دانشکده مهندسی
گروه مهندسی عمران

عنوان پایان‌نامه:

کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی آبشستگی پایین‌دست سازه‌های کنترل شیب

مؤلف: حسین علیزاده

ارائه شده جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد
در رشته عمران گرایش سازه‌های هیدرولیکی

استاد راهنما: دکتر محمدرضا جعفرزاده

استاد مشاور: دکتر فرزاد شهابیان

شهریور ۸۸

بسم الله الرحمن الرحيم

پایان‌نامه حاضر تحت عنوان:

کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی آبشستگی پایین‌دست سازه‌های کنترل شیب

که توسط آقای حسین علیزاده تهیه و در تاریخ ۸۸/۶/۲۳ به هیأت داوران ارائه گردیده است، با نمره ۱۸/۷۵ مورد تأیید کمیته تحصیلات تکمیلی گروه مهندسی عمران دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد.

اعضای هیأت داوران:

نام و نام خانوادگی	هیأت داوران	مرتبه علمی	امضاء
۱- دکتر محمدرضا جعفرزاده	استاد راهنما	دانشیار	
۲- دکتر فرزاد شهابیان مقدم	استاد مشاور	دانشیار	
۳- دکتر جلیل ابریشمی	استاد مدعو	دانشیار	
۴- دکتر محمدرضا توکلی‌زاده	نماینده تحصیلات تکمیلی	استادیار	

تأییدیه

گواهی می‌شود این پایان‌نامه قبلاً برای احراز یک درجه علمی ارائه نشده و تمامی مطالب آن بجز مواردی که نام منبع ذکر گردیده است، نتیجه کار پژوهشی دانشجو می‌باشد.

امضاء دانشجو: حسین علیزاده تاریخ

امضاء استاد راهنما: دکتر محمدرضا جعفرزاده تاریخ

تقدیر و تشکر

پایان‌نامه حاضر به یاری ایزد یکتا و در سایه توجهات حضرت ثـامن الحجـج (ع) پـس از مـاه‌هـا تـلاش و مداومت تکمیل گردیده است.

بر خود لازم می‌دانم از صبر و بردباری و زحمات پدر و مادرم که مهمترین و اصلی‌ترین پـشتیبان مـن در این مرحله، بلکه در تمامی دوران تحصیلی‌ام بوده‌اند، صمیمانه تشکر کـنم. همچنـین شایـسته و سـزاوار است که از زحمات و راهنمایی‌های استاد ارجمند جناب آقای دکتر محمدرضا جعفرزاده به عنـوان اسـتاد راهنما و جناب آقای دکتر فرزاد شهابیان به عنوان استاد مشاور که با راهنمایی‌ها و نقطـه نظـرات ارزنـده خود مرا در این پایان‌نامه یاری کردند سپاسگزاری کنم. همچنـین از اسـاتید محتـرم آقـای دکتـر جلیـل ابریشمی، دکتر محمدباقر شریفی و دکتر سید محمـود حـسینی کـه در طـول دوره کارشناسـی ارشـد از محضرشان استفاده کردم، قدردانی می‌کنم. از دوستانم آقای مهندس محمدرضا فـلاح حقگـو و مهنـدس حمیدرضا تدین‌فر که نقش بسزایی در پیشبرد و انجام این پایان‌نامه داشـته‌انـد نهایـت سـپاس را بعمـل می‌آورم.

حسین علیزاده

شهریور ۸۸

چکیده:

سازه‌های کنترل شیب، از کاهش تراز اضافی بستر در کانال‌های آبرفتی که شیب زیادی دارند، جلوگیری می‌کنند. آبشستگی موضعی پایین‌دست سازه‌های کنترل شیب در بسترهای آبرفتی، پدیدهٔ پیچیده‌ای برحسب تخمین عمق فرسایش بیشینه می‌باشد. تعیین موقعیت و عمق آبشستگی، برای طراحی فونداسیون و جلوگیری از تخریب سازه ضروری می‌باشد. مهندسین هیدرولیک تلاش‌های زیادی برای ارتباط آبشستگی موضعی پایین‌دست سازه‌های کنترل شیب به فاکتورهای مختلف هیدرولیکی و مورفولوژیکی مثل دبی، ارتفاع ریزش، عرض سرریز، اندازهٔ متوسط ذرات بستر و دانسیتهٔ جرمی رسوبات انجام داده‌اند. محققین مختلفی در طی چند دههٔ گذشته، فرمول‌هایی تجربی مبتنی بر آزمایش و نیز مشاهدات نمونهٔ اصلی، به منظور پیش‌بینی آبشستگی پایین‌دست سازه‌های کنترل شیب، ارائه کرده‌اند. در این پایان‌نامه، از شبکه‌های عصبی مصنوعی ($ANNs$) به عنوان یکی از قدرتمندترین ابزارهای مهندسی، برای پیش‌بینی آبشستگی موضعی پایین‌دست سازه‌های کنترل شیب، استفاده شده است. چهار پارامتر بی‌بعد مهم شامل نسبت عمق بیشینه آبشستگی به ارتفاع سازه کنترل شیب (s/z)، نسبت فاصله عمق آبشستگی بیشینه به ارتفاع سازه (XS/z)، نسبت فاصلهٔ پشته تەنشین شده به ارتفاع سازه (XD/z) و نسبت ارتفاع بیشینه پشته تەنشین شده به ارتفاع سازه (h_d/z) با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی مدل شده‌اند. اندازه‌گیری‌های آبشستگی موجود در متون، برای برقراری مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی، استفاده شده‌اند. مدل‌های نهایی برای هر متغیر آبشستگی با فرمول‌های تجربی اخیر موجود در متون مربوط به آبشستگی پایین‌دست سازه‌های کنترل شیب، مقایسه شده‌اند. مقایسه خطاها و انحراف معیار خطا از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی با فرمول‌ها، برتری استفاده از این روش را بخوبی نشان داد.

کلمات کلیدی: سازه‌های کنترل شیب، شبکه‌های عصبی مصنوعی، مدل آبشستگی، پایداری سازه‌های هیدرولیکی

Abstract

Grade-control structures prevent excessive channel bed degradation in alluvial channels, where the general bed slop is high. The local scour downstream of a grade-control structure, located on an alluvial bed is a very complex phenomenon even in terms of estimating the potential maximum erosion depth. Determination of scour location and depth is necessary to design of foundation and to prevent destruction of structure. A number of attempts have been made to relate the local scour downstream of grade-control structures with various hydraulic and morphological factors, e.g., water discharge, fall height, weir with, median bed particle size and mass density of sediments. Various investigators over a period of several decades in the past have given empirical formulas based on laboratory as well as prototype observations in order to predict the scour downstream of a grade-control structure. However, these techniques may not be adequate in view of such complex phenomenon. In this thesis the local scour downstream of a grade-control structure has been modeled using a powerful engineering tool, i.e., Artificial Neural Networks (ANNs). Four important dimensionless parameters, including: the ratio of the maximum scour depth to the height of grade control structure (s/z), the ratio of distance of maximum scour from structure to the height of structure (XS/z), the ratio of distance of maximum deposit mound to the height of structure (XD/z) and the ratio of maximum height of deposit mound to the height of structure (h_d/z) have been modeled using ANNs. The scour measurements available in the literature were used to establish the ANNs models. The final models for each scour variable parameters have been compared with the recent experimental formulations in the literature, describing the scour downstream of grade control structures. The comparison of error indexes obtained from the neural network model and corresponding experimental formula, proved the satisfactory application of the model.

Key Words: Grade-Control Structures, Artificial Neural Networks, Scour Model, Hydraulic Structures Stability.

