



دوره‌ی ۳۴، شماره‌ی ۲، شماره‌ی پیاپی ۱۳۱، تابستان ۱۴۰۰، صفحه‌های ۶۰-۴۸
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmej.2020.342265.1325

مقاله‌ی پژوهشی

پژوهش‌های آبخیزداری

ارزیابی پایداری آبخیز بختگان با کاربرد مدل اچ‌ای‌ال‌پی

حامد خیراندیش

دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده‌ی کویرشناسی، دانشگاه سمنان

احمد صادقی‌پور

(نویسنده‌ی مسئول)* عضو هیات علمی دانشکده‌ی کویرشناسی، دانشگاه سمنان

حنا محمدی کنگرانی

عضو هیات علمی دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان

*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: a.sadeghipour@semnan.ac.ir

تاریخ دریافت: ۶ خرداد ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: ۳۰ شهریور ۱۳۹۹

چکیده

آبخیزهای سالم خدمات‌های بوم‌سامانه‌ی بسیاری در زمینه‌های مختلف مانند مسایل اجتماعی و رفاه اقتصادی می‌دهند، بنابراین باید روش‌هایی توسعه داد که بتوان بر اساس آن‌ها درجه‌ی سلامت و تراز پایداری آبخیزها را معلوم کرد. هدف از این پژوهش بررسی پایداری آبخیز بختگان بر اساس مدل اچ‌ای‌ال‌پی در دوره‌ی ده‌ساله‌ی ۱۳۸۵-۱۳۹۵ است. این مدل بر اساس چهار جنبه‌ی آب‌شناسی (کمی و کیفی)، محیط‌زیست، حیات آبخیز‌نشینان، و سیاست‌گذاری، و سه سنجه‌ی فشار، وضعیت، و واکنش شاخص پایداری آبخیز، پایداری آبخیز را در سه تراز کم، متوسط و زیاد بررسی می‌کند. نتیجه نشان داد که سنجه‌ی فشار با امتیاز ۰/۷۵ و واکنش با امتیاز ۰/۴۵ به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین امتیاز را برای ارزیابی پایداری آبخیز بختگان گرفت، که نشان‌دهنده‌ی واکنش مناسب برای کاستن از فشار واردشده بر بوم‌سامانه است. زیرشاخص‌های آب‌شناسی کمی با امتیاز ۰/۲۵ و محیط‌زیست با امتیاز ۱ بیش‌ترین و کم‌ترین اولویت را برای مدیریت آبخیز (به‌خصوص مدیریت و حفاظت از منابع آبی) داشت. تراز پایداری آبخیز با امتیاز ۰/۶۱ متوسط رو به کم ارزیابی شد، که نیاز به توجه بیش‌تر را برای افزایش دادن تراز پایداری منطقه نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: بختگان، برنامه‌ریزی سرزمین، سرانه‌ی آب، تراز پایداری، شاخص پایداری آبخیز

مقدمه

افزایش مصرف منابع طبیعی تجدیدشونده و فقر باعث فشار شدید و شکننده‌تر شدن بوم‌سامانه‌ها در منطقه‌های توسعه‌یابنده‌ی جهان، به‌خصوص در سال‌های اخیر شده است (هریس ۲۰۰۰). توسعه‌ی اقتصادی ممکن است اثرهای ناخواسته‌ی اجتماعی و زیست‌محیطی، شامل تغییر آب‌وهوا، کاربرد افزوده از منابع آبی، کاهش تنوع زیستی و افزایش نابرابری‌ها را به دنبال داشته باشد (اسدی‌نلیوان و همکاران ۲۰۱۵). پیش‌آبخیزها و تعیین وضعیت سلامت آن‌ها در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری برای مدیریت کردن سازگار اجتناب‌ناپذیر است (حزباوی و صادقی ۲۰۱۷). پایداری مفهومی است که توجه اصلی آن بر حفظ کردن سرمایه‌های طبیعی، اجتماعی و اقتصادی برای نسل‌های آینده است. این کار مهم زمانی محقق می‌شود که توجه آن به هم‌پوشانی دادن لایه‌های بوم‌شناختی، اقتصادی و اجتماعی باشد (رمبیدو و بنزل ۲۰۰۳). بی‌توجهی به مسائل آبخیز علت شکست خوردن طرح‌های اقتصادی در کشورهای آسیایی است (ورد بانک ۲۰۰۳). بنابراین توسعه‌ی پایدار در بستر آبخیز شکل می‌گیرد و برای ارزیابی کردن ترازهای پایداری و میزان دسترسی به توسعه‌ی پایدار، شاخص‌های پایداری به کار برده می‌شود (اسدی‌نلیوان ۲۰۱۲). این شاخص‌ها باید ارتباط جنبه‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی پایداری را نشان دهد، بازتاب تغییر مدیریت و فعالیت‌های انسانی را در گذر زمان در آبخیز اندازه‌گیری کند، و فهمیدنی، دسترس و معتبر باشد (ایلماز و هارمانچیوگلو ۲۰۱۰). شاخص‌ها با مدیریت کردن متغیرها برای پایش و اندازه‌گیری وضعیت پایداری مفید است (مک لارن و سیمونویچ ۱۹۹۹). به عبارت دیگر شاخص‌ها به تنهایی مفید نیست، بل که با نشان دادن تغییر وضعیت محیط و بوم‌سامانه، به آن‌ها توجه می‌شود (حافظ‌پرست و فاطمی ۲۰۱۶). پایداری آبخیز چهار هدف مهم تنظیم کردن جریان آب، حفظ کردن و بهبود دادن کیفیت آن، حفظ کردن کیفیت بوم‌شناختی گیاهی و جانوری، و منبع‌های انرژی را در نظر می‌گیرد (محمدی و دستورانی ۲۰۱۷). تشخیص دادن همه‌ی عامل‌های شرکت‌کننده در پایداری منابع آبی بسیار ضروری است (سولیوان ۲۰۰۲، جاوز و آلیپاز ۲۰۰۷). پایداری منابع آبی، مسائل اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی اغلب به شیوه‌ی جداگانه بررسی می‌شود، در حالی که باید با نگاهی جامع و در فرآیندی پویا به آن پرداخته شود (وایسمن ۱۹۹۰). از همین رو، مدل اچ‌ای‌ال‌پی^۱، با کمک شاخص پایداری آبخیز در دو جنبه‌ی انسانی و بوم‌سامانه‌ی، با روشی جامع تغییر متغیرها

