GES	Journal of Geography and Environmental Studies, 11 (42), Summer 2022 https://ges.iaun.ac.ir ISSN: 2008-7845 20.1001.1.20087845.1401.11.42.10.9

Research Article

Ecological Sustainability Assessment in the Tutli Watershed, North Khorasan Province

Amir Reza Heirany
M.Sc. Student, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
Morteza Behzadfar
PhD, Watershed Management Engineering and Sciences, Management and Planning Organization, North Khorasan, Iran
Nazila Alaei
Ph.D. Student, Watershed Management Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran
Zeinab Hazbavi (Corresponding Author)
Assistant Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Member of Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
z.hazbavi@uma.ac.ir

Abstract
Ecological sustainability assessment is a pivotal for determining the type of human interaction and dealings with nature and the ecological services received from it, which should be constantly monitored. While limited studies have been carried out in the country and so far this important issue has not been considered in practical regional and national policies and planning. In order to fill this research and management gap, the present study aims to assess the ecological sustainability of Tutli Watershed located in the north of North Khorasan Province using the conceptual framework of Hydrology, Environment, Life, and Policy (HELP) and calculate the Watershed Sustainability Index (WSI). In this assessment process, 14 variables were used, which were classified into three categories of Pressure (P), State (S), and Response (R) indices and four HELP criteria based on the their nature. Accordingly, the mean scores of P, S and R indices for Tutli Watershed were obtained 0.65, 0.85 and 0.35, respectively. Furthermore, the average scores of hydrological (H) and environmental (E) criteria were equal to 0.58 and the scores of life (L) and policy criteria (P) were equal to 0.66. The results of combining all the studied criteria and indicators showed that the total WSI score is 0.62 and indicates the level of average ecological sustainability. The results could be applied to plan, protect and identify critical areas and to direct management strategies. It is also recommended to improve the watershed sustainability level from medium to good by adopting appropriate policies and effective conservation programs.

Keywords: Assessment Indicator, Land Degradation, Sustainable Development, Watershed Sustainability.

Citation: Heirany, A.R., Behzadfar, M., Alaei, N., Hazbavi, Z., (2022) Ecological Sustainability Assessment in the Tutli Watershed, North Khorasan Province, Journal of Geography and Environmental Studies, 11 (42), 152-169. Dor: 20.1001.1.20087845.1401.11.42.10.9

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author (s), with publication rights granded to Journal of Geography and Environmental Studies. This is an open – acsses article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

20.1001.1.20087845.1401.11.42.10.9

مقاله پژوهشی

ارزیابی پایداری بوم‌شناختی در حوزه آبخیز توتلی، استان خراسان شمالی

امیررضا حیرانی
دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
مرتضی بهزادفر
دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، استان خراسان شمالی، ایران
نازیلا علائی
دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
زینب حزباوی*
استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

چکیده
ارزیابی پایداری بوم‌شناختی مبنایی برای تعیین نوع تعامل و برخورد انسان با طبیعت و خدمات بوم‌شناختی دریافتی از آن است که بایستی به‌صورت پیوسته مورد پایش قرار گیرد. در حالی‌که مطالعات محدودی در داخل کشور صورت گرفته و تاکنون در سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای و ملی به‌صورت کاربردی مورد توجه قرار نگرفته است. در همین راستا، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی پایداری بوم‌شناختی حوزه آبخیز توتلی واقع در شمال استان خراسان شمالی با استفاده از چارچوب مفهومی هیدرولوژی، محیط زیست، حیات و سیاست‌گذاری (HELP) و محاسبه شاخص پایداری آبخیز (WSI) صورت پذیرفت. در این فرآیند ارزیابی، ۱۴ متغیر مورد استفاده قرار گرفت که بر اساس ماهیت هر کدام از آن‌ها در سه دسته شاخص فشار (P)، حالت (S) و پاسخ (R) و معیارهای چهارگانه HELP دسته‌بندی شدند. بر همین اساس میانگین امتیازات شاخص‌های P، S و R برای حوزه آبخیز توتلی به ترتیب ۰/۶۵، ۰/۸۵ و ۰/۳۵به‌دست آمد. هم‌چنین، میانگین امتیازات معیارهای هیدرولوژی (H) و محیط زیست (E) برابر با ۰/۵۸ و امتیازات معیارهای حیات (L) و سیاست گذاری (P) برابر با ۰/۶۶ محاسبه شد. نتایج حاصل از تلفیق کلیه معیارها و شاخص‌های مورد مطالعه نشان داد که امتیاز کلی WSI برابر ۰/۶۲ بوده و نشان‌دهنده سطح پایداری بوم‌شناختی متوسط است. نتایج پژوهش حاضر برای برنامه‌ریزی، حفاظت و شناسایی مناطق بحرانی و هدایت راهبردها و اقدامات مدیریتی کاربرد دارند. هم‌چنین توصیه می‌شود که با اتخاذ سیاست‌گذاری‌های مناسب و برنامه‌های حفاظتی مؤثر و با قابلیت اجرا در منطقه نسبت به ارتقاء وضعیت پایداری آبخیز از متوسط به خوب اقدام شود.

کلمات کلیدی: پایداری آبخیز، توسعه پایدار، تخریب اراضی، شاخص ارزیابی.

تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۰۸/۳۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۹/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۰

نویسنده مسئول: زینب حزباوی؛ استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران،
z.hazbavi@uma.ac.ir

مقدمه

تنش بین ترویج رشد اقتصادی و به اشتراک‌گذاری عادلانه فرصت‌های ناشی از ادعاهای مربوط به استفاده از اموال به‌عنوان یک منبع خصوصی و یک کالای عمومی، تضاد مالکیت ایجاد کرده است. هم‌چنین، تنش ناشی از ادعاهای رقابتی در مورد استفاده از منابع طبیعی باعث ایجاد تضاد در منابع شده و چالش بهبود وضعیت فقر از طریق رشد اقتصادی در عین حفاظت از محیط زیست، باعث ایجاد ناسازگاری در توسعه پایدار شده است. با توجه به این عوامل می‌توان به این مفهوم دست یافت که درک پویایی این تنش‌ها در هر چارچوب ارزیابی پایداری چالش‌برانگیز است و حل این تنش‌ها و درگیری‌ها یک فرایند مداوم و پویا برای همه جوامع به‌شمار می‌رود (Huang et al., 2009; Silva et al., 2020; Roy et al., 2021).

بهره‌برداری بی‌وقفه از منابع طبیعی، استفاده از آب‌های زیرزمینی، شیوه‌های ناکارآمد آبیاری، کمبود آب شیرین یا عدم دسترسی مناسب به آب شیرین و سالم منجر به افزایش بحران‌های محیط زیستی، اقتصادی و اجتماعی شده است (Pravalie, 2021; Bagheri-Gavkosh et al., 2021؛ عبدالکریم نیسی و همکاران، ۱۴۰۰). در صورت تداوم این وضعیت پیامدهای نامطلوب گریبان‌گیر بشر شده و حتی می‌تواند منجر به گرسنگی جهانی، ناآرامی‌های داخلی و درگیری شود. به‌همین دلیل، دانشمندان جهان ضمن اعلام هشدارهای مکرر از این وضعیت نامطلوب، راه‌حل‌های امیدبخش از جمله جهت‌دهی فعالیت‌های متنوع انسانی به‌سوی استفاده پایدار از منابع طبیعی ارائه داده‌اند (احدنژاد روشتی وهمکاران، ۱۳۹۸:2021 ,.Flint 2004; Zhang et al) که لازمه آن سنجش و پایش مداوم میزان پایداری فعلی این منابع است (محمدی و دستورانی، ۱۳۹۶؛ پیروزی و همکاران، ۱۳۹۹؛ Zhang et al., 2021؛ Pan et al., 2021).

رویکردهای اولیه ارزیابی پایداری تأکیدهای متفاوتی بر برخی از نیازهای انسانی داشته‌اند که به نوبه خود منجر به تغییراتی در استفاده از انواع شاخص‌های سنجش پایداری نیز شده است. دیدگاه‌های نوین برای حل تعارضات نام‌برده به ارزیابی پایداری منابع در سطح حوزه آبخیز تأکید کرده‌اند (Silva et al., 2020). برای دست‌یابی به این امر رویکردها و کاربست‌های متنوع با الگوریتم‌های ساده تا پیچیده در شرایط بوم‌شناختی، اقتصادی و اجتماعی مختلف معرفی و مورد استفاده قرار گرفته‌اند. رویکردهای شاخص‌محور از جمله شاخص فقر آب (WPI[1]) (Lawrence et al., 2002)، شاخص پایداری آب کانادا (CWSI، Pri et al., 2007)، شاخص پایداری آبخیز (WSI؛ Alipaz and Chaves, 2007) و شاخص پایداری آب غرب جاوا (WJWSI؛ Juwana et al., 2010a,b) به‌طور گسترده‌ای در زمینه ارزیابی پایداری به کار برده شده‌اند. چنین مدل‌های شاخص‌محور مبتنی بر نظرات کارشناسی تبیین شده و در گروه‌ها و مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف دسته‌بندی و به‌کار برده می‌شوند.

