



دانشگاه صنعتی امیر کبیر
(پلی تکنیک تهران)

دوره چهل و شش، شماره ۲، زمستان ۱۳۹۳، صفحه ۱ تا ۹
Vol. 46, No. 2, Winter 2014, pp. 1-9



نشریه علمی - پژوهشی امیرکبیر (مهندسی عمران و محیط زیست)
Amirkabir Journal of Science & Research (Civil & Environmental Engineering)
(AJSR - CEE)

ارائه یک مدل عددی-ریاضی برای پدیده شکست سد به روش حجم محدود با استفاده از شبکه بندی ورونوی

حمیدرضا وثوقی فر^{۱*}، حمیدرضا جلالپور بارفروش^۲، سیده منا تابنده^۳

۱- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب
۲- دانشجوی دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات
۳- دانشجوی دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

(دریافت ۱۳۹۰/۱/۲۳، پذیرش ۱۳۹۲/۳/۱۸)

چکیده

در این مقاله حرکت سیل ناشی از شکست سد به صورت دوبعدی مورد مطالعه قرار گرفته است. بدین منظور معادله آبهای کم عمق به شیوه مرتبه دوم لوکال لکس فردریش^{۱۶} برای تسخیر شوک یا ناپیوستگی در شرایط اولیه و ارضای خاصیت ابقایی در چهارچوب روش احجام محدود و شبکه بندی ورونوی که تطابق مناسبی با محیط دارد، در قالب یک برنامه توسط نرم افزار توانمند متلب^{۱۷} ارائه شده است. نتایج حاصله از برنامه با نتایج به دست آمده از چند آزمون شکست سد که به صورت نامتقارن و دایره ای در مراجع ارائه شده توسط نرم افزار آماری اس پی اس^{۱۸} مقایسه شده که تطابق بسیار خوبی را بیان می نماید. مدل ارائه شده قادر به مدل سازی هندسه های پیچیده با در نظر گرفتن اثر شیب و تسخیر موج شوک است.

کلمات کلیدی

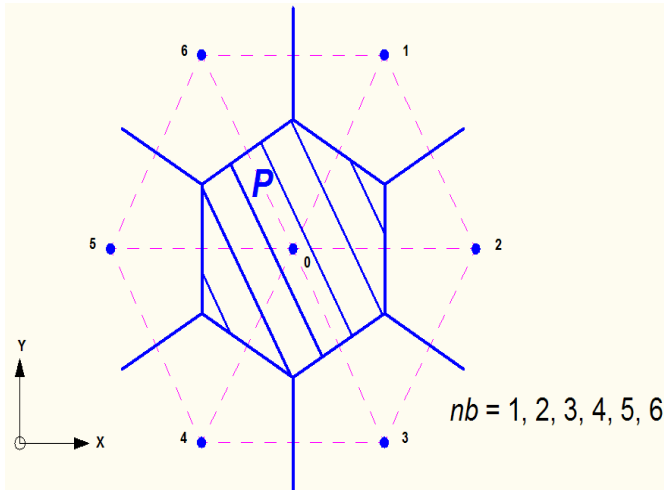
شکست سد، روش حجم محدود، شبکه بندی ورونوی، روش مرتبه دوم Local-Lax-Friedrich

* نویسنده مسئول وعهده دار مکاتبات Email: vosoughifar@yahoo.com

۱- مقدمه

معادلات حاکم بر پدیده شکست سد از نوع هذلولوی یا هیپربولیک است و روش های عددی مناسب برای حل این نوع معادلات همراه با مزایا، معایب و خصوصیات آن ها شناخته شده هستند. از آنجا که در شکست سد با پدیده انتقال موج روبرو هستیم، با توجه به اینکه روش عددی مورد نظر باید حرکت موج را طبق واقعیت شبیه سازی نماید و از نظر فیزیکی جواب های قابل قبول بدهد. به طور خاص لازم است تلاش شود تا جواب های عددی در خصوص سرعت انتشار، بزرگی و تغییر شکل موج (در صورت وجود) با جواب های واقعی برابری داشته باشند و جواب های عددی بدون نوسانات غیر فیزیکی باشند. از سوی دیگر در پدیده شکست سد با یک شوک یا ناپیوستگی در شرایط اولیه روبرو هستیم که در طول زمان، در محیط انتشار می یابد. از نظر ریاضی به یک مسئله هیپربولیک با شرایط اولیه ناپیوسته، مسئله ریمن می گویند. در چنین مسائلی به علت وجود گرادیان های شدید در جواب ها، خاصیت نگهدارندگی معادلات حاکم و روش عددی نیز اهمیت خاص می یابد. در مسائل از نوع ریمن و با سطح آزاد، نظیر شکست سد یا پرش هیدرولیکی، با هر دو نوع رژیم جریان زیر بحرانی و فوق بحرانی روبرو هستیم و روش حل عددی باید قادر به شبیه سازی هم زمان این دو حالت از جریان باشند. در مکانیک سیالات محاسباتی و اغلب در بحث حل عددی معادلات اولر، مجموعه این نکات با عنوان خاصی به نام ثبت یا تسخیر شوک مورد بحث و بررسی قرار می گیرد. به دلیل نبود حل تحلیلی مناسب برای معادلات گفته شده، از روش های عددی برای این منظور استفاده می شود. روش های عددی با دقت مرتبه اول دقت پایین و خاصیت پخشیدگی عددی دارند [۱۶]. روش های مرتبه دوم دقت مطلوب دارند که در این تحقیق از روش مرتبه دوم محلی لکس فردریچ استفاده شده است. هر یک از روش های عددی شامل دو مرحله گسسته سازی و حل معادلات گسسته می باشد که شیوهی به کار گرفته شده در دقت نتایج تاثیرگذار می باشد. روش های گسسته سازی شامل روش المان محدود، تفاضل محدود و حجم محدود می باشد که روش حجم محدود به دلیل سازگاری با محیط مورد مطالعه و مدل نمودن دقیق هندسه های نامنظم، کاربرد وسیعی دارد [۱۳]. برای گسسته سازی ناحیه مورد مطالعه نیاز به شبکه بندی است که به دو صورت ساختار یافته و ساختار نیافته می باشد. نوع شبکه بندی به کار برده شده تاثیر زیادی روی سرعت محاسبات و دقت نتایج می گذارد [۱۲]. شبکه بندی ساختار نیافته ی ورونوی دارای مزیت های بی شماری از جمله انعطاف پذیری برای برآورد دقیق تر جریان عبوری از اعضای جزءبندی شده و در نتیجه مدل

