دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

بررسی تأثیر پارامترهای مختلف آبشکن محافظ بر کاهش عمق آبشستگی با استفاده از روش گروهی مدل‌سازی داده‌ها (GMDH) و برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP)

سعید فرزین[۱]، حجت کرمی[۲]، رضا حاجی‌آبادی[۳]، شهاب نیّر[۴] و سید محمود حمزه ضیابری[۵]

۱- استادیار گروه مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، (نویسنده مسوول: saeed.farzin@semnan.ac.ir)
۲- استادیار گروه مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان
۳- دانشجوی دکتری مهندسی آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت، تهران
۴- دانشجوی دکتری مهندسی آب و سازه هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان
۵- دانشجوی دکتری سازه‌های دریایی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت، تهران
تاریخ دریافت: ۹۶/۹/۶ تاریخ پذیرش: ۹۷/۸/۶
صفحه: ۱۹۴ تا ۲۰۳

چکیده

آبشکن‌ها یکی از روش‌های متداول حفاظت کناره رودخانه‌ها در برابر فرسایش می‌باشند. از مسائل مهمی که عملکرد آبشکن‌ها را مختل می‌کند آبشستگی اطراف آن‌هاست. یکی از روش‌های کاهش آبشستگی آبشکن‌ها، استفاده از آبشکن محافظ است. در این مطالعه جهت بررسی و تخمین اثر پارامترهای مختلف آبشکن محافظ بر آبشستگی آبشکن‌های اصلی و یافتن روابط صریح بین متغیرها از روش‌های داده‌محور نظیر روش گروهی مدل‌سازی داده‌ها (GMDH) و برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) که محاسبات را در شرایط غیردقیق انجام می‌دهند استفاده‌شده است. با بهره‌گیری از نتایج مدل‌های آزمایشگاهی، پارامترهای مؤثر شامل زاویه آبشکن محافظ (θ)، طول آبشکن محافظ (Lp)، طول آبشکن اصلی (Lf)، فاصله از آبشکن اصلی (X)، شدت‌جریان (U/Ucr) و عدد فرود ذره (Fd) مورد بررسی قرار گرفتند و از این پارامترها به‌عنوان متغیرهای ورودی در مدل‌های موردنظر استفاده گردیده است. نتایج بخش‌های آموزش و صحت‌سنجی حاکی از برتری مدل GMDH نسبت به مدل GEP می‌باشد. به‌طوری‌که مقادیر MAE و RMSE در قسمت صحت‌سنجی در مدل GMDH نسبت به مدل GEP به ترتیب از مقادیر ۰/۰۶۳ و ۰/۰۸۶ به مقدار ۰/۰۴۵ و ۰/۰۶۱ کاهش و مقدار NS نیز از ۰/۵۱ در مدل GEP به مقدار ۰/۷۵ در مدل GMDH افزایش‌یافته است. در ادامه با استفاده از مدل‌های GMDH و GEP و با توجه به فیزیک حاکم بر مسئله روابطی به‌منظور تخمین میزان کاهش عمق آبشستگی آبشکن اول پیشنهاد گردیده است. همچنین آنالیز حساسیت نشان داد که تأثیرگذارترین پارامتر در کاهش عمق آبشستگی آبشکن اول توسط آبشکن محافظ، نسبت (Lp/Lf) می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آبشستگی، آبشکن محافظ، آنالیز حساسیت، برنامه‌ریزی بیان ژن، روش دسته‌بندی گروهی داده‌ها

مقدمه

حفاظت رودخانه در برابر فرسایش و تخریب ناشی از جریان آب با استفاده از آبشکن‌ها ازجمله روش‌های متداول در علم مهندسی رودخانه تلقی می‌شود. آبشکن‌ها با تعدیل شرایط هیدرولیکی و ایجاد جریان آرام، قدرت فرسایشی آب و توان حمل مواد رسوبی را کاهش داده و زمینه مساعدی برای رسوب‌گذاری و تثبیت کناره‌ها فراهم می‌آورند. از دیدگاه کلی آبشکن‌ها در دو گروه عمده شامل آبشکن باز و بسته طبقه‌بندی می‌شوند. آبشکن‌های بسته یا نفوذناپذیر ازجمله سازه‌های حفاظتی می‌باشند که برای دور ساختن جریان از ساحل و حواشی آسیب‌پذیر رودخانه می‌توان از آن‌ها استفاده نمود. در این نوع سازه‌ها سرعت جریان آب در میدان آبشکن تقلیل یافته و با ترسیب مواد رسوبی شرایط لازم پایداری در امتداد کناره‌ها فراهم می‌گردد. آبشکن‌های باز یا نفوذپذیر نوع دیگری از سازه‌های حفاظتی هستند که معمولاً برای رودخانه‌هایی که دارای بار معلق زیاد می‌باشند کاربرد دارند و عبور جریان از خلل و فرج بدنه آبشکن، باعث کاهش فشار آب در سمت بالادست آبشکن می‌شود (۵).

آبشکن‌ها معمولاً به‌صورت سری و چندتایی ساخته می‌شوند و عموماً آبشکن اول به‌دلیل برخورد سریع جریان در معرض فرسایش و آبشستگی شدیدتری قرار دارد. روش‌های گوناگونی برای کنترل این فرسایش و آبشستگی وجود دارد که ازجمله آن‌ها استفاده از سازه آبشکن محافظ[1] است که طول کوتاه‌تری نسبت به سایر آبشکن‌ها دارد و در بالادست آبشکن اول قرار می‌گیرد. نحوه تأثیر پارامترهای مختلف این آبشکن‌های محافظتی بر عمق آبشستگی سایر آبشکن‌ها همواره مورد توجه محققین بوده است (۱۵). در سال‌های اخیر نیز روش‌های گوناگونی به‌منظور بررسی این آبشکن‌ها و تأثیرات آن بر الگوی جریان و آبشستگی اطراف آن انجام شده است که سعی در ارائه روابط مناسب جهت تخمین و نحوه کاهش عمق آبشستگی داشته‌اند. تحقیقات نشان می‌دهد که با توجه به پارامترهای سرعت جریان و حداکثر عمق آبشستگی، نسبت فاصله به طول آبشکن‌های نفوذپذیر در مسیر مستقیم برای آبشکن‌های مستقیم برابر سه و برای آبشکن‌های T شکل برابر چهار پیشنهاد می‌شود و همچنین انتخاب نسبت فاصله به طول بزرگ‌تر از چهار در هیچ‌یک از آبشکن‌های مستقیم و T شکل توصیه نمی‌شود. استفاده از آبشکن T شکل، به لحاظ داشتن عمق آبشستگی کمتر دماغه و پایداری سازه بر آبشکن مستقیم ارجحیت دارد (۱). بر اساس نتایج آزمایشگاهی، توزیع عرضی تنش‌های رینولدز و همچنین شدت آشفتگی در جریان اصلی مقابل میدان آبشکن‌های سری، علاوه بر لایه اختلاطی عمومی، یک لایه اختلاطی محلی نیز شکل می‌گیرد که نتیجه تبادل مومنتم و یا جرم بین میدان آبشکن و جریان اصلی است (۱۷،۴).

