

تطبیق آزمایشگاهی مدل هیدرودینامیک FLDWAV برای کاربرد در کانال‌های آبیاری و زهکشی

حمید مقیم‌زاده^{۱*} - صلاح کوچک‌زاده^۲ - عاطفه پرورش ریزی^۳

تاریخ دریافت: ۸۹/۵/۲۷

تاریخ پذیرش: ۹۰/۸/۱

چکیده

مدل‌های هیدرودینامیک، ابزار مناسبی برای فهم رفتار هیدرولیکی در شبکه‌های بزرگ و پیچیده می‌باشند که می‌توانند عملکرد شبکه‌ها را مورد ارزیابی قرار داده و بهره‌برداری و مدیریت آنها را بهبود دهند. مدل FLDWAV یک مدل هیدرودینامیک با توانمندی بسیار گسترده بوده که اساساً برای کاربرد در رودخانه‌ها توسعه یافته است؛ اما شمول شیوه‌های مختلف روندیابی، تنوع شرایط مرزی قابل بررسی و در دسترس بودن کد مدل، کاربری آن را در بررسی جریان‌های غیرمادگار شبکه‌های آبیاری و زهکشی میسر می‌کند. هدف از تحقیق حاضر، آزمون و تطبیق نتایج مدل FLDWAV با داده‌های آزمایشگاهی بوده که به این منظور کانال دوزنقه‌ای طولی احداث گردید و به کمک داده‌های جمع‌آوری شده از آن، عملکرد مدل و امکان کاربری آن در شبکه‌های آبیاری و زهکشی بررسی گردید. دو هیدروگراف با ویژگی‌هایی متفاوت تولید و داده‌های آن با نتایج آزمون‌های متعدد مدل، برای شبیه‌سازی جریان غیرمادگار ایجاد شده در کانال، در شرایط بدون واسنجی و انجام واسنجی، مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج بدست آمده از انجام آزمون‌ها نشان داد که مدل FLDWAV قادر به شبیه‌سازی مناسب جریان غیرمادگار با دقت مطلوب بود و باز بودن کد مرجع این مدل امکانی را فراهم نمود تا بتوان مدل را برای شرایط مختلف موجود در مجموعه‌ی آزمایشگاهی تطبیق داد و با توجه به مزایای متعدد آن، کاربری آن در بهره‌برداری، بهسازی و بازسازی شبکه‌های آبیاری قابل توصیه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بهسازی و بازسازی، جریان غیرمادگار، شبکه‌های آبیاری، مدل هیدرودینامیک، FLDWAV

مقدمه

کنترلی روی این شبکه‌ها در کشورهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا به طور اجمال می‌توان به جاوید و همکاران (۲۰) در پاکستان، کاسکو و همکاران (۲۲) در ترکیه و کومار و همکاران (۲۱) در هندوستان اشاره نمود. در این زمینه بر روی شبکه‌های آبیاری در ایران نیز توسط تعدادی از محققین مطالعاتی صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان مطالعات عملکرد شبکه‌ی قوری چای (۳)، شبکه‌ی آبیاری قزوین (۷)، شبکه‌ی زاینده‌رود (۶)، شبکه‌ی دز (۵) و شبکه‌ی درودزن (۸) را نام برد. همچنین عیسی‌پور و همکاران (۱۷) با استفاده از مدل sobek، کارایی سیستم‌های کنترل یکی از کانال‌های شبکه‌ی آبیاری دز را مورد ارزیابی قرار دادند و دو روش کنترل را برای آن پیشنهاد کردند.

بررسی عملکرد یک روش بهره‌برداری در شبکه انتقال و توزیع آب تابع رفتار هیدرولیکی جریان در شبکه می‌باشد. از این رو ارزیابی کمی و دقیق عملکرد روش‌های بهره‌برداری، مستلزم تعیین رفتار هیدرولیکی جریان در شبکه در طول زمان می‌باشد. از سوی دیگر هیدرولیک جریان در یک شبکه متأثر از عواملی مانند نوع سیستم کنترل شبکه، ساختمان فیزیکی، نوع روش بهره‌برداری و بالاخره

در تعداد زیادی از شبکه‌های آبیاری و زهکشی در سطح جهان، به‌ویژه در کشورهای در حال رشد، عملکرد بهره‌برداری و توزیع آب مطلوب نمی‌باشد. با توجه به محدودیت منابع آب، تدابیر استفاده بهینه از آن در راس برنامه‌های اکثر کشورهای جهان قرار دارد. نامطلوب بودن عملکرد بهره‌برداری اغلب شبکه‌های موجود، سرمایه‌گذاری‌های کلانی که برای احداث این زیرساخت‌ها صرف شده، قدمت بسیاری از شبکه‌ها و عدم امکان جایگزینی آنها با شبکه‌های جدید به دلیل سرمایه‌گذاری‌های بسیار کلان، توجه و تأکید کارشناسان به سمت بازسازی و بهسازی^۴ بخش‌های سازه‌ای و غیر سازه‌ای شبکه‌ها معطوف شده است.

در چند دهه گذشته، عملکرد شبکه‌های آبیاری و سازه‌های

۱ و ۳ - به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استاد و استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

(Email: moghimzadeh@ut.ac.ir)

(* - نویسنده مسئول)

- تجاری بودن و هزینه قابل توجهی که برای تهیه مدل‌ها باید پرداخت.

در چنین شرایطی در دسترس بودن مدلی با کد باز^۲، حتی در صورت داشتن محدودیت، می‌تواند بسیاری از موانع و محدودیت‌ها را به تدریج و در طول بهره‌برداری رفع نماید.

مدل FLDWAV از جمله مدل‌های هیدرودینامیک با پیشینه قابل توجه بوده که دارای کد باز و در دسترس می‌باشد و باید عملکرد آن در مقایسه با داده‌های آزمایشگاهی و میدانی و قابلیت کاربری آن در شبکه‌ها آزمون شود.

مدل FLDWAV

این مدل توسط سرویس هواشناسی ملی آمریکا^۳ جهت شبیه‌سازی جریان غیرماندگار در مجاری طبیعی، توسعه داده شده است. ایده‌ی تدوین این مدل از دهه ۱۹۷۰ با تدوین مدل DAMBRK، که عمدتاً به منظور مدل‌سازی شکست سد توسعه یافته و مدل DWOPER، که کاربرد گسترده‌ای برای شبیه‌سازی خصوصیات فیزیکی رودخانه و شبیه‌سازی شبکه کانال‌ها دارد آغاز گردید. بعد از کاربرد موفقیت آمیز دو مدل فوق، ایده تلفیق و تکمیل این دو مدل، تحت عنوان FLDWAV مطرح و در اواخر دهه ۹۰ میلادی نسخه‌ی β آن در اختیار کاربران قرار گرفت (۱۵). این مدل جایگزین مدل‌های NWS DAMBRK و DWOPER شد و علاوه بر توانایی‌های هر دو مدل، شماهای حل هیدرولیکی جدید و شرایط مرزی متنوع‌تری در آن گنجانده شده است.

