وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

ارزیابی جامع سلامت آبخیز ایالت تنسی

نویسندگان:
کیمبرلی متیوز، میشل ادی، فیلیپ جونز، مارک ساترلند، برندا مورگان، و جینی راجرز

مترجمان:
جمال مصفایی
امین صالح‌پورجم

شماره فروست: K۴۰۰-۳۴

عنوان و نام پدیدآور	:	ارزیابی جامع سلامت آبخیز ایالت Tennessee/ [تهیه شده موسسه مثلث تحقیق]؛ نویسندگان [صحیح : تهیه کنندگان] کیمبرلی متیوز...[و دیگران]؛ [حمایت کننده برنامه آبخیر سالم آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده]؛ [برای آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده]؛ مترجمان جمال مصفایی، امین صالح‌پورجم؛ ویراستار امیر سررشته‌داری.
مشخصات نشر	:	تهران : سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۴۰۰.
مشخصات ظاهری	:	۱۴۱ص.: مصور (بخشی رنگی)، نقشه (رنگی)، جدول، نمودار (بخشی رنگی).
شابک	:	978-600-6054-19-3
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
یادداشت	:	عنوان اصلی : ... Tennessee integrated assessment og watershed health : a report on the status
یادداشت	:	نویسندگان [صحیح : تهیه کنندگان] کیمبرلی متیوز، میشل ادی، فیلیپ جونز، مارک ساترلند، برندا مورگان، جینی راجرز.
یادداشت	:	کتابنامه.
موضوع	:	آبخیزداری -- ایالات متحده -- تنسی
موضوع	:	Watershed management -- United States -- Tennessee
شناسه افزوده	:	متیوز، کیمبرلی
شناسه افزوده	:	Matthews, Kimberly
شناسه افزوده	:	مصفایی، جمال، ۱۳۵۷-، مترجم
شناسه افزوده	:	صالح‌پورجم، امین، ۱۳۵۹-، مترجم
شناسه افزوده	:	موسسه مثلث تحقیق
شناسه افزوده	:	Research Triangle Institute
شناسه افزوده	:	ایالات متحده. آژانس حفاظت محیط زیست. برنامه آبخیر سالم
شناسه افزوده	:	United States . Environmental Protection Agency . Healthy Watersheds Program
شناسه افزوده	:	ایالات متحده. آژانس حفاظت محیط زیست
شناسه افزوده	:	United States. Environmental Protection Agency
شناسه افزوده	:	سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری
رده بندی کنگره	:	TC۴۰۹
رده بندی دیویی	:	۳۳۳/۷۶۱۶۰۹۷۳
شماره کتابشناسی ملی	:	۸۴۷۰۶۸۱
اطلاعات رکورد کتابشناسی	:	فیپا

وزارت جهاد کشاورزی

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

عنوان: ارزیابی جامع سلامت آبخیز ایالت تنسی

نویسندگان: کیمبرلی متیوز، میشل ادی و فیلیپ جونز، مارک ساترلند، برندا مورگان، و جینی راجرز

مترجمان: جمال مصفایی و امین صالح‌پورجم

ناشر: پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

ویراستار: امیر سررشته‌داری

طراح جلد و صفحه آرا: اکبر حسینی‌رشید

ناشر: پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

شابک: ۳-۱۹-۶۰۵۴-۶۰۰-۹۷۸

شمارگان: ۱۰۰ نسخه

تاریخ انتشار: ۱۴۰۰

این اثر در مورخه ۱۴۰۰/۶/۱۵ با شماره ۳۴-k۴۰۰ در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است.

حق چاپ محفوظ است. نقل مطلب، تصاویر، جداول، منحنی‌ها و نمودارها با ذکر ماخذ بلامانع است.

ارزیابی جامع سلامت آبخیز ایالت تنسی

گزارشی از وضعیت سلامت و آسیب‌پذیری آبخیز در ایالت تنسی

کارفرما:

برنامه آبخیز سالم آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده،

ساختمان ویلیام جفرسون کلینتون، خیابان پنسیلوانیا ۱۲۰۰، نیویورک، واشینگتن دی‌سی، ۲۰۴۶۰

تهیه‌کنندگان:

کیمبرلی متیوز، میشل ادی و فیلیپ جونز (RTI)

مارک ساترلند، برندا مورگان، و جینی راجرز (Versar)

RTI International
E. Cornwallis Road ۳۰۴۰
تحقیق در مثلث پارک، NC
27709

شماره پروژه RTI: ۰۲۱۳۵۴۱,۰۰۴,۰۰۲,۰۰۷

تقدیم به:

خانواده‌های عزیزمان که در این مسیر صبورانه یاریگر ما بودند

و

جامعه علمی کشور

پیشگفتار مترجمین:

رابطه انسان و طبیعت از آغاز خلقت تا کنون هیچگاه به اندازه امروز نگران‌کننده و تهدیدآمیز نبوده است. در اواخر قرن بیستم، رشد سریع جمعیت در بسیاری از مناطق منجر به محدودیت دسترسی به زمین، آب و سایر منابع طبیعی شد و با توسعه تکنولوژی برای بخش‌های مختلف، زمینه بهره‌برداری مفرط از اندوخته‌های منابع طبیعی که بستر طبیعی حیات و فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی هستند، فراهم شد. به‌عبارت‌دیگر، توسعه ناپایدار دهه‌های اخیر، بروندادی جز برهم‌خوردن نظام طبیعی و تاریخی حوزه‌های آبخیز کشور را به دنبال نداشته است. خشک شدن دریاچه‌ها و تالاب‌ها، افت سطوح سفره‌های آب زیرزمینی، شور شدن اراضی و تشدید فرایندهای بیابان‌زایی، ایجاد کانون‌های گردوغبار، تغییرات کاربری اراضی، فرسایش شدید و وقوع سیلاب‌های متعدد از جمله مظاهر وضعیت بحرانی سلامت حوزه‌های آبخیز کشور است.

در الگوهای مدیریت یکپارچه آبخیز، استفاده از مدل‌های نوین ارزیابی سلامت و آسیب‌پذیری آبخیز، مبتنی بر انواع رویکردها، شاخص‌ها و روش‌های مربوطه، گامی اصولی در فرایند مدیریت یکپارچه آبخیز محسوب می‌شود. این کتاب مبتنی بر رویکرد سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا، با در نظرگرفتن زیرشاخص‌های شش‌گانه وضعیت چشم‌انداز زمین‌ریخت‌شناسی، آب‌شناختی، کیفیت آب، زیستگاه و نیز وضعیت زیستی اقدام به ارائه شاخص سلامت آبخیز و ارزیابی آن در ایالت تنسی آمریکا کرده است. همچنین، در این کتاب اقدام به تشریح روش محاسبه و ارزیابی شاخص آسیب‌پذیری آبخیز مبتنی بر زیرشاخص‌های سه‌گانه وضعیت کاربری زمین، مصرف آب و تغییر اقلیم در این ایالت شده است.

امیدواریم که مطالب ارائه‌شده در این کتاب به‌عنوان گامی مؤثر در بومی‌سازی روش‌های نوین سلامت آبخیز و کاربست آن در سامانه‌های

پشتیبان تصمیم فرایند مدیریت جامع آبخیز کشور مورد استفاده قرار گیرد.

با احترام

جمال مصفایی و امین صالح‌پور جم

مردادماه ۱۴۰۰

ارزیابی جامع سلامت آبخیز ایالت تنسی

نوامبر ۲۰۱۵

EPA 841-R-15-002

تهیه‌شده به‌وسیلهٔ RTI International[۱] برای آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده

حامی: برنامه آبخیز سالم آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده

سلب مسئولیت

اطلاعات این سند با هدف اولویت‌بندی سلامت حوزه‌های آبخیز برای اتخاذ سیاست‌های حفاظت یا احیا ارائه شده است. داده و اطلاعات ارائه شده ممکن است بر اساس نتایج مدل‌سازی‌ها یا داده و اطلاعاتی باشد که برای اهداف دیگری تهیه یا تولیدشده باشند؛ بنابراین نتایج آن نیز منحصراً می‌بایست برای همین کاربرد در نظر گرفته شود و نباید از آن‌ها به‌عنوان داده‌های مرجع برای سایر اهداف در منطقه موردمطالعه استفاده کرد.

در بعضی مواقع، این سند به مقررات قانونی و نظارتی که مشتمل بر الزامات قانونی است، اشاره می‌کند. با این حال این سند به‌منزلهٔ یک آیین‌نامه نبوده و نباید از مطالب ارائه شده در آن به‌جای قوانین یا مقررات بهره‌برداری شود. براین‌اساس این سند الزامات قانونی خاصی را به EPA ، ایالت‌ها، قبایل یا مردم تحمیل نمی‌کند و نباید بنابر شرایط برای مواقعی خاص اعمال شود.

ارجاعاتی که در این سند به بعضی محصولات، فرایندها یا خدمات تجاری خاص با نام تجاری، نشان تجاری، تولیدکننده یا غیره صورت می‌گیرد

۱. RTI International یک نشان تجاری ثبت‌شده و نام تجاری برای موسسه مثلث تحقیق (Research Triangle Institute) است.

لزوماً به معنای توصیه، یا تأیید آن‌ها به‌وسیلهٔ دولت ایالات متحده نیست. دیدگاه‌ها و نظرات نویسندگان در این سند لزوماً به معنای نظر دولت ایالات متحده نبوده و همچنین نباید برای تبلیغ یا تأیید محصولات مورد استفاده قرار گیرد.

تقدیر و تشکر

این سند به‌وسیلهٔ RTI تحت قراردادی با آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده، دفتر آب، دفتر تالاب‌ها، اقیانوس‌ها و حوزه‌های آبخیز تهیه‌شده است. بدین‌وسیله از افراد زیر برای مشارکت آن‌ها در برنامه‌ریزی پروژه، جمع‌آوری داده‌ها و بررسی مواد پیش‌نویس تقدیر می‌شود:

- نانسی آرازان، آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده
- جوی بروچ، گروه مهندسان ارتش ایالات متحده - منطقه نشویل
- راب بولارد، حفاظت از طبیعت
- کارینا باینوم، اداره محیط زیست و حفاظت تنسی
- تیم دیهل، سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده
- ویویان دویل، آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده
- دیوید دهل، اداره محیط زیست و حفاظت تنسی
- پندی انگلیش، آژانس منابع حیات وحش تنسی
- ورونیکا فاسلت، آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده
- جو فلوتمرش، آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده
- جف فور، نماینده حوضه رودخانه تنسی غربی
- لورا گابانسکی، آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده
- لیزا مو، آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده
- تریشا جانسون، حفاظت از طبیعت
- ژانت جونز، آژانس منابع حیات وحش تنسی
- سوزانا کنیازویچ، اداره حمل‌ونقل تنسی
- رادنی نایت، سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده
- برد کرپس، حفاظت از طبیعت
- ریگان مک گاهن، گروه محیط زیست و حفاظت تنسی

- داگ نورتون، آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده
- شانون او کوئین، اداره دره تنسی
- سالی پالمر، حفاظت از طبیعت
- آلیسون ردینگتون، سرویس جنگل ایالات متحده
- مت ریچاردز، اداره حمل‌ونقل تنسی
- بن روهرباخ، گروه مهندسان ارتش ایالات متحده - منطقه نشویل
- دنی سلس، انجمن مناطق حفاظتی تنسی
- جیمی اسمیت، اداره محیط زیست و حفاظت تنسی
- شری وانگ، اداره محیط زیست و حفاظت تنسی
- جوی ویسبی، حفاظت از طبیعت

فهرست مطالب

خلاصه اجرایی ۱
۱-کلیات ۴
۱-۱- اهداف و موارد استفاده ۴
۱-۲- برنامه آبخیزهای سالم ۶
۱-۳- بررسی اجمالی مناطق بوم‌شناسی ایالت تنسی ۷
۲- روشهای مورد استفاده ۱۵
۲-۱- تشریح فرایند ارزیابی ۱۵
۲-۲- چارچوب مفهومی ۱۸
۲-۳- چارچوب مکانی ۱۹
۲-۴- سنجه‌های سلامت آبخیز ۲۲
۲-۴-۱- سنجه‌های وضعیت چشم‌انداز ۲۷
۲-۴-۲- سنجه‌های وضعیت زمین‌ریخت‌شناسی ۳۲
۲-۴-۳- سنجه‌های وضعیت هیدرولوژیک ۳۹
۲-۴-۴- سنجه‌های کیفیت آب ۴۶
۲-۴-۵- سنجه‌های وضعیت زیستگاه ۴۹
۲-۴-۶- سنجه‌های وضعیت زیستی ۵۱
۲-۵- سنجه‌های آسیب‌پذیری آبخیز ۵۳
۲-۵-۱- سنجه‌های آسیب‌پذیری کاربری زمین ۵۵
۲-۵-۲- سنجه‌های آسیب‌پذیری مصرف آب ۵۶
۲-۵-۳- سنجه‌های آسیب‌پذیری تغییرات اقلیمی ۵۹
۳- نتایج و بحث ۶۲
۳-۱- شاخص سلامت آبخیز ۶۲
۳-۲- شاخص آسیب‌پذیری آبخیز ۶۴

۴- فرضیات و محدودیت‌ها..... ۶۶
۴-۱- چارچوب مکانی..... ۶۶
۴-۲- سنجه‌ها و زیرشاخص‌های سلامت آبخیز..... ۶۶
۴-۲-۱- زیرشاخص وضعیت زیستگاه..... ۶۷
۴-۲-۲- زیرشاخص وضعیت زمین‌ریخت‌شناسی..... ۶۹
۴-۲-۳- زیرشاخص وضعیت هیدرولوژیک..... ۷۰
۴-۲-۴- زیرشاخص وضعیت زیستگاه..... ۷۱
۴-۲-۵- زیرشاخص وضعیت زیستی..... ۷۲
۴-۳- سنجه‌ها و زیرشاخص‌های آسیب‌پذیری آبخیز..... ۷۲
۵- استفاده و کاربرد نتایج ارزیابی..... ۷۴
منابع..... ۷۸
پیوست ۱- اطلس نقشه‌ها..... ۸۱
پیوست ۲- وضعیت زمین‌ریخت‌شناسی..... ۹۲
پیوست ۳- وضعیت هیدرولوژیک..... ۹۷
پیوست ۴- کیفیت آب، مدل‌سازی سنجه زیستگاه و وضعیت زیستی..... ۱۰۰
پیوست ۵- نتایج روش‌های تحلیل داده و همبستگی..... ۱۳۷
مخفف‌ها و اختصارها..... ۱۴۶

خلاصه اجرایی

ایالت تنسی[1] دارای منابع آب غنی و متنوعی است که از آبراهه‌های کوهستان‌های بلوریج در شرق تا دشت‌های وسیع آبرفتی رودخانه می‌سی‌سی‌پی در غرب را دربر می‌گیرد. این منابع آب یک سرمایه ارزشمند برای ایالت تنسی محسوب شده، به‌طوری‌که نگهداری و حفاظت از آب‌های سالم در این ایالت، فرصت‌های تفریحی، آب آشامیدنی تمیز و سایر خدمات بوم‌سازگان را به ارمغان می‌آورد. این مطالعه به‌وسیلهٔ آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده (EPA) و با مشارکت طرح آبخیز سالم (THWI) ایالت تنسی انجام شد. THWI یک مشارکت بین سازمان‌های مختلف از جمله اداره محیط زیست و حفاظت از تنسی، اداره دره تنسی، اداره حفاظت از طبیعت تنسی و اداره حوضه رودخانه تنسی غربی است که برای نگهداری و حفاظت از منابع آب ایالت تنسی از طریق تقویت ارتباطات، همکاری‌ها، و برنامه‌ریزی مدبرانه با یکدیگر همکاری می‌کنند. نتایج حاصل از این مطالعه اطلاعات مفیدی را در اختیار THWI و سایر کسانی که در راستای حفاظت و احیای بوم‌سازگان‌های آبی ایالت تنسی فعالیت می‌کنند، قرار می‌دهد.

هدف اصلی از ارزیابی جامع سلامت آبخیز تنسی (از اینجا به بعد تحت عنوان ارزیابی می‌آید) شناسایی آبخیزهای سالم و تعیین سلامت نسبی آبخیزهای ایالت برای هدایت فعالیت‌های حفاظتی و احیایی در آینده است. یک آبخیز سالم دارای ساختار و عملکردی است که از

1. Tennessee

بوم‌سازگان‌های آبی سالم حمایت می‌کند. اجزای اصلی یک آبخیز سالم عبارت‌اند از:

- سلامت و دایر بودن آبراهه‌ها، دشت‌های سیلابی، حاشیه‌های کنار رودخانه‌ای[1]، مناطق بکر زیستی، زیستگاه‌های آبراهه‌ای و جوامع زیستی؛

2. Riparian corridors

- غالب بودن پوشش گیاهی طبیعی در چشم‌انداز؛ و
- هیدرولوژی، انتقال رسوب، ژئومورفولوژی آبرفتی، و رژیم‌های آشفته جریان مورد انتظار با توجه به موقعیت و شرایط منطقه.

در این گزارش روش‌های مورد استفاده در ارزیابی، نتایج، و همچنین پیشنهادهایی درباره موارد استفاده از نتایج ارزیابی ارائه شده است. این ارزیابی دارای رویکرد سامانه‌ای است که آبخیزها و بوم‌سازگان‌های آبی آن‌ها را به صورت سامانه‌های پویا و متصل در نظر می‌گیرد که به‌وسیلهٔ آب‌های سطحی، زیرزمینی، و حاشیه‌های رویشی طبیعی به هم متصل شده‌اند. سلامت آبخیز در مقیاس حوضه آبراهه با استفاده از مجموعه‌داده‌های مکانی موجود، داده‌های حاصل از مدل‌های پیش‌بینی به صورت کمی اندازه‌گیری شده است. ابتدا از این اطلاعات چند زیرشاخص مرتبط با سلامت بوم‌شناسی محیط آبی محاسبه شد و در نهایت شاخص جامع سلامت آبخیز از ترکیب این زیرشاخص‌ها اندازه‌گیری شد. در این مطالعه پتانسیل تخریب سلامت آبخیز در آینده تحت عنوان شاخص آسیب‌پذیری آبخیز گزارش شده است.

از جمله ویژگی‌های مهم این ارزیابی این است که از داده‌ها و مطالعات موجود برای تحلیل ویژگی‌های آبخیزها و بوم‌سازگان‌های آبی درون آن‌ها استفاده می‌کند. سازمان‌ها و اداره‌های مختلفی، جنبه‌های مختلف سلامت آبخیزها را در مقیاس ایالتی و منطقه‌ای ارزیابی می‌کنند. این پروژه از مجموعه داده‌های پراکنده این اداره‌ها برای ارائه تصویر کامل‌تری از سلامت آبخیزها در سراسر ایالت استفاده کرده است.

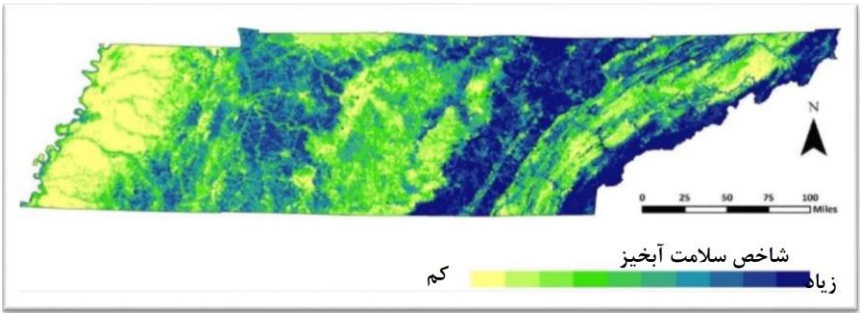
یکی از نتایج ارزیابی فراهم شدن یک پایگاه داده از معیارهای امتیازدهی سلامت آبخیز و اطلاعات مبتنی بر آبخیز است که می‌تواند به‌وسیلهٔ THWI و سایر گروه‌های مرتبط با برنامه‌ریزی حفاظت و احیای آبخیز مورد استفاده قرار گیرد. با استفاده از این پایگاه داده می‌توان آبخیزهای سالم را شناسایی کرد که در مقیاس محلی برای اقدامات حفاظتی در اولویت قرار دارند.

خروجی دوم این پروژه، چارچوب ارزیابی جامعی است که به‌وسیلهٔ EPA و گروه فنی THWI تهیه‌شده است. این چارچوب سبب درک بهتر از موارد زیر می‌شود: الف - ماهیت جامع شرایط فیزیکی، شیمیایی و زیستی بوم‌سازگان‌های آبی، ب - اثرات قابل توجه فرایندهای سرزمین در مقیاس آبخیز بر سلامت بوم‌سازگان آبزیان پ - لزوم نگرش سامانه‌ای به پیکره-های آبی به صورت قطعات متصل‌به‌هم به‌جای واحدهای مجزا. این چارچوب بستر مناسبی را برای سازمان‌ها و اداره‌های مرتبط با حفاظت و احیای منابع آب تنسی در ایالت‌های مختلف فراهم می‌کند تا همکاری و استفاده از یک رویکرد واحد را جایگزین مدیریت جزیره‌ای و بخشی‌نگری کنند. به مرور زمان و با از بین رفتن وقفه داده‌ها و نیز بهبود روش‌های ارزیابی، این چارچوب نیز به‌روزرسانی می‌شود.

در این پروژه سلامت نسبی آبخیزها (در مقیاس تقریباً ۲۵۸ هکتار) در سرتاسر ایالت تنسی بر اساس زیرشاخص‌هایی که بیانگر شرایط شش-گانه وضعیت چشم‌انداز، وضعیت زمین‌ریخت‌شناسی، وضعیت هیدرولوژیک، کیفیت آب، وضعیت زیستگاه و وضعیت زیست‌شناختی

هستند، مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای محاسبهٔ شاخص سلامت آبخیز نمرات این شش زیرشاخص ترکیب شد. شاخص آسیب‌پذیری آبخیزها نیز از ترکیب سه زیرشاخص شامل کاربری زمین، مصرف آب، و اقلیم که بیانگر تهدیدات بالقوه برای سلامت آبخیز در آینده هستند، محاسبه شده است.

نتایج را می‌توان برای هر معیار، زیرشاخص، شاخص سلامت، یا شاخص آسیب‌پذیری در مقیاس‌های مختلف (از کوچک‌ترین آبخیزها تا آبخیز بزرگ‌تر) ارائه داد. شکل الف شاخص سلامت آبخیز را در مقیاس کوچک‌ترین واحدها نشان می‌دهد. مناطقی که دارای بالاترین امتیاز شاخص سلامت آبخیز هستند در کوهستان‌های بلوریج و آپالاچی واقع در شرق تنسی و نیز در سرتاسر فلات واقع در بخش مرکزی ایالت پراکنده شده‌اند. این مناطق به دلیل پایداری ژئومورفولوژی، انحراف کم از جریان طبیعی آبراهه، کیفیت مناسب آب، و وضعیت نسبتاً خوب زیستگاهی قادر به پشتیبانی از جوامع زیستی مختلف هستند.



شکل الف – شاخص سلامت آبخیز برای ایالت تنسی

۱- کلیات

۱-۱- اهداف و موارد استفاده

در سال ۱۹۹۶، اداره محیط زیست و حفاظت تنسی (TDEC)، از رویکرد مبتنی بر آبخیز برای نظارت و ارزیابی منابع آب استفاده کرد. این رویکرد شامل شناسایی و اولویت‌بندی چالش‌های کیفیت آب در آبخیز، افزایش مشارکت عمومی، هماهنگی اقدامات با سایر سازمان‌ها، و سنجش میزان موفقیت از طریق پایش کارآمدتر و جمع‌آوری سایر داده‌ها است. قبل از اتخاذ این رویکرد، بیشتر اقدامات بر احیای آبراهه‌ها، رودخانه‌ها، و دریاچه‌های تخریب شده متمرکز بود. اگرچه در این راستا موفقیت‌هایی نیز حاصل شده بود اما آبراهه‌ها و دریاچه‌های متعددی به صورت تخریب‌یافته باقی‌مانده بود ضمن این‌که تخریب‌های جدیدی نیز به مرور شناسایی می‌شد. احیای پیکره‌های آبی تخریب‌یافته نه‌تنها پرهزینه است، بلکه منابع آب احیا شده قادر نیستند که خدمات بوم‌شناسی، اجتماعی، و تفریحی را مانند بوم‌سازگان‌های آبی سالم ارائه کنند؛ بنابراین برای حفظ خدمات بوم‌سازگان و پیشگیری از هزینه‌های فراوان اقدامات احیایی لازم است که اقدامات اجرایی بیشتر بر حفاظت از آبخیزهای سالم متمرکز شود. هدف اصلی پروژه ارزیابی جامع سلامت آبخیز تنسی (از این پس به اختصار به آن ارزیابی اطلاق می‌شود) تعیین سلامت نسبی آبخیزهای ایالت تنسی برای هدایت اقدامات حفاظتی و احیایی آینده است.

در این پروژه یک سری داده پراکنده و مختلف با هم تلفیق می‌شوند تا وضعیت فعلی بوم‌سازگان آبی و چشم‌انداز مورد ارزیابی قرار گیرد. بر اساس این ارزیابی، فرایندهای بیولوژیکی، شیمیایی، و فیزیکی با هم در

ارتباط و تعامل هستند و سلامت منابع آب و حفظ فرایندهای طبیعی آبخیز نیز در ارتباط با همین فرایندهای مختلف است. این مطالعه با تلفیق اطلاعاتی از ویژگی‌های مختلف محیط زیستی در مقیاس‌های مکانی و زمانی، چشم‌اندازی از سلامت آبخیز را در ایالت تنسی ارائه می‌کند. این مطالعه با استفاده از منابع مالی برنامه آبخیز سالم آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده (EPA)، و با همکاری طرح سلامت آبخیز تنسی (THWI) انجام شد. در این گزارش روش‌ها، نتایج و موارد مورد استفاده ارزیابی ارائه شده است؛ لذا خواهشمند است که خوانندگان محترم در هنگام مرور روش‌ها و تفسیر نتایج به نکات زیر در مورد حدود و دامنه ارزیابی توجه کنند:

- در این طرح سلامت نسبی آبخیزها با استفاده از یک سری معیارهای متمرکز بر ویژگی‌های طبیعی آبخیز و بوم‌سازگان‌های آب شیرین آن در سراسر ایالت تنسی مورد ارزیابی قرار گرفته است؛ بنابراین هیچ اظهار نظری در خصوص وضعیت مطلق آبخیز یا پیکره‌های آبی آن ارائه نمی‌شود و همچنین به دلیل محدود بودن معیارهای مورد استفاده، نتایج این طرح دربردارنده تأثیر معیارهایی که در تحلیل وضعیت سلامت در نظر گرفته نشده‌اند، نیستند.
- اطلاعات ارائه شده در خصوص سلامت نسبی آبخیز در این طرح برای شناخت مقدماتی و تعیین اولویت‌های حفاظتی در مقیاس کلان جغرافیایی (برای مثال سراسر ایالت یا واحدهای برنامه‌ریزی منطقه‌ای) در نظر گرفته شده است؛ بنابراین از داده‌های این طرح نباید به‌عنوان شواهدی برای تعیین اولویت‌های حفاظتی

ریزمقیاس استفاده کرد. در این راستا برای تصمیم‌گیری در مورد اولویت‌های حفاظتی، نتایج این طرح می‌بایست با استفاده از داده و اطلاعات تفصیلی مربوط به هر منطقه صحت‌سنجی شود.

۲-۱- برنامه آبخیزهای سالم

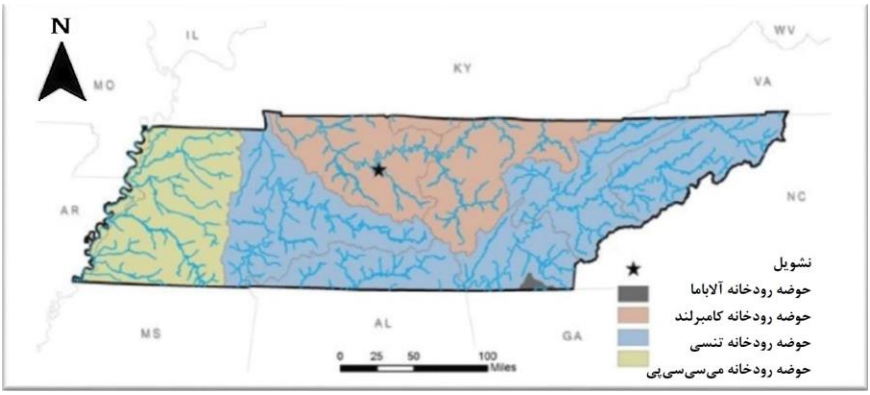
سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا برای حفاظت مؤثر و حمایت از آبخیزهای سالم باقی‌مانده پروژه‌ای را تحت عنوان برنامه آبخیزهای سالم راه‌اندازی کرده است (USEPA، ۲۰۱۲). آبخیز سالم آبخیزی است که در آن: الف - فرایندهای هیدرولوژیک و زمین‌ریخت‌شناسی آن به واسطه پوشش طبیعی اراضی در محدوده طبیعی قرار دارد ب - زیستگاه‌های مناسب از لحاظ مساحت و اتصال، برای حمایت از گونه‌های بومی آبی و کنار رودخانه‌ای وجود دارد و پ - کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب از جوامع زیستی حمایت می‌کند. پوشش گیاهی طبیعی آبخیز به ویژه در مناطق کنار رودخانه‌ای کمک می‌کند که رژیم جریان و نیز نوسانات تراز آب دریاچه‌ها و تالاب‌ها در محدوده طبیعی آن حفظ شود. این موضوع به نوبه خود باعث نگهداشت فرایندهای زمین‌ریخت‌شناسی طبیعی از قبیل ذخیره و بارگذاری رسوبات که اساس زیستگاه‌های آبی را تشکیل می‌دهد، می‌شود. اتصال زیستگاه‌های آبی و کنار رودخانه‌ای در ابعاد طولی، جانبی، عمودی، و همچنین زمانی باعث می‌شود که موجودات در بین زیستگاه‌ها جابه‌جا شده و جریان مواد شیمیایی و فیزیکی برقرار باشد. برای کسب اطلاعات بیشتر درباره پیشینه و گزارش‌های طرح می‌توان به پایگاه برنامه آبخیز سالم سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا مراجعه کرد (www2.epa.gov/hwp).

سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا پیشنهاد می‌کند که به‌کارگیری ارزیابی‌های جامع سلامت آبخیز به شناسایی آب‌های سالم کمک می‌کند و از این ابزار می‌توان برای اولویت‌بندی آبخیزها و پیکره‌های آبی آن‌ها برای اجرای اقدامات حفاظتی و یا احیایی استفاده کرد. در ارزیابی‌های جامع سلامت آبخیز اطلاعات مربوط به وضعیت چشم‌انداز، ژئومورفولوژی، هیدرولوژی، زیستگاه، شیمی آب و جوامع زیستی با هم ترکیب می‌شوند. در این ارزیابی یک سری داده پراکنده و متفاوت برای تبیین وضعیت فعلی و بوم‌سازگان آبی در سرتاسر ایالت تنسی با هم تلفیق می‌شوند. با ترکیب داده‌های چندرشته‌ای از مقیاس‌های مکانی چندگانه، ارزیابی‌های جامع سلامت آبخیز بیانگر درک کارشناسان از موارد زیر است:

- ماهیت به‌هم‌پیوسته شرایط فیزیکی، شیمیایی، و زیستی بوم‌سازگان‌های آبی (دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، نهرها و تالاب‌ها)؛
- اهمیت فرایندهای در مقیاس چشم‌انداز و آبخیز؛ و
- ضرورت درنظرگرفتن پیکره‌های آبی به صورت بخش‌های به هم پیوسته در داخل یک سامانه بزرگ‌تر به‌جای قطعات مجزایی که متأثر از چشم‌انداز پیرامون خود نیستند.

۳-۱- بررسی اجمالی مناطق بوم‌شناسی ایالت تنسی

ایالت تنسی دارای منابع آب غنی و متنوعی است که شامل آبراهه-های کوهستان بلوریج شرق ایالت تا دشت‌های پهناور آبرفتی رودخانه می-سی‌سی‌پی غرب ایالت می‌شود (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱- حوضه‌های رودخانه اصلی در ایالت تنسی

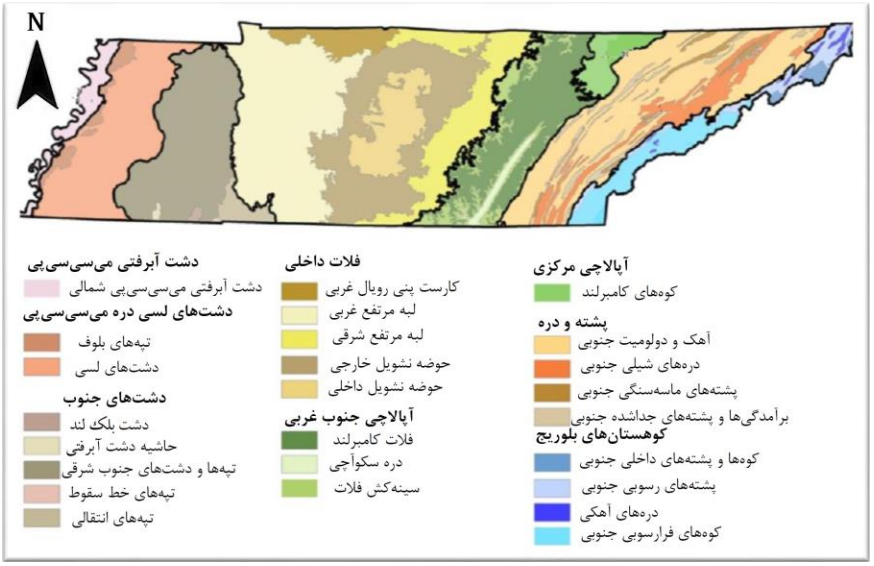
بارش زیاد منطقه و وجود انواع مختلف تالاب‌ها به ویژه در شرق ایالت زیستگاه‌های بسیاری را برای گونه‌های نادر گیاهی و جانوری فراهم آورده است. بخش کوچک و کم‌عمقی در رودخانه کلینچ زیستگاه دست‌کم ۳۵ گونه صدفی است که از این لحاظ بر روی زمین منحصر به فرد است. بازه‌های فوقانی و تحتانی رودخانه تنسی در طولی معادل ۳۶۰ مایل در ایالت جریان داشته و در نهایت به رودخانه اوهایو در مجاورت کنتاکی تخلیه می‌شوند. رودخانه کامبرلند، واقع در شمال مرکزی ایالت تنسی، از کوه‌های کنتاکی سرچشمه گرفته و پس از گذر از نشویل به رودخانه اوهایو می‌پیوندد. حوضه رودخانه می‌سی‌سی‌پی بخش غربی ایالت تنسی را دربر گرفته است. دریاچه ریلفوت[1] واقع در گوشه شمال غربی ایالت تنسی در اوایل دهه ۱۸۰۰ در اثر یک سری زمین‌لرزه‌های شدید ایجاد شد. این دریاچه اکنون یک زیستگاه مهم برای گروه‌های متعددی از پرندگان آبزی از جمله عقاب سرسفید است که برای تولیدمثل و گذران زمستان به این منطقه می‌آیند.

1. Reelfoot lake

در ایالت تنسی تعداد هشت منطقه بوم‌شناسی رده ۳ متشکل از ۲۵ منطقه بوم‌شناسی رده ۴ تشخیص داده شده است (شکل ۱-۲). در زیر شرح مختصری از مناطق بوم‌شناسی رده ۳ و ۴ که از Griffith و همکاران (۱۹۹۷) و Omernik و Griffith (۲۰۰۹) اقتباس شده، ارائه شده است.

دشت آبرفتی می‌سی‌سی‌پی[1]: این منطقه بوم‌شناسی رودخانه‌ای در امتداد رودخانه می‌سی‌سی‌پی یک دشت سیلابی مسطح و گسترده و حاوی تراس‌های رودخانه‌ای است. خاک این منطقه معمولاً زهکشی ضعیفی داشته، قبل از توسعه اراضی کشاورزی که در حال حاضر بیشتر سطح منطقه را فراگرفته، جنگل‌های خزان‌کننده پوشش گیاهی غالب در این منطقه بوده است. در ایالت تنسی از مناطق بوم‌شناسی رده ۴، فقط دشت آبرفتی می‌سی‌سی‌پی شمالی وجود دارد که از شرق به تپه‌های بلوف[2] و از غرب به رودخانه می‌سی‌سی‌پی محدود می‌شود. بیشتر این منطقه کم‌ارتفاع تحت کشت بوده و پوشش گیاهی طبیعی فقط در جنگل دشت سیلابی جنوبی قابل‌مشاهده است. مناطقی که زهکشی ضعیفی دارند ممکن است دارای تالاب‌های جنگلی باشد که زیستگاه پرندگان آبزی، پرندگان شکاری، و پرندگان آوازخوان مهاجری است که در این منطقه فراوانی نسبتاً زیادی دارند.

1. Mississippi alluvial plain
2. Bluff hills



شکل ۱-۲- مناطق بوم‌شناسی رده‌های ۳ و ۴ ایالت تنسی

دشت‌های لسی دره می‌سی‌سی‌پی[1]: این منطقه بوم‌شناسی در ایالت تنسی درواقع همان دشت سرسبز آبرفتی رودخانه می‌سی‌سی‌پی است که از دشت‌های نامنظم با پوشش گیاهی طبیعی شاه‌بلوط و کاج تشکیل‌شده است. آبراهه‌های کم‌شیب این منطقه معمولاً دارای بسترهای سیلتی هستند. تپه‌های بلوف و دشت‌های لسی دو منطقه بوم‌شناسی رده ۴ این منطقه در ایالت تنسی هستند. در منطقه بوم‌شناسی تپه‌های بلوف و در امتداد حاشیه دشت آبرفتی، آبراهه‌های کوچک‌تر شامل بخش‌هایی هستند که دارای بستر شنی و شیب بیشتری بوده و نوعی از زیستگاه‌های آبی را ایجاد می‌کنند که شامل مجموعه ماهی‌های متفاوت از زیستگاه‌های بالادست است. منطقه بوم‌شناسی دشت‌های لسی شامل دشت‌هایی نامنظم و کم‌شیبی است که بیشتر کاربری آن‌ها به اراضی کشاورزی تغییریافته

1. Mississippi valley loess plains

است اما هنوز برخی زیستگاه‌های مردابی سرو صمغی و جنگل‌های پایین‌دستی باقی‌مانده است. از این منطقه چند رودخانه بزرگ با دشت‌های سیلابی گسترده‌ای عبور کرده است و در این محدوده آبراهه‌ها دارای بسترهای سیلتی و ماسه‌ای هستند و بیشتر آن‌ها خطی شده‌اند.

دشت‌های جنوب شرقی[1]: این دشت‌های نامنظم در نیمه غربی ایالت تنسی و درست در شرق دشت‌های لسی دره می‌سی‌سی‌پی واقع شده‌اند که ارتفاع نسبتاً بالاتری داشته، از توپوگرافی ملایمی برخوردارند. آبراهه‌های این منطقه حرکت نسبتاً کند و بستر ماسه‌ای دارند. بیشتر این منطقه بوم‌شناسی در ایالت تنسی به منطقه بوم‌شناسی رده ۴ دشت‌ها و تپه‌های جنوب شرقی[2] اختصاص‌یافته است که پوشش گیاهی طبیعی آن جنگل بلوطی است که در جنوب به درختان بلوط گل مینا تبدیل می‌شود. چهار منطقه بوم‌شناسی رده ۴ دیگر در این منطقه که دارای مساحت‌های کوچکی هستند و در امتداد مرز جنوبی ایالت تنسی واقع شده‌اند، عبارت‌اند از: چمن‌زارهای بلکلند[3]، حواشی چمن‌زار آبرفتی[4]، تپه‌های خط سقوط[5]، و تپه‌های انتقالی[6]. در این منطقه تپه‌های انتقالی دارای ارتفاع بیشتری بوده و آبراهه‌های این منطقه شبیه به آبراهه‌های شفاف ماسه‌ای منطقه بوم‌شناسی فلات داخلی است که در بخش شرقی آن قرار گرفته است.

1. Southeastern plains
2. Southeastern plains and hills
3. Blackland prairie
4. Aluvial prairie margins/ flatwoods
5. Fall line hills
6. Transition hills

فلات داخلی[1]: فلات داخلی یک منطقه بوم‌شناسی متنوع و در ایالت تنسی متشکل از پنج منطقه بوم‌شناسی رده ۴ است که بخش‌های وسیعی از تنسی میانی را به خود اختصاص داده‌اند. این منطقه بوم‌شناسی دارای بیشترین تنوع ماهی در ایالت تنسی است. منطقه بوم‌شناسی رده ۴ حاشیه مرتفع غربی[2] داری تپه‌های نوردی[3] و آبراهه‌هایی با بسترهای شن و ماسه‌ای و آب نسبتاً صاف است. در شمال ایالت، چاله‌ها و فرورفتگی‌های کوچک در منطقه بوم‌شناسی کارست پنی‌رویال غربی[4] به‌طور معمول قابل‌مشاهده است. مناطق بوم‌شناسی حوضه نشویل درونی و بیرونی[5] در مرکز فلات داخلی واقع شده و به دلیل آبراهه‌های غنی از مواد مغذی، دارای گونه‌های ماهی فراوان و گاهی با تراکم زیاد ماهی هستند. بیشه‌سروهای آهکی[6] در حوضه نشویل داخلی حاوی پوشش گیاهی بی‌نظیر مرتعی و جنگلی است که دارای گونه‌های بومی متعددی بوده که منجر به شکل‌گیری گونه‌های مختلفی از دوزیستان و خزندگان در این منطقه شده است. در شرق و در مجاورت پرتگاه فلات کامبرلند[7]، منطقه بوم‌شناسی حاشیه مرتفع شرقی شامل چشمه‌های متعدد و مجموعه‌ای از ماهی‌های چشمه‌ای است. در این منطقه نیز چاله‌ها و فرورفتگی‌های کارستی به دلیل حضور سازندهای آهکی مشاهده می‌شوند.

