

بررسی آزمایشگاهی ساختار ناحیه‌ی غوطه‌وری جریان غلیظ نمکی

داریوش کرمی چمه^{۱*}، مهدی قمشی^۲، حسن گلمايي^۳ و علی شاهنظری^۴

* نویسنده مسئول، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته سازه‌های آبی و کارشناس شرکت مهندسی مشاور دزآب Kdarius44@yahoo.com

۲- استاد دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

۳- دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۴- استادیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ پذیرش: ۹۲/۶/۱۹

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۱/۱۵

چکیده

رسوب‌گذاری در مخازن سدها امری اجتناب ناپذیر است که جریان‌های غلیظ یکی از عوامل مؤثر در آن می‌باشند. از آنجا که در ناحیه‌ی غوطه‌وری این جریان‌ها عامل حرکت جریان از مومنتم به شناوری تغییر می‌کند، تعیین مشخصات این ناحیه از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. در تحقیق حاضر پارامترهای هندسی جریان غلیظ زیرگذر در ناحیه‌ی مذکور تحت تأثیر تغییر شیب کف، غلظت جریان ورودی و دبی ورودی در آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفته است. آزمایش‌ها در یک فلوم در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شدند. در تمامی آزمایش‌ها عمق غوطه‌وری، طول ناحیه‌ی غوطه‌وری و ارتفاع جریان در انتهای این ناحیه در دبی‌های مختلف و غلظت‌های ۱۰۰۶، ۱۰۰۹، ۱۰۱۳، و ۱۰۱۶ کیلوگرم بر مترمکعب برای سه شیب ۸، ۱۲ و ۱۶ درصد اندازه‌گیری شد. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که طول ناحیه‌ی غوطه‌وری و ارتفاع جریان در انتهای این ناحیه روابط مستقیمی با عمق غوطه‌وری دارند.

کلید واژه‌ها: جریان غلیظ، ناحیه‌ی غوطه‌وری، رسوب‌گذاری، مخازن سدها.

Experimental Study on the Characteristics of Plunge Region of Saline Density Current

D. Karamichemeh¹, M. Ghomeshi², H. Golmaei³ and A. Shahnazari⁴

1- M.Sc. Graduated of Water Structure & Senior Expert of Dezab Consulting Engineering

2- Professor, Department of water Structures, Faculty of Water Science, Shahid Chamran University of Ahwaz

3- Associate Professor, Sari Agricultural Science and Natural Resources University

4- Assistant Professor, Sari Agricultural Science and Natural Resources University

Received: 4 Feb 2012

Accepted: 10 Sept 2013

Abstract

Sedimentation in manmade reservoirs is inevitable and density current is one of its effective factors. Since the force due to flow in the plunge region changes from momentum to flux, so identification of characteristics of this region is very important. In this research, geometric parameters of underflow density currents in plunge region under different inflow concentration, bed slop and inflow discharge. Experiments were conducted in a flume in Hydraulic Laboratory of Water Sciences Engineering Faculty of Shahid Chamran University of Ahwaz. In the experiments, plunge depth, plunge region length and the height of the flow at the end of this region in different discharges, four different concentrations equal to 1006, 1009, 1013 and 1016 kg/m³ and three slopes equal to 8, 12 and 16% were measured. The results show that, plunge region length and the height of the flow at the end of plunge region are functions of plunge depth.

Key words: Density current, plunge region, sedimentation, reservoir sedimentation

مقدمه

هر ساله مقادیر زیادی از رسوبات ناشی از طغیان رودخانه‌ها در مواقع سیلابی به مخازن سدها و دریاچه‌ها وارد می‌شود که عمر مفید سدها را کاهش داده و در آبیگری از مخازن مشکلاتی را ایجاد می‌کند. بنابراین افزایش عمر مفید سدها و حفظ حجم ذخیره آنها برای تداوم کنترل و بهره‌برداری از منابع آب، به موضوعی مهم در علم مهندسی سدسازی تبدیل شده است. چرا که ساخت سدهای جدید به دلایل آیین‌نامه‌های سخت گیرانه زیست محیطی، هزینه بالای ساخت و عدم مکان‌های مناسب بسیار مشکل می‌باشد. حدود ۷۰ درصد از منابع آب ایران را آب‌های سطحی تشکیل می‌دهد و عدم تطابق زمانی بین آبدهی حوزه‌ها و مصارف، وجود مخازن کنترل آب را امری ضروری می‌نماید. از طرفی عدم انجام اقدامات مؤثر آبخیزداری در حد کافی باعث شده که فرسایش از حوزه‌ها از حد مجاز خیلی بیشتر باشد و همین امر معضل رسوب‌گذاری در مخازن سدها را تشدید می‌کند. به طوری که سالانه بیش از یکصد میلیون متر مکعب از حجم مفید ۲۳ سد مخزنی کشور به دلیل ته نشینی رسوبات کاهش می‌یابد. یکی از مهم‌ترین پدیده‌ها در رسوب‌گذاری و نیز فرسایش کف در مخازن و در دریاها و اقیانوس‌ها جریان‌های غلیظ است که باید تأثیر این جریان‌ها در فرایند رسوب‌گذاری مخازن شناسایی شده و با شناخت پارامترهای مختلف این جریان نسبت به مدیریت رسوب مخازن اقدامات مؤثر را انجام داد. هنگامی که دو جریان با چگالی متفاوت به هم برخورد می‌کنند فارغ از آنکه ساکن یا در حال جریان باشند، مایع با چگالی بالاتر به زیر مایع سبک‌تر خزیده و به صورت لایه جداگانه‌ای به حرکت درمی‌آید، این پدیده را اصطلاحاً جریان غلیظ^۱ گویند. این پدیده در محل برخورد رودخانه‌ها با اقیانوس‌ها یا دریاچه‌ها و همین‌طور در ورودی رودخانه‌ها با مخازن سدها و نیز نفوذ آب شور دریا به رودخانه‌ها موضوعیت دارد. به‌طور کلی جریان غلیظ را می‌توان ورود یک سیال با جرم مخصوص معلوم به درون یک سیال نسبتاً ساکن با جرم مخصوص متفاوت به دلیل تأثیر شتاب ثقل بر روی اختلاف جرم مخصوص توصیف کرد (۱۰). نقطه‌ی فروروی سیال سنگین به درون سیال سبک‌تر، اصطلاحاً نقطه‌ی غوطه‌وری^۲ نامیده می‌شود. در این نقطه نیروی مومنتم با فشار ناشی از اختلاف چگالی به تعادل رسیده و تحت تأثیر وزن خود به زیر سیال سبک‌تر غوطه‌ور می‌شود در این نقطه ارتفاع جریان به شدت کاهش یافته و به همین صورت به حرکت خود ادامه می‌دهد تا جایی که جریان به پایداری رسیده و دیگر کاهش ارتفاع نداشته باشد. ناحیه‌ای که در آن ارتفاع جریان کاهش می‌یابد ناحیه‌ی غوطه‌وری^۳ نامیده می‌شود. جریان‌های غلیظ در مخازن سدها،

