

بررسی خصوصیات جریان غلیظ در اثر تغییر رژیم جریان

حسین بهرامی^{۱*}، مهدی قمشی^۲، سید محمود کاشفی پور^۲، علی اکبر صالحی نیشابوری^۳

۱. گروه سازه های دریایی، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

۲. گروه سازه های آبی دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۳. گروه عمران دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس تهران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۹/۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۹/۱۳

چکیده

جریان غلیظ یک حرکت نسبی است که بین دو لایه سیال که حتی دارای اختلاف کمی در غلیظی هستند ایجاد می گردد. اختلاف جرم مخصوص ممکن است ناشی از دما، مواد معلق، مواد محلول و یا ترکیبی از آنها باشد. این نوع جریانها بخصوص در مواردی مانند ورود آب حاوی رسوب رودخانهها به مخازن سدها و یا دریاها و دریاچهها از اهمیت ویژه ای برخوردار بوده و می تواند آثار متفاوتی از قبیل رسوبگذاری در مخازن سدها و مصب رودخانه به دریا و همچنین تغییر بستر مناطق ساحلی و نیز در نواحی فلات قاره برجای بگذارد. در این میان شناخت بررسی نوع حرکت و نیز نقش تغییر رژیم از حالت فوق بحرانی به حالت زیر بحرانی یا به عبارتی ایجاد پرش هیدرولیکی، بر خصوصیات حرکت جریان بسیار مهم می باشد. بررسی نحوه حرکت یک جریان، نیازمند شناخت پروفیل های سرعت در مسیر جریان است. برای این منظور با استفاده از یک مدل فیزیکی و ایجاد یک جریان غلیظ با خصوصیات مختلف جریان ورودی، ضمن تحمیل شرایط تغییر رژیم، به اندازه گیری و بررسی پروفیل های سرعت در بدنه جریان پرداخته شد و تغییر خصوصیات جریان تحلیل گردید. نتایج نشان داد که ضرایب مربوط به پروفیل های سرعت در نواحی دیواره و جت به ترتیب برابر ۲/۰۸، ۰/۸۷ و ۲/۸۳ برای جریان های زیر بحرانی و ۱/۱۷۴، ۱/۰۶۲ و ۲/۰۹ برای جریان های فوق بحرانی بدست آمد. از دیگر نتایج می توان به کاهش ۱۴ تا ۱۹ درصدی سرعت و افزایش ۲۱ تا ۳۲ درصدی عمق جریان بر اثر پرش اشاره کرد. ضمناً در برخی موارد تفاوت زیادی بین نتایج رابطه تحلیلی پرش با داده های برداشتی مشاهده شد.

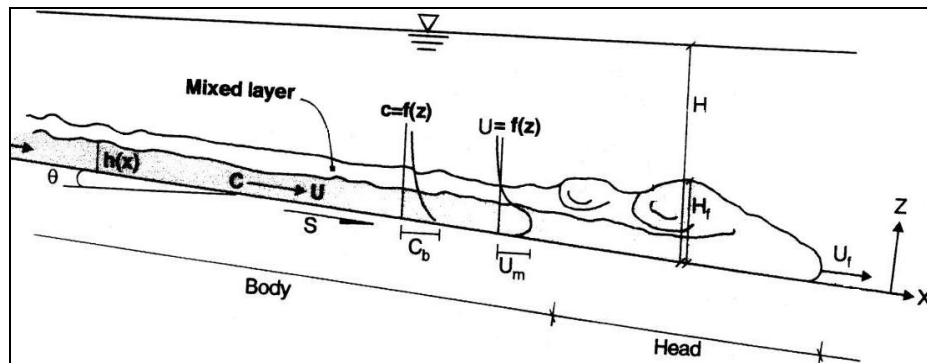
واژگان کلیدی: جریان غلیظ، مدل فیزیکی، رژیم جریان، پرش هیدرولیکی

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: hossein_bahrami1979@yahoo.com

۱. مقدمه

دراگ این جریانها پتانسیل تخریب بالایی را نیز دارا می باشند. در شکل (۱) شماتیک یک جریان کدر دو بعدی با دانسیته ρ_i با سرعت متوسط U در جهت x روی یک سطح شیب دار با زاویه θ که از زیر یک توده سیال ساکن عمیق با دانسیته ρ_a حرکت می کند نشان داده شده است.

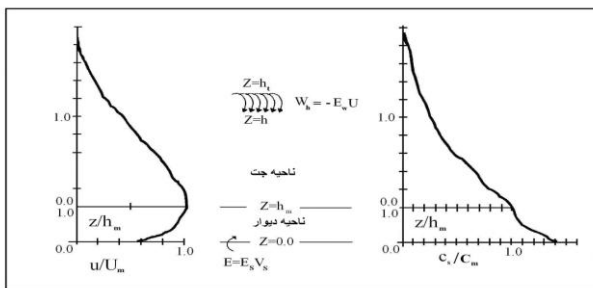
اصولاً جریان غلیظ را می توان ورود یک سیال با جرم مخصوص معلوم به یک توده سیال با جرم مخصوص متفاوت، به دلیل تأثیر شتاب ثقل بر روی اختلاف جرم مخصوص توصیف کرد (Graf.W.H.,1983). این جریانها عامل اصلی انتقال رسوبات به داخل مخازن سدها، دریاچه ها و اقیانوسها بوده که غالباً نیروی



شکل (۱) نمای شماتیک یک جریان غلیظ

همانگونه که ذکر شد، بدنه جریان به فاصله بین نقطه غوطه‌وری و رأس جریان اطلاق میگردد. توزیع سرعت در بدنه را مطابق آنچه که در شکل (۲) نشان داده شده، می توان به دو ناحیه متمایز دیوار^۱ و جت^۲ تقسیم بندی نمود. ارتفاع نظیر سرعت ماکزیمم h_m ، این دو ناحیه را از هم جدا می کند (Altinakar et al., 1990).

