

بررسی و آنالیز عددی میزان تاثیر طول اختلاط در تحلیل جریان غلیظ با استفاده از انواع

مدل‌های تلاطمی

روزبه آقامجیدی^۱، علی براتی^{۲*} و امیر عباس کمانبدست

(۱) استادیار، بخش عمران، واحد سپیدان، دانشگاه آزاد اسلامی، سپیدان، ایران

(۲) کارشناس ارشد عمران، واحد لارستان، دانشگاه آزاد اسلامی، لارستان، ایران

(۳) استادیار، بخش مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

* نویسنده مسئول: roozbeh1381@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۳/۰۹

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۲/۱۵

چکیده

جریان‌های غلیظ به‌طور کلی به دو دسته جریان‌های غلیظ پایدار (مانند جریان غلیظ نمکی) و جریان‌های غلیظ ناپایدار (مانند جریان غلیظ رسوبی یا جریان کدر) تقسیم‌بندی می‌شوند. رخداد این گونه از جریان‌ها در مخازن سدها باعث انتقال رسوبات به نزدیکی بدنه سد و ایجاد خطر برای تاسیسات و سازه‌های در نظر گرفته شده برای تامین اهداف سد می‌شود. یکی از این روش‌ها، خارج کردن رسوبات حاصل از جریان‌های سیلابی، با استفاده از دینامیک جریان غلیظ است. در این پژوهش، بررسی دینامیک جریان غلیظ با استفاده از نرم‌افزار Flow-3d مدنظر قرار گرفت. با توجه به اینکه در این نرم‌افزار شش مدل آشفتگی Laminar، Rng، Eddy، One-equation، Prandtl و K-e(two-equation) تعریف شده است، جهت بررسی تاثیر تغییرات شیب، دبی و غلظت بر سرعت پیشانی، پروفیل سرعت بدنه و همچنین شدت اختلاط در بدنه، برای هر کدام از مدل‌های ذکر شده ۱۵ آزمایش در نرم‌افزار Flow-3d اجرا شد (برای مجموع شش مدل ۹۰ اجرا صورت گرفت). سپس نتایج حاصل از مدل‌های آشفتگی با نتایج آزمایشگاهی جهت به‌دست آوردن مدل آشفتگی دقیق‌تر مقایسه شد و این نتیجه به‌دست آمد که مدل‌های آشفتگی آرام و آشفتگی بیشترین هماهنگی را با داده‌های آزمایشگاهی دارند و از بین این دو، مدل آشفتگی Laminar بر مدل آشفتگی Eddy ارجحیت دارد. بر اساس بررسی انجام شده ارتفاع بدنه، مدل RNG با خطای ۲۷/۵۰ درصد، بیشترین اختلاف با داده‌های آزمایشگاهی را داشته و بقیه مدل‌ها خطای کمتر از ۲۰ درصد داشتند. با افزایش غلظت و شیب، ارتفاع بدنه کاهش پیدا کرد و با افزایش دبی، ارتفاع بدنه افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: جریان غلیظ، مدل‌های آشفتگی، سرعت پیشانی و شدت اختلاط در بدنه

مقدمه

معضل رسوبگذاری همواره به عنوان مهمترین عامل در کوتاه کردن عمر مفید سدها مطرح بوده است و سدهای مخزنی زیادی به دلیل پر شدن از رسوب، متروکه شده‌اند. این مشکل به‌ویژه در مناطق استوایی و نیمه‌خشک به علت بالابودن دبی جریان رسوب مشهودتر به نظر می‌رسد (Brandt, 2000). در شرایط رودخانه‌ای وقتی آب محتوی رسوب با جرم مخصوص $\rho_s = \rho_w + d\rho$ به داخل یک توده آب زلال که دارای دانسیته $\rho_1 = \rho_w$ است جریان پیدا می‌کند، یک جریان غلیظ اتفاق می‌افتد که به آن جریان کدر^۱ می‌گویند. در یک جریان غلیظ که به‌طور مستمر تغذیه می‌شود و اختلاف دانسیته ناشی از درجه حرارت یا حضور مواد محلول و یا معلق در آن است، شار شناوری در سرتاسر جریان حفظ شده و از آن به جریان ثقلی ابقائی^۲ یاد می‌شود. جریان غلیظ روی بستر متحرک ممکن است دبی مستغرق خود را با فرسایش و یا رسوب‌گذاری تغییر دهد که به آن جریان ثقلی غیرابقایی^۳ گویند که در چنین جریان‌هایی سرعت ته‌نشینی ذرات معلق یک پارامتر اضافی را به‌وجود می‌آورد (ترابی پوده، ۱۳۸۶). جریان غلیظ دارای یک پیشانی غلطان پیش‌رونده در داخل یک سیال پیرامون است. جریان در پیشانی غیردائمی بوده و نیروی محرک آن گرادیان فشار ناشی از اختلاف دانسیته بین پیشانی و سیال پیرامون است. در سیال محیطی که حرکت ندارد، فشار استاتیکی موجود از فشار موجود در جریان غلیظ متحرک بیشتر بوده و گرادیان فشار به وجود آمده باعث نفوذ سیال محیطی به درون جریان غلیظ می‌شود (کاهه، ۱۳۹۱). شدت اختلاط جریان غلیظ و سیال ساکن پیرامون آن با Ew نشان داده می‌شود. شدت اختلاط مذکور ناشی از ناپایداری‌ها در حد فاصل جریان غلیظ و سیال ساکن بوده و به‌صورت نسبت سرعت اختلاط Wh به سرعت متوسط بدنه جریان غلیظ U تعریف می‌شود (Turner, 1973). در این زمینه پژوهش‌های متعددی انجام شده است. Ellison و Turner (۱۹۵۹) با فرض اینکه شدت اختلاط متناسب با سرعت جریان غلیظ است، تحقیقاتی با استفاده از مدل فیزیکی بر روی جریان‌های غلیظ انجام داده‌اند. در آزمایش‌های انجام شده، کاهش سریع مقادیر شدت اختلاط با افزایش عدد ریچاردسون مشاهده شده است. حقی‌آبی (۱۳۸۳) بر پایه آزمایش‌هایی که بر روی جریان غلیظ ناشی از مواد محلول (آب نمک) و بر روی شیب‌های متغیر انجام داد، رابطه‌ای را برای شدت اختلاط ارائه کرد. Parker و همکاران (۱۹۸۷) آزمایش‌هایی را بر روی جریان‌های غلیظ رسوبگذار انجام دادند. آزمایش‌های آنان بر روی دو شیب ۲/۸۶ درجه و ۴/۶ درجه انجام شد. نتایج حاصل از بررسی شدت اختلاط سیال محیطی به بدنه جریان نشان می‌دهد که، در محدوده اعداد ریچاردسون بالا و رژیم جریان زیربحرانی تاثیر افزایش زبری بر روی شدت اختلاط سیال محیطی