1- Protective spur dike

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.16.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.194]

ژانگ و همکاران (۲۸) آبشستگی محلی اطراف آبشکن در جریان آشفته را مورد آزمایش و شبیه‌سازی قراردادند و نهایتاً به تطبیق بالایی در نتایج آزمایشگاهی و عددی رسیدند. کرمی (۱۵)، در آزمایشگاه دانشگاه امیرکبیر جهت کاهش عمق آبشستگی آبشکن‌های سری از یک آبشکن محافظ در بالادست استفاده کرد و نتایج آنان نشان داد در شرایطی که آبشکن محافظ به‌درستی طراحی شود قادر خواهد بود تا متوسط حداکثر عمق آبشستگی را در آبشکن‌های سری کاهش دهد و همچنین پارامترهای ابعادی را جهت طراحی بهینه آبشکن محافظ ارائه کرد. همچنین کرمی و همکاران (۱۳) حداکثر عمق آبشستگی با توجه به تغییرات زمانی را در اطراف آبشکن‌های سری بررسی کردند و نتایج آنان نشان داد که ۷۰ تا ۹۰ درصد عمق تعادلی آبشستگی (عمقی که تغییرات بستر کمتر از ۱ میلی‌متر برای ۲ ساعت آزمایش است (۸)) در ۲۰ درصد اولیه کل زمان آبشستگی اتفاق می‌افتد. نیّر و همکاران (۲۰) در پژوهشی آزمایشگاهی، تأثیر آبشکن‌های سری ساده، T و L شکل در کانال مستقیم بر تغییرات زمانی آبشستگی اطراف آن‌ها مورد بررسی، مقایسه و تحلیل قرار دادند. نتایج ایشان نشان داد که، آبشکن T شکل در ۱۰٪ اولیه زمان آبشستگی به بیش از ۹۰٪ آبشستگی تعادلی می‌رسد. برای آبشکن ساده و L شکل در ۱۵٪ اولیه زمان آبشستگی، این مقدار، بیش از ۸۰٪ است.

بختیاری و همکاران (۲) جهت حفاظت از سواحل قوسی شکل از ریپ‌رپ و آبشکن استفاده کردند و بیان داشتند که در کلیه حالات استفاده ازطول‌های مختلف آبشکن، کارگذاری ریپ‌رپ موجب افزایش پایداری آبشکن می‌شود. همچنین نتایج آنان نشان داد با افزایش طول آبشکن، پایداری ریپ‌رپ و آبشکن کاهش می‌یابد. در تحقیق کرم‌زاده و همکاران (۱۲) بر روی تأثیر زاویه دماغه آبشکن T شکل بر پایداری ریپ‌رپ محافظ و آبشکن، مشخص شد که با افزایش زاویه دماغه آبشکن، عدد فرود جریان و پایداری ریپ‌رپ کاهش می‌یابد. پاندی و همکاران (۲۱) به بررسی و محاسبه حداکثر عمق آبشستگی اطراف آبشکن پرداختند و نهایتاً سه رابطه جدید جهت محاسبه حداکثر عمق وطول آبشستگی در بالادست و پایین‌دست ارائه دادند و بیان کردند که این روابط از سایر روابط موجود بهتر هستند. سادات و همکاران (۲۴) به بررسی فاصله بهینه بین گروه شمع‌ها و آبشکن جهت کاهش آبشستگی پرداختند و بیان کردند که حجم و عمق آبشستگی وقتی فاصله از صفر به چهار برابر طول آبشکن تغییر می‌یابد؛ کاهش‌یافته و همچنین سرعت جریان در دماغه آبشکن حداکثر خواهد بود. بختیاری و همکاران (۳) جهت محافظت از آبشکن T شکل در قوس، از ریپ‌رپ تحت شرایط مختلفی از آبشکن استفاده کردند و نهایتاً به این نتیجه رسیدند که افزایش در طول و همچنین فاصله طولی آبشکن‌ها موجب کاهش پایداری آبشکن‌ها در قوس می‌گردد.

لی و همکاران (۱۶)، اثر آبشکن نفوذپذیر را بر روی رسوب و آبشستگی مطالعه کردند و میانگین سرعت جریان و ارتفاع رسوب در مقطع بالادست و پایین‌دست آبشکن و حداکثر عمق آبشستگی در نوک آبشکن را اندازه‌گیری کردند که نتایج آن‌ها نشان‌دهنده اثر مثبت آبشکن بر روی آبشستگی و رسوب بوده است. لودهی و همکاران (۱۷)، در آزمایشگاه هیدرولیک موسسه تکنولوژی هندوستان تأثیر چسبندگی در اطراف آبشکن در خاک مخلوط رس، شن و ماسه را مورد بررسی قرار دادند و روابطی برای ارزیابی عمق آبشستگی در دماغه و پی آبشکن مستغرق در رسوبات مخلوط منسجم ارائه دادند.

برخی از محققین نیز به‌منظور تخمین عمق آبشستگی اطراف آبشکن‌ها و ارائه روابط ریاضی کاربردی از مدل‌های هوشمند استفاده کرده‌اند و نتایج این مطالعات دقت این روش‌ها در تخمین عمق آبشستگی را اثبات کرده است. اقبالی و همکاران، روند توسعه زمانی ابعاد حفره آبشستگی اطراف آبشکن بالدار را با استفاده از برنامه‌ریزی بیان ژن موردبررسی قراردادند و نتایج آن را با داده‌های آزمایشگاهی مورد مقایسه قراردادند، آن‌ها با استفاده از فنون آنالیز ابعادی پارامترهای بی‌بعد مستقل را استخراج و از آن‌ها به‌عنوان ورودی‌های مدل استفاده کردند، بررسی نتایج آن‌ها نشان داد که برنامه‌ریزی بیان ژن به‌خوبی روند توسعه زمانی عمق و ابعاد حفره آبشستگی را مدل می‌کند (۸). همچنین پیرامون پیش‌بینی عملکردهای هیدرولیکی با استفاده از شبکه‌های عصبی مطالعاتی انجام‌شده است که در ادامه به آن اشاره خواهد شد.