آپالاچی‌های جنوب غربی[8]: این منطقه بوم‌شناسی در ایالت تنسی در وهله اول با منطقه بوم‌شناسی رده ۴ تراست[1] فلات کامبرلند مشخص

1. Interior plateau
2. Western highland rim
3. Rolling hills
4. Western pennyroyal karst
5. Inner and outer nashville basin
6. Limestone cedar glades
7. Cumberland plateau escarpment
8. Southwestern appalachians

می‌شود. این مناطق که دارای کوه‌های کمی نیز است نسبت به مناطق پست‌تر اطراف خود از بارش نسبی بیشتر و دمای سالانه سردتری برخوردارند. مرز شرقی این منطقه بوم‌شناسی نسبتاً هموار است و منتهی به آبراهه‌های کوچکی می‌شود که در جهت شرق به دره بزرگ تنسی شرقی زهکشی (منطقه بوم‌شناسی پشته و دره[2]) می‌شوند. در مرز غربی فلات کامبرلند، منطقه بوم‌شناسی رده ۴ دیواره فلات[3] با دامنه‌های جنگلی پرشیب، و آبراهه‌های پرشیب و آبشارهایی که در سنگ‌آهک شکافته شده-اند، مشخص می‌شود. این دره‌ها و تنگه‌ها محیط‌های مرطوب و خنکی را فراهم می‌کنند که می‌توانند جوامع گیاهی خاصی را در خود جای دهند مانند پایه‌های هملوک[4] (توده‌های جنگلی تسوگا یا سوزنی‌برگ عرض‌های جغرافیایی بالا) در امتداد آبراهه‌های صخره‌ای و توس (غان) [5] رودخانه‌ای در امتداد تراس‌های دشت سیلابی. سومین منطقه بوم‌شناسی رده ۴، دره سکوچی[6] است که در آن رودخانه سکوچی با فرسایش بلوک‌های سنگی فروریخته دره باریک و طولانی را در آن حفر کرده است.

آپالاچی‌های مرکزی[7]: این منطقه بوم‌شناسی در شمال ایالت تنسی به‌طور کامل از منطقه بوم‌شناسی رده ۴ کوه‌های کامبرلند[8] تشکیل‌شده است. از ویژگی‌های این منطقه توپوگرافی ناهموار، آب‌وهوای خنک، و خاک غیر حاصلخیز است که محدودکننده کشاورزی بوده، درنتیجه پوشش گیاهی این منطقه غالباً جنگلی است. دامنه‌های پرشیب و

1. Tableland
2. Ridge and Valley
3. Plateau escarpment
4. Hemlock stands
5. River birch
6. Sequatchie
7. Central appalachians
8. Cumberland mountains

دره‌های باریک و پیچ‌درپیچ، جداکننده پشته‌ها از هم می‌باشند. پوشش گیاهی طبیعی منطقه آمیزه‌ای از جنگل‌های مزوفیتی است هر چند که تنوع و فراوانی گونه‌ها تا حد زیادی وابسته به خرداقلیم‌های منطقه دارد. فعالیت‌های معدنی (استخراج نواری زغال‌سنگ) در کوه‌های کامبرلند منجر به رسوب‌گذاری و اسیدی شدن آبراهه‌های این منطقه شده است.

پشته و دره[1]: این منطقه کم‌ارتفاع که به دره بزرگ تنسی شرقی نیز معروف است در حد واسط کوه‌های بلوریج در شرق و فلات کامبرلند در غرب واقع شده و دارای زیستگاه‌های آبی متنوع و مجموعه‌ای غنی از ماهی‌ها است. در این منطقه دارای چشمه‌ها و غارهای فراوانی است. این منطقه بوم‌شناسی دارای چهار منطقه بوم‌شناسی رده ۴ است که وسیع‌ترین آن‌ها سنگ‌آهک جنوبی یا دره‌های دولومیتی و تپه‌ماهورهایی[2] است که بیشتر حالت دره و پشته دارند. جنگل بلوط سفید، جنگل بلوط دشتی، و جنگل‌های کنار رودخانه‌ای چنار و سنجد از انواع معمول جنگل در این منطقه هستند. منطقه بوم‌شناسی رده ۴ دره‌های شیلی جنوبی[3] شامل اراضی پست و دره‌های موجی است که خاک‌ها زهکشی مناسبی داشته، معمولاً کمی اسیدی هستند. پشته‌های ماسه‌سنگ جنوبی[4] و دره-های ماسه‌ای با خاک ضعیف، دو منطقه دیگر بوم‌شناسی رده ۴ این منطقه می‌باشند.

کوه‌های بلوریج[5]: کوه‌های بلوریج در شرق ایالت تنسی را می‌توان از طریق ویژگی‌هایی نظیر دامنه‌های جنگلی و آبراهه‌های پرشیب و سرد

1. Ridge and valley
2. Southern limestone/dolomite valleys and the low rolling hills
3. Southern shale valleys
4. South sandstone ridges
5. Blue ridge mountains

تشخیص داد. در ارتفاعات این منطقه با بیش از ۱۸۰۰ متر ارتفاع، بارش سالانه حدود ۲۰۰۰ میلی‌متر است. بلوریج جنوبی یکی از غنی‌ترین مراکز تنوع زیستی در شرق آمریکا است. آبراهه‌های بلوریج حاوی مجموعه مشخصی از ماهی‌هاست که از جمله آن‌ها می‌توان به قزل‌آلای بروک[1] که تنها سالمون بومی تنسی است، اشاره کرد. در مناطق بدون شیب نیز تالاب‌ها، آبگیرها و مرداب‌هایی موجود است که زیستگاه‌های متنوعی را فراهم می‌کنند. این زیستگاه‌های تالابی باوجود درصد مساحت کم، از اهمیت خاصی برای گونه‌های گیاهی و جانوری کمیاب برخوردارند. مناطق بوم‌شناسی رده ۴ کوه‌های بلوریج عبارت از کوه‌ها و پشته‌های آذرین جنوبی[2]، پشته‌های رسوبی جنوبی[3]، غارها و دره‌های آهکی[4]، و کوه‌های رسوبی - دگرگونی جنوبی[5] می‌باشند. روش‌های مورد استفاده

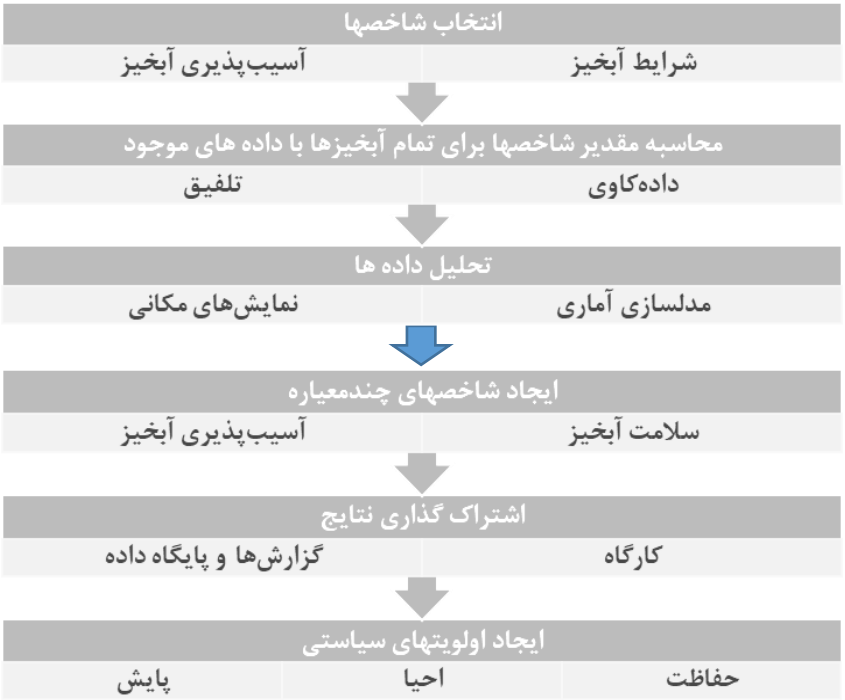
۱-۲- تشریح فرایند ارزیابی

این ارزیابی به‌وسیلهٔ برنامه آبخیزهای سالم EPA و با مشارکت THWI انجام‌شده است. THWI یک بنیاد همکاری سازمان‌های فدرال (سطح ملی)، ایالتی (استانی) و غیرانتفاعی است که متعهد به حفظ و بهبود منابع آب در آبخیزهای تنسی هستند. THWI در اوت ۲۰۱۱ تحت تفاهم‌نامه‌ای[6] که مابین اداره محیط زیست و حفاظت تنسی[7]، سازمان عمران دره تنسی[8]، اداره حفاظت از طبیعت تنسی[9]، و سازمان حوضه

1. Brook trout
2. Southern Igneous Ridges and Mountains
3. Southern sedimentary ridges
4. Limestone valleys and coves
5. Southern metasedimentary mountains
۶. Memorandum of Understanding (MOU)
۷. Tennessee Department of Environment and Conservation (TDEC)
۸. Tennessee Valley Authority (TVA)
۹. Tennessee Chapter of The Nature Conservancy (TNC)

رودخانه تنسی غربی راه‌اندازی شد. امضاکنندگان تفاهم‌نامه قبول دارند که بسیاری از سازمان‌های دولتی و غیردولتی علاقه‌مند به موضوع سلامت آبخیزهای تنسی بوده و می‌بایست در این زمینه نقش ایفا کنند. این تفاهم‌نامه و THWI، زمینه لازم را برای مشارکت سایرین بسته به سطح علاقه و توانایی آن‌ها فراهم می‌آورند تا در برنامه یک آبخیز واحد، یک منطقه از ایالت یا کل ایالت تنسی مشارکت کنند (THWI ، ۲۰۱۵). برای مطالعه بیشتر درباره این تلاش مشترک می‌توان به پایگاه آبخیز سالم تنسی مراجعه کرد (https://www.tn.gov/environment/article/wr-ws-تنسی-healthy-watershed-initiative).

برای این ارزیابی، اداره حفاظت از طبیعت بخش تنسی به‌عنوان رهبر سازمان THWI، مسئول گردآوری نمایندگان سازمان‌های فدرال و ایالتی (به‌عنوان مثال TVA، TDEC، سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده، گروه مهندسین ارتش ایالات متحده - منطقه نشویل، آژانس منابع حیات وحش تنسی) برای عضویت و فعالیت در گروه فنی بود. اعضای گروه فنی در تمام مراحل ارزیابی مشارکت فعالی را در زمینه‌های مختلف نظیر ارائه داده‌ها و اطلاعات لازم برای ارزیابی، مرور رویکرد فنی ارزیابی، و نیز ارائه نقطه‌نظرات در مورد تحلیل‌های مقدماتی و تهیه پیش‌نویس گزارش داشتند. نقشه راه ارزیابی در شکل ۲-۱ ارائه شده است.



شکل ۲-۱- نقشه راه ارزیابی

اولین گام ارزیابی انجام یک پایش میدانی و ایجاد داده‌های مکانی برای ارزیابی وضعیت فعلی چشم‌انداز، ژئومورفولوژی، هیدرولوژی، زیستگاه، کیفیت آب، و نیز وضعیت زیستی در سرتاسر ایالت تنسی بود. داده‌ها به‌طور مستقیم از گروه فنی و سایر منابع موجود مانند بانک ذخیره‌سازی و بازیابی اطلاعات سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا و سامانه اطلاعات ملی آب سازمان زمین‌شناسی آمریکا جمع‌آوری شد. بر اساس داده‌های موجود، رویکرد فنی ارزیابی به‌وسیلهٔ گروه فنی طی یک جلسه حضوری تهیه و بررسی شد. این جلسه شامل بررسی داده‌های موجود، بحث در مورد روش‌های مکانی و آماری، و بحث در مورد معیارهای سلامت و

آسیب‌پذیری آبخیز آزمونه[1] بود. قبل از اجرای رویکرد فنی، اعضای گروه فنی در مورد جنبه‌های کلیدی رویکرد فنی اجماع کردند. نتایج اولیه از طریق یک سری وبینارها به گروه فنی ارائه شد و طی آن اصلاحات دیگری نیز در رویکرد فنی انجام گرفت.

۲-۲- چارچوب مفهومی

سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا سلامت آبخیز را تلفیقی از شش ویژگی متمایز اما مرتبط با هم در نظر می‌گیرد که عبارت‌اند از: ۱) وضعیت چشم‌انداز، ۲) وضعیت زمین‌ریخت‌شناسی، ۳) وضعیت هیدرولوژیک، ۴) کیفیت آب، ۵) وضعیت زیستگاه و ۶) وضعیت زیستی (شکل ۲-۲؛ USEPA ، ۲۰۱۲). یک ارزیابی جامع سلامت آبخیز می‌بایست وضعیت تمام شش ویژگی مذکور را در نظر بگیرد.

۱. Pilote

شکل ۲-۲- اجزای شش‌گانه سلامت آبخیز

داده‌هایی که برای تعیین کمی معیارهای سلامت آبخیز به‌کار می‌روند، درواقع بیانگر وضعیت و شرایط فعلی می‌باشند. ازآنجاکه سلامت آبخیز یک ویژگی پویا است که می‌تواند در آینده در اثر تغییرات اقلیمی و یا فعالیت‌های انسانی تغییر کند، بنابراین آسیب‌پذیری سلامت آبخیز با توجه به شرایط آینده نیز مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. آسیب‌پذیری با استفاده از یک سری معیارهای آسیب‌پذیری آبخیز که بیانگر تغییرات احتمالی کاربری زمین، اقلیم، و مصارف آب در آینده است، به‌طور کمی محاسبه می‌شود.

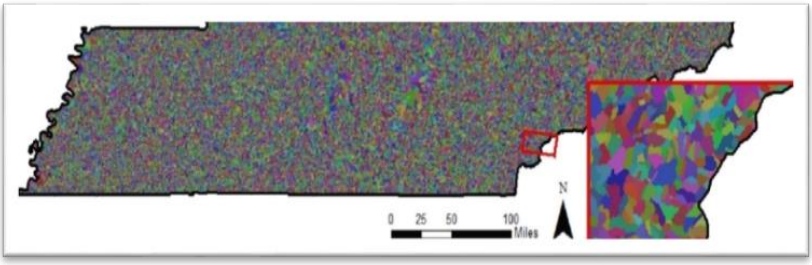
۳-۲- چارچوب مکانی

برای چارچوب مکانی ارزیابی از آبخیزهای کوچک ارائه شده در نسخه دوم پایگاه داده هیدروگرافی ملی[۱]، بهره‌گیری شد. پایگاه داده هیدروگرافی ملی دربردارنده داده‌های مربوط به تمام آبراهه‌های ملی و آبخیزهای آن‌ها باقدرت تفکیک مکانی متوسط است. در این پایگاه آبخیزهای هر آبراه مجزا که بیانگر منطقه‌ای با مساحت متوسط حدود ۱۵۵ هکتار هستند، دارای یک کد منحصربه‌فرد هستند. در جدول جداگانه‌ای برای هر یک از این کدهای آبخیزها مشخص‌شده است که هر آبخیز دربردارنده چه کدها (زیرحوضه‌هایی) است و تصویر روشن و کاملی از روابط هیدرولوژیک در شبکه آبراهه‌ها در مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ ارائه شده

۱. National Hydrography Dataset Plus (NHDPlus)

است. ایالت تنسی دربردارنده ۶۱،۸۵۹ آبخیز در پایگاه داده هیدروگرافی ملی است (شکل ۲-۳).

روابط هیدرولوژیکی که در پایگاه داده هیدروگرافی ملی ارائه شده است این امکان را فراهم می‌سازد که ویژگی‌های آبخیز (به‌عنوان مثال، مساحت زهکشی، طول جریان، کاربری زمین) را برای هر آبراهه‌ای که در تنسی واقع شده است، بتوان در دو مقیاس بخشی[۱] و تجمعی[۲] محاسبه کرد (شکل ۲-۴).



شکل ۲-۳- چارچوب مکانی ارزیابی

در این راستا لازم به ذکر است که متغیرهای بخشی، منحصراً بیانگر شرایط داخل مرز آبخیز هستند اما متغیرهای تجمعی، بیانگر شرایط سرتاسر آبخیزهای بالادست هستند که به صورت یک عدد برای آبخیز پایین‌دست ارائه می‌شوند.

مقادیر تجمعی ازآنجاکه شرایط بالادست امکان تأثیر بر سلامت یک آبراهه خاص را دارد، در ارزیابی گنجانده شده‌اند. به‌عنوان مثال، در یک آبخیزی که وضعیت نفوذپذیری اراضی آن برای حالت بخشی مناسب باشد، انتظار بر این است که درصد نفوذناپذیری زیاد آبخیز در حالت تجمعی دارای

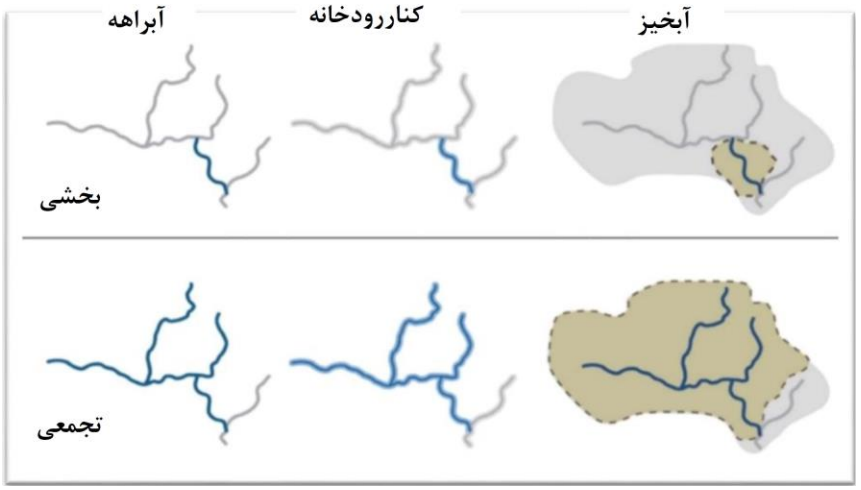
---

۱. Incremental

۲. Cumulative

اثراتی بر جوامع زیستی پایین‌دست باشد. علاوه‌بر این نوع مزایایی که در تحلیل‌ها به کار می‌آیند، آبخیزهای پایگاه داده هیدروگرافی ملی را می‌توان برای مقیاس‌های بزرگ‌تر حوضه با هم تجمیع کرد. این موضوع باعث افزایش انعطاف‌پذیری گزارش‌دهی برای سایر مقیاس‌های آبخیز می‌شود که برای اهداف یا مدیریت چندگانه مناسب است.

سنجه‌های سلامت و آسیب‌پذیری آبخیز بر اساس مقیاس‌های بخشی و تجمعی برای هر حوضه به‌طور کمّی محاسبه شد. برای محاسبه برخی از معیارها می‌بایست شامل یک سری از داده‌های مکانی موجود را بر پایه آبخیزها خلاصه کرد. سایر معیارها با استفاده از مدل‌هایی که بیانگر روابط بین شرایط آبراهه و متغیرهای چشم‌انداز هستند، به‌طور کمّی محاسبه شدند. پایگاه داده هیدروگرافی ملی از طریق اختصاص یک کد عددی منحصربه‌فرد برای هر آبخیز و البته آبخیزهای بالادست و پایین‌دست، این قابلیت را دارد که داده‌های آبخیزها را از حالت بخشی به تجمعی تعمیم داد.



شکل ۲-۴- تفاوت مقیاس‌های بخشی و تجمعی در فرایند کمّی‌سازی متغیرهای آبخیز (مرز خط‌چین).

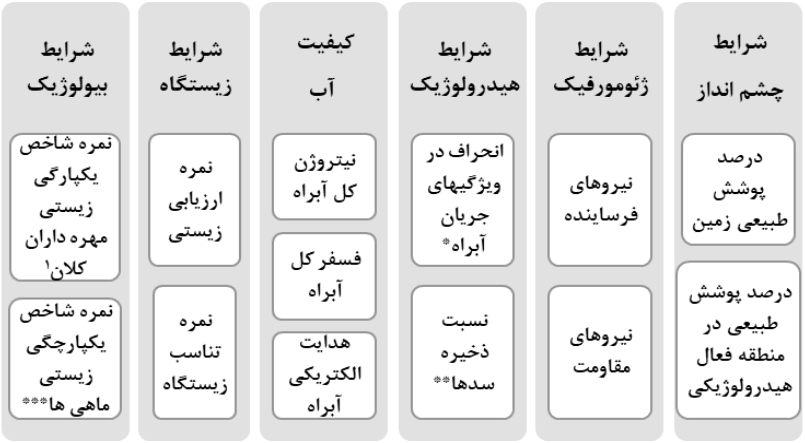
نکته دیگری که در مورد چارچوب مکانی ارزیابی باید به آن توجه داشت مربوط به متفاوت بودن مقیاس تحلیل و مقیاس تفسیر موردنظر است. اگرچه در فرایند ارزیابی، آبخیزهای پایگاه داده هیدروگرافی ملی به‌عنوان واحدهای تجزیه و تحلیل مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما هدف این نیست که نتایج برای ارزیابی شرایط آبخیزها به‌طور جداگانه مورد استفاده قرار گیرند. نتایج این ارزیابی را می‌بایست برای شناخت الگوها و اولویت‌بندی آبخیزها برای اقدامات حفاظتی و احیایی در مناطق وسیع جغرافیایی در نظر گرفت. برای مطالعه بیشتر درباره کاربردهای متصور از این ارزیابی می‌توان به بخش ۵ مراجعه کرد.

۴-۲- سنجه‌های سلامت آبخیز

سنجه‌های سلامت آبخیز برای هر حوضه در مقیاس‌های بخشی و تجمعی به‌طور کمّی محاسبه شد. سنجه‌ها فراوانی مورد بررسی قرار گرفتند اما انتخاب نهایی سنجه‌ها برای استفاده در ارزیابی بر اساس عواملی از جمله قدرت پایگاه داده، خوبی برازش مدل، فراهم بودن داده‌ها در کل ایالت، و ورودی از گروه فنی THWI صورت گرفت.

با برگزاری یک سری وبینار با اعضای گروه فنی THWI، شاخص‌های سلامت آبخیز متناسب با ایالت تنسی و ذی‌نفعان آن و با توجه به در دسترس بودن داده‌ها، شناسایی شدند. در این وبینارها درباره هر شش ویژگی سلامت آبخیز که مدنظر آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکاست، مباحثاتی صورت گرفت تا اطمینان حاصل شود که تمامی جنبه‌های سلامت آبخیز مدنظر قرار گرفته است. شاخص‌های بوم‌شناسی

برای ویژگی‌های زیر محاسبه‌شده است: ۱) وضعیت چشم‌انداز، ۲) وضعیت زمین‌ریخت‌شناسی، ۳) وضعیت هیدرولوژیک، ۴) کیفیت آب، ۵) وضعیت زیستگاه و ۶) وضعیت زیستی (شکل ۲-۵).



شکل ۲-۵- سنجه‌های سلامت آبخیز مورد استفاده در ارزیابی

*: آبراهه‌های تنظیم‌نشده (فاقد سد)، **: آبراهه‌های تنظیم‌شده، ***: فراهمی داده‌ها فقط برای مناطق بوم‌شناسی بلوریج و دره و پشته.

روش‌های استفاده‌شده در این ارزیابی، در ارزیابی‌های مشابه برای ایالت‌های ویسکانسین، کالیفرنیا و آلاباما نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند. برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد ارزیابی‌های قبلی در ایالت‌های مذکور می‌توان به پایگاه برنامه آبخیزهای سالم آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا (http://www2.epa.gov/hwp) مراجعه کرد.

برای محاسبه معیارهای سلامت آبخیزهای ایالت تنسی از سه رویکرد استفاده شد. در رویکرد اول مقادیر شاخص‌ها مستقیماً از داده‌های

۱. Macroinvertebrate index of biotic integrity

مکانی جغرافیایی که برای کل ایالت تنسی ارائه شده‌اند، (مانند کاربری زمین، درصد پوشش جنگل، درصد نفوذناپذیری) محاسبه شد و برای محاسبه زیرشاخص‌های وضعیت چشم‌انداز و وضعیت زمین‌ریخت‌شناسی مورد استفاده قرار گرفت. در رویکرد دوم از داده‌های مکانی برای تعیین بعضی از شرایط آبخیز (به‌عنوان مثال، مساحت آبخیز و شرایط خاک) استفاده شد که در مرحلهٔ دوم با به‌کارگیری مدل‌های رگرسیون موجود این موارد خود به‌عنوان متغیرهای مستقل (پیش‌بینی‌کننده) برای تعیین ویژگی‌های جریان مورد استفاده قرار می‌گیرند. این داده‌ها برای تعیین زیرشاخص شرایط هیدرولوژیکی استفاده شد.

در رویکرد سوم با استفاده از مدل‌های آماری، شرایط جریان با توجه به ویژگی‌های چشم‌انداز پیش‌بینی و مورد استفاده قرار گرفت. مدل‌های آماری بر اساس پایش داده‌های میدانی بود که از سراسر ایالت تنسی جمع‌آوری شده بودند. از آنجا که بسیاری از آبخیزهای واقع در ایالت تنسی فاقد داده‌های میدانی مورد پایش بودند، بنابراین در این آبخیزها شرایط آبخیز با استفاده از مدل‌های آماری پیش‌بینی شد. این رویکرد برای تعیین زیرشاخص‌های وضعیت زیستگاه، کیفیت آب و وضعیت زیستی مورد استفاده قرار گرفت. رتبه‌بندی سلامت نسبی شرایط آبخیز بر اساس ترکیبی از داده‌های واقعی و پیش‌بینی‌شده صورت پذیرفت. برای کسب اطلاعات بیشتر در خصوص رتبه‌بندی آبخیزها می‌توان به پیوست ۵ مراجعه کرد.

منابع اصلی داده برای زیرشاخص‌های وضعیت زیستگاه، کیفیت آب و وضعیت زیستی نمونه‌های میدانی بودند که طی برنامه‌های مختلف پایش ایالتی و فدرال برای منطقه جمع‌آوری شده بودند. با این حال این داده‌های

میدانی برای تمام آبخیزهای پایگاه داده هیدروگرافی ملی در تنسی موجود نبود. از داده‌های پایش شدهٔ موجود و نیز بهره‌گیری از مدل‌های آماری رگرسیونی برای پیش‌بینی وضعیت زیستگاه، کیفیت آب و زیستی در آبخیزهای فاقد آمار مشاهداتی استفاده شد. در این مدل‌های آماری مقادیر شاخص‌های زیستگاه، کیفیت آب و شرایط زیستی برای آبخیزهای فاقد داده از طریق برقراری روابط کمّی بین چشم‌انداز و سایر ویژگی‌های آبخیز پیش‌بینی می‌شود. متغیرهای چشم‌انداز بیانگر وضعیت پوشش زمین، ارتفاع، زمین‌شناسی و ویژگی‌های کانال جریان در دو مقیاس بخشی (آبخیز) و تجمعی هستند (شکل ۲-۴). متغیرهای دیگری نظیر تاریخ نمونه‌برداری نمونه‌های میدانی نیز مورد استفاده قرار گرفت. چشم‌انداز و دیگر متغیرهای کمّی که برای مدل‌سازی آماری مورد استفاده قرار گرفتند در جدول ۲-۱ ارائه شده است.

روش‌ها و رویکردهای مدل‌سازی آماری مورد استفاده در ارزیابی هر بخش در بخش‌های مناسب بعدی تشریح می‌شوند. همچنین اطلاعات تکمیلی برای شرایط زمین‌ریخت‌شناسی در پیوست ۲، برای شرایط هیدرولوژیکی در پیوست ۳، و برای کیفیت آب، زیستگاه و شرایط زیستی در پیوست ۴ ارائه شده است.

جدول ۲-۱- چشم‌انداز و سایر متغیرهای مورد استفاده در مدل‌های آماری

پوشش اراضی آبخیز	درصد اراضی طبیعی، درصد پوشش جنگلی، درصد کشاورزی، درصد اراضی دست‌خورده، درصد اراضی جنگل‌کاری شده، درصد سطوح غیر قابل نفوذ (در دو مقیاس بخشی و تجمعی آبخیز)

چشم‌انداز	مساحت آبخیز، مساحت کل اراضی زهکشی شده بالادست، ارتفاع کمینه و بیشینه آبراهه، ارتفاع متوسط حوضه، فرسایش‌پذیری متوسط خاک (عامل K)
زمین‌شناسی	عمق سنگ‌بستر، زمین‌شناسی سطحی غالب، سنگ‌بستر غالب
ویژگی‌های کانال آبراهه	درجه سینوسی، طول آبراهه، رده آبراهه، شیب کانال آبراهه

ادامه جدول ۲-۱- چشم‌انداز و سایر متغیرهای مورد استفاده در مدل‌های آماری

نمونه	درصد اراضی طبیعی، درصد پوشش جنگلی، درصد کشاورزی، درصد اراضی دست‌خورده، درصد سطوح غیر قابل نفوذ (در دو مقیاس بخشی و تجمعی آبخیز)
پوشش اراضی کنار رودخانه	درصد اراضی طبیعی، درصد جنگل، درصد کشاورزی، درصد مناطق آشفته، درصد طبقه کاربری اراضی، درصد سطح غیر قابل‌نفوذ (هم در حوضه آبریز و هم تجمعی)

سنجه‌های سلامت و آسیب‌پذیری آبخیز (بخش ۵-۲ را ملاحظه کنید) برای گزارش سنجه، و محاسبات زیرشاخص و شاخص نهایی به‌طور رتبه‌ای نرمال شدند. نرمال‌سازی رتبه‌ای یک یا چند متغیر را به یک توزیع و مقیاس یکنواخت مثلاً از صفر تا ۱۰۰ تبدیل می‌کند. این مقیاس یکنواخت و مشترک اجازه مقایسه بین متغیرهایی که دارای واحد و مقیاس متفاوتی هستند، فراهم می‌کند. همچنین نرمال‌سازی رتبه‌ای نسبت به داده‌های پرت یا مقادیر حدی حساس نیست و از این بابت نسبت به سایر روش‌های نرمال‌سازی که در صورت وجود داده پرت باعث

فشردگی بیش از حد توزیع نرمال می‌شوند، ارجحیت دارد (Mitchell، ۲۰۱۲). پس از نرمال‌سازی میزان همبستگی بین تمام زیرشاخص‌های سلامت آبخیز بررسی شد تا مشخص شود که آیا رابطه‌ای بین این پارامترهای محاسبه‌شده وجود دارد یا خیر. نتایج بررسی همبستگی (در صورت نبود هم‌خطی) از ترکیب همه زیرشاخص‌ها برای ایجاد یک شاخص کلی که بیانگر سلامت نسبی آبخیز است، پشتیبانی می‌کند ولی در صورت وجود همبستگی (هم‌خطی) نباید زیرشاخص‌ها را برای محاسبه شاخص نهایی سلامت آبخیز با هم ترکیب کرد. اطلاعات تکمیلی در خصوص روش‌های نرمال‌سازی رتبه‌ای و نتایج تحلیل همبستگی در پیوست ۵ ارائه شده است.

۱-۴-۲- سنجه‌های وضعیت چشم‌انداز

وضعیت چشم‌انداز با میزان پوشش طبیعی زمین در پهنه آبخیز به ویژه در مناطقی مانند دشت‌های سیلابی، اراضی کنار رودخانه‌ای و تالاب‌ها توصیف می‌شود. پوشش زمین عبارت است از پوشش فیزیکی سطح زمین که شامل پوشش گیاهی انسان‌ساخت و طبیعی و کاربری‌های مربوطه است که دارای نقش مهمی در چرخه آب هستند. آب حاصل از بارش باران یا ذوب برف برای رسیدن به آبراهه، رودخانه، یا دریاچه می‌تواند دو مسیر متفاوت الف) نفوذ در خاک و تبدیل‌شدن به آب زیرزمینی و ب) به شکل رواناب سطحی را طی کند. دراین‌رابطه پوشش زمین دارای نقشی اساسی در انتخاب مسیر جریان آب، مدت‌زمان لازم برای طی‌کردن مسیر، و البته میزان رسوب، مواد مغذی و سایر ترکیبات موجود در آب است. در این ارزیابی فرض بر این است که پوشش زمین با جوامع طبیعی نظیر جنگل‌ها

و تالاب‌ها وضعیتی از چشم‌انداز هستند که دارای اثرات منفی بر سلامت آبخیز نیستند؛ بنابراین دو معیار اصلی برای ارزیابی وضعیت چشم‌انداز عبارت‌اند از الف) میزان پوشش طبیعی زمین در پهنه آبخیز و ب) میزان پوشش طبیعی زمین در دشت‌های سیلابی و اراضی کنار رودخانه‌ای هر آبخیز.

برای تعیین شرایط فعلی چشم‌انداز آبخیزهای تنسی از پایگاه ملی پوشش زمین در سال ۲۰۱۱ (Homer؛NLCD و همکاران، ۲۰۱۵) استفاده شد. NLCD دارای یک طبقه‌بندی پوشش زمین ۱۵ طبقه با تفکیک مکانی ۳۰ متر است. سایر محصولات NLCD نظیر درصد اراضی نفوذناپذیر ناشی از توسعه (Xian و همکاران، ۲۰۱۱) و درصد داده‌های تاج‌پوشش جنگلی نیز در سایر قسمت‌های ارزیابی مورد استفاده قرار گرفتند. طبقه‌بندی ۱۵ طبقه NLCD دارای مقیاس بزرگی بوده، یک توصیف کلی را از وضعیت چشم‌انداز ارائه می‌کند؛ لذا برای افزایش دقت و توصیف جزئی‌تر وضعیت واقعی پوشش زمین، اصلاحاتی در طبقه‌بندی ۱۵ طبقه NLCD با استفاده از دو منبع داده دیگر ایجاد شد و در این ارزیابی از یک طبقه‌بندی ۱۷ طبقه استفاده شد (جدول ۲). دو منبع دیگر برای اصلاح عبارت بودند از: الف) نقشه پوشش زمین حاصل از برنامه تحلیل گپ جنوب شرقی[۱] و نقشه جنگل‌های تحت مدیریت که به‌وسیلهٔ TNC تولیدشده است.

در ایالت تنسی تعداد ۷۱ واحد طبقه‌بندی گپ جنوب شرقی وجود دارد که هر واحد نیز دربردارنده طبقهٔ NLCD مربوطه است. در این ارزیابی و با به‌کارگیری داده‌های گپ جنوب شرقی، تعداد نه جامعه در گروه پوشش زمین با جوامع طبیعی قرار گرفتند که بر اساس طبقه‌بندی NLCD

۱. Southeast Gap Analysis Program (SE-GAP)

و عدم به‌کارگیری داده‌های گپ جنوب شرقی جزو جوامع غیرطبیعی یا نیمه‌طبیعی طبقه‌بندی می‌شدند. در جدول دو نوع جدیدی از پوشش زمین که تحت عنوان "گپ جنوب شرقی" آمده است، ترکیبی از این جوامع متشکل از قله‌های سنگی، صخره‌ها، علفزارها، بوته‌زارها، و چمن-زارها است. طبقه جدید دیگر پوشش زمین، اراضی جنگلی تحت مدیریت است که معمولاً دارای یک گونه جنگلی هستند. فعالیت‌های مدیریتی می-تواند هیدرولوژی طبیعی را تغییر داده و بر کیفیت آب، زیستگاه و جوامع زیستی آبراهه‌های اطراف اثر گذارد؛ بنابراین، در این ارزیابی یک طبقه مجزا تحت عنوان جنگل‌های تحت مدیریت به‌عنوان یک پوشش نیمه-طبیعی زمین اضافه شد. برای شناسایی جنگل‌های تحت مدیریت از دو منبع داده استفاده شد. یک سری داده به‌وسیلهٔ مؤسسه فضای باز[۱] ایجادشده که اساس آن را ممیزی مالکیت زمین انجام پذیرفته است. سری دوم داده‌ها به‌وسیلهٔ TNC ایجادشده است و به صورت ترکیب با جوامع گپ جنوب شرقی است، طبقاتی تحت عنوان مزارع همیشه سبز و قطع کامل جنگل‌هاست که با داده‌های پارسل در مقیاس شهرستان بر اساس مالکیت زمین شرکت‌های چوبی ادغام شد.

سنجه‌های وضعیت چشم‌انداز بر اساس میزان اراضی طبیعی، نیمه-طبیعی و غیرطبیعی پایه‌گذاری شد. اراضی طبیعی اراضی هستند که وضعیت زیستی و فیزیکی سطح زمین در آن‌ها دستخوش تغییرات ناشی از دخالت‌های انسانی نشده است هر چند که ممکن است درگذشته دچار تغییرات و آشفتگی‌هایی شده باشند. اراضی طبیعی شامل اراضی جنگلی، تالاب‌ها، صخره‌ها، اراضی بدون پوشش کوهستانی و چمن‌زارها است.

۱. Open Space Institute (OSI)

اراضی نیمه‌طبیعی اراضی هستند که دارای پوشش گیاهی بوده ولی در شرایطی غیرطبیعی نگهداری می‌شوند و یا این‌که در حال بازیابی آشفتگی هستند. از جمله اراضی نیمه طبیعی می‌توان به بوته‌زارها، علفزارها و جنگل‌های صنعتی اشاره کرد. اراضی غیرطبیعی اراضی هستند که به دلیل مصارف انسانی تغییریافته و طوری نگهداری و مدیریت می‌شوند که با ترکیب پوشش گیاهی طبیعی سازگار نیست. اراضی غیرطبیعی شامل پارک‌ها، چمن‌ها، شهرها، مناطق مسکونی، محصولات زراعی ردیفی و چراگاه‌هاست.

درصد پوشش طبیعی زمین: برای نشان‌دادن اهمیت پوشش طبیعی زمین در ارزیابی سلامت آبخیز از سنجه درصد پوشش طبیعی زمین استفاده می‌شود. سنجه درصد پوشش طبیعی زمین نیز از طریق مجموع مساحت انواع پوشش طبیعی به‌علاوه ۷۵ درصد مساحت انواع پوشش نیمه‌طبیعی آبخیز، تقسیم بر مساحت آبخیز ضرب در ۱۰۰ محاسبه می‌شود.

درصد پوشش طبیعی زمین در منطقه فعال هیدرولوژیکی[1]: علاوه‌بر نوع پوشش پهنه آبخیز، پوشش اراضی حاشیه رودخانه‌ها، آبراهه‌ها، و دریاچه‌ها نیز وضعیت سامانه آبی حوضه بسیار مؤثر است. این منطقه که در این ارزیابی از آن به‌عنوان منطقهٔ فعال هیدرولوژیکی یاد می‌شود، ترکیبی است از منطقه کنار رودخانه‌ای و منطقه متصل هیدرولوژیکی که به‌وسیلهٔ سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا به‌عنوان بخشی از شاخص آبخیز آنلاین[2] (منطقه چهار) ارائه شده است (EPA ، ۲۰۱۴).

1. Hydrologically Active Zone (HAZ)
۲. Watershed index online

خلاصه اجرایی

منطقه متصل هیدرولوژیکی که محدوده‌های مجاور سامانه‌های آبی نظیر آبراهه‌ها و تالاب‌ها را شامل می‌شود، بر اساس یک نمره یک شاخص توپوگرافی بنا شده است. منطقه کنار رودخانه‌ای از طریق یک بافر ۱۰۰ متری در هر طرف از خطوط جریان سری داده‌های هیدروگرافی ملی[۱] ایجاد می‌شود.

جدول ۲-۲- طبقه‌بندی انواع پوشش طبیعی، نیمه‌طبیعی و غیرطبیعی

طبقه‌بندی HWP	**کدهای توصیف و طبقه‌بندی** NLCD
طبیعی	آب‌های آزاد (۱۱)، جنگل‌های خزان‌کننده (۴۱)، جنگل-های همیشه سبز (۴۲)، جنگل‌های مختلط (۴۳)، تالاب-های جنگلی (۹۰)، تالاب‌های علفی (۹۵)، گپ جنوب شرقی (دسته جدید)
نیمه‌طبیعی	بوته‌زارها و درختچه‌زارها (۵۲)، علفزارها (۷۱)، جنگل مدیریت‌شده (دسته جدید)
غیرطبیعی	توسعه‌یافته و فضای باز (۲۱)، توسعه‌یافته با شدت کم (۲۲)، توسعه‌یافته با شدت متوسط (۲۳)، توسعه‌یافته با شدت زیاد (۲۴)، اراضی بایر (۳۱)، پس‌چر اراضی زراعی (۸۱)، محصولات زراعی (۸۲)

درصد پوشش طبیعی زمین در منطقه فعال هیدرولوژیکی نیز از طریق مجموع مساحت انواع پوشش طبیعی به علاوه ۷۵ درصد مساحت

۱. National Hydrography Dataset (NHD)

انواع پوشش نیمه‌طبیعی آبخیز، تقسیم بر مساحت آبخیز ضرب در ۱۰۰ تعیین می‌شود. برای مشاهده فهرستی از انواع پوشش طبیعی، نیمه‌طبیعی و غیرطبیعی به جدول ۲-۲ مراجعه شود.

۲-۴-۲- سنجه‌های وضعیت زمین‌ریخت‌شناسی

ژئومورفولوژی رودخانه‌ای عبارت است از مطالعه شکل آبراهه‌ها و ارتباط آن‌ها با پهنه آبخیزی که در آن جریان دارند. آبراهه‌ها سامانه‌های پویایی هستند که به‌طور مداوم مسیر کانال خود را به واسطه حرکت آب حفر کرده، شکل می‌دهند. با این حال، کانال‌های آبراهه‌ها از طیف گسترده‌ای از عوامل طبیعی و انسانی تأثیر می‌پذیرند. شرایط زمین‌ریخت‌شناسی بیانگر نحوه تأثیر تغییرات چشم‌انداز بر تشکیل و تکامل کانال آبراهه است. همچنین بر اساس شرایط زمین‌ریخت‌شناسی می‌توان پیش‌بینی کرد که آیا یک سامانهٔ آبراهه با حفظ جامعیت فیزیکی، زیستی و شیمیایی خود قادر به سازگاری با تغییرات آبخیز خواهد بود. در این ارزیابی از اصول ژئومورفولوژی رودخانه‌ای ارائه شده به‌وسیلهٔ Leopold و همکاران (۱۹۶۴)، و Rosgen (۲۰۰۶)، استفاده شده است.