فهرست مطالب

۱- مقدمه ۱

۲- خلاصه ۲

فصل اول: سازه‌های کنترل شیب

۱- ۱- مقدمه ۴

۱- ۲- سازه‌های کنترل شیب ۵

۱- ۳- خلاصه ۸

فصل دوم: آبشستگی

۲- ۱- مقدمه ۱۰

۲- ۲- فرسایش و مفهوم آستانه حرکت ۱۰

۲- ۲- ۱- روش تنش بحرانی ۱۲

۲- ۲- ۱- ۱- دیاگرام شیلدز ۱۲

۲- ۲- ۲- روش سرعت بحرانی ۱۴

۲- ۲- ۳- تئوری رژیم ۱۵

۲- ۳- آبشستگی و انواع آن. ۱۵

۲- ۳- ۱- کلیات ۱۵

۲- ۳- ۲- آبشستگی عمومی ۱۶

۲- ۳- ۲- ۱- کاهش تراز کلی ۱۶

۲- ۳- ۲- ۲- آبشستگی تنگ‌شدگی ۱۷

۲- ۳- ۲- ۳- آبشستگی در خم‌ها ۱۷

۲- ۳- ۳- آبشستگی موضعی ۱۸

۲- ۳- ۴- انواع آبشستگی از نظر حمل رسوب ۱۹
۲- ۳- ۴- ۱- آبشستگی در حالت آب زلال ۱۹
۲- ۳- ۴- ۲- آبشستگی در حالت بستر فعال ۱۹
۲- ۳- ۵- مراحل مختلف آبشستگی ۲۰
۲- ۴- نتیجه‌گیری ۲۲

فصل سوم: آبشستگی پایین‌دست سازه‌های کنترل شیب

۳- ۱- مقدمه ۲۴
۳- ۲- طرح مسأله ۲۴
۳- ۳- بررسی رابطهٔ ارائه شده توسط بورمن و ژولین ۲۶
۳- ۳- ۱- خصوصیات جریان پایین‌دست سازه‌های کنترل شیب ۲۶
۳- ۳- ۲- مسیر حرکت جت ۲۸
۳- ۳- ۳- پخشیدگی جت ۲۹
۳- ۳- ۴- پایداری ذره ۳۰
۳- ۳- ۵- آزمایش‌های بزرگ مقیاس ۳۳
۳- ۳- ۶- نتایج بدست آمده از تحقیق بورمن و ژولین ۴۱
۳- ۴- بررسی روابط ارائه شده توسط دی‌آگوستینو و فرو ۴۲
۳- ۴- ۱- خودتشابهی برای پدیدهٔ آبشستگی ۴۲
۳- ۴- ۲- مجموعه داده‌های آزمایشگاهی مورد استفاده برای کالیبراسیون معادلات پیشنهادی ۴۵
۳- ۴- ۳- عمق آبشستگی بیشینه: تحلیل مجموعه داده‌ها و معادلات پیش‌بینی ۵۱
۳- ۴- ۴- آزمایش معادلات پیشنهاد شده برای محاسبهٔ عمق آبشستگی بیشینه ۵۴
۳- ۴- ۵- موقعیت آبشستگی بیشینه ۵۹
۳- ۴- ۶-پشتهٔ ته‌نشین شده ۶۰
۳- ۴- ۷- نتایج حاصل از تحقیق دی‌آگوستینو و فرو ۶۳

فصل چهارم: شبکه‌های عصبی مصنوعی

۴- ۱- مقدمه ۶۶

۴- ۲- تاریخچهٔ شبکه‌های عصبی مصنوعی ۶۷
۴- ۳- شبکه‌های عصبی زیستی ۶۹
۴- ۴- شبکه‌های عصبی مصنوعی ۷۰
۴- ۴- ۱- کاربردهای شبکه‌های عصبی مصنوعی ۷۱
۴- ۴- ۲ مدل ریاضی نرون ۷۲
۴- ۴- ۳- انواع توابع محرک ۷۳
۴- ۴- ۴- یادگیری شبکه عصبی مصنوعی ۷۵
۴- ۴- ۵- توقف آموزش ۷۶
۴- ۴- ۶- معرفی شبکه‌های عصبی مورد استفاده ۷۷
۴- ۴- ۷- کاربردهای شبکه MLP ۸۰
۴- ۴- ۸- نحوهٔ عملکرد شبکه در پردازش اطلاعات ۸۰
۴- ۴- ۹- الگوریتم پس‌انتشار خطا ۸۱
۴- ۴- ۱۰- الگوریتم آموزش پرسپترون چند لایه ۸۳
۴- ۴- ۱۱- مشکلات پرسپترون چند لایه ۸۴
۴- ۵- خلاصه ۸۵

فصل پنجم: کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی آبشستگی پایین‌دست سازه‌های کنترل شیب