را در دوره‌ی زمانی بر اساس شاخص‌های منابع آبی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی بررسی می‌کند تا میزان پایداری آبخیز را معلوم کند. اساس این مدل برنامه‌های آب‌شناختی یونسکو است که شامل چهارچوب مسائل آب‌شناسی، زیست‌محیطی، حیات و سیاست‌گذاری است (UNESCO ۲۰۰۵). یونسکو در سال ۲۰۰۶ اعلام کرد که بیش از ۶۰ کاربرد از این مدل برای ارزیابی کردن پایداری آبخیزها در سراسر جهان به کار رفته است (چاوز و آلیپاز ۲۰۰۷). نتیجه‌های کالیزایا و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد که این مدل برای مدیریت کردن یکپارچه‌ی منابع آبی در آبخیز دریاچه‌ی پووپو به کار گرفته شد، و با وجود سد ذخیره‌ی آب، در افزایش دادن تراز پایداری آن از ضعیف به متوسط مؤثر بوده است. کورتز و همکاران (۲۰۱۲) در برنامه‌ی چهارساله مقدار شاخص پایداری آبخیز را برای رودخانه‌ی در شیلی ۰/۶۷ به‌دست آوردند. نتیجه‌های اسدی‌نلیوان و همکاران (۲۰۱۳) با کاربرد دستور کار پایش و ارزیابی طرح‌های مدیریت منابع طبیعی و آبخیزداری (۲۰۱۰) نشان داد که پایداری آبخیز طالقان-زیدشت در تراز متوسط است. مهری (۲۰۱۳) با ارزیابی کردن شاخص پایداری آبخیز در حوزه‌ی چهل‌چای گلستان مقدار ۰/۶۶۷ را به‌دست آورد که نشان‌دهنده‌ی تراز متوسط پایداری در این حوزه است. نتیجه‌های اسدی‌نلیوان و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی وضعیت پایداری آبخیز طالقان-زیدشت با کاربرد مدل IUCN^۲ نشان داد که حوزه در تراز متوسطی از پایداری است. نتیجه‌های محمدی و دستورانی (۲۰۱۷) نشان داد که شاخص پایداری در آبخیز زیدشت ۰/۶۵ است، که نشان‌دهنده‌ی تراز پایداری متوسط رو به کم است. کاظمی و کمالی (۲۰۱۸) با کاربرد شاخص پایداری آبخیز نشان دادند که تراز پایداری حوزه‌ی بهشت گمشده با امتیاز ۰/۶۷، متوسط رو به کم است. در این پژوهش ضمن به‌کارگرفتن راه‌برد مدل اچ‌ای‌ال‌پی (شاخص‌ها و زیرشاخص‌های آب‌شناسی کمی و کیفی، محیط-زیست، حیات آبخیز‌نشینان و سیاست‌گذاری) و شاخص پایداری آبخیز، تراز پایداری در دوره‌ی ده ساله‌ی ۱۳۸۵-۱۳۹۵ برای آبخیز بختگان استان فارس ارزیابی کرده‌شد.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی بررسی شده

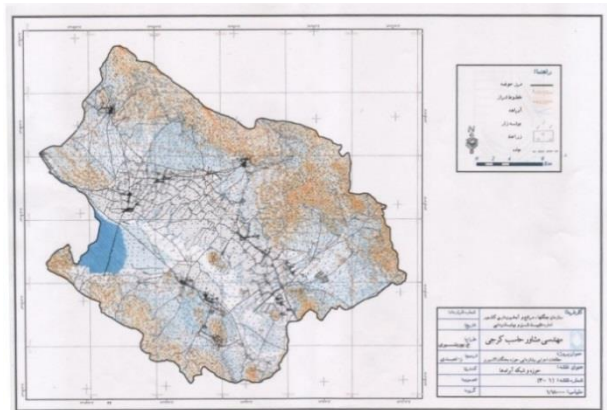
آبخیز بختگان بین طول‌های جغرافیایی "۵۳° ۴۵' ۰۰" تا "۳۰° ۱۲' ۵۴" (طول شرقی) و عرض‌های جغرافیایی "۲۹° ۲۹' ۴۸" تا "۲۹° ۴۸' ۳۰" (عرض شمالی) در بخش آبداه‌طشک شهرستان نیریز است. این آبخیز بخش کوچکی از

1 - Hydrology for the Environment, Life and Policy
2 - International Union for Conservation of Nature

و آبرده‌تسک محدود است. مساحت کل زیرحوزه ۱۰۹۷۴۰/۲ هکتار است. بلندترین نقطه‌ی آن در شمال غربی ۳۲۶۴ متر و پست‌ترین نقطه‌ی آن در جنوب غربی در مجاورت دریاچه‌ی تسک ۱۵۵۵ متر از تراز دریا است.



شکل ۲- زیرحوزه‌های آبخیز بختگان.



شکل ۱- محدوده‌ی آبخیز بختگان.

است که خود به سه سنجه‌ی فشار، وضعیت و واکنش تقسیم کرده‌شد. برای بررسی این زیرشاخص در سنجه‌ی فشار ابتدا در قسمت کمی، تغییر سرانه‌ی آب دست‌رس، و برای قسمت کیفی تغییر بدنه‌های ساختاری آب (اکسیژن‌خواست زیستی) در بازه‌ی زمانی بررسی شده. در سنجه‌ی وضعیت برای قسمت کمی میانگین بلندمدت سرانه‌ی آب دست‌رس، و برای قسمت کیفی میانگین بلندمدت بدنه‌های آبی محاسبه کرده‌شد. در سنجه‌ی واکنش به تاثیر داشتن یا اندازه‌ی تأثیر برنامه‌هایی که باعث بهبود میزان مصرف یا کاهش اثرهای گندآب و هرزآب‌ها بر طبیعت شدند، توجه و امتیازبندی شد (جدول‌های ۱، ۲ و ۴). مقدار زیرشاخص آب‌شناسی از میانگین دو متغیر کمیّت و کیفیت آب به‌دست آمد.

تنش آبی زمانی اتفاق می‌افتد که به ازای هر نفر در سال سرانه‌ی آبی کم‌تر از ۱۷۰۰ مترمکعب باشد. پنج طبقه برای سرانه‌ی آب (مترمکعب/نفردرسال) به‌دلیل کمیته‌ی به‌معیار در نظر گرفته شده است. a: سرانه‌ی آب دست‌رس > ۱۷۰۰، b: < ۳۴۰۰ سرانه‌ی آب دست‌رس < ۱۷۰۰، c: < ۵۱۰۰ سرانه‌ی آب دست‌رس < ۳۴۰۰، d: < ۶۸۰۰ سرانه‌ی آب دست‌رس < ۵۱۰۰، e: > ۶۸۰۰ سرانه‌ی آب دست‌رس (مترمکعب/ نفر در سال) که به ترتیب بسیارضعیف، ضعیف، متوسط، خوب و عالی طبقه‌بندی می‌شود (فالکنمارک ۱۹۸۶). برای متغیر کیفیت آب میانگین بلندمدت اکسیژن‌خواست

آبخیز دریاچه‌ی بختگان و تسک و در مجاورت این دریاچه است (شکل ۱). آبخیز بختگان از شمال به خط‌راس کوه‌های سربره و روشن‌کوه، از مشرق به مرز غربی محدوده‌ی بختگان، از جنوب به بلندی‌های کوه گل‌کن و چهار روغنی، و از مغرب به دریاچه‌ی تسک و بلندی‌های میان‌خواجه‌جمالی

