

پیش‌بینی سرعت جریان و بررسی تأثیر زبری کانال‌ها بر هیدرولیک جریان در آبگیرهای جانبی به وسیله ترکیب شبکه عصبی مصنوعی و مدل عددی CFX

سهراب کریمی^{۱*}، حسین بنکداری^۲ و آزاده غلامی^۳

چکیده

آبگیرهای جانبی، از رایج‌ترین سازه‌های هیدرولیکی مورد استفاده در سیستم‌های انتقال آب هستند. هدف این پژوهش، بررسی تأثیر زبری کانال‌ها بر هیدرولیک جریان و پیش‌بینی سرعت در آبگیرهای جانبی با استفاده از ترکیب شبکه عصبی مصنوعی و مدل عددی است. مدل آزمایشگاهی کانال آبگیر ۹۰ درجه با جداره صاف توسط نرم‌افزار ANSYS CFX شبیه‌سازی شده است. بعد از صحت‌سنجی و اطمینان از دقت بالای نتایج مدل CFX، با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و عددی، اقدام به طراحی پنج مدل شبکه عصبی مصنوعی در پنج زبری مختلف شده است. سرعت‌های طولی جریان توسط مدل ANN در مقاطعی که داده‌های آزمایشگاهی موجود نمی‌باشد، پیش‌بینی و با نتایج مدل CFX مقایسه شده است. با توجه به نتایج مدل ANN با افزایش زبری کانال‌ها از ۰/۰ به ۰/۰۰۵ متر، سرعت‌های طولی در اکثر مناطق کانال فرعی، افت قابل توجهی دارند؛ اما با افزایش زبری از ۰/۰۰۵ تا ۰/۰۰۱ متر و بیشتر از آن، سرعت‌های طولی جریان افت اندکی دارند. با افزایش زبری، ابعاد ناحیه جدایی جریان کاهش می‌یابد و در ورودی کانال فرعی انحنای خطوط جریان و آشفتگی جریان نیز کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: آبگیرهای جانبی، زبری کانال، سرعت جریان، مدل ANN، نرم‌افزار ANSYS CFX.

ارجاع: کریمی س. بنکداری ح. و غلامی آ. ۱۳۹۸. پیش‌بینی سرعت جریان و بررسی تأثیر زبری کانال‌ها بر هیدرولیک جریان در آبگیرهای جانبی به وسیله ترکیب شبکه عصبی مصنوعی و مدل عددی CFX. مجله پژوهش آب ایران. ۳۴: ۱۷-۹.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه رازی کرمانشاه.

۲- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه رازی کرمانشاه.

۳- دانشجوی دکتری مهندسی عمران - آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه رازی کرمانشاه.

* نویسنده مسئول: sohrab_karimi68@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۵/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۸/۱۳

مقدمه

از مزایای این روش‌ها می‌توان به کارایی و دقت مطلوب در حل موضوعات پیچیده و دشوار مهندسی، همچنین افزایش سرعت و دقت کار پژوهش‌گران اشاره کرد (کیسی، ۲۰۰۸؛ بیلهان و همکاران، ۲۰۱۰ و امیرقلو و همکاران، ۲۰۱۱). با استفاده از محاسبات نرم مطالعات متعددی بر روی مشخصات جریان در انواع مختلف کانال‌های روباز و پدیده‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی صورت گرفته است. نتایج به‌دست آمده، دقت نسبتاً بالای این روش را در حل مسائل پیچیده مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی نشان می‌دهد. در صورتی که در مدل‌سازی هیدرولیک جریان در آبگیرهای جانبی تحقیقات ثبت شده زیادی وجود ندارد (بنکداری و همکاران، ۲۰۱۱؛ دورسون و همکاران، ۲۰۱۱؛ کیسی و همکاران، ۲۰۱۲؛ ابتهاج و بنکداری، ۲۰۱۳ و بقالیان و همکاران، ۲۰۱۲). هدف از این مطالعه بررسی تأثیر زبری کانال‌ها روی هیدرولیک جریان در آبگیرهای جانبی با استفاده از ترکیب شبکه عصبی مصنوعی و نرم‌افزار ANSYS-CFX است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، کانال آبگیر مطابق با مدل آزمایشگاهی رامامورتی و همکاران (۲۰۰۷) توسط نرم‌افزار ANSYS-CFX مدل و نتایج مدل عددی با نتایج مدل آزمایشگاهی، مقایسه شده است. در ادامه با استفاده از مجموعه‌ای از داده‌های آزمایشگاهی و عددی از جمله پارامترهای بی‌بعد، مختصات‌های طولی (Y^*)، سرعت‌های طولی شبیه‌سازی شده در کانال آبگیر توسط مدل عددی V_1^* ، V_2^* ، V_3^* و زبری کانال‌ها (R)، یک مدل شبکه عصبی طراحی و آموزش داده شده است. برای بررسی کارایی مدل از دو شاخص آماری MAPE و RMSE استفاده می‌شود. سپس با استفاده از شبکه آموزش داده شده تأثیر زبری کانال‌ها روی هیدرولیک جریان بررسی شده است همچنین در قسمت‌هایی از کانال آبگیر که داده‌های آزمایشگاهی موجود نیست، سرعت متوسط جریان توسط مدل شبکه عصبی پیش‌بینی خواهد شد.

