

تجزیه و تحلیل هیدرودینامیکی جریان‌های غلیظ اندازه‌گیری شده در مخزن سد دز

محمدرضا زایری^{۱*} و مهدی قمشی^۲

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۹/۰۶ تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۵/۲۶

^۱ دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

^۲ استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m-zayri@phdstu.scu.ac.ir

چکیده

سد دز یکی از سدهای مهم کشور ایران می‌باشد که حجم کل اولیه مخزن آن ۳/۳ میلیارد مترمکعب بوده است. برای شناخت دقیق جریان‌های غلیظ احتمالی در مخزن سد دز و میزان اثر آن‌ها در رسوب گذاری، در تاریخ ۱۸ آذر ۱۳۸۱ لغایت ۱۰ تیر ۱۳۸۲ اندازه‌گیری‌هایی به منظور ثبت جریان‌های غلیظ احتمالی انجام گردید. در طول این مدت ۷ واقعه جریان غلیظ صورت پذیرفت. تمرکز بر روی نتایج پروفیل‌های سرعت نشان می‌دهند که بطور کلی ضریب بی بعد شدت تسلسل ذرات سیال محیطی (E_{wv}) جریان غلیظ در مخزن سد دز در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی دارای مقادیر بالاتری می‌باشد. این وضعیت عمدتاً وابسته به غیریکنواختی مقاطع و پیچان رود بودن مسیر و زبری کف می‌باشد که باعث افزایش تسلسل ذرات سیال محیطی می‌گردد. همچنین تجزیه و آنالیز آماری بر روی پروفیل‌های بی بعد سرعت به وسیله نرم‌افزار SPSS صورت گرفت و نتایج آن با داده‌های آزمایشگاهی مقایسه گردید.

واژه‌های کلیدی: جریان غلیظ، سد دز، شدت تسلسل ذرات سیال محیطی، نرم‌افزار SPSS، هیدرودینامیک جریان

Hydrodynamic Analysis of Turbidity Currents Measured in Dez Dam Reservoir

M Zayrie^{1*} and M Ghomeshi²

Received: 26 November 2012 Accepted: 17 August 2013

¹- Ph.D. Student, Faculty of Water Sci. Engin., Univ. of Shahid Chamran, Ahvaz, Iran

²- Prof., Faculty of Water Sci. Engin., Univ. of Shahid Chamran, Ahvaz, Iran

*Corresponding Author Email: m-zayri@phdstu.scu.ac.ir

Abstract

Dez Dam is one of the most important dams in Iran. The total initial storage volume of the reservoir was 3.3 Billion cubic meters. To find the characteristics of the turbidity current that may occur in the reservoir and understand its effects on sedimentation, measurements were made in this reservoir from 8th December 2002 to 30th June 2003. During this period, seven events of turbidity current events were recorded. Focusing on the velocity profiles results showed that generally the measured water entrainment coefficients (E_w) were higher, as compared with the existing laboratory data. This state strongly depended on the non-uniformity of the cross sections, tortuosity of the channel and bed roughness that increased the water entrainment. Also, a statistical analysis was performed on the dimensionless velocity profiles using SPSS software, and the results were compared with the experimental data.

Keywords: Dez dam, Flow hydrodynamics, SPSS software, Turbidity current, Water entrainment

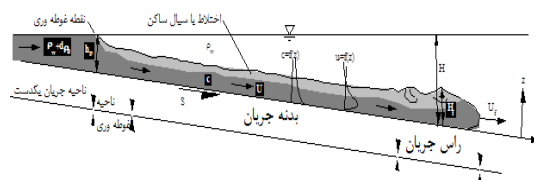
نیروی محرک برای یک جبهه جریان، در اصل گرادبان فشار می باشد که ناشی از اختلاف چگالی بین جبهه جریان و سیال محیط اطراف خود است (محمدی ۱۳۸۶). اگر اختلاف چگالی ρ بین دو لایه در یک فاصله عمودی dz ناچیز باشد به سیال محیط غیر لایه ای و در غیر این صورت لایه ای می گویند (شکل ۲).



الف) سیال پیرامون از نوع غیر لایه ای

مقدمه

جریان غلیظ و یا جریان چگال عبارت است از جریانی که به علت اعمال نیروی ثقل بر روی اختلاف چگالی دو سیال به وجود می آید (گراف و آلتیناکار ۱۹۹۸). اختلاف چگالی ممکن است ناشی از یک یا چند عامل به شرح زیر باشد: تفاوت دما، تفاوت در غلظت مواد محلول و تفاوت در غلظت ذرات معلق. شکل ۱ نمای شماتیک این جریان را نشان می دهد.



شکل ۱- شکل شماتیک اجزای یک جریان غلیظ.

که در این رابطه u_{max} سرعت حداکثر جریان غلیظ، z ارتفاع از کف، h_m ارتفاعی که سرعت حداکثر در آن اتفاق افتاده است و α ، β و n ضرایبی می‌باشند که برای هر شرایط خاص باید تعیین شوند. بدنه جریان غلیظ به فاصله بین نقطه غوطه‌وری تا رأس جریان اطلاق می‌گردد (شکل ۱). آشفتگی بین دو سطح سیال سبب تسلسل ذرات سیال محیطی و ورود سیال محیطی به بدنه جریان غلیظ می‌گردد. در ناحیه دیوار آشفتگی به دلیل اصطکاک کف و ورود رسوبات می‌باشد و در ناحیه جت آشفتگی به دلیل اصطکاک در مرز مشترک ورود سیال محیطی می‌باشد.

