شبیه‌سازی جریان غیرماندگار ناگهانی در کانال‌های آبیاری با استفاده از روش عددی MacCormack-TVD

ریحانه امینی[۱]، حسام قدوسی[۲]، کاظم شاهوردی[۳]

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۰۲/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۰۳

مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد

چکیده

ایجاد و انتشار جریان‌های غیرماندگار در کانال‌های آبیاری موجب تغییر در دبی تحویلی به آبگیرها می‌شود. جریان‌های غیرماندگار در کانال‌های آبیاری معمولاً در اثر باز و بسته شدن سازه‌های آب‌بند ایجاد شده و بسته به نوع بهره‌برداری، ممکن است ناگهانی یا تدریجی باشند. تاکنون مطالعه جریان‌های غیرماندگار تدریجی در کانال‌های آبیاری در تحقیقات مختلف مورد توجه قرار گرفته است. شبیه‌سازی جریان‌های غیرماندگار تدریجی اغلب با استفاده از مدل‌های هیدرودینامیکی موجود انجام می‌شود اما این مدل‌ها قادر به شبیه‌سازی جریان‌های غیرماندگار ناگهانی نمی‌باشند. در این تحقیق با استفاده از روش عددی MacCormack که یک روش مرتبه دوم می‌باشد اقدام به توسعه مدل عددی حل معادلات حاکم بر جریان‌های غیرماندگار ناگهانی گردید و برای مهار نوسانات غیرواقعی نیز از روش TVD استفاده گردید. مدل در محیط برنامه نویسی متلب جهت شبیه‌سازی امواج مثبت ایجاد شده در اثر بسته شدن ناگهانی یک دریچه در انتهای کانال E1R1 از شبکه آبیاری دز و یک کانال فرضی توسعه یافت. نتایج نشان داد که هر چه دبی عبوری در لحظه بسته شدن دریچه بیشتر باشد، خطاهای حل عددی نیز افزایش یافته و کاربرد همزمان روش مک کورمک و TVD می‌تواند خطای حل عددی را کاهش دهد و نوسانات سطح آب را مطابق با واقعیت شبیه‌سازی نماید.

واژه‌های کلیدی: تغییرات کل از بین‌رونده، ، جریان غیرماندگار، روش صریح، سنت ونانت، مک‌کورمک

۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب دانشگاه زنجان. ۰۹۱۱۸۰۷۱۲۳۲ Reyhaneh21_amini@yahoo.com
۲ - استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان. ۰۹۱۲۲۰۰۵۲۲۱ Ghodousi_he@yahoo.com (نویسنده مسئول)
۳ - استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. ۰۹۱۲۸۴۱۱۴۳۵ K.shahverdi@basu.ac.ir

مقدمه

از دیرباز مطالعه هیدرولیک جریان در رودخانه ها و کانال‌ها تحت اثر نیروی ثقل به‌عنوان یکی از شاخه‌های مهم علم مکانیک سیالات یا هیدرودینامیک مورد توجه بوده و تاکنون تحقیقات مختلفی در این زمینه تحت عنوان هیدرولیک کانال‌های باز انجام شده است. کانال‌های روباز در شبکه‌های آبیاری یکی از مهم‌ترین سازه‌های انتقال و توزیع آب بوده و محل اصلی تشکیل و انتشار جریان‌های غیرماندگار نیز می‌باشند. انتشار جریان غیرماندگار در کانال‌ها موجب تحویل آب مازاد یا کمبود به آبگیرها می‌گردد و تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر کاهش عملکرد کانال و سازه‌های وابسته دارد. از این‌رو مطالعه و بررسی این جریان‌ها به منظور تعیین مکان دقیق و میزان نوسانات ایجاد شده در سطح آب حائز اهمیت می‌باشد. تاریخچه بررسی جریان غیردائمی و غیریکنواخت به سال ۱۸۷۱ میلادی برمی‌گردد که سنت‌ونانت در مجله آکادمی علوم فرانسه مقاله‌ای منتشر نمود و طی آن تئوری جریان ناپایدار در کانال های باز را مطرح کرد (Saintvenant, 1871). از آن زمان به بعد برای مطالعه نحوه انتشار جریان‌های غیرماندگار از دو معادله هیپربولیک پیوستگی و اندازه‌حرکت استفاده می شود که به معادلات سنت‌ونانت مشهور گردیدند (رنجینه‌خجسته، ۱۳۸۱). باتوجه به اینکه حل معادلات سنت‌ونانت با روش‌های تحلیلی امکان‌پذیر نمی‌باشد تلاش‌های زیادی برای حل این معادلات با روش‌های عددی انجام شده است. در سال ۱۹۵۶ اولین روش عددی برای حل معادلات جریان ناپایدار توسط استوکر و همکارانش ابداع شد (Issacson et al. 1956). به‌منظور حل معادلات سنت‌ونانت با روش‌های عددی تکنیک‌های مختلفی وجود دارد که در کل به دو دسته روش‌های تقریبی و عددی کامل تقسیم‌بندی می شوند. از جمله روش‌های عددی کامل روش خطوط مشخصه، روش اجزای محدود و روش تفاضلات محدود می‌باشند.

