

## ارائه رابطه‌ای تجربی برای کشتش آب توسط جریان غلیظ در مقاطع ثابت و همگرا

ایوب مرادی<sup>۱\*</sup>، مهدی قمشی<sup>۲</sup>، بهنام سروری نژاد<sup>۳</sup>

\*- نویسنده مسئول، دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ayoobmoradi@yahoo.com

۲- استاد گروه سازه های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۳- دانشجوی دکتری سازه های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۸/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۶/۲۳

### چکیده

رسوب گذاری در مخازن سدها از جمله مهمترین مسائل و مشکلات موجود در مسیر سدسازی و نگهداری از آنها می باشد. مهمترین تأثیر سوء رسوب گذاری کاهش عمر مفید سد می باشد. یکی از پارامترهای بسیار مؤثر در تغییر هیدرولیک جریان غلیظ، تغییرات مقطع رودخانه در مخازن سدها می باشد. لذا در این تحقیق سعی شد تا شدت اختلاط در مقاطع همگرا بررسی و سپس با استفاده از روابط ارائه شده برای مقاطع ثابت توسط محققین مختلف رابطه‌ای کلی برای مقاطع همگرا و ثابت ارائه شود. آزمایشات در یک فلوم با شیب کف قابل تغییر، در سه زاویه همگرایی با سه دبی، سه غلظت و سه شیب در آزمایشگاه مدل های هیدرولیکی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. نتایج نشان دادند به طور کلی شدت اختلاط در مقاطع همگرا بیشتر از مقاطع ثابت و واگرا می باشد و در نهایت رابطه‌ای برای محاسبه شدت اختلاط در مقاطع ثابت و همگرا پیشنهاد شد.

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

## An Empirical Equation for Water Entrainment of Density Current in Fixed and Converging Sections

A. Moradi<sup>1</sup>, M. Ghomeshi<sup>2</sup> and S. B. Sarvarinezhad<sup>3</sup>

1-M.Sc. Graduate, Department of Water Structures, shahid Chamran University, Ahwaz

2-Professor, Department of Water Structures, shahid Chamran University, Ahwaz

3- Ph.D. student, Department of Water Structures, shahid Chamran University, Ahwaz

Received: 14.Sep.2011

Accepted: 20.Nov.2012

### Abstract

Sedimentation is one of the most important issues of manmade reservoirs and directly cause reduction in useful life of dams. Density or turbidity currents are commonly occurs in reservoir especially when the inflow associated with high sediment load. Fresh water entrainment into density currents is directly affected its transportation and other hydraulics parameters. There are some parameters that may effects water entrainment. Changing in successive cross sections is one of the parameters that may affect this parameter. In this research water entrainment of density current in converging sections is studied. Experiments were carried out in a flume with variable bed slope, with three convergence angle, three discharge, three concentrations and three bed slope. The results show that with increasing of converging angle water entrainment will be increase. And finally by using the data and the equations proposed by other researchers for fixed sections, an equation is presented for water entrainment of density current in both fixed and converging sections.

Keywords: *Water entrainment, Density current, Converging sections, Sedimentation, Dam reservoirs*

### مقدمه

در طبیعت نمونه های بسیاری از جریان های غلیظ یافت می شود که فعالیت های انسان نیز بر انواع آنها افزوده است. مواردی چون سقوط بهمین ها، سرازیر شدن گدازه های آتشفشان، جبهه های هوای سرد و گرم و تندرهای، ابرهای رولی<sup>۱</sup>، گرد و غبار، جریان های رسوبی در دریاها و همچنین در مصب رودخانه ها همگی نمونه هایی طبیعی از این گونه جریان ها می باشند. موارد دیگری نیز از جریان های غلیظ بر اثر فعالیت های انسان ایجاد می شوند که نمونه هایی از قبیل جریان های کدر<sup>۲</sup> در مخازن سدها، نشت نفت در دریاها، حرکت و پخش گازهای تولید شده از واحدهای صنعتی، هدایت فاضلاب های شهری و صنعتی به دریاها و رودخانه ها می باشند. نمونه دیگر از جریان های غلیظ در نیروگاه های هسته ای اتفاق می افتد. در این نیروگاه ها از آب دریا جهت خنک نمودن رآکتورها استفاده می گردد. آب دریا پس از گرفتن گرمای رآکتورها به دریا بازگردانیده می شود و بدلیل اختلاف دما بین آب خروجی از رآکتور و آب دریا جریان غلیظ ایجاد می شود (سیمپسون ۱۹۹۷).

### تعریف جریان های غلیظ

اصولاً جریان های غلیظ یا چگال<sup>۳</sup> به جریان هایی گفته می شود که سیالی درون سیال دیگر با چگالی متفاوت حرکت کند. در این حالت نیروی ثقل که عامل حرکت این گونه جریان ها می باشد دارای شتابی کمتر از شتاب ثقل زمین بوده، که این میزان در رابطه (۱) 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،  $\rho_d$ ،  $\rho_a$  به ترتیب جرم مخصوص سیال پیرامون و سیال غلیظ می باشند. شتاب ثقل کاهش یافته در جریان های کدر (حاوی مواد معلق) به صورت رابطه زیر تعریف می گردد:

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

بر اساس اختلاف چگالی، جریان غلیظ ممکن است به صورت زیرگذر، روگذر و یا میان گذر اتفاق بیافتد. بدین صورت که اگر جریان غلیظ ورودی،  $\rho_{in} = \rho_1$ ، به داخل سیال پیرامون<sup>۵</sup>  $\rho = \rho_2$ ، دارای

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

که  $Fr_d$  عدد فرود دنسیومتریکی،  $U$  سرعت متوسط،  $h$  عمق جریان و  $\theta$  زاویه بستر با افق می باشند. مجذور عکس عدد فرود دنسیومتریکی را عدد ریچاردسون می نامند که با رابطه (۴) تعریف می گردد:

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

به دلیل وجود هاله ای از جریان غلیظ در مرز مشترک، محل دقیق مرز و در نتیجه ارتفاع بدنه جریان قابل تشخیص نمی باشد. البسون و ترنر (۱۹۵۹) روابط زیر را برای استخراج ارتفاع و سرعت متوسط بدنه جریان ارائه نموده اند:

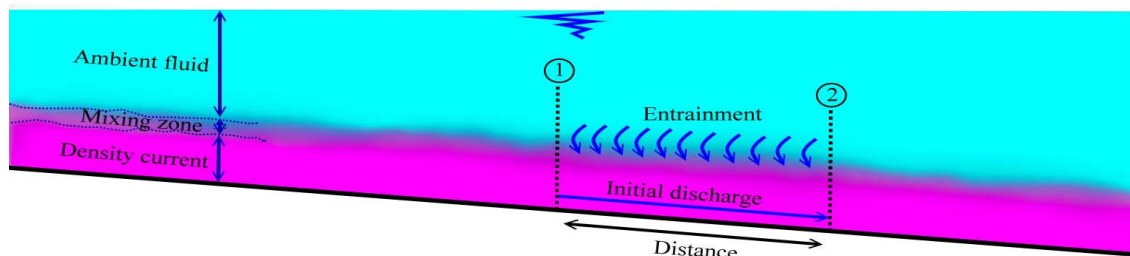
$$\bar{h} = \frac{\left( \int_0^\infty u dz \right)^2}{\int_0^\infty u^2 dz} = \frac{\left( \int_0^{h_t} u dz \right)^2}{\int_0^{h_t} u^2 dz} \quad (5)$$

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

در این روابط  $\bar{h}$  ارتفاع بدنه،  $\bar{U}$  سرعت متوسط،  $u$  سرعت نقطه ای،  $h_t$  ارتفاعی که در آن سرعت صفر است می باشند. شدت اختلاط ( $E_W$ ) ناشی از ناپایداریها در حد فاصل جریان غلیظ و سیال ساکن بوده و بصورت نسبت سرعت اختلاط به سرعت متوسط جریان غلیظ تعریف می شود (ترنر ۱۹۷۳)

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

- 1 - Thunder Storm
- 2 - Roll Cloud
- 3 - Turbidity Currents
- 4 - Density Currents
- 5 - Ambient Fluid



شکل ۱- نمایی شماتیک از شدت اختلاط در بدنه جریان غلیظ

رابطه (۷) را می توان به صورت زیر نوشت.

$$\frac{\partial q}{\partial x} = E_w U = W_h \quad (8)$$

رابطه فوق را می توان بصورت تفاضل محدود به صورت زیر نوشت:

$$(E_w)_{j-j+1} = \left[ \frac{2}{U_{j+1} + U_j} \right] \left[ \frac{q_{j+1} - q_j}{x_{j+1} - x_j} \right] \quad (9)$$

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

در شکل (۱) نمایی شماتیک از شدت اختلاط در بدنه جریان غلیظ نشان داده شده است.

### 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 رابطه ای جهت برآورد میزان  $E_w$  می باشند. الیسون و ترنر (۱۹۵۹) به صورت تئوری و تجربی توانستند رابطه ای برای اختلاط سیال پیرامون و جریان غلیظ بدست آورند. آنها در ادامه با فرض اینکه شدت اختلاط بر رفتار جریان حاکم بوده و تابعی از سرعت متوسط و عدد ریچاردسون می باشد، توانستند مشخصات جریان غلیظ را پیش بینی کنند. این دو با انجام آزمایشات متعدد برای جریان در حالت دو بعدی، تحلیل های صورت گرفته را اثبات کردند و نشان دادند که جریان با دور شدن از دهانه ورودی به حالت نرمال رسیده و عدد ریچاردسون به مقدار ثابت میل می کند. الیسون و ترنر (۱۹۵۹) با انجام آزمایشات آب و محلول نمک با فرض اینکه شدت اختلاط متناسب با سرعت جریان غلیظ می باشد، رابطه زیر را ارائه نمودند:

$$\frac{dh}{dx} = f(Ri) \quad (10)$$

که در آن  $\frac{dh}{dx}$  رشد ارتفاع جریان غلیظ یا همان شیب پروفیل سطح

جریان غلیظ و  $f(Ri)$  تابع عدد ریچاردسون می باشند. در آزمایشات انجام گرفته توسط الیسون و ترنر مشاهده شد که در شیب ثابت شدت اختلاط با افزایش عدد ریچاردسون سریعاً کاهش پیدا کرده و هنگامی که عدد ریچاردسون از  $0.8$  بیشتر شود می توان از آن صرف نظر نمود (فرناندز ۲۰۰۷).

این مطالعه بیشتر جنبه تئوریک و مطالعاتی داشت و در سالهای بعد محققین دیگر از نتایج آنان استفاده نمودند. آزمایشات انجام شده توسط پارکر (۱۹۸۷) یک نمونه موفق از مطالعات آزمایشگاهی می باشد که مبنای تحقیقات نظری و عددی بسیاری از محققین قرار گرفته است. پارکر و همکاران با گسسته سازی معادلات به روش اختلاف محدود و با استفاده از اندازه گیری های انجام شده توانستند مقدار ضریب شدت اختلاط آب  $E_w$  را محاسبه نموده و رابطه ای برای روند کلی تغییرات این ضریب نشان دهند در بسیاری از تحقیقات مقدار  $E_w$  به صورت تابعی از عدد ریچاردسون با فرمول کلی زیر بیان شده است:

$$E_w = \frac{a}{b + cR_i^d} \quad (11)$$

ضرایب  $a, b, c, d$  و ضرایب تجربی بوده که از طریق آزمایش بدست آمده و مقادیر متفاوتی نیز داشته اند. برخی از معادلات بدست آمده حاصل نتایج محققین مختلف در جدول (۱) آمده است.