از آنجا که تسلسل ذرات سیال محیطی سیال پیرامون به درون بدنه جریان غلیظ یک پارامتر مهم و تعیین‌کننده در حرکت آن می‌باشد در این زمینه مطالعات مفیدی توسط محققین صورت پذیرفته است. اکثر این مطالعات به دنبال رابطه‌ای جهت برآورد میزان شدت تسلسل ذرات سیال محیطی (E_w) می‌باشند. ایسون و ترنر (۱۹۵۹) با انجام آزمایش‌ها آب و محلول نمک نسبت سرعت تسلسل ذرات سیال محیطی ω_e به سرعت متوسط جریان u را تابع کاهشی از عدد ریچاردسون Ri دانستند.

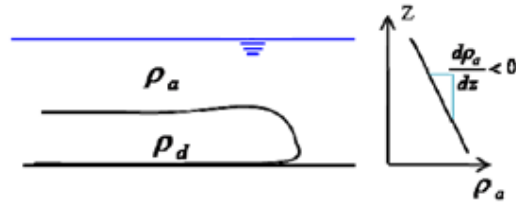
$$Ri = \frac{u_e}{U} = f(Ri) - k \quad [4]$$

که در این رابطه k مقداری ثابت بین ۰ تا ۱/۵ و Ri بصورت زیر تعریف می‌شود.

$$Ri = \frac{g' h \cos \theta}{U} \quad [5]$$

در این روابط h ارتفاع جریان غلیظ، g' شتاب ثقل کاهش‌یافته، θ زاویه کف، U سرعت جریان غلیظ می‌باشد.

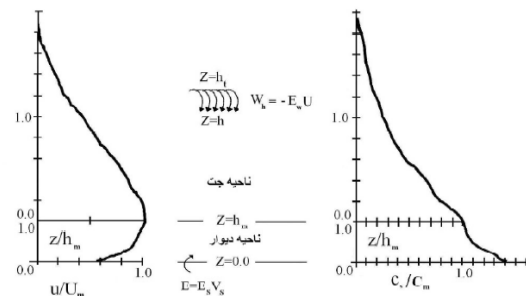
ایسون و ترنر (۱۹۵۹) مشاهده کردند که در شیب ثابت، شدت تسلسل ذرات سیال محیطی با افزایش عدد ریچاردسون سریعاً کاهش پیدا کرده و هنگامی که عدد ریچاردسون از ۰/۸ بیشتر شود می‌توان از آن صرف نظر نمود (فرناندز ۲۰۰۷).



ب) سیال پیرامون از نوع لایه‌ای

شکل ۲- شکل شماتیک تغییرات چگالی در سیال محیط.

پروفیل‌های غلظت و سرعت در بدنه جریان دارای دو ناحیه مشخص می‌باشند. این دو ناحیه که پیوسته‌اند توسط نقطه‌ای از پروفیل سرعت که در آن سرعت بیشینه می‌باشد، جدا می‌گردند. ارتفاع این نقطه از بستر با (h_m) مشخص می‌شود (شکل ۳). فاصله بستر تا h_m را ناحیه دیواره $(z < h_m)$ ، و ناحیه فوقانی را ناحیه جت $(z > h_m)$ می‌نامند.



شکل ۳- توزیع سرعت و غلظت در جریان غلیظ (آلتیناکار ۱۹۸۸).

توزیع سرعت در ناحیه دیواره به صورت لگاریتمی رابطه ۱ یا نمایی رابطه ۲ بیان می‌شود (آلتیناکار و همکاران ۱۹۹۶):

$$\frac{u(z)}{u_m} = \frac{1}{k} \ln(z) + cte \quad [1]$$

$$\frac{u(z)}{u_m} = \left(\frac{z}{h_m}\right)^n \quad [2]$$

در ناحیه جت توزیع تقریباً به صورت گوسی^۱ می‌باشد

$$\frac{u}{u_{max}} = \exp \left[-\alpha \left(\frac{z - h_m}{h - h_m} \right)^2 \right] \quad [3]$$

¹ Near-Gaussian

می‌کنند، و با انجام مطالعات آزمایشگاهی روابطی نیز جهت برآورد آن استخراج نموده‌اند. جدول ۱ برخی از روابط آزمایشگاهی در شرایط جریان پیوسته، ماندگار، یکنواخت و بدون در نظر گرفتن زبری کف نشان می‌دهد.

اولین اندازه‌گیری سینماتیک جریان‌های کدر در رودخانه زرد در مخازن سدهای گانتینگ و لوئی جیاکشا در چین انجام گردید (اوهی ۲۰۰۲). اکثر محققین ضریب شدت تسلسل ذرات سیال محیطی در بدنه را تابعی از عدد ریچاردسون معرفی

جدول ۱- روابط ارائه شده توسط محققین جهت محاسبه شدت تسلسل ذرات سیال محیطی (E_w) تابعی از عدد ریچاردسون.

محدوده مورد استفاده	رابطه	ارائه دهنده
بدون محدودیت	$E_w = \frac{0.001R}{Ri}$	آشیدا و اگشیرا (۱۹۷۵)
بدون محدودیت	$E_w = \frac{0.001R}{0.0004 + Ri}$	فوکوشیما و همکاران (۱۹۸۵)
بدون محدودیت	$E_w = \frac{0.07R}{(1 + 71Ri^{0.5})^{0.5}}$	گارسیا (۱۹۹۳)
Ri < 0.01 0.01 < Ri < 0.1 0.1 < Ri < 10 Ri > 10	$E_w = 0.07$ $E_w = 0.007Ri^{0.25}$ $E_w = 0.002Ri^{0.5}$ $E_w = 0.007Ri^{0.75}$	کریستو دولو (۱۹۸۶)
بدون محدودیت	$E_w = 0.0087 \exp\left(-\frac{0.001}{Ri}\right)$	چیکیتا و اکامورا (۱۹۹۰)
بدون محدودیت	$E_w = \frac{0.0024}{Ri^{0.5}}$	قمشی (۱۹۹۵)
بدون محدودیت	$E_w = \frac{0.3 \times 10^{-3}}{0.6Ri - 1 + \sqrt{(0.6Ri - 1)^2 + 0.1}}$	کسل و کرانبرگ (۱۹۹۶)
بدون محدودیت	$E_w = \frac{0.0028}{Ri^{0.5}}$	حقی ابی (۲۰۰۴)
بدون محدودیت	$E_w = \frac{0.0021}{Ri^{0.5}}$	کرم زاده (۱۳۸۳)
بدون محدودیت	$E_w = \frac{0.0088}{Ri^{0.5}}$	ترابی پوده (۱۳۸۶)

