هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۱۰، بهار ۱۳۹۶، صص ۶۴-۴۱

وصول مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۳۰ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۶/۰۱/۲۷

ارزیابی پایداری حوضه با استفاده از روش شاخص پایداری آبخیز

طاهره محمدی[۱]

محمدتقی دستورانی[۲*]

چکیده

آبخیزهای سالم، خدمات اکوسیستمی بسیاری در زمینه‌های مختلف چون اجتماعی و رفاه اقتصادی ارائه می‌دهند، لذا می‌بایست روش‌هایی توسعه یابند که بتوان بر اساس آن‌ها درجه‌ی سلامت و سطح پایداری آبخیزها را تعیین نمود. یکی از شاخص‌های مورد استفاده برای تعیین پایداری، شاخص پایداری آبخیز (WSI) می‌باشد. این شاخص از تلفیق چهار زیرشاخص هیدرولوژی، محیط زیست، حیات و سیاست‌گذاری شکل گرفته است. این شاخص حوضه‌ی آبخیز را در سه سطح پایین، متوسط و بالا ارزیابی می‌کند. حوضه‌ی آبخیز زیدشت به دلیل تغییرات عمده‌ی دوره‌ی ده ساله (۱۳۸۰-۱۳۹۰) به عنوان یک حوضه‌ی مطالعاتی انتخاب شد. مقدار شاخص پایداری برای آبخیز زیدشت در طول دوره‌ی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰، ۰/۶۵ محاسبه گردید. این مقدار نشان می‌دهد که این آبخیز در سطح پایداری متوسط رو به پایین قرار گرفته است. با توجه به تحلیل‌های صورت گرفته مشخص شد که برای رسیدن به توسعه‌ی پایدار در آبخیز زیدشت لازم است، ابتدا در زمینه‌ی مسائل کیفی هیدرولوژی (کیفیت آب رودخانه‌ی زیدشت مد نظر است)، مطالعات و طرح‌های جامع در راستای مدیریت و حفاظت از منابع آبی موجود در حوضه انجام گیرد و پس از بهبود

۱ـ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشگاه یزد، یزد،

۲ـ استاد دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده منابع طبیعی، مشهد (نویسنده‌ی مسئول) Email:mdastorani@um.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

این مسئله به ترتیب به مسائل پیرامون حیات آبخیزنشینان، محیط‌زیست، هیدرولوژی (بخش کمیت آب) و در آخر سیاست‌گذاری پرداخته شود. به این ترتیب این ارزیابی به مدیران و تصمیم‌گیران در زمینه برنامه‌ریزی آینده و آمایش سرزمین کمک خواهد کرد.

کلمات کلیدی: آبخیز سالم، آمایش سرزمین، پایداری، زیدشت، WSI.

مقدمه

اهمیت آبخیزداری در جهان امروز آنچنان شناخته شده است که بانک جهانی عدم توجه به مسائل حوضه‌های آبخیز را علت شکست طرح‌های توسعه‌ی اقتصادی در کشورهای آسیایی اعلام می‌کند (بانک جهانی[1]، ۲۰۰۳). امروزه پایداری آبخیز[2] چهار هدف مهم یعنی تنظیم رژیم جریان آب، حفظ و بهبود کیفیت آب، حفظ کیفیت اکولوژیکی گیاهی و جانوری و منابع انرژی را مد نظر قرار می‌دهد. یکی از شاخص‌های مورد استفاده برای تعیین پایداری، شاخص پایداری آبخیز (WSI)[3] می‌باشد. چاوز و آلیپاز (۲۰۰۷) WSI را برای آبخیزی در جنوب برزیل طی یک دوره پنج ساله حدود ۰/۶۵ برآورد کردند. در این تحقیق امتیاز هر کدام از زیرشاخص‌های هیدرولوژی، محیط زیست، حیات و سیاست‌گذاری به ترتیب ۰/۶۷، ۰/۵۸، ۰/۷۵، و ۰/۵۸ محاسبه شد. نتایج این تحقیق نشان داد که تصمیم‌گیرندگان در این آبخیز باید بیش از پیش به مسائل حفاظت از پوشش جنگلی، پیشرفت در سیاست‌های اتخاذ شده پیرامون مدیریت منابع آب و تلاش برای کاستن آلودگی‌های ناشی از فاضلاب‌ها توجه داشته باشند. کالیزایا و همکاران (۲۰۰۸)، طی مطالعه‌ای به منظور مدیریت یکپارچه منابع آب در حوضه‌ی آبخیز دریاچه پووپو با

1- World Bank
2- Watershed Sustainable
3- watershed Sustainability Index

Archive of SID

www.SID.ir

استفاده از مدل HELP[1] به محاسبه‌ی WSI پرداختند. مقدار WSI برای کل آبخیز از میانگین مقادیر به دست آمده برای ۱۸ زیرحوضه در سناریوی اول ۰/۴۶، سناریوی دوم ۰/۵۹ و در سناریوی سوم ۰/۳۶ محاسبه شد. همچنین امتیاز زیرشاخص‌های هیدرولوژی، محیط‌زیست، حیات و سیاست‌گذاری به ترتیب ۰/۴۶، ۰/۴۱، ۰/۵۵، ۰/۴۲ به دست آمد. نتایج این تحقیق نشان داد که وجود سد ذخیره‌ی آب در پایداری آبخیز پوپو حائز اهمیت بوده و باعث افزایش سطح پایداری از ضعیف به متوسط خواهد شد. کاتانو و همکاران (۲۰۰۹) به منظور حفاظت و مدیریت آبخیز رودخانه رونتازون گزارشی را در مورد پایداری این آبخیز منتشر کردند. به علت حساسیت این آبخیز و به منظور دقت بیشتر برای ارزیابی سلامت حوضه، بر مبنای طبقات ارتفاعی به سه بخش پایینی، میانی و بالایی تقسیم شد و شاخص پایداری برای هر بخش به ترتیب ۰/۷۴، ۰/۷۳ و ۰/۷۴ به دست آمد و در نهایت مقدار آن برای کل حوضه ۰/۷۴ برآورد گردید. کورتز و همکاران (۲۰۱۲) طی یک دوره‌ی مطالعاتی چهار ساله امتیاز زیرشاخص هیدرولوژی را ۰/۵، محیط زیست ۰/۶۷، حیات ۰/۵۸ و زیرشاخص سیاست‌گذاری را ۰/۶۷ برای حوضه‌ی رودخانه‌ای در شیلی محاسبه کردند و در نهایت مقدار WSI را در حدود ۰/۶۱ به دست آوردند. در این تحقیق EC جایگزین BOD به عنوان نماینده‌ی کیفیت آب رودخانه‌ی ال‌کیوئی در شیلی شد. مهری (۱۳۹۲) با ارزیابی شاخص پایداری آبخیز حوضه‌ی آبخیز چهل‌چای در استان گلستان، مقدار ۰/۶۶۷ (متوسط) را به دست آورد و بیان داشت که با اقدامات آبخیزداری می‌توان از سطح متوسط به سطح بالا دست پیدا کرد. حوضه‌ی آبخیز زیدشت از مشکلات زیادی از قبیل عوامل طبیعی (مانند شیب زیاد، سیل‌خیزی و وجود سازندهای حساس به فرسایش) و انسانی (مانند تغییر کاربری اراضی و کشاورزی بر روی اراضی با شیب زیاد) که موجب بروز