### روش تحقیق

#### توسعه مدل به کمک آنالیز ابعادی

پارامتر های حاکم بر اساس متغیر های مورد نظر و عوامل تأثیر گذار در آزمایشات در رابطه با شدت اختلاط به صورت زیر می باشند:

## جدول ۱- خلاصه‌ای از نتایج آزمایشگاهی محققین در زمینه ارتباط شدت اختلاط و عدد ریچاردسون

رابطه ارائه شده	نام محقق
$E_w = \frac{0.00153}{0.0204 Ri}$	فوکوشیما <sup>۱</sup> (۱۹۸۵)
$E_w = \frac{0.00153}{0.0204 Ri}$	الیسون و ترنر (۱۹۵۹)
$E_w = \frac{0.00153}{0.0204 Ri}$	قمشی (۱۹۹۵)
$E_w = \frac{0.00153}{0.0204 Ri}$	حق‌آبی (۱۳۸۳)
$E_w = \frac{0.00153}{0.0204 Ri}$	کرم زاده (۱۳۸۳)
$E_w = \frac{0.00153}{0.0204 Ri}$	کوتی (۱۳۸۹)
$E_w = \frac{0.00153}{0.0204 Ri}$	پارکر و همکاران (۱۹۸۷)
$E_w = \frac{0.00153}{0.0204 Ri}$	ترابی پوده (۱۳۸۶)

از آنجا که  $q_0 = Uh$  در نتیجه  $\frac{q_0}{Uh} = 1$  در نهایت با حذف

جرم (M) از پارامترهای جرم دار و با انتخاب  $\rho_0$  به عنوان متغیر ساده کننده، اعداد بدون بعد به شکل زیر استحصال می شوند:

$$f\left(s, \frac{\rho_d}{\rho_a}, \frac{gh}{U^2}, E_w, \alpha\right) = 0 \quad (15)$$

عدد بدون بعد  $\frac{\rho_d}{\rho_a}$  را با رعایت بدون بعد بودن می توان به صورت زیر نوشت:

$$\frac{\rho_d}{\rho_a} \Rightarrow \frac{\rho_d - \rho_a}{\rho_a} = \frac{\Delta\rho}{\rho_a} = R \quad (16)$$

این عدد نسبت بدون بعد جرم واحد حجم بوده و در واقع نماینده غلظت می باشد. از آنجا که می توان اعداد بدون بعد را در یکدیگر ضرب نمود، با ترکیب دو عدد بدون بعد  $\frac{gh}{U^2}$  و

$$\frac{\Delta\rho}{\rho_a} \text{ ، عدد ریچاردسون حاصل می شود:}$$

$$f(s, \rho_a, \rho_d, q_0, U, h, g, E_w, \alpha) = 0 \quad (12)$$

که در این رابطه  $s$  شیب کف،  $q_0$  دبی در واحد عرض ورودی جریان غلیظ، و  $\alpha$  زاویه همگرایی می باشند. با آنالیز ابعادی به روش گام به گام<sup>۲</sup>، با انتخاب  $U$  به عنوان متغیر ساده کننده و تقسیم آن بر کمیت های زمان دار، در ابتدا زمان (T) از این کمیت ها حذف می گردد. بنابراین رابطه (۱۳) به شکل زیر حاصل می شود:

$$f\left(s, \rho_a, \rho_d, \frac{q_0}{U}, h, \frac{g}{U^2}, E_w, \alpha\right) = 0 \quad (13)$$

رابطه (۱۳) با حذف طول (L) از پارامترهای دارای طول، توسط  $h$  برابر می شود با:

$$f\left(s, \rho_a, \rho_d, \frac{q_0}{Uh}, \frac{gh}{U^2}, E_w, \alpha\right) = 0 \quad (14)$$

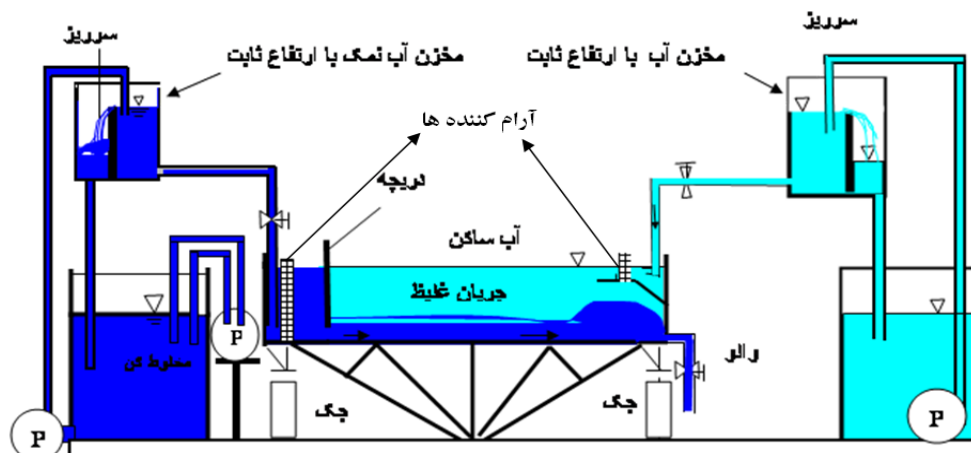
فلکه به داخل فلوم هدایت می‌گردید. دبی جریان غلیظ ورودی به فلوم با استفاده از یک شیر فلکه تنظیم می‌شد. انتهای بالادست فلوم با استفاده از یک صفحه مسدود شده بود. تمام طول فلوم به وسیله یک دریچه جداکننده کشویی به دو بخش با طول متفاوت تقسیم شد. بخش کوتاهتر در بالادست نقش تانک اصلی را برای سیال غلیظ مولد جریان 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 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 برای 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 شکل (۳) نمایی از یک مقطع همگرای ایجاد شده نشان داده شده است. سرعت بدنه جریان توسط دستگاه سرعت‌سنج DOP2000 در دو نقطه در ابتدا و انتهای مقطع همگرا ثبت می‌شد و سپس با استفاده از نمودار سرعت شدت اختلاط و عدد ریچاردسون با استفاده از روابط ارائه شده محاسبه می‌گردید. که عدد ریچاردسون متوسط ریچاردسون دو مقطع در نظر گرفته شد.

