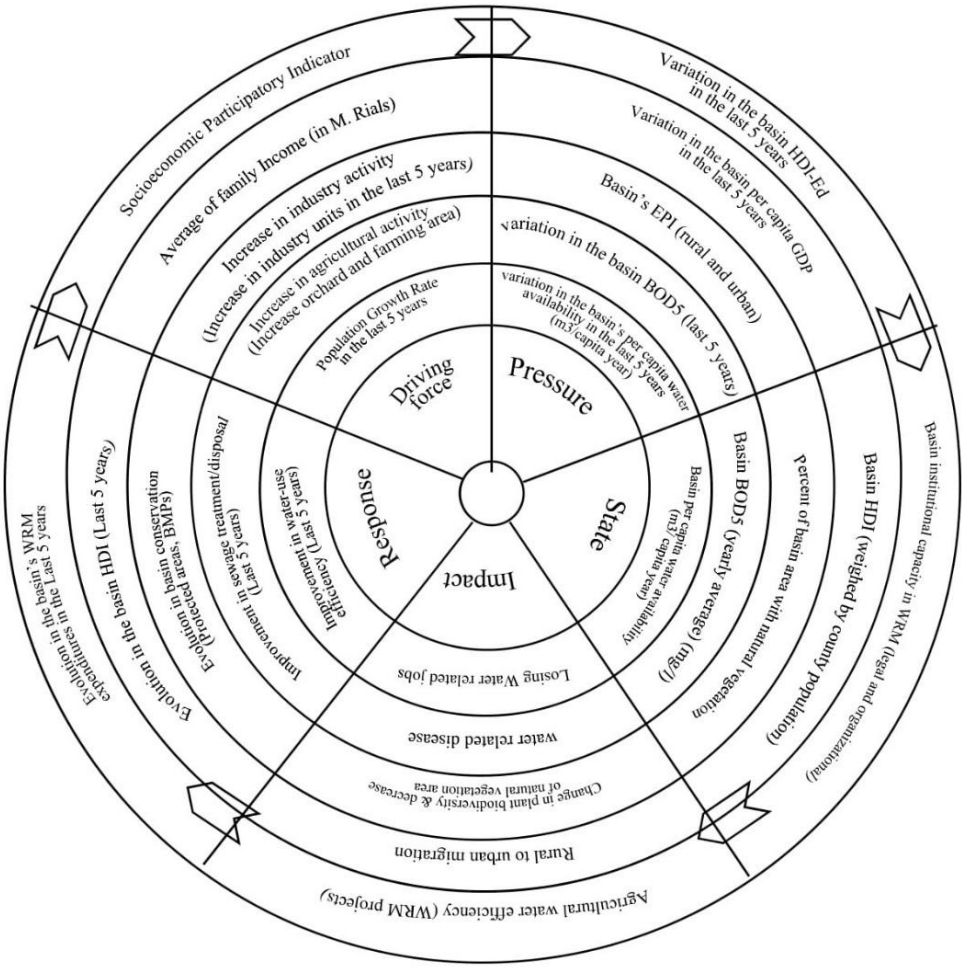
$$WSI = \frac{H + E + L + P}{4} \qquad (۱)$$

H: معیار آب‌شناسی، L معیار زندگی، E معیار زیست‌محیطی و P معیار سیاست است.

به‌طورکلی در این روش هر سنجه یک امتیاز از صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ تا ۱ کسب کرد و همهٔ سنجه‌ها وزن مساوی داشتند، اگرچه سنجه‌ها ممکن است از آبخیزی به آبخیز دیگر متفاوت باشند. این شاخص در چارچوب فشار- وضعیت- پاسخ ارائه‌شده است (چاوز و آلیپاز ۲۰۰۷). سنجه‌های فشار، سنجه‌های وضعیت و سنجه‌های پاسخ WSI در جدول‌هایی ارائه‌شده است و این امکان را فراهم می‌کند تا کاربران بهترین امتیاز را تا حد امکان برای هر سنجه انتخاب کنند. با این حال چگونگی استفاده از مدل به اطلاعات در دسترس آبخیز بستگی دارد.

چارچوب نیروی محرک- فشار- وضعیت- اثر- پاسخ DPSIR

در این پژوهش تلاش شد شاخص پایداری آبخیز چاوز و آلیپاز گسترش‌داده شود و متغیرهای بیشتری در آن گنجانده شود. ازاین‌رو، چارچوب PSR به چارچوب DPSIR گسترش‌داده شد. این چارچوب در شکل ۲ نشان‌داده شده است.



شکل ۲- نمودار مؤلفه‌های چارچوب نیروی محرک-فشار-وضعیت-اثر-پاسخ

Figure 2- Diagram of DPSIR Framework.

در گسترش رویکرد PSR به DPSIR دو بعد اثر و نیروی محرکه به ابعاد شاخص اضافه شد (جدول ۱). زیرمعیارهای نیروی محرک و اثر، با اجماع متخصصان انتخاب شدند و شاخص جدید برای آبخیز بهشت‌آباد محاسبه شد. پس از تعیین اندازه‌های زیرمعیارها و معیارها در چهار زیرآبخیز فارسان، کیار، شهرکرد و بروجن که در مجموع آبخیز بهشت‌آباد را تشکیل می‌دهند، با استفاده از روش سادهٔ میانگین حسابی، اندازه‌های امتیاز هر معیار در ابعاد پنج‌گانهٔ معرفی‌شده، حساب شد.