در این مدل معادلات حاکم بر جریان متغیر غیرماندگار در کانال، یعنی معادلات یک بعدی پیوستگی و اندازه حرکت سنت-وانانت، به کار گرفته شدند. این معادلات (پیوستگی و مومنتم) در شکل ابقایی با ترم‌های اضافی برای بیان تأثیر تغییرات سطح مقطع، پیچ و خم کانال و جریان‌های غیرنیوتنی می‌باشند و به صورت زیر می‌باشند (۱۵):

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial s_{c0}(A + A_0)}{\partial t} - q = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial (s_m Q)}{\partial t} + \frac{\partial (\beta Q^2 / A)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} + s_f + s_e + s_k \right) + L + W_f B = 0 \quad (2)$$

که در آن Q دبی جریان، s_c فاکتور سینوسی، A مساحت فعال سطح مقطع، A_0 مساحت غیرفعال مقطع، x فاصله‌ی طولی در مسیر رودخانه، t مدت زمان، q مقدار جریان ورودی یا خروجی در واحد فاصله‌ی طولی در مسیر کانال (علامت جریان ورودی مثبت و جریان خروجی منفی می‌باشد)، s_m فاکتور میزان سینوسی بودن مسیر، h تراز سطح آب، β ضریب تصحیح اندازه حرکت برای عدم یکنواختی توزیع

سیاست‌های مدیریتی اختصاص و تحویل آب می‌باشد. مطالعه اثر عوامل فوق بر هیدرولیک جریان، بدون استفاده از ابزارهای محاسباتی کارآمد غیرممکن است. گسترش کامپیوتر و روش‌های حل ریاضی امکان آن را فراهم نموده تا با توسعه مدل‌های ریاضی و بررسی طبیعت انتقالی جریان، بتوان اهداف فوق را از طریق شبیه‌سازی شبکه‌های آبیاری برآورده ساخت.

در طی دهه‌ی ۱۹۸۰ کمیته اجرایی، توسط انجمن مهندسين عمران آمریکا^۱ ASCE، به منظور ارزیابی مدل‌های شبیه‌سازی جریان غیرماندگار، برای مطالعه‌ی روش‌های کنترل کانال تشکیل شد. این کمیته اجرایی در ابتدا به توانایی مدل‌ها در شبیه‌سازی تراز آب و تغییرات جریان در سیستم کانال با تعداد زیادی دریاچه و سرریز علاقه‌مند شد. همه‌ی مدل‌های در دسترس به‌طور مناسب تراز سطح آب را در این کانال‌ها شبیه‌سازی می‌کردند. کلمنس (۱۱) نتایج این تحقیقات را که توسط این کمیته به دست آمده بود منتشر نمود؛ که در آن شرح مختصری در خصوص مدل‌های حل جریان غیر ماندگار، مانند MODIS، USM، CARIMA، CANAL، DUFLOW و USM آورده شده است.

در ادامه‌ی کار کمیته‌ی قبلی، کمیته‌ی جدیدی برای ارزیابی الگوریتم‌های کنترل کانال در ASCE تشکیل شد. تعداد زیادی الگوریتم کنترل در آن زمان ایجاد گردیده یا در حال گسترش بود. نتایج این کمیته نیز توسط کلمنس (۱۲) چاپ گردید. تحقیقات دیگری نیز در مورد شبیه‌سازی جریان انجام شده است؛ از جمله مالتز (۲۵) که از SIC استفاده کرد؛ مرکلی و والکر (۲۷) CANAL را آزمودند؛ لیو و همکاران (۲۴) از CASIM، دلتور و سانفیلیپو (۱۴) از SIC، بارت و همکاران (۱۰) از برنامه‌ی CANALCAD، لین و مانز (۲۳) از برنامه‌ی ICSS و کلمنس و همکاران (۱۲) از برنامه‌ی Mike 11 استفاده کردند.

مدل‌های فعلی که در شبکه‌ها کاربرد دارند در کنار امتیازات متعدد، دارای برخی معضلات از قبیل موارد زیر می‌باشند.

- ناتوانی در پذیرش شرایط اولیه کانال خشک در بسیاری از مدل‌ها، حالتی که در عمل در کانال‌های درجه ۳ و کوچکتر از آن وجود دارد.

- مدل‌ها شرایط مرزی محدودی را شبیه‌سازی می‌کنند و امکان افزودن شرایط مرزی فقط در برخی از مدل‌ها مثل SOBEK، CANALCAD و MIKE11 میسر است (۱۳).

- ناتوانی در حل شرایط جریان مختلط (جریان‌های زیر و فوق بحرانی).

- در دسترس نبودن کد مدل‌ها برای ایجاد تغییرات و شرایط مورد نظر

2- Open source

3- U. S. National weather service

1- American Society of Civil Engineers

سرعت، g شتاب گرانش، s_f شیب اصطکاکی مرزی سیلاب‌دشت یا کانال، SS_e شیب انقباض یا انبساط، s_k شیب اصطکاکی اضافی در ارتباط با پراکندگی ویسکوزیته‌ی داخلی سیالات غیرنیوتنی (مانند جریان‌های گل‌آلود)، B عرض بالایی سطح مقطع فعال در تراز سطح آب W_f, h ، تاثیر مقاومت باد روی سطح جریان و L اثر اندازه حرکت جریان‌های جانبی می‌باشد.

S_f شیب اصطکاکی مرزی و برابر است با:

$$S_f = \frac{n^2 |Q| Q}{\mu^2 A^2 R^{4/3}} = \frac{|Q| Q}{K^2} \quad (3)$$

که در این رابطه n ضریب مانینگ، R شعاع هیدرولیکی، K مجموع ضرائب انتقالی و μ فاکتور تبدیل واحد ها بوده و مقدار آن برای واحد انگلیسی برابر $1/49$ و برای واحد SI برابر ۱ می‌باشد.

مدل FLDWAV قادر به حل عددی معادلات بالا، از طریق تفاضل محدود ضمنی چهار نقطه‌ای که توسط آمین (۸) توسعه داده شده و در این مدل با یک سری از معادلات شرایط مرزی میانی ترکیب شده‌اند، می‌باشد. همچنین می‌تواند شبیه‌سازی جریان را با در نظر گرفتن طیف وسیعی از سازه‌های هیدرولیکی انجام دهد. این مدل علاوه بر روندیابی دینامیک، می‌تواند از روش ماسکینگام، ماسکینگام-کونژ، دیفیوژن و سینماتیک استفاده کند. علاوه بر این، یک الگوریتم کامل و موثر برای حل جریان‌های شاخه‌ای در رودخانه‌ها و شبکه‌ی کانال‌ها دارد.