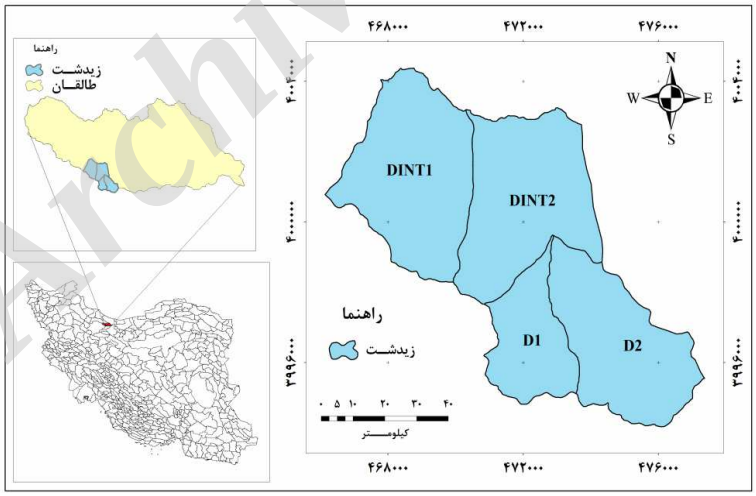
1- Hydrology for the Environment, Life and Policy

Archive of SID

www.SID.ir

انواع فرسایش و حرکات توده‌ای در سطح این آبخیز گردیده است، رنج می‌برد. عوامل مذکور به همراه مواردی نظیر ورود فاضلاب‌ها و زباله‌ها موجب آلودگی آب‌های سطحی و تنزل شدید کیفیت آب در این آبخیز می‌گردد که با رشد جمعیت و افزایش فعالیت‌های انسانی این موضوع هر روز وخیم‌تر خواهد شد (اسدی نلیوان، ۱۳۹۱). بنابراین نیاز به ارزیابی پایداری برای کمک به مدیران و تصمیم‌گیران در زمینه‌ی برنامه‌ریزی آینده و آمایش سرزمین مشهود است.

حوضه‌ی آبخیز زیدشت در عرض‌های جغرافیایی ″۳۵، ′۵، °۳۶ الی ″۴۶، ′۱۱، °۳۶ و در طول‌های جغرافیایی ″۴۶، ′۳۷، °۵۰ الی ″۵۶، ′۴۴،°۵۰ قرار گرفته است (شکل ۱). این حوضه به چهار زیرحوضه تقسیم شده است. مساحت حوضه ۵۳۶۵ هکتار است. متوسط بارندگی سالانه آن ۵۳۰ میلی‌متر و حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته روزانه ۴۴ میلی‌متر می‌باشد. از نظر دما میانگین حداقل روزانه و میانگین حداکثر روزانه و میانگین روزانه درجه حرارت در حوضه به ترتیب معادل ۲/۷، ۱۷ و ۹/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.



شکل (۱) موقعیت حوضه‌ی آبخیز زیدشت در کشور، استان و منطقه

Archive of SID

www.SID.ir

مواد و روش‌ها

شاخص پایداری آبخیز در قالب چهار زیرشاخص هیدرولوژی (کیفی و کمی)، محیط زیست، حیات و سیاست‌گذاری به ارزیابی پایداری آبخیز می‌پردازد. در این روش مقادیر پارامترها در سه حالت فشار، وضعیت، واکنش تعیین و در دامنه امتیازدهی از صفر تا یک و در پنج طبقه (۰، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵، ۱) به حالت کمی تبدیل می‌شوند. زیرشاخص‌ها و پارامترهای استفاده شده در این روش در سال ۲۰۰۳ از سوی صندوق حفاظت از زیستگاه‌ها تعیین شده است.

زیرشاخص هیدرولوژی (H): زیرشاخص هیدرولوژی نخستین زیرشاخص WSI است که خصوصیات شیمیایی و فیزیکی بدنه‌های آب[1] را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. مقدار زیرشاخص هیدرولوژی خود از میانگین دو متغیر کمیت آب و کیفیت آب به دست می‌آید.

متغیر کمیت آب: این متغیر از طریق محاسبه سرانه آب در دسترس به ازای هر نفر (WA)[2] در هر زیرحوضه با استفاده از رابطه‌ی (۱) به دست آمد:

$$W_A = \frac{\text{میانگین درازمدت جریان رودخانه}}{\text{جمعیت حوضه}} \qquad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

تنش آب زمانی رخ می‌دهد که آب در دسترس به کمتر از ۱۷۰۰ مترمکعب در سال به ازای هر نفر برسد، پنج سطح برای W_A توسط چاوز و آلیپاز انتخاب گردید که شامل: خیلی ضعیف، ضعیف، متوسط، خوب و عالی است (چاوز و آلیپاز[3]، ۲۰۰۷).

1- Water body
2- Per capita Water Availability per year per person
3- Chaves and Alipaz

