

ارزیابی و تحلیل وضعیت سلامت آبخیز کوزه تپراقی، استان اردبیل

زینب حزباوی^{۱*}، ناهیده پرچی^۲، نازیلا علایی^۲، لیلا بابایی^۲

۱- استادیار گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

*نویسنده مسئول مکاتبات: z.hazbavi@uma.ac.ir

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۳/۱۹

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۱۴

چکیده

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی سلامت آبخیز کوزه تپراقی واقع در استان اردبیل با استفاده از تحلیل ۲۷ معیار مرتبط با ابعاد مختلف هیدرولوژیکی، انسانی و اقلیمی انجام شد. به همین منظور، ابتدا اطلاعات پایه منطقه‌ای شامل داده‌های هیدرولوژی، فرسایش و رسوب، اقتصادی، اجتماعی و اقلیمی از گزارش‌های پیشین جمع‌آوری و تحلیل شد. سپس متناسب با ماهیت داده‌های مورد استفاده چندین بانک اطلاعاتی در محیط نرم‌افزارهای IBM SPSS Statistics 25، Excel 2016، Fragstats 4.2.1، ArcGIS 10.6 تهیه شد. در ادامه با استفاده از اصول حاکم بر مدل مفهومی فشار-حالت-پاسخ (PSR)، وضعیت و تغییرات مکانی سلامت آبخیز کوزه تپراقی در سطح ۳۶ زیرآبخیز مورد ارزیابی قرار گرفت. درجات مختلف سلامت آبخیز در پنج طبقه سالم، نسبتاً سالم، متوسط، نسبتاً ناسالم و ناسالم طبقه‌بندی شدند. بر اساس نتایج مشخص شد که از نظر کلی آبخیز دارای وضعیت متوسط از لحاظ سلامت می‌باشد. همچنین مقدار شاخص‌های فشار، حالت و پاسخ به ترتیب برابر با ۰/۴۶، ۰/۵۵ و ۰/۳۱ بوده است. میانگین شاخص ارزیابی جامع سلامت آبخیز کوزه تپراقی برابر با ۰/۴۱ به دست آمده است. حداکثر مقدار شاخص سلامت برابر ۰/۶۶ مربوط به زیرآبخیزهای ۸ و ۱۲ و حداقل مقدار این شاخص برابر ۰/۱۴ مربوط به زیرآبخیز ۲۶ می‌باشد. وضعیت سلامت در قسمت شرق و جنوب شرقی آبخیز در وضعیت نسبتاً سالم و متوسط قرار گرفته است و وضعیت بهتری از سلامت آبخیز در قسمت‌های غربی و شمالی مشاهده شد. نتایج پژوهش حاضر برای شناسایی و حفاظت از مناطق اولویت‌دار و هدایت راهبردهای مدیریتی از لحاظ منابع آب و خاک در سطح ملی و منطقه‌ای قابلیت کاربرد دارند.

کلید واژه‌ها: الگوی تغییرات؛ امنیت بوم‌شناختی؛ تخریب بوم‌سازگان؛ شاخص سلامت

مقدمه

تنگاتنگ با هم هستند، بنابراین هر گونه تصمیم‌گیری در یک بخش از اجزای آبخیز بر بخش‌های دیگر و در عملکرد نهایی آن اثر خواهد گذاشت (Mabuza, 2019). از طرفی، عوامل تخریب محیط‌زیست، احتمال کمبود و بحران منابع مورد نیاز برای رفاه انسان را افزایش داده است. همین امر، دانشمندان و سیاست‌گذاران را وادار به استفاده از رویکردهای ارزیابی آبخیز در ابعاد مختلف آن و نیز حفاظت و تخصیص منابع

توسعه اقتصادی، تجارت‌های بین‌المللی، تغییرات فرهنگی، فن‌آوری‌ها و تقاضا برای منابع مورد نیاز حیات انسانی افزایش یافته و پیش‌بینی شده است تا سال ۲۰۳۰ تقاضا برای آب، انرژی و مواد غذایی به ترتیب به میزان ۴۰، ۵۰ و ۳۵ درصد افزایش خواهد یافت (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۷). از آنجایی که منابع طبیعی موجود در یک آبخیز در ارتباط

ارزیابی سلامت آبخیز توسط آژانس محیط زیست امریکا (EPA) مؤید این مطلب برای آبخیزهای ایالات متحده امریکاست (www.epa.gov). پس از EPA تعداد بی شماری از پروژه‌ها در سایر کشورهای توسعه یافته از جمله کانادا نیز اجرایی شد. بنابراین در ایران نیز می توان با الگو گرفتن از رویکردهای موفقیت آمیز ارزیابی سلامت آبخیز نسبت به ایجاد آبخیزهای سالم اقدام کرد.

تاکنون رویکردهای مختلفی برای ارزیابی سلامت آبخیز مورد استفاده قرار گرفته است. غالب این رویکردها شاخص محور بوده و نیز به دو صورت کیفی و کمی مورد استفاده قرار گرفته اند. برای مثال، Dai و همکاران (۲۰۰۷) درجه سلامت یک آبخیز کوچک فرسایش یافته در تپه های لسی شمال Shanxi را به مدت ۲۰ سال در سه مرحله شامل شروع اصلاح، توسعه پایدار و وضعیت حال مورد بررسی قرار دادند که بدین منظور از ۱۷ معیار برای ایجاد یک ساختار سلسله مراتبی (AHP) استفاده شد. نتایج نشان داد که بوم سازگان منطقه مورد مطالعه دارای پایداری نسبی بوده و به صورت سالانه دارای یک افزایش نسبی است. هم چنین، Ding و همکاران (۲۰۰۸) با هدف ارزیابی سلامت منطقه Inner Mongolia واقع در چین کاربرد مدل فشار-حالت-پاسخ (PSR)^۳ در مقیاس آبخیز را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصل از کاربرد شکل اصلاح شده PSR در منطقه مطالعاتی نشان داد که به طور کلی فقط ۱۸ درصد از کل منطقه در وضعیت سالم قرار گرفته است. Mao و همکاران (۲۰۱۴) با هدف ارزیابی سلامت دریاچه Ulansuhai واقع در کشور چین از مدل مفهومی PSR استفاده نمودند. شاخص جامع سلامت (CHI) منعکس کننده وضعیت هشدار یا نامناسب دریاچه مورد مطالعه از نظر سلامت بود. رین و همکاران (۲۹) با استفاده از مدل PSR به ارزیابی سلامت تالاب Poyang واقع در چین پرداختند. در مجموع بوم سازگان از نظر سلامت ناسالم و بسیار تحت تاثیر

متناسب با وضعیت سلامت آبخیز کرده است. آن ها اعتقاد دارند که به وسیله ارزیابی آبخیز، درک ما از وضعیت گذشته حال و آینده سیمای سرزمین در مقابله با تهدیدهای طبیعی و یا انسانی افزایش می یابد. ارزیابی سلامت آبخیز یک فرآیند و ابزار علمی و عملی برای تعیین شرایط یک آبخیز نسبت به شرایط یا وضعیت بهینه مطرح شده است (Hazbavi, 2018). این نوع از ارزیابی مبتنی بر پایش داده هاست و برای ایجاد یا ارزیابی مجدد مدیریت زمین و یا تصمیمات قانونی و گزارش آن تصمیمات به عموم مردم، انجام می شود (Ahn and Kim, 2019). مفهوم سلامت آبخیز ریشه در علوم پزشکی دارد و برای شناسایی معیارهای بیماری زمین توسعه پیدا کرده است (Liu and Hao, 2017). این مفهوم برای اولین بار توسط راپورت و همکاران در سال ۱۹۷۹ مطرح شد (جزوای و همکاران، ۱۳۹۷). از آنجایی که تخریب منابع آبخیز پیامدهای اقتصادی و اجتماعی زیانباری در پی داشته است، طی دهه های اخیر یک گرایش عمومی نسبت به ارزیابی شرایط نسبی یا سلامت آبخیز در مقیاس های ملی و محلی دیده می شود (EPA, 2012; Rani et al., 2019).

آبخیزهای ایران به سبب برخورداری از عوامل بسیار پویای محیط زیستی، انسانی، هیدرولوژی و نیز بوم شناختی در اکثر موارد از پیچیدگی بسیار زیادی برخوردار هستند. با این وجود می توان تا حدود بسیار زیادی با استفاده از رویکردهای ارائه شده برای ارزیابی سلامت آبخیز به وضعیت آن ها پی برد و میزان درک و شناخت کارشناسان، مدیران و نیز سیاست گذاران در حوزه برنامه ریزی و مدیریت آبخیز را در سطح مناسب و به طور درست افزایش داد. با استفاده از نتایج حاصل از ارزیابی سلامت آبخیزهای کشور به جرأت می توان گفت که تخصیص بودجه، استفاده از منابع موجود، پیش بینی منابع نوین جایگزین و اولویت بندی مناطق با درجات متفاوت از سلامت در وضعیت مناسب میسر می شود. طرح های پژوهشی موفق انجام شده در زمینه

³ Pressure-State-Response

¹ Watershed Health

² Land Sickness

خوشبختانه در ایران نیز از سال ۱۳۹۵ مطالعات مرتبط با ارزیابی سلامت آبخیز مورد توجه قرار گرفت و به ادبیات علوم مرتبط با منابع طبیعی افزوده شد که در این زمینه می‌توان به مطالعات مؤمنیان و همکاران (۱۳۹۷)، ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۷)، حزباوی (۱۳۹۶)، حزباوی و همکاران (۱۳۹۷)، سعدالدین و همکاران (۱۳۹۷) و Hazbavi و همکاران (۲۰۱۸ الف تا ج و ۲۰۲۰) اشاره کرد. برای مثال، حزباوی و صادقی (۱۳۹۵) طی یک مطالعه مروری سلامت آبخیز، استفاده از مدل PSR را به‌عنوان ابزار مدیریتی مطمئن و مناسب برای بررسی مسائل حاکم بر حوزه‌های آبخیز کشور توصیه نمودند. بر همین اساس، حزباوی و همکاران (۱۳۹۷) کاربرد مدل مفهومی سلامت آبخیز مبتنی بر شاخص‌های فشار، حالت، پاسخ در حوزه آبخیز شازند واقع در استان مرکزی در چهار سال ۱۳۶۵، ۱۳۷۷، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۳ را مورد ارزیابی قرار دادند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، وضعیت آبخیز شازند بر اساس مدل PSR نسبتاً ناسالم ارزیابی شد و توزیع زمانی آن در سال‌های مختلف یکسان نبوده است. هم‌چنین، ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از اطلاعات ۱۰ پارامتر کیفیت آب در سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۹۶ به پیش‌بینی وضعیت سلامت آبخیز طالقان واقع در استان البرز پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که مدل‌سازی داده‌ها به لحاظ سرعت در پردازش داده‌ها و دقت در نتایج، قابل قبول بوده است. سعدالدین و همکاران (۱۳۹۷) یک چارچوب عملیاتی برای ارزیابی جامع وضعیت سلامت و پایداری آبخیزهای کشور معرفی نمودند. بدین ترتیب امکان مقایسه آبخیزها و تعیین اولویت آن‌ها در راستای طرح‌ریزی اقدامات مدیریتی به‌منظور بهبود وضعیت سلامت و پایداری آبخیزها ارزیابی شد. مؤمنیان و همکاران (۱۳۹۷) به ارزیابی و اولویت‌بندی زیرآبخیزهای قطورچای بر اساس درجه سلامت آبخیز واقع در شهرستان خوی استان آذربایجان غربی پرداختند. نتایج اولویت‌بندی کلیه شاخص‌ها نشان داد که وضعیت سلامت کلیه زیرآبخیزها متوسط می‌باشد.

