

## بررسی میدان سرعت و تأثیر فراسنج‌های هیدرولیکی و هندسی بر میزان مواد معلق ورودی به نهرهای انحرافی با استفاده از روش محاسبات نرم و نرم افزار ANSYS-CFX

سهراب کریمی<sup>۱\*</sup>، حجت کریمی<sup>۲</sup>، جواد اسفندیاری<sup>۳</sup>

### چکیده

آبگیرهای جانبی از جمله سازه های هیدرولیکی به شمار می‌آیند که برای تنظیم و انحراف بخشی از جریان در شبکه‌های آبیاری و کشاورزی استفاده قرار می‌شوند. در این مطالعه میدان سرعت و تأثیر فراسنج‌های هیدرولیکی و هندسی بر میزان مواد معلق ورودی به نهرهای انحرافی با استفاده از روش محاسبات نرم و نرم افزار ANSYS-CFX بررسی می‌شود. ابتدا، نمونه آزمایشگاهی در زاویه ی انحراف ۹۰ درجه با استفاده از نرم افزار نمونه‌سازی شده است. نتایج صحت سنجی با مقدار خطای نسبی (MAPE) ۵٪، مطابقت نسبتاً خوب نتایج CFD با نمونه آزمایشگاهی را نشان می‌دهد. در ادامه با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و CFD، شبکه عصبی مصنوعی برای بررسی میدان سرعت جریان در زوایای آگیری ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه و در نسبت‌های عرضی مختلف طراحی شده است. نتایج حاصل از ANN با نتایج آزمایشگاهی در سه زاویه انحراف برای نسبت عرض مختلف با یکدیگر مقایسه شده و دقت قابل قبول ANN را در ارزیابی و محاسبه ی میدان سرعت جریان را نشان می‌دهد. سپس، جهت بررسی مواد معلق جریان، شبیه‌سازی عددی جریان مواد معلق نمونه آزمایشگاهی دیگری صورت گرفت. از میان فراسنج‌های اصلی موثر بر جریان، اثر زوایای آگیری، نسبت بده آگیری بر نسبت مواد معلق ورودی به آگیر، بررسی و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده که مطابقت خوبی بین آنها وجود دارد. در یک نسبت ثابت آگیری، با افزایش زاویه آگیری نسبت مواد معلق ورودی به آگیر افزایش می‌یابد و با افزایش نسبت دبی آگیری، مقدار مواد معلق ورودی به آگیر به دلیل افزایش سرعت در آگیر در حین ثابت بودن عمق جریان و افزایش شدت حمل مواد معلق در کانال آگیر، بیشتر می‌شود همچنین، به ازای نسبت ثابت بده آگیری، با افزایش عدد فرود ورودی، نسبت مواد معلق ورودی کاهش می‌یابد.

**واژه های کلیدی:** آگیر جانبی، نرم افزار ANSYS-CFX، شبکه عصبی مصنوعی، میدان سرعت، مواد معلق ورودی.

<sup>۱</sup> گروه مهندسی عمران واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران.

Email:sohrab\_karimi68@yahoo.com , Tel: 09183335727

<sup>۲</sup> استادیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه سمنان

<sup>۳</sup> گروه مهندسی عمران واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران.

## ۱- مقدمه

همکاران، ۲۰۱۲؛ دارسان و همکاران، ۲۰۱۲؛ ابتهاج و بنکداری، ۲۰۱۳).

هدف از این مطالعه بررسی میدان سرعت و تاثیر فراسنج‌های هیدرولیکی و هندسی بر میزان مواد معلق ورودی به نه‌رهای انحرافی با استفاده از روش محاسبات نرم و نرم افزار ANSYS-CFX است. بدین منظور نه‌ر آ‌بگیر نمونه آزمایشگاهی رامامورتی و همکاران (۲۰۰۷) در نسبت‌های عرض مختلف، به وسیله‌ی نرم افزار ANSYS-CFX ساخته شده و نتایج نمونه عددی با نتایج نمونه آزمایشگاهی مقایسه می‌شود. در ادامه با استفاده از مجموعه‌ای از داده‌های آزمایشگاهی و عددی از جمله فراسنج‌های بی‌بعد: نسبت عرض نه‌ر فرعی به عرض نه‌ر اصلی (Wr)، مختصات طولی (Y\*)، سرعت‌های طولی اندازه‌گیری شده در نه‌ر آ‌بگیر به وسیله‌ی نمونه عددی (V\*<sub>1</sub>، V\*<sub>2</sub>، V\*<sub>3</sub>) و زاویه انحراف جریان (Θ)، یک نمونه ANN طراحی و آموزش داده شده است. جهت بررسی کارایی نمونه از دو شاخص آماری MAPE و RMSE استفاده می‌شود. سپس با استفاده از شبکه‌ی آموزش داده شده در آن نواحی از نه‌ر آ‌بگیر که داده‌های آزمایشگاهی نیستند، میدان سرعت جریان به وسیله‌ی ANN بررسی و محاسبه خواهد شد سپس با احتساب نتایج حاصله، جهت بررسی مواد معلق جریان، شبیه‌سازی عددی جریان مواد معلق در آ‌بگیری از مسیر مستقیم نه‌ر مستطیلی صورت می‌گیرد. از میان فراسنج‌های اصلی موثر بر جریان، اثر زوایای آ‌بگیری ۴۵ الی ۹۰ درجه، نسبت بده آ‌بگیری ۰/۲ الی ۰/۵۷ بر نسبت مواد معلق ورودی به آ‌بگیر بررسی شده و با نتایج آزمایشگاهی مورد مقایسه قرار خواهند گرفت.

## ۲- نمونه آزمایشگاهی رامامورتی و همکاران (۲۰۰۷)

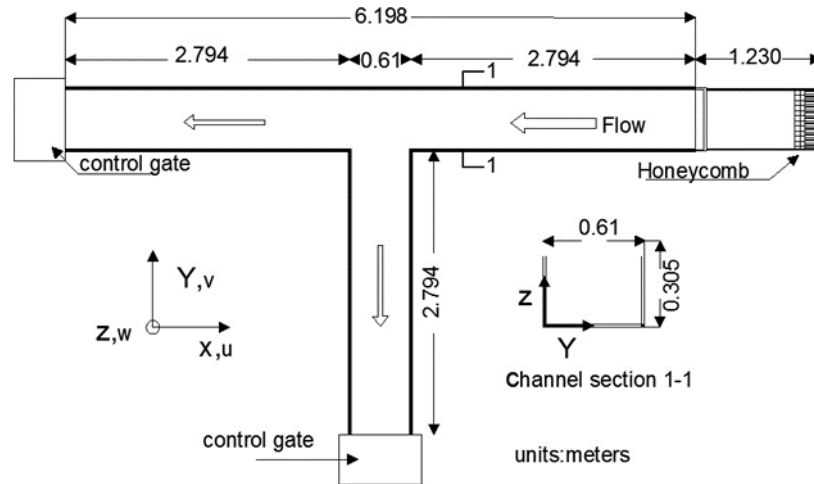
در این مطالعه از نمونه آزمایشگاهی رامامورتی و همکاران (۲۰۰۷) برای صحت سنجی نمونه عددی استفاده شده است. آزمایش‌ها در نه‌رهای مستطیل شکل انجام شده است. نه‌ر اصلی به صورت مستقیم و نه‌ر فرعی با زاویه‌ی ۹۰ درجه به نه‌ر اصلی متصل شده است. طول نه‌ر اصلی ۶.۱۹۸ متر و طول نه‌ر انشعابی ۲/۷۹۴ متر است، عرض و ارتفاع هر دو نه‌ر با هم یکسان و به ترتیب برابر با ۰/۶۱ و ۰/۳۰۵ متر است. مطابق شکل (۱) نه‌ر