پرکاربردترین رویکرد ارزیابی پایداری، شاخص پایداری آبخیز (WSI[2]) است. WSI شاخص یک‌پارچه‌ای است که تلفیقی از شرایط هیدرولوژی، محیط زیست، حیات و سیاست با نام اختصاری HELP را در خود جای داده است (Silva et al., 2020). هم‌چنین این شاخص یک‌پارچه، رویکرد جامعی را برای مدیریت حوزه آبخیز از طریق به‌کارگیری چارچوب مفهومی فشار-حالت-پاسخ (PSR[3]) فراهم می‌نماید. ساختار رویکرد PSR مبتنی بر یک رابطه علت و معلولی است که علاوه بر در نظر گرفتن شرایط فعلی حوزه آبخیز، به شاخص‌های فشار و پاسخ هم توجه می‌کند. این شاخص در سال ۱۹۹۹ توسط یونسکو (UNESCO) پیشنهاد و طراحی شد (Silva et al., 2020) و پس از آن در بیش از ۱۰۰ حوضه رودخانه در ۶۷ کشور، از جمله حوضه‌های Murrumbidgee واقع در استرالیا (Khan et al., 2004)، Verdadeiro در برزیل (Alipaz and Chaves, 2007)، Bolivia در آمریکای جنوبی (Calizaya et al., 2008)، Elqui در شیلی (Cortés et al., 2012)، Batang Merao در اندونزی (Firdaus et al., 2014)، مالزی (Elfithri et al., 2018) و Ikpa در نیجریه (Ahuchaogu et al., 2019) به‌کار برده شده است.

1. Water Poverty Index
2. Watershed Sustainability Index
3. Pressure- State- Response

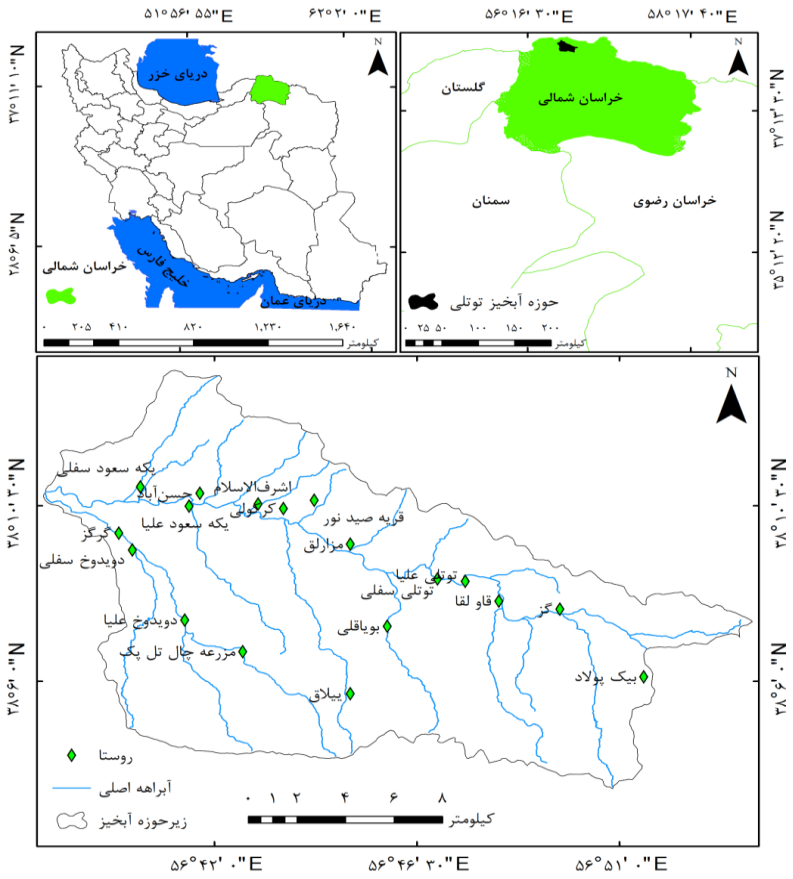
در دهه اخیر در ایران نیز کاربرد این مدل در حوزه‌های آبخیز مختلف با هدف ارزیابی سطح پایداری مورد توجه قرار گرفته است. برای مثال می‌توان به پژوهش‌های مهری و همکاران (۱۳۹۱) در حوزه آبخیز چهل‌چای (استان گلستان)، محمدی و دستورانی (۱۳۹۶) در حوزه آبخیز زیدشت (منطقه طالقان)، کاظمی و کمالی مسکونی (۱۳۹۷) در حوزه آبخیز بهشت گمشده (استان فارس)، متولی و همکاران (۱۳۹۷) در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه و خیراندیش و همکاران (۱۳۹۹) در حوزه آبخیز بختگان اشاره کرد.

با توجه به این‌که ارزیابی پایداری حوزه‌های آبخیز در ایران هنوز در مراحل ابتدایی خود قرار دارد، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی پایداری حوزه آبخیز توتلی واقع در استان خراسان شمالی انجام شد. متناسب با نتایج به‌دست آمده از مدل‌سازی پایداری، امکان برنامه‌ریزی منطقی و جامع و هم‌چنین تبیین سیاست‌های مدیریتی در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت تا بلندمدت فراهم می‌شود.

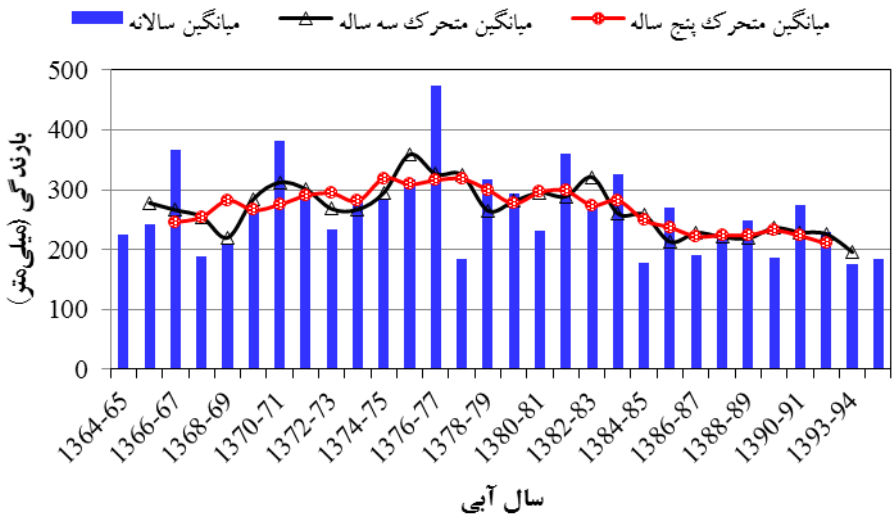
داده‌ها و روش تحقیق

توصیف حوزه آبخیز توتلی

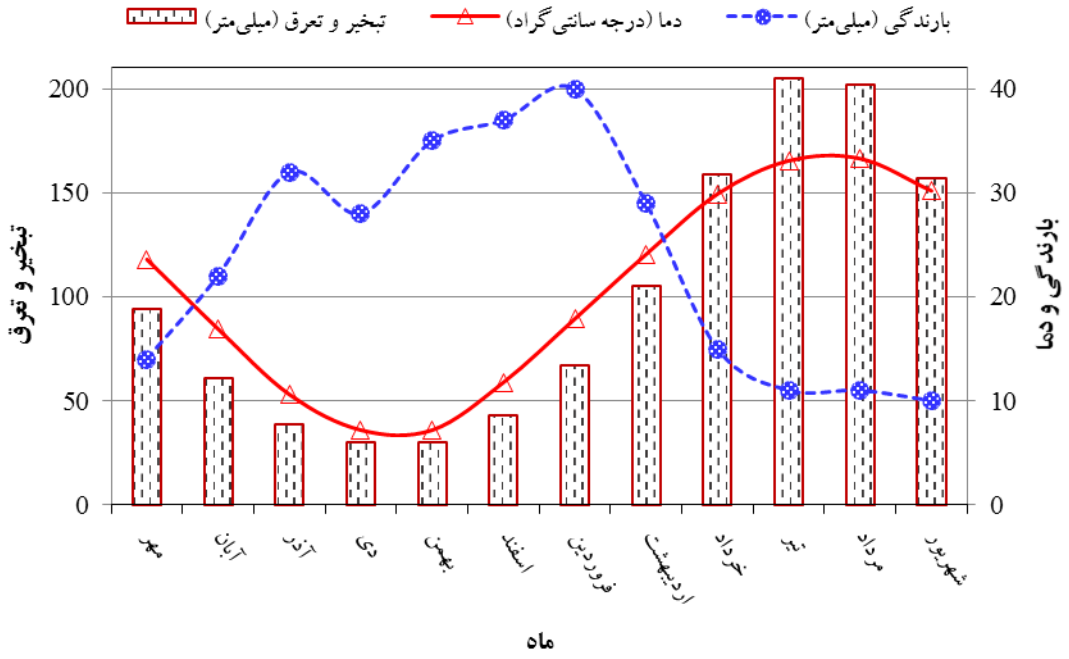
از لحاظ جغرافیای طبیعی حوزه آبخیز مطالعاتی در محدوده طول جغرافیایی ″۱۱ ′۳۸ °۵۶ تا ″۵۷ ′۵۳ °۵۶ شرقی و عرض جغرافیایی ″۱۵ ′۰۳ °۳۸ تا ″۵۸ ′۱۳ °۳۸ شمالی و در استان خراسان شمالی واقع شده است (شکل ۱). متوسط دمای سالانه ثبت شده در منطقه بین ۱۲ و ۱۴/۳ درجه سانتی‌گراد متغیر است و به‌طور متوسط ۲۷۱۳/۹ ساعت آفتابی برای هر سال گزارش شده است. الگوی توزیع بارندگی به‌صورت فصلی بوده و دارای تغییرات مکانی است. متوسط بارندگی کل حوزه آبخیز از ۲۷۰ تا ۲۹۷ میلی‌متر و حداکثر و حداقل رطوبت ماهانه به‌ترتیب برابر با ۷۹/۹ و ۳۹/۱ درصد گزارش شده است. میزان تبخیر در منطقه بالا بوده و از ۱۰۷۶ تا ۱۳۲۸ میلی‌متر متغیر است. در شکل ۲ تغییرات ویژگی‌های بارندگی ایستگاه باران‌سنجی قره‌قانلو به‌عنوان ایستگاه مبنا و در شکل ۳ تغییرات ماهانه ویژگی‌های اقلیمی حوزه آبخیز توتلی طی دوره آماری ۳۰ ساله منتهی به سال آماری ۱۳۹۳-۱۳۹۴ نشان داده شده است (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان شمالی، ۱۳۹۹).