جدول ۱- معیارهای شاخص پایداری آبخیز با رویکرد چارچوب نیروی محرک-فشار-وضعیت-اثر-پاسخ

Table 1-Criteria of WSI with approach of DPSIR Framework

WSI (DPSIR)	Driving Force	Pressure	State	Impact	Response
Hydrology (Quantity)	Population Growth Rate in the last 5 years	variation in the basin's per capita water availability in the last 5 years (m3/capita year)	Basin per capita water availability (m3/ capita year)	Losing Water related jobs	Improvement in water-use efficiency (Last 5 years)
Hydrology (Quality)	Increase in agricultural activity (increase orchard and farming area)	variation in the basin BOD5 (last 5 years)	Basin BOD5 (yearly average) (mg/l)	water related disease	Improvement in sewage treatment/disposal (Last 5 years)
Environment	Increase in industry activity (increase in industry units in the last 5 years)	Basin's EPI (rural and urban)	Percent of basin area with natural vegetation	Change in plant biodiversity & decrease of natural vegetation area	Evolution in basin conservation (Protected areas, BMPs)
Life	Average of family Income (in M. Rials)	Variation in the basin per capita GDP in the last 5 years	Basin HDI (weighed by county population)	Rural to urban migration	Evolution in the basin HDI (Last 5 years)
Policy	Socioeconomic Participatory Indicator	Variation in the basin HDI-Ed in the last 5 years	Basin institutional capacity in WRM (legal and organizational)	Agricultural water efficiency (WRM projects)	Evolution in the basin's WRM expenditures in the Last 5 years

تعیین امتیاز یا امتیازهای هر کدام از زیرمعیارهای فشار، وضعیت و پاسخ بر اساس روش چاوز و آلیپاز (۲۰۰۷) انجام شد. امتیاز زیرمعیارهای نیروی محرکه و اثر به‌ترتیب بر اساس جدول‌های ۲ و ۳ محاسبه شد. اطلاعات لازم برای محاسبهٔ سنجه‌ها با استخراج از نقشه‌های موجود، مصاحبه حضوری با ادارات مرتبط و همچنین از آمار درج‌شده در درگاه ملی آمار دریافت شد. از گزارش فنی شاخص توسعهٔ انسانی سازمان ملل منتشرشده (۲۰۲۱) برای محاسبهٔ شاخص توسعهٔ انسانی استفاده شد. برای تعیین تفاوت‌های مکانی اندازهٔ شاخص پایداری در آبخیز بهشت‌آباد آبخیز نامبرده به چهار زیرآبخیز تفکیک شد (شکل ۱) و اندازه‌های زیرمعیارها برای هر کدام به‌دست آمد.

جدول ۲- تشریح سنجه‌ها، تراز و امتیاز نیروی محرکهٔ شاخص پایداری آبخیز بهشت‌آباد

Table 2- Description of WSI driving force parameters, levels and scores

Indicator	Driving force Parameters	Level	Score
Hydrology (Quantity)	Population growth rate in the last 5 years [(Current population – Population of the last 5 years) / Population of the last 5 years] * 100	>120	0.00
		90-120	0.25
		60-90	0.50
		30-60	0.75
		0-30	1.00
Hydrology (Quality)	Increase in agricultural activity (increase orchard and farming area) [(Current area of agriculture and gardens – Area of agriculture and gardens in the last 5 years) / Area of agriculture and gardens in the last 5 years] * 100	Δ>40%	0.00
		20<Δ<40%	0.25
		0<Δ<20%	0.50
		%-20<Δ<0%	0.75
		Δ<-20%	1.00
Environment	Increase in industry activity (increase in industry units in the last 5 years) [(Number of current industrial units – Number of industrial units in the last 5 years) / Number of industrial units in the last 5 years] * 100	Δ>30	0.00
		20<Δ<30	0.25
		10<Δ<20	0.50
		5<Δ<10	0.75
		0<Δ<5	1.00
Life	Average of family Income (in M. Rials) GDP = Wage + Rent + Income + Profit	GDP<5000	0.00
		5000<GDP<10000	0.25
		10000<GDP<20000	0.50
		30000<GDP<60000	0.75
		GDP>60000	1.00
Policy	socio economic status (SES) (Modified Kuppuswamy Scale or Classification) DOI: dx.doi.org/10.12803/SJSECO.4711915	Lower (below5)	0.00
		Upper lower (5-10)	0.25
		Lower middle (11-15)	0.50
		Upper middle (16-25)	0.75
		Upper class (26-29)	1.00

جدول ۳- تشریح سنجه‌ها، تراز و امتیاز اثر شاخص پایداری آبخیز بهشت‌آباد.

Table 3- Description of WSI Impact parameters, levels and scores.

Indicator	Impact Parameters	Level	Score
Hydrology (Quantity)	Losing water related jobs	<10000	0.00
		10000>w<7500	0.25
		7500>w<5000	0.50
		5000>w<2500	0.75
		>2500	1.00
Hydrology (Quality)	water related disease	No≥750	0.00
		500<No≤750	0.25
		250<No≤500	0.50
		100<No<250	0.75
		<100	1.00
Environment	Change in plant biodiversity & decrease of natural vegetation area	Δ>15%	0.00
		10%<Δ<15%	0.25
		5<Δ<10%	0.50
		0%<Δ<5%	0.75
		Δ<0%	1.00
Life	Rural to urban migration	Δ<30%	0.00
		20%<Δ<30%	0.25
		20<Δ<+10%	0.50
		10%<Δ<5%	0.75
		5<Δ<0%	1.00
Policy	Agricultural water efficiency (WRM projects)	Very poor	0.00
		Poor	0.25
		Medium	0.50
		Good	0.75
		Excellent	1.00