روش تحقیق

صندوق حفاظت از زیستگاه‌ها برای بررسی جامع تأثیر جنبه‌های آب‌شناسی، زیست‌محیطی، حیات و سیاست‌گذاری بر پایداری آبخیز، شاخص پایداری آبخیز را با بهره‌گیری از راه‌بردهای مدل اچ‌ای‌ال‌پی معرفی کرد (UNESCO ۲۰۰۵). برای ارزیابی کردن پایداری باید محدوده و قلمرو تعریف کرده‌شود. اگرچه ممکن است که مرزهای آبخیز را واحد برنامه‌ریزی برای مدیریت منابع آبی گرفت، دولت‌ها این مرزها را تنها برای برنامه‌ریزی و مدیریت کردن اجرایی در نظر می‌گیرند، و قلمرو و مرز آبخیز واحد سیاست‌گذاری گرفته نشده‌است (نیرجس ۲۰۰۲). در مدل اچ‌ای‌ال‌پی، آبخیز واحد سیاست‌گذاری برای مدیریت و برنامه‌ریزی گرفته شده، و این نقیصه به نوعی برطرف شده‌است. مدل اچ‌ای‌ال‌پی با کاربست شاخص پایداری آبخیز (رابطه‌ی ۱) در قالب چهار زیرشاخص آب‌شناسی (کمی و کیفی) (H)، زیست‌محیطی (E)، حیات آبخیز‌نشینان (L) و سیاست‌گذاری (P)، و سه سنجه‌ی فشار، وضعیت و واکنش در دامنه‌ی امتیازهای ۰ تا ۱ و با وزن برابر شرایط پایداری در آبخیز را برمی‌رسد.

$$WSI = (H + E + L + P) / 4 \quad \text{رابطه‌ی ۱}$$

زیرشاخص آب‌شناسی (H) شامل دو قسمت کمی و کیفی

بلندمدت مقدار کل جامدهای محلول را به میلی‌گرم بر لیتر نشان می‌دهد. سنجهی واکنش توصیفی است که به دلیل میزان بهبود در روش‌های تصفیه‌ی فاضلاب، هدایت و یا هدرروی هرزآب‌های کشاورزی، صنعتی و خانگی به پنج تراز خیلی ضعیف، ضعیف، متوسط، خوب و خیلی خوب تقسیم کرده‌شد.

زیستی به کار برده می‌شود. کورتز و همکاران (۲۰۱۲) هدایت الکتریکی را، و محمدی و دستورانی (۲۰۱۷) کل جامدهای محلول را جای‌گزین اکسیژن‌خواست زیستی کردند. در این پژوهش به دلیل نبود داده، کل جامدهای محلول به جای اکسیژن‌خواست زیستی به کار برده شد. سنجهی فشار کیفیت آب، تغییر میانگین کوتاه‌مدت کل جامدهای محلول را نسبت به میانگین بلندمدت به درصد، و سنجهی وضعیت میانگین

جدول ۱- توضیح‌های محاسبه‌ی سنجهی فشار (شاخص WSI)، مرحله‌ها و امتیازها (چاوز و آلیپاز ۲۰۰۷).

نشانه‌گر	سنجه‌های فشار	مرحله	امتیاز
آب‌شناسی		$\Delta < -/20$	۰
		$-/20 < \Delta < -/10$	۰/۲۵
	تغییر میانگین درازمدت مصرف سرانه‌ی آب در آبخیز (مترمکعب/ فرد در سال)	$-/10 < \Delta < /0$	۰/۵
		$/0 < \Delta < /10$	۰/۷۵
		$\Delta > /10$	۱
		$\Delta > /20$	۰
	تغییر میانگین درازمدت اکسیژن‌خواست زیستی یا کل جامدهای محلول در آبخیز	$/0 < \Delta < /10$	۰/۵
		$-/10 < \Delta < /0$	۰/۷۵
		$\Delta < -/10$	۱
	محیط زیست	شاخص فشار محیط زیست (%)	$EPI > /20$
$/20 > EPI > /10$			۰/۲۵
		$/20 > EPI > /5$	۰/۵
		$/5 > EPI > /0$	۰/۷۵
		$EPI < /0$	۱
		$\Delta < -/20$	۰
		$-/20 < \Delta < -/10$	۰/۲۵
حیات		تغییر نشانگر توسعه‌ی انسانی-درآمد سرانه در دوره‌ی پژوهشی نسبت به دوره‌ی قبل	$-/10 < \Delta < /0$
	$/0 < \Delta < /10$		۰/۷۵
		$\Delta > /10$	۱
		$\Delta < -/20$	۰
		$-/20 < \Delta < -/10$	۰/۲۵
	سیاست‌گذاری	تغییر نشانگر توسعه‌ی انسانی-سرانه‌ی آموزش در دوره‌ی پژوهشی نسبت به دوره‌ی قبل	$-/10 < \Delta < /0$
$/0 < \Delta < /10$			۰/۷۵
		$\Delta > /10$	۱
		$\Delta > /10$	۱

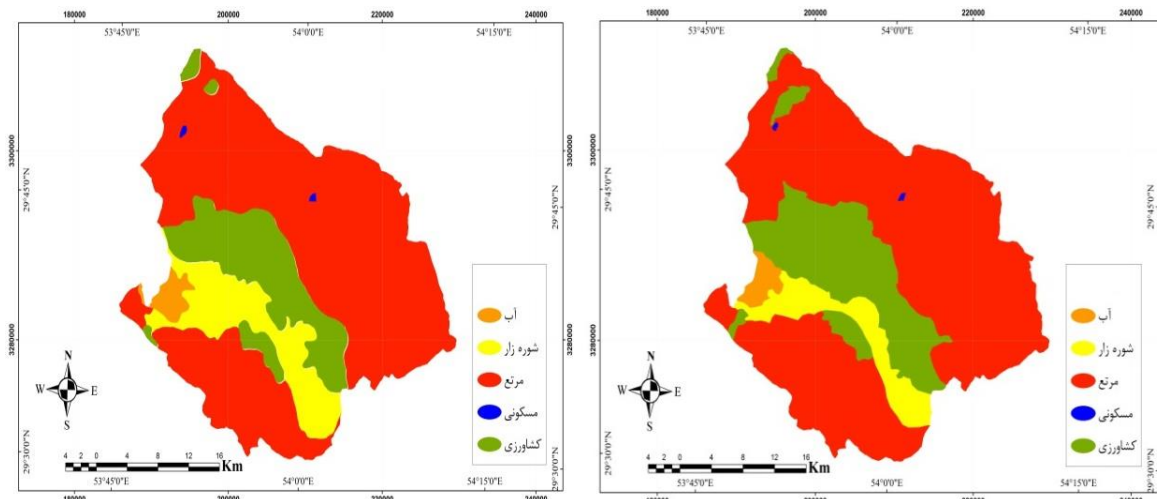
$$\text{رابطه ی ۲} \quad EPI = \frac{(\text{تغییر در جمعیت شهری} + \text{تغییر در مساحت زمین‌های کشاورزی}(\%))}{2}$$

اندازه‌های مثبت EPI نشان‌دهنده‌ی فشار مضاعف بر پوشش گیاهی است. سنجهی پاسخ محیط‌زیست، رشد و پیش‌رفت در کارهای

برای زیرشاخص محیط‌زیست (E) سنجهی فشار (EPI) نسخه‌ی اصلاح‌شده‌ی شاخص فشار انسان‌مدار (API) است و با میانگین گرفتن از تغییر مساحت زمین‌های کشاورزی در آبخیز و تغییر جمعیت شهری در طول دوره‌ی پژوهشی (رابطه‌ی ۲) محاسبه کرده‌شد (چاوز و آلیپاز ۲۰۰۷):

پوشش گیاهی، نقشه‌ی کاربری زمین آبخیز بختگان در ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ (شکل ۳)، و برای تغییر جمعیت آبخیز جمعیت روستایی در سرشماری‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۵ به کار برده شد.

