

# مطالعه‌ای بر جریان آشفته کم‌عمق در یک کanal روباز بستر شنی در مقیاس سنگدانه‌ها

حسام فتحعلی<sup>۱</sup>، سید حسین مهاجری<sup>۲\*</sup>، فواد کیلانه‌ئی<sup>۳</sup>، میثم فاضلی<sup>۴</sup>

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین
- ۲- استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران
- ۳- استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین
- ۴- استادیار، گروه مهندسی عمران آب، دانشکده عمران، هنر و معماری، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات، تهران

\*hossein.mohajeri@khu.ac.ir

تاریخ دریافت ۹۸/۰۱/۱۹ تاریخ پذیرش ۹۸/۱۰/۰۲

## چکیده

یکی از چالشی‌ترین مباحث هیدرولیکی، بررسی جریان غیرسیلابی با استغراق نسبی پایین (نسبت عمق آب به ابعاد زبری بستر پائین) و با اعداد رینولدز بالا در رودخانه‌های کوهستانی با بسترهای شنی می‌باشد. مطالعه حاضر به بررسی عددی این نوع جریان در مقیاس سنگدانه‌ها پرداخته است. به این منظور بستر شنی توسط وارد نمودن مدل رقومی در نرم افزار Flow3D به صورت فیزیکی، علاوه بر مدلسازی هیدرولیکی از طریق اعمال ضربی زبری، مدل گردیده شد. پس از صحبت سنجی و در پایان مدلسازی، نتایج نشان داد که وجود بستر شنی در این شرایط، علاوه بر میدان جریان، بر شدت آشفتگی و تنش برشی بستر به شدت اثر می‌گذارد. بررسی کمی ناحیه تحت تاثیر سنگدانه‌های شنی، نشان داد که محدوده‌ی لایه‌ی زبر-ناحیه متشکل از زیرلایه لزج و ناحیه بین‌نایینی در بسترهای زبر- نه تنها در مکان تغییر می‌نماید، بلکه برآ ساس پارامترهای آشفتگی مختلف مورد مطالعه نیز این محدوده از  $0/08$  تا  $0/2$  عمق جریان تغییر می‌نماید. چنین مشاهده‌ای تعریف دقیق و جامع این ناحیه را بسیار مشکل و پیچیده می‌نماید. همچنین بررسی تغییرات سرعت طولی و متوسط انرژی جنبشی آشفتگی حاکی از تشکیل رگه‌های طولی تغییرات سرعت و انرژی جنبشی در عرض کanal می‌باشد. با وجودی که این رگه‌ها با عمق جریان مقیاس می‌شوند، با توجه به نوع مدلسازی آشفتگی در مطالعه حاضر، تشکیل این رگه‌ها به در هم تنیده شدن گردابه‌ها و دنباله‌های تشکیلی در اطراف سنگدانه‌های شنی تشکیل دهنده بستر نسبت داده شد. در نهایت با بررسی شکل کانتورهای سرعت برشی در کف کanal این نتیجه حاصل گردید که بیشترین سرعت برشی در نزدیکی مرتفع‌ترین سنگدانه تشکیل می‌گردد که می‌تواند تا  $5$  برابر بزرگتر از مقدار متوسط سرعت برشی باشد.

**واژگان کلیدی:** بستر شنی، کanal روباز، جریان آشفته، مدلسازی عددی، جریان کم‌عمق

زبری کف انجام شده است. نلسون و همکاران<sup>11</sup> و ویرگ و اسمیت<sup>12</sup> از جمله مهمترین محققینی هستند که نیکورا و مک لین در رابطه با انتقال رسوب و پایداری هیدرولیکی به آنها استناد کرده‌اند. بسیاری از محققین هم چون راپاچ و همکاران<sup>13</sup> و خیمنز نشان دادند که مشخصات جریان همچون سرعت، آشفتگی و تنش‌های رینولدزی در فواصل معین در بالای یک بستر زبر، بسیار شبیه نتایج بر روی یک دیواره‌ی صاف می‌باشد [4]. گراس<sup>14</sup>، گراس و همکاران و دفینا<sup>15</sup> دریافتند که آشفتگی ایجاد شده در بستر زبر با ساختار پیوسته شبیه به آشفتگی ایجاد شده بر روی دیواره صاف می‌باشد [5,6,7,8]. ولیکن مطالعه‌ی اساسی بر روی فهم فیزیکی پدیده آشفتگی در بستر زبر کامل نشده است. برخلاف تعدد مطالعات در جریان بستر زبر با استغراق بالا، پژوهشها در شرایط جریان کم عمق بسیار محدود می‌باشد و بسیاری از جنبه‌های این جریان ناشناخته باقی مانده است. به عنوان نمونه مهاجری و همکاران نشان دادند برای حالتی از جریان که میزان ارتفاع زبری بستر نسبت به عمق جریان زیاد است، یافتن یک قانون کلی برای تعیین رابطه پروفیل جریان به دلیل اثر گذاری همزمان پارامترهای لایه خارجی در کنار لایه درونی و در نتیجه عدم توانایی استفاده از آنالیز ابعادی بسیار مشکل می‌باشد. همچنین مهاجری و همکاران، نشان دادند که میدان جریان اطراف بستر شنی تحت اثر هر دو عامل نو سانات بستر و جریانهای ثانویه می‌باشد و نو سانات بستر شنی جریان را از مسیر اصلی خود به سمت دیواره‌های جانبی منحرف می‌کنند. آنها هم چنین نتیجه گرفتند که توپوگرافی بستر برای مولفه‌های سرعت قائم عامل مهمتری می‌باشد. آنها مشاهده کردند که شدت آشفتگی جریان به طور واضح با افزایش در میزان استغراق نسبی، کاهش پیدا می‌کند [2]. در

## ۱. مقدمه

اکثر رودخانه‌هایی که از نواحی کوهستانی عبور می‌کنند، دارای بسترهای در شتدانه مت‌شکل از سنگدانه‌های شنی می‌باشند. در شرایط غیرسیلانی، عمق آب در این نوع از رودخانه‌ها پایین بوده و در نتیجه حضور زبری بر روی میدان جریان و پروفیل سرعت به خصوص در زیر لایه‌ی زبر، تاثیر بیشتری در مقیاس با رودخانه‌ها با استغراق بالا می‌گذارد. بررسی میدان جریان در این نوع از رودخانه‌ها و شناخت بیشتر از پارامترهای مهم آشفتگی جریان به بهره‌برداری بهتر و بیشتر از این نوع رودخانه‌ها کمک می‌کند.

از نقطه نظر هیدرولیکی، عمق کم یا زیاد جریان آب با پارامتری تحت عنوان استغراق نسبی آب (نسبت عمق آب به عمق زبری اجزای تشکیل دهنده بستر یا  $H/\Delta$ ) تعریف می‌گردد. براساس این رویکرد و این پارامتر، در جریانهای کم عمق، اغلب استغراق نسبی کمتر از ۲۰ می‌باشد [1,2]. با این وجود، در رابطه با این محدوده عدم قطعیت وجود دارد. به عنوان نمونه، براساس نظر خیمنز<sup>1</sup>، جریان با استغراق نسبی کمتر از ۴۰ نیز می‌تواند جریان کم عمق در نظر گرفته شود [3]. با وجود این عدم قطعیت، به طور کلی پذیرش نسبت استغراق کمتر از ۱۰ به عنوان استغراق نسبی کم عمق پذیرفته شده است.

