

ارزیابی مدل‌های دوفازی اویلری و لاگرانژی در شبیه‌سازی سازوکار انتقال رسوب در کانال قوسی ۱۸۰ درجه با آبگیر جانبی

کیوان توکلی^۱، حسین منتصری^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه یاسوج

۲- استادیار دانشکده مهندسی، گروه عمران، دانشگاه یاسوج

*hmontaseri@gmail.com

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۵/۱۰/۱۸]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۵/۰۲/۱۲]

چکیده- پدیده انتقال رسوب توسط جریان سیال در گروه جریان‌های چند فازی قرار می‌گیرد. در این پژوهش با استفاده از نرم افزار فلوئنت به ارزیابی مدل‌های دوفازی اویلری و فاز گسسته لاگرانژی در مدل‌سازی پدیده انتقال رسوب و سازوکارهای ورود رسوبات به آبگیر جانبی واقع در موقعیت ۱۱۵ درجه از یک کانال قوسی ۱۸۰ درجه با روش تزریق رسوب پرداخته شده است. برای بررسی عملکرد مدل‌های دوفازی، روند حرکت رسوبات در زمان‌های مختلف از شروع تزریق در مدل‌های عددی با مدل آزمایشگاهی مقایسه شده‌اند. نتایج نشان دهنده عملکرد مناسب هر دو مدل در تعیین مسیر حرکت ذرات بستر در زمان‌های مختلف در کف کانال و سازوکار ورود رسوبات به داخل آبگیر است اما مدل اویلری از عملکرد بهتری برخوردار است. در شبیه‌سازی توپوگرافی بستر نیز عملکرد روش اویلری بسیار بهتر از مدل فاز گسسته بوده است. در عوض روش فاز گسسته توانایی تعیین درصد ذرات منحرف شده به داخل آبگیر را دارد. در این پژوهش اثر زاویه انحراف آبگیر و درصد دبی آبگیری بر سازوکار شکل‌گیری توپوگرافی بستر، سازوکار ورود رسوبات به آبگیر و درصد رسوب انحرافی مورد مطالعه قرار گرفته است. سازوکار ورود رسوبات به آبگیر در دبی‌های آبگیری مختلف متفاوت است اما همواره دو پشته رسوبی در مجاورت قوس داخلی در نیمه اول و دوم قوس ایجاد می‌شود. افزایش دبی آبگیری باعث کاهش نسبی ابعاد پشته‌های رسوبی می‌شود. سازوکار ورود رسوبات به آبگیر تحت تاثیر زاویه انحراف آبگیر نیز است در زاویه آبگیری ۵۰ درجه کمترین مقدار رسوب در کلیه دبی‌های آبگیری وارد آبگیر می‌شود.

واژگان کلیدی: مدل دوفازی اویلرین، مدل دو فازی فاز گسسته، توپوگرافی بستر، سازوکار انتقال رسوب، فلوئنت.

۱- مقدمه

وجود دارد: دیدگاه اویلر-اویلر^۱ و دیدگاه اویلر-لاگرانژ^۲. در نگرش اویلر-اویلر، فازهای مختلف به عنوان یک محیط درهم تنیده پیوسته به صورت ریاضی بررسی می‌شود. معادلات پایستگی برای هر فاز به منظور به دست آوردن مجموعه‌ای از معادلات استخراج می‌شود. این معادلات با روابطی که از اطلاعات تجربی و یا با استفاده از نظریه جنبشی بدست می‌آیند، بسته می‌شوند. در فلوئنت، سه مدل

طیف وسیعی از جریان‌های موجود در طبیعت و تکنولوژی مخلوطی از فازهای مختلف هستند. فازهای فیزیکی این جریان‌ها شامل گاز، مایع و جامد است. پیشرفت در مکانیک سیالات محاسباتی پایه و اساس بینش بیشتر به دینامیک جریان‌های چند فازی را فراهم آورده است. در حال حاضر دو دیدگاه برای محاسبه عددی جریان‌های چند فازی

جانمایی آبگیرهای جانبی در قوس خارجی رودخانه‌ها بر این پیچیدگی می‌افزاید. بیشتر مطالعات انجام شده در زمینه‌ی مورفولوژی رودخانه‌ها به مطالعه تغییرات بستر پرداخته‌اند و سازوکارهای شکل‌گیری توپوگرافی بستر و به ورود رسوبات آبگیرهای جانبی در قوس خارجی رودخانه‌ها کمتر توجه شده است. در این پژوهش با استفاده از نرم افزار فلونت به شبیه‌سازی پدیده انتقال رسوب در یک کانال قوسی ۱۸۰ درجه با آبگیر جانبی پرداخته شده است. در این شبیه‌سازی از مدل‌های دوفازی اویلری و فاز گسسته لاگرانژی در نرم افزار فلونت بهره گرفته شده است و تغییرات زمانی حرکت ذرات رسوب تزریق شده، روند تشکیل توپوگرافی بستر و سازوکار ورود رسوبات به آبگیر جانبی در کانال قوسی ۱۸۰ درجه تحت اثر دبی‌های آبگیری و زوایای آبگیری مختلف بررسی شده است.

در ادامه به مروری بر مطالعات انجام گرفته در زمینه کاربرد مدل‌های دوفازی و شبیه‌سازی عددی میدان جریان و رسوب در کانال‌های قوسی پرداخته می‌شود. شمس و همکاران در سال ۲۰۰۲ مدل سازی عددی انتقال رسوب در رودخانه‌های مناندی را با استفاده از مدل فاز گسسته لاگرانژی انجام دادند [1]. در سال ۲۰۰۸ اثر شکل رسوب‌گیرهای کف در افزایش کارایی آن‌ها با استفاده از مدل فاز گسسته به وسیله تینگلاس و همکاران بررسی شد [2]. در سال ۲۰۱۲ کاوشالی و همکاران با انجام مطالعه آزمایشگاهی به بررسی درستی عملکرد مدل عددی فاز گسسته در محاسبه راندمان تله‌اندازی رسوب‌گیرهای کف پرداختند [3]. نظری و صالحی نیشابوری (۲۰۱۶) با استفاده از مدل فلونت و روش فاز گسسته به بررسی پدیده انتقال رسوب در کانال مستقیم با آبگیر جانبی پرداختند [4]. در زمینه الگوی جریان و توپوگرافی بستر در قوس رودخانه‌ها با وجود آبگیر جانبی می‌توان به مطالعات شفافی بچستان و نظری (۱۹۹۰) اشاره نمود که به اثر زاویه آبگیری بر میزان رسوب ورودی به آبگیر جانبی پرداختند [5]. ایزدپناه و