مدل FLDWAV از سال ۱۹۹۹ که در اختیار کاربران قرار گرفت در تعدادی از پروژه‌های روندیابی سیل و بررسی شکست سد در سرتاسر دنیا مورد استفاده قرار گرفته است. در ایران، پرورش (۱) با استفاده از نسخه ۲ مدل FLDWAV طغیان‌های رودخانه‌ی کارون را مدل کرد و با استفاده از داده‌های در دسترس عملکرد آن را مطلوب گزارش نمود. شمسایی و موسوی (۲) از مدل FLDWAV برای تعیین هیدروگراف دبی خروجی ناشی از شکست سد و روندیابی سیلاب ناشی از آن در سد خاکی آیدوغموش، واقع در جنوب غرب میانه، استفاده نمودند. آنها از روش LPI، که یکی از الگوریتم‌های جدید برای شبیه‌سازی جریان غیرماندگار به روش چهار نقطه‌ای بوده و از روش‌های روندیابی موجود در FLDWAV می‌باشد، استفاده کردند. از کاربرد FLDWAV در نقاط دیگر می‌توان به مطالعات اندرسون و همکاران (۹) اشاره نمود که در یک کار آزمایشگاهی و عددی، با استفاده از یک الگوریتم ساده که ویژگی‌های هیدرولیکی سواحل همراه با پوشش گیاهی را مدل می‌کرد و با مدل FLDWAV ترکیب شده بود، تاثیر پوشش گیاهی سواحل رودخانه بر روی شکل و

سرعت هیدروگراف سیل را شبیه‌سازی نمودند. همچنین جیکوب و ویدرلی (۱۹) از این مدل برای شبیه‌سازی جریان در رودخانه‌ی شمال ایالت واشنگتن آمریکا و شکست سد در این ناحیه استفاده کردند.

مدل FLDWAV قادر است که شرایط اولیه را به صورت جریان ماندگار یا جریان غیرماندگار، از فایل ورودی که توسط کاربر تعریف می‌شود برای شروع محاسبات جریان غیرماندگار استفاده نماید. علاوه بر این، مدل قادر است که شرایط اولیه کانال مورد مطالعه را با استفاده از معادله‌ی مانینگ و شیب خط انرژی دوباره تولید نماید و مقادیر محاسبه شده را با داده‌های ورودی توسط کاربر مقایسه نموده و در صورت وجود برگشت آب، اثر آن را در محاسبات منظور کند.

مدل FLDWAV قادر به شبیه‌سازی درپچه‌های تنظیم، سرریزها، سازه‌های آبشار و مخازن می‌باشد. FLDWAV در زمینه‌ی شبیه‌سازی درپچه‌های تنظیم، قادر به شبیه‌سازی درپچه‌های تنظیم ثابت و درپچه‌هایی که مقدار ارتفاع و عرض بازشدگی آنها با زمان تغییر می‌کند، می‌باشد. شبیه‌سازی این درپچه‌ها به صورت جریان روزنه‌ای یا سرریزی با معادلات مخصوص به خود صورت می‌گیرد. علاوه بر آن، مدل قادر به واسنجی ضریب جریان عبوری از سرریز، با توجه به جدول مقادیر ارتفاع و بازشدگی درپچه در زمان‌های مختلف می‌باشد. FLDWAV شبیه‌سازی جریان بحرانی در آبشارها و مقاطع گذر سریع جریان را، اگر به‌وسیله‌ی اثرات برگشت آب مستغرق نشده باشند، با در نظر گرفتن آنها به صورت یک سد انجام می‌دهد. این مدل قادر است که برای شرایط مرزی بالادست جریان، از شرایط مخزن استفاده نماید. همچنین برای شرایط مرزی پایین‌دست نیز قادر است که شرایط جریان آبشار را در نظر بگیرد. این مدل برای شرایط مرزی پایین‌دست یک شرایط پیش‌بینی قرار داده است که می‌تواند بر اساس معادله‌ی مانینگ و شیب خط انرژی، شرایط مرزی پایین‌دست را در حین روندیابی برای هر گام زمانی تخمین بزند. مدل FLDWAV قادر به شبیه‌سازی تمامی شرایط مرزی غیرسازه‌ای که معمولاً برای شرایط مرزی بالادست و یا پایین‌دست استفاده می‌شوند، می‌باشد.

شرایط جریان در شبکه‌های آبیاری و زهکشی ممکن است زیر بحرانی، فوق بحرانی و یا ترکیبی از آنها باشد. FLDWAV قادر است که در مسیر مورد بررسی، هر کدام از شرایط جریان بیان شده در بالا را شبیه‌سازی کند. در FLDWAV برای شبیه‌سازی جریان مختلط از دو تکنیک مختلف، که شامل تکنیک LPI و تکنیک جریان دوگانه می‌باشد، استفاده می‌کند.

تعریف سطح مقاطع جریان در FLDWAV با وارد کردن عرض مقطع و تراز آن در فایل داده‌ها صورت می‌گیرد. چنین شرایطی برای مقاطع منظم شبکه‌های آبیاری بسیار مناسب می‌باشد. با توجه به خصوصیتی که برای مدل FLDWAV بیان گردید، به بررسی عملکرد مدل با داده‌های آزمایشگاهی پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

مجموعه‌ی آزمایشگاهی

برای دستیابی به اهداف تحقیق، مجموعه‌ی آزمایشگاهی در آزمایشگاه مرکزی گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران احداث شد. اجزای تشکیل‌دهنده‌ی مجموعه‌ی آزمایشگاهی شامل مخزن ذخیره اصلی، سامانه‌ی تغذیه‌ی کانال اصلی، سامانه‌ی تخلیه و سامانه و تجهیزات داده‌برداری می‌باشد و به ترتیبی که بیان شد در شکل ۱، پلان کلی آن ارائه شده است.