در مجاری روباز با بستر زبر، پژوهش‌های زیادی برای درک ساختار هیدرودینامیکی جریان توسط کیرونتو و گراف<sup>2</sup>، سونگ<sup>3</sup> و گراف<sup>4</sup>، دیتریش و کول<sup>5</sup>، نیکورا و اسمارت<sup>6</sup>، گراف و آلتیناکاره<sup>7</sup>، نیکورا و گورینگ<sup>8</sup> نزوه دی و رایکاره<sup>9</sup> و اسمارت و هابرساک<sup>10</sup> انجام شده است [4]. اغلب پژوهش‌های انجام شده در این حوزه، بر روی پارامترهای هیدرودینامیکی معادلات متوسط گیری شده زمانی تحت اثر

- 8. Nezu
- 9. Dey & Raikar
- 10. Smart & Habersack
- 11. Nelson et al.
- 12. Wiberg and smith
- 13. Raupach et al..
- 14. Grass
- 15. Defina

- 1. Jimenez
- 2. Kironoto & Graf
- 3. Song & Graf
- 4. Dittrich & Koll
- 5. Nikora & Smart
- 6. Graf & Altinkar
- 7. Nikora & Goring

توجیح نمود.

## ۲. روش انجام تحقیق معرفی معادلات حاکم

به منظور حل میدان جریان در هر یک از نرم افزار های تجاری نیاز به آشنایی با معادلات حاکم می باشد. قوانین حاکم بر جریان سیال عبارتند از قانون بقای جرم و اندازه حرکت که در حالت جریان آشفته و بصورت متوجه سط گیری زمانی ارائه شده اند. در نتیجه، معادلات ناویه- استوکس متوجه سط گیری شده رینولدز (معروف به معادله RANS) به شکل معادله (۱) بیان می شود [11].

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial(p)}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \mu \left[ \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] + \frac{\partial(-p u_i u_j)}{\partial x_j} \quad (1)$$

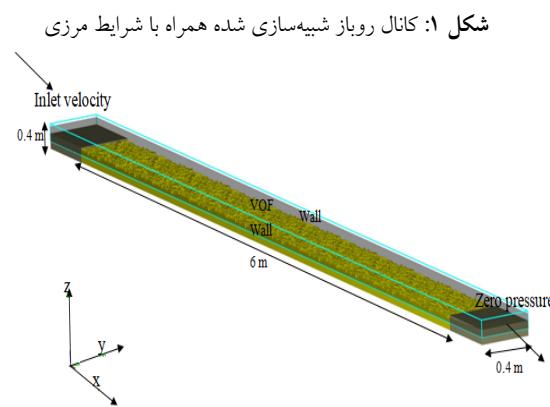
که در این رابطه  $\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t}$  نرخ تغییرات چگالی سیال در صورتیکه جریان تراکم پذیر و ناپایدار باشد،  $\frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j}$  ترم حرکتی معادله،  $\frac{\partial(p)}{\partial x_i}$  گرادیان فشار و  $\frac{\partial}{\partial x_j} \mu \left[ \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right]$  ترم اصطکاکی معادله که در آن میزان لزجت ناشی از جنس و نوع سیال است، می باشند.

تفاوت اصلی معادله (۱) با معادله ناویه- استوکس وجود پارامتر  $(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} - p u_i u_j)$  موسوم به تنشهای رینولدزی می باشد. تنشهای رینولدز حاصل متوجه سط گیری زمانی از معادلات ناویه- استوکس هستند و در حقیقت تأثیر نوسانات سرعت بر متوجه جریان می باشند. در مدل های معادلات RANS، این تنشهای رینولدزی را به پارامتر دیگری به نام  $\mu$  (ویسکوزیته گردابه ای) مرتبط کرده اند و پس از آن همان پارامتر ویسکوزیته، تو سط مدل های گوناگون موجود آشفتگی تعیین می گردد.

در مطالعه حاضر به منظور شبیه سازی آشفتگی از مدل RNG ۴-۴ بهره برده شد. در این مدل آشفتگی، میزان ویسکوزیته گردابه ای به پارامترهای  $K$  و  $\epsilon$  براساس معادله (۲) نسبت داده می شود:

چنین شرایطی از جریان، مطالعه آندرولا نیز جز منابع مناسب به حساب می آید که در آن جریان دارای استغراق نسبی کم بوده و همچنین نسبت عمق به زبری نیز کمتر از یک است [9].

با بررسی مطالعات و پژوهش های موجود، فقدان یک مطالعه سیستماتیک در رابطه با جریانهای روی بستر شنی با عمق کم به خصوص در نزدیکی بستر و سنگدانه های شنی به چشم می خورد. در حقیقت، رابطه بین توپوگرافی بستر، مقدار جریان و مشخصات آشفتگی در مجاورت هر یک از اجزای بستر زبر همچنان ابهام های فراوانی را شامل می شود. همچنین اثر توپوگرافی بستر و جریان های ثانویه در استغراق های نسبی مختلف دیده نشده است. در این راستا، مهاجری و همکاران به بررسی جریان کم عمق در بستر های شنی پرداخت [10]. این پژوهش که به صورت آزمایشگاهی و با استفاده از دستگاه سرعت سنجی تصویری ذرات انجام پذیرفت، با وجود جامعیت این مطالعه، به دلیل محدودیتهای برداشت آزمایشگاهی موفق به بررسی و توصیف بسیاری از جنبه های این جریان نشد. این پژوهش که در حقیقت ادامه مطالعه آزمایشگاهی مهاجری و همکاران می باشد. به بررسی و مطالعه بخش هایی از جریان به صورت عددی می پردازد که در مطالعات اشاره شده به جهت محدودیتهای آزمایشگاهی مورد بررسی قرار نگرفته است [10]. در واقع هدف اصلی در مطالعه حاضر تعیین خصوصیات جریان آشفته در نزدیکی سنگدانه های شنی در شرایط استغراق پایین می باشد. مطالعه حاضر جزو مطالعات بنیادی در سیالات است که در تعیین و تشخیص خصوصیات لایه مرزی و تقسیم بندی آن در محدوده ای از جریان که لایه زبر قرار دارد و یا ناحیه ای از جریان تغییرات میدان جریان قبل صر نظر نیست دارای اهمیت است. همچنین نتایج این مطالعه می تواند بیان گر اهمیت و ماهیت تغییرات میدان جریان در نزدیکی سنگدانه های تشکیل دهنده بستر باشد که براساس آن می توان سایر پدیده ها مانند نحوه توزیع رسوب تهشین شده در بستر رودخانه ها و یا نحوه آرایش آبزیان در کف رودخانه ها را



**Fig. 1.** Open-channel along with boundary conditions in the numerical simulations

جدول (۱) شرایط هیدرولیکی در طی مدلسازی‌ها را نشان می‌دهد. براساس تعریف عدد فرود (Fr) و رینولدز (Re) جریان زیربهرانی و آشفته می‌باشد. همچنین مقدار زبری بی بعد ( $k_s^+$ ) بیانگر تشکیل جریان به طور کامل زبر در کanal می‌باشد. در ضمن این استغراق نسبی ( $H/k_s$ ) بیانگر تشکیل جریان کم عمق در کanal می‌باشد.