Archive of SID

www.SID.ir

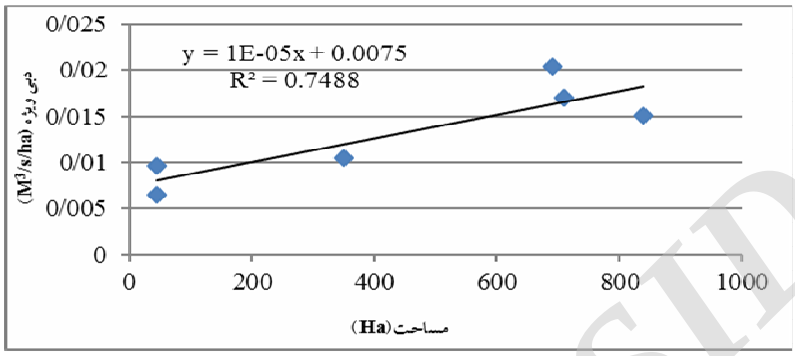
متغیر کیفیت آب: در محاسبه این متغیر چاوز و آلیپاز (۲۰۰۷) از (BOD)[1] استفاده کردند، اما متأسفانه به دلیل فقدان داده و محدود بودن زمان برای اندازه‌گیری میدانی، مقدار کل جامدات محلول[2] برای ارزیابی کیفی حوضه‌ی آبخیز زیدشت جایگزین گردید. پارامتر فشار کیفیت آب، تغییرات میانگین کوتاه مدت TDS نسبت به میانگین بلند مدت را به درصد بیان می‌کند. پارامتر وضعیت موجود میانگین طولانی مدت مقدار TDS را به میلی‌گرم بر لیتر نشان می‌دهد و پارامتر واکنش (پاسخ)، پارامتر توصیفی است که با توجه به میزان بهبود در روش‌های تصفیه فاضلاب و هدایت هرز آب‌ها در حوضه طی مدت مطالعاتی در یکی از پنج سطح خیلی ضعیف، ضعیف، متوسط، خوب و عالی قرار می‌گیرد. در هر دو بخش کمیت و کیفیت آب امتیاز به دست آمده میانگین امتیازات کسب شده پارامترهای فشار- وضعیت و واکنش می‌باشد (چاوز و آلیپاز، ۲۰۰۷). برای تعیین دبی متوسط هر یک از واحدهای هیدرولوژیک از همبستگی بین مساحت و دبی ویژه استفاده شد (شکل ۲). چون دبی ویژه از تقسیم دبی بر مساحت تعیین می‌شود، از حاصل‌ضرب دبی ویژه هر یک از زیرحوضه‌ها در مساحت آن دبی متوسط تعیین می‌شود.

برای اندازه‌گیری ارتفاع رواناب از روش شماره‌ی منحنی استفاده شده است. سپس با استفاده از ارتفاع رواناب و مساحت زیرحوضه حجم رواناب به دست آمد. متوسط بارش زیرحوضه‌ها با استفاده از روش خطوط هم باران (شکل ۳) به دست آمد.

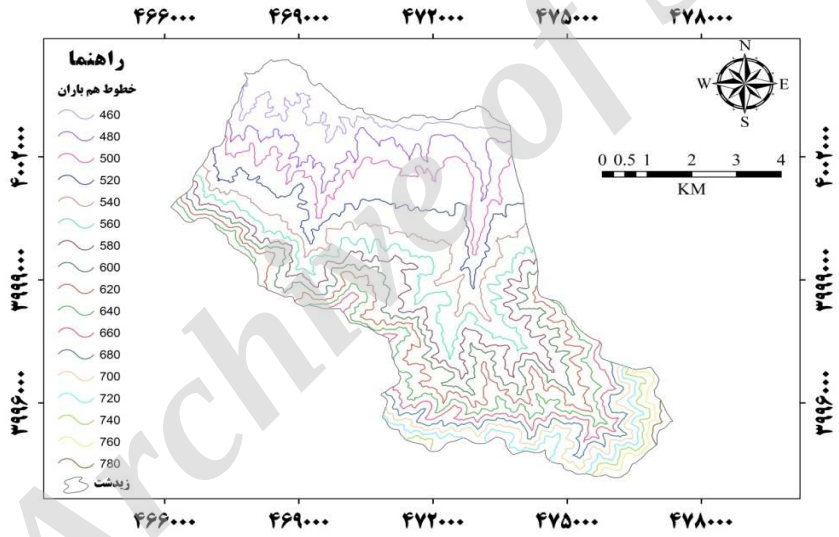
1- Biochemical Oxygen Demand
2- Total Dissolved Solids

Archive of SID

www.SID.ir



شکل (۲) همبستگی بین دبی ویژه و مساحت ایستگاه‌های مطالعاتی (نگارندگان)



شکل (۳) نقشه‌ی هم‌باران حوضه‌ی آبخیز زیدشت (نگارندگان)

زیرشاخص محیط زیست (E): پارامتر فشار این زیرشاخص (EPI) نسخه اصلاح شده شاخص فشار آنتروپیک[1] (API) می‌باشد و از طریق میانگین تغییرات مساحت

1- Modified version of the Anthropic Pressure Index

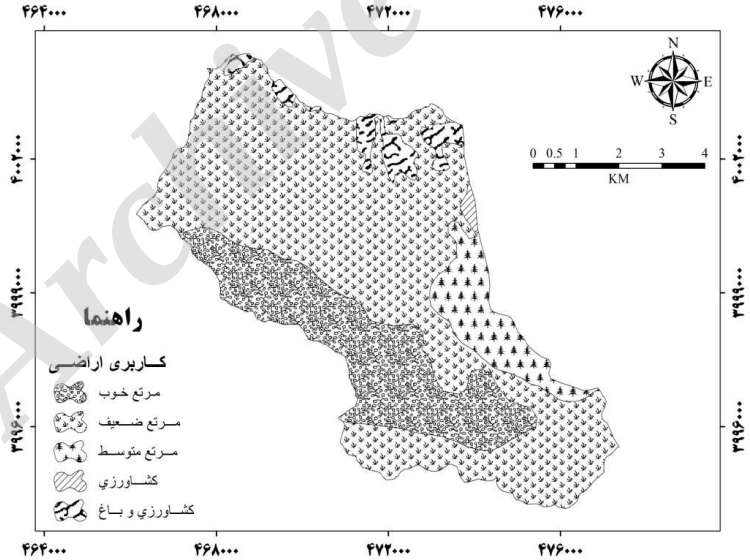
Archive of SID

www.SID.ir

زمین‌های کشاورزی در حوضه و تغییرات جمعیت شهری (به درصد) در طول دوره مطالعاتی به شکل رابطه‌ی (۲) قابل محاسبه می‌باشد (چاوز و آلیپاز، ۲۰۰۷):

رابطه‌ی (۲) $EPI=((\%)$ تغییر در مساحت زمین‌های کشاورزی$+(\%)$ تغییر در جمعیت شهری$)/2$