آ‌بگیرها عموماً در شبکه‌های توزیع آب، نه‌رهای آ‌بیاری، شبکه‌های فاضلاب، تاسیسات مربوط به تصفیه خانه‌های آب و فاضلاب، ورودی به تاسیسات تولید برق و غیره استفاده می‌شوند. در محدوده‌ی ورودی نه‌ر فرعی، به علت ایجاد شتاب عرضی در جریان از طرف نه‌ر فرعی، جریان دچار شتاب عرضی شده و از نه‌ر اصلی به سمت نه‌ر فرعی کشیده می‌شود لذا، در ناحیه ورودی نه‌ر فرعی شاهد یک جریان پیچیده هستیم (تیلور، ۱۹۴۴؛ کاستوری و پانداریکانتان، ۱۹۸۷؛ عیسی و اولویرا، ۱۹۹۴؛ نیری و ادگارد، ۱۹۹۳؛ مورتی و شتار، ۱۹۹۶؛ رامامورتی و همکاران، ۲۰۰۷). در نواحی خشک و نیمه‌خشک که جریان سیلاب حاوی مواد معلق زیادی است، بخشی از مواد معلق همراه جریان وارد نه‌ر آ‌بگیر شده و در قسمت‌های مختلف نه‌ر از جمله در ناحیه گردابی ورودی نه‌ر آ‌بگیر که معروف به ناحیه جدایی جریان است، ترسیب می‌شود. عدم تنظیم مواد معلق ورودی به آ‌بگیرها باعث انتقال مواد معلق به داخل نه‌رهای آ‌بیاری و تاسیسات شده و مشکلاتی را برای قسمت‌های مختلف به وجود می‌آورد برای این منظور فراهم نمودن شرایطی با ویژگی‌های مناسب جهت جلوگیری از تجمع مواد معلق در دهانه آ‌بگیر بسیار حائز اهمیت است (صالحی نیشابوری و صفرزاده، ۱۳۸۷؛ اولسن، ۲۰۰۶؛ ناکاتا و همکاران، ۱۹۹۲؛ رادیکوی، ۱۹۹۳).

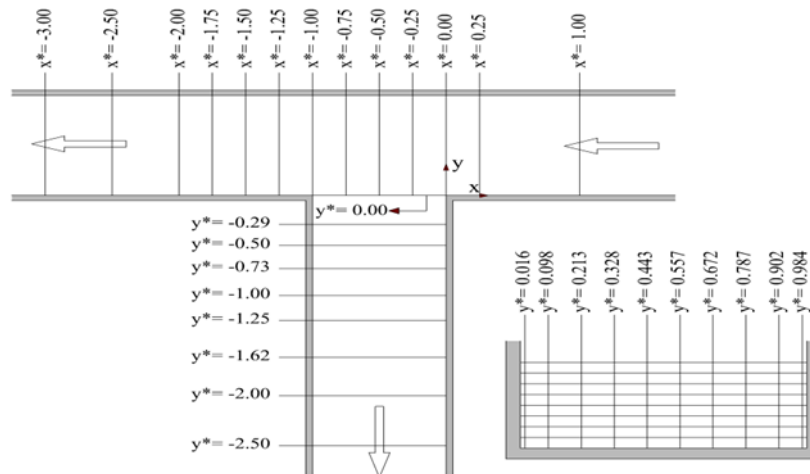
به علت پیچیدگی اغلب مسائل مهندسی، در دهه گذشته استفاده از روش‌های جدیدی موسوم به محاسبات نرم افزایش قابل توجهی داشته است. از مزایای این روش‌ها می‌توان به کارایی و دقت مطلوب در حل موضوعات پیچیده و دشوار مهندسی، همچنین افزایش سرعت و دقت کار محققین اشاره کرد (کیسی، ۲۰۰۸). با استفاده از محاسبات نرم مطالعات متعددی بر روی مشخصات جریان در انواع مختلف نه‌رهای روباز و پدیده‌های مربوط به آب شناسی و هیدرولیکی صورت گرفته است. نتایج به دست آمده، دقت نسبتاً بالای این روش را در حل مسائل پیچیده‌ی مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی نشان می‌دهد. در صورتی‌که در نمونه‌سازی آ‌بگیرهای جانبی تحقیقات ثبت شده‌ی زیادی وجود ندارد (کیسی، ۲۰۰۵؛ کیم و همکاران، ۲۰۰۸؛ بنکداری و همکاران، ۲۰۱۱؛ بقالیان و همکاران، ۲۰۱۲؛ کیسی و

بالایی داشته باشد یعنی جریان به صورت آشفته است. موقعیت‌های اندازه‌گیری شده در نهرا را می‌توان در شکل ۲ مشاهده کرد.

انشعابی در فاصله‌ی ۲/۷۹۴ متری از ورودی نهر اصلی قرار دارد. تمامی آزمایش‌ها در شرایطی صورت گرفته که در نهر اصلی و نهر فرعی عدد رینولدز ( $Re = \frac{Vr}{\nu}$ ) مقدار



شکل ۱- طرح وارهی نمونه‌ی آزمایشگاهی رامامورتی و همکاران (۲۰۰۷).



شکل ۲- موقعیت‌های اندازه‌گیری شده به وسیله‌ی رامامورتی و همکاران (۲۰۰۷).

در این مطالعه، ابتدا شبیه‌سازی عددی هیدرولیک جریان در نمونه آزمایشگاهی ارائه شده به وسیله‌ی رامامورتی و همکاران (۲۰۰۷) به کمک نرم‌افزار ANSYS-CFX و روش ANN صورت گرفته‌است. سپس با احتساب نتایج حاصله، جهت بررسی مواد معلق جریان، شبیه‌سازی عددی جریان مواد معلق در نمونه آزمایشگاهی عباسی (۱۳۸۲) صورت گرفته و با نتایج آزمایشگاهی و عددی سایر محققین مقایسه خواهد شد.

### ۳-۱- نمونه عددی ANSYS-CFX

دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) ابزاری مبتنی بر کامپیوتر است که برای شبیه‌سازی رفتار سیستم‌های

در شکل ۲،  $x^*$ ،  $y^*$ ،  $z^*$  به ترتیب مختصات های بی بعد شده برای  $x$ ،  $y$  و  $z$  هستند و  $u^*$ ،  $v^*$ ،  $w^*$  به ترتیب سرعت‌های بی بعد در مختصات  $x$ ،  $y$ ،  $z$  هستند. مختصات ها و سرعت‌های ارائه شده، به ترتیب به وسیله‌ی عرض نهر اصلی و سرعت بحرانی در بالا دست نهر اصلی  $V_c = \left[ \frac{(Q_u^2)}{gb^2} \right]^{\frac{1}{3}}$  بدون بعد شده‌اند که  $Q_u$  معرف بده در بالا دست نهر اصلی،  $b$  عرض نهر اصلی و  $g$  شتاب گرانشی زمین است.

