

بررسی کشش آب ساکن در ناحیه ی غوطه وری جریان های غلیظ

داریوش کرمی چمه^{1*}، سید حسن گلمایی²، علی شاهنظری³، الهه حسینیان⁴

(1) کارشناس، شرکت مهندسی مشاور دزآب، اهواز، خوزستان، ایران.

(2) دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

(3) استادیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

(4) دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران، گروه سازه های آبی، اهواز، ایران.

* نویسنده مسئول: Kdariush44@yahoo.com

تاریخ دریافت: 90/12/25

تاریخ پذیرش: 91/3/8

چکیده

بررسی نحوه تأثیر متقابل کیفیت آب رودخانه بر دریاچه ها و مخازن سدها بر هم دیگر از جنبه ی بهره برداری حائز اهمیت است. هنگام ورود آب یک رودخانه با چگالی متفاوت به دهانه یک دریاچه یا مخزن یک سد به دلیل اختلاف چگالی پدیده ی جریان غلیظ زیرین اتفاق می افتد، بنابراین شناخت آرایه های مختلف این پدیده در بررسی روند فرسایش و رسوب گذاری و مدیریت آن در مخازن سدها ضروری به نظر می رسد. یکی از آرایه های مهم در پدیده جریان غلیظ، کشش آب ساکن توسط جریان غلیظ می باشد. در تحقیق حاضر کشش در ناحیه ی غوطه وری این جریان ها، تحت تأثیر غلظت جریان ورودی، شیب کف، دبی ورودی و ارتفاع آب ساکن توسط مدل فیزیکی مورد تحقیق قرار گرفته است. آزمایش ها در یک فلوم با طول 9/75 متر و عرض 50 سانتیمتر و ارتفاع 80 سانتیمتر در سه شیب و چهار غلظت با دبی متفاوت انجام شدند. نتایج آزمایش ها حاکی از تأثیر مستقیم شیب کف بر میزان کشش آب ساکن در ناحیه غوطه وری می باشد.

واژه های کلیدی: جریان غلیظ، ناحیه ی غوطه وری، عدد ریچاردسون، کشش آب ساکن، مدل فیزیکی.

مقدمه

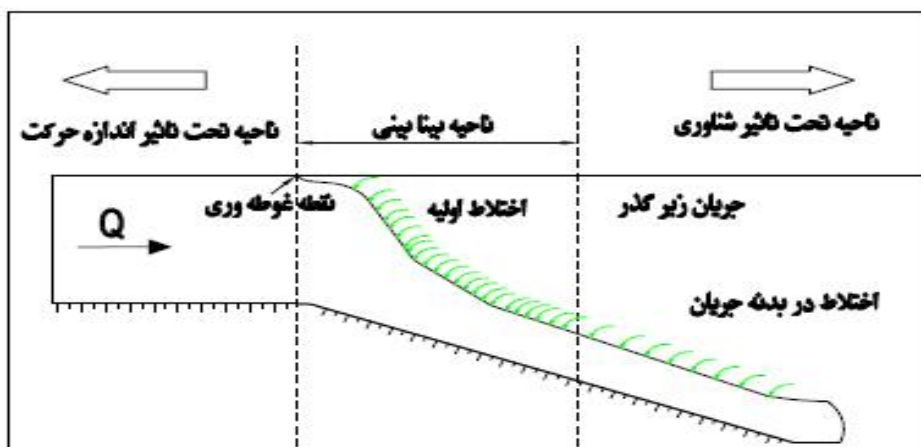
معضل رسوب‌گذاری همواره به عنوان مهم‌ترین عامل کوتاه کردن عمر مفید سدها مطرح است و سدهای مخزنی زیادی بدلیل پرشدن از رسوب، متروکه شده‌اند. این مشکل به ویژه در مناطق استوایی و نیمه‌خشک به علت بالابودن بده جریان رسوب مشهودتر به نظر می‌رسد. اهمیت افزایش عمر مفید سدها و حفظ حجم ذخیره آن‌ها برای تداوم کنترل و بهره‌برداری از منابع آب، به عنوان موضوعی مهم در علم مهندسی سدسازی مطرح می‌باشد. در حال حاضر بیشتر کارهای مدیریتی رسوب به طور کلی بر روی کنترل فرسایش متمرکز شده است. گرچه انجام این فعالیت‌ها لازم و ضروری به نظر می‌رسد، اما به تنهایی نمی‌تواند برای نیل به اهدافی مانند حفظ تعادل رسوب و نگهداری دراز مدت حجم ذخیره مخزن کافی باشد. بنابراین با توجه به اهمیت مسأله مدیریت پایای مخزن، لازم است حجم ذخیره مفید مخزن را که به وسیله انباشت رسوبات از دست می‌رود از طریق روش‌های رسوب زدائی حفظ و بازیافت گردد و یا این که با شناخت فرایند رسوب‌گذاری از انجام آن جلوگیری به عمل آید. یکی از مهم‌ترین پدیده‌ها در رسوب گذاری در مخازن 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 موثر را انجام داد.