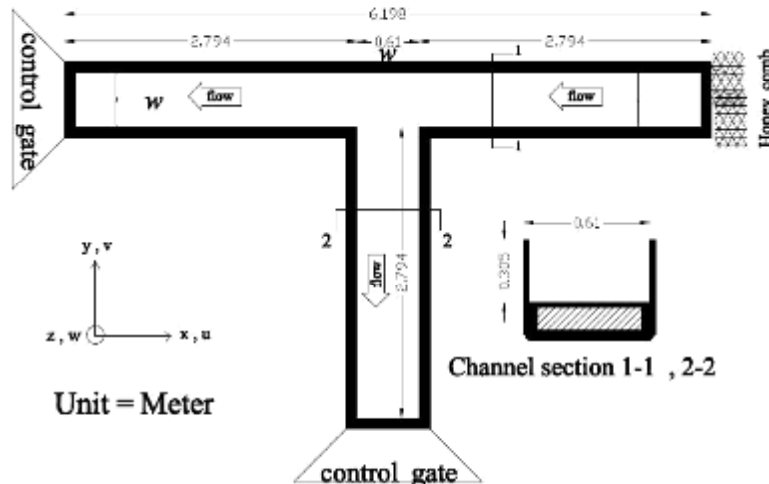
مدل آزمایشگاهی رامامورتی و همکاران (۲۰۰۷)

در این مطالعه از داده‌های مدل آزمایشگاهی رامامورتی و همکاران (۲۰۰۷) برای صحت‌سنجی مدل عددی استفاده و آزمایش‌ها در کانال‌های مستطیلی انجام شده است.

در میان روش‌های مختلف انتقال آب استفاده از انحراف جریان و سازه‌های هیدرولیکی نظیر آبگیرهای جانبی از متداول‌ترین روش‌ها، در آبرسانی و آبیاری مصارف صنعتی و کشاورزی است. الگوی جریان، در محل انحراف جریان، بسیار پیچیده و رفتار جریان کاملاً سه‌بعدی است. با نزدیک شدن جریان به کانال فرعی، به دلیل مکش اعمال شده از طرف انشعاب، جریان دچار شتاب عرضی و قسمتی از آن وارد کانال آبگیر می‌شود. به دلیل وجود گرادیان فشار جانبی و نیروهای برشی و گریز از مرکز، جریان ورودی به کانال آبگیر دچار بی‌تعادل و همین امر باعث ایجاد جریان ثانویه می‌شود. (تیلور، ۱۹۴۴ و کاستوری و پانداریکانتان، ۱۹۸۷)؛ به همین دلیل بررسی هیدرولیک جریان در آبگیرهای جانبی، اهمیت بسزایی دارد و همچنین مشخصات هندسی کانال از جمله موارد مهمی محسوب می‌شوند که برای بررسی هیدرولیک جریان، باید مورد توجه قرار گیرند. شبیه‌سازی میدان جریان با استفاده از روش‌های عددی باعث کاهش هزینه‌های آزمایشگاهی و صرفه‌جویی در زمان می‌شود؛ لذا مطالعات عددی زیادی روی هیدرولیک جریان در کانال‌های انحرافی صورت گرفته است. در این مطالعات، در کانال‌های انحرافی هیدرولیک جریان به‌صورت سه‌بعدی و در دو فاز آب و هوا با استفاده از روش حجم محدود شبیه‌سازی شده است (عیسی و اولویرا، ۱۹۹۴؛ نیری و سوتیروپولوس، ۱۹۹۶؛ شتار و مورتی، ۱۹۹۶ و رامامورتی و همکاران، ۲۰۰۷). با توجه به این که کانال‌های موجود در طبیعت دارای جداره‌های زبر هستند؛ بنابراین بررسی اثر زبری جداره‌ها روی شرایط جریان در آبگیرها، از گزینه‌هایی است که از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ به همین سبب مطالعاتی در زمینه پوشش کف و دیواره کانال‌ها، انجام شده است. تومیناگا و همکاران (۱۹۸۹)، پس از بررسی اثر زبری روی نتایج آزمایشگاهی در کانال مستطیلی، نشان دادند که وقتی شرایط زبری مرزی تغییر می‌یابد، ساختار اصلی جریان‌های ثانویه به‌صورت چشم‌گیری تغییر نمی‌کند؛ اما ابعاد سلول‌های جریان ثانویه در جهت عرضی دچار افزایش طول می‌شوند. به‌علت پیچیدگی اغلب مسائل مهندسی، در دهه گذشته استفاده از روش‌های جدیدی موسوم به محاسبات نرم^۱ افزایش قابل توجهی داشته است.

عرض و ارتفاع هر دو کانال، با هم یکسان و به ترتیب برابر ۰/۶۱ و ۰/۳۰۵ متر است. مطابق شکل ۱ کانال انشعابی در فاصله ۲/۷۹۴ متری از ورودی کانال اصلی قرار دارد.

کانال اصلی به صورت مستقیم و کانال فرعی با زاویه ۹۰ درجه به کانال اصلی متصل شده است. طول کانال اصلی ۶/۱۹۸ متر و طول کانال انشعابی ۲/۷۹۴ متر می باشد.



شکل ۱- طرح شماتیک مدل آزمایشگاهی رامامورتی و همکاران (۲۰۰۷)

متفاوتی استفاده می شود در مطالعه حاضر، از مدل آشفتگی $k-\omega$ استفاده شده است. همچنین، به منظور تعیین تغییرات سطح آب در میدان جریان، از روش دوفازی VOF^1 برای حل میدان دوفازی آب و هوا استفاده شده است (ویلکس، ۲۰۰۰). برای تعریف شرایط مرزی در مدل CFX، برای ورودی کانال اصلی از سرعت نرمال ورودی و برای خروجی کانال آبگیر و خروجی کانال اصلی، از سرعت نرمال خروجی استفاده شده است. برای دیواره ها و کف کانال، از شرایط دیواره صاف و ثابت و برای سطح بالایی کانال ها از شرط مرزی متقارن استفاده شده است.

