

---

## بررسی عددی تأثیر ایجاد زبری، الگوی قرارگیری، ارتفاع و شکل زبری در کنترل جریان غلیظ با استفاده از ANSYS-CFX

---

سید امین اصغری پری\*، سید مالک محققیان

دانشکده مهندسی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء(ص) بهبهان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۳/۶

### چکیده

جریان غلیظ یکی از اصلی ترین عوامل انتقال مواد رسوبی به نزدیکی بدنه سد است. در این مقاله با استفاده از روش عددی المان محدود، با استفاده از نرم افزار ANSYS-CFX به بررسی تأثیر زبری، الگوی قرارگیری، ارتفاع و شکل زبری ها در کف بر کنترل جریان غلیظ ورودی به مخازن سدها پرداخته شده است. جهت حل معادلات آشفتگی از روش k-ε استفاده شده است. پس از صحت سنجی مدل، ابتدا جریان بدون وجود زبری ها مدل گردیده، سپس سه شکل زبری به صورت هرمی، مکعبی و استوانه ای لبه گرد، با دو آرایش زیگزاگی و متوالی، با ۵ ارتفاع مختلف زبری و برای دو حالت جریان زیربحرانی و فوق بحرانی مدل گردیده است. نتایج نشان می دهد که با افزایش ارتفاع زبری ها و سطح مقطع در برابر جریان و ایجاد آرایش زیگزاگی، دبی عبوری جریان غلیظ کاهش می یابد؛ همچنین اثر کنترلی زبری بر جریان غلیظ در جریان زیربحرانی بیشتر است.

**واژه های کلیدی:** آرایش زبری، ارتفاع زبری، جریان غلیظ، شکل زبری، نرم افزار ANSYS CFX

۱. مقدمه

(Ellison and Turner, 1959) رابطه‌های زیر را برای استخراج سرعت و ارتفاع متوسط بدنه جریان ارائه کرده‌اند:

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

$$\bar{h} = \frac{(\int_0^{\infty} u dz)^2}{\int_0^{\infty} u^2 dz} = \frac{(\int_0^{h_t} u dz)^2}{\int_0^{h_t} u^2 dz} \quad (3)$$

که در آن:

$h_t$ : ارتفاع کل جریان و  $u$ : سرعت نقطه‌ای است. جریان‌های غلیظ به عنوان یکی از مهمترین عوامل رسوب‌گذاری در مخازن سدها است. که با انتقال این رسوب‌ها به نزدیکی بدنه‌ی سد و با تأثیر بر اجزای اصلی آن موجب ناکارآمدی سد پیش از زمان پیش-بینی شده برای عمر مفید آن می‌شود. این مشکل در مناطقی که فرسایش و دبی جریان‌های رسوبی در آن‌ها زیاد است حادث‌تر است. جریان غلیظ علاوه بر اینکه باعث کاهش عمر مفید سد می‌شود، موجب تجمع رسوب در نقاط مهم سد مانند ورودی آبیگرها می‌گردد.

تخمین زده شده است که تجمع رسوبات در مخازن سدها، سالانه یک درصد از حجم ذخیره آنها را کاهش می‌دهد. با توجه به اهمیت بسیار زیاد مخازن سدها در تامین آب شرب، کشاورزی و صنعت و نیز تولید برق، انجام اقدامات لازم برای کاهش روند رسوبگذاری در مخازن بسیار ضروری است (Oehy, 2002). از این رو کنترل جریان غلیظ امری حیاتی در صنعت سد سازی بوده است لذا محققین در دهه اخیر مطالعات و ایده‌های مختلفی در این زمینه مطرح نموده‌اند که یکی از این ایده‌ها، ایجاد مانع و زبری است. در این تحقیق به بررسی تأثیر زبری، الگوی قرارگیری، ارتفاع و شکل زبری‌ها در کف مخزن بر کنترل جریان غلیظ با کمک شبیه‌سازی عددی المان محدود پرداخته شده است. شبیه‌سازی عددی کمک می‌کند تا با صرف هزینه‌ی کم بتوان بررسی‌های لازم در این زمینه را انجام داد. یکی از نرم‌افزارهای محاسباتی که کاربرد زیادی در زمینه‌ی طراحی‌های مهندسی آب دارد، نرم‌افزار

زمانی که سیالی با چگالی  $\rho_t$  به جریانی با چگالی  $\rho_a$  وارد شود، به علت اختلاف چگالی دو سیال، جریانی تشکیل می‌شود که به آن جریان غلیظ گفته می‌شود؛ این جریان بسته به چگالی سیال وارد شونده به سیال پذیرنده، می‌تواند روگذر، میان گذر یا زیرگذر باشد. در سدها، دریاچه‌ها و مصب دریاها که این تفاوت چگالی ناشی از وجود رسوبات در جریان ورودی باشد، به علت چگالی بیشتر سیال ورودی، جریان به صورت زیر گذر اتفاق می‌افتد. به جریان غلیظ زیرگذر که اختلاف چگالی دو سیال ناشی از غلظت رسوبات است جریان کدر نیز گفته می‌شود؛ این جریان تا حدودی شبیه جریان در کانال‌های روباز است با این تفاوت که عامل حرکت در جریان غلیظ، نیروی ثقل کاهش یافته  $g'$  بوده و سیال پیرامون به جای هوا، آب است.

شتاب ثقل کاهش یافته که به عنوان نیروی محرک در جریان غلیظ مطرح است، به صورت زیر بیان می‌شود.

$$g' = g \frac{(\rho_t - \rho_a)}{\rho_a} = g C_s \frac{(\rho_s - \rho_w)}{\rho_w} \quad (1)$$

که در آن:

$C_s$ : غلظت حجمی متوسط رسوبات غیرچسبنده ،  
 $\rho_t$ : دانسیته سیال غلیظ،  $\rho_a$ : دانسیته سیال پیرامون،  $\rho_s$ : دانسیته ذرات رسوب و  $\rho_w$ : دانسیته آب است.