کف می‌دانند و در این زمینه روابطی نیز استخراج نموده‌اند. جدول ۲ برخی از این روابط را نشان می‌دهد. این معادلات بر اساس انرژی جنبشی تلاطم استخراج شده‌اند. پارامتری نمودن انرژی جنبشی تلاطم در ابتدا توسط شرمن و همکاران (۱۹۷۸) برای جریان لایه‌ای ثابت انجام گرفت.

ترابی پوده (۱۳۸۶) به بررسی جریان‌های غلیظ در مقاطع غیریکنواخت و اگرآ پرداخت. نتایج آزمایش‌های وی نشان داد که تسلسل ذرات سیال محیطی سیال پیرامون در مقطع و اگرآ به دلیل تلاطم‌های ایجاد شده از مقطع ثابت بیشتر می‌باشد. تعداد اندکی از محققین شدت تسلسل ذرات سیال محیطی سیال پیرامون را علاوه بر عدد ریچاردسون تابعی از زبری

جدول ۲- روابط ارائه شده جهت محاسبه شدت تسلسل ذرات سیال محیطی (E_{wh}) با در نظر گرفتن تأثیر زبری کف.

ارائه دهنده	رابطه	محدوده مورد استفاده
همکاران (۱۹۷۹) و هبرت و	$E_w = \frac{C_K C_D^{3/2}}{Ri - C_s}$	$Ri > 0.3$
همکاران (۲۰۰۱) و دالیمور و	$E_w = \frac{C_K C_D^{3/2} + C_s^*}{Ri + 10(C_K C_D^{3/2} + C_s^*)}$	بدون محدودیت

فرناندز (۲۰۰۷) با اندازه‌گیری شدت تسلسل ذرات سیال محیطی سیال پیرامون در ۱۰ مقطع از مخزن سد ماندربینگ بر نقش اساسی سرعت جریان و نسبت زبری (k_s/R_h) در کنترل ورود سیال پیرامون به درون جریان غلیظ تأکید نمود. که k_s ارتفاع زبری و R_h شعاع هیدرولیکی جریان غلیظ می‌باشند.

که در این روابط C_D ضریب کششی بستر، C_K ، C_s و C_s^* ضرایب ثابت که توسط شرمن به ترتیب برابر $2/2$ و $0/2$ و 10^{-4} پیشنهاد گردید (فرناندز ۲۰۰۷). با وجود مطالعات آزمایشگاهی بسیار در رابطه با ورود سیال پیرامون، مطالعات صحرایی اندکی در این زمینه انجام گرفته است. جدول ۳ برخی از اندازه‌گیری‌ها و مطالعات در مخازن سدها را نشان می‌دهد.

جدول ۳- مطالعات صحرایی جهت محاسبه شدت تسلسل ذرات سیال محیطی توسط محققین.

ارائه دهنده	مخزن سد	عدد ریچاردسون	سرعت متوسط (m/s)	شدت تسلسل ذرات سیال محیطی ($\times 10^{-4}$)
الدر و همکاران (۱۹۷۲)	چیلوی امریکا	۲۵	۰/۰۷۲	۰/۷
الدر و همکاران (۱۹۷۲)	نورس امریکا	۱۶	۰/۰۴۰	۳/۳
هبرت و همکاران (۱۹۷۹)	ولینگتن استرالیا	۱۷	۰/۰۵۳	۱/۹
دالیمور (۲۰۰۱)	اوگاو ژاپن	۱	۰/۰۲۲	۳/۲
فرناندز (۲۰۰۷)	ماندربینگ استرالیا	۲۳	۰/۰۱۵	۳/۱

می‌باشد، حداکثر تراز بهره‌برداری سد در رقوم ۳۵۲ متر از سطح دریا می‌باشد. سطح دریاچه در این رقوم به ۶۵ کیلومتر مربع می‌رسد که ظرفیت کل ۳/۳ میلیارد مترمکعب آب را دارد. حداقل تراز بهره‌برداری از مخزن ۳۱۰ متر و رقوم آستانه سر ریزها ۳۳۵ متر از سطح دریا است.

دهانه آبگیر نیروگاه در رقوم ۲۷۵ متر از سطح دریا قرار دارد. این سد ۱۲۵۰۰۰ هکتار از اراضی پایین‌دست را آبیاری می‌کند و نقش مهمی در کنترل سیلاب‌های بالادست مخزن دارد.

هدف این پژوهش بررسی و تجزیه و تحلیل هیدرودینامیک جریان غلیظ در مخزن سد دز بر مبنای اندازه‌گیری‌های انجام یافته و مقایسه نتایج با داده‌های آزمایشگاهی سایر محققین می‌باشد.

