

## بررسی شدت اختلاط جریان غلیظ در مقاطع همگرا و مقایسه آن با مقاطع ثابت و واگرا

سید بهنام سروری نژاد<sup>۱\*</sup>، مهدی قمشی<sup>۲</sup>، محمود بینا<sup>۳</sup>

\* نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز [sbsnsarvari@yahoo.com](mailto:sbsnsarvari@yahoo.com)

۲- استاد گروه سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۳- دانشیار گروه سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ پذیرش: ۹۱/۸/۱۰

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۱/۱۵

### چکیده

جریان غلیظ یکی از مهمترین پدیده‌های مؤثر بر رسوبگذاری و کیفیت آب در مخازن سدها و منابع آب می‌باشد. تغییرات مقاطع رودخانه در مخازن سدها عاملی است که در تغییر هیدرولیک جریان غلیظ، مؤثر می‌باشد. در این تحقیق شدت اختلاط جریان‌های غلیظ در مقاطع همگرا مورد بررسی قرار گرفته است. آزمایش‌های مورد نظر در یک فلوم با شیب متغیر به عرض ۷۲/۵ سانتی‌متر، عمق ۶۰ سانتی متر و طول شش متر در سه زاویه همگرایی ۸، ۱۶ و ۲۵ درجه با دبی و غلظت‌های مختلف در آزمایشگاه مدل‌های هیدرولیکی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شده است. جهت تخمین شدت اختلاط در مقاطع همگرا با زوایای مختلف و با استفاده از نتایج آزمایش‌های این تحقیق و در نهایت با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی محققین قبلی رابطه‌ای کلی برای مقاطع ثابت، همگرا و واگرا ارائه شده است.

کلید واژه‌ها: شدت اختلاط، جریان غلیظ، مقاطع همگرا، مخازن سدها.

## Evaluating the Water Entrainment of Density Current in Converging Reaches and Compare it with Constant and Diverging Reaches

S. B. Sarvari Nezhad<sup>1</sup>, M. Ghomeshi<sup>2</sup>, M. Bina<sup>3</sup>

1- Ph. D. Candidate of Water Structures, Shahid Chamran University of Ahwaz.

2- Professor of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahwaz.

3- Associated Professor of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahwaz.

Received: 4.Feb.2012

Accepted: 1.Nov.2012

### Abstract

Density current is one of the most important phenomena that affect sediment processes and water quality in reservoirs and other water resources. Variation of cross sections in natural channels is inevitable and affects hydraulic parameters of density currents. The recent study evaluates the water entrainment of density currents in converging reaches. The experiments were conducted in a flume with 6.0 m length, 60 cm depth and 72.5 cm width by using three converging degrees (8, 16 and 25) and with different discharges and concentrations in hydraulic modeling laboratory of Shahid Chamran University of Ahwaz. Equations were formulated to estimate the water entrainment in converging reaches with different angles and finally an equation was proposed for converging, constant and diverging reaches using experimental data which were gathered from other researchers.

**Keywords:** Water entrainment, Density current, Converging reaches, Dam reservoirs.

### مقدمه

باشد. از آنجایی که عملاً اختلاف در چگالی و یا در واقع تأثیر شتاب نقل بر روی اختلاف چگالی باعث ایجاد این گونه جریان‌ها می‌شود. لذا

اختلاف در جرم مخصوص که عامل وقوع جریان‌های غلیظ است ممکن است ناشی از مواد معلق، مواد محلول، دما و یا ترکیبی از آنها

$$g' = g \frac{\rho_d - \rho_a}{\rho_a} \quad (۵)$$

در رابطه فوق  $g$ : شتاب ثقل،  $\rho_d$  و  $\rho_a$ : به ترتیب جرم مخصوص سیال محیطی و سیال غلیظ می‌باشد. عدد به دست آمده از رابطه (۴) را عدد فرود دنسیومتریک می‌گویند که در اکثر اوقات به شکل زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

$$\frac{1}{Fr_d^2} = \frac{g'h \cos \theta}{U^2} = Ri \quad (۶)$$

که این تعریف عدد ریچاردسون کلی یا عمومی می‌باشد (ترنر، ۱۹۷۳).

رابطه پیوستگی در فاز مایع در یک جریان غلیظ به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (۷)$$

که در این رابطه  $u$  و  $w$ : به ترتیب سرعت‌های نقطه‌ای در جهت  $x$  و  $z$  می‌باشند.