### ۳- روش‌ها

رینولدز بسیار بیشتر از تنش ناشی از لزجت مولکولی است. تعیین فراسنج تنش رینولدز مشکل است که بدین منظور از نمونه‌های آشفتگی متفاوتی استفاده می‌گردد در مطالعه‌ی حاضر، از نمونه آشفتگی  $k-\omega$  استفاده شده است. در نمونه‌ی  $k-\omega$ ،  $k^2$  اولین فراسنج آشفتگی و  $\omega^3$  دومین فراسنج آشفتگی محسوب می‌شوند (ویلکس، ۲۰۰۰؛ اولسن، ۲۰۰۶).

به‌منظور تعیین تغییرات سطح آب در داخل میدان از روش دوحالتی نمونه  $(VOF^4)$  برای حل میدان دوحالتی آب و هوا استفاده شده است. به منظور تعریف شرایط مرزی در نمونه CFX، برای ورودی نهر اصلی از سرعت بهنجار ورودی و برای خروجی نهر آبگیر و خروجی نهر اصلی، سرعت بهنجار خروجی استفاده شده است. برای دیواره‌ها و کف نهر، از شرایط دیواره صاف و بدون حرکت و برای سطح بالایی نهرها از شرط مرزی متقارن استفاده شده است.

یکی از فراسنج‌های تاثیرگذار در افزایش دقت نمونه عددی ساخته شده شبکه بندی مناسب میدان جریان است. در نمونه CFX ساخته شده، برای دستیابی به این شبکه بندی، نهر اصلی به سه بخش تقسیم شده است. بخش اول آن به طول ۲/۷۹۴ متر، که در سراب نهر اصلی قرار دارد، بخش دوم آن به طول ۰/۶۱ متر در میانه‌ی نهر اصلی و بخش سوم آن به طول ۲/۷۹۴ متر که در قسمت پایاب نهر اصلی واقع شده است. ابعاد سلول‌ها در بالادست و پایاب نهر اصلی ۲ × ۲ × ۴ سانتی‌متر و در

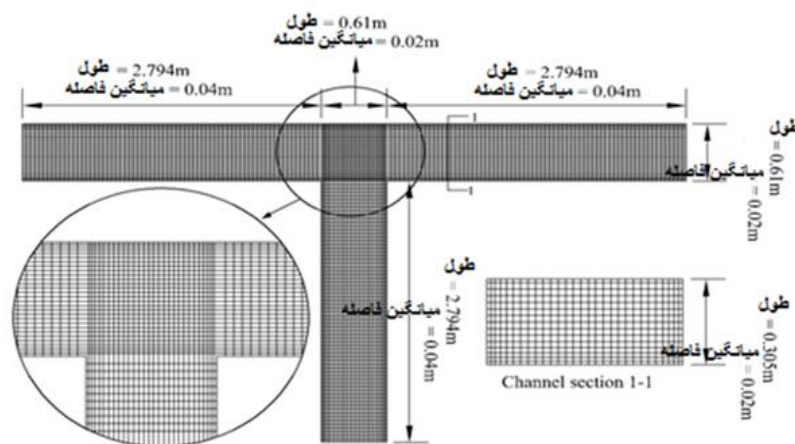
مربوط به جریان مایعات، انتقال حرارت، و دیگر فرایندهای فیزیکی مرتبط استفاده می‌شود. از کدهای دینامیک سیالات محاسباتی نرم افزار ANSYS-CFX می‌باشد. این نرم افزار کدی است که از رویکرد حجم محدود برای حل معادلات کامل و غیر تراکمی میانگین رینولدز و ناویر-استوکس استفاده می‌کند (بنکداری و همکاران، ۲۰۱۱). برای حل میدان جریان در سیال غیر-قابل تراکم، از دو معادله ی اصلی برای حرکت سیال در نهرهای روباز استفاده می‌شود، معادلات پیوستگی (۱) و معادلات متوسط گیری شده ناویر-استوکس (۲):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho U}{\partial x} + \frac{\partial \rho V}{\partial y} + \frac{\partial \rho W}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\rightarrow \frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho U) = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u_j) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = \frac{\partial \rho}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \overline{u_i' u_j'}) \quad (2)$$

در این رابطه  $u_i$  و  $u_j$  به ترتیب سرعت در جهت x و y، فشار کل  $p$ ، چگالی سیال  $\rho$  و  $\delta_{ij}$  دلتای کرونکر هستند. فراسنج  $\rho \overline{u_i' u_j'}$  همان تنش رینولدز است که برسیال عمل کرده و اثر گردابه‌های آشفتگی را در سیال اعمال می‌کند. در اکثر جریان‌های آشفته، مقدار تنش



شکل ۳- شبکه بندی میدان جریان در آبگیر جانبی با کاربرد ANSYS-CFX.

<sup>2</sup> turbulence kinetic energy

<sup>3</sup> Specific Dissipation Rate

<sup>4</sup> The volume of fluid

<sup>1</sup> Kronecker delta

در شکل ۴ سرعت‌های طولی بی بعد ( $v^*$ )، به دست آمده از نمونه CFX با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده‌اند. در این شکل، محور افقی بیانگر فاصله‌های عرضی ( $x^*$ ) در نهر فرعی و محور عمودی معرف عمق جریان ( $z^*$ ) است. مقایسه‌ی بین نتایج نمونه عددی و نمونه آزمایشگاهی در نسبت بده ( $Q_i=Q_b/Q_u$ ) برابر با  $0.838$  انجام شده است و با توجه به مقاطع اندازه‌گیری شده در نمونه آزمایشگاهی، نتایج صحت‌سنجی در سه مقطع  $-0.29$ ،  $-1/0$ ،  $1/62$ ؛  $y^*$  و مقاطع عرضی  $4/85$ ،  $4/75$ ،  $3/2$ ،  $3/0$ ؛  $x^*$  نهر فرعی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. به منظور بررسی دقت نمونه CFX ساخته شده از سه شاخص آماری  $RMSE^1$  و  $MAPE^2$  و  $R^2$  استفاده شده است، که این شاخص‌ها از روابط ۳ و ۴ و ۵ زیر محاسبه می‌شوند:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|x_i - y_i|}{x_i} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (4)$$

$$R^2 = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \right]^2 \quad (5)$$

$x_i$  مقادیر نمونه سازی شده و  $y_i$  مقادیر واقعی هستند  $\bar{y}$  و  $\bar{x}$  به ترتیب میانگین مقادیر واقعی و میانگین مقادیر نمونه سازی شده هستند.

جدول (۱) نتایج نمونه عددی و نمونه آزمایشگاهی را در مقاطع عرضی مختلف ( $y^*$ ) را با استفاده از شاخص‌های آماری، نشان می‌دهد. در این مقایسه میانگین خطای نسبی  $MAPE$   $4/71$  درصد به دست آمده است بنابراین در شکل ۴، مطابقت خوب بین نتایج نمونه CFX و نتایج نمونه آزمایشگاهی مشاهده می‌شود. با توجه به جدول ۱، میانگین خطای نسبی  $MAPE$  در سه مقطع عرضی  $-0.29$ ،  $-1/0$ ،  $1/62$ ؛  $y^*$  به ترتیب در حدود  $2/2$ ،  $5/2$  و  $6/95$ ٪ به دست آمده‌اند. در جدول، مقدار  $RMSE$  برای سه مقطع مقطع  $-0.29$ ،  $-1/0$ ،  $1/62$ ؛  $y^*$  به ترتیب  $0/17$ ،  $0/12$  و  $0/10$  است. در پایاب نهر فرعی  $-1/0$ ،  $1/62$ ؛  $y^*$  به علت وجود جریان‌های ثانویه

قسمت میانی آن  $2 \times 2 \times 2$  سانتی‌متر هستند. ابعاد سلول‌های شبکه نهر آبرگیر  $2 \times 2 \times 4$  سانتی‌متر انتخاب گردیدند. شکل ۳، نمای شبکه بندی میدان محاسباتی را در آبرگیر ۹۰ درجه نشان می‌دهد.