بدنه جریان غلیظ را می‌توان به دو قسمت تقسیم کرد؛ قسمت اول از کف تا ارتفاعی که سرعت جریان غلیظ در آن ماکزیمم می‌شود (ناحیه دیوار) و قسمت دوم از جایی که سرعت جریان غلیظ ماکزیمم است تا انتهای ارتفاع بدنه جریان غلیظ (ناحیه جت). آشفتگی جریان در ناحیه دیواره ناشی از تاثیر بستر است و رسوب‌گذاری در این ناحیه انجام می‌پذیرد. آشفتگی در ناحیه جت ناشی از اصطکاک جریان با سیال پیرامون است. (Asghari Pari, 2010).

دارد. (Migeon et al., 2012). به بررسی ساختار و طبقه‌بندی سرعت در جریان‌های غلیظ طبیعی پرداختند و انتقال رسوب و سرعت جریان غلیظ در بدنه را به چهار قسمت تقسیم کردند، ناحیه اول شامل ماسه‌های با قطر متوسط است که در مجاور بستر حرکت می‌کند؛ در این ناحیه، جریان غلیظ بیشترین سرعت را دارد و در قسمت‌های بعدی سرعت به ترتیب کمتر شده، در انتهای ناحیه چهارم به صفر می‌رسد. ناحیه دوم شامل ماسه‌های ریز، ناحیه سوم شامل ماسه‌های خیلی ریز و ناحیه چهارم شامل گل است. (Poorkayed et al., 2013) و (Nasrollahpour et al., 2012) به بررسی اثر شکل زبری در مشخصات چگالی پیشانی جریان غلیظ پرداختند؛ آنها دو نوع شکل زبری مخروطی و استوانه ای را با ارتفاع‌های ۱ و ۲/۵ و ۴ سانتیمتر بررسی کردند و نتیجه گرفتند که با افزایش ارتفاع زبری برای یک شکل ثابت و همچنین با افزایش سطح زبری با ارتفاع ثابت، غلظت و سرعت پیشانی جریان غلیظ کاهش و ارتفاع آن افزایش می‌یابد. (Kaheh et al., 2011) به بررسی آزمایشگاهی سرعت پیشروی جریان غلیظ بر روی سطوح زبر پرداختند؛ آنها روابط بدون بعدی جهت سرعت پیشانی جریان ارائه کردند. (Gorban Moghadam et al., 2013) به بررسی آزمایشگاهی تأثیر موانع استوانه‌ای شکل بر حرکت راس جریان غلیظ پرداختند و نتیجه گرفتند غلظت، سرعت و ارتفاع جریان غلیظ با قرار دادن مانع‌های استوانه‌ای در بستر نسبت به حالت بدون مانع کاهش می‌یابد.

(Nogueira et al., 2013) در مطالعه‌ای آزمایشگاهی به بررسی حرکت جریان غلیظ در سطوح زبر و صاف پرداختند. نتایج نشان داد که میزان زبری بستر، تأثیر بسیار مهم و موثری در میزان پیشرفت و حرکت جریان غلیظ دارد به طوری که در زبری‌های کم، میزان کاهش سرعت پیشانی جریان غلیظ کمتر، و در زبری‌های بالاتر میزان کاهش سرعت پیشانی جریان غلیظ بیشتر است. (Vargavand et al., 2013)

ANSYS-CFX می‌باشد؛ در این تحقیق از این نرم افزار استفاده شده است. (Bursik and Woods, 2000) به تأثیر ایجاد مانع و تنگ شدگی و بازشدگی کوچک بر کنترل نسبی جریان پرداختند و اعلام کردند تنها زمانی مانع بر الگوی رسوب‌گذاری جریان موثر است که باعث توقف نسبی جریان شود. (Kubo, 2004) تأثیر توپوگرافی را به صورت آزمایشگاهی و عددی بر روی رسوب‌گذاری جریان‌های غلیظ بررسی کرد و آزمایش‌های خود را بر روی یک سری برآمدگی کوچک و با ارتفاع ۱/۲ و ۳/۶ سانتیمتر انجام داد. او به این نتیجه رسید که رسوب‌گذاری به طور موضعی در بالادست برآمدگی‌ها افزایش می‌یابد و علت آن بلوک‌شدن قسمتی از جریان توسط مانع و کاهش سرعت در بالادست این موانع است.

(Oehy and Schleiss, 2001) به بررسی تأثیر روش‌های مختلف از جمله احداث مانع، احداث مانع مشبک، جت آب ۴۵ درجه و ۹۰ درجه و دیواره حباب هوا بر کنترل جریان غلیظ در مخازن سدها پرداخته‌اند. آنها برای یک ارتفاع مانع و برای دو شیب صفر و ۴/۶۴ درصد، به بررسی وضعیت جریان عبوری از مانع پرداخته، به‌طور کلی نتیجه‌گیری کردند که احداث مانع در جریان زیربحرانی برای کنترل جریان مناسب است. (Asghari Pari et al., 2010) به بررسی اثر غلظت جریان در کنترل جریان غلیظ با مانع در مخازن سدها پرداختند که نتایج آن نشان داد با افزایش غلظت عمق جریان غلیظ کاهش و عدد فرود چگال افزایش می‌یابد و همچنین در جریان‌های فوق بحرانی، اثر مانع در مقایسه با جریان زیربحرانی کمتر است. (Sequeiros et al., 2010) به بررسی جریان غلیظ روی بستر متحرک با استفاده از جریان غلیظ نمکی و رسوبی و بر روی دو دانه بندی مختلف پرداختند. (Bahrami et al., 2010) به بررسی تأثیر شکست شیب بر خصوصیات جریان غلیظ پرداختند آنها بیان کردند که میزان ورود آب ساکن پیرامون علاوه بر عدد ریچاردسون به ارتفاع مخزن نیز بستگی

