

بررسی تاثیر تغییرات پارامترهای شیب، دبی و غلظت، بر شدت اختلاط جریان غلیظ در مقاطع همگرا

ایوب مرادی^{1*}، مهدی قمشی² و بهنام سروری نژاد³

(1) دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.

(2) استاد، گروه سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.

(3) دانشجوی دکتری، گروه سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.

* نویسنده مسئول مکاتبات: Ayoobmoradi@yahoo.com

تاریخ پذیرش: 90/08/29

تاریخ دریافت: 90/06/26

چکیده

سدسازی از هزاران سال قبل از میلاد، فنی شناخته شده بود و انسان همواره با کمک آن سعی در حفظ و بهره‌برداری از منابع آب‌های سطحی داشته است. ولی معضل رسوب گذاری همواره به عنوان مهم ترین عامل، در کوتاه کردن عمر مفید سدها مطرح بوده است و سدهای مخزنی زیادی بدلیل پرشدن از رسوب، متروکه شده اند. یکی از مهمترین پدیده‌ها در رسوبگذاری مخازن، جریان‌های غلیظ می باشند که باید نقش 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. لذا در این تحقیق، تاثیر تغییرات پارامترهای دبی، شیب و غلظت، روی شدت اختلاط جریان غلیظ و آب ساکن در مقاطع همگرا، در یک فلوم با شیب کف قابل تغییر، عرض 72/5 سانتی متر، عمق 60 سانتی متر و طول 6 متر در سه زاویه همگرایی 8، 16 و 25 درجه در آزمایشگاه مدل‌های هیدرولیکی دانشگاه شهید چمران اهواز پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهند با افزایش پارامترهای دبی و شیب، شدت اختلاط جریان غلیظ، افزایش یافته و با افزایش غلظت، از مقدار آن کاسته می‌شود و در نهایت برای شدت اختلاط در هر یک از زوایای همگرا، رابطه‌ای ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: شدت اختلاط، جریان غلیظ، مقاطع همگرا، رسوب‌گذاری، مخازن سدها.

مقدمه

جریان‌های غلیظ، جریان‌های پیوسته‌ای هستند که به خاطر داشتن چگالی بیشتر، نسبت به سیال ساکن محیطی، در اثر نیروی ثقل بر روی کف بستر، حرکت می‌کنند. اختلاف چگالی بین جریان غلیظ و محیط، می‌تواند به خاطر اختلاف درجه حرارت، مواد شیمیایی، مواد محلول و یا مواد جامد معلق باشد. در طبیعت نمونه‌های بسیاری از جریان‌های غلیظ یافت می‌شود که فعالیت‌های انسان نیز بر انواع آنها افزوده است. مواردی چون سقوط بهمن‌ها، سرازیر شدن گدازه‌های آتشفشان، جبهه‌های هوای سرد و گرم و تندرهای²¹ و گرد و غبار، همگی نمونه‌هایی طبیعی از این گونه جریان‌ها می‌باشند. با اینکه الگوی حرکت جریان غلیظ تاکنون توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته است، اما ساختار آن در مقاطع همگرا، کمتر مورد توجه قرار گرفته و بیشتر تحقیقات بر روی جریان غلیظ در مقاطع ثابت و یا واگرا انجام شده است.

تعریف جریان‌های غلیظ

اصولاً جریان‌های غلیظ یا چگال²² به جریان‌هایی گفته می‌شود که سیالی، درون سیال دیگر، با چگالی متفاوت حرکت کند. در این حالت نیروی ثقل که عامل حرکت این گونه جریان‌ها می‌باشد دارای شتابی کمتر از شتاب ثقل زمین (9/81) است. این میزان در رابطه (1) تعریف شده است:

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

در این رابطه g' شتاب ثقل کاهش یافته، g شتاب ثقل زمین (9/81)، ρ_d ، ρ_a به ترتیب، جرم مخصوص سیال پیرامون و سیال غلیظ می‌باشند.

شتاب ثقل کاهش یافته در جریان‌های کدر (حاوی مواد معلق)، به صورت رابطه زیر تعریف می‌گردد:

$$g' = g \left(\frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_a} \right) C_s = gRC_s \quad (2)$$

بر اساس اختلاف چگالی، جریان غلیظ، ممکن است به صورت زیرگذر، روگذر و یا میان گذر اتفاق بیافتد.

در جریان غلیظ، عدد فرود به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

²¹ - Thunder Storm

²² - Density Currents

$$Fr_d = \frac{U}{\sqrt{g'h \cos \theta}} \quad (3)$$

که Fr_d عدد فرود دنسیومتریکی، U سرعت متوسط، h عمق جریان و θ زاویه بستر با افق می‌باشند. مجذور عکس عدد فرود دنسیومتریکی را، عدد ریچاردسون می‌نامند که با رابطه (4) تعریف می‌گردد:

$$Ri = \frac{g'h \cos \theta}{U^2} \quad (4)$$

به دلیل وجود هاله‌ای از جریان غلیظ در مرز مشترک، محل دقیق مرز و در نتیجه ارتفاع بدنه جریان، قابل تشخیص نمی‌باشد. Ellison, Turner, در سال 1959 روابط زیر را برای استخراج ارتفاع و سرعت متوسط بدنه جریان ارائه نموده‌اند:

$$\bar{h} = \frac{\left(\int_0^\infty u dz \right)^2}{\int_0^\infty u^2 dz} = \frac{\left(\int_0^{h_i} u dz \right)^2}{\int_0^{h_i} u^2 dz} \quad (5)$$

$$\bar{U} = \frac{\int_0^\infty u^2 dz}{\int_0^\infty u dz} = \frac{\int_0^{h_i} u^2 dz}{\int_0^{h_i} u dz} \quad (6)$$

در این روابط \bar{h} ارتفاع بدنه، \bar{U} سرعت متوسط، u سرعت نقطه‌ای، h_i ارتفاعی که در آن سرعت صفر است می‌باشند.