دریاچه‌ها و اقیانوس‌ها بر انتقال، توزیع و رسوب‌گذاری ذرات رسوبی حاکم می‌باشند و تحت شرایط خاصی قادر به حمل ذرات سیلت و رس به فاصله ده‌ها کیلومتر می‌باشد (فان و موریس^۴، ۱۹۹۲ به نقل از ترابی پوده)^(۲). نقطه‌ی غوطه‌وری جداکننده دو ناحیه‌ی تحت تأثیر مومنتم و شناوری می‌باشد. همچنین بیشترین مقدار اختلاط آب ساکن با سیال غلیظ در این ناحیه اتفاق می‌افتد^(۵). بنابراین شناخت پارامترهای هندسی این ناحیه از جمله ارتفاع نقطه غوطه‌وری به عنوان نقطه شروع غوطه‌وری جریان غلیظ، طول آن و ارتفاع جریان در انتهای آن ضروری می‌باشد. در شکل (۱) شمایی از پدیده غوطه‌وری روی یک سطح شیب‌دار نشان داده شده‌است. ناحیه غوطه‌وری در این شکل بین نقاط ۱ و ۲ قرار دارد که در آن ارتفاع جریان در حال کاهش است. اولین مشاهدات جریان‌های غلیظ در دریاچه جنوا توسط محققى به نام فارل^(۶) (۱۸۸۵) در کشور سوئیس گزارش شد^(۹).

بل^(۷) در سال ۱۹۴۲ مطالعات آزمایشگاهی وسیعی را در زمینه بررسی جریان‌های گل آلود در فلوم‌های متعددی انجام داد و به اهمیت جریان‌های گل آلود در مسئله رسوب‌گذاری مخازن پی برد^(۷). اینگونه بررسی‌ها از آن به بعد ادامه پیدا کرد. محققین فرمول‌های مختلفی جهت محاسبه عمق جریان غلیظ (h_p) در محل غوطه‌وری ارائه نموده‌اند. در طول سال‌های ۱۹۵۰ و بعد از آن مسائل رسوب‌گذاری ناشی از جریان‌های گل‌آلود به‌صورت تئوری و آزمایشگاهی در بسیاری از کشورها مطالعه شده است. سینگ و شاه^(۷) به هر دو روش ریاضی و آزمایشگاهی عوامل مؤثر در تشکیل نقطه غوطه‌وری را شناسایی و رابطه‌ای را برای آن ارائه دادند، آنها عمق غوطه‌وری را تابع عوامل زیر دانستند:

$$h_p = f(q, g', \rho_2, \mu_2, S) \quad (1)$$

که در آن q : دبی جریان غلیظ، g' : شتاب ثقل مؤثر، ρ_2 : دانسیته جریان غلیظ، μ_2 : ویسکوزیته دینامیکی جریان غلیظ، k : شیب کف فلوم و h_p : عمق نقطه‌ی غوطه‌وری می‌باشند. سپس این دو محقق با انجام تحلیل ابعادی رابطه‌ای به شکل زیر ارائه دادند (۱۷):

$$h_p = F\left(\left(\frac{q^2}{g'}\right)^{1/3}, \text{Re}, S\right) \quad (2)$$