کانال اصلی مجموعه‌ی آزمایشگاهی به طول ۶۱/۵ متر ایجاد شده و دارای سطح مقطع دوزنقه‌ای به عرض کف ۳۰ سانتیمتر و شیب کف متوسط ۰/۰۰۱۰۱ بود. جهت تشکیل جریان غیر ماندگار در مجموعه‌ی آزمایشگاهی، از درایو تغییر سرعت الکتروموتور پمپ استفاده گردید. بدین منظور این وسیله قادر به تغییر دور پمپ به صورت‌های دلخواه و تشکیل هیدروگراف‌های مورد نظر بود. به منظور تعیین ارتفاع آب در داخل کانال آزمایشگاهی، از پیژومترهایی که به فاصله‌ی متوسط ۹۵ سانتیمتر از هم قرار داشت، استفاده شد. این پیژومترها در ۳ تابلوی جداگانه نصب شده بود و به‌منظور ثبت تغییرات ارتفاع پیژومترها، در مقابل هر یک از تابلوهای پیژومتری یک دوربین با کیفیت مناسب قرار داده شد که توسط آنها تغییرات رقوم سطح آب در پیژومترها ثبت گردید. در هر مرحله از انجام آزمایش، فیلم‌ها به عکس تبدیل شده، سپس عکس‌ها رقومی شده و داده‌های مورد نیاز (تراز سطح آب در محل هر یک از پیژومترها) استخراج شد. به‌منظور تعیین جریان ورودی به مجموعه‌ی آزمایشگاهی، از یک سرریز لبه تیز مستطیلی با فشردگی جانبی کامل که در مخزن ابتدای کانال اصلی نصب گردیده بود، استفاده شد. با واسنجی سرریز لبه تیز درجا و ثبت مقدار تراز سطح آب روی سرریز با استفاده از پیژومتری که بدین منظور در نظر گرفته شده بود، مقدار دبی ورودی به مجموعه‌ی آزمایشگاهی در تمام زمان‌ها در طول آزمایش تعیین شد. تعیین مقدار اولیه n مانینگ در کانال آزمایشگاهی، در شرایط جریان ماندگار و با استفاده از روش‌های تعیین نیمرخ سطح آب برای جریان متغیر تدریجی ماندگار و انجام چندین آزمایش برای دبی‌های مختلف و متوسط‌گیری از مقادیر n مانینگ به‌دست آمده، صورت پذیرفت.

آزمون مدل با داده‌های آزمایشگاهی

پارامترهای بررسی دقت و عملکرد مدل

ضوابط مورد استفاده برای مقایسه‌ی مقادیر مشاهداتی و محاسباتی برای آزمون‌های مختلف، با استفاده از روابط ارائه شده توسط جابرو و همکاران (۱۸) عبارتند از:

$$ME = \max |M_i - S_i| \quad (۴)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum (M_i - S_i)^2 \right]^{0.5} \times \left(\frac{100}{M} \right) \quad (۵)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (M_i - M)^2 - \sum_{i=1}^n (M_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (M_i - M)^2} \quad (۶)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n M_i - \sum_{i=1}^n S_i}{\sum_{i=1}^n M_i} \quad (۷)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (M_i - S_i) \quad (۸)$$

که در آن M_i مقادیر مشاهداتی، S_i مقادیر شبیه‌سازی شده و M میانگین مقادیر مشاهده‌ای می‌باشد.

مفاهیم فیزیکی پارامترهای به‌کار رفته در ارزیابی نتایج به این ترتیب است که ME، ماکزیمم خطای مطلق بین جفت داده‌های مشاهداتی و محاسباتی را نشان می‌دهد و بهترین مقدار برای آن صفر می‌باشد، RMSE مجذور مربعات خطای میانگین بوده که درصدی از تفاوت‌های کلی بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده را به صورت نسبی از میانگین مقادیر مشاهده‌ای نشان می‌دهد و بهترین مقدار برای آن صفر می‌باشد. EF تأثیر مدل بوده و مقداری برای ارزیابی دقت شبیه‌سازی است و حداکثر مقدار آن ۱ می‌باشد و هنگامی که مقادیر شبیه‌سازی شده کاملاً با مقادیر مشاهداتی انطباق داشته باشند اتفاق می‌افتد، CRM ضریب مجموع باقیمانده‌ها بوده که نشان دهنده‌ی خطاهای پیوسته در توزیع همگی مقادیر شبیه‌سازی در تمام اندازه‌گیری‌ها، بدون در نظر گرفتن درجه اندازه‌گیری می‌باشد و مقدار آن در بهترین حالت صفر است و MAE قدر مطلق میانگین می‌باشد که ممکن است مثبت یا منفی باشد. مقادیر منفی نشان می‌دهد که مدل مقادیر کمتری را از مقادیر مشاهداتی شبیه‌سازی کرده و مقادیر مثبت نشان می‌دهد که مدل مقادیر بیشتری را از مقادیر مشاهداتی شبیه‌سازی کرده است. در هر حال بهترین مقدار برای MAE صفر می‌باشد.

تطبیق مدل برای کانال آزمایشگاهی

با توجه به اینکه مقیاس کاربری اولیه مدل FLDWAV برای مقاطع بسیار بزرگ بود، نتایج و اعدادی که در دستورهای مقایسه در

- 1- Maximum Error
- 2- Root Mean Square Error
- 3- Modelling Efficiency
- 4- Coefficient of Residual Mass
- 5- Mean Absolute Error

ترمها را کاهش داده و به این ترتیب مانع از ناپایداری گردد. این تکنیک برای شرایطی که عدد فرود بیشتر از ۱ می‌باشد (شرایط جریان فوق بحرانی) ترم‌های ذکر شده را حذف کرده و در نتیجه روندیابی را با روش موج پخشیدگی ادامه می‌دهد (۱۶).

واسنجی مدل با تغییر مقدار ضریب اصطکاکی (n مانینگ) تعریف شده در هر یک از مقاطع عرضی، در بازه‌ی مورد بررسی و در شرایط جریان غیرماندگار انجام شد. بدین منظور با استفاده از نتایج به‌دست آمده از آزمون بالا برای هیدروگراف (الف) و انطباق مقادیر مشاهداتی و محاسبه شده توسط مدل برای ۸ مقطع و تغییر مقادیر ضریب زبری در کل مقاطع در بازه‌ی مورد بررسی، بهترین شبیه‌سازی که مدل می‌توانست برای این هیدروگراف انجام دهد تعیین شد. مقادیر n مانینگ جدید بین ۰/۰۰۹ تا ۰/۰۱۳ در طول بازه‌ی مورد بررسی به‌دست آمد.

در مرحله‌ی بعد، برای آزمون توانایی مدل در شبیه‌سازی شرایط هیدروگراف‌های دیگر و توانایی شبیه‌سازی مدل در اندازه‌ی گام‌های زمانی کوچکتر، هیدروگراف با شکل پیچیده‌تری مورد بررسی قرار گرفت که دارای شیب بالارونده‌ی تند بود. شکل ۳ نمایی از این هیدروگراف را نشان می‌دهد.

