

شبیه‌سازی عددی توپوگرافی بستر و میدان جریان در اطراف موانع دو ردیفه و توری‌سنگی در کانال مستقیم با استفاده از Flow-3D

سحر انصاری، عماد کهریزی و مجید فضلی

دوره ۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، صفحات ۷۰-۵۸

Vol. 5(1), Spring 2019, 58 – 70

DOI: 10.22034/jewe.2019.160925.1299

**Numerical Simulation of Bed Topography and Flow Field around Double Rows-Barriers and Gabion Groyne in the Direct Channel using Flow-3D**

Ansary S., Kahrizi E. and Fazli M.



[www.jewe.ir](http://www.jewe.ir)

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله: انصاری س.، کهریزی ع. و فضلی م. (۱۳۹۸). شبیه‌سازی عددی توپوگرافی بستر و میدان جریان در اطراف موانع دو ردیفه و توری‌سنگی در کانال مستقیم با استفاده از Flow-3D. مجله محیط‌زیست و مهندسی آب، دوره ۵، شماره ۱، صفحات: ۷۰-۵۸.

**Citing this paper:** Ansary S., Kahrizi E. and Fazli M. (2019). Numerical simulation of bed topography and flow field around double rows-barriers and gabion groyne in the direct channel using Flow-3D. J. Environ. Water Eng., 5(1), 58– 70. DOI: 10.22034/jewe.2019.160925.1299

## شبیه‌سازی عددی توپوگرافی بستر و میدان جریان در اطراف موانع دو ردیفه و توری‌سنگی در کانال مستقیم با استفاده از Flow-3D

سحر انصاری<sup>۱</sup>، عماد کهریزی<sup>۲\*</sup> و مجید فضلی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد، گروه عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

<sup>۲</sup> دانشجوی دکترا، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران

<sup>۳</sup> استادیار، گروه عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

\* نویسنده مسئول: e.kahrizi94@basu.ac.ir

### مقاله اصلی

تاریخ دریافت: [۱۳۹۷/۰۹/۲۱]

تاریخ بازنگری: [۱۳۹۸/۰۲/۱۲]

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۸/۰۲/۲۲]

### چکیده

آبشکن‌ها از جمله سازه‌های ساماندهی رودخانه‌ها می‌باشند که از ساحل به سمت محور رودخانه امتداد می‌یابند. از جمله مسائل مهم در طراحی آن‌ها، پدیده آبشستگی موضعی در دماغه آن است که در اثر تغییر در الگوی جریان و وجود گردابه‌های قوی ایجاد می‌شود. در سال‌های اخیر، اکثر تحقیقات انجام شده بر روی آبشکن‌های باز تک ردیفه و بسته استوار بوده و اغلب به صورت آزمایشگاهی انجام شده است. در این پژوهش، آبشستگی و الگوی جریان سه‌بعدی در اطراف آبشکن‌های باز دو ردیفه با دو آرایش زیگزاگی و در امتداد هم و آبشکن توری‌سنگی با مدل عددی Flow-3D و استفاده از مدل آشفتگی RNG شبیه‌سازی شده و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شد. همچنین تأثیر پارامترهایی همچون درصد بازشدگی و فاصله محور به محور ردیف‌های موانع باز دو ردیفه بر آبشستگی و الگوی جریان بررسی شد. نتایج نشان داد که نرم‌افزار Flow-3D، توانایی خوبی در به دست آوردن نتایج در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی دارد؛ اگر چه این موضوع به شدت وابسته به نحوه مش‌بندی دقیق، استفاده از یک CPU قوی و همچنین درجه‌بندی دقیق مدل است. طوری که حداکثر عمق آبشستگی را با خطای کمتر از ۱۰ درصد نسبت به نتایج آزمایشگاهی برآورد نمود. همچنین نتایج نشان داد که با کاهش فاصله محور به محور آبشکن‌های باز دو ردیفه، توانایی و دقت مدل عددی در برآورد مقدار حداکثر عمق آبشستگی کاهش می‌یابد. در نهایت با مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی در پروفیل‌های سرعت طول، مشخص شد که انطباق نسبتاً مناسبی بین این نتایج وجود دارد.

**واژه‌های کلیدی:** آبشستگی؛ آبشکن دو ردیفه؛ آبشکن توری‌سنگی؛ Flow-3D؛ RNG.

## ۱- مقدمه

رودخانه‌ها در وضعیت طبیعی همواره در حال فرسایش و رسوب گذاری بوده و تا حد امکان باید از مهار این پدیده‌های طبیعی اجتناب نمود. چرا که مهار کناره‌های رودخانه ممکن است موجب ایجاد و گسترش خساراتی جدی در پایین دست یا بالادست رودخانه شود. به عبارتی دیگر سامانه رودخانه‌ای را از حالت تعادل طبیعی خود خارج نماید (Nasrolahi 2001). یکی از روش‌های متداول ساماندهی رودخانه و کنترل فرسایش کناری آن، استفاده از آبشکن‌ها است. ساخت آبشکن‌ها باعث می‌شود که الگوی جریان رودخانه در این مقطع تحت تأثیر قرار گیرد و موجب انحراف خطوط جریان از دیواره‌های فرسایش پذیر به وسط رودخانه شود. یکی از مسائل مهم و اساسی در طراحی آبشکن‌ها، پدیده آبشستگی موضعی در دماغه آن‌ها است (Norouzi et al. 2009). پژوهشگران از مطالعات میدانی، مدل سازی فیزیکی یا شبیه سازی عددی در بررسی جریان و رسوب در رودخانه‌ها استفاده می‌کنند. هزینه بسیار زیاد مطالعات میدانی و در بسیاری از موارد عدم امکان پذیر بودن انجام مطالعات میدانی، توجه بیشتر پژوهشگران را به سمت مدل سازی فیزیکی یا شبیه سازی عددی معطوف نموده که کم هزینه تر بوده و به راحتی امکان تغییر پارامترهای مختلف و بررسی تأثیر آن‌ها در نتایج وجود دارد (Saadat Jou 2013).

مطالعه آبشکن‌ها و چگونگی اثرگذاری آن‌ها بر روی جریان از اوایل دهه ۱۹۳۰ میلادی مورد پژوهش پژوهشگران بسیاری قرار گرفته و روابط مختلفی برای آبشکن‌ها ارائه شده که بیشتر آن‌ها بر نتایج آزمایشگاهی استوار است. Poor (2017)؛ Shahnaz et al. (2017)، شبیه سازی عددی آبشستگی در اطراف آبشکن‌های موازی را در نرم افزار Flow-3D انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که عدد فرود جریان و نسبت  $\frac{U}{U_{cr}}$  بر روی دقت مدل‌ها اثرگذار است و با افزایش دبی، نتایج مدل Flow-3D نیاز به درجه بندی مجدد داشتند. Acharya et al. (2013)، شبیه سازی عددی سه بعدی میدان جریان آشفته در اطراف یک سری آبشکن را در یک بستر تخت با استفاده از نرم افزار Flow-3D و مدل‌های آشفته یک معادله‌ای، مدل دو معادله‌ای، مدل RNG و مدل LES ارائه دادند. نتایج

نشان داد مدل سازی با استفاده از مدل  $k - \epsilon$ ، خطای بیش از ۵۰ درصد را نسبت به نتایج آزمایشگاهی دارد اما مدل RNG، نشان دهنده نتایج بهتری بود. (Amini et al. 2017)، الگوی جریان و مکانیسم آبشستگی موضعی اطراف گروه شمع‌ها با آرایش کنار هم و دوردیغه را با استفاده از نرم افزار Flow-3D و مدل آشفته‌گی RNG شبیه سازی نمودند. نتایج نشان داد که این نرم افزار به خوبی اندرکنش بین گروه شمع‌ها را شبیه سازی نموده و عدد رینولدز و فاصله بین شمع‌ها متغیری اساسی در تشکیل گردابه‌ها است. (Hoseini et al. 2017). عمق آبشستگی اطراف گروه شمع را با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی تخمین زدند. مقایسه بین روش‌های متفاوت شبکه عصبی مصنوعی نشان داد که تکنیک Bagging روش قابل اعتمادتری است. همچنین انجام آنالیز حساسیت نشان داد که قطر و فاصله شمع از پارامترهای غالب می‌باشند. Asadi and Zommodian (2016)، شبیه سازی عددی الگوی جریان و آبشستگی موضعی بستر در اطراف سری آبشکن‌های قائم و زاویه دار با نرم افزار Flow-3D را ارائه دادند و نتایج را با نتایج آزمایشگاهی (Duan et al. 2009) صحت سنجی کردند. نتایج نشان داد که در شبیه سازی با مش بندی بزرگ، نتایج شبیه سازی با مدل آشفته‌گی LES با نتایج آزمایشگاهی مطابقت نزدیکی داشته و خطایی در حدود ۵ درصد دارد. ولی با کوچک نمودن اندازه مش‌ها، مدل آشفته‌گی RNG بهتر عمل کرده و دارای خطایی حدود یک درصد است. (Goudong et al. 2013). با شبیه سازی جریان و آبشستگی موضعی در اطراف یک آبشکن غیر مستغرق با استفاده از نرم افزار Flow-3D، نشان دادند که نتایج شبیه سازی عددی همخوانی قابل قبولی با نتایج آزمایشگاهی دارد. Amini et al. (2010)، آزمایش‌هایی را روی اجزای تشکیل دهنده پایه‌های مرکب و ترکیبی از این اجزاء در ایجاد آبشستگی در یک پایه مرکب انجام دادند. نتایج نشان داد که برای محدوده‌ای از نسبت قطر ستون به قطر سرشمع، با افزایش ارتفاع مدل از بستر اولیه، آبشستگی به طور قابل توجهی تغییر می‌کند. همچنین آن‌ها ضمن ارائه روشی برای محاسبه عمق آبشستگی، عدم کارایی روش برهم نهی برای پیش بینی عمق آبشستگی را متذکر شده‌اند.

با توجه به تعداد کم تحقیقات انجام شده در زمینه برآورد حداکثر عمق آبشستگی و توزیع سرعت در اطراف آبشکن‌های باز به‌ویژه آبشکن‌های دو ردیفه و آبشکن توری‌سنگی، ضرورت انجام پژوهش در این زمینه مشخص می‌شود. در این پژوهش، آبشستگی در اطراف آبشکن‌های باز دو ردیفه زیگزاگی و در امتداد هم با زاویه  $90^\circ$  نسبت به امتداد جریان و درصد بازشدگی ۳۰ درصد و آبشکن توری‌سنگی با تخلخل ۳۰ درصد، با Flow-3D و استفاده از مدل آشفتگی RNG شبیه‌سازی و نتایج با داده‌های آزمایشگاهی مقایسه شد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

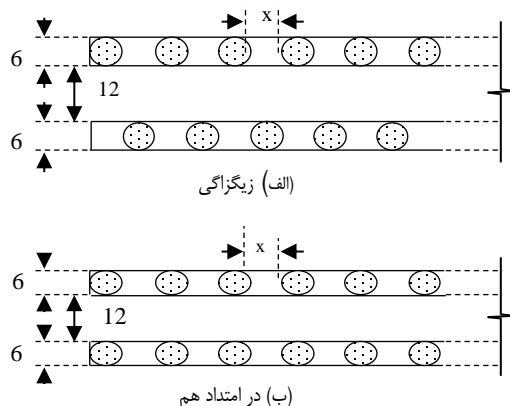
به‌منظور مطالعه و بررسی عملکرد آبشکن‌ها، از نتایج آزمایشگاهی ارائه شده توسط (Badpa و Pazin 2015) و (2016) که در فلوم موجود در دانشکده مهندسی دانشگاه بوعلی سینا که یک فلوم بتنی غیرشیب‌پذیر به طول ۱۵ m، ارتفاع و عرض ۰/۶ m با دیواره‌های شفاف از جنس شیشه ۱۰ mm و پمپ با ظرفیت آبدهی ۱۹۰-۳۷۰ l/s می‌باشد استفاده شده است. طوری‌که الگوی جریان و نحوه شسته شدن مصالح بستر قابل رؤیت بود. در شکل (۱) تصویر کانال تحقیقاتی نشان داده شده است.



شکل ۱- تصویر فلوم تحقیقاتی

Fig. 1 A view of the laboratory flume

به‌منظور بررسی پارامترهای مورد نظر در این پژوهش، بستر فلوم از ذرات رسوبی با اندازه ۱/۵۵ mm پر شد. سرعت‌های طولی، عرضی و عمقی جریان برای دبی مورد نظر با استفاده از سرعت‌سنج سه‌بعدی ADV و با فرکانس ۲۰ Hz و به مدت ۶۰ s برای هر نقطه اندازه‌گیری شد. آزمایش‌ها در دبی



شکل ۲- نمای شماتیک از آبشکن باز دوردیفه

Fig. 2 Schematic view of a double-row open groyne

### ۲-۱- مدل عددی

نرم‌افزار Flow-3D، معادلات سه‌بعدی ناویراستوکس را روی شبکه محاسباتی منتظم و غیریکنواخت حل می‌کند و توانایی مدل کردن مسائل جریان‌های سطح آزاد و نمایش نتایج با

که  $U_i$  سرعت متوسط،  $P$  فشار،  $A_i$  کسر مساحت باز برای جریان در جهت  $i$ ،  $V_f$  کسر حجم باز برای جریان،  $G_i$  شتاب ناشی از نیروهای وزنی،  $f_i$  شتاب ناشی از نیروهای ویسکوز،  $K$  ترم درگ بین ذرات رسوب است. برای لزجت دینامیک متغیر  $\mu$ ، شتابهای لزجت  $f_i$  از رابطه (۳) به دست می آید.

$$\rho V_f f_i = w s_i - \left[ \frac{\partial}{\partial x_j} (A_j S_{ij}) \right], \quad S_{ii} = -2\mu_{tot} \left[ \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right], \quad S_{ij} = -2\mu_{tot} \left[ \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] \quad (3)$$

## ۲-۲- تنظیمات مدل

کانال مورد نظر با ابعاد ذکر شده، در نرم افزار Flow-3D مدل سازی شد. قسمتی از مش بندی در همه آبشکن ها مشابه بود؛ بدین صورت که از ابتدای کانال تا قسمت ماسه ای و همچنین بعد از قسمت ماسه ای تا انتهای کانال از مش درشت به تعداد ۹۰۰ سلول با ابعاد  $0.1 \text{ cm}^2$  استفاده شد. در ناحیه ای که آبشکن توری سنگی وجود داشت؛ از مش تودرتو با ابعاد  $0.1 \text{ cm}^2$  استفاده شده است. برای ناحیه قرارگیری آبشکن زیگزاگی از سلول های با ابعاد  $0.0017 \text{ cm}^2$  و برای آبشکن در امتداد هم از سلول های با ابعاد  $0.0015 \text{ cm}^2$  استفاده شد. که در این پژوهش به صورت تجربی و با سعی و خطا به دست آمدن و کوچک کردن ابعاد مش تا جایی ادامه می یابد که بعد از آن کوچک کردن مش تأثیری در نتایج نخواهد داشت. در ناحیه آبشکن به این دلیل از مش تودرتو استفاده شد تا حساسیت بیشتری احساس شود. مش بندی باید به گونه ای انتخاب می شد که به اندازه کافی کوچک باشد تا بتواند ذرات رسوب را به عنوان جسم بسیار ریز جامد شناسایی کند، همزمان پیوستگی اجزاء را ارضا نماید و محیطی پیوسته را شبیه سازی کند.

در شبیه سازی این تحقیق، از شرط مرزی ورودی دبی ثابت (Volume Flow rate) برابر با شدت جریان  $28 \text{ l/s}$  و عمق جریان  $14/6 \text{ cm}$  و در مرز خروجی با معلوم بودن ارتفاع آب، شرط مرزی فشار مشخصه (Specified Pressure) که بهترین نتایج را در بررسی بستر متحرک در اختیار قرار می دهد، اعمال شده است. شرایط مرزی مدل در بستر کانال، دیواره ها و در آبشکن از نوع شرایط مرزی دیوار (Wall) و در

قدرت گرافیکی بالا را دارد. معادلات حاکم بر جریان تراکم ناپذیر سیال، قانون بقای جرم رابطه (۱) و معادله مومنومنت متوسط گیری شده زمانی (رینولدز) رابطه (۲) است.

$$\frac{\partial}{\partial x_i} u_i A_i = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{1}{V_f} \left( u_j A_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + G_i + f_i - K u_i \quad (2)$$

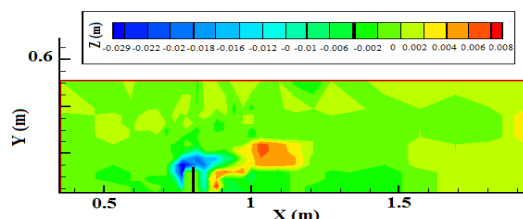
که در آن  $S_{ij}$  تانسور شدت تنش،  $w s_i$  تنش برشی دیوار،  $\rho$  چگالی آب و  $\mu_{tot}$  مجموع ویسکوزیته دینامیکی سیال که شامل اثرات آشفتگی جریان نیز است. نرم افزار Flow-3D، با استفاده از روش حجم سیال VOF هندسه سطح مشترک سیال و هوا در سطح آزاد و با استفاده از روش کسر مساحت-حجم مانع (FAVOR)، سطوح و حجم موانع جامد و مرزهای هندسی صلب را شبیه سازی می کند. با این روش شبکه محاسباتی مستطیلی بدون انحراف می تواند برای بررسی مشخصات جریان با حضور مانع استفاده شود و حجم و مساحت باز درون هر سلول محاسباتی را که با مانع پر شده است تعیین کند (Smith et al. 2007).

این نرم افزار شامل چندین مدل برآورد آشفتگی جریان است که در این مطالعه از مدل های آشفتگی RNG استفاده شده است. مدل آبشستگی نرم افزار Flow-3D با استفاده از تقریب حجمی بقای جرم و معادله انتقال رسوب پخش (انتشار)-انتقال (advection-diffusion)، میزان آبشستگی بستر و انتقال رسوبات بستر را برآورد می کند و با استفاده از روش حجم سیال (VOF) ارتفاع سطح بستر در هر سلول محاسباتی را پیش بینی می کند. چگالی سیال در هر سلول محاسباتی به صورت رابطه (۴) محاسبه می شود. در این معادله  $f_s$  کسر رسوبات جامد در سلول محاسباتی،  $\rho_s$  چگالی رسوبات،  $\rho$  چگالی سیال و  $\bar{\rho}$  چگالی سیال در سلول محاسباتی است. مجموع کسر جامد رسوب و کسر مربوط به قسمت سیال  $f$ ، برابر یک است (رابطه ۱).

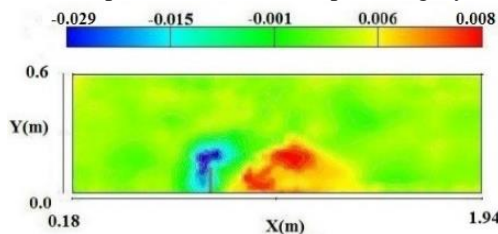
$$\bar{\rho} = \rho + f_s (\rho_s - \rho) \quad (4)$$

$$f + f_s = 1 \quad (5)$$

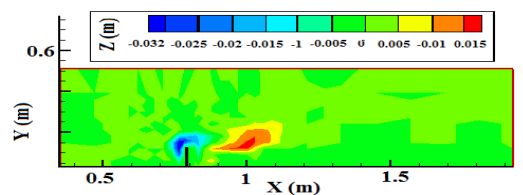
آزمایشگاهی برای آبشکن‌های مذکور دارد که تصدیق می‌کند که شبیه‌سازی عددی در برآورد میزان حداکثر آبشستگی به خوبی عمل کرده است.



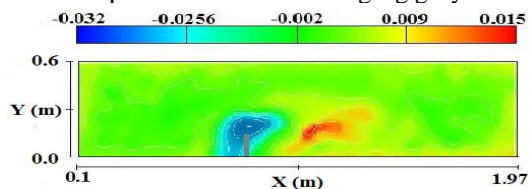
الف) نتایج آزمایشگاهی آبشکن دو ردیفه در امتداد هم  
a. Experimental results of parallel groyne



ب) نتایج شبیه‌سازی عددی آبشکن دو ردیفه در امتداد هم  
b. Numerical results of parallel groyne



ج) نتایج آزمایشگاهی آبشکن دو ردیفه زیگزاگی  
c. Experimental results of Zigzag groyne



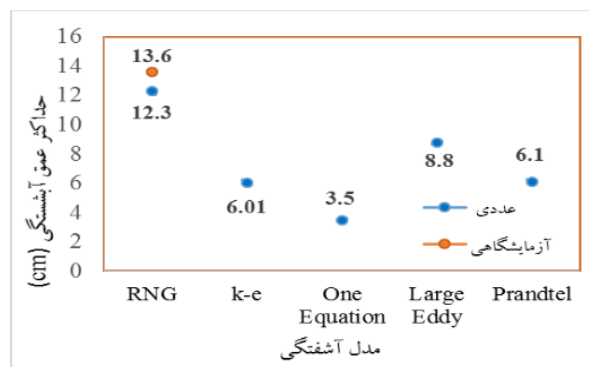
د) نتایج شبیه‌سازی عددی آبشکن دو ردیفه زیگزاگی  
d. Numerical results of Zigzag groyne

شکل ۴- آبشستگی بستر در آبشکن باز دو ردیفه در امتداد هم و زیگزاگی با بازشدگی ۳۰٪

Fig. 4 The bed scouring of parallel and zigzag open double rows groynes with 30% opening

در شکل (۵) نیز توزیع بستر شسته شده در اطراف آبشکن توری سنگی با تخلخل ۳۰ درصد نشان داده شده است. آبشستگی منتج از نتایج عددی و آزمایشگاهی در موقعیت حضور آبشکن از تطابق خوبی برخوردار می‌باشند. طوری که

سطح آزاد سیال از نوع متقارن (Symmetry) است. به منظور انتخاب مدل آشفتگی مناسب، ابتدا نرم‌افزار Flow-3D به مدت ۱۸۰ s با استفاده از مدل‌های آشفتگی  $(k - \epsilon)$ ، مدل (RNG)، مدل (Large Eddy)، طول اختلاط پرانتل و مدل یک معادله‌ای برای به دست آوردن حداکثر عمق بستر شسته شده برای آبشکن توری سنگی با تخلخل ۳۰٪ اجرا شد. در شکل (۳) حداکثر عمق آبشستگی بستر حاصل از نتایج آزمایشگاهی و نتایج شبیه‌سازی آبشستگی بستر ناشی از مدل‌های مختلف آشفتگی نشان داده شده است. مطابق با شکل (۳)، حداکثر عمق آبشستگی به دست آمده از نتایج آزمایشگاهی ۱۳/۶ cm است که از بین نتایج به دست آمده از مدل عددی با مدل آشفتگی RNG با مقدار ۱۲/۳ cm مطابقت بیشتری دارد. بنابراین، در این پژوهش از مدل آشفتگی RNG استفاده شد.



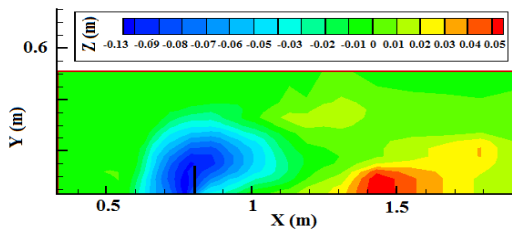
شکل ۳- مقایسه حداکثر عمق آبشستگی حاصله از مدل‌های مختلف آشفتگی

Fig. 3 Comparison of the maximum scour depth obtained from different models of turbulence

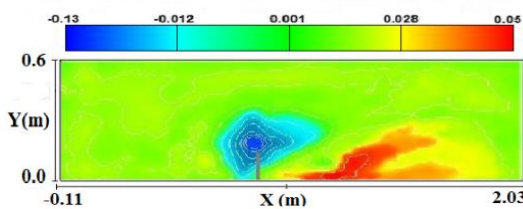
### ۳- یافته‌ها و بحث

شکل (۴)، نتایج آزمایشگاهی و شبیه‌سازی آبشستگی بستر در آبشکن‌های قائم میله‌ای دو ردیفه در امتداد هم و زیگزاگی با ۳۰ درصد بازشدگی و فاصله محور تا محور ۲۴ mm را نشان می‌دهند. مشاهده می‌شود که حداکثر مقدار آبشستگی در مانع دو ردیفه در امتداد هم با شبیه‌سازی عددی و نتایج آزمایشگاهی به ترتیب مقادیر ۳/۲ و ۲/۹ cm و حداکثر مقدار آبشستگی در مانع دو ردیفه زیگزاگی با شبیه‌سازی عددی و نتایج آزمایشگاهی به ترتیب مقادیر ۳/۵ و ۳/۲ cm می‌باشد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی تطابق بسیار خوبی با نتایج

۱۰ درصد بوده است که نشان از دقت بالای نتایج عددی با مدل آشفتگی مذکور می باشد.



الف) نتایج آزمایشگاهی  
A. Experimental results



ب) نتایج شبیه سازی عددی  
B. Numerical simulation results

شکل ۵- آبهستگی بستر در آبهشکن توری سنگی با تخلخل ۳۰٪  
Fig. 5 Scouring of bed in Gabion groynes with 30% porosity

حداکثر عمق آبهستگی در شبیه سازی عددی و نتایج آزمایشگاهی به ترتیب ۱۲/۳ و ۱۳/۶ به دست آمده است. علت بیشتر بودن حداکثر مقدار آبهستگی در آبهشکن توری سنگی نسبت به دو آبهشکن دیگر این است که آبهشکن های توری سنگی با تخلخل کم، دارای تخلخل مؤثر (فضای خالی مرتبط با هم) کمتری هستند از این رو آبهستگی آن ها بیشتر از حد مورد انتظار است.

با توجه به شکل های به دست آمده از شبیه سازی عددی و صحت سنجی آن با نتایج آزمایشگاهی مشاهده گردید که حداکثر عمق آبهستگی جریان آب به صورت موضعی در دماغه آبهشکن ها رخ داده است و مواد فرسایش یافته به صورت لکه های آبی رنگ در پایین دست جداره کانال قرار گرفته اند. در حضور آبهشکن قائم در مقطع نزدیک دماغه آبهشکن، هم عمق حفره و هم بعد طول حفره آبهستگی بسیار زیاد است. این امر به دلیل برخورد جریان های قائم و عرضی گردابی در این ناحیه بوده و همچنین محل افزایش آبی سرعت طولی جریان در این ناحیه می باشد. به علاوه چنین برداشت می شود که مدل عددی مذکور به لحاظ کمی و کیفی، توانایی بالایی در شبیه سازی محل آبهستگی و مقدار آن در حوالی آبهشکن دارد و همان طور که در جدول (۱)، مشاهده می شود، تمام خطاها زیر

جدول ۱- مقایسه حداکثر عمق آبهستگی (cm) آزمایشگاهی و شبیه سازی شده به وسیله مدل RNG برای موانع مختلف

Table 1 Comparison of maximum scour depth (cm) of experimental and numerical simulated by RNG model for various groynes

نوع مانع	آزمایشگاهی	عددی	%RMSE
دو ردیفه در امتداد هم با درصد بازشدگی ۳۰٪	2.9	3.2	9.37
دو ردیفه زیگزگی با درصد باز شدگی ۳۰٪	3.2	3.5	8.6
توری سنگی با درصد بازشدگی ۳۰٪	13.6	12.3	9.56

به منظور واسنجی مدل عددی و نشان دادن این موضوع که نتایج به دست آمده از شبیه سازی عددی به واقعیت نزدیک هستند، نتایج شبیه سازی عددی آبهشکن های باز دو ردیفه برای میزان بازشدگی ۴۰ درصد شبیه سازی شد و سپس با نتایج آزمایشگاهی با درصد بازشدگی ۳۰ و ۵۰ درصد مقایسه شد. این مقایسه به منظور اثر درصد بازشدگی انجام شد. در جدول (۲) نتایج آزمایشگاهی و عددی آبهشکن های باز دو ردیفه در امتداد هم و زیگزگی ارائه شده است. به وضوح قابل

سپس آبهستگی موانع در امتداد هم و زیگزگی با ۳۰ درصد بازشدگی و فاصله محور به محور ۶ mm شبیه سازی شد. مشخص شد که مقادیر خطا در شبیه سازی عددی آبهشکن های در امتداد هم و زیگزگی در فواصل محور به محور ۶ mm تقریباً حدود ۲ برابر مقادیر خطا در فاصله ۲۴ mm است که نشان دهنده این واقعیت است که با کاهش فاصله محور به محور آبهشکن ها، از توانایی و دقت مدل عددی Flow-3D کاسته می شود.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که شبیه‌سازی عددی با مدل RNG می‌تواند نتایج قابل اعتمادی را به دست آورد.

مشاهده است که حداکثر عمق آبستگی نتایج عددی با درصد بازشدگی ۴۰ درصد مابین نتایج آزمایشگاهی ۳۰ و ۵۰ درصد است.

جدول ۲- مقادیر حداکثر عمق آبستگی در آبشکن دو ردیفه در امتداد هم

Table 2. Maximum scour depth values in a parallel groyne

درصد بازشدگی	حداکثر عمق آبستگی آبشکن در امتداد هم (cm)	حداکثر عمق آبستگی آبشکن زیگزگی (cm)
نتایج عددی	نتایج آزمایشگاهی	نتایج عددی
30	2.6	3.1
40	2.3	2.8
50	-	2.67

آبستگی در اطراف آبشکن‌ها با درصدهای مختلف بازشدگی را ارائه نماید.

### ۳-۱-۳- مقایسه الگوی جریان

#### ۳-۱-۱- تغییرات سرعت قائم در اطراف آبشکن

در شکل (۶) سرعت‌های قائم حاصله از نتایج آزمایشگاهی و شبیه‌سازی عددی در دماغه آبشکن‌های در امتداد هم و زیگزگی ارائه شده است که محور X نشان دهنده طول کانال و محور Z نشان دهنده ارتفاع کانال برحسب cm می‌باشند. از شکل (۶) می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر سرعت قائم جریان برای هر دو روش شبیه‌سازی عددی و آزمایشگاهی، قبل از آبشکن بسیار کم و نزدیک به صفر است، با نزدیک شدن به آبشکن شروع به افزایش کرده و در محل آبشکن این افزایش ادامه داشته و بعد از محل آبشکن به حداکثر مقدار خود رسیده است. وجود سرعت قائم مثبت و منفی در مقاطع نشان دهنده تشکیل گردابه‌های قائم مقاطع عمودی است. این گردابه‌ها ناشی از جریان بعد از آبشکن و در ناحیه‌ای است که آشفتگی زیادی در محدوده مذکور به دلیل ترکیب شدن جریان‌های کم سرعت جلوی آبشکن و جریان پر سرعت اصلی می‌باشد. در موانع زیگزگی به دلیل قرارگیری نوع شمع‌های دو ردیف نسبت به یکدیگر (شمع‌های مانع دوم در مقابل فضای خالی بین شمع‌های ردیف اول قرار می‌گیرند) جریان مقدار بسیار زیادی از انرژی خود را در عبور از بین میله‌ها از دست می‌دهد و این امر باعث می‌شود که سرعت‌های قائم کمتری را نسبت به مانع با آرایش پشت سرهم داشته باشیم. مطابق با شکل (۶) قبل از آبشکن در محدوده بسیار کوچکی مؤلفه قائم سرعت، منفی شده و در پایین دست نیز بلافاصله بعد از

به منظور صحت‌سنجی مدل عددی در شبیه‌سازی آبشکن‌های توری‌سنگی، این آبشکن در تخلخل‌های ۱۵ و ۴۰ درصد شبیه‌سازی و با نتایج آزمایشگاهی با درصد تخلخل‌های صفر، ۳۰ و ۵۰ درصد مقایسه شد. از مقایسه مقادیر آبستگی به دست آمده از هر دو روش که در جدول (۳) ارائه شده است می‌توان نتیجه گرفت که آبستگی در درصد تخلخل‌های ۱۵ و ۴۰ درصد مابین نتایج آزمایشگاهی ۰، ۳۰ و ۵۰ درصد تخلخل می‌باشد. همچنین هرچه درصد تخلخل آبشکن توری‌سنگی کمتر می‌شود، حداکثر عمق آبستگی افزایش پیدا می‌کند. به عبارتی دیگر، حداکثر عمق آبستگی دارای رابطه‌ای عکس با درصد تخلخل می‌باشد.

جدول ۳- مقادیر حداکثر عمق آبستگی در آبشکن توری‌سنگی

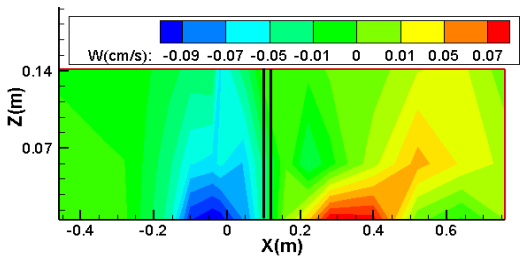
Table 3. Maximum scour depth values in the Gabion groyne

درصد تخلخل	حداکثر عمق آبستگی نتایج عددی (cm)	حداکثر عمق آبستگی نتایج آزمایشگاهی (cm)
0	-	16.1
15	14.1	-
30	12.3	16.3
40	8.2	-
50	-	5

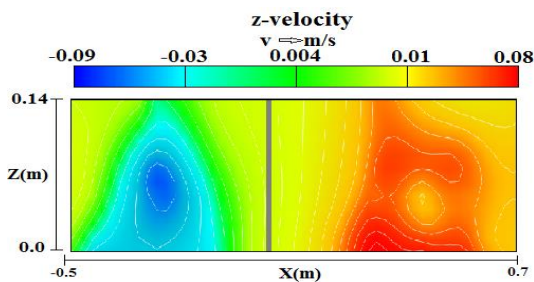
همچنین می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر آبستگی ناشی از شبیه‌سازی عددی در تخلخل‌های مذکور، مابین نتایج آزمایشگاهی قرار گرفته است که این موضوع نشان دهنده توانایی بالای این مدل در شبیه‌سازی آبستگی در اطراف آبشکن می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مدل عددی Flow-3D می‌تواند نتایج قابل قبولی برای تخمین میزان



همچنین در شکل (۷) نتایج شبیه سازی عددی و آزمایشگاهی سرعت های قائم جریان در اطراف آبشکن توری سنگی با تخلخل ۳۰ درصد نشان داده شده است. همان طور که از تصاویر پیداست در محدوده قبل از آبشکن، سرعت به دلیل وجود جریان های برگشتی دارای مقادیر منفی است که البته این سرعت های منفی در مقایسه با آبشکن های باز دو ردیفه به دلیل آب گذری کمتر از آبشکن توری سنگی و حضور آبشکن به عنوان مانعی در مقابل جریان دارای مقادیر بیشتری است.



الف) نتایج آزمایشگاهی  
A. Experimental results

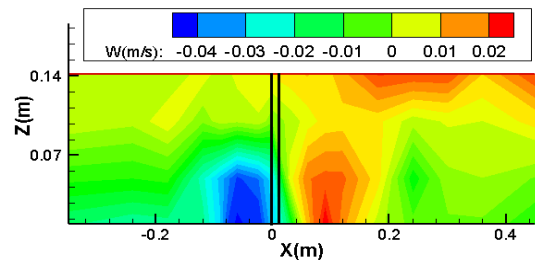


ب) نتایج شبیه سازی  
B. Numerical simulation results

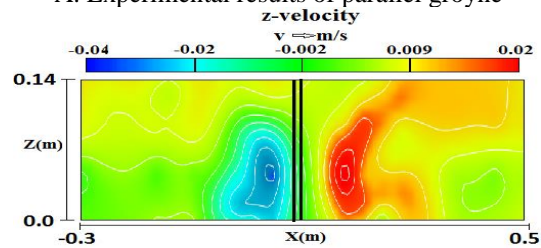
شکل ۷- مقایسه سرعت قائم در اطراف آبشکن توری سنگی  
Fig. 7 Comparison of vertical velocity around the Gabion groyne

از مقایسه شکل های (۶) و (۷) چنین برداشت می شود که اثرات موانع میله ای بر سرعت جریان به مراتب کمتر از مانع توری سنگی با تخلخل ۳۰ درصد است و اگر چه میزان درصد بازشدگی هر سه نوع مانع با هم یکسان است اما توزیع بازشدگی در سطح مانع تأثیر قابل توجهی بر تغییر در سرعت جریان خواهد داشت. به طور کلی نتایج به دست آمده حاصل از مقایسه های عددی و آزمایشگاهی، بیانگر تطابق مناسب بین شبیه سازی عددی و داده های آزمایشگاهی می باشد و این به معنای توانایی بالای مدل عددی Flow-3D در شبیه سازی

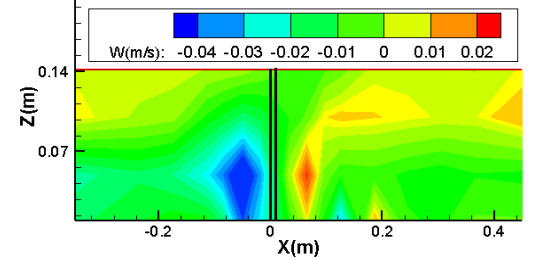
آبشکن، مؤلفه قائم سرعت افزایش می یابد که علت وجود مقادیر منفی سرعت وجود جریان های برگشتی است. نتایج نشان می دهد که مدل عددی Flow-3D در شبیه سازی سرعت قائم جریان اطراف آبشکن به خوبی عمل کرده است.



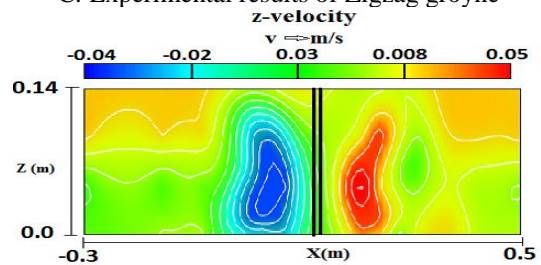
الف) نتایج آزمایشگاهی آبشکن دو ردیفه در امتداد هم  
A. Experimental results of parallel groyne



ب) نتایج شبیه سازی عددی آبشکن دو ردیفه در امتداد هم  
B. Numerical simulation results of parallel groyne



ج) نتایج آزمایشگاهی آبشکن دو ردیفه زیگزاگی  
C. Experimental results of Zigzag groyne



د) نتایج شبیه سازی آبشکن دو ردیفه زیگزاگی  
D. Numerical simulation results of Zigzag groyne

شکل ۶- مقایسه سرعت قائم در اطراف آبشکن باز دو ردیفه در امتداد هم و زیگزاگی

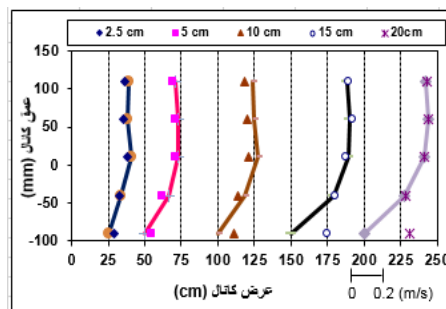
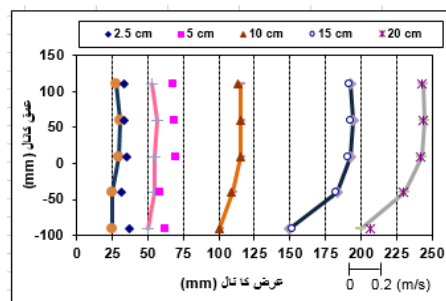
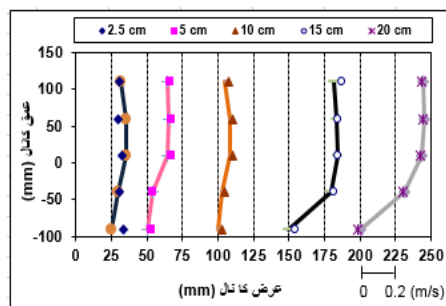
Fig. 6 Comparison of the vertical velocity in the vicinity of the open parallel and zigzag groyne

مطابق با شکل (۸) تا (۱۰)، چنین برداشت می‌شود که در نزدیکی جداره از محلی که آبشکن وجود دارد سرعت کم است و با فاصله گرفتن از آبشکن سرعت زیاد می‌شود، در واقع سرعت در مقطع قبل از آبشکن بیشتر از مقطع بعد از آبشکن می‌باشد. پس می‌توان این‌گونه برداشت کرد که در آبشکن بسته به علت برخورد جریان با آبشکن و انحراف آن به سمت محور فلوم، افزایش ناگهانی در سرعت جریان در محل دماغه این آبشکن به وجود می‌آید.

در آبشکن‌های باز نیز سرعت جریان در محدوده میان میله‌های آبشکن بیش از سرعت متوسط جریان در بالادست آن شده است. به طور کلی می‌توان گفت که در آبشکن‌های بسته به علت انحراف کل جریان به سمت محور فلوم و افزایش ناگهانی سرعت موضعی در ناحیه دماغه آبشکن و ایجاد جریان‌های گردابی، سرعت جریان به شدت افزایش یافته است. در حالی که در آبشکن‌های باز به علت این‌که امکان عبور قسمتی از جریان از داخل آبشکن وجود دارد، انحراف جریان و افزایش سرعت در این آبشکن‌ها مانند آبشکن‌های بسته نبوده است. بلکه سرعت جریان در ناحیه بین میله‌ها افزایش تدریجی داشته و با افزایش درصد بازشدگی آبشکن، روند افزایش سرعت جریان کندتر می‌شود.

به عبارت دیگر تغییرات عمده سرعت طولی جریان از نزدیکی مقطع نصب آبشکن آغاز می‌شود و در عرض کانال از مقطع آبشکن تا محل دماغه، افزایش جزئی سرعت و در ادامه تا دیواره‌ی مقابل افزایش قابل‌توجه سرعت جریان مشاهده می‌شود. در این مقطع الگوی شکل‌گیری جریان به این صورت است که در نزدیکی دیواره سرعت بسیار کم و با نزدیک شدن به انتهای آبشکن سرعت با افزایش جزئی همراه است. بعد از آن سرعت به میزان قابل‌توجهی زیاد شده و این افزایش در امتداد عرض کانال هم به همان صورت ادامه می‌یابد. همچنین در ترازهای بالاتر از کف کانال سرعت جریان زیاد شده و این باعث ایجاد اختلاف سرعت بیشتر بین ناحیه‌ی قبل از دماغه‌ی آبشکن با دیواره‌ی مجاور و بعد از دماغه تا دیواره مقابل شده است. در ترازهای بالاتر، این افزایش سرعت جریان موجب می‌شود که جریان نزدیک‌شده به آبشکن با قدرت بیشتری منحرف شده و عرض ناحیه نیز افزایش یابد. در دماغه‌ی

الگوی جریان پیرامون سازه‌های آبی مستقر در رودخانه نظیر آبشکن است.

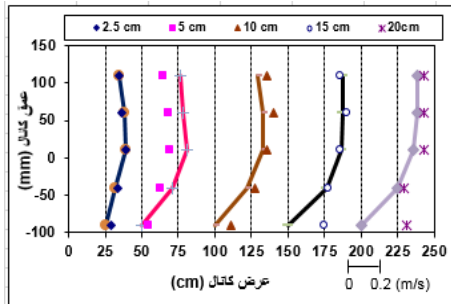
مقطع  $X = -2.5$ مقطع  $X = 0$ مقطع  $X = 3$ 

شکل ۸- پروفیل‌های سرعت به دست آمده از نتایج Flow-3D و نتایج آزمایشگاهی در مقاطع مختلف آبشکن باز دو ردیفه در امتداد هم

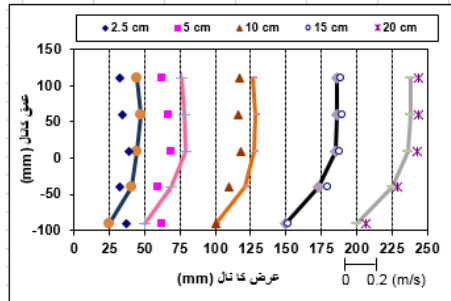
Fig. 8 Velocity profiles obtained from Flow-3D results and experimental results at different sections of open parallel groove

### ۳-۲- پروفیل‌های سرعت

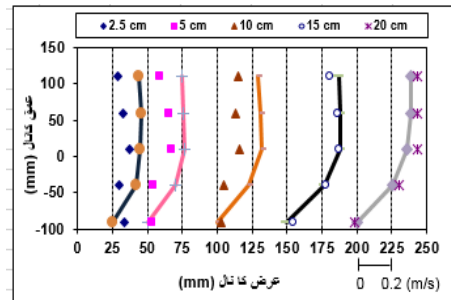
در شکل (۸) بررسی پروفیل‌های سرعت در مقاطع مختلف عرضی و قائم نشان داده شده است. این اشکال در مقاطع قبل، در محل نصب آبشکن و بعد از آبشکن برای عرض‌های مختلف ترسیم شده است که نتایج آزمایشگاهی به صورت گسسته و نتایج عددی به صورت پیوسته در نمودار مشخص شده است.



مقطع  $X = -2.5$



مقطع  $X = 0$



مقطع  $X = 3$

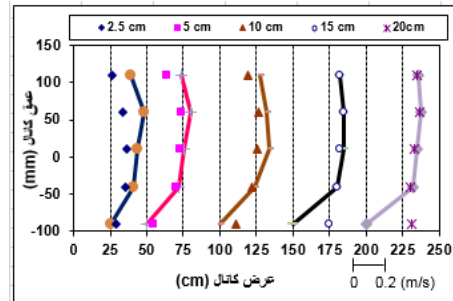
شکل ۱۰- پروفیل‌های سرعت به دست آمده از نتایج Flow-3D و نتایج آزمایشگاهی در مقاطع مختلف آبشکن باز دو ردیفه زیگزاگی

Fig 10. Velocity profiles obtained from Flow-3D results and experimental results at different sections of open zigzag groyne

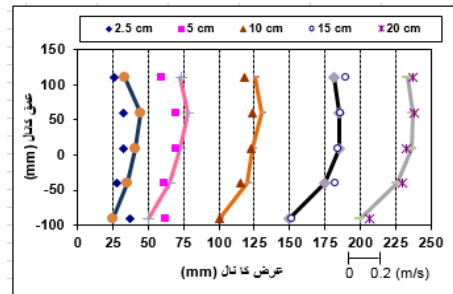
#### ۴- نتیجه گیری

در این تحقیق، شبیه‌سازی عددی توپوگرافی بستر و الگوی جریان در اطراف آبشکن‌های باز دو ردیفه در امتداد هم و زیگزاگی و توری‌سنگی با درصد بازشدگی‌های متفاوت با نرم-افزار Flow-3D بررسی شد. نتایج شبیه‌سازی مدل‌های عددی با نتایج آزمایشگاهی مربوطه مقایسه شد. بر اساس نتایج تحقیقات و مطالعات محققین قبلی در رابطه با موضوع، به‌طور عمده می‌توان گفت:

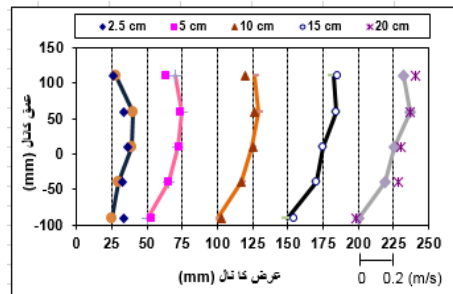
آبشکن متمایل به پایین‌دست و میانه‌ی کانال، یک محدوده‌ی افزایش سرعت طولی مشاهده می‌شود و در تراز میانی، این ناحیه به شکل قابل‌ملاحظه‌ای گسترده‌تر شده و محدوده‌ی بیشتری را در برمی‌گیرد.



مقطع  $X = -2.5$



مقطع  $X = 0$



مقطع  $X = 3$

شکل ۹- پروفیل‌های سرعت به دست آمده از نتایج Flow-3D و

نتایج آزمایشگاهی در مقاطع مختلف آبشکن توری‌سنگی

Fig. 9 Velocity profiles obtained from Flow-3D results and experimental results at different sections of Gabion groyne

مقایسه با نتایج آزمایشگاهی دارند؛ اگر چه این موضوع به شدت وابسته به نحوه مش بندی دقیق، استفاده از یک CPU قوی و همچنین کالیبراسیون دقیق مدل است. -۴ با مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی در پروفیل های سرعت طولی در عمق و عرض کانال، مشخص شد که انطباق نسبتاً مناسبی بین این نتایج وجود دارد. تغییرات عمده سرعت طولی جریان از نزدیکی مقطع نصب آبشکن آغاز می شود و در عرض کانال از مقطع آبشکن تا محل دماغه، افزایش جزئی سرعت و در ادامه تا دیواره ی مقابل افزایش قابل توجه سرعت جریان وجود دارد.

۱- در مدل عددی Flow-3D مدل آشفتگی گروه نرمال شده رینولدز (RNG) بهترین تطابق را با نتایج آزمایشگاهی به لحاظ کمی در برآورد حداکثر عمق آبشستگی و به لحاظ کیفی در تعیین محل دقیق آبشستگی را ارائه می کند. مقادیر درصد خطا در برآورد حداکثر عمق آبشستگی نسبت به نتایج آزمایشگاهی کمتر از ۱۰ درصد است.

۲- با کاهش فاصله محور به محور آبشکن های باز دو ردیفه، توانایی و دقت مدل عددی در برآورد مقدار حداکثر عمق آبشستگی کاهش می یابد.

۳- نرم افزار Flow-3D با استفاده از مدل های مختلف آشفتگی، توانایی خوبی در به دست آوردن نتایج در

## Referances

- Amini A. and Asadi Parto A. (2017). 3D numerical simulation of flow field around twin piles. *Acta Geophys.*, 65(6), 1243-1251.
- Amini A., Mohd T., Ghazali H., Huat B. and Aziz A. (2010). A local scour prediction method for pile cap in complex piers. *ICE-Water Manag.*, 164(2), 73-80.
- Asadi M., Zommodian M. A. (2016). Numerical simulation of the turbulent flow pattern and local scouring of the bed around a vertical and angled groin with a Flow-3D numerical model. *J. Irrig. Sci. Eng.*, 39(2), 168-179 [In Persian].
- Acharya A. and Jennifer G. (2013). Three dimensional simulation of flow field around series of spur dikes. *Int. Ref. J. Eng. Sci.*, 2(7), 36-57.
- Badpa Z. (2016). Experimental study of the flow pattern on scouring due to the presence of gabion on the flow of the straight channel with moving bed. Master's Thesis, University of Bu-Ali Sina, Hamedan, Iran. 180 pp. [In Persian].
- Duan J., He L., Wang G. and Fu X. (2009). Mean flow and turbulence around experimental spur dike. *J. Adv. Water Resour.*, 32(1), 1717-1725.
- Goudon L., Lan L. and Jian N. (2013). 3D numerical simulation of flow and local scour around a spur dike. Proc. 2013, IAHR world congress.
- Hossein R. Fazloulou R. Saneie M, Amini, A. (2017). Bagged neural network for estimating the scour depth around pile groups. *Int. J. River Basin Manag.*, 16(4), 401-412.
- Nasrolahi A. (2001). Investigation of the effect of opening percentage on scouring around open groins. Master's thesis, University of Tarbiat Modarres, Tehran, Iran. [In Persian].
- Noroozi H. R., Salehi Neishaboori A., Nasiri Saleh F. and Azar Derakhsh M. (2009). Three-dimensional numerical simulation of scouring around a spill. *J. Modares Technical.*, 36(1), 13-22.
- Pazin S. (2016). Laboratory comparison of the effect of two-row zigzag groins along with the flow pattern and topography of the bed in the direct channel with moving bed. Master's Thesis, University of Bu-Ali Sina, Hamedan, Iran. 195 pp. [In Persian].

Pour Shahbaz H. and Abbasi S. (2017). A review of studies on bed scouring around the groin series. First Int. Conf. Water, Environ. Sustain. Develop., Ardebil, Iran [In Persian].

Saadat jou M. (2013). Investigation of scouring around bridge piers for the effect of tidal flow- Case study of Persian Gulf bridge. Master's

Thesis, University of Hormozgan, Hormozgan, Iran. [In Persian].

Smith H. (2007). Flow and sediment dynamics around three-dimensional structures in coastal environments. PhD Thesis, University of Ohio State, Ohio, United State.

# Numerical Simulation of Bed Topography and Flow Field around Double Rows of Barriers and Gabion Groyne in The Direct Channel using Flow-3D

Sahar Ansary<sup>1</sup>, Emad Kahrizi<sup>2</sup> and Majid Fazli<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>M.Sc., Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

<sup>2</sup>PhD Scholar, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Qom University, Qom, Iran

<sup>3</sup>Assist. Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

\*Corresponding author: e.kahrizi94@basu.ac.ir

## Original Paper

Received: December 12, 2018

Revised: May 02, 2019

Accepted: May 12, 2019

## Abstract

Groins are among the rivers' structures that extend from the coast to the river's axis. One of the important issues in their design is the localized scouring phenomenon on the nose, which appears due to changes in the pattern of flow and the presence of strong vortices. In recent years, most of the research on single-row open and closed open spray guns has been carried out and has been performed in a laboratory. Therefore, in this research, scouring and three-dimensional flow patterns were simulated near the open two-row openings with two zigzag and parallel formations with Flow-3D model and using the RNG turbulence model and compared with experimental results. The results showed that the scour area and the dimensions obtained from numerical simulation as well as flow patterns are in good agreement with experimental results.

**Keywords:** Scouring; Groyne; Gabion; Flow-3D; RNG.