4-Fan and Morris

5-Farll

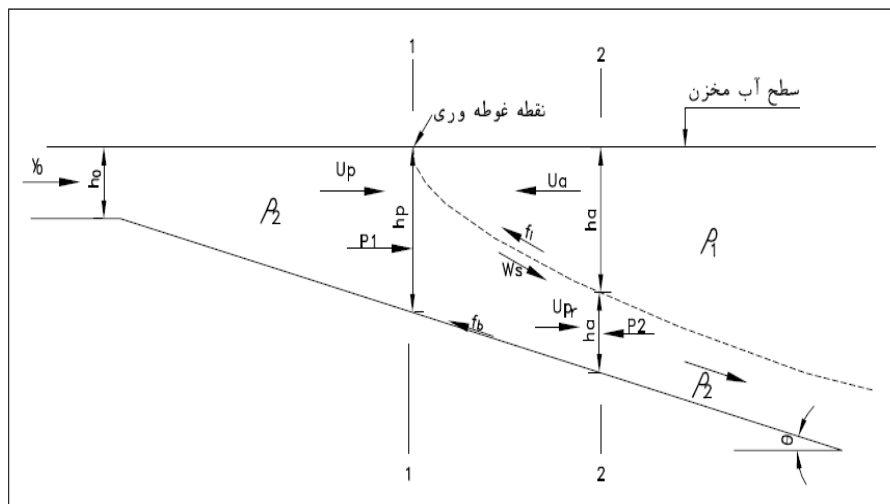
6-Bell

7-Sing and Shah

1- Density currents

2- Plunge Point

3-Plunge Region



شکل ۱- پدیده‌ی غوطه‌وری با ورود جریان غلیظ به دریاچه روی سطح شیب‌دار

همچنین این دو با استفاده از روابط ساده پیوستگی و انرژی و بدون در نظر گرفتن اختلاط اولیه، عمق جریان در انتهای ناحیه غوطه‌وری را نصف عمق غوطه‌وری به دست آوردند (۱۵). یعنی:

$$h_b = \frac{1}{2} h_p \quad (۵)$$

هبرت و همکاران^۳ (۱۹۷۹) آزمایش‌هایی بر روی جریان غلیظ ناشی از ورود آب شور رودخانه کولی^۴ به مخزن ولینگتن در جنوب استرالیا انجام داده و رابطه زیر را برای نقطه‌ی غوطه‌وری ارائه کردند (۱۱):

$$h_p = 1.16 \left(\frac{Q^2}{g'} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (۶)$$

آکیاما و استفان^۵ دو عامل شیب و اختلاط اولیه (اختلاط در ناحیه‌ی غوطه‌وری) را نیز در پدیده غوطه‌وری مؤثر دانستند. توصیف آنها از پدیده‌ی غوطه‌وری چنین بود: جریان ورودی در محل غوطه‌وری، آب محیطی را به سمت جلو رانده و درحین حرکت در زیر آن، آب محیط به سمت نقطه‌ی غوطه‌وری کشیده می‌شود (۴).

قاسمی عمق نقطه‌ی غوطه‌وری و نیز مقدار شدت اختلاط در ناحیه غوطه‌وری را مورد بررسی قرار داد. نتایج آزمایش‌های او نشان داد که

$$h_p = 1.85 + 1.3 \left(\frac{q^2}{g'} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (۳)$$

لی و یو^۱ خصوصیات هیدرولیکی جریان گل آلود در مخزن را بررسی نمودند و با بیان کردن این مطلب که نقطه غوطه‌وری در آغاز ناپایدار است و بعد از طی مسافتی به موقعیت پایدار می‌رسد، ناحیه‌ی غوطه‌وری را تعریف و بیان نمودند که ناحیه غوطه‌وری پایدار زمانی به وجود می‌آید که اختلاط جریان پیرامون با جریان غلیظ به حد ثابتی برسد. در آزمایش‌های ایشان عدد فرود دنسیومتریک در نقاط غوطه‌وری در حالت اولیه و پایدار به ترتیب تقریباً برابر با ۱ و ۰/۶ بود و همچنین طول ناحیه غوطه‌وری ۱۵ برابر عمق آب در نقطه‌ی غوطه‌وری پایدار محاسبه گردید (۱۲).

ساویج و بریمبرگ^۲ از دو روش پدیده غوطه‌وری را مورد بررسی قرار دادند. روش اول مبتنی بر معادله بقاء انرژی و روش دوم مبتنی بر تغییرات تدریجی جریان در دو لایه می‌باشد. این دو نیز تیپ‌های مختلف پروفیل سطح بینابینی را بررسی و با آزمایش‌های انجام شده توسط سینگ و شاه (۱۴) مقایسه کردند. و در نهایت رابطه (۴) را برای محاسبه عمق غوطه‌وری ارائه نمودند (۱۳):

$$h_p \approx \left(\frac{4q^2}{g'} \right)^{1/3} = 1.587 \left(\frac{q^2}{g'} \right)^{1/3} \quad (۴)$$

3- Hebbert

4- Collie

5- Akiyama and Estefan

1- Lee and Yu

2- Savage and Brimberg

شدت اختلاط در ناحیه‌ی مذکور با وجود طول کم بسیار بیشتر از اختلاط در بدنه‌ی جریان است (۱).



شکل ۲- نمایی از مدل فیزیکی مورد استفاده در این تحقیق

مواد و روش‌ها

این تحقیق در یک فلوم به طول ۹/۲۵ متر، عرض ۵۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۷۵ سانتی‌متر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. در شکل (۲) نمایی از این فلوم و تجهیزات جانبی آن نشان داده شده است. در این آزمایش ابتدا توسط پمپ مخلوط جریان غلیظ به مخزن جریان غلیظ با ارتفاع ثابت منتقل می‌شود. در حالتی که دریچه انتهایی بسته است، فلوم تا ارتفاع دلخواه از آب زلال که به‌عنوان آب ساکن مورد استفاده قرار می‌گیرد پر می‌شود. سپس شیر ورودی جریان غلیظ به اندازه دبی مورد نظر باز می‌شود تا مخزن پشت دریچه تا ارتفاعی برابر آب زلال داخل مخزن از سیال غلیظ پر شود. پس از اینکه سطح سیال غلیظ پشت دریچه با سطح آب ساکن داخل فلوم برابر می‌شود، دریچه باز می‌شود تا مخلوط آب غلیظ به درون آب ساکن جریان یابد و پدیده جریان غلیظ اتفاق افتد، جهت ثابت نگه داشتن سطح آب در طول انجام آزمایش، جریان آب زلال در انتهای فلوم ابتدا وارد یک حوضچه آرامش که در آن قسمت تعبیه شده می‌شود و متعاقباً به آرامی وارد فلوم می‌گردد، پس از وقوع کامل پدیده اقدام به اندازه‌گیری پروفیل سرعت در محل فروروی و نیز در انتهای ناحیه غوطه‌وری توسط دستگاه سرعت سنچ (DOP2000) که به روش آکوستیک این اندازه‌گیری را انجام می‌دهد، می‌شد. ارتفاع و سرعت متوسط جریان توسط روابط ایسون و تورنر^۲ و با انترگرال‌گیری از پروفیل سرعت به‌صورت زیر محاسبه می‌شوند:

تحقیق دیگری توسط تینولو و پارکر^۱ بر روی ضخامت جریان گل‌آلود و عدد فرود قبل و بعد از نقطه‌ی غوطه‌وری انجام شده که در آن اعداد فرود به صورت تابعی که فقط به میزان درون آمیختگی سیال پیرامون ارتباط دارد، ارائه گردیده است (۱۴).
با توجه به روابطی که محققین دیگر برای عمق نقطه‌ی غوطه‌وری ارائه کردند، شکل کلی معادله آن را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$h_p = \alpha \left(\frac{q^2}{g\Delta} \right)^\beta \quad (7)$$

در این معادله، h_p : عمق نقطه غوطه‌وری (متر)، q : دبی واحد عرض (مترمربع بر ثانیه)، g : شتاب ثقل (مترمربع بر ثانیه)
 $\Delta = \frac{\rho_d - \rho_a}{\rho_a}$: اختلاف نسبی دانسیته‌ها، ρ_d : دانسیته جریان غلیظ (کیلوگرم بر مترمکعب) و ρ_a : دانسیته آب ساکن (کیلوگرم بر مترمکعب) می‌باشد.

تحقیقاتی که در گذشته در این زمینه انجام شده است بیشتر بر تعیین مشخصات نقطه‌ی غوطه‌وری متمرکز بوده و کمتر طول این ناحیه و ارتفاع جریان در انتهای آن مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق سعی در بررسی مشخصات هندسی ناحیه‌ی غوطه‌وری جریان‌های غلیظ تحتانی در آزمایشگاه بوده است.

محاسبه نمود. شکل (۴) نمودار مذکور را نشان می‌دهد. همان‌طوری که از این شکل مشخص است، مقدار α و β در معادله (۷) به ترتیب برابر $۲/۸۷۶$ و $۰/۴۱۴$ و ضریب تعیین بین پارامترهای موجود در این نمودار برابر $۰/۸۸$ می‌باشد. بنابراین رابطه موردنظر برای ارتفاع نقطه غوطه‌وری به صورت زیر به دست می‌آید:

$$h_p = 2.876 \left(\frac{q^2}{q\Delta} \right) 0.414 \quad (10)$$

عمق جریان در انتهای ناحیه‌ی غوطه‌وری

در شکل (۵) عمق جریان در انتهای ناحیه‌ی غوطه‌وری در برابر عمق غوطه‌وری ترسیم شده است. ملاحظه می‌شود رابطه بین ارتفاع جریان در انتهای این ناحیه (ارتفاع بدنه جریان) با عمق غوطه‌وری به صورت زیر است:

$$h_p = 0.6h_p + 0.563 \quad (11)$$

رابطه (۱۱) ارتفاع جریان را نسبت به رابطه (۵) بیشتر برآورد کرده است که می‌توان دلیل آن را وجود اختلاط اولیه در ناحیه‌ی غوطه‌وری ذکر کرد. به عبارت بهتر داده‌های این تحقیق با وجود اختلاط اندازه‌گیری شده‌اند در حالی که رابطه‌ی (۵) یک رابطه‌ی ساده‌ی تئوریک می‌باشد که در آن اثر اختلاط لحاظ نشده است.

با توجه به نمودار شکل (۶) با افزایش شیب کف مقدار h_b کاهش می‌یابد که این موضوع می‌تواند به دلیل افزایش مومنتم باشد. به عبارت بهتر با افزایش شیب سرعت افزایش یافته و نتیجه آن کاهش ارتفاع جریان می‌باشد. پس شیب کف هم می‌تواند به عنوان یک پارامتر مؤثر

در بررسی ارتباط h_p با h_b مطرح باشد. با انجام تحلیل آماری چند

$$Uh = \int_0^{\infty} u dz = \int_0^h u dz = \bar{U} h_i = q \quad (8)$$

$$U^2 = \int_0^{\infty} u^2 dz = \int_0^h u^2 dz = \bar{U}^2 h_i \quad (9)$$

که در آن: u : تابع سرعت در عمق جریان، h_i : ارتفاعی که در آن سرعت u برابر با صفر است و \bar{U} : سرعت متوسط جریان غلیظ می‌باشد (۱۴). به این ترتیب ارتفاع جریان در ابتدا و انتهای ناحیه‌ی غوطه‌وری برای هر آزمایش به دست آمد. لازم به ذکر است طول ناحیه‌ی مذکور به صورت دستی و با خط کش اندازه‌گیری می‌شد. این تحقیق در مجموع با انجام ۶۰ آزمایش و در سه شیب (۸، ۱۲ و ۱۶) و چهار غلظت (جرم مخصوص‌های ۱۰۰۶، ۱۰۰۹، ۱۰۱۳ و ۱۰۱۶ کیلوگرم بر مترمکعب) و دبی‌های ورودی متفاوت انجام شد. در جدول (۱) مقادیر مربوط به متغیرهای مستقل این تحقیق و در شکل (۳) تصویری از وقوع غوطه‌وری در آزمایش‌ها نشان داده شده است.