نمودن محیط به صورت بسیار نزدیک به واقعیت و افزایش دقت نتایج می باشد که روشی نوین در شبکه بندی است [۴]. روش حجم محدود اولین بار توسط پروفیسور پانتکار^۱ در سال ۱۹۷۲ برای حل عددی معادلات انتقال حرارت به کار گرفته شد. وی در فاصله ی سال های ۱۹۷۸-۱۹۸۰ از روش حجم محدود برای بررسی جریان سیال استفاده نمود [۱۳]. شاید بتوان گفت کارهای انجام شده توسط چاودری^۲ و همکارانش از جمله اولین تلاش های انجام شده در زمینه بکارگیری روش های تسخیر شوک در جریان های با سطح آزاد یک بعدی باشد [۲]. جهت حل معادلات شکست سد از سال ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰ روش های مختلفی برای معادلات با ناپیوستگی در دامنه جواب به کار گرفته شده است که کاربرد زیادی در حل جریانات کانال های باز دارد. از جمله این روشها می توان به کار فنما^۳ و چاودری که در دهه ۸۰ میلادی مقالاتی در این خصوص به چاپ رسانده اند، نام برد. کارهای این دو محقق عمدتاً با استفاده از روش های سنتی مانند مک کورمک انجام شده است و برای جلوگیری از نوسان، از لزجت مصنوعی استفاده شده است [۵]. گارسیا ناوارو^۴ و همکاران در سال ۱۹۹۲ نیز به مدلسازی یک بعدی شکست سد پرداخته و در کار خود روش مک کورمک را با TVD ترکیب نموده اند [۹]. اورلی^۵ و همکاران در سال ۲۰۰۰ در دانشگاه پارمای ایتالیا نیز با ترکیب روش مک کورمک و TVD به صورت یک بعدی مسئله شکست سد را شبیه سازی نموده و نتایج را با کارهای آزمایشگاهی مقایسه نموده اند [۱]. تیسنگ^۶ و همکاران در سال ۲۰۰۰ با بکارگیری الگوی حل مک کورمک و با استفاده از روش حجم محدود، الگوئی برای بررسی جریان به صورت دو بعدی پیشنهاد داده اند [۲۰]. چو^۷ و همکاران در سال ۲۰۰۱ به مقایسه چند روش حل برای حل مسئله ریمن پرداختند [۱۹]. ایمارد^۸ و همکاران در سال ۲۰۰۳ کتابی را در روش حجم محدود ارائه نمودند که در آن به بررسی روش های حل معادلات آبهای کم عمق پرداختند [۱۷]. لوکیو^۹ و همکاران در سال ۲۰۰۴ کامل ترین کتابی را که به بررسی روش های حل معادلات هایپربولیک به وسیله روش حجم محدود تا به امروز آمده ارائه نموده اند و این کتاب از مراجع بسیاری از مقالات بروز نوشته شده است [۱۶]. برنتی^{۱۰} و همکاران در سال ۲۰۰۸ به ارائه روشی برای حل دقیق معادله شکست سد در شرایط خاصی از توپوگرافی پرداختند [۱۵]. علی پرست در سال ۲۰۰۹ با روش حجم محدود و حل گر^{۱۱} HLVL به تحلیل دو بعدی پدیده شکست سد پرداخت [۱۱]. استین بچ^{۱۲} و همکاران در سال ۲۰۰۹ به بررسی معادلات آبهای کم عمق با روش محلی لکس فردریچ و طرح CWENO برای مدل سازی توپوگرافی پیچیده پرداختند [۸]. استرک^{۱۳} و همکاران در سال ۲۰۰۹ کتابی را به



شکل ۱: شبکه بندی ورونوی

۳- معادلات حاکم

معادلات جریان غیر دائمی متغیر سریع شکست سد از نوع معادلات هیپربولیک آبهای کم عمق هستند. این معادلات در واقع صورت ساده شده ی معادلات ناویراستوکس هستند. صورت این معادلات در حالت دو بعدی عبارتست از:

$$U_t + F_x + G_y = S \quad (1)$$

$$U_t = \begin{bmatrix} h \\ hu \\ hv \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h \\ q_x \\ q_y \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$F_x = \begin{bmatrix} q_x \\ \frac{q_x^2}{h} + \frac{1}{2}gh^2 \\ \frac{q_x q_y}{h} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$G_y = \begin{bmatrix} q_y \\ \frac{q_x q_y}{h} \\ \frac{q_y^2}{h} + \frac{1}{2}gh^2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$S = \begin{bmatrix} 0 \\ gh(S_{0x} - S_{fx}) \\ gh(S_{0y} - S_{fy}) \end{bmatrix} \quad (5)$$

در معادلات فوق v و u به ترتیب مولفه‌های سرعت در جهات x , y , که در عمق متوسط گرفته شده ، h عمق آب در نقطه مورد نظر، uh و vh به ترتیب دبی واحد عرض در جهات y و x , S_{0x} ,

نام مقدمه‌ای بر حل معادلات با مشتقات جزئی ارائه کردند که در آن به بررسی روش‌های حل معادلات آب‌های کم‌عمق پرداختند [۱۵]. ترو^۴ در سال ۲۰۱۰ به بررسی روش‌های حل مرتبه بالای رو مانند HLL, HLLC پرداخت و این روش‌ها را با حل تحلیلی مقایسه نمود [۵].