به طور کلی می‌توان گفت جریان‌های غلیظ جریان‌هایی هستند که در اثر اختلاف در جرم مخصوص دو سیال به وجود می‌آیند. به عبارت دیگر زمانی که یک سیال با جرم مخصوص $(\rho \pm \delta\rho)$ به درون یک توده سال ساکن با جرم مخصوص ρ جریان یابد، پدیده جریان غلیظ اتفاق می‌افتد. اگر جرم مخصوص سیال ورودی بیشتر از جرم مخصوص توده ساکن باشد، جریان غلیظ تحتانی شکل می‌گیرد شکل 1 که به این جریان‌ها به علت تأثیر شتاب ثقل روی اختلاف جرم مخصوص جریان ثقیلی هم گفته می‌شود.

با ورود یک جریان رسوب‌دار (سیال سنگین) به محدوده مخزن حاوی سیال ساکن سبک‌تر، رسوبات حمل شده توسط جریان پیوسته در بستر رودخانه نشست می‌کنند. ذرات درشت‌تر در ابتدای ورود به مخزن ته‌نشین شده، دلتای مخزن را تشکیل می‌دهند. ذرات ریزتر به دلیل سرعت ته‌نشینی پایین‌تر می‌توانند به صورت معلق در جریان باقی بمانند. جریان هم‌چنان به پیشروی خود در مخزن ادامه می‌دهد تا جایی که سرعت به اندازه‌ای کاهش یافته باشد که اندازه حرکت جریان ورودی با نیروی فشاری ناشی از اختلاف چگالی جریان ورودی و آب ساکن به تعادل رسیده و جریان غلیظ پس از این نقطه به زیر سطح آب ساکن رفته و به حرکت خود ادامه می‌دهد. این نقطه را اصطلاحاً نقطه‌ی غوطه‌وری گویند.

جریان ورودی قبل از تشکیل جریان زیر گذر، تحت تأثیر مومنتم است، ولی بعد از غوطه‌وری تحت تأثیر نیروی شناوری می‌باشد. در صورت غوطه‌ور شدن جریان ورودی، حجم ثابتی از آب محیط در ناحیه انتقالی بین نواحی تحت تأثیر مومنتم و شناوری وارد جریان می‌شود. ورود آب ساکن محیطی به درون جریان ورودی در ناحیه انتقالی به منظور جدا کردن آن از اختلاط مربوط به ناحیه تحت تأثیر شناوری، اختلاط اولیه نامیده می‌شود. حقی آبی (1383). شکل 1 رژیم‌های مختلف در جریان‌های غلیظ زیر گذر (تحتانی) را نشان می‌دهد. فرایند اختلاط در جریان غلیظ، در ناحیه بدنه آن با استفاده از مطالعه و بررسی آزمایشگاهی، در گذشته مورد توجه

فراوان قرار گرفته است (Fleenor W. E, 1981) در حالی که اختلاط اولیه (اختلاط در ناحیه غوطه وری) که طبق مطالعات انجام شده حتی تا 80 درصد از اختلاط کل را تشکیل می دهد کمتر بررسی شده است (Ford and Johnson, 1981)



شکل 1: رژیم های مختلف در جریان های غلیظ زیر گذر

اختلاط در ناحیه ی غوطه وری با تغییر ناگهانی عمق جریان ورودی ایجاد می گردد. بنابراین اختلاط در ناحیه ی غوطه وری پیش از این که متأثر از تنش برشی سیال و یا گرادیان دانسیته باشد، متأثر از جریان چرخشی است که با سقوط سیال سنگین در نقطه ی غوطه وری در سیال ساکن ایجاد می شود.

مشاهده و بررسی جریان های غلیظ که در طبیعت رخ می دهند بسیار مشکل و دارای مقیاس بزرگ و است. لذا شبیه سازی فیزیکی این پدیده مطمئن ترین راهکار برای مطالعه آن می باشد.