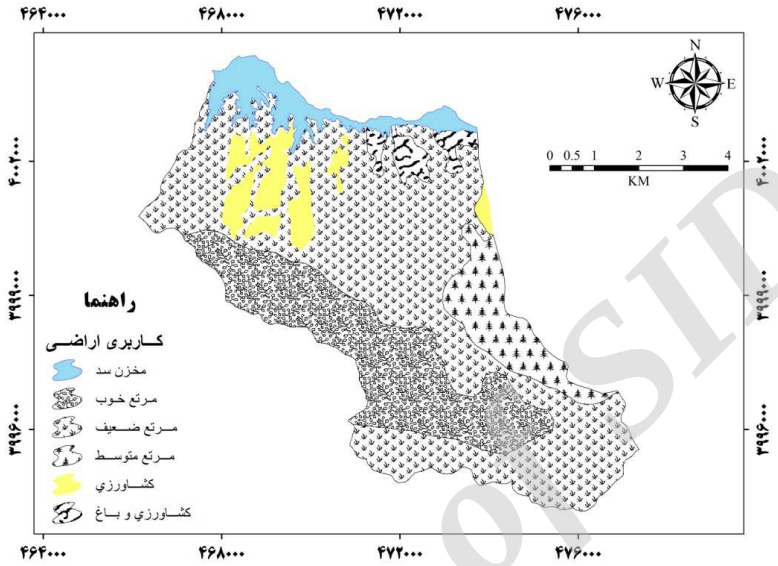
مقادیر مثبت EPI نشان‌دهنده‌ی فشار مضاعف بر روی پوشش گیاهی است. پارامتر پاسخ محیط‌زیست، رشد و پیشرفت در عملیات‌های حفاظتی در حوضه شامل توسعه ذخایر جنگل ملی و پارک‌های ملی را مورد بررسی قرار می‌دهد. به منظور بررسی تغییرات در مساحت زمین‌های کشاورزی و پوشش گیاهی، از نقشه‌ی کاربری اراضی آبخیز زیدشت در ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ استفاده شد و همچنین از جمعیت شهر طالقان در سرشماری‌های سال ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ برای بخش تغییرات جمعیت شهری حوضه استفاده گردید. شکل‌های ۴ و ۵ نقشه‌ی کاربری اراضی آبخیز زیدشت در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ را نشان می‌دهند.



شکل (۴) نقشه‌ی کاربری اراضی سال ۱۳۸۰ حوضه‌ی آبخیز زیدشت

Archive of SID

www.SID.ir



شکل (۵) نقشه‌ی کاربری اراضی سال ۱۳۹۰ حوضه‌ی آبخیز زیدشت

به منظور جمع‌آوری اطلاعات در مورد مساحت مناطق حفاظت شده در آبخیز زیدشت برای محاسبه‌ی پارامتر واکنش محیط زیست به اداره کل محیط زیست استان البرز مراجعه شد و پس از مذاکره‌ی شفاهی با مسئولان بخش حفاظت مشخص گردید که در هیچ برهه‌ای از زمان در این حوضه مناطقی که تحت حفاظت محیط زیست باشد وجود نداشته است.

زیرشاخص حیات (L): در این زیرشاخص، پارامتر فشار به وسیله‌ی تغییرات درآمد سرانه در طول دوره‌ی مطالعه بیان می‌شود. این پارامتر در واقع با محاسبه‌ی تغییر در زیرشاخص درآمد HDI طی دوره‌ی مطالعاتی به دست می‌آید. مقادیر منفی این پارامتر حاکی از فقیرتر شدن جمعیت ساکن در حوضه طی دوره‌ی مطالعاتی است و بالعکس (برنامه توسعه سازمان ملل[1]، ۲۰۱۰). در پارامتر وضعیت، شاخص

1- United Nations Development Programme (UNDP)

Archive of SID

www.SID.ir

توسعه‌ی انسانی حوضه با توجه به اطلاعات در دسترس برای آخرین سال از دوره‌ی مطالعاتی به کار می‌رود و پارامتر پاسخ، تغییرات HDI (به درصد) در حوضه در طی دوره‌ی مطالعاتی را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. بیشترین امتیاز ممکن برای پارامترهای وضعیت و پاسخ حیات به ترتیب زمانی به دست می‌آید که مقدار HDI بیشتر از ۰/۹ و تغییرات HDI مثبت و بیشتر از ۲۰ درصد در طی دوره‌ی مطالعاتی باشد.

شاخص توسعه‌ی انسانی (HDI): HDI معیار کلی از وضعیت توسعه‌ی انسانی است که دستاورد کشورها را در سه بعد اساسی توسعه‌ی شامل بهداشت و سلامت، آموزش و سطح استاندارد زندگی نشان می‌دهد. در گزارش سال ۲۰۱۰ سازمان ملل متحد موضوع بهداشت با شاخص امید به زندگی در بدو تولد اندازه‌گیری می‌شود، در خصوص موضوع آموزش از دو شاخص متوسط طول دوره‌ای که صرف آموزش می‌شود[1] و طول دوره‌ی مورد انتظار برای تحصیل کودکان در سن ورود به مدرسه[2] استفاده شده است. از طرف دیگر برای موضوع سطح استاندارد زندگی از سرانه‌ی درآمد ناخالص ملی (GNI)[3] استفاده شده است (جدول ۱). مقدار نهایی HDI از طریق میانگین هندسی زیرشاخص‌ها محاسبه می‌شود.

جدول (۱) متغیرهای سه‌گانه توسعه انسانی و مقادیر هدف (سازمان ملل متحد، ۲۰۱۰)

ابعاد توسعه	متغیرها	حداکثر	حداقل
بهداشت و سلامت	امید به زندگی در بدو تولد	۸۳/۲	۲۰
آموزش	متوسط طول دوره‌ای که صرف آموزش می‌شود	۱۳/۲	۰
	طول دوره‌ی مورد انتظار برای تحصیل کودکان در سن ورود به مدرسه	۲۶/۶	۰
استاندارد زندگی	GNI سرانه (PPP$[4])	۲۰۱۱/۱۰۸	۱۶۳

1- Mean Years of Schooling
2- Expected Years of Schooling - Primary to Tertiary (Children of School Entrance Age)
3- Gross National Income per capita
4- Purchasing Power Parity

Archive of SID

www.SID.ir

نرمال نمودن: برای اینکه بتوان از ترکیب شاخص‌های فوق به یک شاخص واحد رسید، ابتدا هر یک از سه شاخص فوق با استفاده از فرمول شاخص پایه (رابطه‌ی ۳) که مقدار آن بین صفر و یک می‌باشد، تبدیل می‌شوند.

رابطه‌ی (۳) $$\text{شاخص پایه} = \frac{\text{کمتری مقدار} - \text{متوسط شاخص در کشور}}{\text{کمتری مقدار} - \text{بیشترین مقدار}}$$

برای اینکه هر یک از شاخص‌ها به شاخص نرمال تبدیل شوند، لازم است برای هر یک از آن‌ها مقادیر حداقل و حداکثر (مقادیر هدف[1]) در نظر گرفته شود (جدول ۱).

الف: بهداشت و سلامت: سازمان بهداشت جهانی از این شاخص در کنار دیگر شاخص‌های ذکر شده به برآورد شاخص توسعه‌ی انسانی مبادرت می‌نماید که از مهم‌ترین شاخص‌های ارزشیابی جوامع کنونی است (یونسکو، ۲۰۱۱).