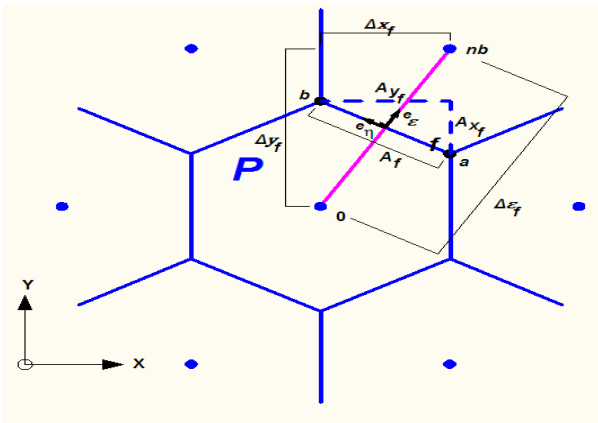
۲- روش تحقیق

گسسته‌سازی ناحیه مورد مطالعه Ω توسط شبکه‌بندی‌های ساختارنیافته‌ی ورونوی انجام شده است که برای اولین بار در سال ۱۸۵۰ به وسیله ی پیتربلیجیون دیریچلت ارائه شده است. پس از گذشت نیم قرن ورونوی به تصحیح این شبکه‌ها پرداخت [۱۸]. شبکه‌بندی ورونوی با ویژگی‌هایی نظیر این که: فاصله ی محدوده ی اختصاص داده شده به نقطه ی مورد نظر در شبکه-بندی ورونوی نسبت به سایر نقاط نزدیک تر است، در صورت تساوی فاصله یک نقطه از دو یا چند محدوده، آن نقطه بین محدوده‌ها تقسیم می‌شود. در واقع این نقاط مرزهای سلول‌های ورونوی را تشکیل می‌دهند. در نتیجه نقاطی که تنها به یک محدوده متعلق است، قسمت داخلی شبکه‌بندی ورونوی را تشکیل می‌دهند و نقاطی که به دو محدوده یا بیشتر تعلق دارند، مرزها را تشکیل می‌دهند [۱۴]. برای انجام این نوع شبکه‌بندی ابتدا ناحیه Ω به صورت دلخواه نقطه گذاری می‌شود، این نقاط مراکز سلول‌های ورونوی را تشکیل می‌دهند و سپس توسط الگوریتم-هایی مانند الگوریتم مثلث بندی دلاینی، برات-فورس، الگوریتم تسای یا روش افزایشی و استفاده از بلور، ناحیه ی Ω به وسیله ی سلول‌های ورونوی شبکه‌بندی می‌شود (شکل ۱). در این مقاله شبکه‌بندی ورونوی توسط نرم افزار MATLAB انجام شده است. برای گسسته‌سازی معادله‌ی حاکم از روش حجم محدود استفاده شده است. در این روش ناحیه ی Ω به تعدادی از حجم-های کنترلی بدون هم پوشانی تقسیم شده و با انتگرال‌گیری از معادله‌ی دیفرانسیل حاکم روی هر یک از حجم‌های کنترلی، دستگاه معادلات جبری تشکیل می‌شود که هر یک از معادلات آن مربوط به یک حجم کنترل بوده و هر معادله، φ در محل گره یک حجم کنترلی را با تعداد متفاوتی از φ های گره‌های مجاورش مرتبط می‌سازد و در نتیجه مقدار φ در محل هر گره محاسبه می‌شود [۷].

$H(u)$: شار ورودی و خروجی به سلول و رونوی که خود شامل توابع $F(u)$, $G(u)$ در دو راستای x , y بر طبق معادله‌های ۳ و ۴ هستند.

$S(u)$ نیز بر طبق معادله (۶) تعریف شده است. با استفاده از تئوری دیورژانس داریم:

$$\int_V \vec{\nabla} \cdot H(u) d\theta = \oint_{\Omega} n \cdot H(u) d\Omega \quad (۸)$$



(شکل ۲): نمایش عوامل مورد استفاده در شبکه بندی و رونوی

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V u d_v + \int_{\Omega} n \cdot H(u) d\Omega = \int_V S(u) d_v \quad (۹)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} A + \sum_f (\overline{H(u)} \cdot \vec{A})_f = S(u) A \quad (۱۰)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{1}{A} \sum_f (\overline{H(u)} \cdot \vec{A})_f + S(u) \quad (۱۱)$$

$$\vec{A}_f = (A \cdot \vec{e}_\epsilon)_f \quad (۱۲)$$

A : مساحت سلول و رونوی مورد بررسی

A_f : مساحت اضلاع سلول و رونوی که از حاصل ضرب طول ضلع

مورد مطالعه در بعد عمود بر صفحه که واحد فرض شده، به

دست می آید.

بردار عمود بر سطح در هر جهت n :

$$\overline{H(u)} = H(u)_{\epsilon} \cdot \vec{e}_\epsilon + H(u)_{\eta} \cdot \vec{e}_\eta \quad (۱۳)$$

e_ϵ : بردار یکه در جهت عمود بر هر ضلع مورد بررسی سلول و رونوی

e_η : بردار یکه در جهت مماس بر هر ضلع مورد بررسی سلول و رونوی

S_{fy} , S_{fx} به ترتیب شیب کف کانال در جهات y و x , n ضریب زبری مرتب شیب اصطکاکی در جهات y و x و مانینگ است.