از آنجا که می‌دانیم اگر  $f(x) = \int_{\alpha(x)}^{\beta(x)} h(x,t) dt$  آنگاه  $f'(x)$  بر اساس قانون لایبنیتز<sup>۲</sup> به صورت زیر خواهد بود:

$$\frac{df}{dx} = f'(x) = \int_{\alpha(x)}^{\beta(x)} \frac{\partial h(x,t)}{\partial x} dt + h(x, \beta(x))\beta'(x) - h(x, \alpha(x))\alpha'(x) \quad (۸)$$

با انتگرال‌گیری از رابطه (۷) نسبت به محور  $z$  (عمق جریان) در فاصله  $(0 \leq z \leq h_t)$ ، رابطه زیر حاصل می‌گردد:

$$\int_0^{h_t} \frac{\partial u}{\partial x} dz + \int_0^{h_t} \frac{\partial w}{\partial z} dz = \left( \frac{\partial}{\partial x} \int_0^{h_t} u dz - u_{h_t} \frac{\partial h_t}{\partial x} \right) + w_{h_t} - w_b = 0 \quad (۹)$$

در این رابطه  $u_{h_t}$  و  $w_{h_t}$ : مؤلفه‌های افقی و عمودی سرعت در مرز مشترک بین دو سیال و  $w_b$ : سرعت عمودی در کف می‌باشند. با توجه به تعاریف سرعت افقی صفر در مرز مشترک  $u_{h_t} = 0$  و سرعت عمودی صفر در بستر  $w_b = 0$ ،

به این جریان‌ها، جریان‌های ثقیلی هم گفته می‌شود. 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 ( $W_{h_t}$ ) به سرعت متوسط بدنه جریان غلیظ ( $U$ ) تعریف می‌شود (ترنر، ۱۹۷۳).

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  $E_w$  هستند که خود تابعی از عدد ریچاردسون می‌باشد یعنی:

$$E_w = f(Ri) \quad (۱)$$

### معادله‌های حاکم

به هنگام ورود جریان غلیظ در توده سیال ساکن، از آنجا که مرز بین جریان غلیظ و سیال محیطی معمولاً به دلیل وجود هاله‌ای از جریان غلیظ به خوبی قابل تشخیص نمی‌باشد می‌توان ارتفاع ( $h$ ) و سرعت متوسط بدنه جریان غلیظ ( $U$ ) در یک مقطع از جریان غلیظ را توسط روابط زیر تعریف کرد (ترنر، ۱۹۷۳):

$$h = \frac{\left( \int_0^\infty u dz \right)^2}{\int_0^\infty u^2 dz} = \frac{\left( \int_0^{h_t} u dz \right)^2}{\int_0^{h_t} u^2 dz} \quad (۲)$$

$$\bar{U} = \frac{\int_0^\infty u^2 dz}{\int_0^\infty u dz} = \frac{\int_0^{h_t} u^2 dz}{\int_0^{h_t} u dz} \quad (۳)$$

در این روابط  $h$ : ارتفاع بدنه جریان،  $\bar{U}$ : سرعت متوسط،  $u$ : سرعت نقطه‌ای و  $h_t$ : ارتفاعی که در آن سرعت جریان صفر است می‌باشند. اگر یک جریان غلیظ که بر روی بستر با شیب کف  $S = tg \theta$  در حرکت است، در نظر گرفته شود، می‌توان عدد فرود جریان غلیظ ( $Fr_d$ ) را به صورت زیر تعریف کرد:

$$Fr_d = \frac{\bar{U}}{\sqrt{g'h \cos \theta}} \quad (۴)$$

که در آن  $h$ : عمق جریان بوده که از روابط (۲) و (۳) محاسبه شده،  $\theta$ : زاویه بستر با افق و  $g'$ : شتاب ثقل کاهش یافته است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

نمک با فرض اینکه شدت اختلاط متناسب با سرعت جریان غلیظ می‌باشد، رابطه زیر را ارائه نمودند:

$$\frac{dh}{dx} = f(Ri) \quad (13)$$

در این رابطه  $\frac{dh}{dx}$ : رشد ارتفاع جریان غلیظ یا همان شیب پروفیل سطح جریان غلیظ و  $Ri$ : عدد ریچاردسون می‌باشند. در آزمایش‌های انجام گرفته توسط الیسون و ترنر (۱۹۵۹) مشاهده شد که در شیب ثابت شدت اختلاط با افزایش عدد ریچاردسون سریعاً کاهش پیدا کرده و هنگامی که عدد ریچاردسون از ۰/۸ بیشتر شود می‌توان از آن صرفنظر نمود (فرناندز و ایمبرگر، ۲۰۰۶).

