

بررسی نحوه تغییرات سرعت پیشانی جریان غلیظ با تغییرات دبی و شیب در یک مقطع

واگرا

حسن ترابی پوده¹، مهدی قمشی²، منوچهر فتحی مقدم³

1- دانشجوی دوره دکتری سازه های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز

2- استاد گروه سازه های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز

3- دانشیار گروه سازه های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ پذیرش: 88/12/11

تاریخ دریافت: 85/10/9

چکیده

دانستن سرعت پیشانی جریان غلیظ در مخازن سدها و دریاها بسیار حائز اهمیت می باشد. یکی از پارامترهای بسیار مؤثر در تغییر سرعت پیشانی جریان غلیظ، تغییرات مقطع رودخانه در مخازن سدها می باشد. لذا در مقاله حاضر سرعت پیشانی جریان غلیظ (Density Current) ورودی به یک مخزن واگرا تحت تاثیر شیب کف و دبی های مختلف توسط مدل فیزیکی و مدل ریاضی 3 بعدی (Flow 3D) مورد تحقیق قرار گرفته است. آزمایشات در یک فلوم با طول 6 متر، عرض 72/5 سانتی متر و ارتفاع 60 سانتی متر در شیب ها و دبی های مختلف انجام گرفت. ابتدا مدل ریاضی در هر شیب برای یک دبی مشخص کالیبره و صحت آن با دامنه وسیعی از دبی ها به اثبات رسید. سر انجام مدل ریاضی برای محدوده وسیعی از دبی های ورودی جریان غلیظ اجرا شد نتایج مدل ریاضی و مدل فیزیکی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و تغییرات سرعت پیشانی جریان غلیظ با تغییرات دبی تحت تاثیر شیب بصورت پارامترهای بدون بعد برای مقطع ثابت و واگرا ارائه گردید. نتایج نشان داد که سرعت بی بعد پیشانی جریان غلیظ تابعی از شیب کف و دبی بی بعد جریان می باشد.

کلید واژه ها: جریانهای غلیظ، سرعت پیشانی، مقطع واگرا، مخازن، عدد ریچاردسون، انتقال رسوب، اختلاط آب

مقدمه

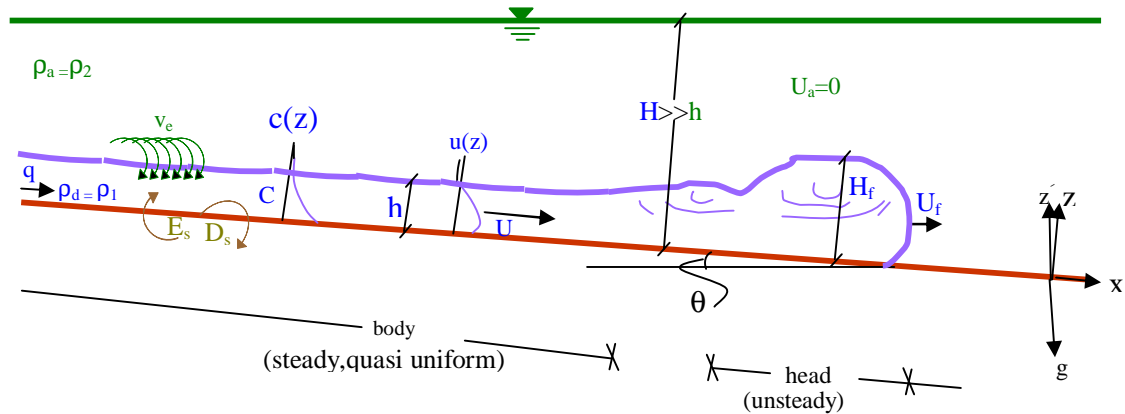
هنگامی که یک سیال با دانسیته معلوم بصورت ثقیلی وارد سیال ساکن با دانسیته کمتر گردد، بصورت یک جریان تحتانی از زیر توده سیال ساکن حرکت خواهد نمود. اختلاف دانسیته ممکن است ناشی از دما، مواد معلق، مواد محلول و یا ترکیبی از آنها باشد. واضح است که اختلاف دانسیته به تنهایی باعث ایجاد چنین جریانهایی نمی شود بلکه تاثیر شتاب ثقل بر روی اختلاف دانسیته و ایجاد اختلاف در وزن مخصوص باعث ایجاد اینگونه جریانها می شود، بهمین دلیل به آنها جریانهای ثقیلی

هنگامی که یک سیال با دانسیته معلوم بصورت ثقیلی وارد سیال ساکن با دانسیته کمتر گردد، بصورت یک جریان تحتانی از زیر توده سیال ساکن حرکت خواهد نمود. اختلاف دانسیته ممکن است ناشی از دما، مواد معلق، مواد محلول و یا ترکیبی از آنها باشد. واضح است که اختلاف دانسیته به تنهایی باعث ایجاد چنین جریانهایی نمی شود بلکه تاثیر شتاب ثقل بر روی اختلاف دانسیته و ایجاد اختلاف در وزن مخصوص باعث ایجاد اینگونه جریانها می شود، بهمین دلیل به آنها جریانهای ثقیلی

شناخت رفتار هیدرولیکی جریانهای غلیظ در دریاچه ها و مخازن سدها دارای فواید مهمی است از جمله:

- شناخت و بررسی چگونگی کاهش ظرفیت ذخیره مخزن بر اثر رسوبگذاری مواد معلق

آنها را کاهش می دهد. در اقیانوسها جریانهای غلیظ تأثیر بسزایی در توزیع رسوبات روی کف اقیانوس و شکل گیری توپوگرافی کف آنها دارند. در دریاها نیز ذرات با اندازه سیلت و رس بصورت بار معلق توسط رودخانه ها و به کمک جریانهای غلیظ به ناحیه زیرین دریاها منتقل می شود.



شکل 1- نمای شماتیک یک جریان غلیظ

می شود که سیال اطراف تأثیر کاهنده ای روی نیروی ثقل داشته که ضریب کاهش به صورت $\Delta r/r_2$ می باشد. در نتیجه شتاب ثقل مؤثر (g') بصورت زیر محاسبه می گردد:

$$g' = g(r_1 - r_2)/r_2 = g\Delta r/r_2 \quad (1)$$

شتاب ثقل مانع از اختلاط جریان غلیظ با سیال ساکن شده و آنرا در امتداد شیب به جلو می راند. سرعت پیشانی جریان غلیظ به توپوگرافی بستر و خصوصاً تغییر مقطع رودخانه در محل ورود به مخزن وابسته است. تاکنون تحقیقات آزمایشگاهی انجام شده توسط محققین در فلوم های با مقطع ثابت بوده و سرعت پیشانی جریان غلیظ در یک مقطع واگرا مورد بررسی قرار نگرفته است. این مقاله تغییرات سرعت پیشانی جریان غلیظ را در یک مقطع واگرا مورد بررسی قرار می دهد. از آنجائیکه

- نصب و بهره برداری صحیح از دریچه ها به منظور عبور رسوبات و کاهش نرخ رسوبگذاری در مخزن

- پیش بینی و مدیریت کیفیت آب مخازن

- بهره برداری از جریانهای غلیظ و قدرت حمل کنندگی آنها به منظور تخلیه رسوبات انباشته شده قبلی؛

- و جلوگیری از ساییدگی توربین ها و مجراهای انتقال آب

در شکل 1، حرکت جریان غلیظ با دانسیته $r_a = r_1$ با سرعت متوسط U در جهت x روی یک سطح شیب دار با زاویه q در زیر یک توده سیال ساکن عمیق تر با دانسیته $r_a = r_2$ نشان داده شده است. جریان غلیظ گرچه دارای شباهتهایی با جریان در مجاری رو باز است ولی با آن تفاوت اساسی دارد. این تفاوت از آنجا ناشی

آبی نیز در تحقیق مشابهی به نتایج مشابه دست یافت و پراکندگی داده ها را ناشی از خطای آزمایشات دانست (9). در این تحقیق نیز سرعت بی بعد در مقابل شیب کف ترسیم گردید و پراکندگی های مشابه شکل 2 مشاهده گردید. با بررسی های انجام شده مشخص گردید این پراکندگی ها ناشی از تغییر دبی جریان غلیظ بوده که در نتایج این تحقیق به آن اشاره خواهد شد. دنتون² (5)، بریتر و لیندن³ (4) نیز بر روی سرعت پیشانی جریان مطالعاتی انجام تحقیقات در شکل شماره 2 دیده می شود. قمشی با انجام تحقیقات آزمایشگاهی معادله ای جهت برآورد سرعت پیشانی جریان ارائه نمود (8 و 1). در خصوص هیدرودینامیک جریان غلیظ اخیراً نیز تحقیقاتی توسط راس و همکاران⁴ (14)، کینگ و وود⁵ (12)، هورش⁶ (10)، حقی یابی (9) و دی سزار و همکاران⁷ (6 و 7) انجام شده است.

توسعه مدل به کمک آنالیز ابعادی

پارامترهای وابسته جریان در سیستم جریان غلیظ (شکل 1) شامل سرعت جبهه جریان U_f ، سرعت بدنه U ، ضخامت جبهه H_f ، و ضخامت بدنه h میباشند. پارامترهای وابسته را می توان بر اساس معادله زیر به پارامترهای مستقل جریان ارتباط داد.

$$U_f, U, H_f, h = \Phi(g', q, H, S, n, V_s, a) \quad (6)$$

a : زاویه واگرایی

q : شدت جریان غلیظ ورودی

S : شیب کف

V_s : سزعت سقوط ذرات

n : لزجت سینماتیک

H : عمق آب زلال به اضافه عمق جریان غلیظ

g' : شتاب ثقل مؤثر

سرعت پیشانی یک جریان غلیظ در یک مقطع عرضی کمتر از یک مقطع باریک می باشد، سرعت پیشانی جریان در طول یک واگرایی بتدریج کاهش یافته که نحوه تغییرات آن در این تحقیق بررسی می شود.

پیشینه تحقیق

محققین زیادی رفتار جریان غلیظ را مورد بررسی قرار داده اند. میدلتون با استفاده از مطالعات آزمایشگاهی حرکت پیشانی جریان غلیظ را تقریباً نزدیک به رابطه کتولگان دانست (13). رابطه کتولگان برای سرعت پیشانی جریان غلیظ (U_f) بصورت زیر است (11).

$$U_f = 0.75 \sqrt{g' H_f} \quad (2)$$

که در آن H_f ، ضخامت پیشانی جریان غلیظ است. ترنر رابطه دیگری مشابه رابطه فوق به شکل زیر ارائه نمود (16 و 15).

$$U_f = \sqrt{2g'h} \quad (3)$$

که در آن h ، ضخامت بدنه جریان غلیظ است. آلتیناکار داده های فلوم آزمایشگاهی خود را با نتایج ترنر و میدلتون مقایسه نموده و یک ضریب سزی کوچکتر برابر 0/63 پیشنهاد نمود (3).

$$U_f = 0.63 \sqrt{g' H_f} \quad (4)$$

آلتیناکار و همکاران با تحقیقات بیشتر سرعت پیشانی جریان را تابعی از دبی اولیه جریان غلیظ ورودی و شیب بستر (S) بصورت زیر بیان نمودند (2).

$$U_f = f(S) * (g'q)^{1/3} \Rightarrow \frac{U_f}{(g'q)^{1/3}} = f(S) \quad (5)$$

مشاهدات آلتیناکار و همکاران¹ و مقایسه آن با مشاهدات دیگر محققین در شکل (2) نشان داده شده است.

همانطور که در شکل 2 نشان داده شده است، داده ها دارای پراکندگی قابل ملاحظه ای می باشند که آلتیناکار و همکاران این پراکندگی را حاصل خطای آزمایشگاهی و ضرایب کشانه متفاوت دانستند. حقی

² - Denton

³ - Britter-Linden

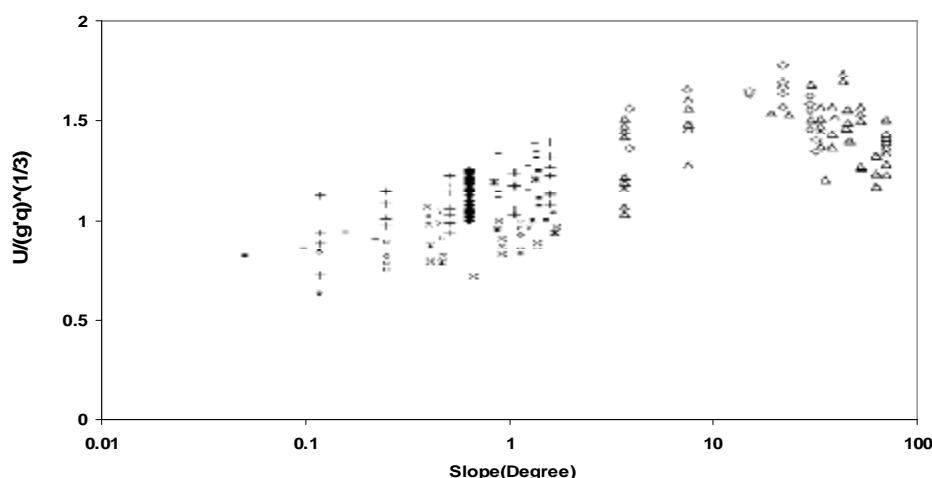
⁴ - Ross et al

⁵ - King-woods

⁶ - Horesch

⁷ - Decesare et al

¹ - Altinkar et al



شکل 2- سرعت بی بعد پیشانی جریان غلیظ در مقابل شیب بستر (آلتیناکا و همکاران، 1990)

تلاش دارد روابط حاکم بین پارامتر وابسته بی بعد $U_f/(g'q)^{1/3}$ و پارامترهای بی بعد مستقل یعنی $S, R_e, a, q/\sqrt{g'H^3}$ را مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار دهد.

مدل فیزیکی

آزمایشات در یک فلوم با شیب کف قابل تغییر، عرض $72/5$ سانتی متر، عمق 60 سانتی متر و طول 6 متر در آزمایشگاه مدل‌های هیدرولیکی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران انجام شد. تجهیزات و تمهیدات دیگری نیز برای تهیه سیال غلیظ و کنترل حالت ماندگار آن در طول آزمایشات در نظر گرفته شده. فلوم و تجهیزات بکار رفته در شکل‌های 3 و 4 نشان داده شده است. قبل از شروع آزمایشات، همه ابزارهای اندازه گیری به نحو مناسب آماده و فلوم از آب معمولی پر می شد. در مجاورت فلوم یک مخزن اختلاط مجهز به پمپ مخلوط کن، برای تهیه و ذخیره جریان غلیظ در نظر گرفته شده بود. برای تهیه سیال غلیظ، نمک (نمک طعام) با آب در مخزن اختلاط مخلوط می شد. سیال غلیظ تولید شده از طریق خط لوله و با شدت ثابت از مخزن اختلاط به یک منبع با ارتفاع ثابت (هد تانک)

با در نظر گرفتن q و g' بصورت پارامترهای تکراری، پارامترهای بی بعد زیر از آنالیز ابعادی حاصل گردیدند.

$$U_f/(g'q)^{1/3}, U/(g'q)^{1/3}, H_f/(q^2/g')^{1/3}, \quad (7)$$

$$R_i = \Phi\left(q/\sqrt{g'H^3}, S, R_e, V_s/(g'q)^{1/3}, a\right)$$

که در آن $R_i = \frac{h}{(q^2/g')^{1/3}} = \frac{hg'}{U^2}$ عدد

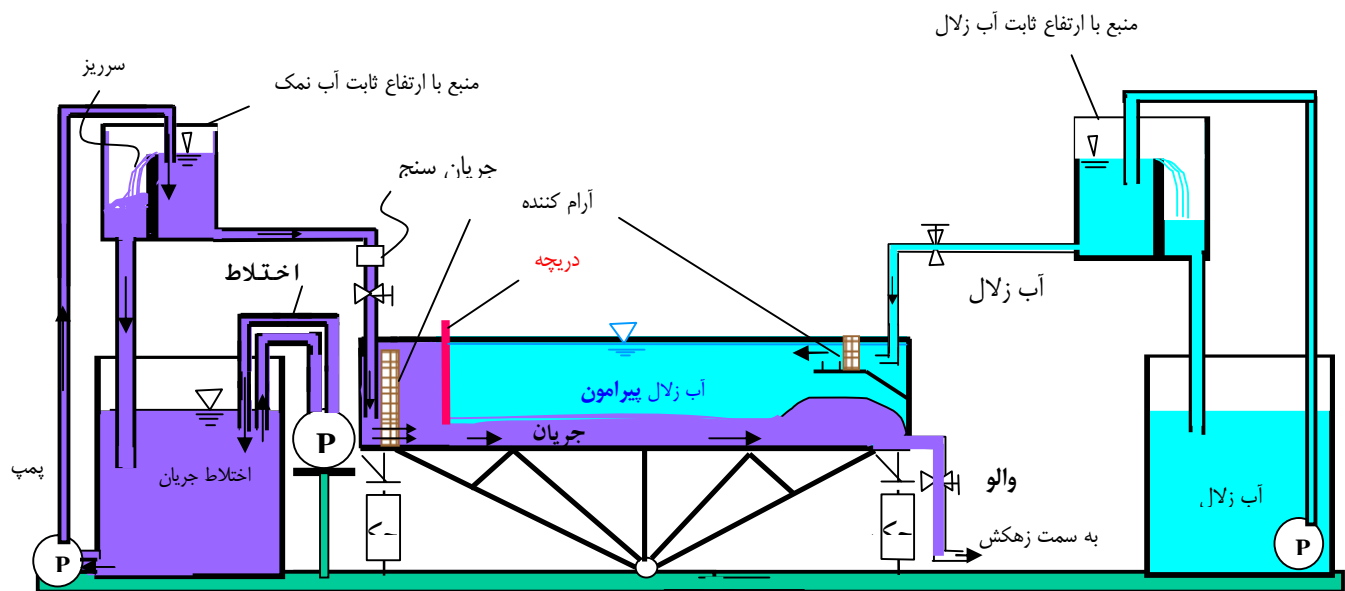
ریچاردسون مبتنی بر h بوده و R_e عدد رینولدز می باشد. در معادله 7، پارامتر بی بعد

$H_f/(q^2/g')^{1/3}$ همانند پارامتر $\frac{h}{(q^2/g')^{1/3}}$ با

عدد ریچاردسون جبهه جایگزین نشده است. زیرا شدت جریان ورودی q که در این پارامتر بکار رفته نمی تواند شاخص خوبی برای حرکت پیشانی جریان غلیظ باشد و مقدار آن ضمن پیشروی جریان تغییر می کند: بخصوص در واگرایی و همچنین زمانی که اختلاط شدید جریان ورودی و ناپایداری های سطحی وجود دارد. بهر حال در این تحقیق مهمترین پارامترهای در نظر گرفته شده برای حرکت پیشانی جریان غلیظ در معادله (3) شامل

استفاده از یک صفحه مسدود گردید. تمام طول فلوم به وسیله یک دریچه جدا کننده کشویی به دو بخش با

پمپاژ می شد و سپس از تانک توسط یک سیستم لوله و شیر فلکه به داخل فلوم هدایت می گردید . دبی جریان غلیظ ورودی به فلوم با استفاده از یک شیر فلکه تنظیم می شد. انتهای بالادست فلوم با



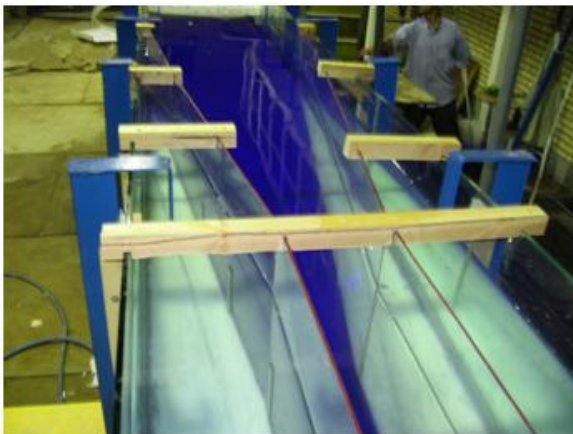
شکل 3- نمای شماتیک تجهیزات آزمایشگاهی

طول متفاوت تقسیم شد. بخش کوتاهتر در بالادست نقش تانک اصلی را برای تولید جریان غلیظ ایفا می کرد. بخش طولیتر در پایین دست نقش مخزن اصلی را داشت که جریان غلیظ از زیر آن حرکت می کرد و در واقع بازه مورد آزمایش بود. جهت کاهش ضربه و تلاطم جریان، در بالادست دریچه جدا کننده یک سازه آرام کننده جریان تعبیه شد. دریچه ورودی یک عمق اولیه را برای جریان غلیظ ایجاد می نمود. با بالا کشیدن دریچه ورودی، جریان غلیظ وارد مخزن آب می شد و در زیر توده آب ساکن به سمت پایین دست حرکت می نمود. در پایین با استفاده از سیستم زهکش جریان غلیظ به خارج از آزمایشگاه تخلیه می شد. در طول آزمایش آب معمولی به آزمایش اضافه می شد تا

جایگزین آب تخلیه شده توسط جریان غلیظ گردد و رقوم آب را ثابت نگه دارد. آب اضافه شده به فلوم ابتدا وارد یک تانک با ارتفاع ثابت می شد (شکل 3). در نظر گرفتن تانک با سطح آب ثابت به منظور کنترل بهتر جریان و حذف نوسانات دبی آب بود. آب معمولی پس از تانک با سطح آب ثابت وارد حوضچه آرامش در انتهای فلوم می شد تا باعث ایجاد تلاطم در آب ساکن نشود. در انتهای پایین دست فلوم یک شیر فلکه رقوم آب در فلوم را کنترل می نمود. سرعت جبهه جریان با توجه به طی مسافت مشخص بین ایستگاههای مختلف در زمانهای مشخصی محاسبه می شد. ارتفاع جبهه در هر ایستگاه نیز به کمک اشل های نصب شده در هر ایستگاه اندازه گیری می شد. در آزمایشات با



شکل ۴- نمای کلی تجهیزات آزمایشگاهی



شکل ۶- حرکت بدنه جریان غلیظ در مقطع واگرا



شکل ۵- حرکت پیشانی جریان غلیظ

انتخاب این زاویه محدودیتهای مدل جهت اتخاذ زوایای بزرگتر بود زیرا در زاویه های بزرگتر نیاز به فلوم با عرض بزرگتر بود تا به تبع آن طول واگرایی مناسب جهت اندازه گیری سرعت پیشانی جریان غلیظ فراهم گردد. در آزمایشات مقطع واگرا، جریان غلیظ پس از خارج شدن از زیر دریچه ابتدا وارد بازه ای با عرض 20 سانتیمتر و طول 150 سانتی متر می شد و

اضافه کردن ماده رنگی حرکت جریان غلیظ در زیر توده ساکن سیال بطور مشخص قابل رویت می شد. آزمایشات اندازه گیری سرعت جریان در مقطع ثابت 20 سانتی متری، مقطع ثابت 72/5 سانتی متری و یک مقطع واگرا انجام شد. در مقطع واگرا عرض مقطع از 20 سانتی متر به 72/5 سانتی متر تغییر می نمود. زاویه تغییر در این مقطع 8 درجه منظور شد. علت

ضریب u_p برابر است با $\frac{C_p m}{r}$ که m ضریب ویسکوزیته و C_p عدد اشمیت تلاطم می باشد.

ترم دوم RSOR در سمت راست معادله (8) مربوط به دبی جرمی جریان غلیظ می باشد. جهت حل مسائل جریانهای قابل تراکم حل کامل معادله (8) مورد نیاز می باشد، اما برای جریانهای غیر قابل تراکم این تحقیق معادله (8) پس از حذف اثرات دیفیوژن مورد استفاده قرار می گیرد.

$$\frac{\partial}{\partial x}(uA_x) + R \frac{\partial}{\partial y}(vA_y) + \frac{\partial}{\partial z}(wA_z) + x \frac{ruA_x}{x} = \frac{RSOR}{r} \quad (10)$$

ب : معادلات اندازه حرکت

معادلات حرکت سیال در 3 بعد شامل معادلات ناویه- استوکس با پاره ای ترمهای اضافه تر بشرح زیر می باشند.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[uA_x \frac{\partial u}{\partial x} + vA_y R \frac{\partial u}{\partial y} + wA_z \frac{\partial u}{\partial z} \right] - x \frac{A_y v^2}{xV_F} = -\frac{1}{r} \frac{\partial P}{\partial x} + G_x + f_x - \frac{RSOR}{rV_F} u \quad (12)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[uA_x \frac{\partial v}{\partial x} + vA_y R \frac{\partial v}{\partial y} + wA_z \frac{\partial v}{\partial z} \right] - x \frac{A_y v u}{xV_F} = -\frac{1}{r} \left(R \frac{\partial P}{\partial y} \right) + G_y + f_y - \frac{RSOR}{rV_F} v \quad (13)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[uA_x \frac{\partial w}{\partial x} + vA_y R \frac{\partial w}{\partial y} + wA_z \frac{\partial w}{\partial z} \right] = -\frac{1}{r} \frac{\partial P}{\partial z} + G_z + f_z - \frac{RSOR}{rV_F} w \quad (14)$$

که در آن

G_x, G_y, G_z : شتابهای جرمی در جهات x, y, z

پس از طی این مسیر وارد مقطع واگرا می گردید . درشکلهای 5 و 6 نمونه ای از انجام آزمایشات نشان داده شده است.

مدل ریاضی

جهت ایجاد مدل ریاضی در این تحقیق از نرم افزار Flow 3D استفاده شده است . نرم افزار مذکور یک نرم افزار عمومی قدرتمند جهت مدل نمودن جریانهای 3 بعدی است . معادلات مورد استفاده این مدل جهت این تحقیق شامل اصل بقای جرم و مقدار حرکت به شرح زیر است.

الف: معادله عمومی بقای جرم

$$V_F \frac{\partial r}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(ruA_x) + R \frac{\partial}{\partial y}(rvA_y) + \frac{\partial}{\partial z}(rwA_z) + x \frac{ruA_x}{x} = RDIF + RSOR \quad (8)$$

که در آن

V_F : حجم سیال

r : دانسیته سیال

RDIF : عامل دیفیوژن تلاطم

RSOR : عامل چشمه جرم

u, v, w به ترتیب مؤلفه های سرعت در مختصات کارتزین (x, y, z) و یا مختصات استوانه ای (r, θ, z) میباشد.

A_x, A_y, A_z به ترتیب مساحت های المان در جهت عمود بر مؤلفه های x, y, z می باشد. ضریب R و x مربوط به نوع سیستم مختصات بوده و در مختصات کارتزین $R=1$ و $x=0$ می باشد.

ترم اول (RDIF) در سمت راست معادله (8) ترم دیفیوژن تلاطم بوده و عبارتست از:

$$RDIF = \frac{\partial}{\partial x} \left(u_r A_x \frac{\partial r}{\partial x} \right) + R \frac{\partial}{\partial y} \left(u_r A_y R \frac{\partial r}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(u_r A_z \frac{\partial r}{\partial z} \right) + x \frac{ru_r A_x}{x} \quad (9)$$

نتایج و بحث

سرعت پیشانی جریان غلیظ به عوامل زیادی بستگی داشته که امکان دخالت دادن تمام آنها جهت دستیابی به یک معادله عمومی میسر نیست. در نتیجه در این تحقیق سعی گردید تا از عواملی که نقش کمتری در سرعت حرکت پیشانی جریان غلیظ دارند صرف نظر شوند. ضمناً روابط برای دو شیب به طور جداگانه استخراج و بدون بعد ارائه گردد. از پارامترهای بدون بعد سمت چپ معادله 7 فقط پارامتر سرعت پیشانی مورد نظر این تحقیق است. با توجه به رابطه 7 ، پارامتر سرعت بدون بعد پیشانی جریان $(U_f / (g'q)^{1/3})$ تابعی از شیب (S) ، زاویه واگرایی (a) ، سرعت بدون بعد سقوط ذرات برای جریانهای رسوبی $(V_s / (g'q)^{1/3})$ ، عدد رینولدز (R_e) ، و دبی بی بعد $(q / \sqrt{g'H^3})$ میباشند. بدلیل عدم تغییر زیر عدد رینولدز در حرکت جریانهای غلیظ، از اثرات جزئی آن صرفنظر و اجازه داده شده اثرات جزئی آن بصورت غیرمستقیم از طریق سایر پارامترها برنتایج مدل اعمال گردد.

از طرفی به علت عدم استفاده از جریانهای رسوبی پارامتر سرعت بدون بعد سقوط ذرات کنار گذاشته شد. از طرفی جریانهای غلیظ عمدتاً ریزدانه با درجه تعلیق بالا بوده و سرعت سقوط ذرات بسیار ناچیز می باشد. بنابراین سه پارامتر شیب ، زاویه واگرایی و تغییرات دبی ورودی جریان غلیظ مهم شناخته شد و سرعت پیشانی در آزمایشات هر بار برای شیب و زاویه واگرایی ثابت اندازه گیری شد. در شکل شماره 9 مقایسه سرعت ها در فلوم با عرض 20 سانتی متری ، 72/5 سانتی متری و واگرایی 8 درجه نشان داده شده است. همانطور که در شکل ملاحظه می گردد ، در هر سه مورد شدت تغییرات سرعت پیشانی افزایش دبی ورودی جریان غلیظ کاهش یافته و از یک منحنی درجه 2 تبعیت می نماید و این منحنی ها در هر 3 مورد دارای مشتق درجه دوم منفی می باشد. به عبارت

f_x, f_y, f_z : شتابهای گرانی در جهات x, y, z

مدل ریاضی Flow 3D جهت مدل نمودن جریان متلاطم از مدل $k - e$ استفاده مینماید.

مدل سازی زبری سطوح جامد

مدل سازی زبری سطحی در مدل Flow 3D با استفاده از رابطه تنش برشی دیواره (Wall Shear Stress) و جایگزینی زبری دیواره بجای لزجت چرخه های تلاطم (Eddy Viscosity) انجام می گردد. زبری مطلق (k) دارای دیمانسیون طول بوده و با اضافه کردن آن به لزجت مولکولی (n) در محاسبه تنش برشی مدل می گردد. بنابراین تنش برشی دیواره در جریان غلیظ از رابطه زیر بدست می آید:

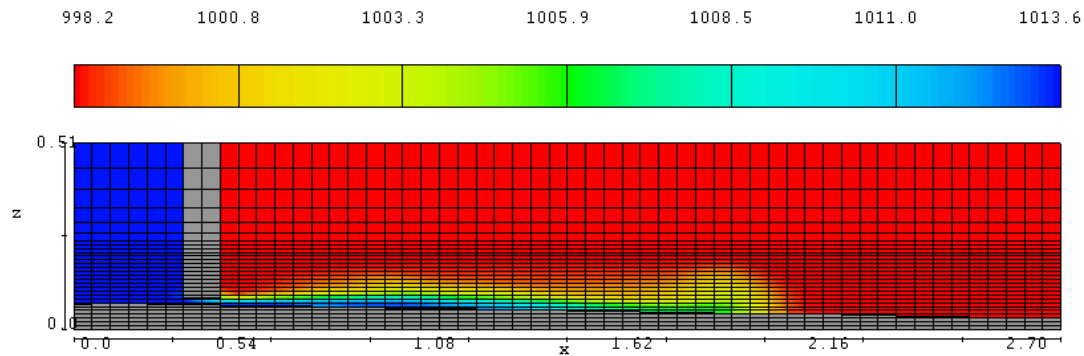
$$t = r(n + ku) \frac{u}{dy} \quad (15)$$

در هر بار مدل سازی، ابتدا مشخصه های هندسی مدل در نرم افزار اتوکد ایجاد و به مدل (Flow 3D) وارد می گردید. سپس توسط مدل و با رعایت محدودیت های آن عمل مش بندی انجام می گردد.

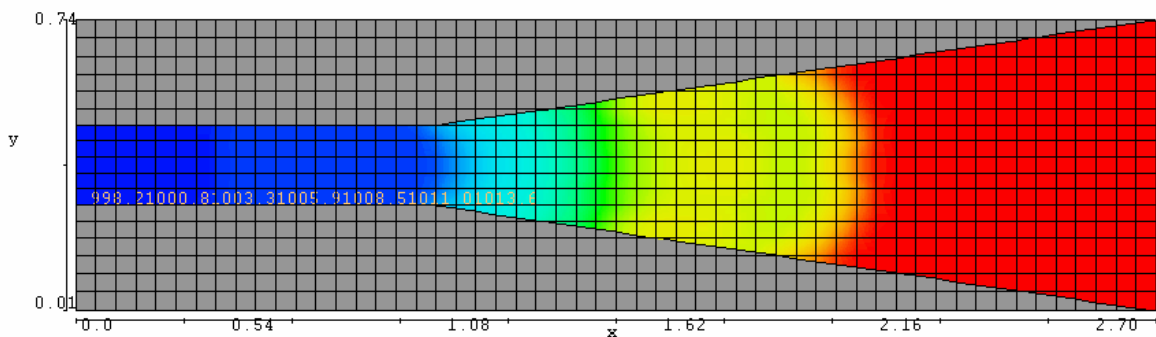
پس از آن شرایط اولیه، شرایط مرزی، خصوصیات سیال های جریان غلیظ و سیال پیرامون (آب زلال) به مدل معرفی گردیده و مدل اجرا می شود. شکلهای 6 و 7 نمونه ای از اجرای مدل به همراه مش بندی ایجاد شده را نشان می دهد. پس از اجرای مدل نتایج آن با نتایج مدل فیزیکی مقایسه و در صورت عدم تطابق با تغییر زبری در هر شیب برای یک دبی، مدل اجرا شده و بدین شکل مدل ریاضی کالیبره می شد. بعد از کالیبراسیون مدل برای شیب مورد نظر، نتایج مدل با تغییر دبی در مدل فیزیکی برای همان شیب صحت سنجی می گردید. در ادامه مدل ریاضی با حفظ شرایط موجود در مدل فیزیکی برای دامنه وسیعتری از دبی اجرا که نتایج آن در ادامه تشریح می گردد.

