

بررسی عوامل آبخستگی موضعی زیر خطوط لوله با استفاده از الگوریتم‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی

محمد پورمیرزا^۱ و امیرعباس کمان بدست^{۲*}

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۵/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۵/۲۰)

چکیده

یکی از مهم‌ترین عوامل آسیب و خرابی لوله‌ها، وقوع آبخستگی موضعی است، بنابراین طراحی مطمئن و اقتصادی لوله‌ها که در مسیر جریان قرار می‌گیرند، مستلزم تخمین مناسبی از میزان تأثیر عوامل مؤثر بر آبخستگی زیر لوله است. در این پژوهش بر اساس پارامترهای مهم و اثرگذار در پدیده آبخستگی و بر اساس داده‌های به دست آمده در آزمایشگاه دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، مدل‌هایی بر مبنای شبکه‌های عصبی مصنوعی با استفاده از نرم‌افزار NeuroSolution5 ایجاد شد که در این تحقیق از سه مدل MLP، GFF و RBF استفاده شد و پس از مقایسه این سه مدل با یکدیگر، مدل MLP محور بررسی‌ها قرار گرفت. در نهایت با استفاده از تکنیک شبکه‌های عصبی مصنوعی میزان تأثیر هر کدام از پارامترهای مؤثر بر آبخستگی مشخص شد که بر اساس آن، پارامتر شیلدز با تأثیری بسیار زیاد (بیش از ۹۵ درصد)، یکی از مؤثرترین عوامل در آبخستگی موضعی در این پژوهش است.

واژه‌های کلیدی: آبخستگی، شبکه عصبی مصنوعی، نرم افزار NeuroSolution5، مدل پرسپترون چندلایه (MLP)، پارامتر شیلدز

۱. گروه مهندسی عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز

۲. گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Ka57_amir@yahoo.com

مقدمه

با توسعه صنایع فراساحلی و انتقال، پیشرفت زیادی در مطالعه پدیده آبشستگی اطراف سازه‌های دریایی صورت گرفته است که از مهم‌ترین این سازه‌ها، خط لوله است که نقش مهمی در انتقال مواد نفتی و آب و فاضلاب بین سکوها در دریایی و ساحل و غیره دارد. پیش بینی ابعاد حفره آبشستگی زیر خطوط لوله یکی از مهم‌ترین و مشکل‌ترین مراحل در طراحی خطوط لوله است.

لوله‌های انتقال چون در معرض جریان یک‌سویه و جذرومدی قرار می‌گیرند، الگوی جریان را در اطراف خود تغییر می‌دهند (شکل ۱). عوامل محیطی زیادی در تغییر الگوی جریان اطراف خطوط لوله دخالت دارند که باعث افزایش آشفستگی در اطراف لوله می‌شوند و حفره آبشستگی در زیر لوله را ایجاد می‌کنند. یکی از مهم‌ترین عوامل آسیب و خرابی لوله‌ها وقوع آبشستگی موضعی است. آبشستگی موضعی باعث جدایی خط لوله از بستر می‌شود و در نتیجه فضای خالی نسبتاً بزرگی بین بستر و خط لوله به وجود می‌آید. در این حالت دهانه آزاد خط لوله به مرور گسترش یافته که ممکن است بارهای نوسانی ناشی از گردابه‌ها باعث خستگی و در نهایت گسیختگی آن شوند. حفره آبشستگی ایجاد شده توسط جریان یک‌سویه که حداکثر عمق آبشستگی آن نیز در پایین دست محور لوله قرار دارد بسیار نامتقارن است (۵). با این حال، در طبیعت بسته به جهت‌گیری خط لوله، جریان معکوس جذرومدی یا برگشت رسوبات شسته شده، می‌توان حفره آبشستگی عریض (بزرگ‌تر از قطر لوله) و نسبتاً متقارن را مشاهده کرد. وقتی که خط لوله به داخل حفره فرو می‌رود فرسایش در زیر لوله تشدید و عمق حفره باز هم بیشتر می‌شود و این روند تا جایی ادامه پیدا می‌کند که بالاترین قسمت لوله هم‌تراز بستر می‌شود از این لحظه به بعد تحت شرایط جریان جزرومدی امکان دارد که خط لوله به‌طور خودبه‌خود دفن شود طراحی خطوط لوله اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند و

همچنین طراحی مطمئن و اقتصادی لوله‌ها که در مسیر جریان قرار می‌گیرند مستلزم تخمین مناسبی از حداکثر عمق آبشستگی زیر لوله و همچنین میزان تأثیر عوامل مؤثر بر آن است (۱۲). در این پژوهش آنالیز حساسیت عوامل مؤثر بر آبشستگی به کمک شبکه عصبی مصنوعی انجام می‌گیرد تا بتوان ضمن بررسی تأثیر هر کدام، مؤثرترین عامل در آبشستگی زیر خطوط لوله تعیین شود.

شبکه عصبی یک نوع سیستم هوش مصنوعی است که از روی سلول‌های عصبی موجودات زنده شبیه‌سازی می‌شود و در یادگیری، پردازش و به‌خاطر سپاری اطلاعات، روش مغز انسان را تقلید می‌کند. البته برخی از ساختارهای شبکه عصبی کاملاً شبیه مغز نیست. شبکه عصبی مصنوعی یک ساختار ریاضی است که ترکیبات غیرخطی به‌منظور ارتباط بین ورودی‌ها و خروجی‌های هر سیستمی را برقرار می‌سازد و با ساختاری کاملاً موازی اطلاعات را پردازش می‌کند. هر شبکه ابتدا طی مرحله یادگیری، آموزش می‌بیند و پس از مراحل تست و واسنجی برای کاربرد در آینده استفاده می‌شود.

مدل‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی در مورد فرایندهایی که تعریف دقیق و درک خاصی از آنها وجود ندارد، بسیار مؤثر عمل می‌کنند. ویژگی دیگر این مدل‌ها که آنها را نسبت به سایر مدل‌ها متمایز می‌کند، حساسیت کمتر آنها نسبت به وجود خطا در ورودی‌هاست که این به علت پردازش توزیعی اطلاعات در این مدل‌هاست. این دو ویژگی سبب افزایش رویکرد به این مدل‌ها در فرایندهای هیدرولوژیکی شده است، چرا که عوامل مؤثر در فرایندهای هیدرولوژیکی بسیار متنوع است و اعمال کلیه آنها در مدل‌های طراحی شده بسیار مشکل بوده و مسئله را پیچیده می‌کند. همچنین وجود خطا در اندازه‌گیری‌های هیدرولوژیکی اجتناب‌ناپذیر است.

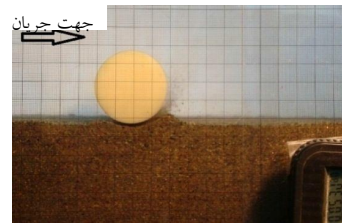
کیجولدسن و همکاران پژوهشی را درباره آبشستگی ایجاد شده در اطراف خطوط لوله ناشی از جریان یک‌سویه انجام و رابطه تجربی (۱) را برای محاسبه عمق آبشستگی در زیر خطوط لوله ارائه دادند:

شیشه‌سازی کردند. همچنین مشاهده کردند که هرچه ماسه از نظر دانه‌بندی غیر یکنواخت‌تر باشد، به‌علت تشکیل لایه سنگ فرش در داخل حفره آبشستگی، عمق آبشستگی به‌میزان زیادی کاهش می‌یابد (۳). پژوهش‌ها برای آبشستگی در حالت موج به دلیل اینکه سازه‌های در معرض موج به‌تازگی به‌کار گرفته شد و دیرتر با خرابی‌ها و آسیب‌های ناشی از آبشستگی موج مواجه شدیم، کمی دیرتر انجام شده است و افراد کمتری در این راستا قدم برداشته‌اند که موسوی و همکارانش (۱۳) و لیسو و وانگ (۹)، دوغان و اریسوی (۴) و ژانگ و شی (۱۶) از جمله افرادی بودند که آبشستگی را برای حالتی که خط لوله در معرض موج است، در حالت بستر فعال بررسی کردند.