1- Turbidity Current

2- Conservative

3- Non- conservative

به بدنه جریان غلیظ غیر قابل ملاحظه بوده و از روند مشخصی پیروی نمی‌کند (کاهه، ۱۳۹۱). گرم زاده (۱۳۸۳) در یک فلوم آزمایشگاهی برای ۱۵ شیب بین ۰/۰۰۲ تا ۰/۰۳ و دو غلظت ۳۰ و ۴۰ گرم در لیتر با جریان غلیظ نمکی به بررسی تاثیر شیب و غلظت بر ضریب اختلاط پرداخت. قمشی (۱۹۹۵) بر روی جریان غلیظ نمکی و رسوبی بر روی شیب کف ثابت آزمایشاتی انجام داد. حقی‌آبی (۱۳۸۳) تأثیر شیب کف را بر رفتار جریان غلیظ و اختلاط بدنه جریان غلیظ با جریان نمکی و رسوبی (درشت دانه و ریز دانه) بررسی کرد. Parker و همکاران (۱۹۸۷) بیان نمودند که توزیع عمودی ذرات معلق در جریان غلیظ وابستگی بسیار کمی به نسبت سرعت برشی به سرعت سقوط ذره داشته که به عنوان معیاری در جریان‌های رسوبی در کانال‌های روباز مطرح است. Garcia (۱۹۹۳)، Buckee و همکاران (۲۰۰۱) عدد ریچاردسون محلی را در بالای تراز سرعت ماکزیمم برای جریان زیر بحرانی و فوق بحرانی با مطالعات آزمایشگاهی، محاسبه نمودند. Garcia و Parker (۱۹۹۳) آزمایشاتی را روی پرش هیدرولیکی در جریان‌های غلیظ در ورودی تنگه به دلتا^۱ انجام دادند و نتیجه گرفتند که ضخامت رسوبات، درست پایین دست پرش تمایل به افزایش دارد، در حالی که نسبت سرعت برشی بستر بلافاصله پشت پرش به سرعت سقوط ذرات کاهش می‌یابد. Leeder و همکاران (۲۰۰۵) معیاری برای نگهداری ذرات در حالت معلق ارائه نمودند که به صورت نسبت تنش‌های آشفتگی عمودی ماکزیمم به وزن غوطه‌وری بار معلق در بالای مساحت کف واحد تعریف می‌شود. McCaffrey و همکاران (۲۰۰۳) به بررسی تغییرات مکانی و زمانی جریان کدر پرداختند. آن‌ها وسایل اندازه‌گیری را در فلوم ثابت نگه داشته و مکان تغذیه جریان را در طول فلوم تغییر دادند. chokes و همکاران (۲۰۰۵) آزمایشاتی مشابه با McCaffrey و همکاران (۲۰۰۳)، اما با غلظت اولیه ۱۴ درصد (در ورودی به فلوم تقریباً ۷ درصد) انجام و نتایج خود را با نتایج آن‌ها مقایسه نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که ارتفاع ماکزیمم سرعت مشابه به حالت قبل در یک سوم ارتفاع از کف اتفاق می‌افتد. Baas و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که توزیع ذرات معلق بسیار ناپایدار است و توسط نسبت سرعت سقوط ذره به مولفه‌های رو به بالا از سرعت تلاطم محلی (که به ساختار جریان مربوط است)، کنترل می‌شود. Yu و همکاران (۲۰۰۰) در یک بررسی آزمایشگاهی در یک مخزن با طول ۲۰ متر، عرض ۲۰ و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر و شیب ثابت به بررسی هیدرولیک جریان غلیظ رسوبی با ذرات ریز دانه پرداختند. بهرامی (۱۳۸۸) به بررسی تغییرات ایجاد شده بر خصوصیات جریان پرداختند. La Rocca و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از شبیه‌سازی عددی و آزمایشگاهی دینامیک یک جریان غلیظ سه بعدی را بر روی سطوح صاف و زبر مورد مطالعه قرار دادند. بر این اساس در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار Flow-3d جریان غلیظ در سه شیب، سه غلظت و سه دبی مختلف برای شش مدل اختلاط موجود

در این نرم‌افزار شبیه‌سازی شد. با توجه به موارد ذکر شده اهداف این تحقیق عبارتند از: بررسی تغییرات سرعت و ارتفاع پیشانی جریان با تغییرات شیب، دبی و غلظت، بررسی تغییرات ارتفاع بدنه‌ی جریان با تغییر پارامترهای فوق و به‌دست آوردن شدت اختلاط در بدنه جریان.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق کلیه آزمایش‌ها در نرم‌افزار Flow-3d برای سه دبی ۰/۷، ۱ و ۱/۳ لیتر بر ثانیه، سه شیب صفر، ۱ و ۲/۲ درصد، سه غلظت ۱/۰۱۰، ۱/۰۱۵ و ۱/۰۲۰ گرم بر سانتیمتر مکعب و شش مدل (K-e(two-equation)، Rng، Laminar، Eddy، One-equation و Prenatal و زبری صفر (سطح صاف) اجرا شد. داده‌های آزمایشگاهی حاصل از مدل فیزیکی اخذ گردید (جدول ۱).

جدول ۱: مشخصات کلی آزمایشات انجام شده توسط کاهه

ردیف	نام آزمایش	S (%)	ρ_t (gr/cm ³)	ρ_a (gr/cm ³)	$\Delta\rho$ (gr/cm ³)	$\Delta\rho/\rho_a$	g' (m/s ²)	Q_0 l/s	q (m ³ /s/m)	B (m ³ /s ³)
۱	Q ₁ S ₁ P ₂	۰	۱/۰۱۵	۱/۰۰۰	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	۰/۱۴۷۲	۰/۷	۰/۰۰۲۰۰	۰/۰۰۰۲۹۴
۲	Q ₂ S ₁ P ₁	۰	۱/۰۱۰	۱/۰۰۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۹۸۱	۱	۰/۰۰۲۸۶	۰/۰۰۰۲۸۱
۳	Q ₂ S ₁ P ₂	۰	۱/۰۱۵	۱/۰۰۰	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	۰/۱۴۷۲	۱	۰/۰۰۲۸۶	۰/۰۰۰۴۲۱
۴	Q ₂ S ₁ P ₃	۰	۱/۰۲۰	۱/۰۰۰	۰/۰۲۰	۰/۰۲۰	۰/۱۹۶۲	۱	۰/۰۰۲۸۶	۰/۰۰۰۵۶۱
۵	Q ₃ S ₁ P ₂	۰	۱/۰۱۵	۱/۰۰۰	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	۰/۱۴۷۲	۱/۳	۰/۰۰۳۷۱	۰/۰۰۰۵۴۶
۶	Q ₁ S ₂ P ₂	۱	۱/۰۱۵	۱/۰۰۰	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	۰/۱۴۷۲	۰/۷	۰/۰۰۲۰۰	۰/۰۰۰۲۹۴
۷	Q ₂ S ₂ P ₁	۱	۱/۰۱۰	۱/۰۰۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۹۸۱	۱	۰/۰۰۲۸۶	۰/۰۰۰۲۸۱
۸	Q ₂ S ₂ P ₂	۱	۱/۰۱۵	۱/۰۰۰	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	۰/۱۴۷۲	۱	۰/۰۰۲۸۶	۰/۰۰۰۴۲۱
۹	Q ₂ S ₂ P ₃	۱	۱/۰۲۰	۱/۰۰۰	۰/۰۲۰	۰/۰۲۰	۰/۱۹۶۲	۱	۰/۰۰۲۸۶	۰/۰۰۰۵۶۱
۱۰	Q ₃ S ₂ P ₂	۱	۱/۰۱۵	۱/۰۰۰	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	۰/۱۴۷۲	۱/۳	۰/۰۰۳۷۱	۰/۰۰۰۵۴۶
۱۱	Q ₁ S ₃ P ₂	۲/۲	۱/۰۱۵	۱/۰۰۰	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	۰/۱۴۷۲	۰/۷	۰/۰۰۲۰۰	۰/۰۰۰۲۹۴
۱۲	Q ₂ S ₃ P ₁	۲/۲	۱/۰۱۰	۱/۰۰۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۹۸۱	۱	۰/۰۰۲۸۶	۰/۰۰۰۲۸۱
۱۳	Q ₂ S ₃ P ₂	۲/۲	۱/۰۱۵	۱/۰۰۰	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	۰/۱۴۷۲	۱	۰/۰۰۲۸۶	۰/۰۰۰۴۲۱
۱۴	Q ₂ S ₃ P ₃	۲/۲	۱/۰۲۰	۱/۰۰۰	۰/۰۲۰	۰/۰۲۰	۰/۱۹۶۲	۱	۰/۰۰۲۸۶	۰/۰۰۰۵۶۱
۱۵	Q ₃ S ₃ P ₂	۲/۲	۱/۰۱۵	۱/۰۰۰	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	۰/۱۴۷۲	۱/۳	۰/۰۰۳۷۱	۰/۰۰۰۵۴۶

لازم به ذکر است جهت ارائه بهتر نتایج، هر آزمایش دارای یک نام ویژه متشکل از سه حرف ρ ، S و Q می‌باشد که Q دبی، S شیب و ρ غلظت جریان غلیظ می‌باشد. دبی، شیب و غلظت‌هایی که در بالا ذکر شد به ترتیب صعودی دارای اندیس‌های ۱، ۲ و ۳ می‌باشند. مثل Q1S1P1.020 بیانگر آزمایشی با دبی ۰/۷ لیتر بر ثانیه، شیب ۱ درصد و غلظت

۱/۰۲۰ گرم بر سانتی متر مکعب است. برای کالیبره کردن مدل ریاضی Flow-3d هندسه‌ای دقیقاً مشابه فلوم آزمایشگاهی که داده‌های واقعی از آن استخراج شد، در قسمت ژئومتری نرم‌افزار رسم شد و سپس برای هر کدام از شش مدل بالا، ۱۵ آزمایش با شرایط هندسی و هیدرولیکی مشابه شرایط آزمایشگاهی ذکر شده در جدول ۱ اجرا شد، یعنی در مجموع (۹۰ = ۶×۱۵) اجرا صورت گرفت. در جدول ۱ ρt و ρa به ترتیب جرم واحد حجم سیال غلیظ و سیال پیرامون و بر حسب g/cm^3 ، g' ، $(g' = \Delta\rho/\rho a * g)$ شتاب ثقل کاهش یافته بر حسب m/s^2 ، Q دبی ورودی جریان غلیظ بر حسب L/s ، q دبی واحد عرض جریان غلیظ بر حسب $m^3/(s.m)$ ، $(q_0 = Q_0/(b*1000))$ و B فلاکس شناوری ورودی جریان بر حسب m^3/s^3 می‌باشد $(B^0 = g' * q)$.