شدت اختلاط جریان غلیظ و سیال ساکن پیرامون آن را که با (E_w) نشان داده می‌شود، ناشی از ناپایداریهای حد فاصل جریان غلیظ و سیال ساکن بوده و به صورت نسبت سرعت اختلاط (W_h) به سرعت متوسط بدنه جریان غلیظ (U) تعریف می‌شود (Turner, 1973).

$$\frac{\partial U h}{\partial x} = E_w U = W_h \quad (7)$$

رابطه فوق را می‌توان بصورت تفاضل محدود به صورت زیر نوشت:

$$(E_w)_{j-j+1} = \left[\frac{2}{U_{j+1} + U_j} \right] \left[\frac{q_{j+1} - q_j}{x_{j+1} - x_j} \right] \quad (8)$$

که در آن j و $j+1$ بیانگر دو مقطع متوالی می‌باشند.

مروری بر تحقیقات پیشین

در زمینه اختلاط سیال پیرامون به درون بدنه جریان غلیظ، مطالعات مفیدی توسط محققین صورت پذیرفته است. اکثر این مطالعات به دنبال رابطه‌ای جهت برآورد میزان E_w می‌باشند. Turner, Ellison در سال ۱۹۵۹ به صورت تئوری و تجربی توانستند رابطه‌ای برای اختلاط سیال پیرامون و جریان غلیظ بدست آورند. این دو با انجام آزمایشات آب و محلول نمک با فرض اینکه شدت اختلاط، متناسب با سرعت جریان غلیظ می‌باشد، روابط زیر را ارائه نمودند:

$$\frac{dh}{dx} = f(Ri) \quad (9)$$

$$Ri = \frac{g'h \cos \theta}{U^2} \quad (10)$$

در این روابط h ارتفاع جریان غلیظ، g' شتاب ثقل کاهش یافته، θ زاویه کف، U سرعت جریان غلیظ، $\frac{dh}{dx}$ رشد ارتفاع جریان غلیظ یا همان شیب پروفیل سطح جریان غلیظ و $f(Ri)$ تابع عدد ریچاردسون می‌باشند.

این مطالعه بیشتر جنبه تئوریک و مطالعاتی داشت و در سال‌های بعد محققین دیگر از نتایج آنان استفاده نمودند. آزمایشات انجام شده توسط Parker و همکاران در سال ۱۹۹۳ یک نمونه موفق از مطالعات آزمایشگاهی می‌باشد که مبنای تحقیقات نظری و عددی بسیاری از محققین قرار گرفته است. Dallimore و همکاران در سال ۲۰۰۱ با گسسته سازی معادلات به روش اختلاف محدود^{۲۳} و با استفاده از اندازه‌گیری‌های انجام شده توانستند مقدار ضریب شدت اختلاط آب E_w را محاسبه نموده و رابطه‌ای برای روند کلی تغییرات این ضریب نشان دهند. آنها با انجام آزمایشهایی روی بدنه جریان غلیظ و استفاده از داده‌های سایر محققین پیشین، رابطه‌ای را برای شدت اختلاط ارائه کردند. این رابطه چنین است:

$$E_w = \frac{0.075}{(1 + 718Ri^{2.4})^{0.5}} \quad (11)$$

سایر محققین نیز در مطالعه جریان غلیظ، روابطی را برای شدت اختلاط ارائه نمودند که اغلب آنها پارامتر مستقل را عدد ریچاردسون در نظر گرفته‌اند. در بسیاری از تحقیقات، مقدار E_w ، عموماً به صورت تابعی از عدد ریچاردسون با فرمول کلی زیر بیان شده است:

$$E_w = \frac{a}{b + cR_i^d} \quad (12)$$

ضرایب C, b, a و d ضرایب تجربی بوده که از طریق آزمایشات بدست آمده و مقادیر متفاوتی نیز داشته اند. برخی از معادلات بدست آمده حاصل نتایج محققین مختلف در جدول (1) آمده است.

جدول 1: خلاصه‌ای از نتایج آزمایشگاهی محققین در زمینه ارتباط شدت اختلاط و عدد ریچاردسون

رابطه ارائه شده	نام محقق
$E_w = \frac{0.0015}{Ri}$	Ashida, Egashira(1975)(۱۳)
$E_w = \frac{0.00153}{0.0204 Ri}$	Fukushima et.at(1985) (۱۴)
$E_w = \frac{0.0075}{(1 + 718 Ri^{2.4})^{0.5}}$	Parker et al(1987)(۱۵)
$E_w = 0.0087 \exp(-0.106 / Ri)$	Chikita(1990)(۱۶)
$E_w = \frac{0.0024}{Ri^{1.06}}$	Ghomeshi(1995) (۱۷)
$E_w = 0.0023(Ri)^{-1.0243}$	Haghiabi(2004)(۱۸)
$E_w = 0.0021(Ri)^{-1.1238}$	Karamzadeh(2005)(۱۹)
$E_w = 0.0017(Ri)^{-1.042}$	Ghasemi(2007)(۲۰)
$E_w = 0.0033(Ri)^{-0.9301}$	Torabi(2007)(۲۱)