شکل (۱): موقعیت حوزه آبخیز توتلی در استان خراسان شمالی



شکل (۲): تغییرات میانگین سالانه، متحرک سه ساله و متحرک ۵ ساله بارندگی ایستگاه قره‌قانلو (ایستگاه مبنا)



شکل (۳): تغییرات میانگین ماهانه بارندگی، دما و تبخیر و عرق حوزه آبخیز توتلی

از نظر ویژگی‌های فیزیوگرافی، مساحت، ارتفاع از سطح دریا و شیب متوسط حوزه آبخیز توتلی به‌ترتیب برابر با ۲۳۴/۶۳ کیلومترمربع، ۱۲۱۷ متر و ۱۱/۹ درصد است. محیط منطقه ۸۲/۹ کیلومتر، بیش‌ترین و کم‌ترین ارتفاع منطقه به‌ترتیب ۱۵۸۱ و ۸۵۴ متر است. هم‌چنین، منطقه دارای تراکم آبراهه ۸/۵ کیلومتر بر کیلومترمربع، درصد شیب خالص ۰/۹ و طول آبراهه اصلی ۲۹ کیلومتر است. هم‌چنین واحد ژئومورفولوژیکی تپه ماهوری با مساحت ۹۳/۴ درصد بخش اعظم منطقه را اشغال کرده و دو واحد دشت و رودخانه سایر بخش‌های حوزه آبخیز را تشکیل می‌دهند. در کل جهات جنوب غربی، جنوب، جنوب شرقی که دامنه‌های خشک به شمار می‌آیند، ۲۱/۹ درصد سطح منطقه و دامنه‌های شمالی، شمال غربی و شمال شرقی به‌عنوان دامنه‌های مرطوب، ۵۰/۸ درصد سطح منطقه

را به خود اختصاص داده‌اند. در نتیجه در این حوزه آبخیز در کل، رطوبت موجود در خاک دیرتر از دست می‌رود و شرایط مناسب‌تری را برای رشد گیاهان فراهم می‌کند (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان شمالی، ۱۳۹۹).

با توجه به این‌که حدود ۱۸ روستا در آن قرار دارد (شکل ۱)، لذا تأمین منابع طبیعی پایدار برای حفظ حیات و تداوم سلامت آبخیزنشینان و نیز سایر موجودات زنده ضروری است. از لحاظ جغرافیای انسانی، پرجمعیت‌ترین روستاها شامل یکه سعود سفلی، بک پولاد و گرگز به‌ترتیب با ۵۴۵، ۵۱۶ و ۴۶۳ خانوار بوده و کم‌ترین جمعیت در روستاهای دویدوخ سفلی، ییلاق و مزرعه چال‌تل‌پک با کم‌تر از ۴۵ خانوار گزارش شده است. ساکنان حوزه آبخیز از قوم ترکمن هستند. هم‌چنین، مسیر دسترسی به این حوزه آبخیز از شهر بجنورد به سمت آشخانه بوده و در ۳۰ کیلومتری مسیر از دوراهی شهرستان راز و جرگلان به سمت جرگلان می‌توان به آن رسید.

زراعت و باغداری شامل کشت محصولات نظیر گندم، یونجه، جو، عدس، انگور و توت نوغان و دامداری در روستاهای حوضه رونق دارد. به‌طور کلی می‌توان گفت شغل اول ساکنین حوزه آبخیز توتلی دامداری است. درآمد خالص از منابع درآمدی به تفکیک در جدول ۱ و درآمد سرانه به تفکیک خانوار و هر نفر در جدول ۲ ارائه شده است (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان شمالی، ۱۳۹۹).

جدول (۱): درآمد خالص از محل فعالیت‌های مختلف (واحد: هزار ریال)

روستاهای حوضه	دامداری	کشاورزی	خدمات	نوغانداری	صنایع دستی	کل منابع درآمدی
جمع کل	۴۸۱۹۴۹۰۵۰	۳۳۸۱۸۶۶۰۰	۲۱۱۷۴۰۰۰۰	۷۲۸۷۲۸۰۰	۷۵۹۰۰۰۰۰	۱۱۸۰۶۴۸۴۵۰
درصد	۴۰/۸	۲۸/۶	۱۷/۹	۶/۲	۶/۴	۱۰۰

جدول (۲): درآمد سرانه خانوار و نفر (واحد: هزار ریال)

روستاهای حوضه	جمعیت	خانوار	کل منابع درآمدی		
			کل	سرانه هر نفر	سرانه هر خانوار
جمع کل	۱۸۹۵۸	۴۲۷۱	۱۱۸۰۶۴۸۴۵۰	۶۲۲۷۷	۲۷۶۴۳۴

با توجه به مطالعات انجام شده بیلان آبی دشت غلامان که حوزه آبخیز توتلی در قسمت شرق آن واقع شده است، در بخش منابع آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی دشت غلامان بر اساس بیلان آب زیرزمینی در حالت تعادل بوده و مجموع حجم زهکشی و تبخیر از آبخوان آبرفتی ۰/۴۷ میلیون متر مکعب در سال ذکر شده است. بنابراین هیچ‌گونه توسعه در بهره‌برداری از آبخوان آبرفتی دشت مربوطه پیشنهاد نمی‌شود. در غیر این صورت احتمال بیلان منفی و ورود خسارت به آبخوان وجود خواهد داشت. از لحاظ پوشش گیاهی، بیش از ۷۰ درصد حوزه آبخیز توتلی از نوع پوشش مرتعی است که چهار تیپ گیاهی در آن حاکم است و به‌طور مختصر اطلاعات آن‌ها در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول (۳): خلاصه‌ای از وضعیت پوشش گیاهی غالب حوزه آبخیز توتلی

کد	نام تیپ گیاهی	نام اختصاری	مساحت		درصد تاج پوشش	درصد لاشبرگ	درصد سنگ و سنگریزه	درصد خاک لخت
			(کیلومترمربع)	درصد				
I	Artemisia siberi - Poa bulbosa - Phlomis cancellata	Ar.si -Po.bu-ph.ca	۱۶۷۲۵/۷	۹۰	۳۵	۴	۳۷	۲۴
II	Juniperus polycarpus -Artemisia siberi	Ju.po-Ar.si	۱۲۵۴/۸	۶/۸	۲۴	۱/۷	۴۷	۲۷/۳
III	Artemisia siberi - Poa bulbosa	Ar.si-Po.bu	۲۴۲/۲	۱/۲	۴۸	۵/۲	۴	۴۲/۵
IV	Niktinia leptocaclada-Stipa barbata	Ni.le-St.ba	۳۶۵/۸	۲	۸	۰/۵	۷۲	۱۹/۵

محاسبه و تحلیل شاخص پایداری آبخیز (WSI):

رویکرد استفاده از شاخص پایداری آبخیز (WSI)، یک دید فراگیر و جامعی نسبت به ارزیابی وضعیت منابع واقع در یک حوزه آبخیز را فراهم می‌کند. با توجه به این‌که مدیریت منابع آبخیز یک فرایند پویاست، لذا این رویکرد به‌عنوان تابعی از معیارهای هیدرولوژی (H)، محیط زیست (E)، حیات (L) و سیاست‌گذاری (P) تعریف شده است. هم‌چنین در فرآیند ارزیابی، از شاخص‌های فشار (P)، حالت (S) و پاسخ (R) برای محاسبه هر کدام از معیارهای HELP استفاده شد (OECD, 2003). بر همین اساس، شاخص پایداری آبخیز که به اختصار با نماد WSI نشان داده می‌شود از رابطه (۱) محاسبه شد (Chavez & Alipaz, 2006; Firdaus et al., 2014; Elfithri et al., 2018).

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

این شاخص بین صفر و یک است. به هر یک از متغیرهای مورد استفاده در سه شاخص فشار، حالت و پاسخ، امتیازاتی از صفر تا یک در قالب یک طرح ماتریسی اختصاص داده شده است. قابل ذکر است که در این رویکرد، شاخص‌ها با وزن‌های یکسان امتیازبندی شدند. WSI با امتیاز صفر تا ۰/۶، ۰/۶ تا ۰/۸ و ۰/۸ تا ۱ به‌ترتیب نشان‌دهنده پایداری کم، متوسط و زیاد است. این رویکرد از متغیرهای اساسی که به‌طور کلی برای همه حوضه‌ها قابل دسترس هستند، استفاده می‌کند که در ادامه تشریح داده شده‌اند.

- معیار هیدرولوژی (H):

در معیار هیدرولوژی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی پهنه‌های آبی حوضه هدف را ارزیابی می‌کند. در این بخش دو جنبه کمیت و کیفیت آب مورد نیاز ساکنین حوضه مورد بررسی قرار می‌گیرد (جدول ۴).

در مورد کمیت آب، متغیر مربوط به شاخص فشار مطابق معادله (۲) از درصد تغییرات موجود در دسترس بودن آب در درازمدت (۱۳۹۹-۱۳۷۷) و کوتاه‌مدت (۱۳۹۹-۱۳۹۰) محاسبه شد (Chaves and Alipaz, 2006):

$$\Delta 1 = \frac{SW_A - LW_A}{LW_A} \times 100\% \qquad (۲)$$

در این رابطه، منظور از SW_A، متوسط کوتاه‌مدت در دسترس بودن آب، LW_A، متوسط درازمدت در دسترس بودن آب، و $\Delta 1$، نسبت تغییرات در دسترس بودن آب در درازمدت به کوتاه‌مدت است.