برای محاسبه شیب اصطکاک از معادله مانینگ به صورت رابطه (۶) استفاده می شود

$$S_{fx} = \frac{n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1.33}}, \quad S_{fy} = \frac{n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1.33}} \quad (۶)$$

۳-۱- شرایط مرزی

در حالت کلی ممکن است در مرزهای محیط محاسباتی مقدار متغیرهای وابسته یا مشتق آن ها معلوم باشد و یا ترکیبی از این دو حالت را داشته باشند. متداول ترین انواع شرط مرزی در بحث شکست سد عبارتند از:

۱ - معلوم بودن عمق، مربوط به حالتی که مرز مورد نظر دریا یا دریاچه باشد.

۲ - معلوم بودن سرعت، مربوط به حالتی که دبی معلوم است (شامل دبی صفر یا معلوم بودن هیدروگراف). در حالتی که سرعت یا دبی صفر است یا به عبارت دیگر دیواره عمود بر جهت جریان داریم، می توان شرط مرزی مربوطه را شرط ضد تقارن نامید.

۳ - جریان توسعه یافته، که فرض می شود گرادیان ها در جهت عمود بر مرز، صفر است یا حالتی که فرض می شود در مرز مورد نظر جریان یکنواخت شده است. این حالت را می توان شرط مرزی تقارن نیز نامید. به بیان دیگر اگر مرز مورد نظر عمود بر جهت جریان باشد، شرط مرزی گرادیان صفر را معادل فرض جریان توسعه یافته در نظر گرفت. از سوی دیگر اگر مرز مورد نظر در کناره های یک جریان عمدتا یک بعدی باشد، شرط مرزی گرادیان صفر را می توان شرط مرزی تقارن نیز نامید. از آن جا که مدل حاضر دوبعدی است، برای حل مسائل یک بعدی عمدتا از شرط مرزی تقارن در مرزهای کناری استفاده شده است. در حالت کلی بسته به این که رژیم جریان زیر بحرانی یا فوق بحرانی باشد، تعداد شرایط مرزی مورد نیاز فرق نماید. ولی در بحث شکست سد به نظر می رسد که بتوان جریان در هر دو مرز را زیر بحرانی در نظر گرفت و بنابراین پیش بینی معرفی یک شرط مرزی در مرز شده است.

با تعریف تابعی مانند $H(u)$ و انتگرال گیری از معادله فوق روی حجم کنترل داریم:

۳-۲- گسسته سازی معادلات حاکم

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V u d_v + \int_V \vec{\nabla} \cdot H(u) d\theta = \int_V S(u) d_v \quad (۷)$$

$$F_f(u)_{nbout} = \frac{f(u_{nb}^n) + f(u_p^n)}{2} - \frac{1}{2} \left| \lambda \left(\frac{u_{nb}^n + u_p^n}{2} \right) \right| (u_{nb}^n - u_p^n) \quad (24)$$

$$F_f(u)_{nbin} = \frac{f(u_{nb}^n) + f(u_p^n)}{2} - \frac{1}{2} \left| \lambda \left(\frac{u_{nb}^n + u_p^n}{2} \right) \right| (u_p^n - u_{nb}^n) \quad (25)$$

$$\lambda = \bar{u} + \sqrt{g\bar{h}} \quad (26)$$

$$G_f(v)_{nbout} = \frac{g(v_{nb}^n) + g(v_p^n)}{2} - \frac{1}{2} \left| \lambda \left(\frac{v_{nb}^n + v_p^n}{2} \right) \right| (v_{nb}^n - v_p^n) \quad (27)$$

$$G_f(v)_{nbin} = \frac{g(v_{nb}^n) + g(v_p^n)}{2} - \frac{1}{2} \left| \lambda \left(\frac{v_{nb}^n + v_p^n}{2} \right) \right| (v_p^n - v_{nb}^n) \quad (28)$$

$$\lambda = \bar{v} + \sqrt{g\bar{h}} \quad (29)$$

در معادلات بالا nb نشان دهنده شماره سلول همسایه و in , out به ترتیب نمایانگر شار ورودی و خروجی به داخل سلول اصلی می باشند.

نکته مهم دیگری که باید در نظر گرفت محاسبه Δt در هر گام زمانی می باشد که برای همگرایی جوابها و پایداری و یکنوایی باید این مقدار را با توجه به شرایط کورانت فردریچ لوی (CFL) محاسبه نمود که طریقه محاسبه عبارت است از [۱۶]:

$$\Delta t = CFL * \min \left(\frac{\Delta \varepsilon}{\max|\lambda_1|} + \frac{\Delta \varepsilon}{\max|\lambda_2|} \right) \quad (30)$$

$$\lambda_1 = \bar{u} + \sqrt{g\bar{h}}, \lambda_2 = \bar{v} + \sqrt{g\bar{h}} \quad (31)$$

۴-صحت سنجی

۴-۱- آزمون شکست جزیی سد در حالت دو بعدی (بازشدن ناگهانی یک دریچه)