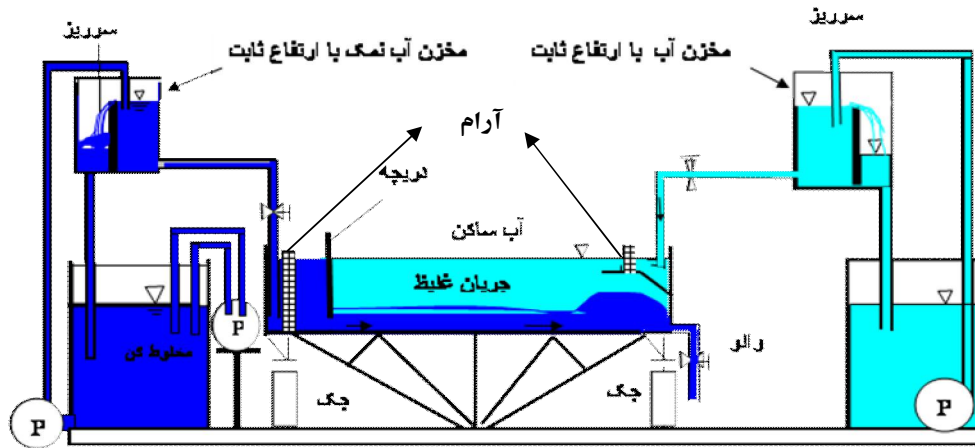
مواد و روش‌ها

آزمایشات در یک فلوم با شیب کف قابل تغییر، عرض 72/5 سانتی متر، عمق 60 سانتی متر و طول 6 متر در آزمایشگاه مدل های هیدرولیکی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. تجهیزات و تمهیدات دیگری نیز برای تهیه سیال غلیظ و کنترل حالت ماندگار آن در طول آزمایشات در نظر گرفته شده بود. فلوم و تجهیزات موجود در شکل (1) به صورت شماتیک نشان داده شده است. قبل از شروع آزمایشات، همه ابزارهای اندازه‌گیری به نحو مناسب آماده و فلوم از آب معمولی پر می‌شد. در مجاورت فلوم،

یک مخزن اختلاط مجهز به پمپ مخلوط کن، جهت تهیه و ذخیره جریان غلیظ، در نظر گرفته شده بود. برای تهیه سیال غلیظ، نمک (نمک طعام) با آب در مخزن اختلاط مخلوط می‌شد. سیال غلیظ تولید شده از طریق خط لوله و با شدت ثابت، از مخزن اختلاط به یک منبع با ارتفاع ثابت (هد تانک) پمپاژ می‌شد و سپس از تانک، توسط یک سیستم لوله و شیر فلکه به داخل فلوم هدایت می‌گردید. دبی جریان غلیظ ورودی به فلوم با استفاده از یک شیر فلکه تنظیم می‌شد. انتهای بالادست فلوم با استفاده از یک صفحه، مسدود شده بود.

تمام طول فلوم به وسیله یک دریچه جداکننده کشویی، به دو بخش با طول متفاوت تقسیم شد. بخش کوتاهتر در بالادست، نقش تانک اصلی را برای سیال غلیظ مولد جریان غلیظ ایفا می‌کرد. بخش طولیتر، در پایین دست، نقش مخزن را داشت که جریان غلیظ از زیر آن حرکت می‌کرد و در واقع بازه مورد آزمایش بود. جهت کاهش مومنتم و تلاطم جریان، در بالادست، دریچه جداکننده یک سازه آرام کننده جریان تعبیه شد. دریچه ورودی، یک عمق اولیه را برای جریان ایجاد می‌نمود. سپس با بالا بردن دریچه ورودی، جریان غلیظ، وارد مخزن آب می‌شد و در زیر توده، آب ساکن به سمت پایین دست حرکت می‌کرد و در پایین با استفاده از سیستم زهکش، جریان غلیظ به خارج از آزمایشگاه تخلیه می‌شد. در طول آزمایش، آب معمولی به آزمایش اضافه می‌شد 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 می‌شد. در نظر گرفتن تانک با سطح آب ثابت جهت آب معمولی، 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 می‌شد تا باعث ایجاد تلاطم در آب ساکن نشود. در انتهای پایین دست فلوم، یک شیر فلکه رقوم آب، در فلوم را کنترل می‌نمود. در این تحقیق برای اندازه‌گیری سرعت بدنه جریان غلیظ از دستگاه سرعت‌سنج DOP2000 که به روش آکوستیک، عمل اندازه‌گیری پروفیل سرعت را انجام می‌دهد استفاده شد. در هر زاویه، همگرایی پروفیل سرعت، در سه مقطع یعنی ابتدا، وسط و انتهای مقطع همگرا، ثبت می‌گردید. سپس با استفاده از نرم‌افزار Excel، پروفیل سرعت، در هر مقطع، رسم و با استفاده از روابط (5) و (6) ارتفاع و سرعت جریان غلیظ، محاسبه و با داشتن این مقادیر و عرض فلوم در هر مقطع، دبی جریان غلیظ به دست می‌آمد.

در شکل 5: نمایی از یک مقطع همگرایی ایجاد شده نشان داده شده است.



شکل ۱: نمای شماتیک از مدل آزمایشگاهی



شکل ۲: نمایی از یک مقطع همگرای ایجاد شده در داخل فلوم

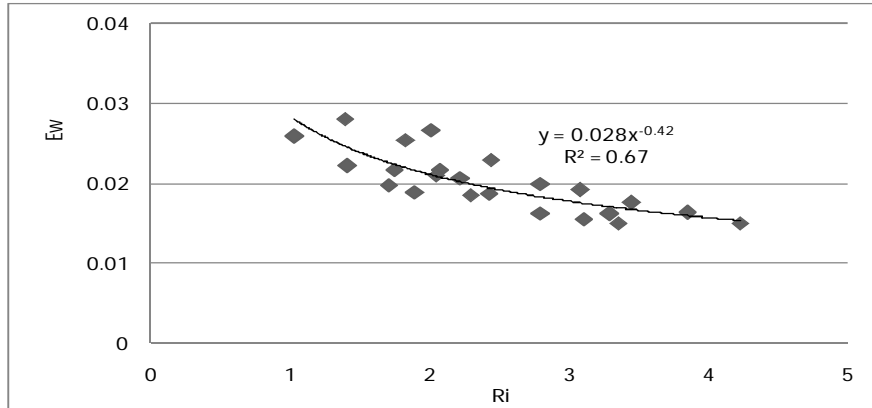
نتایج و بحث

همان‌طور که گفته شد به منظور محاسبه ارتفاع و سرعت جریان غلیظ از روابط (5) و (6) استفاده شد. عدد ریچاردسون نیز از رابطه (4) و شدت اختلاط از رابطه (8) بدست آمد. در جدول (2) مقادیر شدت اختلاط و عدد ریچاردسون بدست آمده از آزمایشات در سه زاویه همگرایی به ازای شیب، غلظت و دبی‌های مختلف نشان داده شده و در شکل‌های (3)، (4) و (5) این مقادیر در مقابل همدیگر رسم شده‌اند.