در تحقیقات اخیر، بار معلق در سیستم رودخانه‌ای با استفاده از روش GMDH برآورد شد. مقایسه نتایج حاصل از این برآورد با سایر الگوریتم‌ها مانند شبکه‌های عصبی، نروفازی و برنامه‌ریزی ژنتیک خطی نشان داد که روش GMDH نسبت به سایر روش‌ها قابلیت بالاتری برای پیش‌بینی و شبیه‌سازی انتقال رسوب در رودخانه‌ها دارد (۹). رفعت و همکاران (۲۳)، دقت و کاربرد روش GMDH را در تخمین عمق آبشستگی پایه پل و خط لوله بررسی کردند که درنهایت با توجه به پارامترهای موردنظر در هر دو حالت به این نتیجه رسیدند که روش GMDH در تخمین عمق آبشستگی خط لوله از دقت بیشتری برخوردار است. حسین‌زاده و همکاران (۱۱) از شبکه عصبی GMDH جهت مدل‌سازی رابطه دبی- اشل رودخانه اسکویلکیل[1] استفاده کردند و درنهایت نتیجه گرفتند که این روش نسبت به سایر روش‌های هوشمند دارای دقت بالاتری می‌باشد. نجف‌زاده و همکاران (۱۹) از روش GMDH برای پیش‌بینی عمق آبشستگی اطراف پایه پل در خاک چسبنده استفاده کردند و نهایتاً بیان کردند که این روش نسبت به معادلات سنتی بسیار موفق‌تر عمل می‌کند و از این روش به‌عنوان یک فن جدید در محاسبات نرم جهت پیش‌بینی عمق آبشستگی اطراف پایه پل در خاک‌های منسجم یاد کردند. در پژوهش پورنعمت و همکاران (۲۲)، فرآیند بارش-رواناب در حوزه آبخیز پلرود نیز با استفاده از روش GMDH و شبکه‌های عصبی مصنوعی ANN مدلسازی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که هر دو روش توانایی بالایی در تحلیل روابط پیچیده بین متغیرها جهت پیش‌بینی رواناب روزانه دارند. اما عملکرد روش GMDH بهتر بوده است. امروزه استفاده از روش‌های هوشمند نظیر برنامه‌ریزی بیان ژن و روش گروهی مدل‌سازی

1- Schuylkill River

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.16.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.194]

داده‌ها که مدل‌های موردنظر در این تحقیق می‌باشند در بسیاری از پدیده‌ها و مسائل مهندسی آب موردتوجه محققین قرارگرفته است. این روش‌ها می‌توانند با استفاده از ورودی‌های مناسب و منطبق با فیزیک مسئله آموزش داده شوند و سپس به‌عنوان یک مدل برای شبیه‌سازی آن مسئله مورد استفاده قرار بگیرند.

با توجه به مطالعات و بررسی‌های انجام‌شده، مطالعات جامع و قابل‌توجهی در مورد اثر پارامترهای آبشکن‌های محافظ بر کاهش عمق آبشستگی دیگر آبشکن‌ها انجام نپذیرفته است. در این تحقیق سعی شده است با استفاده دو مدل هوشمند روش گروهی مدل‌سازی داده‌ها[1] (GMDH) و برنامه‌ریزی بیان ژن[2] (GEP) نحوه تأثیر پارامترهای مختلف آبشکن‌های محافظتی بر کاهش عمق آبشستگی سایر آبشکن‌ها مورد بررسی قرار گیرد و در نهایت روابط دقیقی جهت تخمین کاهش عمق آبشستگی با توجه به پارامترهای آبشکن محافظتی استخراج گردد. علاوه بر آن، به‌منظور پی بردن به انطباق روابط ارائه‌شده با فیزیک مسئله، نتایج مدل‌ها مورد تحلیل قرار می‌گیرند و اهمیت و نحوه عملکرد پارامترهای موجود در روابط ارائه‌شده توسط هر مدل مشخص می‌شود.

مواد و روش‌ها

در تحقیق حاضر از داده‌های آزمایشگاهی کرمی که در فلومی به طول ۱۴ متر و عرض و عمق ۱ متر در آزمایشگاه دانشگاه صنعتی امیرکبیر انجام‌گرفته است جهت بررسی و تحلیل استفاده شد. آبشکن‌ها به صورت سری و با فاصله 2L از یکدیگر نصب شدند (L طول آبشکن) و آزمایش‌ها در شرایط U/Ucr <1 و برای رسوبات با دانه‌بندی یکنواخت $\sigma g < 1.4$ انجام شد. از جمله عوامل مهم در بررسی آبشستگی آبشکن‌ها، زاویه آبشکن محافظ نسبت به جهت جریان (θ)، طول آبشکن محافظ (L_p)، طول آبشکن‌های اصلی (L_f)، فاصله از آبشکن اول (X)، شدت‌جریان (U/Ucr) و عدد فرود ذره (F_d) می‌باشند که همواره مورد توجه محققین بوده‌اند که در تحقیق کرمی و همکاران بهینه‌سازی شده‌اند (۱۰). لذا در این پژوهش روش‌های هوشمند نظیر روش گروهی مدل‌سازی داده‌ها و روش برنامه‌ریزی بیان ژن جهت شبیه‌سازی و بررسی پارامترهای ذکر شده استفاده گردید تا تخمین میزان کاهش عمق آبشستگی نسبت به هریک از این مشخصه‌ها بررسی شود.

روش گروهی مدل‌سازی داده‌ها

این روش به‌عنوان شبکه عصبی چندجمله‌ای نیز نامیده می‌شود در سال ۱۹۶۶ توسط ایواخنکو به‌صورت یک چندجمله‌ای بسیط با مراتب بالا معرفی گردیده است. درواقع روش گروهی مدل‌سازی داده‌ها (GMDH) یکی از روش‌های مدل‌سازی و رگرسیون خطی است که با استفاده از توابع چندجمله‌ای قادر به ساختن مدل‌های پیچیده می‌باشد. در این روش مهم‌ترین پارامترها شامل تعداد لایه‌ها، تعداد نرون‌ها در لایه‌های میانی و توپوگرافی بهینه شبکه توسط خود الگوریتم و در طی اجرای آن تعیین می‌گردند؛ بنابراین می‌توان گفت شبکه عصبی چندجمله‌ای GMDH یک مدل خود تنظیم‌کننده است که توانایی پیش‌بینی و تشخیص دارد (۲۷).

آموزش شبکه عصبی GMDH بر اساس مدل‌های چندجمله‌ای و حداقل کردن خطای مقادیر مشاهداتی و محاسباتی صورت می‌پذیرد. هدف از این روش یافتن یک تابع تخمین‌گر $\hat{f}$ است که می‌تواند برای یک مجموعه از ورودی‌ها $X=(x_1,x_2,...,x_n)$ مورداستفاده قرار گیرد (رابطه ۱) به‌طوری‌که خطای بین مقادیر تخمین زده‌شده ($\hat{y}$) توسط این تابع و مقادیر واقعی (y) حداقل گردد. شکل ۱ نحوه کارکرد این نوع شبکه را نشان می‌دهد. بنابراین با در نظر گرفتن یک مجموعه ورودی M عضوی که هر عضو از مجموعه دارای n پارامتر ورودی و یک خروجی است خواهیم داشت:

$$y_i = f\left(x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, ...x_{in}\right)\left(i = 1, 2, ..., M\right) \quad (۱)$$

رابطه میان متغیرهای ورودی و خروجی را می‌توان بر اساس رابطه (۲) نشان داد. رابطه (۲) به‌صورت سری زیر بیان می‌گردد:

(۲)

$$y = w_0 + \sum_{i=1}^{n} w_i x_i + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{n} w_{ijk} x_i x_j x_k + ...$$

که رابطه (۲) با نام چندجمله‌ای Kolmogorov-Gabor شناخته می‌شود. در این مطالعه از شکل چندجمله‌ای درجه دوم و دو متغیره Kolmogorov-Gabor به‌صورت رابطه (۳) استفاده شده است.

$$\hat{y} = G(x_i, x_j) = w_0 + w_1 x_i + w_2 x_j + w_3 x_i x_j + w_4 x_i^2 + w_5 x_j^2 \quad (۳)$$

در رابطه (۲) و (۳)، پارامترهای w ضرایب وزنی معادله هستند که بر اساس فن‌های رگرسیونی و حداقل کردن خطای مقادیر محاسباتی توسط شبکه عصبی GMDH و مقادیر مشاهداتی تعیین می‌گردند. به‌منظور تعیین ضرایب وزنی رابطه (۳) در هر نرون می‌توان از روش حداقل مربعات استفاده نمود (رابطه ۴). بدین منظور که با حداقل کردن رابطه (۴) می‌توان به مقادیر بهینه ضرایب وزنی موجود در رابطه (۳) دست‌یافت.