دخالت‌های انسانی ارزیابی شد. Kim و Ahn (۲۰۱۷) در پژوهشی به ارزیابی سلامت آبخیز برای ارزیابی حفاظت و تعیین اولویت‌ها در رودخانه Han در کره جنوبی پرداختند. نتایج نشان داد که سلامت زیرآبخیزها طی دوره ۲۰۱۴-۲۰۰۵ کاهش یافته است. هم‌چنین Mallya و همکاران (۲۰۱۸) به ارزیابی اقدامات چندمنظوره از سلامت آبخیز از منظر کیفیت آب پرداختند. نتایج نشان داد که مقادیر سلامت آبخیز از لحاظ غلظت رسوب معلق و نیتروژن در حوضه رودخانه می‌سی‌سی‌پی فوقانی افزایش یافته است. در پژوهشی دیگر، Kim و Ahn (۲۰۱۹) به ارزیابی سلامت آبخیز در راستای تعیین حفاظت آبخیزهای کره جنوبی پرداختند. در نهایت ۶۷ آبخیز از کل ۲۳۷ آبخیز مورد مطالعه دارای اولویت‌های بهبود با پتانسیل‌های بالا تشخیص داده شدند. هم‌چنین، Rani و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی سلامت و پویایی بوم‌سازگان بر اساس شاخص تغییرات جهانی اقلیم پرداختند. آن‌ها بیان کردند که تغییرات غیرطبیعی در الگوی اقلیم می‌تواند سلامت بوم‌سازگان را از طریق از بین رفتن گونه‌ها، انقراض گونه‌ها، مهاجرت گونه‌ها و تغییر در الگوی رفتاری تغییر دهد. اخیراً نیز Zhang و همکاران (۲۰۲۰) به ارزیابی وضعیت سلامت چرخه آب بر اساس مدل ابری در ۱۳ شهر از محدوده Beijing-Tianjin-Hebei در چین پرداختند. در این تحقیق چهار ویژگی آب شامل اکولوژی، کیفیت، کمیت و مصرف آب مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس داده‌های آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴، میانگین توزیع درجه سلامت چرخه آب در محدوده Beijing-Tianjin-Hebei در طبقه‌های ناسالم، نسبتاً ناسالم، متوسط، نسبتاً سالم و سالم به ترتیب برابر با ۲۸، ۱۶، ۳۴، ۱۳ و نه درصد بود. هم‌چنین نتایج نشان داد که محدوده مورد بررسی به‌طور کلی در وضعیتی ناسالم قرار داشته که در آن ویژگی کمیت آب بدترین وضعیت و ویژگی استفاده از آب بهترین وضعیت را به‌خود اختصاص داده‌اند.

¹ Cloud Model

بر فرسایش در کل دوره مورد مطالعه بوده است. به طوری که در دوره‌های ۱۳۶۵-۱۳۷۷، ۱۳۶۵-۱۳۸۷ و ۱۳۸۷-۱۳۹۳، سلامت آبخیز به ترتیب به میزان ۲۳، ۱۳ و شش درصد کاهش یافته است. در عین حال، سلامت آبخیز در دوره‌های مطالعاتی ۱۳۷۷-۱۳۸۷، ۱۳۸۷-۱۳۹۳ و ۱۳۷۷-۱۳۹۳ به ترتیب به میزان ۱۳، هشت و ۲۲ درصد بهبود یافته است. به طور کلی، Hazbavi و همکاران (۲۰۲۰) بر اساس یک مطالعه مروری و نیز مطالعه موردی در حوزه آبخیز شازند واقع در استان مرکزی، استفاده از مدل مفهومی PSR را در زمینه ارزیابی سلامت آبخیزهای ایران به عنوان رویکردی مناسب و قابل توسعه پیشنهاد دادند. زیرا این مدل می‌تواند ارزیابی سلامت آبخیز را بر اساس مهم‌ترین شاخص‌های بوم‌شناختی انجام دهد و نتایج آن توسط مدیران، برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران حوزه منابع طبیعی به عنوان ابزار مدیریتی مطمئن و مناسب برای بررسی مسائل حاکم بر آبخیزهای کشور قابل درک می‌باشد. بر همین اساس، پژوهش حاضر با هدف کاربرد مدل PSR برای ارزیابی و تحلیل تغییرات مکانی سلامت آبخیز کوزه‌تپراقی واقع در استان اردبیل برنامه‌ریزی شد. استان اردبیل به سبب داشتن شرایط آب و هوای مناسب و جاذبه‌های گردشگری متنوع مورد توجه دخالت‌های انسانی و در برخی مواقع مخرب سلامت منابع طبیعی قرار دارد. به همین دلیل، در صورت عدم تحلیل وضعیت کنونی آبخیزهای استان از لحاظ وضعیت سلامت بوم‌شناختی آن‌ها نسبت به این‌گونه دخالت‌ها، عواقب و پیامدهای جبران‌ناپذیری متوجه سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران کلان مملکتی و سپس سلامت جان و مردم آبخیزنشینان خواهد شد. بنابراین این امر، توسعه و استفاده از ابزار مدیریتی منابع آب و خاک با هدف حفظ سلامت آن‌ها را توجیه و مورد تاکید قرار می‌دهد.

مواد و روش‌ها

در پژوهشی تغییرپذیری شاخص سلامت آبخیز بر اساس مدل مفهومی پایایی-تاب‌آوری-آسیب‌پذیری (RRV) در سه حوزه آبخیز Xarrama, Foyle و شازند به ترتیب واقع در ایرلند شمالی (معتدل مرطوب)، پرتغال (مدیترانه‌ای) و ایران (خشک و نیمه‌خشک) طی دوره زمانی ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۲ توسط Hazbavi و همکاران (۲۰۱۸ الف و ب) مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعات معیارهای متفاوتی از جمله SPI، دبی مشخصه کم‌آبی و پرآبی، غلظت رسوب، نیتروژن و فسفر برای ارزیابی سلامت آبخیز به کار برده شد. نتایج رفتار متفاوت آبخیزهای مطالعاتی از لحاظ معیارهای مورد بررسی و نیز شاخص‌های ارزیابی ریسک سلامت آبخیز را مورد تأیید قرار داد. هم‌چنین مشخص شد که مقدار شاخص جامع سلامت (CHI) در سه آبخیز Xarrama, Foyle و شازند به ترتیب در وضعیت متوسط، متوسط و نسبتاً ناسالم قرار گرفت. سپس این پژوهش‌گران راه‌حل‌های مدیریتی متناسب با اهداف توسعه پایدار ملل متحد (SDGs)^۱ برای تبیین مشکلات موجود در هر آبخیز ارائه دادند. در ادامه، جزوای و همکاران (۲۰۱۸ ج) به ارزیابی سلامت آبخیز مبتنی بر پوشش گیاهی با استفاده از اطلاعات استخراج شده از شاخص NDVI پرداختند. نقشه‌های NDVI با استفاده از تحلیل تصاویر ماهواره‌ای Landsat OLI 8 که دارای مسیر عبوری ۱۶۵ و ردیف‌های ۳۶ و ۳۷ هستند، تهیه شدند. نتایج ایشان نشان داد که حوزه آبخیز شازند واقع در استان مرکزی با داشتن شاخص سلامت ۰/۳۴ از لحاظ پتانسیل پوشش گیاهی دارای وضعیت نسبتاً ناسالم است. هم‌چنین، جزوای و همکاران (۲۰۱۹) پویایی سلامت آبخیز صنعتی شازند را بر اساس معیار فرسایش خاک با استفاده از مدل RRV برای چهار سال ۱۳۶۵، ۱۳۷۷، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۳ ارزیابی نمودند. برای این منظور، فرسایش خاک در سال‌های مطالعاتی در ۲۴ زیرآبخیز در مقیاس ماهانه و با استفاده از معادله اصلاح شده جهانی هدررفت خاک (RUSLE) برآورد شد. نتایج حاکی از عدم وجود روند مشخص از شاخص سلامت آبخیز مبتنی

^۱ United Nations Sustainable Development Goals (SDGs)

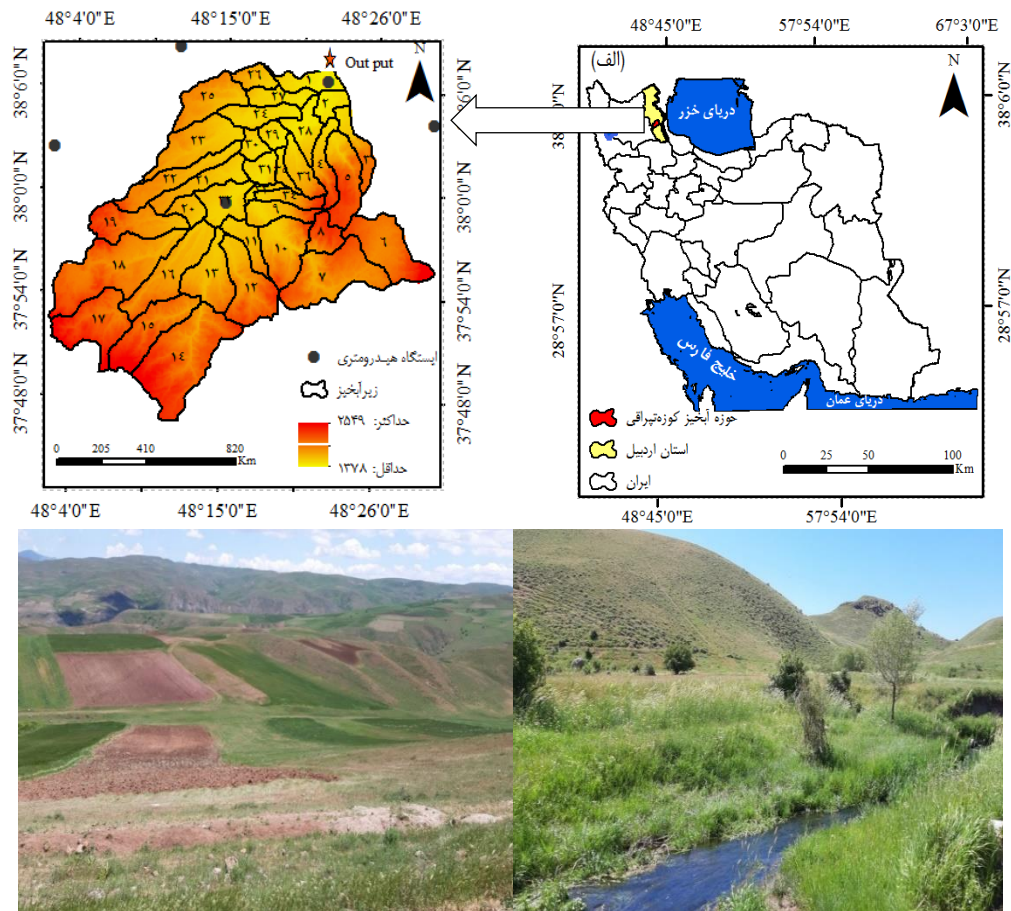
منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، آبخیز کوزه‌تپراقی واقع در استان اردبیل است. آبخیز کوزه‌تپراقی دارای مساحت ۸۰۵/۷۰ کیلومترمربع و محیط ۱۴۸/۹۸ کیلومتر می‌باشد که در قسمت جنوبی اردبیل و قسمت شمالی شهرستان کوثر واقع شده است و بخش زیادی از شهرستان نیر را در برمی‌گیرد (شکل ۱). ضریب فشردگی برای آبخیز کوزه‌تپراقی ۱/۴۷ می‌باشد که نشان‌دهنده کشیده بودن آبخیز است. مناطق مسکونی آبخیز کوزه‌تپراقی را ۶۵ روستا از جمله قلعه‌جوق، خان‌قشلاقی، جعفرلو و مولان شامل می‌شوند. پایین‌ترین و بالاترین ارتفاع آبخیز به ترتیب برابر با ۱۳۷۸ و ۲۵۴۹ متر نسبت به سطح دریاست. هم‌چنین به ترتیب مجموع طول آبراهه و شیب متوسط آبخیز

کوزه‌تپراقی برابر با ۱۰۵۴/۱۱ کیلومتر و ۱۴/۵۹ درصد برآورد شد (علایی و همکاران، ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹).