پارکر و همکاران (۱۹۸۷) آزمایش‌هایی را بر روی جریان‌های غلیظ رسوبگذار انجام دادند. آزمایش‌های آنان بر روی دو شیب ۲/۸۶ درجه و ۴/۶ درجه انجام شد. ماده مورد استفاده آنها ذرات شیشه و یا پودر سیلیس بود. 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:

$$E_w = \frac{0.075}{(1 + 718Ri^{2.4})^{0.5}} \quad (14)$$

محققین دیگری در مقاطع ثابت آزمایش‌هایی را بر روی جریان غلیظ انجام داده و روابط متعددی برای شدت اختلاط ارائه داده‌اند که تعدادی از آنها در جدول (۱) آورده شده است.

ترابی بوده و همکاران (۱۳۸۵) به بررسی جریان‌های غلیظ در مقاطع واگرا با زوایای واگرایی ۸، ۱۲ و ۲۶ درجه پرداخت: نتایج آزمایش‌های آنها نشان داد که اختلاط سیال پیرامون در مقطع واگرا به دلیل تلاطم‌های ایجاد شده از مقطع ثابت بیشتر می‌باشد. آنها رابطه زیر را برای محاسبه شدت اختلاط در مقاطع واگرا پیشنهاد نمودند:

$$E_w = \frac{0.0058}{Ri^{0.6795}} \quad (15)$$

بهرامی و همکاران (۱۳۸۸) علاوه بر عدد ریچاردسون، شدت اختلاط را وابسته به نسبت ارتفاع سیال پیرامون ( $H$ ) به ارتفاع بدنه جریان غلیظ ( $h$ ) دانسته و روابط ذیل را ارائه نموده‌اند:

$$E_w = 0.0003Ri^{-0.538}(H/h)^{2.24} \quad H/h < 7 \quad (16)$$

$$E_w = 0.0099Ri^{-0.83} \quad H/h > 7 \quad (17)$$

سرعت قائم در مرز مشترک  $w_{h_i} = w_h$  به عنوان سرعت نفوذ سیال پیرامون به درون جریان غلیظ تعریف می‌گردد. بنابراین معادله پیوستگی در فاز سیال به صورت زیر حاصل می‌شود:

$$\frac{\partial}{\partial x}(Uh) = -w_{h_i} \quad (10)$$

سرعت عمودی سیال پیرامون را می‌توان به صورت تابعی از سرعت متوسط افقی جریان غلیظ تعریف نمود (ترنر، ۱۹۷۳):

$$\frac{\partial}{\partial x}(Uh) = -w_{h_i} = E_w U \quad (11)$$

که در این رابطه  $E_w$ : ضریب کشش سیال پیرامون یا شدت اختلاط سیال محیطی می‌باشد.

همان طور که گفته شد اکثر محققین  $E_w$  را تابعی از عدد ریچاردسون معرفی می‌کنند.  $E_w$  را می‌توان از رابطه (۱۲) به صورت تفاضل محدود با داشتن اطلاعات سرعت و عمق در دو مقطع از جریان غلیظ محاسبه نمود:

$$E_w = \left[ \frac{2}{U_{i+1} + U_i} \right] \left[ \frac{(Uh)_{i+1} - (Uh)_i}{x_{i+1} - x_i} \right] \quad (12)$$

ورود سیال پیرامون به درون جریان غلیظ را می‌توان با استفاده از قانون برنولی اثبات نمود. سیال پیرامون به دلیل حرکت نداشتن، فشار استاتیکی بیشتری نسبت به جریان غلیظ که متحرک می‌باشد، دارد. بنابراین گرادیان فشار ایجاد شده باعث نفوذ سیال پیرامون به درون جریان غلیظ می‌گردد (گراف<sup>۱</sup>، ۱۹۸۳).