### ۳-۲- شبکه عصبی مصنوعی

شبکه ی عصبی مصنوعی ایده‌ای برگرفته از مغز انسان است که در حل مسایل پیچیده و علوم مختلف کاربردهای بسیاری دارد. به طور کلی یک شبکه عصبی مصنوعی از تعدادی گره بهم پیوسته (موسوم به نرون) تشکیل شده است که شامل یک لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی بوده و هر لایه از چندین نرون تشکیل شده است. هیچ قانون ثابتی برای آن‌که چه تعداد نرون باید در لایه‌های پنهان قرار بگیرد، وجود ندارد. اما اگر تعداد نرون‌های لایه پنهان بیش از حد زیاد باشد، ممکن است شبکه به طرز غیر قابل قبولی برای یادگیری هر مقداری، زمان بسیار طولانی وقت صرف کند (اسمیت، ۱۹۹۳؛ بیهان و همکاران، ۲۰۱۱؛ ملس و همکاران، ۲۰۱۱).

این شبکه‌ها انواع مختلفی داشته ولی معروف‌ترین نوع آن‌ها، پیشخور چند لایه (MLFF) است که در تحقیق حاضر از این نوع شبکه استفاده شده است. در این نوع شبکه، نرون‌های هر لایه به وسیله ی وزن‌هایی به نرون‌های لایه‌ی بعد متصل می‌شوند. گره‌های ورودی در این نوع هیچ محاسباتی را انجام نمی‌دهند، اما برای توزیع ورودی‌ها به شبکه استفاده می‌شوند. در این نوع شبکه اطلاعات از یک مسیر از طریق شبکه حاصل از لایه ی ورودی، از میان لایه‌های پنهان، در نهایت به سمت لایه‌ی خروجی عبور می‌کند. ساختار این نوع شبکه‌ها با قانون پس انتشار خطا تکمیل می‌شود. هر نرون در شبکه عصبی پیشخور چند لایه ای دو روش محاسبه را انجام می‌دهد، اول سیگنال تابعی و دوم تخمین لحظه‌ای گرادیان منحنی خطا نسبت به فراسنج‌هایی که ورودی نرون را به خود نرون وصل می‌کند. وجود این گرادیان‌ها جهت پخش سیگنال خطا در شبکه لازم است.

### ۴- بررسی نتایج

#### ۴-۱- صحت‌سنجی نمونه عددی با نتایج

#### آزمایشگاهی رامامورتی و همکاران (۲۰۰۷)

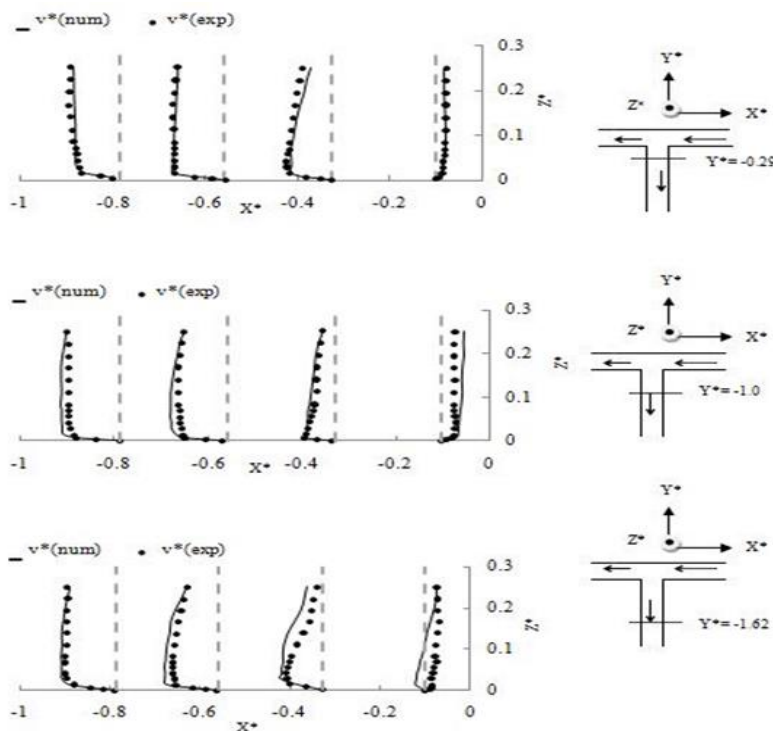
<sup>1</sup>the root mean square error

<sup>2</sup>mean abuar error

<sup>2</sup>solute percentage error

سرعت‌ها به صورت  $V_{max}$  بوده، و میزان تراکم ناحیه‌ی فشرده‌گی جریان در این ناحیه، بیشتر از سطح جریان است.

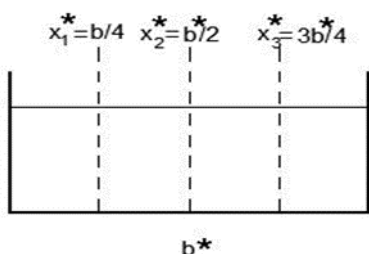
در ناحیه‌ی جدایی جریان، مقادیر سرعت طولی در راستای خلاف جهت جریان افزایش یافته و سرعت‌ها منفی می‌شوند. در ناحیه‌ی فشرده‌گی جریان و در عمق  $Z^* = 1/2$  تا  $Z^* = 1/0$  به علت تراکم خطوط جریان،



شکل ۴- مقایسه‌ی نتایج نمونه عددی ساخته شده با نتایج نمونه آزمایشگاهی رامامورتی و همکاران (۲۰۰۷).

جدول ۱- نتایج شاخص‌های آماری

$Y^*$	MAPE(%)	RMSE	$R^2$
-۰/۲۹	۲/۰۰	۰/۰۱	۰/۹۸
-۱/۰	۵/۲۰	۰/۰۱۲	۰/۹۱
-۱/۶۲	۶/۹۵	۰/۰۱۷	۰/۸۳



شکل ۵- موقعیت‌های عرضی برای اندازه‌گیری سرعت‌های طولی  $V^*_1, V^*_2, V^*_3$  در نهر آبگیر.

در هر یک از پنج نمونه ساخته شده مقدار  $W_T$  متفاوت با نمونه‌های دیگر بوده که به ترتیب در نمونه

#### ۴-۱- بررسی نتایج نمونه ANN در نسبت‌های

##### عرضی مختلف نهرها

در تحقیق حاضر، از پنج نمونه شبکه عصبی استفاده شده است. در هر نمونه، شش فراسنج ورودی بی‌بعد نسبت عرض نهر فرعی به عرض نهر اصلی ( $W_T$ )، مختصات‌های ( $Y^*$ )، سرعت‌های طولی اندازه‌گیری شده واقع بر سه ستون عمودی در مقطع‌های مختلف نهر آبگیر به وسیله‌ی نمونه عددی  $V^*_1, V^*_2, V^*_3$  و زاویه‌ی انحراف جریان ( $\Theta$ ) هستند. شکل ۵ موقعیت‌های عرضی برای اندازه‌گیری سرعت‌های طولی  $V^*_1, V^*_2, V^*_3$  در نهر آبگیر نشان می‌دهد.