ریاضی می باشند. با توجه به ضرورت حفظ بازشدگی 2 سانتیمتر برای دریچه جریان غلیظ جهت انجام محاسبات در مدل ریاضی، امکان عبور جریان بیش از 2 لیتر بر ثانیه برای آزمایشات به ازاء 20 سانتیمتری و

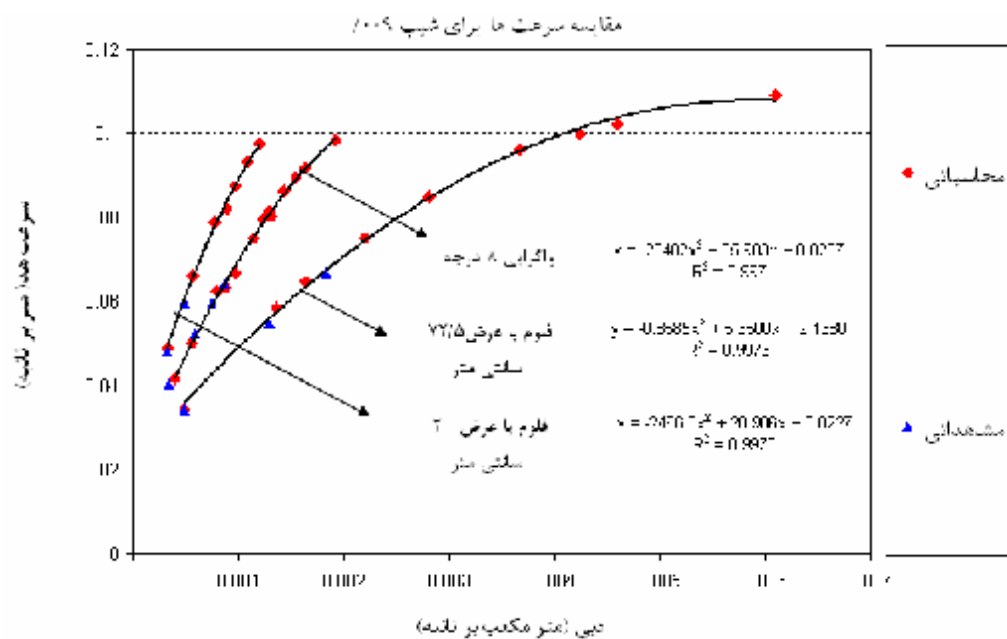
دیگر تقعر هر سه منحنی رو به پایین می باشد. منحنی ها و روابط نشان داده شده در شکل 9 از برآزش داده های محاسباتی بدست آمده و همانطور که نشان داده شده داده های مشاهداتی بیانگر دقت کالیبراسیون مدل



شکل 7- مقطع جریان غلیظ در شیب برابر 0/016، واگرایی 8 درجه، دبی 0/711 لیتر بر ثانیه و در زمان 20 ثانیه از شروع جریان (نتایج مدل ریاضی)

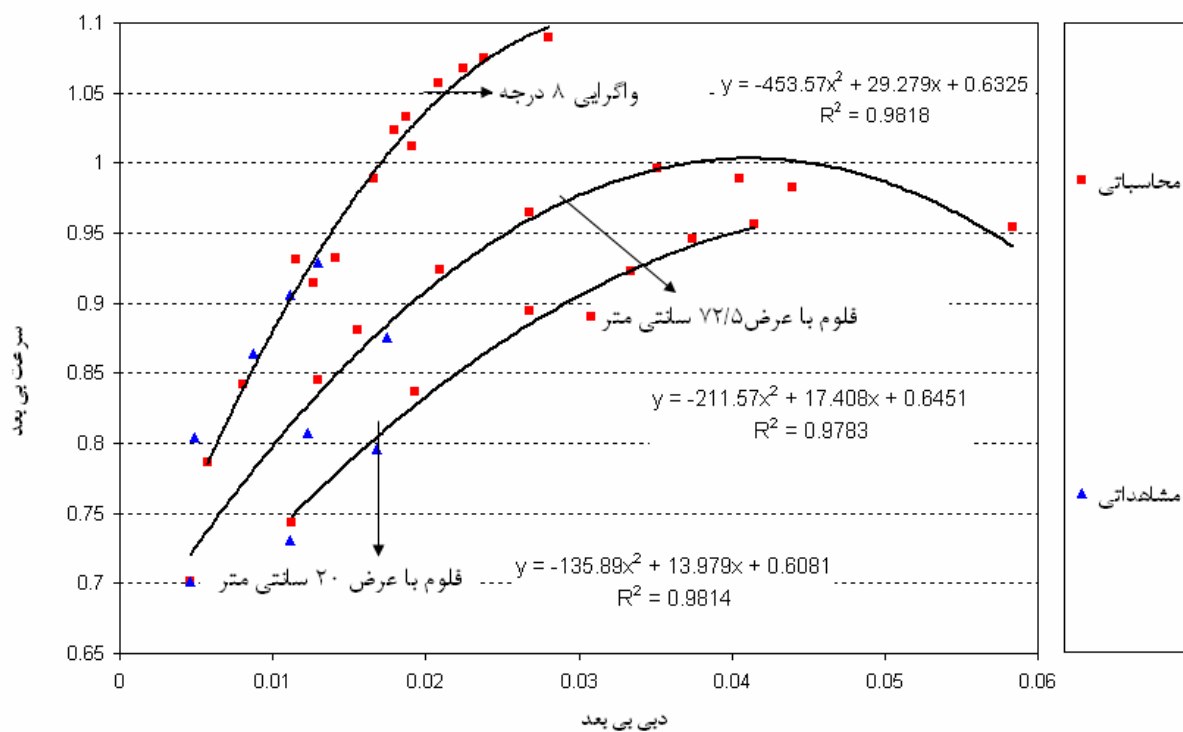


شکل 8- پلان جریان غلیظ در شیب برابر 0/016، واگرایی 8 درجه، دبی 0/711 لیتر بر ثانیه، زمان 20 ثانیه از شروع جریان و در ارتفاع 8 سانتی متری (نتایج مدل ریاضی)