آبشستگی محلی اطراف لوله‌های دریایی حاصل فرایندهای فیزیکی مختلفی است که شامل اندرکنش سه گانه بستر-سازه-جریان است (۱۴)، لذا از پیچیدگی زیادی برخوردار هستند که می‌بایست تمام پارامترهایی را که در این اندرکنش اثرگذار هستند را مدنظر قرار بدهیم تا بتوانیم پیش بینی خوبی از این پدیده و عمق تعادلی آبشستگی داشته باشیم.

بنابراین باید به‌دنبال روش‌هایی برویم که بتواند اثر تمامی پارامترهای مؤثر را دخیل کند و همچنین خطای کمتری نسبت به فرمول‌های تجربی، آزمایشگاهی داشته باشد. در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های محاسباتی نرم مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی بسیاری از پدیده‌ها به‌کار گرفته می‌شود.

در رابطه با بررسی میزان آبشستگی در اطراف خطوط لوله دریایی پژوهش‌های زیادی صورت گرفته اما تعیین میزان تأثیر هر کدام از پارامترهای مؤثر بر آبشستگی تفاوت عمده این پژوهش با موارد مشابه قبلی است. در پژوهش حاضر ابتدا فرایند آبشستگی زیر خطوط لوله بررسی شد، سپس بر اساس پارامترهای مهم در اندرکنش سه‌گانه جریان-خط لوله-بستر که از مطالعات آزمایشگاهی به‌دست آمده است، مدل‌هایی بر مبنای



شکل ۱. شروع آبشستگی زیر لوله

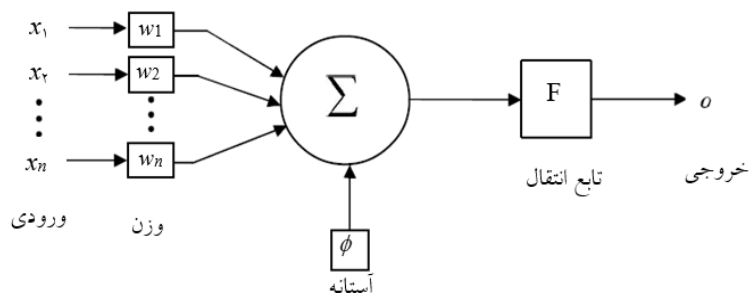
$$S = 0.972 \left(\frac{V^2}{2g} \right)^{0.2} D^{0.8} \quad (1)$$

که در آن S عمق آبشستگی، D قطر لوله و V سرعت جریان هستند. رابطه (۱) برای شرایطی است که خط لوله به‌صورت افقی و بدون فاصله روی بستر قرار گرفته باشد و می‌توان مشاهده کرد که عمق آبشستگی فقط به سرعت جریان و قطر لوله بستگی دارد و اثر عمق جریان و اندازه دانه مواد رسوبی منظور نشده است. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که شرط بستر زنده در این آزمایش‌ها حاکم بوده است پس عمق آبشستگی محاسبه شده با رابطه (۱) کوچک‌تر از حالتی خواهد بود که شرایط آب زلال بر آن حاکم است. نتیجه‌ای که از رابطه (۲) به‌دست می‌آید این است که عمق بی‌بعد آبشستگی $\left(\frac{d_s}{D} \right)$ متناسب است با $\theta^{0.2}$:

$$\frac{d_s}{D} = 0.972 \theta^{0.2} \quad \text{for } \theta > \theta_{cr} \quad (2)$$

که θ پارامتر پایداری (شیلدز) و θ_{cr} مقدار بحرانی پارامتر پایداری برای شروع حرکت رسوب روی بستر است (۶).

برهمند و جاعل آزمایش‌های گسترده‌ای را در یک فلوم مستطیلی با شیب متغیر، مصالح بستر ماسه‌ای و لوله‌هایی با قطرهای مختلف و فواصل متغیر نسبت به کف انجام دادند و با استفاده از رگرسیون چندمتغیره غیرخطی، معادلاتی را برای محاسبه عمق آبشستگی در زیر لوله و همچنین طول حفره ایجاد شده، به‌دست آوردند (۱). دی و سینگ آزمایش‌های زیادی روی آبشستگی زیر خطوط لوله خوابانیده شده روی بستر در شرایط آب صاف و جریان ماندگار با استفاده از رسوبات یکنواخت و غیریکنواخت انجام دادند و پروفیل آبشستگی را توسط یک چندجمله‌ای درجه سه



شکل ۲. نمونه یک نورون یا پرسپترون

از تابع سیگموئید استفاده می‌شود.

$$F(A) = \frac{1}{1 + e^{-A}} \quad (۴)$$

آموزش شبکه انتشار برگشتی

تربیت شبکه با الگوریتم انتشار برگشتی نیاز به گام‌هایی دارد که در زیر توضیح داده می‌شود:

۱- یک زوج آموزشی را از دسته آموزشی انتخاب می‌کنیم و جزء مربوط به ورودی (بردار ورودی) از زوج آموزشی را به عنوان ورودی برای شبکه به کار می‌بریم.

۲- خروجی شبکه را محاسبه می‌کنیم.

۳- خطای بین خروجی شبکه و خروجی دلخواه (بردار هدف از زوج آموزشی) را محاسبه می‌کنیم.

۴- وزن‌های شبکه را به روشی تنظیم می‌کنیم که خطا به حداقل برسد.

۵- گام‌های یک تا چهار را برای هر بردار در دسته آموزشی تکرار می‌کنیم تا خطا برای کل دسته به گونه‌ای قابل قبول کاهش یابد.

با ارائه هر مجموعه اطلاعات به شبکه، وزن‌ها اصلاح می‌شوند. وقتی تمام مجموعه اطلاعات به شبکه داده شد، می‌گوییم یک Epoch تکمیل شده است و دوباره اطلاعات از اول به شبکه داده می‌شود. برای آموزش حتی یک شبکه ساده ممکن است تعداد اپوک‌های زیادی لازم باشد (۷).

انتخاب تعداد نورون‌های لایه مخفی

تعداد نورون‌های لایه پنهان نیز یکی از پارامترهای مهم

شبکه‌های عصبی مصنوعی تعریف شد. در نهایت با استفاده از تکنیک شبکه‌های عصبی مصنوعی، میزان تأثیر هر کدام از پارامترهای مؤثر بر آبهستگی بررسی و به موجب آن شبکه بهبود و بهترین شبکه انتخاب شد.