ارزیابی‌های زمین‌ریخت‌شناسی معمولاً برای تعیین پایداری و انعطاف‌پذیری کانال آبراهه نسبت به آشفتگی‌های پهنهٔ آبخیز یا بازه‌های آبراهه، انجام می‌شود. پایداری کانال به این معنی نیست که موقعیت و شکل آبراهه در آبخیز ثابت بماند. معمولاً جریان در آبراهه‌های کم‌شیب واقع در دره‌های آبرفتی به‌طور طبیعی می‌تواند به صورت مئاندر و مارپیچ در ته دره حرکت کرده، باعث فرسایش در قوس خارجی، و رسوب‌گذاری در قوس داخلی شوند. به‌طورکلی این نوع حرکات و جابه‌جایی‌های عرضی

دارای آهنگ کندی است که فقط می‌تواند منجر به تغییرات جزئی در ابعاد کانال (عرض، عمق، مساحت) شود. این موضوع حتی برای حالاتی که جریان آبراهه به‌طور فعال در حال ایجاد یک مسیر جدید در سراسر منطقه است نیز صادق است. به این فرایند عنوان تعادل پویا می‌گویند. انعطاف-پذیری کانال آبراهه عبارت است از توانایی کانال در حفظ تعادل پویا هنگامی‌که پهنه آبخیز یا حاشیه آبراهه دستخوش تغییرات و آشفتگی‌هایی می‌شود.

آبراهه‌ها معمولاً در اثر ایجاد آشفتگی در پهنهٔ آبخیز که منجر به تغییر مقادیر رواناب و رسوب وارد شده به کانال آبراهه می‌شود، به حالت ناپایدار درمی‌آیند. به تغییرات آبخیز و کاربری اراضی که منجر به ناپایداری کانال آبراهه می‌شوند، آشفتگی‌های غیر مستقیم اطلاق می‌شود. آبراهه‌ها به دلیل ایجاد تغییرات مستقیم در کانال آبراهه نیز می‌توانند ناپایدار شوند. به‌عنوان مثال متمرکز کردن جریان، حذف پوشش گیاهی کنار آبراهه، سدسازی، برداشت چوب و فعالیت‌های معدنی رودخانه‌ای به‌طور مستقیم می‌توانند باعث ناپایداری کانال آبراهه شوند. این آشفتگی‌های مستقیم و غیرمستقیم می‌تواند باعث ایجاد ناپایداری در محورهای عمودی (به‌عنوان مثال، آبراهه می‌تواند با فرسایش و برش عمقی، خندقی را در بستر ایجاد کرده، با پایین افتادن تراز جریان از تراز دشت سیلابی، ارتباط هیدرولوژیکی بین آن‌ها قطع شود)، یا جانبی (به‌عنوان مثال، کانال‌های ناپایدار ممکن است در اثر فرسایش دچار گسترش عرضی غیرطبیعی شوند که در این حالت جریان کم‌عمق زیستگاه بسیار ضعیفی را فراهم می‌کند و همچنین خطر ازبین‌رفتن اراضی دشت سیلابی وجود دارد) یا هر دو محور شوند؛ بنابراین در ارزیابی وضعیت کلی جریان و آبخیز، پایداری

زمین‌ریخت‌شناسی از اهمیت و جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. کانال‌های ناپایدار ممکن است باعث افزایش بار رسوبی ریزدانه در آبراهه‌های پایین-دست شوند که این موضوع می‌تواند منجر به خفگی زیستگاه‌های تحتانی و ازبین‌رفتن فضاهای طاقچه‌ای (تورفتگی و بیرون‌زدگی‌های کناره و بستر رودخانه) شود که معمولاً موجودات آبی از این فضاها برای تخم‌گذاری، پناهگاه در برابر شکارچیان، و از علوفه آن به‌عنوان منبع غذایی استفاده می‌کنند. علاوه‌بر این، افزایش گل‌آلودی و کدورت می‌تواند منجر به کاهش تولید اولیه، افزایش تنش در سرتاسر شبکه غذایی، و تغییرات شیمیایی آب شود (Castro و همکاران، ۱۹۹۵). از دیگر پیامدهای ناپایداری کانال‌های آبراهه می‌توان به مواردی همچون تهدید زیرساخت‌های انسانی و کاهش کنترل طبیعی سیلاب اشاره کرد.

ارزیابی شرایط زمین‌ریخت‌شناسی بر اساس متغیرهای مختلفی از آبخیز است که نقش مؤثری در تعادل نیروهای فرسایشی و مقاومتی در محل موردنظر در آبخیز دارند. از آنجا که داده‌های صحرایی کمی برای توصیف وضعیت زمین‌ریخت‌شناسی آبخیز موجود بود، لذا داده‌های مکانی جغرافیایی به‌عنوان نماینده اندازه‌گیری‌های صحرایی مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۲-۳). در این ارزیابی، شرایط زمین‌ریخت‌شناسی هر آبخیز با سه روش ۱- نیروهای فرسایشی و حساسیت به فرسایش، ۲- نیروهای مقاومتی کاهش‌دهنده فرسایش، و ۳- ادغام نیروهای فرسایشی و مقاومتی برای سنجش پتانسیل کلی پایداری زمین‌ریخت‌شناسی زیر تعیین شد.

جدول ۲-۳- متغیرهای مورد استفاده برای تعیین شرایط زمین‌ریخت‌شناسی

متغیر	منبع (و روش)	منطق انتخاب
جریان سالانه	میانگین رواناب سالانه (تنسی شرقی) و جریان متوسط تابستان (تنسی غربی)*	عامل فرسایشی - تقریبی از نیروی رژیم هیدرولوژیکی که باعث تشکیل و تغییر کانال می‌شود
عامل فرسایش-پذیری	پتانسیل فرسایش خاک. ویژگی در پایگاه داده جغرافیایی بررسی خاک	عامل فرسایشی - حساسیت طبیعی خاک‌ها در امتداد کانال آبراهه به فرسایش
پوشش زمین (نفوذناپذیری)	NLCD ۲۰۱۱، سطح نفوذناپذیر	عامل فرسایشی - نشان‌دهنده اثر دخالت‌های انسانی در آبخیز که منجر به تغییر در زمان‌بندی، حجم و سرعت رواناب ورودی به کانال آبراهه می‌شود
عمق تا سنگ‌بستر	عمق متوسط تا سنگ بستر در امتداد هر خط جریان که با استفاده از نقشه زمین‌شناسی کلی ایالات متحده محاسبه شد (Nicholson و همکاران، ۲۰۰۵)	عامل مقاومتی - نشان‌دهنده حد نهایی تغییر در یک کانال آبراهه (به‌عنوان مثال، یک لایه محدودکننده که با فرسایش تغییر نمی‌یابد)
پوشش زمین (جنگل، غیر قابل نفوذ)	NLCD ۲۰۱۱، NLCD تجمعی، پوشش ۲۰۱۱ NLCD	عوامل مقاومتی - تقریبی از نفوذ و کنترل طبیعی رواناب در یک آبخیز

ادامه جدول ۲-۳- متغیرهای مورد استفاده برای تعیین شرایط زمین‌ریخت‌شناسی

پوشش زمین (اراضی طبیعی در منطقه فعال هیدرولوژیکی)	NLCD ۲۰۱۱، پوشش NLCD ۲۰۱۱	عامل مقاومتی - به‌عنوان معیاری از منطقه دست‌نخورده کنار رودخانه، با پوشش گیاهی که مانع جابه‌جایی و تعریض کانال می‌شود

* تشریح متغیرها یا سنجه‌های وضعیت هیدرولوژیکی در بخش ۳-۵-۲

سنجه فرسایش: برای ارزیابی پتانسیل جریان برای برش بستر (پایین بردن بستر خود) و فرسایش و تعریض جانبی کانال از سه عامل استفاده شد: درصد پوشش نفوذناپذیر، فرسایش‌پذیری خاک، و جریان سالانه (به‌عنوان مثال نیروی هیدرولوژیکی در کانال آبراهه). پوشش نفوذناپذیر باعث افزایش میزان رواناب ورودی به کانال آبراهه شده و بدین ترتیب می‌تواند سبب تشدید فرسایش کانال شود. پتانسیل فرسایش خاک به فرسایش تحت عنوان عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) اندازه‌گیری می‌شود که داده‌های آن از پایگاه داده جغرافیایی بررسی خاک (SSURGO) که به‌وسیلهٔ سرویس حفاظت از منابع طبیعی ارائه شده، تهیه شد. هر چه درصد سیلت خاک بیشتر باشد، فرسایش‌پذیری خاک نیز افزایش خواهد یافت. دانه‌های خاک‌های سیلتی به‌راحتی جدا شده و این خاک‌ها پوسته پوسته شده و رواناب زیادی تولید می‌کنند. مقدار عامل K برای این خاک‌ها معمولاً بزرگ‌تر از ۰/۴ است. دامنه مقدار عامل K برای خاک‌های با بافت متوسط مانند خاک‌های سیلتی لوم تقریباً بین ۰/۲۵ تا ۰/۴ است و این خاک‌ها تا حدی مستعد جداشدن هستند و رواناب متوسطی ایجاد

می‌کنند. مقدار عامل K برای خاک‌های درشت‌بافت مانند خاک‌های ماسه‌ای یا شنی کم و در حد ۰/۰۵ تا ۰/۲ است، زیرا این خاک‌ها رواناب کمی تولید می‌کنند، هر چند که دانه‌های خاک در این خاک‌ها به‌راحتی از هم جدا می‌شوند. خاک‌های رسی نیز دارای مقادیر K کم در حد ۰/۰۵ تا ۰/۱۵ هستند، زیرا دانه‌های خاک در این خاک‌ها در برابر جداشدگی مقاوم هستند. طبقه‌بندی عامل K بر اساس پژوهش‌های Jones و دیگران (۱۹۹۶) انجام شده است. جریان آبراهه یک سنجه کمّی محاسبه‌شده از قابلیت آبراهه برای فرسایش است که به‌طور معمول به‌عنوان حرکت رسوب تعریف می‌شود.

سنجه مقاومت: درصد بالای پوشش نفوذناپذیر در آبخیز و افزایش قدرت جریان (به‌عنوان مثال، افزایش نیروهای فرسایشی موجود در یک کانال جریان) الزاماً به این معنی نیست که سرعت کنده شدن بستر جریان در اثر فرسایش یا تعریض و جابه‌جایی کانال آبراهه با سرعت بیشتری انجام خواهد شد زیرا عوامل دیگر می‌توانند باعث محدود شدن فرسایش شوند. از جمله عواملی که به‌عنوان نیروهای مقاومتی می‌توانند باعث محدودیت فرسایش شوند می‌توان به مواردی همچون عمق تا سنگ‌بستر یا سایر لایه‌های محدودکننده مانند سخت لایه‌های رسی، درصد پوشش جنگل (برای کل آبخیز بالادست) و درصد پوشش طبیعی در منطقه فعال هیدرولوژیکی اشاره کرد. کف آبراهه‌های دارای بستر سنگی، حتی در صورت تغییرات هیدرولوژیکی (رواناب)، در اثر فرسایش کنده نخواهد شد. سنگ‌بستر یک از عوامل اصلی محدودکننده عمیق‌تر شدن بستر آبراهه در اثر فرسایش است. با افزایش عمق خاک تا سنگ‌بستر، پتانسیل عمیق‌تر شدن آبراهه در اثر فرسایش نیز افزایش می‌یابد. آبراهه‌های دارای بستر

محدودکننده نظیر سخت لایه‌های رسی، اگرچه به‌اندازه آبراهه‌های دارای بستر سنگی در برابر فرسایش مقاوم نیستند، اما به‌هرحال با سرعت کندتری فرسایش و تعمیق می‌شوند. درصد پوشش جنگلی نیز با کاهش حجم رواناب ناشی از آبخیز بالادست (بر خلاف درصد پوشش غیر قابل نفوذ)، پتانسیل فرسایش آبراهه را کاهش می‌دهد. پوشش گیاهی موجود در منطقه فعال هیدرولوژیکی می‌تواند باعث تحکیم کناره‌ها شده و از مئاندری شدن مفرط جلوگیری کند. پوشش‌های گیاهی دارای ریشه‌های عمیق به ویژه در مجاورت کانال آبراهه، از فرسایش کناره‌های آبراهه جلوگیری کرده و پتانسیل جابه‌جایی آبراهه را کاهش می‌دهد.

برای هر یک از عوامل مورد استفاده، از یک مدل ساده امتیازدهی پیوسته (دامنه امتیازدهی بین صفر تا ۱۰۰) استفاده شد (برای کسب اطلاع بیشتر در مورد جزئیات تحلیل نظیر متغیر، مقادیر آن‌ها، و سامانه امتیازدهی مورد استفاده به پیوست ۲ مراجعه کنید). هر عامل به‌گونه‌ای امتیازدهی شد که امتیاز بالاتر بیانگر تأثیر مثبت آن عامل بر مقاومت و پایداری آبراهه باشد. به‌عنوان مثال، درصد کمتر پوشش غیر قابل نفوذ در یک حوضه، باعث کاهش احتمال تغییر رژیم طبیعی جریان در آن می‌شود و بنابراین امتیاز این عامل در این آبخیز نسبت به حوضه‌ای که از درصد پوشش غیر قابل نفوذ بالاتری برخوردار است، بیشتر خواهد بود. سپس متوسط امتیازات سه عامل فرسایشی و سه عامل مقاومتی محاسبه، و به ترتیب یک امتیاز سنجه فرسایش و یک امتیاز سنجه مقاومت حاصل شد. اگر مقادیر امتیاز برای یکی از عوامل در دسترس نبود، آن عامل از فرایند میانگین‌گیری حذف شد. به این ترتیب، برای هر آبخیز یک نمره سنجه

فرسایش و نمره سنجه مقاومت تعلق گرفت. میانگین این دو نمره به‌عنوان مقدار زیرشاخص وضعیت زمین‌ریخت‌شناسی لحاظ شد.

۳-۴-۲-سنجه‌های وضعیت هیدرولوژیک

رژیم جریان یک آبراه به ویژگی‌هایی نظیر الگوی مقدار جریان، زمان‌بندی جریان، فراوانی، مدت‌زمان، و سرعت تغییر جریان اشاره دارد (Poff و همکاران، ۱۹۹۷). رژیم جریان نقشی اساسی در شکل‌گیری بوم‌سازگان‌های آبی و سلامت جوامع زیستی دارد. تغییر رژیم‌های جریان طبیعی (به‌عنوان مثال، وقوع مکرر سیلاب) می‌تواند باعث کاهش کمیت و کیفیت زیستگاه‌های آبی، تخریب زندگی آبزیان، و از دست رفتن خدمات بوم‌سازگان شود؛ بنابراین، برای ارزیابی شرایط هیدرولوژیک، سنجه‌هایی از رژیم جریان در آبراهه‌هایی که جریان آب در آن‌ها تنظیم‌نشده است[۱] (فاقد سد)، استفاده شد تا مشخص شود که کدام بخش‌ها شباهت بیشتری به رژیم جریان طبیعی در آبخیزهای مرجع داشته و بنابراین می‌توان آن بخش‌ها را سالم فرض کرد. در سامانه‌هایی که جریان آب آن‌ها تنظیم‌شده است (به‌عنوان مثال، آبراهه‌های پایین‌دست سدهای بزرگ)، از نسبت آب ذخیره‌شده سالانه پشت سد به متوسط آبدهی طبیعی سالانه مورد انتظار استفاده شد. این نسبت مشخص می‌کند که کدام بخش‌ها حجم ذخیره‌سازی کمتری در مقایسه با جریان آبراهه داشته و بنابراین از پتانسیل بیشتری برای تأثیر بر رژیم طبیعی جریان برخوردار است. قوانین سدسازی می‌توانند تأثیرات ناشی از سدسازی بر رژیم طبیعی جریان را

---

۱. Unregulated streams

کاهش دهند. با این حال، این عوامل در این ارزیابی مورد استفاده قرار نگرفته است. برای ارزیابی کیفی مطالعه، اطلاعات مربوط به عملیات سدسازی در پیوست ۳ ارائه شده است.

آبخیزها یا آبراهه‌های تنظیم‌نشده

در بخش شرقی ایالت (حوضه رودخانه تنسی و کامبرلند) از روابط رگرسیونی منطقه‌ای ارائه شده به‌وسیلهٔ Knight و همکاران (۲۰۱۲)، به‌منظور تعیین خصوصیات جریان آبراهه[۱] از طریق ویژگی‌های پهنه آبخیز استفاده شد. در بخش غربی ایالت، روابط رگرسیونی ارائه شده به‌وسیلهٔ Law و همکاران (۲۰۰۹) مورد استفاده قرار گرفت. در هر دو مورد، روابط رگرسیونی خصوصیات جریان آبراهه را با استفاده از یک سری ویژگی‌های پهنه آبخیز نظیر مساحت حوضه، شرایط زمین‌شناسی و خاک حوضه پیش‌بینی می‌کنند. خصوصیات جریان آبراهه محاسبه‌شده برای هر آبخیز با مقادیر مورد انتظار برای آبراهه‌های تحت شرایط طبیعی یا آبخیزهای مرجع که دارای پوشش اراضی طبیعی بیشتری هستند، مورد مقایسه قرار گرفت (مقایسه با دامنه میان‌چارکی خصوصیات جریان آبراهه محاسبه‌شده). مقدار مطلق انحراف از این دامنه (دادن وزنی برابر به انحرافات بالا و پایین و فرض اینکه هرگونه انحراف از حالت طبیعی بر رژیم جریان تأثیرگذار است)، برای هر خصوصیت جریان آبراهه محاسبه شد. جمع انحرافات برای تمام خصوصیات جریان آبراهه در هر آبخیز به‌عنوان

۱. Streamflow characteristics (SFCs)

سنجه کلی هیدرولوژیکی در آبراهه‌های غیر تنظیمی در نظر گرفته شد (برای کسب اطلاعات بیشتر به پیوست ۳ مراجعه کنید).

تنسی شرقی

مدل رگرسیونی منطقه‌ای سازمان زمین‌شناسی آمریکا[1] USGS (Knight و همکاران، ۲۰۱۲) دربردارنده ۱۹ معادله رگرسیون جداگانه است که خصوصیت جریان آبراهه را برای آبراهه‌های تنظیم‌نشده پیش‌بینی می‌کند (جدول ۲-۴).

جدول ۲-۴- سنجه‌های هیدرولوژیکی برآوردی با معادلات رگرسیون (Knight و همکاران، ۲۰۱۲)

ویژگی هیدرولوژیکی	سنجه
بزرگی	**متوسط رواناب سالانه** (MA41)، **بیشینه جریان ماه اکتبر** (AMH10)، دبی جریان که در ۸۵ درصد از اوقات جاری بوده است (e85)، میانه جریان روزانه در ماه سپتامبر (سپتامبر)، **میزان کاهش جریان آبراهه** (LRA7)
نسبت	میانگین بیشینه ۳۰ روز (LDH13)، جریان پایه (ML20)، **پایداری** (TA1)، تعداد روز صعودی (RA5)

ادامه جدول ۲-۴- سنجه‌های هیدرولوژیکی برآوردی با معادلات رگرسیون

۱. United States Geological Survey (USGS)

فراوانی	**فراوانی سیلاب متوسط (سه برابر دبی متوسط سالانه،** FH6) و (هفت برابر دبی متوسط سالانه، LFH7)
تغییرپذیری	تغییرپذیری دبی ماه مارس (MA26)، تغییرپذیری دبی پایه (LML18)، تغییرپذیری سالانه میانگین دبی کمینه روزانه (LDL6)، **تغییرپذیری مدت‌زمان پالس بالا** (LDH16)، **تغییرپذیری تعداد پالس پایین** (FL2)
تاریخ	**دبی کمینه سالانه** (TL1)، دبی بیشینه سالانه (TH1)، برگشت جهت جریان (RA8)

* سنجه‌های پررنگ: ویژگی‌های مؤثر بر غنای گونه‌های ماهی در حوضه رودخانه تنسی (Knight و همکاران، ۲۰۱۴).

این معادلات رگرسیونی بر اساس داده‌های ۲۳۱ ایستگاه پایش جریان آبراهه واقع در دو حوضه رودخانه (دامنه مساحت آبخیزها بین ۴۳۲ تا ۷۸۶ هکتار)، و ویژگی‌های زیرحوضه‌های مربوطه به‌عنوان متغیرهای مستقل توسعه‌یافته است. نتایج مطالعه دیگری در سازمان زمین‌شناسی آمریکا (Knight و همکاران، ۲۰۱۴) که به بررسی خصوصیات جریان آبراهه با ساختار جامعه ماهی‌ها پرداخته است، نشان می‌دهد که هشت ویژگی جریان آبراهه بر غنای گونه‌های ماهی در هر یک از سه منطقهٔ بوم‌شناسی واقع در حوضه رودخانهٔ تنسی (به‌عنوان مثال، بلوریج، پشته و دره، و فلات داخلی) تأثیرگذار مؤثر است. در این ارزیابی، مقادیر مهمترین خصوصیات جریان آبراهه که در این مطالعه شناسایی شدند، مجدداً محاسبه شد و به‌عنوان سنجه‌هایی برای ارزیابی رژیم جریان در بخش شرقی ایالت مورد استفاده قرار گرفتند (پیوست ۳).

برای محاسبه خصوصیات جریان آبراهه، متغیرهای مستقل برای هر آبخیز پایگاه داده هیدروگرافی ملی، با استفاده از تحلیل‌های مکانی جدید محاسبه شدند. انتخاب نهایی خصوصیات جریان آبراهه پس از مقایسه مقادیر هر خصوصیت در ۲۳۱ ایستگاه مورد پایش بین مطالعه سازمان زمین‌شناسی آمریکا و این ارزیابی صورت پذیرفت. بر اساس این مقایسه مشخص می‌شود که کدام خصوصیت از انحراف کمتری نسبت به مطالعه اصلی برخوردار بوده و بنابراین نمایشگر بهتری برای جریان اندازه‌گیری شده است. در نهایت، سه خصوصیت جریان آبراهه به‌عنوان سنجه‌های نهایی وضعیت هیدرولوژیک در تنسی شرقی انتخاب شدند:

میانگین رواناب سالانه (MA41)، تاریخ جریان کمینه سالانه (TL1) و تغییر در مدت‌زمان پالس بالا (LDH16). این سه سنجه با ارزیابی بزرگی، زمان‌بندی، و تغییرپذیری رژیم جریان، اطلاعاتی را درباره جنبه‌های مختلف رژیم جریان ارائه می‌دهند. یک دامنه مرجع برای هر یک از این سه سنجه با استفاده از چارک فوقانی مقادیر این سنجه‌ها در آبخیزهای جنگلی به‌عنوان آبخیزهای مرجع، محاسبه شد. دامنه مرجع درواقع دامنه میان‌چارکی برای هر یک از مقادیر خصوصیت جریان آبراهه در این آبخیزهای مرجع است که میزان انحراف از این دامنه برای سایر آبخیزها محاسبه شد. در هر آبخیز واقع در بخش شرقی ایالت تنسی، میزان کل انحراف این سه خصوصیت جریان آبراهه، به‌عنوان سنجه وضعیت هیدرولوژیک آبخیز در نظر گرفته شد.

تنسی غربی: در بخش غربی ایالت نیز ارزیابی بر اساس همان متغیرهای مستقل مستخرج از تحلیل‌های مکانی صورت پذیرفت با این تفاوت که برای برآورد ویژگی‌های بزرگی، فراوانی، و مدت‌زمان جریان،

به‌جای استفاده از مدل‌های رگرسیونی سازمان زمین‌شناسی آمریکا، از مدل‌های رگرسیونی ارائه شده به‌وسیلهٔ Law و همکاران (۲۰۰۹) که بر اساس داده‌های آب‌سنجی ۱۲۴ ایستگاه واقع در بخش غربی ایالت بود، استفاده شد. پس از مقایسه با داده‌های اصلی و درنظرگرفتن شرایط عمومی هیدرولوژیکی آبخیزهای غربی (به‌عنوان مثال، آب‌های زیرزمینی)، سه خصوصیت جریان آبراهه برای بخش غربی ایالت تنسی انتخاب شد: کمترین میانگین جریان هفت روزه متوالی که هر ۱۰ سال اتفاق می‌افتد (Q10۷)، میانگین جریان تابستانه از ژوئیه تا اوت (MS)، و میانگین جریان روزانه که در ۱۰ درصد از اوقات جاری بوده است. در این ارزیابی، روابط رگرسیونی ارائه شده به‌وسیلهٔ Law و همکاران (۲۰۰۹)، برای تخمین بزرگی جریان مورد استفاده قرار گرفت. در مرحله بعد، با تقسیم مقادیر خصوصیات جریان آبراهه بر مساحت حوضهٔ بالادست، این مقادیر نرمال شدند تا بتوان از آن‌ها برای مقایسه نسبی خصوصیات جریان آبراهه در آبخیزهای مختلف منطقه استفاده کرد. همانند تنسی شرقی، دامنه مقادیر مرجع با انتخاب چارک فوقانی مقادیر این سنجه‌ها در آبخیزهای جنگلی به‌عنوان آبخیزهای مرجع، محاسبه شد. سپس دامنه میان‌چارکی برای هر یک از مقادیر خصوصیت جریان آبراهه به‌عنوان دامنه مرجع مورد استفاده قرار گرفت و میزان کل انحراف از این محدوده در بین سه خصوصیت جریان آبراهه، به‌عنوان سنجه وضعیت هیدرولوژیک در بخش غربی ایالت در نظر گرفته شد.

آبراهه‌های تنظیم‌شده

سدها دارای تأثیر زیادی بر هیدرولوژی طبیعی رودخانه‌ها هستند که از مهمترین آن‌ها می‌توان به تغییر زمان‌بندی، بزرگی، و فراوانی دبی-های پایین و بالا. سدهای اصلی تنسی دارای بیش از ۱۰ هزار هکتار فوت ذخیره‌سازی طبیعی هستند. جریان آبراهه در آبخیزهای واقع در پایین‌دست سدهای با این سایز به‌عنوان جریان‌های تنظیم‌شده در نظر گرفته شد و ارزیابی آن‌ها به‌طور جداگانه نسبت به جریان‌های تنظیم‌نشده صورت گرفت.

نسبت ذخیره سد: نسبت حجم آب ذخیره‌شده به‌وسیلهٔ سدها و میانگین جریان سالانه را می‌توان به‌عنوان شاخص پتانسیل تغییرات هیدرولوژیکی در نظر گرفت. سدهای با بیش از ۱۰ هزار هکتار فوت ذخیره‌سازی طبیعی با استفاده از داده‌های برنامه عملیاتی حیات وحش ایالت تنسی[۱] در سراسر ایالت شناسایی شدند. همچنین در غرب تنسی دریاچه‌های طبیعی دارای سرریز وجود دارند که هدف اصلی آن‌ها تفریح و تفرج است و در این ارزیابی به‌عنوان سد در نظر گرفته نشدند. مناطق پایین‌دست هر یک از این سدها تعیین و برای تمام سدهای بالادست نمایه‌سازی شدند.

بر اساس سری داده‌های ارائه شده به‌وسیلهٔ برنامه عملیاتی حیات وحش ایالت تنسی، حجم ذخیره‌سازی مخازن تمام سدهای بالادست برای هر یک از آبخیزهای پایین‌دست محاسبه شد. جریان‌های طبیعی برای هر آبخیز به‌وسیلهٔ پایگاه داده هیدروگرافی ملی مشخص‌شده و در دسترس است. نسبت ذخیره سد از تقسیم حجم ذخیره‌سازی بر جریان طبیعی مورد انتظار محاسبه شد و معادل روزانه این نسبت نیز محاسبه شد.

---

۱. Tennessee State Wildlife Action Plan (TN SWAP)

حوضه‌هایی که مقادیر این نسبت در آن‌ها نزدیک به صفر است، حوضه-هایی هستند که میزان ذخیره‌سازی آن‌ها اندک بوده، بنابراین هیدرولوژی آن‌ها به شرایط طبیعی نزدیک‌تر است. حوضه‌هایی که مقادیر این نسبت در آن‌ها نزدیک به یک است، حوضه‌هایی هستند که میزان ذخیره‌سازی در پشت سدها تقریباً برابر با متوسط حجم آب روزانه جاری‌شده در حوضه در طول سال است. نسبت‌های بیشتر از یک نیز نشان‌دهنده حوضه‌هایی است که تحت سلطه سدها بوده و شرایط هیدرولوژیک آن‌ها نسبت به شرایط طبیعی انحراف شدیدی دارند. ازآنجاکه تعداد سنجه‌ها (مقادیر نرمال رتبه) سه عدد است که مقایسه بین آبخیزهای مختلف را دشوار می-کند، بنابراین برای انجام مقایسه بین تمام مناطق هیدرولوژیکی ایالت، این سه سنجه به یک سنجه واحد برای کل ایالت ترکیب شدند.

۴-۴-۲-سنجه‌های کیفیت آب

کیفیت آب به مجموعه پارامترهای فیزیکی و شیمیایی موجود در آب‌های سطحی و زیرزمینی اطلاق می‌شود. مقادیر پارامتر کیفیت آب تحت تأثیر یک سری عواملی است که در مقیاس‌های مکانی و زمانی مختلف و چندگانه عمل می‌کنند. در یک آبخیز سالم، مقادیر این پارامترها در محدوده تغییرات طبیعی آن‌ها قرار دارد. تجاوز این مقادیر از محدوده تغییرات طبیعی می‌تواند دارای آثار منفی بر فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی موجود در آب‌های سطحی شده و در نهایت باعث تغییر در پویایی بوم‌سازگان‌های آبی شود.

ارزیابی کیفیت آب در وهله اول به بررسی "پارامترهای طبیعی" می‌پردازد که صرف‌نظر از سلامت آبخیز به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی

آب‌های سطحی اشاره دارد. برای ارزیابی کیفیت آب، با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده به‌وسیلهٔ اداره حفاظت و محیط زیست تنسی، یک پایگاه داده رابطه‌ای ایجاد شد. بر اساس بررسی داده‌های موجود، بازخورد گروه فنی طرح آبخیز سالم تنسی و اهداف ارزیابی، سه سنجه کیفیت آب آبراهه برای تحلیل انتخاب شد:

- غلظت نیتروژن کل آبراهه،
- غلظت فسفر کل آبراهه، و
- هدایت الکتریکی ویژه آبراهه.

در هر آبخیز میانه کمینه تعداد پنج نمونه محاسبه و به‌عنوان مقادیر سالانه این پارامترها برای سال ۲۰۰۰ به بعد لحاظ شد. در پیوست ۴، فهرست سایر پالایه‌هایی که برای مقادیر پارامتر کیفیت آب اعمال‌شده‌اند، ارائه شده است. در جدول ۲-۵ نیز لیست تعداد نهایی آبخیزهای دارای داده ارائه شده است.

جدول ۲-۵- تعداد نمونه برای پارامترهای کیفیت آب پالایه شده

پارامتر کیفیت آب	آبخیز دارای داده
نیتروژن کل	۱۶۹۰
فسفر کل	۱۸۲۸
هدایت الکتریکی ویژه	۱۶۷۷

این پارامترها به دو دلیل به‌وسیلهٔ گروه فنی انتخاب شدند: ۱. بیانگر جنبه‌های مهمی از سلامت کیفیت آب در تنسی هستند و ۲. دارای داده‌های کافی ازنظر مقیاس‌های مکانی و زمانی، برای رتبه‌بندی نسبی کیفیت آب آبخیزها در سطح استان بودند.

در یک آبخیز پارامترهای فیزیکی و شیمیایی دیگری نیز ممکن است که بر سلامت کیفیت آب تأثیر داشته باشد. به‌عنوان مثال، پارامترهایی مانند PH یا آلاینده‌های آلی و غیرآلی ممکن است که در مقیاس محلی یا منطقه‌ای تأثیرگذار باشند. تفسیر زیرشاخص کیفیت آب باید همیشه شرایط محلی را در نظر بگیرد.

ازآنجاکه تمام آبخیزهای ایالت دارای داده‌های پایش شده کیفیت آب نیستند، بنابراین در این حوضه‌ها از مدل‌سازی آماری که داده‌های کیفیت آب مشاهداتی را با متغیرهای پیش‌بینی‌کننده آبخیز مرتبط می‌کنند، استفاده شد. متغیرهای پیش‌بینی‌کننده آبخیز نظیر پوشش زمین، زمین‌شناسی، پوشش نفوذناپذیر، و سایر عوامل مؤثر فیزیکی که حاکی از فرایندهای آبخیز مانند رواناب، ظرفیت بافر، و سایر مکانیسم‌های حمل می‌باشند، در مقیاس‌های مختلف مکانی ارزیابی و خلاصه شدند (جدول ۱). سپس از روابطی که به صورت آماری بین پارامترهای منتخب کیفیت آب و متغیرهای پیش‌بینی‌کننده برقرار شدند، برای پیش‌بینی مقادیر پارامترهای کیفیت آب در حوضه‌های فاقد آمار استفاده شد. در این ارزیابی، برای پیش‌بینی وضعیت کیفیت آب آبخیزهای پایگاه داده هیدروگرافی ملی ایالت تنسی، از یک روش مدل‌سازی درختی که

"مدل‌سازی درخت رگرسیون تقویت‌شده"[1] نام دارد، استفاده شد. برای کسب اطلاعات بیشتر درباره مدل‌سازی آماری و نتایج کیفیت آب در پیوست ۴ ارائه شده است.

۵-۴-۲-سنجه‌های وضعیت زیستگاه

زیستگاه آبزیان یکی از اجزای اصلی سلامت آبخیز است زیرا معمولاً عاملی محدودکننده برای جوامع زیستی محسوب می‌شود. حتی در مواردی که کیفیت آب در وضعیت مطلوبی قرار دارد، ممکن است نداشتن زیستگاه مناسب طبیعی سبب شود که موجودات زنده به وضعیت مطلوب مرجع نرسند. در دنیا از تخریب و ازدست‌دادن زیستگاه معمولاً به‌عنوان مهمترین عامل مؤثر بر کاهش تنوع زیستی در آبراهه‌ها یاد می‌شود. تخریب زیستگاه می‌تواند ناشی از تأثیر فعالیت‌های مختلف انسانی در داخل خود محیط آبی یا در پهنه آبخیز باشد. از جمله آثار منفی در داخل آبراهه می‌توان به مواردی نظیر رسوب‌گذاری، متمرکز شدن، و فرسایش و پرشدن کناره‌های آبراهه اشاره کرد. از جمله فعالیت‌های انسانی واقع در پهنه آبخیز که دارای آثار منفی بر زیستگاه‌های آبی است نیز می‌توان به مواردی همچون توسعه شهری، برداشت چوب، کشاورزی، چرای دام، استخراج انرژی، سدسازی و ایجاد موانع در برابر جریان (تغییر رژیم هیدرولوژیکی)، و تخلیه یا پرکردن تالاب‌ها اشاره کرد.

نمره دستورالعمل ارزیابی سریع زیستی[2]: دستورالعمل ارزیابی سریع زیستی ابزاری است که معمولاً برای بررسی وضعیت فیزیکی زیستگاه در

---

۱. Boosted regression tree modeling

۲. Rapid Bioassessment Protocol (RBP) score

آبراهه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. داده‌های دستورالعمل ارزیابی سریع زیستی معمولاً در زمان نمونه‌گیری از ماهی‌ها یا بی‌مهرگان کف آبراهه‌ها، جمع‌آوری می‌شوند. این داده‌ها شامل موجودی و کیفیت کناره‌های آبراهه، بخش‌های کم‌عمق، آبگیر و سایر ویژگی‌های فیزیکی است که زیستگاه گونه‌های آبزی را فراهم می‌کنند. شاخص دستورالعمل ارزیابی سریع زیستی، تلفیقی از چندطبقه وضعیت (معمولاً چهار تا پنج طبقه در مقیاس ۲۰ نمره‌ای) است که نسبت به وضعیت مرجع سنجیده می‌شوند. معمولاً اداره محیط زیست و حفاظت تنسی در مکان‌هایی که ارزیابی زیستی انجام می‌شود، دستورالعمل ارزیابی سریع زیستی را در سطح ایالت ارزیابی می‌کند. پایگاه داده آن‌ها شامل ۴۱۷۵ محل نمونه‌گیری در سطح مناطق بوم‌شناسی رده ۳ است که از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ نمونه‌برداری شده‌اند.

نمره تناسب زیستگاه: برنامه عملیاتی حیات وحش ایالت تنسی[۱] با همکاری اداره حفاظت منابع طبیعی[۲] و اداره منابع حیات وحش تنسی[۳] ایجادشده است. در این برنامه، یک سامانه مدیریت پایگاه داده‌های مکانی برای مدیریت حجم زیاد داده‌های مرتبط با گونه‌های نیازمند بیشترین حفاظت[۴]، زیستگاه‌های آن‌ها و عوامل مؤثر بر این گونه‌ها و زیستگاه‌های آن‌ها ایجاد شد. زیستگاه‌های خشکی، آبی و زیرزمینی طبقه‌بندی، و نقشه آن‌ها تهیه شد و شرایط مناسب زیستگاه برای بیش از ۶۰۰ گونه جانوری به‌وسیلهٔ متخصصان طبقه‌بندی برنامه تعیین شد. این پایگاه داده شامل بیش از ۵۲ هزار رکورد برای ۶۶۴ گونه نیازمند بیشترین حفاظت است که

---

۱. Tennessee State Wildlife Action Plan (TN SWAP)

۲. The Nature Conservancy (TNC)

۳. Tennessee Wildlife Resources Agency (TWRA)

۴. Greatest Conservation Need (GCN)

۱۵۸۷۸ مورد از این تعداد مربوط به گونه‌های آبزی است. علاوه‌بر این، این پایگاه داده شامل بیش از ۱۳۱ هزار رکورد ماهی میزبان گونه‌های نرم‌تنان است. بر اساس زیستگاه‌های موجود، پهنه‌بندی توزیع مکانی گونه‌های شناخته‌شده با استفاده از متغیرهای پیش‌بینی‌کننده حاصل از پایگاه داده هیدروگرافی ملی انجام گرفت. یک مدل رتبه‌بندی آبخیزها که آن‌ها را بر اساس میزان اولویت گونه‌های نیازمند بیشترین حفاظت اولویت‌بندی می‌کند، توسعه داده شد. این مدل بر اساس شاخص زنده‌مانی نسبی برای هر یک از گونه‌های موجود در پایگاه داده است. علاوه‌بر این، آن بخش از بازه‌های بالادست و پایین‌دست آبراهه که دارای رکوردهای شناخته‌شده هستند، بر اساس نمره کمیابی گونه‌ها / وضعیت حقوقی، نمره زنده‌مانی، فاصله جریان، و درصد انحراف میانگین حجم جریان سالانه از مقدار مستند آن بازه، ارزیابی و امتیازدهی شدند. برای ارزیابی میزان پتانسیل وقوع سدها در نظر گرفته نشدند. هنگامی‌که یک اولویت زیستگاه کلی برای هر بخش از آبراهه محاسبه شد، مقدار آن برای وزن‌دهی به نمره کلی آبخیز استفاده شد.

۶-۴-۲-سنجه‌های وضعیت زیستی

وضعیت زیستی جامع‌ترین ویژگی در بین شش ویژگی آبخیز سالم است که نمایانگر اثر تجمعی ویژگی‌های بیوژئوشیمیایی محیط (اعم از عوامل تاریخی) بر جوامع زیستی بوم‌سازگان آبخیز است. این ویژگی حتی دربردارنده اثرات عواملی است که هنوز ناشناخته مانده‌اند و یا اندازه‌گیری آن‌ها ممکن نیست. از آنجا که استفاده از نمایه‌های وضعیت زیستی (مانند

نمایه‌های جامعیت زیستی[۱]) بستگی کامل به تعریف شرایط مرجع دارد، لذا باید دراین‌خصوص دقت لازم به عمل آید تا مناطقی که به‌طور طبیعی ضعیف هستند به‌عنوان مناطق تخریب‌یافته لحاظ نشوند. برای این ارزیابی از سنجه‌های بی‌مهرگان بزرگ کف آبراهه‌ها و اجتماعات ماهی‌ها استفاده‌شده است.

نمره بی‌مهرگان بزرگ کف: اداره محیط زیست و حفاظت تنسی از دو روش مختلف نمونه‌برداری از بی‌مهرگان بزرگ کف و نحوه محاسبه شاخص برای ارزیابی وضعیت موجودات زنده آبراهه‌ها استفاده می‌کند (TDEC ، ۲۰۱۱). در بیشتر مناطق از روش شناسایی زیستی استفاده می‌شود که دارای سرعت نمونه‌گیری بیشتری است و یک شاخص ارزیابی را در سطح خانواده یا جنس ارائه می‌کند. روش دیگر، روشی نیمه‌کمّی است که دارای دقت بیشتری بوده، یک شاخص را برای بی‌مهرگان بزرگ تنسی ارائه می‌کند. درحالی‌که هر دو این روش‌ها برای مناطق مرجع و اصلاحی مناطق بوم‌شناسی مورد استفاده قرار می‌گیرند، از آن‌ها می‌توان برای سایر مناطق برنامه‌ها نیز (بسته به امتیازات قبلی دریافت شده) استفاده کرد. برای این ارزیابی، از نمره شناسایی زیستی در سطح خانواده استفاده شد زیرا نمونه‌های آن دارای پراکنش مکانی و زمانی مناسبی در سطح ایالت تنسی بود. پایگاه داده اداره محیط زیست و حفاظت تنسی دارای ۵۳۶۹ امتیاز شناسایی زیستی در طی سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۴ است که در مناطق بوم‌شناسی رده ۳ گسترش دارند.