در مواقع بهره‌برداری از سازه‌های کنترل و تنظیم سطح آب در کانال‌های آبیاری در بالادست و پایین‌دست این سازه‌ها امواج مثبت و منفی تشکیل می شوند. اگر بهره‌برداری از دریچه‌ها به صورت تدریجی بوده و یا تغییرات دبی نسبت به زمان کم باشد جریان‌های غیرماندگار ایجاد شده دارای تغییرات زیاد عمق نمی‌باشد، اما اگر بهره‌برداری به صورت ناگهانی بوده و یا تغییرات دبی نسبت به زمان زیاد باشد جریان غیرماندگار ناگهانی تشکیل می شود. در این حالت تغییرات عمق زیاد می‌باشد و جریان غیرماندگار تشکیل شده از نوع جریان های متغیر سریع بوده که در آن هر دو نوع جریان زیر و فوق بحرانی همزمان تشکیل می‌گردد. در این نوع از جریان‌ها اصطلاحاً ناپیوستگی و یا شوک وجود دارد که باعث می شود نتوان آنها را با روش‌های معمول حل عددی به‌راحتی شبیه سازی نمود و حل آن‌ها دارای خطای زیادی می‌باشد بطوریکه نوسانات بوجود آمده در حل عددی بیشتر از واقعیت می‌باشد. لذا برای تطابق بیشتر نتایج حل عددی با واقعیت و امکان استفاده از آن در مدیریت و بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری باید کاربرد روش‌هایی این خطاهای عددی را تا حد امکان کاهش داد. یکی از راه‌کارهای موجود برای شبیه‌سازی در این شرایط استفاده از روش‌های کنترل کننده شوک می‌باشد که اصطلاحاً روش‌های تسخیر شوک[1] نامیده می شوند (منتظری نمین، ۱۳۸۷). خطا های محتمل روش‌های حل عددی معادلات هیپربولیک[1] به دو دسته کلی تقسیم می شوند، یکی کاهش غیرواقعی بزرگی موج یا خطای پخش عددی[2] و دیگری ایجاد نوسانات غیرواقعی در شکل موج یا خطای پراکنش عددی[3]. در بیشتر تحقیقات تاکنون یکی از راه‌های مقابله با این خطاها استفاده از لزجت مصنوعی یا عددی[4] بوده است، در این روش یک جمله یا عبارت به معادلات حاکم اضافه می شود که به جملات اضافه شده جملات یا عبارات میراکننده می‌گویند (بنی‌ها شمی، ۱۳۸۲). با استفاده از این روش تاکنون تحقیقات مختلفی انجام گرفته است. به‌عنوان نمونه در مطالعات Jameson et al. (1981) برای حل معادلات اولر از تکنیک لزجت مصنوعی[5] به‌منظور حذف نوسان‌های غیرفیزیکی در مجاورت ناپیوستگی‌ها در آب‌های کم‌عمق استفاده شده است. همچنین صباغ یزدی و همکاران، (۱۳۸۳) در تحقیق خود یک مدل عددی برای شبیه سازی جریان‌های غیرماندگار ارائه کردند که در آن با به

1 -Hyperbolic Equation
2 - Numerical Diffusion
3 - Numerical Dispersion
4 - Artificial / Numerical Viscosity
5 - Artificial Viscosity