### پیشینه تحقیق

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. الیسون و ترنر<sup>۲</sup> (۱۹۵۹) به صورت تئوری و تجربی توانستند رابطه‌ای برای اختلاط سیال پیرامون و جریان غلیظ به دست آورند. آنها در ادامه با فرض اینکه شدت اختلاط بر رفتار جریان حاکم بوده و تابعی از سرعت متوسط و عدد ریچاردسون می‌باشد، توانستند مشخصات جریان غلیظ را پیش‌بینی کنند. این دو با انجام آزمایش‌های متعدد نشان دادند که جریان با دور شدن از دهانه ورودی به حالت نرمال رسیده و عدد ریچاردسون به مقدار ثابت میل می‌کند. الیسون و ترنر (۱۹۵۹) با انجام آزمایش‌های آب و محلول

### مواد و روش‌ها

آزمایش‌های مربوط به این تحقیق در یک فلوم با شیب کف قابل تغییر، عرض ۷۲/۵ سانتی‌متر، عمق ۶۰ سانتی‌متر و طول شش متر در آزمایشگاه مدل‌های هیدرولیکی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. تجهیزات دیگری نیز برای تهیه سیال غلیظ و ایجاد جریان غلیظ در فلوم در طول آزمایش‌ها در نظر گرفته شد. نمایی شماتیک از فلوم و تجهیزات موجود در شکل (۲) نشان داده شده است.

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 پایین‌دست نقش مخزن را داشت که جریان غلیظ از زیر آن حرکت می‌کرد و در واقع بازه مورد آزمایش بود. مطابق شکل (۲) جهت ایجاد مقاطع همگرا در فلوم از ورق‌های پلکسی-گلاس استفاده شد که برای هر حالت متفاوت در زوایای ۸، ۱۶ و ۲۵ درجه نسبت به دیواره فلوم به دقت نصب گردیدند. همچنین قسمت انتهایی فلوم جهت ورود آب معمولی به نحوی آماده گردید که آب ورودی بدون تلاطم وارد فلوم شده و هیچگونه نوسانی در سطح آب ایجاد نگردد.

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 طعام با آب در مخزن اختلاط مخلوط شده و ماده رنگی به آن اضافه می‌گردید تا جریان غلیظ به خوبی در فلوم

قابل تشخیص و رؤیت باشد. سیال غلیظ تولید شده از طریق خط لوله از مخزن اختلاط به یک منبع با ارتفاع ثابت پمپاژ می‌شد و سپس از تانک تحت بار ثابت 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. آب معمولی نیز همزمان با سیال غلیظ به همین شکل ابتدا توسط پمپاژ وارد یک تانک با ارتفاع مشخص می‌گردید و سپس تحت بار ثابت توسط لوله وارد فلوم می‌شد. در نظر گرفتن تانک با بار ثابت برای آب معمولی و سیال غلیظ به منظور کنترل بهتر جریان و حذف نوسانات دبی می‌باشد.

انتهای بالادست فلوم با استفاده از یک صفحه جهت کاهش تلاطم جریان مسدود شده بود. انتهای پایین‌دست فلوم نیز برای کاهش تلاطم آب ورودی از یک صفحه مشبک استفاده شد. زمانی که سطح آب صاف محیطی و سیال غلیظ پشت دریچه در فلوم همتراز گردید، با بالا بردن دریچه ورودی، جریان غلیظ وارد مخزن آب شده و در زیر توده آب ساکن به سمت پایین‌دست حرکت می‌کرد. در انتهای فلوم جریان غلیظ توسط یک شیر و سیستم زهکش به خارج از آزمایشگاه تخلیه می‌شد. در طول آزمایش آب معمولی به آزمایش اضافه می‌گردید تا جایگزین آب تخلیه شده توسط جریان غلیظ گردد و رقوم آب را ثابت نگه دارد.

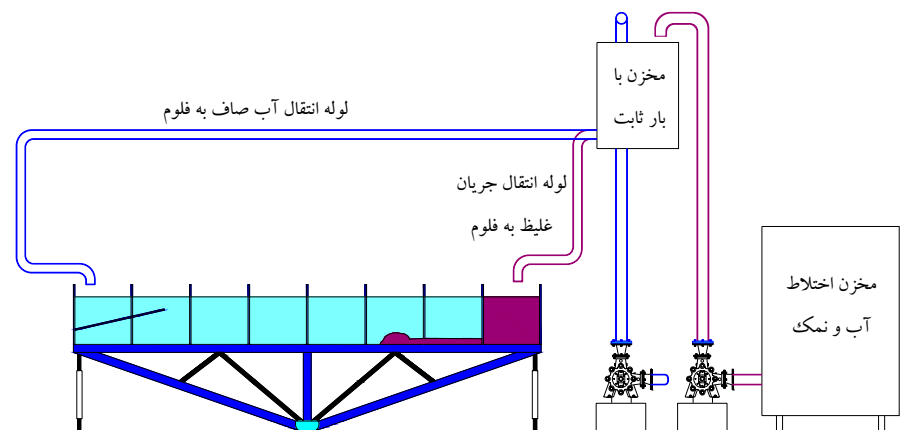
### جدول ۱ - روابط ارائه شده توسط محققین جهت محاسبه شدت اختلاط تابعی از عدد ریچاردسون