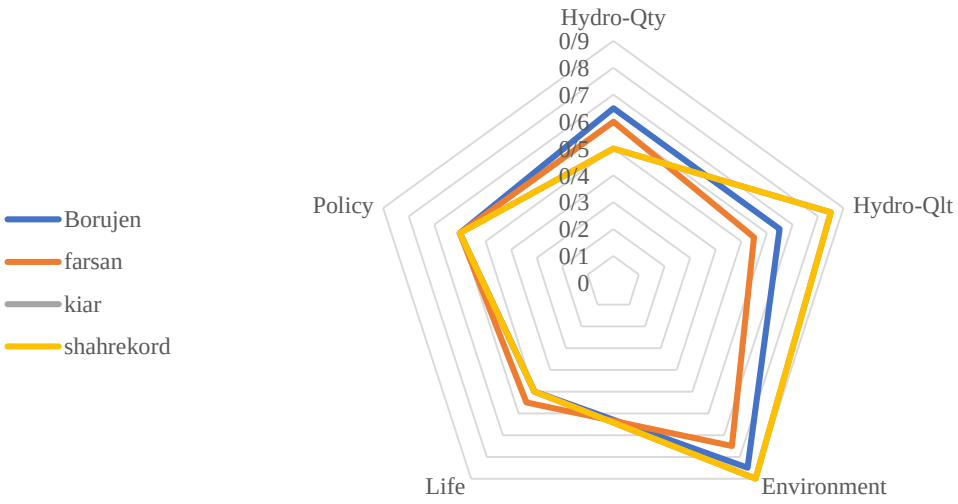
نتایج و بحث

نتایج نهایی شاخص پایداری آبخیز با رویکرد چارچوب نیروی محرک-فشار-وضعیت-اثر-پاسخ در جدول ۴ نشان‌داده شده است. اگرچه هدف نهایی شاخص پایداری آبخیز، فقط به‌دست آوردن اندازه‌های نهایی نبود، اما در گام اول با مقایسه این چهار زیرآبخیز می‌توان گفت که بیشترین پایداری مربوط به زیرآبخیز شهرکرد و کمترین آن مربوط به زیرآبخیز کیار بود. اندازه‌های به‌دست آمده شاخص برای هر چهار زیرآبخیز و کل آبخیز بهشت‌آباد نشان داد، وضعیت پایداری آبخیز نامبرده متوسط بود و هر کدام از زیرآبخیزها از لحاظ پایداری نیز تفاوت بسیار کمی با یکدیگر داشتند. در مقایسه با نتایج به‌دست آمده از پژوهش‌های پیشین در این آبخیز نمی‌توان گفت که اندازهٔ شاخص پایداری تغییر محسوسی کرده است.

جدول ۴- نتایج نهایی شاخص پایداری آبخیز با رویکرد چارچوب نیروی محرک-فشار-وضعیت-اثر-پاسخ

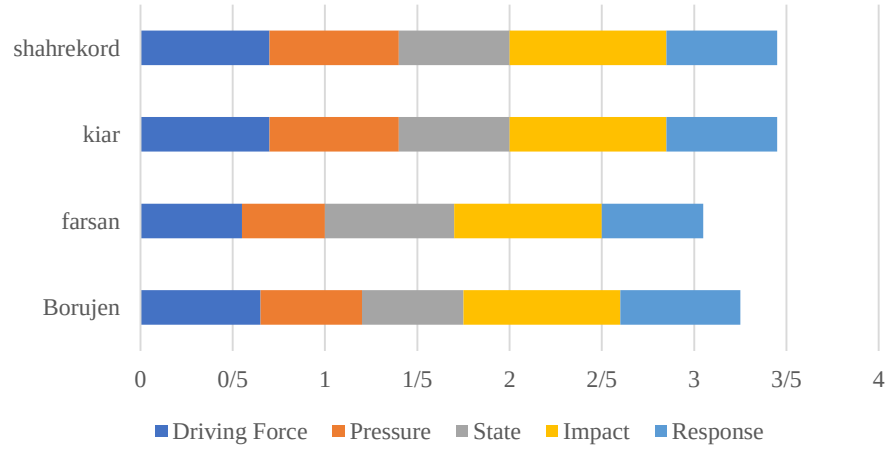
Table 4- Results of WSI with approach of DPSIR Framework.

subbasin	Criterion	Driving Force	Pressure	State	Impact	Response	Score	WSI
Farsan	Hydro-Qty	0.5	0.25	0.75	1	0.5	0.6	0.61
	Hydro-Qlt	0.25	0.5	0.75	0.75	0.5	0.55	
	Environment	1	0.25	1	1	0.5	0.75	
	Life	0.5	0.5	0.25	0.75	0.75	0.55	
	Policy	0.5	0.75	0.75	0.5	0.50	0.6	
	Score	0.55	0.45	0.7	0.8	0.55		
Kiar	Hydro-Qty	0.75	0.25	0.25	1	0.5	0.5	0.67
	Hydro-Qlt	1	1	0.5	1	0.75	0.85	
	Environment	0.75	1	1	1	0.75	0.9	
	Life	0.5	0.5	0.25	0.75	0.5	0.5	
	Policy	0.5	0.75	0.75	0.5	0.5	0.6	
	Score	0.7	0.7	0.6	0.85	0.6		
Shahrekord	Hydro-Qty	0.75	0.25	0.25	1	0.5	0.5	0.67
	Hydro-Qlt	1	1	0.5	1	0..75	0.85	
	Environment	0.75	1	1	1	0.75	0.9	
	Life	0.5	0.5	0.25	0.75	0.5	0.5	
	Policy	0.5	0.75	0.75	0.5	0.5	0.6	
	Score	0.7	0.7	0.6	0.85	0.6		
Borujen	Hydro-Qty	1	0.5	0.25	1	0.5	0.65	0.65
	Hydro-Qlt	0.25	0.75	0.5	1	0.75	0.65	
	Environment	1	0.25	1	1	1	0.85	
	Life	0.5	0.5	0.25	0.75	0.5	0.5	
	Policy	0.5	0.75	0.75	0.5	0.5	0.6	
	Score	0.65	0.55	0.55	0.85	0.65		
Total of Watershed		0.65	0.6	0.61	0.84	0.6		0.625



شکل ۳- اندازه‌های معیارهای شاخص پایداری آبخیز برای هر زیرآبخیز.
Figure 3- Values of WSI's Criteria in each Sub-Watershed.

با بررسی شاخص پایداری آبخیز، با معیارهای گوناگون می‌توان نقاط ضعف و قوت هر منطقه تشخیص داد. بر اساس شکل ۳ معیار محیط زیست در زیرآبخیزهای چهارگانه آبخیز بهشت‌آباد امتیازهای بیشتری کسب کرد. امتیاز سیاست در هر چهار منطقه یکسان بود، چون معیارها در سطح ملی اندازه‌گیری‌شده بودند. همچنین، معیار زندگی/معیشت نیز به‌دلیل بررسی زیرمعیارهایی که در سطوح کلان‌تر از زیرآبخیز اندازه‌گیری‌شده بودند، امتیازات نزدیک به‌هم کسب کردند. سه بعد دیگر شاخص پایداری آبخیز تغییرات بیشتری در زیرآبخیزها نشان داد. بر اساس انحراف معیار محاسبه‌شده، به‌ترتیب آب‌شناسی- کیفیت، آب‌شناسی- کمیّت، و محیط زیست بیشترین تغییرات را در کسب امتیازات داشتند. زیرآبخیز کیار کمترین امتیاز معیارهای آب‌شناسی- کمیّت و محیط زیست را کسب کرد و کمترین امتیاز معیار آب‌شناسی- کیفیت نیز مربوط به زیرآبخیز فارسان بود. زیرآبخیز شهرکرد از نظر آب‌شناسی- کیفیت و محیط زیست امتیاز بیشتری در مقایسه با زیرآبخیزهای دیگر به‌دست آورد که دلیل آن وجود امکانات در مرکز استان بود.