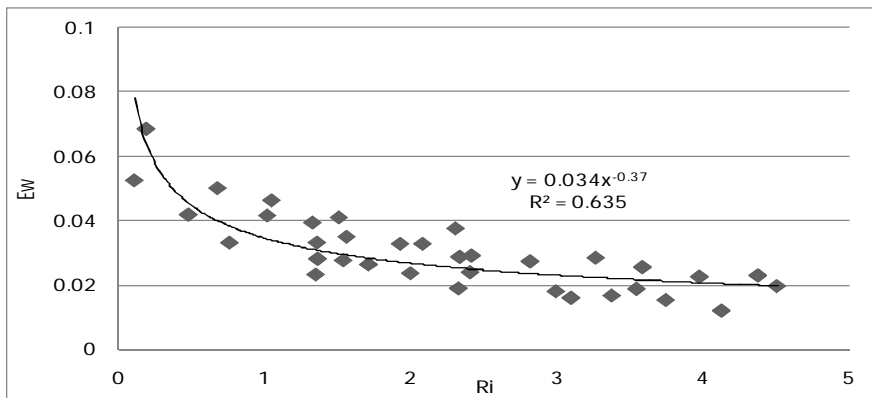
جدول ۲: مقادیر شدت اختلاط در سه زاویه همگرایی ۸، ۱۶ و ۲۵ درجه

مقطع همگرایی ۸ درجه					مقطع همگرایی ۱۶ درجه					مقطع همگرایی ۲۵ درجه				
Ew	Ri	S	C	Q	Ew	Ri	C	S	Q	Ew	Ri	C	S	Q
0.0176	3.4444	0.009	25	0.58	0.0153	3.75	10	0.00	0.58	0.0405	2.21	16	0.00	0.58
0.015	4.223	0.009	25	0.58	0.0263	1.7137	10	0.00	0.58	0.0602	1.0581	16	0.00	0.98
0.0151	3.35	0.009	25	0.58	0.016	3.1012	10	0.00	0.98	0.0479	1.9887	25	0.00	0.58
0.0164	3.8452	0.009	25	0.98	0.0393	1.33	10	0.00	0.98	0.0435	1.9074	16	0.00	0.98
0.0192	3.0804	0.009	10	0.98	0.0232	1.3521	10	0.00	1.28	0.0478	2.23	25	0.00	0.58
0.0162	3.29	0.009	25	0.58	0.0276	1.54	10	0.00	1.28	0.0496	1.64	16	0.00	0.98
0.0206	2.2168	0.016	10	0.98	0.0167	3.38	16	0.00	0.58	0.0753	0.7968	16	0.01	1.28
0.0198	1.7054	0.016	10	0.98	0.0236	2	16	0.00	0.58	0.0611	0.8131	10	0.01	1.28
0.0217	2.0649	0.016	10	0.98	0.012	4.13	16	0.00	0.98	0.1125	0.0700	10	0.01	1.28
0.0185	2.29	0.016	16	0.98	0.0349	1.5632	16	0.00	0.98	0.1023	0.12	10	0.01	1.28
0.0189	1.8923	0.016	16	0.98	0.0187	3.5495	16	0.00	1.28	0.0645	0.6744	16	0.01	0.58
0.0281	1.391	0.016	10	1.28	0.0327	2.0840	16	0.00	1.28	0.1129	0.1093	10	0.01	1.28
0.0222	1.408	0.016	16	0.98	0.0238	2.4091	25	0.00	0.58	0.054	0.544	10	0.01	1.28
0.0267	2.0100	0.016	10	1.28	0.018	2.9973	25	0.00	0.98	0.0699	0.3537	10	0.01	1.28
0.0217	1.74	0.016	16	1.28	0.0281	1.3655	10	0.01	0.98	0.0528	1.722	25	0.01	0.58
0.0259	1.03	0.016	10	1.28	0.05	0.68	10	0.01	1.28	0.0694	0.7085	10	0.01	0.98
0.0255	1.825	0.016	10	1.28	0.0327	1.93	16	0.01	0.58	0.0617	2.14	25	0.01	0.58
0.0188	2.4185	0.012	16	0.58	0.0462	1.05	16	0.01	0.58	0.0669	0.5640	16	0.01	0.98
0.021	2.04	0.012	10	0.98	0.0229	4.38	16	0.01	0.98	0.064	1.6206	16	0.01	1.28
0.02	2.79	0.012	16	0.98	0.0225	3.98	25	0.01	0.58	0.0535	1.81	10	0.01	0.58
0.023	2.43	0.012	16	1.28	0.0291	2.42	25	0.01	0.58	0.0407	2.0808	25	0.01	0.58
0.0162	2.7921	0.012	16	0.58	0.0284	3.27	10	0.01	0.58	0.0571	1.426	25	0.01	0.98
0.0156	3.1	0.012	25	0.98	0.0330	0.7618	10	0.01	0.58					
					0.0287	2.3385	10	0.01	0.98					
					0.0418	0.48	10	0.01	0.98					
					0.0273	2.82	10	0.01	1.28					
					0.0684	0.19	10	0.01	1.28					
					0.0189	2.33	16	0.01	0.58					
					0.0196	4.51	16	0.01	0.98					
					0.0415	1.02	16	0.01	0.98					
					0.0331	1.36	16	0.01	1.28					
					0.0375	2.31	25	0.01	0.58					
					0.0255	3.5896	25	0.01	0.98					
					0.0408	1.5112	25	0.01	0.98					
					0.0524	0.11	25	0.01	1.28					