حفاظتی در آبخیز شامل توسعه‌ی ذخیره‌ی جنگل ملی و پارک‌های ملی بررسی شد. برای بررسی تغییر در مساحت زمین‌های کشاورزی و



شکل ۳- نقشه‌ی کاربری زمین در ۱۳۸۵ (چپ) و ۱۳۹۵ (راست) آبخیز بختگان (تهیه‌ی نقشه از نویسنده‌ی اول).

جدول ۲- توضیح‌های محاسبه‌ی سنجی وضعیت (شاخص WSI)، مرحله‌ها و امتیازها (چاوز و آلیپاز ۲۰۰۷).

نشانه‌گر	سنجه‌های وضعیت	مرحله	امتیاز
آب‌شناسی		$WA < 1700$	۰
		$1700 < WA < 3400$	۰/۲۵
	سرانه‌ی آب (آب دسترس) در آبخیز (مترمکعب/فرد درسال)	$3400 < WA < 5100$	۰/۵
		$5100 < WA < 6800$	۰/۷۵
		$WA > 6800$	۱
		$BOD > 10$	۰
		$10 > BOD > 5$	۰/۲۵
		$5 > BOD > 3$	۰/۵
		$3 > BOD > 1$	۰/۷۵
		$BOD < 1$	۱
محیط‌زیست		$AV < 5$	۰
		$5 < AV < 10$	۰/۲۵
	درصد پوشش گیاهی در آبخیز	$10 < AV < 25$	۰/۵
		$25 < AV < 40$	۰/۷۵
		$AV > 40$	۱
		$HDI < 0.15$	۰
حیات		$0.15 < HDI < 0.16$	۰/۲۵
	نشانه‌گر توسعه‌ی انسانی در آبخیز	$0.16 < HDI < 0.175$	۰/۵
		$0.175 < HDI < 0.19$	۰/۷۵
		$HDI > 0.19$	۱
سیاست‌گذاری	خیلی ضعیف		۰
	ضعیف		۰/۲۵
	متوسط		۰/۵
	دستورکارها و هزینه‌ها برای مدیریت جامع منابع آبی (قانونی و سازمانی)	خوب	
	عالی		۱

نشانگر توسعه‌ی انسانی معیاری کلی از وضعیت توسعه‌ی انسانی است که دست‌آورد کشورها را در بعد اساسی توسعه شامل بهداشت و سلامت، آموزش و تراز معیار زندگی نشان می‌دهد. در گزارش ۲۰۱۰ سازمان ملل متحد موضوع بهداشت با شاخص امید به زندگی در هنگام تولد اندازه‌گیری شد. برای آموزش دو شاخص متوسط طول دوره‌ی که صرف آموزش می‌شود و طول دوره‌ی انتظارداشته برای تحصیل کودکان در سن ورود به مدرسه، و برای تراز معیار زندگی سرانه‌ی درآمد ناخالص ملی به کار برده‌شد (جدول ۳). مقدار نهایی نشانگر توسعه‌ی با میانگین گرفتن هندسی از زیرشاخص‌ها محاسبه شد.

در زیرشاخص حیات (L) سنجی فشار با تغییر درآمد سرانه بیان شد. این سنجی با محاسبه کردن تغییر در زیرشاخص درآمد نشانگر توسعه‌ی انسانی (HDI) در دوره‌ی پژوهشی به دست آمد. اندازه‌های منفی این سنجی نشان‌دهنده‌ی فقیرتر شدن جمعیت ساکن در حوزه است، و به عکس (UNDP ۲۰۱۰). در سنجی وضعیت، نشانگر توسعه‌ی انسانی آبخیز به دلیل اطلاعات دسترس برای آخرین سال از دوره‌ی پژوهشی به کار رفت، و سنجی پاسخ، تغییر نشانگر توسعه‌ی انسانی در حوزه ارزیابی شد. بیشترین امتیاز ممکن برای سنجی‌های وضعیت و پاسخ حیات به ترتیب زمانی به دست آمد، که مقدار نشانگر توسعه‌ی انسانی بیش‌تر از ۰.۹٪ و تغییر آن بیش‌تر از ۰.۲٪ باشد.

جدول ۳- متغیرهای سه‌گانه‌ی توسعه‌ی انسانی و اندازه‌های هدف (UNDP 2010).

بیشینه	کمینه	متغیرها	بعدهای توسعه
۸۳/۲	۲۰	امید به زندگی در هنگام تولد	بهداشت و سلامت
۱۳/۲	۰	متوسط طول دوره‌ی که صرف آموزش می‌شود	
۲۶/۶	۰	طول متوسط دوره‌ی انتظارداشته برای تحصیل کودکان در سن ورود به مدرسه	آموزش
۲۰۱۱/۱۰۸	۱۶۳	GNI سرانه (PP\$4)	معیار زندگی

جدول ۴- توضیح‌های محاسبه‌ی سنجی واکنش (شاخص WSI)، مرحله‌ها و امتیازها (چاوز و آلیپاز ۲۰۰۷).

نشانگر	سنجی‌های واکنش	مرحله	امتیاز
آب‌شناسی	تکمیل تدریجی (میزان افزایش سطح) در منطقه‌های حفاظت‌شده در آبخیز و بازه‌ی زمانی	خیلی ضعیف	۰
		ضعیف	۰/۲۵
		متوسط	۰/۵
		خوب	۰/۷۵
		عالی	۱
		خیلی ضعیف	۰
		ضعیف	۰/۲۵
		متوسط	۰/۵
		خوب	۰/۷۵
		عالی	۱
محیط‌زیست	تکمیل تدریجی (میزان افزایش سطح) در منطقه‌های حفاظت‌شده در آبخیز و بازه‌ی زمانی	$\Delta < -/1.0$	۰
		$-/1.0 < \Delta < /1.0$	۰/۲۵
		$/1.0 < \Delta < /1.0$	۰/۵
		$/1.0 < \Delta < /2.0$	۰/۷۵
		$\Delta > /2.0$	۱
		$\Delta < -/1.0$	۰
		$-/1.0 < \Delta < /1.0$	۰/۲۵
		$/1.0 < \Delta < /1.0$	۰/۵
		$/1.0 < \Delta < /2.0$	۰/۷۵
		$\Delta > /2.0$	۱
حیات	سیر تکاملی (میزان پیشرفت) شاخص توسعه‌ی انسانی در بازه‌ی زمانی	$\Delta < -/1.0$	۰
		$-/1.0 < \Delta < /1.0$	۰/۲۵
		$/1.0 < \Delta < /1.0$	۰/۵
		$/1.0 < \Delta < /2.0$	۰/۷۵
		$\Delta > /2.0$	۱
		$\Delta < -/1.0$	۰
		$-/1.0 < \Delta < /1.0$	۰/۲۵
		$/1.0 < \Delta < /1.0$	۰/۵
		$/1.0 < \Delta < /2.0$	۰/۷۵
		$\Delta > /2.0$	۱
سیاست‌گذاری	هزینه‌ها برای مدیریت کردن جامع منابع آبی در آبخیز و بازه‌ی بررسی شده	$\Delta < -/1.0$	۰
		$-/1.0 < \Delta < /1.0$	۰/۲۵
		$/1.0 < \Delta < /1.0$	۰/۵
		$/1.0 < \Delta < /2.0$	۰/۷۵
		$\Delta > /2.0$	۱
		$\Delta < -/1.0$	۰
		$-/1.0 < \Delta < /1.0$	۰/۲۵
		$/1.0 < \Delta < /1.0$	۰/۵
		$/1.0 < \Delta < /2.0$	۰/۷۵
		$\Delta > /2.0$	۱