$$\frac{\Delta\rho}{\rho_a} \times \frac{gh}{U^2} = \frac{g'h}{U^2} = Ri \quad (17)$$

در پایان رابطه (۱۸) حاصل می‌گردد:

$$f(s, Ri, E_w, \alpha) = 0 \quad (18)$$

بنابراین عبارات شیب  $(s)$ ، عدد ریچاردسون  $(Ri)$ ، ضریب شدت اختلاط  $(E_w)$  و زاویه همگرایی نتایج آنالیز ابعادی در زمینه شدت اختلاط می‌باشند. پس از تجزیه و تحلیل ابعادی و مشخص شدن پارامترهای مؤثر روی شدت اختلاط اقدام به انجام آزمایش روی یک فلوم آزمایشگاهی شد. آزمایش‌ها در یک فلوم با شیب کف قابل تغییر، عرض ۷۲/۵ سانتی متر، عمق ۶۰ سانتی متر و طول ۶ متر با سه دبی (۰/۵۸، ۰/۹۸، و ۱/۲۸ لیتر بر ثانیه)، سه غلظت (۱۰، ۱۶، و ۲۵ گرم در لیتر)، سه شیب (۰/۰۹، ۰/۱۲۵، و ۰/۱۶) و سه زاویه همگرایی (۸، ۱۶، و ۲۵ درجه) در آزمایشگاه مدل‌های 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 (۲) نشان داده شده است. قبل از شروع آزمایشات، همه‌ی ابزارهای اندازه‌گیری به نحو مناسب آماده و فلوم از آب معمولی پر می‌شد. 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 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

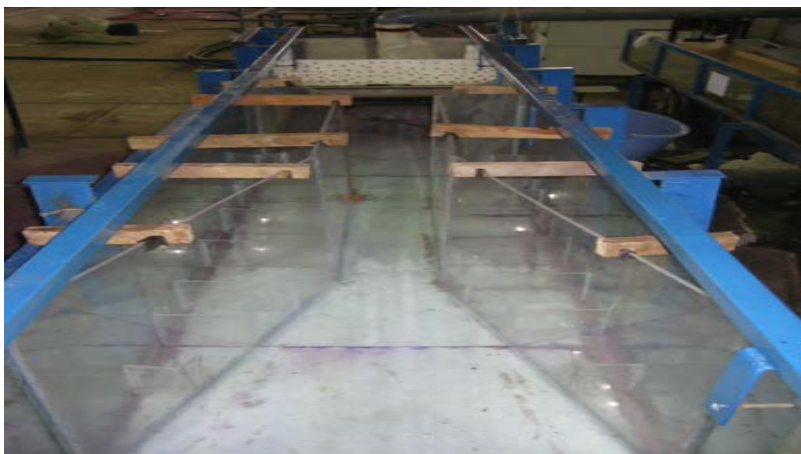


شکل ۲- نمای شماتیک از مدل آزمایشگاهی

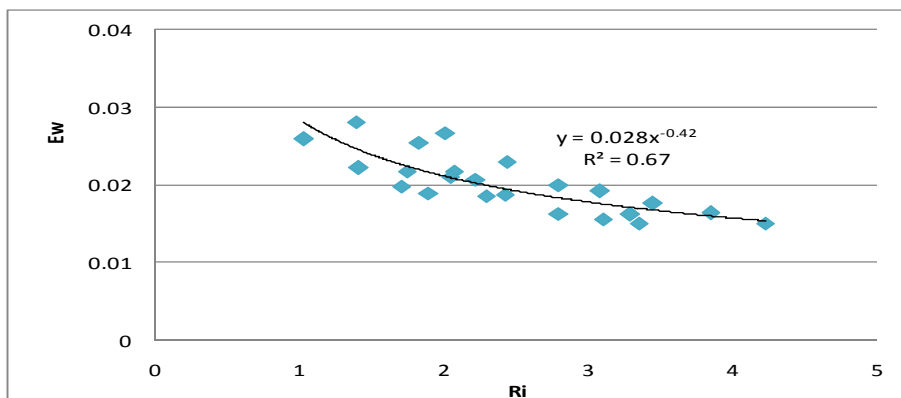
### نتایج و بحث

ازای شیب (S)، غلظت (C) و دبی‌های مختلف (Q) نشان داده شده و در شکل های (۴)، (۵) و (۶) این مقادیر در مقابل همدیگر رسم شده‌اند.

