

Modeling the Volume of Watershed Management Check Dams Based on Environmental Factors

Omid Kavooosi^{ID} | Khaled Ahmadaali*^{ID} | Ali Akbar Nazari Samani^{ID}

Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Faculty of natural resources University of Tehran, Karaj, Iran.
Email: khahmadauli@ut.ac.ir

Article Info

Abstract

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 27 Dec. 2023

Revised: 15 Jan. 2023

Accepted: 30 Jan. 2023

Published online: 20 Sept. 2024

Keywords:

Environmental features,

Feature selection,

Gene Expression Programing,

Modeling,

Sediment control.

Soil erosion and its consequences, such as soil degradation at the source, silting of rivers, and filling of dam reservoirs, are among the most significant natural hazards in watersheds, which reduce ecosystem resilience. One of the most important practical solutions to control sedimentation and reduce peak flow is the construction of check dams. Therefore, determining the quantitative variables affecting the volume of these structures is crucial for estimating construction costs and their effectiveness. The present study was conducted to model check dam volumes across 100 sub-basins in various provinces of Iran (Alborz, East Azerbaijan, Ilam, Isfahan, Bushehr, Tehran, Qazvin, Fars, Mazandaran, and Hamadan). The database used for modeling includes 27 environmental features extracted from each of the 100 sub-basins, and the modeling was performed using a Genetic Expression Algorithm (GEP). The results of the modeling indicated that the most important characteristics for estimating check dam volume among the 27 features are precipitation, temperature, TWI index, shape factor, height difference, concentration time, slope, drainage density, and NDVI index. The results of estimating the volume of the structures using the nine selected variables showed that the R^2 , RRMSE, and NSE values for the training phase were 0.088, 0.035, and 0.92, respectively; for the test phase, they were 0.91, 0.29, and 0.91, respectively. Additionally, based on the results, environmental precipitation characteristics can be used with high accuracy to estimate the volume of sediment control structures in a short time. Therefore, prior to their implementation, related costs can be assessed to prioritize areas effectively.

Cite this article: Kavooosi, O., Ahmadaali, K., Nazari Samani, A.A. (2024). Modeling the volume of watershed management check dams based on environmental factors. *Journal of Range & Watershed Management*, 77 (2), 209-222. DOI: <http://doi.org/10.22059/jrwm.2024.370264.1739>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

مدل‌سازی حجم بندهای اصلاحی آبخیزداری مبتنی بر عوامل محیطی

امید کاوسی | خالد احمدالی* | علی اکبر نظری سامانی

گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
رایانامه: khahmadali@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۰/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۳۰

کلیدواژه‌ها:

ویژگی‌های محیطی،

انتخاب ویژگی،

الگوریتم بیان ژن،

مدل‌سازی،

بندهای اصلاحی کنترل رسوب.

فرسایش خاک و پیامدهای ناشی از آن از قبیل تخریب خاک در منشاء، گل‌آلودگی رودخانه‌ها و پرشدن مخزن سدها به عنوان یکی از مهمترین مخاطره‌های طبیعی در سطح حوزه‌های آبخیز می‌باشد که موجب کاهش پایداری اکوسیستمی می‌گردد. یکی از مهمترین راهکارهای عملی برای کنترل رسوب و کاهش دبی اوج جریان، احداث بندهای اصلاحی می‌باشد. بنابراین تعیین متغیرهای کمی مؤثر بر حجم سازه، عاملی مهم در برآورد هزینه‌های احداث و اثربخشی آن‌ها به شمار می‌آید. پژوهش حاضر، برای مدل‌سازی حجم‌های بندهای اصلاحی (سنگی‌ملاتی) در سطح ۱۰۰ زیرحوضه در ۱۰ استان کشور (البرز، آذربایجان شرقی، ایلام، اصفهان، بوشهر، تهران، قزوین، فارس، مازندران، همدان) انجام شد. پایگاه اطلاعاتی مورد استفاده برای مدل‌سازی، شامل ۲۷ ویژگی محیطی استخراج شده در هریک از ۱۰۰ زیرحوضه بوده و مدل‌سازی با استفاده از الگوریتم بیان ژن (GEP) انجام گرفت. نتایج حاصل از مدل‌سازی نشان داد که مهمترین ویژگی‌های مؤثر در برآورد حجم سازه‌ها از بین ۲۷ ویژگی بررسی شده عبارتند از: بارش، دما، شاخص TWI، ضریب شکل، اختلاف ارتفاع، زمان تمرکز، شیب، تراکم زهکشی و شاخص NDVI. نتایج برآورد حجم سازه‌ها با استفاده از نه متغیر انتخاب شده، نشان داد که مقادیر R^2 ، RRMSE و NSE برای مرحله آموزش به ترتیب برابر ۰/۸۸، ۰/۳۵ و ۰/۹۲ و برای مرحله آزمون برابر ۰/۹۱، ۰/۲۹ و ۰/۹۱ می‌باشد. همچنین بر اساس نتایج حاصله، ویژگی‌های زودیافت محیطی می‌تواند با صحت زیادی برای برآورد حجم سازه‌های کنترل رسوب در زمانی کوتاه مورد استفاده قرار گرفته و بنابراین قبل از اجرای آنها از هزینه‌های مربوطه در راستای اولویت‌بندی مناطق، آگاهی یافت.

استناد: کاوسی، امید؛ احمدالی، خالد؛ نظری سامانی، علی اکبر (۱۴۰۳). مدل‌سازی حجم بندهای اصلاحی آبخیزداری مبتنی بر عوامل محیطی. نشریه مرتع و آبخیزداری، ۷۷(۲)، ۲۲۲-۲۰۹.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jrwm.2024.370264.1739>

© نویسندگان.

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

در آستانه ورود به قرن بیست و یکم که به عنوان عصر اطلاعات نامگذاری شده، نگرش انسان به حوزه‌های آبخیز از رویکرد سنتی به رویکرد سیستمی تغییر کرده است. این نگرش جدید، به محدوده فیزیکی آن خلاصه نمی‌شود بلکه بر مبنای مفاهیم مربوط به سرزمین و برنامه‌ریزی شکل گرفته است. در این رابطه، حوزه آبخیز به عنوان محدوده‌ای از سرزمین تلقی می‌شود که دارای منابع اکولوژیک (هیدروژئومورفولوژیک) می‌باشد. یعنی حوزه آبخیز به عنوان یک محدوده هیدروژئولوژیک، دارای زیستگاه طبیعی و زیستگاه انسانی است که تأثیرگذار بر یکدیگر هستند. بر این اساس، امنیت زیستی و غذایی بشر در مدیریت منابع سرزمین و در مقیاس حوزه آبخیز به عنوان مهم‌ترین اصول مدیریت به شمار می‌روند (اسلامی و فرج‌اللهی، ۱۴۰۱؛ اختصاصی و همکاران، ۱۴۰۰؛ حسنی و ملکی، ۱۳۹۹).

فرسایش خاک، از یکسو موجب کاهش حاصلخیزی اراضی در مناطق بالادست و از سوی دیگر با رسوبگذاری در اراضی پایین دست، موجب خسارت می‌شود. رسوباتی که در اثر فرسایش خاک بالادست حوزه‌های آبخیز به همراه سیلاب وارد دریاچه سدها می‌شود از حجم مفید مخزن آن‌ها می‌کاهد. بدیهی است که بخش عظیمی از فرسایش آبی در حوزه آبخیز رودخانه‌ها، به علت فقدان یا کمبود عملیات آبخیزداری و عدم کاربست مدیریت یکپارچه حوزه آبخیز صورت می‌گیرد که در نهایت با پدیده فرسایش و جابجائی این خاک‌های حاصلخیز ضمن وارد آمدن خسارات زیاد به اراضی کشاورزی و تولیدات زراعی هر ساله هزاران تن به حجم رسوبات پشت سدها افزوده می‌شود (کوهدرزی مقدم و همکاران، ۱۴۰۱). در سال‌های اخیر در حوضه بالادست سدها، فعالیت‌های آبخیزداری با جدیت بیشتری در حال انجام است و تا حدودی از حجم رسوبات ورودی به مخازن سدها کاسته شده است.