مواد و روش‌ها

سد بتنی دو قوسی دز واقع در ۲۵ کیلومتری شمال شهرستان دزفول بر روی رودخانه دز روی سنگ‌هایی از جنس کنگلومرا ساخته شده است. طول تاج این سد ۲۱۲ متر و رقوم تاج سد ۳۵۴ متر از سطح دریا

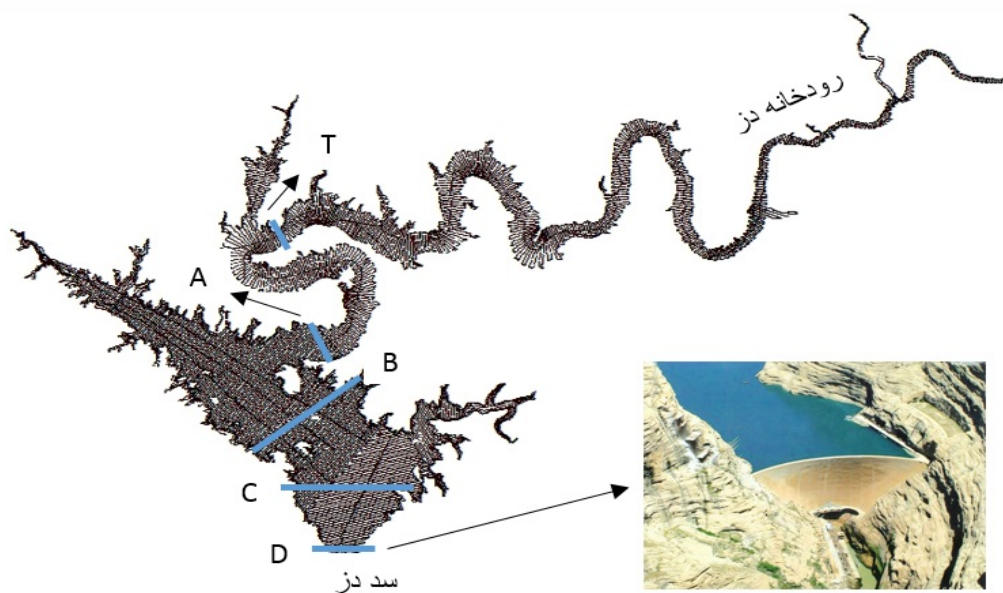
شده در هر ایستگاه در سال (۱۳۸۱) در جدول ۴ ارائه شده است.

در شکل ۵ نمونه‌ای از پروفیل‌های سرعت و غلظت جریان غلیظ برداشت شده در سال ۱۳۸۱ در ایستگاه B نشان داده شده‌اند.

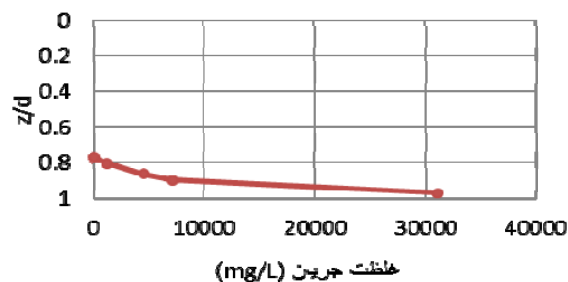
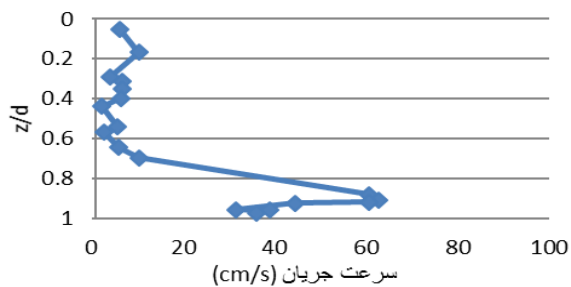
اندازه‌گیری‌های پارمترهای جریان غلیظ توسط مؤسسه تحقیقات آب از تاریخ ۱۸ آذر ۱۳۸۱ لغایت ۱۰ تیر ۱۳۸۲ انجام گرفت؛ بدین منظور در مسیر خط القعر آبراهه و در ایستگاه‌هایی که موقعیت آن‌ها در شکل ۴ نشان داده شده، نسبت به اندازه‌گیری مشخصات جریان اقدام گردیده است (بی نام ۱۳۸۱). دستگاه‌های نصب

جدول ۴- ابزار مورد استفاده جهت اندازه‌گیری جریان غلیظ.

ایستگاه	ابزار مورد استفاده	پارامترهای اندازه‌گیری
T,D,C,B,A	RCM9	دما(°C)، هدایت الکتریکی (mmhos/cm)، کدورت(NTU)
T,D,C,B,A	Valeport108	سرعت (cm/s) و جهت جریان
T,D,C,B,A	diver	دما، فشار(Kpa)
T,D,C,B,A	sension156	دما، هدایت الکتریکی



شکل ۴- موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری جریان غلیظ بر روی مخزن سد دز.



شکل ۵- نمودار توزیع سرعت و غلظت در ایستگاه B.

نتایج و بحث

بررسی شدت تسلسل ذرات سیال محیطی در بدنه جریان غلیظ

از روابط ۶ برای محاسبه ضریب کشش سیال پیرامون استفاده گردید. با داشتن مقدار غلظت و با استفاده از رابطه ۵ عدد ریچاردسون (Ri)، محاسبه می‌گردد.

$$\frac{\partial}{\partial x}(Uh) = -W_{h_t} = E_w U \Rightarrow \frac{\Delta Q}{\Delta x} = E_w UB \Rightarrow$$

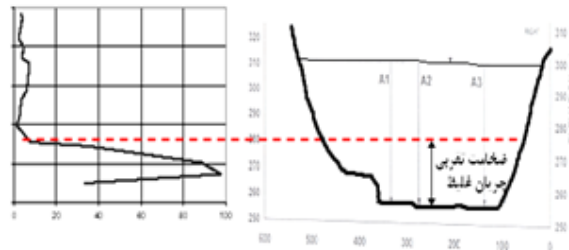
$$\Delta Q = E_w UB \Delta B \Rightarrow \Delta Q = E_w UA_w \Rightarrow E_w = \frac{\Delta Q}{UA_w}$$

$$(E_w)_{j-j+1} = \left[\frac{1}{A_w} \right] \left[\frac{2}{U_{j+1} + U_j} \right] [Q_{j+1} - Q_j] \quad [6]$$