رابطه ارائه شده	نام محقق
$E_w = \frac{0.0015}{Ri}$	آشیدا و آگاشیرا، ۱۹۷۵
$E_w = \frac{0.00153}{0.0204 Ri}$	فوکوشیما و همکاران، ۱۹۸۵
$\tau_w = 0.0087 \exp(-0.106/Ri)$	چیکیتا، ۱۹۹۰
$E_w = \frac{0.0024}{Ri^{1.06}}$	قمشی، ۱۹۹۵
$E_w = \frac{0.0023}{Ri^{1.0243}}$	حقی‌آبی، ۲۰۰۴
$E_w = \frac{0.0021}{Ri^{1.1238}}$	کرم زاده و همکاران، ۱۳۸۳

1- Ashida and Egashira

2- Fukushima et al.

3- Chikita



شکل ۱ - نمایی شماتیک از فلوم و تجهیزات جانبی



شکل ۲ - تصویری از قسمت انتهایی فلوم و نصب دیواره‌های مقطع همگرا

در شکل‌های (۴) تا (۶) مقادیر شدت اختلاط در مقابل تغییرات عدد ریچاردسون در مقاطع همگرا در زوایای ۸، ۱۶ و ۲۵ درجه به تفکیک رسم شده است. نمودارهای مذکور نشان می‌دهد که در کلیه زاویه‌ها مقدار شدت اختلاط با افزایش عدد ریچاردسون، کاهش می‌یابد. روابط (۱۸) تا (۲۰) برای زوایای ۸، ۱۶ و ۲۵ درجه به صورت جداگانه مقدار شدت اختلاط را پیش‌بینی می‌کند.

این شکل‌ها نشان می‌دهند که با افزایش زاویه همگرایی شدت اختلاط افزایش پیدا می‌کند. نتایج آزمایش‌های ترابی پوده و همکاران (۱۳۸۵) نشان می‌دهد که در مقاطع واگرا نیز، با افزایش زاویه واگرایی شدت اختلاط افزایش پیدا می‌کند.

$$E_w = \frac{0.028}{Ri^{0.43}} \quad R^2 = 0.67 \quad \theta = 8^\circ \quad (18)$$

$$E_w = \frac{0.035}{Ri^{0.37}} \quad R^2 = 0.64 \quad \theta = 16^\circ \quad (19)$$

سرعت بدنه جریان توسط دستگاه سرعت‌سنج اولتراسونیک UDVP DOP 2000 در نقاط ابتدا و انتهای مقاطع همگرا ثبت می‌گردد. فاصله ابتدای مقطع همگرا نسبت به دریچه ورودی جریان غلیظ دو متر در نظر گرفته شد. شکل (۳) دستگاه سرعت‌سنج و نمونه‌ای از پروفیل سرعت برداشت شده را نشان می‌دهد. سپس پروفیل سرعت در هر مقطع ترسیم و با استفاده از روابط (۲) و (۳) سرعت متوسط و ارتفاع جریان غلیظ محاسبه می‌گردد و از رابطه (۶) عدد ریچاردسون و از رابطه (۱۲) شدت اختلاط به دست آورده شد.

### نتایج و بحث

تاکنون شدت اختلاط در بدنه جریان غلیظ در مقاطع همگرا توسط هیچ یک از محققین مورد بررسی قرار نگرفته است و کلیه تحقیقات در فلومی با مقاطع ثابت یا واگرا بوده است. بنابراین در این تحقیق سعی بر آن شد تا رابطه‌ای بین شدت اختلاط و عدد ریچاردسون در مقاطع همگرا و همچنین رابطه‌ای کلی برای همه شرایط، استخراج شود.