دارد. اساس تحلیل و حل مسائل در این نرم افزار بر اساس دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) مانند بقای جرم، مومنتم و انرژی است و مدل سه بعدی این نرم-افزار معادلات ناویراستوکس را به طور کامل در ابعاد و اندازه‌های واقعی حل می‌کند. گسسته سازی و حل معادلات در این نرم افزار بر اساس روش المان محدود است. در این تحقیق مدل سازی‌ها به صورت سه بعدی انجام شد. دقت حل مسئله به تعداد و نوع المان‌های موجود در شبکه بستگی دارد، لذا مش بندی به گونه-ای انجام شد که در نزدیکی کف فلوم که گرادیان سرعت بیشتر است، از شبکه‌های ریزتری استفاده شود؛ از آنجا که ریز کردن بیش از حد شبکه موجب افزایش هزینه از لحاظ زمان حل مسئله و تخصیص بیشتر حافظه برای خروجی‌ها می‌شود، این ریز کردن شبکه تا زمانی ادامه پیدا کرد که ریزتر کردن شبکه تأثیری در نتایج نداشت. در شکل (۱) مش بندی و شرایط مرزی مدل عددی نشان داده شده است. شرایط مرزی شامل ورودی (inlet)، خروجی (outlet) و کف (pressure)، سطح آزاد آب مخزن (opening) و کف مخزن و مانع (wall) نشان داده شده است؛ تعداد المانهای مدل ۶۷۷۲۷ عدد است. برای مدل سازی جریان غلیظ از اختلاط سیال و ذرات پراکنده جامد استفاده شده است.

در این تحقیق برای حل معادلات آشفستگی طبق نظر (Oehy and Schleiss, 2001) از مدل استاندارد  $k - \varepsilon$  اصلاح شده استفاده شده است. که  $k$  انرژی سینماتیک آشفستگی،  $\varepsilon$  استهلاک گرداب‌های آشفستگی است. ثابت‌های آشفستگی در معادله  $C_{\varepsilon_1} = 1.44$  و  $C_{\varepsilon_2} = 1.92$ ،  $\sigma_k = 1$ ،  $\sigma_\varepsilon = 1.3$  و  $C_{\varepsilon_3} = 0.09$  در نظر گرفته شده است.

تأثیر زبری‌های مصنوعی بر روی نوسانات لحظه‌ای سرعت را با جریان غلیظ نمکی بررسی نمودند. (Daryae et al., 2015) تأثیر توام مانع و زبری را بر کنترل جریان غلیظ رسوبی بررسی کردند؛ آنها گفتند استفاده توام از زبری و مانع اثر قابل توجهی در کنترل جریان غلیظ دارد ضمن اینکه در صورتی که زبری‌ها در بالادست مانع قرار داده شوند، نسبت به شرایط مشابه در پایین دست مانع اثر بیشتری در کنترل جریان دارند.

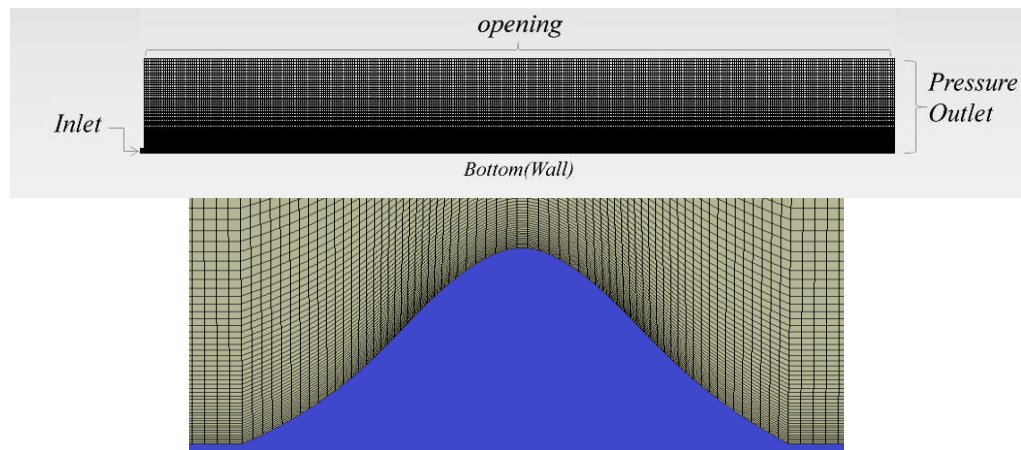
با توجه به مطالعات انجام شده، مشاهده می‌شود که در خصوص ایجاد زبری بستر در درون مخازن و تأثیر آن بر کنترل بدنه جریان غلیظ بررسی‌های جامعی انجام نشده است. در این تحقیق با استفاده از مدل عددی اثر ایجاد زبری، الگوی قرارگیری، ارتفاع و شکل زبری‌ها در کف مخازن به منظور کنترل جریان غلیظ بررسی می‌شود.

## ۲. مواد و روش‌ها

در این مقاله به منظور واسنجی و صحت‌سنجی روش عددی، مدل آزمایشگاهی (Oehy, 2002) را با روش عددی مدل سازی کرده، نتایج آن با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شد. مدل عددی شامل شبیه سازی یک فلوم به طول ۷/۱ متر و عرض ۰.۲۵۲ متر است و یک ورودی به ارتفاع ۴/۵ سانتی متر به منظور ورود جریان غلیظ به درون فلوم دارای آب ساکن ایجاد شد، جریان غلیظ ورودی شامل پودر پلیمر با چگالی  $\frac{kg}{m^3}$  ۱۳۵ و قطر متوسط ذرات  $d_{50} = 90 \mu m$  و آب است که درصد غلظت آن برای کف بدون شیب ۲/۴۳۲٪ و کف شیبدار ۲/۶۱۴٪ است.