نمایه جامعیت زیستی ماهی: در این ارزیابی از داده‌های نمایه جامعیت زیستی ماهی اداره دره تنسی استفاده شد که طی سال‌های

۱. Indices of Biological Integrity (IBIs)

۱۹۹۶ تا ۲۰۱۳ نمونه‌برداری شده‌اند. در جدیدترین نمونه مورد استفاده، ۷۸۹ رکورد ثبت‌شده است. داده‌های اداره دره تنسی محدود بوده و فقط در حوضه تنسی و رودخانه کامبرلند جمع‌آوری شده‌اند (شکل ۱-۱). در شرق تنسی (مناطق بوم‌شناسی کوه‌های بلوریج، و دره و پشته) سازمان منابع محیط زیست تنسی، داده‌های نمایه جامع زیستی ماهی را جمع-آوری کرده است. ازآنجاکه روش نمونه‌برداری از ماهی‌ها و نیز روش محاسبه نمایه جامعیت زیستی مشابه و یکسان بود، بنابراین برای افزایش تعداد نمونه‌های مورد استفاده در تحلیل، این دو مجموعهٔ داده با هم ترکیب شدند. همچنین به دلیل تعداد محدود نمونه‌ها در سایر مناطق بوم‌شناسی، مدل‌سازی نمایه جامعیت زیستی ماهی فقط برای مناطق بوم‌شناسی بلوریج و دره و پشته انجام شد.

۵-۲- سنجه‌های آسیب‌پذیری آبخیز

آسیب‌پذیری آبخیز به صورت پتانسیل تخریب فرایندهای آبخیز و سلامت بوم‌سازگان آبی در آینده تعریف می‌شود. آسیب‌پذیری آبخیز می-تواند شامل دو بخش باشد: ۱. تهدیدات احتمالی که عبارت است از فرایندها یا وقایعی که دربردارنده آثار منفی بر آبخیز هستند و ۲. انعطاف-پذیری که عبارت است از میزان حساسیت و قابلیت تطبیق آبخیز با شرایط و فرایندهای مؤثر. در این ارزیابی، تهدیدهای خاصی نظیر آسیب‌پذیری کاربری زمین، آسیب‌پذیری مصارف آب، و آسیب‌پذیری تغییرات اقلیمی مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۲-۶). در این راستا، آسیب‌پذیری هر آبخیز نسبت به هر یک از این عوامل تنش‌زا به‌طور جداگانه بررسی شد. در این

بخش، سنجه‌های آسیب‌پذیری آبخیز، دلایل انتخاب آن‌ها، منابع داده، و روش‌های مورد استفاده در محاسبه مقادیر شاخص‌ها تشریح شده است.

شکل ۲-۶- سنجه‌های آسیب‌پذیری آبخیز

سنجه‌های آسیب‌پذیری آبخیز برای ارائه گزارش سنجه، و محاسبات زیرشاخص و شاخص نهایی بر اساس رتبه نرمال شدند. نرمال‌سازی رتبه‌ای یک یا چند متغیر را به یک توزیع و مقیاس یکنواخت مثلاً از صفر تا صد تبدیل می‌کند. این مقیاس یکنواخت و مشترک اجازه مقایسه بین متغیرهایی که دارای واحد و مقیاس متفاوتی هستند، فراهم می‌کند. همچنین نرمال‌سازی رتبه‌ای نسبت به داده‌های پرت یا مقادیر حدی حساس نیست و از این بابت نسبت به سایر روش‌های نرمال‌سازی که در صورت وجود داده پرت باعث فشردگی بیش از حد توزیع نرمال می‌شوند، ارجحیت دارد (Mitchell، ۲۰۱۲). اطلاعات تکمیلی در خصوص روش‌های نرمال‌سازی رتبه‌ای در پیوست ۵ ارائه شده است.

۱-۵-۲- سنجه‌های آسیب‌پذیری کاربری زمین

پوشش طبیعی زمین برای حفظ کارکردهای آبخیز سالم ضروری است. جمعیت تنسی طی سال‌های گذشته رشد کرده و پیش‌بینی می‌شود که همچنان نیز به رشد خود ادامه دهد. این رشد جمعیت مربوط به مناطق شهری بوده و به‌طور هم‌زمان مساحت اراضی کشاورزی و جنگلی کاهش‌یافته است. رشد اراضی شهری همراه با افزایش سطوح غیر قابل نفوذ است. با کاهش پوشش طبیعی زمین، آسیب‌پذیری آبخیزها نسبت به تخریب افزایش می‌یابد. علاوه‌بر افزایش جمعیت، توسعه انرژی برای رشد اقتصادی نیز تهدیدی بالقوه برای چشم‌انداز است. برای ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از تغییر کاربری زمین، گام اول تعیین موقعیت مکانی این تغییرات است.

پیش‌بینی تغییرات پوشش نفوذناپذیر: در این ارزیابی برای تعیین آسیب‌پذیری ناشی از توسعه شهری، از پیش‌بینی‌های اداره حفاظت از طبیعت تنسی در خصوص درصد مساحت اراضی نفوذناپذیر استفاده شد (این داده‌ها انتشار نیافته‌اند). اداره حفاظت از طبیعت تنسی نیز از پیش‌بینی‌های رشد جمعیت که به‌وسیلهٔ شورای روابط بین‌دولتی تنسی و مرکز پژوهش‌های اقتصاد و بازرگانی دانشگاه تنسی برای بازه‌های پنج ساله تا سال ۲۰۴۰ به انجام رسیده، استفاده کرده است. با استفاده از روش‌های ارائه شده به‌وسیلهٔ شرکت فاضلاب و زهکشی ونکوور بزرگ که به تأیید سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا نیز رسیده است، درصد کل اراضی نفوذناپذیر بر اساس داده‌های تراکم جمعیت برآورد شد. پس از انجام پیش‌بینی‌ها در خصوص تغییرات اراضی نفوذناپذیر برای سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۴۰، داده‌های برآوردی برای تعیین سنجه آسیب‌پذیری مورد استفاده

قرار گرفت. برای کسب اطلاعات بیشتر در این زمینه می‌توان به داده‌ها و روش‌های برنامه عملیاتی حیات وحش تنسی در سال ۲۰۱۲ مراجعه کرد. درصد تغییر اراضی نفوذناپذیر برای هر آبخیز تعیین و بر اساس رتبه کسب‌شده نرمال شدند به‌طوری‌که به آبخیز دارای بیشترین درصد اراضی نفوذناپذیر، بالاترین درجه آسیب‌پذیری تعلق گرفت.

پتانسیل توسعه انرژی: اراضی طبیعی در تنسی دارای منابع انرژی ارزشمندی هستند. اداره حفاظت از طبیعت تنسی با همکاری تعاونی حفاظت از چشم‌انداز آپالاچی[1]، مدل فضایی برآورد احتمال استخراج زغال‌سنگ، گاز شیل و توسعه باد را ارائه کرد (Dunscomb و همکاران، ۲۰۱۴). این لایه داده با لایه‌های داده اراضی طبیعی (جنگل‌ها و تالاب‌ها) تلاقی داده شد تا مشخص شود که کدام بخش از اراضی طبیعی در معرض توسعه منابع انرژی قرار دارند. احتمال توسعه انرژی به چهار طبقه طبقه‌بندی شد: ریسک بالا (> ۷۵ درصد)، ریسک متوسط (۵۰ - ۷۵ درصد)، ریسک کم (<۵۰ درصد)، و بدون ریسک (صفر درصد). بر اساس این داده‌ها، یک طبقه ریسک به هر آبخیز پایگاه داده هیدروگرافی ملی اختصاص یافت. لازم به ذکر است که این داده‌ها برای مناطق بوم‌شناسی دشت‌های آبرفتی می‌سی‌سی‌پی، دشت لسی دره می‌سی‌سی‌پی، و دشت‌های جنوب شرقی موجود نبودند.

۲-۵-۲- سنجه‌های آسیب‌پذیری مصرف آب

انسان می‌تواند رژیم هیدرولوژیکی طبیعی آبخیز را با تغییر شبکه آبراهه و آبخوان‌های پایین‌دست را با برداشت آب‌های سطحی و زیرزمینی، تغییر دهد. این تغییرات دارای تأثیرات متناظری بر سلامت بوم‌سازگان‌های

1. Appalachian landscape conservation cooperative

آبی است. تقاضای آب در آینده بر اساس عواملی همچون رشد جمعیت، تغییر در طراحی و بهره‌برداری از صنایع برق حرارتی، و توسعه کشاورزی، صنعت و معدن متفاوت خواهد بود. تغییر تقاضا در برداشت آب و مصارف مختلف آب از این برداشت‌ها برای سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۴۰ در سطح ایالت برای این سنجه آسیب‌پذیری استفاده شد.

مراحل زیر برای محاسبه پیش‌بینی تغییر میزان مصارف آب هر شهر انجام شد. این مراحل بر اساس روش‌هایی است که Bohac و Bowen (۲۰۱۲)، در مطالعه‌ای به کارفرمایی اداره دره تنسی برای پیش‌بینی تغییر میزان مصارف آب در آبخیز رودخانه تنسی ارائه کردند:

- داده‌های برداشت آب برای مصارف مختلف ایالت تنسی در مقیاس شهرستان برای سال ۲۰۱۰ از سازمان زمین‌شناسی آمریکا تهیه شد. داده‌های برداشت آب این ایالت با استفاده از داده‌های برق، گاز و آب ممفیس، بخش منابع آب اداره محیط زیست و حفاظت تنسی، اداره دره تنسی، و گروه مهندسی ارتش ایالات متحده تهیه‌شده است (Maupin و همکاران، ۲۰۱۴).
- کل برداشت آب در سال ۲۰۱۰ به‌عنوان جمع کل برداشت آب شیرین (سطحی و زیرزمینی) برای بخش‌های مختلف تأمین عمومی، آبیاری محصولات زراعی، آبیاری گلف، دام، آبزی‌پروری، صنعت، و نیروگاه برق حرارتی در نظر گرفته شد.
- میزان آب مصرفی در سال ۲۰۱۰ با استفاده از ضریب خالص تقاضای آب برای بخش‌های مختلف (Bohac و Bowen، ۲۰۱۲) محاسبه شد: نیروگاه برق حرارتی ۰/۵ درصد، صنعت ۶/۵ درصد، تأمین عمومی ۴۲/۸ درصد (دربردارنده مصرف آب برای آبیاری

گلف)، و آبیاری ۱۰۰ درصد (دربردارنده مصرف آب برای دام و آبزی‌پروری).

- کل برداشت آب به‌وسیلهٔ بخش‌های مختلف برای سال ۲۰۴۰، با استفاده از عواملی نظیر رشد جمعیت در مقیاس شهرستان، تغییرات مساحت اراضی تحت آبیاری، و سایر متغیرها که به‌وسیلهٔ Bohac و Bowen (۲۰۱۲) محاسبه شده است، پیش‌بینی شد.

✓ پیش‌بینی جمعیت در سال ۲۰۴۰ از مرکز داده ایالت تنسی مستقر در دانشگاه تنسی تهیه شد (http://tndata.utk.edu/sdcdemographics.htm). ضریب رشد جمعیت برای هر شهرستان از تقسیم جمعیت سال ۲۰۴۰ به جمعیت سال ۲۰۱۰ محاسبه شد. از این ضریب برای بخش‌های مختلف مصرف آب از جمله تأمین عمومی، صنعت و آبیاری گلف استفاده شد.

✓ مساحت اراضی تحت کشت آبی در مقیاس شهرستان برای سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۲ از آمارنامه‌های کشاورزی ۲۰۱۲ که به‌وسیلهٔ وزارت کشاورزی ایالات متحده (خدمات آمار کشاورزی ملی) ارائه شده است، تهیه شد. پس از محاسبه ضریب تغییر مساحت اراضی تحت کشت آبی برای سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲، این ضریب برای پیش‌بینی تغییر مساحت اراضی تحت کشت آبی، دام، و آبزی‌پروری آینده اعمال شد.

✓ برداشت‌های آب برای مصارف نیروگاه برق حرارتی در سال ۲۰۴۰، با استفاده از ضریب کلی کاهش ۳۱ درصدی (ارائه شده به‌وسیلهٔ Bohac و Bowen، ۲۰۱۲)، محاسبه شد.

- میزان آب مصرفی در سال ۲۰۴۰ با استفاده از ضریب خالص تقاضای آب برای بخش‌های مختلف (Bohac و Bowen، ۲۰۱۲) و طی‌کردن مراحل مذکور فوق محاسبه شد: نیروگاه برق حرارتی ۲ درصد، صنعت ۷/۳ درصد، تأمین عمومی ۴۴/۱ درصد (دربردارنده مصرف آب برای آبیاری گلف)، و آبیاری ۱۰۰ درصد (دربردارنده مصرف آب برای دام و آبزی‌پروری).
- میزان اختلاف برآوردهای برداشت آب هر شهرستان بین سال‌های ۲۰۴۰ و ۲۰۱۰ محاسبه شد. سپس میزان تغییرات به‌طور رتبه‌ای نرمال شدند و به‌عنوان سنجه آسیب‌پذیری مصرف آب لحاظ شدند.

۳-۵-۲-سنجه‌های آسیب‌پذیری تغییرات اقلیمی

تغییرات اقلیمی می‌تواند از طریق تغییرات هیدرولوژیک، تغییرات فرم زمین، و تغییرات زیستی بر سلامت بوم‌سازگان آبی تأثیرگذار باشد. تغییرات اقلیمی می‌تواند به شکل بزرگی، شدت، و یا فراوانی وقایع بارشی و دمایی بروز کند. ممکن است که شرایط متوسط کلی که با سنجه‌های مختلف اقلیمی اندازه‌گیری می‌شوند، ثابت و بدون تغییر بمانند اما مقادیر حدی اقلیمی کاملاً متفاوت و شدیدتر از قبل باشند (به‌عنوان مثال، شدت یا فراوانی طوفان، مقادیر حدی دما، یا تفاوت‌های مکانی تغییر کند). تأثیر تغییرات اقلیمی بر سلامت بوم‌سازگان آبی بستگی به این جنبه‌های مختلف اقلیمی دارد که در ایالت تنسی روی داده است.

در این ارزیابی از داده‌های تغییرات دما و بارش تصویرسازی (پیش-بینی‌شده) حاصل از مدل اقلیمی جهانی ریزمقیاس‌نمایی‌شده برای سرتاسر ایالت استفاده شد. برای لحاظ‌کردن جنبه‌های مختلف رژیم اقلیمی مرتبط

با خشک‌سالی و شدت گرما (فرض بر این است که این دو عامل بیشترین تأثیر را بر سلامت بوم‌سازگان آبی دارند)، از دو سنجه آسیب‌پذیری تغییرات اقلیمی استفاده شد:

- بیشینه تعداد روزهای متوالی با بارش کمتر از ۲/۵ میلی‌متر در سال در طی یک دوره ۳۰ ساله؛ و
- میانگین سالانه تعداد روزهای با دمای بیشینه بیش از ۳۵ درجه سانتی‌گراد در طی یک دوره ۳۰ ساله.

میزان تغییر این دو سنجه بین دوره تاریخی ۳۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۸۰) و دوره ۳۰ ساله آتی پیش‌بینی‌شده (۲۰۴۰-۲۰۱۰) ارزیابی و محاسبه شدند.

داده‌های مورد استفاده برای محاسبه این سنجه‌ها از پیش‌بینی‌های اقلیمی و هیدرولوژیک ریزمقیاس‌نمایی‌شده CMIP3 و CMIP5 تهیه شد (http://gdo-dcp.ucllnl.org/downscaled_cmip_projections/). حدی‌ترین سناریوی انتشار (RCP 8.5) مدل CMIP5[1] مورد استفاده قرار گرفت تا برآورد شدیدتری از پتانسیل تغییرات اقلیمی حاصل شود (Taylor و همکاران، ۲۰۱۲) و مناطق آسیب‌پذیر به طرز بهتر و بیشتری بارزسازی شوند. از آنجا که سنجه‌های آسیب‌پذیری اقلیم منتخب، بر اساس داده‌های روزانه آماری ریزمقیاس نمایی شده است (ارائه جزئیات بیشتر در http://gdo-dcp.ucllnl.org/downscaled_cmip_projections/techmemo/downscaled_climate.pdf)، لذا در این ارزیابی، به‌جای استفاده از پیش‌بینی‌های گروهی یا

۱. Coupled Model Intercomparison Project 5

مقدار متوسط مدل‌های چندگانه، از یک مدل گردش جهانی منفرد استفاده شد.

مدل فیزیکی ترکیبی GFDL CM3 که به‌وسیلهٔ آزمایشگاه ژئوفیزیکی دینامیک سیالات[۱] مستقر در سازمان ملی اقیانوسی و جوی[۲] راه‌اندازی می‌شود، داده‌های روزانه را برای دوره‌های زمانی منتخب باقدرت تفکیک مکانی ۱/۸ درجه (تقریباً ۱۲ کیلومتر) برای سرتاسر ایالت ارائه می‌کند (دفتر احیا، ۲۰۱۳). درحالی‌که زیرشاخص آسیب‌پذیری اقلیمی با این دقت ارائه شده است، مقادیر آسیب‌پذیری اقلیمی مربوط به هر حوضه نیز تعیین و برای ارزیابی شاخص آسیب‌پذیری آبخیز استفاده شد. اگرچه ممکن است که آبخیزهای مجاور هم مقادیر یکسانی از زیرشاخص آسیب‌پذیری اقلیمی را دریافت کرده باشند، اما میزان تغییرات زیرشاخص برای کل ایالت آن قدر بود که فراهم آورنده اطلاعات مفیدی برای شاخص آسیب‌پذیری آبخیز باشد.

۱. Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL)

۲. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)

۲- نتایج و بحث

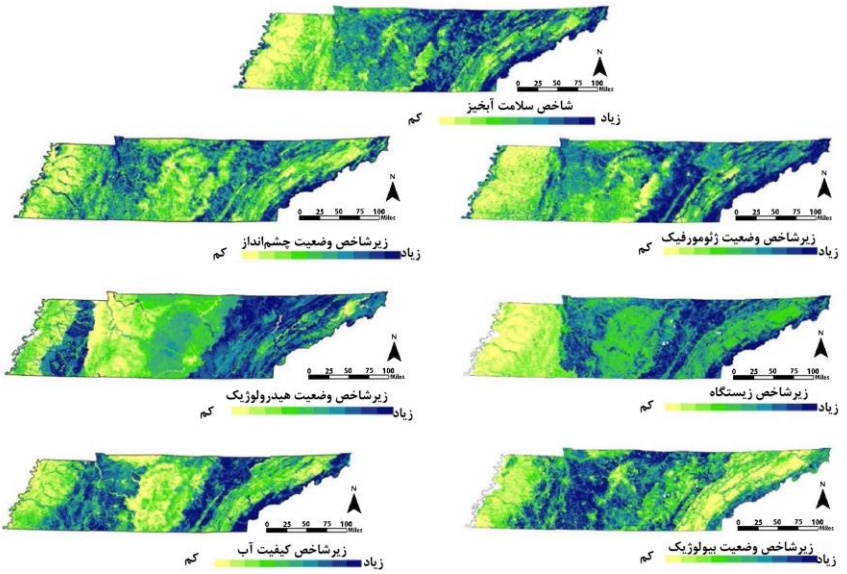
در این بخش نتایج تحلیلی و نقشه‌هایی که نشان‌دهنده نمرات مربوط به شاخص‌های سلامت و آسیب‌پذیری آبخیز و همچنین نمرات زیرشاخص‌های وضعیت چشم‌انداز، وضعیت هیدرولوژیکی، وضعیت زمین‌ریخت‌شناسی، کیفیت آب، وضعیت زیستگاه، وضعیت زیستی، آسیب‌پذیری کاربری زمین، آسیب‌پذیری مصارف آب، و آسیب‌پذیری تغییر اقلیم هستند، ارائه شده است. (نقشه‌های تمام صفحه تمام زیرشاخص‌ها و سنجه‌ها در پیوست ۱ ارائه شده است).

۱-۳- شاخص سلامت آبخیز

نمرات شاخص سلامت آبخیز در نقشه‌های شکل ۳-۱ ارائه شده است. مناطق دارای بیشترین نمرات در کوه‌های بلوریج و کوه‌های آپالاچی در شرق تنسی و در سرتاسر فلات داخلی واقع در بخش مرکزی ایالت قرار گرفته‌اند. این مناطق به دلیل برخورداری از ژئومورفولوژی پایدار، رژیم هیدرولوژیکی نسبتاً طبیعی آبراهه‌ها، آب باکیفیت، و شرایط نسبتاً مناسب زیستگاهی قادر به حمایت از جوامع مختلف زیستی هستند. کمترین امتیازات متعلق به مناطق بوم‌شناسی پشته و دره واقع در شرق تنسی، و دشت‌های لسی دره می‌سی‌سی‌پی واقع در غرب ایالت تنسی است. در این مناطق کاربری‌های غالب زمین متعلق به اراضی کشاورزی و شهری است که باعث تغییر شرایط طبیعی پوشش زمین و هیدرولوژی شده است. این تغییرات دارای آثار منفی بر کیفیت آب و زیستگاه بوده، نهایتاً منجر به کاهش تنوع جوامع زیستی می‌شود.

خلاصه اجرایی

همان‌طور که در بخش ۲ تشریح شد، این نمرات بر اساس مجموعه‌ای سنجه‌ها بود که بیانگر ویژگی‌های پوشش اراضی آبخیز و ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، و زیستی بوم‌سازگان‌های آبراهه می‌باشند. نمرات بر اساس دور رویکرد کلی الف) مقادیر اندازه‌گیری شده سنجه‌های سلامت آبخیز (به‌عنوان مثال، درصد پوشش طبیعی زمین، نسبت ذخیره‌سازی سد) و ب) مقادیر حاصل از مدل‌های آماری وضعیت آبراهه (به‌عنوان مثال، غلظت کل فسفر آبراهه) کمّی‌سازی شد. در رویکرد مدل‌سازی آماری، مقادیر سنجه‌ها بر اساس یک سری از متغیرهای مستقل (پیش‌بینی‌کننده‌ها) است که بیانگر ویژگی‌های طبیعی و یا انسانی آبخیز در مقیاس‌های مختلف هستند؛ بنابراین نمرات شاخص سلامت آبخیز منعکس‌کننده شرایط بوم‌شناسی است که به‌وسیلهٔ عوامل و ویژگی‌های زیر شکل‌گرفته است: ۱) تغییرات طبیعی خاک، توپوگرافی، زمین‌شناسی، هیدرولوژی، و سایر عوامل مشابه، ۲) عوامل تنش‌زای انسانی که بر مقادیر سنجه‌های اندازه‌گیری شده تأثیر گذاشته‌اند و ۳) عوامل تنش‌زای انسانی در مقیاس‌های بخشی (آبخیز) و تجمعی که ارتباط آن‌ها با سلامت آبخیز از طریق مدل‌سازی رگرسیونی برقرارشده است. مناطق با امتیاز بالا حاکی از آبخیزهایی است که دارای ویژگی‌های طبیعی بوده و کمتر تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی قرار گرفته‌اند.



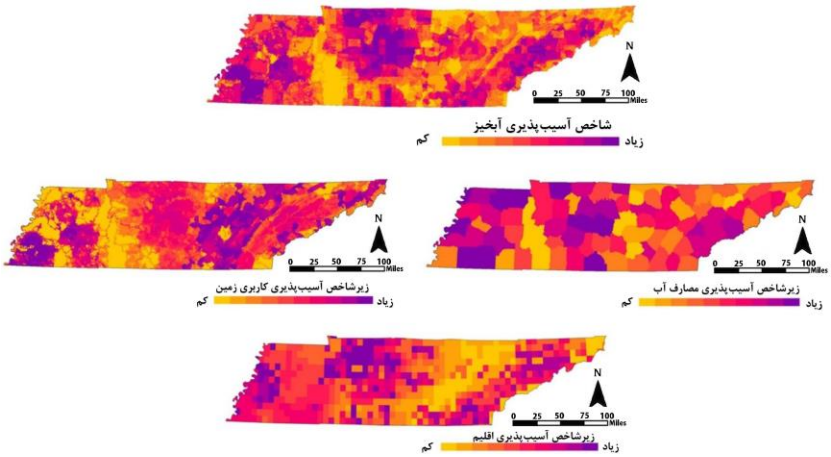
شکل ۳-۱- شاخص سلامت آبخیز و نمرات زیرشاخص‌ها برای ایالت تنسی

۳-۲-شاخص آسیب‌پذیری آبخیز

نمرات شاخص آسیب‌پذیری آبخیز در نقشه‌های شکل ۳-۲ ارائه شده است. بیشترین آسیب‌پذیری در مناطق جنوب کوه‌های بلوریج در شرق تنسی، منطقه شمال غربی فلات داخلی در تنسی مرکزی، و دشت لسی می‌سی‌سی‌پی در غرب ایالت تنسی قرار گرفته‌اند. کمترین امتیازات متعلق به مناطق بوم‌شناسی پشته و دره واقع در شرق تنسی، و دشت‌های لسی دره می‌سی‌سی‌پی واقع در غرب ایالت تنسی است. کمترین آسیب‌پذیری متعلق به کوه‌های آپالاچی و بخش شرقی فلات داخلی، و در امتداد مرز شمال شرقی تنسی است.

نمرات شاخص آسیب‌پذیری آبخیز تقریبی را از پتانسیل تخریب آینده سلامت بوم‌سازگان آبی ارائه می‌کند. آن‌ها نمایی از آبخیز را ارائه می‌کنند که در معرض چه نوع اقلیم، کاربری زمین و مصارف آب قرار دارد، اما به‌صراحت مشخص نمی‌کنند که این تغییرات اقلیم، کاربری زمین، و

مصارف آب چه تأثیری بر وضعیت فیزیکی، شیمیایی و زیستی بدنه آبی دارد. با استفاده توأمان این شاخص همراه با نمرات شاخص سلامت آبخیز، می‌توان مناطق در حال حاضر سالم اما آسیب‌پذیر که بیشتر نیازمند حفاظت هستند را شناسایی کرد.



شکل ۳-۲- شاخص آسیب‌پذیری آبخیز و نمرات زیرشاخص‌ها برای ایالت تنسی

۳- فرضیات و محدودیت‌ها

در طول مراحل انجام این ارزیابی، فرض‌هایی در نظر گرفته شد که ممکن است سبب ایجاد محدودیت‌هایی در استفاده از نتایج آن برای برنامه‌ریزی حفاظت از آبخیز شود. این فرضیات که می‌بایست برای استفاده‌کنندگان نتایج ارزیابی معلوم و مشخص شوند، در زیر تشریح شده‌اند.

۴-۱- چارچوب مکانی

- شبکه آبراهه پایگاه داده هیدروگرافی ملی دارای مقیاسی متوسط (۱:۱۰۰۰۰۰) از مکان‌های پیکره‌های آبی در تنسی است. هر چند که در این ارزیابی، صحت شبکه آبراهه پایگاه داده هیدروگرافی ملی مورد بررسی قرار نگرفت، اما مشخص شد که این پایگاه داده از صحت کافی برای اولویت‌بندی منطقه‌ای آبخیزها برای اقدامات حفاظتی، برخوردار است.
- نمرات سنجه، زیرشاخص، و شاخص بیانگر شرایط کلی یا متوسط در یک آبخیز هستند. نتایج ارزیابی برای مقیاس‌های کوچک (آبخیزهای کوچک‌تر از تقریباً یک مایل مربع یا ۲۵۸ هکتار) اطلاعاتی را ارائه نمی‌کنند.

۴-۲- سنجه‌ها و زیرشاخص‌های سلامت آبخیز

- انتخاب سنجه‌های سلامت آبخیز بر اساس معیارهایی همچون در دسترس بودن داده‌ها، کیفیت داده‌ها، دامنه پوشش مکانی و زمانی

داده‌ها، و ارتباط داشتن با سلامت آبخیز انجام شده است؛ بنابراین نمرات شاخص سلامت تنها دربردارنده ویژگی‌های سنجه‌های منتخب و داده‌های مورد استفاده است و جنبه‌های فراتر از سنجه-های منتخب را شامل نمی‌شود.

- در این ارزیابی فرض بر این است که تعداد و توزیع نمونه‌ها برای ایجاد مدل‌های آماری برای برآورد وضعیت و شرایط نوع آبراهه و منطقه بوم‌شناسی کافی است (به ویژه نمونه‌ها و سنجه‌های جمع آوری‌شده از حوضه‌های کوچک‌تر برای برآورد وضعیت حوضه‌های بزرگ‌تری که فاقد داده‌های صحرایی اندازه‌گیری شده می‌باشند).
- در فرایند انتخاب سنجه‌ها، همبستگی میان آن‌ها بررسی و مدنظر قرار گرفته است. بررسی همبستگی میان سنجه‌ها می‌تواند مشخص کند که اطلاعات ارائه شده به‌وسیلهٔ یک سنجه از طریق سنجه دیگری فراهم‌شده و در محاسبه مقدار شاخص وارد شده است؛ بنابراین می‌تواند از وزین شدن نمرات شاخص نسبت به سنجه‌های همبسته جلوگیری کند.

۱-۲-۴- زیرشاخص وضعیت زیستگاه

- فرض بر این است که پایگاه داده ملی پوشش اراضی سال ۲۰۱۱ که در این ارزیابی مورد استفاده قرار گرفته است، نشان‌دهنده وضعیت فعلی چشم‌انداز است. علاوه‌بر این، پایگاه داده ملی پوشش اراضی دارای تفکیک مکانی ۳۰ متر است؛ بنابراین، ویژگی‌ها یا

تغییرات کاربری زمین کوچک‌تر از ۳۰ متر مدنظر قرار نگرفته است.

- گروه‌بندی طبقات پایگاه داده ملی پوشش اراضی به واحدهای طبیعی، نیمه‌طبیعی و غیرطبیعی بر اساس جزئیات توصیفی طبقات انجام‌شده و به‌وسیلهٔ گروه فنی به تأیید رسیده است. به‌عنوان مثال، درختچه زار به مناطقی اطلاق می‌شود که پوشش غالب آن درختانی است که ارتفاع کمتر از پنج متر داشته، تاج‌پوشش درختچه‌ای بیش از ۲۰ درصد از کل تاج‌پوشش گیاهی منطقه است. این واحد شامل درختان جوانی است که در مراحل ابتدایی توالی قرار دارند و یا درختان کوتاه‌قدی که از شرایط محیطی بهره کافی را نبرده‌اند. تا زمانی که ارتفاع درختان کمتر از ۵ متر باشد، منطقه را نمی‌توان به‌عنوان جنگل قلمداد کرد. به دلیل وضعیت و حالت انتقالی واحدهای درختچه زار، بوته‌زار، و علفزار، این طبقات جزو اراضی نیمه‌طبیعی محسوب می‌شوند، درحالی‌که اراضی جنگلی جزو زمین‌های طبیعی می‌باشند. اراضی نیمه‌طبیعی بیانگر مقداری انحراف و خروج از شرایط طبیعی می‌باشند، اما به‌اندازه اراضی غیرطبیعی سلامت آبخیز را کاهش نمی‌دهند؛ بنابراین، وزن تعلق‌گرفته به اراضی نیمه‌طبیعی کمتر از اراضی طبیعی است. براین‌اساس رتبه آبخیزهای با پوشش نیمه‌طبیعی کمتر از آبخیزهای با پوشش طبیعی ولی بالاتر از آبخیزهای است که پوشش غالب آن‌ها را اراضی غیرطبیعی تشکیل داده است.

- در این ارزیابی، جنگل‌هایی که برای تولید الوار تحت مالکیت افراد قرار داشته و مدیریت می‌شوند نیز اراضی نیمه‌طبیعی محسوب می‌شوند. این جنگل‌ها متفاوت از جنگل‌های طبیعی هستند زیرا بیشتر درختان آن‌ها هم‌سن بوده و تولید الوار آن‌ها به واسطه اقدامات مدیریتی نظیر تغییر آبیاری یا کاربرد علف‌کش‌ها در حد بالایی قرار دارد. در هنگام برداشت چوب، بوم‌سازگان‌های آبی به واسطه افزایش مقادیر پارامترهایی نظیر دمای آب، رسوب و گل‌آلودی، مواد مغذی محلول، خرده‌چوب‌ها، و دبی جریان آبراهه تحت تنش قرار می‌گیرند (Lynch و همکاران، ۱۹۸۰؛ Swank و همکاران، ۱۹۸۹).

۲-۲-۴- زیرشاخص وضعیت زمین‌ریخت‌شناسی

- زمین‌ریخت‌شناسی سعی دارد تا انواع نیروها و فرایندهایی را که در شکل‌گیری سامانه‌های رودخانه و پویایی آن‌ها نقش دارند، تشریح کند. فرایندهای ایجاد کانال رودخانه پیچیده است و از طرفی حتی در صورت عدم دخالت انسان، رودخانه‌ها همواره جاری و متحرک، و پویا بوده و دائماً تااندازه‌ای تغییر شکل می‌دهند؛ بنابراین قدری مشکل است که روش یا ابزاری ایجاد کرد که بتوان با آن پایداری زمین‌ریخت‌شناسی را برای کل ایالت برآورد کرد. اندازه‌گیری‌های زمین‌ریخت‌شناسی میدانی در مقیاس آبخیز به‌جز برای تعداد معدودی از آبخیزهای خاص، انجام نگرفته است. برخلاف پایش کیفیت آب و وضعیت زیستی، ارزیابی و پایش صحرایی وضعیت

زمین‌ریخت‌شناسی حتی آن‌قدر کافی نیست که بتوان با داده‌های آن‌ها مدل‌های آماری ایجاد کرد و پایداری کانال را در آبخیزهای فاقد داده برآورد کرد.

- ازآنجاکه امکان توسعه یک مدل آماری فراهم نیست، لذا از داده‌های مکانی برای برآورد پتانسیل وضعیت زمین‌ریخت‌شناسی آبخیزها استفاده شد. برخی از متغیرهایی مؤثر بر شکل‌گیری کانال مانند زبری بستر یا میزان اتصال کانال به دشت سیلابی را نمی‌توان با داده‌های موجود هیدرولوژی، زمین‌شناسی، و چشم‌انداز تعیین یا جایگزین کرد؛ لذا در این ارزیابی، پتانسیل زمین‌ریخت‌شناسی بیشتر بر اساس عامل‌های پایداری کانال مانند جریان آبراهه، و پوشش‌های اراضی مؤثر بر کنترل و کاهش رواناب برآورد شده است. این محدودیت باعث می‌شود که داده‌های مکانی مورد استفاده دربردارنده تمام اجزای ژئومورفولوژی نباشند و یک شرایط خاص محلی ممکن است که تا حد زیادی ویژگی‌های آبخیز را متأثر و دچار تغییر کند؛ بنابراین، زیرشاخص وضعیت زمین‌ریخت‌شناسی در مقایسه با سایر زیرشاخص‌ها دارای دقت کمتری است.

۳-۲-۴-زیرشاخص وضعیت هیدرولوژیک

- وضعیت هیدرولوژیک در سه بخش مجزا مورد بررسی قرار گرفت: آب‌های تنظیم‌نشده شرقی، آب‌های تنظیم‌نشده غربی، و آب‌های تنظیم‌شده سراسر ایالت. برای وضعیت هیدرولوژیک، ابتدا

زیرحوضه‌های مرجع که بخش عمده آن‌ها را مناطق جنگلی تشکیل داده و میزان آشفتگی جریان آن‌ها در کمینه ممکن قرار دارد، تعیین شدند. معادلات ایجادشده برای آبخیزهای رودخانه تنسی و کامبرلند (تنسی شرقی)، برای بخش‌های کوچکی از حوضه کوسا[1] (رودخانه آلاباما) واقع در جنوب شرقی ایالت مورد استفاده قرار گرفت. معادلات شرق تنسی بر اساس عوامل مختلف فیزیکی نظیر کاربری اراضی، شیب، خاک، شرایط زیرسطحی، اقلیم، و منطقه بوم‌شناسی ایجاد شدند. معادلات غرب تنسی به سه عامل متکی بودند: مساحت حوضه، عوامل زمین‌شناسی، و عوامل خاک‌شناسی که در شرق ایالت نیز مورد استفاده قرار گرفتند (پیوست ۳).

۴-۲-۴- زیرشاخص وضعیت زیستگاه

- در این ارزیابی فرض شد که نمرات دستورالعمل ارزیابی سریع زیستی بیانگر وضعیت زیستگاه آبخیز است. باوجوداینکه در دستورالعمل ارزیابی سریع زیستی، تعداد زیادی سنجه زیستی با هم ترکیب و به یک نمره ادغام می‌شوند، با این حال، مؤلفه‌های زیادی نیز اندازه‌گیری نشده و مغفول می‌مانند؛ بنابراین در این دستورالعمل از زیستگاه گونه‌های خاص به دلیل محدودیت داده‌ها صرف‌نظر شده، و تمرکز اصلی ارزیابی بر روی وضعیت کلی زیستگاه آبی است.

---

۱. Coosa basin

۴-۲-۵-زیرشاخص وضعیت زیستی

- در مورد وضعیت زیستی نیز اطلاعات کافی در خصوص تمامی اجزای زیستی بوم‌سازگان موجود نبود. به‌عنوان مثال، داده‌های یکنواختی از شاخص جامعیت زیستی ماهی برای کل ایالت موجود نبود. هر چند که دو اداره (اداره دره تنسی و سازمان منابع حیات وحش تنسی) داده‌های مرتبط با ماهی‌ها را جمع‌آوری می‌کنند، اما با این حال، گزارش داده‌های شاخص جامعیت ماهی برای تمام مناطق ارائه نشده است. براین‌اساس، فقط در مناطق بوم‌شناسی کوه‌های بلوریج، و دره و پشته، داده‌های کافی برای این شاخص وجود داشت که در این ارزیابی مورد استفاده قرار گرفت. البته از ویژگی‌های سایر موجودات آبزی (صدف‌ها، پری‌فیتون‌ها) نیز می‌توان برای ارزیابی سلامت آبخیز استفاده کرد، اما در مورد این موجودات نیز داده و اطلاعات کافی موجود نبود و نمونه‌های آن‌ها از تعداد و توزیع جغرافیایی مناسبی برخوردار نبودند.

۴-۳-سنجه‌ها و زیرشاخص‌های آسیب‌پذیری آبخیز

- انتخاب سنجه‌های سلامت آبخیز بر اساس معیارهایی همچون در دسترس بودن داده‌ها، کیفیت داده‌ها، دامنه پوشش مکانی و زمانی داده‌ها، و ارتباط داشتن با آسیب‌پذیری آبخیز صورت پذیرفته است؛ بنابراین نمرات شاخص آسیب‌پذیری تنها دربردارنده ویژگی-های سنجه‌های منتخب بوده، جنبه‌های فراتر از سنجه‌های منتخب را شامل نمی‌شود.

- مقادیر سنجه تغییرات درصد اراضی نفوذناپذیر پیش‌بینی‌شده، منعکس‌کننده فقط تغییرات اراضی نفوذناپذیر ناشی از توسعه شهری است. در این ارزیابی تغییرات کاربری اراضی ناشی از توسعه کشاورزی به دلیل فقدان داده مدنظر قرار نگرفته است.
- برای آسیب‌پذیری مصارف آب، نیروگاه‌هایی که قرار است در آینده تغییرات خاصی در آن‌ها ایجاد شود (به‌عنوان مثال، تبدیل یک نیروگاه حرارتی زغال‌سنگی به یک نیروگاه توربینی ترکیبی) مدنظر قرار نگرفته‌اند. در عوض، از یک میزان کلی تغییر در برداشت و مصرف آب تمام نیروگاه‌ها در سال ۲۰۱۰، برای برآورد وضعیت آینده استفاده شد. همچنین مصارف آب حاصل از انتقالات بین‌حوضه‌ای، آبیاری، و آبزی‌پروری در نظر گرفته نشده است. میزان تغییر (افزایش یا کاهش) سطح اراضی کشت آبی هر شهر طی سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲ محاسبه، و برای پیش‌بینی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۴۰، این میزان به‌طور عدد ثابتی در نظر گرفته شد.
- آسیب‌پذیری اقلیمی بر مبنای نتایج سناریوی بدترین حالت یا حدی‌ترین سناریوی انتشار (RCP 8.5) یک مدل گردش جهانی منفرد (CMIP5) که به‌وسیلهٔ سازمان ملی اقیانوسی و جوی توسعه‌یافته است، صورت پذیرفت.

۴- استفاده و کاربرد نتایج ارزیابی

این ارزیابی برای توصیف ویژگی‌های سلامت و آسیب‌پذیری آبخیزها در ایالت تنسی، مقادیر زیادی از داده و اطلاعات را با هم ترکیب کرده است. نتایج این ارزیابی بیشتر برای این منظور است که کدام آبخیزها از اولویت بیشتری برای اقدامات حفاظتی برخوردارند و نباید از آن‌ها برای تعیین وضعیت قطعی بوم‌سازگان‌های آبی استفاده کرد. نتایج ارزیابی همچنین می‌تواند به‌عنوان پایه‌ای برای ارزیابی روند تغییرات زمانی سلامت آبخیز، و ارزیابی اثربخشی سیاست‌های حفاظتی موجود مورد استفاده قرار گیرد. علاوه‌بر این گزارش، نتایج ارزیابی به صورت لایه‌های داده‌های مکانی نیز موجود و در دسترس است که کاربران مختلف می‌توانند از آن‌ها برای تجزیه و تحلیل در مقیاس‌های مختلف مکانی استفاده کنند. در این گزارش نتایج ارزیابی در حد کوچک‌ترین تفکیک مکانی آبخیزها (با میانه مساحت ۱۵۵ هکتار) ارائه شده است. ولی نتایج را می‌توان برای آبخیزهای بزرگ‌تر (تا مقیاس کدهای ۱۰ و ۱۲ واحدهای هیدرولوژیکی سازمان زمین‌شناسی آمریکا یا در مناطق بوم‌شناسی) نیز تجمیع و ارائه کرد. در زیر خلاصه‌ای از پتانسیل کاربرد نتایج ارزیابی به‌وسیلهٔ کمیته فنی طرح آبخیز سالم تنسی ارائه شده است.