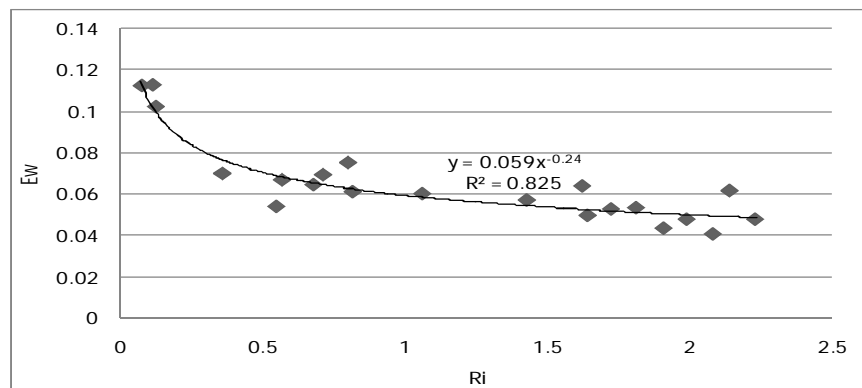
1- Q (lit/s), C(gr/lit), S(m/m)



شکل 3: رابطه بین شدت اختلاط و عدد ریچاردسون در بدنه در همگرایی 8 درجه

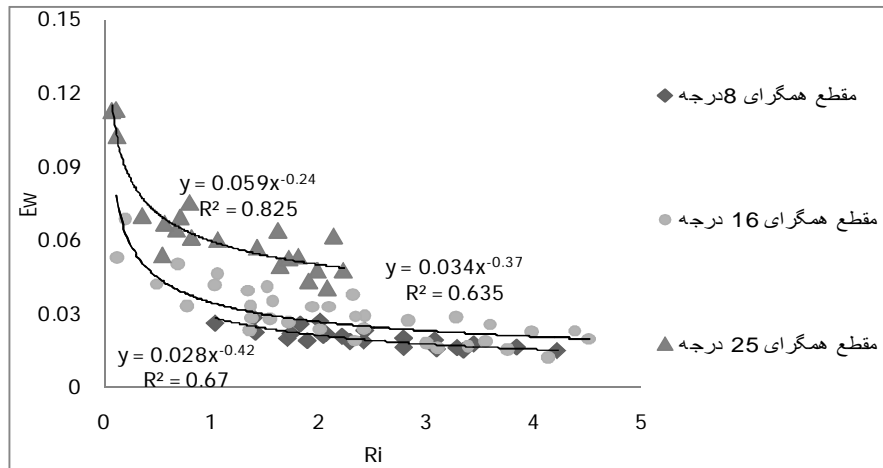


شکل 4: رابطه بین شدت اختلاط و عدد ریچاردسون در بدنه در همگرایی 16درجه



شکل 5: رابطه بین شدت اختلاط و عدد ریچاردسون در بدنه در همگرایی 25درجه

با توجه به نمودارهای فوق، نتایج بدست آمده از این آزمایشات، با نتایج محققین پیشین، همخوانی دارد. یعنی با افزایش عدد ریچاردسون، از میزان شدت اختلاط کاسته می‌شود. اما برای مقایسه تغییرات شدت اختلاط با تغییر زاویه همگرایی در شکل (6) سه نمودار فوق با هم مقایسه شدند.