۵- ۱- مقدمه ۸۷
۵- ۲- کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی آبشستگی
پایین‌دست سازه‌های کنترل شیب ۸۷
۵- ۲- ۱- مجموعه داده‌های استفاده شده برای تحلیل بوسیلهٔ شبکه‌های عصبی ۸۹
۵- ۳- پارامترهای آماری صحت‌سنجی مدل ۹۰
۵- ۴- تحلیل شبکه‌های عصبی و نتایج حاصل ۹۱
۵- ۴- ۱- عمق آبشستگی بیشینه S ۹۱
۵- ۴- ۲- موقعیت عمق آبشستگی بیشینه XS ۹۹
۵- ۴- ۳- فاصلهٔ افقی بین تاج سرریز و تاج پشتهٔ ته‌نشین شده XD ۱۰۶

۵- ۴- ۴- ارتفاع پشتهٔ ته‌نشین شده h_d ۱۱۳
۵- ۵- نتیجه‌گیری ۱۲۰

فصل ششم: نتایج و پیشنهادات

۶- ۱- نتایج ۱۲۲
۶- ۲- پیشنهادات..... ۱۲۳

۳- بخش ضمیمه ۱۲۶
۴- فهرست مراجع ۱۵۴

فهرست اشکال

شکل (۱-۱) سازه کنترل شیب الوار چوبی ۶

شکل (۱-۲) شیب‌شکن سپرفلزی ۷

شکل (۱-۳) آستانه شیب‌دار ۸

شکل (۲-۱) دیاگرام شیلدز برای آستانه حرکت ۱۴

شکل (۲-۲) عمیق شدن اضافه بستر در خم رودخانه ۱۸

شکل (۲-۳) عمق آبشستگی به عنوان تابعی از زمان ۲۰

شکل (۲-۴) توسعه فرآیند آبشستگی ۲۱

شکل (۳-۱) طرح آبشستگی در بستر آبرفتی پایین‌دست سازه کنترل شیب ۲۵

شکل (۳-۲) طرح آبشستگی پایین‌دست سازه‌های کنترل شیب (بورمن و ژولین (۱۹۹۱)) ۲۷

شکل (۳-۳) مسیر جت آزاد ۲۹

شکل (۳-۴) طرح کانال پایه‌دار آزمایشی بزرگ مقیاس ۳۴

شکل (۳-۵) کانال پایه‌دار در جریان کم ۳۵

شکل (۳-۶) کانال پایه‌دار آزمایشی با عمق آبشستگی تقریباً ۲ متر ۳۵

شکل (۳-۷) مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده زاویهٔ جت β' ۳۸

شکل (۳-۸) مقایسهٔ مقادیر محاسبه شده و اندازه‌گیری شدهٔ طول پخشیدگی L_s ۳۹

شکل (۳-۹) مقایسهٔ مقادیر محاسبه شده و اندازه‌گیری شدهٔ عمق آبشستگی D_s ۴۰

شکل (۳-۱۰) طرح آبشستگی بستر پایین‌دست سازه کنترل شیب (دی‌آگوستینو و فرو ۲۰۰۴) ۴۲

شکل (۳-۱۱) نمایی از آبشستگی در طی انجام آزمایش و رسیدن به حالت تعادل آبشستگی ۴۸

شکل (۳-۱۲) مقایسه بین عمق آبشستگی نرمال شده اندازه‌گیری شده s/z و مقادیر
محاسبه شده از معادله (۳-۳۲) ۵۳

شکل (۳-۱۳) مقایسه بین عمق آبشستگی نرمال شده اندازه‌گیری شده s/z و مقادیر
محاسبه شده از معادله (۳-۳۳) ۵۳