فلوم آزمایشگاهی، جهت به دست آوردن اثرات زبری و شیب کف بر روی حرکت جریان غلیظ و همچنین بررسی اثر تغییرات غلظت و دبی جریان غلیظ بر روی حرکت این جریان‌ها، با طول ۸ متر، عرض ۳۵ سانتی‌متر، ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر و قابلیت تغییر شیب از ۰٪ تا ۳٪ را داشت. رابطه‌های مورد استفاده در مدل ریاضی جریان غلیظ شامل اصل بقا جرم و مقدار حرکت به شرح زیر است:

$$V_F \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u A_x) + R \frac{\partial}{\partial y} (\rho v A_y) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho w A_z) + \xi \frac{\rho u A_x}{x} = RDIF + RSOR \quad \text{رابطه ۱: معادله عمومی بقا جرم}$$

که در آن V_f : حجم سیال، ρ : دانسیته سیال و $RSOR$: ترم چشمه‌ی جرم می‌باشد. u ، v و w به ترتیب مؤلفه‌های سرعت در مختصات کارتیزین (x, y, z) و یا مختصات استوانه‌ای (r, θ, z) می‌باشد. A_x ، A_y ، A_z به ترتیب مساحت‌های المان در جهت عمود بر مؤلفه‌های x ، y و z می‌باشد. ضریب ξ و R مربوط به نوع سیستم مختصات بوده و در مختصات کارتیزین $R=1$ و $\xi=0$ می‌باشد. ترم اول (RDIF) در سمت راست معادله ترم دیفیوژن تلاطم بوده و عبارت است از:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[u A_x \frac{\partial u}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial u}{\partial y} + w A_z \frac{\partial u}{\partial z} \right] - \xi \frac{A_y v^2}{x V_F} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + G_x + f_x - \frac{RSOR}{\rho V_F} u \quad \text{رابطه ۲:}$$

$$RDIF = \frac{\partial}{\partial x} \left(v_\rho A_x \frac{\partial \rho}{\partial x} \right) + R \frac{\partial}{\partial y} \left(v_\rho A_y R \frac{\partial \rho}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_\rho A_z \frac{\partial \rho}{\partial z} \right) + \xi \frac{\rho v_\rho A_x}{x} \quad \text{رابطه ۳:}$$

ضریب U_p برابر است با $\frac{C_p \mu}{\rho}$ که μ ضریب ویسکوزیته و C_p عدد اشمیت تلاطم می‌باشد. این نوع دیفیوژن جرم

مربوط به فرآیندهای اختلاط تلاطم در سیالات با دانسیته غیر یکنواخت می‌باشد. معادلات حرکت سیال در سه بعد شامل معادلات ناویراستوکس با پاره‌های ترم‌های اضافه‌تر بشرح زیر می‌باشند:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[u A_x \frac{\partial v}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial v}{\partial y} + w A_z \frac{\partial v}{\partial z} \right] - \xi \frac{A_y v u}{x V_F} = -\frac{1}{\rho} \left(R \frac{\partial P}{\partial y} \right) + G_y + f_y - \frac{RSOR}{\rho V_F} v \quad \text{رابطه ۴}$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[u A_x \frac{\partial w}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial w}{\partial y} + w A_z \frac{\partial w}{\partial z} \right] = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + G_z + f_z - \frac{RSOR}{\rho V_F} w \quad \text{رابطه ۵}$$

که در آن G_x, G_y, G_z شتاب‌های جرمی در جهات x, y, z و f_x, f_y, f_z شتاب‌های گرانشی در جهات x, y, z بوده و از معادلات زیر به دست می‌آیند:

$$\rho V_F f_x = w s x - \left[\frac{\partial}{\partial x} (A_x \tau_{xx}) + R \frac{\partial}{\partial y} (A_y \tau_{xy}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_z \tau_{xz}) + \frac{\xi}{x} (A_x \tau_{xx} - A_y \tau_{yy}) \right] \quad \text{رابطه ۶}$$

$$\rho V_F f_y = w s y - \left[\frac{\partial}{\partial x} (A_x \tau_{xy}) + R \frac{\partial}{\partial y} (A_y \tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_z \tau_{yz}) + \frac{\xi}{x} (A_x - A_y \tau_{xy}) \right] \quad \text{رابطه ۷}$$

$$\rho V_F f_z = w s z - \left[\frac{\partial}{\partial x} (A_x \tau_{xz}) + R \frac{\partial}{\partial y} (A_y \tau_{yz}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_z \tau_{zz}) + \frac{\xi}{x} (A_x \tau_{xz}) \right] \quad \text{رابطه ۸}$$

تنش‌های برشی $\tau_{xx}, \tau_{yy}, \tau_{zz}, \tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$ در معادلات بالا از رابطه‌های زیر به دست می‌آیند:

$$\tau_{xx} = -2\mu \left[\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{1}{3} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + R \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\xi u}{x} \right) \right] \quad \text{رابطه ۹}$$

$$\tau_{yy} = -2\mu \left[\frac{\partial v}{\partial y} + \xi \frac{u}{x} - \frac{1}{3} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + R \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\xi u}{x} \right) \right] \quad \text{رابطه ۱۰:}$$

$$\tau_{zz} = -2\mu \left[\frac{\partial w}{\partial z} - \frac{1}{3} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + R \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\xi u}{x} \right) \right] \quad \text{رابطه ۱۱:}$$

$$\tau_{xy} = -\mu \left[\frac{\partial v}{\partial x} + R \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\xi v}{x} \right] \quad \text{رابطه ۱۲:}$$

$$\tau_{xz} = -\mu \left[\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right] \quad \text{رابطه ۱۳:}$$

$$\tau_{yz} = -\mu \left[\frac{\partial v}{\partial z} + R \frac{\partial w}{\partial y} \right] \quad \text{رابطه ۱۴:}$$

توزیع سرعت در رژیم جت از طریق رابطه‌ی گوسی زیر قابل ارزیابی است.

$$\frac{u(z)}{U_m} = \exp \left[-\alpha \left(\frac{z - h_m}{h - h_m} \right)^\beta \right] \quad \text{رابطه ۱۵:}$$

و در رژیم دیواره توزیع سرعت از طریق رابطه‌ی نمایی زیر قابل بیان می‌باشد.