هم‌چنین، جنبه کمیت آب در شاخص حالت با توجه به سرانه آب قابل دسترس (متر مکعب در سال) محاسبه شد. در دسترس بودن آب در هر سال برای هر نفر (WA)، هر دو نوع آب سطحی و زیرزمینی را در بر می‌گیرد با استفاده از معادله (۳) به‌دست آمد (Chaves and Alipaz, 2006؛ مهری و همکاران، ۱۳۹۱؛ محمدی و دستورانی، ۱۳۹۶؛ کاظمی و کمالی مسکونی، ۱۳۹۷؛ خیراندیش و همکاران، ۱۳۹۹).

$$WA = \frac{\text{میانگین درازمدت جریان رودخانه}}{\text{جمعیت حوضه}} \qquad (۳)$$

کمیت آب در شاخص پاسخ نیز شامل میزان بهبود در بهره‌وری استفاده از آب در حوضه طی دوره مورد مطالعه است (کاظمی و کمالی مسکونی، ۱۳۹۷؛ مهری و همکاران، ۱۳۹۱) که با بررسی وضعیت کشاورزی و درآمدهای ناشی از آن به‌دست آمد (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان شمالی، ۱۳۹۹).

جدول (۴): ویژگی‌های کلی متغیرهای مورد استفاده در تحلیل معیار هیدرولوژی (H)

شاخص	جنبه	متغیر	دامنه تغییرات	امتیاز
فشار	کمیت آب	تغییرات موجود در دسترس بودن آب	Δ1<-20% <-20% Δ1<-10% <-10% Δ1<0% <0% Δ1<+10% Δ1>+10%	۰ ۰/۲۵ ۰/۵۰ ۰/۷۵ ۱
	کیفیت آب	مقدار اسیدیته	pH<5 5.9>pH>5 6.4>pH>6 8> pH>6.5 9>pH>8.1	۰ ۰/۲۵ ۰/۵۰ ۰/۷۵ ۱
حالت	کمیت آب	سرانه آب در دسترس به ازای هر نفر	WA[1]<1700 1700<WA<3400 3400<WA<5100 5100<WA<6800 WA>6800	۰ ۰/۲۵ ۰/۵۰ ۰/۷۵ ۱
	کیفیت آب	هدایت الکتریکی	EC[2]>2250 2250>EC>1600 1600>EC>750 750>EC>600 EC<600	۰ ۰/۲۵ ۰/۵۰ ۰/۷۵ ۱
پاسخ		بهبود در سیستم دفع و انتقال فاضلاب یا نرخ متوسط سرمایه‌گذاری در تصفیه فاضلاب	خیلی ضعیف ضعیف متوسط خوب عالی	۰ ۰/۲۵ ۰/۵۰ ۰/۷۵ ۱

در مورد کیفیت آب در شاخص فشار از متغیرهای pH و کل جامدات محلول (TDS) استفاده شد. شاخص حالت نیز شامل میانگین بلندمدت EC حوضه در نظر گرفته شد. متغیر مورد نظر برای محاسبه شاخص پاسخ از جنبه کیفیت آب شامل بهبود در سیستم دفع و انتقال فاضلاب یا نرخ متوسط سرمایه‌گذاری در تصفیه فاضلاب در یک بازه زمانی پنج ساله (۱۳۹۹-۱۳۹۴) است (محمدی و دستورانی، ۱۳۹۶؛ کاظمی و کمالی مسکونی، ۱۳۹۷؛ خیراندیش و همکاران، ۱۳۹۹).

- معیار محیط زیست (E):

معیار محیط زیست بر اساس میانگین شاخص‌های فشار، حالت و پاسخ محاسبه شده به‌ترتیب از روی فشار محیطی، پوشش گیاهی و مناطق حفاظت شده در حوزه آبخیز به‌دست آمد (جدول ۵). شاخص فشار محیطی (EPI) نسخه‌ای اصلاح‌شده از شاخص فشار انسانی (API) است و با استفاده از میانگین تغییرات کشاورزی حوضه و جمعیت شهری (به درصد) مطابق با رابطه (۴) برآورد شد (Chavez & Alipaz, 2007; Fridaus et al., 2014; Elfithri et al., 2018).

$$EPI = \frac{\text{درصد تغییر در مساحت زمین‌های کشاورزی} + \text{درصد تغییرات جمعیت شهری در حوضه}}{۲} \qquad (۴)$$

1. Water Availability
2. Electrical Conductivity

EPI یک روش مؤثر برای ارزیابی تعادل بین جمعیت شهری و مناطق کشاورزی است. وظیفه متعادل‌سازی این دو متغیر، رابطه مستقیمی با حفظ سلامت محیط زیست ناشی از فعالیت‌های انسانی دارد. برای دست‌یابی به یک امتیاز خوب برای شاخص فشار در حوضه، نیازمند توسعه زمین‌های کشاورزی مازاد متناسب با جمعیت کاهش یافته است. مقادیر مثبت EPI نشان‌دهنده فشار بالاتر بر پوشش گیاهی طبیعی حوضه است (Chavez and Alipaz, 2007; Fridaus et al., 2014; Elfithri et al., 2018). شاخص حالت نیز با توجه به نوع فلور منطقه و جغرافیای گیاهی محاسبه شد. این موضوع به ذینفعان این درک را می‌دهد که چگونه محیط زیست حوزه آبخیز در طول سال‌ها تحت تأثیر قرار گرفته است. بهترین حالت برای این شاخص، یک حوضه با بیش از ۴۰ درصد پوشش گیاهی طبیعی است. شاخص پاسخ محیط زیست نیز رشد و پیشرفت در عملیات حفاظتی در حوضه شامل توسعه ذخایر جنگل ملی و پارک‌های ملی را مورد بررسی قرار می‌دهد (محمدی و دستورانی، ۱۳۹۶؛ کاظمی و کمالی مسکونی، ۱۳۹۷؛ خیراندیش و همکاران، ۱۳۹۹).

جدول (۵): ویژگی‌های کلی متغیرهای مورد استفاده در تحلیل معیار محیط زیست (E)

شاخص	متغیر	دامنه تغییرات	امتیاز
فشار	فشار محیطی	EPI>20% 20%>EPI>10% 10%>EPI>5% 5%>EPI>0% EPI<0%	۰ ۰/۲۵ ۰/۵۰ ۰/۷۵ ۱
حالت	پوشش گیاهی	AV<5 5< AV <10 10<AV<25 25<AV<40 AV>40	۰ ۰/۲۵ ۰/۵۰ ۰/۷۵ ۱
پاسخ	رشد و پیشرفت در مناطق حفاظتی	Δ<-10% <-10% Δ<0% <0% Δ<+10% +<10% Δ<+20% Δ+20%>	۰ ۰/۲۵ ۰/۵۰ ۰/۷۵ ۱

- معیار حیات (L)

معیار حیات، استاندارد زندگی و شاخص توسعه انسانی در حوزه آبخیز را ارزیابی می‌کند. برای محاسبه شاخص فشار در این معیار از درآمد سرانه خالص طی دوره مطالعاتی استفاده شد (جدول ۶). این متغیر این شناخت را به ذینفعان می‌دهد که آیا کیفیت زندگی بهبود یافته است یا خیر. مقادیر منفی این متغیر حاکی از فقیرتر شدن جمعیت ساکن در حوضه و مقادیر مثبت آن نشان‌دهنده تاثیرات بالعکس است. برای کسب حداکثر امتیاز در شاخص فشار، حوضه باید در طول دوره مورد مطالعه، رشد حداقل ۱۰ درصدی در درآمد سرانه نیاز است، زیرا رشد اقتصادی قابل توجهی را نشان می‌دهد. امتیاز شاخص حالت از طریق شاخص توسعه انسانی (HDI) در حوضه مورد مطالعه به‌دست آمد (جدول ۶). برای شاخص پاسخ نیز تغییرات HDI به درصد در حوضه طی دوره مطالعاتی مورد ارزیابی قرار گرفت. دلیل استفاده از HDI این است که در کل دنیا محاسبه شده و به راحتی با سایر حوضه‌های با کیفیت مشابه، قابل مقایسه است (مهری و همکاران، ۱۳۹۱؛ محمدی و دستورانی، ۱۳۹۶؛ کاظمی و کمالی مسکونی، ۱۳۹۷؛ خیراندیش و همکاران، ۱۳۹۹؛ Chavez and Alipaz, 2007;Fridaus et al., 2014; Elfithri et al., 2018).

جدول (۶): ویژگی‌های کلی متغیرهای مورد استفاده در تحلیل معیار حیات (L)

شاخص	متغیر	دامنه تغییرات	امتیاز
فشار	درآمد سرانه خالص	Δ <-20%	0
		-20%< Δ<-10%	0.25
		-10%< Δ<0%	0.50
		0%< Δ<+10%	0.75
		Δ>+10%	1
حالت	شاخص توسعه انسانی	HDI<0.5	0
		0.5< HDI <0.6	0.25
		0.6<HDI<0.75	0.50
		0.75<HDI<0.9	0.75
		HDI>0.9	1
پاسخ	تغییرات HDI	Δ<-10%	0
		-10%< Δ<0%	0.25
		0%<Δ<+10%	0.50
		+10%<Δ<+20%	0.75
		Δ>+20%	1

- معیار سیاست‌گذاری (P):

معیار سیاست، سطح آموزش، چارچوب‌های قانونی و مدیریت یکپارچه منابع آبخیز (IWRM) را در حوضه ارزیابی می‌کند (جدول ۷). مقدار شاخص فشار از طریق تغییر در سطح آموزش در مدت مورد مطالعه (۱۳۹۹=۱۳۹۴) برای حوضه به‌دست آمد. این متغیر نرخ باسوادی بزرگسالان و هم‌چنین نرخ ناخالص ثبت‌نام در برنامه‌های آموزش ابتدایی، متوسطه و عالی جمعیت هر بخش را در نظر می‌گیرد. این متغیر به‌دلیل تمایل مردم برای حمایت از پایداری حوزه آبخیز و فشارآوردن به مقامات دولتی و ذینفعان در این راستا استفاده می‌شود (بانک جهانی، ۲۰۰۳). شاخص حالت به‌وسیله توانایی حوضه در برقرار کردن اتحاد بین اهداف دستیابی به مدیریت یکپارچه منابع آبخیز در میان نهادها یا سازمان‌های مختلف تعیین می‌شود. اگر هیچ سیستم فعالی در حال حاضر وجود نداشته باشد، امتیاز بسیار ضعیف داده می‌شود، در حالی‌که برای سیستم‌های اجرا شده و حال حاضر امتیاز عالی اختصاص داده می‌شود (Chaves and Alipaz, 2007). شاخص پاسخ به برآورد سیر تکاملی هزینه‌هایی که صرف اعمال IWRM طی مدت مطالعاتی شده است، می پردازد. هدف IWRM تقویت تقسیم اراضی و منابع، ایجاد آگاهی اجتماعی در مورد مسائل محیط زیستی و تشویق همکاری بین نهادهاست. هرچه بودجه و مصارف اختصاص‌یافته برای مدیریت منابع آب حوزه آبخیز بیش‌تر باشد، احتمال تحقق اهداف پیشنهادی نیز بیش‌تر خواهد بود (Chaves and Alipaz 2007).