کارگیری عبارت‌های لزجت م صنوعی شبکه‌های بی ساختار، تغییرات عمق و سرعت در گستره حوزه حل بدون وارد آمدن نو سان یا میرائی ناخوا سته عددی مدل سازی گردید. بنی ها شمی و کیانیان، (۱۳۸۷) نیز با تلفیق دو روش فرد و مک به مدل سازی عددی فرآیند شکست تدریجی سد که نوعی از جریان‌های غیرماندگار ناگهانی است، پرداختند. ایشان در این برر سی ن شان دادند که اضافه کردن ترم لزجت مصنوعی، در عین سادگی قادر به مدل‌کردن شکست تدریجی سد و حل جریان همراه با شوک حاصل از آن می‌باشد. یکی دیگر از روش‌های عددی مقابله با شوک‌های بوجود آمده در حل معادلات جریان‌های غیرملندگار ناگهانی که اخیراً مورد توجه محققین قرار گرفته است استفاده از روش تغییرات کل از بین رونده[1] می‌باشد. روشهای عددی TVD یا تغییرات کل از بین رونـده، بـه روش‌هـایی گفته می‌شود که در آنها تغییرات کل حل هر جـواب فیزیکـی قابـل قبول با افزایش زمان در فضای حل به‌تدریج کم و محو می ش ـود. ا ساس این روش تو سط (Yee, 1987) برای حل جریان‌های لزج ارائه گردید (احمدی بلوطکی و همکاران، ۱۳۹۱). از جمله مطالعات انجام گرفته با ا ستفاده این روش تحقیق Liang et al. (2010) می‌با شد. ای شان در برر سی خود به حل معادله انتقال املاح عمق یک پار چه با ا ست فاده از روش MacCormack-TVD پرداختند. نتایج این بررسی نشان داد مدل حاضر از عمکرد و دقت بسیار بالایی در حل مشکلات انتقال املاح در جریان‌های غیرماندگار برخوردار ا ست. فرزین و همکاران، (۱۳۹۲) نیز در تحقیق خود به ک مک الگوی MacCormack-TVD به شبیه سازی عددی یک بعدی جریان‌های غیرماندگار ناگهانی پرداختند. در این تحقیق، الگوی کلا سیک MacCormack در هر دو حالت، یعنی با درنظرگرفتن عبارت ت صحیح کننده TVD و بدون در نظرگرفتن آن، برای مسئله شکست سد در یک بعد شبیه سازی شد. Marsoli and Woo (2015) یک مدل عددی سه بعدی برای شبیه سازی جریان غیرماندگار نا شی از شکست سد برروی بستری ناهموار به کمک روش VOF، ارائه نمودند. مدل ارائه شده، معادلات را با ا ستفاده از روش حل حجم محدود صریح بر اساس مش به صورت عددی با سلول های شش گوش حل می‌کند. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل ارائه شده برای بررسی جریان‌های غیرماندگار در مقیاس‌های کوچک و بزرگ کلا سیک آزمای شگاهی دارای ا ستحکام و دقت منا سب می‌با شد. Paniker et al. (2015) نیز به مدل‌سازی عددی پیشبرد جبهه موج در مسئله شکست سد به کمک روش حل ناویه استوکس تراکم ناپذیر پرداختند. در این بررسی از نرم افزار FLUENT برای انجام شبیه‌سازی استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که ارتفاع سطح آزاد عددی در طول اجرا و روی سرریزدر محدوده قابل قبول ا ست. Tropati et al. (2016) در مطالعه خود از روش ت سخیر شوک در الگوریتم جذب داده برای معادلات آب کم‌عمق یک بعدی ا ستفاده نمودند. در این برر سی آن‌ها یک مدل عددی بر ا ساس روش گالرکین (DG) ناپیو سته با جذب اطلاعات از طریق فیلترهای مینیماکس برای حل معادلات آب کم‌عمق یک بعدی ارائه نمودند. با توجه به برر سی‌های صورت گرفته م شخص شد که تحقیقات انجام شده در زمینه حل عددی جریان‌های غیرماندگار ناگهانی بی شتر مربوط به امواج مثبت پایین‌د ست نا شی از شک ست سد می‌با شد و تاکنون امواج مثبت بالاد ست با ا ستفاده از این تکنیک مورد برر سی و مطالعه قرار نگرفته است. لذا با توجه تشکیل این جریان‌ها در شبکه‌های آبیاری و تأثیر آن بر عملکرد شبکه، در این تحقیق باکاربرد همزمان روش‌های عددی MacCormack و TVD به مطالعه جریان‌های غیرملندگار مثبت ناگهانی بوجود آمده در بالاد ست دریچه‌های کنترل و تنظیم سطح آب واقع در انتهای کانال E1R1 از شبکه آبیاری دز و یک کانال فرضی با سه حالت مختلف دبی پرداخته شد و نتایج مورد برر سی مقایسه قرار گرفت. لازم به‌ذکر است که کلیه بهره‌برداری‌های اعمال شده به دریچه‌ها به‌صورت دستی انجام شدند.

مواد و روش‌ها

معادلات حاکم بر جریان‌های غیرماندگار

این م عادلات برای حالت یک بعدی و برای سیال غیرماندگار و تراکم‌ناپذیر به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\frac{\partial y}{\partial t} + D_h \frac{\partial v}{\partial x} + V\frac{\partial Y}{\partial X} = 0 \qquad (۱)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V\frac{\partial v}{\partial x} + g\frac{\partial y}{\partial x} = g(S_0 - S_f) \qquad (۲)$$

1 - Total Variation Diminishing

رابطه (۱) معادله پیو ستگی و رابطه دوم معادله مومنتم برای جریان در یک بعد می‌با شد. در این روابط y عمق جریان، v سرعت جریان، t زمان، D_h عمق هیدرولیکی، x م شخ صه مکان، g شتاب ثقل، S_o شیب کف کانال و S_f شیب اصطکاکی یا شیب خط انرژی می‌باشد.

الگوی صریح مک‌کورمک

الگوی عددی مک‌کورمک یکی از الگوهای صریح تفا ضل محدود می‌با شد که اولین بار تو سط فنا و چادری جهت محا سبه جریان در کانال‌های باز مورد ا ستفاده قرار گرفت (Chaudhry, 1993). این الگو شامل دو بخش پیش‌بینی و ت صحیح می‌با شد که در بخش پیش‌بینی‌کننده از تقریب‌های زیر استفاده می‌شود:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \frac{U_i^* - U_i^k}{\Delta t} \quad (۳)$$

$$\frac{\partial F}{\partial x} = \frac{F_i^k - F_{i-1}^k}{\Delta x} \quad (۴)$$

و پس از جایگذاری تقریب‌های ذکر شده در فرم ماتری سی معادلات حاکم خواهیم داشت:

$$U_i^* = U_i^k - \frac{\Delta t}{\Delta x}\left(F_i^k - F_{i-1}^k\right) - S_i^k \Delta t \quad (۵)$$