### ۲-۱- مدل سازی عددی:

مدل ANSYS-CFX نرم‌افزاری چند منظوره برای مدل کردن جریان سیال، انتقال حرارت و واکنش‌های شیمیایی است که قابلیت آنالیز جریان‌های پیچیده را



شکل ۱. مش بندی مدل در ناحیه کف و شرایط مرزی

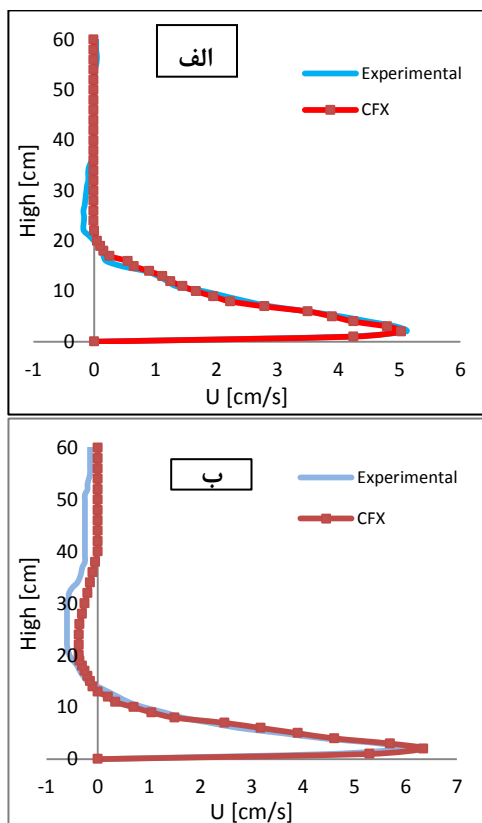
عددی را نشان می‌دهد. در شکل (۳) پارامتر  $t$  بیان کننده ضخامت زبری است که برای اشکال زبری استوانه ای لبه گرد  $t$  قطر استوانه و در هرم مربع القاعده  $t$  بیانگر قطر مربع قاعده است.

### ۳. نتایج

در ابتدا واسنجی مدل برای حالت بدون مانع به کمک مقایسه نتایج مربوط به پروفیل سرعت مدل آزمایشگاهی (Oehy, 2002) و مدل عددی در فواصل ۳۲۰ از دریاچه ورودی انجام، سپس صحت‌سنجی مدل برای حالت شیبدار با همان شرایط انجام شده است. در شکل (۲) پروفیل‌های سرعت مدل آزمایشگاهی و مدل عددی مقایسه شده است. نتایج توزیع سرعت مدل عددی در شکل (۲) انطباق بسیار خوبی با نتایج مدل آزمایشگاهی دارد؛ به طوریکه متوسط خطا در ارتفاع بدنه جریان ۳.۰۳٪ و در سرعت جریان ۷.۱۸٪ بوده است. لذا با استفاده از نتایج به دست آمده، می‌توان مدل سازی عددی را قادر به پیش بینی مواد مشابه دانست.

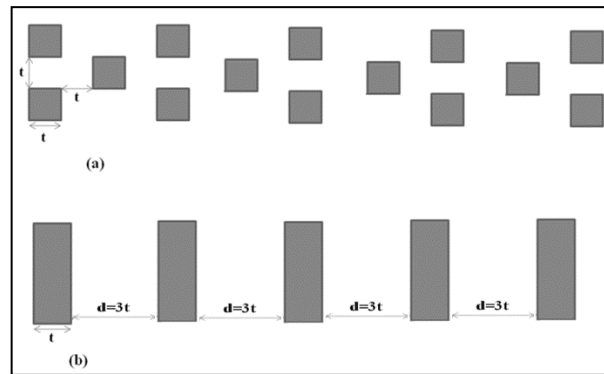
#### ۳-۳- مدل سازی و بررسی اثر زبری کف:

مدل سازی شامل فلومی به طول ۷/۱ متر و آب ساکن با چگالی  $\rho_a = 0.9997 \frac{g}{cm^3}$  است که جریان غلیظ توسط یک ورودی به ارتفاع ۴/۵ سانتیمتر وارد آن می‌شود. برای بررسی اثر زبری کف بر جریان غلیظ، منطقه زبری بین فواصل ۴ تا ۶ متر از دریاچه ورودی با دو نوع آرایش زبری زیگزاگ و متوالی برای دو حالت بدون شیب و شیبدار مدل سازی شده است. در شکل (۳) نحوه آرایش زبری‌ها، در شکل (۴) سطح مقطع زبری‌ها و در شکل (۵) اشکال مختلف زبری‌ها نشان داده شده است. جدول (۱) مشخصات مدل‌های

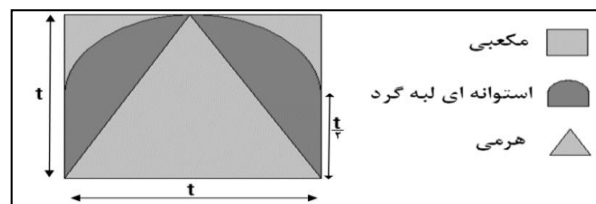


شکل ۲. مقایسه پروفیل‌های سرعت مدل عددی و آزمایشگاهی در فاصله ۳۲۰ سانتی متر، (الف) بدون شیب، (ب) شیبدار

می‌شود، جریان غلیظ قبل از رسیدن به ناحیه‌ای که زبری در آن ایجاد شده‌است، یک پیشانی جریان دارد و به دنبال آن بدنه جریان است، پس از رسیدن جریان به زبری‌ها، جریان از زبری‌ها عبور کرده و بدلیل وجود زبری‌ها، موجب برگشتی به سمت بالادست منتشر می‌شود. انتشار موج برگشتی به سمت بالادست جریان مطابق با نتایج (Bursik and Woods, 2000) می‌تواند باعث کاهش دبی جریان غلیظ و تغییر در الگوی رسوب گذاری در جریان غلیظ شود. در این تحقیق جهت محاسبه دبی جریان، از سرعت و ارتفاع متوسط بدنه جریان حاصل از رابطه‌های (۲) و (۳) استفاده شد. نسبت تفاضل دبی عبوری جریان غلیظ در فاصله ۶۵۰ سانتی متر از دریچه و در حالت بدون زبری، با دبی عبوری در حالت ایجاد زبری‌ها، به دبی حالت بدون زبری، ضرب در صد، به‌عنوان درصد کاهش دبی جریان غلیظ ناشی از ایجاد زبری‌ها لحاظ شده‌است، که نشان دهنده مقدار بلوکه شدن و استهلاک جریان غلیظ است؛ این مقدار برای کف بدون شیب (جریان‌های زیر بحرانی) در جدول (۲) و کف شیبدار (جریان‌های فوق بحرانی) در جدول (۳) آورده شده‌است.