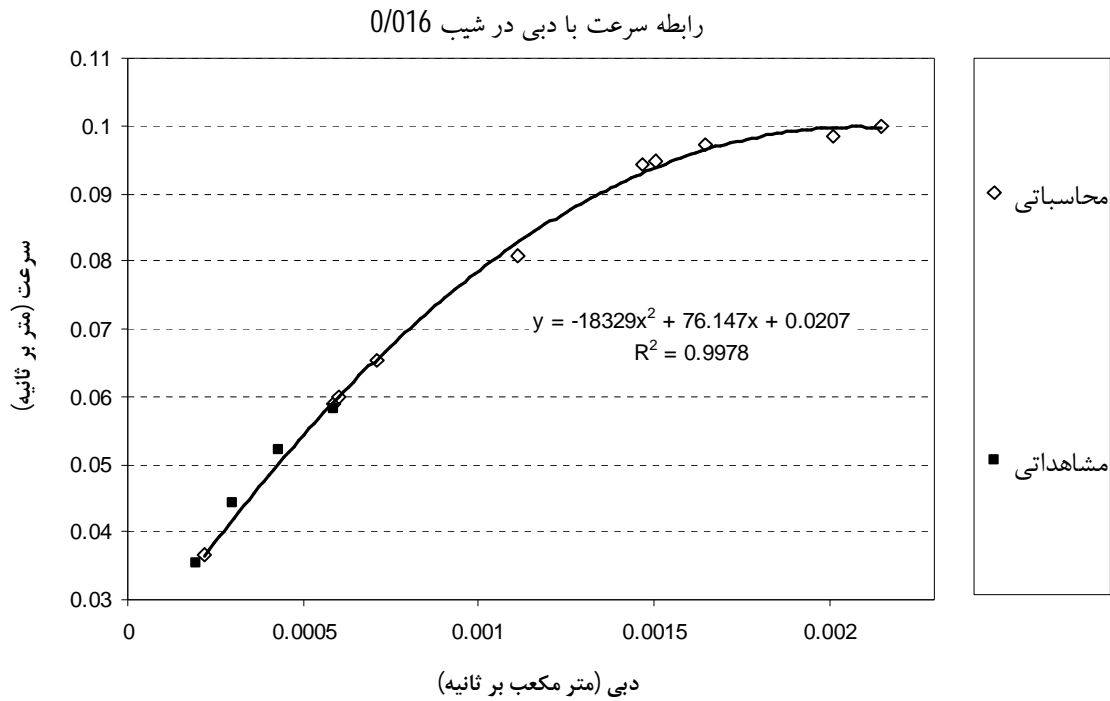


شکل شماره ۹-مقایسه نحوه تغییرات سرعت پیشانی جریان در مقابل دبی جریان غلیظ ورودی با غلظت ۱۸ گرم بر لیتر و شیب ۹ در هزار

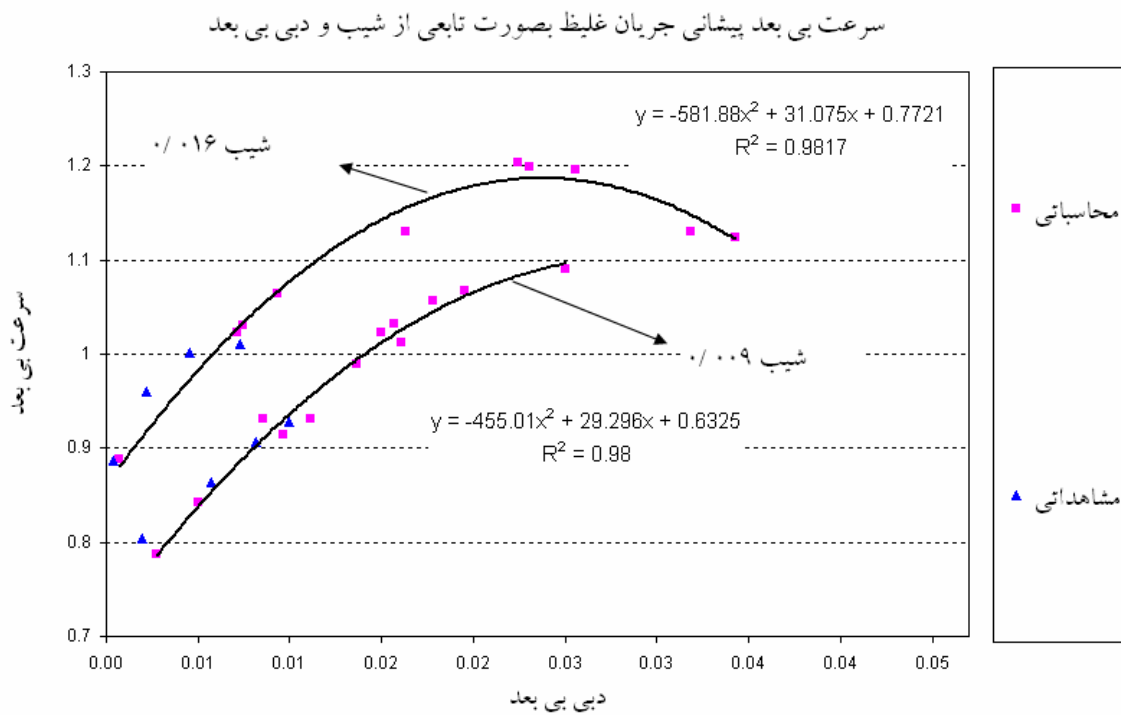
سرعت بی بعد سرعت بی بعد پیشانی جریان غلیظ برای شیب ۰/۰۰۹



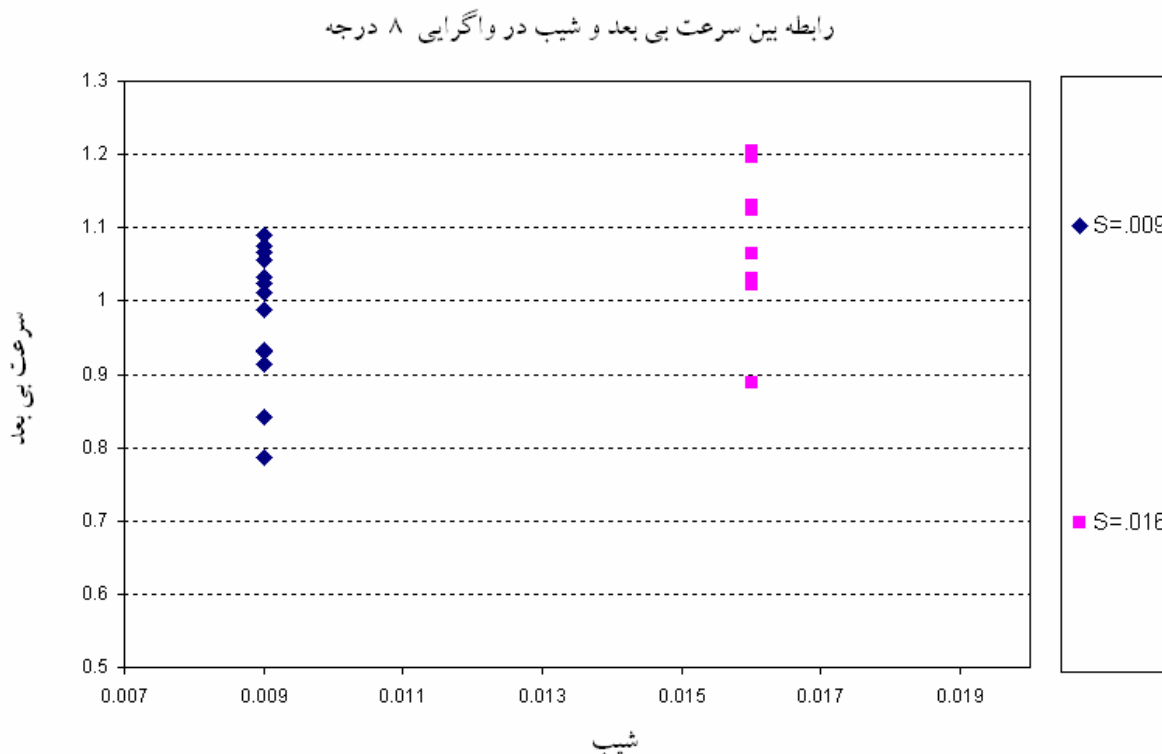
شکل شماره ۱۰- رابطه بین سرعت بی بعد و دبی بی بعد در شیب ۰/۰۰۹