$$E_w = \frac{0.039}{Ri^{0.48}} \quad R^2 = 0.62 \quad (21)$$

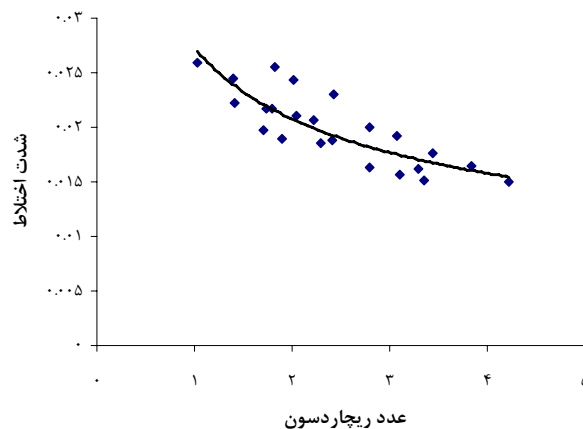
$$E_w = \frac{0.059}{Ri^{0.25}} \quad R^2 = 0.83 \quad \theta = 25^\circ \quad (20)$$

جهت به دست آوردن رابطه کلی برای کلیه مقاطع ثابت، واگرا و همگرا ابتدا رابطه‌ای برای مقاطع ثابت ارائه شده است. بدین منظور در نرم‌افزار SPSS تغییرات شدت اختلاط در مقابل عدد ریچاردسون بر اساس داده‌های آزمایشگاهی محققین قبلی به روش رگرسیون غیر خطی تحلیل گردید.

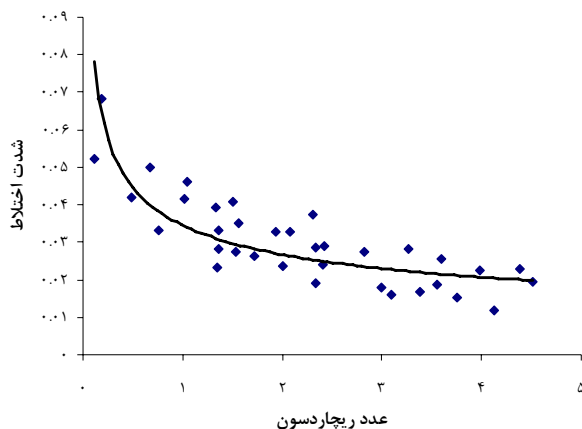
شکل (۷) مقادیر شدت اختلاط را در مقابل تغییرات عدد ریچاردسون در مقاطع همگرا در محدوده زاویه ۸ تا ۲۵ درجه نشان می‌دهد. رابطه (۲۱) نیز جهت کلیه مقاطع همگرا در این محدوده ارائه شده است:



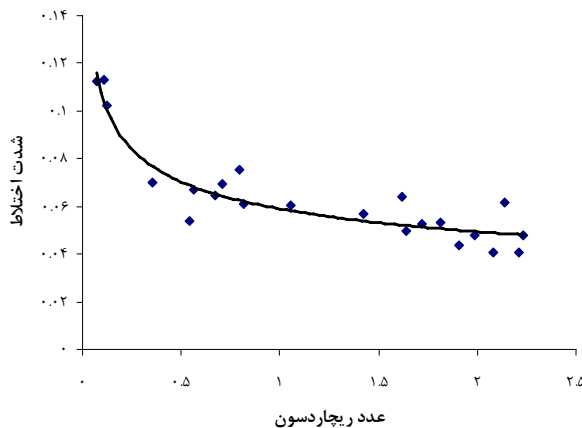
شکل ۳ - نمونه‌ای از پروفیل سرعت برداشت شده و نمایی از دستگاه DOP2000