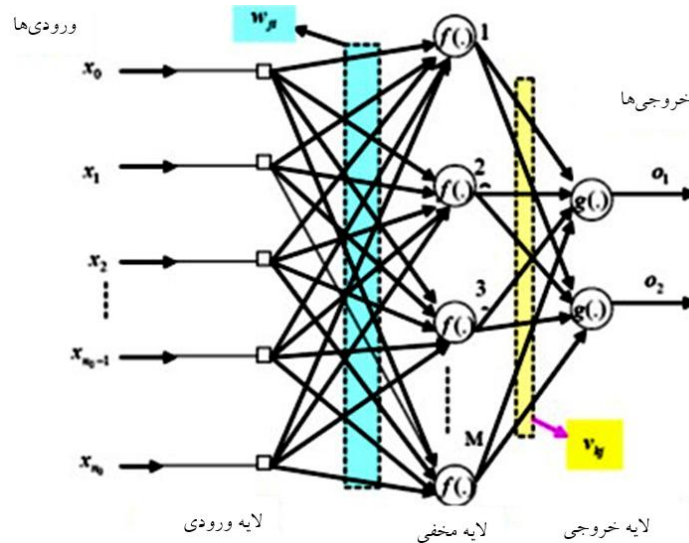
مواد و روش‌ها

ساختار کلی شبکه‌های عصبی

در شکل‌گیری علم شبکه‌های عصبی مصنوعی از شبکه‌های عصبی بیولوژیکی الهام گرفته شده است. سیستم عصبی انسان از واحدهایی با نام سلول عصبی تشکیل شده و دارای پیچیدگی‌های حیرت‌انگیزی است. برآورد شده است که 10^{11} سلول عصبی شاید در 10^{15} ارتباط داخلی در طول مسیرهای انتقالی شرکت کند که این مسیرها ممکن است در حدود یک متر و یا بیشتر طول داشته باشند. به عبارت دیگر، هر سلول عصبی تقریباً با 10^4 سلول عصبی دیگر در ارتباط است (۱۰). هدف شبکه عصبی تقلید از نورون‌های سیستم عصبی انسان است که این کار با اتصال تعداد زیادی از پردازشگرها موسوم به نورون‌های مصنوعی یا گره‌ها انجام می‌شود. هر نورون یا پرسپترون واحد پردازش و محاسباتی مستقلی به‌شمار می‌رود که به صورت شکل (۲) کار می‌کند.

$$o = F\left[\sum (x_1 w_1 + x_2 w_2 + x_3 w_3 + \dots) - \phi\right] \quad (۳)$$

که o مقدار خروجی نورون، x_1, x_2, x_3, \dots مقادیر ورودی نورون، w_1, w_2, w_3, \dots وزن‌های ورودی نورون، ϕ مقدار آستانه نورون و F تابع انتقال است که معمولاً



شکل ۳. نمایی از یک پرسپترون چندلایه

MAE = خطای میانگین مطلق، $r =$ ضریب همبستگی، $ds_i =$ آبهستگی مشاهده شده، $ds_{obs} =$ آبهستگی تخمینی و $\bar{ds} =$ میانگین آبهستگی مشاهداتی است.

که در این صورت بهینه‌ترین شبکه حالتی است که خطای کمتر باشد یا اینکه تعداد نورون‌ها در محدوده خطای حداقل قرار گیرد یعنی مدلی که دارای ضریب همبستگی نزدیک‌تر به یک و جذر میانگین مربع خطا و خطای میانگین مطلق کمتری باشد که این شرایط در بخش بعدی نشان داده می‌شود (۱۵).

همان طور که می‌دانیم پدیده آبهستگی نتیجه اندرکش تمامی این پدیده‌هاست بنابراین مسلماً این فرمول‌ها در تخمین عمق آبهستگی دارای خطا هستند، بنابراین روش‌های نرم هم در بهترین حالاتی که به بهترین شکل آموزش دیده باشند نیز دارای خطا هستند که ما به دنبال شبکه‌ای هستیم که دارای کمترین مقدار خطا باشد.

پرسپترون چندلایه یکی از متداول‌ترین انواع شبکه‌های عصبی به‌شمار می‌روند که در شکل (۳) پرسپترون چندلایه ساده که از لایه‌های ورودی، پنهان و خروجی تشکیل شده است، نشان داده شده است.

شبکه انتشار برگشتی است که هیچ‌گونه قاعده کلی برای تخمین آن وجود ندارد. تعداد نورون‌های لایه پنهان (p) را می‌توان با مساوی قرار دادن معادلات موجود در شبکه و تعداد مجهولات (وزن‌ها) به دست آورد. این استدلال منتهی به رابطه زیر می‌شود:

$$(n+1)p + m(p+1) = mq \quad (5)$$

n : تعداد متغیرهای ورودی

m : تعداد متغیرهای خروجی

q : تعداد جفت‌های آموزشی شبکه

روش دیگر انتخاب تعداد نورون‌های لایه مخفی، استفاده از مقادیر ضریب همبستگی r و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و خطای میانگین مطلق (MAE) است که در زیر آمده است:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (ds_i - ds_{obs})^2} \quad (6)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |ds_i - ds_{obs}| \quad (7)$$

$$r = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (ds_i - ds_{obs})^2}{\sum_{i=1}^n (ds_i - \bar{ds})^2}} \quad (8)$$

$$w_s = \frac{9/81}{18g} (G_s - 1) d_{50}^2 \quad (12)$$

$$u_* = \sqrt{(g \cdot y \cdot s)} \quad (13)$$

θ : لزجت سینماتیکی

G_s : نسبت چگالی دانه رسوبی به چگالی آب

d_{50} : قطر متوسط ذرات رسوب

g : شتاب ثقل

y : عمق جریان

s : شیب بستر

مشخصات جریان

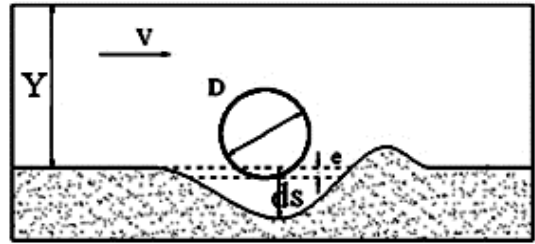
در این آزمایش درحالی که دبی جریان ۳ لیتر بر ثانیه باشد، عمق جریان ۰/۰۹۵ متر و سرعت جریان ۰/۰۶۶ متر بر ثانیه است. درحالی که دبی جریان ۶/۸ لیتر بر ثانیه باشد، عمق جریان ۰/۱۲۱ متر و سرعت جریان ۰/۱۱۸ متر بر ثانیه است و درحالی که دبی جریان ۷/۴ لیتر بر ثانیه باشد، عمق جریان ۰/۱۲۵ متر و سرعت جریان نیز ۰/۱۲۵ متر بر ثانیه است. در تمام آزمایش‌ها میزان لزجت سینماتیکی 10^{-6} مترمربع بر ثانیه در نظر گرفته شده است.

مشخصات ذرات رسوبی بستر

بستر کانال با رسوبات غیرچسبنده با قطر متوسط ۱/۶ میلی‌متر پر شده است. انحراف معیار هندسی ذرات انتخاب شده برای رسوبات استفاده شده برابر با ۱/۴۳ در نظر گرفته شده است. همچنین میزان نسبت بی‌بعد چگالی ذرات رسوبی به چگالی آب ۲/۷ لحاظ شده است.

نحوه انجام آزمایش‌ها

در این پژوهش در مجموع ۱۸ حالت آزمایش انجام گرفته که هر کدام سه بار تکرار شده و نتایج آزمایش‌ها در پژوهش حاضر ارائه شده است. برای ماله‌کشی روی ذرات بستر و مسطح کردن آن، از تراز بنایی برای اطمینان از مسطح بودن بستر (نبودن شیب عرضی و طولی به غیر از



شکل ۴. نمایش متغیرهای به کار رفته در پژوهش

پارامترهای بی‌بعد به کار گرفته شده در پدیده آبشستگی

پارامترهای مؤثر در پدیده آبشستگی که در این پروژه استفاده می‌شوند شامل موارد زیر هستند که در ادامه به توضیح تک تک آنها می‌پردازیم (شکل ۴):

۱- عدد رینولدز لوله (Re)

$$Re = \frac{V_m D}{\nu} \quad (9)$$

که در آن V_m بیشینه سرعت جریان، D قطر لوله و ν لزجت سینماتیکی هستند.