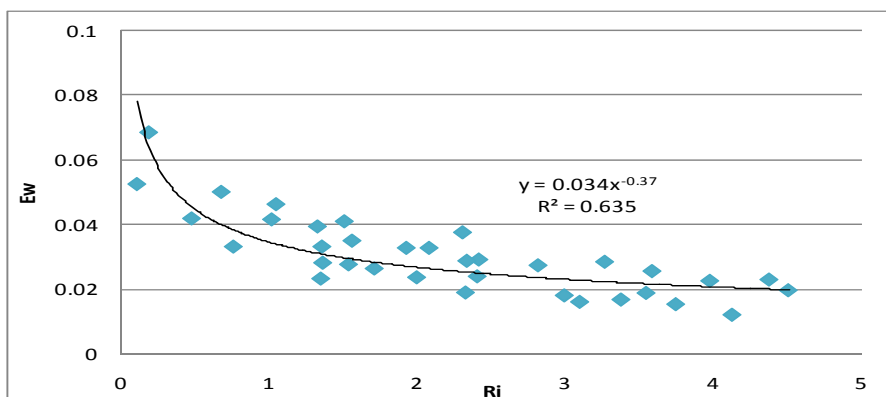
به منظور محاسبه ارتفاع و سرعت جریان غلیظ از روابط (۵) و (۶) استفاده شد. عدد ریچاردسون از رابطه (۴) و شدت اختلاط از رابطه (۹) بدست آمد. در جدول (۲) مقادیر شدت اختلاط ( $E_w$ ) و عدد ریچاردسون ( $Ri$ ) بدست آمده از آزمایش‌ها در سه زاویه همگرایی به



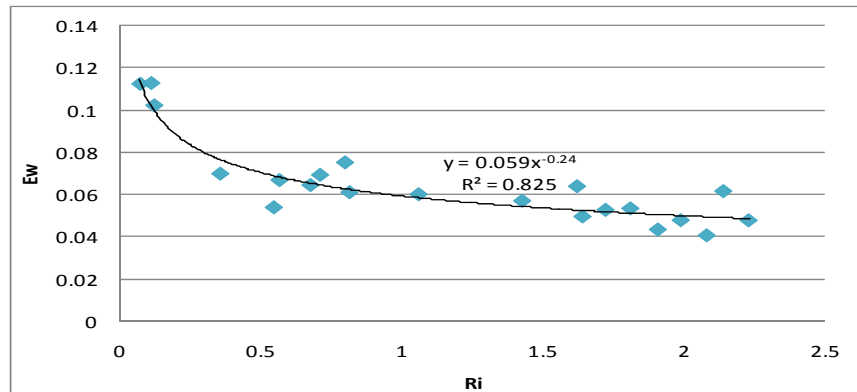
شکل ۳- نمایی از یک مقطع همگرایی ایجاد شده در داخل فلوم



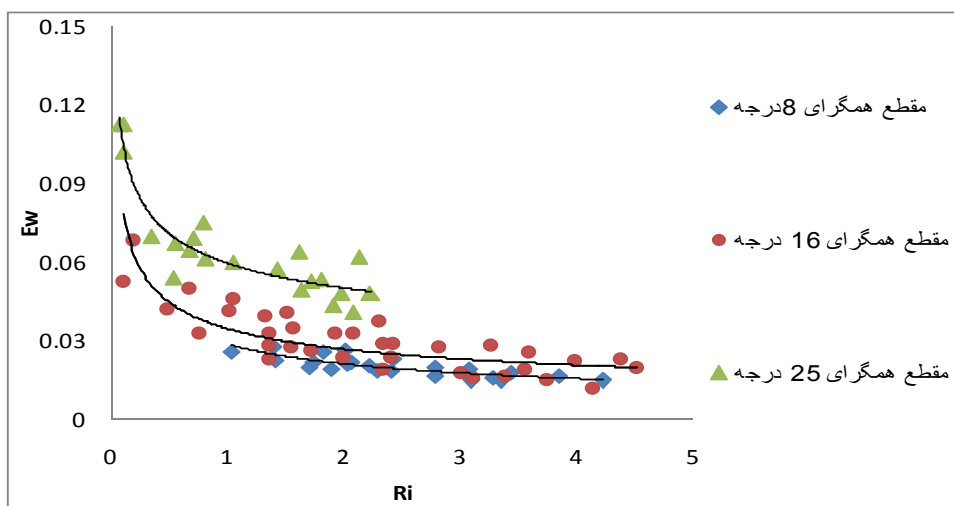
شکل ۴- رابطه بین شدت اختلاط و عدد ریچاردسون در بدنه در همگرایی ۸ درجه



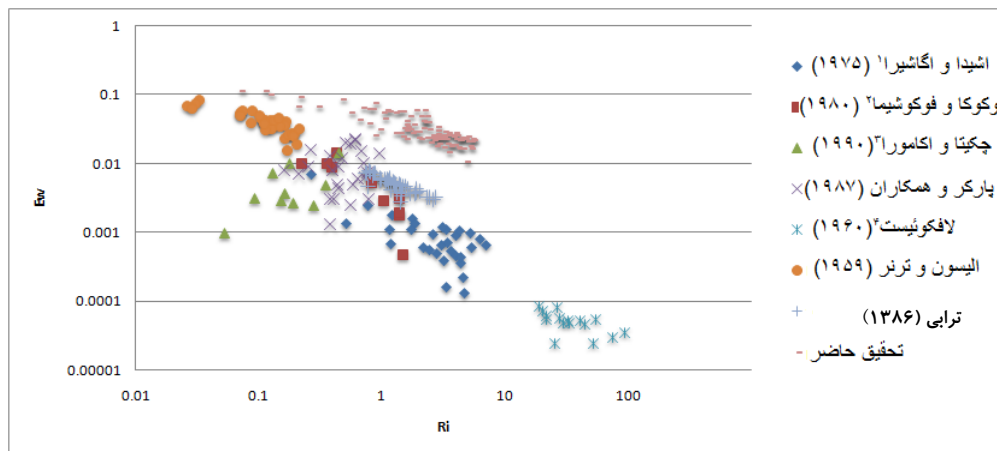
شکل ۵- رابطه بین شدت اختلاط و عدد ریچاردسون در بدنه در همگرایی ۱۶ درجه