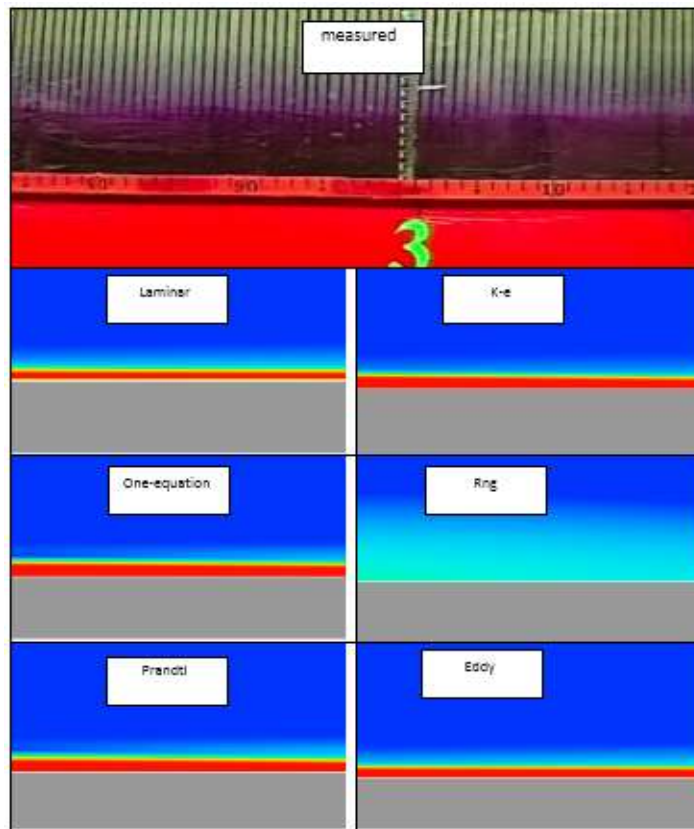
$$\frac{u(z)}{U_m} = \left(\frac{z}{h_m} \right)^n \quad \text{رابطه ۱۶:}$$

نتایج و بحث

شکل بدنه

شکل ۱ تصاویری از بدنه جریان غلیظ تشکیل شده در مدل آزمایشگاهی و مدل‌های آشفته‌گی را در شرایط مشابه

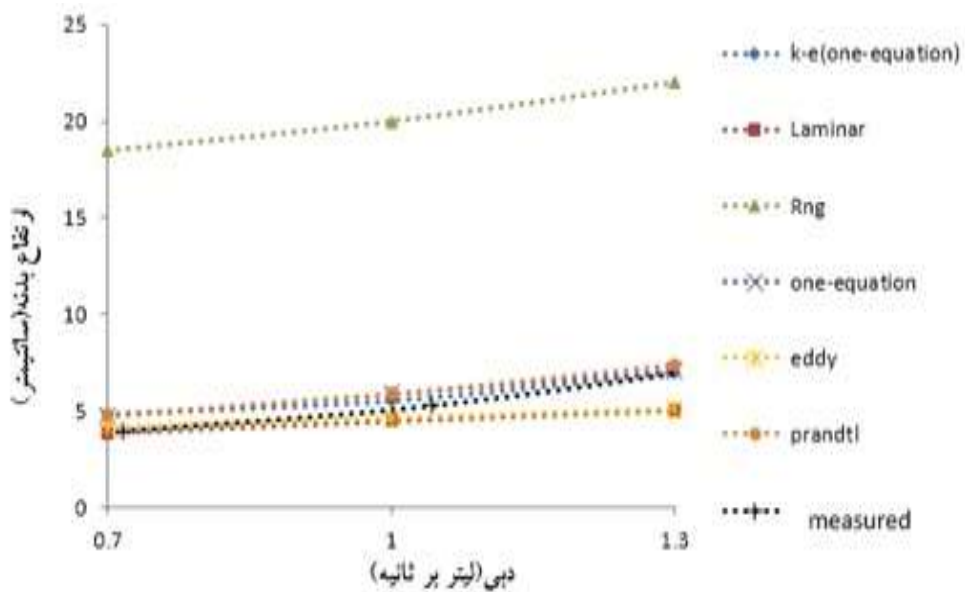
دبی ۱ (l/s)، شیب ۱ (/) غلظت ۱/۰۱۵ (g/cm) نشان می‌دهد.



شکل ۱: مقایسه شکل بدنه

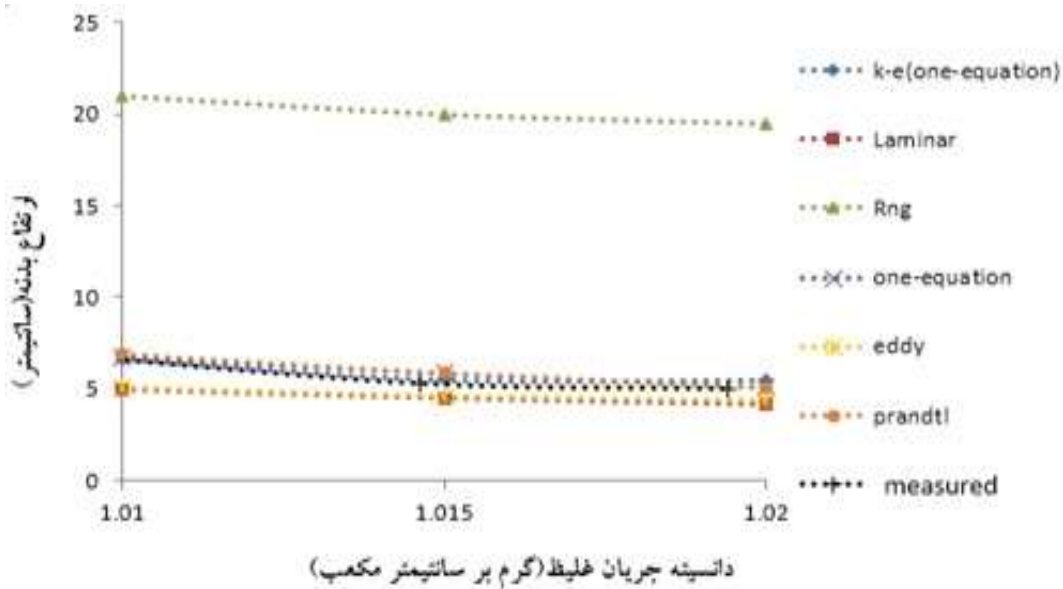
ارتفاع بدنه

شکل های ۲، ۳ و ۴ و جدول ۲ جهت بررسی و مقایسه ارتفاع بدنه جریان غلیظ در مدل های آزمایشگاهی مختلف و مدل آزمایشگاهی رسم شده اند.

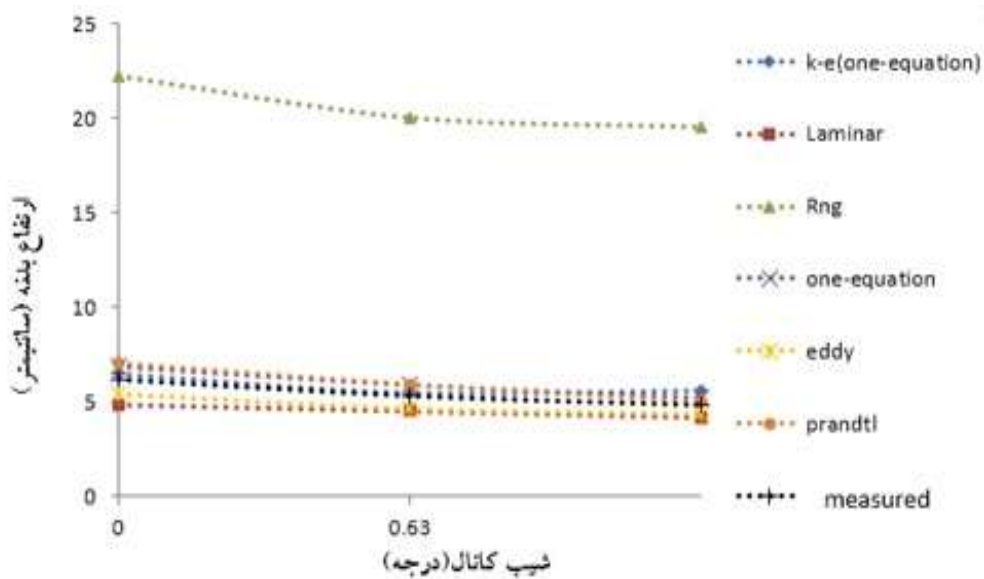


شکل ۲: تغییرات ارتفاع بدنه در مقابل دبی جریان

از شکل‌ها چنین برداشت می‌شود که ارتفاع بدنه جریان غلیظ با افزایش دبی و غلظت جریان افزایش یافته و با افزایش شیب کانال کاهش می‌یابد. در بررسی ارتفاع بدنه جریان غلیظ مدل عددی RNG در مقایسه با آزمایشگاه، خطای بسیار زیادی داشته و سایر مدل‌های عددی خطای کمتر از ۲۰ درصد دارند.