چند فازی اویلر-اویلر مختلف در دسترس است. مدل حجم سیال، مدل مخلوط و مدل اویلری^۳ برای مدل‌سازی رسوب، باید از مدل اویلری استفاده کرد. مدل اویلری پیچیده ترین مدل چندفازی در نرم افزار FLUENT است. استفاده از مدل چند فازی اویلری در FLUENT برای مدل سازی‌های فازهای جداگانه و فازهای متعامل امکان پذیر است. در مقابل، مدل لاگرانژی فاز گسسته^۴ (DPM) دیدگاه اویلر-لاگرانژی را دنبال می‌کند. در این مدل فاز سیال با حل معادلات ناویر استوکس متوسط‌گیری شده زمانی^۵ به عنوان یک محیط پیوسته تلقی می‌شود، در حالی که فاز پراکنده با ردیابی تعداد زیادی از ذرات در میدان جریان محاسبه شده حل می‌شود. فاز پراکنده می‌تواند با فاز مایع تبادل اندازه حرکت، جرم و انرژی نماید. از جمله جریان‌های دوفازی مهم در طبیعت و سازه‌های آبی می‌توان به جریان آب و رسوب در دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، آبگیرها و ... اشاره نمود. مسئله انتقال رسوب به وسیله‌ی جریان آب یکی از موضوعات جالب توجه برای طیف گسترده‌ای از علوم و شاخه‌های مهندسی است. انتقال آبی ذرات رسوب به صورت بار معلق و بار بستر انجام می‌گیرد. اگرچه بیشتر رسوبات به صورت بار معلق انتقال پیدا می‌کنند ولی بار بستر عامل مهمی در چگونگی تشکیل فرم‌های بستر دارد که بر شرایط جریان نیز تاثیر می‌گذارد. در آبگیری از رودخانه‌ها طراحی باید بگونه‌ای انجام شود که بیشترین دبی آبگیری همراه با کمترین رسوب ورودی به آبگیر همراه باشد. از این رو شناخت سازوکار و فرآیند انتقال رسوب به آبگیر دارای اهمیت فراوان است.

از مشخصه‌های مهم آبراهه‌های قوسی وجود جریان حلزونی است که جهت آن در سطح آب به سمت ساحل خارجی و در کف به سمت ساحل داخلی است که موجب هدایت رسوبات بستر از ساحل خارجی به ساحل داخلی می‌شود. بنابراین ساحل خارجی رودخانه‌ها مکان مناسبی برای احداث آبگیرهای جانبی محسوب شود. سازوکار انتقال رسوب در قوس رودخانه‌ها دارای پیچیدگی فراوانی است و

4 The Lagrangian Discrete Phase Model
5 The time-averaged Navier-Stokes equations

1 The volume of fluid (VOF) model
2 The mixture model
3 The Eulerian model

دارای دانه‌بندی یکنواخت، قطر متوسط $1/28$ میلی‌متر و با نرخ ثابت به وسیله‌ی دستگاه تزریق رسوب به صورت پیوسته از بالادست قوس تزریق شده‌اند. شرایط آزمایشگاهی به گونه‌ای بوده است که حرکت رسوبات به صورت بار بستر باشد. در مدل آزمایشگاهی نرخ دستگاه تزریق رسوب برابر بیشینه قدرت حمل جریان در مسیر بالادست قوس انتخاب شده است. نرخ تزریق رسوب برابر 450 گرم بر دقیقه در مدل آزمایشگاهی انتخاب شده است که همین مقدار نیز در مدل عددی اعمال شد. زمان انجام آزمایش‌ها در مدل آزمایشگاهی $4/5$ ساعت بوده است (منتصری، ۲۰۰۸).

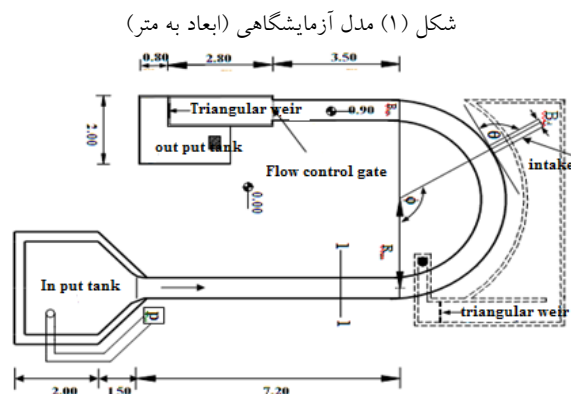


Fig (1) Experimental Model (Dimensions in meter)

۳- مدل عددی

در این پژوهش از نرم‌افزار فلونت برای شبیه‌سازی استفاده شده است. نرم‌افزار فلونت توانایی شبیه‌سازی جریان‌های چند فاز، دو فاز و دو فاز گسسته که حرکت ذرات رسوب در سیال به صورت فازهای گسسته است را دارد. همان‌گونه که بیان شد در برخورد با جریان‌های دو فاز دو دیدگاه کلی وجود دارد: دیدگاه اولیری و دیدگاه لاگرانژی.

۳-۱- معادلات حاکم بر مدل اولیری

این مدل جریان حاوی رسوب را به صورت جریان دو فاز شامل فاز آب و ماسه در نظر می‌گیرد به طوری که این فازها محیط‌های جداگانه‌ای را تشکیل می‌دهند. معادلات پیوستگی برای دو فاز ماسه و آب به شکل زیر است:

صالحی نیشابوری (۱۹۹۷) برای تعیین زاویه انحراف مناسب آبگیر در قوس 90° درجه از روش تزریق رسوب روی بستر صلب استفاده نمودند [6]. دهقانی (۲۰۰۷) به بررسی اثر موقعیت و زاویه انحراف آبگیر جانبی بر توپوگرافی بستر در قوس 180° درجه پرداخت [7]. ابولقاسمی (۲۰۰۷) در یک کانال مئاندری به بررسی توپوگرافی بستر با حضور آبگیر جانبی پرداخت [8]. منتصری (۲۰۰۸) به بررسی چگونگی حرکت رسوبات تزریق شده در یک کانال قوسی 180° درجه با بستر صلب و آبگیر جانبی برای دبی‌های آبیگری متفاوت و اعداد فرود متفاوت پرداخت [9]. آسیایی و منتصری (۲۰۱۶) به شبیه‌سازی الگوی رسوب‌گذاری و سازوکار انتقال رسوب در قوس 180° درجه با آبگیر جانبی به کمک نرم‌افزار SSIM2 پرداختند [10]. مشخص است تاکنون مطالعات زیادی روی روند شکل‌گیری توپوگرافی بستر و شناسایی مسیر حرکت ذرات رسوب و شبیه‌سازی رسوبات به وسیله‌ی نرم‌افزار فلونت صورت نگرفته است.