جدول ۱. شرایط هیدرولیکی مدلسازی عددی

H (mm)	S	Fr	Re	$K_s^+$	$H/k_s$	Q (l/s)
52	0.0026	0.47	$1.76 \times 10^6$	201	0.11	7.05

**Table 1.** Hydraulic conditions in numerical simulations

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های مطالعه حاضر، شبیه سازی بستر شنی به صورت فیزیکی است، در حالی که در تمامی مطالعات پیشین عددی در رابطه با بستر زبر، زبری به کمک وارد کردن میزان ضریب زبری معادل تعیین می‌شد. به منظور ساختن بستر زبر در شبیه سازی‌های عددی از اطلاعات توپوگرافی بستر شنی مهاجری (۲۰۱۴) بهره برده شد. سنگدانه‌ها در این پژوهش دارای اندازه  $d_{50}$  برابر ۲۲ میلی‌متر و  $d_{90}$  ذرات بستر برابر ۲۹ میلی‌متر است. منحنی دانه‌بنده در شکل (۲-الف) و همچنین هیستوگرام ارتفاع نقطه به نقطه بستر شنی در شکل (۲-ب) نشان داده شده است. از شکل (۲-ب) می‌توان استنباط نمود که اکثر تراز ارتفاعهای سنگدانه‌ها بین اعداد ۱۳-۷ میلی‌متر می‌باشد. این محدوده از اعداد در تشخیص و یافتن تراز صفحه‌ی

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{K^2}{\epsilon} \quad (2)$$

که در این رابطه  $C_\mu$  یک ضریب ثابت می‌باشد که به طور معمول برابر  $0.09$  در نظر می‌گیرند. برای محاسبه‌ی پارامترهای  $K$  و  $\epsilon$  از معادله‌های زیر بهره برده می‌شود:

$$\rho \frac{\partial k}{\partial t} + \rho u_j k_j = \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \epsilon_j \right)_j + G + B - \rho \epsilon \quad (3)$$

$$\rho \frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \rho u_j \epsilon_j = \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \epsilon_j \right)_j + C_1 \frac{\epsilon}{k} G + C_1 (1-C_3) \frac{\epsilon}{k} B - C_2 \rho \frac{\epsilon^2}{k} - \frac{C_\mu \eta^3 (1-\eta/\eta_0)}{1+\beta \eta^3} \frac{\epsilon^2}{k} \quad (4)$$

که در آن:

$$\eta = \sqrt{C_\mu^{-1} \frac{G}{\rho \epsilon}} \quad (5)$$

$$G = \rho u_j \tilde{u}_j u_{i,j} \quad (6)$$

$$B = \rho \tilde{u}_i g_i \quad (7)$$

هر یک از پارامترهای به کار رفته در این معادله‌ها در قالب علائم و نمادهای اختصاری ارائه شده است. لازم به ذکر است که پارامترهای  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $\beta$  و  $C_3$  ثابت‌های معادله‌ها می‌باشند [12].

### مدلسازی عددی در مطالعه حاضر

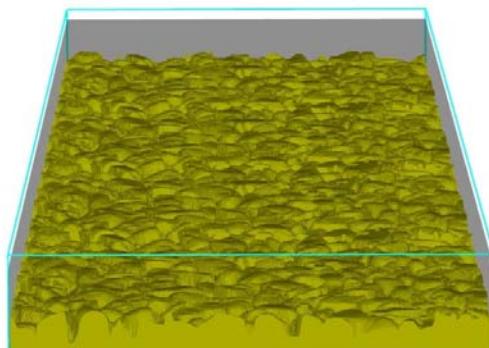
در این مطالعه به منظور مدلسازی یک جریان آشفته با بستر زبر کم عمق از نرم‌افزار Flow3D ورژن ۱۱-۰-۴ استفاده گردیده است. نرم‌افزار Flow3D یک نرم‌افزار تخصصی مهندسی هیدرولیک بوده که بر اساس روش احجام محدود، معادلات حرکت سیال (معادله (۱) و معادله پیوستگی) همراه با مدل آشفتگی مربوطه را حل می‌نماید.

شبیه سازی‌ها در مطالعه حاضر مربوط به مدلسازی اطلاعات آزمایشگاهی مهاجری و همکاران (۲۰۱۴) می‌باشد. فلوم مورد استفاده در این آزمایشها، یک فلوم به طول ۶ متر، عرض و ارتفاع  $0.4 \times 0.4$  متر می‌باشد که در شکل (۱) نمایش داده شده است. در این شکل شرایط مرزی مورد استفاده نیز نمایش داده شده است. مشاهده می‌شود که مرز ورودی سرعت ثابت، مرز خروجی فشار صفر و سطح آب به کمک مرز VOF مدل شده. همچنین لازم به ذکر است که طول فلوم در جهت محور  $x$ ، عرض فلوم در جهت  $y$  و ارتفاع فلوم در جهت  $z$  می‌باشد.

شکل ۳. (الف) بستر زیر در مطالعه آزمایشگاهی مهاجری و همکاران [۹]،  
ب) بستر زیر شبیه‌سازی شده در مدل‌سازی عددی



(الف)



(ب)

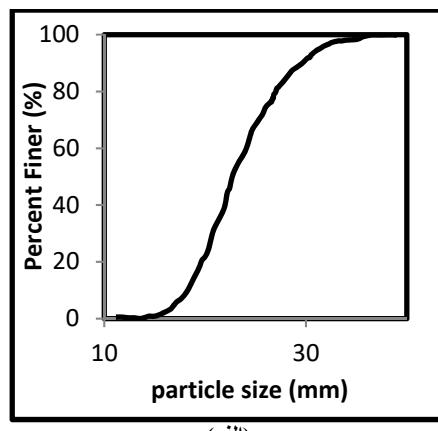
Fig. 3. a) Rough bed in Mohajeri et al. [9] experimental study,  
b) rough bed in present numerical model

در مطالعه حاضر از شبکه‌بندی ساختاری با توزیع یکنواخت بهره برده شد. به این منظور، از یک بلوک شبکه‌بندی با ابعاد مش در ارتفاع ۲ میلی‌متر، در عرض فلوم ۱۰ میلی‌متر و در طول فلوم ۶ میلی‌متر که در کل از ۱۶۰۰۰۰ مش تشکیل شده بود، برای مدل‌سازی‌ها انتخاب شد. به منظور یافتن این مش‌بندی، آنالیز مش نیز صورت پذیرفت. نتایج آنالیز مش حاکی از آن بود که با کوچکتر شدن اندازه مش تفاوت چشمگیری در شکل پروفیل سرعت ایجاد خواهد شد. در این حالت، کوچکتر شدن مشها تنها موجب افزایش هزینه‌های محاسباتی خواهد شد. در شکل (۴) نحوه شبکه‌بندی در کanal نمایش داده شده است و در شکل (۴-ب) مشاهده می‌شود که ابعاد مش از ابعاد سنگ‌دانه‌ها به مرتبه کوچکتر بوده و لذا به خوبی می‌تواند جریان در اطراف سنگ‌دانه‌ها را مدل‌سازی نماید.

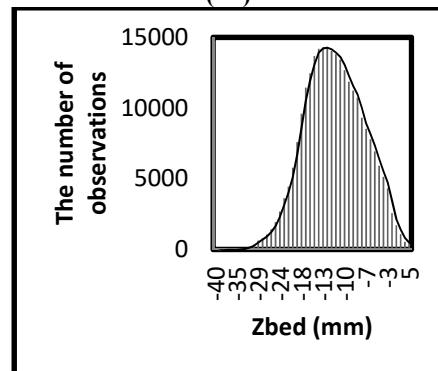
جابجایی صفر در معادله پروفیل لگاریتمی سرعت به عنوان یک حدس اولیه کمک شایانی خواهد نمود.