در جریان غلیظ، برخلاف جریان مجاری روباز، تأثیر ثقل موثر روی اختلاف جرم مخصوص علت حرکت می باشد. در واقع سیال محیطی تأثیر کاهنده ای بر ثقل دارد، رابطه شتاب ثقل موثر بصورت زیر می باشد:

$$g' = g \frac{(\rho_d + \rho_a)}{\rho_a} \quad (1)$$

که در آن g' : شتاب ثقل موثر، g : شتاب ثقل عمومی، ρ_a : جرم مخصوص سیال غلیظ ($\frac{Kg}{m^3}$) و ρ_d : جرم مخصوص سیال

محیطی می باشند. یک پارامتر بسیار مهم در زمینه جریان های غلیظ، عددی موسوم به ریچاردسون است که بصورت زیر بیان می -

گردد:

$$Ri = \frac{g \frac{\Delta \rho}{\rho} h}{U_0^2} = (g'h \cos \theta) / U^2 \quad (2)$$

بدلیل وجود لایه‌ی برشی حد فاصل سیال‌های غلیظ و پیرامونی و ناپایداری جریان در این ناحیه، آشفتگی جریان به وجود می‌آید و سیال پیرامونی به داخل سیال غلیظ کشیده شده، باعث رقیق شدن آن می‌شود. از نظر الیسون و ترنر این سرعت عمودی متناسب با سرعت لایه بوده و ضریب این تناسب، کشش جریان غلیظ (EW) نامیده می‌شود. به طور خلاصه می‌توان معادلات یک بعدی، دائمی ناپایدار بر روی شیب $S_f = \sin \theta$ را بصورت زیر نوشت:

$$\frac{d}{dx}(Uh) = E_w U = W_h \quad (3)$$

$$\frac{d}{dx}(C_s U h) = V_s (E_s - C_s) \quad (4)$$

$$\frac{d}{dx}(U^2 h) = -\frac{1}{2} g R \cos \theta \frac{d}{dx}(C_s h^2) + (g R C_s h) \sin \theta - u_{*b}^2 \quad (5)$$

که در آن E_w : ضریب کشش سیال پیرامون، E_s : ضریب کشش رسوبات، C_b : غلظت رسوبات نزدیک بستر، $R = \left(\frac{\rho_s}{\rho_a}\right) - 1$

u_{*b}^2 : سرعت برشی بستر، U و C_s : سرعت و غلظت نقطه‌ای در پروفیل عمقی جریان غلیظ می‌باشند (Ellison t.h, Turner j.s, 1959).

رابطه (3) را می‌توان بصورت تفاضل محدود به شکل زیر نوشت:

$$(E_w)_{j-(j+1)} = \left[\frac{2}{U_{j+1} + U_j} \right] \left[\frac{q_{j+1} - q_j}{X_{j+1} - X_j} \right] \quad (6)$$

که در آن j و $j+1$ بیانگر دو مقطع متوالی می‌باشند. بنابراین شدت اختلاط جریان غلیظ بصورت نسبت سرعت اختلاط (W_h) به سرعت متوسط بدنه جریان غلیظ (U) تعریف می‌شود (Turner, j.s, 1973).

با داشتن مقادیر سرعت متوسط و دبی در واحد عرض در دو مقطع متوالی می‌توان میزان شدت اختلاط را از رابطه (6) بین دو مقطع متوالی محاسبه نمود. محققان با انجام آزمایش‌های گوناگون بر روی جریان‌های غلیظ با جرم مخصوص‌های متفاوت دریافتند ضریب شدت اختلاط تابعی از عدد ریچاردسون می‌باشد (Ellison, t.h, Turner j.s, 1995).

داده های آزمایشگاهی به دست آمده که دارای شرایط جریان، اعداد رینولدز، زبری دیواره ها، و شاخص شناوری متنوعی هستند همگی نشان می دهند کشش جریان غلیظ دارای یک رابطه با توزیع مناسب با عدد ریچاردسون به صورت زیر است:

$$E_w = a(Ri)^b \quad (7)$$

رابطه ی توانی که معمولاً استفاده می شود به صورت زیر است (Ashida, K., Egashira, S, 1995).

$$E = 0.0015 Ri^{-1} \quad (8)$$

رابطه مشابهی به صورت زیر ارائه دادند: (Hebbert, et al, 1979)

$$E = 0.0028 Ri^{-1.2} \quad (9)$$

آزمایش هایی روی جریان های غلیظ رسوب گذار انجام دادند. آن ها با انجام آزمایش هایی روی بدنه جریان غلیظ و استفاده از داده های سایر محققین پیشین رابطه ای را برای شدت اختلاط ارائه کردند. این رابطه چنین است: (Parker, G Fukushima, Y, 1989)

$$E_w = \frac{0.075}{(1 + 718 Ri^{2.4})^{0.5}} \quad (10)$$

قاسمی (1386) با مقایسه مقدار اختلاط کل (مجموع شدت اختلاط در ناحیه ی غوطه وری و بدنه جریان) با اختلاط مربوطه به بدنه نشان داد در بعضی شرایط مقدار اختلاط کل تا دو برابر شدت اختلاط بدنه نیز می رسد.