شکل ۴- اندازه‌های سنجه‌های شاخص پایداری آبخیز برای هر زیرآبخیز.
Figure 4- Values of WSI's Parameters in each Sub-Watershed.

بر پایهٔ شکل ۴، امتیازهای بعد اثر در میان ابعاد پنج‌گانه رویکرد DPSIR بیشترین امتیاز را کسب کردند. اما ضریب تغییرات امتیازهای بعد فشار در میان زیرآبخیزها بیشتر بود. کمترین اندازهٔ فشار در زیرآبخیز فارسان و بیشترین آن در زیرآبخیز شهرکرد به‌دست آمد.

از مزایای شاخص پایداری آبخیز، انعطاف‌پذیری و تطبیق‌پذیری آن است. همچنین، ابزار مفیدی برای انتقال اطلاعات آبخیز به مخاطبان و تصمیم‌گیران است. شاخص پایداری آبخیز می‌تواند اطلاعات جامعی را برای احیای محیط‌زیست و شاخص‌های انسانی و توسعه صنعتی برای مدیران فراهم آورد. در این پژوهش برای بررسی شاخص پایداری در آبخیز بهشت‌آباد محاسبات لازم در ۴ زیرآبخیز فارسان، کیار، شهرکرد و بروجن که به‌عنوان واحدهای مستقل برای محاسبات در نظر گرفته‌شده بودند، انجام شد. ازاین‌رو، اندازه‌های WSI برای هر زیرآبخیز تهیه شد. توسعه شاخص پایداری آبخیز با استفاده از چهارچوب DPSIR امکان تجزیه و تحلیل آبخیز و تفسیر ارتباط بین عوامل گوناگون در آبخیز را بهبود می‌بخشد. بررسی یک دورهٔ زمانی با استفاده از شاخص پایداری آبخیز، مشکلات و محدودیت‌های آبخیز را نشان داد. ازاین‌رو، تحلیل مشترک معیارها ضروری بود. شاخص پایداری آبخیز بهشت‌آباد ۰/۶۲۵ محاسبه شد و بر پایهٔ جدول ارائه‌شدهٔ چاوز و آلیپاز (۲۰۰۷) مشخص شد که وضعیت پایداری آبخیز بهشت‌آباد متوسط است. با توجه به محدوده امتیاز ۰/۵ تا ۰/۷۵ شاخص پایداری آبخیز مطالعه‌شده در محدوده بهینه بود. زیرآبخیز شهرکرد با کسب امتیاز ۰/۶۷ در رتبه یک و زیرآبخیزهای بروجن، فارسان و کیار با کسب ۰/۶۵ ، ۰/۶۱ و ۰/۵۷ امتیاز به‌ترتیب رتبه‌های دوم، سوم و چهارم را کسب کردند. با بررسی امتیاز سنجه‌ها (جدول ۲) مشخص شد که معیار محیط زیست و کیفیت آب‌شناسی به‌ترتیب نقش اصلی را در افزایش امتیاز پایداری آبخیز بهشت‌آباد و به‌طور ویژه در زیرآبخیز شهرکرد داشتند. معیار کمیت آب‌شناسی در زیرآبخیز کیار با امتیاز ۰/۴ در کاهش پایداری آبخیز اثرگذار بود. امتیاز سیاست در هر چهار زیرآبخیز ۰/۶ بود. این یافته‌ها با نتایج پژوهش محمدی و همکاران (۲۰۱۷) هم‌راستا است. این معیار نمایندهٔ اعتبارات، سیاست‌های زیست‌محیطی و توسعه‌یافته در هر چهار زیرآبخیز بود. با توجه به یکسان بودن امتیاز در آبخیز مرکز استان با دیگر آبخیزها می‌توان گفت که آمار ارائه‌شده از سوی نهادهای دولتی فاقد اعتبار علمی است و یا زیرمعیارهای استفاده‌شده در این پژوهش، قابلیت استفاده در ایران را ندارد. زیرا توزیع اعتبارات، تعداد نیروی انسانی شاغل در بخش آب، محیط زیست، منابع‌طبیعی و آموزش و ضریب مشارکت در زیرآبخیز مرکز استان، اندازهٔ قابل توجهی در مقایسه با دیگر آبخیزها داشتند.

در زیرآبخیز فارسان، کمترین امتیاز مربوط به آب‌شناسی کیفی و زندگی بود. این یافته با نتایج پژوهش‌های چاندنیها و همکاران (۲۰۱۴)، مهری (۲۰۱۳) و محمدی و همکاران (۲۰۱۷) هم‌راستا است. دلیل کم کیفیت بودن آب در این زیرآبخیز را می‌توان افزایش فعالیت‌های کشاورزی و ورود سموم به آب‌های جاری و استفاده نکردن از روش‌های بهبود تصفیه و هدایت رواناب‌ها دانست.

کشور در سال‌های گذشته با بحران آب روبرو بوده و این آبخیز نیز از این مسئله جدا نبوده است. کاهش بارش سالانه، فرونشست در برخی مناطق آبخیز و انتقال آب میان آبخیزی، اثرات کمبود آب را بیشتر کرده است. این مسائل باعث کاهش امتیاز آب‌شناسی کمی در مقایسه با دیگر معیارها در زیرآبخیز کیار و شهرکرد شد. این یافته با نتایج پژوهش اسماعیل‌زاده (۲۰۱۸) و کورتز و همکاران (۲۰۱۲) هماهنگ است.