شکل ۳. نحوه آرایش زبری‌ها (a) زیگزاگ (b) متوالی

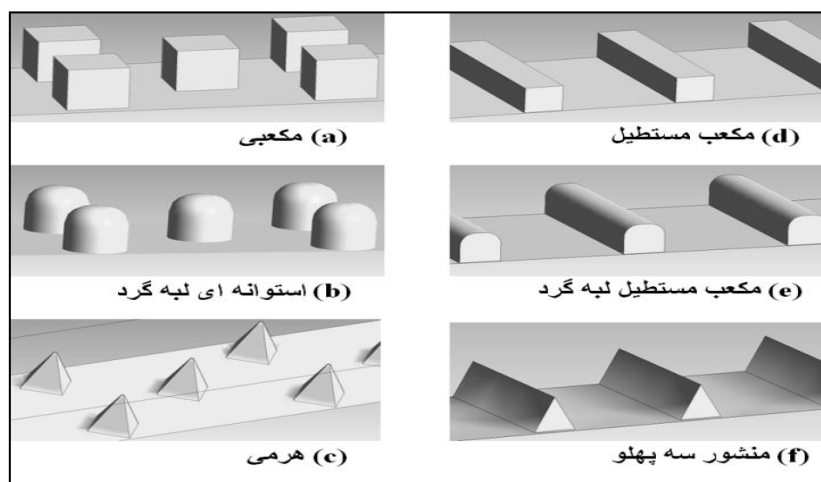


شکل ۴. سطح مقطع زبری‌های مختلف

#### ۴. بحث و نتیجه گیری

به منظور مشاهده تأثیر ایجاد زبری، الگوی قرارگیری، ارتفاع و شکل زبری‌ها در کف بر جریان غلیظ پروفیل‌های سرعت در فاصله ۶۵۰ سانتیمتر از دریچه ورودی مقایسه و در شکل‌های (۶) و (۷) به نمایش گذاشته شده‌است.

شکل (۸) شماتیک حرکت جریان غلیظ را برای مدل B5 نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل (۸) دیده



شکل ۵. اشکال زبری (اشکال a,b,c برای آرایش زیگزاگ، اشکال d,e,f برای آرایش متوالی)

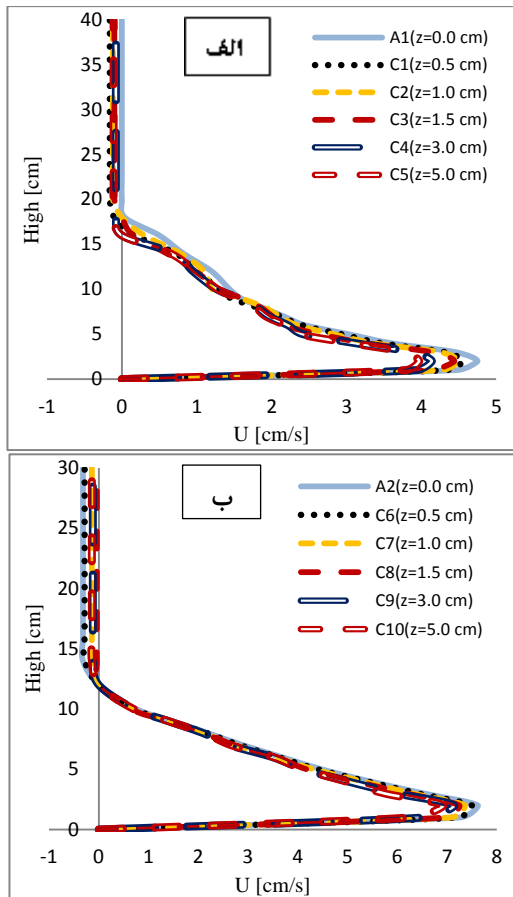
جدول ۱. مشخصات شکل و آرایش زبری‌ها در مدل‌های انجام شده

ارتفاع زبری [cm]	t [cm]	D [cm]	شکل زبری	آرایش زبری	دبی جریان غلیظ ورودی $[\frac{cm^2}{s}]$	غلظت [%]	ارتفاع آب ساکن [cm]	شیب [%]	مدل عددی
-	-	-	-	-	۲۶/۱	۲/۴۳۲	۸۷/۲	-	A1
-	-	-	-	-	۲۰/۵۹	۲/۶۱۴	۵۵/۹	۴/۶۴	A2
۰/۵	۰/۵	-	مکعبی	زیگزاگ	۲۶/۱	۲/۴۳۲	۸۷/۲	-	B1
۱	۱	-	مکعبی	زیگزاگ	۲۶/۱	۲/۴۳۲	۸۷/۲	-	B2
۱/۵	۱/۵	-	مکعبی	زیگزاگ	۲۶/۱	۲/۴۳۲	۸۷/۲	-	B3
۳	۳	-	مکعبی	زیگزاگ	۲۶/۱	۲/۴۳۲	۸۷/۲	-	B4
۵	۵	-	مکعبی	زیگزاگ	۲۶/۱	۲/۴۳۲	۸۷/۲	-	B5
۰/۵	۰/۵	-	مکعبی	زیگزاگ	۲۰/۵۹	۲/۶۱۴	۵۵/۹	۴/۶۴	B6
۱	۱	-	مکعبی	زیگزاگ	۲۰/۵۹	۲/۶۱۴	۵۵/۹	۴/۶۴	B7
۱/۵	۱/۵	-	مکعبی	زیگزاگ	۲۰/۵۹	۲/۶۱۴	۵۵/۹	۴/۶۴	B8
۳	۳	-	مکعبی	زیگزاگ	۲۰/۵۹	۲/۶۱۴	۵۵/۹	۴/۶۴	B9
۵	۵	-	مکعبی	زیگزاگ	۲۰/۵۹	۲/۶۱۴	۵۵/۹	۴/۶۴	B10
۰/۵	۰/۵	۱/۵	مکعب مستطیل	متوالی	۲۶/۱	۲/۴۳۲	۸۷/۲	-	C1
۱	۱	۳	مکعب مستطیل	متوالی	۲۶/۱	۲/۴۳۲	۸۷/۲	-	C2
۱/۵	۱/۵	۴/۵	مکعب مستطیل	متوالی	۲۶/۱	۲/۴۳۲	۸۷/۲	-	C3
۳	۳	۹	مکعب مستطیل	متوالی	۲۶/۱	۲/۴۳۲	۸۷/۲	-	C4
۵	۵	۱۵	مکعب مستطیل	متوالی	۲۶/۱	۲/۴۳۲	۸۷/۲	-	C5
۰/۵	۰/۵	۱/۵	مکعب مستطیل	متوالی	۲۰/۵۹	۲/۶۱۴	۵۵/۹	۴/۶۴	C6
۱	۱	۳	مکعب مستطیل	متوالی	۲۰/۵۹	۲/۶۱۴	۵۵/۹	۴/۶۴	C7
۱/۵	۱/۵	۴/۵	مکعب مستطیل	متوالی	۲۰/۵۹	۲/۶۱۴	۵۵/۹	۴/۶۴	C8
۳	۳	۹	مکعب مستطیل	متوالی	۲۰/۵۹	۲/۶۱۴	۵۵/۹	۴/۶۴	C9
۵	۵	۱۵	مکعب مستطیل	متوالی	۲۰/۵۹	۲/۶۱۴	۵۵/۹	۴/۶۴	C10
۵	۵	-	استوانه ای لبه گرد	زیگزاگ	۲۶/۱	۲/۴۳۲	۸۷/۲	-	D1
۵	۵	-	هرمی	زیگزاگ	۲۶/۱	۲/۴۳۲	۸۷/۲	-	D2
۵	۵	-	استوانه ای لبه گرد	زیگزاگ	۲۰/۵۹	۲/۶۱۴	۵۵/۹	۴/۶۴	D3
۵	۵	-	هرمی	زیگزاگ	۲۰/۵۹	۲/۶۱۴	۵۵/۹	۴/۶۴	D4
۵	۵	۱۵	مکعب مستطیل لبه گرد	متوالی	۲۶/۱	۲/۴۳۲	۸۷/۲	-	E1
۵	۵	۱۵	منشور سه پهلو	متوالی	۲۶/۱	۲/۴۳۲	۸۷/۲	-	E2
۵	۵	۱۵	مکعب مستطیل لبه گرد	متوالی	۲۰/۵۹	۲/۶۱۴	۵۵/۹	۴/۶۴	E3
۵	۵	۱۵	منشور سه پهلو	متوالی	۲۰/۵۹	۲/۶۱۴	۵۵/۹	۴/۶۴	E4