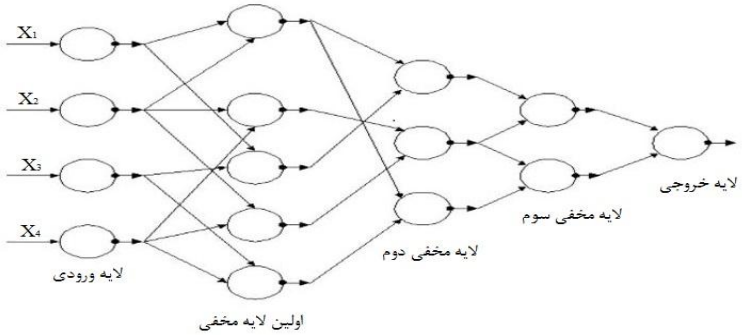
(۴)

$$E = \frac{\sum_{i=1}^{M}\left[y_i - G_i\right]^2}{M} \rightarrow \min$$

در رابطه (۴)، y مقدار داده مشاهداتی، G مقدار داده محاسباتی، M تعداد عضو مجموعه ورودی، E میزان خطا است.

1- Group method of data handling
2- Gene expression programming

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.16.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.194]



شکل ۱- نحوه کارکرد شبکه عصبی چندجمله‌ای GMDH
Figure 1. GMDH polynomial nerve network function

برنامه‌ریزی بیان ژن

برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) اولین بار توسط فریرا در سال ۱۹۹۹ معرفی گردید. برنامه‌ریزی بیان ژن شبیه به الگوریتم ژنتیک[1] (GA) و برنامه‌ریزی ژنتیک[2] (GP) است. به این دلیل شبیه به الگوریتم ژنتیک است زیرا هر دو از جمعیت افراد استفاده می‌کنند و افراد این جمعیت را بر اساس توابع برازش انتخاب می‌کنند و با استفاده از یک یا چند اپراتور تنوع ژنتیکی افراد جمعیت را تأمین می‌کنند. تفاوت اساسی بین این سه الگوریتم در ماهیت افراد جمعیت نهفته شده است. در الگوریتم ژنتیک افراد به‌صورت رشته خطی با طول ثابت (کروموزوم‌ها) می‌باشند و در برنامه‌ریزی ژنتیک افراد به‌صورت نهادهای غیرخطی با اندازه و اشکال مختلف می‌باشند اما در برنامه‌ریزی بیان ژن افراد در ابتدا به‌صورت رشته‌های خطی با طول ثابت هستند که پس‌ازآن به‌صورت نهادهای غیرخطی با اندازه و اشکال مختلف بیان می‌شود (۱۰).

فرآیند پیش‌بینی در برنامه‌ریزی بیان ژن دارای مراحلی است که قدم اول انتخاب تابع برازش می‌باشد. در این مطالعه تابع برازش موردنظر به‌صورت رابطه (۵) انتخاب گردیده است.

$$E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{M}\left(\hat{y}_i - y_i\right)^2}{\sum_{i=1}^{M}\left(y_i - \bar{y}\right)^2}} \qquad (۵)$$

در رابطه (۵)، y_i، $\hat{y}_i$ و $\bar{y}$ به ترتیب مقدار داده مشاهداتی، مقدار تخمین زده‌شده توسط مدل و میانگین داده‌های مشاهداتی است. دومین قدم انتخاب پایانه‌ها (ورودی‌ها) است و مرحله آخر انتخاب مجموعه عملگرها می‌باشد. انتخاب مجموعه عملگرها در این تحقیق پس از سعی و خطا و همچنین با توجه به نوع مسئله به‌صورت مجموعه $\{+,-,/,\times,\sqrt{\ },\ln,x^2\}$ در نظر گرفته‌شده است. نتایج این مدل در نهایت منجر به ارائه یک رابطه بهینه برای ارتباط پارامترهای ورودی و خروجی است به‌طوری‌که با استفاده از رابطه ارائه‌شده می‌توان مقادیر خروجی واقعی را با دقت مناسبی تخمین زد. پارامترهای ورودی مواردی هستند که عمق آبشستگی به این پارامترها وابسته است. همچنین هدف تحقیق حاضر نیز تخمین مقدار کاهش آبشستگی با توجه به تغییرات و مقدار این پارامترها، به عنوان خروجی بوده است.

معیارهای ارزیابی دقت مدل

برای ارزیابی مدل بهینه از سه معیار خطا استفاده گردیده است:

میانگین خطای مطلق[3]:

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|O_i - P_i\right| \qquad (۶)$$

ریشه میانگین مربعات خطا[4]:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(O_i - P_i\right)^2} \qquad (۷)$$

معیار نش- ساتکلیف[5]:

(۸)

$$E = \frac{\sum_{i=1}^{M}\left[y_i - G_i\right]^2}{M} \rightarrow \min$$

در این روابط n: تعداد داده‌ها، Oi: مقدار مشاهده‌شده، Pi: مقدار پیش‌بینی‌شده، $\overline{O}$: میانگین داده‌های مشاهداتی است.

نتایج و بحث

هدف از این تحقیق پی بردن به تأثیرات پارامترهای مختلف مربوط به آبشکن‌ها محافظ در کاهش عمق آبشستگی آبشکن اول (R_{sd}) است (شکل ۲). برای این منظور ابتدا پارامترهای تأثیرگذار مشخص گردیده است و پس از بی‌بعد کردن برای مدل‌سازی استفاده گردیده‌اند.

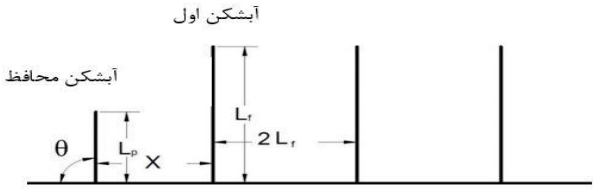
به‌منظور ارزیابی مدل‌ها، هشتاد درصد داده‌های آزمایشگاهی برای فرآیند آموزش و بیست درصد باقیمانده برای صحت‌سنجی نتایج در نظر گرفته‌شده است. تقسیم‌بندی داده‌های آموزش و صحت سنجی به‌صورت کاملاً تصادفی انجام گردیده است. جدول ۱ برای هر مدل نتایج و پارامترهای ارزیابی را به‌طور جداگانه در بخش‌های آموزش و صحت‌سنجی نمایش می‌دهد. نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد که هرچند مبنای هر دو مدل ارائه یک رابطه ریاضی بر اساس حداقل کردن خطای بین مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده است اما مدل GMDH دارای برتری محسوسی نسبت به مدل GEP در هر دو بخش آموزش و صحت سنجی می‌باشد.

