

Two-Dimensional Simulation of the Flow Pattern Around Spur Dike using the SRH-2D Numerical Model

M. Teymouri Yeganeh

1,2- Ph.D. Candidate in Water Structures, Water Science and Engineering Department, Razi University, Kermanshah, Iran.

*(Corresponding Author Email: m.yeganeh1390@gmail.com)

Received: 27-10-2021

Revised: 17-01-2022

Accepted: 29-01-2022

Available Online: 20-06-2022

شبیه‌سازی دو بعدی الگوی جریان در اطراف آبشکن با استفاده از مدل عددی SRH-2D

مریم تیموری یگانه

۲۰۱- به ترتیب دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: m.yeganeh1390@gmail.com)

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۰/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۰۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۳/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۰۹

Abstract

The construction of structures such as gutters, despite erosion control, can be due to the formation of a localized flow structure such as sudden expansion and contraction at the flow passage, the formation of downstream flow, and its impact on the channel bed upstream of the gutter and The shear layer and the resulting turbulence can cause local erosion and threat to the structure. In this research, using the two-dimensional numerical model SRH-2D, the flow pattern around the spur dike wall was simulated with angles of 45, 90, and 135 degrees in the channel. The results showed that with an angle of 45 degrees, the length of the return zone of the stream will be about 2 and 8 times shorter than the 90 and 135° angle, respectively. However, in a spur dike with a 90 degree angle, the length of the return zone is about 3.5 times shorter than when the breaker is located at an angle of 135 degrees in the channel. Also, shear stress in the areas close to the floor in the spur dike with an angle of 45 degrees is the lowest value and the breaker with an angle of 135 degrees has the highest value.

Keywords: Flow Pattern, Spur Dike, 2D Numerical Model, SRH-2D.

چکیده

احداث سازه‌هایی مانند آبشکن علی‌رغم کنترل فرسایش، می‌تواند به دلیل شکل‌گیری ساختار موضعی جریان مانند انبساط و انقباض ناگهانی در مقطع عبور جریان، شکل‌گیری جریان رو به پایین و برخورد آن به بستر کانال در بالادست آبشکن و شکل‌گیری لایه برشی و آشفتگی‌های ناشی از آن، باعث ایجاد فرسایش موضعی و تهدید برای سازه باشد. در این تحقیق با استفاده از مدل عددی دو بعدی SRH-2D الگوی جریان در اطراف دیواره آبشکن، با زوایای قرارگیری ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه در کانال شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد در آبشکن با زاویه ۴۵ درجه، طول ناحیه برگشت جریان نسبت به زاویه قرارگیری ۹۰ و ۱۳۵ درجه، به ترتیب نزدیک به ۲ و ۸ برابر کمتر خواهد شد. درحالی‌که در آبشکن با زاویه قرارگیری ۹۰ درجه، طول ناحیه برگشت جریان در حدود ۳/۵ برابر کمتر از حالتی است که آبشکن با زاویه ۱۳۵ درجه در کانال قرار گرفته باشد. همچنین تنش برشی در نواحی نزدیک به کف در حالت آبشکن با زاویه ۴۵ درجه کمترین مقدار و آبشکن با زاویه ۱۳۵ درجه بیشترین مقدار را دارا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: الگوی جریان، آبشکن، مدل عددی دو بعدی، SRH-2D.

دهد. Xiufang و همکاران (۲۰۱۲) الگوی جریان آشفته پیرامون تک آبشکن با هندسه متفاوت را مطالعه کردند و دریافتند بیشترین آشفتگی پیرامون آبشکن ذوزنقه‌ای به وقوع می‌پیوندد. اعزی و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از مدل عددی دو بعدی CCH-2D الگوی جریان و تغییرات بستر آبراهه در اطراف سازه آبشکن را شبیه‌سازی کردند و دریافتند مدل عددی با دقت مناسبی الگوی جریان را در اطراف آبشکن منفرد و سری آبشکن‌ها شبیه‌سازی می‌نماید. Vaghefi و همکاران (۲۰۱۷) شرایط جریان در اطراف آبشکن T شکل با حضور سازه محافظ را مطالعه کردند و دریافتند حداکثر تنش برشی بستر برای سازه محافظ در حالت‌های جاذب و دافع ۲۳/۵ درصد و ۱۷/۶ درصد نسبت به حالت عمود افزایش می‌یابد. همچنین قدرت جریان ثانویه در نزدیکی آبشکن برای زوایای کمتر از ۱۵ درجه در حالات جاذب و دافع ۲۴ درصد و ۱۴/۵ درصد افزایش داشته است. این مقادیر برای زوایای ۲۰ تا ۳۰ درجه ۱۴/۶ درصد و ۱۵/۵ درصد کاهش یافته است. Jang و Lee (۲۰۱۶) اثر فاصله بین آبشکن‌های سری بر آبشستگی بستر و الگوی جریان را بررسی کردند و دریافتند عمق آبشستگی در حالت تعادل دینامیک ثابت و عمق آبشستگی بی بعد با زیاد شدن فاصله زیاد می‌شود. Kumar و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی آبشستگی اطراف آبشکن‌های ساده و T شکل پرداختند و دریافتند آبشکن T شکل در حفاظت از بستر و کاهش عمق آبشستگی و خرابی‌های سازه‌های آبی موثرتر می‌باشد. اسمعیلی و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی آزمایشگاهی تأثیر حضور و عدم حضور آبشکن‌های سری بر مولفه‌های طولی سرعت در یک کانال پیچان‌رود پرداختند و دریافتند حضور آبشکن‌های سری ساده موجب کاهش سرعت جریان در دیواره خارجی می‌شود. در تحقیق حاضر با استفاده از مدل عددی دو بعدی SRH-2D که دارای پایه عددی بسیار قوی و پایدار و با الگوریتم مشخص است، به بررسی تأثیر زاویه قرارگیری آبشکن در کانال، بر الگوی جریان حول آبشکن با زوایای ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

- مدل عددی SRH-2D

مدل عددی SRH-2D معادلات موج دینامیکی در حالت دوبعدی و معادلات سنت و نانت متوسط گیری شده در عمق را حل می‌کند. از نظر قابلیت‌های مدل‌سازی، این مدل با بسیاری از مدل‌های موجود مانند ۲-RMA (U.S. Army

آبشکن‌ها از جمله سازه‌های متداول در مهندسی رودخانه می‌باشند که به منظور تعدیل در شرایط هیدرولیکی جریان و کنترل توان حمل رسوب استفاده می‌شوند. این نوع سازه برحسب نیاز و اهداف مورد نظر در شکل و انواع مختلفی طراحی و احداث می‌شوند. سازه آبشکن هرچند که به منظور کنترل فرسایش و تثبیت موقعیت رودخانه و کانال‌های آبیاری احداث می‌شود، در عین حال تحت تأثیر پدیده فرسایش در مسیر جریان و ایجاد جریان‌های آشفته چرخشی و گردابی در اطراف آن خواهد شد. تحقیقات متعددی در ارتباط با آبشکن‌ها صورت گرفته که به برخی از آن‌ها در این تحقیق اشاره شده است.

Ahmad (۱۹۵۳) با استفاده از مطالعه آزمایشگاهی تغییر سطح آب حول تک آبشکن واقع در یک کانال مستقیم را اندازه‌گیری کرد، و نتیجه گرفت در میدان اطراف آبشکن جریان غیر یکنواخت شکل خواهد گرفت. Ikeda و Chen (۱۹۹۷) به بررسی الگوی جریان حول تک آبشکن در مسیر جریان پرداختند و دریافتند که گردابه‌های چرخشی از نوک آبشکن جدا شده و به صورت متناوب به سمت پایین دست منتقل می‌شوند. همچنین نتایج بررسی‌های آن‌ها نشان داد سرعت متوسط حرکت گردابه‌ها تقریباً ثابت بوده و مقدار آن‌ها کمی بیشتر از ۱/۵ درصد سرعت متوسط است. Yazdi و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی الگوی جریان اطراف تک آبشکن با استفاده از مدل عددی FLOW-3D پرداختند و میدان جریان سه بعدی متلاطم و آبشستگی موضعی بستر در اطراف آبشکن با زوایای مختلف بررسی کردند. کشاورز و حکیم زاده (۱۳۸۷) به بررسی عددی الگوی جریان اطراف آبشکن‌های عمود بر ساحل و مایل نسبت به ساحل پرداختند و دریافتند که تشکیل گردابه در آبشکن مایل به صورت ملایم‌تری نسبت به آبشکن عمود بر ساحل صورت می‌گیرد که می‌تواند سبب آبشستگی کمتری در بالادست این آبشکن‌ها شود. همچنین نتیجه گرفتند تنش برشی در بستر در حالت آبشکن مایل کمتر از آبشکن عمود بوده و باعث افزایش طول عمر آبشکن مایل خواهد بود. صفرزاده (۱۳۸۹) به بررسی آزمایشگاهی هیدرودینامیک سه بعدی حول تک آبشکن با شکل‌های مختلف دماغه، در یک کانال با بستر صلب و تخت پرداخت. نتایج تحقیقاتش نشان داد ساختار جریان متوسط و آشفته حول آبشکن‌های مستقیم و غیر مستقیم کاملاً متفاوت است این باعث شده است جریان حول سازه و توزیع تنش برشی بستر را کاملاً تحت تأثیر قرار

$$\begin{pmatrix} \tau_{bx} \\ \tau_{by} \end{pmatrix} = \rho C_f \begin{pmatrix} U \\ V \end{pmatrix} \sqrt{U^2 + V^2}, C_f = \frac{gn^2}{h^{1/3}} \quad (4)$$

در رابطه (۴)، n ضریب زبری مانینگ می‌باشد. تنش‌های آشفته‌گی براساس معادله بوسینسک به صورت رابطه (۵) در نظر گرفته می‌شوند:

$$T_{xx} = 2(v + v_t) \frac{\partial U}{\partial x} - \frac{2}{3} k \quad (5)$$

$$T_{xy} = 2(v + v_t) \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \quad (6)$$

$$T_{yy} = 2(v + v_t) \frac{\partial V}{\partial y} - \frac{2}{3} k \quad (7)$$

در معادلات فوق، V ویسکوزیته سینماتیکی آب، V_t ویسکوزیته گردابی و k انرژی جنبشی آشفته می‌باشد. دو مدل آشفته‌گی در مدل SRH-2D تعریف شده است که این دو مدل شامل ۱- مدل آشفته‌گی پارابولیک و ۲- مدل دو معادله ای k-ε می‌باشد. مدل‌های صفر معادله‌ای اثرات انتقال آشفته‌گی را بر روی طول اختلاط در محاسبات وارد نمی‌کنند. همچنین باتوجه به اینکه تعیین مقیاس طول مشخصه به طریق تجربی در جریانات پیچیده مشکل است کاربرد این معادلات محدود به جریان با لایه برشی ساده است. به این منظور از مدل‌های دو معادله‌ای برای رفع این مشکل استفاده می‌شود. در مدل دو معادله‌ای k-ε، مقیاس طول مشخصه حرکت آشفته‌گی با استفاده از معادله انتقال محاسبه می‌شود. مدل k-ε از یک معادله برای k و یک معادله برای ε تشکیل شده است که در معادلات (۸) و (۹) آورده شده است. در این تحقیق از مدل آشفته‌گی k-ε استفاده شده است.

$$\frac{\partial hk}{\partial t} + \frac{\partial hUk}{\partial x} + \frac{\partial hVk}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{hv_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{hv_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial y} \right) + P_h + P_{kb} - h\epsilon \quad (8)$$

$$\frac{\partial h\epsilon}{\partial t} + \frac{\partial hU\epsilon}{\partial x} + \frac{\partial hV\epsilon}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{hv_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{hv_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial y} \right) + C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} P_h + P_{\epsilon b} - C_{\epsilon 2} h \frac{\epsilon^2}{k} \quad (9)$$

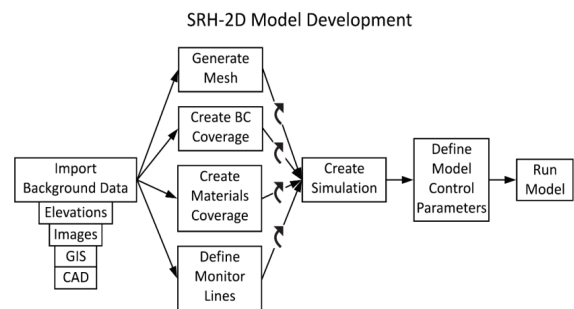
در معادلات فوق، ضرایب به صورت معادلات (۱۰-۱۲) در نظر گرفته می‌شود (Rodi, ۱۹۹۳).

$$P_h = hv_t \left[2 \left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial V}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial y} \right)^2 \right] \quad (10)$$

$$P_{kb} = C_{kf}^{-1/2} U_*^3; P_{\epsilon b} = C_{\epsilon f} C_{\epsilon 2} C_{\mu}^{1/2} C_{kf}^{-3/4} U_*^4 / h \quad (11)$$

$$C_{\mu} = 0.09, C_{\epsilon 1} = 1.44, C_{\epsilon 2} = 1.92, \sigma_k = 1, \sigma_\epsilon = 1.3, C_{\epsilon f} = 1.8 \sim 3.6 \quad (12)$$

Corps of Engineers, ۱۹۹۶) و (MIKE2۱, DHI, ۱۹۹۶) قابل مقایسه است. SRH-2D دارای چندین ویژگی برجسته است. ۱- از یک شبکه انعطاف‌پذیر استفاده می‌کند که ممکن است حاوی سلول‌هایی با شکل دلخواه باشد. ۲- طرح‌های عددی بسیار قوی و پایدار را با الگوریتم مشخص می‌گیرد. نتیجه به دست آمده این است که برای رسیدن به راه‌حل نهایی، تنظیم پارامترهای کمی مورد نیاز است. فرایند کلی استفاده شده در این مدل به صورت شماتیک در شکل (۱) نمایش داده شده است.



شکل ۱- فرایند کلی اجرای برنامه با استفاده از مدل عددی SRH-2D

معادلات حاکم

معادلات دو بعدی انتگرال‌گیری شده در عمق در مدل عددی SRH-2D شامل:

۱- معادله پیوستگی

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

۲- معادله مومنتوم

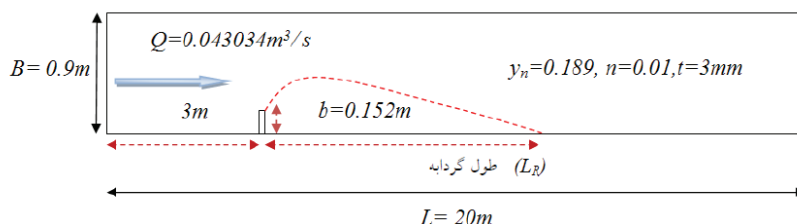
$$\frac{\partial hU}{\partial t} + \frac{\partial hUU}{\partial x} + \frac{\partial hVU}{\partial y} = \frac{\partial hT_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial hT_{xy}}{\partial y} - gh \frac{\partial z}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} + D_{xx} + D_{xy} \quad (2)$$

$$\frac{\partial hV}{\partial t} + \frac{\partial hUV}{\partial x} + \frac{\partial hVV}{\partial y} = \frac{\partial hT_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial hT_{yy}}{\partial y} - gh \frac{\partial z}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho} + D_{yx} + D_{yy} \quad (3)$$

در معادلات فوق، t زمان، x و y مختصات دکارتی، h عمق آب، U و V مولفه‌های سرعت میانگین‌گیری شده در عمق در جهات x و y هستند، g شتاب ثقل، T_{xx}, T_{xy}, T_{yy} تنش‌های آشفته ناشی از جریان متلاطم $D_{xx}, D_{xy}, D_{yx}, D_{yy}$ عبارت‌های پراکندگی ناشی از میانگین عمقی، $z = z_b + h$ ارتفاع سطح آب، z_b ارتفاع بستر، ρ چگالی آب و τ_{bx}, τ_{by} تنش‌های برشی بستر (اصطکاک) می‌باشند. اصطکاک بستر با استفاده از معادله ضریب زبری مانینگ به صورت رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

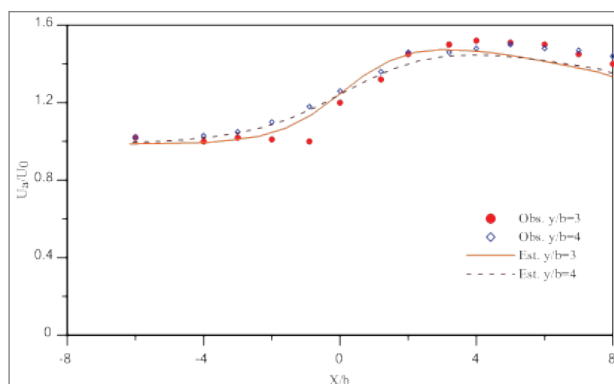
مشخصات آزمایشگاهی

در این تحقیق، مدل آزمایشگاهی Nwachukwu و Rajaratnam (۱۹۸۳) بررسی شد، در این مدل یک کانال مستقیم به طول ۲۰ متر و عرض ۰/۹ متر در نظر گرفته شده است. یک آبشکن به طول ۰/۱۵۲ متر و ضخامت ۳ میلی‌متر در موقعیت ۳ متری از ورودی کانال تعبیه شد. ضریب زبری مانینگ در این کانال ۰/۰۱



شکل ۲- مشخصات هندسی و هیدرولیکی مدل آزمایشگاهی راجاراتنام و نوچکو

نتایج دارد استفاده شد. به این منظور در ابتدا واسنجی ضریب زبری در دو مقطع $y/b=3$ و $y/b=4$ در مدل SRH-2D انجام شد و پروفیل سرعت در دو مقطع به دست آمده با داده‌های آزمایشگاهی مقایسه و تایید شد و همانطور که در شکل (۴) نشان داده شده است تغییرات قابل ملاحظه‌ای در پروفیل سرعت وجود نداشته و ضریب زبری می‌تواند برای مدل SRH-2D استفاده شود.

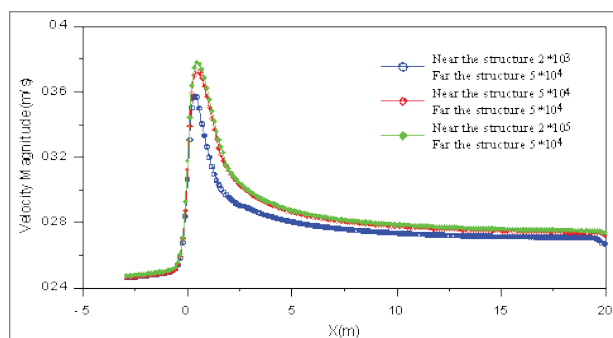


شکل ۴- واسنجی پروفیل سرعت در مدل SRH-2D

در شکل (۵) خطوط جریان و بردارهای سرعت اطراف آبشکن حاصل از نتایج مدل عددی برای ۳ زاویه قرار گیری ۹۰، ۴۵، ۱۳۵ درجه از آبشکن در جهت جریان، در کانال نمایش داده شده است. مطابق شکل تحت شرایط آزمایشگاهی یکسان، در حالتی که آبشکن با زاویه ۴۵ درجه در کانال قرار داده شود، طول ناحیه چرخشی (L_R) نسبت به زاویه قرارگیری ۹۰ و ۱۳۵ درجه، به ترتیب در حدود ۲ و ۸ برابر کمتر خواهد شد. این در حالی است که در آبشکن با زاویه قرارگیری ۹۰ درجه، طول ناحیه چرخشی (L_R) در حدود ۳/۵ برابر کمتر از حالتی است که آبشکن با زاویه ۱۳۵ درجه در کانال قرار گرفته باشد.

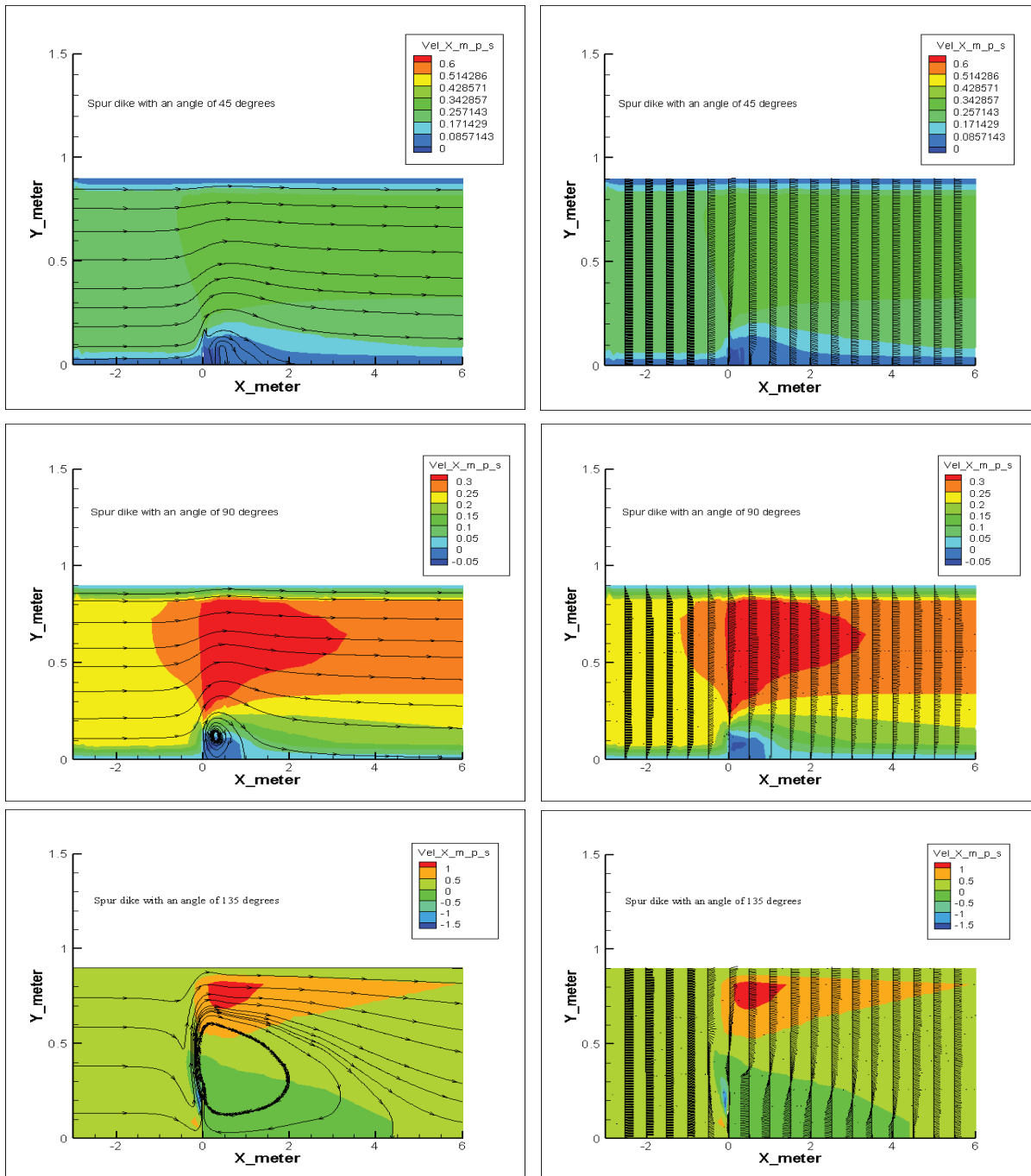
نتایج و بحث

برای شبیه‌سازی الگوی جریان اطراف آبشکن، شار سرعت در مرز بالادست از مقدار صفر تا 0.043034 متر مربع بر ثانیه در گام زمانی مختلف افزایش داده شد و در مرز پایین دست تراز سطح آب ثابت و برابر ۰/۱۸۹ لحاظ شد. همچنین در ابتدا تأثیر همگرایی اندازه شبکه با مقایسه سرعت در امتداد محور x انجام شد. به این منظور چهار اندازه مش 2×10^5 ، 5×10^4 ، 2×10^3 در فاصله یک متری اطراف سازه آبشکن با زاویه قرارگیری ۹۰ درجه، و اندازه مش 5×10^4 در فاصله دور از سازه آبشکن بررسی شد. نتایج نشان داد نمونه‌های ۲ و ۳ نزدیک به یکدیگر هستند و اختلاف ۸۱ آن‌ها ۴٪ می‌باشد. بنابراین برای صرفه‌جویی در زمان، اندازه مش 5×10^4 در اطراف سازه آبشکن مبنای شبیه‌سازی‌های تحقیق حاضر قرار گرفت. در شکل (۳) تأثیر اندازه شبکه نشان داده شده است.



شکل ۳- تأثیر همگرایی اندازه شبکه با مقایسه سرعت در امتداد محور x

به منظور واسنجی مدل، برای هماهنگی و سازگاری مدل در تولید داده‌هایی مانند نمونه اصلی سیستم، از ضریب زبری که مهمترین ضریب در مطالعه هیدرولیک جریان است و تأثیر مشخصی بر



شکل ۵- خطوط جریان و بردارهای سرعت اطراف آبشکن با زوایای ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه

در شکل (۷) پروفیل سرعت حاصل از حل عددی و داده‌های آزمایشگاهی در مقاطع $x/b=2$, $x/b=4$, $x/b=6$ و $x/b=8$ که b برابر طول آبشکن است، برای زاویه قرارگیری آبشکن برابر با ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ در کانال، ارائه شده است. براساس شکل میزان گردابه‌های ایجاد شده در مقاطع مختلف در شرایطی که آبشکن با زاویه ۱۳۵ درجه در جهت جریان در کانال قرار بگیرد بیشترین مقدار و در حالتی که با زاویه ۴۵ درجه در جهت جریان در کانال قرار داده شود، کمترین مقدار را دارد. همچنین باتوجه به اینکه داده‌های سرعت در مدل آزمایشگاهی Nwachukwu و Rajaratnam (۱۹۸۳)، با قراردادن آبشکن با زاویه ۹۰ درجه در کانال اندازه‌گیری شده است، میزان دقت مدل عددی در تخمین پروفیل سرعت با استفاده از درصد جذر میانگین مربعات خطا (معادله ۱۳) و خطای مطلق نسبی (معادله ۱۴) محاسبه و در جدول (۱) ارائه شده است.

$$RMSE = 100 \frac{\sqrt{\sum_i (u_i^n - u_i^o)^2}}{\sum_i u_i^o} \quad (13)$$

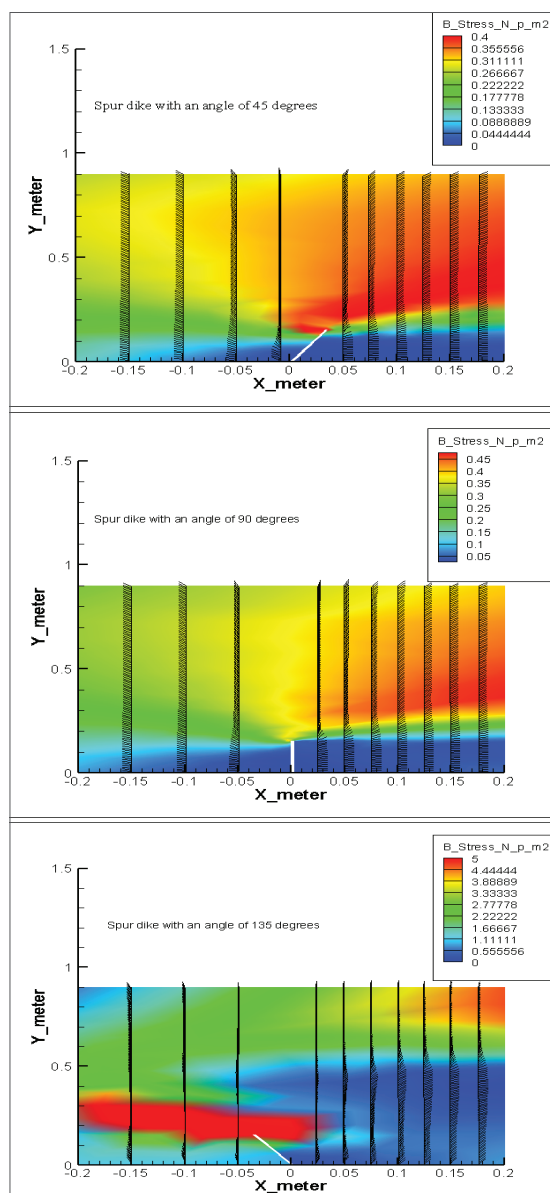
$$Error = \left| \frac{u_i^n - u_i^o}{u_i^o} \right| \quad (14)$$

در روابط بالا، u_i^n و u_i^o به ترتیب نمایانگر سرعت‌های محاسباتی و مشاهداتی می‌باشد.

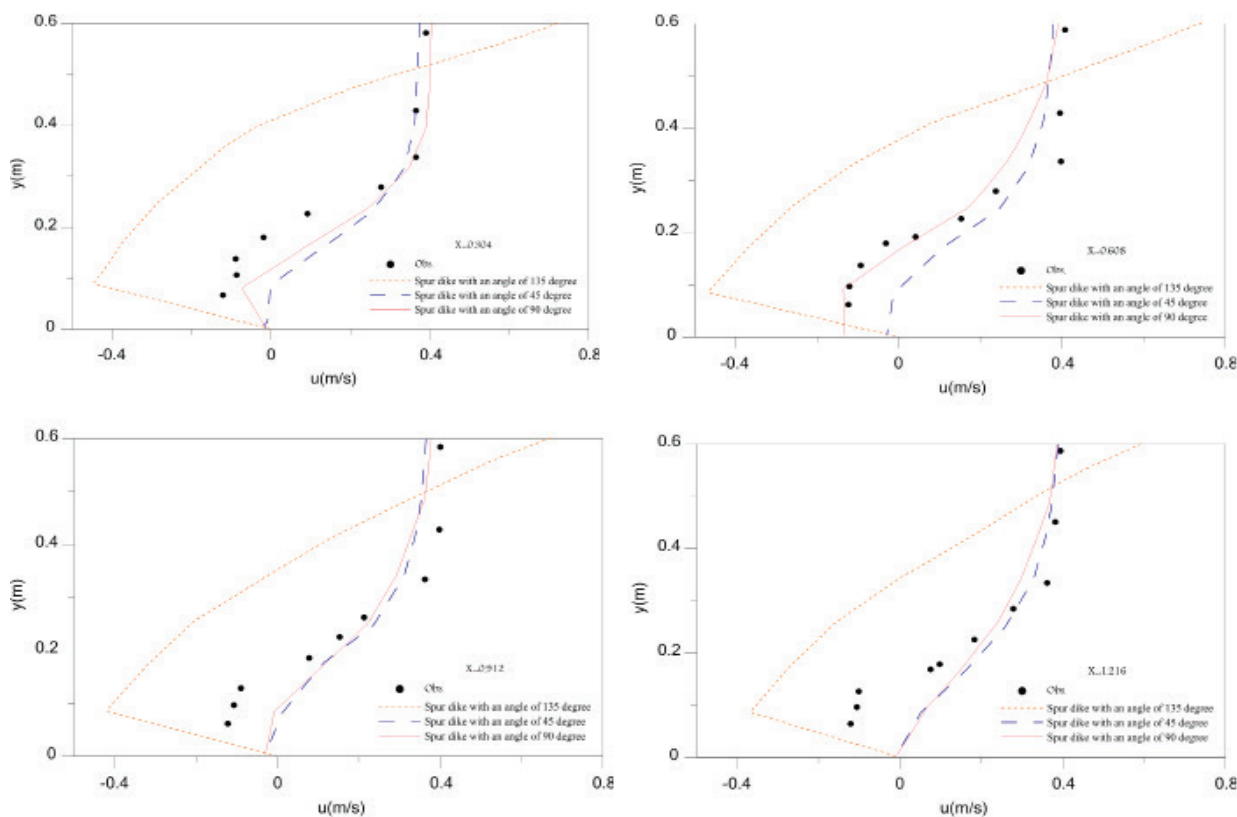
جدول ۱- درصد جذر مربعات خطا در شبیه‌سازی پروفیل سرعت در مقاطع مختلف

مقاطع	$x/b=2$	$x/b=4$	$x/b=6$	$x/b=8$
RMSE	۱۳/۱۷	۱۱/۷۶	۱۴/۶۳	۱۵/۳۸
Error	۱۱/۱۳	۹/۰۵	۱۳/۰۱	۱۴/۸۳

در شکل (۶) بردارهای تنش برشی برای مقاطع مختلف نمایش داده شده است. مطابق شکل توزیع تنش برشی در کف در نواحی که تلاطم جریان بیشتر است، بیشترین مقدار خود را دارد. در واقع در تراز نزدیک به کف کانال اختلاط جریان با جریان‌های منحرف شده در اطراف آبشکن، موجب بروز گردابه در این نواحی شده و این گردابه‌ها سبب افزایش تلاطم جریان و تنش برشی در نواحی نزدیک به بستر کانال می‌شود.



شکل ۶- بردارهای تنش برشی اطراف آبشکن با زوایای ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه



شکل ۷- مقایسه پروفیل سرعت حاصل از حل عددی و داده‌های آزمایشگاهی در مقاطع مختلف

آبشکن‌های سری ساده. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۱(۴۲):۶۰-۷۴.

اعزی، س.، خانجانی، م.ج. و کرمانی، م. ۱۳۹۷. شبیه‌سازی دو بعدی الگوی جریان و تغییرات بستر در آبراهه‌های مستقیم و پیچانرودی تحت تأثیر سازه آبشکن. نشریه علمی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۲(۴):۹۷۰-۹۸۱.

صفرزاده، ا. ۱۳۸۹. مطالعه آزمایشگاهی الگوی جریان آشفته حول آبشکن با شکل‌های مختلف دماغه. رساله دکتری. دانشکده فنی و مهندسی. دانشگاه تربیت مدرس. تهران.

کشاوری، م.ج. و حکیم‌زاده، ح. ۱۳۸۷. شبیه‌سازی عددی سه بعدی الگوی جریان و گردابه‌ها اطراف آبشکن‌های L شکل نفوذناپذیر در پنج زاویه مختلف از نیمه اول قوس نیم دایره. یازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه ارومیه، ارومیه.

Ahmad M. 1953. Experiments on design and behavior of spur dikes. Proceedings of the international hydraulics convention. University of Minnesota. Minneapolis, USA.

Chen F. Y. and Ikeda S. 1997. Horizontal separation

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به منظور بررسی تأثیر زاویه قرارگیری آبشکن در کانال، الگوی جریان در اطراف آبشکن با زوایای ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه با استفاده از نرم‌افزار دو بعدی SRH-2D شبیه‌سازی شد. براساس نتایج به دست آمده، مشخص شد در آبشکن با زاویه ۴۵ درجه، طول ناحیه چرخشی نسبت به زاویه قرارگیری ۹۰ و ۱۳۵ درجه، به ترتیب در حدود ۲ و ۸ برابر کمتر خواهد شد. درحالی‌که در آبشکن با زاویه قرارگیری ۹۰ درجه، طول ناحیه چرخشی در حدود ۳/۵ برابر کمتر از حالتی است که آبشکن با زاویه ۱۳۵ درجه در کانال قرار گرفته باشد. همچنین تنش برشی در نواحی نزدیک به کف در حالت آبشکن با زاویه ۴۵ درجه کمترین مقدار و آبشکن با زاویه ۱۳۵ درجه بیشترین مقدار را دارد.

منابع

اسمعیلی، پ.، بوداقپور، س.، رستمی، م. و میرزایی، م. ۱۳۹۹. مطالعه آزمایشگاهی مولفه‌های طولی سرعت پیرامون

- bluff bodies. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 46-47: 3-19.
- U.S. Army Corps of Engineers. 1996. Engineering and design—risk-based analysis for flood damage reduction studies. EM 1110-2-1619, CECW-EH-4. Washington, DC, United States.
- Vaghefi M., Ghodsian M. and Akbari M. 2017. Experimental investigation on 3D flow around a single Tshaped spur dike in a bend. *Period. Polytech. Civil Engineering*, 61(3): 462-470.
- Xiufang Z., Pingyi M. and Chengyu Y. 2012. Experimental study on flow turbulence distribution around a spur dike with different structure. *Procedia Engineering*, 28(5): 772-775.
- Yazdi j., Sarkardeh H., Azamathulla H. and Ghani A. 2010. 3D simulation of flow around a single spur dike with free-surface flow. *International Journal of River Basin Management*, 8(1): 55-62.
- in shallow open channels with spur dikes. *Journal of Hydrosience and Hydraulic Engineering*, 15(2): 15-30.
- DHI (Danish Hydraulic Institute). 1996. MIKE21: User guide and reference manual. Denmark, Hørsholm.
- Kumar T., Tyagi L.D. Aggarwal and Kumar M. 2018. Comparison of scour around different shapes of groynes in open channel. *International Journal of Recent Trends in Engineering and Research*, 4(3): 382-392.
- Lee K. S and Jang C. L. 2016. Numerical investigation of space effects of serial spur dikes on flow and bed changes by using Nays2D. *Journal of Korea Water Resources Association*, 49(3): 241-252.
- Rajaratnam N. and Nwachukwu B.A. 1983. Flow near Groin-like structures. *Journal of Hydraulic Engineering (ASCE)*, 109(3): 463-480.
- Rodi W. 1993. On the simulation of turbulent flow past