نتایج و بحث

جریان غلیظ در نقطه‌ی غوطه‌وری و پس از به تعادل رسیدن نیروی مومنتم و فشار ناشی از اختلاف چگالی، تحت تاثیر وزن خود به زیر آب ساکن فرو رفته و همچنان به حرکت خود ادامه می‌دهد تا جایی که جریان تحت تاثیر شناوری به تعادل و پایداری رسیده و با ارتفاع ثابت به حرکت خود ادامه می‌دهد. در ادامه ساختار هندسی ناحیه‌ی مذکور شامل عمق غوطه‌وری، عمق جریان در انتهای ناحیه‌ی غوطه‌وری و ارتفاع جریان در انتهای این ناحیه و عوامل مؤثر بر آن مورد بحث قرار می‌گیرد.

عمق غوطه‌وری

با ترسیم مقادیر عمق نقطه‌ی غوطه‌وری در برابر $\frac{q^2}{g\Delta}$ ، می‌توان

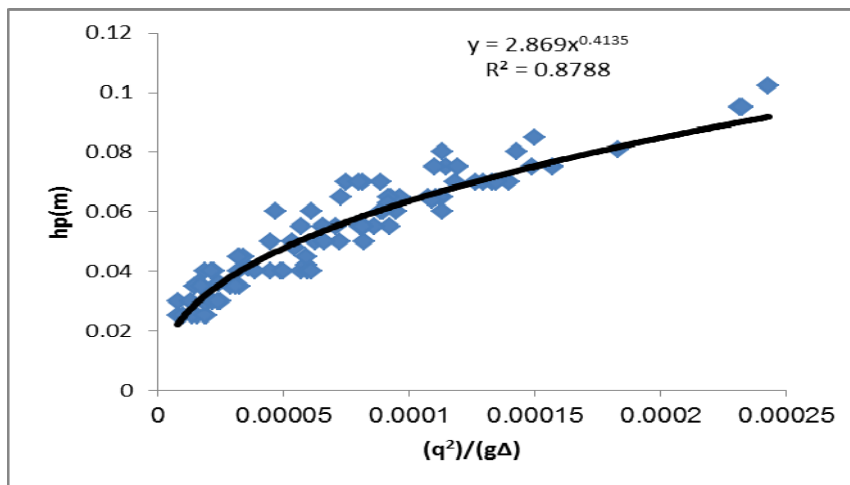
مقادیر ضرایب α و β مربوط به رابطه (۷) را برای داده‌های این تحقیق



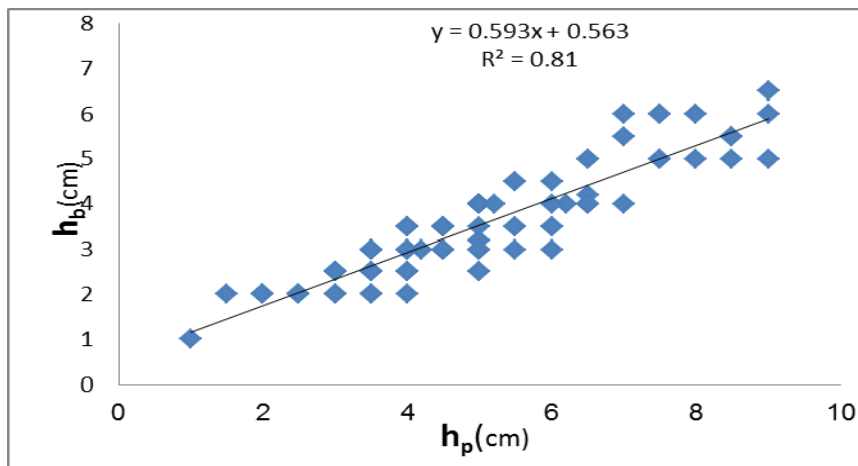
شکل ۳- تصویری از نقطه غوطه‌وری مشاهده شده در آزمایش‌ها

جدول ۱- مقادیر شیب کف، وزن مخصوص و دبی مورد استفاده در این تحقیق

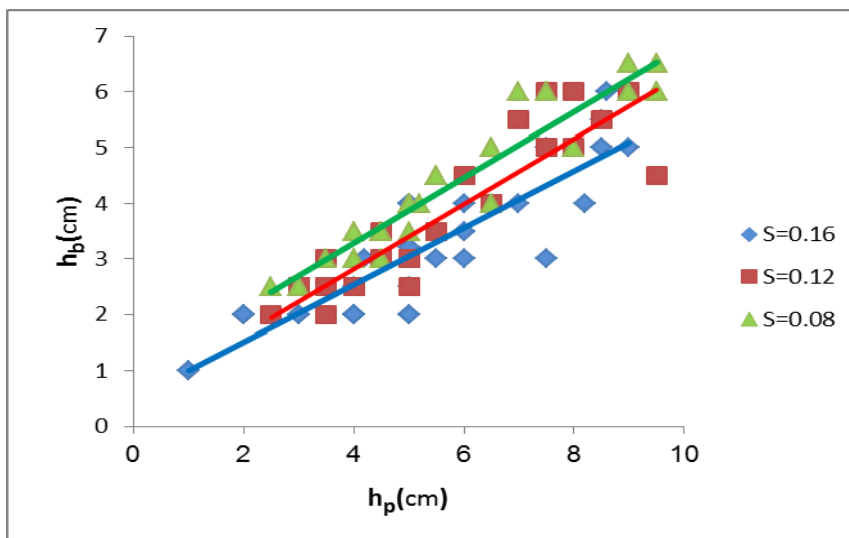
دبی (Lit/s)		وزن مخصوص (Kg/m ³)			شیب کف
۱/۵۸	۱/۲۸	۱/۰۶	۰/۸۳	۰/۷۳	۱۰۰۶
۱/۲۵	۱/۳۶	۰/۷۱	۰/۵۹	۰/۶۲	۱۰۰۹
۱/۹۰	۰/۸۰	۱/۷۴	۱/۴۰	۰/۸۱	۱۰۱۳
۱/۵۷	۱/۵۲	۱/۷۹	۱/۶۹	۰/۶۱	۱۰۱۶
۱/۲۹	۱/۶۴	۱/۵۲	۱/۱۷	۱/۱۰	۱۰۰۶
۱/۴۶	۰/۷۴	۱/۵۴	۱/۴۰	۰/۶۵	۱۰۰۹
۱/۹۰	۱/۶۰	۱/۳۸	۰/۶۶	۰/۹۶	۱۰۱۳
۰/۷۲	۲/۲۲	۱/۳۳	۱/۹۰	۱/۴۵	۱۰۱۶
۱/۸۹	۱/۴۸	۰/۹۵	۱/۸۵	۱/۴۵	۱۰۰۶
۱/۳۸	۱/۷۴	۰/۶۹	۱/۸۶	۱/۴۰	۱۰۰۹
۰/۸۲	۲/۰۷	۱/۶۹	۱/۹۴	۱/۴۵	۱۰۱۳
۲/۰۷	۱/۹۰	۱/۵۲	۰/۹۷	۱/۷۹	۱۰۱۶