مدل فشار- حالت - پاسخ (PSR)

مدل PSR یک مدل مفهومی و شامل سامانه ارتباطی بین سه شاخص فشار، حالت و پاسخ است و به صورت عمده به عنوان ابزاری برای مدل‌سازی سامانه‌های انسانی و طبیعی به کار می‌رود که در واقع از ارتباطات علت و معلولی و به منظور ارتباط دادن عامل‌های محیطی، اقتصادی و اجتماعی استفاده می‌کند (Hazbavi et al., 2020). در این پژوهش، برای ارزیابی سلامت آبخیز کوزه‌تپراقی از مدل فشار-حالت-پاسخ (PSR) به سبب تطابق مفهومی آن با سازوکار آبخیز و منابع طبیعی، سهولت کاربرد و موجودیت



شکل ۱. موقعیت مکانی (بالا) و نمایی از (پایین) آبخیز کوزه‌تپراقی

شده در این حوزه آبخیز (علیجانپور شلمانی و واعظی، ۱۳۹۶) به عنوان حد آستانه منجر به سیلاب انتخاب شد. در نهایت شیب اراضی مشارکت کننده در تولید رواناب به ازای هر زیرآبخیز به دست آمد. در ادامه از طریق نقشه آبراهه مجموع طول آبراهه برای هر زیرآبخیز محاسبه شد. معیار ارتفاع رواناب سالانه از طریق فرمول Vermuelle طبق رابطه (۱) نیز مورد محاسبه قرار گرفت (روشنی و همکاران، ۱۳۹۴).

$$R=0.8P-4.19 \quad (1)$$

در این رابطه، R و P به ترتیب، میانگین رواناب سالانه برحسب سانتی متر و میانگین بارش سالانه برحسب میلی متر می باشد.

در پژوهش حاضر، تراکم جمعیت برای هر زیرآبخیز از تقسیم جمعیت به مساحت به دست آمد. برای معیار تراکم جاده در هر زیرآبخیز، طول کل جاده با استفاده از ابزار محاسباتی ArcMap 10.6 تعیین شد و از تقسیم طول کل جاده به مساحت زیرآبخیز، محاسبه شد. در ادامه، معیار میزان دخالت های انسانی از روی میزان وسعت اراضی غیرطبیعی به دست آمد. به طوری که از نقشه کاربری اراضی آبخیز کوزه تپراقی کاربری طبیعی حذف شدند و نقشه کاربری دخالت انسانی که شامل کاربری کشاورزی و مسکونی است، به دست آمد و از تقسیم آن به مساحت کل به ازای هر زیرآبخیز، معیار دخالت های انسانی برآورد شد. معیار شاخص منطقه حساس محیطی (ESAI) یکی دیگر از شاخص هایی است که نماینده مناسبی از نقش عوامل انسانی بر سلامت آبخیز می باشد. ارزیابی حساسیت منطقه به تخریب بر اساس معیار ESAI در چارچوب شکل اصلی آن و با تهیه سه گروه عوامل اقلیمی، خاکی و انسانی و مدیریتی انجام شد (Hazbavi et al., 2020). در گروه عوامل اقلیمی میانگین بارندگی سالانه، شاخص خشکی، در گروه عوامل خاکی متغیرهای حساسیت شدت فرسایش (EPM) و شیب و در گروه انسانی، عامل تراکم جمعیت در

اطلاعات، استفاده شده است. منظور از شاخص فشار برای ارزیابی سلامت آبخیز شامل نیروهای محرکه مستقیم و غیرمستقیم ناشی از فعالیت های انسانی و طبیعی است که باعث تغییرات محیطی می شوند. در حالی که شاخص حالت وضعیت و حالت فیزیکی، شیمیایی و زیستی محیط طبیعی به علاوه وضعیت سلامت و رفاه انسان و در نهایت هر گونه پاسخ یا تغییر در اثر اعمال فشارهای وارده را نشان می دهد. منظور از شاخص پاسخ در مدل PSR نیز پاسخ یا عکس العملی است که یک آبخیز نسبت به نیروهای محرکه و طبعاً وضعیتی که آبخیز به خود اختصاص می دهد، نشان می دهد. در این مطالعه به منظور تفکیک میزان اثر معیارهای مختلف و امکان مدیریت مناسب و کمک به تصمیم گیرندگان، معیارهای ارزیابی هر شاخص اصلی مدل مفهومی PSR به سه دسته عامل های اقلیمی، هیدرولوژی و انسانی طبق مندرجات شکل ۲ طبقه بندی شدند (جزبای و همکاران، ۱۳۹۷).

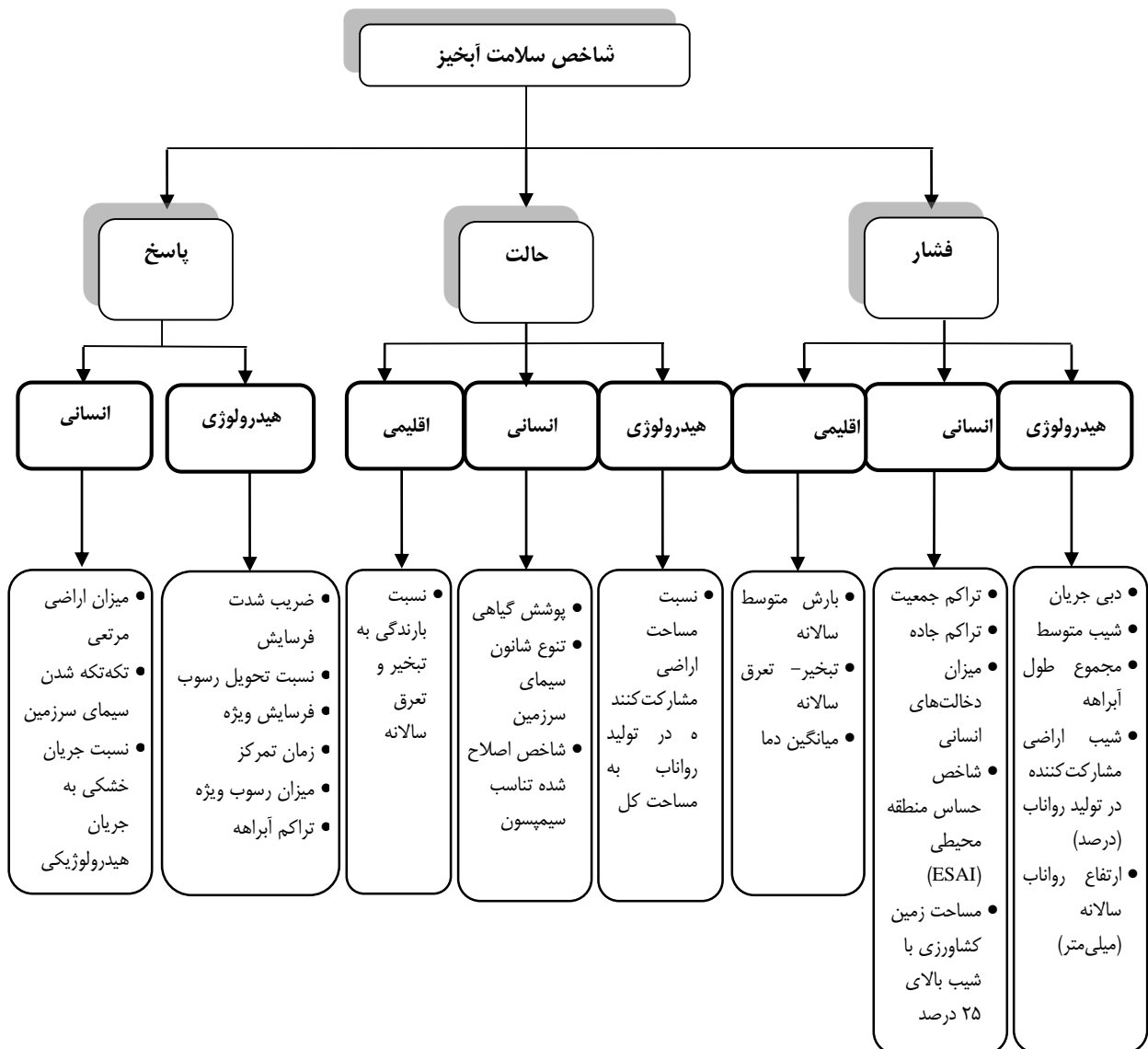
شاخص فشار

به طور کلی برای محاسبه شاخص فشار از ۱۳ معیار مختلف به شرح ارائه شده در شکل ۲ استفاده شد. برای محاسبه اولین معیار از عوامل هیدرولوژی، ابتدا میانگین دبی سالانه برای دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۶۲-۹۲) برای آبخیز کوزه تپراقی از شرکت آب منطقه ای اردبیل (<http://www.arrw.ir/>) دریافت شد و در ادامه مقادیر دبی جریان برای هر زیرآبخیز از طریق روش نسبت مساحت مورد محاسبه قرار گرفت (مهدوی، ۱۳۹۲). سپس با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM)، نقشه شیب آبخیز کوزه تپراقی تهیه شد. هم چنین شیب اراضی مشارکت کننده در تولید رواناب از طریق تلفیق نقشه های رواناب و شیب در محیط ArcGIS 10.6 برای هر زیرآبخیز کوزه تپراقی مورد محاسبه قرار گرفت. برای این امر، ضریب رواناب بالای ۷۰ درصد بر اساس ویژگی های منطقه مورد مطالعه از جمله توپوگرافی و پوشش گیاهی و دبی جریان ثبت

کوزه‌تپراقی با استفاده از مقادیر میانگین بارندگی ایستگاه‌های موجود، منحنی‌های هم‌باران استخراج و با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM) نقشه بارندگی تهیه شد و در ادامه برای هر زیرآبخیز مورد مطالعه مقادیر متوسط سالانه بارندگی برآورد شد. برای محاسبه تبخیر و تعرق در آبخیز مورد مطالعه، از داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی، تبخیرسنجی و سینوپتیک واقع در داخل و مجاور آبخیز (شکل ۱) و معادله تورنویت (مهدوی، ۱۳۹۲) استفاده شد.

نظر گرفته شد و با استفاده از میانگین هندسی محاسبه شد (Hazbavi et al., 2020). در نهایت، برای تعیین معیار مساحت زمین کشاورزی با شیب بالای ۲۵ درصد، از تلفیق شبکه‌ای دو نقشه شیب و کاربری کشاورزی و ابزارهای محاسباتی ArcGIS 10.6 استفاده شد.

داده‌های اقلیمی شامل بارندگی متوسط سالانه، تبخیر و تعرق سالانه و میانگین دما از شرکت آب منطقه‌ای اردبیل (<http://www.arrw.ir/>) برای دوره آماری ۳۰ سال (۹۲-۱۳۶۲) با استفاده از آمار موجود در آبخیز مورد مطالعه و تهیه نقشه‌های مورد نیاز محاسبه شد. برای آبخیز



شکل ۲. معیارها، عامل‌ها و شاخص‌های ارزیابی سلامت آبخیز کوزه‌تپراقی

شاخص حالت

سرزمین در نظر گرفته شد. معیار میزان اراضی مرتعی از روی نقشه کاربری اراضی تهیه و مساحت آن برای هر زیرآبخیز برآورد شد. در ادامه شاخص تکه-تکه‌شدگی از طریق نرم‌افزار FRAGESTATS از روی نقشه کل کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه برای هر زیرآبخیز کوزه‌تپراقی برآورد شد.