۲- مدل آزمایشگاهی

مدل آزمایشگاهی مربوط به مطالعات منتصری (۲۰۰۸) است. این مدل شامل یک کانال U شکل با شعاع متوسط $2/6$ متر و عرض $0/6$ متر واقع در دانشگاه تربیت مدرس است شکل (۱). در قسمت بالادست قوس یک کانال مستقیم به طول $7/2$ متر و در پایین دست قوس کانال مستقیمی به طول $5/2$ متر وجود دارد. دیواره‌های کانال از جنس پلکسی گلاس و کف کانال از جنس شیشه است. در موقعیت $\theta=115^\circ$ درجه از قوس، کانال آبگیر با زاویه انحراف $\theta=45^\circ$ درجه قرار دارد. زاویه انحراف آبگیر (θ) نسبت به خط عمود بر شعاع قوس گذرنده از موقعیت آبگیر اندازه‌گیری شده است. عرض و طول کانال آبگیر به ترتیب 25 سانتی‌متر و $2/5$ متر است. دبی جریان ورودی در این آزمایش‌ها 40 لیتر بر ثانیه، عمق جریان در ورودی برابر 14.5cm و دبی آبیگری 25 و 40 درصد دبی جریان در کانال اصلی می‌باشد. در مدل آزمایشگاهی از روش تزریق رسوب روی بستر صلب استفاده شده است. رسوبات

بر واحد جرم ذره، F_{ext} مجموع نیروی شتاب‌دهنده به ذرات بر واحد جرم است. نیروی درگ به علت لغزش نسبی بین ذره و سیال به وجود می‌آید (رابطه ۹).

$$F_D = \frac{18\mu C_D Re}{\rho_p d_p^2} \quad (9)$$

در این رابطه μ لزجت مولکولی سیال، ρ چگالی سیال، ρ_p چگالی ذرات رسوب، d_p قطر ذره، Re عدد رینولدز و C_D ضریب درگ است که از روابط (۱۱ و ۱۲) بدست می‌آیند:

$$Re \equiv \frac{\rho d_p |u_p - u|}{\mu} \quad (10)$$

$$C_D = a_1 + \frac{a_2}{Re} + a_3/Re^3 \quad (11)$$

در این روابط a_1 ، a_2 و a_3 ضرایب ثابتی هستند (راهنمای فلوئنت).

۳-۳- معرفی شرایط مرزی روش‌های عددی

برای اعمال شرایط مرزی سرعت و آشفتگی در ورودی بالادست میدان، از شرط مرزی دیریکله استفاده شده است. استفاده از شرط مرزی دیریکله به این معناست که مقادیر متغیرها در مرز معین باشد. این شرایط در مدل فلوئنت، با دادن سرعت ورودی در بالادست اعمال می‌شود. سرعت ورودی جریان 0.48 متر بر ثانیه است. برای خروجی کانال و خروجی آبگیر، از شرط مرزی جریان خروجی، در سطح آب شرط مرزی تقارن و برای دیواره‌ها از شرط مرزی دیواره استفاده شده است.

برای شبیه‌سازی انتقال رسوب همواره باید یک سطح را برای تزریق رسوب انتخاب کرد. برای شبیه‌سازی الگوی حرکت ذرات رسوب در مدل دوفازی اوپلری، آب به عنوان فاز اولیه و ذرات رسوب به عنوان فاز ثانویه معرفی شده‌اند و فاز رسوب از همان سطح مقطع ورودی کانال که در ابتدای کانال مستقیم بالادست واقع شده است تزریق می‌شود. این دو فاز روی یکدیگر تأثیر گذاشته و باعث تغییر مشخصات یکدیگر می‌شوند. سرعت و معادله حرکت ذره نیازمند اطلاعاتی در مورد موقعیت اولیه، قطر، چگالی و سرعت اولیه ذرات است. سرعت اولیه ذرات در این شبیه‌سازی

$$\frac{\partial(\alpha_s \rho_s)}{\partial t} + \nabla(\alpha_s \rho_s v_s) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\alpha_w \rho_w)}{\partial t} + \nabla(\alpha_w \rho_w v_w) = 0 \quad (3)$$

در معادلات فوق اندیس w مربوط به فاز آب و اندیس s مربوط به فاز جامد است. α_w و α_s کسر حجمی ماسه و آب است که مجموع آن‌ها در مرز مشترک بین دو فاز برابر واحد است. ρ_w و ρ_s نیز نشان دهنده چگالی ماسه و آب است.

مطالعات دینامیک یک ذره در سیال نشان داده‌اند که نیروهای موجود موثر بر حرکت ذره عبارتند از: گرادیان فشار ذرات جامد یا همان اندرکنش ذرات جامد بر یکدیگر، نیروی درگ ناشی از اختلاف سرعت در بین دو فاز، نیروی لزجت و نیروی بدنه. با توجه به نیروهای عنوان شده معادله مومنتوم برای دو فاز سیال و رسوب به قرار زیر خواهند بود:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_f \rho_f \vec{v}_f) + \nabla \cdot (\alpha_f \rho_f \vec{v}_f \vec{v}_f) \quad (4)$$

$$= -\alpha_f \nabla P + \nabla \cdot \vec{\tau}_f + \alpha_f \rho_f \vec{g} + K_{sf}(\vec{v}_s - \vec{v}_f)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_s \rho_s \vec{v}_s) + \nabla \cdot (\alpha_s \rho_s \vec{v}_s \vec{v}_s) \quad (5)$$

$$= -\alpha_s \nabla P - \nabla P_s + \nabla \cdot \vec{\tau}_s + \alpha_s \rho_s \vec{g} + K_{fs}(\vec{v}_f - \vec{v}_s)$$

در روابط فوق \vec{v}_f و \vec{v}_s به ترتیب سرعت متوسط جریان رسوب و سیال، P فشار مشترک بین دو فاز و $\vec{\tau}_s$ تانسور تنش در فاز جامد است. $K_{sf} = K_{fs}$ تابعی از ضریب درگ C_D بوده و برای تعیین نیروی درگ مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از مسائل مهم در مدل‌سازی انتقال رسوب تعیین سرعت سقوط رسوبات است. سرعت سقوط رسوب در جریان به پارامترهایی همچون چگالی رسوب، شکل ذرات رسوب، چگالی و لزجت سیال بستگی دارد.

۳-۲- معادلات حاکم بر مدل فاز گسسته

در مدل فاز گسسته مسیر حرکت ذرات رسوب از طریق ردیابی ذرات در الگوی جریان محاسبه شده صورت می‌گیرد. مسیر ذرات با توجه به نیروی گرانش و نیروی اعمال شده از طریق جریان بر ذرات شناسایی می‌شود. معادله حرکت ذرات در این حالت به صورت زیر است.

$$\frac{du_{pj}}{dt} = F_D(u_i - u_{pj}) + \Delta g_i + F_{ext,i} \quad (8)$$

که در آن u_p سرعت ذرات، F_D نیروی درگ اعمال شده

در مقطع ۱۲۰ درجه برابر با ۰/۲ درصد است.