ب: آموزش: این شاخص از دو پارامتر طول دوره مورد انتظار برای تحصیل کودکان در سن ورود به مدرسه و متوسط طول دوره‌ای که صرف آموزش شده است محاسبه می‌شود. اولی تعداد سال‌های تحصیلی مورد انتظار یک کودک از سن ورود به مدرسه است و پارامتر دوم میانگین تعداد سال‌هایی است که صرف آموزش افراد ۲۵ سال و بالاتر شده است (مرکز اطلاعات و آمار یونسکو[2]، ۲۰۱۲). از رابطه‌ی (۴) مقدار نهایی این زیرشاخص محاسبه شد:

رابطه‌ی (۴) $$EI = \frac{(MYSI \times EYSI)^{1/2}}{0.951}$$

1- Goalpost
2- NESCO Institute for Statistics, Data Centre

Archive of SID

www.SID.ir

که در آن: EI شاخص آموزش، MYSI شاخص میانگین سال‌های تحصیل، EYSI شاخص سال‌های مورد انتظار برای تحصیل می‌باشند (چاوز و آلیپاز، ۲۰۰۷).

ج: استاندارد زندگی: سرانه درآمد ناخالص ملی (GNI) عبارت است از، درآمد کل حاصل شده از اقتصاد تولیدی ناشی از تولید محصولات داخلی و مالکیت عوامل تولیدکننده منهای درآمدی که صرف پرداخت هزینه بابت واردات عوامل تولیدی از سایر جهان شده است. این مقدار با استفاده از نرخ برابری قدرت خرید (PPP) به دلار بین‌المللی تبدیل شده و سپس بر جمعیت کشور در اواسط سال مورد نظر تقسیم می‌شود (گزارش توسعه‌ی انسانی[1](HDR)، ۲۰۱۱). شاخص توسعه‌ی انسانی از میانگین هندسی مقادیر به دست آمده (رابطه‌ی ۵) برای دو سال متفاوت محاسبه گردید (برنامه‌ی توسعه‌ی سازمان ملل متحد، ۲۰۱۰):

$$HDI= (LEI \times EI \times Log\ II)^{1/3} \quad \text{رابطه‌ی (۵)}$$

در این رابطه LEI شاخص امید به زندگی، EI شاخص آموزش و II شاخص درآمد است.

زیرشاخص سیاست‌گذاری (P): پارامتر فشار سیاست‌گذاری تغییر در زیرشاخص آموزش شاخص توسعه انسانی حوضه در طول مدت مطالعه را در نظر می‌گیرد. پارامتر وضعیت به وسیله‌ی توانایی حوضه در برقرار کردن اتحاد بین اهداف رسیدن به مدیریت یکپارچه منابع آب[2]، در میان نهادها یا سازمان‌های مختلف تعیین می‌شود. پارامتر پاسخ به برآورد سیر تکاملی هزینه‌هایی که صرف اعمال مدیریت یکپارچه منابع آب (IWRM) طی دوره‌ی مطالعاتی شده است می‌پردازد (چاوز و آلیپاز، ۲۰۰۷). به دلیل میسر نبودن دسترسی به اطلاعات جزئی هزینه

1- Human Development Report
2- Integrated Water Resources Management (IWRM)

Archive of SID

www.SID.ir

طرح‌ها و بودجه‌های اختصاص داده شده به حوضه زیدشت، این زیرشاخص به صورت کیفی مورد ارزیابی قرار گرفت.

محاسبه شاخص پایداری آبخیز: پس از اینکه امتیازهای نهایی برای هر زیرشاخص از میانگین پارامترهای فشار – وضعیت- پاسخ به دست آمد، مقدار WSI از طریق میانگین حسابی زیرشاخص‌ها به صورت رابطه‌ی (۶) قابل محاسبه می‌باشد:

$$WSI = \frac{H + E + L + P}{4}$$ رابطه‌ی (۶)

در این رابطه H امتیاز هیدرولوژی، E امتیاز محیط زیست، L امتیاز حیات و P امتیاز سیاست‌گذاری می‌باشد، که محدوده امتیازات آن‌ها از بازه‌ی صفر تا یک به پنج کلاس تقسیم می‌شود (صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱) به این صورت که در بهترین وضعیت امتیاز یک و در بدترین وضعیت امتیاز صفر را کسب می‌کنند. خطی بودن ساختار رابطه‌ی (۶) و میانگین‌گیری در مراحل مختلف کار باعث کاهش تأثیر خطاها و جبران اشتباهات احتمالی در روند محاسبه پارامترها می‌شود (چاوز و آلیپاز، ۲۰۰۷). پایداری آبخیز در سه سطح پس از محاسبه WSI (بازه صفر تا یک) با استفاده از جدول (۲) به دست می‌آید.

جدول (۲) تعیین سطوح پایداری آبخیز به کمک WSI

سطح پایداری آبخیز	شاخص پایداری آبخیز (WSI)
پایین	WSI<۰/۶
متوسط	۰/۶≤WSI ≤ ۰/۸
بالا	WSI>۰/۸

بحث و نتایج

زیرشاخص هیدرولوژی: مقدار پارامترهای فشار و وضعیت کمی هیدرولوژی طبق جدول (۳) به دست آمد. امتیاز پارامترهای فشار و وضعیت با توجه به مقادیر به

Archive of SID

www.SID.ir

دست آمده از جدول (۳) و جداول پیوست حاصل می‌شود (جدول ۴). با استناد به مذاکره شفاهی با بخش‌های مربوطه اجرایی در استان البرز، مشخص گردید که روند بهبود راندمان مصرف آب در حوضه طی سال‌های اخیر حرکت بطئی را پشت سر گذاشته و می‌توان گفت آبخیز مذکور از این حیث در شرایط عادی قرار گرفته است. همچنین در طی این مدت سد طالقان هدررفت آب را تا حدودی کاهش داده و راندمان بهره‌وری آب را در حد متوسطی با افزایش رو به رو کرده است (جدول ۴). نتایج پارامتر واکنش (کیفی) در این زیرشاخص با استناد به مذاکرات شفاهی با اداره آب و فاضلاب روستایی استان البرز به ویژه گفتگو با متولیان بخش نظارت بر بهره‌برداری حاکی از این بود که روش‌های دفع زباله و تخلیه فاضلاب در آبخیز زیدشت هنوز سنتی بوده و نسبت به گذشته پیشرفتی نداشته است. لذا آبخیز زیدشت از نظر کیفیت آب در وضعیت نامناسبی قرار گرفته و سطح ضعیف را در این زمینه به خود اختصاص می‌دهد. نتایج و امتیازهای به دست آمده برای بخش کیفی هیدرولوژی در جدول (۵) ارائه داده شده است. همان‌طور که در جدول (۵) مشاهده می‌شود میانگین امتیازها برای کل حوضه کمتر از ۰/۶ شده و این نشان می‌دهد که آبخیز زیدشت از نظر کیفیت آب در وضعیت پایداری پایینی قرار گرفته است. میانگین امتیاز زیرحوضه‌ها برای پارامتر وضعیت ۱ به دست آمده و این نشان‌دهنده‌ی این است که رودخانه‌ی زیدشت از لحاظ غلظت املاح محلول طی سال‌های مطالعاتی از وضعیت مطلوبی برخوردار بوده است. کمترین امتیاز در کل حوضه برای پارامتر واکنش (۰/۲۵) به دست آمده است. امتیاز نهایی زیرشاخص هیدرولوژی از میانگین امتیاز کمی و کیفی (۰/۸۳۳ و ۰/۵) برابر با ۰/۶۶ به دست آمد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول (۳) محاسبه حجم آب و سرانه آب قابل دسترس