زیرشاخص‌ها با رابطه‌ی ۳ محاسبه کرده‌شد (چاوز و آلیپاژ ۲۰۰۷):

$$\text{WSI} = \frac{H+E+L+P}{4} \quad \text{رابطه ی ۳}$$

H امتیاز آب‌شناسی، E امتیاز محیط‌زیست، L امتیاز حیات، و P امتیاز سیاست‌گذاری است. محدوده‌ی امتیازها از صفر تا یک، به پنج رده (۰، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵، ۱) تقسیم کرده‌شد (بهترین وضعیت امتیاز ۱ و بدترین وضعیت امتیاز ۰). خطی بودن ساختار رابطه‌ی ۳ و میانگین‌گیری در مرحله‌های مختلف کار باعث کاهش یافتن تأثیر خطاها و جبران اشتباه‌های احتمالی در روند محاسبه‌ی سنجه‌ها شد (چاوز و آلیپاژ ۲۰۰۷). پایداری آبخیز در سه تراز، پس از محاسبه‌کردن WSI (بازه‌ی ۰ تا ۱) با جدول ۵ به‌دست آمد.

سنجه‌ی فشار سیاست‌گذاری (P) تغییر در زیرشاخص آموزش نشانگر توسعه انسانی حوزه در زمان پژوهش در نظر گرفته شد. سنجه‌ی وضعیت به‌وسیله‌ی توانایی حوزه در برقرار کردن اتحاد بین هدف‌های رسیدن به مدیریت یکپارچه‌ی منابع آب در میان نهادها یا سازمان‌های مختلف تعیین کرده‌شد. سنجه‌ی پاسخ به برآورد سیر تکاملی هزینه‌هایی است که صرف اعمال کردن مدیریت یکپارچه‌ی منابع آب (IWRM) در دوره‌ی پژوهشی شده است (چاوز و آلیپاژ ۲۰۰۷). برای محاسبه-کردن این زیرشاخص نیاز است که اطلاعات جزئی هزینه‌ی طرح‌ها و بودجه‌های اختصاص داده‌شده به آبخیز در دست باشد، که اگر نباشد باید به‌روش کیفی و با بازدید میدانی از عرصه ارزیابی انجام شود. پس از این‌که امتیازهای نهایی برای هر زیرشاخص از میانگین سنجه‌های فشار-وضعیت-پاسخ به‌دست آمد، مقدار شاخص پایداری آبخیز (WSI) از راه میانگین حسابی گرفتن از

جدول ۵- تعیین سطح‌های پایداری آبخیز به کمک شاخص پایداری آبخیز (چاوز و آلیپاژ ۲۰۰۷).

شاخص پایداری آبخیز (WSI)	سطح پایداری آبخیز
$WSI < 0.6$	کم
$0.6 \leq WSI \leq 0.8$	متوسط
$WSI > 0.8$	زیاد

۴۴۸۲۵۰۰۰ و سرانه‌ی آب دسترس در آن سال ۲۴۵۰ (m^۳/pr.y) بود. حجم آب خروجی حوزه در بازه‌ی ده ساله کاهش پیدا کرد و پی‌رو آن سرانه‌ی آب دسترس نیز کاهش نشان می‌دهد (جدول ۶). مقدار این سرانه برای سال ۱۳۹۵ به اندازه‌ی ۱۸۹۱ m^۳/pr.y است.

نتایج و بحث

زیرشاخص آب‌شناسی: امتیاز زیرشاخص آب‌شناسی از میانگین قسمت کمی و کیفی آن به‌دست آمد. آب دسترس برای هر نفر از تقسیم‌کردن آب خروجی بر جمعیت حوزه برای سنجه‌ی وضعیت به‌دست آمد. میانگین بارندگی متوسط سالانه‌ی آبخیز ۲۷/۷ cm است. در سال ۱۳۸۵ حجم آب خروجی از حوزه m^۳

جدول ۶- حجم آب و سرانه‌ی آب دسترس در آبخیز بختگان.

جمعیت (نفر)	حجم آب (m ^۳)	سرانه‌ی آب دسترس (m ^۳ /pr.y)	تغییر WA (%)
۱۸۲۹۴	۳۴۵۹۸۴۵۰	۱۸۹۱	-۵/۵۹

رو به کم را نشان می‌دهد. میانگین امتیازها برای کمیت آب ۰/۲۵ است که نشان‌دهنده‌ی وضعیت ضعیف است. میانگین امتیاز برای زیرشاخص آب‌شناسی ۰/۳۳ شد که نشان‌دهنده‌ی وضعیت ضعیف در این منطقه است. مدیریت یکپارچه‌ی منابع آب نیازمند روش فکری چندبعدی است که وابستگی‌های بین طبیعت، اجتماع، و سامانه‌های زیستی را در نظر بگیرد. طرح جامع مدیریت کمی و کیفی منابع آب سطحی و زیرزمینی باید با هدف توسعه‌ی پایدار دیده شود، که لزوم توجه بیش‌ازپیش را به برآوردکردن تراز پایداری نشان می‌دهد.

مقدار سنجه‌ی فشار و وضعیت کمی آب‌شناسی آبخیز به‌دست آمد (جدول ۷). این آبخیز از دیدگاه متغیر WA در طبقه‌ی b یعنی $WA < 3400 < 1700$ است که ضعیف دانسته می‌شود. در این آبخیز بهبود بازده مصرف آب بسیار کم است و به‌دلیل وابستگی شدید آبخیزنشینان به کشاورزی، و خشک‌سالی‌های اخیر، بهره‌وری مصرف آب بهبود نیافته است، و می‌توان گفت که آبخیز از این نظر در شرایط عادی نیست (جدول ۵). روش‌های دفع زباله و تخلیه‌ی فاضلاب سنتی است و نسبت به گذشته تغییر نکرده است (جدول ۸). میانگین امتیازها برای کیفیت آب (۰/۴۱۷) به‌دست آمد که وضعیت متوسط

جدول ۷- امتیازهای زیرشاخص کمی آب‌شناسی در آبخیز بختگان.

فشار	وضعیت	واکنش	کمیت آب‌شناسی (میانگین امتیاز)
مقدار امتیاز	مقدار امتیاز	مقدار امتیاز	۰/۲۵
۰/۵	۱۸۹۱	خیلی ضعیف	۰
-۵/۵۹			

جدول ۸- امتیازهای زیرشاخص کیفی آب‌شناسی در آبخیز بختگان.

فشار	وضعیت	واکنش	کیفیت آب‌شناسی (میانگین امتیاز)
مقدار امتیاز	مقدار امتیاز	مقدار امتیاز	۰/۴۱۷
۰/۵	۱۸۲۰	ضعیف	۰/۲۵
۰/۱۲			

مربوط به دیم‌زارها و موضوع خشک‌سالی‌های اخیر است. پوشش گیاهی عمده‌ی منطقه بیش‌تر مرتع و جنگل است و مساحت کمی از آن نیز باغ است که سطح آن در سال‌های اخیر رشد کرده است. نرخ تغییر جمعیت روستایی آبخیز در بازه‌ی زمانی نیز ۰/۰۶٪- بوده است.