شکل (۳) درستی آزمایشی مدل عددی

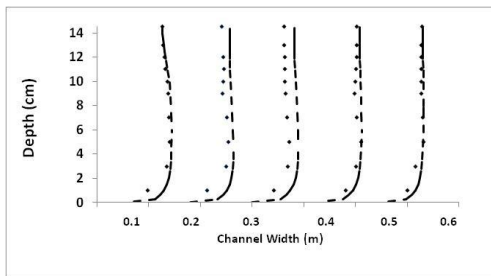


Fig. 3 Verification of numerical model

برای درستی آزمایشی الگوی رسوب گذاری و انتقال رسوب، در ادامه سازوکار حرکت ذرات در کف کانال برای دبی آبیگری ۴۰٪ در زمان های مختلف برای هر دو روش دوفازی اوپلری و فاز گسسته با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده است شکل (۴). در ورودی قوس به دلیل ضعیف بودن جریان ثانویه کف کانال به وسیله رسوبات، بطور کامل پوشانده شده است ولی با قدرت گرفتن جریان ثانویه از مقطع ۱۰ درجه رسوبات به سمت دیواره های داخلی متمایل می شوند و این رسوبات منحرف شده در امتداد قوس داخلی پیش می روند. با گذشت زمان و تجمع رسوبات در مقابل دهانه آبیگر به علت مکش آبیگر، ورود رسوبات از لبه پایین دست آبیگر آغاز می شود. پس از آن و با شکل گیری نسبی توپوگرافی بستر در بالادست آبیگر، دیون های تناوبی از مقطع ۷۰ درجه قوس، به سمت قوس خارجی متمایل می شوند و با رسیدن به آبیگر از لبه بالادست آبیگر وارد آبیگر می شوند. سازوکار ورود رسوبات به آبیگر در این حالت شامل ورود پیوسته رسوبات از لبه پایین دست به آبیگر و ورود تناوبی رسوبات از لبه بالا دست آبیگر در امتداد قوس خارجی است.

به منظور بررسی عملکرد مدل دوفازی اوپلری و فاز گسسته در شبیه سازی مسیر حرکت ذرات کف کانال در دبی ۴۰٪، منطقه حرکت ذرات در مدل عددی با مدل آزمایشگاهی مقایسه شد و میزان متوسط خطا بر اساس رابطه زیر تعیین شد:

$$E_M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z_{Mi} - Z_{Pi}) \quad (12)$$

حدود دو سوم سرعت جریان ورودی آب در نظر گرفته شده است.

در مدل دوفازی فاز گسسته، ذرات رسوب از یک سطح خاص رها سازی می شوند. با توجه به آزاد سازی ذرات از کف در مدل فاز گسسته، در هر اجرای مدل حدود ۵۰۰ گرم رسوب در دقیقه از سطح کف کانال مستقیم واقع در بالادست قوس تزریق می شوند. لازم به ذکر است در روش فاز گسسته در صورت زیاد شدن بیش از اندازه ذرات، نرم افزار خطای نداشتن حجم کافی برای ذخیره اطلاعات را خواهد داد. برای اجرای مدل ها از یک سیستم ۷ هسته ای استفاده شده است. زمان اجرای مدل در روش فاز گسسته ۲ ساعت و در روش لاگرانژی ۳ ساعت به طول انجامید.

۳-۴- شبکه بندی میدان

در این شبیه سازی، پس از انجام حساسیت سنجی های لازم روی ابعاد شبکه، از شبکه ساختار یافته با تعداد ۵۰۰۰۰۰ گره استفاده شد که در نزدیکی دیوارها و کف دارای مش بندی ریزتر است شکل (۲).

شکل (۲) چگونگی شبکه بندی کانال قوسی

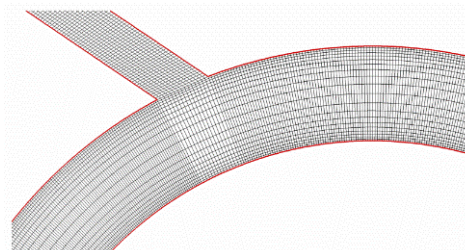


Fig. 2. Mesh of channel

۳-۵- درستی آزمایشی مدل عددی

به منظور درستی آزمایشی نتایج مدل عددی، به عنوان نمونه پروفیل قائم سرعت طولی در مقطع ۱۲۰ درجه (لبه پایین دست آبیگر) با مقادیر آزمایشگاهی مقایسه شده است شکل (۳).

مقادیر مولفه های سرعت در شرایط بستر صلب و بدون وجود رسوب اندازه گیری شده است. در این شرایط نتایج هر دو مدل دوفازی بر یکدیگر منطبق است. همان گونه که مشاهده می شود نتایج حاصل از مدل عددی از تطابق بسیار خوبی با مدل آزمایشگاهی برخوردار است. میزان جذر میانگین مربعات خطاها