۲- نسبت بی‌بعد فاصله اولیه لوله از بستر به قطر لوله

$$\left(\frac{e}{D} \right) \text{ که } e \text{ فاصله اولیه لوله از بستر و } D \text{ قطر لوله است.}$$

۳- پارامتر شیلدز (θ) (۱۴)

$$\theta = \frac{y \cdot s}{(G_s - 1) d_{50}} \quad (10)$$

y : عمق جریان

s : شیب بستر

G_s : نسبت چگالی دانه رسوبی به چگالی آب

d_{50} : قطر متوسط ذرات رسوب

۴- رینولدز رسوبات (Re_s)

$$Re_s = \frac{V_m \cdot d_{50}}{\nu} \quad (11)$$

که در آن V_m بیشینه سرعت جریان، d_{50} قطر متوسط ذرات رسوب و ν لزجت سینماتیکی هستند.

۵- نسبت بی‌بعد سرعت سقوط ذرات به سرعت

$$\left(\frac{w_s}{u_*} \right) \text{ برشی بستر}$$



شکل ۵. تصاویری از انجام آزمایش‌های مختلف و برداشت داده‌های مورد نیاز

میان‌ی لوله است) آبستگي در طول خط لوله، پیش‌روی می‌کند تا این‌که گودال نسبتاً بزرگی در زیر لوله شکل گرفته و هم‌زمان با شکل‌گیری گودال آب‌کنند، تپه‌ای ماسه‌ای در پایین‌دست لوله ایجاد می‌شود. بعد از حدود ۱۰ دقیقه از شروع آزمایش (بسته به قطر لوله) تقریباً تغییرات عمق گودال بسیار کم می‌شود و رفته رفته تپه ماسه شسته و تا حدودی از شیب آن کاسته می‌شود. زمان پایان آزمایش پس از خاتمه آبستگي و ثبات در انتقال ذرات است. پس از اتمام آزمایش دریچه انتهایی کانال بسته و جریان ورودی به کانال متوقف می‌شود و در حالت استغراق کامل بستر نسبت به اندازه‌گیری عمق آبستگي و توپوگرافی بستر اقدام می‌شود.

بحث و نتایج

داده‌های مورد استفاده در شبکه‌های عصبی

به‌منظور ایجاد و ساخت الگوهای آموزشی، داده‌های مرتب شده در مرحله پیش‌پردازش که با استفاده از مدل فیزیکی و انجام آزمایش‌ها در فلوم آزمایشگاه دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز به دست آمده است (شکل ۵)، در کنار یکدیگر قرار داده شدند. از کل نمونه‌ها و

شیب مورد نیاز) استفاده شده است. پس از اطمینان از مسطح بودن بستر مرحله آبگیری آغاز می‌شود. به دلیل اینکه هنگام پر کردن کانال جریان متغیر تدریجی با عمق کم و سرعت بالا در کانال ایجاد و سبب آبستگي غیر واقعی زیاد در زیر لوله می‌شود؛ در نتیجه بعد از مسطح کردن بستر، ابتدا دریچه انتهایی فلوم را بسته و با دبی بسیار پایین نسبت به آبگیری کانال اقدام و پس از آن لوله‌ها روی بستر قرار داده می‌شود. سعی بر آن شده است تا دبی آب ورودی به کانال در حدی باشد که سبب جابه‌جا شدن ذرات بستر نشود. پس از نصب لوله در محل مورد نظر پمپ آب را روشن کرده و فلکه جریان را تا رسیدن به دبی مورد نظر باز کرده و به تدریج دریچه انتهایی کانال باز می‌شود تا عمق آب در کانال به ارتفاع مطلوب برسد. پس از تثبیت جریان و رسیدن به عمق و دبی مورد نظر، آزمایش آغاز می‌شود. با شروع آزمایش ابتدا پس از وقوع پدیده رگاب در زیر خط لوله مخلوطی از ماسه و آب از زیر لوله به بیرون پرتاب می‌شود. با ایجاد اولین حفره، فرسایش نسبتاً شدیدی در زیر لوله رخ داده و به تدریج بستر زیر لوله شسته و زیر لوله خالی می‌شود. با خالی شدن زیر لوله (که عمده‌تاً نقطه شروع آبستگي نقطه