در معیار زندگی از شاخص توسعه انسانی (HDI) استفاده شد. این شاخص شامل سه بعد اساسی زندگی (سلامت، آموزش و سطح استاندارد زندگی یا سرانهٔ درآمد) بود. این شاخص بر اساس امید به زندگی، تحصیلات و سرانهٔ درآمد محاسبه شد. در زیرآبخیز بروجن کمترین امتیاز مربوط به معیار زندگی و سنجهٔ وضعیت بود. این یافته با نتایج پژوهش اسماعیل‌زاده (۲۰۱۸) هم‌راستا است.

بر اساس نتایج این پژوهش، در مجموع معیار آب‌شناسی کمی در زیرآبخیز کیار، کمترین امتیاز را کسب کرد.

این در حالی است که زیرآبخیز شهرکرد بر اساس معیار محیط‌زیست (سنجه‌های فشار، وضعیت و اثر) بیشترین امتیاز را کسب کرد. این نتایج با یافته‌های نونزرزو و همکاران (۲۰۲۳) هماهنگی ندارد. در معیار زندگی از شاخص فشار زیست‌محیطی (EPI) استفاده شد. این شاخص فشار فعالیت‌های کشاورزی انسان بر محیط زیست را ارزیابی می‌کند. محاسبه این شاخص بر اساس تغییرات مناطق کشاورزی و جمعیت است. شاخص محیط زیست در تمام زیرآبخیزها بهترین عملکرد را داشت که بیان‌کنندهٔ فشار زیست‌محیطی کم و وجود درصد پوشش گیاهی مناسب در این آبخیز بود. بررسی امتیازات کسب‌شده بر اساس سنجه‌ها نشان داد که بیشترین امتیاز مربوط به سنجهٔ اثر در زیرآبخیز شهرکرد و بروجن و کمترین امتیاز مربوط به سنجهٔ فشار در زیرآبخیز فارسان بود.

معیار زندگی در سه زیرآبخیز کیار، شهرکرد و بروجن ۰/۵ به‌دست آمد و در زیرآبخیز فارسان ۰/۵۵ محاسبه شد. بیشتر بودن امتیاز معیار زندگی در شهرستان فارسان به‌رغم بعد بزرگتر خانوار در مقایسه با دیگر بخش‌ها، به‌دلیل درآمد بیشتر سرپرست خانوار، گردش بیشتر پول در زیرآبخیز و رقابت بیشتر در ادامه تحصیل فرزندان خانواده بود. معیار زندگی در چهار زیرآبخیز بعد از معیار سیاست امتیاز کمتری کسب کرد و امتیاز نهایی پایداری آبخیز را کاهش داد.

امتیاز محیط زیست در چهار زیرآبخیز از ۰/۷ تا ۰/۹ متغیر بود و در افزایش امتیاز پایداری آبخیز نقش اصلی را داشت و دلیل آن درصد پوشش گیاهی زیاد آبخیز بهشت‌آباد بود. این معیار کمترین امتیاز را در زیرآبخیز کیار کسب کرد و دلیل آن کسب امتیاز کم در زیرمعیار فشارهای زیست محیطی آبخیز و کسب امتیاز کم در زیرمعیار تغییر در سرانه آب در دسترس در ۵ سال گذشته بود. کسب بیشترین امتیاز معیار محیط زیست (۰/۸۳۳) در پژوهش‌های پیشین نیز گزارش‌شده است. بیشترین کمیت آب‌شناسی مربوط به زیرآبخیز بروجن با امتیاز ۰/۶۵ بود که با توجه به اندازهٔ بارش کمتر در مقایسه با دیگر زیرآبخیزها جای سوال دارد، اما این زیرآبخیز ۳۴٪ از مساحت کل آبخیز بهشت‌آباد را شامل می‌شود و بیشترین امتیاز را کسب کرد. زیرآبخیز فارسان ۹٪ از مساحت آبحیز را شامل می‌شود و به‌دلیل داشتن بیشترین اندازهٔ بارندگی و در نتیجه آورد آبی بیشتر رتبه دوم را با امتیاز ۰/۶ کسب کرد. به بیان دیگر نقش اندازهٔ بارش‌های سالانه موثرتر از مساحت آبخیز بود. زیرآبخیز شهرکرد ۳۲٪ از مساحت آبخیز را شامل می‌شود که امتیاز این معیار برای این زیرآبخیز ۰/۵ به‌دست آمد. زیرآبخیز کیار ۲۵٪ از مساحت آبخیز را شامل می‌شود که امتیاز این معیار برای این زیرآبخیز ۰/۴ محاسبه شد.

امتیاز شاخص پایداری آبخیز بهشت آباد در پژوهش‌های پیشین ۰/۶۹۲ محاسبه‌شده است و در این پژوهش ۰/۶۲۵ به‌دست آمد. کاهش امتیاز شاخص پایداری به اندازهٔ ۰/۰۶۷ پس از ۵ سال مطلوب نیست هر چند می‌توان دلیل آن را به‌کارگیری چارچوب DPSIR به جای چارچوب PSR دانست. دلیل دیگر کاهش امتیاز نهایی پایداری آبخیز را می‌توان نتیجه محاسبه آن به تفکیک زیر آبخیزهای تأییدشدهٔ وزارت نیرو (تماب) دانست. همچنین، مقایسه این اعداد با نتایج پژوهش‌های پیشین نشان‌دهندهٔ کاهش نرخ توسعه یافتگی و کاهش نرخ اشتغال است.

در بررسی‌های گذشته معیارهای محیط زیست، سیاست، کیفیت آب‌شناسی، زندگی و کمیت آب‌شناسی به‌ترتیب رتبه یک تا پنج را کسب کرده‌اند. در این پژوهش محیط زیست همچنان در رتبه اول بود و کیفیت آب‌شناسی از رتبه ۳ به رتبه ۲ و سیاست از رتبه ۲ به رتبه ۳ و زندگی از رتبه ۴ به رتبه ۵ و کمیت آب‌شناسی از رتبه ۵ به رتبه ۴ انتقال یافتند.

با مقایسه نتایج معیارهای نیروی محرکه-فشار-وضعیت-اثر-پاسخ می‌توان گفت که معیار فشار و معیار اثر به‌ترتیب، کمترین امتیاز (۰/۶) و بیشترین امتیاز (۰/۸۴) را کسب کردند که با نتایج بررسی‌های پیشین آبخیز هماهنگ است.