جدول (۷): ویژگی‌های کلی متغیرهای مورد استفاده در تحلیل معیار سیاست‌گذاری (P)

شاخص	متغیر	سطح	امتیاز
فشار	تغییر در سطح آموزش	Δ <-20% -20%< Δ<-10% -10%< Δ<0% 0%< Δ<+10% Δ>+10%	0 0.25 0.50 0.75 1
حالت	سیستم‌های اجرا شده	خیلی ضعیف ضعیف متوسط خوب عالی	0 0.25 0.50 0.75 1
پاسخ	میزان صرف هزینه‌ها در اجرای طرح‌های مدیریت	Δ<-10% -10%< Δ<0% 0%< Δ<+10% +10%< Δ<+20% Δ>+20%	0 0.25 0.50 0.75 1

نتایج

نتایج حاصل از ارزیابی معیار هیدرولوژی (H)

از لحاظ جنبه کمیت، حوزه آبخیز توتلی دارای میانگین بارندگی سالانه ۲۸۴ میلیمتر، تبخیر و تعرق پتانسیل ۱۱۹۲ میلی‌متر و آب معادل برف ۴۸ میلی‌متر است. میانگین آورد سالانه حوضه برابر ۲۲/۱۳ میلیون متر مکعب است. آب در دسترس برای هر نفر از تقسیم آورد سالیانه بر جمعیت حوضه محاسبه می‌شود. مقدار SW_A یا میانگین کوتاه‌مدت (۹۴-۱۳۸۰) مصرف سرانه آب در حوضه معادل ۱۴۷۶/۹۴ (متر مکعب به‌ازای هر نفر در سال) است. مقدار LW_A یا متوسط بلندمدت (۹۴-۱۳۶۱) سرانه آب در حوضه معادل ۱۲۱۳/۲۰ (متر مکعب به‌ازای هر نفر در سال) است. بنابراین طبق رابطه Δ1، تنوع در دسترس بودن آب در کوتاه‌مدت و درازمدت برابر ۲۱/۷۴ درصد محاسبه شد. در نتیجه شاخص فشار در سطح Δ1>+10% و امتیاز ۱ قرار دارد.

شاخص حالت با توجه به سرانه آب قابل دسترس (WA) محاسبه شد. آورد سالیانه حوضه (۹۴-۱۳۶۱) معادل ۶۲۶/۵۹ میلیون متر مکعب است. جمعیت حوضه طبق آمار اخذ شده از مرکز بهداشت شهرستان راز و جرگلان در سال ۱۳۹۸ در حوضه تعداد ۱۸۹۵۸ نفر جمعیت در قالب ۴۲۷۱ خانوار ساکن هستند. در نتیجه مقدار WA برابر در سطح AW>۶۸۰۰ و امتیاز ۱ قرار دارد (جدول ۸).

طبق گزارش اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان شمالی (۱۳۹۹)، حوزه آبخیز توتلی در سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۶۷ با خشکسالی و در سال‌های ۱۳۶۷ تا ۱۳۸۳ با ترسالی مواجه بوده است. مجدداً از سال ۱۳۸۳ تاکنون خشکسالی حادث شده است. هم‌چنین در منطقه مورد مطالعه، کشاورزی یکی از مهم‌ترین شغل‌های مردم ساکن منطقه بوده و منبع درآمد مردم به شمار می‌رود. زراعت و باغداری نیز در حوضه اهمیت زیادی داشته و شامل کشت محصولات همچون نظیر گندم، یونجه، جو، عدس، انگور، توت و نوغانداری است (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان شمالی،۱۳۹۹).

نتایج به‌دست آمده از مطالعات و بررسی‌های انجام گرفته در خصوص وضعیت کشاورزی و درآمدهای ناشی از آن در حوزه آبخیز توتلی (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان شمالی، ۱۳۹۹) بیان‌گر این مطلب است که کشاورزی در منطقه با مشکلاتی مانند کمبود آب و عدم استفاده از روش‌های آبیاری نوین، کمبود نهاده‌های کشاورزی و در دسترس نبودن آن‌ها، کمبود ماشین آلات کشاورزی مناسب، سنتی‌بودن روش‌های کشاورزی، سنتی‌بودن کانال‌های آبیاری، کمبود نقدینگی کشاورزان منطقه، سطح پائین سواد کشاورزان و عدم آگاهی کامل آنان از مسائل روز کشاورزی وعدم وجود محل‌های مناسب نگهداری محصولات کشاورزی مواجه است. در نتیجه به‌دلیل خشکسالی‌های اخیر در این منطقه و مشکلات و مسائل مربوط به بخش کشاورزی منطقه، بهبودی در بهره‌وری مصرف آب صورت نگرفته است و می‌توان گفت شاخص پاسخ کمیت آب حوزه آبخیز توتلی در سطح خیلی ضعیف و امتیاز صفر قرار دارد. لذا، با میانگین امتیازهای به‌دست‌آمده در شاخص‌های فشار، حالت و پاسخ، امتیاز کمیت آب حوضه ۰/۶۶ است (جدول ۸).

از لحاظ کیفیت طبق استانداردهای موجود مقدار اسیدیته یا pH برای آب شرب بین ۷ تا ۸/۵ متغیر است که نمونه آب‌های برداشت شده در این بازه قرار می‌گیرند و در محدوده مجاز قرار دارند. pH آب باران معمولی حدوداً ۶/۵ و آب مقطر ۷ است. علت افزایش pH منابع آبی حوضه نسبت به آب دریافتی (باران و برف)، وجود سازندهای ماسه‌سنگی و شیل آهکی در ارتفاعات شمالی و جنوبی حوضه و انحلال یون‌هائی نظیر کلسیم و منیزیم در آب است (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان شمالی، ۱۳۹۹). شاخص فشار کیفیت آب حوزه آبخیز توتلی به‌دلیل قرار گرفتن متغیر pH در دامنه ۸/۱ تا ۹ دارای امتیاز ۱ است (جدول ۸).

میزان هدایت الکتریکی به عناصر محلول در آب بستگی دارد. با افزایش عناصر محلول در آب میزان هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد. مقدار هدایت الکتریکی آب در چشمه قاولق کم‌ترین میزان یعنی برابر ۷۸۶ میکروموس بر سانتی‌متر و در چشمه مزارلق به‌عنوان بیش‌ترین میزان، برابر ۱۱۸۹ میکروموس بر سانتی‌متر است. میزان هدایت الکتریکی با در نظر گرفتن سنگ‌شناسی موجود که در ارتفاعات شامل ماسه‌سنگ و شیل سازند آیتامیر در مناطق تپه ماهوری از رسوبات آبرفتی کهن پوشیده شده است، از شرق به سمت غرب حوضه افزایش می‌یابد ولی به‌دلیل عدم وجود عناصر تبخیری در حوضه این میزان در حد مطلوب است. بنابراین شاخص حالت کیفیت آب حوزه آبخیز توتلی در سطح ۱۶۰۰>EC>۷۵۰ و امتیاز ۰/۵۰ است (جدول ۸).

شاخص پاسخ بهبود در سیستم دفع و انتقال فاضلاب یا نرخ متوسط سرمایه‌گذاری در تصفیه فاضلاب را نشان می‌دهد. در مورد آلاینده‌های زمین‌شناسی نتایج حاکی از کیفیت نسبتاً مناسب منابع آب در حوزه مطالعاتی است. البته در این حوضه وجود لایه های شیلی در محدوده سازند آیتامیر و نیز لایه‌های شیلی و مارنی سازندهای سرچشمه و سنگانه در حد کم بر کاهش کیفیت منابع آب مؤثر هستند. هم‌چنین این نوع سنگ‌شناسی توأم با فراوانی نهشته‌های بادرفتی و دانه‌ریز لسی، در افزایش بار معلق و گل آلودگی و ازدیاد غلظت سیلاب‌ها مؤثر هستند. با این حال سازندهای موجود در این حوزه آبخیز فاقد لایه‌های شورکننده مانند گچ و نمک هستند. لذا در مجموع می‌توان گفت واحدهای زمین‌شناسی موجود در این حوزه آبخیز دارای تاثیرات منفی چندانی بر کیفیت منابع نیستند.