زیرشاخص محیط زیست: شاخص فشار محیط زیستی از میانگین تغییر جمعیت در دوره‌ی پژوهشی و تغییر سطح زمین‌های زراعی و پوشش طبیعی محاسبه کرده‌شد. درصد مساحت زمین‌های زراعی در سال ۱۳۸۵، ۲۹/۶۴٪ بود که در ۱۳۹۵ به ۲۵/۱۴٪ از سطح آبخیز رسید، یعنی از وسعت زمین‌های کشاورزی کاسته شده است (۰/۴/۵٪-)، که قاعدتاً

جدول ۹- اندازه‌های امتیازهای زیرشاخص محیط زیست در آبخیز بختگان.

فشار	وضعیت	واکنش	محیط‌زیست (میانگین امتیاز)
مقدار امتیاز	مقدار امتیاز	مقدار امتیاز	۱
۱	۵۷/۸۳٪	۱	۱
-۲/۲۵۵		>۲۰	

در سال ۱۳۸۵ به‌اندازه‌ی ۸۶/۶٪ و در سال ۱۳۹۵ به‌اندازه‌ی ۸۸/۸٪ اعلام شد. نتیجه‌ی زیرشاخص آموزش برای سال ۱۳۸۵ به‌اندازه‌ی ۷۹۲۸/۰ (نیسی ۲۰۱۱) و برای ۱۳۹۵ به‌اندازه‌ی ۸۰۳۸/۰ محاسبه شد (مرکز آمار ایران ۲۰۱۷). زیرشاخص درآمد سرانه با کاربرد شاخص دست‌یابی تولید ناخالص محاسبه شد. شاخص تولید ناخالص در استان فارس در ۱۳۸۵ به‌اندازه‌ی ۴۹۹/۰ بود (نیسی ۲۰۱۱)، که در ۱۳۹۵ به ۶۶۷۶/۰ رسید، و نرخ رشد صعودی را نشان می‌دهد. بعد از محاسبه‌ی زیرشاخص‌های نشانگر توسعه‌ی انسانی، مقدار آن در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۵ به‌ترتیب ۶۸۴۳/۰ و ۷۶۲۶/۰ به‌دست آمد، که نشان‌دهنده‌ی رشد آن در منطقه است. مقدار سنجه‌های فشار، وضعیت و واکنش برای زیرشاخص حیات در آبخیز بختگان در جدول ۱۰ آورده شده‌است.

اندازه‌ی EPI برای آبخیز بختگان ۱ به‌دست آمد (جدول ۹). پوشش طبیعی حوزه شامل مرتع و جنگل ۵۷/۸۳٪، و پوشش طبیعی بیش از ۴۰٪ از سطح حوزه و در وضعیت خوب پایداری است. میانگین سنجه‌های فشار، وضعیت، و واکنش برای کل آبخیز ۱ به‌دست آمد، که شرایط عالی را برای این زیرشاخص در منطقه نشان می‌دهد.

زیرشاخص حیات: شاخص دست‌یابی امید به زنده ماندن (زیرشاخص سلامت) در استان فارس در سال ۱۳۸۵ به‌اندازه‌ی ۷۶۱۳/۰ (نیسی ۲۰۱۱) و در ۱۳۹۵ به‌اندازه‌ی ۸۱۶۶/۰ است، که رشد امید به زندگی را نشان می‌دهد. مقدار شاخص پایه در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۵ به‌ترتیب ۷۱/۰ و ۷۴/۰ برای کل کشور بود. زیرشاخص آموزش خود از دو سنجه‌ی درصد باسوادی بزرگ‌سالان و ترکیب ثبت‌نام ناخالص در ترازهای مختلف آموزشی تشکیل می‌شود. باسوادی در استان فارس

جدول ۱۰- اندازه‌ها و امتیازهای زیرشاخص حیات در آبخیز بختگان.

فشار		وضعیت		واکنش		حیات (میانگین امتیاز)	
مقدار	امتیاز	مقدار	امتیاز	مقدار	امتیاز	مقدار	امتیاز
۱	۰/۷۶۲۶	۰/۷۵	۰/۷۸۳	۰/۵		۰/۷۵	

سنجی وضعیت از قوانین، هزینه‌ها و پژوهش‌های پایه و اجرایی (پژوهش‌های جامع منابع آب و مدیریت جامع آبخیز) یا از میزان صرف‌شدن هزینه‌ها در اجرای طرح‌های مدیریت یکپارچه منابع آب در حوزه منشأ گرفت، و امتیاز آن ۰/۶۷ محاسبه شد. در سنجی واکنش، تغییر در مدیریت منابع آب و بهبود مدیریت آب در آبخیز در نظر گرفته شد. جزئیات امتیازبندی زیرشاخص سیاست‌گذاری در جدول ۱۱ آورده شده است. واکنش با مقدار میانگین امتیازها ۰/۵ به دست آمد که ضعیف ارزیابی می‌شود.

میانگین امتیازها برای این شاخص (۰/۷۵) بعد از شاخص محیط‌زیست (۱) بیش‌ترین بود، که نشان می‌دهد حوزه در رده‌ی متوسط رو به زیاد یا خوب از دید نشانگر توسعه‌ی انسانی است. سنجی فشار بهترین امتیاز و سنجی واکنش کم‌ترین را در نشانگر توسعه‌ی انسانی دارد (جدول ۱۰). با بهبود دادن سنجی واکنش می‌توان نشانگر توسعه‌ی انسانی را به سمت عالی برد. شاخص سیاست‌گذاری: برای سنجی فشار زیرشاخص آموزش و تغییر آن محاسبه شد. میزان تغییر آن ۱/۱٪ شد. امتیاز

جدول ۱۱- اندازه‌های و امتیازهای زیرشاخص سیاست‌گذاری در آبخیز بختگان.

فشار		وضعیت		واکنش		سیاست‌گذاری (میانگین امتیاز)	
مقدار	امتیاز	مقدار	امتیاز	مقدار	امتیاز	مقدار	امتیاز
۰/۷۵	۰/۷۵	خوب	۰/۷۵	۰/۵		۰/۶۷	

کل حوزه ۰/۶۱ بود که در تراز متوسط رو به کم پایداری است. مجموع امتیازهای سه قسمت فشار، وضعیت و واکنش برای زیرشاخص‌های آب‌شناسی (کمی و کیفی)، محیط‌زیست، حیات آبخیزنشینان و سیاست‌گذاری به ترتیب ۰/۲۵، ۰/۴۱۷، ۰/۷۵ و ۰/۶۷ است که نشان می‌دهد آبخیز در محیط‌زیست و پوشش گیاهی طبیعی در شرایط پایداری است. بعد از آن پایداری حیات آبخیزنشینان در تراز متوسط رو به زیاد بود، و برای زیرشاخص‌های سیاست‌گذاری و آب‌شناسی تراز مناسبی از پایداری دیده نشد، و ضعیف است. بنابراین اولویت اول و دوم در مدیریت و توسعه‌ی پایدار آبخیز به زیرشاخص آب‌شناسی (نخست‌کمیت و سپس کیفیت آب) شامل زیرشاخص‌های کمی و کیفی و سیاست‌گذاری داده می‌شود، اولویت سوم زیرشاخص حیات، و اولویت چهارم زیرشاخص محیط‌زیست است.