شکل (۳-۱۴) مقایسه بین مجموعه داده‌های جدول (۳-۸) تا (۳-۱۱) بین مقادیر
اندازه‌گیری شده و محاسبه شده از فرمول‌های (۳-۳)، (۳-۳۲) و(۳-۳۳) ۵۸
شکل (۳-۱۵) مقایسه مقادیر گروه‌های بی‌بعد اندازه‌گیری شده XS/z و مقادیر
محاسبه شده از معادله (۳-۳۴) ۶۰
شکل (۳-۱۶) توزیع فراوانی پارامتر XS/s برای آزمایشات بورمن و ژولین (۱۹۹۱)،
دی‌آگوستینو (۱۹۹۴)، موسی (۱۹۹۸) ۶۰
شکل (۳-۱۷) مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده از معادله (۳-۳۵)
برای گروه بی‌بعد XD/z ۶۱
شکل (۳-۱۸) مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده از معادله (۳-۳۶)
برای گروه بی‌بعد h_D/z ۶۲
شکل (۳-۱۹) توزیع فراوانی پارامتر XD/XS برای داده‌های دی‌آگوستینو (۱۹۹۴) ۶۲
شکل (۳-۲۰) بیشترین طول تلماسه XD در مقابل بیشترین عمق آبشستگی برای
داده‌های دی‌آگوستینو (۱۹۹۴) ۶۳
شکل (۴-۱) ساختمان یک نرون ۶۹
شکل (۴-۲) مدل ریاضی نرون ۷۲
شکل (۴-۳) تابع محرک خطی ۷۳
شکل (۴-۴) تابع محرک محدود کنندهٔ سخت متقارن ۷۳
شکل (۴-۵) تابع محرک سیگموئید ۷۴
شکل (۴-۶) تابع محرک تانژانت هیپربولیک ۷۴
شکل (۴-۷) شبکه پرسپترون چند لایه *(MLP)* ۷۹
شکل (۵-۱) طرح آبشستگی پایین‌دست سازهٔ کنترل شیب ۸۸
شکل (۵-۲) منحنی تغییرات میانگین خطای داده‌های آموزش و آزمون برحسب تعداد چرخه‌های
آموزشی (*Epoch*) به ازای ۷ نرون در لایهٔ پنهان با تابع محرک سیگموئید برای متغیر s/z ۹۲
شکل (۵-۳) منحنی تغییرات میانگین خطای داده‌های آموزش و آزمون برحسب تعداد نرون‌های
لایهٔ پنهان برای ۱۰۰ چرخه آموزشی با تابع محرک سیگموئید برای متغیر s/z ۹۳
شکل (۵-۴) مقایسهٔ مقادیر تولید شده و اندازه‌گیری شده متغیر s/z برای شبکه عصبی با ۷ نرون
لایه پنهان با تابع محرک سیگموئید و ۱۰۰ چرخه آموزشی به ازای داده‌های آموزش و آزمون ۹۴

شکل (۵-۵) معماری مدل شبکه عصبی برای متغیر s/z ۹۵
شکل (۵-۶) مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده از شبکه عصبی برای متغیر s/z به ازای داده‌های تست ۹۶
شکل (۵-۷) مقادیر واقعی و مقادیر تولید شده از معادلهٔ (۳-۳) برای متغیر s/z به ازای داده‌های تست ۹۶
شکل (۵-۸) مقادیر واقعی و مقادیر تولید شده از معادلهٔ (۳-۳۲) برای متغیر s/z به ازای داده‌های تست ۹۷
شکل (۵-۹) مقادیر واقعی و مقادیر تولید شده از معادلهٔ (۳-۳۳) برای متغیر s/z به ازای داده‌های تست ۹۷
شکل (۵-۱۰) مقایسه خطای تولید شده از روش‌های مختلف به ازای داده‌های تست برای متغیر s/z ۹۸
شکل (۵-۱۱) منحنی تغییرات میانگین خطای داده‌های آموزش و آزمون برحسب تعداد چرخه‌های آموزشی ($Epoch$) به ازای ۵ نرون در لایهٔ پنهان با تابع محرک سیگموئید برای متغیر XS/z ۹۹
شکل (۵-۱۲) منحنی تغییرات میانگین خطای داده‌های آموزش و آزمون برحسب تعداد نرون‌های لایهٔ پنهان برای ۳۰۰ چرخه آموزشی با تابع محرک سیگموئید برای متغیر XS/z ۱۰۰
شکل (۵-۱۳) مقایسهٔ مقادیر تولید شده و اندازه‌گیری شده متغیر XS/z برای شبکه عصبی با ۵ نرون لایه پنهان با تابع محرک سیگموئید و ۳۰۰ چرخه آموزشی به ازای داده‌های آموزش و آزمون ۱۰۱
شکل (۵-۱۴) معماری مدل شبکه عصبی برای متغیر XS/z ۱۰۲
شکل (۵-۱۵) مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده از شبکه عصبی برای متغیر XS/z به ازای داده‌های تست ۱۰۳
شکل (۵-۱۶) مقادیر واقعی و مقادیر تولید شده از معادلهٔ (۳-۳۴) برای متغیر XS/z به ازای داده‌های تست ۱۰۳
شکل (۵-۱۷) مقایسه نتایج شبکه عصبی و مقادیر محاسبه شده از رابطه (۳-۳۴) با مقادیر اندازه‌گیری شده برای متغیر XS/z ۱۰۴
شکل (۵-۱۸) مقایسه خطای تولید شده از روش‌های مختلف به ازای داده‌های تست برای متغیر XS/z ۱۰۵