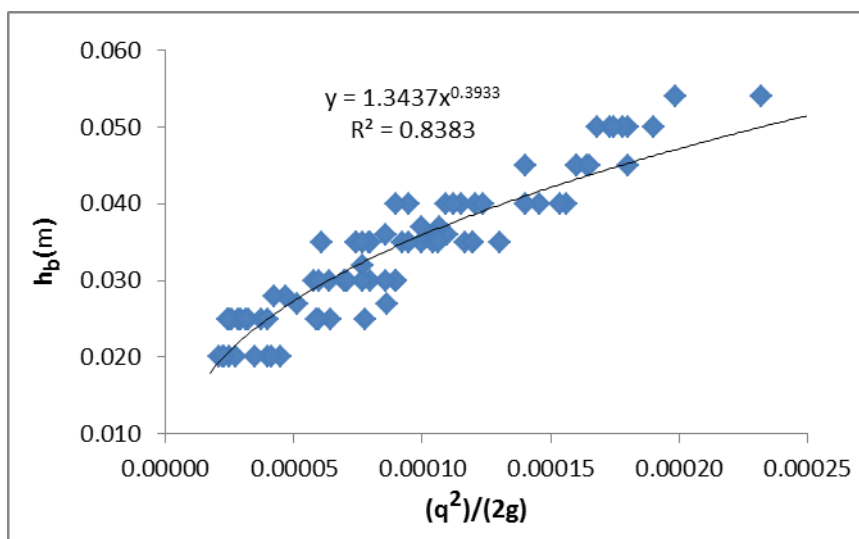
شکل ۴- نمودار تعیین ضرایب موجود در معادله (۷)



شکل ۵- عمق جریان در انتهای ناحیه‌ی غوطه‌وری در برابر عمق غوطه‌وری



شکل ۶- ارتفاع در انتهای ناحیه‌ی غوطه‌وری در برابر عمق غوطه‌وری در شیب‌های مختلف

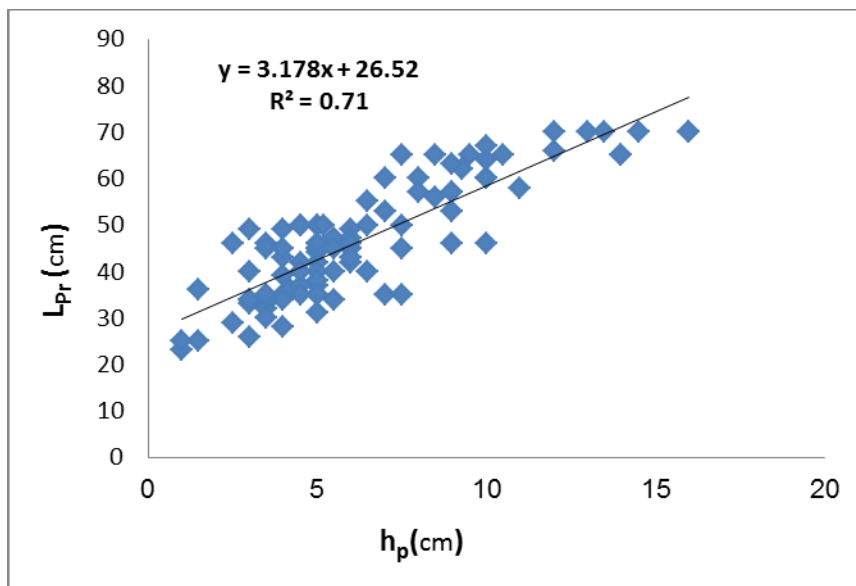


شکل ۷- ارتباط عمق جریان در انتهای ناحیه‌ی غوطه‌وری با پارامتر $\frac{q^2}{g\Delta}$