در خصوص آلودگی‌های غیر زمین‌شناسی ناشی از فاضلاب‌های خانگی و دامی، چون برخی چاه‌ها و چشمه‌های موجود در این حوضه در داخل و یا پایین‌دست روستاها و مناطق مسکونی (وجود روستاهای متعدد در داخل حوضه) قرار گرفته‌اند. لذا احتمال آلودگی این چشمه از طریق فاضلاب‌های خانگی و شیرابه‌های ناشی از کود های دامی وجود دارد. هم‌چنین در برخی موارد اهالی دام خود را به‌صورت مستقیم و بدون احداث آبشخوار از مسیر مسیل‌ها مشروب می‌نمایند. از سوی دیگر احتمال آلودگی‌های ناشی از سموم دفع آفات نباتی وکودهای شیمیایی نیز در این حوزه آبخیز دور از انتظار نیست. زیرا بخشی از اراضی

آبی و دیم این حوضه به کشت غلات و حبوبات اختصاص دارد. در این حوضه اراضی دیم از وسعت زیادی برخوردار هستند. ضمن استفاده از کودهای ازته در برخی سال‌ها به‌دلیل طغیان آفات، اهالی مجبورند تا از سموم دفع آفات نباتی استفاده نمایند و این نوع سموم به‌تدریج می‌توانند موجب آلودگی منابع آب شوند. نیتروژن موجود در کودهای ازته نیز در افزایش نیترات منابع آب که یکی از مهم‌ترین انواع آلودگی‌های شیمیایی است، مؤثر خواهد بود.

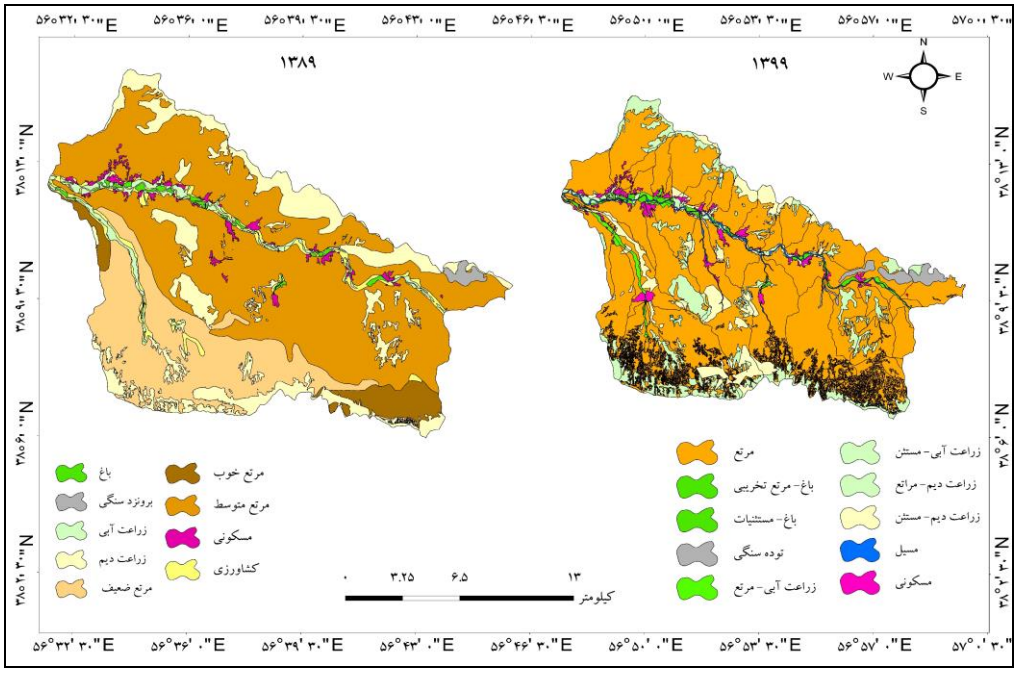
در نتیجه شاخص پاسخ در سطح خیلی ضعیف و امتیاز صفر قرار دارد (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان شمالی، ۱۳۹۹). از میانگین امتیاز شاخص‌های فشار، حالت و پاسخ (۱، ۰/۵ و صفر) می‌توان نتیجه گرفت که امتیاز کیفیت آب در حوزه آبخیز توتلی ۰/۵ است و وضعیت متوسط دارد (جدول ۸).

جدول (۸): امتیاز شاخص‌های فشار، حالت و پاسخ در دو جنبه کمیت و کیفیت آب حوزه آبخیز توتلی

شاخص / معیار	فشار	حالت	پاسخ	امتیاز کل
کمیت آب	۱	۱	۰	۰/۶۶
کیفیت آب	۱	۰/۵	۰	۰/۵۰

نتایج حاصل از ارزیابی معیار محیط زیست (E)

در خصوص شاخص فشار، درصد اراضی کشاورزی (زراعت آبی و دیم) حوزه آبخیز توتلی بر اساس نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۹۹، برابر با ۱۷/۵۹ درصد و در سال ۱۳۸۹ حدود ۱۸/۲۳ بوده است. طبق نتایج در سال ۱۳۸۹ کاربری‌های مرتع خوب، کشاورزی، مرتع ضعیف، مرتع متوسط، زراعت دیم، برونزد سنگی، مسکونی، زراعت آبی و باغ به‌ترتیب دارای مساحت‌های ۷۴۱/۵۹، ۱۷/۳۶، ۶۹۲/۸۲، ۸۰۰/۹۹، ۹۴/۳۳، ۱۴۴/۶۴، ۱۶/۱۹، ۵۰۷/۲۸ و ۱۷۹/۰۵ کیلومتر مربع بودند که در مجموع به‌ترتیب ۲۳/۵۵، ۰/۵۵، ۲۲/۰۰، ۲۵/۴۳، ۱/۵۷، ۴/۵۹، ۰/۵۱، ۱۶/۱۱ و ۵/۶۹ درصد از حوزه آبخیز را شامل می‌شود (شکل ۴).



شکل (۴): نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز توتلی در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۹

هم‌چنین در سال ۱۳۹۹، کاربری‌های اراضی باغ (مستثنیات)، اراضی باغ (مراتع تخریبی)، اراضی زراعی آبی (مستثنیات)، اراضی زراعی آبی، اراضی زراعی دیم (مستثنیات)، اراضی زراعی دیم (مراتع تخریبی)، مرتع، مرتع مشجر، اراضی رخنمون سنگی، مسیل، مسیل (مستثنیات)، مناطق مسکونی (مستثنیات) و مناطق مسکونی (مراتع تخریبی) به‌ترتیب دارای مساحت‌های ۱/۰۹، ۰/۶۸، ۲/۲۸، ۲/۷۵، ۱۱/۱۸، ۲۵/۰۳، ۱۶/۴۴، ۱۲/۵۴، ۳/۴۱، ۱/۰۱، ۰/۸۷، ۱/۴۲، ۳/۰۹ و ۲۳/۴۶ کیلومتر مربع که در مجموع به ترتیب ۰/۴۷، ۰/۲۹، ۰/۹۸، ۱/۱۷، ۴/۷۷، ۱۰/۶۷، ۷۰/۰۸، ۵/۳۵، ۱/۴۶، ۰/۴۳، ۰/۳۷، ۰/۶۱ و ۱/۳۲ درصد از حوزه آبخیز را شامل می‌شود (شکل ۲).

تغییرات میانگین منطقه کشاورزی حوضه (طی مدت ۱۰ ساله) برابر ۳/۶۴ درصد و تغییرات جمعیت شهری حوضه ۴/۰۳ درصد است. در نتیجه مقدار EPI برای محدوده مطالعاتی ۳/۸۳ درصد به‌دست آمد که بین صفر تا پنج متغیر بوده و امتیاز ۰/۷۵ را به خود اختصاص می‌دهد.

شاخص حالت محیط زیست با توجه به نوع فلور منطقه و جغرافیای گیاهی محاسبه شد. با مقایسه ویژگی‌های خانواده‌های گیاهان موجود، بارش، ارتفاع و اقلیم حوزه آبخیز مورد مطالعه، تقسیم‌بندی جغرافیایی گیاهی ایران نشان می‌دهد که حوضه مورد مطالعه در فلور استپی از فلور ایران و تورانی قرار دارد. پوشش طبیعی حوضه در سال ۱۳۹۹ با توجه به مرتعی بودن، با مساحتی حدود ۱۸۵۸۸/۷ به میزان ۷۹/۲۲ درصد حوزه آبخیز توتلی را فرا گرفته است (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان شمالی، ۱۳۹۹). بنابراین شاخص حالت امتیاز ۱ را دریافت می‌کند. برای تعیین شاخص پاسخ با توجه به این‌که حوزه آبخیز توتلی فاقد منطقه حفاظت شده است، امتیاز این شاخص صفر است. از میانگین امتیاز شاخص‌های فشار، حالت و پاسخ (۰/۷۵، ۱ و صفر) می‌توان نتیجه گرفت که امتیاز معیار محیط زیست در حوزه آبخیز توتلی ۰/۵۸ است و وضعیت متوسط دارد (جدول ۹).

نتایج حاصل از ارزیابی معیار حیات (L)

شاخص فشار از درآمد سرانه خالص از محل فعالیت‌های مختلف کشاورزی، دامداری، خدمات، نوغان‌داری و صنایع دستی محاسبه شد. درآمد خالص سرانه هر خانوار در حوزه آبخیز توتلی ۲۷۶۴۳۴ هزار ریال و سرانه هر نفر ۶۲۲۷۷ هزار ریال است. به‌علت بعد خانوار زیاد در منطقه این درآمد نهایتاً خرج معیشت و گذران امور روزانه را می‌دهد و اکثر خانواده‌ها توان توسعه فعالیت اقتصادی و پس‌انداز را ندارند. با این متوسط درآمد انتظار نمی‌رود مشارکت ساکنین فراتر رود و بتوانند در مسائل مالی مشارکت چشم‌گیری داشته باشند. بنابراین امتیاز متوسط ۰/۵ را به خود اختصاص می‌دهد (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان شمالی، ۱۳۹۹).