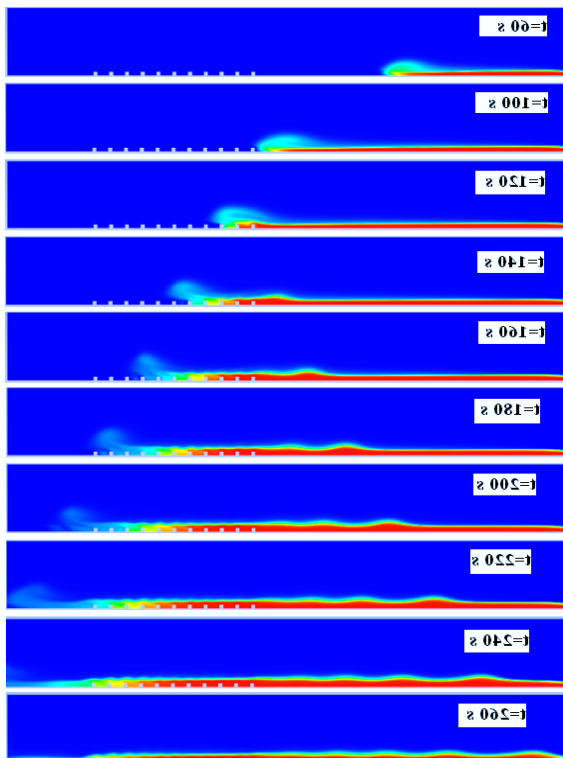
متوالی در حد ۱.۳۳ تا ۴.۲۳ درصد برای جریان زیر-بحرانی و ۱.۴۱ تا ۲.۱۹ درصد برای جریان فوق‌بحرانی است.

همچنین مشاهده می‌شود که تأثیر زبری در مدل‌های با شیب ملایم و جریان‌های زیربحرانی نسبت به

در جداول مشاهده می‌شود میزان درصد کاهش دبی جریان غلیظ در مدل‌های گروه C که دارای زبری با آرایش متوالی هستند، نسبت به گروه B که دارای آرایش زیگزاگ هستند، درصد کمتری از جریان غلیظ را مهار می‌کنند؛ این اختلاف میان آرایش زیگزاگ و



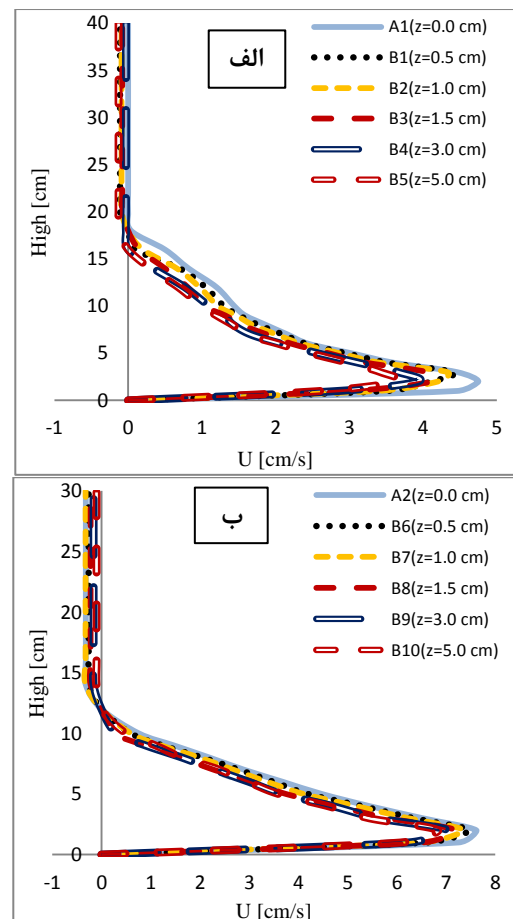
شکل ۷. پروفیل‌های سرعت بر اثر ایجاد زبری با آرایش متوالی، تصویر الف) بر روی کف بدون شیب و ب) بر روی کف شیبدار



شکل ۸. شماتیک حرکت جریان غلیظ را برای مدل B5

مدل‌های با شیب تند و جریان‌های فوق‌بحرانی بیشتر است و این تفاوت در حد ۱۰ تا ۲۰ درصد برای حالت‌های مختلف بوده‌است. نتیجه دیگری که با مشاهده جداول به دست می‌آید، تأثیر افزایش ارتفاع زبری بر کاهش دبی عبوری است.