مقادیر محا سبه شده U_i^*، مقادیر A_i^* و Q_i^* را می‌دهد که از آن‌ها نیز می‌توان مقادیر y_i^* و V_i^* را بد ست آورد. این مقادیر برای گره‌های محا سباتی در طول محور X در یک گام زمانی ثابت تعیین می‌گردد و سپس از آن‌ها جهت محا سبه F_i^* و S_i^* در بخش تصحیح‌کننده استفاده می‌شود. در این معادلات بالانویس * مربوط به متغیرهای محا سبه شده در بخش پیش‌بینی کننده ا ست که از آن‌ها در بخش ت صحیح‌کننده ا ستفاده می شود. در قسمت تصحیح‌کننده نیز از تقریب‌های زیر جهت مشتق‌های مکانی و زمانی استفاده می‌گردد:

$$\frac{\partial U}{\partial} = \frac{U_i^{**} - U_i^k}{\Delta t} \quad (۶)$$

$$\frac{\partial F}{\partial} = \frac{F_{i+1}^* - F_i^*}{\Delta x} \quad (۷)$$

با جای‌گذاری تقریب‌های ذکر شده در فرم ماتریسی معادلات حاکم نیز خواهیم داشت:

$$U_i^{**} = U_i^k - \frac{\Delta t}{\Delta x}\left(F_{i+1}^* - F_i^*\right) - S_i^* \Delta t \quad (۸)$$

در این معادلات بالانویس ** مربوط به متغیرهای محا سبه شده در بخش ت صحیح‌کننده می‌با شد. پس از انجام مراحل پیش‌بینی و ت صحیح در نهایت مقدار U_i^{k+1} از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$U_i^{k+1} = \frac{1}{2}\left(U_i^* - U_i^{**}\right) \quad (۹)$$

روش تغییرات کل از بین رونده

تغییرات کل یک روش حل عددی به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$T.V = \sum_i |U_{i+1} - U_i| \quad (۱۰)$$

و هر گاه رابطه زیر برقرار با شد گویند روش عددی دارای تغییرات کل از بین‌رونده نسبت به زمان می‌باشد:

$$T.V(u^{n+1}) \le T.V(u^n) \quad (۱۱)$$

این روش‌ها بطور کلی به دو د سته مرتبه اول و مرتبه دوم د سته‌بندی می شوند و تو سط محققین مختلف اثبات شده ا ست که کلیه روش های یکنوا، از نوع TVD مرتبه اول ه ستند و همچنین کلیه روش‌های TVD نگهدارنده یکنوایی می‌با شند. روش TVD اولین بار تو سط هارتن در حل معادله اولر در دینامیک گازها ا ستفاده شد و امروز کاربرد آن در دینامیک سیالات، و سعت زیادی پیدا کرده ا ست. به‌منظور اعمال این روش به طریق زیر عمل می‌شود:

$$U^{k+1} = \frac{1}{2}\left(U_p + U_c\right) + \tau\left(D_{i+\frac{1}{2}}^n - D_{i-\frac{1}{2}}^n\right) \quad (۱۲)$$

که پارامتر های $D_{i+\frac{1}{2}}$ و $D_{i-\frac{1}{2}}$ با ک مک فرمول زیر قابل محاسبه می‌باشند (بنی‌هاشمی، ۱۳۸۲).

$$D_{i+\frac{1}{2}} = \frac{1}{2}\left[R(1-\psi)|\phi|\left(1-\tau|\tilde{\Lambda}|\right)\right]_{i+\frac{1}{2}} \cdot \alpha_{i+\frac{1}{2}} \quad (۱۳)$$

شرط پایداری الگوهای عددی

روش حل عددی تفاضلات محدود به دو بخش صریح و ضمنی تقسیم‌بندی می‌شود. الگوهای ضمنی عموماً پایدار و بدون قید و شرط می‌باشند ولی در روش‌های صریح شرط عدد پایداری که نسبت سرعت به سرعت عددی موج می‌باشد باید بررسی و برقرار گردد (ابولقاسمی، ۱۳۸۸). جهت پایداری الگو لازم است که عدد کورانت، Cn در تمامی شبکه $Cn \le 1$ باشد:

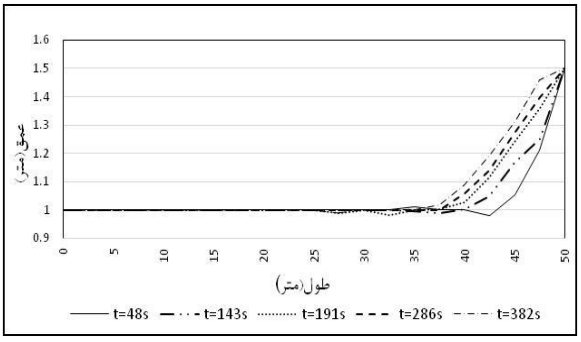
$$C_n = \frac{|V| \pm \sqrt{gy}}{\Delta x / \Delta t} \quad (۱۴)$$

اگر مقدار عدد کورانت از یک بی شتر شود باید گام زمانی را کاهش داد و اگر مقدار آن به طور قابل ملاحظه‌ای از عدد یک کمتر با شد، باید گام زمانی را افزایش داد. از آنجا که هر دو روش مک‌کورمک و تغییرات کل از بین رونده بکار گرفته