بهرامی (1387) با انجام آزمایش هایی دریافت که شدت اختلاط بدنه جریان تابع مستقیمی از شیب است. در جدول 1 روابط ارائه شده برای کشش بدنه جریان توسط محققان پیشین آمده است همان طور که مشاهده می گردد بیشتر تحقیقاتی که در گذشته در ارتباط با بررسی شدت اختلاط در جریان غلیظ صورت گرفته است، مربوط به بدنه جریان بوده و عموماً مقدار شدت اختلاط را فقط تابعی از عدد ریچاردسون معرفی کرده اند. در حالی که هدف از انجام این تحقیق بررسی شدت اختلاط در ناحیه ی غوطه وری (اختلاط اولیه) و بررسی تأثیر شیب کف بر مقدار آن می باشد.

جدول 1: تعدادی از روابط بدست آمده برای محاسبه شدت اختلاط توسط محققین مختلف

نام محقق	سال ارائه	رابطه ارائه شده	ملاحظات	
			شیب (درصد)	نوع جریان غلیظ
Ashida, Egashira	۱۹۷۵	$E_w = 0.0015/Ri$	۰/۶	رسوبی و محلول
Fukushima et al	۱۹۸۵	$E_w = 0.00153/(0.0204 Ri)$		رسوبی
Parker et al	۱۹۸۷	$E_w = \frac{0.0075}{(1+718Ri^{2.4})^{0.5}}$	۸	رسوبی
Chikita	۱۹۹۰	$E_w = 0.0087 \exp(-0.106/Ri)$	۱/۴	رسوبی
Ghomeshi	۱۹۹۵	$E_w = \frac{0.0024}{Ri^{1.06}}$	۰/۶۲۵	رسوبی و محلول
Haghiabi	۲۰۰۴	$E_w = 0.0023(Ri)^{-1.0243}$	۰ - ۰/۰۰۳	رسوبی و محلول
Karamzadeh	۲۰۰۵	$E_w = 0.0021(Ri)^{-1.1238}$	۰/۰۰۲ - ۰/۰۳	محلول
Ghasemi	۲۰۰۷	$E_w = 0.0017(Ri)^{-1.042}$	۰/۰۰۵ - ۰/۰۲	محلول
Torabi	۲۰۰۷	$E_w = 0.0033(Ri)^{-0.9301}$	۰/۰۰۲ - ۰/۰۳۱	محلول
Moradi	۲۰۱۱	$E_w = 0.0038 / (Ri)0.47$	۰/۰۰۹ - ۰/۰۱۶	محلول

مواد و روش‌ها:

این تحقیق در یک فلوم به طول 9/25 متر، عرض 50 سانتیمتر و ارتفاع 75 سانتیمتر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. در شکل 2 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 دریاچه انتهایی بسته است فلوم تا ارتفاع دلخواه از آب زلال که بعنوان آب ساکن مورد استفاده قرار می‌گیرد پر می‌شود. سپس شیر ورودی جریان غلیظ به اندازه دبی مورد نظر باز می‌شود تا مخزن پشت دریاچه تا ارتفاعی برابر آب زلال داخل مخزن از سیال غلیظ پر شود. پس از اینکه سطح سیال غلیظ پشت دریاچه با سطح آب ساکن داخل فلوم برابر می‌شد، دریاچه باز می‌شد 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 اندازه گیری پروفیل سرعت در محل فروروی و نیز در انتهای ناحیه ی غوطه وری توسط دستگاه سرعت سنج DOP2000 که به روش آکوستیک این اندازه گیری را انجام می دهد می شد. ارتفاع و سرعت متوسط جریان غلیظ توسط روابط ایسون و ترنر (1959) و با انتگرال گیری از پروفیل سرعت صورت زیر محاسبه می شوند:

$$Uh = \int_0^{\infty} uhdz = \int_0^h udz = \bar{U}h_t = q \quad (11)$$

$$U^2h = \int_0^{\infty} u^2hdz = \int_0^h u^2dz = \beta_u \bar{U}^2 h_t \quad (12)$$

که در آن: $u(z)$: سرعت نقطه ای جریان، h_t : ارتفاعی است که در آن سرعت u برابر با صفر است، \bar{U} : سرعت متوسط جریان غلیظ، β_u : ضریب توزیع سرعت می باشد. با محاسبه جرم مخصوص دو سیال غلیظ و ساکن (آب شهری)، مقدار g' از رابطه (1) محاسبه شد. با داشتن مقدار سرعت متوسط جریان و ارتفاع آن و نیز مقدار g' عدد ریچاردسون هر مقطع محاسبه گردید. میانگین عدد ریچاردسون در ابتدا و انتهای ناحیه ی غوطه وری، به عنوان عدد ریچاردسون ناحیه ی غوطه وری در نظر گرفته شد. با محاسبه شدت اختلاط از رابطه (3) یا (6) و مقایسه با عدد ریچاردسون می توان ارتباط این دو را مورد بررسی قرار داد. برای بررسی ارتباط مقدار شدت اختلاط با دو پارامتر عدد ریچاردسون و شیب (به طور همزمان) از نرم افزار SPSS استفاده گردید. این تحقیق در 3 شیب (8%، 12% و 16%) و 4 غلظت (جرم مخصوص های 1006، 1009، 1013 و 1016 کیلوگرم بر مترمکعب) و دبی های ورودی متفاوت انجام شد.