شکل ۳: تغییرات ارتفاع بدنه در مقابل غلظت جریان



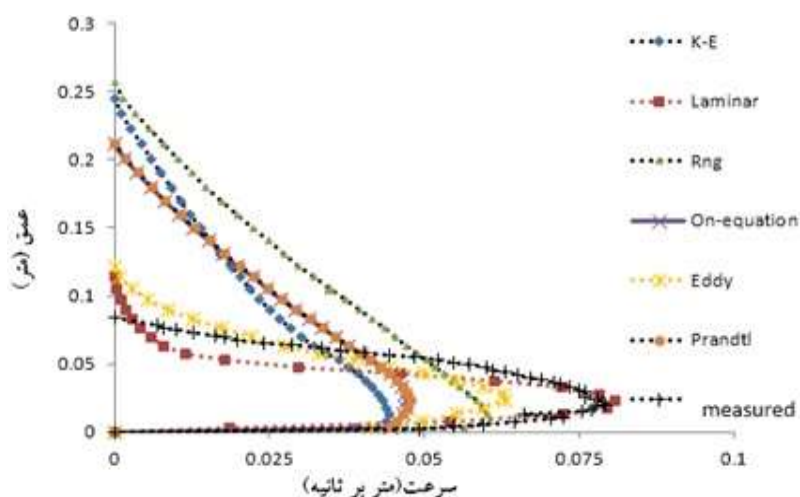
شکل ۴: تغییرات ارتفاع بدنه در مقابل شیب کانال

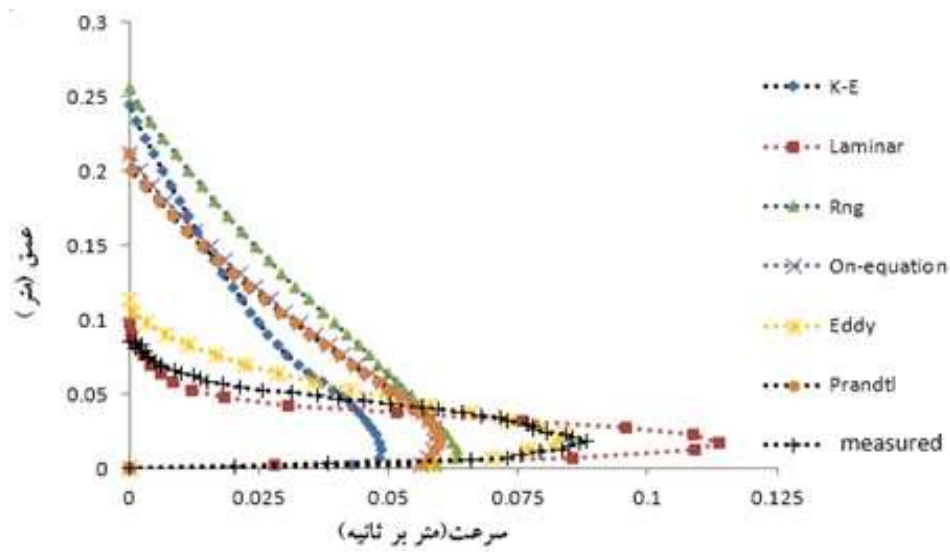
جدول ۲: خطای مدل‌های آشفتگی مختلف در مقایسه با مدل آزمایشگاهی برای $S=10, 2/2\%$

S&E	Models	K-e(two-equation)	Laminar	Rng	One-equation	Eddy	Prandtl
E% (S=0%)		۳/۱۹	۲۲/۴۶	۲۵۱/۲۶	۴/۵۷	۱۶/۴۴	۹/۲۲
E% (S=1%)		۹/۳۲	۱۹/۳۹	۲۶۴/۶۴	۸/۱۳	۱۷/۳۶	۶/۳۷
E% (S=2.2%)		۱۳/۵۳	۱۵/۸۲	۳۰۹/۵۸	۱۴/۸۶	۱۲/۳۱	۱۳/۷۳
E%		۸/۶۵	۱۹/۱۹	۲۷۵/۱۶	۹/۱۸۶	۱۵/۳۷	۹/۷۴

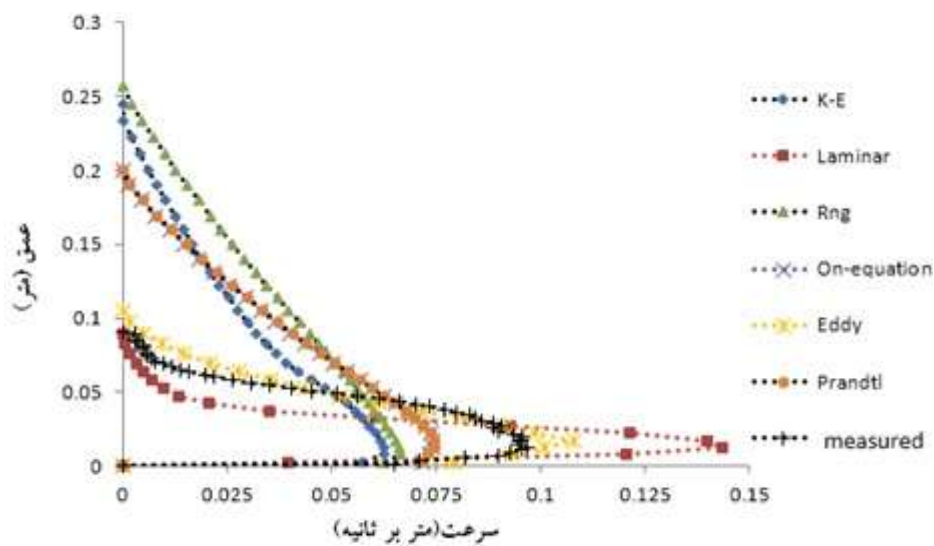
توزیع سرعت در بدنه

شکل‌های ۵، ۶ و ۷ توزیع سرعت را برای مدل‌های عددی مختلف در شیب‌های متفاوت نشان می‌دهند. با توجه به شکل‌ها نتیجه می‌شود که پروفیل‌های سرعت بدنه در مدل‌های آشفتگی Eddy و Laminar مطابقت قابل قبولی با داده‌های آزمایشگاهی دارند، اما مدل‌های آشفتگی Rng، One_equation، Prandtl و K-E نسبت به داده‌های مشاهداتی اختلاف زیادی داشته و در ادامه جهت کاهش حجم مطالب، مدل‌های آشفتگی اخیر را نادیده گرفته و فقط مدل‌های Eddy و Laminar را بحث خواهیم کرد. شایان ذکر است که دو مدل One_equation و Prandtl پروفیلی دقیقاً مشابه هم دارند.

شکل ۵: نمونه‌ای از پروفیل‌های اندازه‌گیری شده برای مدل‌های آشفتگی مختلف و $S=10\%$



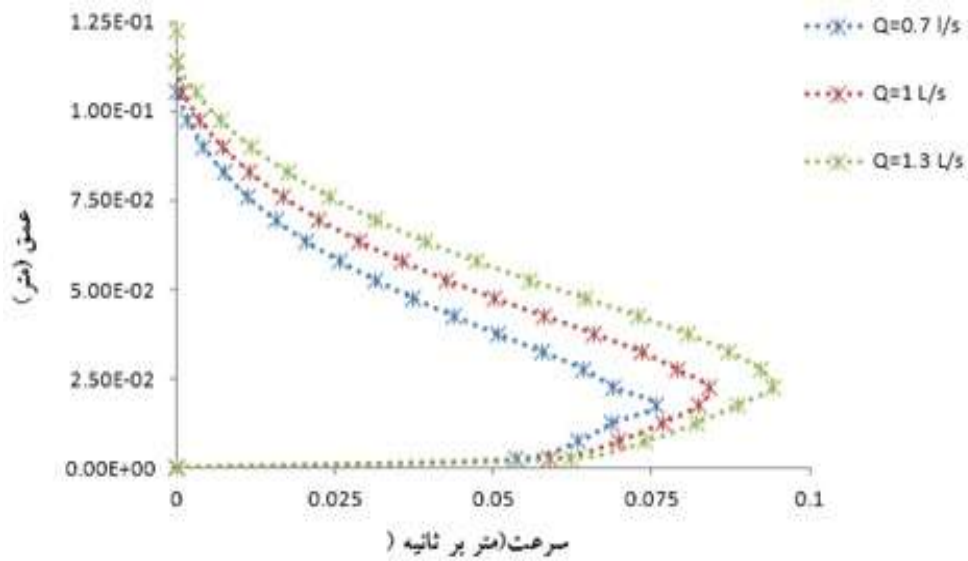
شکل ۶: نمونه‌ای از پروفیل‌های اندازه‌گیری شده برای مدل‌های آشفتگی مختلف و $S=0.1$