شکل ۴ - تغییرات شدت اختلاط در مقابل عدد ریچاردسون در مقطع همگرای ۸ درجه



شکل ۵ - تغییرات شدت اختلاط در مقابل عدد ریچاردسون در مقطع همگرای ۱۶ درجه



شکل ۶ - تغییرات شدت اختلاط در مقابل عدد ریچاردسون در مقطع همگرای ۲۵ درجه

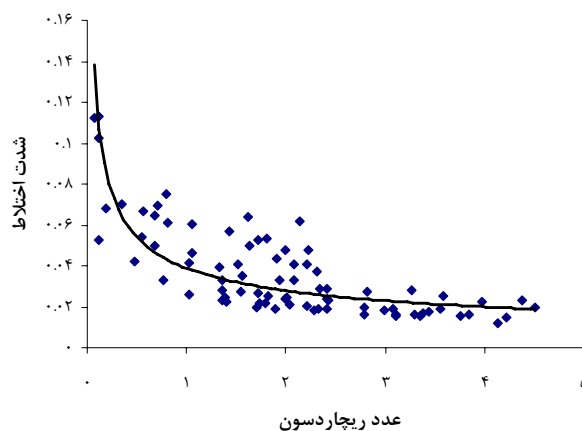
آزمایشگاهی تحقیق حاضر استفاده شد. داده‌های موجود نشان دهنده این است که شدت اختلاط در مقاطع واگرا و همگرا نسبت به مقاطع ثابت بیشتر می‌باشد. همچنین شدت اختلاط در مقاطع همگرا از مقاطع واگرا بیشتر است. با نرم‌افزار SPSS به روش رگرسیون غیر خطی مدل‌های مختلفی بررسی گردید. طبق مدل زیر شدت اختلاط تابعی از عدد ریچاردسون و زاویه همگرایی یا واگرایی می‌باشد:

$$E_w = \frac{0.006}{Ri^{0.702}} + C\theta^B \quad (23)$$

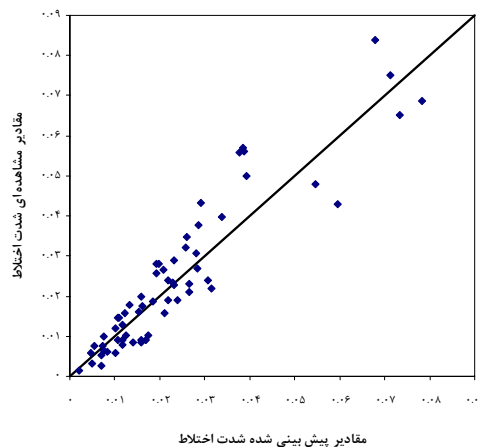
رابطه (۲۲) برای مقاطع ثابت با همبستگی برابر ۷۲ درصد ارائه شده است. در شکل (۸) داده‌های برداشت شده در آزمایشگاه در مقاطع ثابت در مقابل نتایج رابطه (۲۲) رسم شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد نتایج پیش‌بینی شده رابطه با داده‌های آزمایشگاهی از همبستگی قابل قبولی برخوردار است.

$$E_w = \frac{0.006}{Ri^{0.702}} \quad (22)$$

حال جهت به‌دست آوردن رابطه‌ای برای کلیه مقاطع ثابت، واگرا و همگرا از داده‌های آزمایشگاهی محققین قبلی و داده‌های



شکل ۷ - شدت اختلاط در مقابل عدد ریچاردسون در مقاطع همگرا در محدوده ۸ تا ۲۵ درجه



شکل ۸ - مقایسه مقادیر پیش بینی شده و مشاهده ای شدت اختلاط در مقاطع ثابت

رابطه (۲۴) مقادیر شدت اختلاط را برای کلیه حالات مقاطع با همبستگی بالایی پیش بینی می نماید. از آنجایی که مقدار ضریب  $C$  در این رابطه برای مقاطع واگرا ناچیز می باشد، می توان قسمت دوم رابطه را برای مقاطع واگرا حذف نموده و فقط قسمت دوم را برای مقاطع همگرا استفاده کرد.

#### نتیجه گیری

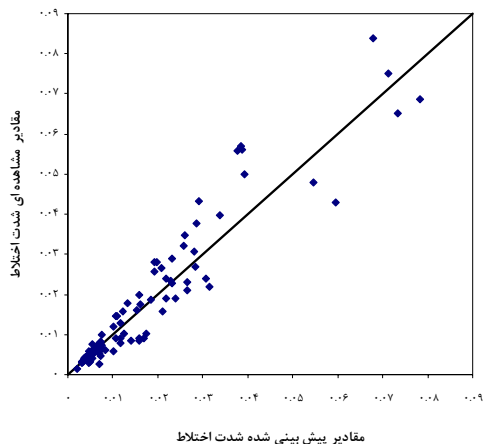
بر اساس آزمایشات صورت گرفته در این تحقیق مشخص گردید که با افزایش زاویه همگرایی مقاطع، مقادیر شدت اختلاط جریان غلیظ نیز افزایش می یابد. همچنین رابطه کلی ارائه شده جهت تخمین میزان شدت اختلاط در مقاطع ثابت، همگرا و واگرا از همبستگی بالایی برخوردار می باشد.