تحلیل و پهنه‌بندی درجه سلامت

با محاسبه معیارهای منتخب ارزیابی سلامت آبخیزهای مورد مطالعه، به دلیل تفاوت در ماهیت داده‌ها و نیز اختلاف موجود در واحدهای معیارها، استانداردسازی انجام شد. برای استانداردسازی معیارهای دارای مفهوم و اثر مثبت و منفی بر سلامت آبخیز به ترتیب از رابطه‌های (۲) و (۳) استفاده شد (Hazbavi et al., 2020).

$$X_s = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (2)$$

$$X_s = \frac{X_{\max} - X_i}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (3)$$

در رابطه‌های مذکور، X_i ، X_s و X_{\min} و X_{\max} به ترتیب بیان‌گر مقدارهای استاندارد شده، واقعی، حداقل و حداکثر معیار مورد نظر می‌باشد. سپس از میانگین هندسی به دلیل حساسیت بیش‌تر نسبت به سایر میانگین‌ها برای محاسبه معیار متوسط هر شاخص استفاده شد (Loucks, 1997; Wiegand et al., 2013). در ادامه از طریق رگرسیون، میزان هم‌خطی و خودهمبستگی معیارها و شاخص‌های ارزیابی سلامت با استفاده از آماره‌های Durbin Watson (محدوده بین ۱/۵ تا ۲/۵) و عامل تورم واریانس (VIF؛ کم‌تر از ۱۰) مورد بررسی قرار گرفتند (Hazbavi et al., 2018 a-c and 2020). سپس با محاسبه میانگین هندسی معیارهای مربوط به هر شاخص، شاخص‌های فشار، حالت و پاسخ برای هر یک از زیرآبخیزها محاسبه و در نهایت با میانگین هندسی این شاخص‌ها، مقدار خروجی مدل PSR برای هر زیرآبخیز به عنوان درجه سلامت آن زیرآبخیز تعیین شد. درجات مختلف سلامت آبخیز نیز در پنج طبقه سالم (۱/۰-۰/۸۱)،

برای محاسبه بخش هیدرولوژیکی در شاخص حالت، فقط معیار مربوط به نسبت مساحت اراضی مشارکت‌کننده در تولید رواناب به مساحت کل در نظر گرفته شد که با استفاده از نقشه ضریب رواناب به دست آمد. همان‌گونه که در بخش‌های قبلی توضیح داده شد، اراضی دارای ضریب رواناب با حد آستانه ۷۰ درصد برای منطقه مورد مطالعه با توجه به موقعیت جغرافیایی و کاربری اراضی به عنوان اراضی مشارکت‌کننده در تولید رواناب در نظر گرفته شدند. در ادامه، از تقسیم مساحت اراضی مشارکت‌کننده در تولید رواناب به مساحت کل برای هر زیرآبخیز این معیار برآورد شد. در بخش مربوط به عوامل انسانی، برای محاسبه NDVI، ابتدا تصاویر Landsat برای تاریخ اول ژوئیه ۲۰۱۸ دریافت شد و در نرم‌افزار TerrSet پس از تبدیل باندهای ۴ و ۵ به فرمت ادریسی، نقشه NDVI تهیه شد. هم‌چنین با توجه به نقشه کاربری اراضی تهیه شده برای آبخیز کوزه‌تپراقی (علائی و همکاران، ۱۳۹۹) شاخص تنوع شانون سیمای سرزمین و شاخص اصلاح شده تناسب سیمپسون از طریق نرم‌افزار FRAGESTATS برای هر زیرآبخیز برآورد شدند. در نهایت، معیار نسبت بارندگی به تبخیر و تعرق سالانه از تقسیم مقادیر بارندگی بر تبخیر و تعرق سالانه برای هر زیرآبخیز مورد مطالعه محاسبه شد.

شاخص پاسخ

برای محاسبه ضریب شدت فرسایش، فرسایش ویژه و رسوب ویژه از روش EPM استفاده شد (اسمعی‌عوری و عبداللهی، ۱۳۹۰؛ علائی و همکاران، ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹). علاوه بر این، تراکم زهکشی نیز از تقسیم طول کل آبراهه بر مساحت حوزه آبخیز محاسبه شد. علاوه بر این، نسبت جریان خشکی پایه به جریان هیدرولوژیکی از تقسیم دبی با دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۱۰ در زیرآبخیزهای مورد مطالعه در آبخیز کوزه‌تپراقی از طریق نرم‌افزار EasyFit 5.5 محاسبه شد. برای بخش مربوط به عوامل انسانی، دو معیار مربوط به میزان اراضی مرتعی و شاخص تکه‌تکه‌شدگی سیمای

کوزه‌تپراقی با میانگین $0/01$ کیلومتر بر کیلومتر مربع تقریباً مشابه به دست آمد. با این حال حداکثر و حداقل تراکم جاده به ترتیب در زیرآبخیز 35 ($0/20$ کیلومتر در کیلومتر مربع) و زیرآبخیز 17 ($0/01$ کیلومتر در کیلومتر مربع) می‌باشد. هرچه تراکم جاده بیش‌تر باشد، فشار بوم‌سازگان بیش‌تر خواهد بود.

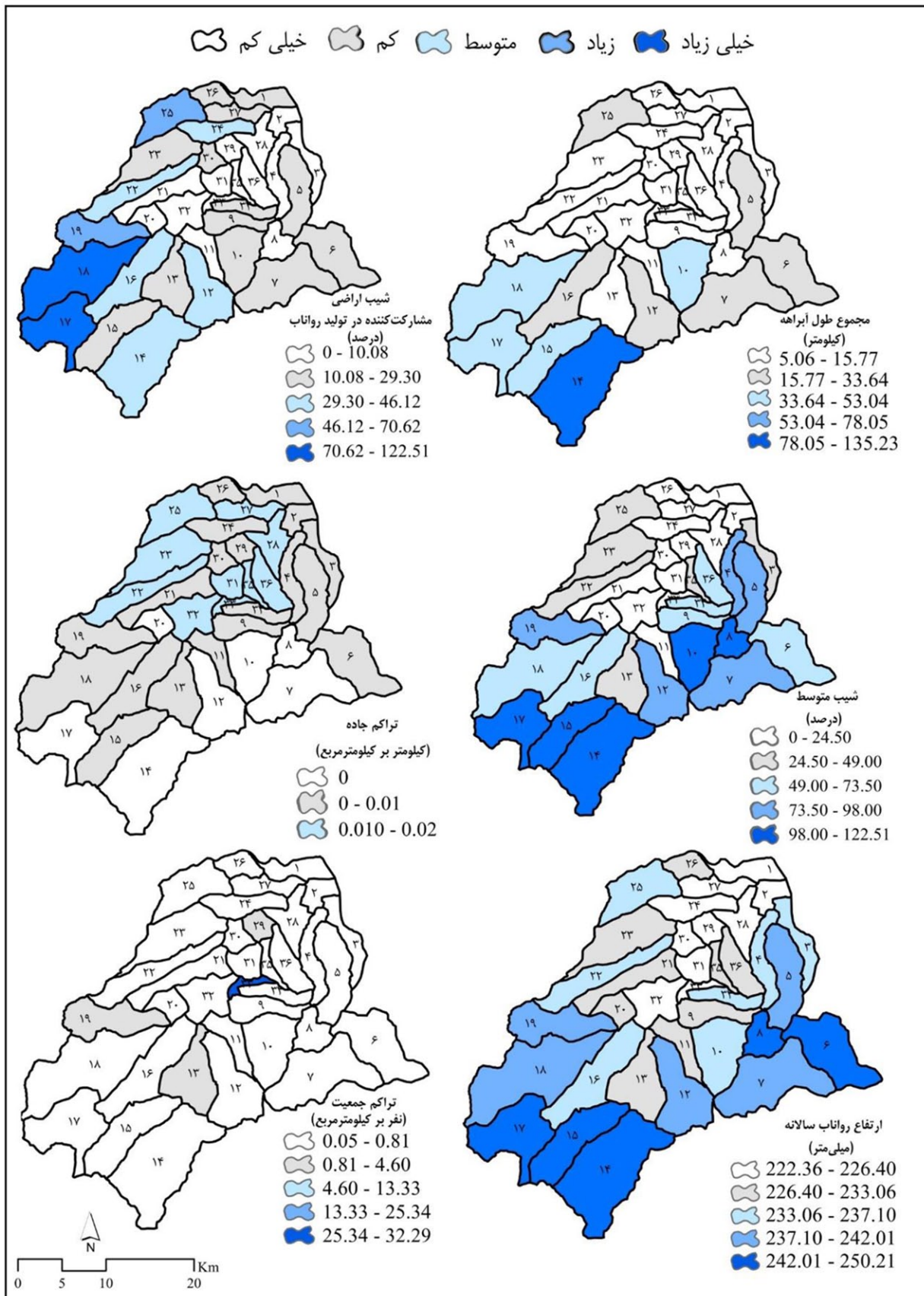
شاخص میزان دخالت انسانی در زیرآبخیزهای ۱، ۲، ۱۳، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۵ تا ۳۳ و ۳۵ با مقدار عددی یک حداکثر است. در این جا قابل ذکر است که ۱۰۰ درصد مساحت این زیرآبخیزها را کاربری کشاورزی تشکیل داده است. هم‌چنین حداقل دخالت انسانی در زیرآبخیز ۱۴ مشاهده شد که کل مساحت این زیرآبخیز را کاربری مرتع تشکیل داده است. شاخص منطقه حساس محیطی (ESAI) که جزء عوامل مهم برای بررسی فشار بر بوم‌سازگان می‌باشد (۱۴)، برای زیرآبخیزهای ۸ و ۱۷ با مقدار عددی $1/18$ حداقل و برای زیرآبخیز ۱۳ با مقدار عددی $1/53$ حداکثر مقدار به دست آمد. نتایج مساحت زمین کشاورزی با شیب بالای ۲۵ درصد نشان داد که زیرآبخیز ۱۸ ($32/30$ کیلومتر مربع) بیش‌ترین مقدار و زیرآبخیز ۲۹ ($0/06$ کیلومتر مربع) کم‌ترین مقدار را دارند. هم‌چنین میانگین انحراف معیار بارندگی سالانه آبخیز برابر با $344/47$ و $9/81$ میلی‌متر است و حداکثر و حداقل مقدار آن به ترتیب در زیرآبخیزهای ۱۷ و ۲ مشاهده شد. از آنجایی که هر چه متوسط دمای سالانه بیش‌تر باشد فشار روی بوم‌سازگان بیش‌تر است. در این راستا، دمای سالانه در زیرآبخیز ۱۷ حداقل و در زیرآبخیز ۲ حداکثر مقدار را دارد. در حالت کلی نتایج بررسی معیارهای شاخص فشار حاکی از فشار بیش‌تر در پایین دست آبخیز کوزه‌تپراقی است که با نتایج علائمی و همکاران (۱۳۹۸) مبنی بر بالا بودن میزان حساسیت بوم‌شناختی مناطق پایین دست حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی نسبت به مناطق بالادست هم‌خوانی دارد.

نسبتاً سالم ($0/0-80/61$)، متوسط ($0/0-60/41$)، نسبتاً ناسالم ($0/0-40/21$) و ناسالم ($0/0-20/00$) طبقه‌بندی شد (Hazbavi et al., 2020). در نهایت با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.6 نقشه پهنه‌بندی سلامت آبخیز کوزه‌تپراقی تهیه شد.