برای دستیابی به شبکه بندی مناسب میدان جریان، کانال اصلی به سه بخش تقسیم شده است: بخش اول آن به طول ۲/۷۹۴ متر، که در قسمت بالادست کانال اصلی قرار دارد، بخش دوم آن به طول ۰/۶۱ متر در میانه کانال اصلی و بخش سوم آن به طول ۲/۷۹۴ متر که در قسمت پایین دست کانال اصلی واقع شده است. ابعاد سلول ها در بالادست و پایین دست کانال اصلی $1 \times 0.5 \times 0.5$ سانتی متر، در قسمت میانی آن $0.5 \times 0.5 \times 0.5$ سانتی متر و ابعاد سلول های شبکه در کانال فرعی نیز $0.5 \times 0.5 \times 0.5$ سانتی متر انتخاب شد. شکل ۲، نمای شبکه بندی میدان محاسباتی را در آبگیر ۹۰ درجه نشان می دهد.

مدل عددی ANSYS-CFX

در این مطالعه برای ساخت مدل عددی از نرم افزار ANSYS-CFX استفاده شده است. در نرم افزار برای تحلیل مدل از روش حجم محدود و شرایط جریان دائمی استفاده می شود. مدل سازی به صورت کاملاً سه بعدی و در دو فاز آب و هوا صورت گرفته است. قوانین حاکم بر جریان سیال تراکم ناپذیر لزج توسط معادله پیوستگی (معادله (۱)) و معادله مومنوم (معادله (۲)) در جهت محورهای سه گانه مختصات که به معادلات ناویراستوکس معروف هستند، بیان می کند (رامامورتی و همکاران، ۲۰۰۷).

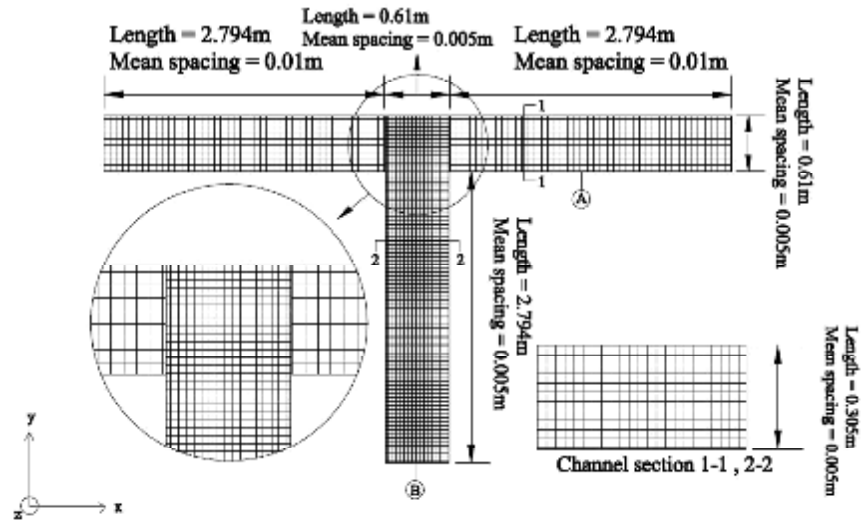
$$\frac{\partial (ru_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial (\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial (\overline{\rho u_i' u_j'})}{\partial x_i} \right) \quad (2)$$

در این معادله u_i و u_j به ترتیب سرعت در جهت X و Y، فشار کل، p دانسیته سیال هستند.

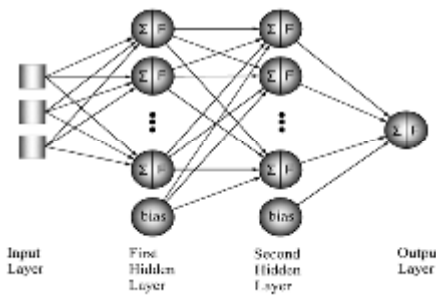
پارامتر $\overline{\rho u_i' u_j'}$ تنش رینولدز است و اثر گردابه های آشفتگی را در سیال اعمال می کند. تعیین پارامتر تنش رینولدز مشکل است که بدین منظور از مدل های آشفتگی

1- Volume of Fluid Model (VFM)



شکل ۲- شبکه‌بندی میدان جریان توسط ANSYS-CFX

۱۳۵ داده برای آموزش شبکه و ۶۵ داده برای تست شبکه استفاده گردید.



شکل ۳- ساختار کلی مدل شبکه عصبی مصنوعی

اعتبارسنجی مدل عددی

برای بررسی صحت نتایج مدل عددی، از داده‌های آزمایشگاهی رامامورتی و همکاران (۲۰۰۷) استفاده شده است. x^* ، y^* ، z^* به ترتیب مختصات‌های بی‌بعد شده برای x ، y و z هستند و u^* ، v^* ، w^* به ترتیب سرعت‌های بی‌بعد در مختصات z, y, x هستند. مقدار v^* به دست آمده از مدل CFX با مقدار آزمایشگاهی در سه مقطع -0.29 ، $-1/0$ ، $-1/62$ در $y^* = -1/62$ مقایسه شده است. v^* نشان دهنده سرعت بی‌بعد در کانال فرعی در راستای Y است. این مقایسه در $Q_r = \frac{Q_b}{Q_u} = 0.1838$ صورت گرفته است. Q_u دبی در ورودی کانال اصلی برابر با 0.46 مترمکعب بر ثانیه و Q_b دبی در کانال فرعی برابر با