برآورد هزینه هر پروژه‌ای نقش اساسی را در موفقیت هر پروژه قبل از اجرای آن ایفا می‌کند و پروژه‌های آبخیزداری (اعم از: سازه‌های سنگی و ملاتی، خشکه‌چین، گابیون، چوبی-چپری) نیز از این قاعده مستثنا نیستند. یکی از مهم‌ترین خواسته‌های پیمانکاران، کارفرمایان و حتی افراد معمولی جامعه، پیش‌بینی هزینه‌های پروژه‌ها در مرحله اولیه طراحی است. این گونه تخمین‌ها به کارفرمایان و پیمانکاران امکان پذیر بودن پروژه و نیز کنترل هزینه‌های مؤثر در طراحی پروژه را ارائه می‌دهد. آنچه که احداث سازه‌های آبخیزداری را از پروژه‌های ساخت مسکن متمایز می‌کند وجود شرایط هیدروژئولوژیک، مورفولوژیک، زمین‌شناسی و سایر عوامل دخیل در حوزه آبخیز بالادست است که در پروژه‌های ساخت مسکن به این عوامل به‌طور مستقیم پرداخته نمی‌شود (طایفه‌هاشمی و همکاران، ۲۰۲۰؛ چانداشیو و همکاران، ۲۰۱۹). اهمیت تخمین هزینه‌های پروژه‌های عمرانی روز به روز افزایش می‌یابد، لذا لازم است که در مطالعات آبخیزداری، عوامل تأثیرگذار و تخمین هزینه آنها مورد بررسی قرار گیرد.

خاندردی و شاکری (۱۳۹۰) در پژوهشی به تخمین هزینه پروژه‌های مسکونی با استفاده از شبکه عصبی پرداختند. آنها از اطلاعات سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۶ اسفاده نموده و ۲۱ مورد از پارامترهای تأثیرگذار در هزینه‌های ساخت را شناسایی کردند. خروجی مدل آنها با در نظر گرفتن عوامل مهم، با دقت مناسب قادر به تخمین هزینه اولیه پروژه‌ها بود و خطایی برابر ۴/۳۸٪ داشت. لطفی‌کاظمی و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی برای برآورد هزینه‌های ساختمان‌های مسکونی از ۴۶ ساختمان مسکونی که در سال‌های ۱۳۹۳ الی ۱۳۹۶ در منطقه‌ی شرق استان تهران اجرا شده‌اند، از روش‌های هوش مصنوعی استفاده کردند. آن‌ها برای تشخیص عوامل تأثیرگذار بر هزینه از پرسشنامه و روش آزمون فریدمن جهت اولویت‌بندی عوامل استفاده گردید. نتایج برآورد هزینه‌ها با روش‌های SVM^1 ، GEP^2 و ANN^3 نشان داد که، روش GEP به علت خطای کمتر و دقت پیش‌بینی بالاتر روشی برتر نسبت به دو روش دیگر بوده است. پورغلام آمیجی و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای به مدل‌سازی هزینه طراحی و اجرای سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در مراحل اولیه طراحی با استفاده از تکنیک برنامه‌ریزی ژنتیک، و با استفاده از داده‌های ۱۰۰ پروژه آبیاری قطره‌ای شامل ۳۹ متغیر مهم و تأثیرگذار پرداختند. نتایج نشان داد

¹ Support Vector Machine

² Gene Expression Programming

³ Artificial neural network

که مدل انتخابی برای برآورد هزینه اولیه، از دقت، صحت و پیچیدگی خوبی برخوردار است.

موسلجی و همکاران در سال ۱۹۹۲ در مطالعه خود از شبکه عصبی مصنوعی به منظور برآورد قیمت مناقصه استفاده کردند. در این تحقیق از روش پرسشنامه برای رتبه‌بندی ۳۰ متغیر ورودی شبکه و از الگوریتم ژنتیک به منظور ابزار بهینه‌سازی اوزان شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده است. بر اساس پاسخ‌های پرسشنامه، ۱۰ عامل برای ورودی مدل انتخاب شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی دارای عملکرد بهتری در برآورد قیمت مناقصه نسبت به روش‌های سلسله مراتبی می‌باشد. بایرام و همکاران (۲۰۱۶) برای پرداختن به مشکلات روش‌های سنتی برآورد هزینه، بر اساس داده‌های ۲۳۱ پروژه ساخت‌وساز از دو مدل شبکه عصبی پرسپترون چندلایه و مدل تابع پایه شعاعی استفاده نمودند. نتایج نشان داد که مدل تابع پایه شعاعی دارای انحراف معیار ۰/۲۸٪، مدل شبکه عصبی با پرسپترون چندلایه دارای انحراف معیار ۱۱٪ و روش سنتی دارای انحراف معیار ۲۸/۷۳٪ می‌باشد. ماهالاکشمی و راجاسکاران (۲۰۱۸) به تدوین مدلی برای برآورد هزینه اولیه ساخت یک بزرگراه پرداختند. آنها ۵۲ پروژه بزرگراهی را در هند مورد بررسی قرار دادند و با ۱۰ پارامتر ورودی شامل: طبقه‌بندی جاده، توپوگرافی، نوع روسازی، وضعیت خاک، مدت زمان، طول روسازی، عرض راه، ضخامت روسازی و تعداد زهکش‌ها، که نمایانگر هزینه ساخت بزرگراه است، از مدل شبکه عصبی پرسپترون چند لایه استفاده کردند. نتایج نشان داد مدل استفاده شده قادر به پیش‌بینی هزینه ساخت بزرگراه با دقت مناسب ۹۵/۴٪ بود. به منظور افزایش دقت برآورد هزینه پروژه‌های ساخت و ساز، الموسالمی (۲۰۲۰) در پژوهش خود از مدل استنتاج تطبیقی فازی عصبی استفاده کرد. نتایج گویای آن بود که مدل ترکیبی توسعه داده شده، دارای دقت مناسبی بود. همچنین نتایج نشان داد که از بین ۲۰ روش هوش مصنوعی، روش XGBoost با میانگین درصد خطای مطلق ۹/۰۹٪ و R^2 برابر ۰/۹۲۹ دقیق‌ترین و مناسب‌ترین روش بود. در این تحقیق برای مدل‌سازی حجم سازه‌های آبخیزداری از برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) استفاده شد. برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) و برنامه‌ریزی ژنتیک^۱ (GP) از جدیدترین الگوریتم‌های فرا ابتکاری^۲ هستند که به دلیل دارا بودن دقت مناسب، مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته‌اند. از نقاط قوت این مدل‌ها این است که می‌توانند برای شرایطی که ۱: ارتباط موجود بین متغیرهای مسئله به خوبی شناخته شده نباشد، یا صحت و سقم شناخت فعلی از رابطه نام برده با تردید همراه باشد، ۲: پیدا کردن حل نهایی مسئله مورد بررسی مشکل باشد، ۳: حل ریاضی مرسوم وجود نداشته باشد (یا حل تحلیلی را ایجاد می‌کند)، ۴: راه حل تقریبی قابل قبول باشد و ۵: تعداد داده‌هایی که باید به وسیله کامپیوتر مورد آزمون، دسته‌بندی و جمع‌بندی قرار گیرند، زیاد باشد (مانند داده‌های ماهواره‌ای)؛ به کار برده شوند (نمازی و همکاران، ۲۰۲۲). برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) که در ادامه سیر تکاملی مدل‌های هوشمند به وجود آمده است، جزو الگوریتم‌های گردشی محسوب می‌شود که مبنای تمامی آن‌ها نظریه تکامل داروین است. GEP که شکل توسعه‌یافته برنامه‌ریزی ژنتیک می‌باشد، در سال ۱۹۹۹ توسط فریرا ارائه شد (کونتونی و همکاران، ۲۰۲۲). برنامه‌ریزی بیان ژن نیز همانند GA و GP، یک الگوریتم ژنتیکی است و از جمعیتی از افراد استفاده می‌کند که آن‌ها را مطابق برانزنگی انتخاب می‌کند و تغییرات ژنتیکی را با استفاده از یک یا چند عملگر ژنتیکی (مانند جهش و ترکیب) اعمال می‌نماید. در مجموع می‌توان بیان کرد که تفاوت اساسی بین این سه الگوریتم، مربوط به ماهیت افراد آن‌ها می‌باشد؛ به طوری که در GA، افراد رشته‌های خطی با طول ثابت (کروموزم‌ها) و در GP، نهاده‌های غیرخطی با اندازه‌ها و اشکال متفاوت (درختان تجزیه) می‌باشند، در حالی که GEP، افراد به صورت رشته‌های خطی با طول ثابت (ژنوم یا کروموزوم‌ها) کدگذاری شده و سپس به شکل نهاده‌های غیرخطی با اندازه‌ها و اشکال متفاوت (یعنی نمایش دیاگرام ساده یا بیان درختی) بیان می‌شوند (احمد و همکاران، ۲۰۲۱). زمینه اصلی GEP، همان GA است، با این تفاوت که در این روش از شاخه‌های مجزا به جای نوارهای بیت استفاده می‌شود. هر شاخه نیز از یک مجموعه پایانه‌ها (متغیرهای مسئله) و مجموع توابع (عملگرهای اصلی) تشکیل می‌شود (کاتوچ و همکاران، ۲۰۲۱؛ میرجلیلی و همکاران، ۲۰۲۰). با توجه به مرور منابع، ملاحظه می‌گردد که در ارتباط با برآورد هزینه اقدامات آبخیزداری و بندهای اصلاحی، تحقیقات (داخلی یا بین‌المللی) منسجم