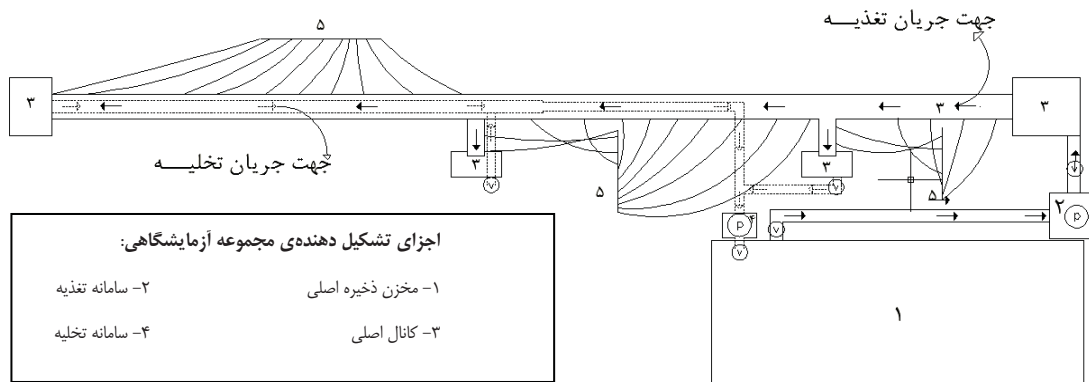
بدین منظور در این آزمون از فایل ورودی، شامل تعداد سطح مقطع و طول مسیر مشابه آزمون قبل و هیدروگراف (ب) استفاده شد. در این آزمون گام‌های مکانی در حدود ۱ متر و گام‌های زمانی ۱ ثانیه در نظر گرفته شد. مقدار ضریب وزنی پرایزمن ۰/۶ و به منظور روندیابی از تکنیک LPI استفاده گردید. در مرحله‌ی بعد این آزمون، به منظور صحت‌سنجی واسنجی انجام شده بر روی مدل، مقادیر به‌دست آمده n مانینگ حاصل از واسنجی هیدروگراف (الف)، در شبیه‌سازی هیدروگراف (ب) مورد استفاده قرار گرفت.

درون مدل به کار رفته بود قابلیت کاربری در مقیاس آزمایشگاهی را نداشت. به همین دلیل تغییرات لازم در این خصوص در کد مدل ایجاد گردید. یکی از مشکلاتی که در کد مرجع FLDWAV وجود داشت این بود که برای بیشتر از ۱۶ ایستگاه، مقادیر شبیه‌سازی را نشان نمی‌داد. این مشکل در کد نویسی برنامه بود که با تغییراتی در کد مرجع برنامه، برای هر تعداد ایستگاه هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده در فایل خروجی چاپ شد.

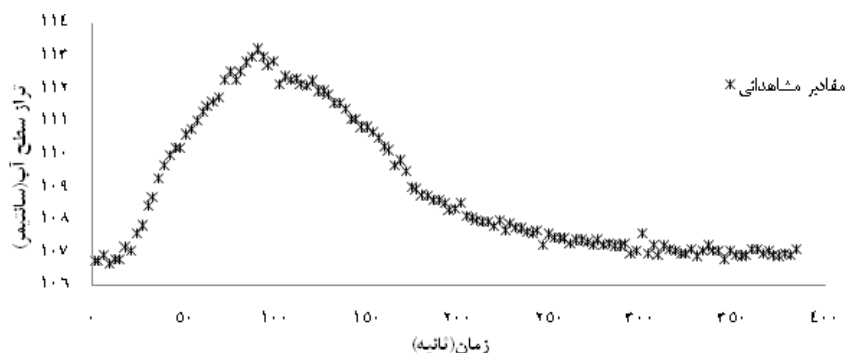
انواع هیدروگراف‌ها و نحوه‌ی آزمون مدل

برای آزمون مدل، دو نوع هیدروگراف مختلف ایجاد گردید. شرایط اولیه‌ی ورودی مدل، دبی پایه‌ی هیدروگراف‌ها و شرایط مرزی بالادست و پایین‌دست، تغییرات سطح آب در ابتدا و انتهای مسیر مورد بررسی در کانال آزمایشگاهی بود. در ابتدا برای آزمون مدل از دیدگاه توانایی شبیه‌سازی آن برای شبکه‌ی کانال با مقاطع کوچک و روندیابی جریان با گام‌های زمانی و مکانی کوچک، در مجموعه‌ی آزمایشگاهی هیدروگرافی با شکل ساده و شبیه به هیدروگراف‌هایی که در رودخانه‌ها تشکیل می‌شود، تولید گردید که در شکل ۲ نشان داده شده است.

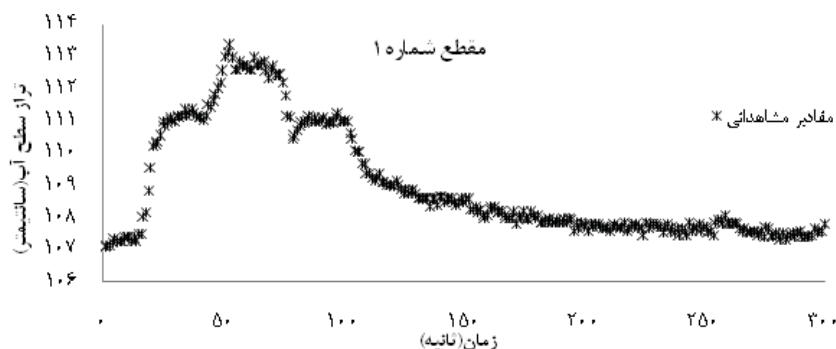
برای آزمون مدل با استفاده از شرایط هیدروگراف (الف)، فایلی شامل تعداد ۷۰ سطح مقطع در مسیری از جریان به طول ۵۴/۰۵ متر، برای ورود به FLDWAV ایجاد گردید که هدف از آن بررسی توانایی مدل در شبیه‌سازی مجموعه‌ی آزمایشگاهی، از لحاظ اندازه‌ی مقطع و اندازه‌ی گام‌های محاسباتی بود. بر این اساس، ساده‌ترین فرضیات برای حل مدل مورد استفاده قرار گرفت. در این آزمون گام‌های مکانی در حدود ۱ متر و گام‌های زمانی هر ۳ ثانیه در نظر گرفته شد. مقدار ضریب وزنی پرایزمن ۰/۶ و به منظور روندیابی از تکنیک LPI استفاده گردید. تکنیک LPI، با وزن‌دهی به ترم‌های اینرسی یا دو ترم اول معادله‌ی ۲، می‌تواند در مقاطعی از مسیر که شبیه‌سازی با روش دینامیک باعث ناپایداری در حل می‌شود تأثیر این



شکل ۱- پلان کلی از مجموعه آزمایشگاهی



شکل ۲- مقادیر مشاهداتی هیدروگراف ورودی (الف)



شکل ۳- مقادیر مشاهداتی هیدروگراف ورودی (ب)

معادلات سنت-ونانت به روش دینامیک، به خاطر در نظر گرفتن ترم‌های اینرسی در معادلات مومنتم، پایداری عددی کمتری نسبت به روش پخشیدگی که این دو ترم را در نظر نمی‌گیرد، حاصل شود (۲۹). بر این اساس در این آزمون از تکنیک LPI، که یک روش بینابینی در روندیابی جریان غیرماندگار است، استفاده گردید. مقایسه‌ی بین مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل و مشاهداتی، بدون اعمال واسنجی، در جدول ۱ نشان داده شد.