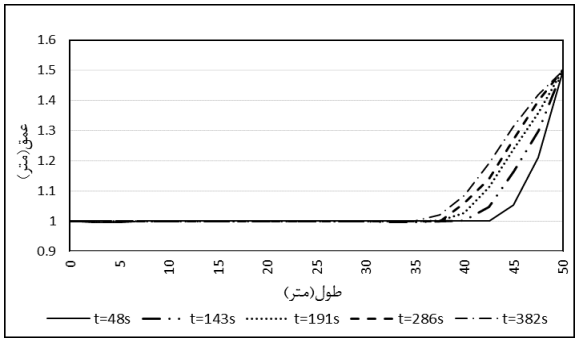
شده در این تحقیق جزء الگوهای صریح می‌باشند بنابراین باید شرط کورانت در آن‌ها کنترل شود. در این تحقیق فرضیات به کار رفته در حل معادلات سنت‌ونانت به عنوان فرضیات اولیه مدل‌ها در نظر گرفته شد.

شبیه‌سازی در کانال E1R1

کانال E1R1 یکی از کانال‌های درجه دوم شبکه آبیاری و زهکشی دز در استان خوزستان می‌باشد. این کانال بتنی با مقطع ذوزنقه‌ای می‌باشد. حداکثر ظرفیت آن ۲/۴۷ مترمکعب بر ثانیه است که از طریق شش آبگیر ثقلی با دریچه‌های کشوئی مستطیلی در مسیری به‌طول ۲۸۳۰/۵ متر آب مورد نیاز را تأمین می‌کند. شیب کانال در طول این مسیر متفاوت و حداقل ۰/۰۰۰۱۲ و حداکثر ۰/۰۰۱۲ است. عرض کف از ابتدای کانال تا فاصله ۱۰۰۳ متری معادل ۱/۵ متر و از این نقطه تا محل آخرین آبگیر در فاصله ۲۸۳۰/۵ متری معادل یک متر است. شیب جانبی کانال در تمامی طول مسیر (1V:1.5H) طراحی شده است. متوسط ضریب زبری مانینگ در طول مسیر ۰/۰۱۷ گزارش شده است. این بخش از کانال دارای ۶ سازه آبگیر و ۳ سازه تنظیم‌کننده می‌باشد که در پایین‌دست هر زوج آبگیر قرار دارد. شبیه سازی انجام شده در این تحقیق برای موج مثبت تشکیل شده در بالادست سازه آبندی است که در انتهای بازه سوم در فاصله ۱۵۵۰متر از ابتدای کلنال قرار دارد و بطور ناگهانی بسته می‌شود. در زمان شبیه‌سازی‌ها فرض بر این بوده است که همه آبگیرهای بالادست بسته می‌باشند. مدل‌های عددی توسعه یافته برای دو حالت یکی با استفاده از روش MacCormack و دیگری با کاربرد همزمان روش MacCormack و TVD در محیط متلب تهیه گردید. در شکل (۱) جریان غیرماندگار شبیه سازی شده در اثر بسته شدن ناگهانی دریچه در انتهای کانال E1R1 با استفاده از روش MacCormack نشان داده شده است و در شکل (۲) نتایج شبیه‌سازی با استفاده از روش MacCormack-TVD ارائه گردیده است. عمق و دبی اولیه در کانال قبل از بسته شدن دریچه به‌ترتیب برابر ۱ متر و ۲/۴۷ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد که پس از بسته شدن دریچه مقادیر عمق و دبی بلافاصله در بالادست دریچه به‌ترتیب به ۱/۵ متر و صفر مترمکعب بر ثانیه می‌رسد.



شکل (۱): موج مثبت شبیه‌سازی شده در بالادست دریچه با استفاده از روش عددی MacCormak

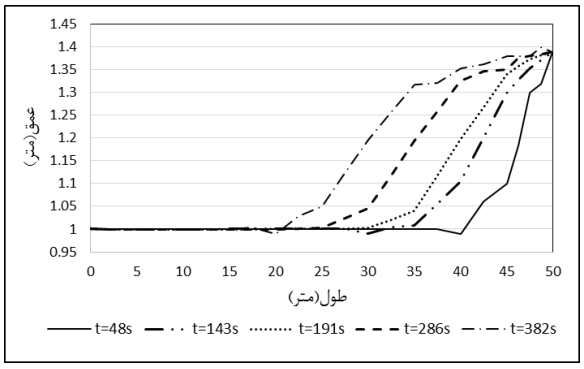


شکل (۲):موج مثبت شبیه‌سازی شده در بالادست دریچه با استفاده از روش عددیMacCormak-TVD