شکل ۶- رابطه بین شدت اختلاط و عدد ریچاردسون در بدنه در همگرایی ۲۵ درجه



شکل ۷- مقایسه رابطه بین شدت اختلاط و عدد ریچاردسون در بدنه در سه زاویه همگرایی

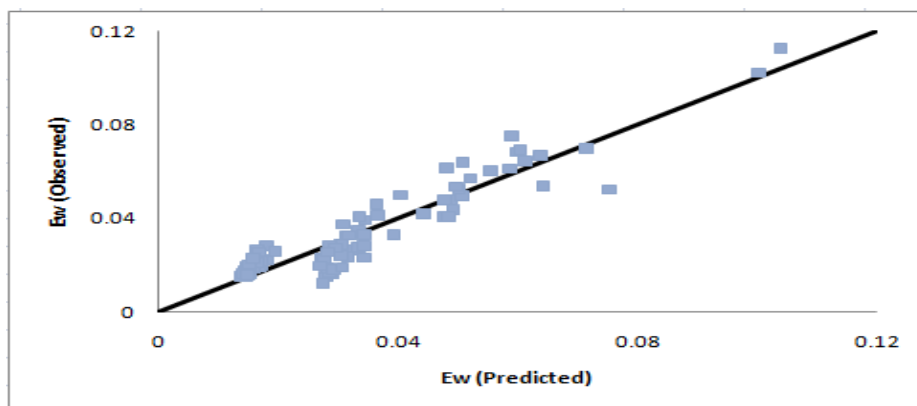


شکل ۸- عدد ریچاردسون در مقابل ضریب کشش با توجه به مطالعات گذشته و تحقیق حاضر

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

مقطع با زاویه همگرایی ۸ درجه					مقطع با زاویه همگرایی ۱۶ درجه					مقطع با زاویه همگرایی ۲۵ درجه				
Ew	Ri	S	C	Q	Ew	Ri	S	C	Q	Ew	Ri	S	C	Q
0.0176	3.444	0.9	25	0.58	0.0153	3.75	10	0.9	0.58	0.0405	2.21	16	0.9	0.58
0.015	4.223	0.9	25	0.58	0.0263	1.7137	10	0.9	0.58	0.0602	1.058	16	0.9	0.98
0.0151	3.35	0.9	25	0.58	0.016	3.1012	10	0.9	0.98	0.0479	1.988	25	0.9	0.58
0.0164	3.845	0.9	25	0.98	0.0393	1.33	10	0.9	0.98	0.0435	1.907	16	0.9	0.98
0.01922	3.080	0.9	10	0.98	0.0232	1.3521	10	0.9	1.28	0.0478	2.23	25	0.9	0.58
0.0162	3.29	0.9	25	0.58	0.0276	1.54	10	0.9	1.28	0.0496	1.64	16	0.9	0.98
0.02065	2.216	1.6	10	0.98	0.0167	3.38	16	0.9	0.58	0.0753	0.796	16	1.6	1.28
0.0198	1.705	1.6	10	0.98	0.0236	2	16	0.9	0.58	0.0611	0.813	10	1.6	1.28
0.0217	2.064	1.6	10	0.98	0.012	4.13	16	0.9	0.98	0.1125	0.070	10	1.6	1.28
0.01858	2.29	1.6	16	0.98	0.0349	1.5632	16	0.9	0.98	0.1023	0.12	10	1.6	1.28
0.01891	1.892	1.6	16	0.98	0.0187	3.5495	16	0.9	1.28	0.0645	0.674	16	1.6	0.58
0.0281	1.391	1.6	10	1.28	0.0327	2.0840	16	0.9	1.28	0.1129	0.109	10	1.6	1.28
0.0222	1.408	1.6	16	0.98	0.0238	2.4091	25	0.9	0.58	0.054	0.544	10	1.6	1.28
0.0267	2.010	1.6	10	1.28	0.018	2.9973	25	0.9	0.98	0.0699	0.353	10	1.6	1.28
0.0217	1.74	1.6	16	1.28	0.0281	1.3655	10	1.6	0.98	0.0528	1.722	25	1.25	0.58
0.0259	1.03	1.6	10	1.28	0.05	0.68	10	1.6	1.28	0.0694	0.708	10	1.25	0.98
0.0255	1.825	1.6	10	1.28	0.0327	1.93	16	1.6	0.58	0.0617	2.14	25	1.25	0.58
0.0188	2.418	1.25	16	0.58	0.0462	1.05	16	1.6	0.58	0.0669	0.564	16	1.25	0.98
0.021	2.04	1.25	10	0.98	0.0229	4.38	16	1.6	0.98	0.064	1.620	16	1.25	1.28
0.02	2.79	1.25	16	0.98	0.0225	3.98	25	1.6	0.58	0.0535	1.81	10	1.25	0.58
0.023	2.43	1.25	16	1.28	0.0291	2.42	25	1.6	0.58	0.0407	2.080	25	1.25	0.58
0.01628	2.792	1.25	16	0.58	0.0284	3.27	10	1.6	0.58	0.0571	1.426	25	1.25	0.98
0.0156	3.1	1.25	25	0.98	0.0330	0.7618	10	1.25	0.58					
					0.0287	2.3385	10	1.25	0.98					
					0.0418	0.48	10	1.25	0.98					
					0.0273	2.82	10	1.25	1.28					
					0.0684	0.19	10	1.25	1.28					
					0.0189	2.33	16	1.25	0.58					
					0.0196	4.51	16	1.25	0.98					
					0.0415	1.02	16	1.25	0.98					
					0.0331	1.36	16	1.25	1.28					
					0.0375	2.31	25	1.25	0.58					
					0.0255	3.5896	25	1.25	0.98					
					0.0408	1.5112	25	1.25	0.98					
					0.0524	0.11	25	1.25	1.28					





شکل ۹- داده های مشاهداتی در مقابل داده های محاسباتی از رابطه (۲۲)