معیار نیروی محرکه در زیرآبخیز شهرکرد تحت تأثیر آب‌شناسی و محیط زیست بود و به این دلیل امتیاز ۰/۷ را کسب کرد. در زیرآبخیز بروجن این معیار در رتبه دوم

بود و امتیاز کمتری در مقایسه با زیرآبخیز شهرکرد کسب کرد که دلیل آن کیفیت کمتر آب‌شناسی بود.
بیشترین امتیاز معیار فشار مربوط به زیرآبخیز شهرکرد بود، چون متأثر از کیفیت آب‌شناسی، محیط زیست و سیاست بود. به‌بیان دیگر تغییر محسوس در آموزش، شاخص توسعه انسانی و استفاده از ساختارهای تصفیه فاضلاب سبب شد تا BOD5 در زیرآبخیز افزایش یابد. هرچند در این زیرآخیز کمیت آب‌شناسی ضعیف (۰/۲۵) بود.
معیار وضعیت در زیرآبخیز فارسان در رتبه اول بود که دلیل آن وضعیت موجود زیست محیطی، کیفیت آب‌شناسی (BOD5 در درازمدت) و شاخص توسعه انسانی در این زیرآبخیز بود. معیار وضعیت در زیرآبخیز کیار و بروجن کمترین امتیاز (۰/۵۵) را کسب کرد که دلیل آن کم بودن سرانهٔ آب در دسترس برای هر فرد و کم بودن شاخص توسعه انسانی بود.
سنجه اثر در زیرآبخیز شهرکرد، بروجن و فارسان بیشترین امتیاز را کسب کرد که دلیل آن در زیرآبخیز شهرکرد و بروجن، کسب امتیاز بیشتر در آب‌شناسی (کمی و کیفی) و محیط زیست بود. دلیل این یافته نیز کاهش مشاغل مرتبط با آب در زیرآبخیز و کاهش نرخ بیماری‌های منتقله با آب و جلوگیری از کاهش سطح پوشش گیاهی بود. امتیاز اثر در زیرآبخیز کیار از ۳ زیرآبخیز دیگر کمتر بود و دلیل آن توسعه‌یافتگی کمتر در کاهش مشاغل مرتبط با آب و کاهش سطح پوشش گیاهی بود.
تکامل فعالیت‌های حفاظتی و بهبود روش‌های تصفیهٔ فاضلاب که بر زیرمعیارهای محیط زیست و کیفیت آب‌شناسی اثرگذار است سبب شد زیرآبخیز بروجن رتبه اول در معیار پاسخ را کسب کند. زیرآبخیز کیار کمترین امتیاز پاسخ را در میان زیرآبخیزها کسب کرد و دلیل آن ضعف در بهبود راندمان استفاده از آب، ضعف تصفیهٔ فاضلاب و هدایت هرزآب، فعالیت‌های حفاظتی و توسعه‌نیافتگی مدیریت یکپارچه منابع آب بود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

برای دستیابی به پایداری لازم است جنبه‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی آبخیز در نظر گرفته شود. با این حال، آوردن همه این شاخص‌ها در یکجا دشوار است. در این پژوهش، از شاخص پایداری آبخیز (WSI) که آب‌شناسی، محیط‌زیست، زندگی و سیاست را ترکیب می‌کند برای آبخیز بهشت‌آباد در استان چهارمحال و بختیاری استفاده شد. این شاخص ابزار مناسبی، برای تصمیم‌گیری مدیران در آبخیز است. تنگناها و محدودیت‌ها با استفاده از این شاخص قابل‌شناسایی است که در این آبخیز در زمینه آب‌شناسی محدودیت‌هایی شناسایی شد. شناسایی این محدودیت‌ها، فرصتی برای بهبود وضعیت کنونی آبخیز است که نیازمند همکاری کارآمد میان نهادهای گوناگون است. WSI یک شاخص کلی‌نگر است و ظرفیت زیادی برای اهداف مدیریت زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی دارد. بر اساس نتایج این پژوهش می‌توان گفت که اگر مدیران و تصمیم‌گیرندگان از این ابزار به‌شکل منظم (به‌عنوان مثال هر ۵ سال یک‌بار) استفاده کنند می‌توانند توصیف مناسبی از تغییرات پایداری آبخیز را در اختیار داشته باشند.
شاخص پایداری آبخیز بهشت‌آباد در بازهٔ زمانی ۱۳۹۹-۱۳۹۰ برابر با ۰/۶۲ به‌دست آمد که نشان‌دهندهٔ سطح پایداری متوسط بود. کمترین اندازهٔ شاخص پایداری مربوط به زیرآبخیز کیار بود در حالی که زیرآبخیز شهرکرد بیشترین امتیاز شاخص پایداری آبخیز را کسب کرد.
زیرشاخص آب‌شناسی کمّی در بیشتر زیرآبخیزها، امتیاز کم‌تری، به‌ویژه در سنجهٔ فشار کسب کرد که بیان‌کنندهٔ تنش آبی در آبخیز بود. بر اساس شاخص فالکن مارک زمانی که سرانهٔ آب در دسترس کمتر از ۱۷۰۰ مترمکعب در سال باشد، منطقهٔ دچار تنش آبی است. در زیرآبخیز فارسان با وجود افزایش جزئی جمعیت، بیشترین کاهش سرانهٔ آب در دسترس مشاهده شد.
بر اساس نتایج این پژوهش پایداری آبخیز مطالعه‌شده را می‌توان با بهبود آب‌شناسی آبخیز بهبود بخشید. ازاین‌رو، پیشنهاد می‌شود معیار محیط‌زیست را با کاشت گیاهان بیشتر و با محدود کردن سرعت شهرنشینی در آبخیز بهبود بخشید. همچنین پیشنهاد می‌شود از عموم

مردم دعوت شود تا در بهبود شرایط آبخیز مشارکت‌داشته باشند. مردم باید در برنامه‌های جنگل‌کاری دیده شوند و باید برای حفظ آب آموزش‌داده شوند. همچنین به‌دلیل کم بودن امتیاز معیارهای زندگی و سیاست و زیاد بودن امتیاز محیط زیست می‌توان گفت جبر جعرافیایی حاکم بر منطقه به سود آبخیز بود و فقط مدیریت و سیاست‌های حاکم بر آبخیز مطلوب نیستند. اگر چه با وجود درنظر گرفتن چهار معیار و پنج سنجه در هر معیار ممکن نیست از تمام منظرها پایداری یک آبخیز سنجیده شود، اما باید در نظر داشت که استفاده از شاخص‌ها و سنجه‌های بیشتر به‌ویژه در آبخیزهایی که آمار و اطلاعات آن‌ها ناقص است و یا با کمبود داده مواجه هستند محاسبهٔ شاخص پایداری آبخیز تحقق نخواهد یافت.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در زمینهٔ نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

دسترسی به داده‌ها

همهٔ اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه‌شده است.