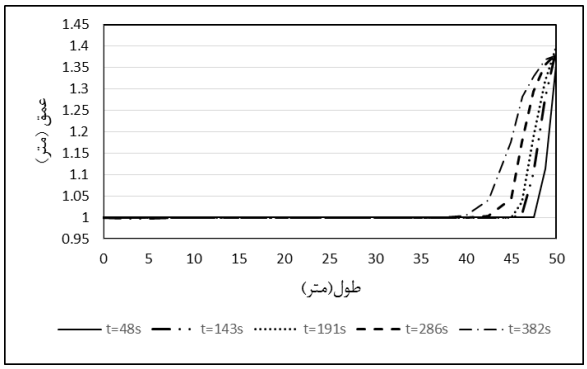
در اشکال ۱ و ۲ امواج مثبت برگشتی در زمان‌های ۴۸، ۱۴۳، ۱۹۱، ۲۸۶ و ۳۸۲ ثانیه پس از بسته شدن ناگهانی دریچه انتهایی کانال نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود پس از بسته شده دریچه عمق آب در بالادست آن به سرعت افزایش یافته امواج مثبت تشکیل می‌گردند و با گذشت زمان به‌طرف بالادست حرکت می‌کنند. با مقایسه تغییرات سطح آب در اشکال ۱ و ۲ در زمان‌های مختلف مشاهده می‌شود که نمودارها به یکدیگر شباهت زیادی دارند اما در شکل ۱ و قبل از اعمال ترم TVD به معادلات، نوسانات بسیار کمی در سطح آب بالادست دریچه نیز مشاهده می شود ولی همانطور که در شکل ۲ دیده می شود این نوسانات پس از اعمال ترم TVD به معادلات کاملاً از بین رفته و نتایج شبیه سازی با واقعیت تطابق بیشتری یافته است.

شبیه‌سازی در کانال فرضی با ظرفیت زیاد

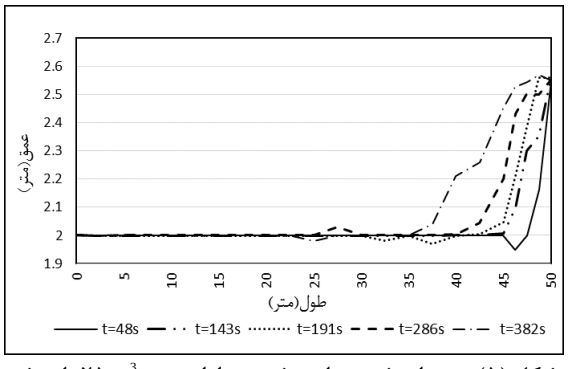
پس از شبیه سازی امواج مثبت بالاد ست در کانال E1R1 که حداکثر تغییر دبی در آن برابر ۲/۴۷ مترمکعب بر ثانیه بود برای در نظرگرفتن شرایط شبیه سازی با تغییرات بزرگتر دبی و م شاهده و مقای سه نتایج، اقدام به شبیه سازی امواج مثبت ناگهانی ت شکیل شده در بالاد ست دریچه ک شویی که در انتهای یک کانال آبیاری بزرگ فر ضی قرار دارد گردید. این کلنال بتنی با مقطع ذوزنقه‌ای با عرض کف ۵ متر، شیب جانبی 1V:2H، شیب طولی ۰/۰۰۰۱ و ضریب زبری مانینگ برابر ۰/۰۱ در نظر گرفته شد. برای انجام شبیه‌سازی‌ها نیز سه گزینه مختلف از مقادیر دبی اولیه کلنال به ترتیب برابر ۱۰، ۲۵ و ۴۵ مترمکعب بر ثانیه در نظر گرفته شد. اعماق اولیه متناظر جریان در کانال نیز به‌ترتیب برابر ۱، ۲ و ۳ متر می‌با شد. در این حالت نیز دبی در انتهای پایین‌د ست همزمان با ب سته شدن ناگهانی دریچه به صفر کاهش می‌یابد. شبیه سازی برای سه گزینه در نظر گرفته شده با ا ستفاده از دو روش MacCormack و MacCormack-TVD انجام شد که نتایج آن در اشکال (۳) تا (۸) در زمان‌های ۴۸، ۱۴۳، ۱۹۱، ۲۸۶ و ۳۸۲ ثانیه پس از بسته شدن دریچه ارائه گردیده است.



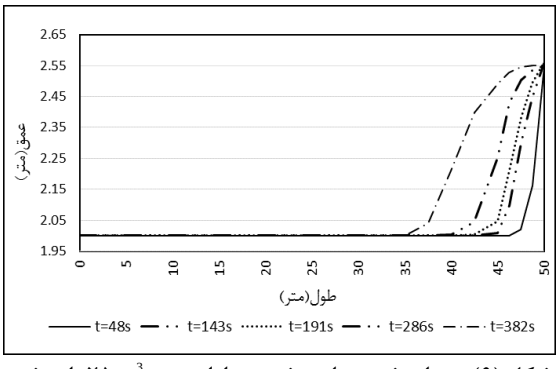
شکل (۳): جریان شبیه‌سازی شده به ازاء دبی $۱۰ \frac{m^3}{s}$ با روش عددی MacCormak



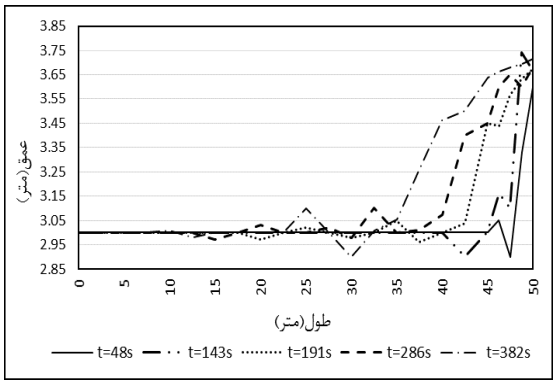
شکل (۴): جریان شبیه‌سازی شده به ازاء دبی $۱۰ \frac{m^3}{s}$ با روش عددی MacCormak-TVD