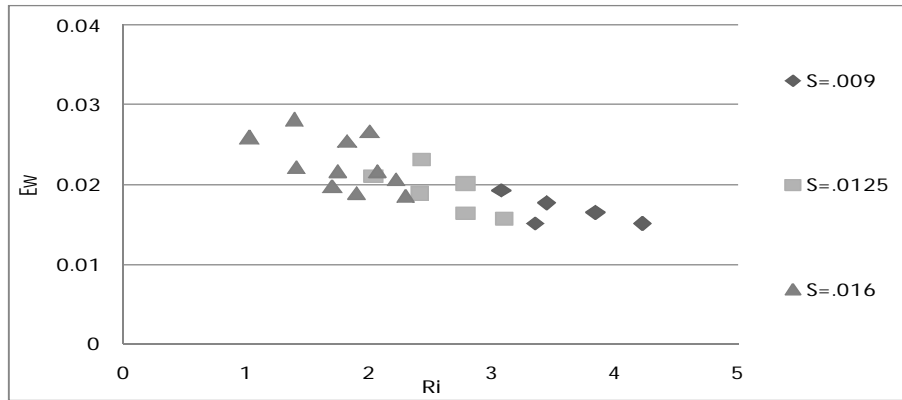


شکل 6: مقایسه رابطه بین شدت اختلاط و عدد ریچاردسون در بدنه در سه زاویه همگرا

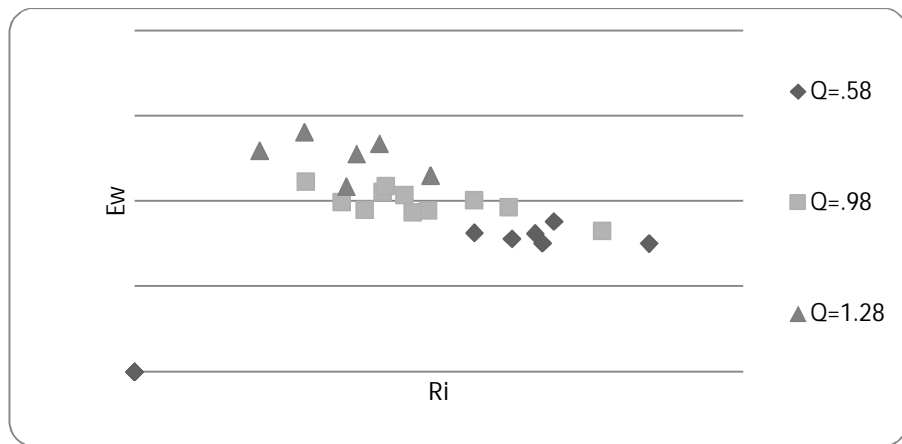
همان‌طور که در این شکل مشخص است با افزایش زاویه همگرایی بر میزان شدت اختلاط افزوده می‌شود. این موضوع را می‌توان ناشی از این دانست که در هر سه زاویه همگرایی، عرض فلوم از $72/5$ سانتی‌متر به 20 سانتی‌متر کاهش می‌یافت. در نتیجه با افزایش زاویه همگرایی، از طول بازه کاسته شده و تغییرات مورد نظر، در طول کم‌تری رخ می‌داد که باعث تلاطم جریان و افزایش شدت اختلاط می‌شد.

بررسی تأثیر پارامترهای دبی، شیب و غلظت بر میزان شدت اختلاط در زاویه همگرایی 8 درجه

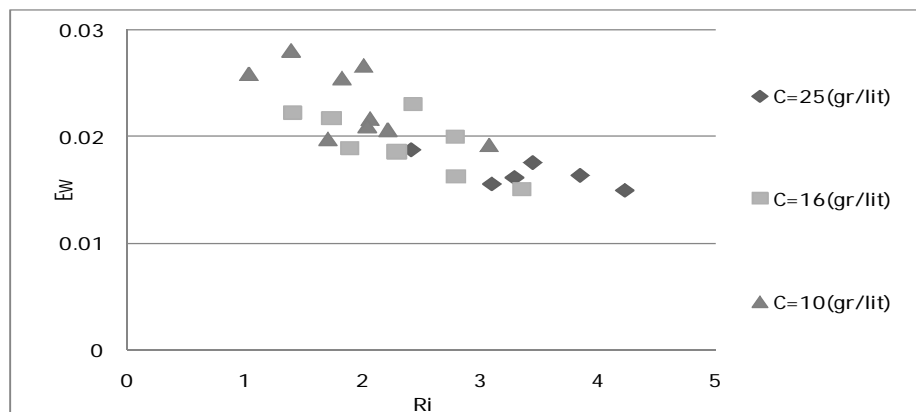
شکل‌های (7)، (8) و (9) به ترتیب نشان دهنده تاثیر شیب، دبی و غلظت بر شدت اختلاط جریان غلیظ و آب ساکن می‌باشند.



شکل 7: اثر شیب بر شدت اختلاط در زاویه همگرایی 8 درجه



شکل 8: اثر دبی بر شدت اختلاط در زاویه همگرایی 8 درجه

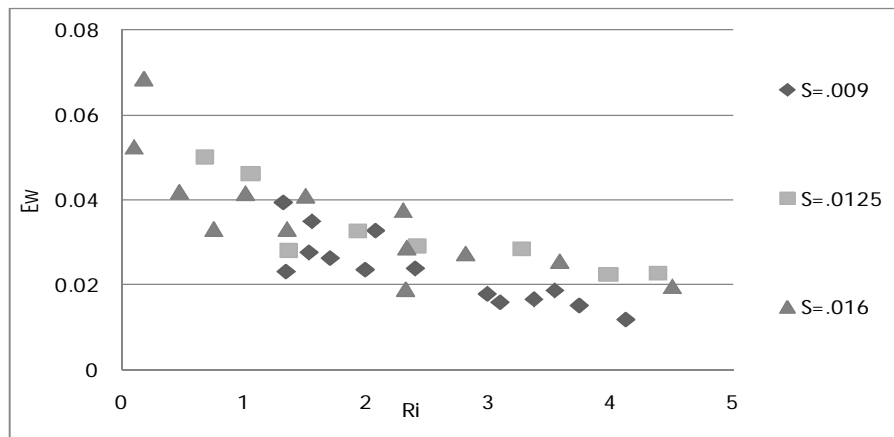


شکل 9: اثر غلظت بر شدت اختلاط در زاویه همگرایی 8 درجه

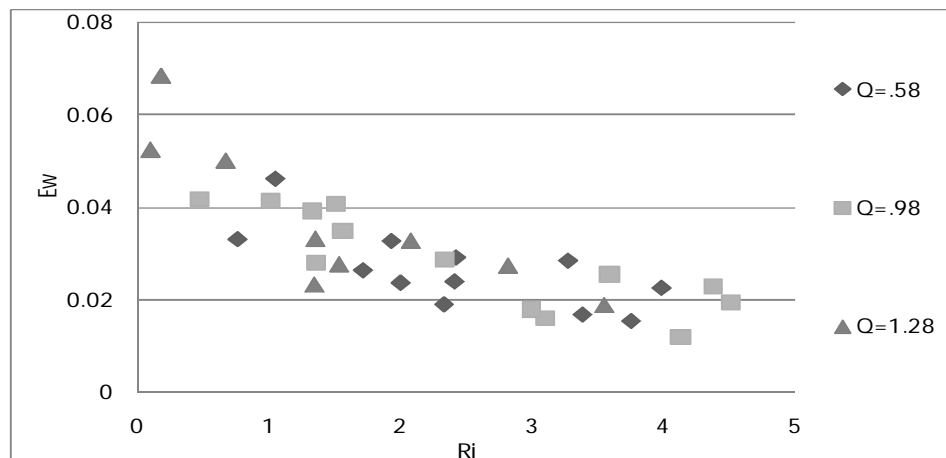
همان‌طور که دیده می‌شود در شکل‌های (7) و (8) با افزایش شیب و دبی، شدت اختلاط جریان غلیظ و سیال ساکن پیرامون آن افزایش یافته است. که دلیل آن نیز افزایش سرعت بدنه جریان غلیظ در اثر افزایش دبی و شیب می‌باشد. اما در شکل (9) با افزایش غلظت از میزان شدت اختلاط کاسته شده که دلیل آن افزایش لزجت جریان غلیظ با افزایش غلظت می‌باشد.