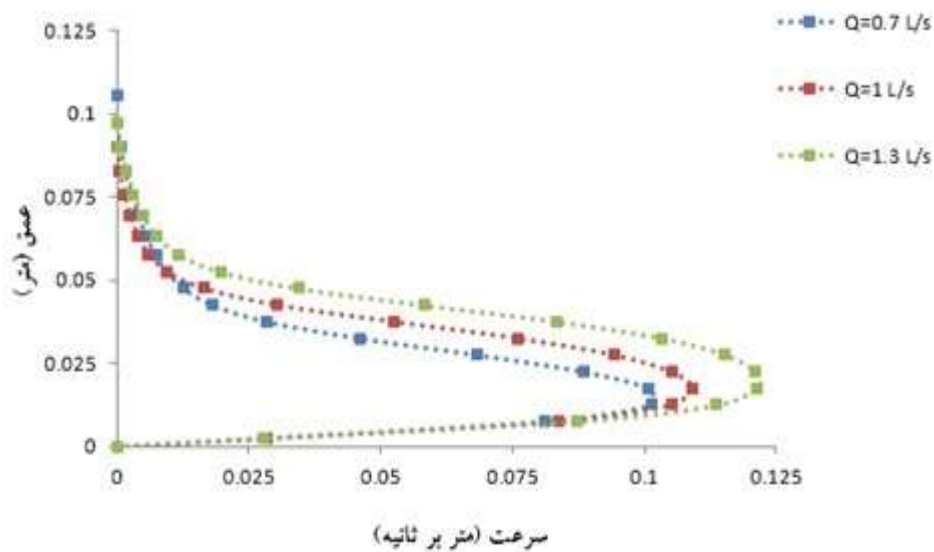
شکل ۷: نمونه‌ای از پروفیل‌های اندازه‌گیری شده برای مدل‌های آشفتگی مختلف و $S=0.2$

اثر دبی بر پروفیل سرعت بدنه

در شکل‌های ۸ و ۹ ملاحظه می‌شود که در هر دو مدل لامینار و ادی با افزایش دبی، پروفیل سرعت ضخیم‌تر، موقعیت U_m به سمت جلو و بالا حرکت کرده و همچنین مقدار ht افزایش می‌یابد و نتیجه آقای کوتی را تایید می‌کنند.



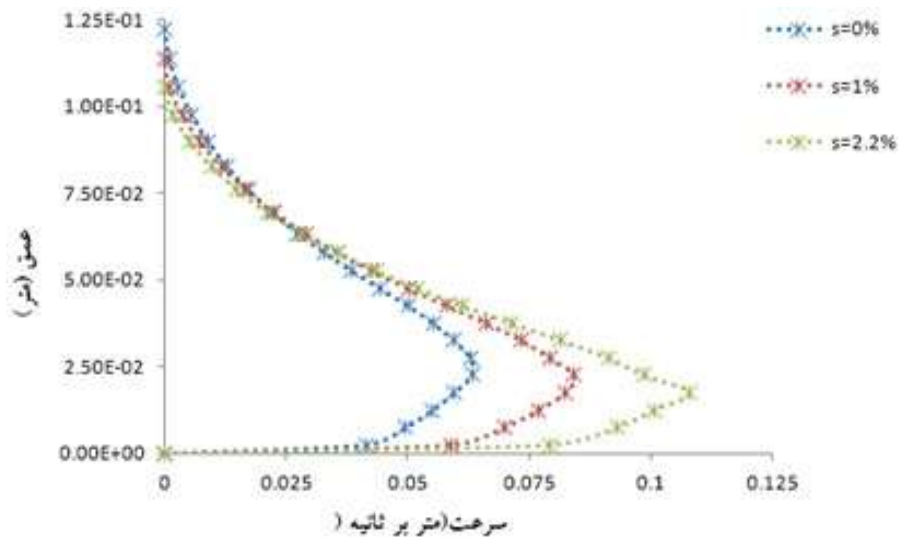
شکل ۸: تغییرات پروفیل سرعت با افزایش دبی برای مدل آشفتگی Eddy



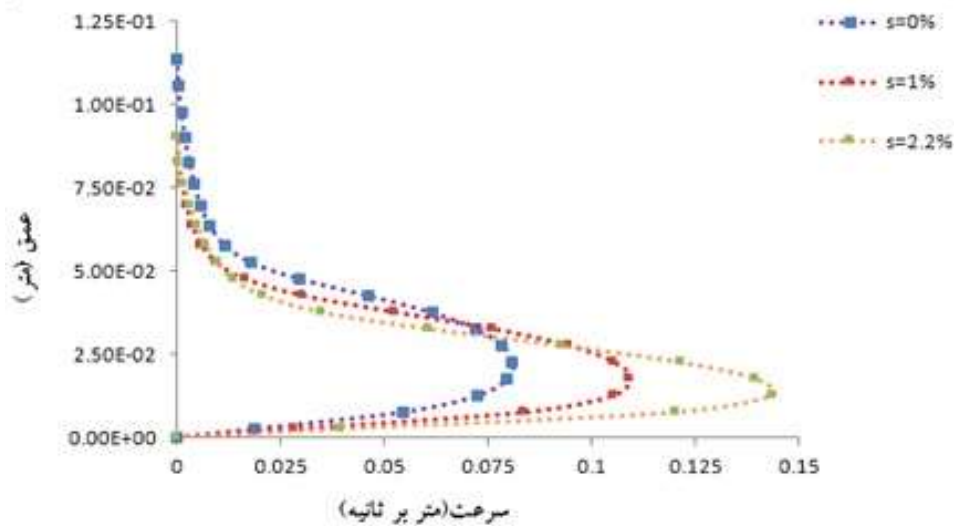
شکل ۹: تغییرات پروفیل سرعت با افزایش دبی برای مدل آشفتگی Laminar

اثر شیب بر پروفیل سرعت بدنه

شکل‌های ۱۰ و ۱۱ که تاثیر شیب بر پروفیل بدنه را نشان می‌دهند با نتیجه فوق مطابقت دارند. یعنی با افزایش شیب موقعیت U_m به سمت جلو و پایین حرکت کرده و همچنین ht کاهش را نشان می‌دهد.



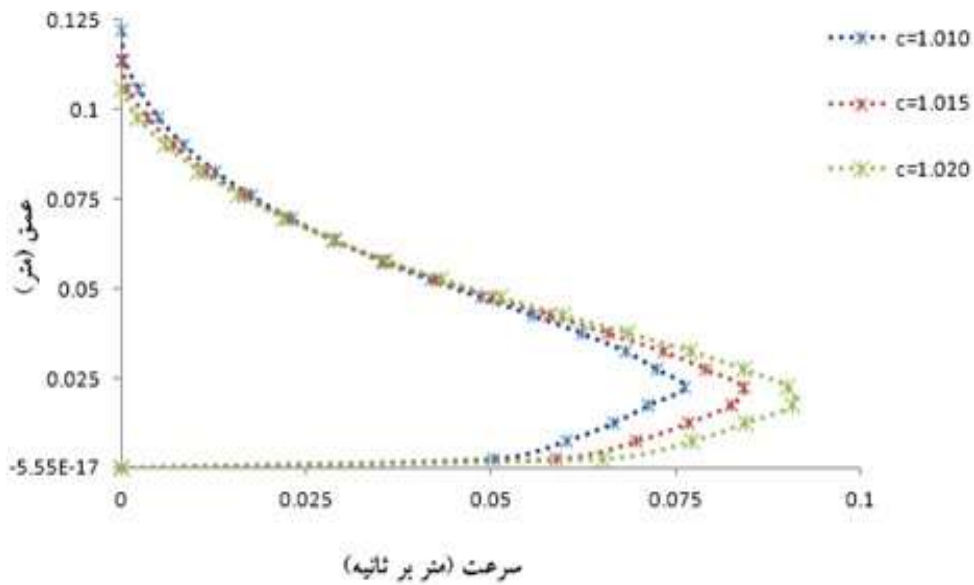
شکل ۱۰: تغییرات پروفیل سرعت با افزایش شیب برای مدل آشفتگی Eddy