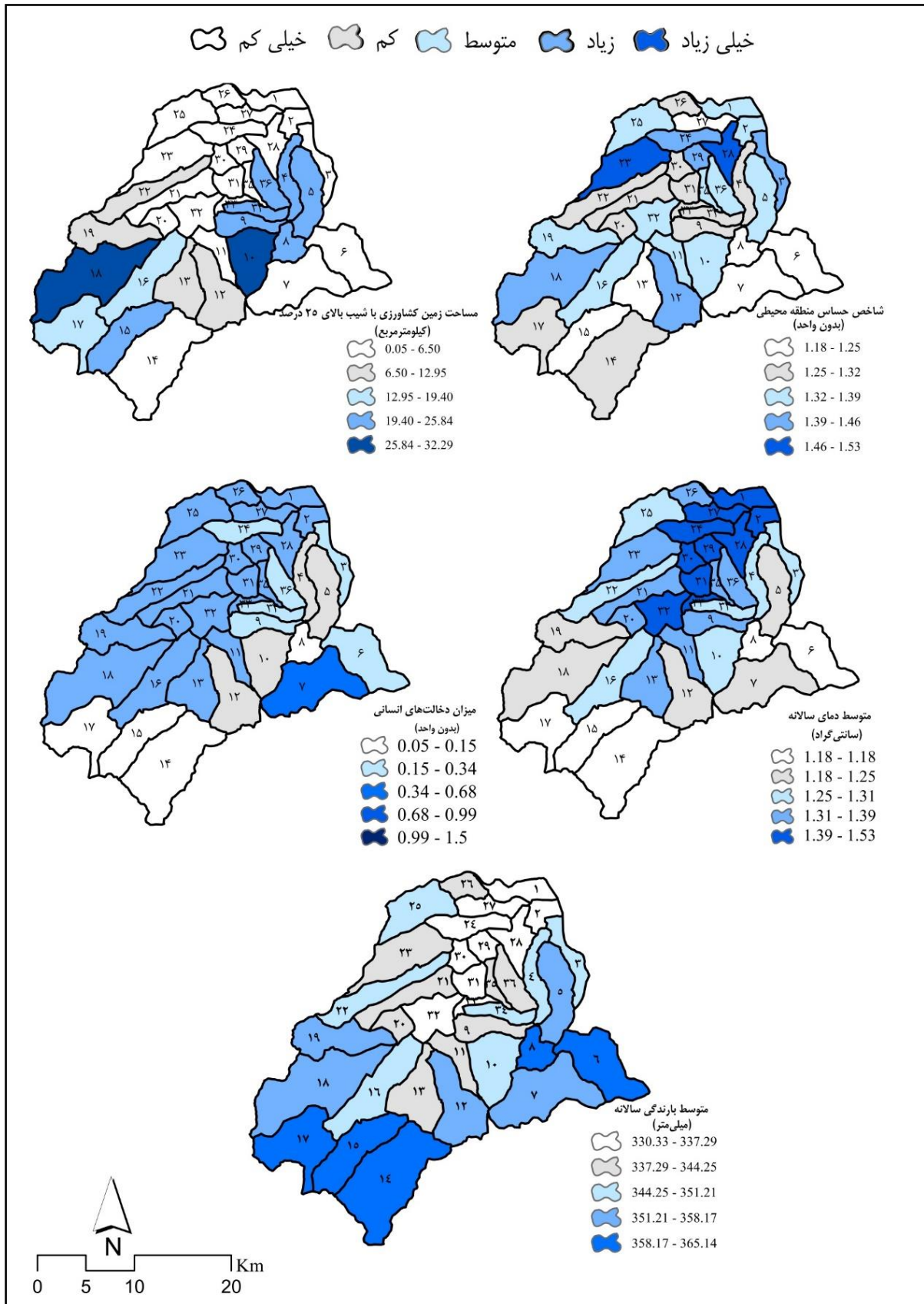
نتایج و بحث

شاخص فشار

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل‌های آماری نشان داد که بیش‌تر معیارهای در نظر گرفته شده برای محاسبه فشار دارای VIF و آماره Durbin-Watson قابل قبول بودند و تنها معیارهای دبی جریان و تبخیر و تعرق سالانه به ترتیب با مقدار VIF برابر با $11/48$ و $622/93$ و آماره Durbin-Watson برابر با $1/79$ و $1/63$ از ادامه فرآیند محاسبات حذف شدند. نتایج نشان داد که مقدار میانگین و انحراف معیار دبی جریان و تبخیر و تعرق سالانه برای کل آبخیز کوزه‌تپراقی برابر با $0/22 \pm 0/15$ مترمکعب بر ثانیه و $102/2 \pm 56/31$ میلی‌متر بوده است. طبق نتایج به دست آمده برای محاسبه فشار شکل ۳ مشخص شد که حداکثر و حداقل شیب متوسط آبخیز کوزه‌تپراقی در زیرآبخیزهای ۱۷ و ۳۲ به ترتیب با مقدار عددی $24/53$ و $8/5$ درصد به دست آمد. هم‌چنین حداکثر و حداقل مجموع طول آبراهه به ترتیب در زیرآبخیزهای ۱۴ و ۲۸ با مقدار $135/23$ و $5/06$ کیلومتر برآورد شد. حداکثر شیب اراضی مشارکت‌کننده در تولید رواناب در زیرآبخیزهای ۲، ۳، ۱۸، ۱۱، ۲۰، ۲۱ و ۳۵ و حداقل مقدار آن در زیرآبخیز ۱۸ قرار گرفت. ارتفاع رواناب سالانه در زیرآبخیز ۲ ($222/36$ میلی‌متر) حداقل و در زیرآبخیز ۱۷ ($250/21$ میلی‌متر) حداکثر مقدار را به خود اختصاص داد. هم‌چنین بیش‌ترین تراکم جمعیت در زیرآبخیز ۳۳ و کم‌ترین مقدار آن در زیرآبخیزهای ۲، ۳، ۴، ۸، ۱۱، ۲۰، ۲۱، ۲۴، ۲۸، ۳۱ و ۳۵ می‌باشد. قابل ذکر است در این زیرآبخیزها منطقه مسکونی وجود ندارد. تغییرات تراکم جاده در بیش‌تر زیرآبخیزهای



شکل ۳. تغییرات مکانی معیارهای تأثیرگذار بر شاخص فشار آبخیز کوزه تیراچی



ادامه شکل ۳. تغییرات مکانی معیارهای تأثیرگذار بر شاخص فشار آبخیز کوزه‌تپراقی

شاخص حالت

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل‌های آماری نشان داد که تنها معیار شاخص تنوع شانون سیمای سرزمین با مقدار VIF برابر با ۲۰/۰۲ و آماره Durbin-Watson برابر با ۲/۰۹ از ادامه فرآیند محاسبات حذف شد. نتایج نشان داد که مقدار میانگین و انحراف معیار شاخص تنوع شانون سیمای سرزمین برای کل آبخیز کوزه‌تپراقی برابر با 0.57 ± 0.29 بوده است. بر این اساس با توجه به نتایج (شکل ۳) حداقل مقدار نسبت اراضی مشارکت‌کننده در تولید رواناب به مساحت کل، در زیرآبخیزهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۷، ۸، ۱۰، ۱۱، ۱۴، ۱۵، ۲۰، ۲۱، ۳۱، ۳۴، ۳۵ و ۳۶ با مقدار عددی صفر و حداکثر مقدار آن در زیرآبخیز ۱۹ (۰/۴۵) به‌دست آمد.

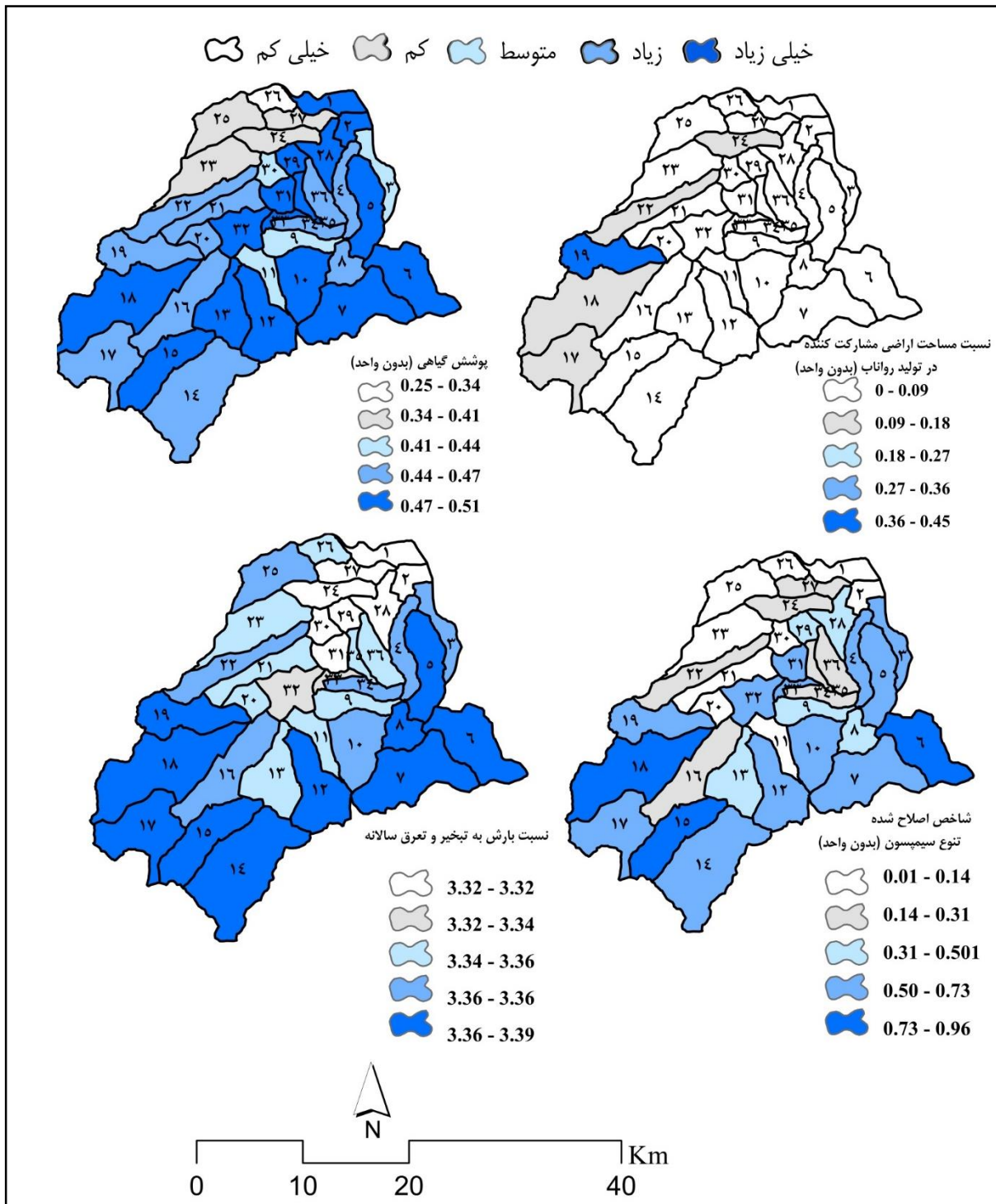
هم‌چنین، معیار NDVI برای آبخیز کوزه‌تپراقی با میانگین و انحراف معیار ۰/۱۰ و ۰/۰۲ و با حداقل و حداکثر مقدار برابر با ۰/۰۸- و ۰/۵۰ به‌دست آمد. تغییرات مقادیر معیار NDVI برای آبخیز کوزه‌تپراقی بین ۰/۲۵ (زیرآبخیز ۲۶) و ۰/۵۱ (زیرآبخیزهای ۲، ۶، ۱۰ و ۱۸) می‌باشد. مقادیر شاخص سیمپسون از ۰/۰۱ تا ۰/۹۶ با میانگین و انحراف معیار 0.26 ± 0.42 برای آبخیز کوزه‌تپراقی متغیر بوده است. مقادیر به‌دست آمده برای این شاخص نشان می‌دهد که تنوع استفاده از زمین در تمام زیرآبخیزها به‌جز ۲۱، ۲۵ و ۲۶ زیاد است. مقدار کم آن به‌علت یکنواختی و توزیع نامناسب لکه‌هاست. وقتی مقدار عددی این معیار یک باشد، در این صورت سیمای سرزمین از لکه‌های متنوعی تشکیل شده است و زمانی که به صفر نزدیک شود، تنوع لکه در سیمای سرزمین کاهش می‌یابد (McGarigal and Ene, 2013).