حوضه	میانگین‌بارندگی سالانه (cm)	رواناب (m)	جمعیت (نفر)	حجم آب (m^3)	سرانه آب قابل دسترس (m^3/pr.y)	تغییر WA طی مدت مطالعاتی (٪)
زیدشت	۵۷/۰۱	۰/۱۷۷۴	۱۳۰۷	۹۵۱۷۵۱۰	۷۲۸۱/۹۵	۱۵/۸۹

جدول (۴) مقادیر امتیازات زیرشاخص کمی هیدرولوژی در حوضه‌ی آبخیز زیدشت

منطقه	فشار		وضعیت		واکنش		کمی هیدرولوژی
	حوضه	مقدار	امتیاز	مقدار	امتیاز	مقدار	امتیاز	میانگین امتیازات
طالقان	زیدشت	٪۱۵/۸۹	۱	۷۲۸۱/۹۵	۱	متوسط	۰/۵	۰/۸۳۳

جدول (۵) امتیاز زیرشاخص کیفی هیدرولوژی در حوضه‌ی آبخیز زیدشت

منطقه	فشار			وضعیت		واکنش		کیفی هیدرولوژی
	حوضه	درصد	امتیاز	مقدار	امتیاز	مقدار	امتیاز	میانگین امتیازات
طالقان	زیدشت	۱۰/۰۷	۰/۲۵	۴۴۲/۵	۱	ضعیف	۰/۲۵	۰/۵

زیرشاخص محیط زیست: نتایج این بخش در جدول (۶) ارائه شده است. در زیرحوضه زیدشت به مساحت زمین‌های زراعی افزوده شده و مساحت پوشش طبیعی حوضه یعنی مرتع تغییر آنچنانی نداشته است. با محاسبه‌ی درصد تغییر در مساحت مناطق کشاورزی در حوضه و استخراج آمار جمعیت شهری حوضه از سالنامه آماری سال ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰، شاخص فشار محیط زیستی از میانگین تغییرات این دو متغیر به دست آمد (جدول ۷). جمعیت شهر طالقان در سال ۱۳۹۰ نسبت به ۱۳۸۰ با رشد ۴/۷۱ درصدی روبه‌رو بوده است. پارامتر وضعیت موجود در این زیرشاخص اشاره به درصد پوشش طبیعی باقی‌مانده در حوضه دارد. با آگاهی به اینکه پوشش طبیعی آبخیز زیدشت مرتعی است، این مقدار با احتساب

Archive of SID

www.SID.ir

درصد مساحتی از حوضه که مرتع فراگرفته است محاسبه گردید (جدول ۶). پوشش مرتع طبیعی در زیدشت حدود ۹۱/۰۴ درصد برآورد شد.

جدول (۶) میزان تغییرات مساحت طبقات پوشش/کاربری اراضی در دوره‌ی ۱۳۹۰- ۱۳۸۰

حوضه	کاربری	مساحت سال ۱۳۸۰	مساحت سال ۱۳۹۰	تغییرات مساحت	درصد تغییرات زمین‌های کشاورزی	درصد مساحت پوشش مرتعی (۱۳۹۰)
زیدشت	کشاورزی	۲۳۱/۳۶	۴۸۸/۳۲	۲۵۶/۹۶	۴/۷۹	۹۱/۰۴
	مرتع	۱۶۷۳/۸۸	۱۴۱۶/۹۲	-۲۵۶/۹۶		

در جدول (۷) مشاهده می‌شود که EPI برای حوضه‌ی زیدشت امتیاز ۰/۶۷ به دست آمده است. پوشش طبیعی حوضه مقدار ۹۱/۰۴ از مساحت کل را به خود اختصاص می‌دهد، و همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود در صورتی که پوشش طبیعی حوضه بیش از ۴۰٪ از مساحت کل را به خود اختصاص دهد در وضعیت عالی از نظر پایداری قرار می‌گیرد (کسب امتیاز یک). مقدار صفری که در پارامتر واکنش در جدول (۹) مشاهده می‌شود بدین معنی است که تغییری در مساحت مناطق حفاظت شده در آبخیز زیدشت به وجود نیامده است، با امتیاز ۰/۶۷از میانگین امتیاز پارامترهای فشار- وضعیت- واکنش برای کل حوضه برآورد شد که از نظر پایداری متوسط می‌باشد.

جدول (۷) مقادیر و امتیازات زیرشاخص محیط زیست برای محاسبه WSI در آبخیز زیدشت

منطقه	حوضه	پارامتر	فشار	وضعیت	واکنش	محیط زیست
طالقان	زیدشت	مقدار	۴/۷۱	۹۱/۰۴	۰	۰/۶۷
		امتیاز	۰/۷۵	۱	۰/۲۵	

Archive of SID

www.SID.ir

زیرشاخص حیات

شاخص توسعه انسانی

زیـرشاخص سـلامت: امید به زنـدگی در سال ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ برای روسـتاییان حوضه‌ی زیدشت به ترتیب ۶۸/۸ و ۶۹/۸ سال بود که از گزارش نفوس و مسکن کشور استخراج گردید. مقدار شاخص پایه برای امید به زندگی با توجه به مقادیر حداقل و حداکثر در جدول ۱۲ برای سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ به ترتیب ۰/۷۲۷ و ۰/۷۴۷ محاسبه شد.

زیرشاخص آموزش: این زیرشاخص خود از دو پارامتر درصد باسوادی بزرگ‌سالان و ترکیب ثبت نام ناخالص در سطوح ابتدایی، متوسطه و عالی در مناطق و سال‌های مختلف تشکیل شده است (جدول ۸).

جدول (۸) نتایج شاخص آموزش در حوضه‌ی زیدشت

سال	باسوادی بزرگ‌سالان	نسبت ترکیبی ثبت نام ناخالص سطوح اول، دوم و سوم ابتدایی	شاخص آموزش
۱۳۸۰	۷۹/۴۶	۵۸/۶۱	۰/۷۳۸
۱۳۹۰	۸۳/۸۶	۵۰/۷	۰/۷۴۳

زیرشاخص درآمد سرانه: GNI سرانه و زیرشاخص درآمد سرانه در سال‌های مورد نظر برای کشور ایران در جدول (۹) ارائه شده است.