شکل (۴) چگونگی حرکت ذرات رسوب برای دبی آگیری ۴۰٪

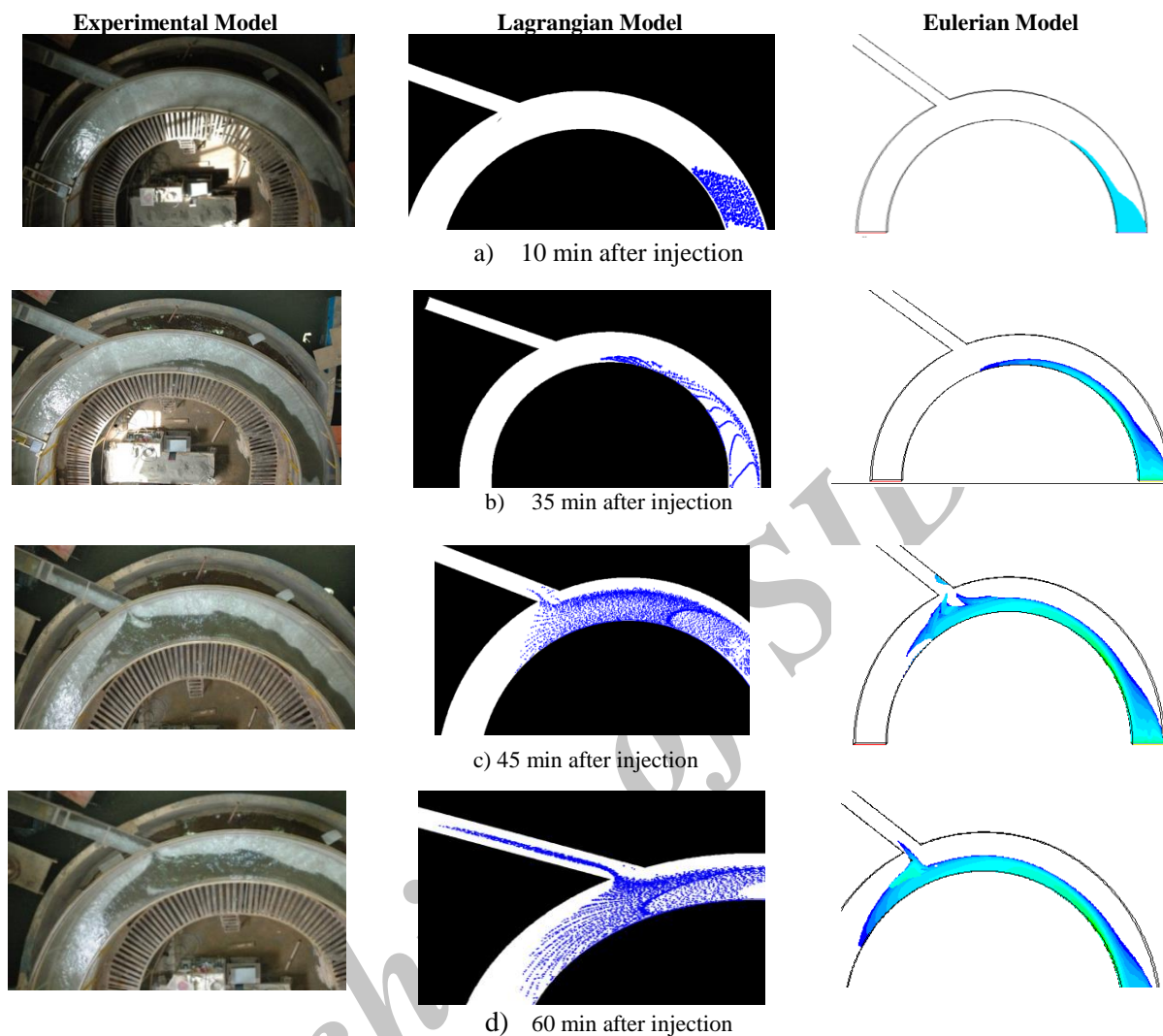


Fig. 4. Mechanism of sediment transport for $Q_r=40\%$

شده است. مشخص است هر دو مدل عملکرد بسیار مناسبی در تعیین مسیر حرکت بار بستر داشته اند و با اندازه‌گیری میزان خطای هر دو روش در محل بیشینه خطای مدل‌های عددی، مشخص شد که مدل دوفازی اویلری عملکرد مناسب‌تری در تعیین سازوکار حرکت ذرات داشته است.

۴- بررسی اثر دبی آگیری بر سازوکار ورود رسوبات به آبگیر

در حالت دبی آگیری ۲۵٪ شکل (۵) حرکت ذرات رسوب در نیمه ابتدای قوس تقریباً مشابه حرکت ذرات رسوب

جدول (۱) درصد خطای مسیر حرکت ذرات ($Q_r=40\%$)

Time (min)	Lagrangian Model	Eulerian Model
T=10	0.63	0.55
T=35	0.48	0.42
T=60	0.31	0.28

($Q_r=40\%$) Table 1. Error (%) of sediment tracing path

در این رابطه EM متوسط خطاها، N تعداد داده‌های آزمایشگاهی و Z_{Pi} ، Z_{Mi} به ترتیب شعاع خارجی مسیر حرکت بار بستر حاصل از نتایج آزمایشگاهی و از مدل‌های عددی است. مقدار خطا محاسبه شده برای هر روش در جدول (۱) نشان داده

عددی اوپلری برای شبیه‌سازی تراز بستر مشخص شد. نتایج نشان دهنده تطابق بسیار خوب مدل عددی و آزمایشگاهی می‌باشد. مقدار خطاهای محاسبه شده برای هر مقطع عرضی در جدول (۲) آمده است.

در شکل (۷) توپوگرافی بستر در قوس پس از زمان تعادل در دو حالت دبی آبیگری ۲۵٪ و ۴۰٪ نشان داده شده است.

جدول (۲) خطای مدل اولری در شبیه‌سازی تراز بستر

Section (degree)	35	45	90	111	118
Error (%)	0.45	0.71	0.58	0.61	0.38

Table 2. Error of Eulerian Model in simulation of bed topography

۶- بررسی اثر زاویه آبیگری

با توجه به قابلیت روش فاز گسسته در تعیین ویژگی‌های هر ذره از قبیل موقعیت مکانی در زمان‌های مختلف، روش فوق توانایی محاسبه درصد رسوب انحرافی به آبیگر را دارد. با این روش به بررسی اثر زاویه آبیگر بر سازوکار و درصد ورود رسوبات به آبیگر پرداخته می‌شود. پس در موقعیت ۱۱۵ درجه، ۵ زاویه آبیگری ۱۰، ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درجه بررسی شد شکل (۸). نتایج نشان می‌دهد در زوایای کمتر از ۳۰ درجه رسوبات بیشتر از ناحیه پایین دست وارد آبیگر می‌شوند. در زاویه آبیگری ۹۰ درجه و دبی آبیگری ۴۰ درصد ذرات از هر دو لبه بالادست و پایین دست وارد آبیگر می‌شوند. در دبی آبیگری ۳۰ درصد نیز ذرات از لبه بالادست و پایین دست وارد آبیگر می‌شوند. در دبی آبیگری ۲۰ درصد رسوبات بسیار کم‌تر از دو دبی دیگر وارد آبیگر شده که بیشتر از لبه پایین دست وارد می‌شوند. در زاویه آبیگری ۷۰ درجه نیز وضعیت حرکت و ورود رسوبات یکسان است. اما در زاویه آبیگری ۵۰ درجه و ۳۰ درجه یک تفاوت عمده وجود دارد و آن این است که رسوبات در دو دبی آبیگری ۲۰ درصد و ۳۰ درصد تنها از لبه پایین دست وارد آبیگر می‌شوند. در شکل (۹)، درصد رسوبات ورودی به داخل آبیگر به ازای زوایای مختلف آبیگری مشخص شده است. کمینه مقدار ذرات در زاویه آبیگری ۵۰ درجه وارد آبیگر می‌شوند.

در حالت دبی آبیگری ۴۰٪ است، اما ذرات رسوب، تمایل کمتری برای نزدیک شدن به سمت دیواره‌ی خارجی دارند و بیشتر در مجاورت قوس داخلی حرکت می‌کنند. بارزترین تفاوت در دبی آبیگری ۲۵٪ و ۴۰٪ در سازوکار ورود رسوبات به آبیگر است بدین صورت که در دبی آبیگری ۴۰٪، ورود رسوبات به آبیگر شامل ورود پیوسته رسوبات از لبه پایین دست به آبیگر و ورود تناوبی دیون‌ها از لبه بالا دست است در حالی که در دبی آبیگری ۲۵٪ رسوبات فقط از لبه پایین دست آبیگر اتفاق می‌افتد. علاوه بر این به علت مکش کم آبیگر، رسوبات بعد از دهانه آبیگر به سرعت خود را به دیواره داخلی می‌رسانند و دوباره در امتداد دیواره داخلی حرکت می‌کنند.

۵- بررسی توپوگرافی بستر کانال قوسی

نتایج شبیه‌سازی نشان داد که روش فاز گسسته توانایی مناسبی در مشخص کردن عمق رسوبگذاری ندارد و علت این امر محدود بودن تعداد ذرات آزاد شده در بازه زمانی مشخص به علت محدودیت حافظه کامپیوتر در دسترس است. اما مدل دوفازی اوپلری توانایی تعیین عمق پروفیل رسوبگذاری را دارد. بنابراین در این بخش به بررسی توپوگرافی بستر به کمک روش مدل اوپلری پرداخته خواهد شد. در شکل (۶) پروفیل عرضی رسوب‌گذاری که به وسیله‌ی روش اوپلری پیش‌بینی شده است و نتایج آزمایشگاهی مربوط به تغییرات عرضی تراز بستر در مقاطع عرضی ۴۵، ۱۱۱ و ۱۱۸ درجه در حالت دبی ۲۵٪ پس از زمان تعادل آزمایش‌ها با هم مقایسه شده است. به دلیل وجود جریان حلزونی که در کانال قوسی وجود دارد و برای آن در کف از قوس خارج به سمت قوس داخل است، ارتفاع توپوگرافی بستر در دیواره‌ی داخلی بیشتر از دیواره‌ی خارجی است. هم‌چنین وجود ناهم‌واری بستر نزدیک قوس خارجی ناشی از حرکت دیون‌ها است که با مشاهدات آزمایشگاهی نیز تطابق دارد. در مقاطع ۱۱۱ و ۱۱۸ درجه که به ترتیب ابتدا و انتهای دهانه آبیگر است به دلیل مکش آبیگر و کاهش قدرت جریان حلزونی ذرات رسوب شکل پهن تری به خود می‌گیرند و در عرض کانال توسعه می‌یابد.