توجه به نتایج در اکثر زیرآبخیزهای مورد مطالعه تنوع لکه‌ها و الگوهای مناسب مکانی بین لکه‌ها در سیمای سرزمین وجود دارد. حداقل نسبت بارندگی به تبخیر و تعرق در زیرآبخیزهای ۲ و ۳ با مقدار عددی ۳/۳۲ و حداکثر آن در

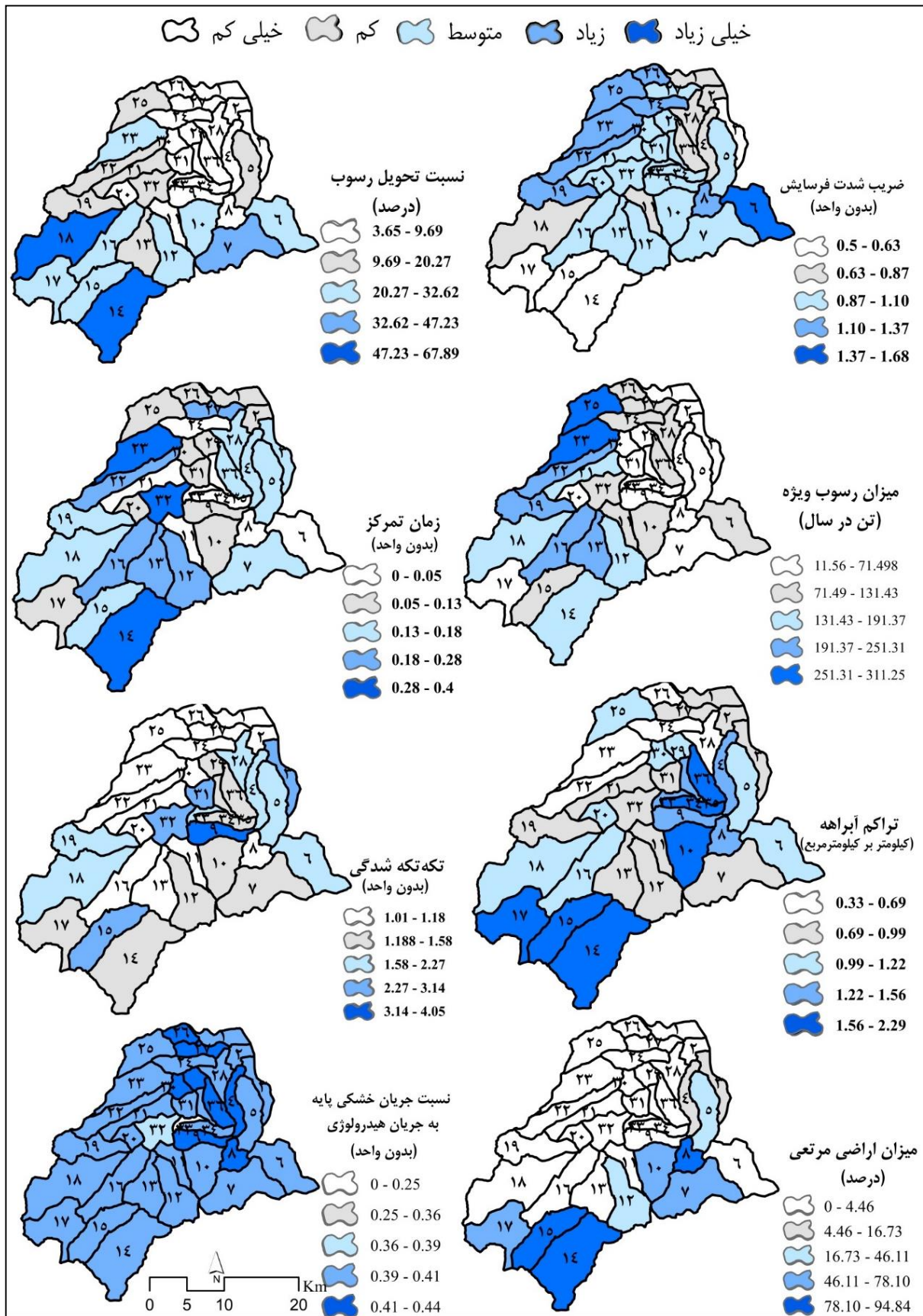
زیرآبخیزهای ۱۴، ۱۵ و ۱۷ با مقدار عددی ۳/۳۹ مشاهده شد.

شاخص پاسخ

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل‌های آماری معیارهای مورد نظر برای محاسبه شاخص نشان داد که تنها معیار فرسایش ویژه، با مقدار VIF برابر با ۱۰/۳۶ و آماره Durbin-Watson برابر با ۱/۶۰ از ادامه فرآیند محاسبات حذف شد. مقدار میانگین و انحراف معیار فرسایش ویژه برای کل آبخیز کوزه‌تپراقی برابر با 5.17 ± 2.49 بوده است. حداکثر و حداقل مقدار ضریب شدت فرسایش خاک در زیرآبخیزهای ۶ و ۱۷ برآورد شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده اکثر زیرآبخیزهای مورد مطالعه فرسایش خیلی شدیدی دارند و تنها زیرآبخیزهایی که در بالادست قرار دارند دارای فرسایش متوسطی هستند. نسبت تحویل رسوب برای زیرآبخیزهای ۱۴ و ۳۳ با مقدار عددی ۶۷/۸۹ و ۳/۶۵ درصد به‌ترتیب حداکثر و حداقل به‌دست آمد. میزان رسوب ویژه در زیرآبخیز ۸ با مقدار عددی ۱۱/۵۶ تن در سال حداقل مقدار و در زیرآبخیز ۲۳ با مقدار ۳۱۱/۲۵ تن در سال حداکثر مقدار را دارد. علت بالا بودن مقدار رسوب ویژه در زیرآبخیز ۲۳ را می‌توان به بهره‌برداری شدید و فرسایش شدید صورت گرفته در آن نسبت داد. حداقل و حداکثر مقدار زمان تمرکز به‌ترتیب برای زیرآبخیزهای ۸، ۲۱، ۲۴، ۳۴ و ۳۵ با مقدار عددی صفر به‌دلیل نبود آبراهه اصلی در زیرآبخیزها به‌دست آمد و در زیرآبخیز ۱۴ با مقدار عددی ۰/۴۰ ساعت به‌دست آمد. تراکم زهکشی در زیرآبخیز ۳۴ حداکثر مقدار و در زیرآبخیز ۲۸ حداقل مقدار را دارد. نسبت جریان خشکی پایه به جریان هیدرولوژیکی در زیرآبخیز ۲۶ دارای حداکثر مقدار بوده و در زیرآبخیز ۳۳ حداقل مقدار را دارد.



شکل ۴. تغییرات مکانی معیارهای تأثیرگذار بر شاخص حالت آبخیز کوزه‌تپراقی



شکل ۵. تغییرات مکانی معیارهای تأثیرگذار بر شاخص پاسخ آبخیز کوزه تپراقی

پرداخته‌اند، مطابقت دارد. همچنین یافته‌های پژوهش مصطفی‌زاده و همکاران (۱۳۹۷) با هدف ارزیابی سلامت حوزه آبخیز ایریل، شاخص تکه‌تکه شدگی برای زیر آبخیزهای ایریل نشان از تخریب بیش‌تر آبخیز مورد مطالعه بود.

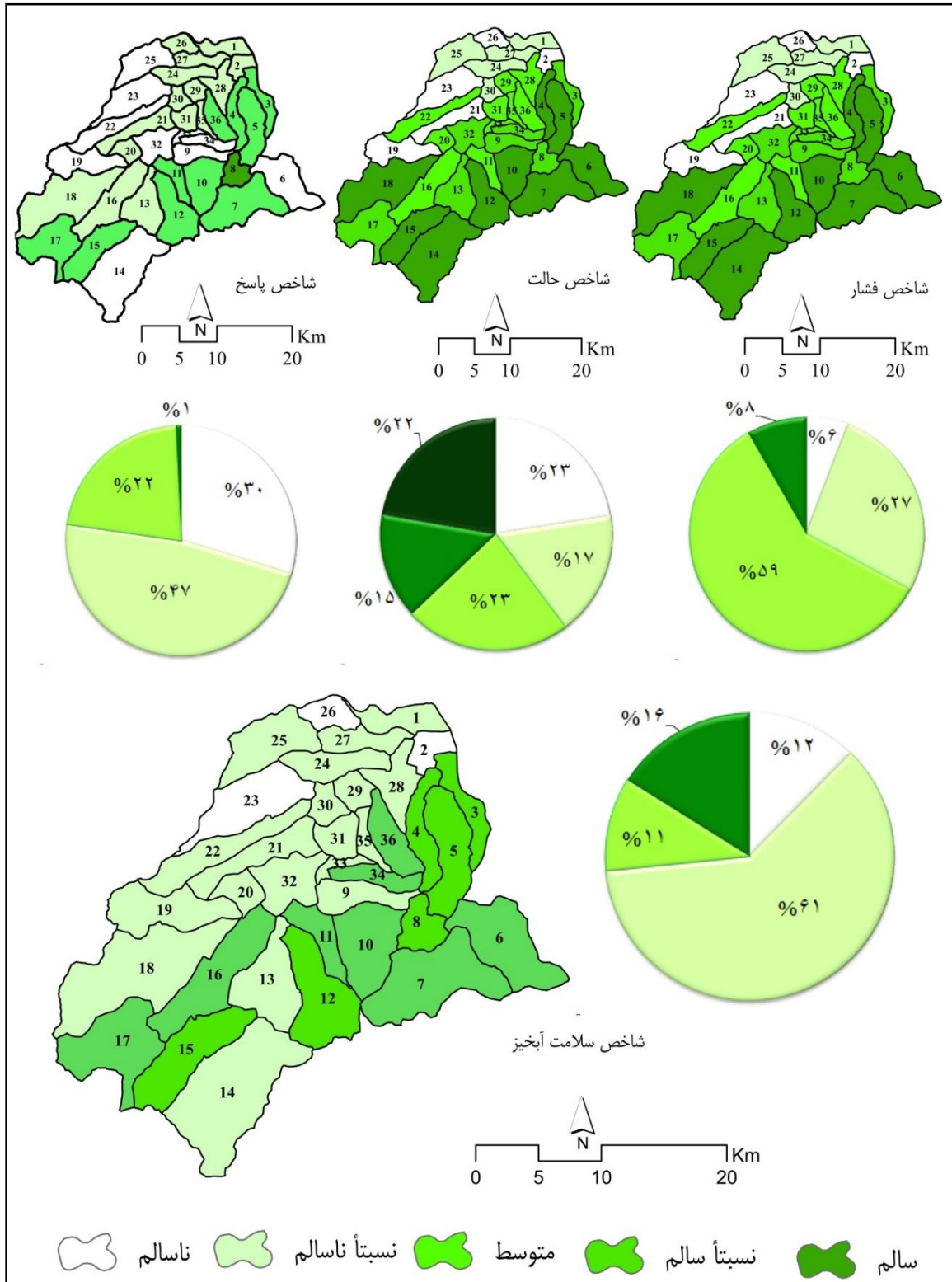
درجه سلامت آبخیز

نتایج حاصل از ارزیابی و پهنه‌بندی سلامت آبخیز کوزه‌تپراقی (جدول ۱ و شکل ۶) نشان داد که مقدار متوسط و انحراف معیار شاخص فشار به ترتیب برابر با ۰/۶۶ و ۰/۱۳ است. شاخص فشار در طبقه‌های نسبتاً سالم و متوسط به ترتیب با مقدار هشت و ۵۹ درصد از کل آبخیز قرار گرفته است. همچنین این شاخص در بخش غربی و جنوبی آبخیز دارای وضعیت متوسط است. به‌طور کلی در بین معیارهای مورد استفاده شده برای محاسبه شاخص فشار در آبخیز کوزه‌تپراقی در بین عوامل هیدرولوژی (معیار مجموع طول آبراهه با ۹۳ درصد)، عوامل انسانی (معیار تراکم جمعیت با ۴۵ درصد) و عوامل اقلیمی (متوسط دما با ۵۹ درصد) بیش‌ترین درصد مشارکت را داشته‌اند. عمده فشارهای وارده به بوم‌سازگان ناشی از عوامل هیدرولوژی و اقلیمی بوده است. در حالت کلی بر اساس شاخص فشار نتایج حاکی از فشار بیش‌تر در زیرآبخیزهایی که حداکثر مساحت آن کاربری زراعت می‌باشد، بیش‌تر بود که با نتایج Penghua و همکاران (۲۰۰۷) مبنی بر تاثیر معنی‌دار فعالیت‌های انسانی ابر الگوی چشم‌انداز و آسیب‌پذیری بوم‌شناختی منطقه‌ای مطابقت دارد.