شاخص حالت از تحلیل وضعیت توسعه انسانی ایران در سال ۲۰۲۰ به‌دست آمد. دفتر برنامه توسعه سازمان ملل متحد (UNDP, 2020) در گزارش خود اعلام کرد ایران از نظر شاخص توسعه انسانی از بین ۱۸۹ کشور در رده ۷۰ قرار دارد. در این رتبه‌بندی از تجزیه و تحلیل روند فعلی توسعه انسانی در کشورهای مورد مطالعه و دورنمای بلندمدت استفاده شده است. براساس این گزارش، کشورها طبق شاخص توسعه انسانی، متوسط امید به زندگی بر حسب سال، سال‌های مورد انتظار تحصیل بر حسب سال، حداقل زمان تحصیل بر حسب سال و متوسط درآمد سرانه ناخالص ملی رده‌بندی شده‌اند. کشور ایران، دارای شاخص توسعه‌یافتگی ۰/۷۸ و متوسط امید به زندگی ۷۶/۷ سال است. هم‌چنین، شاخص توسعه‌یافتگی در استان خراسان شمالی (میانگین شاخص زیربنایی، درمانی، آموزشی و اقتصادی) برابر ۰/۴۷ می‌باشد (صدری‌فرد و همکاران، ۱۳۹۶)، لذا امتیاز این شاخص برابر ۰/۲۵ ارزیابی شد.

برای محاسبه شاخص پاسخ، از سیر تدریجی شاخص توسعه انسانی که در سال ۲۰۱۱ برابر ۰/۷۰ و در سال ۲۰۲۰ برابر ۰/۷۸ استفاده شد. طبق نتایج این شاخص، رشد کشور مثبت بوده (۱۱/۳ درصد و میزان تغییر ۰/۰۸) و با سطح تغییرات ۲۰٪ <Δ>۱۰٪ دارای امتیاز ۰/۷۵ است. بنابراین از میانگین امتیازها در سه شاخص فشار، حالت و پاسخ، امتیاز معیار حیات ۰/۶۶ به‌دست آمد (جدول ۹).

نتایج حاصل از ارزیابی معیار سیاست‌گذاری (P)

شاخص فشار در معیار سیاست‌گذاری از تغییر در سطح آموزش به‌دست آمد. با توجه به این‌که در روستاهای حوضه مورد مطالعه سطح امکانات آموزشی از نظر فضا و ارائه خدمات بسیار ضعیف است، به‌گونه‌ای که اکثر روستاها دارای دبیرستان مستقل نمی-باشند، هرچند در روستای یکه سعود دبیرستان شبانه‌روزی احداث شده اما اکثر روستاها فاقد دبیرستان هستند. هم‌چنین ادامه تحصیل در مقطع دبیرستان به‌ویژه دختران پایین است و علت آن علاوه بر تعصبات خاص مذهبی می‌تواند ناشی از فقر مالی، کمبود امکانات آموزشی، عدم تنوع در رشته‌های تحصیلی، فاصله زیاد تا مراکز آموزشی و عدم انطباق رشته‌های تحصیلی با نیاز خانواده‌ها باشد. بنابراین میزان امتیاز شاخص فشار برابر صفر در نظر گرفته شد (جدول ۹).

امتیاز شاخص حالت، از وضعیت مطالعات جامع منابع آب ، مدیریت جامع حوزه آبخیز و ظرفیت سازمانی حوضه مورد مطالعه نشأت می‌گیرد (Chaves & Alipaz, 2007). با توجه به بررسی‌های به عمل آمده مشخص شد در سال ۱۳۹۴ مطالعات توجیهی مدیریت جامع منابع طبیعی و آبخیزداری حوزه آبخیز، توسط شرکت مهندسین مشاور جام کشت خراسان زیر نظر دفتر مهندسی و ارزیابی طرح‌های سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری انجام شده و هم‌چنین توسط شرکت ساز آب شرق مطالعات تفصیلی و اجرایی آبخیزداری انجام گرفته است. بنابراین مقدار امتیاز این قسمت برابر با یک محاسبه شد (جدول ۹).

شاخص پاسخ این معیار از میزان صرف هزینه‌ها در اجرای طرح‌های مدیریت یکپارچه منابع آب در حوضه به‌دست آمد که با توجه به اعتبارات و بودجه‌هایی که برای طرح‌های مختلف در راستای اعمال مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز لحاظ شده، امتیاز یک در نظر گرفته شد. در نهایت امتیاز معیار سیاست‌گذاری برابر با ۰/۶۶ برآورد شد (جدول ۹).

نتایج حاصل از ارزیابی شاخص پایداری آبخیز (WSI)

بر اساس میانگین به‌دست آمده از معیارهای چهارگانه HELP و سه گانه PSR، مقدار WSI برابر با ۰/۶۲ برآورد شد (جدول ۹). هم‌چنین نتایج نشان داد شاخص فشار برای معیارهای هیدرولوژی و محیط زیست با امتیاز یک بیش‌ترین مقدار و برای معیارهای حیات و سیاست‌گذاری با امتیازات ۰/۵ و صفر کم‌ترین مقدار را دارند. شاخص حالت برای تمامی شاخص‌ها از میانگین خوبی برخوردار است، ضمن این‌که شاخص‌های محیط زیست، سیاست‌گذاری و کمیت هیدرولوژی با امتیاز یک بیش‌ترین مقدار را دارند. شاخص پاسخ در وضعیت خوبی قرار ندارد و از این بعد معیارهای هیدرولوژی و محیط زیست با امتیاز صفر کم‌ترین مقدار و معیارهای حیات و سیاست‌گذاری با امتیازات ۰/۷۵ و یک دارای بیش‌ترین مقدار هستند. میانگین امتیازات شاخص‌های فشار، حالت و پاسخ به‌ترتیب ۰/۶۵، ۰/۸۵ و ۰/۳۵به‌دست آمد (جدول ۹).

جدول (۹): امتیاز نهایی شاخص پایداری آبخیز (WSI) بر اساس چاروچوب مفهومی HELP

شاخص / معیار	فشار (P)	حالت (S)	پاسخ (R)	میانگین
هیدرولوژی (H)	۱/۰۰	۰/۷۵	۰/۰۰	۰/۵۸
محیط زیست (E)	۰/۷۵	۱	۰/۰۰	۰/۵۸
حیات (L)	۰/۵۰	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۶۶
سیاست‌گذاری (P)	۰/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۶۶
میانگین	۰/۶۵	۰/۸۵	۰/۳۵	WSI =۰/۶۲

بحث و نتیجه‌گیری

امروزه پایداری آبخیزها هم برای آبخیزنشینان و هم برای پایداری حیات در بوم‌سازگان امری ضروری به شمار می‌آید. طی سال های اخیر شاخص‌ها، متغیرها و رهیافت‌های متفاوتی برای ارزیابی پایداری متناسب با شرایط بوم‌شناختی، محیط زیستی، حاکمیتی و قابلیت دسترسی به داده‌های مورد نیاز برای ارزیابی تبیین شده‌اند. این در حالی است که به این امر مهم در داخل کشور توجه کافی نشده است. به‌همین منظور، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی شاخص پایداری آبخیز (WSI) برای تجزیه و تحلیل رفاه بوم‌شناختی و اجتماعی در حوزه آبخیز توتلی واقع در استان خراسان شمالی با ترکیب مجموعه‌ای از متغیرهای ارزیابی پایداری از لحاظ معیارهای هیدرولوژی (H)، محیط زیست (E)، حیات (L) و سیاست‌گذاری (P) انجام شد. امتیاز کلی WSI برابر ۰/۶۲ به‌دست آمد و بیان‌گر سطح پایداری متوسط است (جدول ۹). Tiner (۲۰۰۴) در ارزیابی شاخص‌های نظارت بر وضعیت عمومی زیستگاه طبیعی در حوزه آبخیز رودخانه نانتیکوک واقع در ایالت متحده امریکا از اوایل ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۲ شاخص پایداری زیستگاه برابر با ۰/۲۹ به‌دست آمد و نشان‌دهنده فشار زیاد اقدامات انسانی در منطقه مطالعاتی بود. هم‌چنین، چاوز و آلیپاز (۲۰۰۷) طی یک دوره پنج ساله مقدار WSI در جنوب برزیل حدود ۰/۶۵ برآورد نمودند که نشان‌دهنده سطح متوسط پایداری حوضه است. امتیاز هر کدام از زیرشاخص‌های هیدرولوژی، محیط زیست، حیات و سیاست‌گذاری به‌ترتیب ۰/۶۷، ۰/۵۸، ۰/۷۵ و ۰/۵۸ برآورد شد. نتایج این پژوهش نشان داد که مدیران و تصمیم‌گیرندگان در این حوضه باید بیش از پیش به مسائل حفاظت از پوشش جنگلی، پیشرفت در سیاست‌های اتخاذ شده پیرامون مدیریت منابع آب و تلاش برای کاهش آلودگی‌های ناشی از فاضلاب‌ها توجه داشته باشند.

در تحقیق Calizaya و همکاران (۲۰۰۸) به‌منظور مدیریت یکپارچه منابع آب دریاچه Poopo در حوزه آبخیز Bolivia با استفاده از روش HELP امتیاز زیرشاخص‌های کمی و کیفی هیدرولوژی، محیط زیست، حیات آبخیزنشینان و سیاست‌گذاری به‌ترتیب ۰/۴۶، ۰/۴۱، ۰/۵۵ و ۰/۴۲ به‌دست آمد. مقدار WSI نیز برای کل حوزه آبخیز از میانگین مقادیر به‌دست آمده برای ۱۸ زیرحوضه بین ۰/۳۶ تا ۰/۵۹ تحت سناریوهای مختلف محاسبه شد. نتایج این تحقیق نشان‌داد که وجود سد ذخیره آب در پایداری حوضه حائز اهمیت بوده و باعث افزایش سطح پایداری از ضعیف به متوسط خواهد شد. Fridaus و همکاران (۲۰۱۴) در ارزیابی پایداری حوزه آبخیز Batang Merao در کشور اندونزی و Elfithry و همکاران (۲۰۱۸) نیز در حوزه آبخیز Langat در کشور مالزی مقدار WSI را به‌ترتیب ۰/۵۹ و ۰/۶۸ با سطح پایداری متوسط برآورد کردند که با سطح پایداری در حوضه مورد مطالعه این پژوهش تطابق دارد.