شکل (۵-۱۹) منحنی تغییرات میانگین خطای داده‌های آموزش و آزمون برحسب تعداد چرخه‌های آموزشی ($Epoch$) به ازای ۶ نرون در لایهٔ پنهان با تابع محرک سیگموئید برای متغیر XD/z ۱۰۶
شکل (۵-۲۰) منحنی تغییرات میانگین خطای داده‌های آموزش و آزمون برحسب تعداد نرون‌های لایهٔ پنهان برای ۳۰۰ چرخهٔ آموزشی با تابع محرک سیگموئید برای متغیر XD/z ۱۰۷
شکل (۵-۲۱) مقایسهٔ مقادیر تولید شده و اندازه‌گیری شدهٔ متغیر XD/z برای شبکه عصبی با ۶ نرون لایه پنهان با تابع محرک سیگموئید و ۳۰۰ چرخه آموزشی به ازای داده‌های آموزش و آزمون ۱۰۸
شکل (۵-۲۲) معماری مدل شبکه عصبی برای متغیر XD/z ۱۰۹
شکل (۵-۲۳) مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده از شبکه عصبی برای متغیر XD/z به ازای داده‌های تست ۱۱۰
شکل (۵-۲۴) مقادیر واقعی و مقادیر تولید شده از معادلهٔ (۳-۳۵) برای متغیر XD/z به ازای داده‌های تست ۱۱۰
شکل (۵-۲۵) مقایسه نتایج شبکه عصبی و مقادیر محاسبه شده از رابطه (۳-۳۵) با مقادیر اندازه‌گیری شده برای متغیر XD/z ۱۱۱
شکل (۵-۲۶) مقایسه خطای تولید شده از روش‌های مختلف به ازای داده‌های تست برای متغیر XD/z ۱۱۲
شکل (۵-۲۷) منحنی تغییرات میانگین خطای داده‌های آموزش و آزمون برحسب تعداد چرخه‌های آموزشی ($Epoch$) به ازای ۶ نرون در لایه پنهان با تابع محرک سیگموئید برای متغیر h_d/z ۱۱۳
شکل (۵-۲۸) منحنی تغییرات میانگین خطای داده‌های آموزش و آزمون برحسب تعداد نرون‌های لایه پنهان برای ۱۰۰ چرخهٔ آموزشی با تابع محرک سیگموئید برای متغیر h_d/z ۱۱۴
شکل (۵-۲۹) مقایسه مقادیر تولید شده و اندازه‌گیری شده متغیر h_d/z برای شبکه عصبی با ۶ نرون لایه پنهان با تابع محرک سیگموئید و ۱۰۰ چرخه آموزشی به ازای داده‌های آموزش و آزمون ۱۱۵
شکل (۵-۳۰) معماری مدل شبکه عصبی برای متغیر h_d/z ۱۱۶
شکل (۵-۳۱) مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده از شبکه عصبی برای متغیر h_d/z به ازای داده‌های تست ۱۱۷
شکل (۵-۳۲) مقادیر واقعی و مقادیر تولید شده از معادله (۳-۳۶) برای متغیر h_d/z به ازای داده‌های تست ۱۱۷

شکل (۵-۳۳) مقایسه نتایج شبکه عصبی و مقادیر محاسبه شده از رابطه (۳-۳۶) با مقادیر اندازه‌گیری شده برای متغیر h_d/z ۱۱۸
شکل (۵-۳۴) مقایسه خطای تولید شده از روش‌های مختلف به ازای داده‌های تست برای متغیر h_d/z ۱۱۹