واضح است که در آبخیز بختگان مدیریت جامع منابع آب و سیاست‌گذاری آن از اولویت‌های توسعه‌ی پایدار و رسیدن به تراز خوب و عالی پایداری در منطقه است. نتیجه‌ی پژوهش‌های چاوز و آلیپاژ (۲۰۰۷) نشان داد که امتیاز زیرشاخص‌های آب‌شناسی، محیط‌زیست، حیات و سیاست‌گذاری به ترتیب ۰/۶۷، ۰/۵۸، ۰/۷۵ و ۰/۵۸ بود، که بر لزوم توجه به حفاظت از پوشش جنگلی، بهبود و پیشرفت در سیاست‌های مدیریت

نتیجه‌ها نشان داد که در سنجی فشار زیرشاخص آب‌شناسی (کمی و کیفی) با امتیازهای ۰/۲۵ و ۰/۴۱۷ کم‌ترین مقدار، و برای زیرشاخص‌های محیط‌زیست با امتیاز ۱ بیش‌ترین مقدار را دارد. میانگین امتیازها برای این قسمت ۰/۶۱ محاسبه شد که پایداری متوسط رو به زیادی را در این سنجی برای کل آبخیز نشان می‌دهد. برای ارتقاداتن این زیرشاخص توجه به آب‌شناسی کمی (مقدار سرانه‌ی آب دست‌رس) و کیفی (کیفیت آب) در منطقه ضروری است، و سیاست‌ها باید در جهت صرفه‌جویی آب و افزایش بهره‌وری از هرزآب‌های کشاورزی و فاضلاب‌ها پیش رود. در سنجی وضعیت برای زیرشاخص سیاست‌گذاری و سپس آب‌شناسی کمی به ترتیب با امتیازهای ۰/۲۵ و ۰/۵ کم‌ترین مقدار و برای زیرشاخص محیط‌زیست با امتیاز ۱ بیش‌ترین مقدار را دارد، که لزوم توجه بیش‌تر به جنبه‌های اجرایی و مدیریت یکپارچه منابع آب را نشان می‌دهد. در قسمت واکنش به ترتیب زیرشاخص آب‌شناسی کمی و کیفی با امتیازهای ۰ و ۰/۲۵ و زیرشاخص محیط‌زیست با امتیاز ۱ کم‌ترین و بیش‌ترین امتیازها را داشت، که پایداری زیرشاخص محیط‌زیست و ناپایداری زیرشاخص آب‌شناسی را نشان می‌دهد. در بین سنجی‌های مدل PSR در بخش تلفیق سنجی فشار و وضعیت بیش‌ترین، و سنجی واکنش کم‌ترین امتیاز را داشت. میزان شاخص WSI برای

نتیجه‌گیری

اولویت‌های رسیدن به توسعه‌ی پایدار (اولویت نخست در بهبود شرایط برای ارتقای تراز پایداری و رسیدن به توسعه‌ی پایدار) متفاوت است و آگاهی از پاسخ این پرسش مهم که ابتدا کدام زیرشاخص باید بهبود پیدا کند و توجه تصمیم‌گیران روی کدام سنجه باشد، از اتلاف وقت، هزینه و انرژی جلوگیری می‌کند و گام‌های توسعه سریع‌تر برداشته می‌شود. نرخ جمعیت روستایی در آبخیز بختگان به دلیل مهاجرت رشد منفی دارد، و بارش و حجم روان‌آب به دلیل خشک‌سالی کم شده است. سرانه‌ی آب دست‌رس به ازای هر نفر در سال در این آبخیز امتیاز ۰/۵ را گرفت، که شرایط پایداری را نشان نمی‌دهد. به دلیل کشاورزی مستمر و شرایط ناپایدار برای زیرشاخص آب‌شناسی (کمی و کیفی) اجراکردن سامانه‌های آبیاری نوین، تصفیه‌کردن هرزآب کشاورزی و فاضلاب‌ها، و بازیافتن آب به چرخه‌ی تولید بیش‌ازپیش مهم می‌شود. به‌خصوص این که امتیاز سنجه‌ی واکنش در این قسمت ضعیف (۰/۱۲۵) است. فشار آبخیزنشینان بر زمین‌های مرتعی و جنگلی با وجود تخریب‌هایی که اتفاق می‌افتد کم است، و حفاظت از گونه‌های جنگلی و مرتعی را در آبخیز بختگان در تراز پایداری نشان می‌دهد. آبخیز بختگان در زیرشاخص حیات و شاخص توسعه‌ی انسانی وضعیت مناسبی دارد، و این دست‌آورد مهم رشد درک، آگاهی و در نتیجه بهبود مشارکت آبخیزنشینان با مدیران در ارتقاداتن زیرشاخص سیاست‌گذاری را نشان می‌دهد. مطابق با نتیجه‌های دیگر محققان از جمله محمدی و دستورانی (۲۰۱۷) WSI شاخصی ساده، مفید، و سازگار برای ارزیابی وضعیت نسبی پایداری آبخیز در بازه‌ی زمانی خاص است. این شاخص کمک شایانی به شناسایی اولویت‌های هر آبخیز در راه توسعه‌ی پایدار، و ارزیابی عمل‌کرد در این کار می‌کند.

منابع آب، و تلاش برای کاستن از آلودگی‌های فاضلاب‌ها تاکید می‌کند. در این تحقیق اولویت نخست مسائل محیط‌زیستی و حفاظت از جنگل‌ها بود، در حالی که در این پژوهش این اولویت نخست نیست، و مسائل مدیریت آب و بهبود سیاست‌گذاری در مدیریت منابع آب و تصفیه‌ی هرزآب‌های کشاورزی و فاضلاب در اولویت نخست بود. پژوهش‌های کالیزایا و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد که امتیاز زیرشاخص‌های آب‌شناسی، محیط‌زیست، حیات و سیاست‌گذاری به ترتیب ۰/۴۶، ۰/۴۱، ۰/۵۵ و ۰/۴۲ بود، که نشان‌دهنده‌ی اولویت نخست مسائل زیست‌محیطی و حفاظت از پوشش‌های جنگلی و افزایش منطقه‌های حفاظت شده است.

کاتانو و همکاران (۲۰۰۹) میزان شاخص پایداری آبخیز را برای آبخیز رودخانه‌ی مونتازون ۰/۷۴ برآورد کردند، که پایداری متوسط رو به زیاد ارزیابی می‌شود، در حالی که نتیجه‌های این پژوهش میزان شاخص پایداری را برای آبخیز بختگان ۰/۶۱ محاسبه کرد، که پایداری متوسط رو به کم دارد. مهری (۲۰۱۳) مقدار این شاخص را در آبخیز چهل‌چای ۰/۶۶ محاسبه و تراز پایداری را متوسط ارزیابی کرد. نتیجه‌ی پژوهش‌های محمدی و دستورانی (۲۰۱۷) نیز نشان داد که شاخص پایداری برای آبخیز زیدشت ۰/۶۵ است، که تراز پایداری متوسط رو به کم را نشان می‌دهد، و اولویت نخست در توسعه‌ی پایدار این آبخیز مسائل کیفی آب‌شناسی، پژوهش‌ها و طرح‌های جامع در راستای مدیریت و حفاظت از منابع آبی موجود است، تا سپس به اولویت‌هایی مانند حیات آبخیزنشینان، محیط‌زیست و کمیّت آب پرداخته شود.