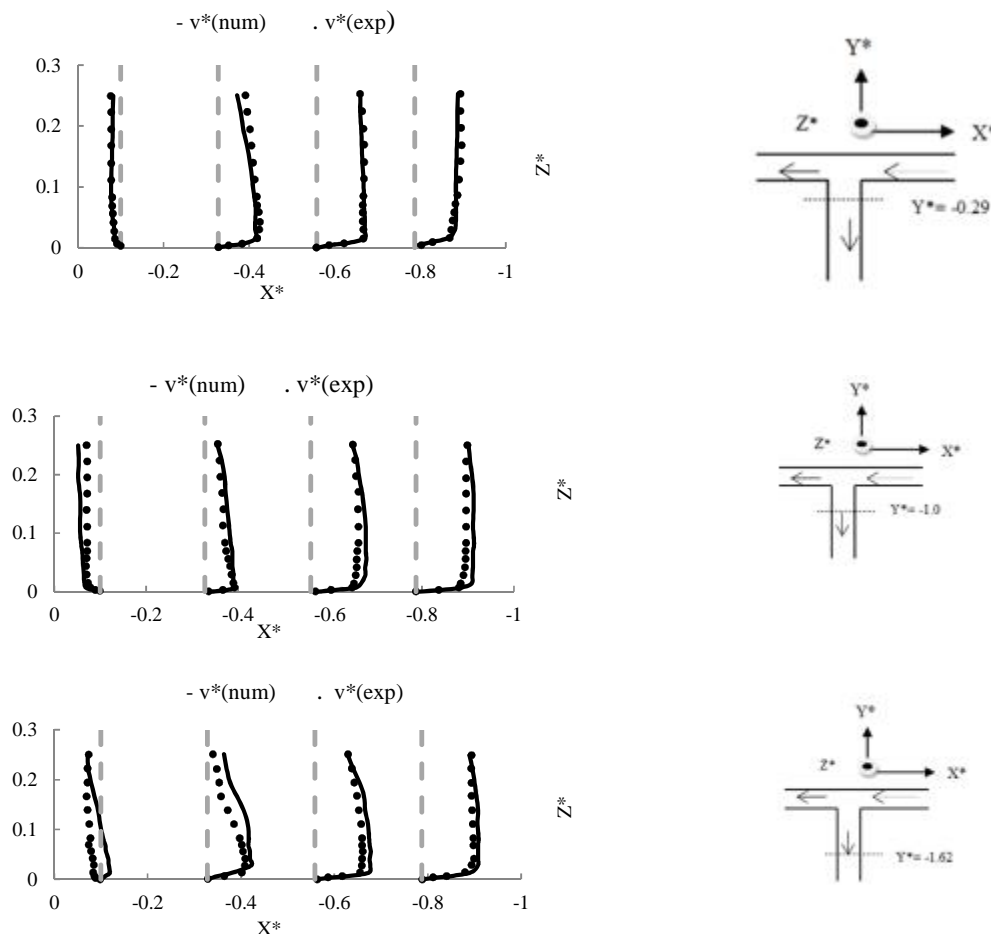
مدل شبکه عصبی مصنوعی

ساختار انعطاف‌پذیر مدل شبکه عصبی مصنوعی به آن توانایی مدل‌سازی الگوهای پیچیده و غیرخطی میان داده‌های ورودی و خروجی را می‌بخشد. در این پژوهش، از پنج شبکه عصبی مجزا در پنج زبری مختلف کانال‌ها، 0.05 ، 0.01 ، 0.015 و 0.02 متر استفاده شده است. هر پنج شبکه عصبی از نوع شبکه پیش‌رونده چند لایه است، شبکه‌ها در سه لایه ورودی، پنهان و خروجی مرتب شده‌اند. هر لایه از چندین گره یا عصب تشکیل شده است و عصب‌های هر لایه، به وسیله وزن‌هایی به عصب‌های لایه بعد متصل می‌شوند. فرآیند آموزش شبکه، اصلاح وزن‌های ارتباطی بین عصب‌ها با به‌کارگیری بهترین روش آموزش است (بیلهان و همکاران، ۲۰۱۱). در شکل ۳ ساختار کلی مدل شبکه عصبی مصنوعی و لایه‌ها و عصب‌های آن را می‌توان مشاهده کرد.

در این پژوهش در هر شبکه به کار رفته، برای پیش‌بینی سرعت از 5 ، 30 ، 1 عصب به ترتیب در لایه ورودی، لایه پنهان و خروجی استفاده شده و ورودی در هر شبکه، مختصات طولی کانال فرعی y^* ، زبری کانال، V_1^* ، V_2^* ، V_3^* در نقاط مختلف بوده و خروجی یا هدف، سرعت متوسط متناظر این نقاط است. در این پژوهش، مجموعاً از ۲۰۰ داده آزمایشگاهی برای مدل‌های پیش‌بینی سرعت در هر زبری استفاده شد که به دو بخش تقسیم شد و

خطوط جریان بیشتر، سرعت جریان بیشتر می‌شود. تراکم خطوط جریان با عرض ناحیه جدایی جریان نسبت مستقیم دارد و با افزایش عرض این ناحیه، تراکم خطوط جریان و سرعت جریان افزایش می‌یابد. با توجه به شکل، در ناحیه انقباض جریان، برخلاف کانال‌های روباز که بیشترین سرعت در نزدیکی سطح جریان رخ می‌دهد، در این ناحیه سرعت ماکزیمم در نزدیکی کف کانال $0/0$ $z^* = 0/2$ تا $z^* = 0/4$ رخ می‌دهد؛ اما با فاصله گرفتن از محل انحراف جریان، پروفیل سرعت طولی در کانال آبگیر به حالت عادی و یکنواخت بازمی‌گردد و بیشترین سرعت در نزدیکی سطح جریان رخ می‌دهد.