فهرست جداول

جدول (۳-۱) پارامترهای ضریب اصطکاک موضعی ۳۱

جدول (۳-۲) خلاصهٔ معادلات آبشستگی موضعی ۳۳

جدول (۳-۳) خلاصهٔ داده‌های آزمایشی ۳۶

جدول (۳-۴) داده‌های آزمایشگاهی ورونس (۱۹۳۷) ۴۶

جدول (۳-۵) داده‌های آزمایشگاهی موسی (۱۹۹۸) ۴۷

جدول (۳-۶) داده‌های آزمایشگاهی دی‌آگوستینو (۱۹۹۴) ۴۹

جدول (۳-۷) ماتریس همبستگی آزمایشات ورونس (۱۹۳۷)، بورمن و ژولین (۱۹۹۱)،
دی‌آگوستینو (۱۹۹۴) و موسی (۱۹۹۸) ۵۲

جدول (۳-۸) داده‌های تجربی آبراههٔ میسیاگا ۵۵

جدول (۳-۹) داده‌های تجربی *(Falciai and Giacomin 1978)* ۵۶

جدول (۳-۱۰) داده‌های تجربی لنزی و همکاران (۲۰۰۰) ۵۶

جدول (۳-۱۱) داده‌های تجربی ورونس (۱۹۳۷)، شیممی (۱۹۳۹) و ویتاکر و شیلدز (۱۹۸۴) ۵۷

جدول (۵-۱) مقایسه عملکرد شبکه‌های عصبی با ۷ نرون در لایه پنهان با توابع محرک
متفاوت برای متغیر s/z ۹۳

جدول (۵-۲) مقایسه خطای روش‌های مختلف با استفاده از تحلیل آماری برای متغیر s/z
به ازای داده‌های تست ۹۸

جدول (۵-۳) مقایسه عملکرد شبکه‌های عصبی با ۵ نرون در لایه پنهان با توابع محرک
متفاوت برای متغیر XS/z ۱۰۰

جدول (۵-۴) مقایسه خطای روش‌های مختلف با استفاده از تحلیل آماری برای متغیر XS/z
به ازای داده‌های تست ۱۰۵

جدول (۵-۵) مقایسه عملکرد شبکه‌های عصبی با ۶ نرون در لایه پنهان با توابع محرک
متفاوت برای متغیر XD/z ۱۰۷

جدول (۵-۶) مقایسه خطای روش‌های مختلف با استفاده از تحلیل آماری برای متغیر XD/z به ازای داده‌های تست ۱۱۲
جدول (۵-۷) مقایسه عملکرد شبکه‌های عصبی با ۶ نرون در لایه پنهان با توابع محرک متفاوت برای متغیر h_d/z ۱۱۴
جدول (۵-۸) مقایسه خطای روش‌های مختلف با استفاده از تحلیل آماری برای متغیر h_d/z به ازای داده‌های تست ۱۱۹

بخش ضمیمه

جدول ۱ مجموعه داده‌های استفاده شده به عنوان پارامترهای ورودی و خروجی به شبکه‌های عصبی برای همهٔ متغیرهای $(h_d/d, XD/z, XS/z, s/z)$ ۱۲۶
جدول ۲ داده‌های آموزشی همهٔ متغیرها $(h_d/d, XD/z, XS/z, s/z)$ ۱۳۱
جدول ۳ داده‌های آزمون همهٔ متغیرها $(h_d/d, XD/z, XS/z, s/z)$ ۱۳۴
جدول ۴ داده‌های تست همهٔ متغیرها $(h_d/d, XD/z, XS/z, s/z)$ ۱۳۵
جدول ۵ مقایسه عملکرد شبکه‌های عصبی با ۷ نرون در لایه پنهان با توابع محرک متفاوت برای متغیر s/z به ازای داده‌های آموزش ۱۳۶
جدول ۶ مقایسه عملکرد شبکه‌های عصبی با ۷ نرون در لایه پنهان با توابع محرک متفاوت برای متغیر s/z به ازای داده‌های آزمون ۱۳۹
جدول ۷ مقایسه مقادیر واقعی با مقادیر شبکه عصبی و معادلات (۳-۳)، (۳-۳۲) و (۳-۳۳) به ازای داده‌های تست برای متغیر s/z ۱۴۰
جدول ۸ مقایسه عملکرد شبکه‌های عصبی با ۵ نرون در لایه پنهان با توابع محرک متفاوت برای متغیر XS/z به ازای داده‌های آموزش ۱۴۱
جدول ۹ مقایسه عملکرد شبکه‌های عصبی با ۵ نرون در لایه پنهان با توابع محرک متفاوت برای متغیر XS/z به ازای داده‌های آزمون ۱۴۳
جدول ۱۰ مقایسه مقادیر واقعی با مقادیر شبکه عصبی و معادلهٔ (۳-۳۴) به ازای داده‌های تست برای متغیر XS/z ۱۴۴
جدول ۱۱ مقایسه عملکرد شبکه‌های عصبی با ۶ نرون در لایه پنهان با توابع محرک متفاوت برای متغیر XD/z به ازای داده‌های آموزش ۱۴۵