در این حالت فرض می شود قسمتی از یک سد به صورت ناگهانی شکسته می شود که مشابه باز شدن ناگهانی یک دریچه است. این آزمون توسط محققین مختلف از جمله فنا و چاودری و آلکرادو و ناوارو انجام شده است و کانال به طول ۲۰۰ متر و عرض ۲۰۰ متر با بستر بدون شیب با یک شکاف غیر متقارن به عرض ۷۵ متر می باشد. کل محیط کانال و سد به صورت دیواره غیر لغزشی فرض شده است. عمق آب در بالادست ۱۰ m، عمق آب در پایین دست ۵ m و برای این مسئله تعداد نقاط شبکه ۴۰x۴۰ فرض شده است و زمان مقایسه مقادیر نیز ۷/۲ در نظر

$$\overline{A_f \cdot H(u)} = H(u)_\varepsilon \cdot A_f \quad (14)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{1}{A} \sum_f H(u)_\varepsilon \cdot A_f + S(u) \quad (15)$$

$$\int_t^{t+\Delta t} \frac{\partial u}{\partial t} d_t = \int_t^{t+\Delta t} -\frac{1}{A} \sum_f H(u)_\varepsilon \cdot A_f d_t + \int_t^{t+\Delta t} S(u) d_t \quad (16)$$

$$U_p^{n+1} - U_p^n = -\frac{1}{A} \sum_f H(u)_\varepsilon \cdot A_f \Delta t + S(u) \Delta t \quad (17)$$

$$H(u)_\varepsilon = n_1 \cdot F(u)_\varepsilon + n_2 \cdot G(u)_\varepsilon \quad (18)$$

$$n_1 = \varepsilon_x = \frac{(x_{nb} - x_p)}{\Delta \varepsilon} \quad (19)$$

X_{nb} و Y_{nb} : مختصات مراکز سلول های همسایه

n_1 : کسینوس ضلع مورد بررسی در هر سلول ورونوی

X_p , Y_p : مختصات مرکز سلول مورد بررسی

$$n_2 = \varepsilon_y = \frac{(y_{nb} - y_p)}{\Delta \varepsilon} \quad (20)$$

$$\Delta \varepsilon = \sqrt{(x_{nb} - x_p)^2 + (y_{nb} - y_p)^2} \quad (21)$$

n_2 : کسینوس ضلع مورد بررسی در هر سلول ورونوی

$\Delta \varepsilon$: فاصله مرکز سلول ورونوی مورد بررسی از مراکز سلول-

های همسایه آن

$$(22)$$

$$U_p^{n+1} = U_p^n - \frac{\Delta t}{A} \sum_f [n_1 \cdot F(u)_\varepsilon \cdot A_f + n_2 \cdot G(u)_\varepsilon \cdot A_f] + S(u) \Delta t$$

$F(u)_\varepsilon$, $G(u)_\varepsilon$: بردارهای شار در سلول ورونوی در جهت

عمود بر هر ضلع مورد بررسی

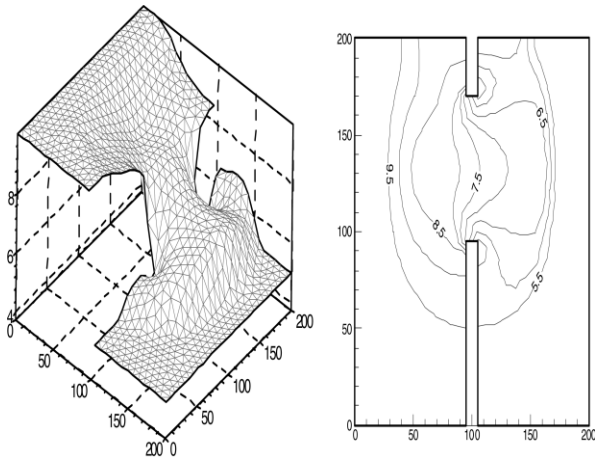
Δt : بازه زمانی که از طریق شرط عدد کورانت بدست می آید.

۳-۳- روش حل مرتبه دوم لکس فردریچ برای مش

بندی ورونوی

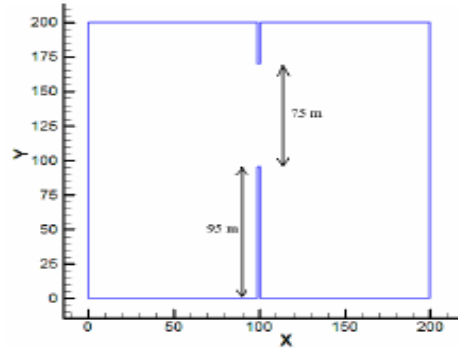
با گسسته سازی معادله (۲۲)

$$U_p^{n+1} = U_p^n - \frac{\Delta t}{A} [\sum (F_f(u)_{nbout} \cdot A_f \cdot n_{1f}) - \sum (F_f(u)_{nboin} \cdot A_f \cdot n_{1f}) + \sum (G_f(v)_{nbout} \cdot A_f \cdot n_{2f}) - \sum (G_f(v)_{nboin} \cdot A_f \cdot n_{2f})] + S(u) \Delta t \quad (23)$$

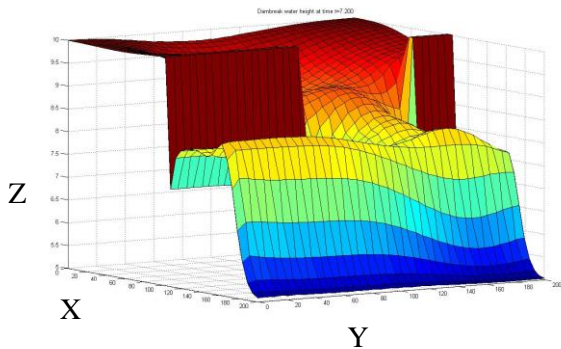


(شکل ۵): آزمون شکست جزیبی سد، نمایش سطح آب در زمان ۷/۲ ثانیه بر اساس مرجع [۲۱]

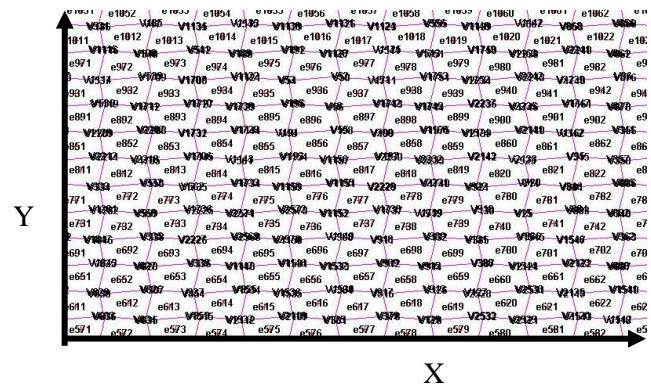
گرفته شده است [۶ و ۹]. مشخصات سیل ایجاد شده در اثر شکست سد به گونه‌ای است که منطقه وسیعی از دشت سیلابی پایین دست را فرا گرفته و توسعه آن در پلان به طور کامل دو بعدی است که بعد از شکست و اختصاص عمق به آب به هر المان نمای کلی به صورت شکل (۶) نمود می نماید.