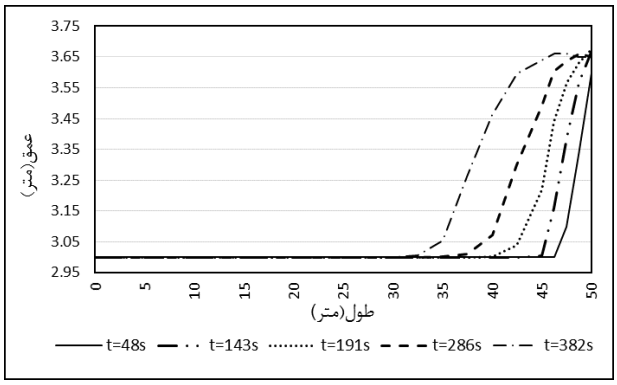
شکل (۵): جریان شبیه‌سازی شده به ازاء دبی $۲۵ \frac{m^3}{s}$ با روش عددی MacCormak



شکل (۶):جریان شبیه‌سازی شده به ازاء دبی $۲۵ \frac{m^3}{s}$ با روش عددی MacCormak-TVD



شکل (۷): جریان شبیه‌سازی شده به ازاء دبی $45\ \frac{m^3}{s}$ با روش عددی MacCormak



شکل (۸): جریان شبیه‌سازی شده به ازاء دبی $45\ \frac{m^3}{s}$ با روش عددی MacCormak-TVD

با مقایسه تغییرات سطح آب در اشکال (۱) و (۳) مشاهده می شود که با افزایش دبی از $2/47\ \frac{m^3}{s}$ به $10\ \frac{m^3}{s}$ نوسانات در سطح آب بطور محسوسی افزایش یافته و ارتفاع قله امواج شبیه سازی شده در این حالت نیز کاهش بیشتری داشته‌اند. اما در شکل (۴) مشاهده می شود که پس از اضافه نمودن ترم TVD در معادلات، نوسانات سطح آب و همچنین پایین‌افتادگی قله موج کنترل شده است. با افزایش دبی کلنال به $25\ \frac{m^3}{s}$ و $45\ \frac{m^3}{s}$ در اشکال (۵) و (۷) ملاحظه می‌شود که با کاربرد روش MacCormack و افزایش دبی همچنان نوسانات ایجاد شده در سطح آب افزایش یافته بطوریکه در شکل (۷) نوسانات سطح آب و پایین افتادگی قله موج بسیار زیاد شده و تغییرات سطح آب در زمان حدود ۳۸۰ ثانیه از ابتدای شبیه سازی تا فاصله ۴۰ متری از بالادست دریچه مشاهده می‌گردد. همانطور که در اشکال (۶) و (۸) نیز مشاهده می شود استفاده از روش عددی تلفیقی MacCormack-TVD توانسته است به‌خوبی نوسانات ایجاد شده در دبی‌های بالاتر را نیز کنترل نماید. در این اشکال همچنین مشاهده می شود که با اضافه نمودن ترم TVD پایین افتادگی قله موج نیز کنترل شده است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به منظور بررسی جریان غیرماندگار ناگهانی با دامنه تغییرات زیاد که برخی از مدل‌های موجود قادر به شبیه‌سازی آن نبود اقدام به توسعه مدل عددی با استفاده همزمان از دو روش صریح MacCormack و TVD گردید. شبیه‌سازی‌ها برای مقادیر مختلف دبی در دو کانال آبیاری و همزمان با بسته شدن ناگهانی دریچه تنظیم انتهای کانال انجام گردید. نتایج نشان داد با افزایش دبی نوسانات ایجاد شده در جریان شبیه‌سازی شده بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد که این نشان از عدم تولنایی روش عددی MacCormack در شبیه سازی تغییرات ناگهانی جریان به خصوص در ابعاد بالاتر را دارد. نتایج همچنین نشان داد که پس از اضافه نمودن ترم TVD به معادلات شبیه سازی جریان‌های غیرماندگار تشکیل شده در بالادست دریچه و استفاده از روش MacCormack-TVD این مدل توانسته است به‌راحتی نوسانات بوجود آمده را کنترل نموده و همچنین از پایین‌افتادگی قله موج که یکی دیگر از خطاهای حل عددی است جلوگیری نماید. لذا می‌توان چنین بیان نمود که با استفاده از روش MacCormackبا دقت مرتبه اول و اضافه کردن ترم TVD می‌توان شوک اتفاق افتاده در بالادست دریچه‌های کنترل و تنظیم آبیاری را تا حد زیادی مهار نمود و شبیه سازی بهره‌برداری از کلنال‌های آبیاری را مطابق واقعیت انجام داد.

منابع

ابوالقاسمی، م. ۱۳۸۸. بررسی و ارزیابی الگوهای شبیه‌سازی شکست سد. هشتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، ۲۴ تا ۲۶ آذرماه، دانشکده فنی دانشگاه تهران.

احمدی بلوطکی، م.، ا. صداقت و م. ثقفیان. ۱۳۹۱. تعیین نقطه آغاز گذار از جریان آرام به آشفته حول یک هوابر با استفاده از حل عددی معادله پایداری اور-سامرفلد و اعمال پروفیل‌های سرعت عددی، فصلنامه دانش و فناوری هوافضا، سال ۱، شماره ۲.