برنامه‌ریزی آبخیز: این ارزیابی مکملی برای رویکرد آبخیزمحور است که در حال حاضر در ایالت تنسی برای مدیریت منابع در حال اجرا است. برنامه‌ریزی آبخیز می‌تواند در مقیاس‌های ایالتی، محلی، و یا منطقه-

ای صورت پذیرد. نتایج حاصل از این ارزیابی می‌تواند چارچوب مناسبی را برای تعیین اهداف حفاظت و احیای آبخیزها در آینده فراهم کند. همچنین تلفیق این نتایج با مشاهدات میدانی هر آبخیز می‌تواند کمک شایانی به شناسایی اقدامات مناسب مدیریتی به‌عنوان بخشی از فرایند برنامه‌ریزی آبخیز کند.

بهبود فرایند نظارت و ارزیابی: نتایج این ارزیابی گوشزد می‌کند که برنامه‌های پایش بوم‌سازگان‌های آبی می‌بایست دامنه وسیعی از شرایط آبخیز را برای جمع‌آوری داده‌ها در نظر بگیرند. این نتایج وضعیت آبخیز را بر اساس پایش و داده‌های به‌کار گرفته شده ارزیابی کرده است و از آن‌ها می‌توان برای غربالگری و شناسایی آبخیزهای اولویت‌دار با هدف انجام ارزیابی‌های دقیق‌تر استفاده کرد.

همچنین، در آبخیزهای مرجع می‌توان با استفاده از نتایج این ارزیابی، اجزای مختلفی از وضعیت زیستی را انتخاب، و تغییرات زمانی آن‌ها را پایش کرد و درنتیجه میزان اثربخشی اقدامات حفاظتی را در آبخیزهای مرجع تعیین کرد.

اطلاع‌رسانی و ایجاد ارتباط: نقشه‌ها و سایر پیش‌بینی‌های حاصل از این ارزیابی می‌تواند نقش مؤثری در بیان ضرورت و اهمیت حفاظت از آبخیزها برای افراد غیرفنی و جامعه ایفا کرده و همچنین توجه تصمیم-سازان ملی و منطقه‌ای را جلب کند. این اطلاعات می‌تواند فعالیت‌ها و تلاش‌های سازمان‌های مرتبط با امر حفاظت از آبخیز را توجیه و حمایت کرده و در این زمینه، کاستی‌های موجود را مشخص کند.

بهبود فرایند تصمیم‌گیری: شناسایی آبخیزهای سالم می‌تواند اطلاعات مفیدی را برای بهبود فرایند تصمیم‌گیری انواع مختلفی از پروژه-ها از جمله تخفیف جبرانی[۱]، تملک اراضی[۲] و احیای معادن[۳] فراهم کند. این نتایج همچنین می‌تواند منجر به تقویت همکاری بین سازمان‌ها و سایر اعضای مختلف برای حافظت از آبخیزهای اولویت‌دار شود.

ارزیابی اقتصادی: نتایج ارزیابی می‌تواند به‌عنوان پایه‌ای برای انجام تحلیل‌های نسبت سود به هزینه که با هدف توجیه اقتصادی حفاظت از مناطق سالم بوم‌شناسی در تنسی انجام می‌شوند، مورد استفاده قرار گیرد. این نتایج همچنین برای ارزیابی اثراتی که تصمیمات اخذشده در زمینه کاربری اراضی و مصارف آب بر سلامت بوم‌سازگان‌های آبی ایالت دارند، بسیار مفید است.

پرکردن گپ داده‌ها: در این پروژه، از طیف گسترده‌ای از داده‌ها برای ارزیابی و توصیف وضعیت سلامت و آسیب‌پذیری آبخیزها استفاده شده است. در این پروژه، انواع گپ‌های داده از نظر نوع و مکان‌های فاقد داده مشخص شد. در این راستا، سازمان‌های مختلف می‌توانند با یکدیگر همکاری کرده و کیفیت داده‌ها را برای انجام مقایسه مناطق مختلف ارتقا دهند. به‌عنوان مثال، درحالی‌که داده‌های ماهی برای سرتاسر ایالت موجود است، اما روش استانداردی برای محاسبه شاخص جامعیت زیستی وجود ندارد. این محدودیت باعث شد که نمرات شاخص جامعیت زیستی ماهی به‌عنوان یک سنجه وضعیت زیستی، فقط برای مناطق بوم‌شناسی پشته و

---

۱. Compensatory mitigation

۲. Land acquisition

۳. Mine reclamation

دره، و کوه‌های بلوریج قابل‌استفاده باشد. این ارزیابی به طرز مناسبی این نوع نواقص آماری و محدودیت‌های اطلاعاتی در مجموعه‌داده‌های موجود را آشکار کرد. درنتیجه می‌توان با برطرف‌کردن نواقص آماری و رفع محدودیت‌های اطلاعاتی دیگر زمینه را برای انجام ارزیابی‌های بهتر و پرکاربردتر فراهم کرد.

منابع

Barnett, A. 2015. The Nature Conservancy. 100 Peachtree St. Atlanta, GA. E-mail Communication with RTI. April 2015.

Bohac, C.E., and A.K. Bowen. 2012. Water Use in the Tennessee Valley for 2010 and Projected Use in 2035. Tennessee Valley Authority. 89 pp.

Bureau of Reclamation. 2013. Downscaled CMIP3 and CMIP5 Climate and Hydrology Projections: Release of Downscaled CMIP5 Climate Projections, Comparison with preceding Information, and Summary of User Needs. 47 pp. Denver, CO: U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Technical Services Center.

Castro, J., F. Reckendorf, and U.S. Natural Resources Conservation Service. 1995. RCA III, Effects of Sediment on the Aquatic Environment: Potential NRCS Actions to Improve Aquatic Habitat. U.S.

Dunscomb J.K., J.S. Evans, J.M. Strager, M.P. Strager, and J.M. Kiesecker. 2014. Assessing Future Energy Development across the Appalachian Landscape Conservation Cooperative. Charlottesville (VA): The Nature Conservancy. 48 pp with appendices. Appalachian Landscape Conservation Cooperative Grant #2012-02.

Griffith, G.E., J.M. Omernik, and S.H. Azevedo. 1997. Ecoregions of Tennessee. Corvallis, OR: U.S. Environmental Protection Agency, EPA/600R-97/022, 51 p.

Jones, D.S., D.G. Kowalski, and R.D. Shaw. 1996. Calculating Reviewed Universal Soil Loss Equation (RUSLE) Estimates on Department of Defense Lands: A Review of RUSLE Factors and U.S. Army Land Condition-Trend Analysis (LCTA) Data Gaps. Fort Collins, CO: Center for Ecological Management of Military Lands. Department of Forest Science, Colorado State University.

Knight R.R., W.S. Gain, and W.J. Wolfe. 2012. Modelling ecological flow regime: an example from the Tennessee and Cumberland River basins. Ecohydrology 5: 613–627.

Knight, R.R., J.C. Murphy, W.J. Wolfe, C.F. Saylor, and A.K. Wales. 2014. Ecological limit functions relating fish community response to hydrologic departures of the ecological flow regime in the Tennessee River basin, United States. Ecohydrology 7(5): 1292–1280.

Law, G.S., G.D. Tasker, and D.E. Ladd. 2009. Streamflow-Characteristic Estimation Methods for Unregulated Streams of Tennessee. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2009–5159, 212 p.

Leopold, L.B., M.G. Wolman, and J.P. Miller. 1964. Fluvial Processes in Geomorphology. W.H. Freeman and Company. San Francisco, CA. 511 p.

Lynch, J.A., E.S. Corbett, and W.E. Sopper. 1980. Evaluation of management practices on the biological

Maupin, M.A., J.F Kenny, S.S. Hutson, J.K. Lovelace, N.L. Barber, and K.S. Linsey. 2014. Estimated Use of Water in the United States in 2010. U.S. Geological Survey Circular 1405, 56 p., http://dx.doi.org/10.3133/cir1405.

Mitchell, H.B. 2012. Data Fusion: Concepts and Ideas. Springer, 2nd edition. 346 pages.

Nicholson, S.W., C.L. Dicken, J.D. Horton, K.A. Labay, M.P. Foose, and J.A.L. Mueller. 2005. Preliminary integrated geologic map databases for the United States: Kentucky, Ohio, Tennessee, and West Virginia. Version 1.1. U.S. Geological Survey Open-File Report 2005-1324, digital dataset.

Omernik, J., and G. Griffith. 2009. Ecoregions of Tennessee (EPA). Available at http://www.eoearth.org/view/article/152206

Poff, N.L, J.D. Allan, M.B. Bain, J.R. Karr, K.L. Prestegaard, B.D. Richter, R.E. Sparks, and J.C. Stromberg. 1997. The natural flow regime: A paradigm for river conservation and restoration. Bioscience 47(11): 769–784.

Rosgen, D. 2006. Watershed Assessment of River Stability and Sediment Supply. Wildland Hydrology, Fort Collins, CO.

Swank, W.T., L.F. DeBano, and D. Nelson. 1989. Effects of timber management practices on soil and water. Pages 79–106 in R. Burns (Tech. comp.), The Scientific Basis for Silvicultural and Management Decisions in the National Forest System. GTR-WO-55. Washington, DC. USDA Forest Service.

Taylor, K.E., R.J. Stouffer, and G.A. Meehl. 2012. An Overview of CMIP5 and the experiment design. Bulletin of the American Meteorological Society, 93: 485-498. doi:10.1175/BAMS-D-11-00094.1

Tennessee Department of Environment and Conservation (TDEC). 2011. Quality System Standard Operating Procedure for

Macroinvertebrate Stream Surveys. State of Tennessee, Department of Environment and Conservation, Division of Water Pollution Control.

Tennessee Healthy Watershed Initiative (THWI). 2015. Watershed Stewardship. Tennessee Department of Environment and Conservation. Available at https://www.tn.gov/environment/article/ Tennessee -healthy-watershed-initiative

The Nature Conservancy (TNC). 2012. Database Development and Spatial Analyses in Support of Tennessee's State Wildlife Action Plan, 2012 Data and Methods Update. Available at http://teaming.com/sites/default/files/TN-SWAP%20Data%20and%20Methods%20Update%20Report%202012.pdf.

U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). 2012. Identifying and Protecting Healthy Watersheds: Concepts, Assessments, and Management Approaches. EPA 841-B-11-002. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.

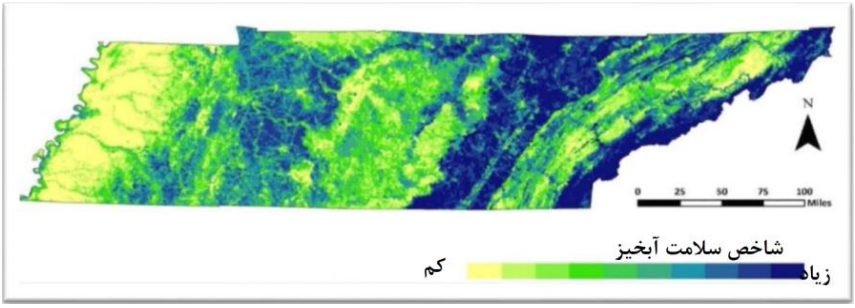
U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). 2014. Watershed Index Online (WSIO). Available at http://gispub.epa.gov/wsio/.

پیوست ۱- اطلس نقشه‌ها

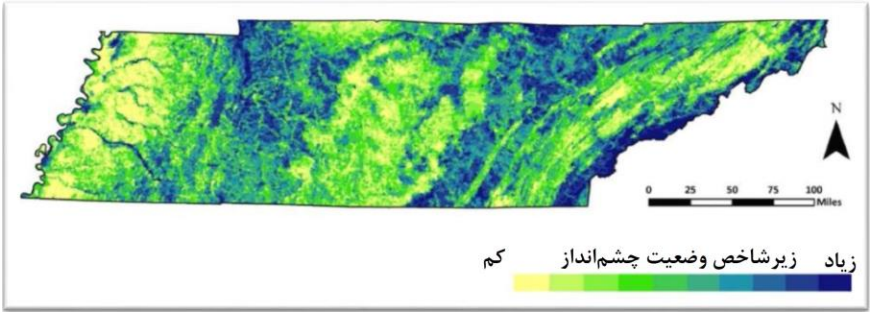
در این پیوست نقشه‌های تمام‌صفحه کلیه سنجه‌ها، زیرشاخص‌ها، و شاخص‌های سلامت و آسیب‌پذیری آبخیز برای تمام حوضه‌های شبکه ملی هیدروگرافی موجود در تنسی ارائه شده است. دستورالعمل‌های زیر برای تهیه نقشه‌ها به‌کار گرفته شده است:

- ✓ نقشه‌ها نشان‌دهنده مقادیر نرمال شده رتبه‌ای نمرات سنجه، زیرشاخص، و شاخص‌ها هستند.
- ✓ نقشه‌ها با استفاده از یک طبقه‌بندی که شامل ۱۰ طبقه رنگی با فواصل برابر است، ایجادشده‌اند. ازآنجاکه نمرات نرمال هستند، بنابراین این طبقه‌ها با دهک‌ها منطبق هستند.
- ✓ نقشه‌ها به‌جای مقادیر اصلی سنجه‌ها، بر اساس رابطه مستقیم یا معکوس داشتن با زیرشاخص‌ها و شاخص‌ها تنظیم شده‌اند. به‌عنوان مثال، غلظت کل نیتروژن رابطه معکوسی با سلامت آبخیز دارد و آبخیزهای با غلظت کل نیتروژن کم از سلامت بیشتری برخوردارند و بنابراین نمره بالایی را برای سنجه نیتروژن کل به خود اختصاص می‌دهند.

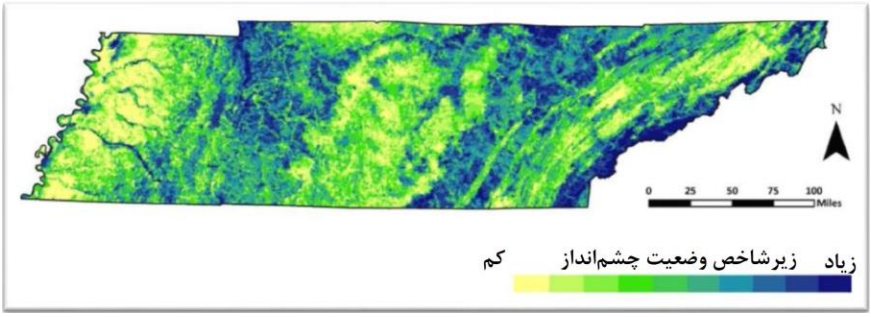
پیوست ۱- طلس نقشه‌ها



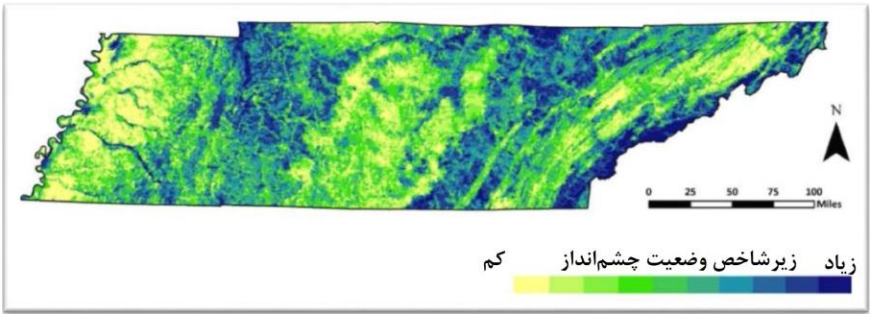
شکل ۱- شاخص سلامت آبخیز.



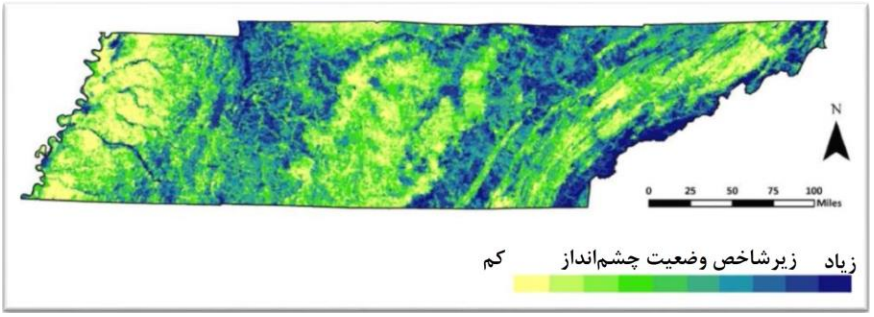
شکل ۲- زیرشاخص وضعیت چشم‌انداز.



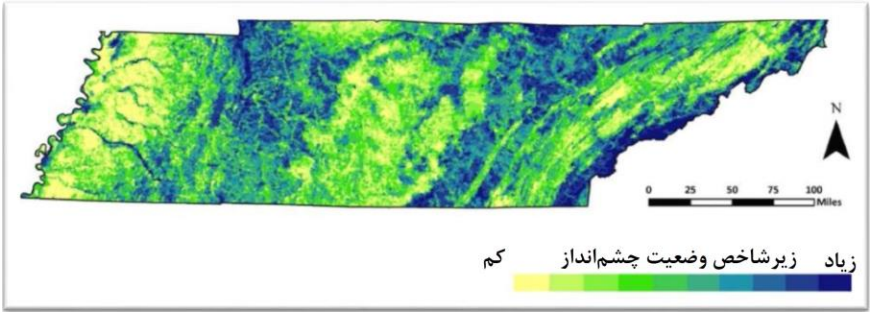
شکل ۳- سنجه وضعیت چشم‌انداز: درصد پوشش طبیعی زمین.



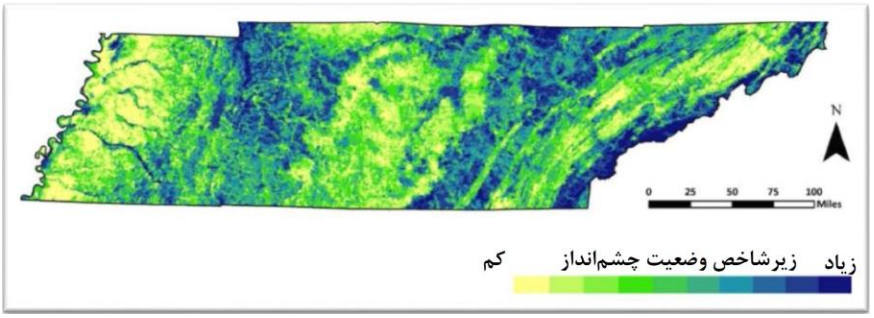
شکل ۴- سنجه وضعیت چشم‌انداز: درصد اراضی طبیعی در منطقه فعال هیدرولوژیکی.



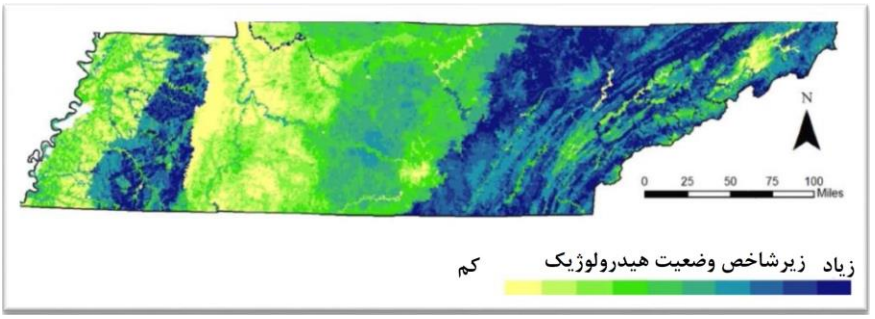
شکل ۵- زیرشاخص وضعیت زمین‌ریخت‌شناسی.



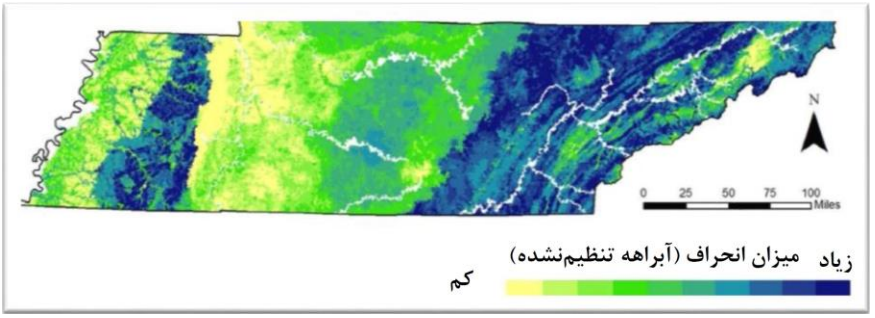
شکل ۶- سنجه وضعیت زمین‌ریخت‌شناسی: نیروهای فرساینده.



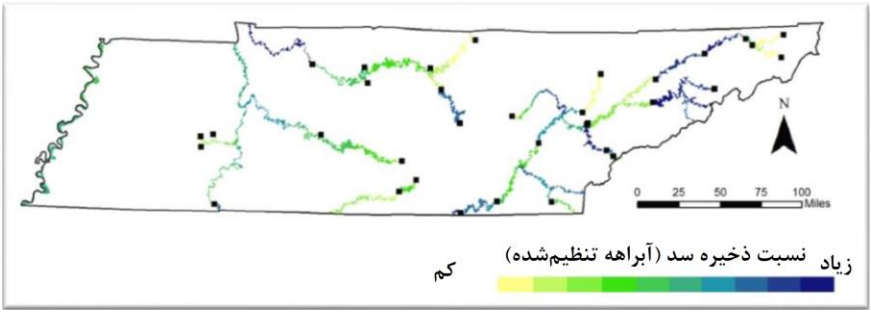
شکل ۷- سنجه وضعیت زمین‌ریخت‌شناسی: نیروهای مقاومتی.



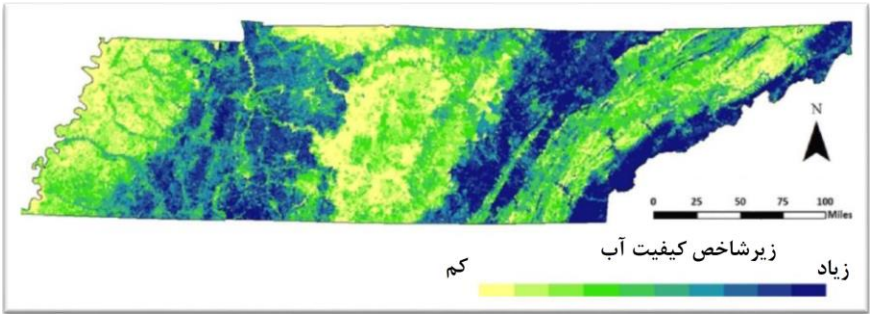
شکل ۸- زیرشاخص وضعیت هیدرولوژیک.



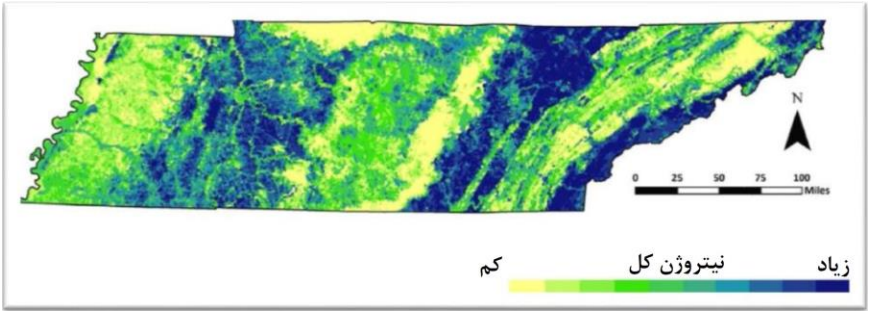
شکل ۹- سنجه وضعیت هیدرولوژیک: انحراف ویژگی‌های جریان از شرایط مرجع (آبراهه‌های تنظیم‌نشده).



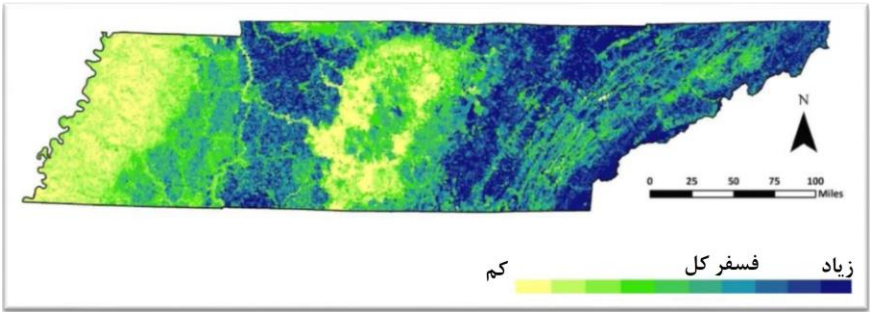
شکل ۱۰– سنجه وضعیت هیدرولوژیک: نسبت ذخیره سد (آبراهه‌های تنظیم‌شده).



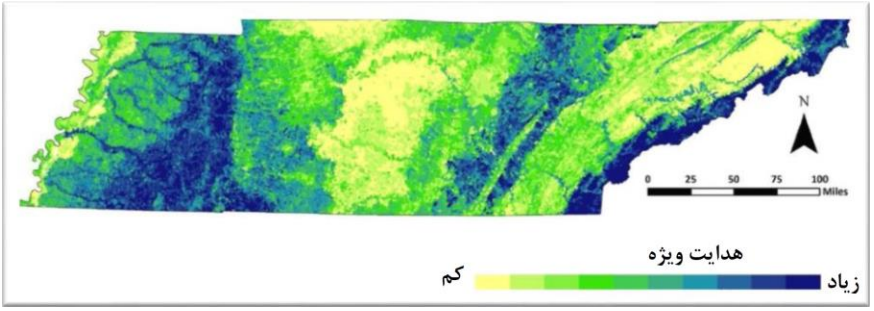
شکل ۱۱– زیرشاخص کیفیت آب.



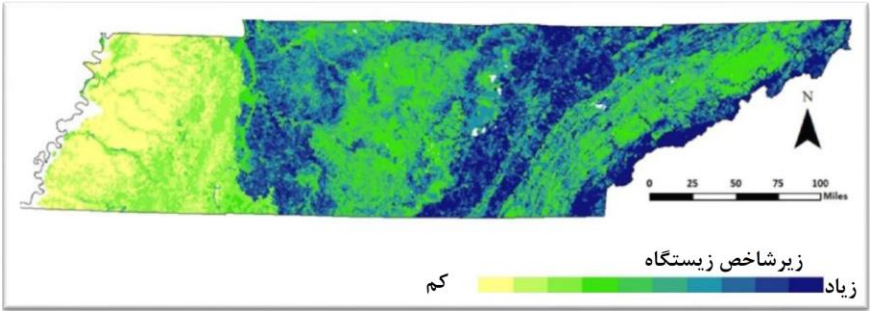
شکل ۱۲– سنجه کیفیت آب: وضعیت نیتروژن کل آبراهه. نکته: مقادیر بالا = پایین بودن غلظت نیتروژن کل.



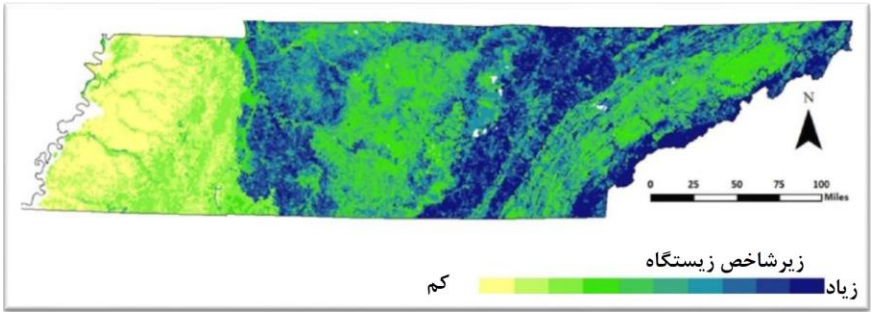
شکل ۱۳- سنجه کیفیت آب: وضعیت فسفر کلی آبراهه. نکته: مقادیر بالا = پایین بودن غلظت فسفر کل.



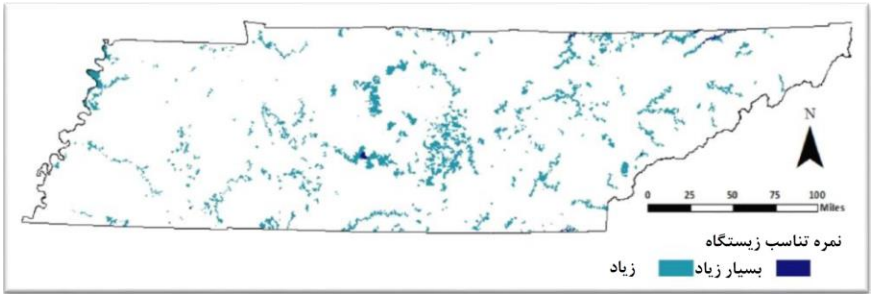
شکل ۱۴- سنجه کیفیت آب: وضعیت هدایت ویژه آبراهه. نکته: مقادیر بالا = پایین بودن مقادیر هدایت ویژه.



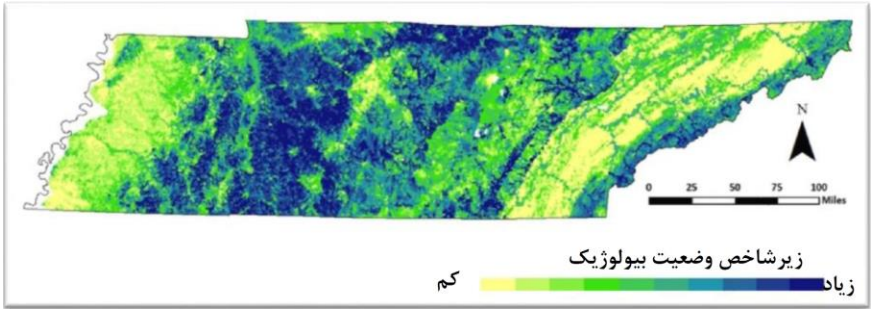
شکل ۱۵- زیرشاخص وضعیت زیستگاه.



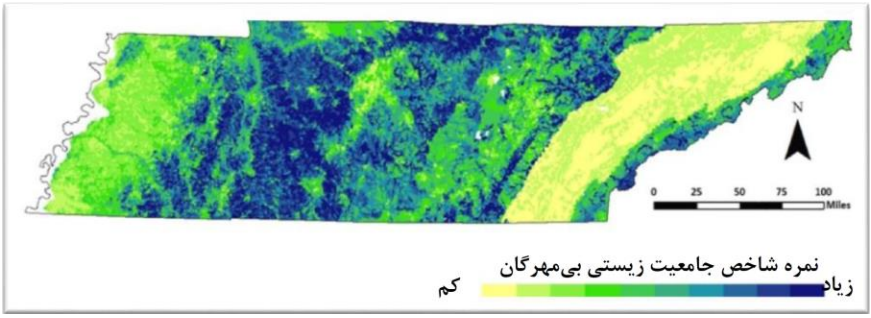
شکل ۱۶- نمرات دستورالعمل ارزیابی سریع زیستی.



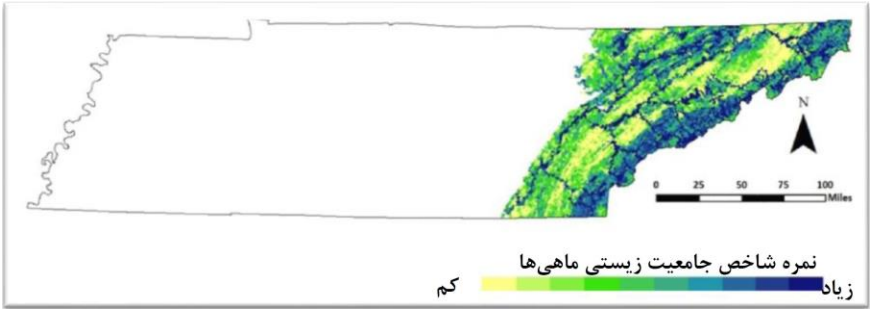
شکل ۱۷- نمرات تناسب زیستگاه.



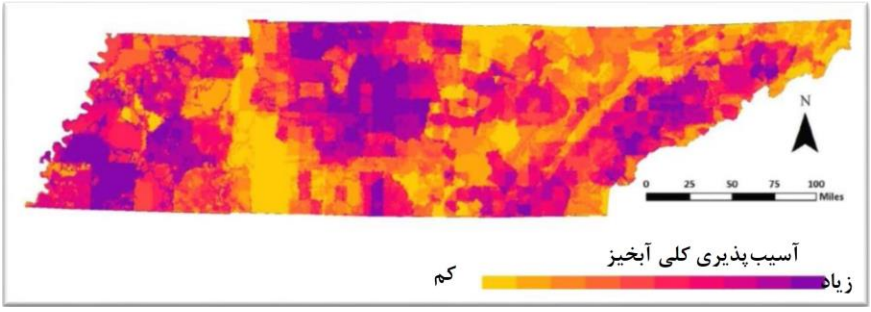
شکل ۱۸- زیرشاخص وضعیت زیستی.



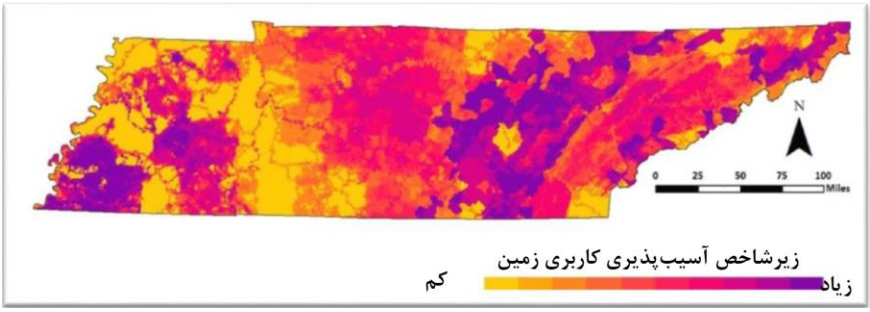
شکل ۱۹- سنجه وضعیت زیستی: درجه شاخص جامع زیستی بی‌مهرگان بزرگ کف آبراهه.



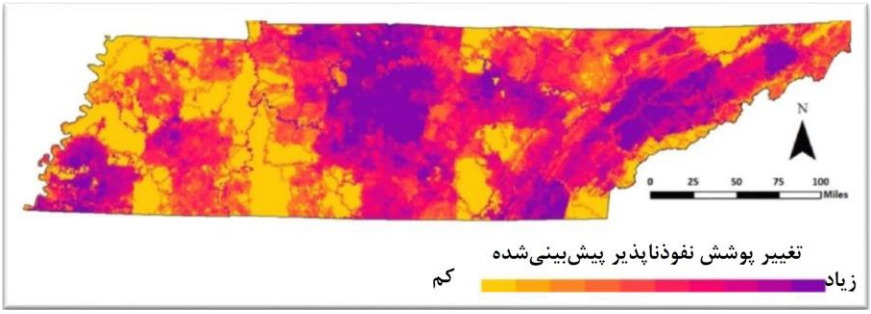
شکل ۲۰- سنجه وضعیت زیستی: درجه شاخص جامعیت زیستی ماهی‌ها.



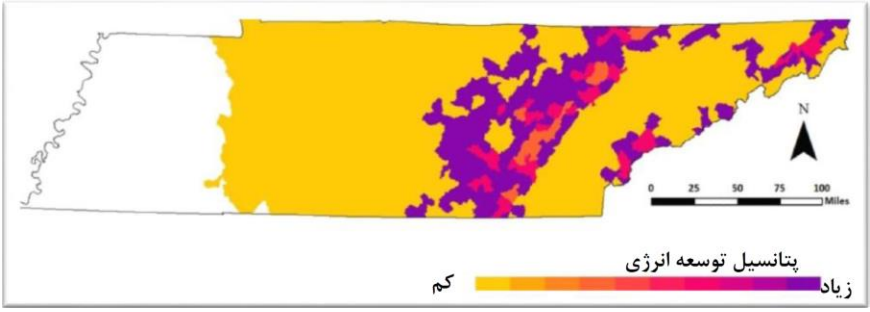
شکل ۲۱- شاخص آسیب‌پذیری آبخیز.



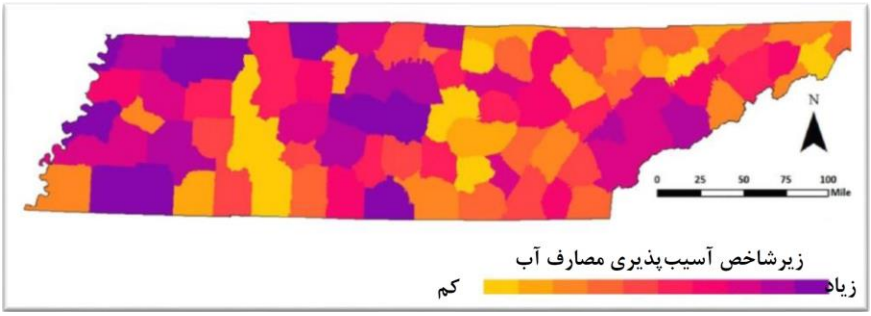
شکل ۲۲- زیرشاخص آسیب‌پذیری کاربری اراضی.



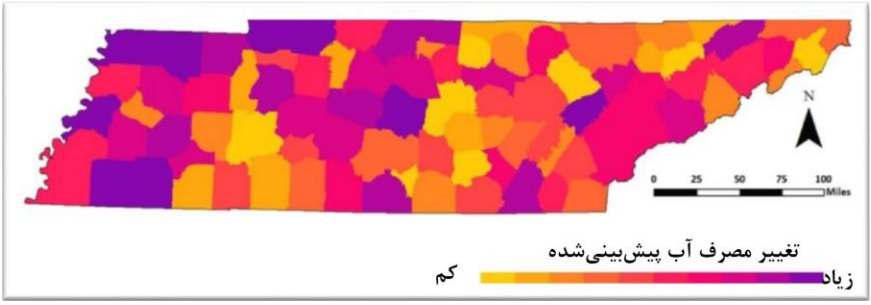
شکل ۲۳- سنجه آسیب‌پذیری کاربری اراضی: تغییر پوشش نفوذناپذیر پیش‌بینی‌شده.



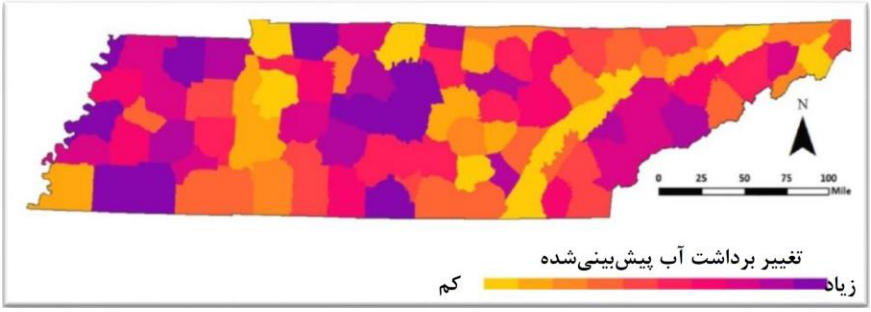
شکل ۲۴- سنجه آسیب‌پذیری کاربری اراضی: پتانسیل توسعه انرژی.



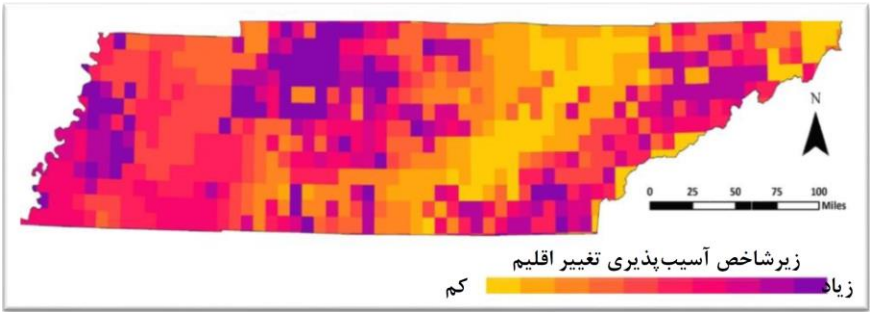
شکل ۲۵- زیرشاخص آسیب‌پذیری مصارف آب.



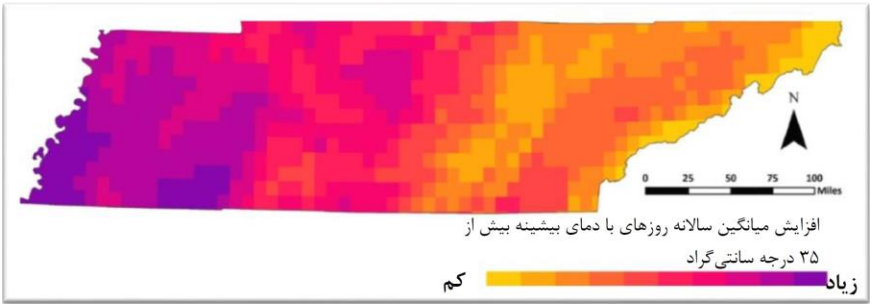
شکل ۲۶- سنجه آسیب‌پذیری مصارف آب: تغییر مصرف آب پیش‌بینی‌شده.