در مورد بررسی شکل زبری‌ها در کنترل جریان غلیظ بر روی کف بدون شیب (جریان زیربحرانی) در جدول (۲) مشاهده می‌شود که با توجه به اینکه سطح مقطع در برابر جریان در حالت استوانه‌ای لبه گرد ۸۹.۲۵٪ و حالت هرمی ۵۰٪، زبری مکعبی است، برای آرایش زیگزگاک کارایی زبری با شکل استوانه‌ای لبه گرد (D1) بیشتر از مکعبی (B5) و مکعبی بیشتر از هرمی (D2) است؛ این تفاوت‌ها در حد ۲ درصد اختلاف در کاهش دبی عبوری بوده‌است.



شکل ۶. پروفیل‌های سرعت بر اثر ایجاد زبری با آرایش زیگزگاک، تصویر الف) بر روی کف بدون شیب و ب) بر روی کف شیبدار



جدول ۲. درصد کاهش دبی جریان غلیظ با ایجاد زبری بر روی کف با شیب صفر درصد

مدل عددی	درصد کاهش دبی جریان غلیظ در اثر ایجاد زبری [%]	مدل عددی	درصد کاهش دبی جریان غلیظ در اثر ایجاد زبری [%]	مدل عددی	درصد کاهش دبی جریان غلیظ [%]
B1	۱۴/۴۳	C1	۱۱/۳۳	D1	۳۵/۷۸
B2	۱۵/۳۲	C2	۱۳/۹۹	D2	۲۷/۹۸
B3	۱۸/۴۲	C3	۱۶/۲۰	E1	۳۲/۵۳
B4	۲۹/۶۹	C4	۲۵/۴۶	E2	۲۴/۵۶
B5	۳۳/۷۵	C5	۳۰/۰۹		

جدول ۳. درصد کاهش دبی جریان غلیظ با ایجاد زبری بر روی کف دارای شیب ۴/۶۴ درصد

مدل عددی	درصد کاهش دبی جریان غلیظ [%]	مدل عددی	درصد کاهش دبی جریان غلیظ [%]	مدل عددی	درصد کاهش دبی جریان غلیظ [%]
B6	۲/۸۵	C6	۱/۱۴	D3	۱۵/۱۴
B7	۴/۲۸	C7	۲/۸۵	D4	۱۰/۲۸
B8	۶/۲۸	C8	۴/۸۳	E3	۱۱/۷۱
B9	۹/۴۲	C9	۸/۰۰	E4	۱۰/۰۰
B10	۱۳/۱۴	C10	۱۰/۸۵		

مکعب مستطیلی بیشتر از منشور سه پهلو (E2 و E4) است.

### نتیجه گیری نهایی

- ۱- نرم افزار ANSYS-CFX در شبیه سازی جریان غلیظ توانایی بالایی دارد.
- ۲- میزان کنترل جریان غلیظ توسط زبری ها به نوع آرایش زبری ها وابسته است و زبری ها با آرایش زیگزاگ تأثیر بیشتری نسبت به زبری ها با آرایش متوالی در کنترل جریان غلیظ دارند.
- ۳- میزان کنترل جریان غلیظ توسط زبری ها به ارتفاع زبری ها وابسته است و هرچه ارتفاع زبری ها بیشتر باشد جریان غلیظ به میزان بیشتری کنترل می شود.
- ۴- با افزایش سطح مقطع در برابر جریان زبری ها تأثیر زبری ها در کنترل جریان غلیظ افزایش می یابد گرچه زبری استوانه ای لبه گرد بدلیل شکل آیرودینامیکی نسبت به حالت مکعبی تأثیر بیشتر داشته است.

لذا علت تأثیر بیشتر حالت استوانه ای لبه گرد و مکعبی نسبت به حالت هرمی به علت بیشتر بودن سطح مقطع در برابر جریان این دو حالت بوده است؛ اما با وجود آنکه سطح مقطع در برابر جریان زبری استوانه ای لبه گرد کمتر بوده، زبری استوانه ای لبه گرد به دلیل داشتن شک آیرودینامیک در مقایسه با زبری مکعبی (که لبه های آن موجب جدانشدگی جریان می شود) باعث عملکرد بهتر در کاهش دبی عبوری جریان غلیظ شده است. در مورد بررسی شکل زبری ها در کنترل جریان غلیظ بروی کف با شیب تند (جریان فوق بحرانی)، در جدول (۳) مشاهده می شود که برای آرایش زیگزاگ کارایی زبری مشابه با حالت جریان زیر بحرانی بوده و بیشترین کارایی را به ترتیب شکل استوانه ای لبه گرد (D3)، مکعبی (B10) و هرمی (D4) دارند. همچنین برای آرایش متوالی، هم در شرایط جریان زیر بحرانی و هم در جریان فوق بحرانی، کارایی زبری با شکل مکعب مستطیلی لبه گرد (E1 و E3) بیشتر از مکعب مستطیلی (C5 و C10) و

## تشکر و قدردانی:

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی انجام شده است لذا بدین وسیله نویسندگان از حمایت های مدیریت پژوهشی دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء (ص) بهبهان تشکر و قدردانی می نمایند.

۵- به طور کلی تأثیر زبری ها در کنترل جریان غلیظ بروی شیب های ملایم و جریان های زیر بحرانی بیشتر از شیب های تند و جریان فوق بحرانی است.