بستر شنی در مطالعه مهاجری (۲۰۱۴) که در شکل (۲-الف) نمایش داده است، توسط دستگاه لیزر اسکنر به مدل رقومی تبدیل شد. این برداشت‌ها تنها در محدوده‌ای برابر ۰/۶ متر از کanal با دقت حدود ۱ میلی‌متر انجام شده بود. به منظور تهیه بستر زیر در کanal شبیه‌سازی، ابتدا فایل متنی مدل رقومی، وارد نرم افزار Flow3D شد و در ادامه به کمک جعبه ابزار مربوطه، مدل رقومی بستر به صورت فایل .stl آماده شد. در شکل (۲-ب) بستر ساخته شده برای شبیه‌سازی‌های عددی نمایش داده شده است. در ادامه، بستر ساخته شده به طول ۰/۶ متر در کل طول کanal به اندازه ۶ متر همانطور که در شکل (۱) نمایش داده شده است، تکرار شده است.

شکل ۲. (الف) منحنی دانه‌بندی سنگ‌دانه‌ها ب) هیستوگرام ارتفاع نقطه به نقطه بستر شنی



(الف)



(ب)

Fig. 2.a) Particle size distribution , b) Histogram of bed surface elevations

برای درنظر گرفتن صحت مدل‌سازی انجام شده می‌باشد. این مقدار در نواحی نزدیک بستر (تا حدود تراز ۰/۰۲ میلی‌متر) که بحث اصلی این مقاله می‌باشد، برابر ۰/۰۵۰۶۷ حاصل گشته است که همچنان با توجه به این که این مقدار از ۱/۰ کمتر گشته است، می‌توان تا حدود مطلوبی صحت سنجی انجام شده را درست تلقی نمود. خطای ایجاد شده بیشتر در کف را می‌توان به علت خطای لیزر رقومی ساز بستر کف عنوان کرد که باعث شده داده‌هایی که به نرم افزار داده شده ازت، دارای مقداری خطا باشد. علت دیگری که می‌تواند سبب تفاوت جزئی نتایج آزمایشگاهی و عددی اشاره نمود، وجود خطای ناشی از گرد کردن رایانه که خاصیت ذاتی مدل‌سازی‌های عددی است، را عنوان کرد.

شکل ۵. مقایسه پروفیل سرعت متوسط‌گیری دوگانه در مدل‌سازی عددی با نتایج آزمایشگاهی مهاجری (۲۰۱۴)

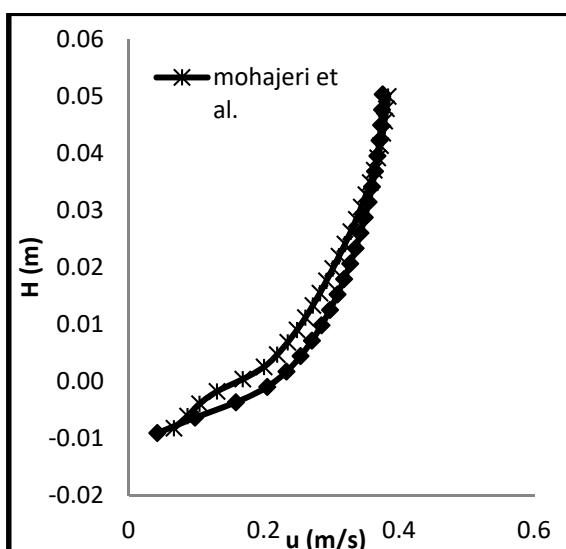


Fig. 5. Comparison of double-averaged velocity Profiles in present numerical model and Mohajeri et al. (2014)'s experimental study

### ۳. نتایج و بحث

در این مطالعه به بررسی اثر حضور سنگ‌دانه‌های شنی بر میدان جریان در نزدیکی اجزای زبر در بستر کanal پرداخته شده است. به این منظور در شکل (۶) سرعت بی بعد شده با پارامتر سرعت برشی ( $u_*$ ) حاصل از مدل‌سازی عددی (شکل ۶-ب) در یک صفحه‌ی قائم در مرکز کanal نمایش داده شده

شکل ۴. نحوه مشیندی (الف) در نمای ۳ بعدی، ب) در نزدیکی یکی از سنگ‌دانه‌های شنی بستر

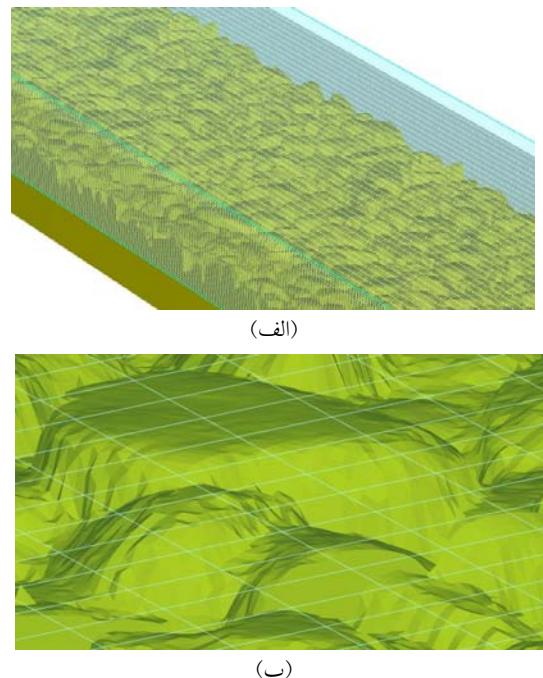


Fig. 4. Numerical simulation mesh a) in 3D-view, b) near a gravel particle located at the channel bed

### صحت سنجی

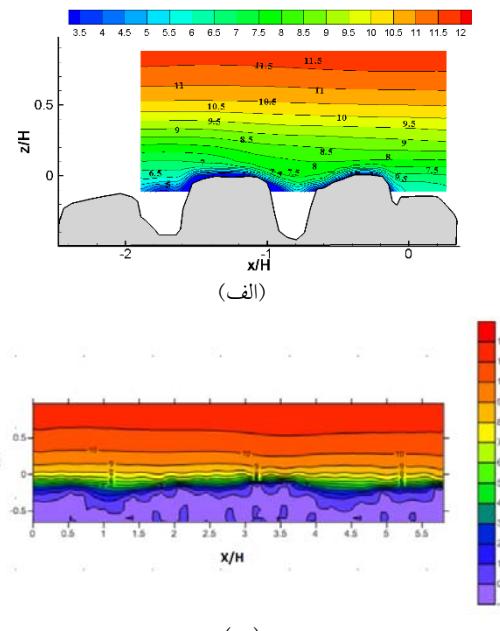
به منظور انجام صحت سنجی در مطالعه حاضر، اطلاعات هیدرولیکی مهاجری و همکاران (۲۰۱۵) به شرح جدول (۱) می‌باشد بهره برده شد. به طور دقیق، صحت سنجی براساس پروفیل متوسط گیری شده دوگانه (پروفیل سرعت متوسط‌گیری شده در یک صفحه موازی کف کanal، پس از متوسط‌گیری زمانی که روش رایجی در مطالعه جریان در بسترها زیر می‌باشد) شرایط آزمایشگاهی و مدل ساخته شده انجام شد. نتایج این مقایسه در شکل (۵) نمایش داده شده است. در این شکل مشاهده می‌شود که تطابق مقبولی بین پروفیل متوسط دوگانه حاصل از مدل‌سازی عددی و مدل آزمایشگاهی مهاجری و همکاران برقرار است. البته اختلاف ناچیزی در نقاط بالای بسترها شنی تا ارتفاع ۰/۰۲ متری قابل مشاهده است که در قیاس با سایر قسمتهای پروفیل قابل صرف نظر کردن است. همچنین میزان خطای جذر مربعات (RMSE) برای تمام عمق جریان برابر ۰/۰۲۲ حاصل گردیده است که با توجه به نظریه‌های آماری مقدار مناسبی

این مشاهده بیان می‌دارد که اثر بستر در نواحی دورتر از  $0/25$  عمق به طور تقریبی نامحسوس می‌باشد. براین اساس می‌توان بیان داشت که ناحیه‌ی لایه‌ی زبر تا این موقعیت می‌تواند کشیده شده باشد.