$0/038$ مترمکعب بر ثانیه است. در شکل محور افقی نشان دهنده فواصل عرضی بی‌بعد شده عرض کانال فرعی (x^*) و محور قائم نشان‌دهنده مقدار بی‌بعد شده در راستای عمق آب (z^*) است. در ابتدای ورودی کانال فرعی، جدایی جریان ایجاد می‌شود که در مرزهای آن سرعت کاهش می‌یابد و در داخل آن جریان‌های چرخشی رخ می‌دهد. در ناحیه جدایی جریان با حرکت از کف کانال به سمت سطح آب، ابعاد ناحیه جدایی جریان بیشتر می‌شود و به تبع آن سرعت در راستای خلاف جهت جریان نیز افزایش می‌یابد. در پایین دست محل انحراف، ناحیه دیگری به نام ناحیه انقباض جریان رخ می‌دهد که در شکل ۴ در سمت چپ مقاطع (در x^* بین $-0/6$ و $-1/0$) رخ می‌دهد. هرچه تراکم



شکل ۴- مقایسه پروفیل‌های سرعت به دست آمده از مدل CFX با مدل آزمایشگاهی رامامورتی و همکاران (۲۰۰۷)

قبول مدل عددی با آزمایشگاهی با مقدار R^2 بالا، به خصوص $y^* = -0/29$ ($R^2 = 0/95$) دیده می‌شود. مقدار MAPE در سه مقطع $y^* = -1/62, -1/0, -0/29$ به ترتیب

جدول ۱ نتایج MAPE، RMSE و R^2 برای مقایسه نتایج مدل عددی با مدل آزمایشگاهی را در مقاطع عرضی مختلف Y^* نشان می‌دهد. با توجه به جدول، انطباق قابل

هدف، سرعت متوسط جریان در کانال فرعی (V_{mean}^*) است. در مقاطعی که نتایج آزمایشگاهی موجود نیست، از نتایج مدل CFX برای آموزش مدل ANN استفاده می‌شود؛ بنابراین برای ساخت مدل ANN از داده‌های مدل CFX و آزمایشگاهی رانامورتی و همکاران (۲۰۰۷) استفاده شده است. این داده‌ها به دو قسمت آموزش و تست تقسیم می‌شوند. تقسیم داده‌ها به صورت تصادفی است و از مجموع چهار داده تعداد ۲۷ داده، یعنی ۶۷/۵٪ به‌عنوان داده‌های تست انتخاب می‌شوند. در ادامه پنج ارتفاع معادل زبری ۰/۰، ۰/۰۰۰۵، ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۱۵، ۰/۰۰۲ متر برای جدارها در نظر گرفته و اثر تغییر زبری روی شرایط جریان بررسی شد. با توجه به بی‌بعد بودن مقدار ورودی شبکه عصبی V_1^* ، V_2^* ، V_3^* ، y^* و R^* می‌توان شبکه عصبی به‌دست آمده را برای هر کانال آبگیر دیگری با زبری دلخواه به کار برد و سرعت متوسط جریان V_{mean}^* را محاسبه کرد. در شکل ۵ مقدار سرعت متوسط جریان (V_{mean}^*) به‌دست آمده از ANN در حالت تست با مقدار به‌دست آمده از مطالعات آزمایشگاهی و عددی در زبری‌های R به ترتیب ۰/۰، ۰/۰۰۰۵، ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۱۵، ۰/۰۰۲ متر مقایسه شده است. محور عمودی بیانگر سرعت طولی جریان و محور افقی معرف مقاطع عرضی زده شده در راستای جریان و در امتداد محور y می‌باشد.

با توجه به نتایج حاصل مشاهده می‌شود نتایج مدل ANN در تمامی زبری‌های دارای تطابق نسبتاً خوبی با نتایج آزمایشگاهی می‌باشد. این مطلب نشان‌دهنده این است که می‌توان از این مدل برای به‌دست آوردن پروفیل‌های سرعت طولی در هر کانال آبگیر با زبری دلخواهی استفاده کرد. روند برآورد سرعت متوسط جریان در زبری‌های R به ترتیب ۰/۰، ۰/۰۰۰۵، ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۱۵، ۰/۰۰۲ متر به‌صورت یکسان نیست؛ به طوری که مقدار برآورد شده در نقاط مختلف، کمتر یا بیشتر از مقدار واقعی هستند؛ با وجود این نتایج حاصله از ANN از دقت نسبتاً خوبی برخوردار هستند. همچنین در بعضی نقاط، بین نتایج مدل عددی و نتایج مدل ANN اندکی اختلاف وجود دارد. دلیل این اختلاف، وجود نواحی جدایی جریان و فشردگی جریان است؛ زیرا در ناحیه جدایی جریان، به‌علت وجود ناحیه چرخشی جریان، مقدار سرعت طولی کاهش می‌یابد و جهت بردارهای سرعت تغییر می‌کند. در ناحیه فشردگی