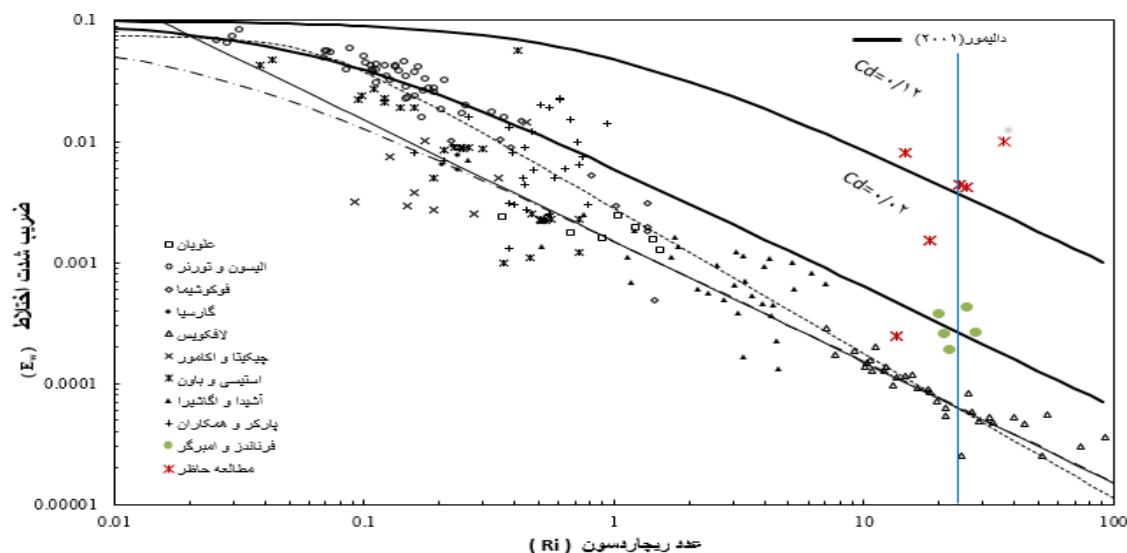
جدول ۵ مقادیر ضریب شدت تسلسل ذرات سیال محیطی آب ساکن (E_w) و عدد ریچاردسون محاسبه شده را نشان می‌دهد.

در شکل ۷ جهت بررسی دقیق تر موضوع، ضرایب کشش حاصل از تحقیقات دیگر محققین و مطالعه حاضر در مقابل عدد ریچاردسون رسم گردیده است. شکل ۷ نمایانگر مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر آزمایشگاهی برداشت شده در مقاطع واگرا می‌باشد که توسط ترابی پوده (۱۳۸۶) برداشت گردیده است.

با توجه به داشتن منحنی توزیع غلظت، مقدار غلظت متوسط رسوبات بر حسب گرم در لیتر در هر ایستگاه محاسبه گردید. برای محاسبه و بررسی شدت تسلسل ذرات سیال محیطی در بدنه جریان غلیظ ورودی به مخزن سد دز با برداشت سطح مقطع عرضی استخراجی از هیدروگرافی سال ۱۳۸۹ در کلیه ایستگاه‌ها با داشتن پروفیل‌های سرعت می‌توان مقدار ارتفاع و در نتیجه مقدار سطح مقطع جریان غلیظ محاسبه گردد. شکل ۶ به صورت شماتیک نحوه محاسبه ضخامت و عرض لایه جریان غلیظ را نشان می‌دهد.



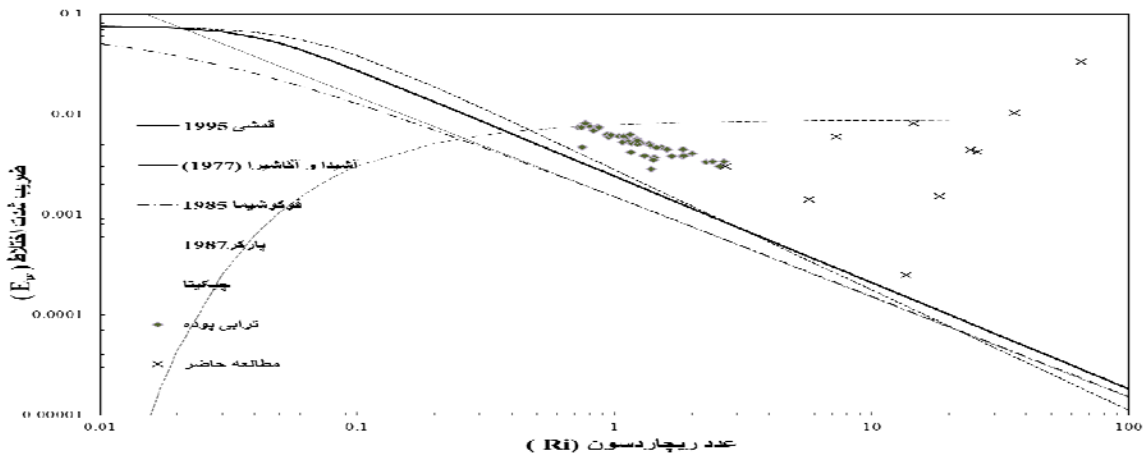
شکل ۶- تعیین ضخامت و عرض لایه جریان غلیظ با استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی.