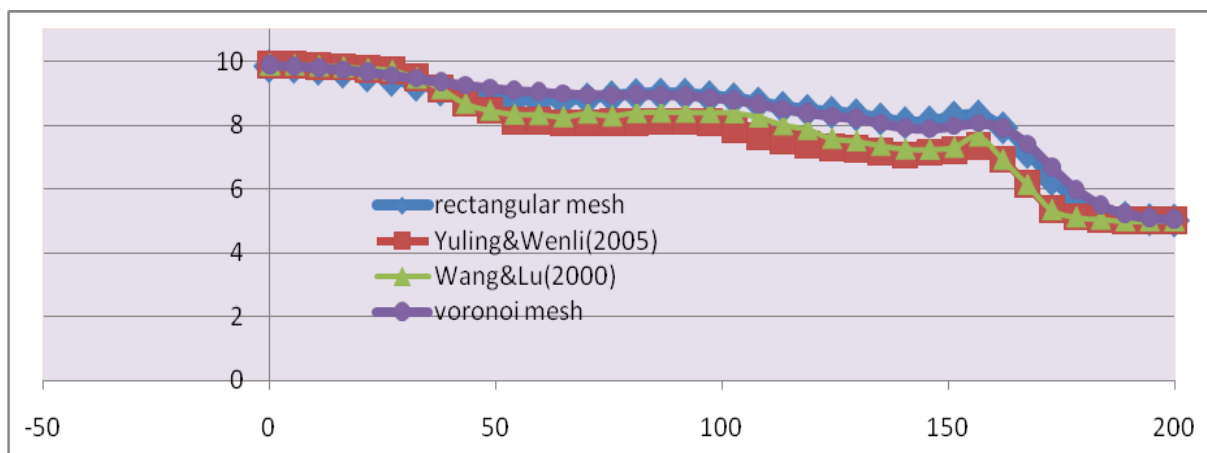
(شکل ۳): نمایش هندسی شکاف سد



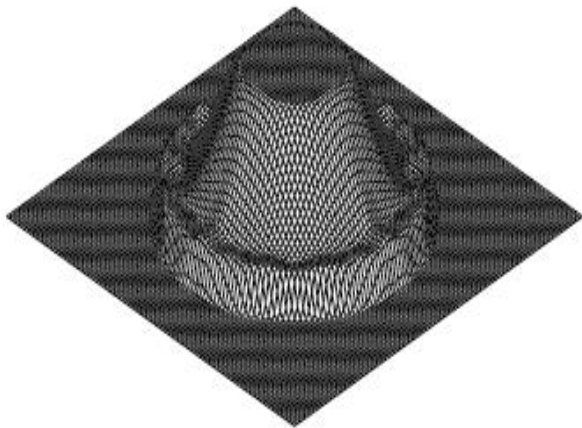
(شکل ۶): آزمون شکست جزیبی سد، سطح آب در زمان ۷/۲ ثانیه بر اساس مدل دو بعدی ارائه شده با شبکه بندی ورونوی (محور Z نشان دهنده ارتفاع المانها است).



(شکل ۴): نمونه ای از شبکه بندی ورونوی

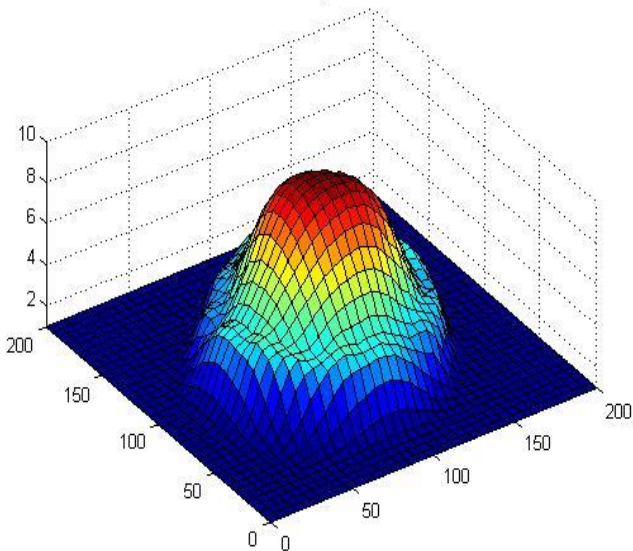


(جدول ۱): مقادیر P-VALUE شبکه بندی ورونوی و مستطیلی به وسیله آزمون آماری تست t

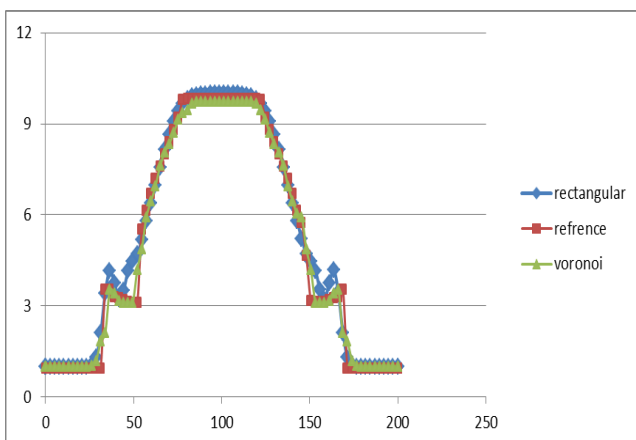


(شکل ۸): آزمون شکست سد دایره ای ، سطح آب در زمان ۲ ثانیه بر اساس مرجع [۲۱]