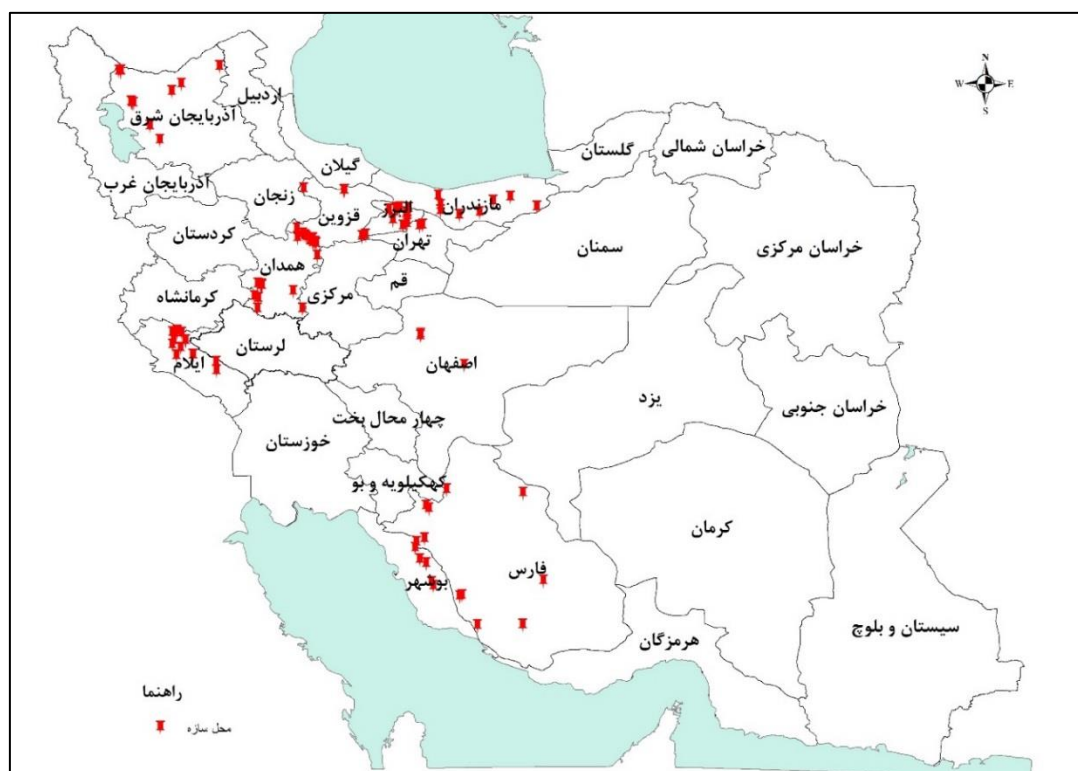
¹ Genetic Programming

² Meta-heuristic

قابل استنادی یافت نشده‌است. در مطالعات صورت گرفته در داخل کشور، بیشتر به اثربخشی فعالیت‌های آبخیزداری پرداخته شده است. همچنین در مطالعات انجام شده در خارج از کشور نیز بیشتر به برآورد هزینه‌های ساختمانی و تاسیسات پرداخته شده است. لذا این مطالعه به برآورد هزینه بندهای اصلاحی آبخیزداری با استفاده از هوش مصنوعی می‌پردازد.

۲. مواد و روش‌ها

برای مدل‌سازی حجم بندهای اصلاحی، نیاز به اطلاعات و داده‌های اولیه نظیر مختصات محل احداث بند اصلاحی و حجم سازه می‌باشد. برای این منظور از داده‌های ۱۰۰ سازه اصلاحی واقع در استان‌های البرز، آذربایجان شرقی، ایلام، اصفهان، بوشهر، تهران، قزوین، فارس، مازندران و همدان استفاده شد. شکل (۱) پراکنش جغرافیایی این سازه‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت بندهای اصلاحی مورد مطالعه به تفکیک استان‌های منتخب کشور

در این پژوهش برای مدل‌سازی حجم سازه با استفاده از ویژگی‌های زودیاقت، از ۲۷ ویژگی محیطی شامل مساحت حوضه بالادست، محیط حوضه، ضریب شکل حوضه (هورتن)، ضریب فشردگی، شیب، طول حوضه، طول بزرگترین آبراهه، مجموع طول آبراهه‌ها، تراکم زهکشی، زمان تمرکز (روش کالیفرنیا^۱)، فاکتور توپوگرافی (LS^۲)، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)^۳، شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)^۴ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله مواد آلی، چگالی ظاهری^۵ pH و درصد ماسه، سیلت و رس تا عمق ۳۰

^۱ California

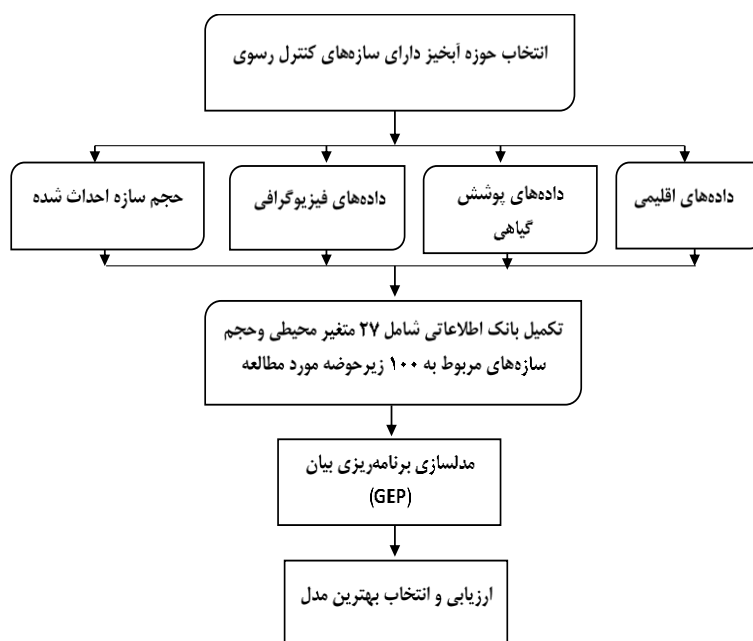
^۲ Length of Slope

^۳ Topographic Wetness Index

^۴ Normalized Difference Vegetation Index

^۵ Bulk Density

سانتی متری سطح زمین، دمای متوسط، بارش متوسط، دبی اوج، حساسیت به فرسایش، ارتفاع حداکثر، ارتفاع حداقل، اختلاف ارتفاع و ارتفاع متوسط استفاده شد. بانک اطلاعاتی نهایی شامل داده‌های مربوط به ۲۷ ویژگی ذکر شده برای تمامی ۱۰۰ زیرحوضه مورد مطالعه، (ماتریس ۱۰۰ در ۲۷) است که تک تک داده‌های مذکور برای سازه‌های مربوطه استخراج و یا محاسبه گردید. روندنمای مراحل انجام این تحقیق در شکل ۲ آورده شده است.