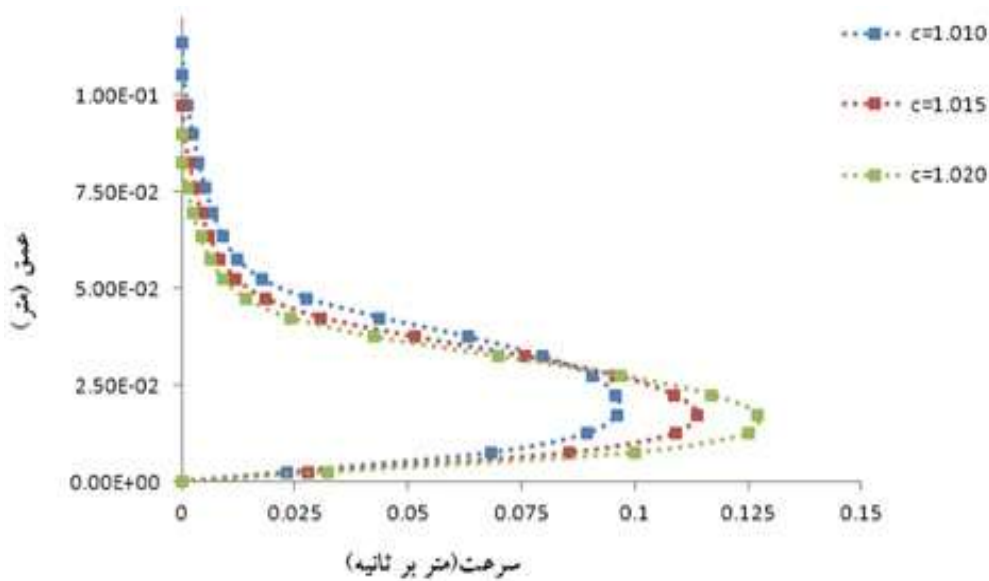
شکل ۱۱: تغییرات پروفیل سرعت با افزایش شیب برای مدل آشفتگی Laminar

اثر غلظت بر پروفیل سرعت بدنه

با افزایش غلظت، موقعیت سرعت ماکزیمم بطرف جلو و از لحاظ ارتفاعی تغییرات قابل توجهی نداشته و ارتفاع نقطه صفر سرعت نیز در غلظت‌های بیشتر تقریباً بالاتر می‌باشد (کوتی، ۱۳۸۹). شکل‌های ۱۲ و ۱۳ گویای مطلب فوق هستند.



شکل ۱۲: تغییرات پروفیل سرعت با افزایش غلظت برای مدل آشفتگی Eddy

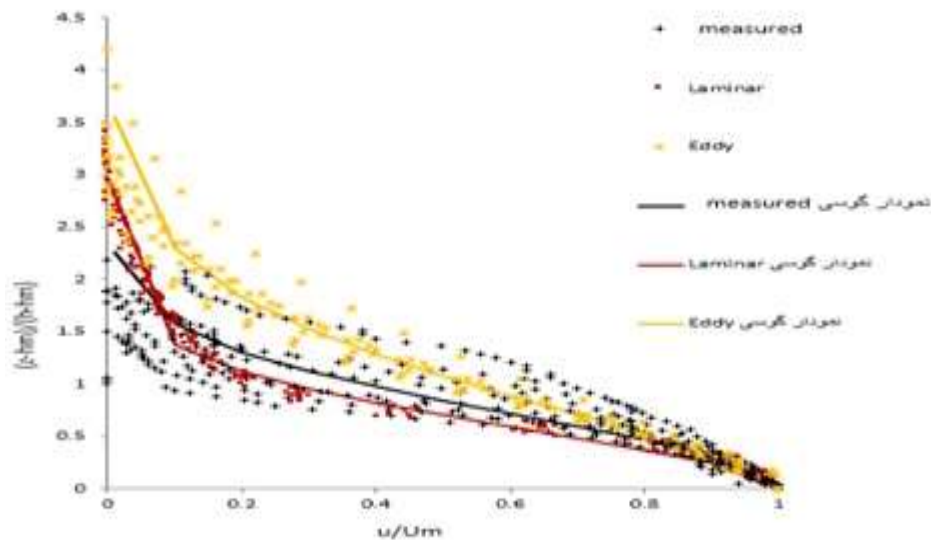


شکل ۱۳: تغییرات پروفیل سرعت با افزایش غلظت برای مدل آشفتگی Laminar

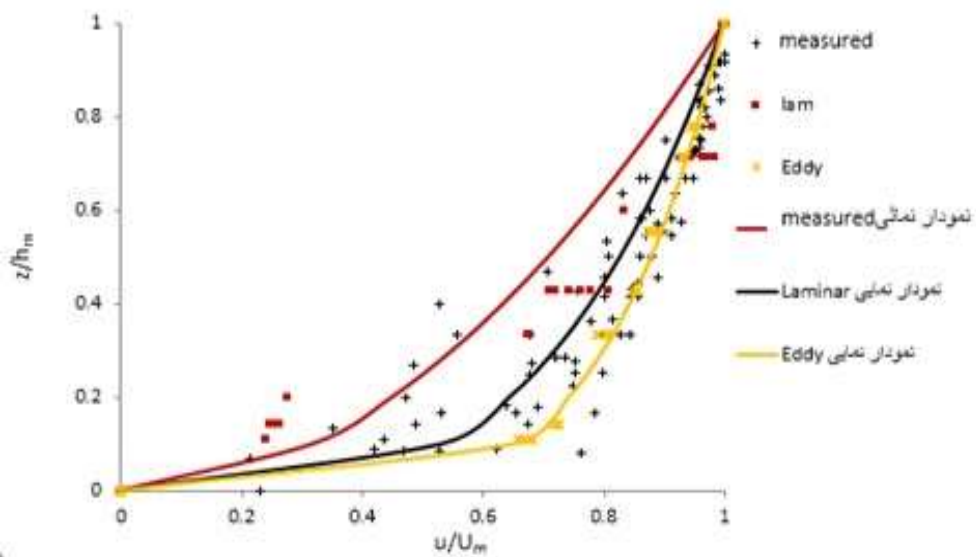
بررسی توزیع سرعت در ناحیه جت و دیواره از بدنه جریان غلیظ

شکل‌های ۱۴ و ۱۵ بی‌بعد سازی پروفیل سرعت را در هر دو ناحیه نشان می‌دهند. از شکل‌ها چنین نتیجه می‌شود که در ناحیه جت مدل عددی لامینار، هماهنگی بسیار خوبی با داده‌های آزمایشگاهی داشته و در ناحیه دیوار، مدل Eddy دقت بهتری داشته و مدل لامینار هم نتایج رضایت بخشی را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه داده‌های مدل Eddy در ناحیه

جت بالاتر و در قسمت دیوار پایین تر از داده‌های آزمایشگاهی قرار گرفتند گویای این است که پروفیل سرعت حاصل از آن ضخامت بیشتر و با همین استدلال مدل لامینار پروفیل نازکتری نسبت به پروفیل‌های آزمایشگاهی دارند. با استفاده از نرم-افزار SPSS، ضرایب مجهول معادله‌های ۱۵ و ۱۶، یعنی α ، β و n به دست آمدند و در جداول ۳ و ۴ ارائه شدند. سپس در جداول ۳ و ۴ خطای مدل‌های آهسته و Eddy در برآورد پروفیل سرعت ناحیه جت و دیواره محاسبه گردید.