جدول ۱۲ مقایسه عملکرد شبکه‌های عصبی با ۶ نرون در لایه پنهان با توابع محرک متفاوت برای متغیر XD/z به ازای داده‌های آزمون ۱۴۷
جدول ۱۳ مقایسه مقادیر واقعی با مقادیر شبکه عصبی و معادلهٔ (۳-۳۵) به ازای داده‌های تست برای متغیر XD/z ۱۴۸
جدول ۱۴ مقایسه عملکرد شبکه‌های عصبی با ۶ نرون در لایه پنهان با توابع محرک متفاوت برای متغیر h_d/z به ازای داده‌های آموزش ۱۴۹
جدول ۱۵ مقایسه عملکرد شبکه‌های عصبی با ۶ نرون در لایه پنهان با توابع محرک متفاوت برای متغیر h_d/z به ازای داده‌های آزمون ۱۵۱
جدول ۱۶ مقایسه مقادیر واقعی با مقادیر شبکه عصبی و معادلهٔ (۳-۳۶) به ازای داده‌های تست برای متغیر h_d/z ۱۵۲

۱- مقدمه

سازه‌های کنترل شیب، از کاهش تراز اضافی بستر در کانال‌های آبرفتی که شیب زیادی دارند، جلوگیری می‌کنند. آبشستگی موضعی پایین‌دست سازه‌های کنترل شیب در بسترهای آبرفتی، پدیدهٔ پیچیده‌ای برحسب تخمین عمق فرسایش بیشینه می‌باشد. تعیین موقعیت و عمق آبشستگی، برای طراحی فونداسیون و جلوگیری از تخریب سازه ضروری می‌باشد. طراحی مناسب سازه‌های کنترل شیب، مستلزم تخمین درست آبشستگی پایین‌دست می‌باشد.

مهندسین هیدرولیک تلاش‌های زیادی برای ارتباط آبشستگی موضعی پایین‌دست سازه‌های کنترل شیب به فاکتورهای مختلف هیدرولیکی و مورفولوژیکی مثل دبی، ارتفاع ریزش، عرض سرریز، اندازهٔ متوسط ذرات بستر و دانسیتهٔ جرمی رسوبات انجام داده‌اند. محققین مختلفی در طی چند دههٔ گذشته، فرمول‌هایی تجربی مبتنی بر آزمایش و نیز مشاهدات نمونهٔ اصلی، به منظور پیش‌بینی آبشستگی پایین‌دست سازه‌های کنترل شیب، ارائه کرده‌اند.

در سالیان اخیر، شاهد حرکت مستمری از تحقیقات صرفاً نظری به تحقیقات کاربردی بخصوص در زمینهٔ پردازش اطلاعات، برای مسائلی که برای آنها راه‌حلی موجود نیست و یا براحتی قابل حل نیستند هستیم. تأثیر پارامترهای بسیار زیاد در برخی فرآیندهای فیزیکی و وجود روابط کاملاً غیرخطی میان آنها، بر پیچیدگی کار می‌افزاید. از جملهٔ این مسائل روش‌هایی است که برای تخمین آبشستگی به کار می‌روند. شبکه‌های عصبی مصنوعی ($ANNs$)، جزء سیستم‌های دینامیکی قرار دارند، که با پردازش روی داده‌های تجربی، دانش نهفته یا قانون نهفته در ورای داده‌ها را به ساختار منتقل می‌کنند.

در این پایان‌نامه، از شبکه‌های عصبی مصنوعی به عنوان یکی از قدرتمندترین ابزارهای مهندسی، برای پیش‌بینی آبشستگی موضعی پایین‌دست سازه‌های کنترل شیب، استفاده شده است.