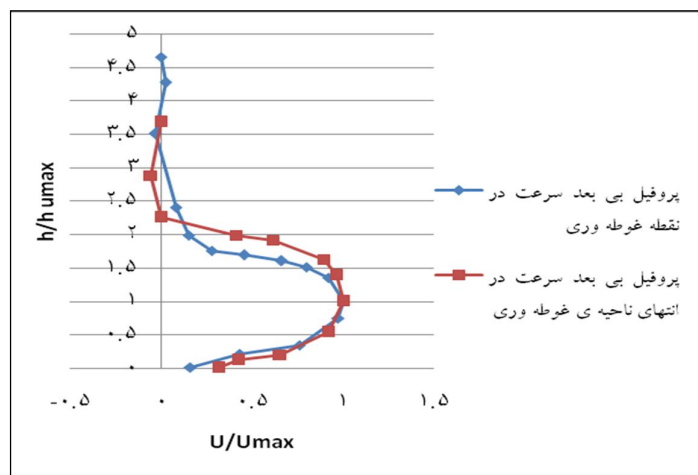


شکل 2: نمایی از مدل فیزیکی مورد استفاده برای این تحقیق

نتایج و بحث:

پروفیل سرعت

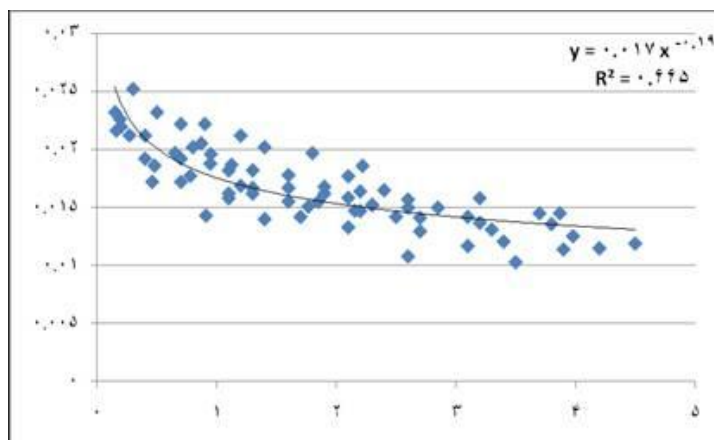
برای بررسی شدت اختلاط در جریان غلیظ، لازم است سرعت متوسط جریان با دقت مناسب محاسبه شود. برای این منظور، ابتدا پروفیل سرعت به روش اکوستیک برداشت شد. در نمودار نشان داده شده در شکل 3 نمونه‌ای از پروفیل‌های بی بعد سرعت در ابتدا و انتهای ناحیه‌ی غوطه‌وری نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشخص است، ارتفاع جریان در انتهای ناحیه‌ی غوطه‌وری کمتر از ارتفاع آن در نقطه‌ی غوطه‌وری می‌باشد.



شکل 3: نمونه‌ای از پروفیل‌های بی بعد سرعت در ابتدا و انتهای ناحیه‌ی غوطه‌وری

محاسبه شدت اختلاط در ناحیه غوطه‌وری:

در تحقیق حاضر رابطه بین کشش در ناحیه‌ی غوطه‌وری جریان غلیظ (اختلاط اولیه) و عدد ریچاردسون با استفاده از نتایج آزمایشگاهی بدست آمده است. در شکل 4 رابطه‌ی بین این دو پارامتر برای کل داده‌های آزمایشگاهی نشان داده شده است.



شکل 4: رابطه بین شدت اختلاط و عدد ریچاردسون در ناحیه‌ی غوطه‌وری

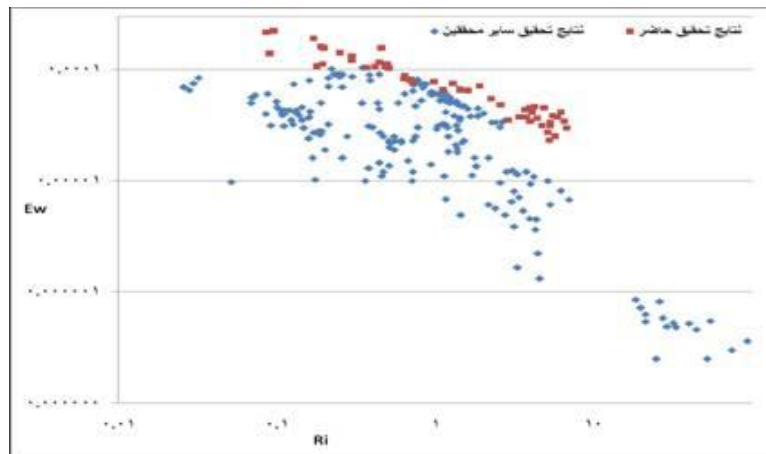
از شکل 4 رابطه بین مقدار کشش و عدد ریچاردسون به صورت زیر نتیجه می شود:

$$R^2 = 0.67 \quad (13)$$

$$E_w = 0.17 Ri^{-0.196}$$

و در شکل 5 مقایسه بین شدت اختلاط به دست آمده برای آزمایش ها این تحقیق با نتایج بررسی سایر محققان را در مقیاس نیمه لگاریتمی نشان می دهد. همانگونه که از این شکل قابل مشاهده است مقادیر شدت اختلاط مربوط به این تحقیق به مقدار قابل ملاحظه ای با نتایج سایرین بزرگتر به دست آمده است. لازم به ذکر است تحقیقات گذشته اکثراً بر بررسی شدت اختلاط در بدنه جریان غلیظ که جریان به پایداری و ثبات نسبی رسیده است متمرکز بوده است. در حالی که در این تحقیق بررسی شدت اختلاط در ناحیه ی غوطه وری جریان غلیظ مد نظر بوده است. اختلاف فاحش به وجود آمده بین مقادیر این تحقیق با مقادیر به دست آمده توسط سایر محققان، با وجود

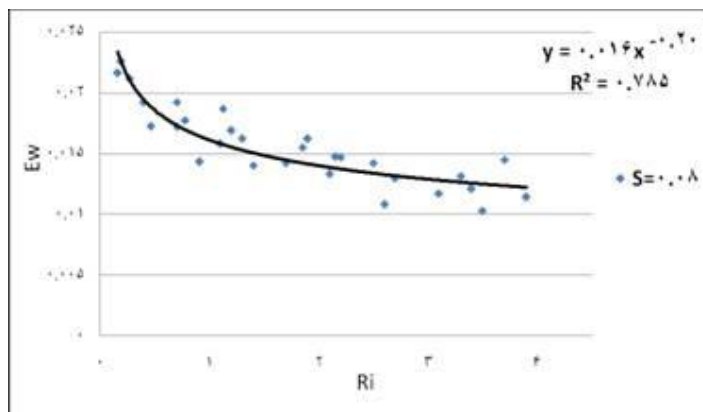
طول کم این ناحیه، علاوه بر تنش برشی ناحیه ی بینابینی و گرادیان چگالی، می تواند متأثر از وجود چرخشی در این ناحیه باشد که به علت داشتن خطوط سرعت غیر موازی در قبل و بعد از نقطه غوطه وری با قدرت زیاد، سیال ساکن را به سمت خود می کشاند.



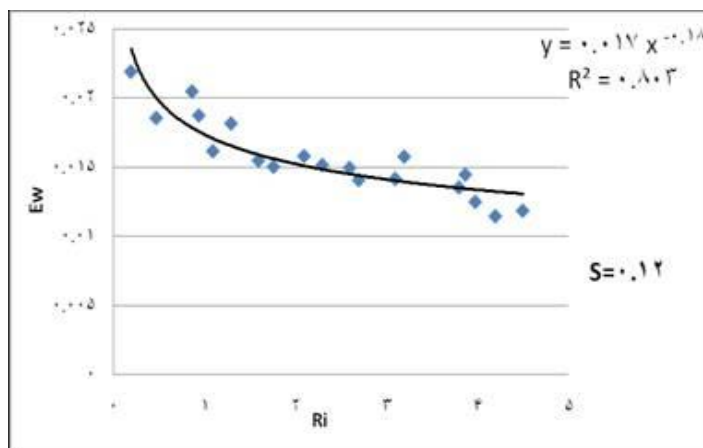
شکل 5: مقایسه داده های این تحقیق با نتایج سایر محققین

بررسی تغییرات E_w با Ri ناشی از تغییرات شیب

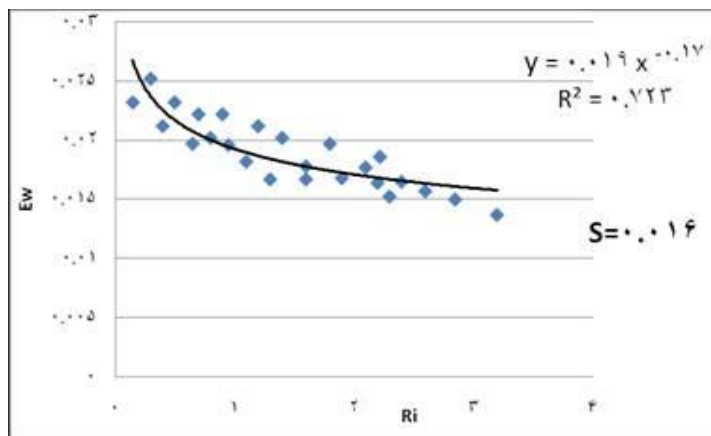
جهت بررسی تأثیر شیب کف بر روی پارامتر شدت اختلاط، اقدام به دسته بندی داده ها براساس شیب کف جریان غلیظ ورودی شد؛ سپس تغییرات شدت اختلاط مربوط به هر شیب، نسبت به عدد ریچاردسون بررسی گردید. چنانچه تغییرات E_w با Ri در شیب های متفاوت ترسیم گردد، روند تغییرات مطابق اشکال 6 تا 8 خواهد بود. در شکل 9 نیز مقادیر شدت اختلاط برای هر سه شیب نشان داده شده است.