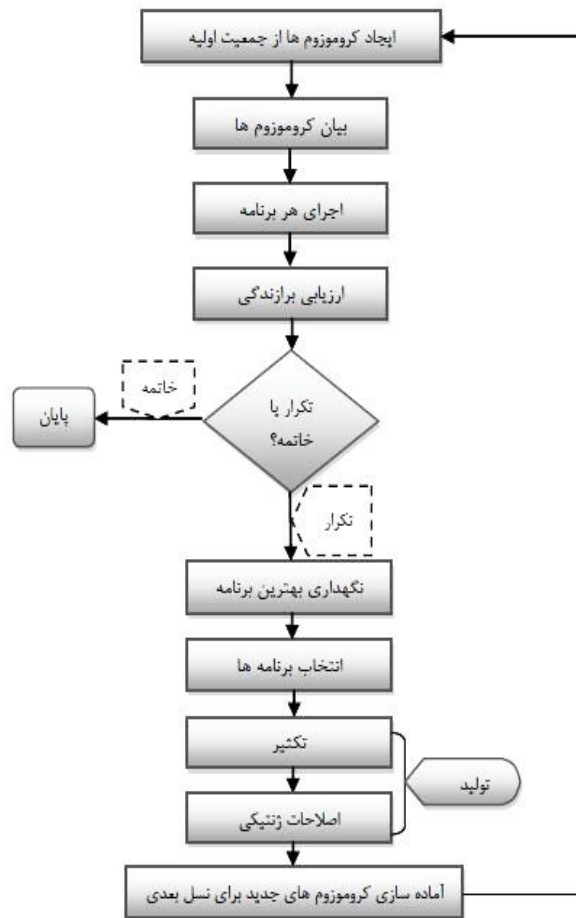
شکل ۲. روندنمای مراحل انجام تحقیق

۱-۲. برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) / برنامه‌ریزی ژنتیک (GP)

همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، در این مطالعه برای برآورد حجم سازه‌های آبخیزداری از برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) استفاده شد. در این تکنیک فرآیند مدل‌سازی هزینه اولیه احداث سازه‌های آبخیزداری بر اساس متغیرهای محیطی در پنج گام خلاصه می‌شود. گام اول، انتخاب تابع برازش مناسب است که در این مطالعه تابع جذر میانگین مربعات خطا به عنوان تابع برازش انتخاب شد. گام دوم، انتخاب مجموعه متغیرهای ورودی و مجموعه توابع به منظور تولید کروموزوم‌ها می‌باشد. در مسئله حاضر ترمینال‌ها متشکل از مقادیر هزینه‌ها در سال‌های مختلف و در سازه‌های آبخیزداری می‌باشد. در این مطالعه، از چهار عملگر اصلی که شامل $\{+, -, \times, \div\}$ و توابع ریاضی $\{\log(x), \sqrt{x}, \sqrt[3]{x}, x_2, x_3, \tan(x)\}$ استفاده شد. گام سوم شامل انتخاب ساختار و معماری کروموزوم‌ها می‌باشد. گام چهارم انتخاب تابع پیوندی ۱ است که در این مطالعه عمل جمع برای ایجاد پیوند بین زیرشاخه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (زو و همکاران، ۲۰۲۲؛ فولچر و همکاران، ۲۰۲۲). مراحل انجام الگوریتم بیان ژن در شکل ۲ آمده است.

در نهایت، در گام پنجم، عملگرهای ژنتیک و نرخ هر یک از آن‌ها انتخاب گردید که در جدول (۲) آورده شده است. در این مطالعه از ۷۰ درصد داده‌ها که به صورت تصادفی انتخاب شدند برای آموزش مدل و ۳۰ درصد مابقی برای آزمایش آن استفاده گردید (ادیب و همکاران، ۱۳۹۹).

¹ Linking function



شکل ۳. مراحل طراحی و اجرای الگوریتم GEP

۲-۲. معیارهای ارزیابی

برای ارزیابی نتایج مدل‌سازی از سه معیار ارزیابی ضریب تبیین (R^2)، ضریب نش-ساتکلیف (NSE) و ریشه دوم میانگین مربعات خطای نسبی ($RRMSE$) استفاده شد. این معیارها به صورت ذیل تعریف می‌شوند:

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})(p_i - \bar{p})]^2}{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2 \times \sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2} \quad (1)$$

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \right] \quad (2)$$

$$RRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n \bar{O}}} \quad (3)$$

در این روابط، O_i مقادیر مشاهداتی، P_i مقادیر پیش‌بینی شده، \bar{O} میانگین مقادیر مشاهداتی، \bar{P} میانگین مقادیر پیش‌بینی شده و n تعداد داده‌ها می‌باشند (چانگ و همکاران، ۲۰۲۲؛ شارما و همکاران، ۲۰۲۲). دامنه تغییرات ضریب نش-ساتکلیف از $-\infty$ تا $+1$ بوده و مقدار

بهینه این شاخص یک است (احمدآلی و همکاران، ۱۳۹۸). هر مدل که دارای R^2 بیشتر و RRMSE کمتر باشد، از مطلوبیت بیشتری برخوردار است.

۳. نتایج و بحث

آمار توصیفی ۲۷ متغیر محیطی در ۱۰۰ زیرحوضه انتخاب شده، در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱. ویژگی‌های آماری متغیرهای محیطی ورودی به مدل

ویژگی‌های محیطی حوضه	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار
مساحت (m^2)	۶۰۱۰۰	۳۰۳۹۹۰۰۸	۴۱۱۹۲۴۱	۵۵۵۳۶۴۹
محیط (m)	۱۰۲۰	۲۲۹۳۱	۸۵۳۶/۲۶	۴۷۷۵/۲۷
طول حوضه (m)	۴۱۲	۸۸۴۷	۳۰۸۲/۷۳	۱۷۱۲/۵۴
طول بزرگترین آبراهه (m)	۳۴۷	۱۰۷۰۲	۳۵۲۹	۲۱۳۷/۹
حداکثر ارتفاع (m)	۷۸۷	۴۰۶۶	۲۲۵۹/۵۲	۷۵۹/۸
حداقل ارتفاع (m)	۱۸۴	۲۷۱۷	۱۶۳۶/۱۹	۶۱۱/۴۹
اختلاف ارتفاع (m)	۶۷	۱۹۲۳	۶۲۳/۳	۳۹۰/۷
میانگین ارتفاع (m)	۴۰۷	۳۱۴۰	۱۹۱۳/۷	۶۵۶/۳
ضریب شکل	۹/۲۳	۱۱۷/۵۵	۳۸/۷۵	۱۷/۷
ضریب فشردگی	۱/۰۷۳	۱/۹۹۹	۱/۳۰۲	۰/۱۶۹
زمان تمرکز (hr)	-/۴۵۳	۳/۸۸۱	۱/۷۸۵	۰/۶۹۸
مجموع طول آبراهه‌ها (m)	۱۵۴۱	۵۰۰۴۱	۱۲۳۹۷/۴۴	۸۲۸۰/۷۸
تراکم زهکشی ($\frac{Km}{km^2}$)	۱/۲۳	۲۵/۶۴	۵/۰۶۴	۴/۰۲
شیب (%)	۱۰	۶۵	۳۶/۵۶	۱۱/۵۲
طول شیب	۳	۳۶/۸۹	۱۷/۸۱	۷/۴۱
شاخص رطوبت توپوگرافی	۴/۹۲۷	۷/۲۷۴	۶/۰۶	۰/۳۹۳
شاخص NDVI	-/۲۳۸	۰/۷۸۸	۰/۳۹۱	۰/۱۲۲
مواد آلی خاک (%)	۱/۰۵	۵/۴۷	۱/۹۸۵	۱/۱۴۷
درصد ماسه	۲۱/۸۷	۴۹/۵۸	۳۳/۶۷	۵/۵۷
درصد سیلت	۲۷/۰۸	۴۳/۹۰	۳۷/۱۰	۲/۴۴
درصد رس	۱۷/۵۴	۳۹/۸۹	۲۹/۲۲	۴/۶۴
pH خاک	۶/۲	۸/۲	۷/۶	۰/۳۷۱
چگالی ظاهری خاک (gr/cm^3)	۱/۲۸۵	۱/۵۳	۱/۴۵	۰/۰۵
دبی اوج سیلاب (m^3/s)	۳۱/۰۴	۶۹۸/۰۸	۲۳۵/۵۱	۱۳۷/۰۱
بارش (mm)	۱۸۰/۲	۴۹۵	۳۶۹/۳۹	۵۸/۹۹
دما ($^{\circ}C$)	۸/۷	۲۴/۳	۱۳/۹	۴/۲۷
کلاس فرسایش پذیری	۱	۹	۴/۸۳	۱/۸۴

با توجه به جدول (۱)، مقادیر ویژگی‌های ارتفاع از سطح دریا، شیب و طول شیب، نشان‌دهنده شرایط کوهستانی مناطق مورد مطالعه است. همچنین، مقادیر بارش و دما، نیز نشانگر شرایط بارش خوب (بالاتر از میانگین بارش کشور) و نسبتاً سرد این مناطق هستند. خصوصیات خاک در نقاط مورد مطالعه، گستره‌ای از اراضی را شامل می‌شود که شامل ترکیبی از بافت‌ها و مقدار ماده آلی مختلف است که این مهم نشان‌دهنده پوشش متفاوت این اراضی می‌باشد. مقادیر متفاوت دبی اوج سیلاب، شرایط مختلف رواناب زیرحوضه‌ها را

نشان می‌دهد و نقش بسیار مهمی در حجم سازه اصلاحی دارد (حسینی، ۱۴۰۲). کلاس فرسایشی سنگ بستر و خاک، شامل نه تا کلاس است و حساسیت اراضی نسبت به فرسایش را نشان می‌دهد؛ کلاس‌های بالاتر، حساسیت بیشتر واحدهای سنگ و خاک به فرسایش را نشان می‌دهند و کلاس‌های پایین گویای مقاوت نسبت به فرسایش است (شریفی، ۱۳۹۶). با توجه به مقادیر میانگین این شاخص در ۱۰۰ حوضه مورد بررسی، ملاحظه می‌گردد که مقدار این شاخص (۴/۸۳)، در کلاس پنج، قرار می‌گیرد که نشان‌دهنده این است که اراضی مورد مطالعه نسبتاً حساس به فرسایش هستند.

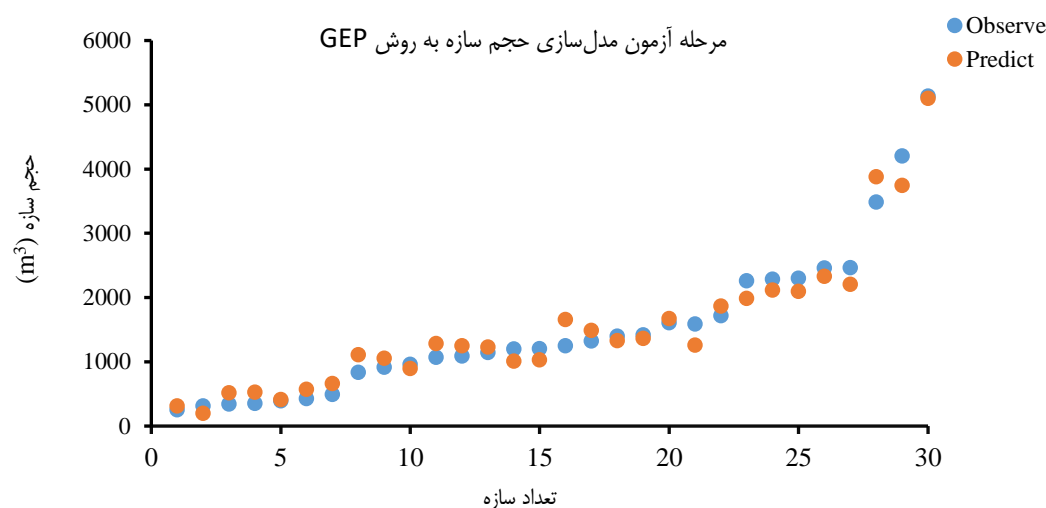
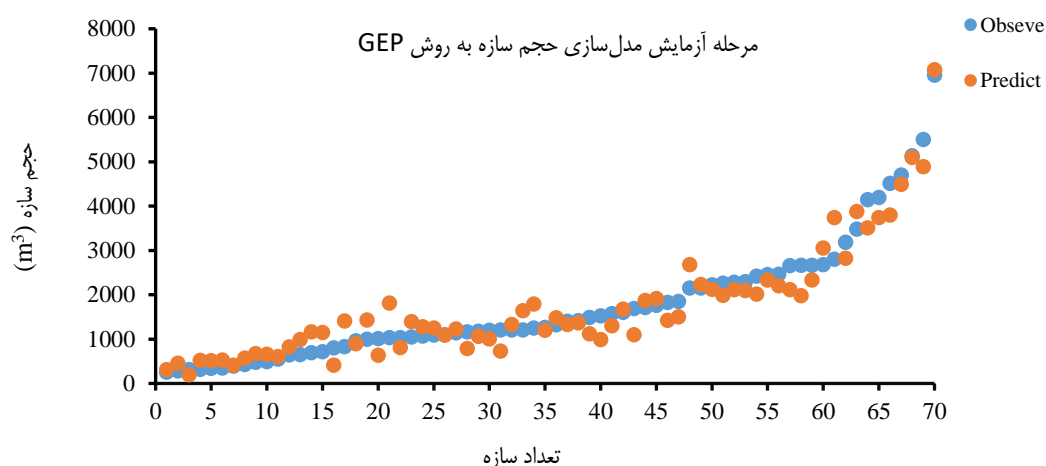
مدل GEP که در این پژوهش برای مدلسازی حجم سازه‌های آبخیزداری مورد استفاده قرار گرفت، دارای پارامترهای مختلفی نظیر تعداد کروموزوم، تعداد ژن، طول سر، میزان جهش، میزان وارون‌سازی، میزان ترانزیشن درجه متوالی، ترکیب ژن، میزان ترکیب تک نقطه، میزان ترکیب دو نقطه، ترانزیشن ژن و جهش توالی الحاقی ریشه می‌باشد که باید بهینه گردند (فریرا، ۲۰۰۱). این مدل در حالات مختلف با مقادیر متفاوت این پارامترها اجرا شد و نتیجه پارامترهای بهینه، در جدول (۲) آورده شده است. با توجه به جدول (۲) ملاحظه می‌گردد که تعداد بهینه کروموزوم برابر ۳۰ کروموزوم است که این تعداد براساس فرآیند آزمون و خطا بدست آمد و مقادیر اولیه آن از مرور منابع تعیین گردید (ماجدی‌اصل و فولادی‌پناه، ۱۴۰۱؛ سیاسر و همکاران، ۱۴۰۱؛ ادیب و همکاران، ۱۳۹۹). هر کروموزوم حاوی تعدادی ژن، که هر ژن حاوی اطلاعات ذخیره شده در خود است و تعداد ژن‌ها بر اساس پیچیدگی مسئله و تعداد متغیرها انتخاب می‌گردد که تعداد بهینه ژن پس از اجراهای متعدد مدل، چهار ژن در کروموزوم انتخاب گردید. هر ژن شامل ۲ بخش به نام سر و دم است که در بخش سر شامل مجموع آرگومان‌ها و ترمینال‌هاست که هر چه مدل پیچیده‌تر باشد، طول سر بزرگتر در نظر گرفته می‌شود و معمولاً بر اساس آزمون و خطا بین ۶ تا ۱۰ می‌توانند متغیر باشند که در پژوهش حاضر مقدار آنها ۸ انتخاب گردید (دقیقی و همکاران، ۱۴۰۱؛ کرامت‌لو و همکاران، ۱۳۹۹).

جدول ۲. مشخصات پارامترهای بهینه مدل برنامه‌ریزی بیان ژنتیک در مطالعه حاضر

مقادیر	پارامترهای برنامه‌ریزی بیان ژنتیک
۳۰	تعداد کروموزوم (Chromosome)
۴	تعداد ژن (Gene)
۸	طول سر (Head size)
۰/۰۴۴	میزان جهش (Mutation rate)
۰/۱	میزان وارون‌سازی (Inversion rate)
۰/۱	میزان ترانزیشن درجه متوالی (IS transposition rate)
۰/۱	میزان ترانزیشن ریشه درجه متوالی (RIS transposition rate)
۰/۳	میزان ترکیب تک نقطه (One poin recombination)
۰/۲	میزان ترکیب دو نقطه (Two poin recombination)
۰/۲	ترکیب ژن (Gene recombination)
۰/۱	ترانزیشن ژن (Gene transposition)
۰/۱	جهش توالی الحاقی ریشه (RN mutation)

نتیجه محاسبه معیارهای آماری R^2 ، RRMSE و NSE در هر دو مرحله مدل‌سازی یعنی مرحله آموزش و مرحله آزمون در جدول (۳) آورده شده است.

با توجه به جدول (۳) ملاحظه می‌گردد که مدل از دقت و صحت خوبی در برآورد حجم سازه در هر دو مرحله آموزش و آزمون برخوردار است.



شکل ۴- نتیجه مدل سازی حجم سازه به روش GEP در مراحل آموزش و آزمون مدل سازی

جدول ۳. ویژگی‌های آماری مدل سازی احجام سازه‌ها

معیارهای آماری			مرحله مدل سازی
NSE	RRMSE	R ²	
۰/۹۲	۰/۳۵۳	۰/۸۸	آموزش
۰/۹۱	۰/۳۹۷	۰/۹۱	آزمون

نتیجه الگوریتم بیان ژن برای تعیین مهمترین عوامل، از بین عوامل اثرگذار در حجم سازه به این صورت است که از میان ۲۷ ویژگی محیطی کاندیدا، مهمترین عوامل عبارتند از مقدار بارش، دما، شاخص TWI، ضریب شکل (Rc)، اختلاف ارتفاع، زمان تمرکز، شیب، تراکم زهکشی و شاخص NDVI. نحوه‌ی اثرگذاری عوامل تعیین شده در ادامه توضیح داده شده است. بارش رابطه مستقیمی با حجم سازه نهایی دارد به این صورت که با افزایش مقدار بارش، رواناب بیشتری تولید شده و برای مهار این رواناب سازه‌ای با حجم بیشتر باید احداث گردد (حسینی، ۱۴۰۲). رابطه دما با حجم سازه، معکوس است. معمولاً در مناطق کوهستانی کاهش دما با افزایش بارش در آن

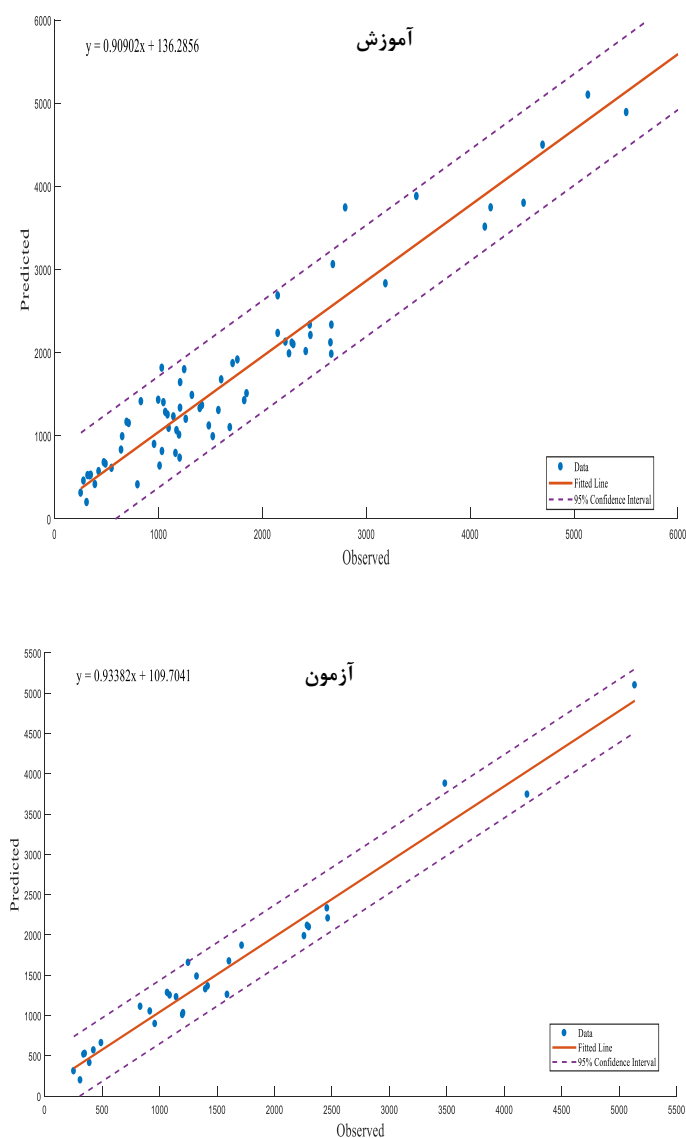
مناطق همراه است (مزیدی و بهاء‌الدین بیگی، ۱۴۰۰) و مانند حالت قبل، افزایش بارش هم‌ارز با افزایش حجم سازه است. شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) ابزاری مفید و رایج برای توصیف شرایط رطوبتی خاک در مقیاس حوضه می‌باشد، بنابراین مناطق اشباع سطحی و توزیع مکانی رطوبت خاک در حوضه‌ها را می‌توان با فرض برابر بودن شیب سطح آب زیرزمینی با شیب سطح زمین، تقریب زد. این شاخص گرایش آب را به جمع شدن در هر نقطه از حوضه (بر حسب θ) و تمایل نیروهای گرانشی را در حرکت آن به سمت پایین دست (بر حسب $\tan\theta$) به‌عنوان شیب هیدرولیکی تقریبی) را توصیف می‌کند (موسوی و همکاران، ۱۴۰۰). نتیجه مدلسازی انتخاب ویژگی با الگوریتم بیان ژن گویای آن بود که با افزایش مقدار این شاخص، حجم نیز افزایش یافته است. عامل شکل حوضه به علت تاثیر در زمان تمرکز، بر شکل هیدروگراف رواناب خروجی و همچنین دبی اوج آن موثر است. به عبارت دیگر حوضه با شکل قیفی و یا نزدیک به دایره، به علت این که تمام شاخه‌های فرعی آن در یک زمان، جریان خود را به رودخانه اصلی می‌ریزند در مقایسه با حوضه کشیده، دبی اوج بیشتری تولید می‌کند (رستمی و همکاران، ۱۴۰۰). اختلاف ارتفاع حوضه نیز با توجه به آنکه منجر به ایجاد شیب بیشتر می‌شود در نتیجه رواناب با سرعت بیشتری به سمت خروجی حرکت کرده و سبب کاهش زمان تمرکز شده (زنگارکی‌فراهانی، ۱۴۰۰) و لذا نیازمند سازه با حجم و ابعاد بیشتر است. زمان تمرکز، که عبارتست از مدت زمانی است که لازم است تا جریان سطحی از دورترین نقطه یک حوضه به خروجی آن برسد، در حوضه‌های کوچک و پرشیب، کوتاهتر از حوضه‌های بزرگ و کم شیب است. نتایج نشان داد که زمان تمرکز و حجم سازه با یکدیگر رابطه معکوس دارند (اسمعیل منش و همکاران، ۱۳۹۹).

نتایج نشان داد که مقدار شیب با حجم سازه رابطه مستقیم دارد. شیب حوضه، با تاثیر بر دیگر ویژگی‌ها نظیر سرعت جریان سطحی، ناپایداری حرکت‌های توده‌ای و نفوذپذیری آب، بر میزان رواناب نیز موثر خواهد بود. (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۲؛ اصلاحی و همکاران، ۱۳۹۹). نتایج نشان داد که حجم سازه با تراکم زهکشی، رابطه مستقیم دارد. در حوضه‌هایی که تراکم زهکشی بیشتر است، عکس‌العمل حوضه در برابر بارندگی سریع‌تر خواهد بود و جریان‌های سطحی با سرعت بیشتری شکل می‌گیرند (جعفری و همکاران، ۱۴۰۰؛ تقوی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۷). نتایج بیانگر این است که شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده با حجم سازه رابطه معکوس دارد. وجود پوشش گیاهی در مناطق مختلف به‌ویژه در مناطق کوهستانی سرعت جریان‌های سطحی آب و فرسایش خاک را کاهش داده و سبب افزایش نفوذ آب به داخل خاک می‌گردد، بنابراین پوشش گیاهی تاثیر قابل توجهی بر کاهش سیلاب‌های مخرب دارد (دارماوان و همکاران، ۲۰۲۳).

۴. نتیجه‌گیری

اقدامات آبخیزداری اگر با شیوه صحیح انجام شود باعث حفاظت و بهبود شرایط آب و خاک می‌گردد. هدف اصلی این اقدامات، توسعه پایدار در حوزه آبخیز می‌باشد و توسعه پایدار محقق نمی‌گردد جز از طریق ارتقاء سطح زندگی روستائیان و معیشت آبخیزنشینان و درعین حال حفاظت از منابع طبیعی برای آیندگان. یکی از اقدامات مفید و موثر در جهت توسعه پایدار مدیریت حوزه‌های آبخیز پروژه‌های احداث سازه‌های آبخیزداری است. مرور منابع نشان داد که احداث سازه‌های کنترل رسوب تحت عنوان بندهای اصلاحی یکی از راهکارهای زود بازده برای کنترل رسوب و کاهش دبی اوج جریان‌ها از سوی دستگاه‌های متولی امر می‌باشد. بنابراین در این پژوهش سعی شد مدلسازی حجم‌بندهای اصلاحی با عوامل محیطی حوضه انجام شود. در پژوهش حاضر به منظور انتخاب ویژگی‌های محیطی موثر بر حجم سازه‌های آبخیزداری و برآورد حجم سازه بر اساس مهم‌ترین ویژگی‌های انتخاب شده، از بانک اطلاعاتی شامل یکصد زیرحوضه در استان‌های مختلف کشور از جمله استان‌های (البرز، آذربایجان شرقی، ایلام، اصفهان، بوشهر، تهران، قزوین، فارس، مازندران، همدان) هر کدام شامل ۲۷ ویژگی محیطی (مساحت، محیط، ضریب شکل حوضه، ضریب فشردگی، شیب، طول حوضه، طول بزرگترین آبراهه، مجموع طول آبراهه‌ها، تراکم زهکشی، زمان تمرکز، فاکتور توپوگرافی (LS)، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)، درصد مواد آلی خاک، چگالی ظاهری، pH خاک، درصد شن، ماسه و رس تا عمق ۳۰ سانتی متری سطح زمین، دمای متوسط، بارش، دبی اوج، حساسیت به فرسایش، ارتفاع حداکثر، ارتفاع حداقل، اختلاف ارتفاع و ارتفاع متوسط) استفاده شد. نتیجه انتخاب ویژگی با استفاده از الگوریتم بیان ژن به

این صورت است که از میان ۲۷ ویژگی محیطی موثر در حجم سازه، مهمترین ویژگیها عبارتند از بارش، دما، شاخص TWI، ضریب شکل (Rc)، اختلاف ارتفاع، زمان تمرکز، شیب، تراکم زهکشی و NDVI. همچنین معیارهای آماری R^2 و RRMSE در مدل سازی حجم سازه ها با این تکنیک، در دو مرحله آموزش به ترتیب برابر ۰/۸۸ و ۰/۳۵ و در مرحله آزمون به ترتیب برابر ۰/۹۱ و ۰/۲۹ می باشد که نشان دهنده این است که مدل تولنایی بالایی در برآورد حجم سازه ها و در نتیجه برآورد هزینه احداث آن قبل از احداث را دارد و می توان از این مدل در سازمان های مربوطه جهت تخصیص بودجه به این پروژه ها استفاده گردد. نتایج پژوهش نشان داد که بر پایه ویژگی های زود یافت محیطی می توان با دقت زیاد حجم سازه های کنترل رسوب را در زمان کوتاه برآورد نمود و بنابراین قبل از اجرای آن ها نسبت به شناخت هزینه های مربوطه در راستای اولویت بندی مناطق، اقدام نمود. همچنین با توجه به تنوع شرایط محیطی و اقلیمی در ایران نیاز است تا نسبت به تدوین پایگاه داده فراگیر در سطح کشور اهتمام ورزیده شود.



شکل ۵. منحنی پراکندگی داده های مشاهداتی و پیش بینی شده حجم سازه ها با استفاده از مدل GEP در دو مرحله آموزش و آزمون در محدوده اطمینان ۹۵ درصد

References

- Islami, I., & Farajollahi, A. (2022). Prioritization of Local Livelihood Promotion Strategies with the Approach of Sustainable Exploitation of Natural Resources Based on SWOT-ANP Model in Bagherabad Village of Kurdistan. *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 12(42), 73-100. (In Persian)
- Ekhtesasi, M. A., Chezgi, J., & Khajavi, M. (2021). Evaluation of watershed management projects and offering appropriate strategy and solution for their development using SWOT and AHP model in arid and semi-arid regions. *Watershed Engineering and Management*, 13(1), 55-64. (In Persian)
- Hasani, H., & Maleki, M. (2020). Socio-Economic Evaluation of Watershed Plans on the Watershed Residents (Case Study: Hasanabdal Basin-Zanjan Province). *Journal of watershed management research*, 11(21), 143-153. (In Persian)
- Koohdarzi Moghaddam, M., Taghipour, S. M., & Erfani Pourghasemi, V. (2022). Effectiveness of watershed management measures on soil erosion and sediment yield reduction (Case study: Doholkooch Watershed, South Khorasan Province). *Water and Soil Management and Modelling*, 2(4), 1-17. (In Persian)
- Chandanshive, V., & Kambekar, A. R. (2019). Estimation of building construction cost using artificial neural networks. *Journal of Soft Computing in Civil Engineering*, 3(1), 91-107.
- Tayefeh Hashemi, S., Ebadati, O. M., & Kaur, H. (2020). Cost estimation and prediction in construction projects: A systematic review on machine learning techniques. *SN Applied Sciences*, 2, 1-27.
- Khandardi, M., & Shakri, I. (2013). Presenting a neural network model for estimating the cost of construction in residential projects, the 7th International Project Management Conference, Tehran. (In Persian)
- Lotfi kazemi, R., Taheri Amiri, M. J., Ashrafian, A., & Pahlavan, H. (2021). Estimation of the building costs using intelligence data driven methods and determining the factors influencing on cost. (Case study: East of Tehran province). *Journal of Structural and Construction Engineering*, 8(Special Issue 1), 194-211. (In Persian)
- Pourgholam-Amiji, M., Liaghat, A., & Ahmadaali, K. (2021). Early Stage Cost Modeling of Drip Irrigation Systems. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 22(82), 1-22. (In Persian)
- Moselhi, O., & Hegazy, T. (1993). Markup estimation using neural network methodology. *Computing systems in engineering*, 4(2-3), 135-145.
- Bayram, S., Ocal, M. E., Laptali Oral, E., & Atis, C. D. (2016). Comparison of multi layer perceptron (MLP) and radial basis function (RBF) for construction cost estimation: the case of Turkey. *Journal of Civil Engineering and Management*, 22(4), 480-490.
- Mahalakshmi, G., & Rajasekaran, C. (2019). Early cost estimation of highway projects in India using artificial neural network. In *Sustainable Construction and Building Materials: Select Proceedings of ICSCBM 2018* (pp. 659-672). Springer Singapore.
- Elmousalami, H. H. (2020). Artificial intelligence and parametric construction cost estimate modeling: State-of-the-art review. *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(1), 03119008.
- Namazi, E., Hajihassani, M., Gilani, S. O., & Zolfegharifar, S. Y. (2022). Risk assessment of building damage induced by tunnelling through a gene expression programming model. *Geotechnical and Geological Engineering*, 1-14.
- Kontoni, D. P. N., Onyelowe, K. C., Ebid, A. M., Jahangir, H., Rezazadeh Eidgahee, D., Soleymani, A., & Ikpa, C. (2022). Gene Expression Programming (GEP) Modelling of Sustainable Building Materials including Mineral Admixtures for Novel Solutions. *Mining*, 2(4), 629-653.
- Ahmad, A., Chaiyasarn, K., Farooq, F., Ahmad, W., Suparp, S., & Aslam, F. (2021). Compressive strength prediction via gene expression programming (GEP) and artificial neural network (ANN) for concrete containing RCA. *Buildings*, 11(8), 324.
- Katoch, S., Chauhan, S. S., & Kumar, V. (2021). A review on genetic algorithm: past, present, and future. *Multimedia Tools and Applications*, 80, 8091-8126.
- Mirjalili, S., Song Dong, J., Sadiq, A. S., & Faris, H. (2020). Genetic algorithm: Theory, literature review, and application in image reconstruction. *Nature-Inspired Optimizers: Theories, Literature Reviews and Applications*, 69-85.
- Zhou, X., Wang, L., Liu, J., Cheng, G., Chen, D., & Yu, P. (2022). Automated structural design of shear wall structures based on modified genetic algorithm and prior knowledge. *Automation in Construction*, 139, 104318.
- Fulcher, M., Edwards, D. J., Lai, J. H., Thwala, W. D., & Hayhow, S. (2022). Analysis and modelling of social housing repair and maintenance costs: a UK case study. *Journal of Building Engineering*, 52, 104389.

- Adib, A., Farajpanah, H., Mahmoudian Shoushtari, M., & Ahmadianfar, I. (2020). Estimation of Water Quality Parameters in the Sepidrood River by ANFIS, GEP and LS-SVM Models. *Journal of Water and Wastewater* 31(5), 1-10. (In Persian)
- Sharma, P., Said, Z., Memon, S., Elavarasan, R. M., Khalid, M., Nguyen, X. P., ... & Nguyen, L. H. (2022). Comparative evaluation of AI-based intelligent GEP and ANFIS models in prediction of thermophysical properties of Fe₃O₄-coated MWCNT hybrid nanofluids for potential application in energy systems. *International Journal of Energy Research*, 46(13), 19242-19257.
- Zhang, Z., Yu, X., Rong, X., & Iwata, M. (2022). A Novel Multimodule Neural Network for EEG Denoising. *IEEE Access*, 10, 49528-49541.
- Ahmadaali, J., Barani, G. A., Qaderi, K., & Hessari, B. (2018). Analysis of the effects of water management strategies and climate change on the environmental and agricultural sustainability of Urmia Lake Basin, Iran. *Water*, 10(2), 160.
- Hosseini, S. A. (2023). Evaluation and simulation of hydraulic performance of sediment dams, case study: Doveirej Watershed. *Watershed Engineering and Management*, 15(1), 13-26.
- Sharifi, F. (2017). Natural features and soil erosion in Iran's watersheds. SN: 978-964-9247-16-8
- Ferreira, C. (2001). Gene expression programming: a new adaptive algorithm for solving problems. arXiv preprint cs/0102027.
- Siasar, H., Salari, A., Mohamadrezapour, O., & Piri, H. (2022). Estimating Daily Reference Evapotranspiration in Sistan Plain Using Ultra-Innovative Algorithms. *Desert Ecosystem Engineering*, 10(32), 85-96. (In Persian)
- Adib, A., Farajpanah, H., Mahmoudian Shoushtari, M., & Ahmadianfar, I. (2020). Estimation of Water Quality Parameters in the Sepidrood River by ANFIS, GEP and LS-SVM Models. *Journal of Water and Wastewater*, 31(5), 1-10. (In Persian)
- Majedi-Asl, M., & Fuladpanah, M. (2022). Performance Assessment of Various Data-Mining Methods to Determine Depth Velocity Profile at Submerged Hydraulic Jump. *Irrigation and Water Engineering*, 13(2), 1-20.
- Daghighi, M., & Ahmadi, H. (2022). Simulation and prediction of scour whole dimensions downstream of siphon overflow using support vector machine and Gene expression programming algorithms. *Journal of Oceanography*, 13(50), 13-28. (In Persian)
- Keramatloo, M., Zahiri, A., Kordi, E., Ghorbani, K., & Dehghani, A. A. (2020). Modeling of river water temperature using Gene Expression Programming (Case Study: MohammadAbad River in Golestan province). *Journal of Water and Soil Conservation*, 27(2), 237-244.
- Hosseini, S. A. (2023). Evaluation and simulation of hydraulic performance of sediment dams, case study: Doveirej Watershed. *Watershed Engineering and Management*, 15(1), 13-26.
- Mazidi, A., & Bahaaddinbeygi, H. (2021). Study of temperature, precipitation and wind speed trends in the northern and western regions of Kerman province using parametric and non-parametric tests. *Geography and Human Relationships*, 4(2), 246-254.
- Mosavi, H., Kamangar, M., & Karbalayy, A. (2021). Spatial Analysis of Soil Moisture after Excessive Normal Precipitation of 1997-98 with Linear Modeling of Environmental Variables and Satellite Images. *Watershed Engineering and Management*, 13(1), 160-173.
- Rostami, F., Tavakoli, M., Rostami, N., & Ebrahimi, H. (2021). Investigation of Flood Hazard Potential in Watersheds Using AHP (Case Study: Ilam City Watershed). *Integrated Watershed Management*, 1(1), 1-16. (In Persian)
- Zangaraki Farahani, E., Vaezi, A., & Askari, M. (2022). Runoff Production under the Influence of Slope and Soil Characteristics in Pastures without Vegetation Cover in Semi-Arid Region. *Applied Soil Research*, 9(4), 15-26. (In Persian)
- Esmailmanesh, F., Zolghadr, M., & Rafiee, M. R. (2020). Introducing Two-Dimensional Hydraulic Simulation as a Technique for Estimating the Time of Concentration. *Journal of Hydraulics*, 15(3), 33-45.
- Abedini, M., Faal Naziri, M., & Pirouzi, A. (2023). Flood risk assessment and zoning using multi-criteria Aras technique and single hydrograph (Case Study: Upstream Basin of Soltan Meshkinshahr Bridge Hydrometric Station). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 12(35), 115-138. (In Persian)
- Eslahi, N., Vatankhah, A., & Sedghi Asl, M. (2021). Modeling of Velocity and Hydraulic Gradient in Non-Darcian Flows Using the Concept of Conformable Fractional Derivatives. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(12), 2987-2998. (In Persian)
- Jafari, M., Ekhtesasi, M. R., & Fatahi Ardakani, A. (2021). Evaluation of factors affecting the performance and economic productivity of watershed management projects using SWOT model. *Watershed Engineering and Management*, 13(2), 328-338. (In Persian)
- Taghavi Moghaddam, E., Bahrami, S., Zanganeh asadi, M. . . A., & Mokhtari, K. (2018). Quantitative Analysis of the Basin Components and its Role in the Rate of Annual Sediment Yield (17 Basins in North East Iran). *Geography and Environmental Planning*, 29(3), 147-172. (In Persian)
- Dharmawan, I. W. S., Pratiwi, Siregar, C. A., Narendra, B. H., Undaharta, N. K. E., Sitepu, B. S., ... & Sari, N. (2023). Implementation of Soil and Water Conservation in Indonesia and Its Impacts on Biodiversity, Hydrology, Soil Erosion and Microclimate. *Applied Sciences*, 13(13), 7648.