مهری و همکاران (۱۳۹۱) در بررسی توسعه و به کارگیری شاخص پایداری آبخیز (WSI)، برای آبخیز چهل‌چای، رودخانه گرگان‌رود استان گلستان، شاخص پایداری را ۰/۶۶ برآورد کردند. نتایج نشان می‌دهد که پایداری این حوضه در سطح متوسط نزدیک به پایین قرار گرفته است. کاظمی و کمالی مسکونی (۱۳۹۷) سطح پایداری حوزه آبخیز بهشت گمشده، استان فارس را در یک دوره ۱۰ ساله بر اساس مدل HELP برابر با ۰/۶۷ به‌دست آوردند. هم‌چنین نتایج نشان‌داد که شاخص فشار با امتیاز ۰/۷۸ و شاخص واکنش با امتیاز ۰/۵۳ به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین امتیاز را برای ارزیابی پایداری حوزه آبخیز بهشت گمشده به خود اختصاص داده‌اند که حکایت از واکنش مناسب جهت کاهش فشار وارده بر اکوسیستم دارد.

نتایج پژوهش حاضر ضرورت ارتقاء وضعیت پایداری از متوسط به خوب را با اتخاذ سیاست‌گذاری‌های مناسب و برنامه‌های مدیریتی قابلیت اجرا در منطقه مورد تأکید قرار می‌دهد. میانگین جنبه کیفیت آب ۰/۵ است (جدول ۸) که نیازمند تدوین برنامه های جامع مدیریت کیفیت آب با توجه به اصول مدیریت راهبردی و گسترش همکاری‌های فراسازمانی در امر پایش کیفیت آب و اشاعه اطلاعات و تسهیل دسترسی پژوهشگران به اطلاعات کیفیت آب است. میانگین معیار محیط زیست ۰/۵۸ است (جدول ۹) که پیشنهاد می‌شود با توجه به مرتعی بودن حوضه (۷۹/۲۲ درصد مرتع)، بهره‌برداران به استفاده‌های چند منظوره از مراتع از جمله گیاهان دارویی، زنبورداری و اکوتوریسم روی آورند. ضمناً در این راستا توجه به اقتصاد اکولوژیک مرتع (حیرانی، ۱۴۰۰) توصیه می‌شود. در ارتباط با معیارهای حیات و سیاست‌گذاری، توجه به بنیادهای فقر از جمله بی‌سوادی و کم‌مهارتی، تقویت امکانات آموزشی، تاسیس دبیرستان در برخی روستاهای حوضه و حمایت‌های لازم از نیروی کار و گسترش خدمات اجتماعی از سوی دولت ضروری است.

منابع

اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان شمالی (۱۳۹۹). مطالعات تفصیلی- اجرایی آبخیزداری حوزه آبخیز توتلی شهرستان رازو جرگلان، سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور.

احدنژاد روشتی، محسن؛ عظیم‌زاده ایرانی، اشرف؛ نجفی، سعید. (۱۳۹۸). تحلیلی بر روند تغییرات کاربری اراضی و فرصت‌ها و موانع پیشرفت و رشد شهری (مطالعه موردی: شهر زابل). جغرافیا و مطالعات محیطی، ۸(۳۰)، ۷۶-۵۹.

پیروزی، الناز؛ مددی، عقیل؛ اصغری سراسکانرود، صیاد (۱۳۹۹) تحلیل و ارزیابی وضعیت پایداری مجرای رودخانه گیوی‌چای، در شمال‌غرب ایران، با تأکید بر خصوصیات زمین‌شناسی، هیدرولوژیکی و انسانی. هیدروژئومورفولوژی، ۷(۲۳)، ۱۰۷-۱۳۵.

حیرانی، امیررضا، ۱۴۰۰، اقتصاد اکولوژیک مرتع،دومین کنفرانس بین المللی و پنجمین کنفرانس ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست، اردبیل،https://civilica.com/doc/1248737

خیراندیش، حامد؛ صادقی‌پور، احمد؛ محمدی کنگرانی، حنانه. (۱۳۹۹) مقایسه دو روش HELP و سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری در ارزیابی پایداری حوزه آبخیز. مجله علمی پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان،۹(۲۸)، ۱۱۷-۱۰۳.

صدری‌فرد، افسانه؛ جلال آبادی، لیلا؛ کریمیان‌پور، فاطمه؛ و زینی، ستایش. (۱۳۹۶) تحلیل و ارزیابی سطوح توسعه‌یافتگی شهرستان‌های استان خراسان شمالی با استفاده از مدل TOPSIS. فصلنامه علمی پژوهشی جغرافیا، ۷(۲)، ۳۳۰-۳۲۱.

عبدالکریم نیسی، یحیی؛ عفیفی، محمد ابراهیم؛ موغلی، مرضیه. (۱۴۰۰). ارزیابی زیست محیطی کاربری اراضی به علت ریزگردها در سه دهه گذشته با استفاده از تکنیک سنجش از دور و مدل CA مارکوف: مطالعه موردی شهر اهواز. جغرافیا و مطالعات محیطی، ۱۰(۴)، ۶۹-۵۷.

محمدی، طاهره؛ دستورانی، محمدتقی. (۱۳۹۶) ارزیابی پایداری حوضه با استفاده از روش شاخص پایداری آبخیز. هیدروژئومورفولوژی، ۴(۱۰)، ۶۴-۴۱.

متولی، کیمیا؛ توتونچی، فرانک؛ احمدی، مهدی. (۱۳۹۷) بررسی و مقایسه شاخصهای تنش آبی فالکن مارک، WTA، WSI و WaSSI بر حوضه آبریز دریاچه ارومیه. هفتمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب ایران.

مهری، رضا؛ سعدالدین، امیر؛ اونق، مجید؛ حاج ملاحسینی، ابوالفضل. (۱۳۹۱) توسعه و به کارگیری شاخص پایداری آبخیز (WSI) برای آبخیز چهل چای، رودخانه گرگانرود استان گلستان. اولین کنفرانس ملی راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار.

Ahuchaogu I., Ewemoje T., & Isaiah P. (2019). Estimation of Watershed Sustainability Index of University of Uyo Watershed Using UNESCO-IHP Help Tool. Journal of Engineering Research and Reports, Page 1-9.

Bagheri-Gavkosh, M., Hosseini, S. M., Ataie-Ashtiani, B., Sohani, Y., Ebrahimian, H., Morovat, F., & Ashrafi, S. (2021). Land subsidence: A global challenge. Science of The Total Environment, 778, 146193.

Chaves, H.M. & Alipaz, S. (2007). An integrated indicator for basin hydrology, environment, life, and policy: the watershed sustainability index. Water Resources Management, 21: 883–895.

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

Firdaus, R., Nakagoshi, N., & Idris, A. (2014). Sustainability Assessment of Humid Tropical Watershed: A Case of Batang Merao Watershed, Indonesia. Procedia Environmental Sciences, 20, 722–731.

Elfithri, R., Mokhtar, M., Pauzi Abdullah, M., Raihan Taha, M., Ekhwan Toriman, M., Mohamad Yasin, R & Barzani Gasim, M. (2018). Watershed Sustainability Index for Langat UNESCO HELP River Basin, Malaysia. International Journal of Engineering & Technology, 7(3.14), 187.

Huang, S.L., Yeh, C.T., Budd, W. W., & Chen, L.L. (2009). A Sensitivity Model (SM) approach to analyze urban development in Taiwan based on sustainability indicators. Environmental Impact Assessment Review, 29(2), 116–125.

Juwana, I., Perera, B. J. C., & Muttil, N. (2010). A water sustainability index for West Java – Part 2: refining the conceptual framework using Delphi technique. Water Science and Technology, 62(7), 1641–1652.

Khan S. (2004). Integrating hydrology with environment, livelihood and policy issues: the Murrumbidgee model. International Journal of Water Resources Development, 20(3):415–429. 9.

OECD (2003) OECD environmental indicators: development, measurement and use. Reference paper. Paris, France, p 50

Roy, P., Roy, M.B., Pal, S. (2021). advances in water resources management for sustainable use. Springer Nature, 2021 M04 24 - 552 pages.

Prăvălie, R. (2021). Exploring the multiple land degradation pathways across the planet. Earth-Science Reviews, 220, 103689.

Silva, J. da, Fernandes, V., Limont, M., Dziedzic, M., Andreoli, C. V., & Rauen, W. B. (2020). Water sustainability assessment from the perspective of sustainable development capitals: Conceptual model and index based on literature review. Journal of Environmental Management, 254, 109750.

The World Bank (2003) Water resources management strategies in Brazil: cooperation areas with The World Bank. In: José Lobato Costa (ed) Brasilia, Brazil, p 177.

Tiner, R.W., (2004). Remotely-sensed indicators for monitoring the general condition of "natural habitat" in watersheds: an application for Delaware's Nanticoke River watershed. Ecological Indicators, 4: 227–243..

United Nations Development Programme, 2020. Web site (http:// www.undp.org.br)

Zhang, L., Godil, D. I., Bibi, M., Khan, M. K., Sarwat, S., & Anser, M. K. (2021). Caring for the environment: How human capital, natural resources, and economic growth interact with environmental degradation in Pakistan? A dynamic ARDL approach. Science of The Total Environment, 774, 145553. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.145553.

نحوه ارجاع به مقاله:

حیرانی، امیررضا؛ بهزادفر، مرتضی؛ علائی، نازیلا؛ حزباوی، زینب، (۱۴۰۱) ارزیابی پایداری بوم‌شناختی در حوزه آبخیز توتلی، استان خراسان شمالی، جغرافیا و مطالعات محیطی ۱۱ (۴۲)، ۱۶۹-۱۵۲، Dor: 20.1001.1.20087845.1401.11.42.10.9

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author (s), with publication rights granded to Journal of Geography and Environmental Studies. This is an open – acsses article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.