جدول ۱. داده‌های مربوط به آبشستگی زیر خطوط لوله

پارامتر خروجی ds/D	پارامتر رینولدز رسوب	پارامتر رینولدز لوله	پارامتر Ws/u	پارامتر Shields	پارامتر e/D	فاصله لوله از روی بستر e (سانتی‌متر)	دبی جریان (لیتر بر ثانیه)	قطر لوله‌ها D (سانتی‌متر)
۰/۵۶۷	۱۰۵/۶	۱۹۸۰	۴۴/۷۵	۰/۱۰۴۸	۰	۰	۳	
۰/۵۳۳	۱۰۵/۶	۱۹۸۰	۴۴/۷۵	۰/۱۰۴۸	۰	۰	۶/۸	
۰/۵۶۷	۱۰۵/۶	۱۹۸۰	۴۴/۷۵	۰/۱۰۴۸	۰	۰	۷/۴	
۰/۷۶۷	۱۸۸/۸	۳۵۴۰	۴۰/۲	۰/۱۳۳۴	۰	۰	۳	
۰/۸۳۳	۱۸۸/۸	۳۵۴۰	۴۰/۲	۰/۱۳۳۴	۰	۰	۶/۸	۳
۰/۸۳۳	۱۸۸/۸	۳۵۴۰	۴۰/۲	۰/۱۳۳۴	۰	۰	۷/۴	
۱/۲۰۰	۲۰۰	۳۷۵۰	۳۹/۵۳	۰/۱۳۷۹	۰	۰	۳	
۱/۱۶۷	۲۰۰	۳۷۵۰	۳۹/۵۳	۰/۱۳۷۹	۰	۰	۶/۸	
۱/۲۶۷	۲۰۰	۳۷۵۰	۳۹/۵۳	۰/۱۳۷۹	۰	۰	۷/۴	
۰/۶۰۰	۱۰۵/۶	۲۶۴۰	۴۴/۷۵	۰/۱۰۴۸	۰	۰	۳	
۰/۶۰۰	۱۰۵/۶	۲۶۴۰	۴۴/۷۵	۰/۱۰۴۸	۰	۰	۶/۸	
۰/۶۰۰	۱۰۵/۶	۲۶۴۰	۴۴/۷۵	۰/۱۰۴۸	۰	۰	۷/۴	
۰/۷۵۷	۱۸۸/۸	۴۷۲۰	۴۰/۲	۰/۱۳۳۴	۰	۰	۳	
۰/۴۷۵	۱۸۸/۸	۴۷۲۰	۴۰/۲	۰/۱۳۳۴	۰	۰	۶/۸	۴
۰/۵۵۰	۱۸۸/۸	۴۷۲۰	۴۰/۲	۰/۱۳۳۴	۰	۰	۷/۴	
۰/۹۰۰	۲۰۰	۵۰۰۰	۳۹/۵۳	۰/۱۳۷۹	۰	۰	۳	
۰/۸۵۰	۲۰۰	۵۰۰۰	۳۹/۵۳	۰/۱۳۷۹	۰	۰	۶/۸	
۰/۸۷۵	۲۰۰	۵۰۰۰	۳۹/۵۳	۰/۱۳۷۹	۰	۰	۷/۴	
۰/۲۸۰	۱۰۵/۶	۳۳۰۰	۴۴/۷۵	۰/۱۰۴۸	۰	۰	۳	
۰/۳۰۰	۱۰۵/۶	۳۳۰۰	۴۴/۷۵	۰/۱۰۴۸	۰	۰	۶/۸	
۰/۳۲۰	۱۰۵/۶	۳۳۰۰	۴۴/۷۵	۰/۱۰۴۸	۰	۰	۷/۴	
۰/۵۴۰	۱۸۸/۸	۵۹۰۰	۴۰/۲	۰/۱۳۳۴	۰	۰	۳	
۰/۵۴۰	۱۸۸/۸	۵۹۰۰	۴۰/۲	۰/۱۳۳۴	۰	۰	۶/۸	۵
۰/۵۲۰	۱۸۸/۸	۵۹۰۰	۴۰/۲	۰/۱۳۳۴	۰	۰	۷/۴	
۰/۶۰۰	۲۰۰	۶۲۵۰	۳۹/۵۳	۰/۱۳۷۹	۰	۰	۳	
۰/۶۲۰	۲۰۰	۶۲۵۰	۳۹/۵۳	۰/۱۳۷۹	۰	۰	۶/۸	
۰/۶۰۰	۲۰۰	۶۲۵۰	۳۹/۵۳	۰/۱۳۷۹	۰	۰	۷/۴	
۰/۵۰۰	۱۰۵/۶	۱۹۸۰	۴۴/۷۵	۰/۱۰۴۸	۰/۳۳	۱	۳	
۰/۵۰۰	۱۰۵/۶	۱۹۸۰	۴۴/۷۵	۰/۱۰۴۸	۰/۳۳	۱	۶/۸	
۰/۵۰۰	۱۰۵/۶	۱۹۸۰	۴۴/۷۵	۰/۱۰۴۸	۰/۳۳	۱	۷/۴	
۰/۷۰۰	۱۸۸/۸	۳۵۴۰	۴۰/۲	۰/۱۳۳۴	۰/۳۳	۱	۳	
۰/۷۶۷	۱۸۸/۸	۳۵۴۰	۴۰/۲	۰/۱۳۳۴	۰/۳۳	۱	۶/۸	۳
۰/۷۰۰	۱۸۸/۸	۳۵۴۰	۴۰/۲	۰/۱۳۳۴	۰/۳۳	۱	۷/۴	
۱/۱۰۰	۲۰۰	۳۷۵۰	۳۹/۵۳	۰/۱۳۷۹	۰/۳۳	۱	۳	
۱/۱۳۳	۲۰۰	۳۷۵۰	۳۹/۵۳	۰/۱۳۷۹	۰/۳۳	۱	۶/۸	
۱/۱۶۷	۲۰۰	۳۷۵۰	۳۹/۵۳	۰/۱۳۷۹	۰/۳۳	۱	۷/۴	

ادامه جدول ۱.

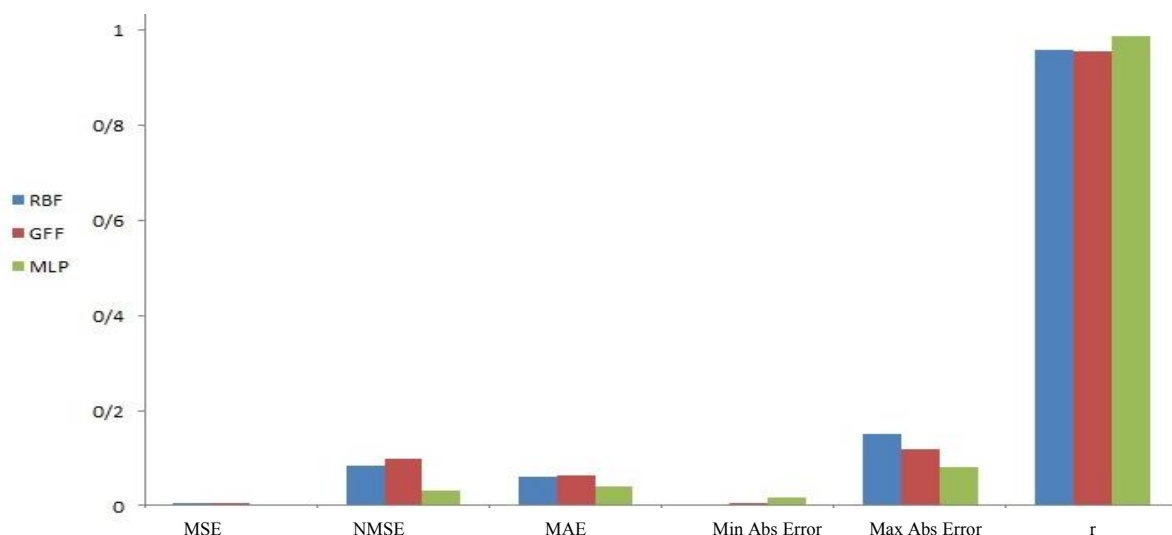
قطر لوله ها D (سانتی متر)	دبی جریان (لیتر بر ثانیه)	فاصله لوله از روی بستر e (سانتی متر)	پارامتر e/D	پارامتر Shields	پارامتر Ws/u	پارامتر رینولدز لوله	پارامتر رینولدز رسوب	پارامتر خروجی ds/D
	۳	۱	۰/۲۵	۰/۱۰۴۸	۴۴/۷۵	۲۶۴۰	۱۰۵/۶	۰/۶۵۰
	۶/۸	۱	۰/۲۵	۰/۱۰۴۸	۴۴/۷۵	۲۶۴۰	۱۰۵/۶	۰/۶۰۰
	۷/۴	۱	۰/۲۵	۰/۱۰۴۸	۴۴/۷۵	۲۶۴۰	۱۰۵/۶	۰/۵۷۵
	۳	۱	۰/۲۵	۰/۱۳۳۴	۴۰/۲	۴۷۲۰	۱۸۸/۸	۰/۵۲۵
۴	۶/۸	۱	۰/۲۵	۰/۱۳۳۴	۴۰/۲	۴۷۲۰	۱۸۸/۸	۰/۵۷۵
	۷/۴	۱	۰/۲۵	۰/۱۳۳۴	۴۰/۲	۴۷۲۰	۱۸۸/۸	۰/۴۷۵
	۳	۱	۰/۲۵	۰/۱۳۷۹	۳۹/۵۳	۵۰۰۰	۲۰۰	۰/۹۰۰
	۶/۸	۱	۰/۲۵	۰/۱۳۷۹	۳۹/۵۳	۵۰۰۰	۲۰۰	۰/۸۲۵
	۷/۴	۱	۰/۲۵	۰/۱۳۷۹	۳۹/۵۳	۵۰۰۰	۲۰۰	۰/۸۰۰
	۳	۱	۰/۲	۰/۱۰۴۸	۴۴/۷۵	۳۳۰۰	۱۰۵/۶	۰/۳۰۰
	۶/۸	۱	۰/۲	۰/۱۰۴۸	۴۴/۷۵	۳۳۰۰	۱۰۵/۶	۰/۳۲۰
	۷/۴	۱	۰/۲	۰/۱۰۴۸	۴۴/۷۵	۳۳۰۰	۱۰۵/۶	۰/۳۲۰
	۳	۱	۰/۲	۰/۱۳۳۴	۴۰/۲	۵۹۰۰	۱۸۸/۸	۰/۵۲۰
۵	۶/۸	۱	۰/۲	۰/۱۳۳۴	۴۰/۲	۵۹۰۰	۱۸۸/۸	۰/۵۸۰
	۷/۴	۱	۰/۲	۰/۱۳۳۴	۴۰/۲	۵۹۰۰	۱۸۸/۸	۰/۴۸۰
	۳	۱	۰/۲	۰/۱۳۷۹	۳۹/۵۳	۶۲۵۰	۲۰۰	۰/۶۴۰
	۶/۸	۱	۰/۲	۰/۱۳۷۹	۳۹/۵۳	۶۲۵۰	۲۰۰	۰/۶۴۰
	۷/۴	۱	۰/۲	۰/۱۳۷۹	۳۹/۵۳	۶۲۵۰	۲۰۰	۰/۵۸۰