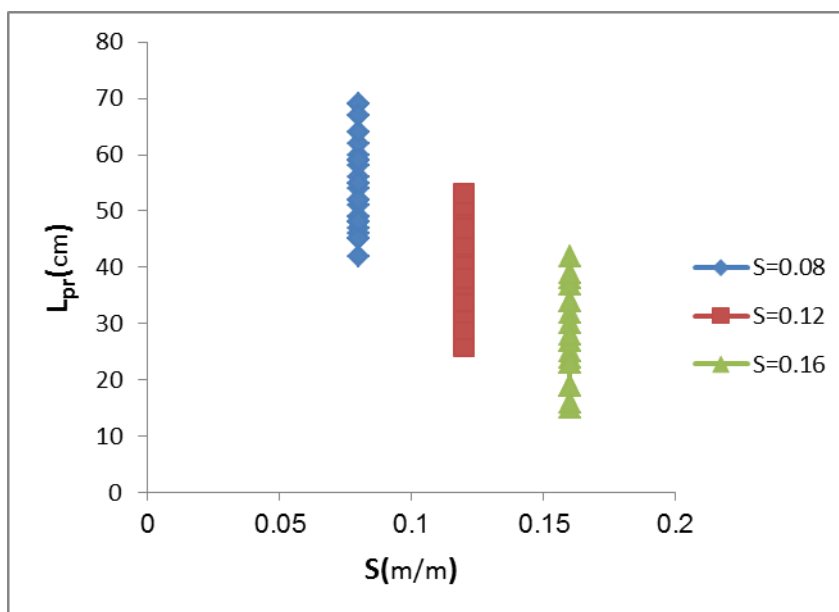
همان‌طور که انتظار می‌رفت مقدار ضریب تعیین (R^2) در رابطه‌ی (۱۲) نسبت به رابطه‌ی (۱۱) افزایش یافته بنابراین می‌توان از این رابطه جهت محاسبه ارتفاع جریان در انتهای ناحیه‌ی غوطه‌وری استفاده کرد. در انتها مقادیر ارتفاع جریان در انتهای ناحیه‌ی غوطه‌وری در برابر

متغیره توسط نرم افزار SPSS ارتباط بین دو پارامتر و شیب مورد بررسی قرار گرفت و رابطه مربوط به صورت زیر استخراج شد:

$$h_b = 0.459(h_p)^{0.838}(S)^{-0.31}, R^2=0.86 \quad (12)$$



شکل ۸- تغییرات طول ناحیه‌ی غوطه‌وری با عمق غوطه‌وری



نمودار ۹- مقدار طول ناحیه غوطه‌وری در شیب‌های مختلف

۰/۳۹۳ می‌باشند. بنابراین ارتباط عمق جریان در انتهای ناحیه‌ی غوطه‌وری با $\frac{q^2}{g\Delta}$ به صورت زیر استخراج می‌شود:

$$h_b = 1.343 \left(\frac{q^2}{g\Delta} \right)^{0.393} \quad (۱۳)$$

پارامتر $\frac{q^2}{g\Delta}$ که ارتباط آن با عمق غوطه‌وری مورد اشاره قرار گرفت در شکل (۷) ترسیم شده است.

با توجه به شکل (۷) نتیجه می‌شود که می‌توان از معادله‌ی (۷) برای محاسبه‌ی عمق جریان در انتهای ناحیه‌ی غوطه‌وری نیز استفاده کرد. در این صورت ضرایب α و β مربوط به این رابطه به ترتیب برابر ۱/۳۴۳ و

نتیجه‌گیری

در این تحقیق سعی شد مشخصات هندسی ناحیه‌ی غوطه‌وری جریان چگال در آزمایشگاه مورد بررسی قرار گیرد. در این راستا عمق غوطه‌وری، طول ناحیه‌ی غوطه‌وری و ارتفاع جریان در انتهای این ناحیه با انجام آزمایش اندازه‌گیری شدند. در ابتدا عمق غوطه‌وری با پارامتر $\frac{q^2}{g\Delta}$ مقایسه شد و رابطه‌ی این دو به دست آمد. در ادامه عمق جریان

در انتهای ناحیه‌ی غوطه‌وری در برابر عمق غوطه‌وری و سپس در برابر شیب ترسیم گردید و مشاهده شد این پارامتر نسبت به تغییر عمق غوطه‌وری و شیب دارای حساسیت است بنابراین با تحلیل آماری توسط نرم افزار SPSS رابطه آنها نیز استخراج شد. همچنین جریان در انتهای ناحیه‌ی غوطه‌وری با پارامتر $\frac{q^2}{g\Delta}$ مقایسه شد و ملاحظه گردید ارتفاع جریان در این نقطه نیز همانند عمق غوطه‌وری به خوبی با پارامتر مذکور در ارتباط است.

نتایج این تحقیق نشان داد که ساختار هندسی ناحیه‌ی غوطه‌وری جریان‌های غلیظ ارتباط تنگاتنگی با مشخصات ابتدای ناحیه-ی مذکور دارد به طوری که هم طول این ناحیه و هم ارتفاع جریان در انتهای این ناحیه روابط مستقیمی با عمق غوطه‌وری دارند همچنین ارتفاع جریان در انتهای این ناحیه با پارامتر $\frac{q^2}{g\Delta}$ که محققین دیگر جهت محاسبه‌ی عمق غوطه‌وری پیشنهاد شده است در ارتباط می‌باشد.