جدول (۹) تولید ناخالص سرانه و زیر شاخص درآمد در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰

سال	سرانه تولید ناخالص تعدیل شده (دلار)	زیرشاخص درآمد سرانه
۱۳۸۰	۸۳۰۳	۰/۷۳۸
۱۳۹۰	۸۵۵۰	۰/۷۴۳

Archive of SID

www.SID.ir

بعد از محاسبه زیرشاخص‌های HDI، مقدار شاخص توسعه‌ی انسانی برای روستاهای حوضه در سال ۸۰ و ۹۰ محاسبه گردید. نتایج محاسبه HDI به طور کامل در جدول (۱۰) نشان داده شده است.

جدول (۱۰) مقادیر شاخص توسعه‌ی انسانی و زیرشاخص‌های آن در آبخیز زیدشت

عنوان	۱۳۸۰	۱۳۹۰
امید به زندگی	۰/۷۲۷	۰/۷۴۷
آموزش	۰/۷۲۵	۰/۷۲۸
درآمد	۰/۷۳۸	۰/۷۴۳
HDI	۰/۷۳۰	۰/۷۳۹

با توجه به مقادیر به دست آمده HDI در این تحقیق منطقه‌ی مورد مطالعه از لحاظ شاخص توسعه‌ی انسانی در سال ۱۳۸۰ با رشد در رده متوسط و در سال ۱۳۹۰ نیز در رده‌ی متوسط قـرار دارد. به این ترتیب مقدار پارامترهای فشار- وضعیت- واکنش زیرشاخص حیات بر اساس جدول (۱۰) محاسبه شده و به وسیله‌ی جداول تقسیم امتیازها در پیوست، امتیاز هر قسمت مشخص گردید (جدول ۱۱). پارامتر فشار، تغییرات در زیرشاخص درآمد در دو سال مورد نظر را ارزیابی می‌کند که رشد ۰/۹ درصدی درآمد سرانه ناخالص را نشان می‌دهد. برای تعیین پارامتر وضعیت، HDI حوضه در سال ۱۳۸۰ در نظر گرفته شد. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود مقدار آن ۰/۷۳۹ به دست آمده است. پارامتر واکنش، تغییر در HDI منطقه طی سال‌های مورد نظر را نشان می‌دهد که با توجه به جدول زیر شاخص توسعه‌ی انسانی حوضه حدود ۰/۹ درصد از سال ۸۰ تا ۸۵ افزایش داشته است. همچنان که در جدول (۱۱) کاملاً مشخص است در این زیرشاخص پارامتر فشار با کسب امتیاز ۰/۷۵ بهترین امتیاز و پارامتر وضعیت و واکنش با کسب امتیاز

Archive of SID

www.SID.ir

۰/۵، کمترین امتیاز را در حوضه مورد نظر به خود اختصاص داده‌اند. در نهایت امتیاز این زیرشاخص ۰/۵۸ به دست آمد.

جدول (۱۱) مقادیر و امتیازات زیرشاخص حیات برای محاسبه‌ی WSI در آبخیز زیدشت

		فشار		وضعیت		واکنش		حیات
منطقه	زیرحوضه	مقدار	امتیاز	مقدار	امتیاز	مقدار	امتیاز	میانگین امتیازات
طالقان	زیدشت	٪۰/۹	۰/۷۵	۰/۷۳۹	۰/۵	٪۰/۹	۰/۵	۰/۵۸

زیرشاخص سیاست‌گذاری: پارامتر فشار از تغییر در زیرشاخص آموزش HDI در سال‌های مورد نظر ۰/۹ درصد به دست آمد (جدول ۱۲)، این نشان می‌دهد که تحول قابل توجهی در سطح آموزش و آگاهی مردم ساکن در روستاهای شهرستان طالقان طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ رخ داده است و بدین ترتیب امتیاز برای این پارامتر ۰/۷۵ منظور گردید. برای پارامتر وضعیت از مذاکره شفاهی با «معاونت برنامه‌ریزی و بهبود مدیریت شرکت آب منطقه‌ای استان البرز» و «اداره‌ی منابع طبیعی استان البرز» مشخص گردید که طی دوره‌ی مطالعاتی این تحقیق با توجه به کارگروه‌های تشکیل شده از ادارات و دستگاه‌های دولتی و مراکز آموزشی و دانشگاهی دست‌اندرکار برای اجرای مدیریت جامع آبخیز زیدشت، پارامتر وضعیت متوسط و از لحاظ تخصیص اعتبارات دولتی که صرف طرح‌های جامع آب شده است طی سال‌های اخیر سیر صعودی را پشت سر گذاشته و پروژه‌های زیادی یا به اتمام رسیده یا در مراحل اجرا شدن است. در نهایت امتیاز این زیرشاخص ۰/۶۷ برآورد گردید. این مقدار گویای آن است که آبخیز زیدشت پیرامون مسائل مشارکت سازمان‌ها با بهره‌برداران و با یکدیگر و گرفتن تصمیم‌های مدیریتی صحیح از پایداری بالایی برخوردار است (جدول ۱۲).

Archive of SID

www.SID.ir

جدول (۱۲) مقادیر و امتیازات زیرشاخص سیاست‌گذاری حوضه‌ی آبخیز زیدشت

منطقه	فشار		وضعیت		واکنش		سیاست‌گذاری
	زیر حوضه	مقدار	امتیاز	مقدار	امتیاز	مقدار	امتیاز	میانگین امتیازات
طالقان	زیدشت	٪۰/۴۲	۰/۷۵	متوسط	۰/۵	خوب	۰/۷۵	۰/۶۷

شاخص پایداری آبخیز به سهولت از طریق میانگین چهار زیرشاخص بررسی شده محاسبه گردید و مقدار آن برای کل آبخیز زیدشت ۰/۶۵ تعیین شد. این مقدار نشان می‌دهد که پایداری آبخیز زیدشت از سطح متوسط رو به پایینی برخوردار است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود کمترین امتیاز در بین زیرشاخص‌ها متعلق به زیرشاخص هیدرولوژی (کیفی) (۰/۵) و بیشترین امتیاز مربوط به زیرشاخص هیدرولوژی (کمی) (۰/۸۳۳) است. پارامتر وضعیت (۰/۸) و پارامتر واکنش در کل حوضه (۰/۴۵)، به ترتیب بیشترین و کمترین امتیاز در بین پارامترهای مدل PSR در بخش تلفیق را به خود اختصاص داده‌اند. زیرشاخص‌ها برای کل آبخیز زیدشت به منظور اتخاذ تصمیم‌گیری‌های مناسب برای انجام اقداماتی که منجر به سیر صعودی پایداری حوضه از متوسط به درجه بالا شود از امتیاز کم به زیاد اولویت‌دهی شدند که در جدول (۱۳) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که برای بالا بردن پایداری آبخیز زیدشت ابتدا باید به مسائل پیرامون هیدرولوژی (کیفی) و سپس به ترتیب به حیات، محیط زیست، سیاست‌گذاری و هیدرولوژی (کمی) پرداخت.