جدول ۲. مقایسه شاخص های آماری از سه مدل MLP، RBF و GFF

شاخص	عمق آبخستگی به قطر لوله مدل MLP	عمق آبخستگی به قطر لوله مدل GFF	عمق آبخستگی به قطر لوله مدل RBF
MSE	۰/۰۰۲۳۳۸۵۹۶	۰/۰۰۵۷۴۷۸۷۶	۰/۰۰۵۵۳۴۵۳۷
NMSE	۰/۰۳۲۷۷۹۱۲۱	۰/۰۹۹۱۹۷۵۰۸	۰/۰۸۴۰۶۸۹۷۸
MAE	۰/۰۴۱۷۴۲۴۶۳	۰/۰۶۵۱۵۳۱۷۲	۰/۰۵۹۹۶۲۹۹۳
Min Abs Error	۰/۰۱۶۱۱۵۷۶۳	۰/۰۰۵۲۱۴۲۱۹	۰/۰۰۳۰۵۷۵۴۹
Max Abs Error	۰/۰۸۰۳۱۷۰۵۱	۰/۱۲۰۴۸۴۴۹۴	۰/۱۵۰۵۸۹۵۸۰
r	۰/۹۸۷۳۶۵۷۴۳	۰/۹۵۵۴۲۹۶۰۹	۰/۹۵۷۱۵۴۱۴۰

همزمان با آموزش (۸ داده) و ۱۵ درصد باقی مانده نیز برای تست مدل ها (۸ داده) انتخاب و استفاده شد که داده های استفاده شده در این پژوهش در جدول (۱) آورده شده است.

سناریوهای انجام آزمایش (۵۴ داده)، تعداد الگوهای مطلوب به منظور آموزش، ارزیابی همزمان با آموزش و تست مدل ها که حدود ۷۰ درصد الگوها به منظور آموزش مدل ها (۳۸ داده)، حدود ۱۵ درصد الگوها برای ارزیابی



شکل ۶. مقایسه شاخص‌های آماری سه مدل MLP، RBF و GFF

جدول ۳. مشخصات شبکه MLP کالیبره شده

شبکه پرسپترون چندلایه		
۱	تعداد لایه مخفی	
لايه خروجی	لايه مخفی	
Step	Momentum	الگوریتم آموزش
Linear Tanh Axon	Linear Tanh Axon	تابع انتقال
۴	بهترین تعداد نورون لایه مخفی	
۸۹۲	بهترین تعداد تکرار	

انتخاب انواع توابع محرک و الگوی آموزشی

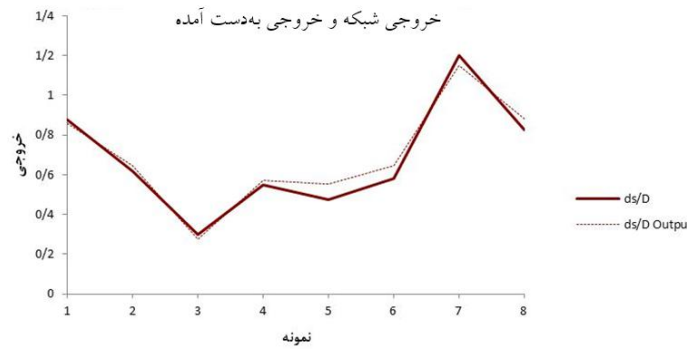
تابع محرک f می‌تواند خطی یا غیرخطی باشد. یک تابع محرک بر اساس نیاز خاص در حل مسئله‌ای که قرار است به وسیله شبکه عصبی حل شود، انتخاب می‌شود. در عمل تعداد محدودی از توابع محرک استفاده می‌شوند. در مدل‌های شبکه عصبی به کار برده شده در این مقاله پس از بررسی تمام حالت‌های موجود در شبکه‌های MLP، RBF و GFF، شبکه MLP دارای کمترین خطا بود. شکل (۶) و جدول (۲) نشان‌دهنده مقایسه شاخص‌های آماری سه شبکه بالا در این پژوهش هستند. در لایه مخفی و لایه خارجی از تابع محرک تانزانانت هایپربولیک خطی استفاده شده است.

اعتبارسنجی (آزمون) شبکه MLP یک‌لایه کالیبره شده

بعد از کالیبراسیون (آموزش) هر مدلی باید عملکرد مدل را با اعتبارسنجی آن بررسی کرد. بنابراین شبکه MLP کالیبره شده که مشخصات آن به‌طور خلاصه به‌صورت جدول (۳) است نیز با داده‌های الگوی آزمون (تست) مورد اعتبارسنجی قرار گرفت. شکل (۷) نمودار تغییرات متناظر مقادیر آبشستگی شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل MLP و مشاهداتی که در آزمایشگاه و روی فلوم انجام شد را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

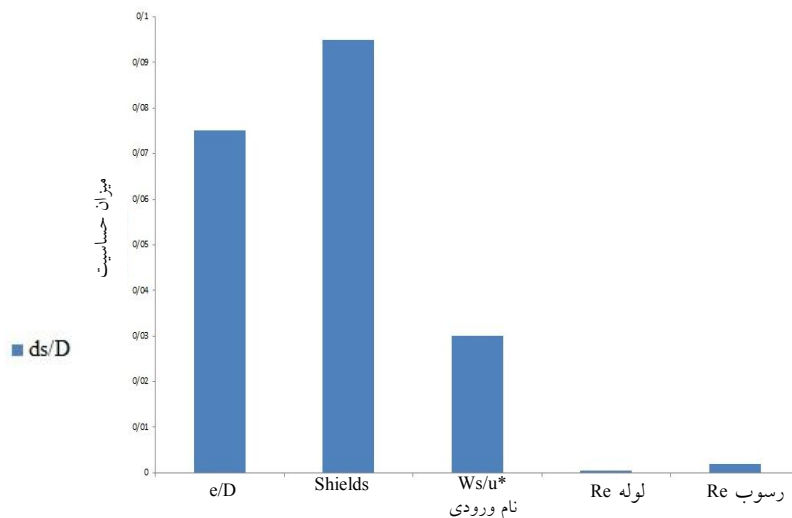
به‌منظور تعیین میزان حساسیت آبشستگی موضعی زیر خطوط لوله نسبت به متغیرهای ورودی، از قابلیت



شکل ۷. حاصل از آموزش و اعتباریابی شبکه نسبت به سیکل‌های آموزشی شبکه

جدول ۴. مقادیر آنالیز حساسیت میزان آبخستگی نسبت به داده‌های ورودی

آنالیز حساسیت ds/D	پارامتر مؤثر در آنالیز حساسیت
۰/۰۷۸۹۸۴۶۲۶	e/D
۰/۰۹۵۴۰۹۶۹۱	Shields
۰/۰۳۸۰۴۹۳۴۰	Ws/u*
۰/۰۰۰۰۵۴۰۳۲	رینولدز لوله
۰/۰۰۱۴۶۰۴۲۲	رینولدز رسوب



شکل ۸. نمودار آنالیز حساسیت آبخستگی نسبت به داده‌های ورودی

سرعت برشی جریان، رینولدز رسوب و رینولدز لوله است. نتایج آنالیز حساسیت میزان آبخستگی نسبت به داده‌های ورودی در جدول (۴) و شکل (۸) ارائه شده است.