درصد اراضی مرتعی در زیرآبخیزهای ۱، ۲، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۵ تا ۳۳ و ۳۵ با مقدار عددی صفر بیش‌ترین هستند. همچنین حداکثر مقدار آن در زیرآبخیز ۱۴ بوده که کل مساحت این زیرآبخیز را کاربری مرتع تشکیل داده است. تکه‌تکه شدگی یکی از مهم‌ترین فرآیندهای موجود در سیمای سرزمین برای نشان دادن فعالیت انسان در طبیعت در ایجاد اختلال ساختار و عملکرد سیمای سرزمین بوده است (Ahern and Andre, 2003). در فرآیند تکه‌تکه شدگی، سیمای سرزمین به لکه‌های کوچک‌تری تقسیم می‌شود. از این‌رو آگاهی از انواع پوشش سطح زمین و فعالیت‌های انسانی در بخش‌های مختلف و یا نوع کاربری زمین به‌عنوان داده‌های پایه در تحلیل خصوصیات مکانی-زمانی سیمای سرزمین از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (کرمی و فقهی، ۱۳۹۰؛ McGarigal, ۲۰۰۳). وقتی که سیمای سرزمین به لکه‌های کوچک تقسیم می‌شود، این معیار حداکثر مقدار را دارد؛ یعنی زمانی که هر سلول یک لکه جداگانه باشد (Akçakaya et al., 2006). مقدار میانگین و انحراف معیار این معیار برای آبخیز کوزه‌تپراقی برابر با $1/95 \pm 0/81$ به‌دست آمد. این معیار از ۱/۰۱ در زیرآبخیزهای ۲۱ و ۲۶ تا ۳/۳۸ در زیرآبخیز ۳۲ متغیر است. در حالت کلی زیرآبخیزهایی که در طبقه خیلی کم تکه‌تکه شدگی قرار گرفتند دارای بیش‌ترین مساحت کاربری زراعت دیم بوده‌اند. از این‌رو می‌توان گفت که زراعت می‌تواند انجام شود اما با شرایطی که موجب تخریب بوم‌سازگان نشود. این نتایج نیز با نتایج Su و همکاران (۲۰۱۴) که به بررسی تکه‌تکه شدگی سیمای سرزمین در ارتباط با زراعت

جدول ۱. ویژگی‌های توصیفی شاخص‌های ارزیابی سلامت آبخیز کوزه‌تپراقی مبتنی بر مدل مفهومی PSR

شاخص‌ها	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
فشار	۰/۱۸	۰/۶۷	۰/۴۶	۰/۱۳
حالت	۰/۰۲	۰/۹۹	۰/۵۵	۰/۲۶
پاسخ	۰/۰۷	۰/۶۲	۰/۳۱	۰/۱۶
سلامت	۰/۱۴	۰/۶۶	۰/۴۱	۰/۱۵



بر اساس نتایج به دست آمده در این آبخیز فقط قسمت هایی از غرب دارای وضعیت های ناسالم (زیر آبخیز های ۲، ۱۹،

در ارتباط با شاخص حالت، آبخیز کوزه تپراقی دارای میانگین و انحراف معیار به ترتیب برابر با ۰/۵۵ و ۰/۲۶ است.

به طبقه متوسط است. به طوری که حداکثر مقدار شاخص سلامت با مقدار $0/66$ مربوط به زیرآبخیزهای ۸ و ۱۲ و حداقل مقدار این شاخص با مقدار $0/14$ مربوط به زیرآبخیز ۲۶ می‌باشد. وضعیت سلامت در قسمت شرق و جنوب شرقی آبخیز در وضعیت نسبتاً سالم و متوسط قرار گرفته است و وضعیت بهتری از سلامت آبخیز در قسمت‌های غربی و شمالی است. در ارتباط با درصد مشارکت کلی شاخص‌های فشار، حالت و پاسخ می‌توان بیان نمود که به ترتیب ۲۲، ۴۹ و ۵۰ درصد در ارزیابی سلامت آبخیز کوزه‌تپراقی نقش داشتند. آبخیز کوزه‌تپراقی از نظر کلی دارای وضعیت متوسطی از شاخص سلامت ارزیابی شد.

توزیع مکانی شاخص‌های سلامتی آبخیز مبتنی بر مدل PSR در شکل ۶ نیز نشان داد که ۶۱ درصد منطقه در وضعیت متوسط قرار گرفته است. سپس وضعیت‌های نسبتاً سالم، نسبتاً ناسالم و ناسالم به ترتیب ۱۶، ۱۱ و ۱۲ درصد منطقه را شامل شده است. در میان معیارهای در نظر گرفته شده برای ارزیابی سلامت در آبخیز کوزه‌تپراقی برای شاخص‌های فشار، حالت و پاسخ به ترتیب تراکم جمعیت، تغییرات سطح کاربری اراضی و میزان فرسایش بدترین وضعیت را داشته که موجب ایجاد اختلال در عملکرد آبخیز کوزه‌تپراقی و افت سلامت شده‌اند. بنابراین در هر سه شاخص اصلی مدل PSR، عامل‌های انسانی بیشترین نقش منفی در ارزیابی سلامت را داشته‌اند. نتایج حاضر با مطالعات انجام شده توسط حزبوای و همکاران (۱۳۹۷) و Hazbavi و همکاران (۲۰۲۰) برای ارزیابی سلامت آبخیز شازند واقع در استان مرکزی مبنی بر تغییرپذیری مکانی معیارها و شاخص‌های ارزیابی سلامت مبتنی بر مدل PSR مطابقت دارد. همچنین با نتایج Ahn و Kim (۲۰۱۷) در خصوص کاهش وضعیت سلامت در پایین دست آبخیز مطالعاتی مطابقت دارد و علت آن را به میزان دخالت انسانی، تغییر کاربری و کشاورزی بیش از حد نسبت داده‌اند. طبیعی است با توجه به نتایج به دست آمده در خصوص پراکنش وضعیت سلامت، عامل‌های موثر و نیز معیارهای کلیدی در آبخیز

۲۱، ۲۳ و ۲۶ حدود ۲۳ درصد) و نسبتاً ناسالم (زیرآبخیزهای ۱، ۲۴، ۲۵، ۲۷ و ۳۰ حدود ۲۳ درصد) می‌باشند ولی بقیه قسمت‌ها شامل غرب و شمال شرقی و غربی دارای وضعیت متوسط (حدود ۴۰ درصد) و قسمت‌های شرقی و جنوب شرقی در وضعیت سالم (حدود ۲۲ درصد) قرار دارند. زیرآبخیزهای ۳، ۸، ۹، ۱۳، ۱۷، ۳۲ و ۳۴ در وضعیت نسبتاً سالم و سایر زیرآبخیزها در وضعیت‌های سالم ارزیابی شدند. در شاخص حالت در آبخیز کوزه‌تپراقی، میزان نسبت اراضی مشارکت‌کننده در تولید رواناب به مساحت کل (۳۷ درصد) از دسته عوامل هیدرولوژی، شاخص اصلاح شده تناسب سیمپسون (۵۸ درصد) از دسته عوامل انسانی و معیار اقلیمی نسبت بارش به تبخیر و تعرق سالانه (۱۳ درصد) از تأثیرگذارترین معیارها به دست آمدند.

از نظر شاخص پاسخ، به طور کلی وضعیت سالم در منطقه مشاهده نشد. در آبخیز کوزه‌تپراقی زیرآبخیز ۸ با مقدار $0/62$ و زیرآبخیز ۲۳ با مقدار $0/07$ به ترتیب حداکثر و حداقل مقادیر شاخص پاسخ را به خود اختصاص دادند. شاخص پاسخ در طبقه نسبتاً سالم برای زیرآبخیز ۸ (یک درصد از کل آبخیز) به دست آمد. همچنین این شاخص در بخش غربی و شمال غربی آبخیز دارای وضعیت ناسالم و نسبتاً ناسالم است. به طور کلی در بین معیارهای مورد استفاده شده برای محاسبه شاخص پاسخ در آبخیز کوزه‌تپراقی در بین عوامل انسانی (معیار درصد اراضی مرتعی با ۹۲ درصد) و عوامل هیدرولوژی (ضریب شدت فرسایش با ۲۵ درصد) بیشترین درصد مشارکت را داشته‌اند.

در ارتباط با شاخص سلامت کل آبخیز که از میانگین هندسی شاخص‌های فشار، حالت و پاسخ به دست آمده است می‌توان گفت که در آبخیز کوزه‌تپراقی مقدار این شاخص برابر با $0/41$ است. همچنین با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی آبخیز مذکور، آبخیز کوزه‌تپراقی در وضعیت متوسطی از لحاظ سلامت و توان بوم‌شناختی ارزیابی شد. یعنی طبقات سلامت در این آبخیز فقط شامل نسبتاً سالم و متوسط بوده و عمده زیرآبخیزها (حدود ۶۱ درصد) مربوط

مورد مطالعه، امکان تبیین سیاست‌های اجرایی دقیق و عمدتاً در قالب راهبرد اساسی مدیریت سازگار توسط بخش‌های متولی وجود خواهد داشت.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج تجزیه و تحلیل معیارها و زیرمعیارهای مختلف در نظر گرفته شده برای ارزیابی سلامت آبخیز کوزه‌تپراقی مشخص شد که از نظر کلی آبخیز دارای وضعیت متوسط از لحاظ سلامت می‌باشد. به نحوی که خروجی نهایی مدل فشار-حالت-پاسخ (PSR) برابر با ۰/۴۱ به دست آمد. به عبارتی می‌توان گفت هر چه فشار بیشتری بر منطقه مورد مطالعه وارد شود تقریباً به همان اندازه وضعیت و واکنش یا عکس‌العمل آن برای سلامت کل آبخیز نیز تغییر خواهد نمود. بنابراین عمده مشکل آبخیز کوزه‌تپراقی مربوط به فرسایش و عوامل انسانی (تغییر کاربری اراضی و انجام کشاورزی روی اراضی با شیب زیاد) است که موجب بروز فرسایش سطحی و آبراهه‌ای در سطح این آبخیز شده است. میزان اثر عوامل مذکور با رشد جمعیت

و افزایش فعالیت‌های انسانی هر روز وخیم‌تر و منجر به مشکلات بعدی خواهد شد. قابل ذکر است که آبخیز کوزه‌تپراقی به سبب کشاورزی بودن و شاید قابلیت تاب‌آوری آن در برابر فشارهای وارده منطبق با آمار و اطلاعات قابل دسترس از لحاظ سلامت متوسط ارزیابی شد. با وجود این، انجام پایش‌های دوره‌ای با داده‌های جامع‌تر، به‌هنگام و هم‌چنین تحلیل روند تغییرات نسبی شاخص‌ها در راستای تبیین مدیریت سازگار و هوشمند آبخیز تأکید می‌شود. قابل ذکر است که اخیراً (از ۳۱ دسامبر ۲۰۱۹ تاکنون) به سبب شیوع بیماری COVID-19 منشأ گرفته از شهر Wuhan واقع در چین و درگیر شدن کل جهان با آن، قطعاً سلامت منابع آب و خاک نیز بدون تأثیر نخواهد بود. با ورود آب‌های آلوده به این ویروس خطرناک به سامانه بوم‌شناختی عواقب جدی را برای منابع طبیعی و امنیت ملی حوزه‌های آبخیز کشور به دنبال خواهد داشت. لذا به‌روزرسانی مدل‌های ارزیابی سلامت آبخیزهای کشور با تحلیل ارتباط‌های متقابل معیارهای مختلف با این ویروس یکی از تأکیدات پژوهش حاضر است.