با توجه به بی بعد بودن مقادیر ورودی شبکه عصبی می توان شبکه ی عصبی به دست آمده را برای هر آبنگیزجانبی دیگری با ابعاد عرضی وزوایای دلخواه به کار برد و سرعت متوسط جریان را محاسبه کرد. جدول ۲ میانگین خطای نسبی به دست آمده به وسیله ی نمونه ANN در حالت آموزش را برای نسبت های عرضی ۰/۶، ۰/۸، ۱/۰، ۱/۲، ۱/۴ نشان می دهد. با توجه به شکل، می توان گفت که نمونه ANN را در نسبت های عرضی ۰/۶، ۱/۲، ۱/۴ نیز دقت نسبتا بالایی است به طوری که در این  $W_r$  ها مقدار MAPE به دست آمده به ترتیب برابر با ۵/۶۷، ۶/۳۶، ۷/۱ درصد هستند. اما در  $W_r = 1/0$  بین نتایج نمونه ANN با مقادیر واقعی اندکی اختلاف وجود دارد که علت آن گسترش نواحی جدایی جریان و ناحیه انقباض جریان در این نسبت عرضی است. در مجموع با توجه به توضیحات ارائه شده می توان گفت که نمونه ANN ارائه شده جهت پیش بینی سرعت متوسط جریان یا دقت خوبی آموزش دیده است.

جدول ۲- میانگین خطای ارائه شده برای نسبت های عرضی مختلف در حالت آموزش.

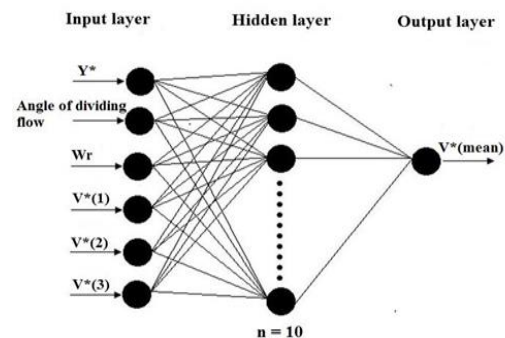
$W_r$	۰/۶	۰/۸	۱/۰	۱/۲	۱/۴
MAPE %	۵/۶۷	۱/۸	۱۳/۴۷	۶/۳۶	۷/۱

#### ۴-۲- بررسی نتایج نمونه ANN در زوایای مختلف آبنگیزی

در این قسمت به بررسی نتایج شبکه ی عصبی مصنوعی در پیش بینی سرعت متوسط جریان در زوایای مختلف آبنگیزی پرداخته شده است. در این بررسی، نمونه های آبنگیز جانبی تحت زوایای آبنگیزی ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه به ازای نسبت ثابت توزیع بده ۰/۸۳۸، برای هر یک از نسبت های عرضی ۰/۶، ۰/۸، ۱/۰، ۱/۲، ۱/۴ مطالعه شد. در شکل (۷) مقادیر سرعت متوسط جریان ( $V^*_{mean}$ ) به دست آمده از ANN در حالت آموزش با مقادیر به دست آمده از مطالعات آزمایشگاهی در زوایای ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه برای هر یک از نسبت های عرضی ۰/۶، ۰/۸، ۱/۰، ۱/۲، ۱/۴ مقایسه شده است. در این مقایسه در مجموع از ۳۰۰ داده ی آزمایشگاهی استفاده شده است،

اول تا پنجم مقدار  $W_r$  به ترتیب ۰/۶، ۰/۸، ۱، ۱/۲، ۱/۴ است و زاویه انحراف نیز برای هر نمونه، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه است. در هر پنج نمونه خروجی یا هدف، سرعت متوسط جریان در نهر فرعی  $V_{mean}$  است. در هر شبکه از ۶، ۱۰، ۱ نرون به ترتیب در لایه ی ورودی، یک لایه پنهان و لایه خروجی استفاده شده است (شکل ۶). برای تعیین تعداد نرون های لایه ی میانی قاعده ی مشخصی وجود ندارد، به همین دلیل با روش آزمون و خطا و در نظر گرفتن تعداد نرون های مختلف، در لایه ی میانی، نمونه های مختلفی آزمایش شده و نمونه ای که بهترین نتایج را ارائه کرده به عنوان نمونه شبکه ی عصبی نهایی انتخاب گردیده است. در همه ی شبکه ها و در تمام لایه ها از تابع فعال ساز تنسیگ و برای آموزش نمونه ANN از روش پس انتشار خطا استفاده شده است.

در تحقیق حاضر، در مقاطعی که نتایج آزمایشگاهی موجود نیستند از نتایج نمونه CFX در آموزش نمونه ANN استفاده می شود، بنابراین برای ساخت نمونه ANN در ۰/۶، ۰/۸، ۱، ۱/۲، ۱/۴ مجموعا از ۴۵۰ داده ی CFX نمونه و آزمایشگاهی رانامورتی و همکاران (۲۰۰۷) استفاده شده است. این داده ها به دو قسمت آزمون و آموزش تقسیم می شوند. تقسیم داده ها به صورت تصادفی بوده و از مجموع ۴۵۰ داده تعداد ۳۰۰ داده یعنی ۶۶/۵٪ به عنوان داده های آموزش، ۱۵۰ داده یعنی ۳۳/۵٪ به عنوان داده های آزمون انتخاب می گردند، یعنی در هر نسبت عرضی  $W_r$ ، ۹۰ داده موجود است، که از این تعداد ۶۰ داده جهت آموزش و ۳۰ داده جهت آزمون شبکه استفاده شده است.