از بین کلیه مدل های بررسی شده، مدل فوق از همبستگی بالایی برخوردار بوده به طوری که ضریب  $B = 3$  می باشد. در رابطه فوق  $\theta$ : زاویه همگرایی یا واگرایی بر حسب رادیان،  $B$ : ضریب ثابت و  $C$ : ضریبی است که بستگی به همگرا یا واگرا بودن مقطع، متفاوت می باشد. بنابراین رابطه زیر برای کلیه مقاطع ثابت، واگرا و همگرا ارائه شده است:

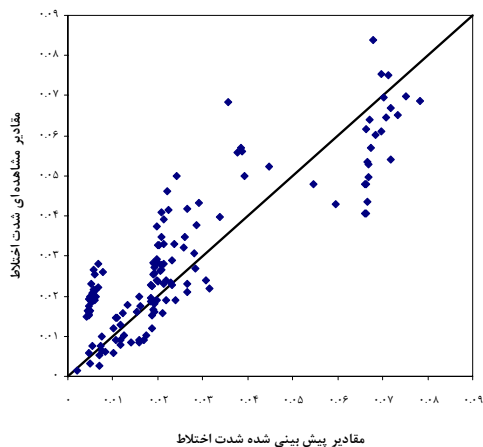
$$E_w = \frac{0.006}{Ri^{0.702}} + C\theta^3 \quad (24)$$

در رابطه فوق برای مقاطع واگرا  $C = 0.001$  و برای مقاطع همگرا  $C = 0.755$  می باشد. شکل های (۹) و (۱۰) مقادیر پیش بینی شده شدت اختلاط توسط رابطه فوق در مقایسه با مقادیر مشاهده ای برای مقاطع واگرا و همگرا را نشان می دهد. مقایسه انجام شده در شکل های زیر نشان می دهد که





شکل ۹ - مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده رابطه کلی شدت اختلاط در مقاطع واگرا



شکل ۱۰ - مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده توسط رابطه کلی شدت اختلاط در مقاطع همگرا با  $C = 0.755$

#### منابع

- ۱- بهرامی، ح، قمشی، م. و م. کاشفی‌پور. ۱۳۸۸. بررسی تأثیر تغییرات شیب بر میزان کشش آب ساکن در جریان غلیظ. مجموعه مقالات هشتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران، اهواز.
- ۲- ترابی پوده، ح، فتحی مقدم، م، قمشی، م. و م. شفاعی بجنستان. ۱۳۸۵. بررسی شدت اختلاط جریانهای غلیظ در مقاطع واگرا. مجموعه مقالات هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران، اهواز.
- ۳- کرمزاده، ن. ۱۳۸۳. بررسی آزمایشگاهی کشش آب ساکن در جریان‌های غلیظ. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مهندسی عمران آب، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران، اهواز.

- 4- Ashida, K. and S. Egashira. 1975. Basic study on turbidity currents. Proceedings of Japan Society of Civil Engineers, Tokyo, 237: 37-50.
- 5- Chikita, K. 1990. Sedimentation by river - induced Turbidity currents. field measurements and interpretation, Sedimentology, 37: 891-905.

- 6- Ellison, T. H. and J. S. Turner. 1959. Turbulent entrainment in stratified flow. *Journal of Fluid Mechanics*, 6(3): 423.
- 7- Fernandez, R. L. and J. Imberger. 2006. Bed roughness induced entrainment in a high Richardson number underflow. *Journal of Hydraulic Research*, 44(6): 725-738.
- 8- Fukushima, Y., Parker, G. and H. M. Pantin. 1985. Prediction of ignitive turbidity currents in Scripps Submarine Canyon. *Marine Geology*, 67(1-2): 55-81.
- 9- Ghomeshi, M. 1995. Reservoir sedimentation modelling Ph.D. Thesis, University of Wollongong, Australia.
- 10- Graf, W.H. 1983. Hydraulics of reservoir sedimentation. *International Water Power & Dam Construction*, 35(4): 45-52.
- 11- Hagiabi, A. H. 2004. The study of bed slope effect on velocity and concentration profiles on density current. Ph.D. Thesis, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran.
- 12- Parker, G., Garcia, M. and Y. Fukushima. 1987. Experiments on turbidity currents over an erodible bed. *Journal of Hydraulic Research*, 25(1): 123-147.
- 13- Turner, J. S. 1973. Buoyancy effects in fluids. Cambridge University Press, London, U.K.