جریان غلیظ دارای یک پیشانی و یا یک هد غلطان در داخل سیال پیرامون می باشد که توسط همین پیشانی، جریان غلیظ ورودی پس از برخورد به سیال ساکن پیرامون بصورت یک جریان زیرین به حرکت خود ادامه می دهد. این ناحیه اصطلاحاً ناحیه غوطه وری گفته میشود. در ادامه پیشانی جریان غلیظ، پس از ورود به سیال محیطی، بدنه جریان قرار دارد. جریان در پیشانی غیر دائمی بوده و نیروی محرک آن گرادیان فشار ناشی از اختلاف دانسیته بین پیشانی و سیال پیرامون است؛ اما جریان در بدنه معمولاً دائمی در نظر گرفته می شود و نیروی محرک بدنه، نیروی ثقل مؤثر بر سیال سنگین تر می باشد (Turner.J.S.,1973). در این تحقیق سعی بر آن است تا با ایجاد یک بستر افقی در امتداد یک شیب تند ضمن تحمیل تغییر رژیم، به بررسی و مقایسه پروفیلهای سرعت بدنه جریان غلیظ در حالت های زیر و فوق بحرانی پرداخته و با نتایج سایر محققین نیز مقایسه گردد.



شکل (۲) پروفیل های سرعت و غلظت جریان غلیظ در ناحیه دیوار ($Z < h_m$)، آشفتگی بدلیل اصطکاک بستر و ورود رسوبات بستری بوده و در ناحیه جت

^۱- wall region

^۲- Jet region

$$Fr_d = \frac{U}{\sqrt{g'h}} \quad (4)$$

که در آن U سرعت نسبی بین لایه‌های سیال، h ضخامت لایه جریان غلیظ و g' گرانش موثر در لایه پایینی سیال (که ناشی از تاثیر شناوری سیال پیرامون بر روی سیال پایینی است) بوده و بصورت زیر تعریف می‌گردد:

$$g' = g \frac{\Delta\rho}{\rho} \quad (5)$$

که در آن g شتاب ثقل عمومی، $\Delta\rho$ اختلاف غلیظی بین سیال بالا و پایین و ρ غلیظی سیال پیرامون است. از آنجاییکه مرز بین جریان غلیظ و سیال به خوبی قابل تشخیص نمی باشد، ارتفاع (h) و سرعت (U) و غلظت (C_s) متوسط جریان غلیظ در یک مقطع را می‌توان توسط روابط زیر بیان نمود (Garcia, 1993):

$$Uh = \int_0^{\infty} u dz \quad (6)$$

$$U^2 h = \int_0^{\infty} u^2 dz \quad (7)$$

$$C_s Uh = \int_0^{\infty} (uc_s) dz \quad (8)$$

در روابط فوق u و c_s به ترتیب سرعت و غلظت نقطه‌ای در پروفیل عمقی جریان غلیظ می باشند. بطور کلی در جریانهای غلیظ با مرزهای محدود از طرفین و در حالت یک‌بعدی، دائمی و پایدار معادلات دیفرانسیلی حاکم (معادلات پیوستگی آب، رسوب و معادله مومنتم) را می‌توان بصورت زیر نوشت (M.H.Garcia, 1993):

$$\frac{d}{dx}(Uh) = E_w U \quad (9)$$

$$\frac{d}{dx}(C_s Uh) = V_s (E_s - c_b) \quad (10)$$

($Z > h_m$)، آشفتگی بدلیل اصطکاک در مرز مشترک و ورود سیال محیطی است. توزیع سرعت جریان غلیظ در هر یک از نواحی دیوار و جت با روابط زیر بیان می‌شود:

$$\text{- در منطقه دیواره توزیع سرعت لگاریتمی است:} \\ \frac{u(z)}{u_*} = \frac{1}{k} \ln(z) + cte \quad (1)$$

که k ثابت کارمن است. البته عموماً توزیع سرعت در این ناحیه بصورت یک رابطه توانی تجربی نیز بیان می‌شود:

$$\frac{u(z)}{u_m} = \left(\frac{z}{h_m} \right)^n \quad (2)$$

که در آن u_m سرعت ماکزیمم و h_m ارتفاع نظیر این سرعت است. در برخی تحقیقات مقدار $n=6$ پیشنهاد شده است (Altinakar et al, 1990).