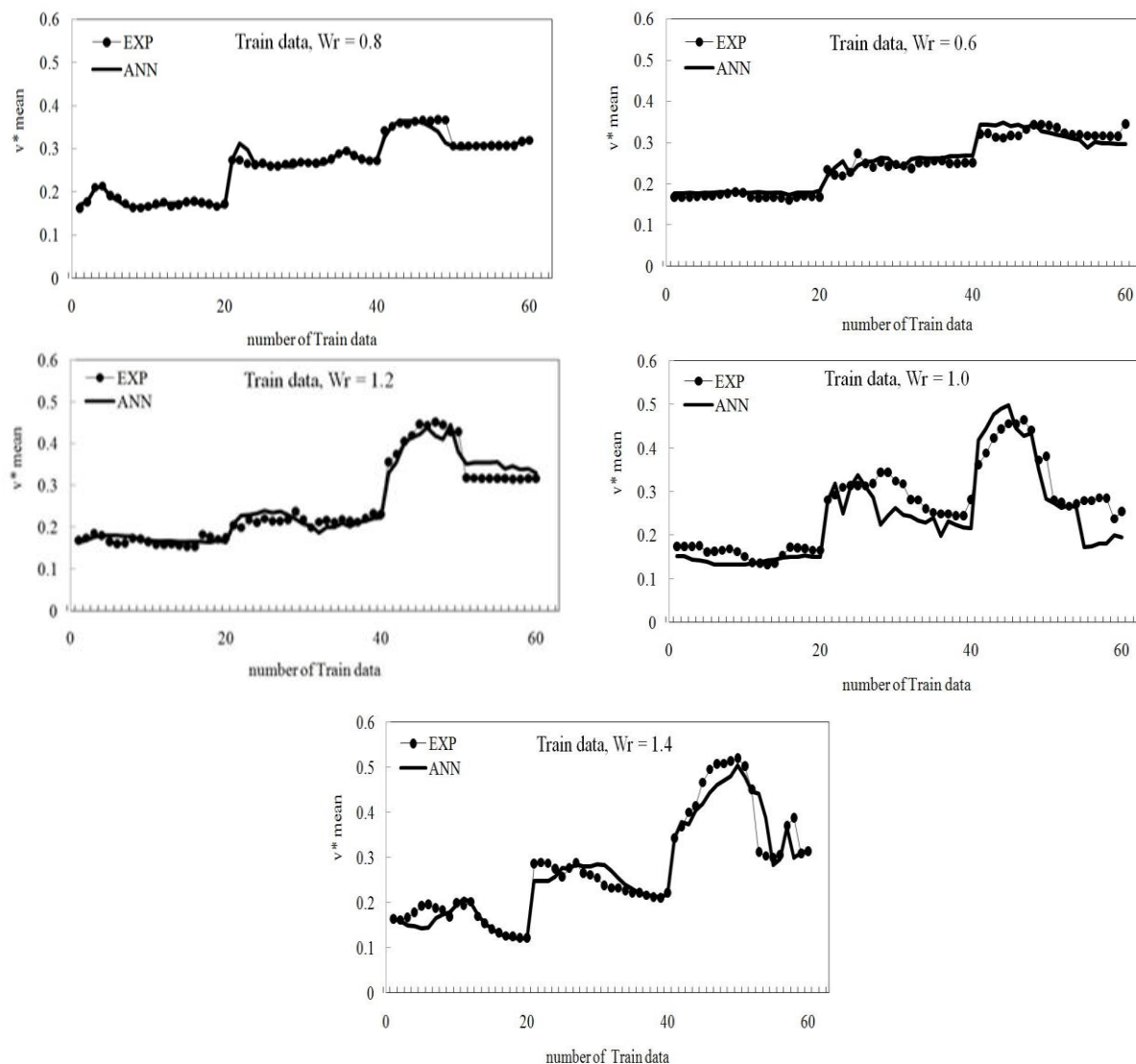


شکل ۶- ساختار نمونه شبکه ی عصبی جهت بررسی میدان سرعت نهر آبنگیزی در هر پنج شبکه با مقادیر عرض متفاوت و زوایای مختلف آبنگیزی.

طبق جدول ۳، در هر نسبت عرضی ۶۰ داده و برای هر زاویه از ۲۰ داده آزمایشگاهی استفاده شده است.

**جدول ۳- محدوده‌ی تعداد داده‌های آزمایشگاهی برای زوایای ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه در حالت آموزش**

تعداد داده های آموزش	زاویه ی انحراف جریان
۰ - ۲۰	$\theta = 30^\circ$
۲۱ - ۴۰	$\theta = 60^\circ$
۴۱ - ۶۰	$\theta = 90^\circ$



شکل ۷- مقایسه سرعت متوسط برآورد با نتایج آزمایشگاهی برای زوایای آگیری مختلف در حالت آموزش.

اختلاف بین  $v^*_{mean} (ANN)$  و  $v^*_{mean} (Exp)$  را نشان می‌دهد که بیانگر دقت نسبتاً خوب نمونه ANN در پیش‌بینی  $v^*_{mean}$  است. با توجه به جدول مشاهده می‌شود که نمونه ANN برای زوایای ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه در  $Wr = 0.8$ ، نتایج نسبتاً بهتری را نسبت به دیگر  $Wr$  ها ارائه داده است به طوری که مقدار MAPE به دست

در شکل (۷) مشاهده می‌گردد در زوایای ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه،  $v^*_{mean}$  به دست آمده از نمونه ANN دارای تطابق نسبتاً خوبی با نتایج آزمایشگاهی است. این مطلب نیز نشان دهنده ی آن است که می‌توان از این نمونه جهت به دست آوردن  $v^*_{mean}$  در هر زاویه ی آگیری دلخواهی استفاده کرد. جدول ۴ با استفاده از MAPE



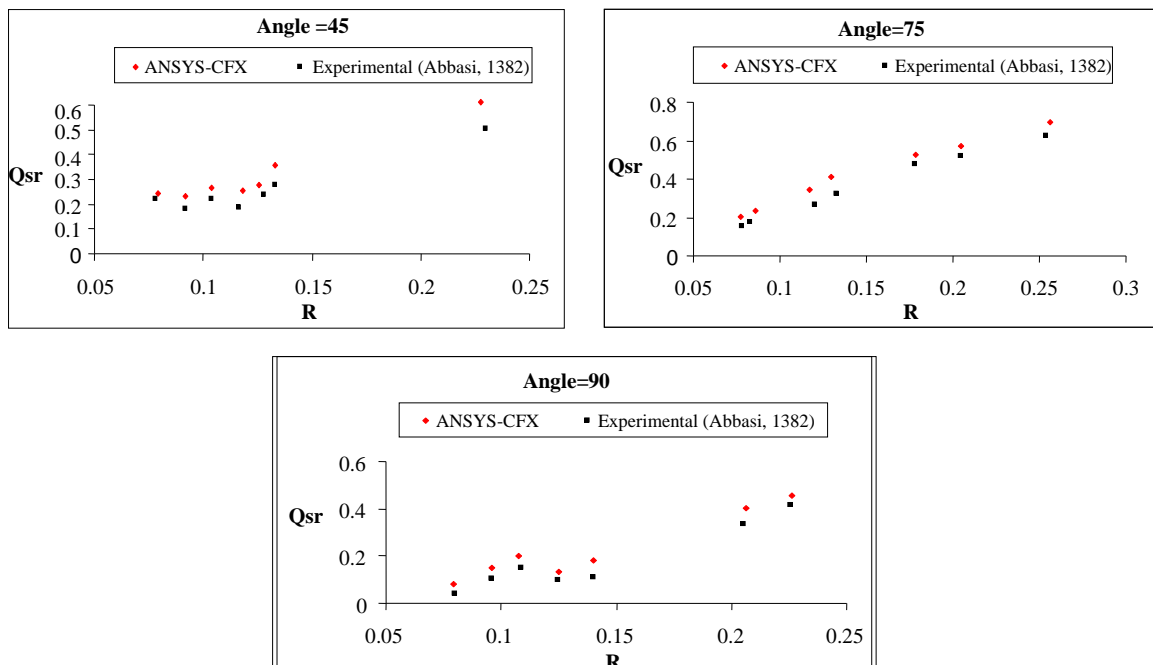
هرچه سرعت ورودی به آبگیر بیشتر شود، نسبت بده آبگیر به بده نهر اصلی بیشتر می‌گردد. این پدیده باعث به وجود آمدن نواحی جدایی جریان می‌شود. بروز پدیده جدایی جریان باعث ایجاد گردابه‌هایی در جلوی دهانه و داخل آبگیر شده و باعث کاهش بازده آبگیری بر اثر وقوع این پدیده خواهد شد. علاوه بر آن در ناحیه گردابی استعداد تجمع مواد ته‌نشست‌ها وجود خواهد داشت که با مرور زمان در آبگیرهای عریض امکان تثبیت مواد ته‌نشست‌ها و کاهش ظرفیت آبگذری آبگیر را سبب خواهد شد. در این حالت با توجه به نمونه آزمایشگاهی عباسی (۱۳۸۲) تاثیر نسبت‌های مختلف بده آبگیری ( $R$ ) عباسی  $0.078$  الی  $0.226$  در زوایای مختلف آبگیری  $45^\circ$ ،  $75^\circ$  و  $90^\circ$  درجه به ازای عدد فرود ثابت جریان ورودی ( $Fr$ )  $0.4$  بر نسبت مواد معلق ورودی به آبگیر ( $Q_{sr}$ ) مورد بررسی قرار گرفته است. شکل (۸)، مقادیر مختلف  $R$  بر حسب  $Q_{sr}$  را در زوایای مختلف آبگیری نشان می‌دهد.