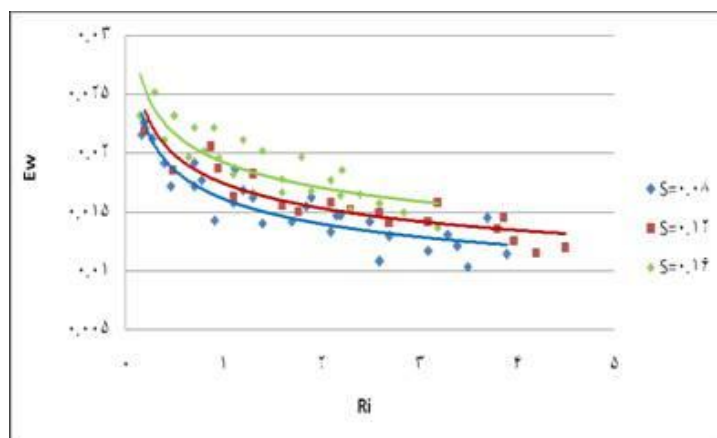
شکل 6: رابطه شدت اختلاط و عدد ریچاردسون در ناحیه‌ی غوطه‌وری در $S=0/08$



شکل 7: رابطه شدت اختلاط و عدد ریچاردسون در ناحیه‌ی غوطه‌وری در $S=0/012$



شکل 8: رابطه شدت اختلاط و عدد ریچاردسون در ناحیه‌ی غوطه‌وری در $S=0/016$



شکل 9: تأثیر تغییر شیب در روند تغییرات Ew با Ri در جریان غلیظ

اشکال 6 تا 9 نشان می‌دهند، در شرایط اولیه یکسان، با افزایش شیب بر میزان شدت اختلاط افزوده می‌گردد. بنابراین عامل شیب نیز می‌تواند به عنوان یکی دیگر از پارامترهایی باشد که بر شدت اختلاط اثر بگذارد. در جدول زیر ضرایب معادله (7) و ضریب همبستگی آنها برای شیب‌های مختلف به صورت مجزا محاسبه شده است.

جدول 2: ضرایب معادلات شدت اختلاط بر اساس معادله (7)

R ²	b	a	S%	Inflow type
۰٫۷۸	-۰٫۲۰	۰٫۰۱۶	۸	Slope
۰٫۸۰۳	-۰٫۱۸	۰٫۰۱	۱۲	
۰٫۷۲	-۰٫۱۷	۰٫۰۱۹	۱۶	Total saline data
۰٫۶۶۵	-۰٫۱۹	۰٫۰۱۷		

چنانچه شدت اختلاط تابعی از شیب و عدد ریچاردسون در نظر گرفته شود، رابطه حاکم بر کلیه داده‌ها را می‌توان با استفاده از تحلیل آماری و رگرسیون غیرخطی در نرم افزار SPSS بصورت زیر تعریف نمود:

$$E_w = 0.03(Ri)^{-0.178} (S)^{0.252} \text{ و } R^2 = 0.82 \quad (14)$$

که در رابطه فوق S مقدار شیب کف (بر حسب m/m) می‌باشد. بنابراین همانطور که مشاهده می‌شود پارامتر شیب نیز باعث افزایش دقت محاسبه شدت اختلاط می‌گردد. این نتیجه گیری می‌تواند به علت استفاده از شیب‌های تند در این آزمایشات و همچنین به علت محاسبه شدت اختلاط مربوط به ناحیه‌ی غوطه‌وری باشد که در این ناحیه هر قدر مقدار شیب بیشتر باشد، عامل مومنتم بیشتر است و در نتیجه به علت افزایش مولفه عمودی سرعت جریان غلیظ مقدار (dh/dx) بیشتر بوده و لذا اثر جریان‌های چرخشی در اختلاط آب ساکن بیشتر است. به عبارت دیگر با افزایش شیب، شیرجه‌ی جریان غلیظ به زیر آب ساکن شدیدتر بوده و بنابراین با قدرت بیشتری می‌تواند آب ساکن را به درون خود بکشد.