- در ناحیه جت ($Z > h_m$) توزیع سرعت تقریباً گوسی است.

$$\frac{u(z)}{u_m} = \exp \left[-\alpha \left(\frac{z-h_m}{h-h_m} \right)^\beta \right] \quad (3)$$

در این رابطه $\alpha=1.4$ و $\beta=2.5$ پیشنهاد می‌شود. بااستفاده از داده‌های آزمایشگاهی نتایج زیر حاصل شده است (Altinakar et al, 1990):

$$\frac{h_m}{h} \approx 0.3, \frac{u_m}{U} \approx 1.3, \frac{h_t}{h} \approx 1.3$$

h و U به ترتیب عمق و سرعت متوسط جریان بوده و h_t نیز ارتفاع معادل سرعت صفر می‌باشد. در تحقیقات انجام شده توسط (Hosseini et al, 2005)، پروفیل‌های بی‌بعد سرعت در سه شیب ۱، ۲ و ۳ درصد با دبی‌ها و غلظت‌های مختلف ترسیم شد. نتایج این تحقیق نشان داد مقادیر مربوط به ضرایب توزیع سرعت در لایه دیواره $n=3$ و در لایه جت $\alpha=1.3$ و $\beta=2.2$ می‌باشد.

رژیم جریان در جریان‌های غلیظ توسط عدد فرود اصلاح شده که به آن عدد فرود دنسیمتریک^۱ گفته می‌شود، بیان می‌شود.

^۱ - Densimetric Froude Number

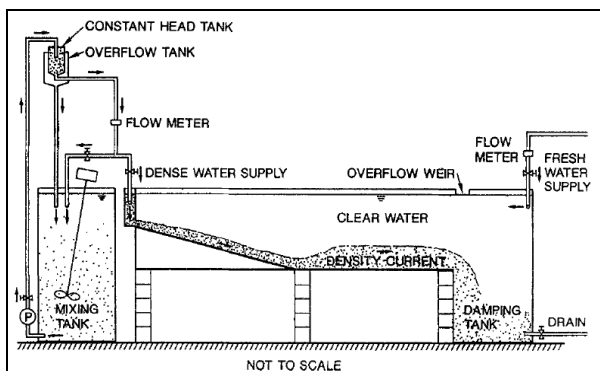
$$\frac{d}{dx}(U^2h) = -\frac{1}{2}gR \cos \theta \frac{d}{dx}(C_s h^2) + (gRC_s h) \sin \theta - u_*^2 \quad (11)$$

$$\frac{U_2}{U_1} = \left[\frac{\sqrt{1+8Ri_1^{-1}} - 1}{2} \right]^{-1} \quad (15)$$

$$\frac{h_2}{h_1} = \left[\frac{\sqrt{1+8Ri_1^{-1}} - 1}{2} \right] \quad (16)$$

که در آن U ، h و R به ترتیب سرعت و ارتفاع متوسط جریان غلیظ می باشند. جریانهای فوق بحرانی نسبتاً تند و کم ارتفاع بوده که تنش برشی زیادی را روی بستر ایجاد می کنند در صورتیکه جریانهای زیر بحرانی دارای ارتفاعی زیاد و تنش برش اعمالی کمی روی بستر هستند. این کاهش تقریباً ناگهانی تنش را می توان ته نشینی رسوبات ناشی از پرش جستجو کرد (Kostic and Parker, 2005). انتقال از یک وضعیت فرسایشی در بالا دست به یک وضعیت ته نشینی در پایین دست را نیز می توان بخوبی در عدم تداوم در شیب مشاهده نمود (Garcia 1993).

(Garcia, 1993) آزمایشات وسیعی در خصوص تغییر رژیم جریان غلیظ انجام داد. ایشان اقدام به انجام آزمایشاتی از طریق ساخت یک مدل فیزیکی نمود. آزمایش های وی در یک فلوم به عرض ۳۰ سانتیمتر، ارتفاع ۸۵ سانتیمتر و طولی در حدود ۱۲ متر انجام شد. شماتیک فلوم مذکور در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل (۳) شماتیک مدل فیزیکی گارسیا

که در آن E_w ضریب کشش سیال پیرامون، E_s ضریب کشش رسوبات، c_b غلظت رسوبات نزدیک بستر، $R = \frac{\rho_s}{\rho_a} - 1$ و u_* سرعت برشی بستر می باشند. از دیگر پارامترهای اساسی در جریان غلیظ عددی موسوم به ریچاردسون است که در واقع عکس مجذور عدد فرود می باشد (Turner, J.S., 1973). در جریان غلیظی که بر روی بستری با شیب کف $S = tg \theta$ در حرکت است، عدد فرود جریان غلیظ (F_{rd}) و عدد ریچاردسون (Ri) به صورت زیر تعریف می گردد:

$$F_{rd} = \frac{U}{\sqrt{g'h \cos \theta}} \quad (12)$$

$$(13)$$

$$Ri = \frac{g'h \cos \theta}{U^2} = \frac{1}{F_{rd}^2}$$

پرش هیدرولیکی در منطقه ای رخ می دهد که دارای انتقال تند و ناگهانی رژیم جریان از حالت فوق بحرانی (عدد فرود دنسیومتریکی بزرگتر از یک و عدد ریچاردسون کمتر از واحد) به حالت زیر بحرانی (عدد فرود دنسیومتریکی کوچکتر از یک و عدد ریچاردسون بیشتر از واحد) باشد. از اولین مطالعات انجام شده در خصوص تغییر رژیم در جریانهای دو فازه میتوان به مطالعات (Yih and Guha, 1955) اشاره کرد که در آن با توجه به معادلات پیوستگی و مومنتم جریان غلیظ، روابط ساده شده حاکم بر پدیده پرش هیدرولیکی درونی جریان غلیظ بصورت زیر بیان کردند:

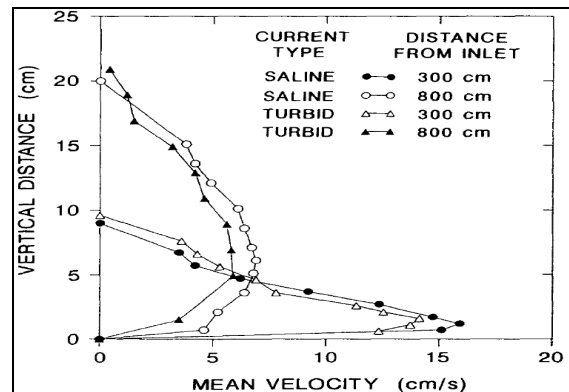
$$Ri_2 = \left[\frac{\sqrt{1+8Ri_1^{-1}} - 1}{2} \right]^3 \quad (14)$$

۲. مواد و روش ها

آزمایش‌های انجام شده در فلومی با طول ۸ متر، عرض ۵۰ سانتیمتر و ارتفاع ۸۰ سانتیمتر صورت گرفت. جهت ایجاد شرایط لازم برای تحمیل تغییر رژیم جریان، در میانه فلوم یک ناحیه شیبدار که با تغییر ارتفاع شیب آن قابل تغییر بود تعبیه شد. دو قسمت افقی ابتدایی و انتهایی به ترتیب دارای طولهای ۲ و ۳/۵ متر و قسمت شیبدار میانی دارای طول قاعده ۲/۵ متر و ارتفاع متغیر بود. به منظور ایجاد شیبهای متفاوت ارتفاع یاد شده در سه حالت ۰/۲ متر، ۰/۳ متر و ۰/۴ متر تنظیم شده که به ترتیب شیبهایی معادل ۴/۵۷، ۶/۸۴ و ۹/۰۹ درجه ایجاد نماید. تعداد ۲۷ آزمایش به گونه‌ای انجام شد که در هر شیب، سه دبی متفاوت (دبی‌های ۰/۵، ۱ و ۱/۵ لیتر بر ثانیه) و در هر دبی نیز سه غلظت متفاوت از جریان غلیظ نمکی (با جرم حجمی ۱۰۰۷، ۱۰۱۴ و ۱۰۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب) مورد ارزیابی قرار گرفت. مشخصات کلی مدل فیزیکی در شکل (۵) بصورت شماتیک نشان داده شده است.

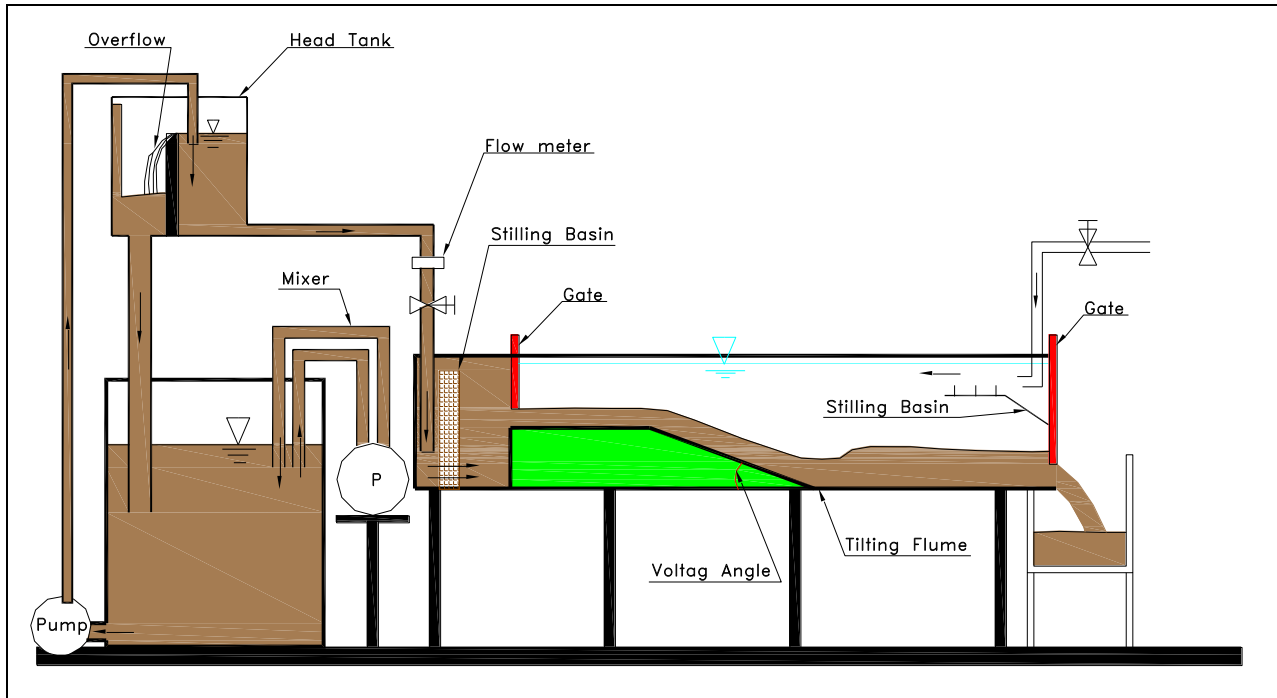
به منظور بررسی تغییر شرایط جریان بر اثر تغییر رژیم، پروفیل‌های سرعت جریان غلیظ در طول فلوم در سه مقطع که به ترتیب در فواصل ۴۴۷، ۴۹۱ و ۵۷۴ سانتیمتری از ابتدای فلوم قرار داشتند و تغییر رژیم جریان در آنها مشاهده شد برداشت و بررسی گردید. این مقاطع به ترتیب در میانه ناحیه شیبدار، انتهای ناحیه شیبدار و در قسمت افقی انتهایی قرار داشت. برداشت پروفیل عمقی سرعت جریان توسط یک دستگاه سرعت سنج اکوستیک پروفیلر (ADCP, DOP2000) و با قرار دادن سنسورهای این دستگاه در سطح آب و در خط مرکزی فلوم برداشت گردید.