اما در تحقیق پیش روی ابتدا نیاز است تا بهبود در بخش آب‌شناسی (کمی و کیفی) انجام شود و سپس به اولویت‌های دیگر پرداخته شود.

- Asadi Nalivan O, Mohseni Saravi M, Zahedi Amiri GA, Nazari Samani AA. 2015. Comparison of Two Methods of IUCN and Watershed Range and Forest Management in Assessing Watershed Sustainability (Case study: Talleghan-Zeidast). *Journal of Watershed Management Research*, 6(11): 73–89. (In Persian).
- Asadi Nalivan O, Nazari Samani AA, Mohseni Saravi M, Zahedi Amiri G A. 2013. Determination and Assessment the sustainability criteria and indices in Taleghan Catchment-Zeidast1. *journal of Town and Country Planning*, 5 (1): 133–154. (In Persian).
- Asadi Nalivan O. 2012. Determination the sustainability criteria and indices with IUCN method. MSc. Thesis. Faculty of Agriculture and Natural Resources. Tehran University, 105 p. (In Persian).
- Calizaya A, Chaves H, Bengtsson L, Berndtsson R. 2008. Application of the WSI to the Lake Poopo Watershed, Bolivia, *Hydrology Journal*, 24 (10): 2267–2289.
- Catano N, Marchand M, Staley S, Wang Y. 2009. Development and Validation of the Watershed Sustainability Index for the Watershed of the REVENTAZÓN River, Report Prepared for the Omission for the Preservation and Management of the Watershed of the Reventazón River, Costa Rica, pp. 4–31.
- Chaves H, Alipaz S. 2007. Integrate Basin Hydrologt, Environment, Life and Policy the Watershed Sustainability Index, *Water Resource Management*, 21(5): 883–895.
- Cortes AE, Oyarzun R, Kretschmer N, Chaves H, Soto G, Soto M, Amezago J, Oyarzu J, Rotting T, Senoret M, Maturana H. 2012. Application of the watershed sustainability index to the Elqui River Basin North- Central Chile. *ObrasProyectos*, pp. 57–69.
- Falkenmark B. 1986. Fresh water-time for a modified approach. *AMBIO*. 15(4): 192–200.
- Hafezparast M, Fatemi SE. 2016. Calculating sustainability indices of water and basin to maintain sustainability development (Case study: Gamasiab Basin Watershed). *Journal of Geography and sustainability of Environment*, 6 (18): 21–33. (In Persian).
- Harris MJ. 2000. Basic principles of sustainable development global development and environment institute. Tufts University Medford MA 02155, USA. 26 p.
- Hazbavi Z, Sadeghi SHR. 2017. Watershed health (Part three): Vigor, organization and resilience conceptual model. *Journal of Extension and Development of Watershed Management*, 5(16): 21–33. (In Persian).
- Kazemi M, Kamali E. 2018. Watershed sustainability assessment based on HELP model (Case study: Behesht Gomshodeh Watershed, Fars Province). *Journal of Extension and Development of Watershed Management*. 22(6): 6–13. (In Persian).
- McLaren RA, Simonovic SP. 1999. Evaluating sustainability criteria for water resources decision making assiniboine delta case study. *Canadian Water Resources Journal*, 24 (2): 147–163.
- Mehri R. 2013. Development and application of WSI sustainability index (WSI) for Chehel-Chai Watershed, Golestan Province, Master's thesis for Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 130 p. (In Persian).
- Mohamadi T, Daštórani MT. 2017. The evaluation of the sustainability of watershed using watershed sustainability index. *Journal of Hydrogeomorphology*, pp. 41–64. (In Persian).
- Neisi AA. 2011. Survey on the human develop-

- ment index in the provinces of Iran. Jundishapur Journal of Health Sciences, 2(2): 55–63. (In Persian).
- Nyerges T. 2002. Linked visualizations in sustainability modeling: an approach using participatory modeling for decision support. Assoc Am Geog Illust, Los Angeles, CA, 18 p.
- RFWO. Range, Forest and Watershed Organization of Iran. 2010.
- Remedio EM, Bense TG. 2003. Socio-economic and environmental impacts of wood fuel consumption and production in South Asia, 54 p.
- Sullivan C. 2002. Calculating a water poverty index. World Development, 30 (7): 1195–1210.
- Statistical Center of Iran. 2017. www.amar.org.ir
- UNDP (United Nations Development Programme). 2011. The HDI 2010: New Controversies, Old Critiques, 49 p.
- UNESCO Institute for Statistics. 2011. School-Life Expectancy, 251p.
- UNESCO. 2005. Hydrology for the environment, Life and Policy HELP. Paris, 20 p.
- Viessmann W. 1990. Water management issues for the nineties. Water Resour Bull, 26(6): 886–891.
- World Bank. 2003. Water resources management strategies in Brazil. Cooperation Areas with the World Bank, JosELObato Costa (Ed.). Brasilia, 177 p.
- www.amar.org.ir , Areas Accounts (2017). (In Persian).<https://www.amar.org.ir/english/Statistics-byTopic/National-accounts>. (In Persian).
- Yilmaz B, Harmancioglu N. 2010. An indicator based assessment for water resources management in Gediz River Basin Turkey. Water Resources Management, 24 (15): 4359–4379.



Watershed Management Research

VOL. 34, No. 2, Ser. No: 131, Summer 2021, pp. 48 -60
DOI: 10.22092/wmej.2020.342265.1325

Research Paper

An Evaluation of the Bakhtegan Watershed Sustainability Using the HELP Model

Hamed Kheirandish

PhD student in Desertification, Faculty of Desertology, Semnan University

Ahmad Sadeghipour

(Corresponding Author)* Faculty of Desertology, Semnan University

Hananeh Mohammadi Kangarani

Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan

Corresponding Author Email: a.sadeghipour@semnan.ac.ir

Received: 26 May 2020 Accepted: 20 September 2020

Abstract

Healthily watersheds provide many ecosystem services in various fields, such as social and economic well-being; Therefore, we need to develop methods that can be used to determine the levels of health and sustainability of watersheds. The aim of this research was an evaluation of the sustainability of the Bakhtegan Watershed servicer using the watershed sustainability index (WSI) in a ten year periods of (2006 to 2016). The UNESCO – HELP demonstration has proposed an integrated watershed sustainability index (WSI), based on four criteria of hydrologic (quantity and quality), environmental, life, water policy issues and three parameters of pressure, status and, the response was used in order to achieve low, medium, and high levels of the basin's sustainability of services. The results showed that the pressure parameter with a score of 0.75 and the response parameter with the score of 0.45 had the highest and lowest scores for an assessment of the watershed's sustainability of services. Furthermore, the results showed that the criterion of quantity hydrological with a score of 0.25 and the environmental quality with a score of 1 offer the most and least priorities for its management. The value obtained for the WSI was 0.61, which represents an intermediate level of basin's sustainability of services, thus points to the need for more attention to the region's sustainability level.

■ **Keywords:** Bakhtegan, environment indicator, life indicator, hydrology indicator, sustainability ■