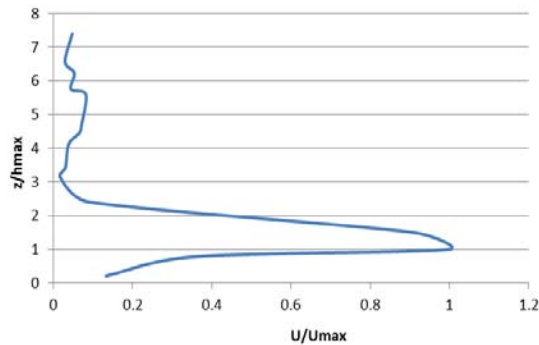
شکل ۷- مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده شدت تسلسل ذرات سیال محیطی آب ساکن E_w با مقادیر و روابط بدست آمده در تحقیقات گذشته.

جدول ۵- پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه ضریب کشش سیال پیرامون (E_w) و عدد ریچاردسون (R_i).

شماره واقعه	فاصله مقاطع تا بدنه سد (m)	متوسط سرعت (cm/s)	عمق جریان غلیظ (m)	سطح مقطع (m^2)	دبی جریان غلیظ (m^3/s)	متوسط شیب (m/m)	غلظت رسوبات (g/L)	عدد ریچاردسون (R_i)	ضریب شدت تسلسل ذرات سیال محیطی (E_w)
۱	D	۵۰۰	۷/۵	۲۸۲۹	۲۸/۷	۰/۰۰۰۱۸	۰/۲	۱۳/۲۰	-
	A	۱۰۵۴۲	۴۳	۱۱۱۲۹	۴۷۸/۵	۰/۰۰۰۱۶	۸/۲۸	-	-
	T	۱۵۲۹	۵۱/۷	۸۴۵۲۷	۴۳۷۰	۰/۰۲۱	۴	۵/۱۰	-
۲	D	۵۰۰	۱۲	۲۹۵۲۷	۳۵۴/۳	۰/۰۰۰۱۸	۲/۱	۱۳/۶۱	۰/۰۰۰۲۴
	A	۱۰۵۴۲	۳۰	۱۰۶۰۱	۳۱۸	۰/۰۰۰۱۶	۵	-	-
۳	D	۵۰۰	۴۵	۲۰۰۱۱	۹۰۰/۵	۰/۰۰۰۱۸	۰/۳	۲/۷	۰/۰۰۰۲
	A	۱۰۵۴۲	۷	۲۰۷۵۳	۱۴۵/۳	۰/۰۰۰۱۶	۰/۲	-	-
	T	۱۵۲۹	۱۱/۴	۱۰۵۸۳	۱۲۰/۲	۰/۰۲۱	۱	۱۸/۴	۰/۰۰۰۱۵
۴	D	۵۰۰	-	-	-	۰/۰۰۰۱۸	۰/۰۱۹	۱۰۹/۷	-
	A	۱۰۵۴۲	۵	۱۵۱۵۰	۶۰۶	۰/۰۰۰۱۶	۰/۷	-	-
	T	۱۵۲۶۷	۶	۹۶۴	۹/۶	۰/۰۲۱	۰/۰۱۹	۲۴/۱۵	۰/۰۰۰۴۳
۵	A	۱۰۵۴۲	۴۰/۵	۱۸۰۹۱	۷۳۲/۷	۰/۰۰۰۱۶	۰/۷	۷/۳۱	۰/۰۰۰۵۹
	T	۱۵۲۶۷	۵	۸۱۵۸	۴۰/۸	۰/۰۲۱	۱۰	-	-
۶	C	۳۱۵۰	۸	۷۹۴۵۳	۶۳۵/۶	۰/۰۰۰۱۸	۰/۶	۶۵/۳۷	۰/۰۰۰۳۳
	B	۵۰۵۰	۲/۴	۵۳۱۹۱	۱۸۰/۸	۰/۰۰۰۱۸	۰/۷	-	-
	A	۱۰۵۴۲	۲۲/۳	۱۵۵۶۸	۳۴۷/۲	۰/۰۰۰۱۶	۱/۵	۱۷/۷	-
	T	۱۵۲۶۷	۶	۱۱۸۶۱	۷۱/۲	۰/۰۲۱	۰/۰۲	۵/۷	۰/۰۰۰۱۴
۷	D	۵۰۰	۱۶/۴	۴۱۴۹۹	۶۸۰/۶	۰/۰۰۰۱۸	۲/۷	۳۶/۱	۰/۰۱۰۲
	B	۵۰۵۰	۷	۵۳۱۹۱	۳۷۲/۳	۰/۰۰۰۱۸	۰/۶	-	-
	A	۱۰۵۴۲	۱۰	۱۸۳۸۳	۱۸۳/۸	۰/۰۰۰۱۶	۰/۷	۲۵/۸	۰/۰۰۰۴۱
							۱۴/۶	۰/۰۰۰۸۱	

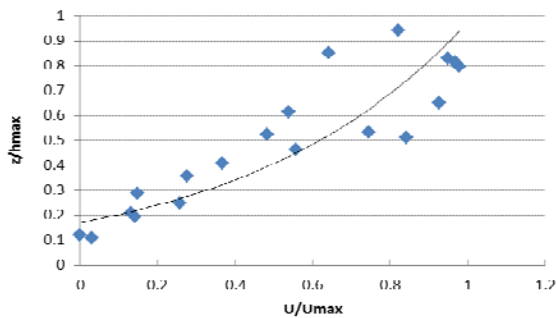


شکل ۸- مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر آزمایشگاهی برداشت شده در مقاطع واگرا.



شکل ۹- نمونه از پروفیل سرعت بدست آمده در نوبت اول بعد از بی بعد سازی.