۵ متر ابتدای فلوم دارای شیب ۲/۶ درجه بود که به یک بستر افقی منتهی می‌شد. Garcia در حدود ۳۰ آزمایش انجام داد که در همه آنها ارتفاع جریان ورودی که توسط دریچه تنظیم می‌شد ۳ سانتیمتر تعیین شده بود. اندازه‌گیری‌های جریان بر بدنه متمرکز گردید و دقایقی پس از آن که پیشانی جریان به مخزن انتهایی می‌رسید، آغاز شد. انتقال رژیم جریان نیز در آزمایشات مذکور مشاهده گردید. در شکل (۴) تغییرات سرعت جریان بدلیل تغییر رژیم در جریانهای غلیظ نمکی و رسوبی با شرایط ورودی مشابه بدون آنکه رابطه ای ارائه شود، مقایسه شده است.



شکل (۴) مقایسه تغییرات سرعت قبل و بعد از تغییر رژیم

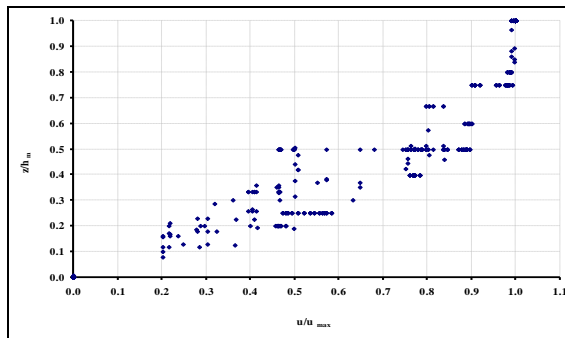
در این تحقیق سعی بر آن است که با استفاده از یک مدل فیزیکی، شرایطی فراهم شود تا ضمن تغییر رژیم جریان غلیظ و ایجاد پرش هیدرولیکی، خصوصیات جریان از جمله عمق، سرعت و نیز کشش آب ساکن پیرامون بررسی گردد. با توجه به وجود روابط تحلیلی پرش هیدرولیکی جریان غلیظ، مقایسه مشاهدات آزمایشگاهی با نتایج محاسبه شده از حل تحلیلی معادلات پرش، از دیگر اهداف این پژوهش می‌باشد.



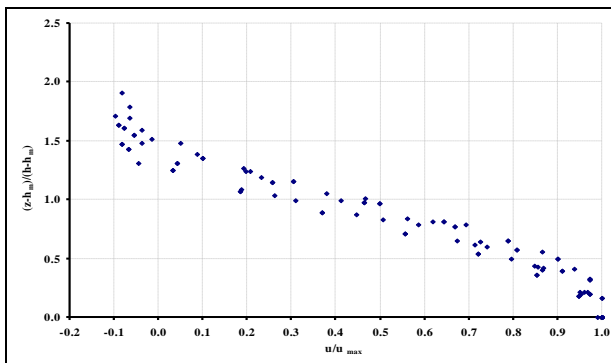
شکل (۵)، شماتیک فلوم و تاسیسات استفاده شده در انجام آزمایشات

۳. نتایج

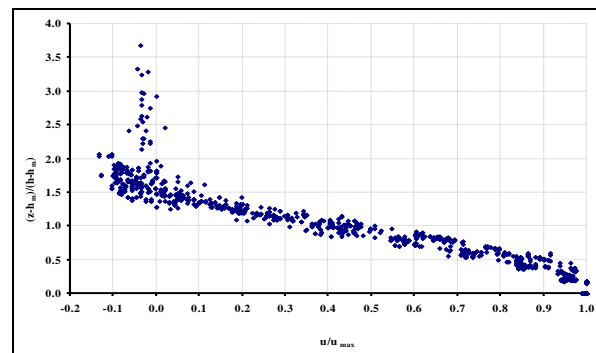
همانگونه که عنوان شد، پروفیل عمقی جریان غلیظ را می‌توان به دو ناحیه تقسیم نمود. یک لایه زیرین که از بستر تا محل وقوع سرعت ماکزیمم امتداد دارد و ناحیه سرعت بیرونی که از ارتفاع سرعت ماکزیمم آغاز شده و تا مرز جریان غلیظ و سیال پیرامون امتداد می‌یابد. جهت بررسی تأثیر رژیم جریان بر پروفیل‌های سرعت جریان غلیظ، پروفیل‌های برداشت شده در دو دسته پروفیل‌های سرعت در جریانهای زیر بحرانی و فوق بحرانی از یکدیگر تفکیک و بررسی شدند. پروفیل‌های بی‌بعد شده سرعت در شکل‌های (۶) تا (۹) نشان داده شده است:



شکل (۷) توزیع بی‌بعد سرعت در ناحیه فوقانی، جریان زیر بحرانی



شکل (۸) توزیع بی‌بعد سرعت در جریان فوق بحرانی در ناحیه زیرین



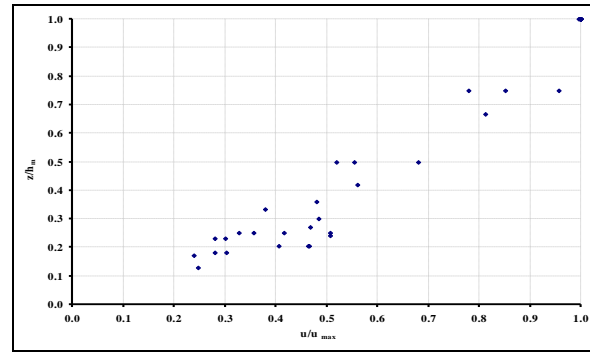
شکل (۶) توزیع بی‌بعد سرعت در ناحیه زیرین، جریان زیر بحرانی

نسبت‌های مربوط به $\frac{U}{u_m}, \frac{h_t}{h}, \frac{h}{h_m}$ ، استخراج و در جدول (۱) خلاصه شده است.

جدول (۱) مقایسه خصوصیات پروفیل سرعت در جریانهای زیربحرانی و فوق بحرانی

پارامتر	جریان زیر بحرانی	جریان فوق بحرانی
h_t/h	۱/۲۲-۱/۳۵	۱/۱۴-۱/۲۴
h/h_m	۱/۸۷-۲/۴	۲/۸۵-۳/۹
U/u_m	۰/۶۵-۰/۷	۰/۷۳-۰/۸۸

در جدول فوق، h عمق متوسط جریان غلیظ، h_m ارتفاعی که سرعت ماکزیمم در آن اتفاق می‌افتد، h_t عمق توسعه یافته جریان غلیظ (تا ارتفاعی که سرعت در لایه بینابین صفر می‌شود)، U سرعت متوسط و u_m سرعت ماکزیمم است. همانگونه که از جدول (۱) برمی‌آید، ارتفاع سرعت ماکزیمم در جریان‌های فوق بحرانی پایین‌تر از جریان‌های زیر بحرانی و نزدیکتر به بستر جریان است. این حالت را می‌توان در شکل (۱۰) بخوبی ملاحظه نمود. به منظور بررسی مشخصات پرش هیدرولیکی جریان غلیظ، دو مقطع در قبل و بعد از پرش انتخاب و پروفیل‌های سرعت برداشت شده بررسی شد. جدول (۲) بیانگر مشخصات آزمایشاتی است که در آنها پدیده پرش هیدرولیکی ثبت گردیده است.



شکل (۹) توزیع بی‌بعد سرعت در جریان فوق بحرانی در ناحیه فوقانی

با توجه به شکل‌های فوق، می‌توان معادلات پروفیل بی‌بعد سرعت یگانه‌ای بر آزمایشات انجام شده مطابق روابط زیر ارائه نمود.

- در جریان زیر بحرانی

$$\frac{u}{u_{max}} = \exp \left[-0.87 \left(\frac{z-h_m}{h-h_m} \right)^{2.83} \right] \quad (17)$$

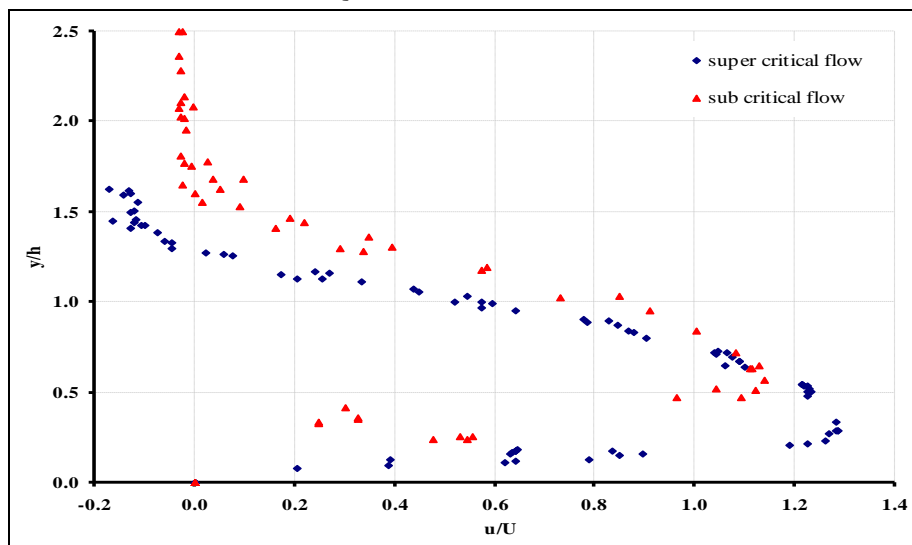
$$\frac{u}{u_{max}} = \left(\frac{z}{h_m} \right)^{1/2.08} \quad (18)$$