نتیجه گیری

در این تحقیق رابطه بین شدت اختلاط جریان غلیظ زیرگذر و عوامل موثر، در آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا رابطه شدت اختلاط و عدد ریچاردسون که خود تابعی از سرعت متوسط و جرم مخصوص و ارتفاع جریان می‌باشد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد در ناحیه‌ی غوطه‌وری نیز همانند بدنه جریان یک رابطه توانی به صورت زیر برقرار است:

$$Ew = 0.017 Ri^{-0.196} \quad (15)$$

برای ارزیابی اثر شیب کف بر میزان کشش، شکل کشش در هر شیب ترسیم و با مقایسه آنها، افزایش مقدار شدت اختلاط با افزایش شیب مشاهده شد. لذا با انجام تحلیل آماری و رگرسیون غیرخطی در نرم‌افزار SPSS نهایتاً رابطه مربوطه به صورت رابطه زیر استخراج گردید:

$$Ew = 0.03(Ri)^{-0.178} (S)^{0.252} \quad (16)$$

منابع:

- اورک مندنی زاده، م. و خانجانی، م. ج. (1387). بررسی آزمایشگاهی جریان‌های غلیظ رسوبی در مخازن سدها. هفتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه شهید عباسپور، تهران، ایران، ص، 21-23.
- بهرامی، ح. (1388). بررسی پدیده پرش هیدرولیکی در جریان‌های غلیظ. رساله دکتری سازه‌های آبی. دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، ص، 59-28.
- ترابی پوده، ح. (1387). بررسی جریان‌های غلیظ در همگرایی‌ها و واگرایی‌ها. رساله دکتری سازه‌های آبی. دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، ص، 352-245.
- حقی آبی، ا. (1383). بررسی اثر شیب کف بر پروفیل‌های سرعت و غلظت جریان‌های غلیظ. رساله دکتری سازه‌های آبی. دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، ص، 86-79.

شهینی کرم زاده، ن. (1383). بررسی آزمایشگاهی کشش آب ساکن در جریان های غلیظ. پایان نامه کارشناسی ارشد سازه های آبی. دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز. ص، 45-87.

قمشی ، م. (1376). بررسی آزمایشگاهی حرکت جریان های غلیظ. مجموعه مقالات اولین کنفرانس هیدرولیک ایران. ص 260-249.

کوتی. ف. (1389). بررسی کشش آب ساکن به درون راس جریان های غلیظ. نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه تربیت مدرس، تهران. ص، 24-25.

مرادی ا. (1390). مطالعه آزمایشگاهی کشش آب ساکن توسط جریان های غلیظ در کانال های همگرا. پایان نامه کارشناسی ارشد سازه های آبی. دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز. ص، 76-82.

Alavian, v. Et all. (1992). density current entering lakes and reservoirs, journal of engineering. , 63. (55), pp: 1464–1489.

Altenakar, m. (1988). Weakly Depositing Turbidity Currents On Small Slopes. Ph.D thesis, University of EPFL, Switzerland.

Ashida, K., Egashira ,S. (1995). Basic study on turbidity currents. Proceedings of Japan Society of -CivillEngineers, Tokyo, Vol. 237, pp:37 - 50, 1975.

Chikita, K. (1990) .Sedimentation by river – induced Turbidity currents. field measurements and Interpretation. Sedimentology, vol. 37, pp. 891 - 905.

Daly, R.A. (1936). Origin of submarine canyons. American Journal of Science, vol. 31, pp:401-420.

Ellison ,t.h., Turner, j.s. (1959). Turbulent Entrainment In Stratified Flow. Journal of Fluid Mechanics. Vol. 6, No. 3, pp: 423.

Fleenor, w. E. (2001). Effects and control of plunging inflow on reservoir, hydrodynamics and downstream releases. Edl. Engr. Ucdavis. Edu. Dissertation-fleenor. pdf.

Fukushima y., Parker G., Pantin H.M.(1985). Prediction of ignitive turbidity currents in Scripps submarine canyon, Marine Geology, vol.67, pp:55-8.

Ford, d.e and Johnson , m.c. (1981). Field observation of density currents in impoundment. Asce proceedings, symposim on surface water impoundments, minneapolis, mn..pp: 1239-1248.

Ghomeshi, M. (1995). Reservoir sedimentation modeling, Ph.D. Thesis, University of Wollongong, Australia.

Hebbert, b. et al. (1979). Collie river underflow into the wellington reservoir. Proceeding of asce. vol. 105, on. Hy5, pp:533-545.

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, pp:59-68.

Parker G, et al. (1987). Experiments on turbidity currents over an erodible bed. *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 25, No. 1.

Turner, J.S. (1973). Buoyancy effects in fluids, Cambridge University Press, Cambridge, England