به منظور بررسی دقیق‌تر نحوه تغییرات سرعت طولی در مکانهای مختلف و نیز تبیین محدوده‌ی لایه‌ی زبر، کانتور سرعت طولی در  $3$  صفحه مختلف در عرض کanal و در موقعیت‌های طولی مختلف، در محلی از طول کanal که از توسعه یافته‌گی جریان اطمینان وجود دارد، رسم شده است. به منظور مقایسه‌ی ناحیه تحت تاثیر بستر، متوسط محدوده‌ی از عمق جریان که تحت تاثیر شدید بستر قرار در این شکل‌ها با خط مشکی پرنگ نمایش داده شده است. با بررسی کانتورهای سرعت طولی در این  $3$  مقطع عرضی مختلف می‌توان این موضوع را استنباط کرد که وجود بستر زبر در میدانهای جریان تشکیل شده‌ی نزدیک بستر تاثیرگذار بوده است. به طور مثال لایه‌ی زبر<sup>۱</sup> به طور متوسط در  $3/1$  متر پس از شروع فلوم، در تراز  $-0/005$  متر تشکیل شده است. همچنین لایه‌ی زبر شکل گرفته در  $3/4$  در تراز  $-0/003$  متر و در  $3/7$  متر پس از شروع فلوم برابر  $-0/004$  متر می‌باشد. از مقایسه‌ی این کانتورهای سرعت طولی می‌توان دریافت که میزان محدوده‌ی لایه‌ی زبر برای مقادیر متوسط طولی وابسته به مکان بوده و تا سطح خاصی تحت تاثیر زبری قرار ندارد. این پدیده امکان دارد به علت شکل هندسه‌ی بستر به وجود آمده باشد. به بیان دیگر در محلهایی که سنگدانه‌های شنی بستر، بیشتر در میدان جریان اغتشاش ایجاد نموده‌اند، لایه‌ی زبر بزرگتری مشاهده شد، این در حالی است که در نواحی که اغتشاش اجزای زبر کمتر است، محدوده کمتری برای لایه‌ی زبر شاهد هستیم. این مشاهده، برخلاف ناحیه‌ی لگاریتمی می‌باشد که همواره تا  $0/2$  عمق جریان برقرار می‌باشد، به دست آمد و در حقیقت براین اساس می‌توان بیان داشت که تعریف دقیقی از محدوده لایه‌ی زبر نمی‌توان ارائه داد. در این پژوهش به صورت خاص می‌توان رابطه‌ای بین لایه‌ی زبر و عمق جریان ارائه نمود ولی باید به این مسئله توجه نمود که میزان این نسبت با تغییر عمق، زبری،

است و با نتایج مهاجری و همکاران (۲۰۱۵) (شکل ۶-الف) مقایسه شده است. لازم به ذکر است که میزان سرعت برشی در این پژوهش به مانند شرایط آزمایشگاهی مهاجری و همکاران (۲۰۱۵) برابر با  $0/033\text{m/s}$  در نظر گرفته شده است. همانطور که از شکل (۶-ب) مشخص می‌باشد،

شکل ۶. سرعت طولی در نزدیکی بستر در مقطع طولی قائم در مرکز کanal در (الف) نتایج آزمایشگاه مهاجری (۲۰۱۴) ب) مدلسازی عددی حاضر



**Fig. 6.** Longitudinal velocity near the bed in the longitudinal section at the center of the channel, A) Mohajeri (2014) laboratory results , B) numerical modeling

نتایج حاصله از مدلسازی عددی در تطابق مقبولی با نتایج مدل آزمایشگاهی قرار دارند. در حقیقت از جهت مقادیر مشاهده و نیز از جهت نحوه تغییرات رفتار هر دو شکل با یکدیگر مشابه می‌باشد. این موضوع نیز می‌توان حاکی از صحت مدلسازی عددی حاضر باشد. مشاهده می‌شود که خطوط جریان در نزدیکی اجزای زبر بستر تغییرات شدیدی در طول را نشان می‌دهند. این در حالی است که با دور شدن از نواحی نزدیک به جداره این تغییرات در طول کاهش می‌یابد و در نزدیکی موقعیت ارتفاعی  $0/25$  این تغییرات طولی به طور کامل از بین رفته و خطوط مابین کانتورها مسیر مستقیمی را طی می‌نماید.

## 1. Roughness layer

تصویر برداشتی به جداره سمت راست کanal نزدیکتر است و سرعت در این محدوده کوچکتر می‌باشد. بررسی دقیق‌تر این شکل حاکی از تشکیل رگه‌هایی در طول جریان می‌باشد که در آنها سرعت طولی در حال نوسان شدید می‌باشد به اصطلاح رشته‌های جریان طولی در نواحی مختلف عرضی شکل گرفته است. در رابطه با شکل گیری این رشته از جریانات به صورت کلی دو نظریه وجود دارد. یکی از این نظریه‌ها اعتقاد دارد که جریانات ثانویه<sup>۱</sup> در بستر زبر تشدید شده و باعث به وجود آمدن رشته‌های سرعت می‌شوند؛ نظریه‌ی دیگری که در بین دانشمندان وجود دارد این است که حضور جریانات با آشفتگی کم در کنار جریانات با آشفتگی زیاد، عامل اصلی وجود رشته‌های طولی سرعت در پلان می‌باشد [13]. در این پژوهش با توجه به این که مدل‌سازی عددی با مدل آشفتگی K-ε RNG انجام پذیرفته است و این مدل براساس فرض ایزوتروپیک توربولانس یا آشفتگی همسانگرد استوار است، در حقیقت مدل‌سازی‌ها توانایی بررسی و مدل‌سازی جریانهای ثانویه را ندارد.

باتوجه به این واقعیت، می‌توان وجود این رشته‌های طولی تغییر سرعت در عرض کanal را ناشی از درهم تنیده شدن تغییرات میدان جریان در نزدیکی اجزای زبر بستر و تشکیل نواحی با سرعت‌های کم و زیاد همانند آنچه در شکل ۸ مشاهده می‌شود، نسبت داد.

شکل ۸ سرعت طولی در مقطع طولی عمودی در فاصله ۳/۱ تا ۳/۷ متری

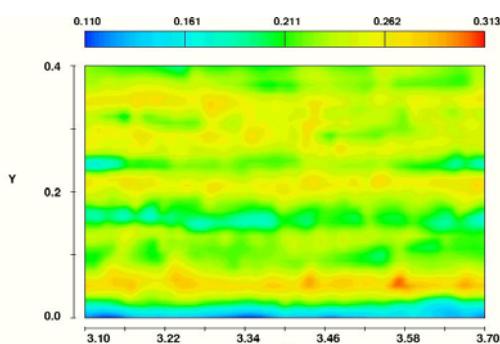


Fig. 8. Longitudinal velocity in the vertical longitudinal section at a distance of 3.1 to 3.7 m

مکان، شکل توپوگرافی بستر، سرعت متوسط و ... تفاوت خواهد گرد و به طور کلی نمی‌توان رابطه‌ای مبنی بر تعیین عمق لایه‌ی زبر در بسترها شنی با یک یا دو پارامتر خاص ارائه نمود.