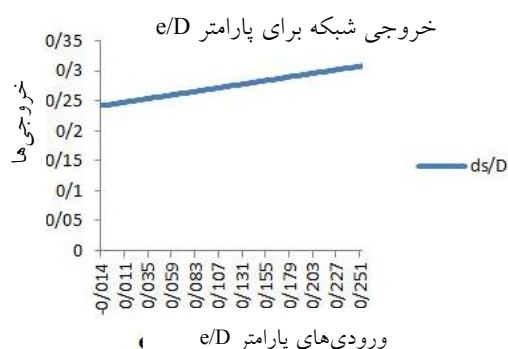
شکل‌های (۹) تا (۱۳) مربوط به آنالیز حساسیت عوامل مؤثر بر آبخستگی در حالت بدون در نظر گرفتن

تحلیل حساسیت بهترین مدل شبکه عصبی مصنوعی (MLP) استفاده شد.

نتایج حاصل از تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که میزان حساسیت آبخستگی زیر خطوط لوله به ترتیب متأثر از پارامتر شیلدز (با اختلافی معنی‌دار)، نسبت فاصله لوله از بستر به قطر لوله، نسبت سرعت سقوط ذرات به



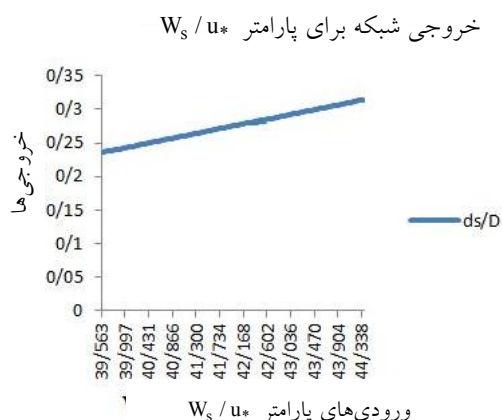
شکل ۸. نمودار میزان حساسیت آبهستگی (خروجی مدل MLP) نسبت به پارامتر شیلدز ورودی‌های پارامتر شیلدز



شکل ۹. نمودار میزان حساسیت آبهستگی (خروجی مدل MLP) نسبت به مقدار بی بعد فاصله لوله از بستر به قطر لوله ورودی‌های پارامتر e/D



شکل ۱۰. نمودار میزان حساسیت آبهستگی (خروجی مدل MLP) نسبت به رینولدز لوله ورودی‌های پارامتر رینولدز لوله



شکل ۱۱. نمودار میزان حساسیت آبهستگی (خروجی مدل MLP) نسبت به مقدار بی بعد سرعت سقوط ذرات به سرعت برشی جریان ورودی‌های پارامتر Ws/u*



شکل ۱۲. نمودار میزان حساسیت آبهستگی (خروجی مدل MLP) نسبت به رینولدز رسوب ورودی‌های رینولدز رسوب

نسبت آبهستگی زیر خط لوله به قطر لوله (d_s/D) است. چنانچه مشاهده می‌کنید میزان تغییرات مقدار بی‌بعد فاصله لوله از بستر به قطر لوله (e/D) در حدود ۰/۲۵ است و در این بازه میزان تغییرات آبهستگی زیر خط

صفحات کنترل‌کننده آبهستگی به صورت جداگانه است که توسط نرم افزار ارائه شده است. همانطور که در شکل (۹) مشاهده می‌شود قسمت افقی نمودار مربوط به تغییرات عامل مؤثر و قسمت عمودی مربوط به تغییرات

که در شکل (۱۳) این موضوع نیز به وضوح پیداست. در بازه ۸۷ واحدی تغییرات عدد رینولدز رسوب، ۰/۱۴ واحد تغییرات در نسبت عمق آبخستگی به قطر لوله مشاهده می‌شود. هر چند که رینولدز رسوب، افزایش چشمگیری در میزان حساسیت در مقایسه با رینولدز لوله نشان می‌دهد ولی باز هم با سه پارامتر اول فاصله زیادی دارد. در کل با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان عدد رینولدز را با توجه به تأثیر بسیار پایین آن از چرخه مطالعات حذف کرد.

در نهایت همانطور که مشاهده شد در این پژوهش امکان بررسی عوامل آبخستگی به وسیله شبکه عصبی مصنوعی و روش‌های تجربی در برآورد میزان آبخستگی موضعی زیر خطوط لوله برای مصارف مختلف مورد بررسی قرار گرفت و نتایج به دست آمده نشان داد:

۱. روش‌های شبکه عصبی مصنوعی روش مناسبی در بررسی عوامل آبخستگی زیر خطوط لوله است و با توجه به امکان آنالیز حساسیت عوامل مؤثر بر آبخستگی، روش مناسبی برای تعیین میزان تأثیر عوامل مختلف بر آبخستگی زیر خطوط لوله است.

۲. مقایسه عملکرد مدل‌های مختلف شبکه عصبی مصنوعی نشان می‌دهد که مدل‌های MLP، RBF و GFF به ترتیب توانایی و دقت بیشتری در برآورد آبخستگی موضعی زیر خطوط لوله را دارند. به طوری که مقادیر میانگین مربعات خطا (MSE) مدل‌های MLP، RBF و GFF به ترتیب برابر ۰/۰۰۲۲۳۸۵۹۶، ۰/۰۰۵۵۳۴۵۳۷ و ۰/۰۰۵۷۴۷۸۷۶ است و همچنین مقادیر میانگین خطای مطلق مدل‌های MLP، RBF و GFF به ترتیب ۰/۰۴۱۷۴۲۴۶۳، ۰/۰۵۹۹۶۲۹۹۳ و ۰/۰۶۵۱۵۳۱۷۲ است و ضریب همبستگی مدل‌های MLP، RBF و GFF به ترتیب ۰/۹۸۷۳۶۵۷۴۳، ۰/۹۵۷۱۵۴۱۴ و ۰/۹۵۵۴۲۹۶۰۹ است که این نتایج بیانگر توانایی و دقت بیشتر مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP نسبت به دو مدل دیگر شبکه