پروفیل‌های سرعت بی بعد شده در تمامی ایستگاه‌ها در نوبت اول جهت بدست آوردن ضرایب α ، β و n موجود در معادلات ۲ و ۳ در نرم‌افزار SPSS مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند. در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ ناحیه زیرین و بالایی پروفیل سرعت در حالت بی بعد و بصورت متوسط همه ارقام نشان داده شده است.

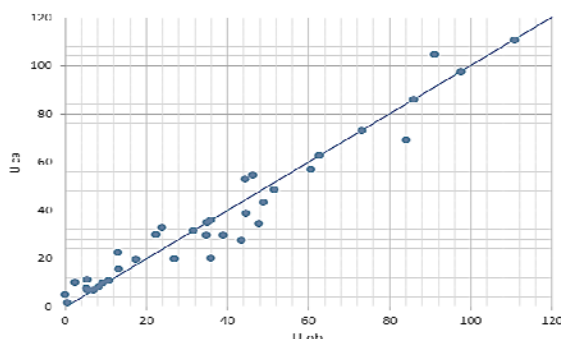


شکل ۱۰- پروفیل بی بعد سرعت برای ناحیه زیرین جریان غلیظ.

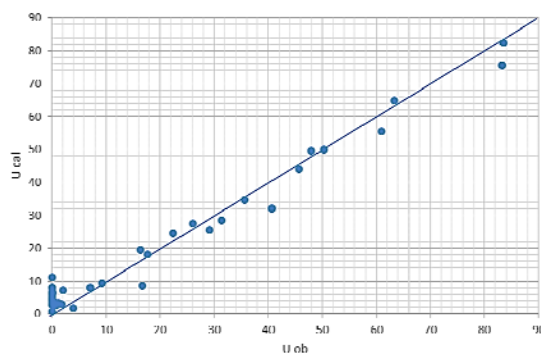
با مشاهده شکل‌های ۷ و ۸ ملاحظه می‌شود که ضریب شدت تسلسل ذرات سیال محیطی اندازه‌گیری شده در سد دز نسبت به عدد ریچاردسون به مراتب از مقادیر اندازه‌گیری شده آزمایشگاهی مربوط به کانال‌ها با مقطع ثابت بیشتر است. در شکل ۷ نشان داده شده است که برای متوسط عدد ریچاردسون ۲۳ مقادیر شدت تسلسل ذرات سیال محیطی جریان غلیظ در مخزن سد دز از معادله دالیمور (جدول ۲) با ضریب کششی بستر بین ۰/۰۲ تا ۰/۱۲ تبعیت می‌کند. اکثر مقادیر حتی از مقادیر آزمایشگاهی مقاطع واگرا نیز بیشتر می‌باشند. این مسئله اثر توأم غیریکنواختی مقاطع و تغییرات مسیر و ضریب زبری متغیر بستر را بر شدت تسلسل ذرات سیال محیطی نشان می‌دهد که در تحقیقات آزمایشگاهی لحاظ نشده است.

بررسی پروفیل‌های سرعت در بدنه جریان غلیظ به منظور تحلیل پروفیل سرعت در این تحقیق، ابتدا داده‌های برداشتی، دسته‌بندی و مرتب شده، پروفیل‌های مربوط به هر مقطع بعد از بی‌بعد سازی ترسیم شدند. نمونه‌ای از پروفیل‌های سرعت بعد از بی‌بعد سازی در شکل ۹ نشان داده شده است.

شکل ترسیم شده است.



شکل ۱۲-مقایسه داده‌های محاسباتی و مشاهده‌ای پروفیل‌های سرعت در ناحیه دیواره.



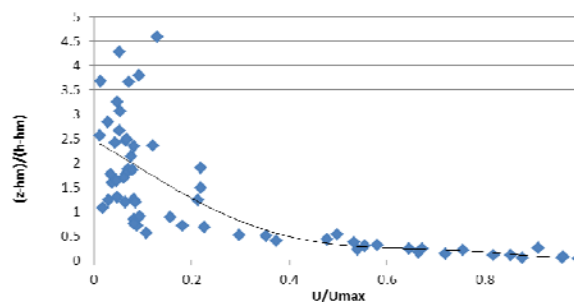
شکل ۱۳-مقایسه داده‌های محاسباتی و مشاهده‌ای پروفیل‌های سرعت در ناحیه جت.

نتیجه‌گیری کلی

مقادیر ضریب شدت تسلسل ذرات سیال محیطی اندازه‌گیری شده در سد دز به مراتب از مقادیر اندازه‌گیری شده آزمایشگاهی مربوط به کانال‌ها با مقطع ثابت بیشتر است. اکثر مقادیر حتی از مقادیر آزمایشگاهی مقاطع واگرا نیز بیشتر می‌باشند. این مسئله اثر توأم غیریکنواختی مقاطع و تغییرات مسیر و ضریب متغیر اصطکاک بستر را بر شدت تسلسل ذرات سیال محیطی نشان می‌دهد که در تحقیقات آزمایشگاهی مورد لحاظ قرار نگرفته است.

برای متوسط عدد ریچاردسن ۲۳ مقادیر شدت تسلسل ذرات سیال محیطی جریان غلیظ در مخزن سد دز از معادله دالیمور (جدول ۲) با ضریب کششی بستر بین ۰/۰۲ تا ۰/۱۲ تبعیت می‌کند.

ضرایب α ، β و n موجود در معادلات ۲ و ۳ در



شکل ۱۱- پروفیل بی بعد سرعت برای ناحیه فوقانی در جریان غلیظ.

مقدار ضریب n در رابطه ۲ با ضریب تعیین 0.798 برابر با $1/0.68$ و ضرایب α و β با ضریب تعیین R^2 0.92 در رابطه ۳ به ترتیب برابر با $2/311$ و $1/157$ بدست آمدند. جدول ۴ مقایسه نتایج بدست آمده از سد دز را با نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهد.