بررسی تأثیر پارامترهای دبی، شیب و غلظت بر میزان شدت اختلاط در زاویه همگرایی 16 درجه

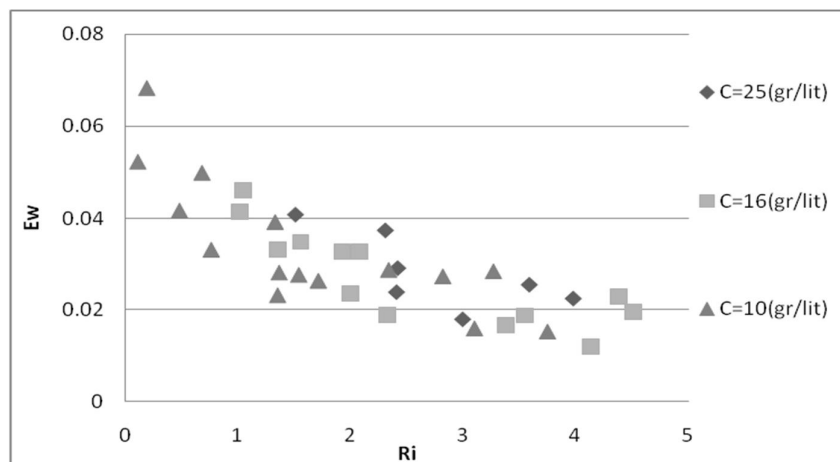
شکل‌های (10)، (11) و (12) نشان دهنده تأثیر شیب، غلظت و دبی بر شدت اختلاط می‌باشند.



شکل 10: اثر شیب بر شدت اختلاط در زاویه همگرایی 16 درجه



شکل 11: اثر دبی بر شدت اختلاط در زاویه همگرایی 16 درجه

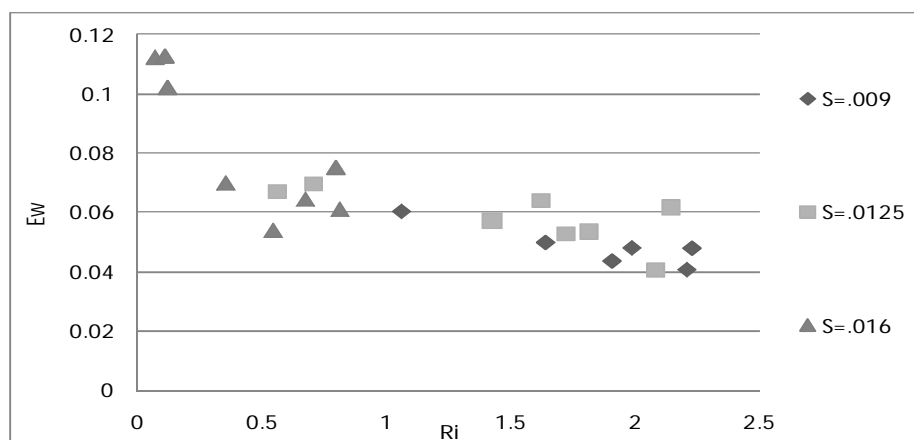


شکل 12: اثر غلظت بر شدت اختلاط در زاویه همگرایی 16 درجه

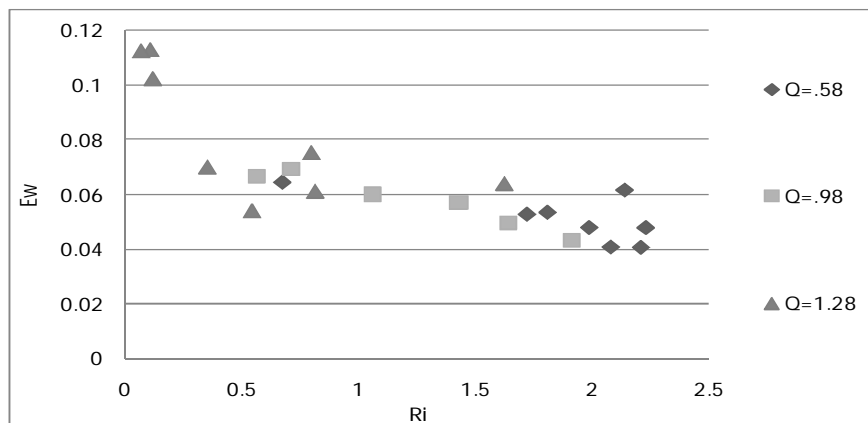
توجه به شکل‌های (10) و (11) نشان می‌دهد که با افزایش شیب و دبی، به دلیل افزایش سرعت بدنه جریان غلیظ، شدت اختلاط، جریان غلیظ و سیال ساکن پیرامون آن افزایش یافته و در شکل (12) با افزایش غلظت از میزان شدت اختلاط، کاسته می‌شود. دلیل آن هم افزایش لزجت سیال با افزایش غلظت می‌باشد.