1- Genetic Algorithm 2- Genetic Programming 3- Mean Absolute Error 4- Root Mean Squared Erro
5- Nash-Sutcliffe

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.16.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.194]

به‌طوری‌که مقادیر MAE و RMSE در قسمت صحت سنجی در مدل GMDH نسبت به مدل GEP به ترتیب از مقادیر ۰/۰۶۳ و ۰/۰۸۶ به مقدار ۰/۰۴۵ و ۰/۰۶۱ کاهش و مقدار NS نیز از ۰/۵۱ در مدل GEP به مقدار ۰/۷۵ در مدل GMDH افزایش‌یافته است. علاوه بر این مدل GMDH از توابع چندجمله‌ای ساده استفاده می‌کند که می‌توان گفت نسبت به روابط ارائه‌شده توسط مدل GEP دارای سادگی محاسباتی بیشتری است. در شکل ۳ نیز مقادیر مشاهداتی در مقابل مقادیر تخمین زده‌شده توسط مدل، ترسیم‌شده است. همان‌طور که شکل ۳ نشان می‌دهد خطای نسبی مدل GMDH در محدوده (۲۵+٪ و ۲۵-٪) می‌باشد و غالباً مقادیر کمتر از مقدار مشاهداتی تخمین زده‌شده‌اند. درصورتی‌که در مدل GEP مقادیر خطای نسبی در برخی پیش‌بینی‌ها بیش از ۲۵ درصد می‌باشد.

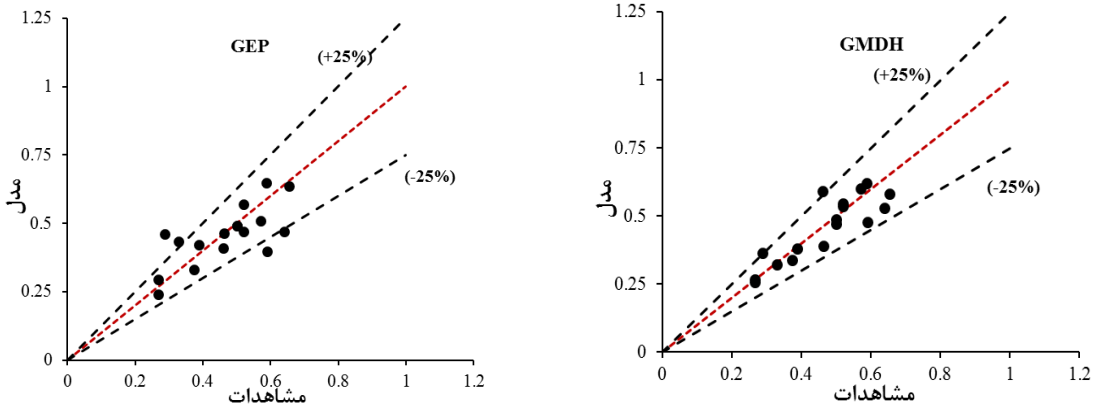
مبنای روش GMDH معادلات ساده چندجمله‌ای[1] است که ضرایب آن با استفاده از فن‌های رگرسیونی تعیین می‌گردد درحالی‌که مبنای روش GEP پیدا کردن یک رابطه با استفاده از عملگرهای موجود است. در واقع در مدل GMDH رابطه از قبل مشخص است اما در مدل GEP تنها عملگرهای استفاده شده در رابطه مشخص هستند. روابط ۹ و ۱۰ به ترتیب نشان‌دهنده روابط به‌دست‌آمده از مدل GMDH و GEP می‌باشند.



شکل ۲- تصویر شماتیک آبشکن‌ها و پارامترهای به‌کاربرده شده
Figure 2. Schematic image of spur dikes and used parameters

جدول ۱- نتایج مدل‌های مختلف در قسمت آموزش و صحت سنجی
Table 1. Results of Different Models in the Field of Training and Verification

مدل	زیر مجموعه	MAE	RMSE	NS
GMDH	آموزش	۰/۰۵۴	۰/۰۶۴	۰/۸۷
	صحت سنجی	۰/۰۴۵	۰/۰۶۱	۰/۷۵
GEP	آموزش	۰/۰۷۳	۰/۰۸۷	۰/۷۶
	صحت سنجی	۰/۰۶۳	۰/۰۸۶	۰/۵۱



شکل ۳- درصد مقادیر مشاهداتی در مقابل مقادیر تخمین زده‌شده توسط مدل‌ها
Figure 3. Percentage of observed values versus estimated values by models

(۹)

$$\%Rsd = 0.13 + (0.18 \times X_{11}) + (0.028 \times \frac{X}{L_f}) - (0.037 \times \theta) + (0.048 \times \frac{X}{L_f} \times X_{11}) + (0.045 \times \theta \times X_{11})$$
$$+ (0.064 \times \theta \times \frac{X}{L_f}) + (0.62 \times X_{11}^2) - (0.018 \times (\frac{X}{L_f})^2) - (0.03 \times \theta^2)$$

1- Polynomial

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.16.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.194]

که در آن X6 برابر با:

$$X_6 = 0.44 + (0.87\times\theta) + (1.1\times\frac{L_p}{L_f}) - (0.57\times F_d) - (0.28\times\frac{L_p}{L_f}\times\theta) - (0.041\times F_d\times\theta)$$
$$- (0.039\times F_d\times\frac{L_p}{L_f}) - (0.22\times\theta^2) - (0.17\times(\frac{L_p}{L_f})^2) + (0.099\times F_d{}^2)$$

و همچنین X11 به ترتیب زیر محاسبه می‌شود

$$X_{11} = 3 - (4.7\times X_6) + (3.5\times F_d) - (15\times\frac{U}{U_{cr}}) - (2.5\times F_d\times X_6) + (11\times\frac{U}{U_{cr}}\times X_6)$$
$$- (3\times\frac{U}{U_{cr}}\times F_d) + (3.3\times X_6^2) + (0.019\times F_d{}^2) + (9.1\times(\frac{U}{U_{cr}})^2)$$

در مدل GMDH از یک شبکه سه لایه استفاده‌شده است به همین دلیل نیز رابطه ارائه‌شده دارای سه قسمت است که هر قسمت مربوط به یک‌لایه می‌باشد. در مدل GEP نیز از سه ژن استفاده‌شده است که با عملگر جمع به یکدیگر متصل می‌شوند. با توجه به رابطه ارائه‌شده توسط مدل GEP و شکل ۴ به‌راحتی می‌توان رابطه به‌دست‌آمده از هر ژن را مشخص نمود. شکل ۴ نیز بیان درختی معادل با رابطه ارائه‌شده توسط مدل GEP (رابطه ۱۰) را نمایش می‌دهد.

در این تحقیق علاوه بر تخمین مقادیر مشاهداتی و پس از اطمینان از توانایی مدل‌ها، به‌منظور پی بردن به اهمیت و تأثیرگذاری هر یک از پارامترهای ورودی، روابط ارائه‌شده توسط هر مدل مورد تجزیه تحلیل بیشتری قرارگرفته است. بدین ترتیب پس از به دست آمدن روابط ارائه‌شده توسط مدل‌ها، برای پی بردن به اهمیت هر پارامتر، ابتدا پارامتر مذکور را از ورودی‌های مدل حذف و سپس مدل‌سازی مجدداً انجام‌شده است. جدول ۳ و ۴، نتایج مربوط به آنالیز حساسیت هر دو مدل را نسبت به پارامترهای ورودی نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج جدول ۳ و ۴ می‌توان گفت که در مدل GMDH و GEP تأثیرگذارترین پارامتر نسبت (Lp/Lf) است. تأثیرگذاری پارامترها در قسمت آموزش و صحت‌سنجی در مدل GMDH با یکدیگر مطابقت بیشتری دارد به‌طوری‌که می‌توان گفت در هر دو قسمت آموزش و صحت سنجی پس از نسبت (Lp/Lf) به ترتیب پارامترهای(θ)، (Fd)، (U/Ucr) و (X/L_F) دارای اهمیت بیشتری هستند؛ این مسأله به نتایج صانعی (۲۵) که در پژوهش خود با تأکید بر اهمیت ابعاد آبشکن محافظ، نسبت L_P/L_F=0.5 و X/L_F=2 را پیشنهاد کرد، نزدیک است. ایشان بیان داشت با افزایش فاصله آبشکن محافظ مقدار آبشستگی افزایش پیدا می‌کند، افزایش طول آبشکن محافظ منجر به کاهش عمق آبشستگی شده است.

اما در مدل GEP این مطابقت در قسمت آموزش و صحت سنجی وجود ندارد و می‌توان استنباط کرد که مدل GMDH برای پی بردن به اهمیت پارامترهای ورودی قابل‌اعتمادتر می‌باشد. باصر و همکاران (۶) در تحقیقی از روش ANFIS جهت پیش‌بینی و بهینه‌سازی پارامترهای آبشستگی اطراف آبشکن استفاده کردند. ایشان بیان داشتند مزیت‌های اصلی استفاده از این روش، سرعت بالا، محاسبات مؤثر و همچنین قدرت سازگاری بالا با تکنیک‌های بهینه‌سازی را دارد.

با مقایسه مقادیر معیارهای ارزیابی مدل نسبت به پارامتر X/L_f (جدول ۲) با مقادیر جدول ۳ و۴ برای قسمت‌های آموزش و صحت سنجی مشاهده می‌شود که پارامتر (X/Lf) در مدل GMDH دارای کمترین اهمیت است درحالی‌که این پارامتر در مدل GEP دارای اهمیت بیشتری است. در واقع حساسیت مدل GMDH نسبت به مدل GEP در حالت حذف پارامتر X/L_f کمتر است.

جدول ۲- مقایسه نتایج حساسیت مدل‌های مختلف نسبت به پارامتر X/L_f

Table 2. Comparison of Different Models Sensitivity toward the X/L_f Parameter

Model		MAE	RMSE	NS
GMDH	X/L_f	۰/۰۶۳	۰/۰۷۸	۰/۸۰
	کل	۰/۰۵۴	۰/۰۶۴	۰/۸۷
	تغییرات (٪)	۱۶	۲۱	۸
GEP	X/L_f	۰/۰۸۶	۰/۱۰۹	۰/۶۳
	کل	۰/۰۷۳	۰/۰۸۷	۰/۷۶
	تغییرات (٪)	۱۸	۲۵	۱۷

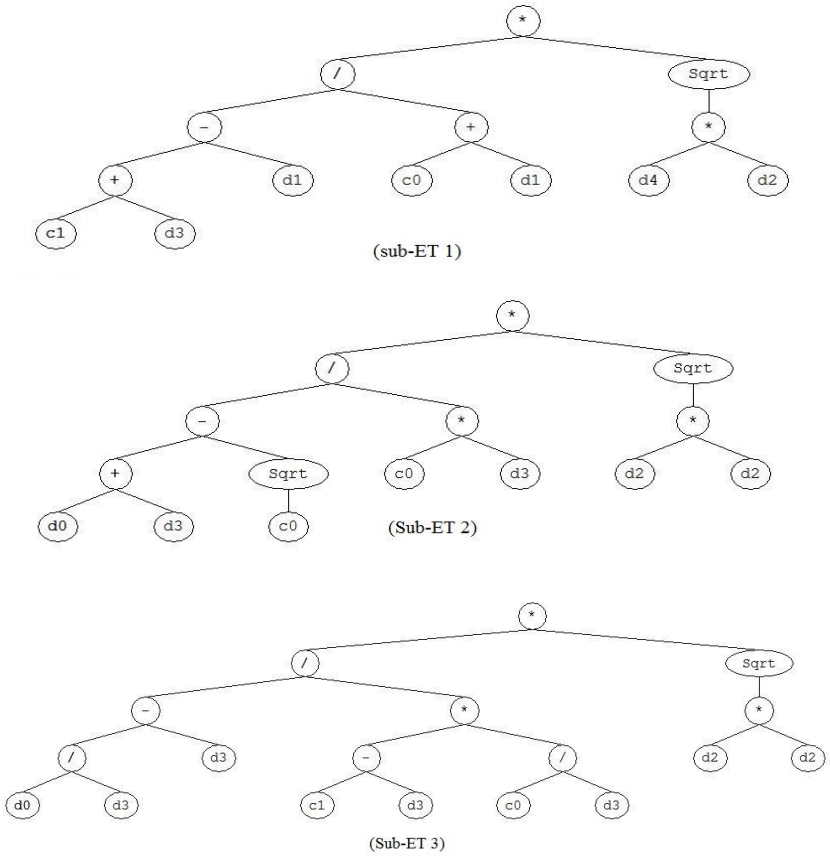
بنابراین با توجه به نتایج هر دو روش می‌توان نتیجه گرفت که تأثیرگذارترین پارامتر در تخمین درصد کاهش عمق آبشستگی اول توسط آبشکن محافظ، نسبت (Lp/Lf) می‌باشد. به‌طوری‌که با حذف این پارامتر از مدل‌ها مقادیر MAE و RMSE در مدل GMDH به ترتیب از مقادیر ۰/۰۴۵ و ۰/۰۶۱ به مقادیر ۰/۰۶۷ و ۰/۰۹۲ و در مدل GEP از مقادیر ۰/۰۶۳ و ۰/۰۸۶ به مقادیر ۰/۰۹۳ و ۰/۱۱۱ افزایش‌یافته است. علاوه بر این مقدار NS نیز در مدل GMDH از ۰/۷۵ به ۰/۴۳ و در مدل GEP از مقدار ۰/۵۱ به ۰/۱۸ کاهش‌یافته است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.16.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.194]

تحلیل آماری نتایج آزمایشگاهی مطالعات (۲۶) بر روی تأثیر آبشکن محافظ بر آبشکن‌های سری ۴تایی، نشان‌داد که افزایش نسبی آبشستگی با نسبت عمق آب بالادست به طول آبشکن محافظ و فاصله آن از اولین آبشکن نسبت مستقیم دارید. ولی افزایش نسبی طول آبشکن محافظ به اولین آبشکن نسبت معکوس دارد.