لوله به قطر لوله (d_s/D) در حدود ۰/۰۶ است که در مقایسه با نتایج مطالعات مائو (۱۱) در مورد مؤثر بودن فاصله لوله از بستر روی آبخستگی اثر ناچیزی را نشان می‌دهد در حالی که این مقدار برای پارامتر شیلدز به ۰/۲۷ افزایش می‌یابد (شکل ۱۰). نکته اینجاست که این تغییرات در بازه‌ای با تنها ۰/۰۳ واحد تغییرات برای پارامتر شیلدز صورت می‌پذیرد که بدان معناست با وجود کاهش بازه تغییرات پارامتر شیلدز میزان نوسانات عمق آبخستگی افزایش می‌یابد که در مقایسه با نتایج مدل آزمایشگاهی چنگ و ژانگ (۲) مبنی بر تأثیر مستقیم پارامتر شیلدز بر آبخستگی مطابقت دارد. این امر در شکل (۱۱) برای مقدار بی‌بعد نسبت سرعت سقوط ذرات به سرعت برشی جریان در مقایسه با دو پارامتر بالا کاهش حساسیت به میزان آبخستگی را نشان می‌دهد به این صورت که در بازه حدوداً پنج واحدی تغییرات نسبت سرعت سقوط ذرات به سرعت برشی در حدود ۰/۰۶ واحد تغییرات در میزان نسبت عمق آبخستگی به قطر لوله مشاهده می‌شود. برای پارامترهای رینولدز لوله و رینولدز رسوب این حساسیت به شدت کاهش پیدا می‌کند. همانطور که در شکل (۱۲) برای رینولدز لوله مشاهده می‌شود در بازه تقریبی ۲۸۰۰ واحدی نوسانات عدد رینولدز ما تنها شاهد ۰/۳۵ واحد تغییرات در نسبت عمق آبخستگی هستیم. در واقع با توجه به نمودار مشاهده می‌شود که با افزایش عدد رینولدز لوله در عمل میزان تأثیر آن بر آبخستگی زیر خط لوله به حداقل می‌رسد. این پارامتر در واقع تنها پارامتر سازه-جریان انتخابی ما است که می‌توان چنین برداشت کرد که اندرکنش سازه-جریان نسبت به اندرکنش‌های سازه-بستر و بستر-جریان دارای تأثیر به مراتب کمتری بر عمق آبخستگی است. چنانچه در پارامتر رینولدز رسوب تأثیر بیشتری بر عمق آبخستگی نسبت به رینولدز لوله مشاهده می‌شود ولی در کل عدد رینولدز نسبت به حالت‌های بالا کمترین میزان تأثیر را بر نسبت عمق آبخستگی به قطر لوله نشان می‌دهد، همانطور

ورودی با افزایش تعداد داده‌های ورودی قابل تغییر است. از همین‌رو آزمایش‌های مشاهده‌ای که در ابتدا با ۱۸ سناریو انجام شده بود دوباره با تعداد بیشتری سناریو انجام شد تا مقادیر آنها به ۵۴ سناریو رسید. مشاهده شد افزایش تعداد سناریوها موجب دقت بیشتر داده‌های خروجی می‌شود ولی رفتار کلی داده‌های خروجی در مورد حساسیت به پارامترهای ورودی تغییری نمی‌کند.

عصبی مصنوعی است.
۳. نتایج آنالیز حساسیت نشان می‌دهد که میزان حساسیت آبشستگی زیر خطوط لوله به ترتیب متأثر از پارامتر شیلدز (با اختلافی معنی‌دار)، نسبت فاصله لوله از بستر به قطر لوله، نسبت سرعت سقوط ذرات به سرعت برشی جریان، رینولدز رسوب و رینولدز لوله است.
۴. انجام مکرر مدل شبکه عصبی نشان داد میزان حساسیت داده‌های خروجی نسبت به پارامترهای

منابع مورد استفاده

- Berahmand, N. and A. Jael. 2008. Estimate of scour under passing pipelines from cross section of rivers. In: Proceeding of the 6th Iranian Hydraulic Conference. Shahrekord University, Shahrekord.
- Cheng, L., K. Yeow and Z. Zhang. 2009. Three-dimensional scour below offshore pipelines in steady currents. *Journal of Coastal Engineering* 56: 577-590.
- Dey, S. and N. Singh. 2008. Clear-water scour below underwater pipelines under steady flow. *Journal of Hydraulic Engineering* 134: 588-600.
- Dogan, M. and Y. Arisoy. 2014. Time development of local scour depth below pipelines exposed to waves. In: Proceeding of the 34th International Conference on Coastal Engineering. Seoul Korea.
- Hedayat Bahrami, P., A. Hoseinzadeh-Dalir and D. Farsadizadeh. 2016. Scour control under submerged pipelines with different gaps under unidirectional flow using submerged plate. *Journal of Water and Soil Science* (26): 179-190. (In Farsi).
- Hoseimi, H., A. Hoseinzadeh-Dalir, D. Farsadizadeh, H. Aroonaghi and M. Ghorbani. 2011. Application of submerged plates to control scouring around rectangular bridge bases with rounded nose. *Journal of Civil and Surveying Engineering* 5(3): 301-310. (In Farsi).
- Kaveh, A. and A. Iranmanesh. 2005. Artificial Neural Networks in Structural Optimization. Third Edition, Second Chapter, Building and Housing Research Center Publications, Tehran. (In Farsi).
- Liu, Z. 2011. Sediment Transport. Second Edition, Second Chapter, National Institute of Oceanography, Tehran. (In Farsi).
- Liu, Y. and X. Wang. 2014. Numerical simulation and study of local scour around submarine pipeline. *Journal Information and Computational Science* 4249-4256.
- Madani, H. 2007. Application of artificial neural networks in Structural analysis and design. 2007. MSc. Thesis, Faculty of Civil Engineering, Mashhad Ferdowsi University. (In Farsi).
- Mao, Y. The Interaction between a Pipeline and an Erodible Bed. 1986. Institute of Hydrodynamics and Hydraulic Engineering. University of Denmark, Lyngby. Series Paper No. 39.
- Mir Alizadeh, M., M. Lotfollahi, A. Hoseinzadeh-Dalir and H. Hakimzadeh. 2013. Investigation of scouring process around marine pipelines considering impermeable submarine sheet under the pipe. *Moades Civil Engineering Journal* 13: 125-136. (In Farsi).
- Mousavi, M., A. Yeganeh-Bakhtiary and N. Enshaei. 2006. The equivalent depth of wave-induced scour around offshore pipelines. In: Proceeding of the International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering. 25th ASME, No. 92049 Hamburg, Germany.
- Pu, Q., K. Li and F. Gao. 2001. Scour of the seabed under a Pipeline in oscillating flow. *Journal of China Ocean Engineering* 15(1): 129-137.
- Rahdar, F. 2015. Estimation and sensitivity analysis of scour depth around bridge stands with artificial neural networks. MSc. Thesis, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Ahwaz Branch. (In Farsi).
- Zhang, Z. and B. Shi. 2016. Numerical simulation of local scour around underwater pipeline based on FLUENT Software. *Journal of Applied Fluid Mechanics* 9: 711-718.

Investigation of Local Scour Factors under Pipelines Using Artificial Neural Network Algorithms

M. Pourmirza¹ and A. Kamanbedast^{2*}

(Received: August 19-2017 ; Accepted: August 11-2018)

Abstract

Occurrence of local scour is one of the most significant causes of damage to the pipes. Therefore, safe and economical design of pipes in the flow path requires a good estimate. In this study, based on the important and effective parameters in the scouring phenomenon, in order to develop educational patterns according to the data obtained in the laboratory of Ahvaz Islamic Azad University, models based on artificial neural networks were created with the NeuroSolution5 software. MLP, GFF and RBF were the models used in this study; after comparing, MLP was selected as the basis for our study. Finally, the effect of each parameter on scouring was determined using the artificial neural networks technique, based on which the shields parameter with a very high effect (more than 95 percent) was determined as one of the most effective causes of the local scour.

Keywords: Scour, Artificial neural network, NeuroSolution5 software, Multilayer Perceptron Model (MLP), Shields Parameter

1. Department of Civil Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

2. Department of Water Science and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

*: Corresponding Author, Email: Ka57_amir@yahoo.com