شکل ۷. سرعت طولی همراه با برداری‌های سرعت عرضی در مقطع

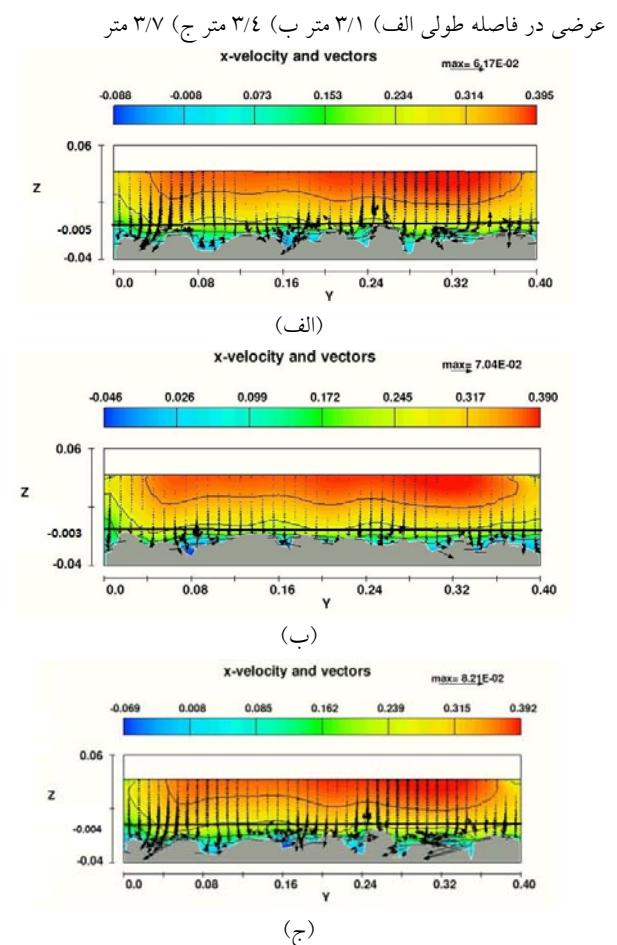
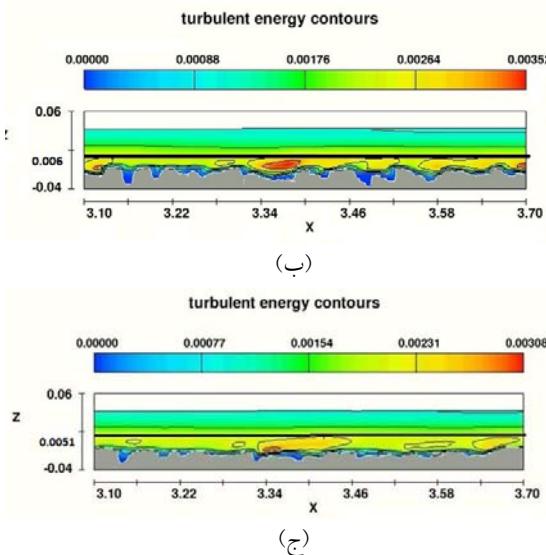


Fig. 7. Longitudinal velocity along with cross-sectional velocity vectors, A) 3.1 m, B) 3.4 m, C) 3.7m

کانتور سرعت طولی در پلان در صفحه در ارتفاع بالای سنگ‌دانه‌ها و در محدوده‌ای که جریان توسعه یافته است، در شکل (۸) نمایش داده شده است. در این شکل مشخص است که میزان سرعت در نواحی مختلف دارای نوسان قابل توجهی می‌باشد که این مشاهده حاکی از اثر تداخلی قابل توجه سنگ‌دانه‌های شنی می‌باشد. همچنین مشاهده می‌شود که سرعت جریان در سمت پائین تصویر به مرتب کمتر از بالای تصویر است. این موضوع از این واقعیت ناشی می‌شود که

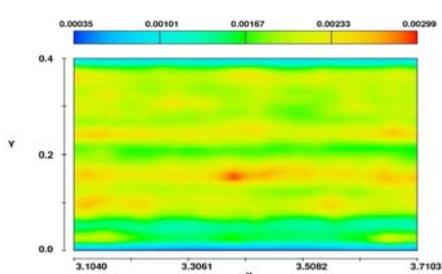
## 1. Secondary current



**Fig. 9.** Turbulent kinetic energy contour maps at longitudinal section, A)  $y=0.2$ , B)  $y=0.15$ , C)  $y=0.25$

کانتور میزان انرژی آشفتگی در پلان حدفاصل ۳/۱ تا ۳/۷ از شروع فلوم نیز در شکل (۱۰) نمایش داده شده است. همانند شکل (۸) رشتہ‌هایی در هم تنیده از کانتورهای سرعت را می‌توان مشاهده نمود. این رشتہ‌ها را همانند استدلال‌های مطروحه در شکل (۸) می‌توان ناشی از تداخل آشفتگی‌های کم و بزرگ دانست. همچنین همانطور که انتظار می‌رفت، میزان انرژی آشفتگی تولید شده در صفحه‌ای موازی نزدیک بستر در میانه‌ی عرض کanal نسبت به نواحی دیگر بیشتر بوده است.

شکل ۱۰. میزان آشفتگی جریان در مقطع طولی عمودی

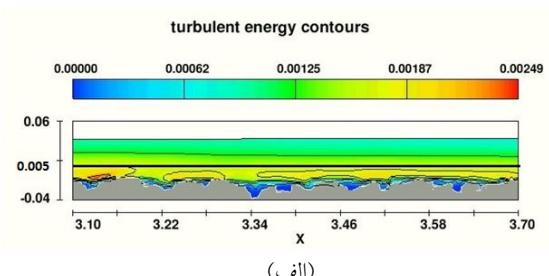


**Fig.10.** Turbulent kinetic energy contour maps at vertical longitudinal section

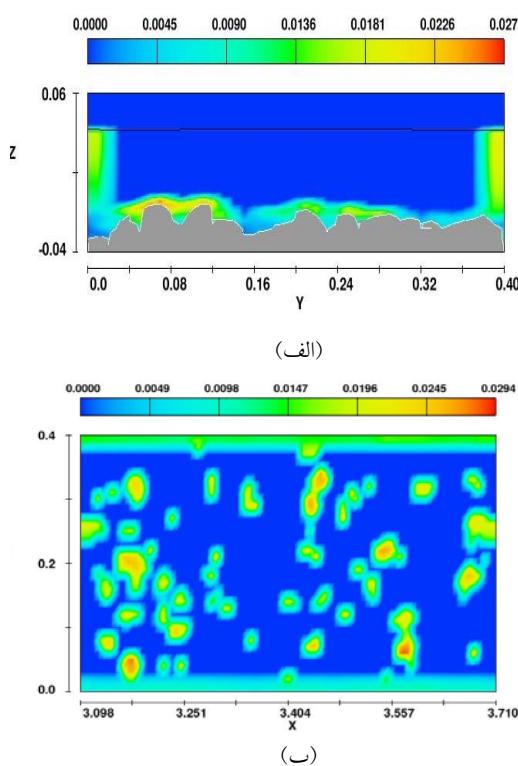
شکل (۱۱) نیز بیانگر میزان کانتورهای سرعت برشی می‌باشد. شکل (۱۱-الف) کانتور سرعت برشی در مقطع عرضی در فاصله حدود ۳/۱ متری از فلوم را نشان