جدول (۱۳) اولویت‌دهی به زیرشاخص‌های پایداری آبخیز زیدشت بر مبنای امتیاز کم به زیاد

زیرشاخص‌ها	کل آبخیز زیدشت
هیدرولوژی (کمی)	۴
هیدرولوژی (کیفی)	۱
محیط زیست	۳
حیات	۲
سیاست‌گذاری	۳

Archive of SID

www.SID.ir

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق نشان داد که به دلیل جمعیت کم و بارندگی زیاد سرانه‌ی آب قابل دسترس به ازای هر نفر در سال امتیاز ۱ را کسب می‌کند. پارامتر واکنش در این زیرشاخص با توجه به اقداماتی از قبیل کاشت درختان مثمر بر روی شیب و اراضی زراعی مقدار متوسط در نظر گرفته شد. اجرای سیستم‌های آبیاری نوین در آینده موجب افزایش راندمان مصرف آب و افزایش سطوح آبی و بازیافت آب به چرخه‌ی تولید خواهد شد. امتیاز پارامتر فشار (۰/۲۵) در این بخش حاکی از آن است که نسبت به زمان، مقدار جامدات محلول در آب رودخانه در حال افزایش است که این روند رو به افزایش با توجه به تبدیل اراضی مرتعی به زراعت می‌تواند قابل توجیه باشد. آبخیز زیدشت از نظر فشار وارد شده از سوی ساکنان بر اراضی مرتعی و درصد پوشش طبیعی باقی مانده، در وضعیت متوسط قرار دارد. البته این بدان معنا نیست که آبخیز زیدشت از نظر تبدیل اراضی مرتعی به زراعی هیچ مشکلی ندارد. شاید به خاطر اینکه این روند به کندی در حال رخ دادن است زیاد در طی سال‌های مورد نظر ما در این تحقیق به چشم نخورده باشد. از دلایل کاهش نامحسوس مناطق مرتعی آبخیز زیدشت می‌توان به افزایش روزافزون مساحت سد که موجب تغییر کاربری مرتعی و تبدیل آن به زمین‌های زراعتی و مناطق مسکونی شده است، اشاره کرد. رابطه‌ی مستقیم سطح زندگی مردم با وضعیت پایداری و سلامت یک آبخیز کاملاً مشهود است. آنچه از امتیاز پارامتر فشار زیرشاخص سیاست‌گذاری مشخص می‌شود، این است که ساکنان روستاهای منطقه از لحاظ سطح سواد و آگاهی به پیشرفت قابل ملاحظه‌ای دست پیدا کرده‌اند. این موضوع بسیار به سود مسئله پایداری آبخیز تمام می‌شود، چرا که هر چقدر ساکنان آبخیز از سطح سواد بالاتری برخوردار باشند صلاحیت بیشتری برای دخالت در امور مدیریت آبخیز پیدا خواهند کرد و این باعث می‌شود تصمیم‌های مدیریتی بهتری از

Archive of SID

www.SID.ir

سوی مدیران و تصمیم‌گیرندگان در راستای اعمال مدیریت یکپارچه منابع آب اتخاذ شود. نـتایج این تحقیق با نتـایج تحقیقات محققان دیـگر هم‌خوانی دارد که سـطح حوضه‌های مورد مطالعه را در سطح متوسط ارزیابی کرده بودند و همچنین استفاده از روش WSI را در دیگر حوضه‌های جهان توصیه کردند. به این ترتیب ثابت شد که WSI به عنوان ابزاری سودمند، ساده و سازگار برای ارزیابی وضعیت نسبی پایداری آبخیز در طول یک دوره‌ی زمانی مشخص می‌تواند کارساز باشد و قادر به پشتیبانی از فرایندهای تصمیم‌گیری به منظور اعمال مدیریتی یکپارچه و سازگار با محیط زیست در حوضه‌های آبخیز می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

ـ اسدی نلیوان، امید (۱۳۹۱)، **تعیین معیارها و شاخص‌های پایداری حوضه‌ی آبخیز با استفاده از روش IUCN، مطالعه موردی (طالقان- زیدشت)**، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تهران، ص ۱۰۵.

ـ بدری‌پور، حسین (۱۳۹۱)، **لزوم محوریت انسان در طرح جامع آبخیزداری یا طرح جامع منابع طبیعی در حوضه‌ی آبخیز**، مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دانشگاه لرستان، ص ۹.

ـ مهری، رضا (۱۳۹۲)، **توسعه و بکارگیری شاخص پایداری آبخیز (WSI) برای آبخیز چهل‌چای، استان گلستان**، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ص ۱۳۰.

-Calizaya, A., Chaves, H., Bengtsson, L., and Berndtsson, R. (2008), **Application of the Watershed Sustainability Index (WSI) to the Lake Poopo Watershed, Bolivia**, Hydrology Journal, P. 22.

-Catano, N., Marchand, M., Staley, S., and Wang, Y. (2009), Development **and Validation of the Watershed Sustainability Index for the Watershed of the REVENTAZÓN River**, Report Prepared for the Ommission for the Preservation and Management of the Watershed of the Reventazón River, Costa Rica, PP. 4-31.

-Chaves, H., and Alipaz, S. (2007), **Integrate Basin Hydrology, Environment, Life, and Policy the Watershed Sustainability Index**, Water Resource Management, 21: PP. 883-895.

-Cortés, A.E., Oyarzún, R., Kretschmer, N., Chaves, H., Soto, G., Soto, M., Amézaga, J., Oyarzún, J., Rötting, T., Señoret, M. and Maturana, H. (2012), **Application of the Watershed Sustainability Index to the Elqui river basin, North-Central Chile**, Obras Proyectos 12, PP. 57-69.

Archive of SID

www.SID.ir

-Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), (2003), **OECD Environmental Indicators: Development, Measurement and Use**, Reference Paper, Paris, P. 50.

-The World Bank, (2003), **Water Resources Management Strategies in Brazil: Cooperation Areas with the World Bank**, JosÈLobato Costa (Ed.). Brasilia, P. 177.

-UNDP (United Nations Development Programme) (2011), **The HDI 2010: New Controversies, Old Critiques**, P. 49

-UNESCO Institute for Statistics, (2011), **School-Life Expectancy**, P. 251.

-UNESCO, 2005, **Hydrology for the Environment, Life and Policy-HELP**, Paris, P. 20.

Archive of SID

www.SID.ir