شبیه سازی عددی سه بعدی الگوی جریان اطراف آبشکن های عمود بر ساحل و مایل با در نظر گرفتن شرایط مرزی مختلف

محمد حسین کشاورز [۱] ، حبیب حکیم زاده [۲] ، رضا غال دربندی [۳]

۱- کارشناس ارشد سازه های دریایی، دانشگاه صنعتی سهند
۲- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سهند
۳- کارشناس ارشد سازه های دریایی، دانشگاه صنعتی سهند

چکیده

در این مقاله الگوی جریان اطراف آبشکن های عمود بر ساحل و مایل به صورت سه بعدی با استفاده از نرم افزار Fluent که معادلات جریان را به روش حجم محدود و الگوی مرکزیت سلول حل می نماید، شبیه سازی شده است. جهت شبکه بندی میدان محاسباتی از شبکه های منشوری استفاده شده است. در این مقاله، ابتدا آبشکن عمود بر ساحل جهت صحت سنجی نتایج مورد بررسی قرار گرفته است و در ادامه آبشکن مایل با زاویه ۶۰ درجه نسبت به جهت جریان مورد بررسی قرار گرفته است. در این بررسی از بین مدل های آشفتگی موجود در نرم افزار، از مدل آشفتگی دو معادله ای $k-\varepsilon$ استفاده شده است. جهت لحاظ نمودن اثر سطح آزاد از روش های پوش صلب(rigid-lid) و حجم سیال (volume of fluid) استفاده شده است که از بین این دو، نتایج مربوط به روش حجم سیال تطابق بهتری با نتایج تجربی نشان داد.

کلمات کلیدی: آبشکن مایل، الگوی جریان، روش حجم محدود، مدل عددی

Three-dimensional Numerical Simulation of Flow Pattern around the Perpendicular and Inclined Groynes with Respect to Various Boundary Conditions

M.H. Keshavarz[1], H. Hakimzadeh[2], R. Ghaldarbandi[3]

1- M.Sc. in Marine Structures, Faculty of Civil Eng., Sahand University of Technology
2- Associate Professor, Faculty of Civil Eng., Sahand University of Technology
3- M.Sc. in Marine Structures, Faculty of Civil Eng., Sahand University of Technology

Abstract

In this paper, the flow pattern around the perpendicular and inclined groynes were simulated in three-dimensional using the Fluent software, which solves the flow equations using the finite volume method and cell-center scheme. The prismatic grids were used to descretize the computational domain. The perpendicular groyne was first investigated to verify the model results and the inclined groyne with 60^0 to the flow direction was then considered. From the available turbulence models in the software, the two equation $k-\varepsilon$ turbulence model was used in this research study. In order to include the free surface effect, the rigid-lid and volume of fluid schemes were used. The result of the latter scheme showed good agreement with the experimental results.

Keywords: Inclined Groyne, Flow Pattern, Finite Volume Method, Numerical Model

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-08-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1387.4.8.2.1]

۱- مقدمه

آبشکن‌ها سازه‌هایی هستند که عموماً با هدف انحراف جریان از ساحل فرسایش‌پذیر و یا ایجاد مسیر مناسب برای هدایت جریان احداث می‌شوند. این سازه‌ها در سواحل دریا و نیز در رودخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. این سازه‌ها به لحاظ ساختار سازه‌ای ساده و قابلیت سازگاری با شرایط متنوع دارای کاربرد وسیعی در طرح های ساماندهی و بویژه اقدامات تثبیت و پایدارسازی کناره‌ها می‌باشند. از این رو بررسی و شناخت فرایند فرسایش و رسوبگذاری در محدوده آبشکن‌ها از جنبه‌های مختلف طراحی، حفاظت و نگهداری دارای اهمیت فراوانی است. از دیدگاه کمی، فرسایش و رسوبگذاری تابع عوامل مختلفی است که از آن جمله می‌توان به نوع آبشکن، ساختار سازه‌ای و هندسی، میزان حمل رسوب توسط آب و اهداف مهندسی اشاره نمود. الگوی جریان که حاصل کنش و واکنش سازه آبشکن و جریان است سر منشا وقوع فرسایش موضعی و تشکیل چاله آبشستگی در دماغه و رسوبگذاری در میدان آبشکن تلقی می‌شود. همچنین تعیین فاصله و طول آبشکن‌ها، جهت نسبت به خط ساحلی و بطور کلی بسیاری از مشخصه های فنی مستلزم توجه به الگوی جریان ایجاد شده در محدوده آبشکن می‌باشد [۱]. بنابراین برای طراحی درست این سازه‌ها، داشتن الگوی جریان در اطراف آنها امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. در این راستا، پژوهشگران زیادی در ارتباط با مدلسازی‌های عددی و فیزیکی پروژه‌های تحقیقاتی فراوانی انجام دادند که از جمله آنها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

Ouillon و Dartus یک مدل سه بعدی را برای پیش‌بینی الگوی جریان در اطراف آبشکن توسعه دادند [۲]. Molinas و Hafez برای مدل‌سازی جریان در اطراف آبشکن‌ها از مدل المان محدود استفاده کردند. آنها اثرات نسبت پیش‌آمدگی، زبری بستر، عمق جریان، شدت جریان و شیب انرژی را در میدان جریان بررسی کردند [۳]. Giri و همکارانش جریان در اطراف آبشکن را در کانالی خمیده به صورت عددی و تجربی مورد بررسی قرار دادند [۴]. Yeo و همکارانش بررسی‌هایی را به صورت آزمایشگاهی بر روی آبشکن‌های منفرد انجام دادند [۵].

فرسیو و صباغ یزدی جریان در اطراف آبشکن را به صورت دو بعدی و به روش حجم محدود بررسی کردند [۶]. نیشابوری و همکاران میدان جریان در اطراف آبشکن ها را به صورت عددی مورد بررسی قرار دادند. آنها مدل خود را برای اعداد رینولدز ۱۵۳ ، ۹۲ و ۶ به کار بردند و تأثیر عدد رینولدز را در پروفیل سرعت مورد بررسی قرار دادند [۷].

حسنی الگوی جریان در اطراف آبشکن قائم را با استفاده از مدل‌های فیزیکی و عددی به صورت دو بعدی مورد بررسی قرار داد. وی در مدل عددی خود مدل‌های آشفتگی لزجت ثابت، مدل طول اختلاط، مدل آشفتگی $k-\varepsilon$ و مدل LES را به کاربرد و نتایج آنها را با مدل تجربی مقایسه کرد [۸].

Weitbrecht و Jirka الگوی جریان در میدان آبشکن‌ها را به ازای نسبت طول به فاصله های مختلف به صورت تجربی بررسی کردند [۹]. Kurzke و همکاران الگوی جریان را در میدان آبشکن های مایل و قائم به صورت تجربی بررسی کردند [۱۰]. Uijttewaal الگوی جریان بین آبشکن‌ها را برای آبشکن‌های نفوذپذیر، نفوذناپذیر و ترکیبی به صورت تجربی مورد بررسی قرار داد [۱۱].

از روی نتایج بدست آمده از تحقیقات گذشته می‌توان پیش‌بینی نمود که هر اندازه سازه آبشکن الگوی جریان را کمتر تحت تاثیر قرار دهد، به مقدار کمتری در معرض آبشستگی قرار می‌گیرد. در این پژوهش ابتدا تغییرات سطح آب و الگوی جریان در اطراف آبشکن‌های عمود بر ساحل با در نظر گرفتن شرایط سطح آزاد مختلف به صورت سه بعدی بررسی گردیده و پس از انتخاب شرط مرزی مناسب، به بررسی الگوی جریان در اطراف آبشکن های مایل پرداخته شده است. از اینرو بررسی شرط مرزی سطح آب و مقایسه عملکرد دو نوع آبشکن از جمله اهداف اصلی این مقاله هستند.

۲- توصیف مدل و شرایط مرزی:

در این پژوهش تغییرات سطح آب و الگوی جریان اطراف آبشکن‌های قائم و مایل به صورت سه بعدی

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-08-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1387.4.8.2.1]

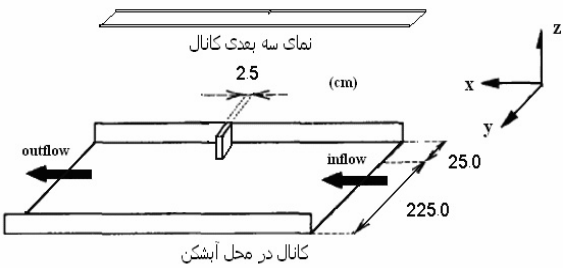
مورد بررسی قرار گرفته است که در مرحله نخست آبشکن عمود بر ساحل جهت صحت سنجی نتایج مدل عددی مورد استفاده قرار گرفته و در ادامه آبشکن مایل با زاویه ۶۰ درجه نسبت به جهت جریان نیز مورد تحقیق قرار گرفته است.

۲-۱- صحت سنجی نتایج

اویلون و دارتوس[1] یک مدل عددی سه بعدی را برای پیش بینی جریان در اطراف آبشکن عمود بر ساحل توسعه دادند [۲] و با نتایج تجربی موجود دیگر محققین (هلتز[2]) مقایسه کردند. این نتایج جهت صحت‌سنجی نتایج مدل سه بعدی در این پژوهش نیز مورد استفاده قرار گرفته است.

۲-۱-۱- مدل تجربی هلتز

مدل تجربی هلتز در کانالی به طول ۳۰ متر و عرض ۲/۵ متر با دیوارهای عمودی صیقلی انجام شده است. میانگین عمق آب m ۰/۲۳ بوده و میانگین سرعت جریان m/s ۰/۳۴۵ بود. آبشکنی به شکل مستطیلی با cm ۲۵ طول و cm ۲/۵ عرض (شکل۱) مورد استفاده قرار گرفته است، ذکر شده در منبع [۲].



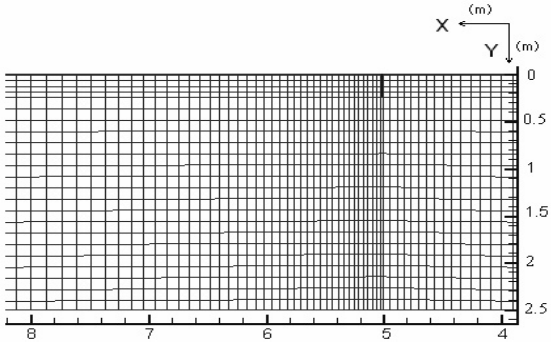
شکل ۱ - طرح کلی کانال آزمایشگاهی [۲]

۲-۱-۲- مدل عددی حاضر

در مدل‌سازی عددی برای کاهش زمان محاسبات معمولاً قسمتی از طول کانال آزمایشگاهی در نظر گرفته می‌شود و نتایج عددی پژوهشگران نیز نشان داده است که انتخاب نصف طول قسمت مرکزی کانال مورد نظر جهت مدل‌سازی عددی مناسب می‌باشد. در این تحقیق ابتدا طول کانال برابر طول واقعی کانال آزمایشگاهی (برابر ۳۰ متر) انتخاب شده است و سپس نتایج آن با نتایج کانال ۲۰ متری مقایسه شده است. برای طول ۳۰ متری، موقعیت آبشکن در وسط کانال قرار گرفته است و در بقیه مدل ها موقعیت آبشکن‌ها در فاصله ۵ متری از ابتدای کانال در نظر گرفته شده است. بر اساس نتایج تحقیقات عده ای از پژوهشگران فاصله مرز خروجی نسبت به آبشکن باید بیشتر از فاصله مرز ورودی نسبت به آن باشد [۳]. در تمامی مدل‌ها شبکه منشوری جهت شبکه‌بندی کانال انتخاب شده است و برای دستیابی به اطلاعات بیشتر در نزدیکی سازه، شبکه‌های نزدیک آبشکن کوچک‌تر انتخاب شده‌اند. جدول ۱ ابعاد کانال و تعداد شبکه‌ها را در هر جهت نشان می‌دهد. شکل‌های ۲ و ۳ شبکه بندی کانال را در پلان نشان می‌دهد.

جدول ۱ - ابعاد کانال و تعداد شبکه ها در هر بعد

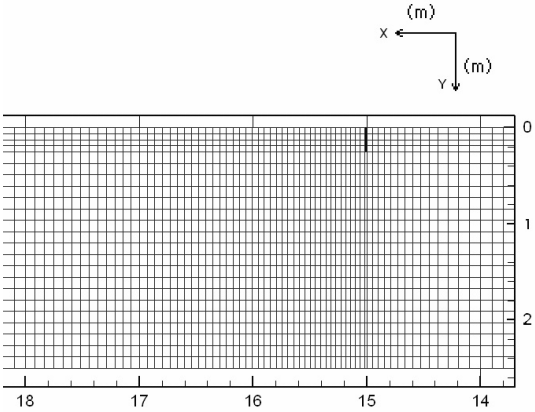
	طول	عرض	ارتفاع کانال	عمق آب
طول کانال بر حسب(m)	۲۰ و ۳۰	۲/۵	۰/۳۳	۰/۲۳
تعداد شبکه ها در کانال ۲۰ متری	۱۸۹	۲۳	۹	۷
تعداد شبکه ها در کانال ۳۰ متری	۳۲۵	۲۳	۹	۷



شکل ۲ - شبکه بندی کانال در پلان در کانال ۲۰ متری

[1]- Sylvian Ouillon and Denis Dartus (1997)
[2] - Holtz(1991)

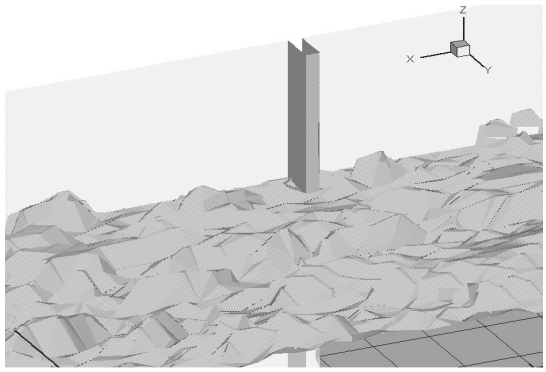
[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-08-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1387.4.8.2.1]



شکل ۳ - شبکه بندی کانال در پلان در کانال ۳۰ متری

اندازه شبکه ها در عمق از یک سانتیمتر در نزدیکی بستر تا ۵ سانتیمتر در سطح آزاد متغیر است. در پلان نیز اندازه شبکه ها از ۲/۵ سانتیمتر در نزدیکی آبشکن تا ۱/۶۷ متر در انتهای کانال متغیر بوده است. اندازه این شبکه‌ها به صورت سعی و خطا تا رسیدن به بحث استقلال شبکه از روی آزمایشات عددی مختلف بدست آمده‌اند.

شایان ذکر است که برای مدل عددی حاضر شبکه‌های هرمی نیز در ابتدا مورد بررسی قرار گرفت که این شبکه‌ها سطح آب را به صورت دندانه‌دار پیش‌بینی نمودند (شکل۴). به همین دلیل در ادامه از این نوع شبکه استفاده نگردید.

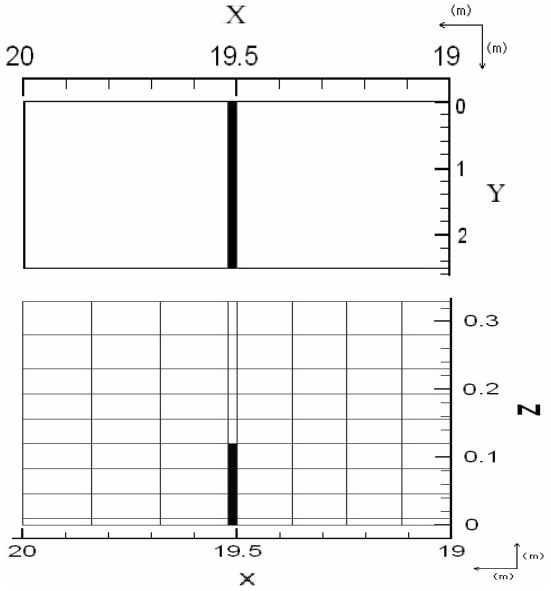


شکل ۴ - نمای سه بعدی سطح آب نزدیک آبشکن با استفاده از شبکه‌های هرمی

عمق آب در محل آبشکن ۲۳ cm است که جهت تامین این عمق سرریزی به ارتفاع ۱۲ cm در فاصله ۰/۵ m از انتهای کانال در نظر گرفته شده است (شکل ۵). این ارتفاع از روی آزمایشات عددی مختلف برای تثبیت عمق ۲۳ سانتیمتری کانال بدست آمده است.

۲-۱-۲-۱- معادلات حاکم و روش حل

معادله پیوستگی و سه معادله مومنتم در جهت محورهای سه گانه مختصات که به معادلات ناویراستوکس معروفند معادلات اساسی هستند که در واقع بیانگر پایداری جرم و مومنتم به بیان ریاضی هستند. با تفکیک مقادیر لحظه ای سرعت و فشار و یا هرکمیت دیگری مانند ϕ به مقادیر متوسط زمانی و نوسانی $(\phi = \overline{\phi} + \phi')$ و جایگذاری در معادلات پیوستگی و مومنتم روابطی به صورت زیر برقرار خواهند بود:



شکل ۵ - پلان سرریز انتهای کانال و نمای شبکه بندی در عمق

$$\frac{\partial \overline{u}_i}{\partial x_i} = 0$$

$$\frac{\partial \overline{u}_i}{\partial t} + \overline{u}_j \frac{\partial \overline{u}_i}{\partial x_i} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial \overline{P}}{\partial x_i} + gx_i + \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\upsilon \frac{\partial \overline{u}_i}{\partial x_i} - \overline{u_i' u_j'}\right)$$

عبارات $\overline{\rho u_i' u_j'}$ همان تنش‌های رینولدز هستند که به سیال عمل کرده و اثر گردابه آشفتگی را در سیال اعمال می‌کنند. تعیین این مقادیر نیاز به معادلات

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-08-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1387.4.8.2.1]

اساسی دارند که بدین منظور از مدلهای آشفتگی متفاوتی استفاده می‌گردد که از این بین می توان به مدل آشفتگی دو معادله ای $k-\varepsilon$ اشاره نمود.
برای گسسته‌سازی معادلات فوق میتوان از روشهای تقریبی متفاوتی استفاده نمود. روش حجم محدود از جمله روشهای گسسته‌سازی است که در این روش قلمرو حل به حجم یا سطحهای کوچک (در حالت دو بعدی) تقسیم می‌شود و سپس قوانین بقا در شکل انتگرالی در این حجمهای اولیه به کار برده می‌شوند. این روش بر حسب اینکه مقادیر پارامترها در مراکز سلول‌ها و یا در رئوس سلول‌ها محاسبه شوند به الگوهای مرکز سلولی و راس سلولی تقسیم بندی می‌شوند. در نرم افزار Fluent از الگوی مرکزیت سلول استفاده شده است.

۲-۱-۲-۲- شرایط مرزی

اثر سطح آزاد می تواند با با توجه به شرایط مرزی حاکم بر این سطح در نظر گرفته شود. بدین منظور از روش های متفاوتی برای اعمال اثر مزبور استفاده می شود که از جمله آنها می توان به روش درپوش صلب[1] اشاره نمود. در این روش برای سطح آزاد تغییری لحاظ نمی‌شود. بدیهی است که این روش به جز در موارد خاص تطابق چندانی با واقعیت ندارد، بویژه اگر مانعی در مسیر جریان وجود داشته باشد. ولی در روش دیگری که به روش حجم سیال[2] موسوم است تغییرات سطح آزاد در نظر گرفته می‌شود. در تعیین سطح آزاد در این روش از یک تابع متغیر به نام F استفاده می شود که بیان ریاضی تغییرات جزء حجم سیال در سطح آزاد است. شکل این تابع دیفرانسیلی درحال سه بعدی چنین است (شرط سینماتیکی سطح آزاد):

$$\frac{\partial F}{\partial t} + u\,\frac{\partial F}{\partial x} + v\,\frac{\partial F}{\partial y} + w\,\frac{\partial F}{\partial z} = 0$$

در گسسته‌سازی معادله فوق در سلولی که پر از سیال است مقدار F (جزء حجم[3]) برابر ۱ می‌باشد ولی در سلولهای خالی از سیال این مقدار برابر صفر می‌باشد در سلول سطحی این مقدار بین صفر و۱ می‌باشد. در حل معادله فوق چند روش وجود دارد که از این بین می‌توان الگوی باز ساخت هندسی یانگز (Geometric-Reconstruct) را نام برد [۱۲]. در این پژوهش برای مدل‌سازی سطح آزاد هر دو نوع شرط مرزی حجم سیال و درپوش صلب مورد بررسی قرار گرفتند. در مورد شرط مرزی نخست از فرضیات جدول ۲ استفاده شده است. ولی در استفاده از فرض درپوش صلب، با وجود کاهش بسیار زیاد زمان محاسبات، خطای نتایج حاصله در مقایسه با نتایج تجربی بسیار زیاد بوده است. از اینرو در ادامه به دلیل وجود خطای زیاد روش درپوش صلب از روش حجم سیال استفاده شد.

جدول ۲ - فرضیات مدل‌سازی سطح آزاد

Multiphase model	VOF scheme
Volume Of Fluid (VOF)	Geo- Reconstruct

در مورد بستر و دیواره‌ها از شرط مرزی غیر لغزشی استفاده شده است. در این شرط مرزی مولفه سرعت موازی دیوار، روی سطح دیوار برابر صفر در نظر گرفته می‌شود. زبری دیواره‌های جانبی در حد صفر و ارتفاع زبری معادل بستر برابر ۳mm انتخاب شده است [۲].
در ورودی کانال دو شرط مرزی ورودی سرعت[4] (یکی برای آب و دیگری برای هوا) به کار رفته است. در این شرایط مرزی ورودی‌های زیر باید وارد شوند:
- مقدار سرعت جریان ورودی (۰/۳۴۵ متر بر ثانیه برای آب و یک دهم این مقدار برای هوا).
- جزء حجم که از صفر تا یک متغیر است. مقدار صفر بدین معناست که کل حجم سلول از آن سیال خالی است و مقدار یک بدین معناست که حجم سلول از آن سیال پر در نظر گرفته می‌شود. در ورودی آب جزء حجم آب برابر یک و جزء حجم هوا برابر صفر در نظر

[1] - Rigid-lid
[2] -Volume of Fluid (VOF)
[3] - Volume Fraction
[4] - Velocity Inlet

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-08-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1387.4.8.2.1]

گرفته شده است. در ورودی هوا نیز جزء حجم آب برابر صفر و جزء حجم هوا برابر یک در نظر گرفته شده است.

- مقادیر پارامترهای آشفتگی یعنی شدت آشفتگی (I) برابر ۳/۳۵ درصد و مقیاس طول(l) برابر۰/۰۵۴۳۲ متر انتخاب شده‌اند. این مقادیر از روابط زیر محاسبه شده‌اند.

$$I \equiv \frac{u'}{u_{avg}} = 0.16(\mathrm{Re}_{DH})^{-1/8}$$

که در آن داریم:

Re : عدد رینولدز

u': جذر میانگین مربعات نوسانات سرعت

u_{avg}: متوسط سرعت جریان

و

$$l = 0.07L$$

که در آن داریم:

L: بعد مربوط به مجرا که در کانالهای غیر دایروی برابر قطر هیدرولیکی است.

در خروجی کانال نیز شرط مرزی خروجی فشار[1] به کار رفته است که در این حالت داده‌های زیر باید وارد شوند:

- فشار نسبی محل (برابر صفر)
- جزء حجم که همانند شرط مرزی ورودی سرعت وارد شده است.
- پارامترهای شدت آشفتگی(I) و مقیاس طول (l) (برابر همان مقادیر در ورودی سرعت)

۲-۱-۲-۳- روند تحلیل

در این تحقیق از روش حل تفکیکی و خطی سازی ضمنی جهت حل معادلات استفاده شده است

نرم افزار FLUENT مقادیر جداگانه اسکالر ϕرا در مرکز سلولها ذخیره می کند اما مقادیر صفحه ای ϕf (مقدار ϕ که از صفحه بین دو سلول جابجا می شود) که برای مولفه های جابه‌جایی نیاز است به روش میان یابی بین مقادیر مرکز سلولها به دست می آید. این عمل توسط یک روش جهتمند[2] انجام می گیرد.

[1]- Pressure outlet
[2] - Upwind

نرم افزار FLUENT این امکان را می دهد که از بین چندین روش جهتمند یکی انتخاب گردد (مانند جهتمند مرتبه ۱[3]، جهتمند مرتبه۲[4]، قاعده توانی[5] و کوئیک[6]). از بین روشهای گسسته سازی، روش جهتمند مرتبه دوم جواب های بهتری نسبت به روش مرتبه اول بدست داده است.

در گسسته‌سازی معادله مومنتم نیز مقادیر سرعت و فشار در سطوح سلول باید معلوم باشد. بنابراین یک روش میان‌یابی برای محاسبه مقادیر فشار در صفحات به کمک مقادیر سلولها مورد نیاز خواهد بود. از جمله این روش‌ها، روش وزنی نیروی حجمی[7] می‌باشد که در مسائلی که شامل نیروی جاذبه می‌باشند، به کار برده می‌شود.

بعد از گسسته‌سازی معادله پیوستگی لازم است تا اصلاحاتی بین سرعت و فشار انجام شود. سه روش در این خصوص در نرم افزار موجود است که از آن جمله الگوریتم پیزو[8] می‌باشد که برای جریان‌های غیرماندگار به کار برده می‌شود [۱۲].

روش‌های گسسته‌سازی مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۳ بیان شده‌اند. جدول ۴ و شکل ۶ نتایج عددی بدست آمده از شرط مرزی درپوش صلب را نشان می‌دهند. از بررسی جدول فوق ملاحظه می‌شود که درصد خطا برای طول بی بعد گردابه در مقایسه با مقدار تجربی (۱۱/۵) بیش از ۱۸ درصد بوده است.

جدول ۳ - روش‌های گسسته‌سازی انتخاب شده

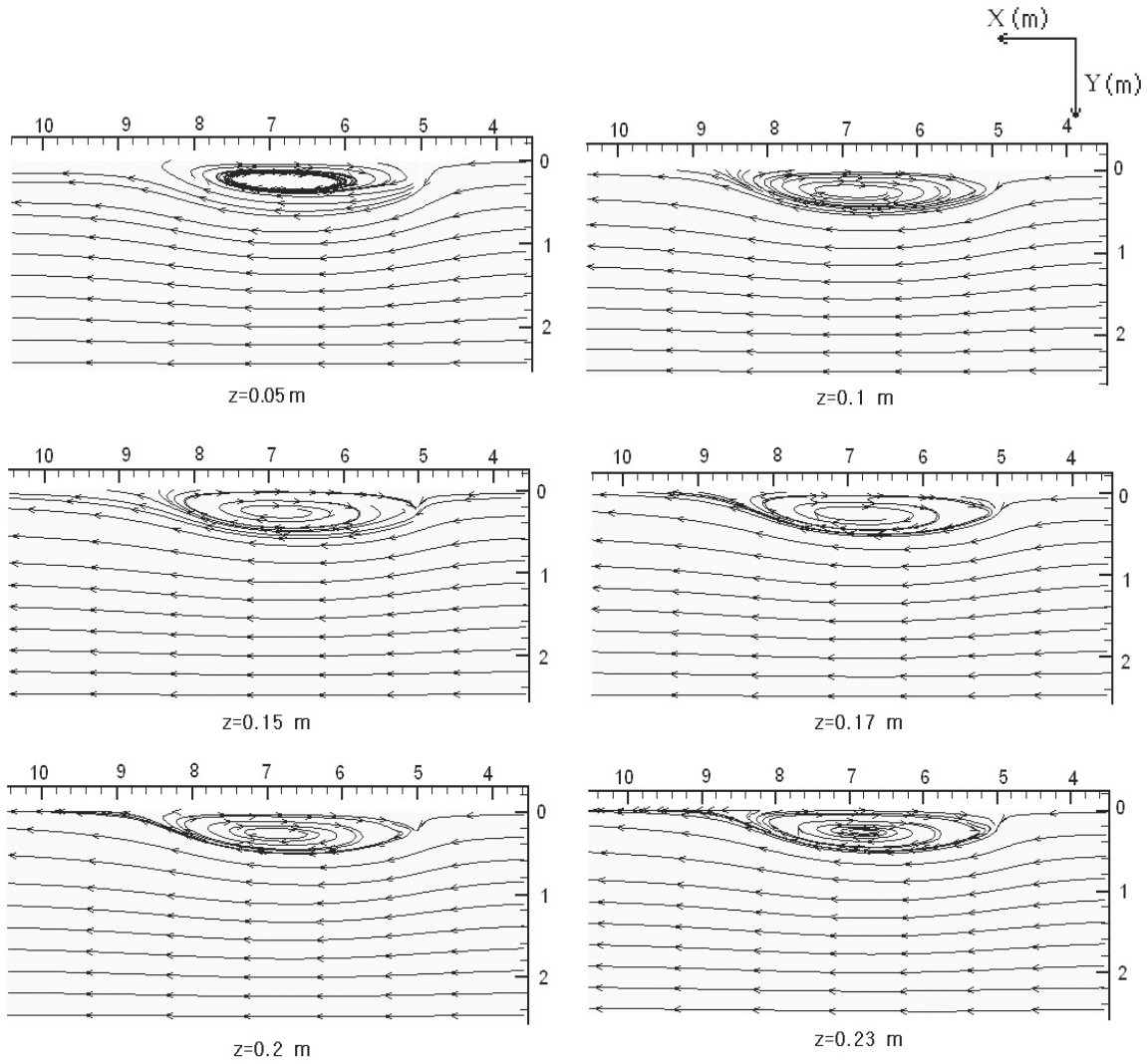
روش گسسته سازی	معادله
وزنی نیروی حجمی	فشار
پیزو	اتصال سرعت و فشار
جهتمند مرتبه۲	تغییر اندازه حرکت یا مومنتم
جهتمند مرتبه۲	انرژی جنبشی توربلان
جهتمند مرتبه۲	نرخ اتلاف انرژی

[3] - First Order Upwind
[4] - Second Order Upwind
[5] - Power law
[6] - Quick
[7] - Body Force Weighted
[8] - PISO (Pressure Implicit Splitting of Operators)

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-08-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1387.4.8.2.1]

جدول ۴ - طول بی‌بعد گردابه در عمق‌های مختلف در مدل‌سازی با Fluent

فاصله از کف(cm)	۵	۱۰	۱۵	۱۷	۲۰	۲۳
طول بی بعد گردابه در کانال ۲۰ متری با فرض برای سطح rigid-lid آزاد	۱۳/۸	۱۳/۶	۱۳/۶	۱۳/۲	۱۳/۶	۱۳/۶
در صد خطا نسبت به نتایج تجربی	-	-	-	-	-	۱۸/۲۶

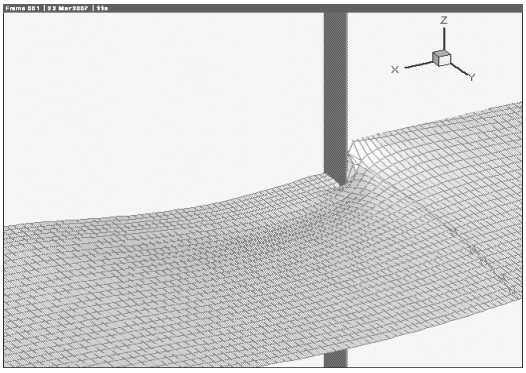


شکل ۶ - تشکیل گردابه پشت آبشکن در اعماق مختلف در کانال ۲۰ متری با فرض در پوش صلب برای سطح آزاد

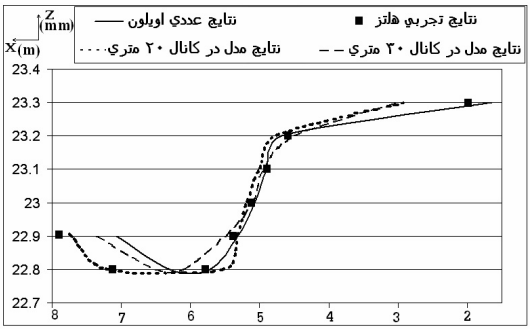
[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-08-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1387.4.8.2.1]

۲-۱-۲-۴- مقایسه نتایج

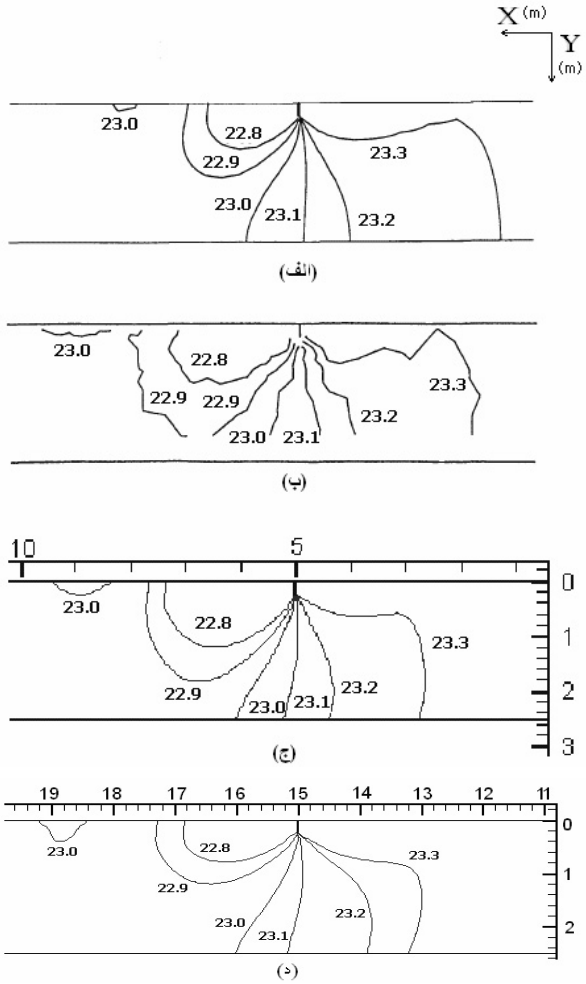
شکل ۷ نمای سه بعدی سطح آب را نزدیک آبشکن نشان می‌دهد. همانگونه که از روی شکل پیداست سطح آب قبل از آبشکن بالا آمده و در مجاورت دماغه و پشت آبشکن به پایین کشیده شده است. این نتیجه برای تغییرات سطح آب تقریباً مشابه با مشاهدات آزمایشگاهی است. برای بررسی دقیق تر نتایج یک پروفیل طولی در صفحه Y=0.8m در نظر گرفته شده و نتایج عددی به طور کمی روی آن مقایسه گردیده‌اند (شکل ۸). همچنین شکل ۹ منحنی‌های هم تراز سطح آب را برای دو طول کانال همراه با نتایج عددی و تجربی سایر محققین نشان می‌دهد. بررسی عمومی این نتایج نشان می‌دهد که نتایج مدل‌سازی با Fluent مطابقت خوبی با نتایج تجربی دارند.



شکل ۷ - نمای سه بعدی سطح آب نزدیک آبشکن با استفاده از شبکه‌های منشوری



شکل ۸ - مقایسه پروفیل سطح آزاد در صفحه Y=0.8m برای مدل‌های عددی و تجربی



شکل ۹ – منحنی‌های هم تراز سطح آب

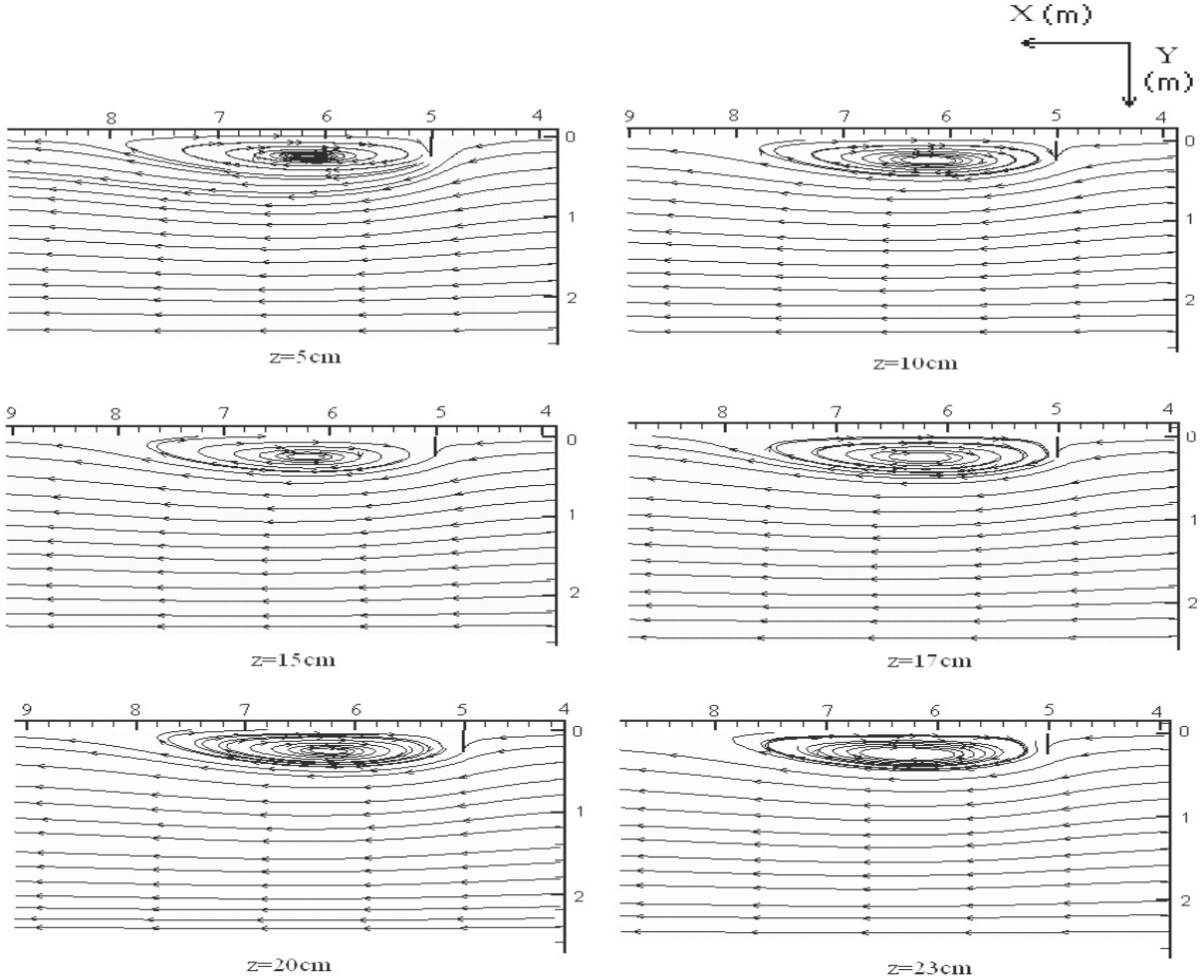
(الف): نتایج مدل عددی اویلون و دارتوس، (ب): نتایج تجربی هلتز، (ج) : نتایج مدل‌سازی با Fluent در کانال ۲۰ متری، (د): نتایج مدل‌سازی با Fluent در کانال ۳۰ متری

۲-۱-۲-۵- طول گردابه

بر اساس تعریف طول گردابه برابر است با فاصله نقطه مورد نظر تا محل آبشکن که در آن نقطه سرعت طولی جریان (u) در مجاورت دیواره کانال صفر می‌شود. به عبارت دیگر طولی است که در آن جدایی جریان از مرز دیواره کانال اتمام می‌یابد و جریان مجدداً به دیواره می‌پیوندد. طول بی‌بعد گردابه نیز برابر است با طول گردابه تقسیم بر طول آبشکن. این طول در سطح آزاد از نتایج آزمایشگاهی ۱۱/۵ و از نتایج عددی سایر پژوهشگران ۱۰/۷ بدست آمده است [۲]. نتایج مدل‌سازی با Fluent نیز در جدول ۵ به ازاء عمق‌های

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-08-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1387.4.8.2.1]

مختلف داده شده است. در این زمینه خطای مدل عددی اویلون و دارتوس برابر ۷ و خطای مدل‌های عددی حاضر برابر ۰/۹ درصد می‌باشد. شکل ۱۰ این نتایج را به صورت گرافیکی در عمق‌های مختلف برای کانال ۲۰ متری نشان می‌دهد. همانگونه که از روی این نتایج دیده می‌شود طول گردابه در نزدیک بستر و سطح آزاد بیشترین مقدار را داشته و در تراز ۱۷ cm کمترین مقدار را دارد. همچنین مشاهده می‌شود که طول گردابه‌ها در مدل عددی حاضر با نتایج تجربی مطابقت خوبی دارند. یکی از علل عمده بزرگ‌تر بودن طول گردابه در سطح آزاد وقوع سرعت بیشینه در سطح آزاد است. به دلیل شکل‌گیری گردابه در بستر نیز طول گردابه نسبت به عمق‌های میانی بیشتر خواهد بود. همچنین به دلیل طبیعت پیچشی و توسعه یابنده جریان در پشت آبشکن در مجاورت بستر، مسیر ذرات آب طولانی‌تر شده و در نتیجه طول گردابه در مجاورت بستر بزرگ‌تر خواهد بود. این نتیجه با نتایج عددی Baranya و Jozsa مطابقت بسیار خوبی دارد [۱۳]. شکل‌های ۱۱ و ۱۲ منحنی‌های هم تراز سرعت را در عمق‌های Z=0.05m و Z=0.17m نشان می‌دهند. از روی این شکلها دیده می‌شود که نتایج عددی مربوط به کانال ۲۰ متری حاضر مطابقت بهتری با نتایج تجربی نشان می‌دهند.

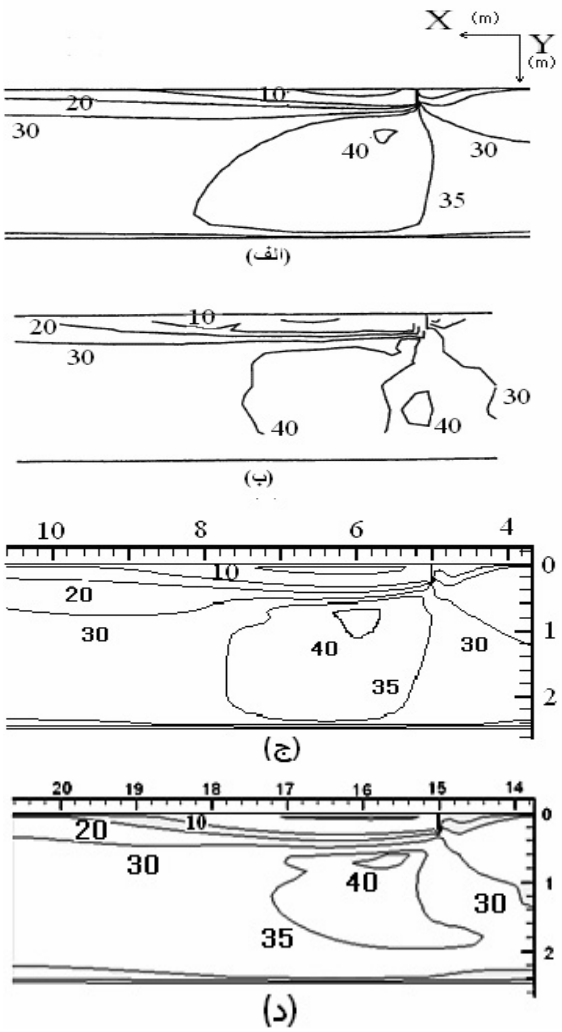


شکل ۱۰ - تشکیل گردابه پشت آبشکن در اعماق مختلف در کانال ۲۰ متری

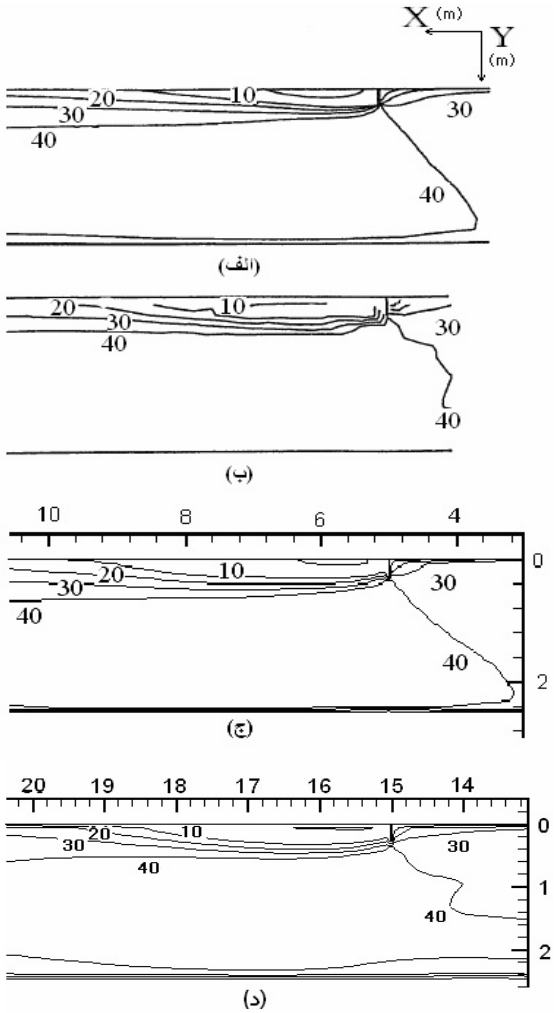
[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-08-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1387.4.8.2.1]

جدول ۵ - طول بی بعد گردابه در عمق‌های مختلف در مدل سازی با Fluent

(cm)فاصله از کف	۵	۱۰	۱۵	۱۷	۲۰	۲۳
طول بی بعد گردابه در کانال ۲۰ متری	۱۱/۶	۱۱/۲	۱۱	۱۰/۸	۱۱/۴	۱۱/۶
در صد خطا نسبت به نتایج تجربی	-	-	-	-	-	۰/۹
طول بی بعد گردابه در کانال ۳۰ متری	۱۱/۴	۱۱/۲	۱۱	۱۰/۸	۱۱/۲	۱۱/۶
در صد خطا نسبت به نتایج تجربی	-	-	-	-	-	۰/۹



شکل ۱۱ - منحنی های هم تراز سرعت در تراز ۵ cm بالای بستر (الف): نتایج مدل عددی اویلون و دارتوس، (ب): نتایج تجربی هلتز، (ج) : مدل‌سازی با Fluent در کانال ۲۰ متری، (د): مدل‌سازی با Fluent در کانال ۳۰ متری

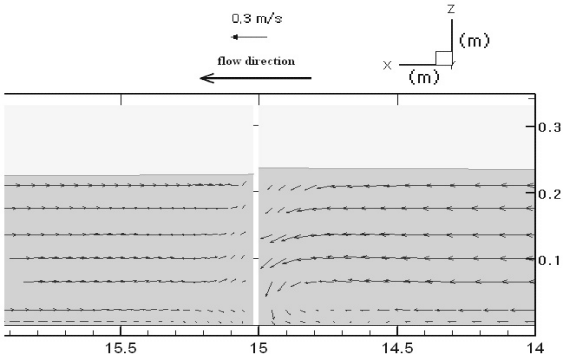


شکل ۱۲- منحنی‌های هم تراز سرعت در تراز ۱۷ cm بالای بستر (الف): نتایج مدل عددی اویلون و دارتوس، (ب): نتایج تجربی، (ج) : نتایج مدل سازی با Fluent در کانال ۲۰ متری، (د): نتایج مدل‌سازی با Fluent در کانال ۳۰ متری

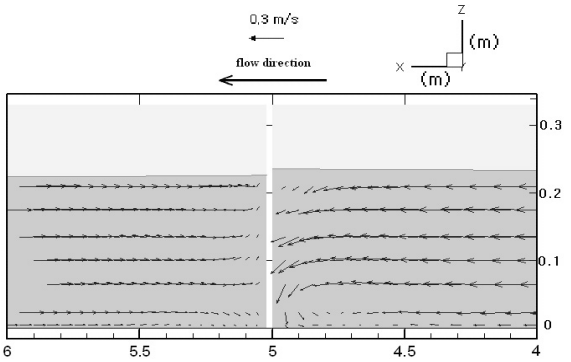
در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ بردارهای سرعت در صفحه عمودی Y=0.1 m به ترتیب در کانال ۳۰ و ۲۰ متری نشان داده شده‌اند. از بررسی آنها مشاهده می‌شود که جریان آب بالادست در محل برخورد با آبشکن به سمت پایین متمایل شده و این امر می‌تواند به آبشستگی موضعی در این قسمت بیانجامد. شکل ۱۵ منحنی‌های هم تراز تنش برشی را در تراز بستر نشان می‌دهد. مقایسه نتایج عددی این پژوهش با نتایج عددی اویلون

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-08-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1387.4.8.2.1]

و دارتوس نشان می‌دهد که مدل حاضر مقدار تنش برشی بستر را تنها در مجاورت دماغه آبشکن، اندکی بیشتر پیش‌بینی نموده است. در سایر قسمت‌ها نتایج تقریباً مشابهی بدست آمده‌اند.



شکل ۱۳ - بردارهای سرعت در صفحه Y=0.1m در کانال ۳۰ متری

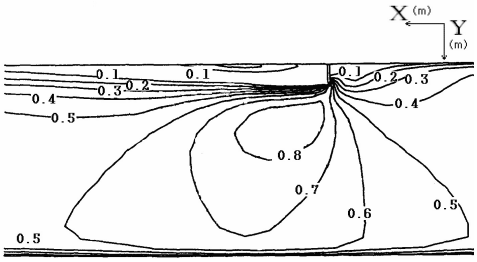


شکل ۱۴- بردارهای سرعت در صفحه Y=0.1m در کانال ۲۰ متری

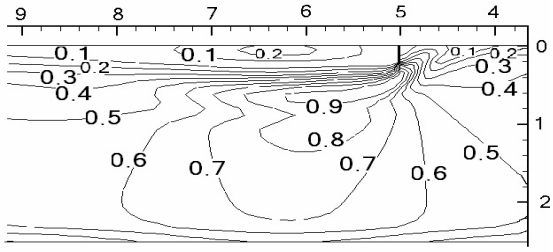
۳-۲- مدل سازی سه بعدی آبشکن با زاویه ۶۰ درجه نسبت به جهت جریان

در این قسمت از همان مدل فیزیکی نخست با طول ۲۰ متر جهت بررسی الگوی جریان در اطراف آبشکن مایل استفاده شده است و تنها تفاوت آن با مدل نخست در جهت قرار گیری آبشکن است که در این حالت با زاویه ۶۰ درجه نسبت به جهت جریان قرار گرفته است. تمام فرضیات به کار رفته جهت فرایند حل نیز مشابه مدل قبلی است.

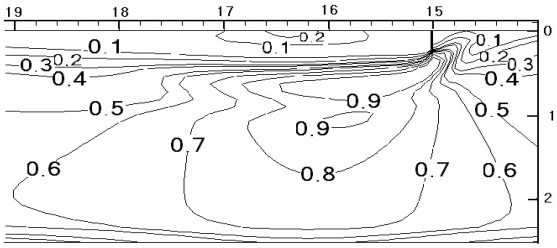
طول بی بعد گردابه بر اساس نتایج مدل سازی با Fluent در جدول ۶ به ازاء عمق‌های مختلف داده شده است. از مقایسه عمومی نتایج این جدول با نتایج متناظر مربوط به آبشکن عمود بر ساحل (جدول ۵) ملاحظه می شود که طول گردابه و یا به عبارت بهتر طول پوشش ناحیه ای آبشکن حداکثر در حدود ۸ درصد کاهش یافته است که نیازمند طرح تعداد بیشتری آبشکن برای طول معینی از ساحل است. شکل۱۶ نیز این نتایج را به صورت گرافیکی در عمق‌های مختلف نشان می‌دهد. بار دیگر مشاهده می‌شود که در عمق ۱۷ سانتیمتری طول گردابه حداقل مقدار خود را داراست و در موقعیت‌های سطح آزاد و نزدیک بستر طول گردابه بیشترین مقادیر را دارد. همچنین شکل‌های ۱۷ و ۱۸ به ترتیب نمای سه بعدی و دو بعدی سطح آب را در نزدیک آبشکن نشان می‌دهند. شکل ۱۹ نیز بردارهای سرعت را در صفحه Y=0.1m نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که تشکیل گردابه در این صفحه به صورت ملایم تری نسبت به آبشکن عمود بر ساحل صورت گرفته است که این امر می‌تواند سبب آبشستگی کمتری در بالادست آبشکن گردد. خطوط هم تراز تنش برشی در بستر نیز در شکل ۲۰ نشان داده شده است. در اینجا نیز دیده می شود که تنش برشی در بستر نسبت به آبشکن عمود بر ساحل کمتر شده است (منحنی هم تراز تنش برشی حداکثر برابر ۰/۸ پاسکال و گسترش کمتری نسبت به آبشکن عمود بر ساحل دارد).



(الف): نتایج عددی اویلون و دارتوس



(ب): تنش برشی در کانال ۲۰ متری



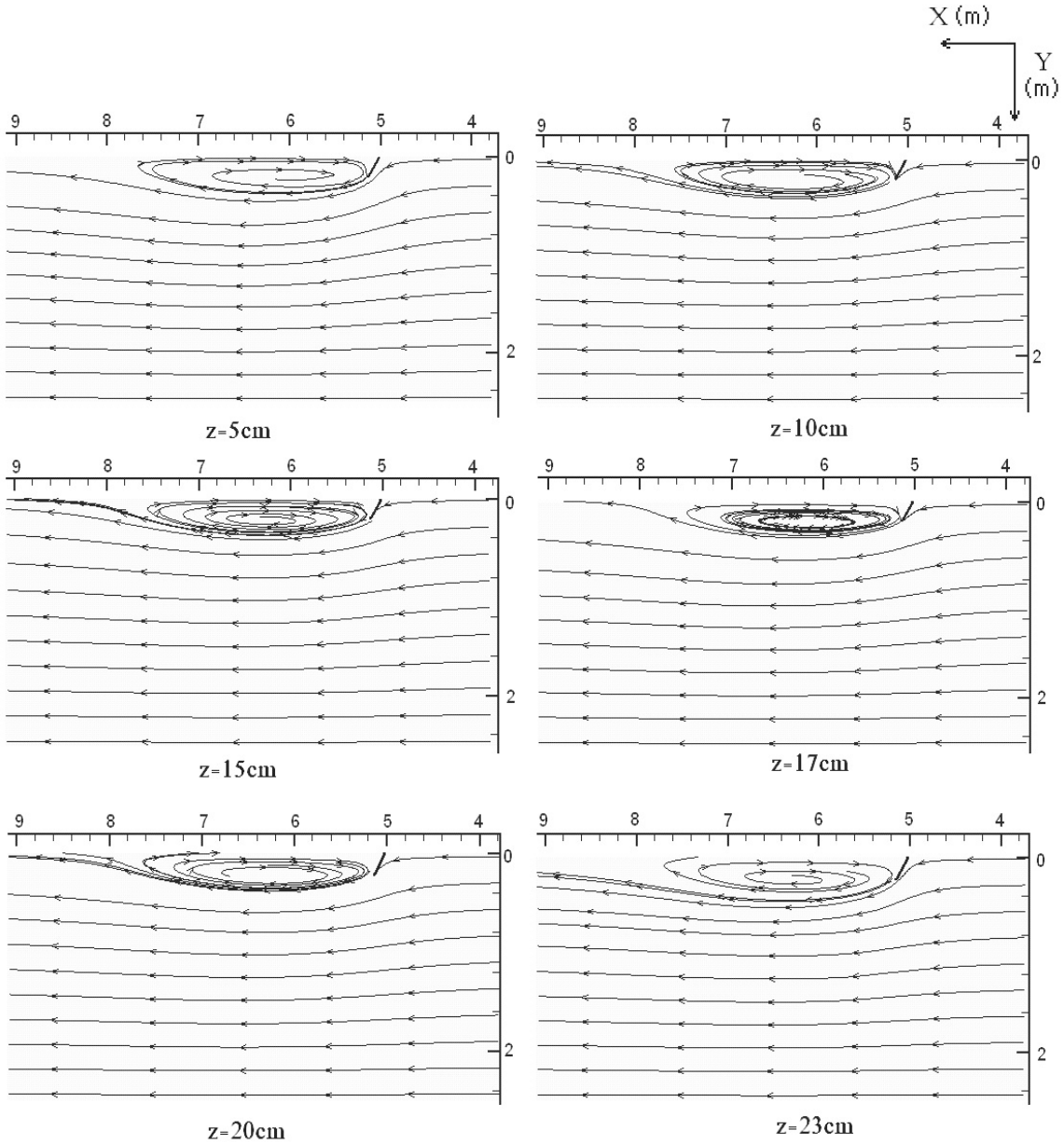
(ج): تنش برشی در کانال ۳۰ متری

شکل ۱۵ – منحنی‌های هم تراز تنش برشی در تراز بستر(pa)

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-08-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1387.4.8.2.1]

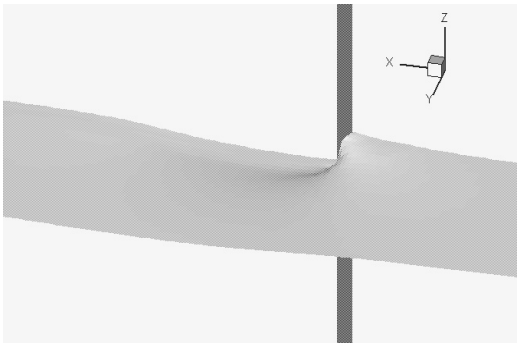
جدول ۶ - طول بی بعد گردابه در عمق های مختلف در مدل سازی با Fluent

فاصله از کف(cm)	۵	۱۰	۱۵	۱۷	۲۰	۲۳
طول بی بعد گردابه	۱۰/۶	۱۰/۴	۱۰/۲۸	۱۰	۱۰/۶	۱۰/۸

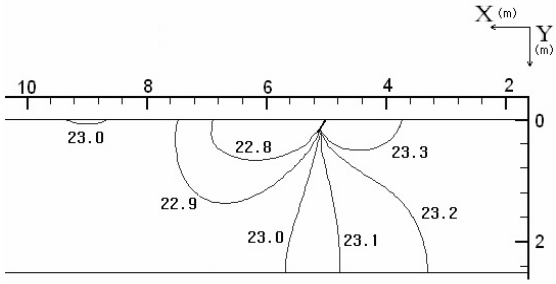


شکل ۱۶ - تشکیل گردابه پشت آبشکن در اعماق مختلف

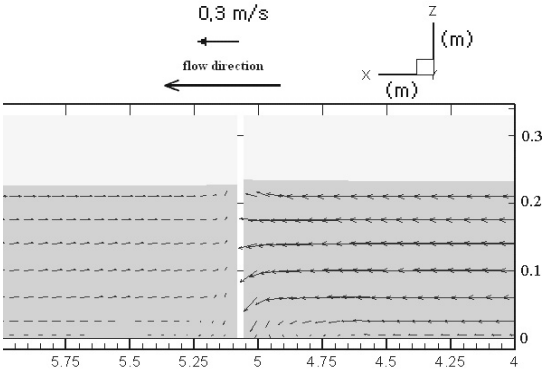
[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-08-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1387.4.8.2.1]



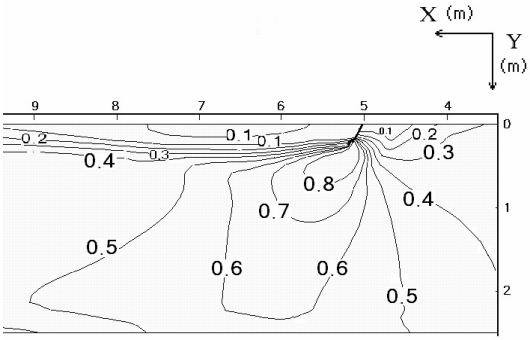
شکل ۱۷ - نمای سه بعدی سطح آزاد نزدیک آبشکن مایل



شکل ۱۸ – منحنی‌های هم تراز سطح آزاد آب



شکل ۱۹ - بردارهای سرعت در صفحه Y=0.1m



شکل ۲۰ – منحنی‌های هم تراز تنش برشی در تراز بستر(pa)

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش تغییرات سطح آب و الگوی جریان در اطراف آبشکن های عمود بر ساحل و مایل با در نظر گرفتن شرایط مرزی مختلف سطح آزاد به صورت سه بعدی و با استفاده از نرم افزار فلوئنت مورد بررسی قرار گرفته است. مقایسه عملکرد دو نوع آبشکن مذکور و تاثیر شرایط مرزی سطح آزاد آب از اهداف اصلی این مقاله هستند که در تحقیقات پیشین توجه کمتری بدانها شده است. از اینرو با توجه به مطالب ارائه شده در این تحقیق نتایج بدست آمده می‌توانند به صورت زیر جمع بندی گردد:

در مدل‌سازی سطح آزاد ابتدا از فرض درپوش صلب (rigid-lid) استفاده گردید. با این فرض زمان محاسبات بسیار کاهش یافته ولی نتایج بدست آمده از مدل منطقی نبوده و در مقایسه با نتایج تجربی خطای زیادی را به همراه داشتند ولی با کاربرد روش حجم سیال برای سطح مذکور نتایج بسیار منطقی در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی بدست آمد، به گونه‌ای که خطای نتایج پیش‌بینی شده مدل عددی برای طول گردابه در مورد آبشکن عمود بر ساحل برابر ۰/۹ درصد می‌باشد و این مقدار خطا در مورد مدل عددی سایر پژوهشگران برابر ۷ درصد بوده است [۲].

حداکثر طول گردابه به ترتیب در نزدیکی سطح آزاد و بستر بوده و کمترین مقدار آن در عمق‌های میانی حاصل شده است. علت عمده بزرگ‌تر بودن طول گردابه در سطح آزاد وقوع سرعت بیشینه در سطح آزاد است. به دلیل شکل‌گیری گردابه در بستر نیز طول گردابه نسبت به عمق های میانی بیشتر خواهد بود. همچنین به دلیل طبیعت پیچشی و توسعه یابنده جریان در پشت آبشکن در مجاورت بستر، مسیر ذرات آب طولانی‌تر شده و در نتیجه طول گردابه در مجاورت بستر بزرگتر خواهد بود. این نتیجه مطابقت بسیار خوبی با نتایج عددی سایر پژوهشگران دارد [۱۳].

از مقایسه کلی نتایج مربوط به دو آبشکن عمود بر ساحل و مایل ملاحظه می‌شود که در مورد دوم طول گردابه و یا به عبارت بهتر طول پوشش ناحیه‌ای آبشکن حداکثر در حدود ۸ درصد کاهش یافته است که این

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-08-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1387.4.8.2.1]

امر مستلزم کاهش فواصل بین آبشکن‌ها و افزایش تعداد آنها برای یک طول مورد نظر ساحل است. ولی از طرف دیگر تشکیل گردابه در صفحه قایم آبشکن مایل به صورت ملایم‌تری نسبت به آبشکن عمود بر ساحل صورت می‌گیرد که این امر می‌تواند سبب آبشستگی کمتری در بالادست این نوع آبشکن‌ها گردد. همچنین دیده می‌شود که تنش برشی در بستر نسبت به آبشکن عمود بر ساحل حداقل ۱۲ درصد کاهش یافته است و دامنه احاطه آن بسیار کمتر شده است. بنابراین می‌توان دریافت که آبشکن‌های مایل در مقایسه با آبشکن‌های عمود بر ساحل دارای طول عمر بیشتری خواهند بود و به حفاظت کمتری نیاز خواهند داشت.

۵ - مراجع

۱- سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، نشریه شماره ۲۴۸، "فرسایش و رسوبگذاری در محدودهآبشکن‌ها"، ۱۳۸۱.

2- S. Ouillon and D. Dartus, “Three-Dimensional Computation of Flow Around Groyne”, Journal of Hydraulics Engineering. Vol. 123, No. 11 , 1997, 962-970.

3- A. Molinas, and Y.I. Hafez, “Finite Element Surface Model For Flow Around Vertical Wall Abutments”, Journal of Fluids and Structures (2000) 14 ,711-733.

4- S. Giri,Y. Shimizu and B. Surajate, “Laboratory Measurement and Numerical Simulation of Flow and Turbulence in a Meandering-like Flume with Spurs”, Flow Measurement and Instrumentation, 15(2004) 301-309.

5- H. Koo Yeo, J. Gu Kang, and S. Jung Kim, “An Experimental Study on Downstream Recirculation Zone of Single Groyne Conditions” ,XXXI IAHR Congress, 2005, Seoul, Korea.

۶- عطا ا... فرسیو، سعید رضا صباغ یزدی،" بررسی صحت نتایج مدل حجم محدود جهتمند با الگوی مرکزیت سلول برای شبیه‌سازی جریان گردابه‌ای دو بعدی مجاور موج شکن"، هفتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، ۱۳۸۵.

۷- نیشابوری، صالح، سخی، "پیش‌بینی میدان جریان در اطراف آبشکن‌ها"، ۱۳۸۲، چهارمین کنفرانس هیدرولیک ایران.

۸- حسنی، م. "مطالعه الگوی جریان کم عمق چرخشی در اطراف آبشکن‌ها با استفاده از مدل‌های فیزیکی و ریاضی"،۱۳۸۰، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

9- V. Weitbrecht and G.H. Jirka, “Flow Patterns and Exchange Processes in Dead Zones of Rivers”, IAHR Congress, 2001, Beijing.

10- M. Kurzke, V. Weitbrecht and G.H. Jirka, “Laboratory Concentration Measurements for Determination of Mass Exchange between Groin Fields and Main Stream”, IAHR Conference, ‘River Flow’, Louvain de la Neuve, Belgium 2002.

11- Wim S. J. - Uijttewaal “Effect of Groyne Layout on the Flow in Groyne Fields: Laboratory Experiments”, Journal of Hydraulics Engineering. Vol.131 , No 9, 2005, 782- 791.

12- Fluent 5.2 1998, “User’s Guide”, Fluent Inc. Lebanon, new Hampshire U.S.A.

13- S. Baranya and J. Jozsa, “Investigation of Flow Around a Groin with a 3D Numerical Model”, CD-ROM Proc. II, PhD Civil Expo, Budapest University of Technology and Economics, Budapest, 2004.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-08-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1387.4.8.2.1]