Dambreak water height at time t=2.000



(شکل ۹): آزمون شکست سد دایره ای ، سطح آب در زمان ۲ ثانیه بر اساس مدل حاضر (شبکه بندی ورونوی)



(شکل ۱۰): نتایج کلی مقایسه خروجی کد متلب در دو نوع شبکه بندی مستطیلی و ورونوی با مرجع [۲۳]

مرجع	[۲۲]Wang & Liu		[۲۲]Yuling & Wenli	
	ورونوی	مستطیلی	ورونوی	مستطیلی
نوع مش بندی				
-P VALUE	۰/۹۷۳	۰/۹۶۷	۰/۹۵۹	۰/۹۸۴

(شکل ۷): نتایج کلی مقایسه خروجی سطح آب پس از شکست جزئی سد در زمان ۷/۲ ثانیه از کد متلب در دو نوع شبکه بندی مستطیلی و ورونوی با مراجع [۲۲] و [۲۳]

در نمودار بالا نتایج خروجی برنامه نوشته شده حاصل از ارتفاع آب در زمان ۷/۲ ثانیه با دو شبکه بندی مستطیلی و ورونوی در نرم افزار متلب با نتایج خروجی دو مرجع شماره [۲۲] و [۲۳] ترسیم شده است و به وسیله نرم افزار قدرتمند آماری SPSS مقایسه شده است. از آزمون آماری t test که از معروف ترین و دقیق ترین آزمون‌های مقایسه ای آماری است برای مقایسه عددی داده ها و نمودارهای ارائه شده استفاده شده است. در این آزمون هر چه مقدار P_VALUE به عدد ۱ نزدیک تر باشد میزان خطا کمتر و اعداد دقیق تر و نزدیک تر به جوابهای مرجع هستند. همانطور که دیده می شود مقدار P_VALUE بالای ۰/۹ نشانگر دقت بسیار مناسب و بالای مدل ارائه شده است و نیز دقت شبکه بندی ورونوی نیز از مستطیلی بالاتر است.

۴-۲- آزمون شکست سد دایره ای

در این آزمون محیطی به ابعاد ۲۰۰ × ۲۰۰ متر در نظر گرفته شده است که در مرکز محیط و به شعاع ۵۰ سدی دایره ای (استوانه ای) احداث شده است. داخل سد عمق آب ۱۰ متر و خارج آن عمق آب ۱ متر فرض شده است. شیب کف و ضریب زبری، صفر در نظر گرفته شده است. این آزمون برای شبکه بندی ورونوی با مش بندی ۴۰ × ۴۰ پس از ۲ ثانیه از شکست سد، در نظر گرفته شده است و نتایج به صورت منحنی میزان رقوم سطح آب، نمایش داده شده است.

هندسه پیچیده در این مقاله میسر نگردید.

مدل عددی-ریاضی ارائه شده توانایی مدل نمودن شرایط مختلف اعم از مناطق با توپوگرافی‌های پیچیده را دارد. همچنین از انعطاف‌پذیری خاصی برای المان بندی از جمله تغییر تعداد المان‌ها در نقاط حساس و کلیدی در محیط مورد بررسی برخوردار است. این مدل به راحتی قابل فهم بوده و استفاده از آن برای کاربران بسیار راحت است.

این مدل علاوه بر خروجی ارتفاع در هر نقطه و بازه زمانی، مقادیر سرعت را نیز به طور همزمان در هر بازه زمانی نمایش می‌دهد که در رفتارسنجی پدیده شکست سد کمک می‌نماید.

۶- مراجع

- [۱] Aureli, F., Mignosa, P., Tomirotti, "Numerical simulation and experimental verification of Dam-Break flows with shocks", Journal of Hydraulic Research, Vol. 38 , No. 3, pp. 197- 206, 2000.
- [۲] Chaudhry, M. H., "Open-Channel Flow Prentice-Hall", Englewood Cliffs, New Jersey, 1993.
- [۳] Zoppou, C., Roberts, S., "Numerical solution of the two dimensional unsteady dam break", International Journal for Computational Methods in Engineering Science and Mechanics, 8, pp.1-14, 2000.
- [۴] Drysdale. S, Voronoi Diagram, Lecture 4, 1996.
- [۵] Eleuterio F. Toro, "HLLC Riemann solver", Laboratory Of Applied Mathematics University of Trento, Italy, 2010.
- [۶] Fennena, R.J., Chaudhry, M.H., "Explicit Numerical Schemes for Unsteady Free-Surface Flows with Shocks", Water Resources Research, Vol22, n13, 1986.
- [۷] Fletcher, C.A.J., "Computational Techniques for Fluid Dynamics", vol. 2, seconded. Springer, Berlin, 1991.
- [۸] G. Steinebach, R. Weiner, " Peer methods for the one-dimensional shallow water equations with CWENO space Discretization ", internet, 2009.
- [۹] Garcia-Navarro, P., Brufau, P. "One-Dimensional Dam Break Flow Modeling: Some Results", 1992.
- [۱۰] Hans De Sterck و Paul Ullrich, " Introduction To Computational PDES", Course Notes for AMATH 442 / CM 452, Fall, 2009.