مشارکت نویسندگان

نویسندهٔ اول: مفهوم‌سازی، بررسی نتایج، ویرایش نسخهٔ نهایی مقاله.

نویسندهٔ دوم: جمع‌آوری داده‌ها و انجام محاسبات لازم، نگارش نسخهٔ اولیهٔ مقاله.

نویسندهٔ سوم: بررسی تحلیل‌های آماری.

نویسندهٔ چهارم: مشاوره در مفهوم‌سازی.

فهرست منابع

Azarnivand H, Malekian A, Mosaffaei J. 2023. Developing management solutions for Alolak Watershed in the Qazvin Province using the DPSIR approach. Journal of Watershed Management Research. 14 (28): 148-162.

Castro C, Loureiro O, Santos A, Silva J, Rauen W. 2017. Water sustainability assessment for the region of curitiba. Nternational Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development. 8(2): 184–194.

Catano N, Marchand M, Staley S, Wang Y. 2009. Development and validation of the watershed sustainability index (WSI) for the watershed of the Reventazon River. Environmental Science Geography. Report:67, 150 p.

Chandniha S, Kansal M, Anvesh G 2014. Watershed Sustainability Index assessment of a watershed in Chhattisgarh, India. Curr World Environment. 9(2):403–411.

Chaves H, Alipaz S 2007. An integrated indicator based on basin hydrology, environment, life, and policy: The watershed sustainabilityindex. Water Resour Manage. 21(5):883–895.

Cortes A, Oyarzun R, Kretschmer N, Chaves H, Amezaga J. 2012. Application of the Watershed Sustainability Index to the Elqui river basin. North-Central Chile. Obras y Proyectos. 12(2012): 57–69.

Esmailzade M. 2018. Evaluation of watershed sustainability index using AHP and ANP techniques (Cases study: Beheshtabad Area). Master dissertation. Faculty of Natural Resources and earth sciences. Shahrekord University. 109 p. (In Persian).

Falkenmark M. 2004. Towards integrated catchment management: opening the paradigm locks between hydrology, ecology and policy-making. International Journal of Water Resources Development. 20(3): 275-281.

Firdaus R, Nakagoshi N, Idris A. 2014. Sustainability assessment of humid tropical watershed: A case of Batang Merao Watershed. Indonesia. Procedia Environmental Sciences. 2(2014): 722–731.

Karimi Sangchini E, Salehpour Jam A, Mosaffaie J. 2022. Flood risk management in Khorramabad Watershed using the DPSIR framework. Natural Hazards. 114(3): 3101-3121.

Maynard I, Cruz M, Gomes L. 2017. Applying a sustainability index to the Japaratuba river wathershed in Sergipe state. Ambiente Sociedade. 20(2):201–220.

Mehri R. 2013. Development and application of watershed sustainability index (Case study: ChehelChay Area). Master dissertation. Faculty of Natural Resources. Gorgan University. 128 p. (In Persian).

Mohamadi T, Dasturani M. 2017. Evaluation of the stability of the Zaydasht Watershed using the watershed stability index. Journal of Hydrogeomorphology. 4(10): 41-64. (In Persian).

Mosaffaie J, Salehpour Jam A, Tabatabaei MR, Kousari MR. 2021a. Developing resources management responses in the gorganroud watershed using the driving force, pressure, state, impact, response (DPSIR) software. Watershed Management Research Journal. 34(1): 93-111.

Mosaffaie J, Salehpour Jam A, Tabatabaei MR, Kousari, MR. 2021b. Trend assessment of the watershed health based on DPSIR framework. Land Use Policy. 100(104911)1-9.

NúñezRazo I, Anda J, Barrios H, Olvera A, García M, Hernández S. 2023. Development of a watershed sustainability index for the Santiago River Basin, Mexico. Sustainability. 15(10): 204-236.

OECD-Environmental Performance and Information Division. 2003. Published estimates database (PEDB) [Online]. Available at http://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/24993546.pdf

Rapport D, Friend A. 1979. Towards a comprehensive framework for environmental statistics: A stress-response approach. Statistics Canada, 11-510, Ottawa, Canada.

Salehpour Jam A, Mosaffaie J, Tabatabaei MR. 2021a. Assessment of comprehensiveness of soil conservation measures using the DPSIR framework. Environmental Monitoring and Assessment. 193(1): 1-19.

Salehpour Jam A, Mosaffaie J, Tabatabaei MR. 2021b. Management responses for Chehel-Chay watershed health improvement using the DPSIR framework. Journal of Agricultural Science and Technology. 23(4):797-814.

Silva M, Candido G, Martins M. 2009. Método de Construção do Índice de Desenvolvimento Local Sustentável: uma proposta metodológica e aplicada. Revista Brasileira de Produtos groindustriais. 11(1): 55-72.

Smith A, Yee S, Russell M, Awkerman J, Fisher W. 2016. Linking ecosystem service supply to stakeholder concerns on both land and sea: An example from Guanica Bay watershed, Puerto Rico. Ecologial Indicators. 74(?):371-383.

Smith V, Tilman G, Nekola J. 1999. Eutrophication: Impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. Environmental Pollution. 1(3): 179-196.

Soltani MJ, Motamedvaziri B, Noroozi A, Ahmadi H, Mosaffaei J. 2021. Identifying and prioritizing the factors affecting the creation of dust in Hendijan City and providing management solutions by DPSIR framework. Watershed Engineering and Management. 13(2): 269-282.