در حدود ۲٪، ۵/۲٪ و ۶/۹۵٪ به‌دست آمده و مقدار RMSE برای سه مقطع $y^* = -۱/۶۲$ ، $-۱/۰$ ، $-۰/۲۹$ به ترتیب ۰/۰۱۷، ۰/۰۱۲ و ۰/۰۱۰ است، بنابراین در این مقایسه میانگین خطای نسبی MAPE حدود ۵ درصد بوده است؛ لذا مدل عددی و آزمایشگاهی با یکدیگر مطابقت خوبی دارند. همان‌گونه که در شکل ۴ و جدول ۱ مشاهده می‌شود، در پایین‌دست کانال فرعی $-۱/۶۲$ ، $-۱/۰$ ، $y^* =$ بین نتایج مدل عددی و نتایج مدل آزمایشگاهی اندکی اختلاف وجود دارد؛ اما با وجود این حداکثر خطای MAPE برابر ۶/۹۵ درصد است که مقدار قابل قبولی می‌باشد. دلیل این اختلاف، وجود نواحی جدایی جریان و فشردگی جریان هستند، زیرا در ناحیه جدایی جریان، به‌علت وجود ناحیه چرخشی جریان، مقدار سرعت طولی کاهش می‌یابد و جهت بردارهای سرعت تغییر می‌کند. در ناحیه فشردگی جریان و در عمق Z^* برابر با صفر تا $Z^* =$ برابر با ۰/۲، سرعت‌ها به‌صورت حداکثر ظاهر می‌شوند و شدت انقباض جریان در این ناحیه بیشتر از سطح جریان است.

جدول ۱- شاخص‌های آماری به‌دست آمده از صحت‌سنجی

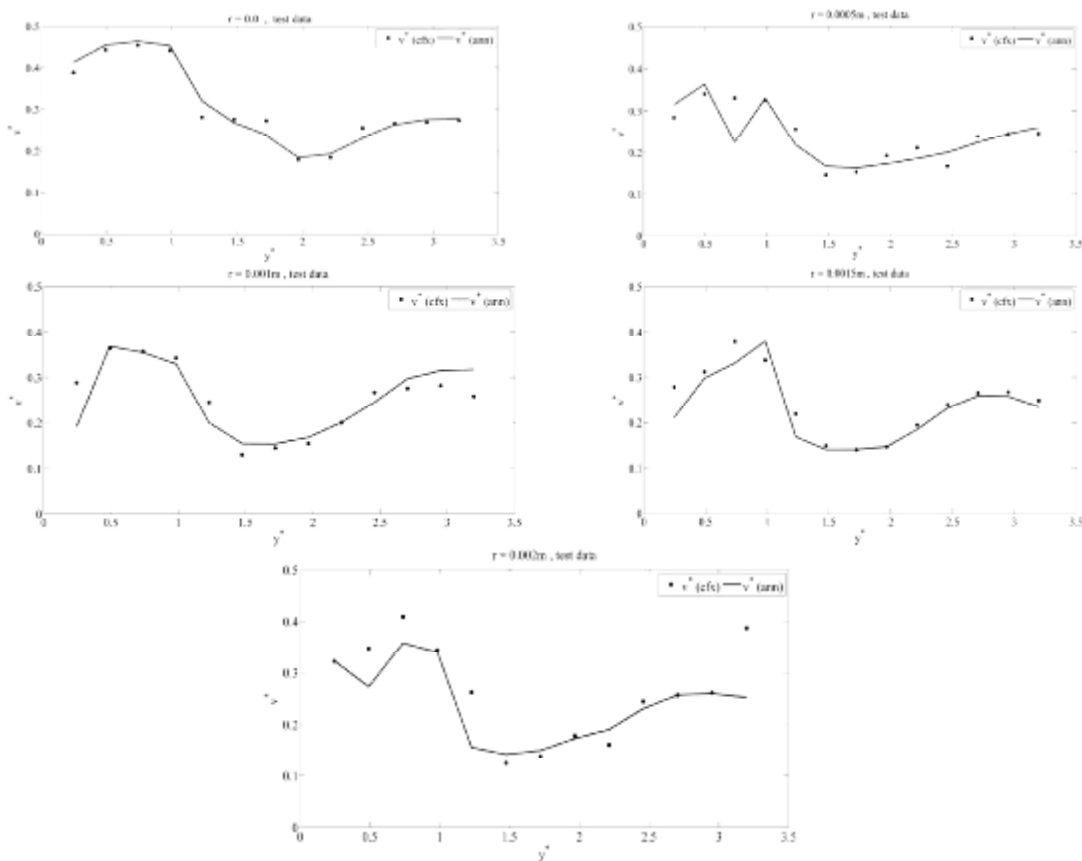
مدل عددی با مدل آزمایشگاهی	مدل عددی با مدل آزمایشگاهی		
	$y^* = -۱/۶۲$	$y^* = -۱/۰$	$y^* = -۰/۲۹$
RMSE	۰/۰۱۷	۰/۰۱۲	۰/۰۱۰
MAPE (%)	۶/۹۵	۵/۲	۲/۰
R^2	۰/۶۸	۰/۸۸	۰/۹۵

بررسی نتایج مدل شبکه عصبی در زبری‌های مختلف کانال‌ها

پس از بررسی نتایج در حالت مسطح بودن جداره‌های کانال و اطمینان از صحت آن‌ها در این بخش، اثر افزایش یکنواخت زبری جداره‌ها روی نتایج بررسی شد. در تحقیق حاضر، از پنج مدل شبکه عصبی استفاده شده است. در هر مدل، پنج پارامتر ورودی بی‌بعد، زبری کانال‌ها (R^*)، R/b ، مختصات‌های (Y^*)، سرعت‌های طولی اندازه‌گیری شده واقع بر سه ستون عمودی در مقطع‌های مختلف کانال آبگیر توسط مدل عددی V_1^* ، V_2^* ، V_3^* هستند. در هر یک از پنج مدل ساخته شده، مقدار زبری کانال‌ها متفاوت با مدل‌های دیگر بوده است که به ترتیب در مدل اول تا پنجم مقدار R به ترتیب ۰/۰، ۰/۰۰۰۵، ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۱۵ و ۰/۰۰۲ متر است. در هر پنج مدل خروجی یا

روند افزایش زبری با کاهش میزان سرعت عمق میانگین همراه است، این کاهش سرعت در قسمت دیواره‌های کانال چشم‌گیرتر است. باید توجه داشت که روند کاهش میزان سرعت جریان با افزایش زبری جداره‌ها روند ثابتی نیست. این روند را می‌توان به خوبی در نتایج جدول ۲ مشاهده کرد.

جریان و در عمق z^* برابر با صفر تا z^* برابر با 0.2 ، سرعت‌ها به‌صورت حداکثر ظاهر می‌شوند و شدت انقباض جریان در این ناحیه بیشتر از سطح جریان است. با توجه به شکل مشاهده می‌شود، با افزایش ارتفاع زبری ابعاد سلول قرار گرفته روی کف کانال افزایش و در نتیجه اصطکاک بین جداره‌ها با سیال افزایش می‌یابد؛ بنابراین



شکل ۵- مقایسه سرعت متوسط بر آورد شده با نتایج مدل عددی در زبری‌های مختلف در حالت تست

جدول ۲- V^*_{MAX} برای داده‌های آموزش

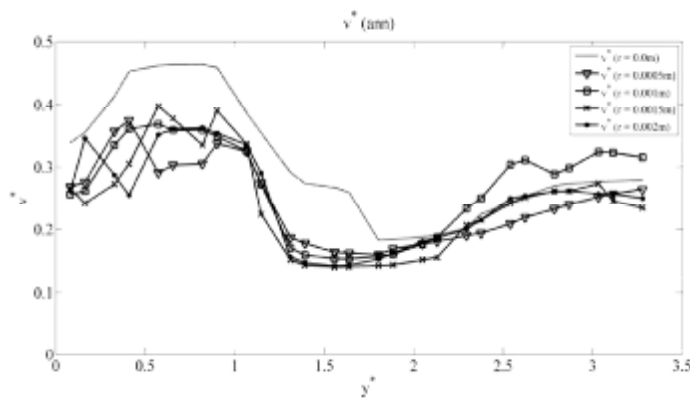
R(m)	$V^*_{(max)}$ (CFX)	$V^*_{(max)}$ (ANN model)
۰/۰۰	۰/۴۶۶	۰/۴۶۴
۰/۰۰۰۵	۰/۴۰۲	۰/۳۷۴
۰/۰۰۱	۰/۳۷۰	۰/۳۶۸
۰/۰۰۱۵	۰/۴۰۷	۰/۳۹۷
۰/۰۰۲	۰/۳۶۲	۰/۳۶۹

متر بر مجذور ثابته کاهش می‌یابد؛ اما با افزایش زبری از 0.0005 تا 0.001 متر، از شدت کاهش سرعت جریان کاسته می‌شود و سرعت ماکزیمم جریان از 0.374 تا 0.368 متر بر مجذور ثابته کاهش می‌یابد. در شکل ۶

در جدول ۲، مقدار $V^*_{(max)}$ برای مدل عددی و مدل شبکه عصبی در زبری‌های مختلف را در حالت آموزش نمایش داده شده است. در نتایج مدل ANN با افزایش زبری از 0.0005 به 0.001 متر، $V^*_{(max)}$ از 0.464 به 0.374

دارند؛ اما با افزایش زبری از $0/0005$ تا $0/001$ متر و بیشتر از آن، سرعت‌های طولی جریان در اکثر مناطق کانال فرعی افت قابل توجهی ندارند.

سرعت‌های به‌دست آمده از مدل شبکه عصبی برای زبری‌های مختلف نمایش داده شده است. با توجه به شکل، با افزایش زبری از $0/0$ به $0/0005$ متر سرعت‌های طولی جریان در اکثر مناطق کانال فرعی افت قابل توجهی

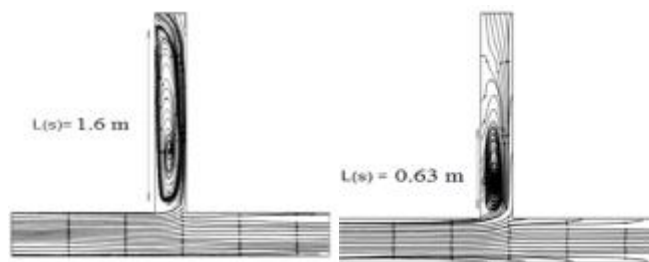


شکل ۶- مقایسه نتایج مدل شبکه عصبی مصنوعی برای زبری‌های مختلف

خطوط جریان و آشفتگی جریان در ورودی کانال فرعی نیز کمتر شده است. همچنین با افزایش زبری، ناحیه جدایی جریان در نزدیکی بستر کانال فرعی، کاملاً از بین رفته است. با وجود این که سرعت جریان به محض ورود به کانال فرعی افزایش می‌یابد، افزایش زبری، تأثیر به سزایی در کاهش آثار مومنتوم کانال اصلی در ناحیه انحراف داشته است که عملکرد مناسب افزایش زبری در کاهش آثار آشفتگی و در نتیجه جدایی جریان در کف را نشان می‌دهد.

تأثیر افزایش زبری بر ابعاد ناحیه جدایی جریان در کانال فرعی

در شکل ۷ خطوط جریان نزدیک سطح آب ($z^*=0/3$) برای کانال با جداره صاف ($R=0.0$) و کانال با جداره زبر ($R=0.001$) با یکدیگر مقایسه می‌شود. کاملاً واضح است که با افزایش زبری جداره‌ها در کانال، عرض و طول ناحیه جدایی جریان نسبت به کانال با جداره صاف از $1/6$ متر تا $0/63$ متر کاهش یافته است؛ با وجود این جریان کانال اصلی با زاویه کوچک‌تری به کانال فرعی وارد و انحراف



(ب)

(الف)

شکل ۷- طول ناحیه گردابی در نزدیکی سطح آب ($z^*=0/3$) برای: (الف) کانال با جداره صاف ($R=0.0$)، (ب) کانال با جداره زبر ($R=0.001$)

هر زبری دل‌خواهی استفاده می‌شود. همچنین نتایج نشان‌دهنده دقت بالای مدل ANN ساخته شده در پیش‌بینی پروفیل‌های سرعت در آبگیرها حتی در نواحی پیچیده جریان مانند ناحیه جدایی جریان است و تطابق خوب میان نتایج حاصل از این دو مدل را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاکی از دقت بالای مدل عددی ساخته شده در شبیه‌سازی هیدرولیک جریان در کانال آبگیر است. با توجه به بی‌بعد بودن تمام پارامترهای مورد استفاده در طراحی ANN، این مدل می‌تواند برای هر کانال آبگیر با

6. Emiroglu M. E. Bilhan O. and Kisi O. 2011. Neural networks for estimation of discharge capacity of triangular labyrinth side-weir located on a straight channel. *Expert Systems with Applications*. 38(1): 867-874.
7. Issa R. I. and Oliveira P. J. 1994. Numerical prediction of phase separation in two-phase flow through T-junction, *Comp. and Fluids*. 23(2): 347-356.
8. Kasthuri B. and Pundarikanthan N. V. 1987. Discussion on separation zone at open channel junctions. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*. 113(4): 543-544.
9. Kisi O. 2008. River flow forecasting and estimation using different artificial neural network techniques. *Hydrology Research*. 39(1): 27-40.
10. Kisi O. Emiroglu M. E. Bilhan O. and Guven A. 2012. Prediction of lateral outflow over triangular labyrinth side weirs under subcritical conditions using soft computing approaches. *Expert Systems with Applications*. 39: 3454-3460.
11. Neary V. S. and Sotiropoulos F. 1996. Numerical investigation of laminar flows through 90-degree diversions of rectangular cross-section. *Computational and Fluids*. 25(2): 95-118.
12. Ramamurthy A. S. Junying Q.u. and Diep VO. 2007. Numerical and Experimental study of Dividing Open-Channel Flows. *ASCE, Journal of Hydraulic Research*. 133(10): 1135-1144.
13. Shettar A. S. and Murthy K. K. 1996. A numerical study of division of flow in open channels. *Journal of Hydraulic Research*. 34(5): 651-675.
14. Taylor E. 1944. Flow characteristics at rectangular open channel junction, *Journal of Hydraulic Engineering*. 10(6):893-902.
15. Tominaga A. Nezu I. Ezaki K. and Nakagava H. 1989. Tree-dimensional turbulent structure in straight open channel flows. *Journal of Hydraulic Researcher*. 27(1): 149-173.
16. Wilcox D. C. 2006. *Turbulence modeling for CFD*, 3rd Ed., DCW Industries, Inc. 522 p.

در نهایت با مقایسه نتایج حاصل از مدل عددی CFX و ANN می‌توان گفت با افزایش زبری از ۰/۰ به ۰/۰۰۵ متر سرعت‌های طولی جریان در اکثر مناطق کانال فرعی افت قابل توجهی دارند؛ اما با افزایش زبری از ۰/۰۰۵ تا ۰/۰۰۱ متر و بیشتر از آن، سرعت‌های طولی جریان در اکثر مناطق کانال فرعی افت اندکی دارند. در ادامه با بررسی ابعاد ناحیه جدایی جریان در کانال با جداره صاف ($R=0.0$) و کانال با جداره زیر ($R=0.001$) مشاهده شد که با افزایش زبری جداره‌ها، عرض و طول ناحیه جدایی جریان نسبت به کانال با جداره صاف کاهش یافته است؛ با وجود این، جریان کانال اصلی با زاویه کوچک‌تری به کانال فرعی وارد و انحراف خطوط جریان کانال فرعی نیز کمتر شده است و با وجود این که سرعت جریان به محض ورود به کانال فرعی افزایش می‌یابد، اما افزایش زبری، تأثیر بسزایی در کاهش آتاز مومنتوم کانال اصلی در ناحیه انحراف داشته است که عملکرد مناسب افزایش زبری در کاهش آثار آشفتگی و در نتیجه جدایی جریان در کف را نشان می‌دهد.

منابع

1. Baghalian S. Bonakdari H. Nazari F. and Fazli M. 2012. Closed-form solution for flow field in curved channels in comparison with experimental and numerical analyses and artificial neural network. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*. 6(4): 514-526.
2. Bilhan O. Emin Emiroglu M. and Kisi O. 2010. Application of two different neural network techniques to lateral outflow over rectangular side weirs located on a straight channel. *Advances in Engineering Software*. 41(6): 831-837.
3. Bonakdari H. Baghalian S. Nazari F. and Fazli M. 2011. Numerical analysis and prediction of velocity field in curved open channel using artificial neural network and genetic algorithm. *Engineering application of computational fluid mechanics*. 5(3): 384-396.
4. Dursun O. F. Kaya N. and Firat M. 2012. Estimating discharge coefficient of semi-elliptical side weir using ANFIS. *Journal of Hydrology*. 426: 55-62.
5. Ebtehaj I. and Bonakdari H. 2013. Evaluation of sediment transport in sewer using artificial neural network. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*. 7(3): 382-392.