- در جریان فوق بحرانی

$$\frac{u}{u_{max}} = \exp \left[-1.062 \left(\frac{z-h_m}{h-h_m} \right)^{2.9} \right] \quad (19)$$

$$\frac{u}{u_{max}} = \left(\frac{z}{h_m} \right)^{1/1.74} \quad (20)$$

با توجه به تفاوت‌های مشاهده شده در پروفیل‌های سرعت مربوط به دو رژیم زیر بحرانی و فوق بحرانی،



شکل (۱۰) تفاوت پروفیل سرعت در جریان‌های زیر بحرانی و فوق بحرانی

جدول ۲- مشخصات پرش هیدرولیکی ثبت شده

h_d (m)	q_0 (cm ² /sec)	\square (kg/m ³)	R_{i1}	U_2/U_1	h_2/h_1	q_2/q_1
۰/۴	۳	۱۰۰۷	۰/۷	۰/۸۵	۱/۲۶	۱/۰۶
	۲		۰/۸۹	۰/۸۶	۱/۲۱	۱/۰۵
۰/۳	۳	۱۰۰۷	۰/۷۷	۰/۸۵	۱/۲۷	۱/۰۸
	۲		۰/۷۸	۰/۸۳	۱/۳۱	۱/۰۸
۰/۲	۳	۱۰۰۷	۰/۷۶	۰/۸۴	۱/۲۷	۱/۰۷
	۲		۰/۹۲	۰/۸۱	۱/۳۲	۱/۰۷

اندیس ۱ و ۲ به ترتیب مربوط به خصوصیات جریان قبل و بعد از پرش می باشد.

شرایط آزمایشگاهی بیشتر از عمق ثانویه محاسبه شده است.

۴. بحث و نتیجه گیری

تحقیق حاضر به منظور بررسی پروفیل های عمقی سرعت جریان غلیظ بر اثر تغییر رژیم جریان انجام گردید. بدین منظور با استفاده از ایجاد مدل فیزیکی مورد نظر، آزمایشات متعددی انجام شد و مهمترین نتایج بدست آمده به شرح زیر بدست آمد:

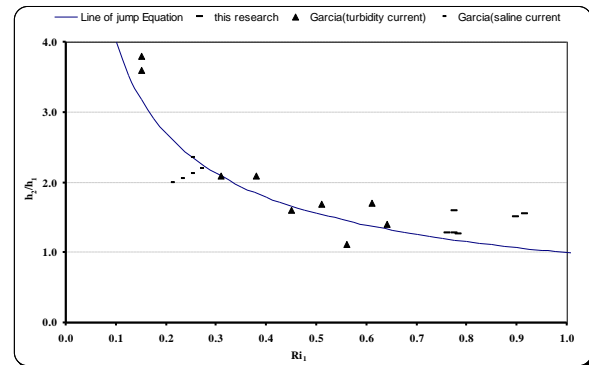
-توزیع سرعت در ناحیه زیرین از رابطه نمایی تبعیت کرده و مقدار ضریب آن در رژیمهای زیر بحرانی و فوق بحرانی به ترتیب ۲/۰۸ و ۱/۷۴ می باشد.

-توزیع سرعت در ناحیه فوقانی از تابع گوسین پیشنهاد شده تبعیت کرده و مقدار ضرایب آن در رژیم زیر بحرانی ۰/۸۷ و ۲/۸۳ و در رژیم فوق بحرانی ۱/۰۶۲ و ۲/۹ می باشد.

-پروفیل های عمقی سرعت در رژیم های فوق بحرانی و زیر بحرانی با یکدیگر متفاوت بوده و ارتفاع سرعت ماکزیمم در جریان های فوق بحرانی پایین تر از جریان های زیر بحرانی و نزدیکتر به بستر جریان اتفاق می افتد. به نظر می رسد این تفاوت را بتوان ناشی از اندازه سرعت جریان در کاهش تاثیر لایه بینابینی دانست.

-پرش های ایجاد شده دارای محدوده عدد ریچاردسون ۰/۷ تا ۰/۹۱۵ در مقطع قبل از پرش (در جریان فوق بحرانی) بوده است. سرعت جریان پس از پرش در حدود ۱۴ تا ۱۹ درصد کاهش داشت. عمق ثانویه

همانگونه که از جدول فوق ملاحظه می گردد، روند کاهشی سرعت جریان پس از وقوع پرش در حدود ۱۴ تا ۱۹ درصد می باشد. افزایش عمق جریان نیز در حدود ۲۱ تا ۳۲ درصد مشاهده گردید. نسبت اعماق قبل و بعد از پرش اندازه گیری شده با نتایج حاصل از حل تحلیلی معادله پرش هیدرولیکی در جریان غلیظ در شکل ۱۱ نشان داده شده است. داده های استفاده شده شامل نتایج آزمایشات تحقیق حاضر و نتایج بدست آمده از آزمایشات گارسیا (Garcia, 1993) می باشد.