مقایسه‌ی نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل با مقادیر آزمایشگاهی، با استفاده از ۶ ایستگاه در بازه‌ی مورد بررسی که در فاصله‌ی حدود ۱۰ متر از هم بودند، انجام شد. این ایستگاه‌ها به‌خوبی شرایط حاکم بر شبیه‌سازی را نشان می‌دادند.

در اولین آزمون، شرایط شبیه‌سازی هیدروگراف (الف) توسط مدل مورد بررسی قرار گرفت. شرایط کف کانال آزمایشگاهی به‌گونه‌ای بود که در برخی نقاط میانی، شیب کف دارای نوسانات زیادی بود و این باعث ناپایداری در حل معادلات جریان غیر ماندگار توسط مدل می‌شد. وجود ناهمواری در کف کانال باعث می‌شود که در حل

جدول ۱- مقایسه مقادیر مشاهداتی و مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل برای هیدروگراف (الف) بدون اعمال واسنجی

ایستگاه‌ها	ME(cm)	RMSE	EF	CRM	MAE
مقطع شماره ۱۱	۰/۶۸۷	۰/۱۹۲	۰/۹۹۲	۰	۰/۱۴۷
مقطع شماره ۲۱	۱/۱۳۵	۰/۴۴۱	۰/۹۵۱	۰/۰۰۳	۰/۳۸۴
مقطع شماره ۳۱	۱/۴۵۴	۰/۷۴۲	۰/۸۵۸	۰/۰۰۷	۰/۷۰۹
مقطع شماره ۴۱	۱/۷۳۱	۰/۹۸۹	۰/۷۴۵	۰/۹۵۱	۰/۰۰۹
مقطع شماره ۵۱	۱/۲۰۵	۰/۴۵۶	۰/۹۴۱	۰/۰۰۴	۰/۴۱۰
مقطع شماره ۶۱	۰/۸۱۶	۰/۴۲۰	۰/۹۴۴	۰/۰۰۳	۰/۴۰۱

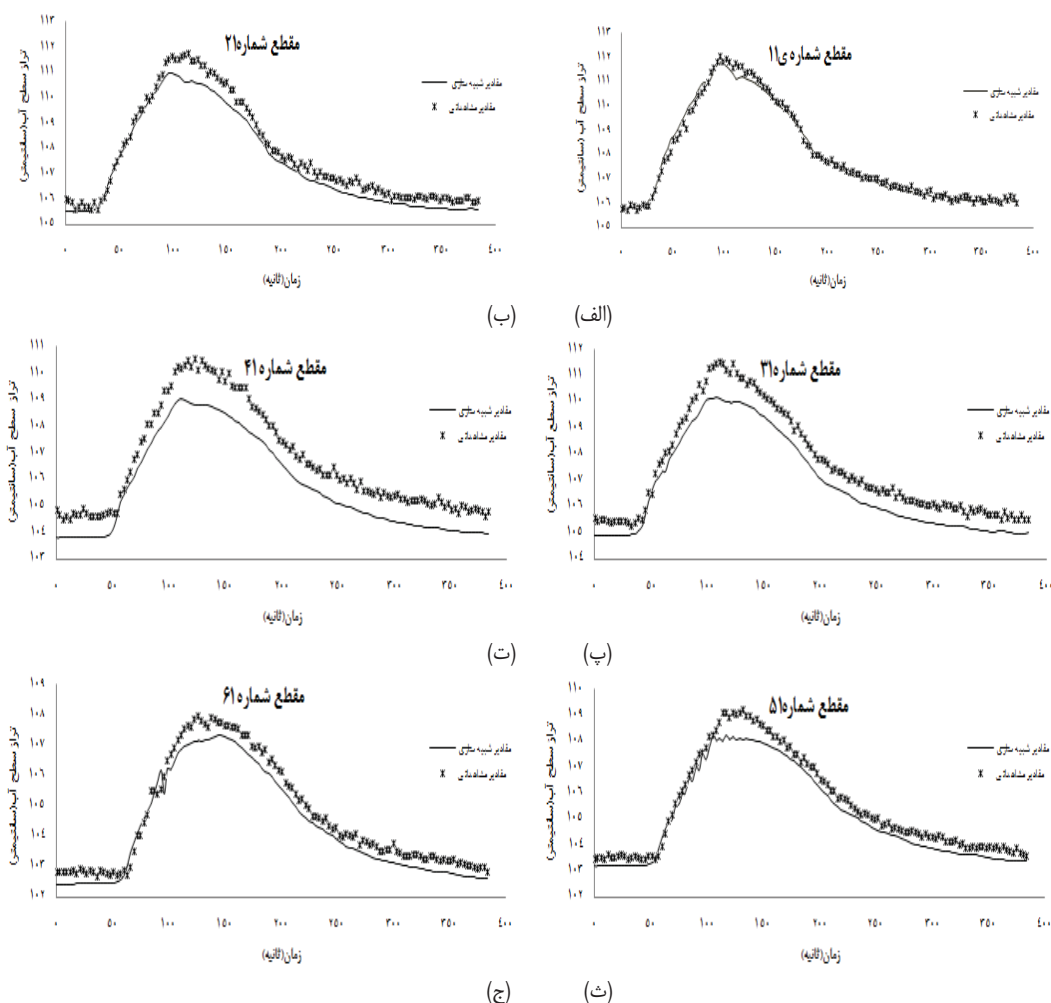
ضریب انتقال در شبیه‌سازی بیشتر نمایان شده است. با توجه به کاربرد ضریب n مانینگ معادل، که از بررسی‌های جریان ماندگار به-دست آمده است، به نظر می‌رسد که عدم انطباق مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی قابل توجیه می‌باشد.

در ادامه‌ی آزمون مدل FLDWAV با استفاده از هیدروگراف (الف)، واسنجی مدل با استفاده از این هیدروگراف انجام شد. جدول ۲ و شکل‌های ۵-الف تا ۵-ج نتایج مقایسه‌ی مقادیر مشاهداتی و مقادیر شبیه‌سازی شده، بعد از اعمال واسنجی را نشان داده است.

جدول ۲ و شکل‌های ۵-الف تا ۵-ج، انطباق بسیار مطلوب مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل با اعمال واسنجی را با مقادیر مشاهده‌ای نشان داد. نتایج بدست آمده نشان داد که واسنجی اعمال شده تا حدی دقت شبیه‌سازی در مقاطع اولیه (شکل ۵-الف) را کاهش داده است؛ ولی این کاهش ناچیز بوده و با توجه به افزایش دقت در دیگر مقاطع، معنی‌دار نبود. برای مقاطع میانی مشاهده شد که واسنجی انجام شده تا حد بالایی باعث افزایش انطباق مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل و مقادیر مشاهداتی شد.