## منابع

- Asghari Pari, S. A. 2010. Investigation the effect of obstacle's height on reservoir sedimentation by turbidity current, PhD thesis, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran.
- Asghari Pari, S. A., Kashefipour, S. M., Ghomshi, M. and Shafaie Bajestan, M. 2010. Investigation the effect of concentration on controlling turbidity current by obstacle in dam reservoirs, 8th International River Engineering Conference, Shahid Chamran University Ahwaz, Iran.
- Bahrami, H., Ghomshi, M. and Kashefipour, S. M. 2010. Experimental study of the bed slope failure on the flow properties of gravity current. *J. Mar. Sci. Technol.* 8 (3):67-76
- Poorkayed, S., Hasoonizade, H., Nekoeyanfar, Kashefipour, S. M., and Daryae, M. 2013. Investigate the effects of slope and roughness on the forehead speed density current deposits using physical models, 8th International River Engineering Conference, Shahid Chamran University Ahwaz, Iran.
- Daryae, M., Kashefipour, S. M. Ghomshi, M. 2015. Study of obstacle and roughness impacts on controlling sedimentary density current, *Water Soil Sci.*, 24(4): 1-9.
- Gorban Moghadam, A. A., Ghomshi, M. and Nasrollahpour, R. 2013. Experimental investigation of effect cylindrical barriers on Characteristics of Density Currents Head. 8th International River Engineering Conference, Shahid Chamran University Ahwaz, Iran.
- Kaheh, M., Ghomshi, M., and Musavi Jahromi, S., H. 2011. Experimental Investigation of density current forward speed on rough surfaces, *J. Irrig. Sci. Eng.* 35(1):101-109.
- Vargavand, P., Hosseinzadeh Dalir, A., Ghomeshi, M. and Farsadzadeh, D. 2013. Experimental Study on the Effects of Artificial Bed Roughness on Instantaneous Velocity Fluctuations of Saline Density Currents. *J. Water Soil.* 27 (4):839-849.
- Bursik, M., I. and Woods, A. 2000. The effect of topography on sedimentation from particle-laden turbulent density currents. *J. Sedimentary Res.* 70(1): 53-63.
- Ellison, T., H. and Turner, J., S. 1959. Turbulent entrainment in stratified flow. *J. Fluid Mech.* 6(3): 423 – 448.
- Kubo, Y. 2004. Experimental and numerical study of topographic effects on deposition from tow-dimensional, particle-driven density currents, *J. Sedimentary Geo.*, 164(3):311-326.
- Nasr-Azadani, M., M. Meiburg, E. 2011. TURBINS: An immersed boundary, Navier–Stokes code for the simulation of gravity and turbidity currents interacting with complex topographies. *Comput. Fluids.* 45(1): 14–28.
- Nogueira, H.I.S., Adduce, C., Alves, E., And Franca, M.J. 2013. Analysis of lock-exchange gravity currents over smooth and rough beds. *J. Hydraul. Res.*, 51(4):417–431.
- Oehy, CD, and Schleiss, Anton. 2001. Numerical modelling of a turbidity current passing over an obstacle—Practical application in the Lake Grimsel, Switzerland. Paper presented at the Proceedings of the 2001 Congress \_CD-ROM\_, Graz, Austria, Theme D.
- Oehy, Ch. 2002. Effects of obstacles and jets on reservoir sedimentation due to turbidity currents. Communication 15 of the Laboratory of Hydraulic structions \_LCH\_, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne \_EPFL\_, Switzerland.
- Oehy, Ch. and Schleiss, A. 2007. Control of turbidity currents in reservoirs by solid and permeable obstacles. *J. Hydraul. Eng.* 133 (6):637 –648.
- Nasrollahpour, R. and Ghomeshi, M. 2012. Effect of roughness geometry on characteristics of density currents head. *Indian J. Sci. Technol.* 5(12): 3783-3787.
- Migeon, S. Mulder, T. Savoye, B. and Sage, F. 2012. Hydrodynamic processes, velocity structure and stratification in natural turbidity currents: Results inferred from field data in the

Var Turbidite System. *J. Sedimentary Geo.* 245-246(0): 48-62.

Sequeiros, O., Spinewine, B., Beaubouef, R., Sun, T., García, M., & Parker, G. 2010.

Characteristics of velocity and excess density profiles of saline underflows and turbidity currents flowing over a mobile bed. *J. Hydraul. Eng.*, 136(7): 412-433

## A Numerical Study of the Effects of Roughness, Pattern, Height and the Shape of roughness on Controlling Turbidity Currents using ANSYS-CFX

Seyed Amin Asghari Pari\*, Seyed Malek Mohagheghian

Assistant Professor, Department of Engineering, Behbahan Khatam Al-Anbia University of Technology

### Abstract

Turbidity currents are one of the most fundamental contributors to the transfer of sediments near dams. In this article, the effect of the roughness, pattern, height and shape of the sediments on the bed in controlling turbidity currents were studied using the Finite Element Method through ANSYS-CFX. The K- $\epsilon$  method was used to compute turbulence. After model calibration, flow without roughness was simulated. Afterwards, three shapes of roughness, namely pyramid-shaped, round-edged cylindrical and cubic roughnesses, were modeled with zigzag and consecutive formations, in 5 different roughness heights in subcritical and supercritical flow regimes. The results indicated that with the increase in the height of the roughnesses and cross flow against the current and with the creation of a zigzag arrangement, there was a decrease in turbidity current discharge. Also, the controlling effect of roughness on turbidity currents was more in the subcritical flow.

**Keywords:** Roughness Arrangement, Roughness Height, Turbidity Current, ANSYS CFX Software

Figure 1. A mesh model in the bed area and boundary conditions

Figure 2. The comparison of numerical models and experimental velocity profiles in 320 cm, a) no slope, b) inclined

Figure 3. The arrangement of roughnesses: (a) Zigzag (b) consecutive

Figure 4. The cross section of different roughnesses

Figure 5. Roughness forms (forms a, b and c are Zigzag. Forms, d, e and f are consecutive)

Figure 6. The velocity profiles of roughness created by zigzag arrangements. Image A) slopeless bottom. Image B) sloped bottom

Figure 7. The velocity profiles of the roughness created by consecutive arrangements. Image A) slopeless bottom. Image B) sloped bottom

Figure 8. The schematic movement of the gravity current for model B5

\*Corresponding author, E-mail: asghari\_amin@bkatu.ac.ir