(۱۰)

$$\%Rsd = \left[\left(\frac{5.419+\theta-F_d}{5.159+F_d}\right)\times\sqrt{\frac{X}{L_f}\times\frac{L_p}{L_f}}\right]+\left[\left(\frac{\frac{U}{U_{cr}}+\theta-1.651}{2.729\times\theta}\right)\times\frac{L_p}{L_f}\right]+\left[\left(\frac{(\frac{U}{U_{cr}})-\theta^2}{2.044\times(5.419-\theta)}\right)\times\frac{L_p}{L_f}\right]$$



شکل ۴- بیان درختی معادل با رابطه ارائه‌شده توسط مدل GEP
Figure 4. Equivalent flowchart with the provided equation by GEP model

جدول ۳- نتایج مدل GMDH در قسمت آموزش و صحت سنجی با حذف پارامترهای مختلف
Table 3. GMDH Model Results In Training and Verification by Removing Different Parameters

GMDH	آموزش			صحت سنجی		
	MAE	RMSE	NS	MAE	RMSE	NS
در غیاب (u/ucr)	۰/۰۶۸	۰/۰۸۱	۰/۷۹	۰/۰۶۳	۰/۰۸۵	۰/۵۲
در غیاب(Fd)	۰/۰۷۹	۰/۱۰۱	۰/۶۷	۰/۰۵۷	۰/۰۷۸	۰/۵۹
در غیاب (Lp/Lf)	۰/۱۰۸	۰/۱۳۱	۰/۴۶	۰/۰۶۷	۰/۰۹۲	۰/۴۳
در غیاب(θ)	۰/۰۹۵	۰/۱۲۶	۰/۵	۰/۰۶۳	۰/۰۸۶	۰/۵
در غیاب (X/Lf)	۰/۰۶۳	۰/۰۷۸	۰/۸	۰/۰۵۹	۰/۰۷۴	۰/۶۳
کل	۰/۰۵۴	۰/۰۶۴	۰/۸۷	۰/۰۴۵	۰/۰۶۱	۰/۷۵

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.16.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.194]

جدول ۴- نتایج مدل GEP در قسمت آموزش و صحت سنجی با حذف پارامترهای مختلف
Table 4. GEP Model Results In Training and Verification by Removing Different Parameters

GEP	آموزش			صحت سنجی		
	MAE	RMSE	NS	MAE	RMSE	NS
در غیاب (u/ucr)	۰/۰۸۴	۰/۱۰۳	۰/۶۶	۰/۰۶۴	۰/۰۸۹	۰/۴۷
در غیاب (Fd)	۰/۱۰۷	۰/۱۳۴	۰/۴۳	۰/۰۶۶	۰/۰۹۱	۰/۴۵
در غیاب (Lp/Lf)	۰/۱۰۱	۰/۱۲۸	۰/۴۸	۰/۰۹۳	۰/۱۱۱	۰/۱۸
در غیاب (θ)	۰/۰۸۲	۰/۰۹۹	۰/۶۹	۰/۰۶۸	۰/۰۹۰	۰/۴۵
در غیاب (X/Lf)	۰/۰۸۶	۰/۱۰۹	۰/۶۳	۰/۰۷۳	۰/۰۹۵	۰/۴
کل	۰/۰۷۳	۰/۰۸۷	۰/۷۶	۰/۰۶۳	۰/۰۸۶	۰/۵۱

پارامترهای بررسی‌شده در این پژوهش شامل زاویه آبشکن محافظ نسبت به جهت جریان (θ)، طول آبشکن محافظ (Lp)، طول آبشکن اصلی (L_f)، فاصله از آبشکن اول (X)، شدت‌جریان (U/Ucr) و عدد فرود ذره (F_d) می‌باشند. بدین منظور از دو روش هوشمند GMDH و GEP استفاده گردید. صحت سنجی روش‌ها با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی بررسی و انجام شد. مقادیر MAE و RMSE در قسمت صحت سنجی در مدل GMDH نسبت به مدل GEP به ترتیب ۰/۰۱۸ و ۰/۰۲۵ کاهش و مقدار NS نیز ۰/۲۴ افزایش‌یافته است. خطای نسبی مدل GMDH در محدوده (۲۵+٪ و ۲۵-٪) می‌باشد و غالباً مقادیر کمتر از مقدار مشاهداتی تخمین زده‌شده‌اند. درصورتی‌که در مدل GEP مقادیر خطای نسبی در برخی پیش‌بینی‌ها بیش از ۲۵ درصد می‌باشد. با حذف پارامتر (Lp/Lf)، مقادیر MAE و RMSE نسبت به مدل قبلی در روش GMDH به ترتیب به میزان ۰/۰۲۲ و ۰/۰۳۱ و در روش GEP ۰/۰۳ و ۰/۰۲۵ افزایش‌یافته‌اند و مقدار NS نیز ۰/۳۲ در GMDH و ۰/۳۳ در GEP کاهش‌یافته است.

این روش‌ها علاوه بر آنالیز پارامترها درنهایت منجر به استخراج یک معادله کاربردی می‌گردند که می‌تواند جایگزین آزمایش‌ها پرهزینه شود. نتایج حاکی از دقت بالاتر روش GMDH نسبت به روش GEP می‌باشد. لذا با توجه به هر دو روش روابطی به‌منظور تخمین عمق آبشستگی پیشنهاد گردیده است. همچنین نتایج مربوط به آنالیز حساسیت در هر دو مدل حاکی از تأثیر بالای پارامتر (L_p/L_f) می‌باشد و پس‌ازآن پارامترهای (θ)، (F_d)، (U/Ucr) و (X/L_f) دارای اهمیت بیشتری هستند.

لذا با پی بردن به حساسیت بیشتر پارامتر (L_p/L_f) مشخص می‌گردد که در مطالعات و طراحی‌های مربوط به آبشکن‌های محافظ باید بیش‌ازپیش به این پارامتر دقت کرد تا بتوان حداکثر بهره‌برداری را از مجموعه آبشکن‌ها برد، همچنین اهمیت سایر پارامترها نیز باید در طراحی و مطالعات، با توجه و دقت نظر لحاظ گردد.