جدول ۱ نشان داد که انطباق خوبی بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل وجود داشته و در آن، برای ایستگاه‌های نزدیک به مقاطع ابتدایی و انتهایی، پارامتر EF نزدیک به ۱ و پارامترهای ME، RMSE، CRM و MAE نزدیک به صفر بود. در این جدول، مقادیر مقایسه‌ای برای ایستگاه‌های میانی، انطباق کمتر مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده را نشان داد.

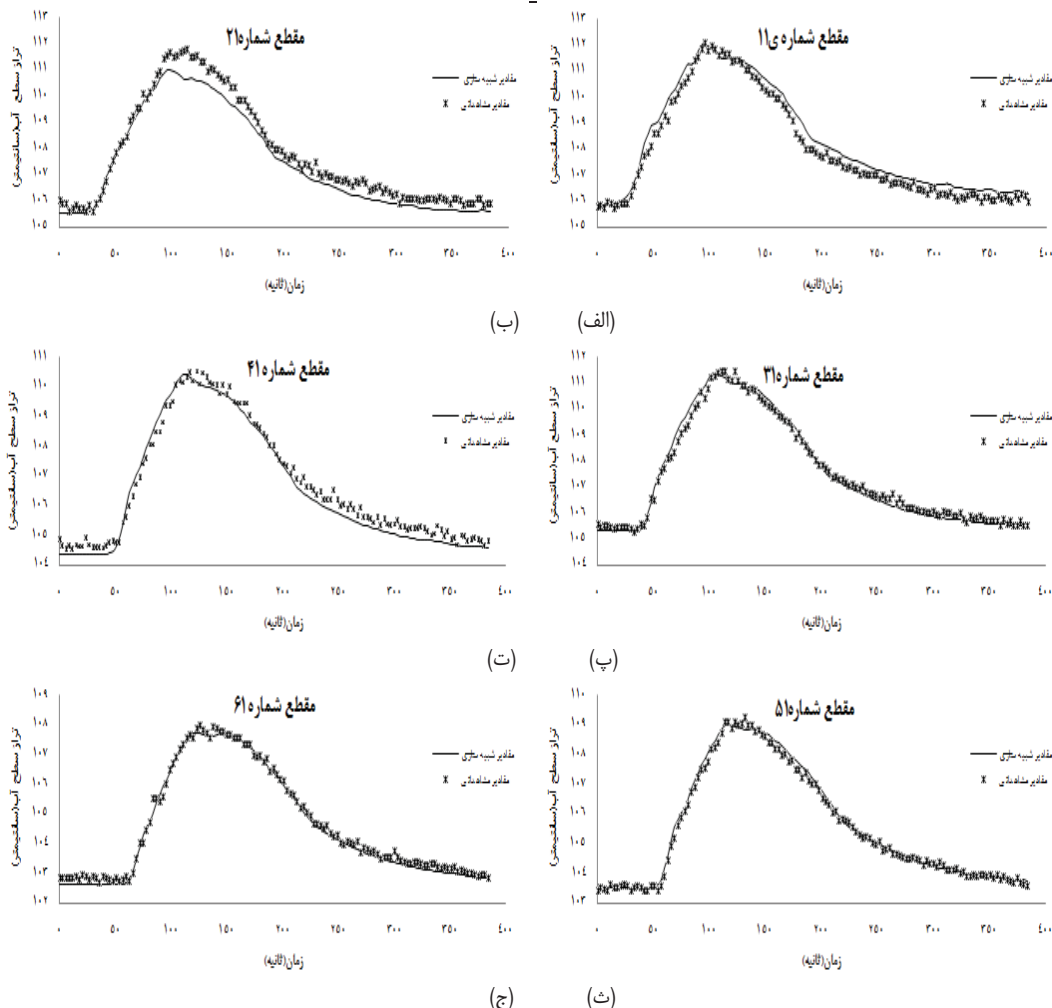
شکل‌های ۴-الف تا ۴-ج مقایسه بین شکل هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای هیدروگراف (الف)، بدون اعمال واسنجی را نشان می‌دهد. با توجه به شیب کف در مقاطع میانی خروجی از مدل FLDWAV نشان داد که مدل در نواحی میانی مجموعه، از روندیابی موج پخشیدگی استفاده کرده که این باعث کاهش دقت محاسبات شده است. در مقاطع نزدیک به ابتدا و انتهای کانال، مقادیر شبیه‌سازی متأثر از شرایط مرزی بالادست و پایین‌دست می‌باشد و بر این اساس محاسبات با دقت بالاتری انجام شده است؛ ولی هرچه در شبیه‌سازی از ابتدا و انتهای کانال فاصله گرفته شده، شرایط فیزیکی حاکم بر حل مانند شرایط شیب کف کانال و مقادیر



شکل ۴- هیدروگراف مقادیر مشاهداتی و مقادیر شبیه‌سازی شده برای هیدروگراف (الف) بدون اعمال واسنجی

جدول ۲- مقایسه مقادیر مشاهداتی و مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل برای هیدروگراف (الف) با اعمال واسنجی

ایستگاه‌ها	ME(cm)	RMSE	EF	CRM	MAE
مقطع شماره ۱۱	-۰/۸۳۸	-۰/۳۴۹	۰/۹۷۳	-۰/۰۰۳	۰/۳۰۸
مقطع شماره ۲۱	-۰/۱۳۵	-۰/۴۴۱	۰/۹۵۱	۰/۰۰۳	-۰/۳۸۴
مقطع شماره ۳۱	-۰/۵۷۸	-۰/۲۱۳	۰/۹۸۸	۰	-۰/۱۷۴
مقطع شماره ۴۱	-۰/۶۸۷	-۰/۲۹۹	۰/۹۷۷	۰/۲۶۵	-۰/۰۰۲
مقطع شماره ۵۱	-۰/۴۰۱	-۰/۱۴۸	۰/۹۹۴	۰/۰۰۱	-۰/۱۱۷
مقطع شماره ۶۱	-۰/۴۳۴	-۰/۱۶	۰/۹۹۲	۰/۰۰۱	-۰/۱۳۴



شکل ۵- هیدروگراف مقادیر مشاهداتی و مقادیر شبیه‌سازی شده برای هیدروگراف (الف) با اعمال واسنجی

مقایسه‌ی آماری بین مقادیر مشاهداتی و محاسبه شده توسط مدل، ارائه شده در جدول ۳ و شکل‌های ۶-الف تا ۶-ت برای مقاطع ۱۱ تا ۴۱، نشان می‌دهد هیچ‌گونه ناپایداری در این قسمت از شبیه‌سازی رخ نداده است و دقت شبیه‌سازی در حد قابل قبول بوده است؛ ولی در مقاطع انتهایی، مانند مقطع ۶۱ با اینکه نتایج RMSE و EF در حد مطلوب بود اما میزان حداکثر خطا در شبیه‌سازی، وجود عدم پایداری در شبیه‌سازی انجام شده توسط مدل برای مقطع ۶۱ را نشان داد.