با استفاده از جذر میانگین مربعات خطا مقدار خطای مدل

شکل (۵) چگونگی حرکت ذرات رسوب برای دبی ابگیری ۰.۲۵٪

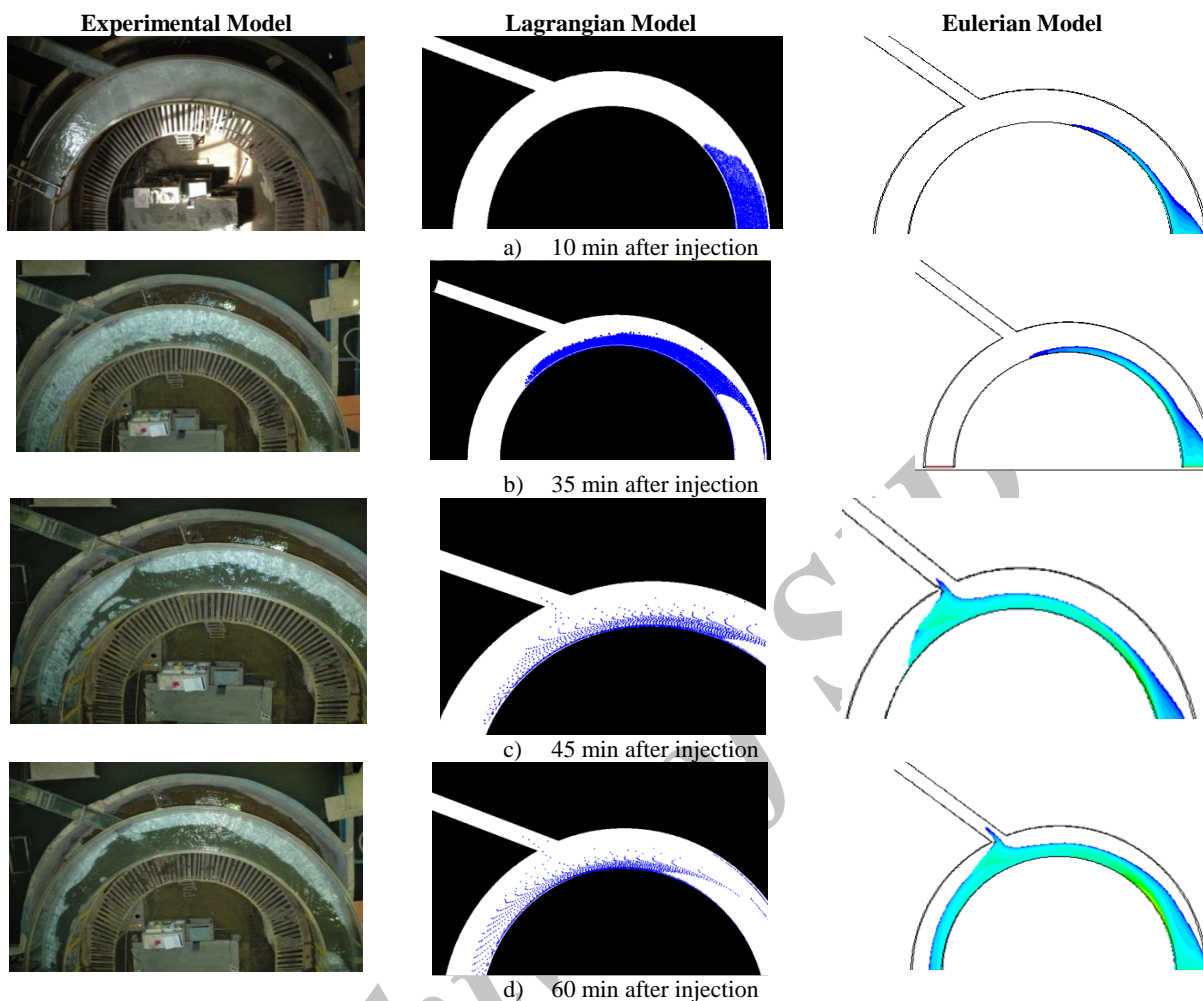


Fig. 5. Mechanism of sediment transport for $Q_r=25\%$

شکل (۶) پروفیل عرضی بستر حاصل از مدل اویلری و مقایسه با نتایج آزمایشگاهی در مقاطع مختلف