در ادامه بررسی سرعت طولی، به بررسی شرایط آشفتگی جریان در اطراف سنجنگ‌دانه‌های شنی و در عمق جریان پرداخته می‌شود، به این منظور، در شکل (۹) میزان انرژی آشفتگی در سه مقطع طولی و در راستای بررسی گردیده است و در ادامه، همانند آنچه در شکل (۷) بیان شد، میزان متوسط ارتفاع لایه‌ی زیر در هر یک از مقاطع محاسبه گردید. لازم به ذکر است که شکل (۹-الف) در فاصله ۱۵ سانتی‌متری از جداره از دو شکل (۹-ج) در فاصله ۱۵ سانتی‌متری تولید شده را نشان می‌دهند. در مرکز فلوم در ناحیه‌ی توسعه یافته میزان لایه‌ی زیر برابر ۰/۰۰۵ متر بوده و در شکل‌های (۹-ب) و (۹-ج) این میزان به ترتیب برابر ۰/۰۰۶ و ۰/۰۰۵۱ می‌باشد. میزان تراز لایه‌ی زیر متوسط برای این سه مقطع برابر  $5/3$  میلی‌متر می‌باشد. این میزان در مقایسه با تراز بیشینه‌ی زیر که برابر ۰/۰۰۹ متر می‌باشد، میزان ارتفاع حدود ۱۴ میلی‌متری را نشان می‌دهد که نسبت به زیری معادل ( $6/1$  میلی‌متر) حدود ۲ برابر می‌باشد. این نسبت از نسبت شکل (۷) بیشتر شده است و علت آن را می‌توان گستردگی ترکیب ناحیه‌ی مورد مطالعه در شکل (۹) بیان کرد. براین اساس می‌توان بیان داشت که ابعاد لایه‌ی زیر، نه تنها در مکان تغییر می‌نماید، بلکه با تغییر پارامتر نیز تغییر پیدا می‌نماید. به بیان دقیق‌تر، ناحیه‌ی زیر مربوط به انرژی جنبشی آشفتگی، وسیع‌تر از ناحیه تحت تاثیر از سرعت طولی می‌باشد. چنین مشاهده‌ای تعریف ناحیه‌ی زیر را با چالش جدی مواجه می‌سازد که باید در مطالعات آتی برای تعریف صحیح و منطقی آن به فکر چاره‌ای قابل قبول بود.

شکل ۹. میزان آشفتگی جریان در مقطع طولی در فاصله ۳/۱ تا ۳/۷ متری.  
الف) در صفحه  $y=0/2$ ، (الف) در صفحه  $y=0/15$ ، (ج) در صفحه  $y=0/25$ .



شکل ۱۱. کانتور سرعت برشی (الف) در مقطع عرضی ب) مقطع طولی قائم



**Fig. 11.** Contour maps of shear velocity for A) cross section in 3.1 m, B) Vertical longitudinal section

#### ۴. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این پژوهش که در ادامه مطالعه‌ی مهاجری و همکاران (۲۰۱۴) می‌باشد، بر روی میدان جریان در حالت استغراق نسبی کم تمرکز گردیده شده بود. به این منظور مدل‌سازی عددی در نرم افزار Flow3D انجام پذیرفت. به علاوه به منظور مدل‌سازی فیزیکی زبری همراه با مدل‌سازی هیدرولیکی آن، مدل رقوم بستر زبر برداشتی مهاجری و همکاران (۲۰۱۴) در مدل Flow3D شبیه‌سازی شد. نتایج صحت سنجی حاکی از قابلیت مدل Flow3D در مدل‌سازی این شرایط از جریان می‌باشد. نوآوری اصلی این پژوهش وارد نمودن بستر زبر به صورت فیزیکی بوده است در حالی که در پژوهش‌های مشابه از ضریبی به عنوان معرف زبری بستر استفاده می‌شد و یا در مواردی از نیمکره‌های مساوی و مشابه، زبری را اعمال می‌نمودند [۵]. همچنین مشخص گردید هرچند که نتایج به دست آمده نشان از عدم ثبات لایه‌ی زبر در مکانهای مختلف می‌دهد ولی می‌توان رابطه‌ای

می‌دهد. به طور معمول در جریانات آشفته برای محاسبه‌ی سرعت برشی از روابط هیدرولیکی استفاده نمی‌گردد. رابطه‌ی پیشنهاد شده برای محاسبة‌ی سرعت برشی در نزدیکی بستر به شکل ( $\sqrt{u'w'}$ ) می‌باشد. این مقدار در اواسط عرض فلوم به علت عدم صفر بودن سرعت‌های لحظه‌ای متوسط گیری شده‌ی دوگانه، صفر می‌باشد. چرا که با توجه به تعریف سرعت‌های لحظه‌ای، این پارامترها در اواسط عرض فلوم تفاوت فاحشی با مقدار متوسط خود نداشته و همین عامل باعث عدم وجود سرعت برشی در اواسط فلوم شده است. همچنین به علت وجود میدانهای کوچک جریان در نزدیکی دیواره‌ها و برخورد جریان به این دیواره‌ها، میزان سرعت برشی افزایش می‌یابد. همانطور که در شکل (۱۱-الف) مشخص می‌باشد، میزان کانتور سرعت برشی در دیواره‌ها دارای نظم و روند مشخص‌تری می‌باشد که این موضوع ناشی از صاف بودن دیواره‌ها می‌باشد و هرچه از دیواره فاصله‌ی گرفته شود مقدار سرعت برشی که علت اصلی وجود آن بستر و یا دیواره‌ی زبر می‌باشد. کاهش پیدا می‌کند. به طور مثال در سمت راست دیواره، مقدار سرعت برشی از ۰/۰۱۸۱ شروع شده، سپس به مقدار ۰/۰۱۳۶ رسیده و در نهایت در اواسط فلوم به مقدار صفر می‌رسد.. همچنین در شکل (۱۱-ب) نیز میزان سرعت برشی در پلان در حدفاصل ۳/۱ تا ۳/۷ متری در صفحه‌ای نزیک به بستر نمایش داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، میزان سرعت برشی در برخی از نقاط به علت ناهمگن بودن بستر زبر و عدم تقارن، بیشتر بوده است. مطابق انتظار، در نزدیکی بستر زبر مقادیر سرعت برشی افزایش یافته است و در نواحی که صفحه، فاصله‌ی کافی از مرتفع‌ترین سنگدانه دارا می‌باشد، میزان سرعت برشی صفر و نزدیک به صفر خواهد بود.

- [4] Dey, S. and Das, R., 2012. Gravel-bed hydrodynamics: double-averaging approach. *Journal of Hydraulic Engineering*, 138(8), pp.707-725.
- [5] Bomminayuni, S., Stoesser, T. and Boe Olsen, N.R., 2012. Evaluation of low Reynolds number turbulence models for an open-channel flow over a rough bed using LES data. *Journal of Hydraulic Engineering*, 139(6), pp.664-668.
- [6] Grass, A.J., 1971. Structural features of turbulent flow over smooth and rough boundaries. *Journal of fluid Mechanics*, 50(2), pp.233-255.
- [7] Grass, A.J., Stuart, R.J. and Mansour-Tehrani, M., 1991. Vortical structures and coherent motion in turbulent flow over smooth and rough boundaries. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Physical and Engineering Sciences*, 336(1640), pp.35-65.
- [8] Defina, A.N.D.R.E.A., 1996. Transverse spacing of low-speed streaks in a channel flow over a rough bed. *Coherent flow structures in open channels*, 4, pp.87-99.
- [9] Mohajeri, SH. Kashmari, Kh. Zarrati, AM. Azarpira, M, 2018. Characterization of double-averaged velocity profile in an open-channel with intermediate relative roughness, Amirkabir J. Civil Eng (in Persian) (in Farsi).
- [10] Mohajeri, S.H., 2015. Hydrodynamics of gravel bed flows (implication on colmation) (Doctoral dissertation, Queen Mary University of London).
- [11] Rodi, W., 1993. Turbulence models and their application in hydraulics, IAHR Monograph. *Balkema, Rotterdam, Brookfield*.
- [12] Sanei nejad, M., 2015. An introduction turbulent flows an turbulence modeling. 2th ed, Tehran. (in persian) (in Farsi)
- [13] Nikora,V., McLean, S., Coleman, S., Pokrajac, D., McEwa, I., Campbell, L., Aberle, J., Clunie, D. and Koll, K., 2007. Double-averaging concept for rough-bed open-channel and overland flows: Applications *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(8), pp.884-895.