جدول ۴-مقایسه نتایج بدست آمده با مطالعات پیشین.

n	β	α	محقق
۶	۲/۵	۱/۴	آلتیناکار و همکاران (۱۹۹۶)
۳	۲/۲	۱/۳	حسینی و همکاران (۲۰۰۶)
۲/۰۸	۲/۸۳	۰/۸۷	بهرامی (۱۳۸۸)
۱/۰۶۸	۲/۳۱۱	۱/۱۵۷	مطالعه حاضر

بنابراین برای جریان‌های غلیظ برداشت شده می‌توان رابطه پروفیل سرعت را برای ناحیه دیواره و جت به ترتیب به صورت زیر پیشنهاد داد:

در ناحیه دیواره

$$\frac{u}{u_{\max}} = \left(\frac{z}{h_m} \right)^{\frac{1}{1.068}} \quad [7]$$

در ناحیه جت

$$\frac{u}{u_{\max}} = \exp \left[-1.157 \left(\frac{z-h_m}{h-h_m} \right)^{2.311} \right] \quad [8]$$

به منظور بررسی دقت معادلات فوق در تخمین سرعت‌های نقطه‌ای، در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ میزان سرعت‌های محاسباتی در برابر سرعت‌های ثبت شده توسط دستگاه اندازه‌گیری نسبت به خط ۴۵ درجه در

نرم‌افزار SPSS مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت که این مقادیر به ترتیب برابر ۱/۱۵۷ و ۲/۳۱۱ و ۱/۰۶۸ به دست آمد. نویسندگان از سازمان آب و برق خوزستان به جهت حمایت از این طرح مطالعاتی تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع مورد استفاده

- بی نام، ۱۳۸۱. گزارش نهایی اندازه‌گیری جریان غلیظ در مخزن سد دز. مرکز تحقیقات آب و شرکت سهامی آب و برق خوزستان
- بهرامی ح، ۱۳۸۸. بررسی تأثیر شکست شیب بر خصوصیات جریان غلیظ با استفاده از مدل فیزیکی. رساله دکتری، دانشگاه شهید چمران.
- ترابی پوده ح، ۱۳۸۶. بررسی رفتار جریان غلیظ در همگرایی‌ها و واگرایی‌ها. رساله دکتری، دانشگاه شهید چمران.
- کرم زاده ن، ۱۳۸۳. بررسی آزمایشگاهی کشش آب ساکن در جریان های غلیظ. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران.
- محمدی م، ۱۳۸۶. هیدرولیک جریان در کانالها و رودخانه‌ها، (ترجمه، چاپ دوم)، انتشارات دانشگاه ارومیه.
- Altenakar MS, Graf WH and Hopfinger ET, 1996. Flow structure in turbidity currents. *J of Hydr Res* 34(5): 713-718
- Altenakar MS, 1988. Weakly depositing turbidity currents on small slopes. Ph.D thesis, University of EPFL, Switzerland.
- Ashida K and Egashira S, 1975. Basic study on turbidity currents. *Trans Jpn SOC Civ Eng* 7:83-86
- Bell HS, 1942. Density current as agents for transporting sediment, *J of Geology* 50: 512-547
- Chikita K and Okumura Y, 1990. Dynamics of turbidity currents measured in Katsurazawa reservoir, Hokkaido, Japan. *J of Hydrology* 1171-(4):323-338.
- Christodoulou G, 1986. Interfacial mixing in stratified flows. *J Hydraul Res* 24(2):77-92.
- Dallimore C, Imberger J and Ishikawa T, 2001. Entrainment and turbulence in a saline underflow in lake Ogawara. *J Hydraul Engng* 127(11):937-948.
- Elder RA, Wunderlich WO, 1972. Inflow density currents in TVA reservoirs. *Symp. stratified flows ASCE* 1:221-236.
- Ellison TH and Turner JS, 1959. Turbulent entrainment in stratified flow. *J of Fluid Mech* 6(3):423-448.
- Fernandez R, 2007. Flow dynamics and mixing behavior of unsteady lake underflows. Ph.D thesis, University of Western Australia.
- Fukushima Y, Parker G and Pantin HM, 1985. Prediction of ignitive turbidity currents in scripps submarine canyon *Marin Geo* 67: 55-81.
- Garcia MH, 1993. Hydraulic jumps in sediment-driven bottom currents. *J of Hydr Engin, ASCE* 119(10):1094-1117
- Ghomeshi M, 1995. Reservoir sedimentation modeling. Ph.D Thesis, University of Wollongong, Australia.
- Graf WH and Altinakar MS, 1998. *Fluvial Hydraulics: Flow and Transport Processes in Channels of Simple Geometry*. John Wiley and Sons
- Haghiabi AH, 2004. The study of bed slope effect on velocity and concentration profiles of density currents. Ph.D Thesis, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran.
- Hebbert B, Imberger J, Loh I and Patterson J, 1979. Collie river underflow into the Wellington reservoir. *J Hydraul Div ASCE* 105(5):533-545.
- Hosseini SA, Shamsai A and Ataie Ashtiani B, 2006. Synchronous measurements of the velocity and concentration in low density turbidity currents using an Acoustic Doppler Velocimeter. *J Flow Measurement and Instrumentation* 17(1): 59-68
- Kassel TV and Kranenburg C, 1996. Gravity current of fluid mud on sloping bed. *J of Hydr Engin, ASCE* 122 (12):710-717.
- Sherman FS, Imberger J and Corcos GM, 1978. Turbulence and mixing in stably stratified waters. *Ann Rev Fluid Mech* 10: 267-288.
- Oehy Ch, 2002. Effect of obstacles and jets on reservoir sedimentation due to turbidity currents. Ph.D thesis, University of EPFL, Switzerland.