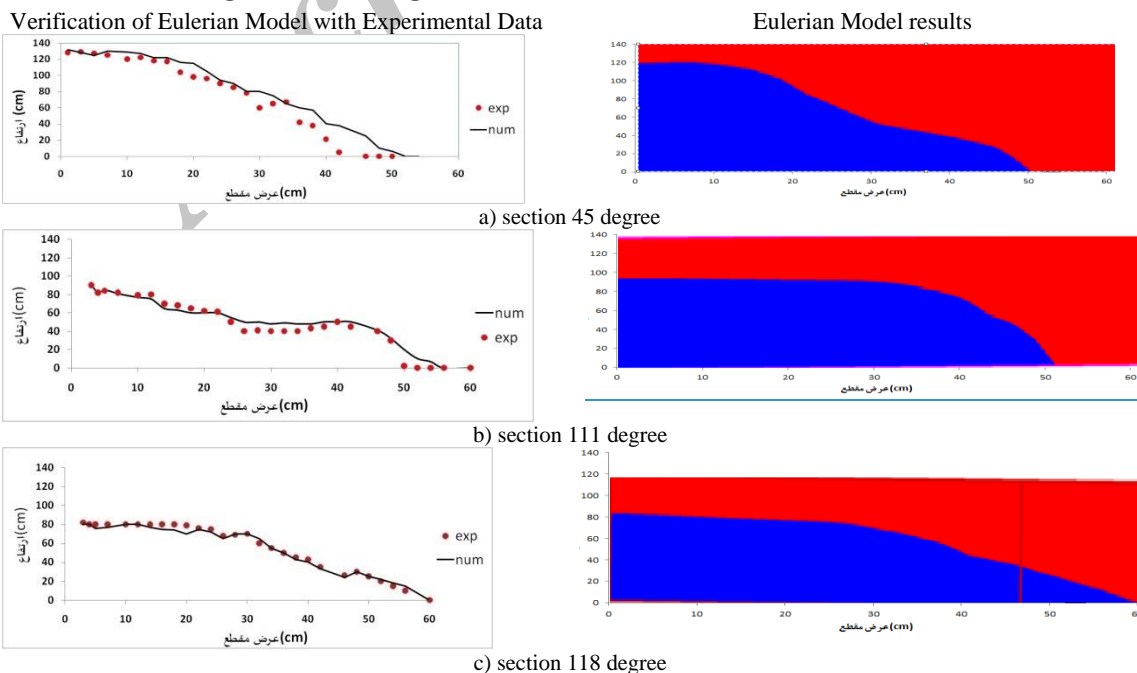


Fig. 6. Verification of Eulerian model with experimental data

شکل (۷) توپوگرافی بستر در زمان تعادل حاصل از مدل عددی

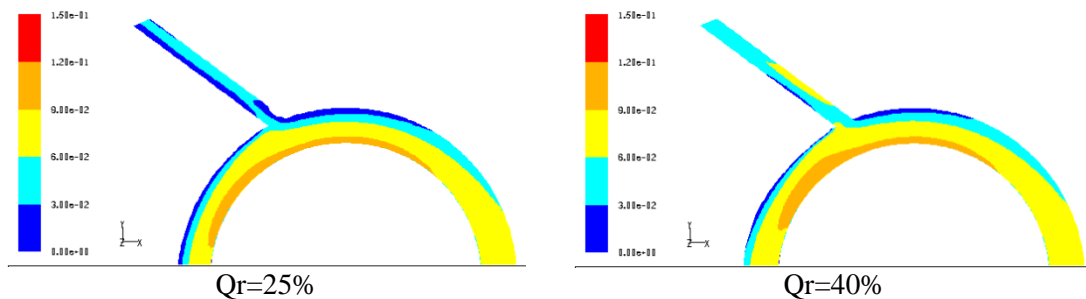


Fig. 7. Bed topography after equilibrium time

شکل ۸- سازوکار ورود رسوبات به آبگیر در زوایای مختلف آبگیری موقعیت ۱۱۵ درجه

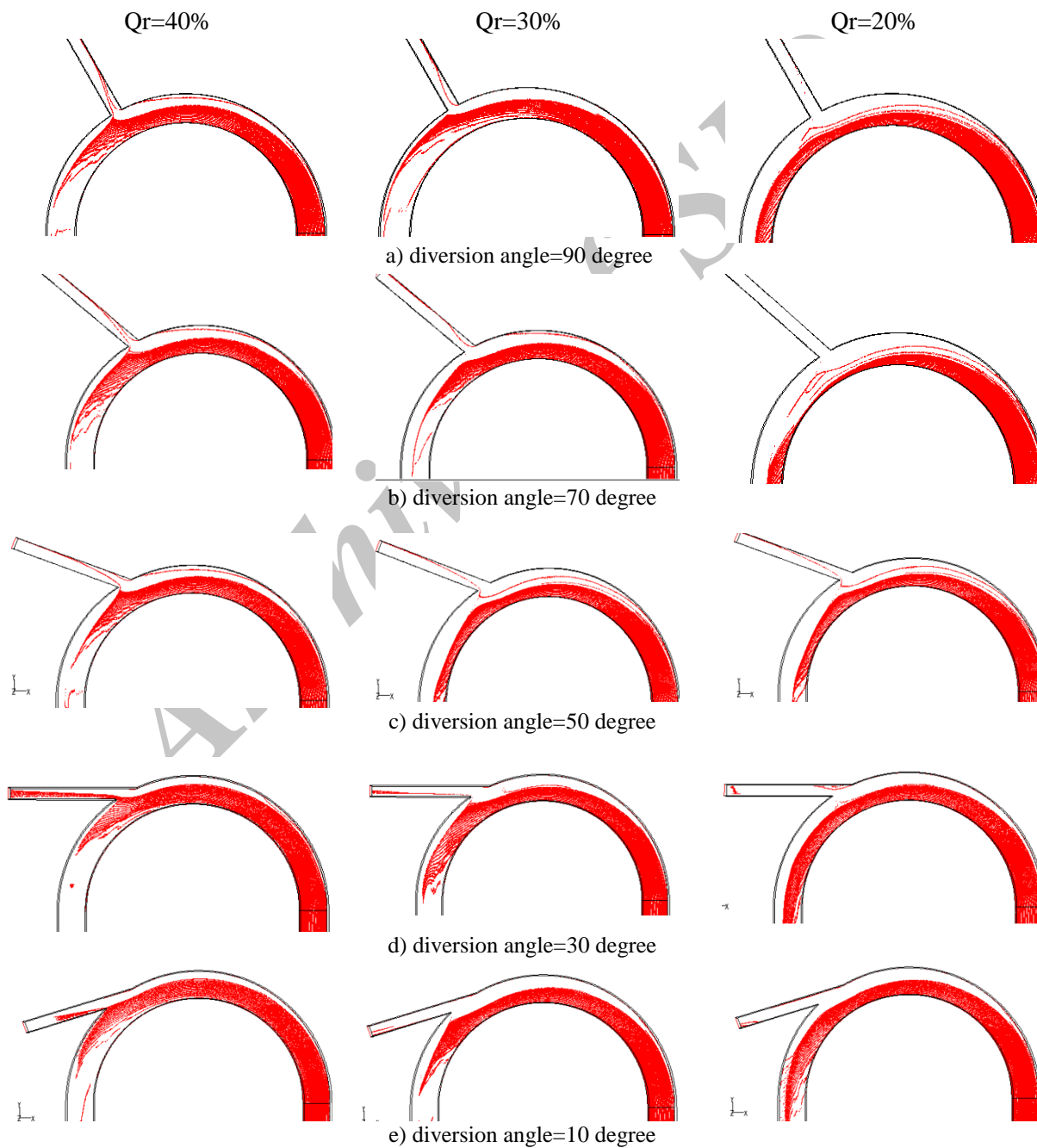


Fig. 8. Sediment transport mechanism at position of 115 degree

آبگیر خواهد بود.

تغییر زاویه آبگیری در دبی‌های آبگیری مختلف باعث تغییر سازوکارهای ورود رسوبات به آبگیر می‌شود. در زوایای آبگیری ۳۰ و ۱۰ درجه رسوبات بیشتر از لبه پایین دست وارد آبگیر می‌شوند اما در زوایای آبگیری ۷۰ و ۹۰ درجه ورود رسوبات به آبگیر هم از لبه بالادست و هم از لبه پایین دست صورت می‌گیرد. نتایج نشان داد زاویه آبگیری ۵۰ درجه در دبی‌های آبگیری مختلف کمترین رسوب ورودی را خواهد داشت.