در نمودار بالا نتایج خروجی کد نوشته شده حاصل از ارتفاع آب در زمان ۲ ثانیه با دو شبکه بندی مستطیلی و ورونوی در نرم افزار متلب با نتایج خروجی مرجع شماره [۲۳] ترسیم شده است. برای مقایسه عددی داده ها و نمودارهای نیز از همان روش آزمون t test استفاده شده است.

(جدول ۲): مقادیر P-VALUE شبکه بندی ورونوی و مستطیلی به وسیله آزمون آماری تست t

مرجع	Wang & Liu [۲۳]	
نوع مش بندی	ورونوی	مستطیلی
VALUE-P	۰/۹۹۶	۰/۹۷۴

۵- نتیجه گیری

در طرح تحقیقاتی حاضر نشان داده شده است که استفاده از روش مرتبه دوم محلی لکس فردریش به همراه حجم محدود و شبکه بندی ورونوی، ترکیبی مناسب برای شبیه سازی دوبعدی جریان آب کم عمق و پدیده شکست سد می باشد. قابلیت های این روش به طور خاص در بازسازی داده های آزمون های ارائه شده و حل دقیق، رضایت بخش و امیدوار کننده می باشد. در هیچ یک از آزمون های انجام شده مشکل پخش عددی قابل توجه و یا نوسان غیر فیزیکی جواب ها دیده نشد که البته از ترکیب روش محلی لکس فردریش با روشه همراه حجم محدود و شبکه بندی ورونوی انتظاری جز این نیز نمی رفت. مقادیر بسیار نزدیک به ۱ , P-VALUE , نشان دهنده دقت بسیار بالای مدل ارائه شده و همخوانی آن با نتایج مراجع می باشد که درستی مدل را نیز تایید نماید. استفاده از روش حجم محدود به دلیل سازگاری مناسب با محیط مورد مطالعه و نیز سهولت عمل در منفصل سازی معادله ی شکست سد، کارایی بهتری نسبت به سایر روش های عددی از جمله المان محدود دارد. مقدار دقیق تر P-VALUE شبکه بندی ورونوی از شبکه بندی مستطیلی نشانگر تاثیر نوع المان بندی در میزان دقت مدل می باشد که همان طور که بیان شده بود این نوع شبکه بندی بدلیل انعطاف پذیری و تاثیر از همه جهات همخوانی بهتری با مدل دارد. نتایج بدست آمده از کد FVDBC بیان گر افزایش کارایی و دقت معادلات گسسته شده با استفاده از شبکه بندی ورونوی است، بنابراین بهتر است در انجام محاسبات عددی از این نوع شبکه بندی برای گسسته سازی معادلات بدلیل حجم محاسباتی کمتر و تطابق بالای این نوع شبکه بندی با هر محیط استفاده گردد. البته به علت اینکه در همه مراجع مدل های ارائه شده با هندسه های ساده تحلیل شده بود فرست برای ارائه یک مدل با

- [۱۹] Sung-Uk Choi and Joongcheol Paik, "Performance Test of High Resolution Schemes for ID Dam Break Problem", KSCE Journal Of Civil Engineering, Vol 5, No~ 3, September, pp. 23-280, 2001.
- [۲۰] Tseng, M.H, Chia R. Chu, "The simulation of dam break flows by an improved predictor-corrector T.V.D scheme", Advances in Water Resources, Vol. 23 , pp. 637- 643, 2000.
- [۲۱] Loukili, Y. and Soulaïmani, A., "Numeric University of Marche Department of Mechanical Tracking of Shallow Water Waves by the Unstructured Finite Volume WAF Approximation", 2007.
- [۲۲] Yuling L., Wenli W "High Resolution Mathematical Model for Simulating 2D Dam Break flow Wave", XXXI IAHR Congress, 2005.
- [۲۳] Wang J.W Liu R.X., "A Comparative Study of Finite Volume Methods on Unstructured Meshes for Simulation of 2D Shallow Water Wave problems". Mathematic and computers in simulation 2000.
- [۱۱] M. ALIPARAST, "Two-dimensional finite volume method for dam-break flow simulation", international Journal of Sediment Research 24, 99-107, 2009.
- [۱۲] Murthy Jayathi Y, "Numerical Methods in Heat, Mass, and Momentum Transfer", 2002.
- [۱۳] Patankar. S. V, "Numerical heat transfer and fluid flow", MC Graw-Hill, New York, 1980.
- [۱۴] Prickett, T.A, "Modeling Techniques for groundwater Evaluation", In: V.T. Chow (editor), Advances in Hydro science, Vol. 10. Academic Press, New York, 1975.
- [۱۵] R. Bernetti, "Exact solution of the Riemann problem for the shallow water equations with discontinuous bottom Geometry", University of Trento presently at: Polytechnic, 2008.
- [۱۶] Randall J. Leveque, "Finite Volume Methods for Hyperbolic Problems", 2004.
- [۱۷] Robert Eymard, Thierry Gallaudet and Raphael Herbin, "Finite Volume Methods", January ,This manuscript is An update of the preprint n0, pp. 97-19 du LAMP, 2003.
- [۱۸] Sugihara. K., Iri. M., "Construction of the Voronoi diagram for 'one million' sites in single- recession arithmetic", Proc. IEEE, Vol. 80, No. 9, pp. 1471-1484, 1992.

۷- زیر نویس ها

- ^۱ Chaudhry
^۲ Fennema
^۳ Fennema
^۴ Garcia-Navarro
^۵ Aureli
^۶ Tseng ,M.H
^۷ Choi
^۸ Eymard
^۹ LeVeque
^{۱۰} Bernetti
^{۱۱} Harten-Lax-van Leer Scheme
^{۱۲} Steinebach
^{۱۳} Sterck
^{۱۴} Eleuterio F. Toro
^{۱۵} Peter Lijeune Dirichlet
^{۱۶} Local-Lax-Friedrich
^{۱۷} MATLAB
^{۱۸} SPSS