فهرست منابع

- ابراهیمی، پ.، سلاجقه، ع.، محسنی ساروی، م.، ملکیان، آ. ۱۳۹۷. پیش‌بینی سلامت حوزه آبخیز بر پایه متغیرهای کیفیت آب سطحی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز طالقان). جغرافیا و پایداری محیط، ۲۶: ۱-۱۳.
- اسمعیلی عوری، ا.، و عبداللهی، خ. ۱۳۹۰. آبخیزداری و حفاظت خاک. انتشارات محقق اردبیلی. ۵۷۴ ص.
- جزبای، ز. ۱۳۹۶. بومی‌سازی مدل‌های پویایی سلامت آبخیز، رساله دکتری گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۲۲ ص.
- جزبای، ز.؛ صادقی، س.ح.ر. ۱۳۹۵. سلامت آبخیز (قسمت دوم): مدل مفهومی فشار، وضعیت و پاسخ (PSR). ترویج و توسعه آبخیزداری، ۴ (۱۵): ۳۱-۲۵.
- جزبای، ز.، صادقی، س.ح.ر.، غلامعلی فرد، م. ۱۳۹۷. تحلیل مقایسه‌ای تغییرپذیری شاخص‌های ارزیابی سلامت فشار، حالت و پاسخ در حوزه آبخیز شانزند. سیزدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران و سومین همایش ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط‌زیست ۱۰ و ۱۱ مهرماه ۱۳۹۷، دانشگاه محقق اردبیلی، ۱-۶.
- روشنی، ح.، دادده، ف.، علیزاده، ر.، مصطفی‌زاده، ر. ۱۳۹۴. ارزیابی روش‌های برآورد آب‌دهی جریان و عوامل مؤثر بر آن در حوضه آبریز گرگان‌رود. دومین همایش ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست. دانشگاه محقق اردبیلی، ۱-۶.

- سعدالدین، ا.، صادقی، س.ح.ر. زارع‌گاریزی، آ.، حزباوی، ز.، اسدی‌نلیوان، ا. ۱۳۹۷. ارائه یک چهارچوب شاخص-محور برای ارزیابی جامع سلامت و پایداری آبخیزها با تأکید بر آینده‌پژوهی، سیزدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران و سومین همایش ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط‌زیست ۱۰ و ۱۱ مهرماه ۱۳۹۷، دانشگاه محقق اردبیلی، ۱-۷.
- کرمی، آ.؛ فقهی، ج. ۱۳۹۰. بررسی کمی کردن سنج‌های سیمای سرزمین در حفاظت از الگوی کاربری اراضی پایدار (مطالعه موردی: استان کهگیلویه و بویراحمد). محیط‌شناسی، ۳۷ (۶۰): ۷۹-۸۸.
- علائی، ن.، مصطفی‌زاده، ر.، اسمعیلی‌عوری، ا.، شرری، م.، حزباوی، ز. ۱۳۹۸. تحلیل حساسیت بوم‌شناختی حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی، استان اردبیل. سومین کنفرانس هیدرولوژی مناطق نیمه خشک با محوریت آب-انسان-طبیعت، ۱-۶.
- علائی، ن.، مصطفی‌زاده، ر.، اسمعیلی‌عوری، ا.، شرری، م.، حزباوی، ز. ۱۳۹۹. ارزیابی و مقایسه پیوستگی سیمای سرزمین حوزه آبخیز کوزه تپراقی، استان اردبیل. بوم‌شناسی کاربردی، پذیرش نهایی
- علیجانپور شلمانی، ع.، واعظی، ع. ۱۳۹۶. عوامل فیزیکی تعیین‌کننده ضریب رواناب در حوزه‌های آبخیز استان اردبیل. فصلنامه دانش آب و خاک، ۲۱ (۳): ۱-۱۴.
- مصطفی‌زاده، ر.، جعفری، ا.، کیوان‌بهجو، ف. ۱۳۹۷. مقایسه ساختار اراضی مرتعی و میزان تخریب پیوستگی سیمای سرزمین در زیرحوزه‌های آبخیز ایریل، استان اردبیل. بوم‌شناسی کاربردی، ۷ (۱): ۵۳-۴۱.
- مؤمنیان، پ.، نظرزاده، ح.، میریعقوب‌زاده، م.ح.، مصطفی‌زاده، ر. ۱۳۹۷. ارزیابی و اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز قطورچای بر اساس درجه سلامت آبخیز (مطالعه موردی: قطورچای، خوی، آذربایجان غربی). پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۹ (۱۷): ۱۳-۱.
- مهدوی، م. ۱۳۹۲. هیدرولوژی کاربردی. جلد ۲. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ هشتم، ۴۳۷ ص.
- Ahern, J. and Andre, L. 2003. Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning. *Landscape and Urban Planning*, 59: 65-93.
- Ahn, S.R. and Kim, S.L. 2017. Assessment of integrated watershed health based on the natural environment, hydrology, water quality, and aquatic ecology. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21: 5583-5602.
- Ahn, S.R. and Kim, S.K. 2019. Assessment of watershed health, vulnerability and resilience for determining protection and restoration priorities. *Environmental Modelling and Software* 122, 103926
- Akçakaya, H.R., Cantara, K. Vaillant, H. Diamond, D. True, D. Rewerts, C.C. and Lozar, R. 2006. Evaluation of models to support habitat fragmentation analysis. *Engineering Research and Development Center*, 1-133.
- Dai, Q., Liu, G., Xue, Sh., Lan, X., Zhai, Sh., Tian, J. and Wang, G. 2007. Health diagnoses of ecosystems subject to a typical erosion environment in Zhifanggou Watershed, North-West China. *Front of Forestry China*, 2(3): 241-250.
- Ding, Y., Wang, W., Chang, X. and Zhao, S. 2008. Ecosystem health assessment in Inner Mongolia region based on remote sensing and GIS. *The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*. XXXVII. Part B1, 1029-1034.
- Endo, A., Burnett, K., Orencio, P.M., Kumazawa, T., Wada, C.A., Ishii, A., Tsurita, I. and Taniguchi, M. 2015. Methods of the water-energy-food nexus. *Water*, 7(10): 5806-5830.
- EPA, Environment Protection Agency. 2012. Identifying and protecting healthy watersheds, EPA 841-B 11-002.
- Hazbavi, Z. 2018. Importance of geology and geomorphology in watershed health assessment. *Agriculture & Forestry*, 64 (4): 277-287.
- Hazbavi, Z., Baartman, J.E.M., Nunes, J.P., Keesstra, S.D. and Sadeghi, S.H.R. 2018a. Changeability of reliability, resilience and vulnerability indicators with respect to drought patterns. *Ecological Indicators*, 87: 196-208.
- Hazbavi, Z., Keesstra, S.D., Nunes, J.P., Baartman, J.E.M., Gholamalifard, M., Sadeghi, S.H.R. 2018b. Health comparative comprehensive assessment of watersheds with different climates. *Ecological Indicators*, 93: 781-790.
- Hazbavi, Z., Sadeghi, S.H.R. and Gholamalifard, M. (2018c). Land cover based watershed health assessment. *AGROFOR International Journal*, 3: 47-55.
- Hazbavi, Z., Sadeghi, S.H.R. and Gholamalifard, M. 2019. Dynamic analysis of soil erosion-based watershed health. *Geography, Environment, Sustainability*, 12(3): 43-59.

- Hazbavi, Z., Sadeghi, S.H.R., Gholamalifard, M. and Davudirad, A.A. 2020. Watershed health assessment using the pressure–state– response (PSR) framework. *Land Degradation and Development*, 31: 3-19.
- Lavorel, S. 2019. Climate change effects on grassland ecosystem services. In D. Gibson & J. Newman (Eds.), *Grasslands and Climate Change (Ecological Reviews*, pp. 131-146). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781108163941.010.
- Liu, D., and Hao, S. 2017. Ecosystem health assessment at county-scale using the pressure-state-response framework on the loess plateau, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14. <http://doi.org/10.3390/ijerph14010002>.
- Loucks, D.P. 1997. Quantifying trends in system sustainability. *Hydrological Sciences Journal*, 42 (4): 513–530.
- Mabuzza, M.P. 2019. Globalisation, climate change, and disasters. *Evaluating International Public Health Issues* pp 265-313
- Mallya, G., Hantush, M. and Govindaraju, R.S. 2018. Composite measures of watershed health from a water quality perspective. *Journal of Environmental Management*, 214, 104-124
- Mao, X., Wang, X. Chen, Q. and Yin, X. 2014. A PSR- framework- based health assessment of Ulansuhai Lake in china. *Polish Journal of environmental studies*, 23(6): 2093-2012.
- Matsushita, B., Yang, W., Chen, W., Onda Y. and Qiu, G. 2007. Sensitivity of the enhanced vegetation index (EVI) and normalized difference vegetation index (NDVI) to topographic effects: A case study in High-Density Cypress Forest. *Sensors*, 7: 2636-2651.
- McGarigal, K. 2001. Landscape metrics for categorical map patterns, http://www.umass.edu/landeco/teaching/landscape_ecology/schedule/chapter9_metrics.pdf
- McGarigal, K. and Ene, E. 2013. FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for categorical maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. Available at the following web site <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>
- Penghua, Q., Songjun, X., Genzong, X., Benan, T., Hua, B. and Longshi, Y. 2007. Analysis of the ecological vulnerability of the western Hainan Island based on its landscape pattern and ecosystem sensitivity. *Acta Ecologica Sinica*, 27: 1257–1264.
- Rani, G., Kaur, J., Kumar, A. and Yogalakshmi. K.N. 2019. Ecosystem health and dynamics: An indicator of global climate change. [*Contemporary Environmental Issues and Challenges in Era of Climate Change*](#), Springer, Singapore 1-23 p.
- Ren, R., Liu, J.T., Ni, J.J. and Xiang, X.Y. 2014. Health evaluation of a lake wetland ecosystem Based on the TOPSIS method. *Polish Journal of environmental studies*, 23 (6): 2183- 2190.
- Su, Sh., Yang, Ch. Hu, Y. Luo, F. and Wang, Y. 2014. Progressive landscape fragmentation in relation to cash crop cultivation. *Applied Geography*, 53: 20-31.
- Wiegand, A.N., Walker, C. Duncan, P.F. Roiko, A. and Tindale, N. 2013. A systematic approach for modelling quantitative lake ecosystem data to facilitate proactive urban lake management. [*Environmental Systems Research*](#), 2(3): 12 p.
- Zhang, Sh., Xiang, M., Xu, Z., Wang, L. and Zhang, Ch. 2020. Evaluation of water cycle health status based on a cloud model. *Journal of Cleaner Production*, 245: 118850.



Assessment and Analysis of the KoozehTopraghi Watershed Health Status, Ardabil Province, Iran

Zeinab Hazbavi^{a*}, Nahideh Parchami^b, Nazila Alaei^b, Leyla Babaei^b

1^{*}) Assistant Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources and Member of Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.

*Corresponding author email: z.hazbavi@uma.ac.ir

2) Former M.Sc. Student, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran

Received: 03-02-2020

Accepted: 08-06-2020

Abstract

The present research was conducted to evaluate the health of the KoozehTopraghi Watershed in Ardabil Province using 27 criteria analysis related to different hydrological, anthropogenic and climatic aspects. For this purpose, base regional data including hydrology, erosion and sediment, economic, social and climatic data were collected and analyzed from previous reports. Then, according to the nature of the data used, several appropriate databases were prepared in Fragstats 4.2.1, Excel 2016, IBM SPSS Statistics 25 and ArcGIS 10.6 softwares. Then, using the principles governing the conceptual model of pressure-state-response (PSR), the status and spatial variations of the watershed health were evaluated at 36 sub-watersheds level. Different degrees of watershed health were classified into five categories: healthy, relatively healthy, moderately healthy, relatively unhealthy and unhealthy. Based on the results analysis, it was found that this watershed is in average health condition. Also, the values of pressure, state and response indicators were 0.46, 0.55 and 0.31, respectively. The mean score of comprehensive watershed health assessment index is 0.41. The maximum value of comprehensive watershed health index was 0.66 for sub-watersheds 8 and 12 and the minimum value for this index was 0.14 for sub-watershed 26. The eastern and southeastern part of the watershed is relatively healthy and moderately healthy and the watershed health status was better in the western and northern parts. The results of the present study are applicable to identifying and restoration priority areas and guiding management strategies in terms of water and soil resources at national and regional levels.

Keywords: Changes pattern; Ecological security; Ecosystem degradation; Health index; Watershed health