طول ناحیه‌ی غوطه‌وری

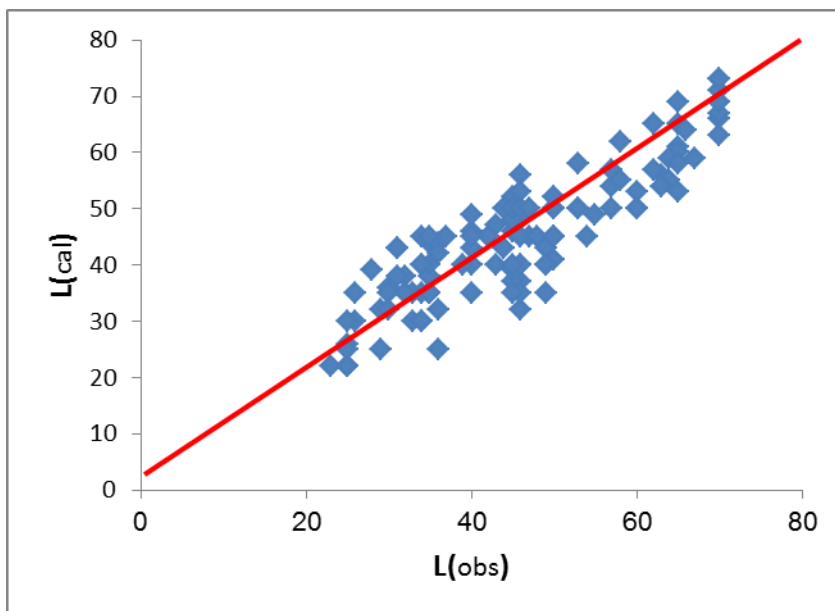
طول ناحیه‌ی غوطه‌وری در واقع فاصله‌ای است که جریان پس از غوطه‌وری برای رسیدن به حالت پایدار خود با کاهش ارتفاع طی می‌کند. در این قسمت سعی شده است ارتباط این پارامتر با عوامل دیگر مورد بررسی قرار گیرد. تغییرات طول ناحیه‌ی غوطه‌وری در برابر عمق غوطه‌وری به صورت شکل (۸) می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود طول ناحیه‌ی غوطه‌وری با افزایش عمق غوطه‌وری افزایش می‌یابد.

تغییرات طول ناحیه غوطه‌وری در برابر شیب

در شکل (۹) طول ناحیه غوطه‌وری اندازه‌گیری شده در آزمایش‌های این تحقیق در برابر شیب ترسیم شده‌اند. ملاحظه می‌گردد که با افزایش شیب طول این ناحیه کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر در شیب بیشتر، جریان به علت برخورداری از مومنتم بالاتر، به سرعت به عمق نرمال پایین دست غوطه‌وری می‌رسد. بنابراین شیب نیز به عنوان عاملی در تعیین اندازه طول ناحیه‌ی غوطه‌وری مطرح می‌شود. با انجام تحلیل آماری چند متغیره توسط نرم افزار SPSS ارتباط طول ناحیه‌ی غوطه‌وری با عمق غوطه‌وری و شیب مورد بررسی قرار گرفت و رابطه مربوط به صورت رابطه (۱۴) استخراج شد:

$$L_{pr} = 21.03(h_p)^{0.44}(S)^{-0.01} \quad R^2=0.746 \quad (14)$$

به منظور بررسی دقت معادله فوق در تخمین طول ناحیه‌ی غوطه‌وری، میزان طول‌های محاسباتی در برابر طول‌های اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه نسبت به خط ۴۵ درجه در شکل (۱۰) ترسیم شده است.



شکل ۱۰- مقایسه داده‌های محاسباتی و مشاهده‌ای طول ناحیه‌ی غوطه‌وری

منابع

- ۱- ترابی پوده، ح. ۱۳۸۶. رساله دکتری سازه های آبی . بررسی رفتار جریان غلیظ در همگرایی ها و واگرایی ها. رساله دکتری، رشته‌ای سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۹۶ صفحه.
- ۲- قاسمی. ن. ۱۳۸۶. بررسی غوطه‌وری در مخازن و مطالعه آزمایشگاهی تأثیر پارامترهای مؤثر بر عمق غوطه‌وری، پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۱۶ صفحه
- 3- Akiyama, J. and H.G Stefan .1984. Plunging flow into a reservoir. Journal of Hydraulic Engineering, 110: 484-499.
- 4- Akiyama, J. and H.G. Stefan 1985. Turbidity current with erosion and deposition. Journal of Hydraulic Engineering, 111(12): 1473-1495
- 5- Alavian, V., Et. 1992. Density current entering lakes and reservoirs. Journal of Engineering. 118 (11): 1464-1489.
- 6- Bell H. S. 1942. Density currents as agents for transporting sediments. Journal of Geology, 50: 512-547
- 7- Ellison, T. H. and J. S. Turner, 1959. Turbulent entrainment in stratified flow. Journal of Fluid Mechanics. 6 (3): 423-448
- 8- Garcia, M. H. and G. Parker 1993. Experiments on the entrainment of sediment into suspension by a dense bottom current. Journal of Geophysical Research, 98(C3): 4793-4807
- 9- Graf W. H. and M. S. Altinakar 1998. Fluvial hydraulics-flow and transport processes in Channels of simple geometry. Chapter 7, Wiley, New-Yorkh.
- 10- Hebbert, B, Imberger, J, Loh, I. and J. Patterson. 1979. Collie river under flow into the wellington reservoir, Journal of Hydraulic. Division, ASCE 105 (HYS): 553-545.
- 11- Lee, H. Y. and W. Yu, 1997. Experimental study of reservoir turbidity current. Journal of. Hydraulic Engineering, ASCE, 123(6): 520-528.
- 12- Parker, G. and H. Toniolo 2006. Note on the analysis of plunging of density flows. Journal of Hydraulic Engineering, 133(6): 690-694
- 13- Savage, S. B. and J. Brimberg 1975. Analysis of plunging phenomena in water resource. Journal of Hydraulic Research, IAHR, 13(2): 187-204.
- 14- Singh, B. and C. R. Shah 1971. Plunging phenomena of density currents in reservoirs. Lahouille Blanche, 26(1): 59-64.
- 15- Toniolo, H. and G. Parker 2003. 1-D numerical modeling of reservoir sedimentation. Proceeding, IAHR Symposium on River, Coastal and Estuarine Morph dynamics, Barcelona, Spain pp: 457-468.