بررسی تأثیر پارامترهای دبی، شیب و غلظت بر میزان شدت اختلاط در زاویه همگرایی 25 درجه

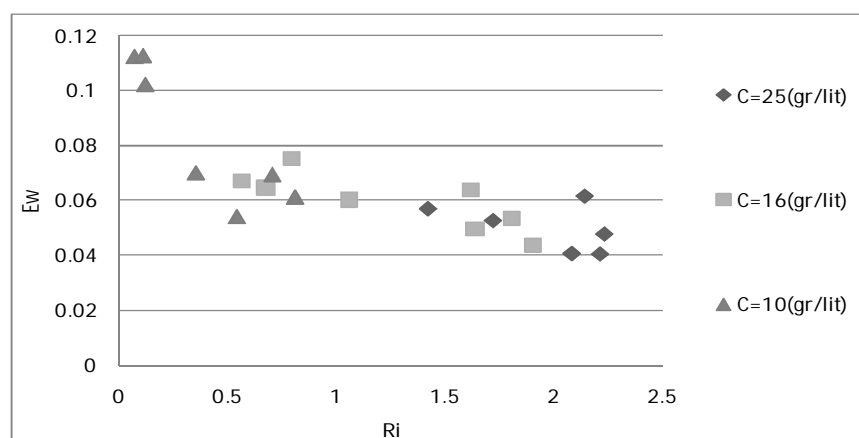
شکل‌های (13)، (14) و (15) نشان دهنده تاثیر شیب، دبی و غلظت، بر شدت اختلاط در زاویه همگرایی 25 درجه می‌باشند.



شکل 13: اثر شیب بر شدت اختلاط در زاویه همگرایی 25 درجه



شکل ۱۴: اثر دبی بر شدت اختلاط در زاویه همگرایی ۲۵ درجه



شکل ۱۵: اثر غلظت بر شدت اختلاط در زاویه همگرایی ۲۵ درجه

همان طور که دیده می‌شود در این حالت نیز همانند زوایای ۸ و ۱۶ درجه، با افزایش پارامترهای شیب و دبی، بر میزان شدت اختلاط جریان غلیظ و سیال ساکن پیرامون آن افزوده شده و با افزایش غلظت، از میزان آن کاسته شده است.

ارائه رابطه شدت اختلاط در مقاطع همگرا

آزمایشات اندازه‌گیری شدت اختلاط، در سه مقطع همگرا با زوایای ۸، ۱۶ و ۲۵ درجه انجام گردید. همان طور که گفته شد سرعت، در بدنه جریان غلیظ در ابتدا، وسط و انتهای مقاطع، اندازه‌گیری و سپس شدت اختلاط و عدد ریچاردسون بر اساس روابط مربوطه محاسبه می‌شد. در تمام آزمایشات، شدت اختلاط با متوسط عدد ریچاردسون مرتبط گردید.

با توجه به نمودارهای (3)، (4)، و (5) و روابط ارائه شده توسط محققین پیشین در این قسمت سعی گردید تا روابطی مشابه، برای شدت اختلاط در هر زاویه همگرایی ارائه گردد. بر این اساس و با توجه به نتایج ارائه شده نمودارهای مذکور، روابط (14)، (15) و (16) برای اختلاط جریان غلیظ بدست آمد.

$$E_w = 0.028 / Ri^{0.42} \quad R^2 = 0.67 \quad \text{زاویه همگرایی 8 درجه} \quad (14)$$

$$E_w = 0.034 / Ri^{0.37} \quad R^2 = 0.635 \quad \text{زاویه همگرایی 16 درجه} \quad (15)$$

$$E_w = 0.058 / Ri^{0.25} \quad R^2 = 0.825 \quad \text{زاویه همگرایی 25 درجه} \quad (16)$$

نتیجه گیری

در بررسی پارامترهای شیب، دبی و غلظت، بر شدت اختلاط در هر زاویه نتایج زیر بدست آمد:

(1) در بررسی اثر شیب بر شدت اختلاط، مشاهده گردید که با افزایش شیب، به دلیل افزایش ترم $g' \sin \theta$ ، جریان چگال قوی‌تری حاصل خواهد شد که سرعت میانگین و ماکزیمم آن افزایش و در نتیجه آن، شدت اختلاط نیز افزایش یافته و اثر تغییرات آن بر شدت اختلاط در غلظت‌های بالاتر بیشتر می‌باشد.

(2) در مطالعه اثر تغییرات دبی بر شدت اختلاط نیز مشاهده گردید که با افزایش دبی، به دلیل اضافه شدن مؤلفه وزن ظاهری، سرعت ماکزیمم افزایش یافته و شدت اختلاط نیز افزایش می‌یابد.

(3) در بررسی اثر تغییرات غلظت ملاحظه گردید که با افزایش غلظت، شدت اختلاط جریان غلیظ و سیال ساکن، کاهش می‌یابد که دلیل آن نیز افزایش لزجت سیال با افزایش غلظت می‌باشد.

(4) در مقایسه شدت اختلاط در مقاطع همگرا با تغییر زاویه همگرایی، مشاهده شد که با افزایش زاویه همگرایی، بر میزان شدت اختلاط افزوده می‌شود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از تمامی اساتید و پرسنل دانشکده مهندسی علوم آب که در طول انجام آزمایشات ما را یاری نمودند قدردانی می‌شود.

منابع

- مرکز تحقیقات منابع آب ایران. (۲۰۰۲). اندازه‌گیری پدیده جریانات غلیظ در مخزن سد سازمان آب و برق خوزستان.

- Dallimore, C. Imberger J and Ishikawa T. (2001). Entrainment and turbulence in a saline underflow in lake Okagava. J. of Hydr. Engin, ASCE, 127(11), 937-948.
- Ellison T.H., Turner J.S.(1959). Turbulent entrainment in stratified flow. Journal of Fluid Mechanics, Vol.6, No. 3,pp. 423 – 448.
- Garcia M.H., Parker G.(1993). Experiments on the entrainment of sediment into suspension by a dense bottom current. Journal of Geophysical Research, Vol. 98, No. C3, pp. 4793-4807.
- Haghiabi, A.H. (2004). The study of bed slope effect on velocity and concentration profiles of density currents. Ph.D Thesis, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran.