



مرکز پژوهش‌های مطالعات دریایی

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.



سازمان بنادر و دریانوردی



شبیه سازی عددی میدان جریان در کانالهای لایروبی شده

سید علی اکبر صالحی نیشابوری
دانشگاه فنی ومهندسی
دانشجوی دکتری هیدرولیک
دانشگاه تربیت مدرس

همایون ناکر قمصری
دانشجوی دکتری هیدرولیک
دانشگاه تربیت مدرس

میترا جوان
دانشجوی دکتری هیدرولیک
دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه

از جمله محورهای مهم مطالعاتی در رابطه با سواحل، مطالعه وضعیت کانال های لایروبی شده در بستر دریا است. از نمونه های بارز آن، کانال های حفر شده جهت کارگذاری انتقال نفت و گاز و آب از کف دریا میباشد. وضعیت این کانال ها به لحاظ عرض و عمق آن، از عوامل تعیین کننده در طراحی آنها است. مهمترین عامل تعیین کننده وضعیت کانال لایروبی شده، نحوه رسوب گذاری یا پرشدن آن است. کسب شناخت از وضعیت انتقال رسوب در اطراف و داخل کانال، طراحان را در طراحی مناسب مقطع عرضی و جانمایی آن کمک نموده و مسئولین بهره برداری را نیز در ارائه برنامه بهینه لایروبی جهت حفظ و نگهداری این کانال ها یاری خواهد نمود. جهت شبیه سازی عددی نحوه رسوب گذاری یا پرشدن کانال های لایروبی در ابتدا بایستی ازمدلی استفاده گردد که قابلیت مناسبی در پیش بینی میدان جریان در کانالهای لایروبی شده داشته باشد[2].

در این زمینه درسال ۱۹۸۳ مدل عددی دو بعدی که معادلات حاکم را در سیستم مختصات متعامد به روش تفاضل محدود حل می نمود ارائه گردید[1] و در سال ۱۹۹۵ نیز، با این تفاوت که معادلات حاکم در سیستم مختصات متعامد به روش حجم محدود حل میگردد، مدل عددی دیگری تهیه شده است[2]. در این تحقیق با استفاده از مدلی که معادلات حاکم بر جریان دائمی در حالت دوبعدی در سیستم مختصات منحنی الخط غیر متعامد را به روش حجم محدود حل کرده و فرآن مدل $k - \epsilon$ جهت مدلسازی آشفتگی میدان جریان بکار رفته است میدان جریان در کانالهای لایروبی شبیه سازی گردید لازم به ذکر می باشد باتوجه به دقت بالای الگوی جابجایی SOU (دقت مرتبه دوم) نسبت به الگوی جابجایی POW (دقت مرتبه اول) و نیز پخش کاذب زیاد الگوهای مرتبه اول، جهت شبیه سازی عددی فوق از الگوی جابجایی SOU استفاده گردیده است.

معادلات حاکم بر جریان و روش حل

معادلات حاکم بر جریان سیال در حالت آشفته شامل معادلات بقا، جرم و ممتوم میباشد. که در این تحقیق از معادلات متوسط گیری شده زمانی به صورت زیراستفاده شده است:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial (\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_i} \sigma_{ij} - \frac{\partial (\overline{\rho u_i u_j})}{\partial x_j} + B_i \quad (2)$$

$$\sigma_{ij} = -P \delta_{ij} + \tau_{ij} = -\left(P + \frac{2}{3} \mu \frac{\partial u_k}{\partial x_k}\right) \delta_{ij} + \mu \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j}\right) \quad (3)$$

که در آن σ_{ij} : تانسور تنش ناشی از لزجت و تاثیر فشار B_i : نیروی کالبدی در واحد حجم k می باشد. جهت حل معادلات فوق نیاز به مدلسازی تنش های رینولتزی $(\overline{\rho u_i u_j})$ می باشد که برای این منظور از ایده بوزنسک به

شکل زیر استفاده شده است:

$$-\overline{\rho u_i u_j} = -\frac{2}{3} \left(\mu \frac{\partial u_k}{\partial x_k} + \rho k\right) \delta_{ij} + \mu \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j}\right) \quad (4)$$

که در آن $k = \frac{1}{2} \overline{(u_i u_i)}$ انرژی جنبشی آشفتگی در واحد جرم بوده و μ لزجت ناشی از آشفتگی می باشد. با جایگذاری

رابطه ها در معادلات ممتوم، معادلات بکار رفته در مدل را می توان به صورت زیر بیان نمود:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[-\left(P + \frac{2}{3}k\right)\delta_{ij} + \mu_{eff} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3}\mu_{eff} \left(\delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right] + B_{i,00} \quad (8)$$

که در آن $\mu_{eff} = \mu + \mu_t$ می باشد.

در مدل حاضر جهت محاسبه μ_t از مدل ϵ - k استفاده شده است که رابطه μ_t و معادلات انتقال k و ϵ را بدون در نظر گرفتن

ترمیهای شناوری به صورت زیر می توان بیان نمود:

$$\mu_t = c_\mu \rho \frac{k^2}{\epsilon} \quad (9)$$

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + G - \rho \epsilon \quad (10)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right) + c_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} G - c_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (11)$$

G ترم تولید انرژی جنبشی آشفتگی بوده و برابر است با:

$$G = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (12)$$

مقادیر ثابت های تجربی در معادلات k و ϵ به صورت زیر مورد استفاده قرار گرفته اند: [5]

$$c_\mu = 0.09 \quad c_2 = 1.92 \quad c_1 = 1.44 \quad \sigma_k = 1.3 \quad \sigma_\epsilon = 1.0$$

با توجه به آنکه اکثر مسائل دارای هندسه پیچیده می باشند جهت شبیه سازی هندسه آنها از سیستم مختصات منحنی غیر

مستطاد استفاده گردیده است. قوانین زنجیره ای به شکل زیر سیستم های مختصات منحنی و کارترین را بهم متصل می کنند: [6]

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \xi^i} = \frac{\partial x^j}{\partial \xi^i} \frac{\partial \varphi}{\partial x^j} = J^j_i \frac{\partial \varphi}{\partial x^j} \quad (13)$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x^i} = \frac{\partial \xi^j}{\partial x^i} \frac{\partial \varphi}{\partial \xi^j} = \bar{J}^j_i \frac{\partial \varphi}{\partial \xi^j} \quad (14)$$

که در آن

$$J^j_i = \frac{\partial x^j}{\partial \xi^i} \quad (15)$$

$$\bar{J}^j_i = \frac{\partial \xi^j}{\partial x^i} \quad (16)$$

هنگامیکه معادلات (10) و (11) را در معادلات بقاء در سیستم کارترین وارد کنیم، معادلات در سیستم منحنی نتیجه می

شوند.

باید نظر گرفتن فراگیر بودن روشهای دیفرانسیلی و به منظور دست یابی به کلیه پارامترها در کل میدان حل (روی گره های

شبهک) و با عنایت به تحقیقات و تجربیات ارزنده ای که در این زمینه صورت گرفته است و با توجه به دلرا بودن خاصیت بقاء روی هر

المان، روش دیفرانسیلی حجم محدود جهت حل در مدل مورد استفاده قرار گرفته است. روش حجم محدود یکی از حالات ویژه روش

مانده های وزنار می باشد که اساس آن بر درک مستقیم حالت فیزیکی مسئله استوار است. در این روش ابتدا دامنه مورد نظر به

تعدادی حجم کنترل غیر همپوشان تقسیم شده به نحویکه هر حجم حول یک نقطه قرار می گیرد که مجهول منفصل در این گره

نشان دهنده مقدار متوسط داخل حجم کنترل است. با توجه به آنکه معادلات دیفرانسیل جزئی قواعد بقاء را در یک مقیاس

میکروسکوپی نشان می دهد، ایده اصلی روش حجم محدود آنست که انفعال نباید سعی در تقریب عددی معادلات انتقال جزئی در

نقاط منفصل داشته باشد، بلکه قواعد بقاء روی حجم کنترل انتگرال گیری شده و قضیه دیورژانس گاوس بکار گرفته میشود. نتیجه

آن معادله ای است شامل شارهای انتقال و پخش از وجوه حجم کنترل، چشمه و چاههای انتگرال گرفته شده روی حجم و یک ترم

غیر دائمی. شکل نهایی یک معادله عمومی انفعال به صورت زیر بدست می آید.

$$a_p \phi_p = \sum_{nb} a_{nb} \phi_{nb} + b \quad (17)$$

که در آن

$$a_p = \sum_{nb} a_{nb} + a_p^0 + a_f - s_p \quad (18)$$

$$a_p^0 = \frac{\rho_p^0 \delta V_p}{\delta} \quad (19)$$

(ج-۱۵)

$$b = b_{no} + a^{\phi} \phi^{\psi} + \bar{D}_1$$

زیر نویس nb نشان دهنده گره های همسایه اطراف گره p می باشد. تعریف ترمهای روابط (۱۴) و (۱۵) در مرجع [۶] آورده شده است که جهت اختصار توضیحات مربوط به آن در این مقاله ارائه نشده است. شار اصلی (متضاد) شامل هنر دو شار انتقالی و پخش می باشد.

جهت انفعال شارهای پخش از یک پروفیل تغییرات خطی برای ϕ می توانند، w, v, k, τ, ϵ یا ϵ باشد) استفاده شده است. اما برای ترم انتقالی استفاده از تغییرات خطی فقط برای اعداد پکلت پایین جواب پایدار می دهد. برای داشتن جواب پایدار کلی استفاده از upwinding باید مد نظر قرار گیرد تا از نیاز به استفاده از استهلاک مصنوعی که در صورت استفاده از پروفیل خطی تغییرات ϕ در اعداد پکلت بالا ضروری می باشد، پرهیز گردد. در مختصات منحنی انواع مختلف upwinding شامل مرتبه اول (Power law, hybrid) و مرتبه دوم (SOU) استفاده شده اند. الگوهای مرتبه اول بخاطر ساده بودن و الگوی SOU بخاطر دقت بالاتر مورد استفاده قرار گرفته اند. الگوهای upwind مرتبه اول پخش کاذب خیلی زیادی ایجاد می کند. الگوی QUICK دقیق تر از SOU است ولی اختلاف دقت آنها خیلی کمتر از اختلاف هر یک از آنها با الگوهای مرتبه اول است. در مدل حاضر از الگوهای Power law و SOU استفاده شده است [4]، [3].

نتایج

نتایج ارائه شده در این قسمت براساس آزمایشهای انجام شده در یک کانال لایروبی با طول ۲۱/۶ متر و عرض ۱ متر که شامل حفره ای با شیبهای طرفین ۱:۲ و عمق ۲۰ سانتیمتر و طول ۱/۶ متر می باشد استوار است. با استفاده از دبی ثابت ۵۸ لیتر بر ثانیه و در نظر گرفتن عمق های ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتیمتر، عدد فرود در مرز ورودی جریان در سه آزمایش متفاوت به ترتیب برابر با ۰/۰۳، ۰/۰۳ و ۰/۰۳ بدست آمده است.

اگر ابعاد کانال معرفی شده به برنامه برابر با کانال آزمایشگاهی باشد باید تعداد گره های بیشتری جهت حل میدان جریان استفاده گردد که سبب افزایش زمان اجرای برنامه میگردد. با توجه به آنکه هدف شبیه سازی عددی جریان در کانال لایروبی شده است، در آزمایش فوق فقط محدوده حفره با ۱/۰ متر بالا دست در نظر گرفته شده است. در مرز ورودی پروفیل های k و ϵ و سرعت را با توزیع یکنواخت (دبی آن برابر با دبی ورودی کانال لایروبی) به عنوان مقادیر ورودی به یک کانال با طول زیاد و عمقی برابر با عمقی ابتدای کانال لایروبی به مدل معرفی نموده و پس از آنکه سرعت توسعه یافته گردید، مقادیر k ، ϵ ، τ و Δ به عنوان مقادیر ورودی به برنامه معرفی گردیدند.

با توجه به آنکه در شبیه سازی عددی زمان اجرای برنامه طولانی بود، از تأثیرات ضرایب زیر تخفیف صرف نظر گردید و از مقادیر حاصل از مرجع [۶] استفاده گردید. در ابتدا تأثیر پارامترهای عددی بر تعداد تکرارهای لازم جهت همگرایی بررسی گردید. که نشان دهنده آن بود که همواره نمی توان انتظار داشت با افزایش Δx تعداد تکرارهای لازم جهت همگرایی نسبت به مرحله قبل کمتر گردد بلکه امکان دارد با نوسان نسبت به مرحله قبل بیشتر شود و چنانچه کاهش Δy ها در نظر قرار گیرد، شیب منحنی همگرایی کمتر شده و با کاهش Δx همگرایی منحنی ها با Δy مختلف به هم نزدیک می گردد و بالعکس. چنانچه در جهت قائم شبکه منحنی در نزدیک کف ریز شود یا به عبارتی عمل کلاستر کردن صورت گیرد، در حالت کلی تعداد تکرارهای لازم جهت همگرایی زیاد می گردد. نمونه نتایج آزمایشگاهی و شبیه سازی عددی میدان جریان و تشکیل گردابه ها در کانال لایروبی ($F_r = 0.04$) در شکلهای (۱) و (۲) آورده شده است که نشان دهنده تطابق مناسب این نتایج می باشد.

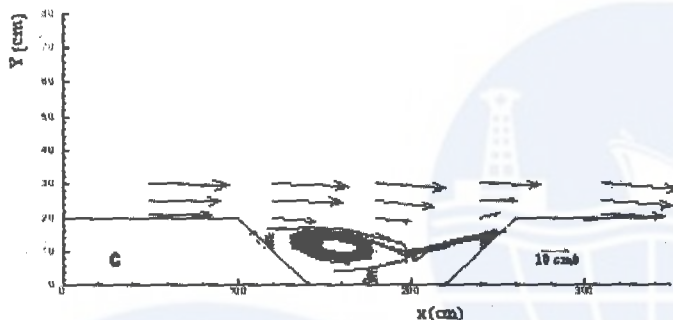
مراجع

- [1] Ben J. Alfrink and Leo C. Van Rijn " Two Equation Turbulence Model for Flow in Trenches" Journal of Hydraulic Engineering , ASCE, Vol . 109, No.3, pp.941- 958, July . 1983.
- [2] B.Basara and B.A.Younis " Prediction of Turbulent flows in Dredged Trenches", Journal of Hydraulic Research , Vol .33, No.6, pp.813-824, Oct. 1995.
- [3] Versteeg and Malalasekera , " An Introduction to Computational Fluid Dynamics ", Longman, 1995.

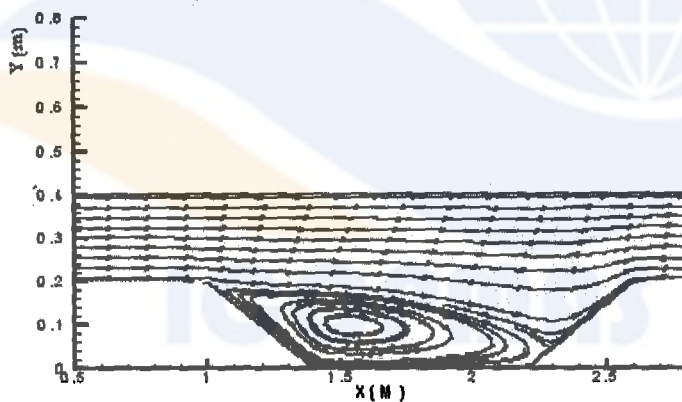
[4] Suhas V. Patankar " Numerical Heat Transfer and Fluid Flow", Hemisphere Pub., 1980.

[5] Wolfgang Rodi, " Turbulence Models and Their Application in Hydraulics, A State of the Art Review", LAHR, 1984.

[6] صالحی نیشابوری، علی اکبر " شبیه سازی عددی آبستگي موضعی ". گزارش فرصت مطالعاتی : دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۸.



شکل (۱) نتایج آزمایشگاهی میدان جریان ($Fr = 0.04$)



شکل (۲) - نتایج شبیه سازی عددی میدان جریان ($Fr = 0.04$)

Numerical Simulation of Flow Field in Dredged Channels

S A Salehi Neishabouri

Tarbiat Modares University

H Zaker Ghamsari

Tarbiat Modares University

M Javan

Tarbiat Modares University

Abstract:

One of the important research fields related to coasts is the study of dredged channels condition in seabed. The good examples are dug-out channels for oil and gas transport via seabed. The channels situations, width and depth are the defining factors in designing channels. The most important factor defining the channel condition is the sedimentation mode. Knowing more about the condition of sediment transport around and inside channels, helps designers in designing the cross-section and locating which supports authorities in presenting dredging programs for preserving these channels. For numerical simulation of sedimentation mode in dredged channels, first, a model should be selected and applied which has capability of anticipating flow field in dredged channels. In the present article, a model is used which is able to solve the equations of fixed current in two dimensional mode in non-orthogonal curve line coordinate system using the finite volume and the K- ϵ model for modeling flow field turbulence. The flow field is simulated in dredged channels. It should also be mentioned that, considering the high accuracy of SOU model compared with POW model and the high false spreading of 1st time patterns, the SOU displacement pattern is applied for simulation.

Key words: numerical simulation, flow field, dredged channels