محدودد به یک مکان خاص را ارائه نمود. ارتفاع معادل زبری با عمق لایه زبر ایجاد شده در نزدیکی بستر مرتبط است و در این پژوهش ۱/۱۵ برابر متوسط ارتفاع لایه زبر گشته است. از نتایج دیگری که حاصل گردید می‌توان به ارتباط لایه زبر با عمق آب اشاره نمود. می‌توان در این پژوهش نسبت عمق لایه زبر به عمق کل جریان را برای استغراق نسبی ۸/۵۲ که یک استغراق نسبی کم به شمار می‌آید را برابر ۰/۱۲۵ درنظر گرفت.

به علاوه مشاهده شد که محدوده لایه زبر نه تنها در مکان تغییر می‌نماید، بلکه براساس پارامتر مورد مطالعه نیز این محدوده متفاوت می‌باشد. چنین مشاهده‌ای تعریف دقیق و جامع این ناحیه را بسیار مشکل و پیچیده می‌نماید. بررسی تغییرات سرعت طولی و متوسط انرژی جنبشی آشفتگی حاکی از تشکیل رگه‌های طولی تغییرات سرعت و انرژی جنبشی در عرض کanal می‌باشد. با توجه به نوع مدل‌سازی آشفتگی در مطالعه حاضر، تشکیل این رگه‌ها به در هم تینیده شدن گردابه‌ها و دنباله‌های تشکیلی در اطراف سنگدانه‌های شنی تشکیل دهنده بستر نسبت داده شد. همچنین میزان آشفتگی جریان به مانند یک بستر صاف نبوده و به علت عدم تقارن در بستر زبر، این آشفتگی قابل پیش‌بینی نیست و هندسه‌ی بستر نقش تعیین کننده‌ای در میزان انرژی آشفته‌ی ایجاد شده دارد. همچنین با توجه به شکل کانتورهای سرعت بررشی این نتیجه حاصل گردید که در نزدیکی مرتفع‌ترین سنگدانه، بیشترین سرعت بررشی و در نتیجه اصطکاک وجود دارد.

## ۵. منابع

- [1] Nikora, V., 2007. 3 Hydrodynamics of gravel-bed rivers: scale issues. *Developments in Earth Surface Processes*, 11, pp.61-81.
- [2] Mohajeri, S.H., Grizzi, S., Righetti, M., Romano, G.P. and Nikora, V., 2015. The structure of gravel-bed flow with intermediate submergence: A laboratory study. *Water Resources Research*, 51(11), pp.9232-9255.
- [3] Jiménez, J., 2004. Turbulent flows over rough walls. *Annu. Rev. Fluid Mech.*, 36, pp.173-196.

### علامه‌های و نمادهای اختصاری:

$\Delta$ : زیری معرف بستر

$H$ : عمق آب

$p$ : جرم واحد حجم سیال

$u'_i$ : سرعت لحظه‌ای در جهت محور  $x$  ها

$u'_j$ : سرعت لحظه‌ای در جهت محور  $y$  ها

$W'$ : سرعت لحظه‌ای در جهت محور  $z$  ها

$K$ : انرژی جنبشی ناشی از آشفتگی

$e$ : نرخ اضمحلال انرژی

$m$ : ویسکوزیته گردابه‌ای

$\eta$ : نسبت زمان مشخصه‌ی آشفتگی به زمان مشخصه‌ی میدان

جریان

$\sigma_K$ : عدد پرانتل

$\sigma_e$ : عدد اشمیت

$G$ : بیانگر میزان تولید انرژی آشفتگی ناشی از اندرکنش بین

جریان متوسط و میدان جریان آشفته

$B$ : بیانگر تولید یا اتلاف بویانسی ناشی از میدان چگالی

نوسان کننده‌ی جریان

$Z$ : ارتفاع آب در فلوم بر حسب میلی‌متر

$\Delta^+$ : زیری بی بعد شده

$Re_z$ : میزان رینولدز در جهت ارتفاعی

$b$ : عرض فلوم

$S$ : شیب طولی

$Q$ : دبی بر حسب لیتر بر ثانیه

# Study of shallow turbulent gravel bed flow in a rectangular open-channel in the grains scale

**H. Fathali<sup>1</sup>, S.H.Mohajeri<sup>2\*</sup>,F.kilanehei<sup>3</sup>, M. Fazeli<sup>4</sup>**

1- M.Sc. student of hydraulic structure, Department of Civil Engineering, Faculty of engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin.

2- Assistant professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kharazmi University, Tehran.

3- Assistant professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin.

4- Assistant professor, Department of Civil-water Engineering, Faculty of Civil, Art and Architecture, Islamic Azad university, science and research branch.

## Abstract:

The study of mountainous river flow in natural condition where the relative submergence (the ratio of water depth to the bed roughness length characteristics) is low and Reynolds number is too high is one of the most challenging hydraulic topics. Indeed, most of the rivers that cross the mountainous areas are covered with coarse aggregates such as gravel. In natural conditions, usually water depth is not high and consequently existence of roughness can affect the whole of the flow field and velocity profile specially in the roughness sublayer. Investigation of flow field in this type of rivers and understanding the important parameters of turbulent flow helps to better understand the behavior of such rivers. In shallow currents, the relative submergence is often less than 20. However, there is an uncertainty regarding this range. In the present study, the flow structure intermediate submerged flows has been numerically investigated. For this purpose, the gravel bed was modeled physically by importing a digital elevations model of the laboratory artificial bed into the Flow-3D software. One of the innovations of this research was the importing of a rough bed in a physical manner while in similar researches, the roughness equivalent coefficient was imported as an effective roughness parameter and the bed was not physically modeled. Furthermore, in present study, the study of parts of the flow in numerical simulation order that in laboratory study Due to laboratory limitations was not investigated, was considered. Actually, the main purpose in present study is investigation of turbulent flow characteristics in a low relative submergence in near sandy stone. One of the other points of this research is the investigation of low relative submergence, while most studies had done on high relative submergence. It should be noted, for simulating the  $k-\epsilon$  RNG that is two equations model and having Medium computing cost, has been used in Flow-3D Software. According to the results, it was found that Flow-3D is able to simulate these types of flows. After validation and at the end of modeling, it was found that existence of gravel particles in these conditions affects severely the flow field, turbulent intensity and shear stress. Quantitative investigation of region under sandy sandstone shows that roughness sublayer region not only changes in location, but also vary according to the parameter being studied. Such an observation makes the region's precise and comprehensive definition very difficult and complicated. also existence of changes in longitudinal velocity and medium turbulent kinetic energy (T.K.E) is the cause of formation of longitudinal strings of variations in velocity and kinetic energy across the channel. According to the type of turbulent modeling in this study which was  $k-\epsilon$  RNG, existence this strings Attributed to Swirling together and Arranged sequences near sandy sandstone because these model Based on isotropic turbulence assumption and it hasn't ability to investigating and modeling the secondary currents. Finally with investigation of shear velocity contours in bed channel, it was found that maximum shear velocity occurred near maximum elevation sandstone. Also, maximum drag force occurred in this region. Finally, due to small flow fields in near of walls and colliding Flow currents to these walls, the mean of shear velocity and friction increases.

**Keywords:** gravel bed, Open-channel, Turbulent flow, Numerical simulation, Shallow flow