شکل ۱۴: توزیع بدون بعد سرعت در ناحیه جت



شکل ۱۵: توزیع بدون بعد سرعت در ناحیه دیوار

جدول ۳: ضرائب برازش شده معادله ۱۵ برای سرعت بی بعد در ناحیه جت

مدل آشفتگی ادی	مدل آشفتگی لامینار	داده‌های آزمایشگاهی	نام پروفیل
۰/۶۱۸	۱/۳۱۲	۰/۹۶۲	α
۱/۵۸۳	۱/۷۹	۱/۹۲۴	ضرایب معادلات گوسی
۰/۹۸۶	۰/۹۸۵	۰/۹۳	ضریب رگرسیون R^2

جدول ۴: ضرائب برازش شده معادله ۱۶ برای سرعت بی بعد در ناحیه دیوار

مدل آشفتگی ادی	مدل آشفتگی لامینار	داده‌های آزمایشگاهی	نام پروفیل
۰/۱۸۵	۰/۴۹۷	۰/۲۷۳	توان معادله توزیع سرعت n
۰/۹۹	۰/۹۵	۰/۹۲	ضریب رگرسیون R^2

جدول ۵: خطای مدل‌های آشفتگی لامینار و ادی در برآورد پروفیل سرعت ناحیه جت

Model E	Laminar	Eddy
E(%)	۱۵/۲۷	۲۶/۱۶

جدول ۶: خطای مدل‌های آشفتگی لامینار و ادی در برآورد پروفیل سرعت ناحیه دیواره

Model E	Laminar	Eddy
E(%)	۱۳/۸	۶/۷

نتیجه‌گیری

در بحث ارتفاع بدنه، مدل RNG با خطای ۲۷/۵۰ درصد، بیشترین اختلاف با داده‌های آزمایشگاهی را داشته و بقیه مدل‌ها خطای کمتر از ۲۰ درصد داشتند. با افزایش غلظت و شیب، ارتفاع بدنه کاهش پیدا کرده و با افزایش دبی، ارتفاع بدنه افزایش می‌یابد. مدل‌های آشفتگی لامینار و Eddy در بحث پروفیل سرعت بدنه، شبیه‌ترین پروفیل را با داده‌های آزمایشگاهی داشتند و برای دو ناحیه جت و دیوار نتایج زیر به دست آمد: پروفیل سرعت بی‌بعد ناحیه جت از تابع گوسین پیروی می‌کند و در این ناحیه، مدل لامینار با ۱۵/۲۷ درصد خطا، نزدیکترین پروفیل سرعت بی‌بعد را نسبت به پروفیل‌های آزمایشگاهی محاسبه می‌کند. مدل ادی هم خطای ۲۶/۱۶ درصد را نشان داد. پروفیل سرعت بی‌بعد ناحیه دیوار از تابع نمایی پیروی می‌کند. در این ناحیه مدل‌های آشفتگی لامینار و ادی به ترتیب با خطاهای ۱۳/۸ و ۶/۷ درصد، مطابقت خوبی با داده‌های آزمایشگاهی داشتند. در پروفیل سرعت بدنه جریان غلیظ حاصل از مدل‌های آشفتگی لامینار و ادی مانند پروفیل‌های آزمایشگاهی:

۱. با افزایش دبی، پروفیل‌های سرعت ضخیمتر شده و سرعت ماگزیمم (Um) به طرف بالا و جلو پیش می‌رود.

۲. با افزایش شیب سرعت ماگزیمم (U_m) به طرف جلو و پایین حرکت می کند.

۳. با افزایش غلظت موقعیت سرعت ماگزیمم بطرف جلو و از لحاظ ارتفاعی تغییرات قابل توجهی ندارد.

در هر دو مدل آشفتگی لامینار و ادی، با افزایش عدد ریچاردسون، شدت اختلاط کاهش یافته و با داده های آزمایشگاهی مطابقت داشته و همچنین از نتایج سایر محققین پیروی می کند.

منابع

- ترابی پوده، ح. ۱۳۸۶. بررسی رفتار جریان غلیظ در همگرایی ها و واگرایی ها، رساله دکتری، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب، اهواز، ایران.
- بهرامی، ح. ۱۳۸۸. بررسی تأثیر شکست شیب بر خصوصیات جریان غلیظ با استفاده از مدل فیزیکی، رساله دکتری، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب، اهواز، ایران.
- حقی آبی، ا. ۱۳۸۳. بررسی اثر شیب کف بر پروفیل سرعت جریان غلیظ، رساله دکتری، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب، اهواز، ایران.
- کاهه، م. ۱۳۹۱. بررسی آزمایشگاهی دینامیک جریان غلیظ بر روی سطوح زبر، رساله دکتری، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب، اهواز، ایران.
- کرم زاده، ش. ۱۳۸۳. بررسی آزمایشگاهی کشش آب ساکن در جریان های غلیظ، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی، اهواز، ایران.

Baas, J.H., McCaffrey, W.D., Haughton, P.D.W. And Choux, C. 2005. Coupling between Suspended sediment distribution and turbulence structure in a laboratory turbidity current, Journal of Geophysics Research, 110, pp: 20-32.

Brandt, S. A. 2000. A review of reservoir desiltation. International Journal of Sediment Research, 15, pp. 321-342.

Buckee, C., Kneller, B. and Peakall, J. 2001. Turbulence structure in steady solute-driven gravity currents Blackwell Oxford pp, 173-188.

Ellison, T.H. and Turner, J.S. 1959. Turbulent Entrainment in Stratified Flow, Journal of Fluid Mechanics, 6(3), p: 423– 448.

Garcia, M.H. 1993. Hydraulic jumps in sediment-driven bottom currents, Journal of Hydraulic Engineering, 119(10), pp: 1094–1117.

Garcia, M.H. And Parker, G. 1993. Experiments on the entrainment of sediment into suspension by a dense bottom current, Journal of Geophysical Research, 98(C3), pp: 4793-4807.

Ghomeshi, M. 1995. Reservoir Sedimentation Modelling. Ph.D. Thesis, University of Wollongong, Australia.

La Rocca, M., Adduce, C., Sciortino, G. And Pinzon, A. B. 2008. Experimental and numerical simulation of three-dimensional gravity currents on smooth and rough bottom, *PHYSICS OF FLUIDS*, 20 (10): 1063-1078.

Leeder, M.R., Gray, T.E. And Alexander, J. 2005. Sediment suspension dynamics and a new criterion for the maintenance of turbulent suspensions. *Journal of Sedimentology*, 52: 683-691.

McCaffrey, W.D., Choux, C.M., Baas, J. H. and Haughton, P.D.W. 2003. Spatiotemporal evolution of velocity structure, concentration and grainsize stratification within experimental particulate gravity currents, *Marine and Petroleum Geology*, 20: 851- 860.

Parker G., Garcia M. and Fukushima Y. 1987. Experiments on turbidity currents over an erodible bed, *J. Hydraul. Res*, 25, pp:123–147.

Parker, G. And Toniolo, H. 2007. Note on the analysis of plunging of density flows, *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(6): 690-694.

Turner J. S. 1973. Buoyancy effects in fluids. Cambridge University Press, Cambridge, England. New York.

Yu, W, S., Lee, H. Y. And Hsu, M. S. 2000. Experiments on deposition behavior of fine in a reservoir. *Journal of Hydraulic Engineering*, 126(12): 912-920.

Numerical Analyzing of Mixing Length Effects in Analyzing of Density Current through a variety of turbulent models

R. Aghamajidi^{*1}, A. Torabi² and A. A. Kamanbedast³

1) Professor Assistant, Civil Department, Sepidan Branch, Sepidan, Iran.

2) M.sc of civil engineering, Islamic Azad University, Laresatan Branch, Larestan, Iran.

3) Professor Assistant, water Engineering Department, Ahwaz Branch, Ahwaz, Iran.

Corresponding Author: roozbeh1381@yahoo.com

Received Date: 2018.03.06

Accepted Date: 2018.05.30

Abstract

The density currents are generally divided into two groups of steady thick fluxes (such as concentrated salt flow) and volatile thick fluxes (such as sedimentary or sand flow). The occurrence of this kind of stream in reservoirs of dams leads to the transfer of sediments to the near dam structure and probably creates a hazard for the facilities and structures intended to meet the dam's goals. One of these proper methods for controlling sediments through reservoir is the removal of sediments from flood flows using the dynamic properties of density current. In this study, the different properties of flow dynamics were studied with Flow-3d software. Considering that in this software, six disturbance models K-e (two-equation), Laminar, Rng, One-equation, Eddy and Prandtl have been defined. In order to investigate the effect of slope, discharge and concentration on speed of the forehead, body velocity profile and also the rate of mixing length in the body of dark flow, for each of the mentioned models, 15 experiments were carried out in Flow-3d software (For a total of six models, 90 runs were performed). Then the results of turbulence models with experimental results were compared and verification was done for more accuracy. It was concluded that the turbulent disturbances models have the most coordination with experimental data.

Keywords: Density current, turbulence model, progressive velocity and body turbulence.