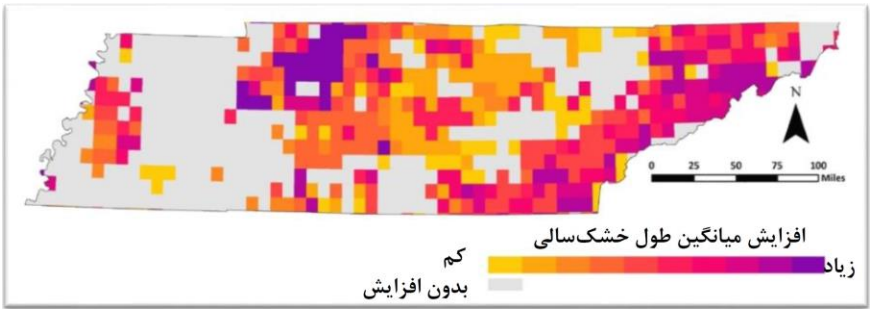
شکل ۲۷- سنجه آسیب‌پذیری مصارف آب: تغییر برداشت آب پیش‌بینی‌شده.



شکل ۲۸- زیرشاخص آسیب‌پذیری تغییر اقلیم.



شکل ۲۹- سنجه آسیب‌پذیری تغییر اقلیم: افزایش روزهای با دمای بیشینه بیش از ۳۵ درجه سانتی‌گراد.



شکل ۳۰- سنجه آسیب‌پذیری تغییر اقلیم: افزایش روزهای مداوم بدون بارش (بارش کمتر از ۲/۵ میلی‌متر).

پیوست ۲- وضعیت زمین‌ریخت‌شناسی

۲-۱- مقدمه

برای برآورد وضعیت زمین‌ریخت‌شناسی آبخیزها در ایالت تنسی، از ترکیبی از ویژگی‌های کانال آبراهه و شرایط چشم‌انداز که داده‌های آن‌ها از پایگاه داده ملی پوشش زمین (NLCD، ۲۰۱۱) استخراج‌شده است، مورد استفاده قرار گرفتند. برای سنجش پتانسیل نسبی پایداری و انعطاف‌پذیری کانال آبراهه در آبخیزها از یک تحلیل مقایسه‌ای ساده استفاده شد. برای ارزیابی نیروهای فرسایشی و میزان مقاومت کانال آبراهه در هر آبخیز، از دو سنجه جداگانه استفاده شد. سپس این دو سنجه برای تعیین وضعیت کلی زمین‌ریخت‌شناسی با هم ترکیب شدند.

۲-۲- تهیه داده و زیرشاخص وضعیت زمین‌ریخت‌شناسی

عوامل چشم‌انداز، مانند درصد پوشش نفوذناپذیر و درصد پوشش جنگل (برای آبخیزها در حالت تجمعی) و درصد پوشش طبیعی زمین در منطقه فعال هیدرولوژیکی، با استفاده از پایگاه دادهٔ ملی پوشش زمین محاسبه شد. سایر متغیرهای دیگر مانند عامل فرسایش‌پذیری (K)، و عمق تا بستر از مجموعه‌داده‌های هیدروگرافی ملی، پایگاه داده جغرافیایی بررسی‌های خاک[۱]، و مجموعه‌داده‌های سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده به‌دست آمد. در این تحلیل ارزیابی، عامل‌های مربوط به جریان آبراهه از طریق مدل‌سازی انجام‌شده برای زیرشاخص وضعیت هیدرولوژیک، نیز اخذ شد.

---

۱. Soil Survey Geographic Database (SSURGO)

خلاصه اجرایی

برای هر عامل موجود در تحلیل، از یک مدل ساده امتیازدهی پیوسته که دامنه امتیازت آن بین صفر تا صد است، استفاده شد (جداول ۱). هر عامل طوری امتیازدهی شد که امتیازات بالاتر بیانگر تأثیر مثبت بر انعطاف‌پذیری و پایداری آبراهه باشند (به‌عنوان مثال، درصد کمتر پوشش نفوذناپذیر در یک آبخیز باعث کاهش احتمال تغییر رژیم طبیعی جریان می‌شود و بنابراین این حوضه، امتیاز بالاتری را در مقایسه با آبخیزی که از درصد پوشش نفوذناپذیر بیشتری برخوردار است، کسب می‌کند).

جدول ۱- امتیازدهی مؤلفه‌های زیرشاخص وضعیت زمین‌ریخت‌شناسی.

عامل	مقدار کمینه (امتیاز)	مقدار بیشینه (امتیاز)
سنجه فرسایش		
پوشش نفوذناپذیر (تجمعی)	۰ (۱۰۰)	۶۵/۰۶ (۰)
عامل فرسایش‌پذیری (k)	۰/۰۰۰۰۶۸۱* (۱۰۰)	۰/۵۵ (۰)
تنسی شرقی - متوسط رواناب سالانه	۰/۵۳۵ (۱۰۰)	۴/۵۴۲ (۰)
تنسی غربی - متوسط جریان تابستانه آبراهه	۰ (۱۰۰)	۰/۸۵ (۰)
سنجه مقاومت		
درصد پوشش جنگل (تجمعی)	۰ (۰)	۱۰۰ (۱۰۰)
عمق تا سنگ‌بستر (cm)	۰ (۰)	۱۵۳ (۱۰۰)
پوشش طبیعی در منطقه فعال	۰ (۰)	۱۰۰ (۱۰۰)

*نکته: مقادیر کوچک‌تر از ۰/۰۲ نیز امکان‌پذیر است زیرا اینها مقادیر میانگین وزنی طولی هستند.

بدین ترتیب مقادیر هر عامل به امتیازات مابین ۰ تا ۱۰۰ تغییر مقیاس یافتند و نرمال شدند. سپس میانگین امتیازات سه عامل محاسبه و به‌عنوان نمره سنجه در نظر گرفته شد. همچنین چنانچه داده‌های یکی از عوامل موجود نبود، آن عامل از فرایند میانگین‌گیری حذف شد. براین‌اساس برای هر آبخیز یک نمره فرسایش و یک نمره مقاومت محاسبه شد. سپس نمرات هر سنجه بر اساس رتبه آن‌ها نرمال شد (نرمال‌سازی رتبه‌ای). سپس از نمرات سنجه‌های نرمال رتبه‌ای هر آبخیز میانگین گرفته شد و در نهایت نمره زیرشاخص وضعیت زمین‌ریخت‌شناسی از نرمال‌سازی رتبه‌ای مقادیر میانگین دو سنجه در آبخیزهای مختلف محاسبه شد.

۳-۲- توسعه مدل

تجربیات حاصل از برنامه آبخیز سالم قبلی و ارزیابی وضعیت زمین‌ریخت‌شناسی مربوطه که در مقیاس بزرگ‌تری انجام‌شده بود، کمک فراوانی به توسعه و ایجاد این مدل کرد. قبلاً سعی شده بود که آبخیزها بر اساس نوع آبراهه Rosgen (۲۰۰۶) طبقه‌بندی شوند که با توجه به داده‌های موجود، گستردگی منطقه مطالعاتی که یک ایالت را شامل می‌شود، امکان‌پذیر نبود و بنابراین در این ارزیابی از روش طبقه‌بندی Rosgen استفاده نشد.

مباحث مختلفی در خصوص پیچیدگی عوامل زمین‌ریخت‌شناسی در این ایالت مانند زمین‌شناسی کارستی و نبود سنجه‌های جریان مناسب و یکنواخت برای کل ایالت صورت پذیرفت. در آبخیزهای کارستی این امکان وجود دارد که مدل به دلیل اثرات کارست از کارآمدی کمتری برخوردار باشد. به همین دلیل، داده‌های جغرافیایی زمین‌شناسی کارستی از سازمان زمین‌شناسی آمریکا تهیه شد. اما این داده‌ها آن‌قدر بزرگ‌مقیاس بودند که قابلیت استفاده به‌عنوان یک سنجه مازاد یا حذف آبخیزهای کارستی از ارزیابی را نداشتند. در مباحث صورت‌گرفته در طرح آبخیز سالم تنسی حتی این نکته مطرح شد که شاید اثرات کارست آن‌قدری نباشد که اختلالی را برای ارزیابی در سطح ایالت ایجاد کند.

۴-۲- ارزیابی مدل

در سطح یک ایالت به وسعت تنسی، اغلب نمونه‌ها و ارزیابی‌هایی کیفیت آب و موجودات زنده آبراهه‌ها برای تمام آبخیزها انجام‌نشده است. اما معمولاً این داده‌ها مکان‌های متعددی را پوشش می‌دهند که می‌توان از آن‌ها برای تعمیم نتایج به بازه‌های فاقد داده یا حتی کل آبخیز استفاده کرد. بررسی‌های ژئومورفولوژیکی به‌ندرت و برای بعضی مناطق انجام می‌شوند و نوع داده‌های جمع‌آوری شده به‌طور کامل مخصوص همان منطقه است. این موضوع باعث می‌شود تا نتوان از داده‌های یک منطقه برای مناطق دیگر استفاده کرد و یا بر اساس داده‌های مختلف کانال آبراهه، مدل‌های آماری ایجاد کرد. به همین دلیل به‌جای تلاش برای مدل‌سازی آماری بین این داده‌های محدود که از همبستگی آماری ضعیفی برخوردارند، از رویکرد دیگری استفاده شد.

بسیاری از فرایندها و عواملی که سبب پایداری کانال می‌شوند، کاملاً معلوم و شناخته‌شده هستند. براین‌اساس و با توجه به داده‌های موجود و به‌کارگیری نظرات متخصصین، مهمترین عوامل و نیروهایی که سبب فرسایش یا مقاومت در برابر آن، و شکل‌گیری مورفولوژی کانال آبراهه می‌شوند، انتخاب شدند.

یکی از فواید این رویکرد این بود که برای تمامی آبخیزهای موجود در تنسی، داده‌های لازم برای انجام چنین تحلیلی وجود داشت. هر چند که مواردی استثنا ممکن است وجود داشته باشد بنابر شرایط خاص آبخیز، ناسازگار با این رویکرد باشد، اما به‌طورکلی به نظر می‌رسد که این رویکرد خروجی مناسبی را از وضعیت پایداری نسبی کانال آبراهه در بین تمام آبخیزها ارائه کند.

پیوست ۳- وضعیت هیدرولوژیک

رژیم جریان یک آبراهه به الگوی ویژگی‌های آن نظیر بزرگی، زمان‌بندی، فراوانی، مدت‌زمان، و سرعت جریان تغییر اشاره دارد (Poff و همکاران، ۱۹۹۷). رژیم جریان نقش مؤثری در شکل‌گیری بوم‌سازگان‌های آبی و سلامت جوامع زیستی دارد. تغییر الگوی طبیعی رژیم جریان (به‌عنوان مثال، سیلاب‌های مکرر) می‌تواند سبب کاهش کمیت و کیفیت زیستگاه آبی شود، زندگی آبزیان را تخریب کند و منجر به از دست رفتن خدمات بوم‌سازگان شود؛ بنابراین، برای ارزیابی وضعیت هیدرولوژیک از سنجه‌های مرتبط با رژیم جریان در آبراهه‌های تنظیم‌نشده استفاده شد. براین‌اساس مشخص می‌شود که کدام بازه‌ها بیشترین شباهت را به رژیم جریان طبیعی که مربوط به آبخیزهای مرجع است، دارند و بنابراین سالم فرض می‌شوند. در سامانه‌های تنظیم‌شده (به‌عنوان مثال، جریان‌های پایین‌دست سدهای بزرگ)، سنجه نسبت ذخیره پشت سدها به متوسط جریان طبیعی سالانه مورد انتظار آبراهه مورد استفاده قرار گرفت. این سنجه مشخص می‌کند که کدام بازه‌های تنظیم‌شده، حجم ذخیره‌سازی کمتری نسبت به متوسط جریان آبراهه دارند.

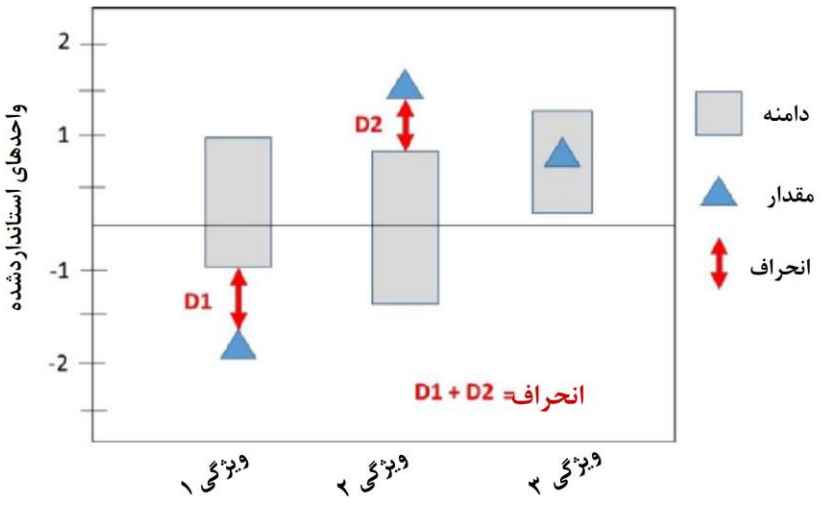
۱-۳- آبراهه‌های تنظیم‌نشده

در مدل‌های رگرسیون که برای تخمین ویژگی‌های جریان ایجاد شدند، متغیرهای مستقل مربوط به چهار گروه کلی اقلیمی، کاربری زمین، چشم‌انداز فیزیکی و شاخص‌های منطقه‌ای هستند (جدول ۳-۱).

متغیرهای مستقل نشان‌دهنده مقدار متوسط یا درصد مساحت زمین در هر آبخیز می‌باشند.

در هر آبخیز برای تعیین مقدار عددی هر یک از ویژگی‌های جریان از روابط رگرسیونی استفاده شد. همچنین برای تعیین میزان انحراف جریان آبراهه از حالت طبیعی، مقدار عددی حاصل از معادلات رگرسیونی با دامنه طبیعی مربوطه که مربوط به آبخیزهای مرجع است، مقایسه شد. در آبخیزهایی که مقدار عددی محاسباتی ویژگی جریان در محدوده مرجع قرار می‌گرفت، میزان انحراف صفر در نظر گرفته شد.

در آبخیزهایی که مقادیر محاسباتی خارج از محدوده مرجع قرار گرفت، تفاوت مقدار محاسباتی با حد پایین یا بالای محدوده مرجع محاسبه و به‌عنوان انحراف مطلق ویژگی از شرایط طبیعی در نظر گرفته شد. در نهایت در هر آبخیز مقادیر انحرافات مطلق مربوط به ویژگی‌های مختلف جریان با هم جمع شدند و یک سنجه واحد انحراف از رژیم هیدرولوژیکی طبیعی حاصل شد (شکل ۳۱).



شکل ۳۱- محاسبه وضعیت هیدرولوژیک با استفاده از انحراف ویژگی‌های جریان از دامنه مرجع.

در شرق ایالت، دامنه‌های مرجع بسته به مناطق بوم‌شناسی مختلف متفاوت است (جدول ۳-۲). این دامنه‌های مرجع بر اساس محدوده میان‌چارکی مقادیر تمام مناطق موردپایش است که به تفکیک برای مناطق بوم‌شناسی بلوریج، پشته و دره، و فلات داخلی به‌دست‌آمده است (لازم به ذکر است که این محاسبات با مقادیر نرمال انجام‌شده است). آبخیزهایی دارای زیرحوضه‌های با کاربری جنگل در ربع فوقانی دامنه مقادیر (جدول ۱)، برای محاسبه محدوده میان‌چارکی مورد استفاده قرار گرفتند.

جدول ۱- تعاریف متغیرهای مستقل مورد استفاده در معادلات پیش‌بینی (اقتباس از Knight و همکاران، ۲۰۱۲)

متغیر	شرق/ غرب	تعریف (منبع داده)	تغییر نسبت به مطالعات USGS
اقلیم			
متوسط بارش ماهانه	شرق	متوسط بارش سالانه تقسیم بر ۱۲ (PRISM، ۲۰۰۴)	یکسان
انحراف بارش ژانویه	شرق	متوسط بارش ژانویه تقسیم بر متوسط بارش ماهانه (PRISM،	یکسان

		(۲۰۰۴)	
دامنه دمای روزانه	شرق	متوسط بیشینه دمای روزانه منهای متوسط دمای کمینه روزانه (PRISM، ۲۰۰۴)	یکسان
انحراف دمای اوت	شرق	میانگین بیشینه دمای اوت منهای میانگین دمای سالانه تقسیم بر میانگین دمای سالانه (PRISM، ۲۰۰۴)	یکسان

ادامه جدول ۱- تعاریف متغیرهای مستقل مورد استفاده در معادلات پیش‌بینی (اقتباس از Knight و همکاران، ۲۰۱۲)

کاربری زمین			
درصد پوشش جنگل	شرق	درصد کل اراضی جنگلی حوضه (Jin و همکاران، ۲۰۱۳)	کاربری ۲۰۱۱ به‌جای کاربری ۲۰۰۱
درصد پوشش کشاورزی	شرق	درصد کل اراضی کشاورزی حوضه (Jin و همکاران، ۲۰۱۳)	کاربری ۲۰۱۱ به‌جای کاربری ۲۰۰۱
فیزیکی			

هورتون	شرق	شاخص هورتونی زمین (نفوذ بیش از رواناب) (بی‌بعد) (Wolock و همکاران، ۲۰۰۳a، ۲۰۰۳b)	یکسان
ارتفاع متوسط	شرق	ارتفاع متوسط حوضه (Gesch و همکاران، ۲۰۰۲؛ Gesch، ۲۰۰۷)	جدیدترین داده‌های مدل رقومی ارتفاع
عامل خاک	شرق، غرب	درصد مساحت اراضی با آبگذری بیش از ۵ سانتی‌متر بر ساعت (Greene و Wolfe، ۱۹۹۸)	یکسان
عمق تا سنگ‌بستر	شرق	متوسط عمق خاک بالای سنگ‌بستر (Wolock، ۱۹۹۷)	یکسان

ادامه جدول ۱- تعاریف متغیرهای مستقل مورد استفاده در معادلات پیش‌بینی (اقتباس از Knight و همکاران، ۲۰۱۲)

منطقه‌ای			
عامل زمین‌شناسی	شرق، غرب	تعداد روز لازم برای فروکشی کامل دبی جریان (Bingham،	یکسان

		۱۹۸۶)	
بلوریج	شرق	درصد نسبت مساحت منطقه بوم‌شناسی بلوریج به مساحت آبخیز (Omernik، ۱۹۸۷)	یکسان
فلات داخلی	شرق	درصد نسبت مساحت منطقه بوم‌شناسی فلات داخلی به مساحت آبخیز (Omernik، ۱۹۸۷)	یکسان
بخش‌های تعاملی			
عامل خاک	شرق	عامل خاک ضرب در متوسط بارش ماهانه	نامشخص
عمق تا سنگ‌بستر	شرق	عمق تا سنگ‌بستر ضرب در متوسط بارش ماهانه	نامشخص
عامل زمین‌شناسی	شرق	عامل زمین‌شناسی ضرب در متوسط بارش ماهانه	نامشخص

* مقادیر متغیرها مربوط به میانگین حوضه است. به‌جز بلوریج، فلات داخلی، جنگل و کشاورزی که به صورت درصد از کل مساحت حوضه ارائه شده‌اند.

در غرب، فقط یک دامنه مرجع برای هر ویژگی جریان آبراهه وجود دارد که بازهم به صورت دامنه میان‌چارکی آبخیزهای مرجع تعریف می-

شود. برای غرب، آبخیزهای مرجع آبخیزهایی هستند که دارای کاربری اراضی جنگلی در چارک بالایی دامنه مقادیر هستند (جدول ۲).

جدول ۲- دامنه میان‌چارکی و آستانه کاربری جنگل محاسباتی برای نیم‌رخ‌های مرجع هیدرولوژیک مناطق بوم‌شناسی برای شرق تنسی.

درصد جنگل		MA41		TL1		LDH16	
منطقه بوم‌شناسی		۲۵ ام	۷۵ ام	۲۵ ام	۷۵ ام	۲۵ ام	۷۵ ام
بلوریج	۹۷/۱	۰/۱۵۰۷	۲/۲۷۷۵	-۰/۲۶۷۲	۰/۵۹۰۰	-۰/۴۴۲۸	۰/۶۶۵۴
آپالاچی مرکزی	۹۰/۷	-۰/۳۲۴۰	۰/۷۸۳۱	-/۶۸۵۰	-۰/۴۵۴۱	-۰/۷۰۱۵	۰/۰۱۴۰
فلات داخلی	۷۳/۳	-۰/۷۰۸۰	-۰/۳۷۶۳	-۰/۱۷۱۲	۰/۵۷۶۲	-۱/۹۶۳۱	-۱/۴۶۲۸
پشته و دره	۶۶/۴	-۰/۹۵۶۶	-۰/۴۰۶۵	-۰/۷۹۹۶	-۰/۲۸۱۸	-۰/۸۸۷۳	-۰/۰۶۴۰
دشت‌های جنوب شرقی	۶۹/۶	-۰/۵۳۶۸	-۰/۱۵۵۳	-۰/۱۹۴۸	۰/۸۱۰۱	-۲/۲۲۰۷	-۱/۶۹۷۲
آپالاچی جنوب غربی	۸۰/۱	-۰/۳۴۲۱	-۰/۵۲۸۳	-۰/۹۸۸۰	-۰/۴۲۳۸	-۱/۱۳۴۰	-۰/۷۸۸۹

* MA41: متوسط رواناب سالانه، TL1: تاریخ جریان کمینه سالانه، LDH16: تغییرپذیری مدت‌زمان پالس بالا؛ مقادیر بر اساس میانگین و انحراف معیار نرمال شده‌اند.

جدول ۳- دامنه میان‌چارکی و آستانه کاربری اراضی کشاورزی محاسباتی برای نیم‌رخ-های مرجع هیدرولوژیک مناطق بوم‌شناسی برای غرب تنسی.

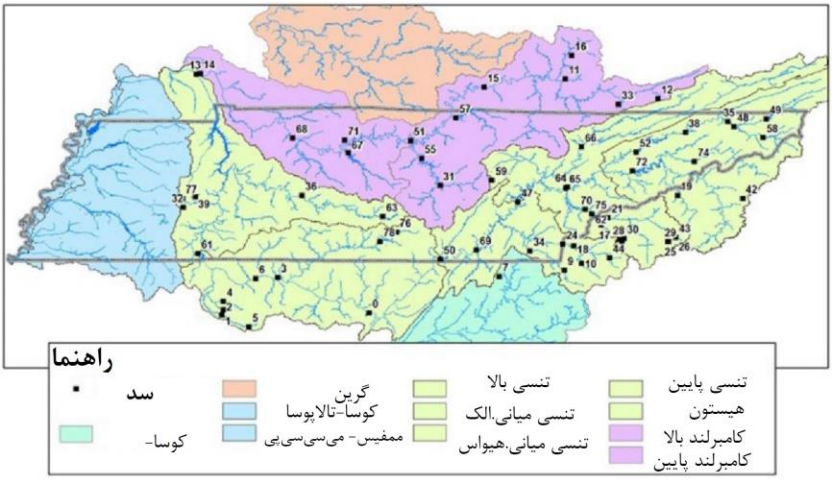
جنگل (درصد)	۷Q10		MS		Q10	
	۲۵ ام	۷۵ ام	۲۵ ام	۷۵ ام	۲۵ ام	۷۵ ام
۴۵/۲	۰/۰۳۶۲	۰/۱۵۴۳	۰/۴۱۴۶	۰/۶۳۸۵	۲/۷۴۲۴	۳/۰۷۹۶

* 7Q10 = کمینه جریان متوسط هفت روزه متوالی در یک دوره ۱۰ ساله؛ MS = جریان متوسط تابستان در ژوئیه تا اوت؛ q10 = جریان متوسط روزانه که در ۱۰ درصد اوقات جاری است. مقادیر رگرسیون بر اساس مساحت آبخیز نرمال شده‌اند.

۲-۳- آبراهه‌های تنظیم‌شده

آبراهه‌های تنظیم‌شده ابتدا با سدهای بزرگ واقع در واحدهای هیدرولوژیکی ایالت، شناسایی شدند. در این راستا فقط سدهایی مورد استفاده قرار گرفتند که بر اساس مجموعه‌داده‌های برنامه عملیاتی حیات وحش ایالت تنسی دارای حجم کمینه ۱۰ هزار هکتار فوت باشند، کاربری اولیه آن‌ها، استفاده‌های تفریحی نیست، دارای یک گزارش ارزیابی ملی سد هستند که بیانگر ذخیره‌سازی طبیعی بیش از صفر سد است (شکل ۲-۳). برای حصول اطمینان از انتخاب تمام سدهای بزرگ حاوی این

ویژگی‌ها، مقایسه‌ای بین سدهای منتخب رودخانه تنسی با لیست سدهای Bohac و Bowen (۲۰۱۲)، و سدهای منتخب رودخانه کامبرلند با لیست سدهای Robinson (۲۰۱۴) انجام گرفت.



شکل ۳۲- سدهای با ذخیره بیش از ۱۰ هزار هکتار فوت. برچسب عددی: شناسه جدول ۴.

داده و اطلاعات مربوط به هر سد از برنامه عملیاتی حیات وحش ایالت تنسی، ارزیابی ملی سدها، و جستجوهای عمومی در سازمان‌های مسئول جمع‌آوری شد (جدول ۴). سعی شد که هر سد بر اساس اصول بهره‌برداری توصیف شود تا یک معیار ثانویه بالقوه برای رتبه‌بندی آبراهه-های تنظیم‌شده ایجاد شود. ازآنجا دسترسی به اطلاعات فقط در سازمان-های مدیریتی بزرگ‌تر (به‌عنوان مثال اداره دره تنسی) به‌راحتی ممکن بود و از طرفی روشی برای استانداردسازی یا طبقه‌بندی منحنی‌های راهنمای مختلف و سطوح عملیاتی وجود نداشت تا با توجه به سطح غربالگری این

تحلیل، یک سنجه هیدرولوژیک محاسبه شود، لذا این داده‌ها فقط به صورت جدول ارائه شده و در رتبه‌بندی سنجه از آن‌ها استفاده نشد.

منابع

Bingham, R.H. 1986. Regionalization of Low-Flow Characteristics of Tennessee Streams. Water-Resources Investigations Report 85–4191, 63.2 plates.

Bohac, C.E. and A.K. Bowen. 2012. Water use in the Tennessee Valley for 2010 and projected use in 2035. Tennessee Valley Authority, River Operations and Renewables. 83 pp.

Gesch, D., M. Oimoen, S. Greenlee, C. Nelson, M. Steuck, and D. Tyler. 2002. The national elevation dataset. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 68: 5–11.

Gesch, D.B. 2007. The national elevation dataset. In Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM Users Manual, 2nd edition, Maune, D. (ed). American Society for Photogrammetry and Remote Sensing: Bethesda, MD; 99–118.

Greene, D.C., and W.J. Wolfe. 1998. Superfund GIS—Soil thickness, permeability, texture, and classification in Tennessee. Available at http://catalog.data.gov/dataset.

Jin, S., L. Yang, P. Danielson, C. Homer, J. Fry, and G. Xian. 2013. A comprehensive change detection method for updating the National Land Cover Database to circa 2011. Remote Sensing of Environment 132:159–175.

Knight, R.R., W.S. Gain, and W.J. Wolfe. 2012. Modelling ecological flow regime: an example from the Tennessee and Cumberland River basins. Ecohydrology 5: 613–627.

Omernik, J.M. 1987. Ecoregions of the conterminous United States. Annals of the Association of American Geographers 77: 118–125.

Poff, N.L, J.D. Allan, M.B. Bain, J.R. Karr, K.L. Prestegaard, B.D. Richter, R.E. Sparks, and J.C. Stromberg. 1997. The natural flow regime: A paradigm for river conservation and restoration. Bioscience 47(11): 769–784.

PRISM Climate Group, Oregon State University, http://prism.oregonstate.edu, created 4 Feb 2004.

Robinson, J.A. 2014 (draft). Estimated use of water in the Cumberland River Watershed in 2010 and projections to 2040: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 14-xxxx, xx p. Available online at http:pubs.usgs.gov/circ/14-xxxx.

Wolock, D.M. 1997. STATSGO soil characteristics for the conterminous United States. U.S. Geological Survey Open-File Report 97–656. Digital dataset.

Wolock, D.M. 2003a. Saturation overland flow estimated by TOPMODEL for the conterminous United States. U.S. Geological Survey Open-File Report 2003-264, raster digital data.

Wolock, D.M. 2003b. Infiltration-excess overland flow estimated by TOPMODEL for the conterminous United States. U.S. Geological Survey Open-File Report 03–310, digital dataset.

جدول ۴- فهرست سدهای مورد استفاده در ارزیابی جریان تنظیم‌شده برای واحدهای هیدرولوژیکی تنسی

شناسه ملی	شناسه	نام سد	نام مالک	هدف اصلی	اقدامات کیفیت آب	حجم مخزن	ذخیره نرمال	بیشینه ذخیره
AL05901	۱	Bear Creek	اداره دره تنسی	کنترل سیل	خیر	۷۸۵۸۰	۹۹۱۵	۷۸۵۸۰
AL05902	۴	Cedar Creek	اداره دره تنسی	کنترل سیل	خیر	۱۷۳۴۹۰	۹۳۲۰۱	۱۷۳۴۹۰
AL05903	۲	Little Bear Creek	اداره دره تنسی	کنترل سیل	خیر	۷۴۸۵۵	۴۵۶۰۹	۷۴۸۵۵
AL07701	۳	Wheeler	اداره دره تنسی	کنترل سیل	خیر	۱۳۵۸۳۵۵	۱۰۴۹۰۰۷	۱۳۵۸۳۵۵
AL07702	۶	Wilson	اداره دره تنسی	کنترل سیل	خیر	۶۷۴۲۲۰	۶۳۶۵۴۳	۶۷۴۲۲۰
AL09301	۵	Upper Bear Creek	اداره دره تنسی	کنترل سیل	خیر	۶۹۸۱۰	۳۷۶۷۷	۶۹۸۱۰
AL09501	۰	Guntersville	اداره دره تنسی	کنترل	خیر	۱۴۰۵۹۴۷	۱۰۱۹۲۶۲	۱۴۰۵۹۴۷

					سیل			

ادامه جدول ۴– فهرست سدهای مورد استفاده در ارزیابی جریان تنظیم‌شده برای واحدهای هیدرولوژیکی تنسی

شناسه ملی	شناسه	نام سد	نام مالک	هدف اصلی	اقدامات کیفیت آب	حجم مخزن	ذخیره نرمال	بیشینه ذخیره
GA00730	۷	Upper Haig Mill Lake Dam	شهر دالتون	کنترل سیل		۲۷۷۲۸	۴۸۳	۲۷۷۲۸
GA11101	۹	Blue Ridge	اداره دره تنسی	برق‌آبی	بله	۲۲۸۰۴۵	۱۸۲۴۳۶	۲۲۸۰۴۵
GA29101	۱۰	Nottely	اداره دره تنسی	کنترل سیل	بله	۲۱۶۱۴۷	۱۶۲۶۰۶	۲۱۶۱۴۷
KY00088	۱۶	Wood Creek Lake Dam	ایالت کنتاکی	ذخیره آب		۲۹۱۰۱	۲۳۲۷۰	۲۹۱۰۱
KY00275	۳۳	Cannon Creek Dam	ایالت کنتاکی	ذخیره آب		۱۱۳۰۰	۱۱۳۰۰	۰
KY03001	۱۴	Barkley Dam	اداره دره تنسی	برق‌آبی	بله	۲۰۸۲۰۰۰	۸۶۹۰۰۰	۲۰۸۲۰۰۰

KY03010	۱۵	Wolf Creek	اداره دره تنسی	برق‌آبی	بله	۶۰۸۹۰۰۰	۲۱۴۲۰۰۰	۶۰۸۹۰۰۰
KY03046	۱۱	Laurel Dam	گروه مهندسان ارتش نشویل	کنترل سیل	خیر	۴۳۵۶۰۰	۱۸۵۰۰۰	۴۳۵۶۰۰
KY03061	۱۲	Martins Fork Dam	گروه مهندسان ارتش نشویل	کنترل سیل	خیر	۲۱۱۰۰	۳۷۰۰	۲۱۱۰۰

ادامه جدول ۴- فهرست سدهای مورد استفاده در ارزیابی جریان تنظیم‌شده برای واحدهای هیدرولوژیکی تنسی

شناسه ملی	شناسه	نام سد	نام مالک	هدف اصلی	اقدامات کیفیت آب	حجم مخزن	ذخیره نرمال	بیشینه ذخیره
KY15701	۱۳	Kentucky	گروه مهندسان ارتش نشویل	کنترل سیل	خیر	۷۵۳۵۴۰۰	۶۱۲۷۴۷۰	۷۵۳۵۴۰۰
NC00181	۲۴	Appalachia	گروه مهندسان ارتش نشویل	برق‌آبی	بله	۶۳۴۵۶	۵۵۵۲۴	۶۳۴۵۶
NC00288	۴۲	North Fork Reservoir Dam	اداره منابع آب شهر اشویل	ذخیره آب		۲۱۷۰۰	۱۷۶۰۰	۲۱۷۰۰

NC00298	۲۱	Fontana	اداره دره تنسی	کنترل سیل	بله	۱۵۵۲۶۸۹	۱۳۷۰۲۵۳	۱۵۵۲۶۸۹
NC00318	۱۹	Walters	شرکت انرژی دوک کارولینا	برق‌آبی		۱۷۰۰۰	۱۷۰۰۰	۱۷۰۰۰
NC00336	۲۶	Bear Creek	شرکت انرژی دوک کارولینا	برق‌آبی		۳۴۶۰۰	۳۴۶۰۰	۳۴۶۰۰
NC00371	۳۰/۲۸	Dicks Creek Dam/Nantahala/White Oak Creek Dam	شرکت انرژی دوک کارولینا	برق‌آبی		۱۲۶۰۰۰	۱۲۶۰۰۰	۱۲۶۰۰۰
NC00378	۲۹/۲۵	Glenville Saddle Dike/Thorpe	شرکت انرژی دوک کارولینا	برق‌آبی		۶۷۱۰۰	۶۵۶۰۰	۶۷۱۰۰
NC00391	۴۴	Chatuge	اداره دره تنسی	کنترل سیل	بله	۲۸۵۵۲	۲۲۶۰۶۲	۲۸۵۵۲

ادامه جدول ۴- فهرست سدهای مورد استفاده در ارزیابی جریان تنظیم‌شده برای واحدهای هیدرولوژیکی تنسی

شناسه ملی	شناسه	نام سد	نام مالک	هدف اصلی	اقدامات کیفیت آب	حجم مخزن	ذخیره نرمال	بیشینه ذخیره
NC00392	۱۷	Santeetlah	شرکت تولید برق آلکوا	برق‌آبی		۲۰۷۰۰۰	۱۶۰۰۰۰	۲۰۷۰۰۰

NC00419	۱۸	Hiwassee	اداره دره تنسی	کنترل سیل	بله	۴۷۱۹۵۴	۳۹۸۵۸۳	۴۷۱۹۵۴
TN00904	۷۰	Chilhowee	شرکت تولید برق آلکوا	برق‌آبی		۴۹۲۵۱	۴۹۲۵۱	۴۹۲۵۱
TN00906	۷۵/۶۲	Calderwood	شرکت تولید برق آلکوا	برق‌آبی		۴۳۵۰۰	۴۱۱۰۰	۴۳۵۰۰
TN01302	۶۶	Norris	اداره دره تنسی	کنترل سیل	بله	۳۳۶۳۱۶۸	۲۰۴۰۵۰۷	۳۳۶۳۱۶۸
TN01903	۵۸	Watauga	اداره دره تنسی	کنترل سیل	بله	۷۵۱۵۵۷	۵۶۹۱۲۱	۷۵۱۵۵۷
TN02101	۶۸	Cheatham Dam	گروه مهندسان ارتش نشویل	برق‌آبی	بله	۱۰۴۰۰۰	۸۴۲۰۰	۱۰۴۰۰۰
TN02702	۵۷	Dale Hollow Dam	گروه مهندسان ارتش نشویل	برق‌آبی	بله	۱۷۰۶۰۰۰	۸۵۷۰۰۰	۱۷۰۶۰۰۰
TN03107	۶۳	Normandy	اداره دره تنسی	برق‌آبی	خیر	۱۲۶۰۰۰	۱۱۶۹۹۷	۱۲۶۰۰۰
TN03504	۵۹	Lake Tansi	انجمن مالکان روستای دریاچه تانسی	سایر	بله	۱۳۸۰۶	۹۰۰۰	۱۳۸۰۶

ادامه جدول ۴- فهرست سدهای مورد استفاده در ارزیابی جریان تنظیم‌شده برای واحدهای هیدرولوژیکی تنسی

شناسه ملی	شناسه	نام سد	نام مالک	هدف اصلی	اقدامات کیفیت آب	حجم مخزن	ذخیره نرمال	بیشینه ذخیره
TN03701	۶۷	J Percy Priest Dam	گروه مهندسان ارتش نشویل	کنترل سیل	بله	۶۵۲۰۰۰	۲۰۲۰۰۰	۶۵۲۰۰۰
TN03702	۷۱	Old Hickory Dam	گروه مهندسان ارتش نشویل	برق‌آبی	بله	۴۵۴۰۰۰	۴۲۰۰۰۰	۴۵۴۰۰۰
TN04102	۵۵	Center Hill Dam	گروه مهندسان ارتش نشویل	کنترل سیل		۲۰۹۲۰۰۰	۱۳۳۰۰۰۰	۲۰۹۲۰۰۰
TN05101	۷۶	Elk River Dam	فرماندهی مواد نیروی هوایی	کنترل سیل	بله	۱۰۱۸۴۴	۷۷۹۱۵	۱۰۱۸۴۴
TN05102	۷۸	Tims Ford	اداره دره تنسی	کنترل سیل		۶۰۸۰۰۰	۳۲۵۴۰۰	۶۰۸۰۰۰
TN05903	۷۴	Nolichucky	اداره دره تنسی	سایر	خیر	۱۹۵۲۵	۱۷۱۵	۱۹۵۲۵
TN06504	۶۹	Chickamauga	اداره دره تنسی	کنترل سیل	خیر	۹۴۳۹۰۸	۶۲۲۶۶۲	۹۴۳۹۰۸

TN07101	۶۱	Pickwick Landing	اداره دره تنسی	کنترل سیل	۱۵۴۶۷۴۰	۱۵۴۶۷۴۰	۱۱۱۸۴۱۲	۱۵۴۶۷۴۰

ادامه جدول ۴- فهرست سدهای مورد استفاده در ارزیابی جریان تنظیم‌شده برای واحدهای هیدرولوژیکی تنسی

شناسه ملی	شناسه	نام سد	نام مالک	هدف اصلی	اقدامات کیفیت آب	حجم مخزن	ذخیره نرمال	بیشینه ذخیره
TN07305	۳۸	John Sevier	اداره دره تنسی	ذخیره آب		۵۲۶۵۰	۷۷۳۵	۵۲۶۵۰
TN07705	۷۷	Beech	اداره دره تنسی	کنترل سیل		۲۸۶۰۲	۱۱۱۰۵	۲۸۶۰۲
TN07706	۳۲	Pine	اداره دره تنسی	کنترل سیل		۱۲۲۶۰	۵۱۵۵	۱۲۲۶۰
TN07710	۳۹	Pin Oak	اداره دره تنسی	کنترل سیل	بله	۱۳۸۱۵	۸۹۲۵	۱۳۸۱۵
TN08903	۵۲	Cherokee	اداره دره تنسی	کنترل سیل	خیر	۱۶۹۹۴۳۱	۱۴۲۱۸۱۱	۱۶۹۹۴۳۱
TN10501	۶۴	Fort Loudoun	اداره دره تنسی	کنترل سیل	خیر	۴۷۵۹۲۰	۳۶۲۸۸۹	۴۷۵۹۲۰
TN10502	۳۷	Melton Hill	اداره دره تنسی	برق‌آبی	خیر	۱۵۰۷۰۸	۱۰۵۰۹۹	۱۵۰۷۰۸

TN10506	۶۵	Tellico	اداره دره تنسی	کنترل سیل	خیر	۵۱۳۵۹۷	۳۹۲۶۳۴	۵۱۳۵۹۷

ادامه جدول ۴- فهرست سدهای مورد استفاده در ارزیابی جریان تنظیم‌شده برای واحدهای هیدرولوژیکی تنسی

شناسه ملی	شناسه	نام سد	نام مالک	هدف اصلی	اقدامات کیفیت آب	حجم مخزن	ذخیره نرمال	بیشینه ذخیره
TN11502	۵۰	Nickajack	اداره دره تنسی	برق‌آبی		۴۰۲۵۴۹	۲۴۶۱۳۰	۴۰۲۵۴۹
TN11929	۳۶	Solutia #15	شرکت RLF Duck River, LLC	-	خیر	۳۲۹۴۵	۲۳۶۱۴	۳۲۹۴۵
TN12102	۴۷	Watts Bar	اداره دره تنسی	کنترل سیل	خیر	۱۴۱۵۸۶۲	۱۰۰۹۳۴۷	۱۴۱۵۸۶۲
TN13905	۳۴	Ocoee No. 1	اداره دره تنسی	کنترل سیل		۷۹۳۲۰	۷۹۳۲۰	۷۹۳۲۰
TN15501	۷۲	Douglas	اداره دره تنسی	کنترل سیل	بله	۱۶۲۶۰۶۰	۱۲۲۳۵۱۱	۱۶۲۶۰۶۰
TN15901	۵۱	Cordell Hull Dam	گروه مهندسان ارتش نشویل	برق‌آبی		۳۱۰۹۰۰	۲۵۸۰۰۰	۳۱۰۹۰۰

TN16305	۴۹	South Holston	اداره دره تنسی	کنترل سیل	بله	۸۹۰۳۶۷	۶۵۸۳۵۶	۸۹۰۳۶۷
TN16306	۴۸	Boone	اداره دره تنسی	کنترل سیل	بله	۲۱۶۱۴۷	۱۸۰۴۵۳	۲۱۶۱۴۷

ادامه جدول ۴- فهرست سدهای مورد استفاده در ارزیابی جریان تنظیم‌شده برای واحدهای هیدرولوژیکی تنسی

شناسه ملی	شناسه	نام سد	نام مالک	هدف اصلی	اقدامات کیفیت آب	حجم مخزن	ذخیره نرمال	بیشینه ذخیره
TN16307	۳۵	Fort Patrick Henry	اداره دره تنسی	کنترل سیل	بله	۳۱۷۲۸	۲۵۷۷۹	۳۱۷۲۸
TN17704	۳۱	Great Falls	اداره دره تنسی	برق‌آبی	خیر	۶۴۸۰۰	۳۹۶۶۰	۶۴۸۰۰

منابع اقدامات کیفیت آب: http://www.tva.gov/environment/water/rri_triblist.htm#nottel

پیوست ۴- کیفیت آب، مدل‌سازی سنجه زیستگاه و وضعیت زیستی

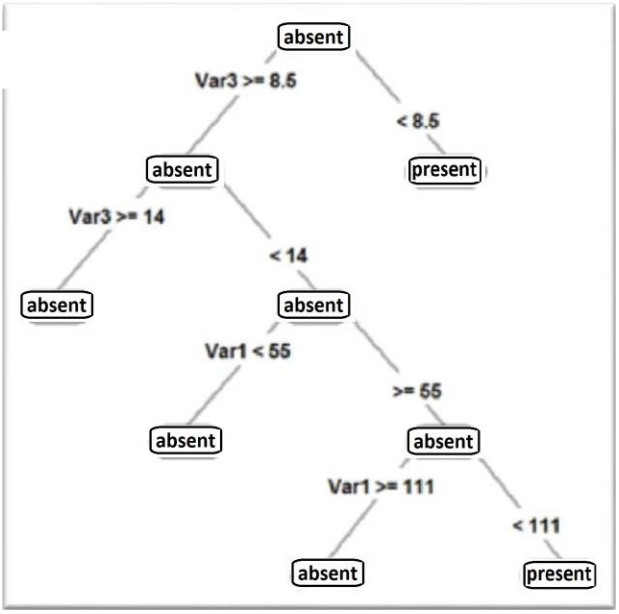
۴-۱- مقدمه

برای تعیین مقادیر کمی سنجه‌های کیفیت آب و وضعیت زیستگاه و شرایط زیستی در هر حوضه شبکه ملی هیدروگرافی در تنسی، از درخت رگرسیون تقویت‌شده استفاده شد. در این رویکرد مدل‌سازی آماری، ارتباط بین مقادیر مشاهداتی با مقادیر متغیرهای پیش‌بینی‌کننده چشم‌انداز و آبخیز تعیین می‌شود. سپس در حوضه‌های بدون داده، کیفیت آب وضعیت زیستگاه و شرایط زیستی آبخیز با استفاده از مدل‌های آماری مناسب پیش‌بینی می‌شود.