شکل ۱۱- مقایسه اعماق مزدوج پرش هیدرولیکی داخلی محاسباتی با نتایج آزمایشگاهی

آنچه که از نمودار فوق برمی آید حاکی از آنست که در برخی موارد تفاوت زیادی بین نتایج رابطه تحلیلی پرش با داده های برداشتی وجود دارد. این تفاوت در برخی موارد تا بیش از ۳۰ درصد نیز میرسد. لازم به ذکر است که در اکثر موارد عمق ثانویه پرش در

-در برخی موارد تفاوت زیادی بین نتایج رابطه تحلیلی پرش با داده های برداشتی وجود دارد بطوریکه این تفاوت در برخی موارد تا بیش از ۳۰ درصد نیز می‌رسد. این تفاوت را می‌توان ناشی از عواملی چون اثر شتاب ثقل کاهش یافته جریان، کشش آب ساکن به درون جریان غلیظ و نیز محدوده دقیق عدد ریچاردسون بحرانی دانست.

پرش بین ۲۱ تا ۳۲ درصد نسبت به عمق اولیه پرش افزایش داشت. نتایج فوق به دلیل ماهیت پدیده پرش هیدرولیکی است؛ زیرا با تغییر رژیم جریان از فوق بحرانی به زیر بحرانی قاعدتا سرعت جریان کاهش و عمق افزایش می‌یابد. با این حال میزان این تغییرات در جریان‌های غلیظ متاثر از عوامل دیگر از جمله شتاب ثقل کاهش یافته جریان نیز می‌باشد که با توجه به میزان آن، اثرات متفاوتی نیز قابل پیش‌بینی است.

منابع

Altinakar M.S., Graf W.H. and Hopfinger E.J., 1990, weakly deposits turbidity current on a small slope, *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 28, No. 1.
 Garcia, M.H., 1993, Hydraulic jumps in sediment-driven bottom currents. *J. Hydraulic. Eng.* 119, 1094–1117.
 Graf, W.H., 1983, the behavior of a silt-laden current, *International Water Power & Dam Construction*, Vol. 35, No. 9.
 Hosseini, et al., 2005, Synchronous measurements of the velocity and concentration in low Density turbidity currents

using an Acoustic Doppler Velocimeter, *Flow Measurement and Instrumentation*, 17, 59-68.
 Turner, J.S., 1973, *Buoyancy effects in fluids*, Cambridge University Press, Cambridge, England.
 Kostic, Parker, 2005. *The Response of Turbidity Currents to a Canyon-Fan Transition: Internal Hydraulic Jumps and Depositional Signatures*, National Center for Earth-surface Dynamics, St. Anthony Falls Laboratory, University of Minnesota, Minneapolis, MN, 55414, USA.
 Yih, C.S and C.R.Guna., 1955, Hydraulic jump in a fluid system of two layers, *tellus*, Vol7.

Investigating the characteristics of the density current due to changes in the flow regime

Hossein bahrami^{1*}, Mehdi ghomeshi², Seyed Mahmoud kashefi por², Seyed Ali Akbar Salehi Neyshabouri³

1. Department of Marine Structures, Faculty of Engineering, Khorramshahr University of marine science and technology
2. Department of hydraulic structure, Faculty of water science engineering, shahid chamran University, Ahwaz.
3. Department of Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering., Tarbiat Modares University., Tehran.

The density current is a relative movement that occurs between two fluid layers, even if they slightly vary in density. The difference in specific mass may be due to temperature, suspended matter, dissolved materials, or a combination of them. These flows are especially important in cases such as the inflow of muddy rivers into the reservoirs of dams or seas and lakes, and can have different effects, such as sedimentation in dams and river estuaries to the sea, the change of the coastal beds and continental shelf areas. Therefore, the study of this type of motion and the effect of changing the regime from the supercritical to the subcritical (the creation of a hydraulic jump) is very influential regarding flow characteristics. The study of fluid flow requires the identification of velocity profiles in the flow path. For this purpose, by applying a physical model and creating a flow with different input characteristics and imposing regime change conditions, the velocity profiles in the flow body were measured and the flow characteristics were analyzed. The results showed that the coefficients of the velocity profiles in the wall and jet areas were 0.82, 0.87 and 2.83 respectively for subcritical flows and 1.174, 1.26 and 2.9 for supercritical currents. Other results include a 14 to 19 percent reduction in speed and a 21 to 32 percent increase in flow depth due to the jump. In addition, in some cases, there were significant difference between the results of the analytical jump relationship and the experimental data.

Keywords: Density current, Physical modeling, Flow regime, Hydraulic jump

Fig (1). A schematic of a dense current

Fig (2). Velocity and concentration profiles in density current

Fig (3). Schematic of Garcia's Physical Model

Fig (4). Comparison of changes in speed before and after regime change

Fig (5). Schematic Flume and Facilities Used in Experiments

Fig (6). Dimensionless distribution in the lower region, subcritical flow

Fig (7). Dimensionless distribution of velocity in the upper region, subcritical flow

Fig (8). Dimensionless distribution of velocity in the supercritical flow in the lower region

Fig (9). Dimensionless distribution of velocity in supercritical flow in the upper region

Figure (10). Difference of the profile of speed in subcritical and supercritical flows

Fig (11). Comparison of Computational Hydraulic jump conjugate depth with Laboratory Results

Table (1). Comparison of velocity profile characteristics in subcritical and supercritical flows

Table (2). Recorded hydraulic jump characteristic

*Corresponding author E-mail: hossein_bahrami1979@yahoo.com