ضرائب ثابت و D رابطه بدست آمده توسط محققین پیشین می باشد بدست آید که در برگیرنده شدت اختلاط در مقاطع ثابت (به ازای  $\alpha = 0$ ) و مقاطع همگرا باشد. چنانچه به جای D از رابطه بدست آمده توسط قمشی ( $E_w = \frac{0.0024}{Ri^{1.06}}$ ) استفاده شود یعنی رابطه شدت اختلاط در مقاطع ثابت و همگرا به صورت  $A(\alpha)^B * (Ri)^C + \frac{0.0024}{Ri^{1.06}}$  نوشته شود ضرایب A، B و C دارای مقادیر زیر خواهند بود.

$$A=0/123 \quad B=1 \quad C=-0/174$$

در نتیجه رابطه شدت اختلاط برای مقاطع همگرا و ثابت بصورت زیر خواهد بود:

$$E_w = \frac{0.123 * \alpha}{Ri^{0.174}} + \frac{0.0024}{Ri^{1.06}} \quad (22)$$

ضریب همبستگی بین داده های محاسباتی و مشاهداتی  $R^2 = 0/94$  خواهد بود. در شکل (۹) مقادیر مشاهداتی و محاسباتی توسط رابطه (۲۲) در مقابل همدیگر رسم شده اند. چنانچه از رابطه پارکر و همکاران ( $E_w = \frac{0.0075}{(1+718Ri^{2.4})^{0.5}}$ ) به جای D استفاده شود یعنی رابطه شدت اختلاط در مقاطع همگرا و ثابت به صورت زیر نوشته شود  $A(\alpha)^B * (Ri)^C + \frac{0.0075}{(1+718Ri^{2.4})^{0.5}}$  ضرایب A، B و C دارای مقادیر زیر خواهند بود.

$$A=0/121 \quad B=0/916 \quad C=-0/259$$

در نتیجه رابطه شدت اختلاط برای مقاطع همگرا و ثابت بصورت زیر خواهد بود:

شکل (۹) شدت اختلاط در سه مقطع همگرای ۸، ۱۶ و ۲۵ درجه را با هم مقایسه می کند. همان طور که از این شکل مشخص است با افزایش زاویه همگرایی بر میزان شدت اختلاط افزوده می شود. به منظور مقایسه داده های حاصل از این تحقیق با داده های سایر محققین، داده های بدست آمده مطالعه حاضر و ضرائب کشش حاصل از تحقیقات دیگر در مقابل عدد ریچاردسون رسم گردید. شکل (۸) بیان کننده موقعیت نتایج مطالعه حاضر با دیگر افراد می باشد. داده های مربوط به آقای ترابی (۲۰۰۷) در نمودار فوق مربوط به مقاطع واگرا می باشد.

#### ارائه رابطه شدت اختلاط در مقاطع همگرا

با توجه به نتایج ارائه شده نمودارهای مذکور روابط زیر برای اختلاط آب با جریان غلیظ بدست آمد. زاویه همگرایی ۸ درجه

$$E_w = 0.028 / Ri^{0.42} \dots R^2 = 0.67 \quad (19)$$

زاویه همگرایی ۱۶ درجه

$$E_w = 0.034 / Ri^{0.37} \dots R^2 = 0.635 \quad (20)$$

زاویه همگرایی ۲۵ درجه

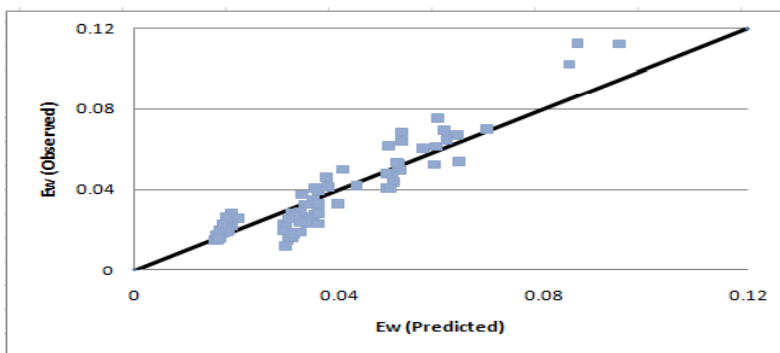
$$E_w = 0.058 / Ri^{0.25} \dots R^2 = 0.825 \quad (21)$$

در نهایت سعی شد تا با توجه به روابط استخراج شده توسط سایر محققین که برای مقطع ثابت ارائه شده بود رابطه ای برای مقاطع همگرا و ثابت بصورت  $A(\alpha)^B * (Ri)^C + D$  که در آن A، B و C

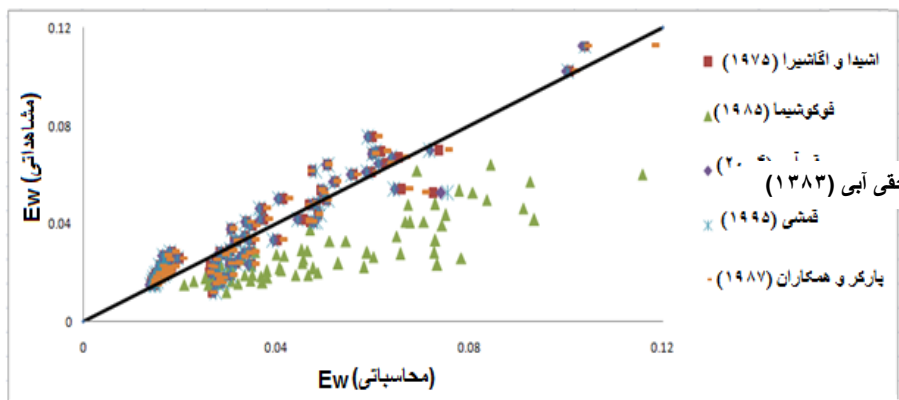
محاسباتی از فرمول (۲۰) استخراج شده برای مقادیر  $Ri$  در محدوده ۰.۰۰۱ تا ۰.۱۲۱۶. همگرا و داده‌های مشاهده‌ای می‌باشد. در شکل (۱۱) داده‌های محاسباتی با استفاده از روابط بالا و داده‌های مشاهده‌ای از آزمایشات در مقابل یکدیگر رسم شده‌اند. با توجه به جدول بالا و شکل زیر می‌توان گفت مناسبترین رابطه برای محاسبه شدت اختلاط در مقاطع ثابت و همگرا رابطه (۲۲) می‌باشد.