بنی‌ها شمی، م. ع. ۱۳۸۲. مدل دوبعدی شکست سد. گزارش طرح تحقیقاتی، کارفرما سازمان مدیریت منابع آب ایران، معاونت پژوهشی.

بنی‌ها شمی، م. ع. و م. کیانیان. ۱۳۸۷. مدل دوبعدی شکست تدریجی سد به روش فرد و مک‌کورمک. چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران. ۱۷ تا ۱۹ اردیبهشت‌ماه، دانشکده فنی دانشگاه تهران.

رنجینه، ع. ا. ۱۳۸۱. بررسی اثرات زبری بستر در سرعت انتشار امواج ناشی از شکست سد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران-سازه‌های هیدرولیکی. دانشگاه تبریز.

صباغ یزدی، س. ر، م. محمدزاده قمی و ع. کرمانی. ۱۳۸۳. کاربرد لزجت مصنوعی مناسب شبکه بی‌ساختار در حل عددی جریان دوبعدی غیرماندگار روی بستر با شیب متغییر و اصطکاک ناچیز. اولین کنگره ملی مهندسی عمران. ۲۴ تا ۲۷ اردیبهشت‌ماه، دانشگاه صنعتی شریف، تهران.

فرزین، س.، م. علیزاده و حسن‌زاده، ی. ۱۳۹۲. شبیه سازی عددی یک بعدی شکست سد با استفاده از روش MacCormak-TVD. هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۱۷ و ۱۸ اردیبهشت‌ماه، گروه مهندسی عمران دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان.

منتظری نمین، م.، م. محمدزاده قمی، ا. بهلولی و ک. شفیعی. ۱۳۸۷. شبیه سازی امواج ناشی از شکست سد به کمک مدل‌های دوبعدی و یک‌بعدی، مطالعه موردی شبیه سازی موج ناشی از شکست سد مارون. چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۱۷ تا ۱۹ اردیبهشت‌ماه، دانشکده فنی دانشگاه تهران.

Chaudhry, M. H. 1993. Open channel flow. Prentice-Hall Inc. New Jersy.483 pp.

Jameson, A., W. Schmidt and G. Turkel. 1981. Numerical solution of the euler equations by finite volume methods using runge–kutta time–stepping schemes. 14th Fluid and Plasma Dynamics Conference.

Liang, D., X. Wang, R. Falconer and B. N. Bockelmann-Evans. 2010. Solving the depth-integrated solute transport equation with a TVD-MacCormack scheme. Environmental Modelling & Software. 1619-1629.

Saint_venant, B. 1871. Theory of unsteady water flow with application to floods and propagations of tides in river channels. Translated into English by W. W. Geddings, Jr waterways. Experiment station. No French academy of Science. Vol. 73. pp, 148-49-9. US.

Stocker, J.J. and B.A. Troesch. 1956. Numerical solution of flood prediction and river regulation problems. Inst. Math. Sci. Rept. No. IMM-235. New York University, N.Y.

Tirupathi, S., T. T., Tchrakian, S., Zhuk, and S. McKenna. 2016. Shock capturing data assimilation algorithm for 1D shallow water equations. Advance in Water Resources. 198-210.

Yee, H.C. 1987. Construction of explicit and implicit symmetric TVD schemes and their applications. Journal of Computational Physics, Vol. 68, pp. 151-179.

Simulation of Rapidly Varied Unsteady Flow in Irrigation Canals Using MacCormack-TVD Numerical Method

Reyhaneh. Amini[1], Hesam. Ghodousi[2], Kazaem. Shahverdi[3]

Abstract

Creation and propagation of unsteady flow in irrigation canals causes changes in water delivery to canal intakes. Unsteady flow in irrigation canals usually form by operation of check structures. Up to now simulation of unsteady gradually varied flow in irrigation canals has been considered in various researches. Simulation of unsteady gradually varied flow mostly done using available hydrodynamic models, but these models can't simulate unsteady rapidly varied flow. In this research, using MacCormack numerical method, a numerical model was developed to solve the governing equations for rapidly unsteady varied flows, and the TVD method was used to control unrealistic and non-physical oscillations. The model was developed in MATLAB programming environment to simulate positive waves caused by the suddenly closure of a gate at the end of the E1R1 canal in Dez irrigation network and a hypothetical channel. The results showed that the higher flow in the gate at the moment of gate closure causes the higher numerical solution errors. Also, the results showed that the simulation using MacCormack method would have a large error, but the simultaneous application of the TVD and MacCormack method could reduce the numerical solution errors and simulate the water surface fluctuations according to the reality.

Keywords: Explicit Scheme, MacCormack, Saint-Venant, TVD, Unsteady Flow

1 - M.Sc. Hydro-Structures Student, Department of Water Engineering, University of Zanjan, Iran. Reyhaneh21_amini@yahoo.com
2 - Assistant Professor, Department of Water Engineering, University of Zanjan, Iran. Corresponding Author Email: Ghodousi_he@Yahoo.com
3 - Assistant Professor, Department of Water Engineering, BU-Ali Sina University, Hamedan, Iran. Email: K.shahverdi@basu.ac.ir