۴-۲- رویکرد مدل‌سازی عمومی

درختان رگرسیون تقویت‌شده نوعی از مدل‌سازی مبتنی بر درخت است و می‌توان آن‌ها را به صورت مجموعه‌ای از گره‌ها و شاخه‌ها در نظر گرفت که نمایانگر تفکیک فضای داده پیش‌بینی‌کننده به بخش‌های مستطیلی است. هر انشعاب دوبخشی، مجموعه‌داده را به گروه‌های مشابه‌تری ازنظر متغیر پاسخ تقسیم می‌کند (Cutler و همکاران، ۲۰۰۷). این تفکیک حالت برگشت‌پذیر دارد. به‌طور مداوم انشعابات جدید به انشعابات قبلی اضافه می‌شود تا جایی که تمامی مشاهدات تفکیک‌شده باشند و یا اینکه معیارهای بازدارنده دیگری فرا برسند. به‌طور مثال، در شکل ۳۳، مشاهداتی که مقدار متغیر سوم آن‌ها کمتر از ۸/۵ باشد در یک گره انتهایی در سمت راست قرار می‌گیرند، درحالی‌که مشاهداتی که مقدار

متغیر سوم آن‌ها مساوی یا بزرگ‌تر از ۸/۵ است، به پایین و شاخه سمت چپ هدایت می‌شوند. هر تقسیم نشان‌دهنده آستانه یک متغیر پیش‌بینی‌کننده است. اگر میزان تأثیر یک متغیر پیش‌بینی‌کننده‌ای خیلی زیاد باشد ممکن است که عمل تفکیک تا چندین مرحله در گره‌های مختلف صورت پذیرد.



شکل ۳۳- نمونه خروجی درخت تصمیم

درخت رگرسیون تقویت‌شده شامل مدل‌سازی درخت تصمیم‌گیری با یک سری ویژگی‌های مازاد برای برازش متغیرهای پاسخ پیوسته و طبقه‌ای است. درخت رگرسیون تقویت‌شده یک رویکرد مدل‌سازی گام‌به‌گام ترکیبی است که برای بهبود دقت پیش‌بینی علاوه‌بر انتخاب تصادفی داده، از عمل تقویت نیز استفاده می‌کند. درخت رگرسیون تقویت‌شده، مدلی ترکیبی است زیرا متشکل از صدها یا هزاران درخت منفرد است که

برای تعیین مقادیر برآوردی نهایی با هم ترکیب می‌شوند. این مدل همچنین روشی مرحله‌ای است زیرا هر درخت به بخش خطای درخت قبلی برازش می‌یابد و شکل اصلی تمامی درختان حفظ می‌شود. این تأکید بر مشاهداتی که ضعیف مدل‌سازی می‌شوند، نوعی تقویت است که با کاهش تدریجی خطای کلی درختان ترکیب‌شده، به دنبال ارتقای دقت مدل است (Elith و همکاران، ۲۰۰۸). در نهایت برای بهبود عملکرد کلی، رویکردهای مدل‌سازی مبتنی بر درخت متعدد، یک جزء احتمالاتی یا تصادفی را برای فرایند برازش در نظر می‌گیرند. در این حالت، یک "کسر کیسه‌ای[۱]"، مشخص‌کننده نسبت داده‌هایی است که در هر مرحله از برازش درخت، ترسیم می‌شوند.

برای اجرای مدل‌های درخت رگرسیون تقویت‌شده نیاز است که کاربر تنظیمات مربوط به سه بخش را وارد کند: کسر کیسه‌ای، میزان یادگیری، و پیچیدگی درخت. البته مقادیر پیش‌فرض برای این تنظیمات ارائه شده است. اما با این حال، با کالیبره کردن این تنظیمات برای مجموعه‌داده‌های مختلف، می‌توان عملکرد مدل را تا حد زیادی ارتقا داد. کسر کیسه‌ای، درصدی از داده‌ها است که به‌طور تصادفی برای برازش به هر درخت انتخاب می‌شوند. میزان یادگیری سنجه‌ای است که مشخص می‌کند هر درخت تا چه اندازه بر فرایند برازش مدل تأثیر داشته است. میزان یادگیری پایین‌تر به این معنی است که هر درخت در مدل کلی کمک کمتری کرده و بنابراین درختان بیشتری برازش می‌یابند (Elith و همکاران، ۲۰۰۸). پیچیدگی درخت تعیین‌کننده تعداد گره‌های درخت

---

۱. Bag fraction

است. به‌طورکلی، با افزایش پیچیدگی درختان، تعداد درختان کاهش می‌یابد (Elith و همکاران، ۲۰۰۸).

مدل‌های مبتنی بر درخت به‌طور موفقیت‌آمیزی برای توصیف و پیش‌بینی طیف وسیعی از داده‌های محیط زیستی و بوم‌شناسی استفاده‌شده است (Cutler و همکاران، ۲۰۰۷؛ De'ath و Fabricius، ۲۰۰۰؛ De'ath، ۲۰۰۷؛ Elith و همکاران، ۲۰۰۸؛ و Maloney و همکاران، ۲۰۰۹). علاوه‌بر این، رویکردهای مدرن مبتنی بر درخت، مانند درخت رگرسیون تقویت‌شده با هدف بهبود پیش‌بینی و رفع اریبی‌هایی که بعضاً در مدل‌های درختی ایجاد می‌شوند، طراحی شده‌اند (Elith و همکاران، ۲۰۰۸).

تمام مدل‌های درخت رگرسیون تقویت‌شده برای پیش‌بینی کیفیت آب و وضعیت زیستی با استفاده از بسته‌های {dismo} و {gbm} در نرم‌افزار آماری R برازش یافتند (Hijmans و همکاران، ۲۰۱۵؛ Ridgeway، ۲۰۱۵). برای کسب اطلاعات بیشتر در این زمینه می‌توان به شبکه آرشیو جامع R مراجعه کرد (CRAN, https://www.cran.r-project.org/).

۳-۴-روش‌های سنجه‌ای

مدیریت متغیر پاسخ

برای متغیرهای پاسخ کیفیت آب (نیتروژن کل، فسفر کل، و هدایت ویژه) پالایه‌های زیر اعمال شدند:

- پایگاه داده کیفیت آب اداره محیط زیست و حفاظت تنسی محدود به نمونه‌های معمول شد.

- در ستون اولیه جدول، فقط محل‌های نمونه رودخانه یا آبراهه حفظ شدند.
- آستانه ۲۰۰۰/۱/۱ برای تاریخ نمونه اعمال شد.
- مشاهدات با کد کیفیت خالی، زیر حد تشخیص آزمایشگاه، یا بین حد تشخیص و کمّی‌سازی آزمایشگاه حفظ شدند و سایر کدهای کیفیت کنار گذاشته شدند.
- مشاهدات با مقادیر زیر حد تشخیص آزمایشگاه، یا بین حد تشخیص و کمّی‌سازی آزمایشگاه، به ترتیب با مقادیر نصف حد تشخیص یا کمّی‌سازی جایگزین شدند.
- فقط حوضه‌هایی که از سال ۲۰۰۰ دارای پنج یا بیش از پنج نمونه بودند، حفظ شدند.
- مقدار پارامتر میانه برای هر حوضه محاسبه شد.
- برای نرمال‌سازی متغیرهای پاسخ، یک تبدیل لگاریتمی در مواقع لازم روی داده‌ها اعمال شد.

برای ارزیابی وضعیت زیستگاه و شرایط زیستی نیز پالایه‌های مشابهی برای متغیرهای پاسخ اخذشده از پایگاه داده اداره محیط زیست و حفاظت تنسی (نمره دستورالعمل ارزیابی سریع زیستی) اعمال شد. ازآنجاکه ماهیت داده‌های زیستگاه و زیستی متفاوت از کیفیت آب بوده و نمونه‌های کمتری برای انتخاب کردن وجود دارند، لذا پالایه‌های سخت‌گیرانه‌ای برای آن‌ها اعمال نشد:

- در ستون اولیه جدول، فقط محل‌های نمونه رودخانه یا آبراهه حفظ شدند.
- آستانه ۲۰۰۰/۱/۱ برای تاریخ نمونه اعمال شد.

- مقدار پارامتر میانگین برای هر حوضه محاسبه شد.
- برای نرمال‌سازی متغیرهای پاسخ، یک تبدیل لگاریتمی در مواقع لازم روی داده‌ها اعمال شد.
- ازآنجاکه دستورالعمل‌های اداره محیط زیست و حفاظت تنسی برای نمونه‌برداری کف‌زی‌ها و زیستگاه شامل رودخانه‌های بزرگ نمی‌شود، لذا در هر منطقه بوم‌شناسی، پنج درصد از بزرگ‌ترین حوضه‌ها (بر اساس مساحت تجمعی سطح زهکشی)، از تحلیل کنار گذاشته شدند.

حتی تعداد کم نمونه‌های مربوط به شاخص جامعیت زیستی ماهی که از اداره دره تنسی و سازمان منابع حیات وحش تنسی تهیه شدند، به این معنی است که فقط جدیدترین نمونه‌های هر محل بدون توجه به تاریخ آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. بااین‌وجود مقدار متوسط پارامتر در هر حوضه محاسبه، و در صورت لزوم از یک تبدیل توانی برای نرمال-سازی داده‌ها استفاده شد.

۴-۴-برازش مدل

به هر پارامتر کیفیت آب، مدل‌های درخت رگرسیون تقویت‌شده اولیه با استفاده از تمامی متغیرهای پیش‌بینی‌کننده موجود برازش یافت. تناسب رویکرد درخت رگرسیون تقویت‌شده برای این داده‌ها با استفاده از خروجی‌های زیر مورد ارزیابی قرار گرفت:

- پلات کردن مقادیر برازش یافته در برابر مقادیر مشاهداتی.
- همبستگی کلی بین مقادیر برازش یافته و مشاهداتی برای داده-های مورد استفاده در مدل برازش یافته.

- میانگین همبستگی اعتبارسنجی متقابل[1] که برای هر یک از زیرمجموعه داده‌ها محاسبه شد.
- نمودار هیستوگرام و چگالی باقی‌مانده‌ها مدل.

سپس مقدار اثر نسبی هر متغیر پیش‌بینی‌کننده مورد بررسی قرار گرفت. تأثیر نسبی یک متغیر پیش‌بینی‌کننده بیانگر آن است که آن متغیر چند بار برای تقسیم یک مجموعه‌داده انتخاب‌شده است که وزن آن از طریق میزان بهبود کلی عملکرد مدل برای تمام درختان برازشی حاصل می‌شود (Elith و همکاران، ۲۰۰۸). این‌طور نیست که متغیرهای پیش‌بینی‌کننده‌ای که دارای نمره تأثیر نسبی کمتری هستند، بی‌اهمیت باشند، بلکه انتظار می‌رود که این متغیرها اثرگذاری کمتری در متغیر پاسخ داشته باشند (Elith و همکاران، ۲۰۰۸). تمام متغیرهای پیش-بینی‌کننده با تأثیر نسبی اولیه مساوی یا بیش از ۰/۵ برای تحلیل بیشتر حفظ شدند. سپس یک ماتریس همبستگی اسپیرمن برای این متغیرهای پیش‌بینی‌کننده باقی‌مانده محاسبه شد و مقادیر همبستگی بیش از ۰/۸ مورد بررسی قرار گرفت. در مواردی که احتمال داده می‌شد که متغیرهای با همبستگی بسیار بالا حاوی اطلاعاتی مشابه در مقیاس مکانی یکسان باشند، یک از متغیرهای پیش‌بینی‌کننده حذف شد (به‌عنوان مثال، درصد توسعه شدید منطقه فعال هیدرولوژیکی آبخیز و درصد پوشش غیر قابل نفوذ منطقه فعال هیدرولوژیکی آبخیز). با این حال، در مواردی که انتظار می‌رفت نحوه تأثیر فرایندهای مکانی یا زمانی متغیرهای پیش‌بینی‌کننده بر متغیر پاسخ متفاوت باشد، متغیرهای پیش‌بینی‌کننده هر چند که دارای همبستگی بالایی بودند، حفظ شدند. به‌عنوان مثال، به‌احتمال زیاد تأثیر

1. Mean cross-validated correlation

پوشش جنگلی کنار رودخانه‌ای تجمعی متفاوت از پوشش جنگلی آبخیز تجمعی (که ممکن است در مجاورت مناطق کنار رودخانه باشد یا نباشد) است.

سپس برای هر یک از پارامتر کیفیت آب، زیرمجموعه متغیرهای پیش‌بینی‌کننده برای برازش یک مدل نهایی مورد استفاده قرار گرفتند. طیف وسیعی از تنظیمات درخت رگرسیون تقویت‌شده مورد ارزیابی قرار گرفت. مقادیر ۰/۵، ۰/۶ و ۰/۷۵ برای کسر کیسه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر ۰/۰۰۵ ، ۰/۰۰۷۵ و ۰/۰۱ برای میزان یادگیری مورد بررسی قرار گرفت. پیچیدگی درخت در مقادیر ۲، ۳، ۴، و ۵ بررسی شد. تنظیمات مدل ازنظر میانگین همبستگی اعتبارسنجی متقابل و تعداد درختان ایجادشده به‌وسیلهٔ مدل نهایی مورد ارزیابی قرار گرفت. ازآنجاکه در مدل‌های درخت رگرسیون تقویت‌شده، زیرمجموعه‌ای از داده‌ها به صورت احتمالاتی (مثلاً تصادفی) انتخاب می‌شود، لذا ارزیابی نتایج برازش درخت رگرسیون تقویت‌شده برای هر یک از مدل‌ها به صورت جداگانه جامع نخواهد بود. براین‌اساس با دو مرحله برازش یک مدل درخت رگرسیون تقویت‌شده، نتایج آن اندکی متفاوت خواهد بود. برای بهبود عملکرد درخت رگرسیون تقویت‌شده، از شبیه‌سازی مکرر آماری در فرایند برازش مدل استفاده شد. هر مدل نهایی به تعداد ۱۰۰ مرتبه با داده‌ها برازش داده شد و برای هر تکرار مقادیر آموزش و همبستگی اعتبارسنجی متقابل ثابت در نظر گرفته شد. علاوه‌بر این، همبستگی آموزش/ آزمایش نیز به‌عنوان سنجه نکویی برازش سوم محاسبه شد. همبستگی آموزش/ آزمایش نیز به‌مانند معیار همبستگی اعتبارسنجی متقابل، یک معیار سنجش کارایی پیش‌بینی مدل است با این تفاوت که این معیار بیشتر

بیانگر قدرت پیش‌بینی کلی مدل است (Edith و همکاران، ۲۰۰۸). زیرمجموعه داده‌های آموزش با انتخاب تصادفی ۸۰ درصد داده‌ها ایجاد شد و مدل درخت رگرسیون تقویت شده با این داده‌ها برازش یافت. سپس از مدل حاصله برای پیش‌بینی مقادیر پارامتر کیفیت آب در مجموعه داده‌های آزمایش استفاده شد. به‌عنوان مثال، ۲۰ درصد داده‌های باقی‌مانده که در فرایند برازش مدل از آن‌ها استفاده نشده است. با این شبیه‌سازی، توزیعی از آماره‌های نکویی برازش ایجاد می‌شود که می‌توان از آن مقادیر میانگین، میانه و سایر صدک‌ها را استخراج، و عملکرد کلی مدل ارزیابی کرد.

سپس مدل درخت رگرسیون تقویت‌شده نهایی برای تخمین پارامترهای کیفیت آب در تمام آبخیزهای شبکه ملی هیدروگرافی در تنسی مورد استفاده قرار گرفت. از آنجا که داده‌های زیستگاه و بیولوژی وابستگی زیادی به تفاوت‌های مناطق بوم‌شناسی دارد، لذا تاحدامکان سعی شد که برای هر یک از ترکیبات مناطق بوم‌شناسی رده ۳ از مدل‌های جداگانه‌ای استفاده شود (در برخی موارد، مناطق بوم‌شناسی با هدف افزایش تعداد نمونه با هم ترکیب شده‌اند):

- ✓ بلوریج
- ✓ پشته و دره
- ✓ آپالاچی جنوب غربی و مرکزی
- ✓ فلات مرکزی
- ✓ دشت‌های جنوب شرقی، دشت آبرفتی رودخانه می‌سی‌سی‌پی، و دشت‌های لسی رودخانه می‌سی‌سی‌پی

۵-۴- نتایج مدل کیفیت آب

میانه غلظت‌های نیتروژن کل آبراهه (میلی‌گرم بر لیتر)

با تجمیع مقادیر نیترات، نیتریت، و کل نیتروژن کجدال، نیتروژن کل بر حسب میلی‌گرم در لیتر محاسبه شد. برای نرمال کردن توزیع نیتروژن کل از یک تبدیل توانی با مقدار توان ۰/۱۶ استفاده شد. جزئیات اندازه نمونه و خلاصه آماری برای میانه نیتروژن کل حوضه در جدول ۵ ارائه شده است.

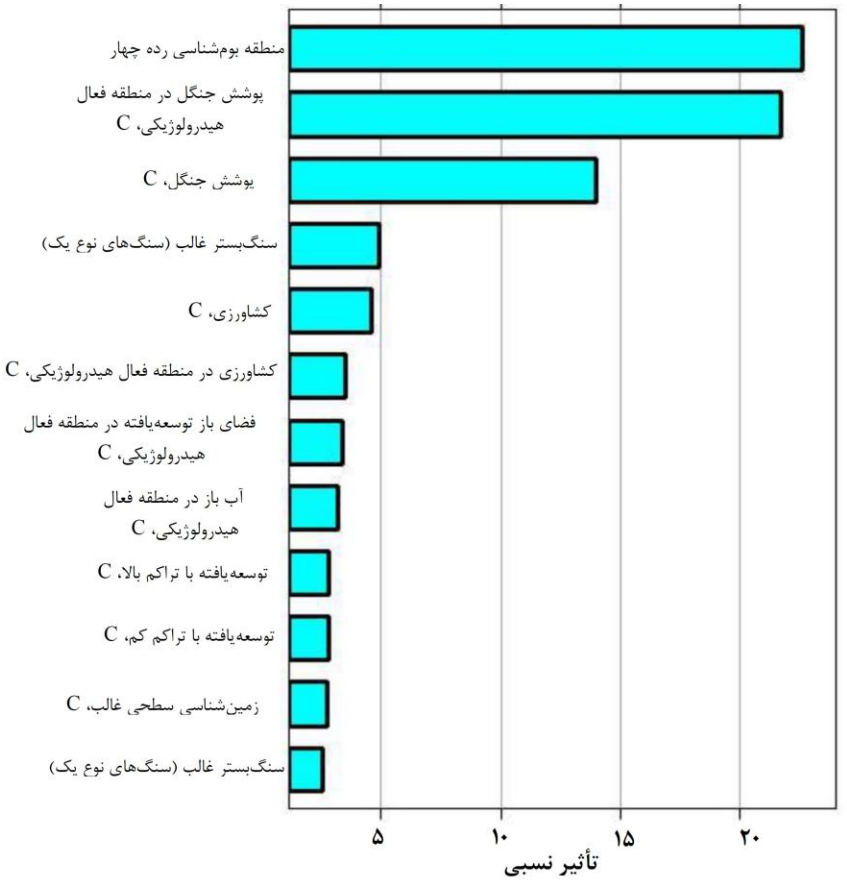
جدول ۵- خلاصه آماری (مقادیر کمینه، چارک اول، میانه، میانگین، چارک سوم، و بیشینه) و تعداد نمونه برای میانه نیتروژن کل در حوضه‌های با بیش از پنج نمونه از سال ۲۰۰۰ به بعد.

تعداد	کمینه	چارک اول	میانه	میانگین	چارک سوم	بیشینه
۱۶۹۰	۰/۰۷۳۵	۰/۴۰۵	۰/۷۲۴۳	۰/۹۱۷۷	۱/۱۸۴	۸/۵۷

نتایج مدل نشان می‌دهد که غلظت نیتروژن کل به شدت متأثر از اثرات منطقه‌ای است (شکل ۳۴). پوشش جنگل کل و اراضی کشاورزی در هر دو مقیاس فضایی تجمعی و منطقه فعال هیدرولوژیکی از جمله پارامترهای مهم مؤثر بر نیتروژن کل هستند. از دیگر متغیرهای مهم مؤثر بر نیتروژن کل می‌توان به مواردی همچون زمین‌شناسی سطحی و سنگ‌بستر و میزان توسعه مناطق اشاره کرد.

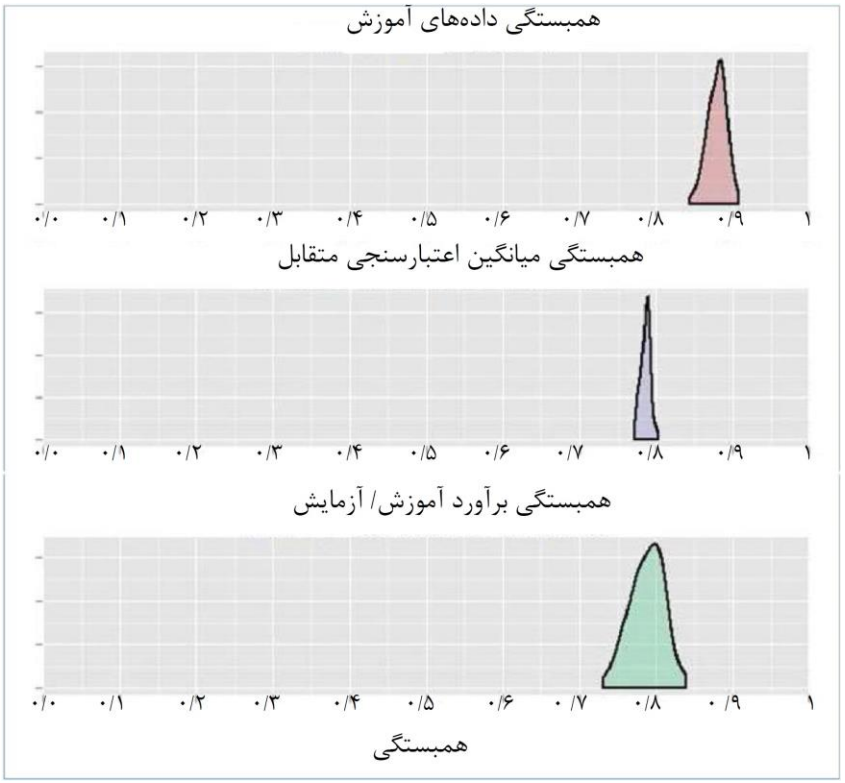
نتایج نکویی برازش برای مدل نیتروژن کل قابل قبول است (شکل ۳۵ و جدول ۶). بالاتر بودن مقادیر همبستگی داده‌های آموزش نسبت به

مقادیر اعتبارسنجی متقابل حاکی از مقداری بیش‌برازش در فرایند مدل-سازی است. با این حال، تخمین‌های اعتبارسنجی متقابل در دامنه نتایج آموزش/ آزمایش قرار می‌گیرند که حاکی از برآوردهای نسبتاً مناسب و ناریب اعتبارسنجی متقابل است. دامنه میان‌چارکی نتایج آموزش/ آزمایش باریک (۰/۷۷-۰/۸۰) بوده، و نشان می‌دهد که فرایند پیش‌بینی نسبتاً پایدار است (جدول ۶).



شکل ۳۴- تأثیر نسبی متغیرهای پیش‌بینی‌کننده در مدل نیتروژن کل

نکته: C بیانگر مقدار تجمعی است.



شکل ۳۵- توزیع‌های شبیه‌سازی‌شده از سنجه‌های نکویی برازش برای مدل نیتروژن کل.

جدول ۶- خلاصه آماری برای سنجه‌های نکویی برازش مدل میانه نیتروژن کل.

آماره	کمینه	چارک اول	میانه	میانگین	چارک سوم	بیشینه
همبستگی آموزش	۰/۸۴	۰/۸۷	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۹	۰/۹۱
همبستگی میانگین اعتبارسنجی متقابل	۰/۷۷	۰/۷۸	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۸۰

همبستگی آموزش/ آزمایش	۰/۷۳	۰/۷۷	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۸۰	۰/۸۴

میانه غلظت فسفر کل آبراهه (میلی‌گرم بر لیتر)

برای نرمال کردن توزیع غلظت‌های میانه فسفر کل از یک تبدیل لگاریتمی استفاده شد. جزئیات اندازه نمونه و خلاصه آماری برای میانه فسفر کل حوضه در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۷- خلاصه آماری (مقادیر کمینه، چارک اول، میانه، میانگین، چارک سوم، و بیشینه) و تعداد نمونه برای میانه فسفر کل در حوضه‌های با بیش از پنج نمونه از سال ۲۰۰۰ به بعد.

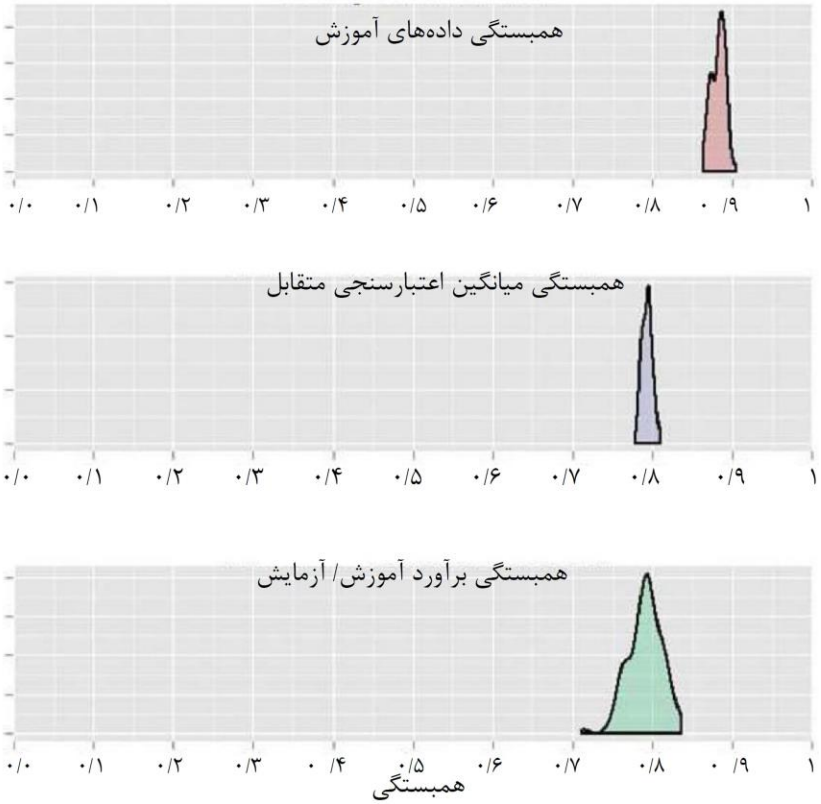
تعداد	کمینه	چارک اول	میانه	میانگین	چارک سوم	بیشینه
۱۸۲۸	۰/۰۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲۰۸۸	۰/۰۷۱۳۵	۰/۰۹۵	۰/۹

نتایج مدل نشان‌دهنده تأثیر بسیار زیاد مناطق بوم‌شناسی و بعد از آن تأثیر سنگ‌بستر غالب است (شکل ۳۶). در این ایالت زمین‌شناسی و هوازدگی سازندها تأثیر زیادی بر مقادیر فسفر کل دارد (سازمان زمین-شناسی ایالات متحده، ۱۹۶۷). در مقیاس ایالت به نظر میزان تأثیر عوامل زمین‌شناسی بیش از کاربری اراضی است. با این حال، درصد جنگل در منطقه فعال هیدرولوژیکی نیز از جمله عامل‌های مهم است. پوشش جنگلی کنار رودخانه‌ای می‌تواند به‌عنوان یک بافر برای رواناب‌های حاوی

فسفر ناشی از کاربری‌های کشاورزی و مناطق توسعه یافته عمل کند. علاوه‌بر این‌ها، محصولات ردیفی و میزان توسعه مناطق و مقیاس‌های مکانی نیز از دیگر مؤثر بر فسفر کل هستند.

شکل ۳۶- تأثیر نسبی متغیرهای پیش‌بینی‌کننده در مدل فسفر کل. نکته: C بیانگر مقدار تجمعی.

سنجه‌های نکویی برازش برای مدل میانه فسفر کل نشان می‌دهند که برازش مناسبی برای پیش‌بینی این پارامتر انجام شده است (شکل ۳۷ و جدول ۸). توزیع آماره‌های داده‌های آموزش حاکی از مقداری بیش-برازش در مدل است، اما نتایج اعتبارسنجی متقابل و آموزش/آزمون با هم مطابقت دارند. همچنین در مقایسه با مدل نیتروژن کل، دامنه میان‌چارکی سنجه آموزش/ آزمون بزرگ‌تر بوده که نشان‌دهنده پایداری نسبتاً کمتر فرایند پیش‌بینی است.



شکل ۳۷- توزیع‌های سنجه‌های نکویی برازش برای مدل فسفر کل.

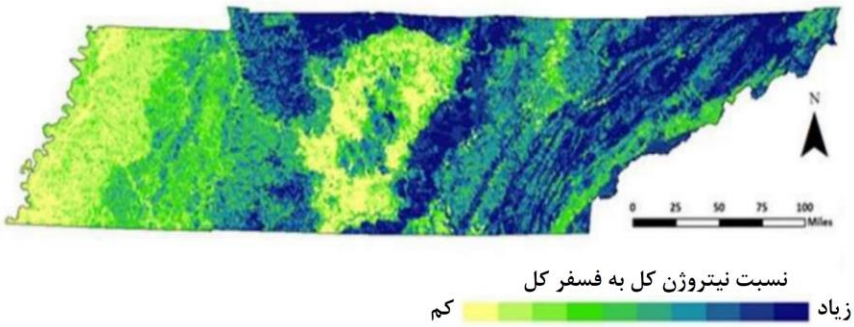
جدول ۸- خلاصه آماری برای سنجه‌های نکویی برازش برای مدل میانه فسفر کل.

آماره	کمینه	چارک اول	میانه	میانگین	چارک سوم	بیشینه
همبستگی آموزش	۰/۸۶	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۹	۰/۹۰
همبستگی میانگین اعتبارسنجی متقابل	۰/۷۸	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۸۰	۰/۸۱
همبستگی آموزش/ آزمایش	۰/۷۱	۰/۷۸	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۸۱	۰/۸۴

نسبت نیتروژن کل به فسفر کل (در ارزیابی استفاده نشده است)

علاوه‌بر برآورد غلظت نیتروژن کل و فسفر کل، نسبت نیتروژن کل به فسفر کل نیز برای هر آبخیز از تقسیم نیتروژن کل برآوردی به فسفر کل برآوردی محاسبه شد (شکل ۳۸). مقادیر بالای این نسبت به‌نوعی می‌تواند نشان‌دهنده مناطق دست نخورده باشد زیرا در مناطق طبیعی معمولاً مقدار بیش از مقدار فسفر است. با این حال، حتی در آب‌های الیگوتروفیک کم‌مغذی نیز ممکن است که دامنه تغییرات طبیعی زیاد باشد (Bergström، ۲۰۱۰). به همین ترتیب، مقدار پایین این نسبت ممکن است نشان‌دهنده شرایط اوتروفیک باشد که می‌تواند به دلایل طبیعی یا دخالت‌های انسانی به وجود آمده باشد. همچنین مقادیر این نسبت در سامانه‌های لوتیک ممکن است که تا حد زیادی متأثر از رژیم هیدرولوژیک باشد (Green و Finlay، ۲۰۱۰). این عدم قطعیت، چالش‌هایی را برای رتبه‌بندی مقادیر نسبت نیتروژن کل به فسفر کل ایجاد می‌کند و براین‌اساس یک مقدار

نسبت بالای نیتروژن کل به فسفر کل ممکن است که مربوط به یک شرایط سالم باشد و همچنین این امکان وجود دارد که مربوط به یک شرایط سالم نباشد؛ بنابراین دلایل، از مقادیر این نسبت برای ارزیابی زیرشاخص کیفیت آب استفاده نشد. اما ازآنجاکه نتایج مربوط به این نسبت می‌تواند از لحاظ مدیریتی مفید باشد، این نتایج در پیوست گنجانده شد.



شکل ۳۸- توزیع مکانی نسبت نیتروژن کل به فسفر کل پیش‌بینی‌شده.

میانه هدایت ویژه (میکروثانیه بر سانتی‌متر)

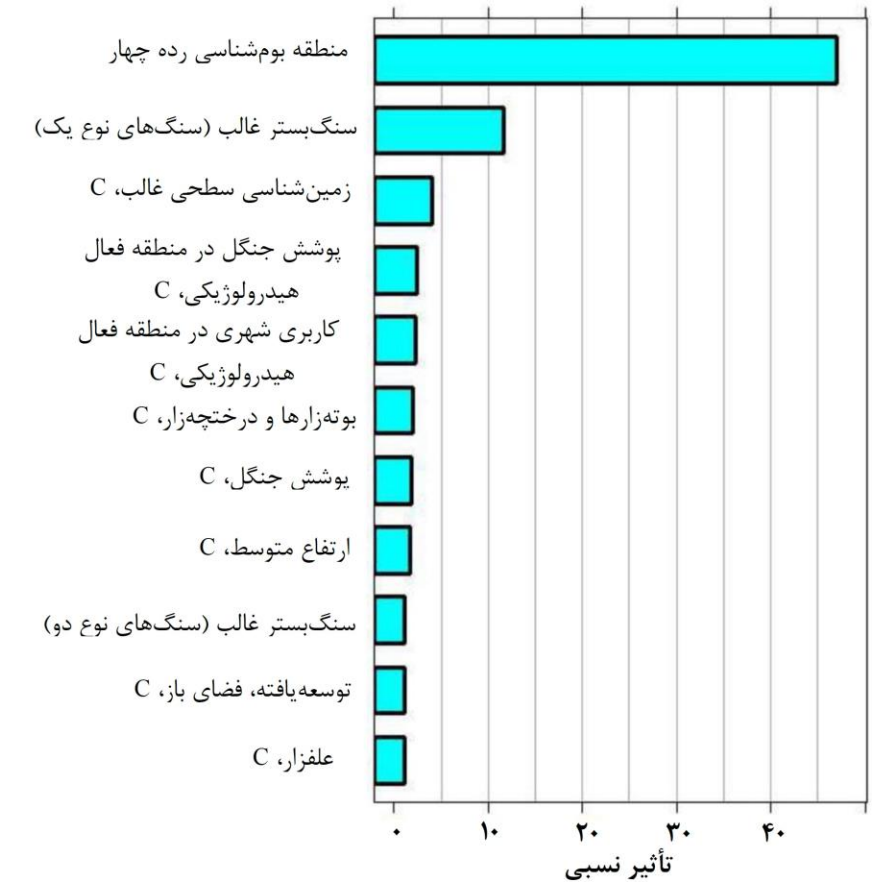
برای نرمال کردن توزیع مقادیر هدایت ویژه از یک تبدیل توانی ۰/۶ استفاده شد. جزئیات اندازه نمونه و خلاصه آماری برای هدایت ویژه در جدول ۹ ارائه شده است.

جدول ۹- خلاصه آماری و تعداد نمونه برای میانه هدایت ویژه (میکروثانیه بر سانتی‌متر) در حوضه‌های با بیش از پنج نمونه از سال ۲۰۰۰ به بعد.

تعداد	کمینه	چارک	میانه	میانگین	چارک	بیشینه

		اول			سوم	
۱۶۷۷	۸/۲۵	۱۲۱	۲۵۲/۵	۲۶۳/۴	۳۸۵/۵	۱۱۲۱

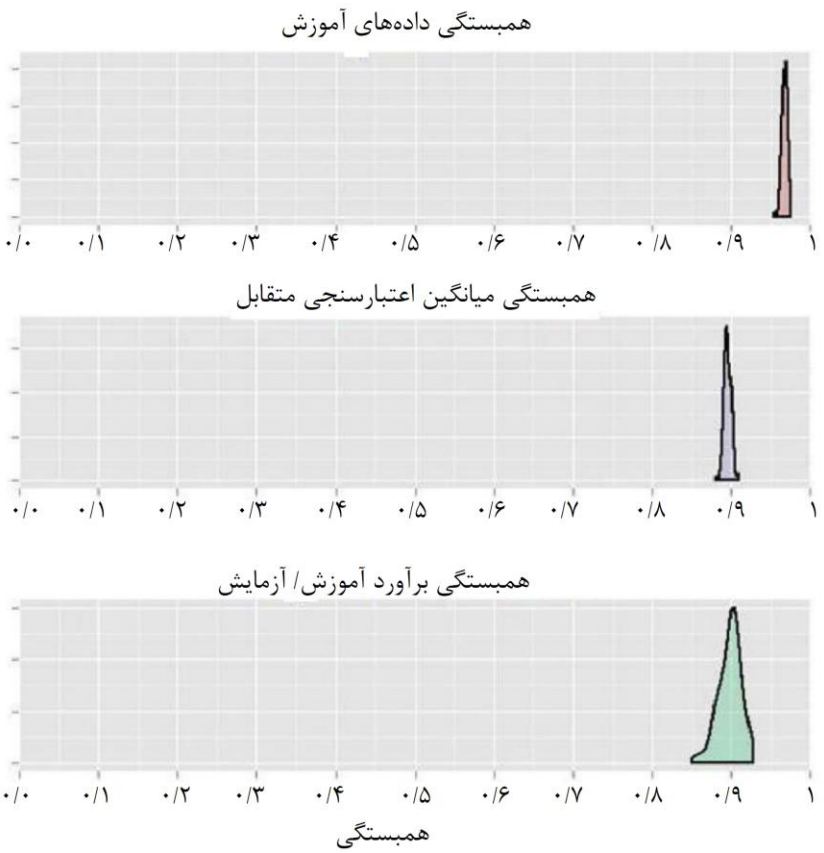
در مورد مدل هدایت ویژه نیز نتایج نشان‌دهنده تأثیر زیاد مناطق بوم‌شناسی و بعد از آن تأثیر سنگ‌بستر غالب و زمین‌شناسی سطحی است (شکل ۳۹). هدایت الکتریکی تا حد زیادی تحت تأثیر زمین‌شناسی است. قابلیت یونیزه شدن در خاک‌ها و سنگ بسترهای مختلف بسیار متفاوت است. هدایت ویژه همچنین دارای ارتباط زیادی با مواد جامد محلول و کاربری‌های اراضی و پوشش‌های حساس به فرسایش و رسوب است.



شکل ۳۹- تأثیر نسبی متغیرها در مدل هدایت ویژه. نکته: C بیانگر مقدار تجمعی.

سنجه‌های نکویی برازش برای مدل هدایت ویژه نشان می‌دهند که برازش مناسبی برای پیش‌بینی این پارامتر انجام‌شده است (شکل ۴۰ و جدول ۱۰). در این مدل نیز توزیع آماره‌های داده‌های آموزش حاکی از مقداری بیش‌برازش در مدل است که البته مقدار آن نسبت به سایر پارامترهای کیفیت آب کمتر است و سنجه‌های اعتبارسنجی متقابل و آموزش / آزمون به‌طور قابل توجهی بالاتر است. همچنین دامنه میان-

چارکی سنجه آموزش/ آزمایش باریک است که نشان‌دهنده پایداری فرایند پیش‌بینی است.



شکل ۴۰- توزیع‌های شبیه‌سازی‌شده از سنجه‌های نکویی برازش برای مدل هدایت ویژه.

جدول ۱۰- خلاصه آماری برای سنجه‌های نکویی برازش برای مدل میانه هدایت ویژه.