۶- مراجع

- [1] Shams, M., Ahmadi, G., and Smith, D. (2002). "Computational modeling of flow and sediment transport and deposition in meandering rivers.", *Advances in Water Resources*, 25, 689-699.
- [2] Thinglas, T. and Kaushal, D. (2008). "Comparison of two- and three-dimensional modeling of invert trap for sewer solid management.", *Particology*, 6, 176-184.
- [3] Kaushal, D.R., Thinglas, T., Tomita, Y., Kuchii, S. and Tsukamoto, H. (2012). "Experimental investigation on optimization of invert trap.
- [4] Nazari, N., Salehi Neyshabouri, S.A.A. (2016), "Sediment transport simulation in straight channel and lateral intake", *Modares civil journal*, Volume 15, 109-119 (In Persian).
- [5] Shafaei Bajestan, M., Nazari, S., (1990), "Effect of diversion angle of lateral intake on sediment transport in a 90 degree channel bend", *Agriculture journal*, 47-66 (In Persian).
- [6] Salehi Neyshabouri, S.A.A, Izadpanah, A., (1997), "Literature review on sediment transport at lateral intake", 4th International conference of river engineering, Shahid Chamran University, 574-567 (In Persian).
- [7] Dehghani, A.A., (2006), "Experimental investigation of Sediments Control at lateral intake in a 180 degree channel bend", PHD Thesis, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran (In Persian).
- [8] Abolghasemi, M., (2006), "Sediments Control at lateral intake in river meanders", PHD Thesis, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran (In Persian).
- [9] Montaseri, H. (2008), "Sediments Control at lateral intake in a 180 degree curved channel using submerged vanes", PHD Thesis, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran (In Persian).
- [10] Asiaee, H., Montaseri, H., (2016) "Numerical investigation of formation of bed topography in a U shape channel bend with lateral intake with SSIIM2", *journal of civil engineering of Ferdowsi*, Volume 27, 115-132 (In Persian).
- [11] Fluent, 2005. *Fluent 6. 2 Users Guide*, USA.

شکل (۹) تغییرات درصد رسوب انحرافی به ازای زوایای مختلف آبگیری

در موقعیت ۱۱۵ درجه

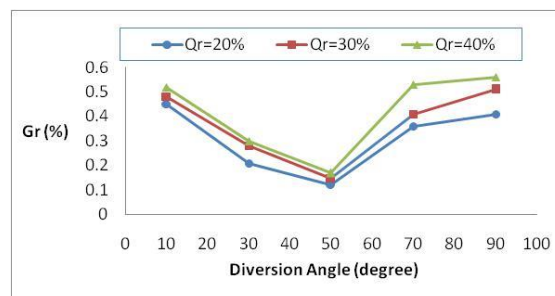


Fig. 9. Diverted sediment ratio versus diversion angle at position of 115 degree

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله با استفاده از مدل‌های دوفازی اولری و فاز گسسته لاگرانژی در نرم افزار فلونت به بررسی توپوگرافی بستر و چگونگی حرکت رسوبات در کانال قوسی با حضور آبگیر جانبی با روش تزیق رسوب روی بستر پرداخته شد. نتایج حاصل در این مقاله نشان می‌دهند مدل‌های دوفازی بالا در شبیه‌سازی سازوکار حرکت رسوبات در کف کانال توانایی قابل قبولی داشته است.

در شبیه‌سازی توپوگرافی بستر عملکرد روش اولری بسیار بهتر از مدل فاز گسسته بوده است. الگوی توپوگرافی بستر شبیه سازی شده به وسیله مدل اولری تطابق بسیار خوبی با نتایج آزمایشگاهی دارد. با توجه به توانایی مدل فاز گسسته در ارائه مشخصات ذرات رسوب در زمان‌های مختلف، درصد رسوب انحرافی به درون آبگیر در این مدل قابل محاسبه است. در این پژوهش اثر دبی آبگیری و زاویه انحراف آبگیر بر سازوکار حرکت رسوبات و درصد رسوب انحرافی بررسی شد.

بررسی چگونگی حرکت رسوبات نشان می‌دهد افزایش دبی آبگیری باعث تغییر سازوکارهای ورود رسوبات به آبگیر می‌شود اما در الگوی کلی رسوبگذاری در قوس تغییری ایجاد نمی‌شود. سازوکار ورود رسوبات به آبگیر در حالت دبی آبگیری ۴۰ درصد شامل ورود پیوسته رسوبات از لبه پایین دست آبگیر و ورود تناوبی رسوبات از لبه بالا دست آبگیر در امتداد قوس خارجی است. در دبی آبگیری ۲۵٪، سازوکار ورود رسوبات به آبگیر فقط شامل ورود رسوبات از لبه پایین دست

Evaluation of Two Phase Models for Numerical Simulation of Sediment Transport in a 180 degree Bend with Lateral Intake

K. Tavakoli¹, H. Montaseri²

1- M.Sc., Hydraulic Engineering, Faculty of Civil Eng., Yasouj University

2- Assist. Prof., Faculty of Civil Eng., Yasouj University

*hmontaseri@gmail.com

Abstract:

A large number of flow types - that are encountered in nature and technology – consist of phases. Advances in computational fluid mechanics have provided the basis for further insight into the dynamics of multiphase flows. Currently, there are two approaches for the numerical calculation of multiphase flows: the Euler-Euler approach and the Euler-Lagrange approach.

In the Euler-Euler approach, different phases are treated mathematically as interpenetrating continua. In FLUENT, three different Euler-Euler multiphase models are available: the volume of fluid (VOF) model, the mixture model, and the Eulerian model. For sedimentation, Eulerian model must be used. The Eulerian multiphase model in FLUENT allows modeling multiple separate, even interacting phases. The phases can be liquid, gas, or solid in nearly any combination. The Lagrangian discrete phase model (DPM) in FLUENT follows the Euler-Lagrange approach. The fluid phase is treated as continuum by solving the time-averaged Navier-Stokes equations, while the dispersed phase is solved by tracking a large number of particles through the calculated flow field.

Sediment transport by fluid flow is one of the most important two-phase flows in the nature. Due to existence of secondary current in channel bends, the mechanism of flow and sediment transport in these channels is much complex and locating lateral intake at outer bank of the bends decreases this complexity.

In this paper, mechanisms of sediments transport into the intake have been evaluated in a 180 degree bend channel with lateral intake. These mechanisms are simulated by the Eulerian and Discrete phases models in fluent software. The intake is located at the outer bank of an 180° bend at position 115° with 45° diversion angle. The effect of diversion discharge rate and diversion angle on mechanism of sediment entry to the intake are also considered.

Turbulence model is k-ε model. Models were run in different times and the results are compared with laboratory results. The result in $Q_r=40\%$ shows that the mechanism of sediment entry consists of continuous entrance from downstream edge of intake and periodic entrance from upstream of the intake. However, in $Q_r=25\%$, the mechanism of sediment entry only consists of continuous entrance from downstream edge of intake. The two models (Eulerian and Discrete phases) have shown good results. The root mean square errors for outer boundary of the path of the particle at the channel's bed are measured for two discharges (25% and 40%).

Number of particles in discrete phases is limited; therefore, this model cannot display the depth of sediment. The Eulerian model displays the bed topography very well. Measuring mean square errors shows that the model operation for topography simulation is very well. This model accurately shows the location of intermittent dune and location of sediment accumulation. The discrete phase model can show the particle trapped place more proper than the Eulerian model.

Due to increase in intake discharge, dimensions of sediment accumulation is decreased. Mechanism of sediment entry to lateral intake is affected by diversion angle of intake. Minimum sediment is entered to lateral intake at diversion angle equal to 50 degree.

Keywords: Eulerian model, discrete phase model, bed topography, sediment transport, fluent