شکل شماره 11- رابطه سرعت با دبی جریان غلیظ در واگرایی 8 درجه و در شیب 0/016



شکل شماره 12- رابطه با دبی بی بعد با سرعت بی بعد پیشانی جریان غلیظ در واگرایی 8 درجه و در شیبهای 16 در 1000 و 9 در 1000



شکل شماره 13- رابطه بین سرعت بی بعد پیشانی جریان و شیب در واگرایی 8 درجه

دارای پراکندگی زیاد می باشند. این پراکندگی ها مشابه با پراکندگی های محققین قبلی (شکل شماره 2) است. با توجه به یکسان بودن داده ها در شکل های 12 و 13 می توان چنین نتیجه گیری نمود که عدم در نظر گرفتن دبی بی بعد جریان در شکل شماره 13 باعث ایجاد چنین پراکندگی ها شده است. از آنجائیکه مقدار g' و H در آزمایشات و همچنین مدل ریاضی ثابت در نظر گرفته شد، بنابراین تغییرات پارامتر دبی بی بعد در این تحقیق تنها ناشی از تغییرات دبی جریان بوده و در نتیجه این تغییرات باعث ایجاد پراکندگی در شکل شماره 13 شده است. با توجه به نتایج بدست آمده می توان چنین اظهار نمود که پارامتر دبی بی بعد یک پارامتر مهم و تاثیر گذار در رابطه سرعت پیشانی جریان غلیظ می باشد.

نتیجه گیری

1- سرعت متوسط جریان غلیظ با دبی ثابت با ورود به یک مقطع واگرا کاهش یافته و سرعت

بازه واگرا فراهم نگردید. آزمایشات علاوه بر شیب 0/009 در شیب 0/016 نیز انجام گرفت و با استفاده از یک دبی، مدل ریاضی کالیبره شده و نتایج مدل با محدوده وسیعی از دبی ها صحت سنجی شد که نتایج محاسبات مدل در شکل 11 به همراه اندازه گیری ها نشان داده شده است. شکل شماره 11 بیانگر دقت مدل در برآورد سرعت پیشانی جریان در شیب 0/016 و برای واگرایی 8 درجه می باشد. همانطور که مشاهده می گردد در این مورد نیز با افزایش دبی تغییرات سرعت پیشانی جریان غلیظ نسبت به تغییرات دبی دارای روند کاهشی می باشد. در شکل شماره 12 سرعت بی بعد پیشانی جریان غلیظ در مقابل دبی بی بعد جریان غلیظ برای شیب های 0/009 و 0/016 نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می گردد سرعت پیشانی جریان غلیظ در شیب بیشتر زیادتر می باشد. در شکل شماره 13 رابطه بین سرعت بی بعد و شیب برای سرعت پیشانی جریان غلیظ در واگرایی 8 درجه ترسیم گردید. شکل بیان گر آنست که داده ها

- 3- با افزایش دبی جریان در مقطع واگرایی 8 درجه و مقاطع ثابت مذکور میزان افزایش سرعت جریان پیشانی از یک منحنی درجه 2 با مشتق مرتبه دوم منفی تبعیت می نماید.
- 4- مدل Flow 3D یک مدل مناسب جهت شبیه سازی حرکت جریان غلیظ می باشد.
- متوسط پیشانی جریان در طول یک مقطع واگرا برای یک دبی ثابت از سرعت متوسط در قسمت باریک مقطع واگرا بیشتر و از سرعت متوسط در قسمت عریض کمتر می باشد.
- 2- همانطور که مشاهده شد هم در مقطع با واگرایی 8 درجه و هم در مقاطع ثابت سرعت متوسط بی بعد پیشانی جریان تابعی از شیب کف و دبی بی بعد جریان می باشد.

منابع

- ۱ - قمشی ، م.؛ بررسی آزمایشگاهی حرکت جریانهای غلیظ، مجموعه مقالات اولین کنفرانس هیدرولیک ایران ، صص 249-260 ، 1376
- 2- Altinakar M.S., Graf W.H., Hopfinger E.J.: Weakly depositing turbidity current on a small slope, *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 28, No. 1, 1990.
- 3-Altinakar M. S.: Weakly depositing turbidity current on a small slope, Thesis No 738, Sciences Techniques, EPF Lausanne, 1988.
- 4-Britter R.E., and Linden P.: The motion of the front of a gravity current traveling down an incline, *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 99, No.3, pp. 531-543, 1980.
- 5- Denton R.A.: Density current inflows to run of the river reservoirs, *Proceedings of 21th IAHR Congress*.1985.
- 6- De Cesare G., Schleiss A., Hermann F. :Impact of turbidity currents on reservoir sedimentation, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 127, No. 1, 2001.
- 7- De Cesare G., Schleiss A., Hermann F.: Closure to: impact of turbidity currents on reservoir sedimentation, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 128, No. 6, pp.645-646, 2002.
- 8- Ghomeshi M. : Reservoir sedimentation modeling, Ph.D. Thesis, University of Wollongong, Australia,1995.
- 9- Haghiabi A. H.: The study of bed slope effect on velocity and concentration profiles of density currents, Ph.D. Thesis, Shahid Chamran University, Ahwaz,Iran,2004.

- 10- Horsch G. M., :The Structure of Two-Dimensional, Steady, Miscible Laminar Density Currents Flowing Down an Incline, Journal of Hydraulic Research, **Vol. 42, No. 2, 2004.**
- 11- Keulegan G.H.: The motion of saline fronts in still water, Twelfth Progress Report on model laws for density currents. U.S. Natl. Bur. Standards Rept.1957.
- 12- King S.E., Woods A.W.: Dipole solutions for viscous gravity currents: theory and experiments, Journal of Fluid Mechanics, Vol. 483, No.1, pp. 91– 109, 2003.
- 13- Middleton G.V.: Experiments on density and turbidity currents, motion of the head, Canadian Journal of Earth Science, No. 3, pp. 523-546, 1966.
- 14- Ross A.N., Linden P.F., Dalziel S.B.: A study of three-dimensional gravity currents on a uniform slope, Journal of Fluid Mechanics, Vol. 453, No.1, pp.239 – 261,2002.
- 15- Turner J.S.: Buoyancy effects in fluids, Cambridge University Press, London, England, 1973.
- 16-Turner J.S. : Buoyancy effects in fluids, Cambridge University Press, London, England,
- 17- Graf,W.H. , and Altinakar , M.S. , Fluvial Hydraulics (2000) ,McGraw – Hill.