آماره	کمینه	چارک اول	میانه	میانگین	چارک سوم	بیشینه

همبستگی آموزش	۰/۹۵	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۸
همبستگی میانگین اعتبارسنجی متقابل	۰/۸۸	۰/۸۹	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۱
همبستگی آموزش/ آزمایش	۰/۸۵	۰/۸۹	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۱	۰/۹۳

۶-۴- نتایج مدل زیستگاه

نمرات دستورالعمل ارزیابی سریع زیستی

در دستورالعمل ارزیابی سریع زیستی برای نمره‌دهی از مدل‌های مختلفی برای هر یک از مناطق بوم‌شناسی استفاده شد. دامنه نمرات دستورالعمل ارزیابی سریع زیستی بین صفر تا ۲۰۰ است. جزئیات اندازه نمونه و خلاصه آماری برای نمرات دستورالعمل ارزیابی سریع زیستی در جدول ۱۱ ارائه شده است.

جدول ۱۱- خلاصه آماری و تعداد نمونه برای نمره دستورالعمل ارزیابی سریع زیستی.

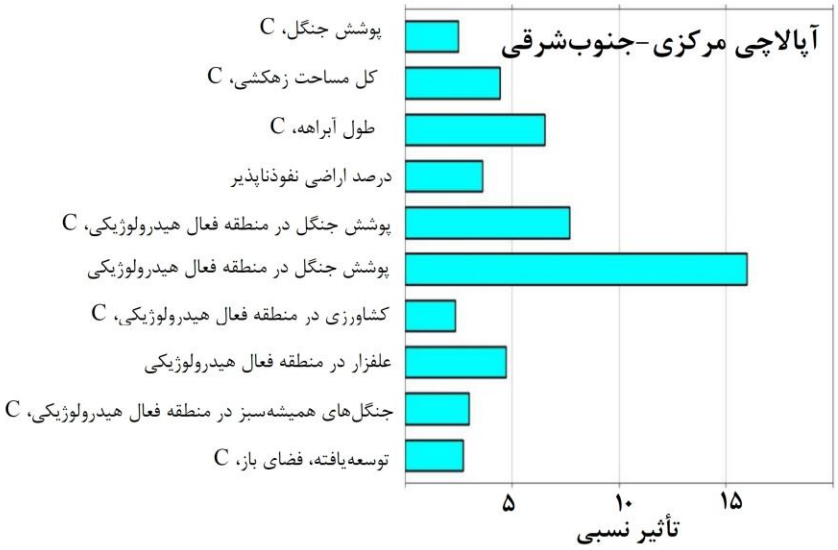
منطقه بوم‌شناسی	تعداد	کمینه	چارک اول	میانه	میانگین	چارک سوم	بیشینه
بلوریج	۲۸۴	۷۳	۱۳۲	۱۵۲	۱۵۰/۴۳	۱۷۲	۱۹۶
پشته و دره	۹۳۹	۳۸	۱۰۶	۱۲۶	۱۲۴/۵۹	۱۴۵	۱۸۴/۵
آپالاچی مرکزی/ جنوب شرقی	۴۷۳	۴۰	۱۳۲	۱۵۱	۱۴۷/۷۲	۱۶۶/۷۵	۲۰۰

فلات داخلی	۱۵۹۷	۵۲	۱۱۸	۱۳۰	۱۳۰/۰۷	۱۴۳/۵	۱۸۸
دشت‌های لسی می‌سی‌سی‌پی/ جنوب شرقی	۸۷۷	۳۱	۸۱	۹۷/۵	۱۰۰/۲	۱۱۵/۲۷	۱۹۱

نتایج مدل در مناطق مختلف بوم‌شناسی متفاوت است، اما به‌طورکلی نشان‌دهنده تأثیر شدید کاربری زمین در منطقه فعال هیدرولوژیکی بر سنجه ارزیابی سریع زیستی است (شکل ۴۱). در منطقه فلات داخلی ایالت، عمق تا سنگ‌بستر مؤثرترین عامل مدل است.

سنجه‌های نکویی برازش برای مدل دستورالعمل ارزیابی سریع زیستی نشان می‌دهند که برازش مناسبی برای پیش‌بینی این پارامتر انجام شده است (جدول ۱۲).

شکل ۴۱- تأثیر نسبی متغیرها در مدل ارزیابی سریع زیستی. نکته: C بیانگر مقدار تجمعی.



ادامه شکل ۴۱- تأثیر نسبی متغیرها در مدل ارزیابی سریع زیستی. نکته: C بیانگر مقدار تجمعی.

ادامه شکل ۴۱- تأثیر نسبی متغیرها در مدل ارزیابی سریع زیستی. نکته: C بیانگر مقدار تجمعی.

رتبه‌بندی پایداری زیستگاه

اولویت‌بندی آبخیزهای شبکه ملی هیدروگرافی قبلاً به‌وسیلهٔ سازمان حفاظت طبیعت یا سازمان منابع حیات وحش تنسی انجام شده است. در داده‌های ارائه شده به‌وسیلهٔ این سازمان‌ها، رتبه‌بندی آبخیزهای تنسی بر اساس احتمال داشتن گونه‌های نیازمند به حفاظت از احتمال کم تا احتمال بسیار بالا انجام شده است. در این ارزیابی، فقط از آبخیزهای با رتبه احتمال بالا و بسیار بالا مورد استفاده قرار گرفت تا نمرات زیرشاخص وضعیت زیستگاه برای آن آبخیزها افزایش یابد.

جدول ۱۲- خلاصه آماری سنجه‌های نکویی برازش مدل دستورالعمل ارزیابی سریع.

منطقه بوم‌شناسی	کمینه	چارک اول	میانه	میانگین	چارک سوم	بیشینه
پشته و دره						
همبستگی آموزش	۰/۷۴	۰/۷۸	۰/۸۱	۰/۸	۰/۸۴	۰/۸۴
همبستگی میانگین اعتبارسنجی متقابل	۰/۵۲	۰/۵۴	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۷	۰/۵۷
همبستگی آموزش/ آزمایش	۰/۴۷	۰/۵۲	۰/۵۳	۰/۵۴	۰/۵۶	۰/۶۱
بلوریج						
همبستگی آموزش	۰/۸۳	۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۸۶	۰/۸۸	۰/۹
همبستگی میانگین اعتبارسنجی متقابل	۰/۵۴	۰/۵۸	۰/۵۹	۰/۵۹	۰/۶۱	۰/۶۴
همبستگی آموزش/ آزمایش	۰/۴۸	۰/۵۷	۰/۵۸	۰/۵۹	۰/۶۵	۰/۶۸
آپالاچی مرکزی/ جنوب شرقی						
همبستگی آموزش	۰/۷۱	۰/۷۳	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۸	۰/۷۹
همبستگی میانگین	۰/۴۴	۰/۵	۰/۵۱	۰/۵۱	۰/۵۴	۰/۵۵

اعتبارسنجی متقابل						
همبستگی آموزش/ آزمایش	۰/۴۲	۰/۴۵	۰/۴۹	۰/۵	۰/۵۸	۰/۶۱
دشت‌های لسی می‌سی‌سی‌پی/ جنوب شرقی						
همبستگی آموزش	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۸	۰/۸۱	۰/۸۳	۰/۸۶

ادامه جدول ۱۲- خلاصه آماری سنجه‌های نکویی برازش مدل دستورالعمل ارزیابی سریع.

منطقه بوم‌شناسی	کمینه	چارک اول	میانه	میانگین	چارک سوم	بیشینه
همبستگی میانگین اعتبارسنجی متقابل	۰/۶۷	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۷	۰/۷۱
همبستگی آموزش/ آزمایش	۰/۶۵	۰/۶۷	۰/۶۸	۰/۶۹	۰/۷	۰/۷۵
فلات داخلی						
همبستگی آموزش	۰/۷۱	۰/۷۳	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۶	۰/۸
همبستگی میانگین اعتبارسنجی متقابل	۰/۵۱	۰/۵۳	۰/۵۵	۰/۵۴	۰/۵۵	۰/۵۷
همبستگی آموزش/ آزمایش	۰/۴۷	۰/۵۴	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۵۸	۰/۶۴

۴-۷- نتایج مدل زیستی

نمرات بی‌مهرگان بزرگ کف‌زی

برای نمره‌دهی بی‌مهرگان بزرگ کف‌زی از مدل‌های مختلفی برای هر یک از مناطق بوم‌شناسی استفاده شد. جزئیات اندازه نمونه و خلاصه آماری برای بی‌مهرگان بزرگ کف‌زی در جدول ۱۳ ارائه شده است.

جدول ۱۳- خلاصه آماری و تعداد نمونه برای سنجه بی‌مهرگان بزرگ کف‌زی.

منطقه بوم‌شناسی	تعداد	کمینه	چارک اول	میانه	میانگین	چارک سوم	بیشینه
بلوریج	۱۹۷	۳	۹	۱۱	۱۰/۶۵	۱۴	۱۵
پشته و دره	۵۸۶	۳	۶	۹	۹/۴۹	۱۳	۱۵
آپالاچی مرکزی/ جنوب شرقی	۲۵۰	۳	۹	۱۲	۱۰/۹۸	۱۴/۳۳	۱۵
فلات داخلی	۱۲۸۹	۳	۹/۶۷	۱۳	۱۱/۷۵	۱۵	۱۵
دشت‌های لسی می‌سی‌سی‌پی/ جنوب شرقی	۶۴۸	۳	۶	۱۰	۹/۷۸	۱۳	۱۵

پیوست ۴- کیفیت آب، مدلسازی سنجه زیستگاه و وضعیت زیستی

نتایج مدل در مناطق مختلف بوم‌شناسی متفاوت است، اما به‌طورکلی نشان‌دهنده تأثیر شدید کاربری اراضی بالادست بر سنجه بی-مهرگان بزرگ کف‌زی است (شکل ۴۲). علاوه‌بر این، اندازه آبراهه و ارتفاع نیز به ویژه در مناطق بوم‌شناسی کوهستانی آپالاچی و بلوریج تأثیر زیادی بر بیولوژی آبخیز دارند.

سنجه‌های نکویی برازش مدل بی‌مهرگان بزرگ کف‌زی نشان می-دهند که در بیشتر مناطق بوم‌شناسی برازش مناسبی برای پیش‌بینی این پارامتر انجام‌شده است (جدول ۱۴). این نتایج نشان می‌دهند که بهترین برازش در مناطق بوم‌شناسی بلوریج و آپالاچی مرکزی - جنوب شرقی، و ضعیف‌ترین برازش در منطقهٔ بوم‌شناسی پشته و دره انجام‌گرفته است.

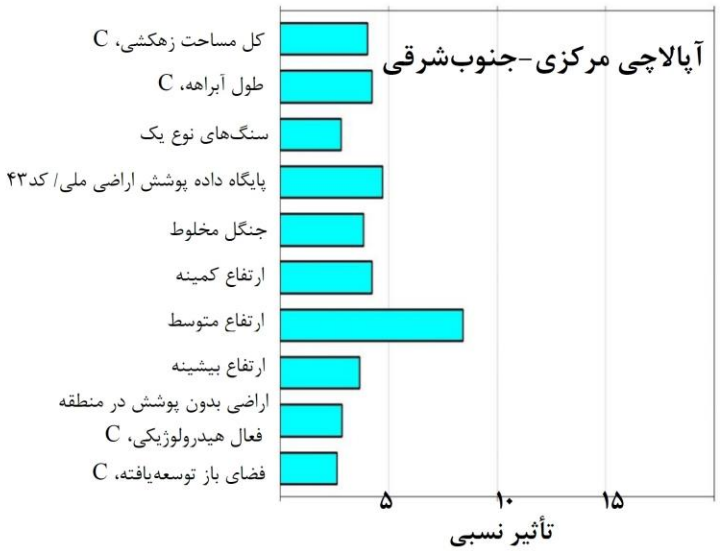
۱ ۱۰ ۵

تأثیر نسبی

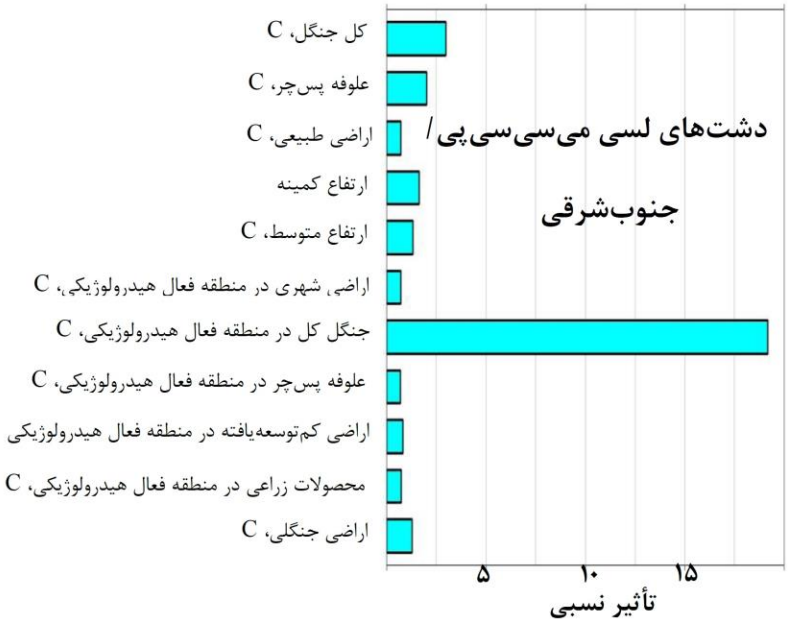
۱۵ ۱۰ ۵

تأثیر نسبی

شکل ۴۲- تأثیر نسبی متغیرها در مدل بی‌مهرگان بزرگ کف‌زی. نکته: C بیانگر مقدار تجمعی.



ادامه شکل ۴۲- تأثیر نسبی متغیرها در مدل بی‌مهرگان بزرگ کف‌زی. نکته: C بیانگر مقدار تجمعی.



ادامه شکل ۴۲- تأثیر نسبی متغیرها در مدل بی‌مهرگان بزرگ کف‌زی. نکته: C بیانگر مقدار تجمعی.

جدول ۱۴- خلاصه آماری سنجه‌های نکویی برازش برای مدل بی‌مهرگان بزرگ کف‌زی.

منطقه بوم‌شناسی	کمینه	چارک اول	میانه	میانگین	چارک سوم	بیشینه
پشته و دره						
همبستگی آموزش	۰/۶۳	۰/۶۵	۰/۶۹	۰/۶۸	۰/۷۱	۰/۷۲
همبستگی میانگین اعتبارسنجی متقابل	۰/۴۲	۰/۴۵	۰/۴۷	۰/۴۷	۰/۴۹	۰/۵۱
همبستگی آموزش/ آزمایش	۰/۳۱	۰/۴۲	۰/۴۸	۰/۴۷	۰/۵۴	۰/۵۸
بلوریج						
همبستگی آموزش	۰/۷۷	۰/۸۲	۰/۸۸	۰/۸۷	۰/۹	۰/۹۸
همبستگی میانگین اعتبارسنجی متقابل	۰/۳۶	۰/۴۲	۰/۴۷	۰/۴۷	۰/۵۲	۰/۵۷
همبستگی آموزش/ آزمایش	۰/۲۹	۰/۳۶	۰/۴۲	۰/۴۵	۰/۵	۰/۷۶
آپالاچی مرکزی/ جنوب شرقی						
همبستگی آموزش	۰/۸	۰/۸۲	۰/۸۳	۰/۸۴	۰/۸۵	۰/۹۷
همبستگی میانگین اعتبارسنجی متقابل	۰/۳۹	۰/۴۳	۰/۴۶	۰/۴۶	۰/۴۸	۰/۵۶
همبستگی آموزش/	۰/۱۷	۰/۳۶	۰/۴۷	۰/۴۴	۰/۵۱	۰/۶۱

آزمایش

ادامه جدول ۱۴- خلاصه آماری سنجه‌های نکویی برازش برای مدل بی‌مهرگان بزرگ کف‌زی.

منطقه بوم‌شناسی	کمینه	چارک اول	میانه	میانگین	چارک سوم	بیشینه
دشت‌های لسی می‌سی‌سی‌پی/ جنوب شرقی						
همبستگی آموزش	۰/۷۶	۰/۷۸	۰/۸	۰/۸۱	۰/۸۳	۰/۸۸
همبستگی میانگین اعتبارسنجی متقابل	۰/۶۳	۰/۶۵	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۶۸	۰/۶۸
همبستگی آموزش/ آزمایش	۰/۵۶	۰/۵۹	۰/۶۴	۰/۶۵	۰/۶۹	۰/۷۵
فلات داخلی						
همبستگی آموزش	۰/۷۳	۰/۷۵	۰/۷۷	۰/۷۷	۰/۷۹	۰/۸۱
همبستگی میانگین اعتبارسنجی متقابل	۰/۵۷	۰/۵۹	۰/۶	۰/۶	۰/۶۱	۰/۶۳
همبستگی آموزش/ آزمایش	۰/۵۵	۰/۵۷	۰/۶۲	۰/۶۱	۰/۶۵	۰/۷۳

نمایه جامعیت زیستی ماهی

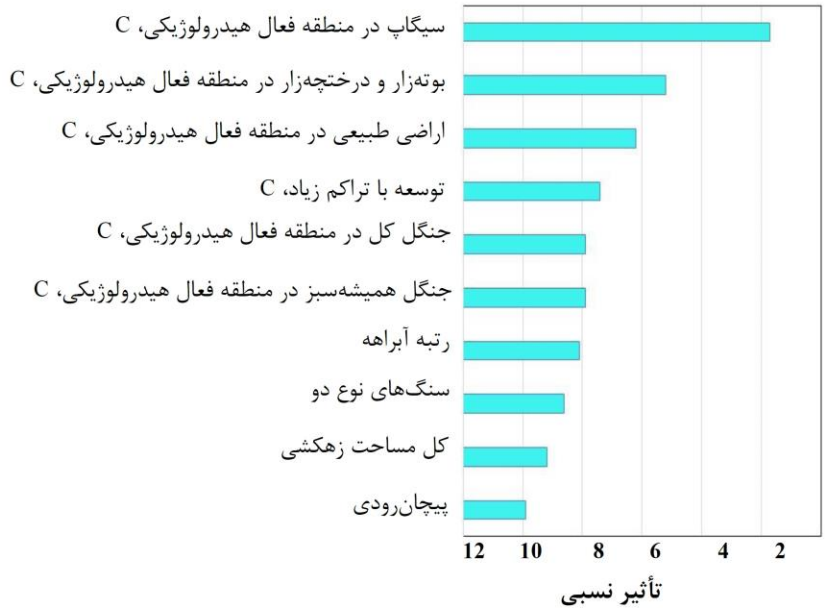
پیوست ۴- کیفیت آب، مدلسازی سنجه زیستگاه و وضعیت زیستی

ازآنجاکه داده‌های نمایه جامعیت زیستی ماهی فقط برای بخش محدودی از ایالت وجود داشت، بنابراین مدل‌های این سنجه به‌طور جداگانه برای مناطق بوم‌شناسی مختلف اجرا نشد. جزئیات اندازه نمونه و خلاصه آماری برای جامعیت زیستی ماهی در جدول ۱۵ ارائه شده است.

جدول ۱۵ – خلاصه آماری (مقادیر کمینه، چارک اول، میانه، میانگین، چارک سوم، و بیشینه) و تعداد نمونه برای نمره جامعیت زیستی ماهی.

تعداد	کمینه	چارک اول	میانه	میانگین	چارک سوم	بیشینه
۱۰۲	۱۸	۳۳/۵	۳۸	۳۸/۹۲	۴۶	۵۶

نتایج مدل نشان‌دهنده تأثیر شدید کاربری کشاورزی به ویژه در منطقه فعال هیدرولوژیکی بر کیفیت جوامع ماهی در ایالت تنسی است (شکل ۴۳).



شکل ۴۳- تأثیر نسبی متغیرها در مدل جامعیت زیستی ماهی. نکته: C بیانگر مقدار تجمعی.

سنجه‌های نکویی برازش مدل نشان می‌دهند که برازش مناسبی برای پیش‌بینی انجام شده است (جدول ۱۶).

جدول ۱۶- خلاصه آماری سنجه‌های نکویی برازش برای مدل جامعیت زیستی ماهی.

آماره	کمینه	چارک اول	میانه	میانگین	چارک سوم	بیشینه
همبستگی آموزش	۰/۸۶	۰/۸۱	۰/۸۷	۰/۸۹	۰/۹۴	۰/۹۹
همبستگی میانگین اعتبارسنجی متقابل	۰/۳۸	۰/۴۱	۰/۴۴	۰/۴۶	۰/۵۲	۰/۵۶

همبستگی آموزش/ آزمایش	۰/۳۵	۰/۳۹	۰/۵۸	۰/۵۴	۰/۶۷	۰/۶۹

منابع

Bergström, A-K. 2010. The use of TN:TP and DIN:TP ratios as indicators for phytoplankton nutrient limitation in oligotrophic lakes affected by N deposition. Aquatic Sciences 72(3), 277-281.

Cutler, D., T.C. Edwards Jr., K.H. Beard, A. Cutler, K.T. Hess, J. Gibson, and J.J. Lawler. 2007. Random forests for classification in ecology. Ecology 88: 2783-2792.

De'ath, G. 2007. Boosted trees for ecological modeling and prediction. Ecology 88(1): 243-251.

De'ath, G., and K. Fabricius. 2000. Classification and regression trees: A powerful yet simple technique for ecological data analysis. Ecology 88(11): 3178-3192.

Elith, J., J.R. Leathwick, and T. Hastle. 2008. A working guide to boosted regression trees. Journal of Animal Ecology 77: 802-813.

Green, M., and J. Finlay. 2010. Patterns of hydrologic control over stream water total nitrogen to total phosphorus ratios. Biogeochemistry 99, 15-30.

Hijmans, R., S. Phillips, J. Leathwick, and J. Elith. 2015. dismo: Species Distribution Modeling. R package version 1.0-12. Available at http://CRAN.R-project.org/package=dismo

Maloney, K., D. Weller, M. Russel, and T. Hothorn. 2009. Classifying the biological condition of small streams: an example using benthic macroinvertebrates. Journal of the North American Benthological Society 28(4): 869-884.

Ridgeway, G. 2015. gbm: Generalized Boosted Regression Models. R package version 2.1.1. http://CRAN.R-project.org/package=gbm.

United States Geological Survey (USGS). 1967. Phosphate deposits: A summary of salient features of the geology of phosphate deposits, their origin, and distribution. Geological Survey Bulletin 1252-D. Available at http://pubs.usgs.gov/bul/1252d/report.pdf

پیوست ۵- نتایج روش‌های تحلیل داده و همبستگی

۵-۱- پیشینه

معمولاً برای تجزیه و تحلیل داده‌های محیط زیستی و بوم‌شناسی می‌بایست تبدیل‌هایی نظیر نرمال‌سازی، استانداردسازی، متمرکز کردن، و مقیاس‌گذاری روی داده‌ها صورت پذیرد. در غیر این صورت ممکن است که در نتایج تحلیل اریبی ایجاد شود. با این حال، انتخاب روش تبدیل بستگی به عواملی نظیر اهداف طرح و ملاحظات کاربر نهایی به شرح زیر است:

- در مواردی که متغیرهای متعددی که هر یک دارای مقیاس‌های مختلفی هستند، می‌بایست با هم ترکیب یا جامع شوند و درعین‌حال نتایج فاقد اریبی به سمت هر یک از ویژگی‌ها باشد.
- در مواردی که نیاز است که آبخیزها را به‌طور مستقیم و نسبی با هم مقایسه کرد.
- در مواردی که لازم است که برای کاربر نهایی یک ابزار مفیدی فراهم شود که بدون داشتن ارقام زیاد، قابلیت توسعه بیشتر را داشته باشد.

با توجه به این اهداف و ملاحظات، روش نرمال‌سازی رتبه‌ای در این ارزیابی به‌عنوان روش تبدیل داده‌ها انتخاب شد. در نرمال‌سازی رتبه‌ای یک یا چند متغیر، به یک توزیع و مقیاس یکنواخت (معمولاً صفر تا ۱۰۰) تبدیل می‌شوند. این مقیاس مشترک امکان مقایسه متغیرهای دارای واحدها و مقیاس‌های مختلفی را فراهم می‌کند. همچنین سایر روش‌های نرمال‌سازی نسبت به داده‌های پرت و یا مقادیر حدی حساس بوده و این

داده‌ها می‌توانند توزیع نرمال را بیش از حد فشرده کنند درحالی‌که روش نرمال‌سازی رتبه‌ای نسبت به داده‌های پرت و مقادیر حدی حساس نیست (Mitchell ، ۲۰۱۲).

با این حال، این‌طور نیست که استانداردسازی مقیاس و توزیع سنجه‌های مؤلفه همیشه دارای آثار مثبتی باشد به‌خصوص هنگامی‌که مقادیر یک سنجه عمدتاً در محدوده خوب یا عمدتاً در محدوده ضعیف قرار دارند. همچنین باید توجه داشت که در نرمال‌سازی رتبه‌ای، پایین بودن نمرات یا رتبه‌های یک شاخص یا زیرشاخص به منزلهٔ شرایط بد یا تخریب‌یافته نیست، بلکه به این معناست که این حوضه‌ها فقط نسبت به سایر حوضه‌های موجود در منطقه، حائز رتبه پایین‌تری شده‌اند. با این توصیف اگر مقادیر یک سنجه در تمامی زیرحوضه‌های یک آبخیز در محدوده "خوب" باشد، حوضه‌هایی که نمره سنجه آن‌ها کمتر است، وضعیت سلامت آن‌ها نیز در کمینه ممکن قرار می‌گیرد. همچنین در مواردی که تعداد زیادی از آبخیزها دارای مقدار مشابه و یکسانی برای یک سنجه باشند، نرمال‌سازی رتبه‌ای با مشکل مواجه می‌شود. در این ارزیابی برای کاهش ریسک این‌گونه نتایج نامطلوب سعی شد تا فرایند انتخاب پارامترهای مؤلفه‌ها با مشورت گروه فنی طرح آبخیز سالم تنسی صورت پذیرد و همچنین تغییرات و تنوع مقادیر مشاهداتی متغیرهای منتخب مورد بررسی قرار گرفت. در مواردی که اتفاق‌نظر بر این بود که یک پارامتر نشان‌دهنده سلامت یا آسیب‌پذیری آبخیز نیست و یا مقادیر یک پارامتر از تغییرات بسیار کمی برخوردار است، آن متغیر در ارزیابی لحاظ نشد.

۵-۲- نرمال‌سازی رتبه‌ای سنجه‌ها

ارزیابی جامع سلامت آبخیز ایالت تنسی

سنجه‌های سلامت و آسیب‌پذیری آبخیز برای ارائه گزارش محاسبات سنجه، زیرشاخص، و شاخص نهایی به‌طور رتبه‌ای نرمال شدند. در نرمال‌سازی رتبه‌ای نمراتی بین صفر تا ۱۰۰ با جهت یکسان برای سنجه‌ها در نظر گرفته می‌شود. نرمال‌سازی رتبه‌ای سنجه‌های سلامت آبخیز شامل مراحل زیر است:

- رتبه‌بندی آبخیزها بر اساس رتبه خام سنجه:
  - ✓ اگر نمرات بالاتر سنجه‌ای حاکی از سلامت بیشتر آبخیز باشند (به‌طور مثال: درصد بالاتر اراضی طبیعی)، آبخیزها به ترتیب صعودی رتبه‌بندی شدند.
  - ✓ اگر نمرات پایین‌تر سنجه‌ای حاکی از سلامت بیشتر آبخیز باشند (به‌طور مثال: غلظت نیتروژن کل کمتر)، آبخیزها به ترتیب نزولی رتبه‌بندی شدند.
- به‌کار بردن فرمول زیر برای محاسبه نمره نرمال رتبه آبخیز:

*۱۰۰ * ((رتبه کمینه – رتبه بیشینه) / (رتبه کمینه – رتبه آبخیز)) = نرمال‌سازی رتبه‌ای*

در این ارزیابی، رتبه کمینه همیشه برابر با یک، و رتبه بیشینه برابر با ۶۱۸۵۹ (تعداد کل آبخیزهای شبکه ملی هیدروگرافی در ایالت تنسی) است. رتبه آبخیز نیز بر اساس ترتیب نمرات خام سنجه است.

نمرات رتبه نرمال شده به صورت جهت‌دار تنظیم‌شده‌اند به‌طوری‌که نمرات بالاتر سنجه‌ها و زیرشاخص‌های سلامت آبخیز با آبخیزهای سالم‌تر مطابقت دارند (جدول ۵-۱). برای نمایش امتیاز نهایی هر حوضه، نتایج سنجه‌ها و زیرشاخص‌های مختلف در اطلس نقشه‌ها (پیوست ۱) ارائه شده

است. رنگ‌های سرد (آبی) نشان‌دهنده وضعیت بهتر و رنگ‌های گرم (زرد) نمایانگر وضعیت پایین‌تر هستند.

همان‌طور که در بالا ذکر شد، نرمال‌سازی رتبه‌ای برای سنجه‌های وضعیت هیدرولوژیک مورد استفاده قرار نگرفت. در عوض، زیرشاخص وضعیت هیدرولوژیکی نهایی بر اساس مجموع درصد تغییر مطلق برای تمام سنجه‌های پارامتر به‌طور رتبه‌ای نرمال شد. نمرات پایین مربوط به بیشترین درصد تغییر کل و نمرات بالاتر مربوط به کوچک‌ترین درصد تغییر کل است.

۵-۳- توسعه شاخص چندسنجه‌ای

شاخص‌های چندسنجه‌ای ابزاری قدرتمند برای نشان‌دادن شرایط کلی زیست‌بوم‌ها از جمله سلامت آبخیزها می‌باشند. درعین‌حال، باید دقت شود که شاخص‌های چندسنجه‌ای ساده و شفاف باشند و با اطلاعات زائد یا جعلی مخدوش و گیج‌کننده نشوند.

نمرات شاخص در دو سطح گردآوری شدند: زیرشاخص‌ها (شش زیرشاخص برای سلامت آبخیز و سه زیرشاخص برای آسیب‌پذیری) و شاخص‌های سلامت و آسیب‌پذیری آبخیز. سنجه‌ها ابتدا در یک سری زیرشاخص که گروه‌بندی آن‌ها در شکل هفت مشخص‌شده است، با هم ترکیب شدند. هر زیرشاخص توصیف‌کننده یکی از ویژگی‌ها یا اجزای سلامت آبخیز (زیرشاخص وضعیت چشم‌انداز، زیرشاخص وضعیت زمین‌ریخت‌شناسی، زیرشاخص وضعیت هیدرولوژیک، زیرشاخص کیفیت آب، زیرشاخص وضعیت زیستگاه، و زیرشاخص وضعیت زیستی) یا

ارزیابی جامع سلامت آبخیز ایالت تنسی

آسیب‌پذیری آبخیز (زیرشاخص آسیب‌پذیری کاربری اراضی، زیرشاخص آسیب‌پذیری مصرف آب، و زیرشاخص آسیب‌پذیری تغییرات اقلیمی) است. هدف از تعیین نمره زیرشاخص‌ها قبل از محاسبه شاخص‌های سلامت و آسیب‌پذیری آبخیز موازنه میزان تأثیر هر سنجه بر نمرات شاخص کل بود. بدون این مرحله، ممکن است ویژگی‌هایی که تعداد سنجه بیشتری دارند، تأثیر بیشتری بر نمره شاخص کلی داشته و درنتیجه در نمرات شاخص کلی اریبی ایجاد کنند (به‌عنوان مثال، وضعیت هیدرولوژیک).

روش نرمال‌سازی رتبه‌ای، نمرات سنجه‌ها را طوری تعیین می‌کند که از لحاظ جهت‌گیری هم‌راستا باشند (به‌عنوان مثال، نمرات رتبه نرمال بالاتر مربوط به آبخیزهای با سلامت بیشتر می‌باشند).

جدول ۱۷- جهت‌گیری اصلی سنجه‌های سلامت و آسیب‌پذیری آبخیز.

شاخص	سنجه	جهت‌گیری اصلی
سلامت	درصد پوشش طبیعی زمین	بالا بودن مقادیر = سلامت بیشتر آبخیز
	درصد اراضی طبیعی در منطقه فعال هیدرولوژیکی	
	نمره مقاومت	
	دستورالعمل ارزیابی سریع زیستی	
	نمره تناسب زیستگاه گونه‌ها	
	نمره بی‌مهرگان بزرگ کف	

	نمایه جامعیت زیستی ماهی	
	نمره فرسایش	پایین بودن مقادیر = سلامت بیشتر آبخیز
	انحراف از ویژگی‌های جریان آبراهه شرایط مرجع	
	نسبت ذخیره سد	
	غلظت نیتروژن کل آبراهه	
	غلظت فسفر کل آبراهه	
	هدایت ویژه آبراهه	
آسیب‌پذیری	تغییر پوشش نفوذناپذیر پیش‌بینی‌شده	بالا بودن مقادیر = سلامت بیشتر آبخیز
	پتانسیل توسعه انرژی	
	تغییر مصرف آب پیش‌بینی‌شده	
	تغییر استخراج آب پیش‌بینی‌شده	
	افزایش خشک‌سالی پیش‌بینی‌شده	
	افزایش وقایع بارش سنگین پیش‌بینی‌شده	

در نمرات شاخص کل نیز جهت‌گیری طوری است که نمرات بالاتر شاخص سلامت آبخیز بیانگر مربوط به آبخیزهای سالم‌تر است و نمرات بالاتر شاخص آسیب‌پذیری نیز بیانگر آبخیزهایی است که در آینده از تغییرات پیش‌بینی‌شده در کاربری اراضی، مصارف آب، و اقلیم بیشترین تأثیر منفی را متحمل می‌شوند. نرمال‌سازی رتبه‌ای با ارائه نمرات مرتبط با صدک‌ها، تفسیر نتایج را راحت‌تر می‌کند. به‌عنوان مثال، نمره ۷۵ برای شاخص سلامت آبخیز مربوط به صدک ۷۵ام وضعیت است.

۴-۵- تحلیل همبستگی

برای بررسی وجود ارتباط میان سنجه‌های محاسباتی، همبستگی بین تمام جفت‌های محتمل زیرشاخص‌های سلامت آبخیز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. لازم به ذکر است که در صورت وجود همبستگی میان دو سنجه نباید آن‌ها را برای تعیین شاخص کلی سلامت آبخیز با هم ترکیب کرد. به دلیل وجود برخی اشتراکات در داده‌های مورد استفاده در محاسبه سنجه‌های هر زیرشاخص، این امکان وجود دارد که بعضی از سنجه‌ها با هم همبسته باشند. مقادیر کمّی سنجه‌های وضعیت زمین‌ریخت‌شناسی، وضعیت هیدرولوژیکی، وضعیت بیولوژیک، وضعیت زیستگاه و کیفیت آب با استفاده از مدل‌های آماری تعیین شدند. این مدل‌ها مقادیر مشاهداتی را با متغیرهایی از چشم‌انداز حوضه نظیر میزان و توزیع پوشش طبیعی زمین مرتبط می‌کنند. ازآنجاکه این ویژگی‌ها در ارزیابی وضعیت چشم‌انداز نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند، بنابراین احتمال دارد که بین زیرشاخص وضعیت چشم‌انداز و زیرشاخص‌های حاصل از سنجه‌های مدل‌سازی شده و همچنین بین خود زیرشاخص‌های مدل‌سازی شده همبستگی وجود داشته باشد.

ضرایب همبستگی پیرسون بین زیرشاخص‌ها در جدول ۱۸ ارائه شده است. دامنه ضرایب همبستگی بین ۰/۰۰۸ تا ۰/۴۸۵ متغیر است. همبستگی ضعیفی بین وضعیت ژئومورفولوژی و زیرشاخص‌های وضعیت زیستگاه وجود دارد (ضریب تعیین = ۰/۴۸۵). با این حال، این میزان همبستگی از حدود مجاز افزونگی که در سایر مطالعات توسعه شاخص چندسنجه‌ای زیستی استفاده‌شده، تخطّی نمی‌کند (Emery و همکاران، ۲۰۰۳؛ Hering و همکاران، ۲۰۰۶ ؛ Stoddard و همکاران، ۲۰۰۸). بر اساس

این نتایج همبستگی، می‌توان در محاسبه شاخص سلامت آبخیز از تمامی زیرشاخص‌ها بدون هیچ‌گونه نگرانی درباره افزونگی استفاده کرد.

جدول ۱۸- همبستگی پیرسون (ضرایب تعیین) بین زیرشاخص‌های سلامت آبخیز.

سنجه	ژئومورفولوژی	هیدرولوژی	کیفیت آب	زیستگاه	بیولوژی
چشم‌انداز	۰/۲۸۷	۰/۰۰۸	۰/۳۶۲	۰/۲۵۳	۰/۱۵۷
ژئومورفولوژی		۰/۰۴۴	۰/۲۶۷	۰/۴۸۵	۰/۰۸۸
هیدرولوژی			۰/۰۱۶	۰/۰۴۰	۰/۰۳۹
کیفیت آب				۰/۲۱۷	۰/۲۲۶
زیستگاه					۰/۱۴۶

منابع

Emery, E.B., T.P. Simon, F.H. McCormick, P.L. Angermeier, J.E. Deshon, C.O. Yoder, R.E. Sanders, W.D. Pearson, G.D. Hickman, R.J. Reash, and J.A. Thomas. 2003. Development of a multimetric index for assessing the biological condition of the Ohio River. Transactions of the American Fisheries Society 132(4): 791–808.

Hering, D., C.K. Feld, O. Moog, and T. Ofenbock. (2006). Cook book for the development of a Multimetric Index for biological condition of aquatic ecosystems: experiences from the European AQEM and STAR projects and related initiatives. Hydrobiologia 566(1): 311–324.

Mitchell, H.B. 2012. Data Fusion: Concepts and Ideas. Springer, 2nd edition. 346 pages.

Stoddard, J.L., A.T. Herlihy, D.V. Peck, R.M. Hughes, T.R. Whittier, and E. Tarquinio. 2008. A process for creating multimetric indices for large-scale aquatic surveys. Journal of the North American Benthological Society 27(4): 878–891.

مخففها و اختصارها

BRT	Boosted Regression Tree	درخت رگرسیون تقویت‌شده
CMIP5	Coupled Model Intercomparison Project 5	مدل ترکیبی پروژه مقایسه متقابل ۵
COMID	Common Identifier	شناسه مشترک
CRAN	Comprehensive R Archive Network	شبکه بایگانی جامع R
EPA	Environmental Protection Agency	سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا
GCN	Greatest Conservation Need	بزرگ‌ترین نیاز حفاظتی
GFDLCM3	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory Coupled Physica Model	مدل فیزیکی ترکیبی آزمایشگاه دینامیک سیالات ژئوفیزیکی
GIS	Geographical Information System	سامانه اطلاعات جغرافیایی
GOF	Goodness Of Fit	نکویی برازش
HAZ	Hydrologically Active Zone	منطقه فعال هیدرولوژیک
HUC	Hydrologic Unit Code	کد واحد هیدرولوژیک
HWP	Healthy Watersheds Program	برنامه آبخیزهای سالم
IBI	Index Of Biological Integrity	نمایه جامعیت زیستی
IQR	Interquartile Range	دامنه میان‌چارکی
LCC	Appalachian Landscape Conservation Cooperative	تعاونی حفاظت از چشم‌انداز آپالاچی
MOU	Memorandum Of Understanding	تفاهم‌نامه

NHDPlus	National Hydrography Dataset Plus	پایگاه داده هیدروگرافی ملی
NID	National Inventory Of Dams	فهرست ملی موجودی سدها
NLCD	National Land Cover Database	پایگاه داده ملی پوشش اراضی
NOAA	National Oceanic And Atmospheric Administration	سازمان ملی اقیانوسی و جوی
OSI	Open Space Institute	مؤسسه فضای باز
Q1	First Quartile	چارک اول
Q3	Third Quartile	چارک سوم
RBP	Rapid Bioassessment Protocol	دستورالعمل ارزیابی سریع زیستی
SC	Specific Conductance	هدایت ویژه
SE-GAP	Southeast Gap Analysis Project	پروژه تحلیل گپ جنوب شرقی
SFC	Streamflow Characteristic	خصوصیات جریان آبراهه
SSURGO	Soil Survey Geographic Database	پایگاه داده جغرافیایی بررسی‌های خاک
STORET	Storage And Retrieval Data Warehouse	مخزن ذخیره و بازیابی داده
TDEC	Tennessee Department Of Environment & Conservation	اداره محیط زیست و حفاظت تنسی
THWI	Tennessee Healthy Watershed Initiative	ابتکار آبخیز سالم تنسی
TMI	Tennessee Macroinvertebrate Index	شاخص مهره‌داران بزرگ تنسی
TN	Total Nitrogen	نیتروژن کل
SWAP	Tennessee State Wildlife	برنامه عملیاتی حیات وحش

	Action Plan	ایالت تنسی
TNC	The Nature Conservancy	اداره حفاظت منابع طبیعی
TP	Total Phosphorus	فسفر کل
TVA	Tennessee Valley Authority	سازمان عمران دره تنسی
TWRA	Tennessee Wildlife Resources Agency	اداره منابع حیات وحش تنسی
USACE	U.S. Army Corps Of Engineers	گروه مهندسان ارتش ایالات متحده
USGS	U.S. Geological Survey	سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده
WQ	Water Quality	کیفیت آب

Tennessee Integrated Assessment of Watershed Health

A Report on the Status and Vulnerability of Watershed Health in Tennessee

Prepared for—
US Environmental Protection Agency Healthy Watersheds Program

William Jefferson Clinton Building1200 Pennsylvania Avenue, N.W.Washington, DC 20460

Prepared by—
Kimberly Matthews, Michele Eddy, Phillip Jones, Mark Southerland, Brenda Morgan, and Ginny Rogers

RTI International3040 E. Cornwallis RoadResearch Triangle Park, NC 27709

RTI Project Number 0213541.004.002.007