$$E_w = \frac{0.121 * \alpha^{0.916}}{Ri^{0.259}} + \frac{0.0075}{(1 + 718 Ri^{2.4})^{0.5}} \quad (23)$$

ضریب همبستگی بین داده‌های محاسباتی از فرمول (۲۳) و داده‌های مشاهده‌ای  $R^2 = 0.93$  خواهد بود. در شکل (۱۰) مقادیر مشاهده‌ای از آزمایش‌ها و مقادیر محاسباتی توسط رابطه بالا در مقابل همدیگر رسم شده‌اند در جدول (۳) سایر روابط بدست آمده برای مقاطع ثابت و همگرا نوشته شده است. در این جدول  $R^2$  ضریب همبستگی بین داده‌های



شکل ۱۰- داده‌های محاسباتی از رابطه (۲۳) در مقابل داده‌های مشاهده‌ای



شکل ۱۱- داده‌های محاسباتی در مقابل داده‌های مشاهده‌ای

جدول ۳- روابط استخراج شده برای مقاطع همگرا و ثابت با استفاده از روابط محققین قبلی

$R^2$	رابطه بدست آمده برای مقاطع ثابت و همگرا	رابطه استفاده شده به جای D
۰/۸۹۷	$E_w = \frac{0.122\alpha^{0.958}}{Ri^{0.222}} + \frac{0.0015}{Ri}$	$E_w = \frac{0.0015}{Ri}$ اشیدا و آگاشیرا (۱۹۷۵)
۰/۷۱	$E_w = \frac{0.215\alpha^{1.861}}{Ri^{0.394}} + \frac{0.00153}{0.0204Ri}$	$E_w = \frac{0.00153}{0.0204Ri}$ فوکوشیما و همکاران (۱۹۸۰)
۰/۸۹	$E_w = \frac{0.122\alpha^{0.992}}{Ri^{0.187}} + \frac{0.0023}{Ri^{1.0243}}$	$E_w = \frac{0.0023}{Ri^{1.0243}}$ حقی آبی (۱۳۸۳)

**نتیجه‌گیری**

- (۱) با افزایش عدد ریچاردسون از میزان شدت اختلاط کاسته می‌شود.
- (۲) با افزایش زاویه همگرایی بر میزان شدت اختلاط افزوده می‌شود.
- (۳) با افزایش شیب بستر بر میزان شدت اختلاط افزوده می‌شود.
- (۴) مناسبترین رابطه برای محاسبه میزان شدت اختلاط در مقاطع ثابت و همگرا رابطه (۲۲) می‌باشد.

**سپاسگزاری**

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

**منابع**

- ۱- ترابی پوده، ح. ۱۳۸۶. بررسی رفتار جریان غلیظ در همگرایی‌ها و واگرایی‌ها. رساله دکتری، رشته سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران.
- ۲- حقی‌آبی ا.ح. ۱۳۸۳. بررسی تأثیر شیب کف بر پروفیل‌های سرعت و غلظت جریان غلیظ. رساله دکتری، رشته سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران.
- ۳- کرم زاده، ن. ۱۳۸۳. بررسی آزمایشگاهی کشش آب ساکن در جریان‌های غلیظ. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته عمران آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید چمران.
- ۴- کوتی، ف. ۱۳۸۹. بررسی اثر مشترک شیب کف و دبی جریان غلیظ بر روی کشش آب به جریان غلیظ. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران.

- 5- Ashida, K. and S. Egashira. 1975. Basic study on turbidity currents, Proceedings of Japan. Society of Civil Engineers, Tokyo, 237: 37-50.
- 6- Chikita, K. 1990. Sedimentation by river – induced turbidity currents; field measurements and interpretation, Sedimentology, 37: 891-905.
- 7- Ellison T. H. and J. S. Turner. 1959. Turbulent entrainment in stratified flow Journal of Fluid Mechanics, 6(3): 423 – 448.
- 8- Fernandez, R. 2007. Flow dynamics and mixing behavior of unsteady lake underflows. Ph.D Thesis, University of Western Australia, Australia.
- 9- Fukuoka, S. and Y. Fukushima. 1980. On dynamic behavior of the head of the gravity current in a stratified reservoir. Proceeding of Second International Symposium on Stratified Flow, IAHR, 1, 224–227, 164–173.
- 10- Fukushima, Y. Parker, G. and H. M. Pantin. 1985. Prediction of ignitive turbidity currents in Scripps submarine canyon. Marine Geology, 67: 55-81.
- 11- Ghomeshi, M. 1995. Reservoir sedimentation modeling. Ph.D Thesis, University of Wollongong, Australia.
- 12- Lofquist, K. 1960. Flow and stress near an interface between stratified liquids, Physics of Fluids, 3(2):158-169.
- 13- Parker G., Garcia M., Fukushima Y. 1987. Experiments on turbidity currents over an erodible bed. Journal of Hydraulic Research, 25(1):123-147.
- 14- Simpson, J. E. 1997. Gravity currents in the environmental and the laboratory. Cambridge university press, 244 p.
- 15- Turner J. S. 1973. Buoyancy effects in fluids. Cambridge University Press, Cambridge, England.