آمده در این نسبت عرضی برای زوایای  $30^\circ$ ،  $60^\circ$  و  $90^\circ$  درجه به ترتیب برابر  $1/58$ ،  $1/87$  و  $2/04$  درصد است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که نمونه ANN جهت پیش‌بینی سرعت متوسط جریان یا دقت خوبی آموزش دیده است.

جدول ۴- شاخص‌های آماری به دست آمده برای داده‌های آموزش.

MAPE (%)			
$\Theta$ (degree)	$30^\circ$	$60^\circ$	$90^\circ$
$W_r = 0.6$	5/12	5/88	6/01
$W_r = 0.8$	1/58	1/87	2/04
$W_r = 1.0$	11/78	13/44	15/19
$W_r = 1.2$	5/45	6/35	7/29
$W_r = 1.4$	6/01	7/01	8/31

#### ۵- بررسی میزان مواد معلق ورودی به آبگیر بر حسب نسبت بده آبگیری در زوایای آبگیری مختلف



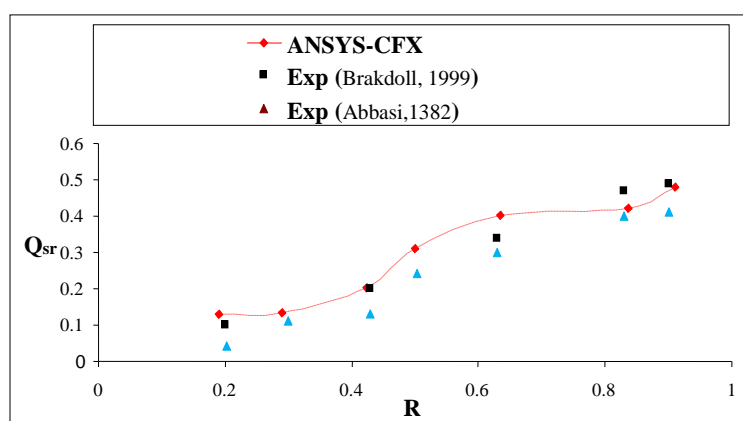
شکل ۸- میزان مواد معلق ورودی به آبگیر بر حسب نسبت بده آبگیری در زوایای آبگیری  $45^\circ$ ،  $75^\circ$  و  $90^\circ$  درجه

آبگیری، نسبت مواد معلق ورودی به آبگیر افزایش می‌یابد. افزایش نسبت آبگیری باعث می‌شود که بخش

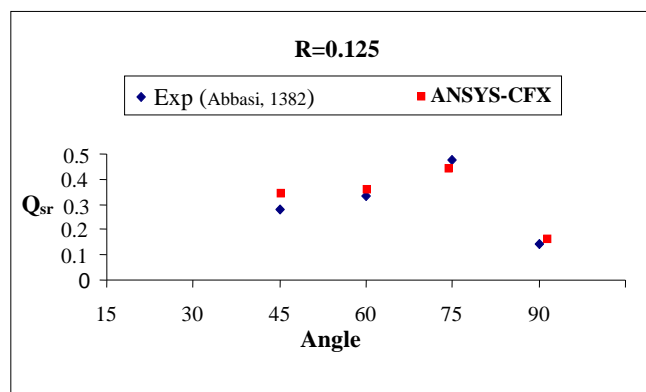
با توجه به شکل (۸) و بررسی نتایج، در انطباق با نتایج آزمایشگاهی عباسی (۱۳۸۲)، با افزایش نسبت

در شکل (۹) میزان نسبت مواد معلق ورودی به آگیر بر حسب نسبت بده آگیری در زاویه آگیری ثابت ۹۰ درجه با نتایج آزمایشگاهی بارکدل و همکاران (۱۹۹۹) نیز مقایسه شده است. در نمونه آزمایشگاهی بارشناسهل و همکاران (۱۹۹۹)، طول نهر اصلی ۲۴ متر، عرض آن ۱/۵ متر و عمق آن ۰/۱۵۲ متر بوده و عرض نهر آگیر ۰/۶ متر با زاویه انحراف ۹۰ درجه و طول ۲/۴۵ متر، انجام شده است.

بیشتری از جریان عبوری از نهر اصلی وارد نهر آگیر شده، مولفه‌ی عرضی سرعت در جلوی دهانه آگیر با افزایش نسبت آگیری افزایش یافته و در نتیجه مواد معلق بیشتری وارد نهر آگیر می‌شود. با توجه به نتایج به دست آمده از شکل (۸)، درصد خطای حداقل حاصل از مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی در زاویه‌ی آگیری ۹۰ درجه، میانگین خطا ۸/۳۲ درصد و در زاویه‌ی آگیری ۷۵ درجه میانگین خطا ۱۱/۱۴ درصد بوده و در زاویه‌ی آگیری ۴۵ درجه خطای میانگین ۱۴/۶۸ درصد است.



شکل ۹- میزان مواد معلق ورودی بر حسب بده آگیری در تحقیق حاضر با نتایج سایر محققین



شکل ۱۰- نسبت مواد معلق ورودی بر حسب زوایای مختلف آگیری در نسبت ثابت بده آگیری ۰/۱۲

## ۶- تاثیر زوایای مختلف آگیری بر نسبت مواد معلق ورودی به آگیر

مناسب‌ترین راه حل برای انتخاب زاویه آگیری مناسب استفاده از نمونه فیزیکی است که بر اساس نسبت بده انحراف مورد نظر و ایجاد شرایطی که حداقل مواد معلق را به سامانه انحراف هدایت می‌نماید، زاویه انحراف را تعیین می‌کند. در این قسمت با توجه به نمونه

در شکل (۹) مشاهده می‌شود که به ازای زاویه آگیری ثابت، با افزایش نسبت بده آگیری، نسبت مواد معلق ورودی به آگیر نیز افزایش می‌یابد که میانگین خطا ۱۴/۴۲ درصد به دست آمده است. با افزایش بیشتر نسبت آگیری از ۰/۲ به ۰/۹، غلظت مواد معلق ورودی به آگیر از ۰/۰۲ به ۰/۲ کیلوگرم بر مترمکعب می‌رسد.

با توجه به نتایج حاصله، به ازای نسبت ثابت بده آگیری، با افزایش عدد فرود جریان ورودی نسبت مواد معلق ورودی به نهر آگیر، به علت کاهش مولفه‌ی عرضی سرعت در جلوی دهانه‌ی آگیر، کاهش می‌یابد، در نتیجه، مواد معلق به پایاب منتقل شده و مواد معلق کمتری وارد دهانه آگیر می‌شوند. با افزایش نسبت آگیری باعث می‌شود که بخش بیشتری از جریان عبوری از نهر اصلی وارد نهر آگیر شود و مولفه‌ی عرضی سرعت در جلوی دهانه‌ی آگیر با افزایش نسبت آگیری افزایش یافته، و در نتیجه مواد معلق بیشتری وارد نهر آگیر می‌شود. در یک نسبت ثابت آگیری، با افزایش زاویه‌ی آگیری نسبت مواد معلق ورودی به آگیر افزایش می‌یابد.

### منابع

- ۱) صفرزاده ا. و صالحی نیشابوری ع.ا. ۱۳۸۷. مطالعه هیدروپویایی الگوی جریان آشفته و پدیده انتقال مواد معلق در رودخانه کارون با استفاده از نمونه عددی دو بعدی، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز.
- ۲) عباسی ع.ا. ۱۳۸۲. مطالعه آزمایشگاهی تنظیم مواد معلق در آگیرهای جانبی در مسیرهای مستقیم، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی عمران.
- 3) 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.
- 4) Brakdoll, B.D. and Ettema R.O. 1999. Sediment control at lateral diversions: limits and enhancements to vane Use. *J.Hydraul. Eng. ASCE* 129(2): 83-87.
- 5) Bilhan, O., Emiroglu, M. E., and Kisi, O. 2011. Use of artificial neural networks for prediction of discharge coefficient of triangular labyrinth side weir in curved channels. *Advances in Engineering Software* 42(4): 208-214
- 6) Bonakdari, H., Baghalian, S., Nazari, F., and Fazli, M. 2011. Numerical analysis and prediction of the velocity field in curved open channel using artificial neural network and genetic algorithm. *Engineering Applications*

آزمایشگاهی عباسی (۱۳۸۲) تاثیر زوایای مختلف آگیری (θ) ۷۵، ۴۵ و ۹۰ درجه در نسبت ثابت بده آگیری ۰/۱۲ به ازای عدد فرود ثابت جریان ورودی (Fr) ۰/۴ بر نسبت مواد معلق ورودی به آگیر ( $Q_{sr}$ ) با استفاده از نمونه CFX تحلیل شده است (شکل ۱۰).

### ۷- نتیجه گیری

با توجه به نتایج صحت‌سنجی با مقدار میانگین،  $MAPE = 4/71$  درصد و میانگین  $RMSE$  برابر با  $0/13$  نتایج نمونه عددی CFX ساخته شده با نتایج آزمایشگاهی مطابقت نسبتاً خوبی دارند، بنابراین می‌توان از نتایج نمونه CFX برای بررسی اثر فراسنج‌های هیدرولیکی و هندسی مختلف بر میزان مواد معلق ورودی به نهرهای انحرافی استفاده کرد. در ابتدا با استفاده از فراسنج‌های بدون بعد، نسبت عرض نهر فرعی به عرض نهر اصلی ( $W_r$ )، مختصات طولی در نهر آگیر ( $Y^*$ )، سرعت‌های طولی اندازه‌گیری شده واقع بر سه ستون عمودی در مقطع‌های مختلف نهر آگیر به وسیله‌ی نمونه عددی  $V_1^*, V_2^*, V_3^*$  و زاویه‌ی انحراف جریان ( $\theta$ )، نمونه ANN طراحی گردید. سپس نتایج نمونه ANN با نتایج آزمایشگاهی در نسبت‌های عرضی مختلف مقایسه شد و مشاهده گردید که نمونه شبکه‌ی عصبی در نسبت عرضی  $0/8$ ، با مقدار خطای نسبی  $1/8$  درصد نسبت به بقیه‌ی نسبت‌های عرضی بهتر عمل می‌کند. همچنین پیش‌بینی نمونه ANN با زوایای آگیری مختلف و مقایسه‌ی با نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهد که مجدداً در همین نسبت عرضی برای زوایای  $30^\circ$ ،  $60^\circ$  و  $90^\circ$  درجه مقدار خطای نسبی به ترتیب برابر با  $1/58$ ،  $1/87$  و  $2/04$  درصد است که کمترین مقادیر خطا را نسبت به بقیه‌ی نسبت‌های عرضی را داراست. در حالت کلی، نتایج حاصله حاکی از دقت نسبتاً بالای نمونه ANN ساخته شده در پیش‌بینی سرعت متوسط جریان در آگیرها با زوایای آگیری مختلف در نسبت‌های عرضی مختلف است. لذا می‌توان گفت با توجه به بی‌بعد بودن تمام فراسنج‌های استفاده شده در طراحی ANN، این نمونه می‌تواند به‌عنوان یک نمونه کاربردی برای هر آگیرجانبی با هر زاویه‌ی آگیری و نسبت عرضی دلخواهی استفاده شود.

- Distribution Rep. No. 194, Iowa Institute of Hydraulic Research, Iowa City, Iowa.
- 19) Neary, V.S., Odgaard, A.J. 1993. Three-dimensional flow structure at open channel diversions. *Journal of Hydraulic Engineering* 119(11):1224-1230.
- 20) Olsen, N.B.R. 2006. A three-dimensional numerical model for simulation of sediment movements in water intakes with multiblock option. Department of Hydraulic and Environmental Engineering, the Norwegian University of Science and Technology.
- 21) Raudkivi, A. J. 1993. Sedimentation exclusion and removal of sediment from diverted water. IAHR. AIRH. *Hydraulics Structures*.
- 22) Ramamurthy, A.S., junying qu and diep VO. 2007. Numerical and experimental study of dividing open-channels flows. *Journal of Hydraulic Engineering* 130(10): 1135-1144.
- 23) Smith, M. 1993. Neural networks for statistical modelling, Thomson Learning.
- 24) Taylor, E. 1944. Flow characteristics at rectangular open channel junction, *Journal of Hydraulic Engineering* 10(6):893-902.
- 25) Wilcox, D. C. 2000. Turbulence modeling for CFD, 2nd Ed., DCW Industries, Inc.
- of Computational Fluid Mechanics 5(3): 384-396.
- 7) 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.
- 8) Ebtehaj, I., and Bonakdari, H. 2013. Evaluation of sediment transport in sewer using artificial neural network.
- 9) Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics 7(3): 382-392.
- 10) Issa, R, I., and Oliveira, P. J. (1944). Numerical prediction of phase separation in tow-phase flow through t-junction. *Comp. and Fluids* 23(2): 347-372.
- 11) Kasthuri, B., and Pundarikanthan, N.V. 1987. Discussion of separation zone at open channel junction'. *Journal of hydraulic Engineering* 113(4):543-544.
- 12) Kim, B., Lee, S.E., Song, M.Y., Choi, J.H., Ahn, S.M., Lee, K.S., et al. 2008. Implementation of artificial neural networks (ANNs) to analysis of inter-taxa communities of benthic microorganisms and macro invertebrates in a polluted stream. *Sci Total Environ* 390:262-274.
- 13) Kisi, O. 2005. Suspended sediment estimation using neuro-fuzzy and neural network approaches. *Hydrol. Sci. J* 50(4):683-696.
- 14) Kisi, O. 2008. River flow forecasting and estimation using different artificial neural network techniques. *Hydrology Research* 39(1):27-40.
- 15) 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.
- 16) Melesse, A., Ahmad, S., McClain, M., Wang, X., and Lim, Y. 2011. Suspended sediment load prediction of river systems: An artificial neural network approach. *Agricultural Water Management* 98(5): 855-866.
- 17) Murthy, K.K., and Shettar, A.S. 1996. A Numerical study of division of flow in open channel, *J. Hydr. Res* 34 (5): 651-675.
- 18) Nakato, T. 1992. A hydraulic model study: Design of sediment-control devices for the intakes near river IIHR limited