Soltani MJ, Motamedvaziri B, Mosaffaei J, Noroozi A, Ahmadi H. 2023. Cause and effect analysis of the trend of dust storms using the DPSIR framework in the Hendijan region. International Journal of Environmental Science and Technology. 20(5):4919-4930.

UNESCO-International Hydrological programme. 2001. The design and implementation strategy of the help initiative, IHV-V, Technical documents in Hydrology. Published estimates data base (PEDB) [Online]. Available at http://www.unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000124537

Vanle T, Duong B, Buurman J. 2015. Development of a watershed sustainability index to assess water resources in the Nhue-Day river basin, Vietnam National Conference. pp. 37-47.

Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

Watershed Management Research

ISSN: 2981- 2038

Agricultural Research, Education and Extension Organization

Recreating of Watershed Sustainability Index (WSI) Based on Driving Force-Pressure-State-Impact-Response Framework in the Beheshtabad Watershed

Rafat Zare Bidaki, Shahin Drakhshan, Siamak Kheybari, Henrique Marinho L Chaves

1-Associate Professor of Natural Resources and Earth Sciences Faculty, Shahrekord University, Iran

2- Ph.D. Candidate of Natural Resources and Earth Sciences Faculty, Shahrekord University, Iran

3- Assistant Professor of Sheffield University, United Kingdom

4- Professor of University of Brasília, Brazil

Extended Abstract

Introduction and Goal

Healthy watersheds provide many ecosystem services in various fields such as social and economic welfare. Therefore, the comprehensive assessment of watersheds is one of the undeniable necessities of watershed resource management. Awareness of the health and sustainability of watersheds are fundamental components of sustainable watershed management. Achieving this awareness requires a completely systematic and holistic approach. Various methods and models have been proposed by researchers in the fields of environmental science and ecology to evaluate the health of different ecosystems. Environmental agencies have developed models to examine changes in the environment through the lens of human-environment interactions, with the simplest being the pressure-state-response model. For a watershed, it is essential to define and determine indicators that can assess the health or sustainability of the watershed, or to rank the condition of a watershed using mathematical methods and relationships. This research aims to present a multidimensional indicator concerning watershed sustainability that can encompass as many aspects of health and sustainability as possible.

Material and Methods

To accomplish the objectives of this research, the Watershed Sustainability Index (WSI) has been developed through the selection of criteria categorized into four dimensions: hydrology (both quantity and quality), environment, life, and policy (HELP). The Driving Force-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR) framework serves as a versatile and supportive system approach that aids decision-makers across various phases of decision-making. In this study, to identify the most appropriate and representative sub-criteria from a range of options, comprehensive reviews of existing scientific literature and consultations with experts were conducted.

Article Type: Research Article

***Corresponding Author E-mail**: zare.rafat@nres.sku.ac.ir

Citation: Zare Bidaki, R., Drakhshan, Sh., Kheybari, S., Marinho L Chaves, H. 2025. Recreating of Watershed Sustainability Index (WSI) Based on Driving Force-Pressure-State-Impact-Response Framework in Beheshtabad Watershed. Watershed Management Research. 38(1): 96-112.

DOI:10.22092/WMRJ.2024.365917.1586

Received: 14 June 2024, **Received in revised form**: 10 October 2024, **Accepted**: 19 December 2024

Published online: 21 March 2025

Watershed Management Research, Vol.38, No.1, Ser. No:146, Spring 2025, pp. 96-112.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

©Author(s)

CC BY

Each sub-criterion was assessed across four sub-basins of the Beheshtabad watershed in Chaharmahal-va-Bakhtiari province, with normalized scores ranging from 0 to 1 assigned to each.The overall score for the watershed sustainability index was derived by applying equal weights to each criterion through the arithmetic mean method.

Results and Discussion

The findings indicate that the overall WSI status of the Beheshtabad Watershed is rated as average (0.625), with minimal variations among the sub-watersheds. The watershed sustainability index for the sub-watersheds of Borujen, Farsan, Kiar and Shahrekord is recorded at 0.65, 0.61, 0.65, and 0.67, respectively. The environmental criterion across the four sub-watersheds of Beheshtabad has achieved superior score. The policy score remains consistent across all four sub-watersheds, as the criteria are evaluated at the national level. Also, the Life criteria have garnered similar scores due to the assessment of sub-criteria measured at the broader levels of the sub-watershed. Among the evaluated criteria, the Environment criterion received the highest score, while the Life and Hydrology criteria recorded the lowest. Within DPSIR parameters, the criteria associated with the Impact received higher scores, whereas those related to Pressure received lower scores.

Conclusion and Suggestions

The watershed sustainability index of the Beheshtabad can be enhanced by focusing on the hydrology sub-criterion, fostering greater community involvement in watershed improvement efforts, educating local populations on water conservation practices, and amplifying the participation of local communities in forestry initiatives. Furthermore, environmental quality can be bolstered through increased planting and curbing the pace of urbanization within the watershed. Given the low scores in the Life and Policy criteria alongside a high rating in the Environment criterion, it can be inferred that the geographical determinism affecting the Beheshtabad watershed has contributed to an elevated Watershed Sustainability Index (WSI), indicating that the existing plans and policies are inadequate. This index serves as a valuable tool for watershed managers in their decision-making processes. It allows for the identification of bottlenecks and constraints. Recognizing these limitations presents an opportunity to enhance the current conditions of the watershed, necessitating effective collaboration among various institutions. The WSI is a comprehensive index with significant potential for managing environmental, social, and economic aspects. Based on the results of this research, it is proposed that regular application of this tool, (such as every five years), can furnish managers and decision-makers with a clear understanding of the watershed's sustainability trajectory.

Keywords: Beheshtabad watershed, Chaharmahal-va-Bakhtiari Province, hydrology, Watershed Health

Article Type: Research Article

Conflicts of interest:

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article

Data Availability Statement:

We have no permission to release data and codes.

Authors' Contribution

Author 1: Conceptualization, control of results, editing of the final version of the manuscript.
Author 2: Data collection and required calculations, writing of the first draft of the manuscript.
Author 3: Control of statistical analyses.
Author 4: Consulting on conceptualization.