منابع

1. Abbasi, A.A. and M. Malek Nejad. 2012. Experimental study of the impact of direct permeable spur dike parameters and the T-shaped on the scouring around them. The Iranian Society of Irrigation and Water Engineering, 8: 95-107 (In Persian).
2. Bakhtiari, M., S.M. Kashefi Pour and M. Ghomshi. 2014. Provide criteria for riprap designed for use in protection of arc-shaped coastal design. Journal of Marine Science and Technology, 13(2): 81-90 (In Persian).
3. Bakhtiari, M., S.M. Kashefi pour and M. Ghomshi. 2016. Experimental investigation effect of riprap depth on its stability for protect spur dike in 90-degree bend for use in navigable rivers and gulf. Journal of Marine Science and Technology, 15(2): 1-19 (In Persian).
4. Brevis, W. 2009. Experimental investigation of the flow hydrodynamics in open channel dead zones. PhD thesis Universidad de chile.
5. Basic Design for Erosion Control in Streams and Channels Structures, No. 417.
6. Basser, H., S. Shamshirband, H. Karami, D. Petković, S. Akib and A. Jahangirzadeh. 2014. Adaptive neuro-fuzzy selection of the optimal parameters of protective spur dike. Natural hazards, 73(3): 1393-1404.
7. Dey, S. and A.K. Barbhuiya. 2005. ''Time variation of scour at Abutments'', J.Hydraulic Engineering, ASCE, 131(1): 11-23.
8. Eghbali P., R. Danshfraz and S.M. Saqbyan. 2013. Simulation of temporal development of scour around the abutment using gene expression programming. Water and Soil Science Journal, 23(1): 177-188 (In Persian).
9. Eivani, Z., M.M. Ahmadi and K. Ghaderi. 2016. Estimation of Suspended Sediment Load Concentration in River System using Group Method of Data Handling (gmdh). Journal of watershed management research, 7(13): 229-218.
10. Ferreira C. 2001. Gene expression programming a new adaptive algorithm for solving problems. Complex Systems, 13(2): 87-129.
11. Hossein Zadeh, M., A. Qaderi and K. Ahmadi. 2016. Modeling the relationship in the river using artificial neural networks (ANN) and Group method of data handling (GMDH), (Case study: Escoilkil River). Journal of Water and Soil Conservation, 23(2): 279-289 (In Persian).
12. Karam Zadeh, N., S.H. Mosavi, M. Shoshtari and M. Bajestan. 2015. Experimental investigation the effect of T shape spur dike nose angle on stability of riprap for apur dike protection on navigable river in 90 degree bend. Journal of Marine Science and Technology, 14(3): 72-85 (In Persian).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.16.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.194]

13. Karami, H. 2011. Effect of protective spur dike on reduction of local scour around spur dikes (experimental investigation). Doctoral Dissertation, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran.
14. Karami, H., A. Ardeshir, M. Saneie and S.A. Salamatian. 2012. Prediction of time variation of scour depth around spur dikes using neural networks. Journal of Hydroinformatics, 14(1): 180-191.
15. Karami, H., A. Ardeshir, M. Saneie, K. Behzadian and F. Jalilsani. 2008. Reduction of local scouring with protective spur dike. World Environmental and Water Resources Congress, Ahupua'a. 1-9.
16. Li, Y. and M. Altinakar. 2016. Effects of a Permeable Hydraulic Flashboard Spur Dike on Scour and Deposition. In World Environmental and Water Resources Congress, pp: 399-409.
17. Lodhi, A.S., R.K. Jain and P.K. Sharma. 2016. Influence of cohesion on scour around submerged dike founded in clay–sand–gravel mixtures. ISH Journal of Hydraulic Engineering, 22(1): 70-87.
18. McCoy, A., G. Constantinescu and L.J. Weber. 2008. Numerical investigation of flow hydrodynamics in a channel with a series of groynes. Journal of Hydraulic Engineering, 134(2): 157-172.
19. Najafzadeh, M., G.A. Barani and H.M. Azamathulla. 2013. GMDH to predict scour depth around a pier in cohesive soils. Applied Ocean Research, 40: 35-41.
20. Nayyer, Sh., S. Farzin, H. Karami and M. Rostami. 2017. Experimental study of the effect of spur dike's different shapes on time variation of scour depth around them. Irrigation and Drainage Structures Engineering Research. (DOI): 10.22092/IDSER.2017.114741.1238.
21. Pandey, M., Z. Ahmad and P.K. Sharma. 2015. Estimation of maximum scour depth near a spur dike. Canadian Journal of Civil Engineering, 43(3): 270-278.
22. Pournemat Roudsari, A., Qaderi, A., Karimi-Googhari, Sh. 2014. Rainfall Runoff Modeling using Group Method of Data Handling (GMDH) and Artificial Neural Network (ANN) IN In Polrood Basin. Journal of Watershed Management Research, 5(10): 68-74.
23. Rafat, A., GA. Barani and A. Rafat. 2014. Application and accuracy of Group method of data handling (GMDH) in the estimation of pier scouring and pipelines. The second International Congress of constructions, architecture and urban development, Tabriz, Permanent Secretariat of the International Congress of constructions, architecture and urban development (In Persian).
24. Sadat, S.H. and A. Tominaga. 2015. Optimal Distance between Pile-Group and Spur-Dike to Reduce Local Scour". Journal of Japan Society of Civil Engineers, 71(4): 187-192.
25. Saneie, M. 2010. Scour reduction by minor spur dike. Watershed Management Researches Journal (Pajouhesh and Sazandegi), 88:11-16
26. Saneie, M. 2010. Effect of minor spur dike on erosion reduction at first spur dike in fine material. Journal of Watershed Engineering and Management, 2(3): 179-185.
27. Sharzeie, G., M. Ahrari and H. Fakhraee. 2008. Water demand forecasting in Tehran using structural patterns, time series and neural network GMDH. Economic Research Journal, 43: 225-200 (In Persian).
28. Zhang, H., H. Nakagawa, K. Kawaike and B.A.B.A. Yasuyuki. 2009. Experiment and simulation of turbulent flow in local scour around a spur dyke. International Journal of Sediment Research, 24(1): 33-45.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.16.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.194]

Evaluating the Effect of Various Parameters of Protective Spur Dike on Scour Depth Reduction using Group Method of Data Handling (GMDH) and Gene Expression Programming (GEP)

Saeed Farzin[1], Hojat Karami[1], Reza Hajiabadi[2], Shahab Nayyer[3] and Seyed Mahmoud Hamzeh Ziabari[4]

1- Assistant Professor, Department of Water Engineering and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, (Corresponding Author: Saeed.farzin@semnan.ac.ir)
2- PhD Student of Water Engineering, Faculty of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran
3- PhD Student of Water Engineering and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Semnan University
4- PhD Student of Sea Structures, Faculty of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran
Received: November 27, 2017 Accepted: October 28, 2018

Abstract

Spur dikes are one of the common methods to protect rivers against erosion. Scouring around the spur dike is an important factor that can disorder the structural performance. Using protective spur dike is proper technique reduce the scour amount. In this research, the GMDH and GEP model used in order to evaluate and estimate the effect of various parameters of protective spur dike on scour depth around the main spur dike. Important parameters consist of protective spur dike angle (Ɵ), protective spur dike length (L_p), main spur dike length (L_f), distance from main spur dike (X), flow intensity ($\frac{U}{U_{cr}}$) and Froude number (F_r) are considered as the model inputs. Results of training set and testing set indicate that GMDH model is better than GEP model as the MAE and RMSE error in the testing set data are reduced from 0.063 and 0.086 (in GEP model) to 0.045 and 0.061 (in GMDH model) respectively. Also, the Nash-Sutcliffe criteria increased from 0.51 (in GEP model) to 0.75 (in GMDH model). In the following, using the GMDH and GEP models and according to the nature of the problems, the equations are suggested to predict the scour depth reduction in the first main spur dike. The results of sensitivity analysis indicate that the most effective parameter in decreasing the scour depth around the first main spur dike is ($\frac{L_p}{L_f}$).

Keywords: Scouring, Protective spur dike, Sensitivity analysis, Gene expression programming, Group method of data handling.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.16.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.194]