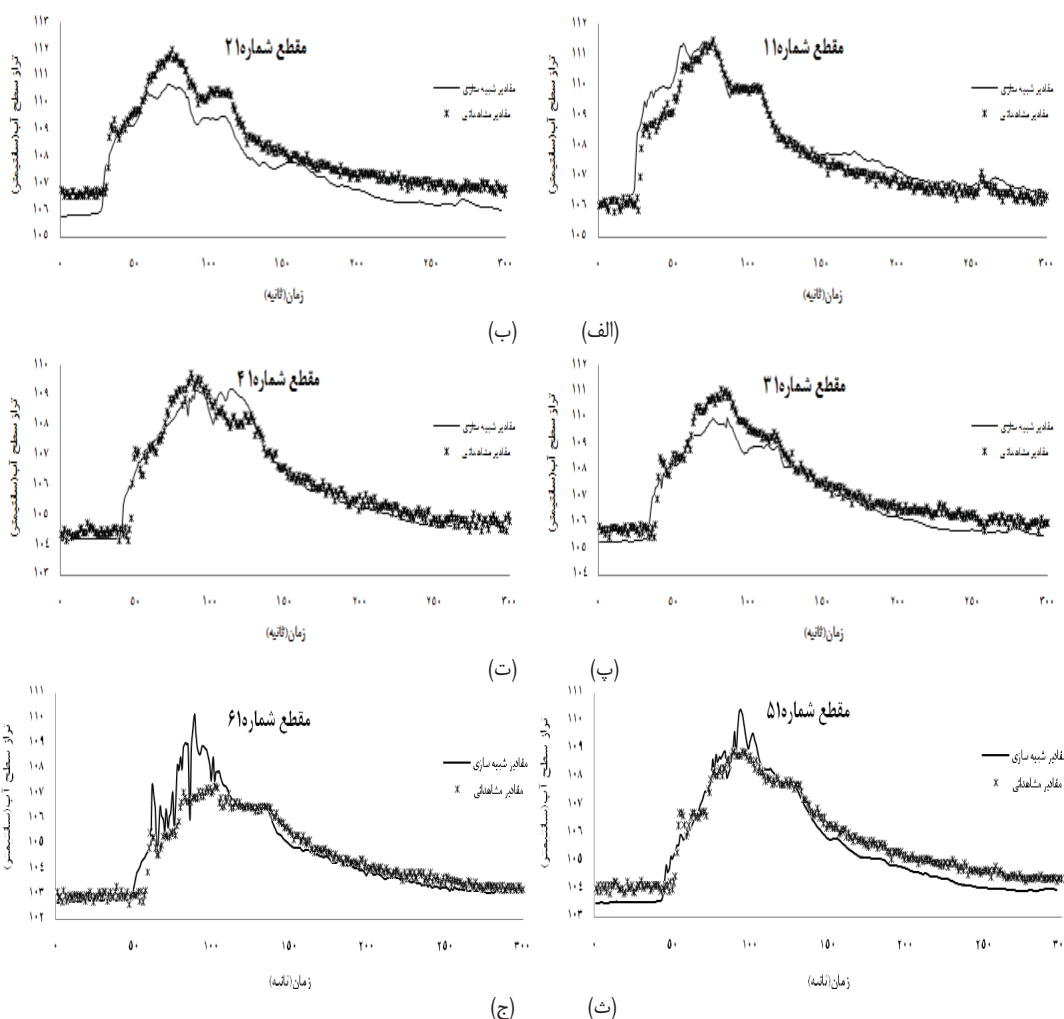
برای هیدروگراف (ب) نیز با توجه به تفاوت شرایط هیدروگراف مشاهداتی (ب) با هیدروگراف (الف)، شرایط آزمون اول برای این هیدروگراف دوباره توسط مدل اجرا گردید. با توجه به شیب زیاد تغییرات در شاخه‌ی بالارونده این هیدروگراف، از گام‌های زمانی ۱ ثانیه برای شبیه‌سازی استفاده گردید. مدل برای شرایط مسیر در نظر گرفته شده، با استفاده از تکنیک LPI توانست شبیه‌سازی هیدروگراف (ب) را انجام دهد. نتایج مقایسه‌ی بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی توسط مدل در جدول ۳ و شکل‌های ۶-الف تا ۶-ج نشان داده شده است.

جدول ۳- مقایسه مقادیر مشاهداتی و مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل برای هیدروگراف (ب) بدون اعمال واسنجی

ایستگاه‌ها	ME(cm)	RMSE	EF	CRM	MAE
مقاطع شماره ۱۱	۱/۳۸۸	۰/۲۸۸	۰/۹۶۸	۰/۰۰۵	۰
مقاطع شماره ۲۱	۱/۳۱۵	۰/۷۳۶	۰/۷۷۷	۰/۰۱۳	۰/۰۰۳
مقاطع شماره ۳۱	۱/۶۸۳	۰/۵۴۲	۰/۸۸۱	۰/۰۱	۰/۰۰۲
مقاطع شماره ۴۱	۱/۶۸۴	۰/۴	۰/۹۳۵	۰/۰۰۷	۰
مقطع شماره ۵۱	۱/۶۲۳	۰/۵۲۵	۰/۸۷۷	۰/۰۰۹	۰/۰۰۱
مقاطع شماره ۶۱	۳/۲۴۲	۰/۷	۰/۷۴۴	۰/۰۰۶	۰

هیدروگراف (ب) در مقاطع انتهایی زیاد بود. ناپایداری‌های رخ داده در شبیه‌سازی هیدروگراف (ب) به علت شکل خاص هیدروگراف بود که در آن شیب شاخه‌ی بالارونده خیلی تند بوده و تغییرات دبی در واحد زمان سریع اتفاق افتاد و با توجه به این تغییرات سریع، ترم اینرسی در معادله‌ی مومنتوم ناپایداری‌های زیادی را ایجاد کرد.

علاوه بر آن، شکل‌های ۶-ج و ۶-ث نیز این عدم پایداری در شبیه‌سازی انجام شده توسط مدل را که در شاخه‌ی صعودی هیدروگراف در مقطع ۶۱ و تا حدودی برای مقطع ۵۱ رخ داد نشان داده است. نتایج شبیه‌سازی هیدروگراف (ب) در مقایسه با هیدروگراف (الف) دقت کمتری داشت و مقادیر خطا در شبیه‌سازی برای



شکل ۶- هیدروگراف مقادیر مشاهداتی و مقادیر شبیه‌سازی شده برای هیدروگراف (ب) بدون اعمال واسنجی

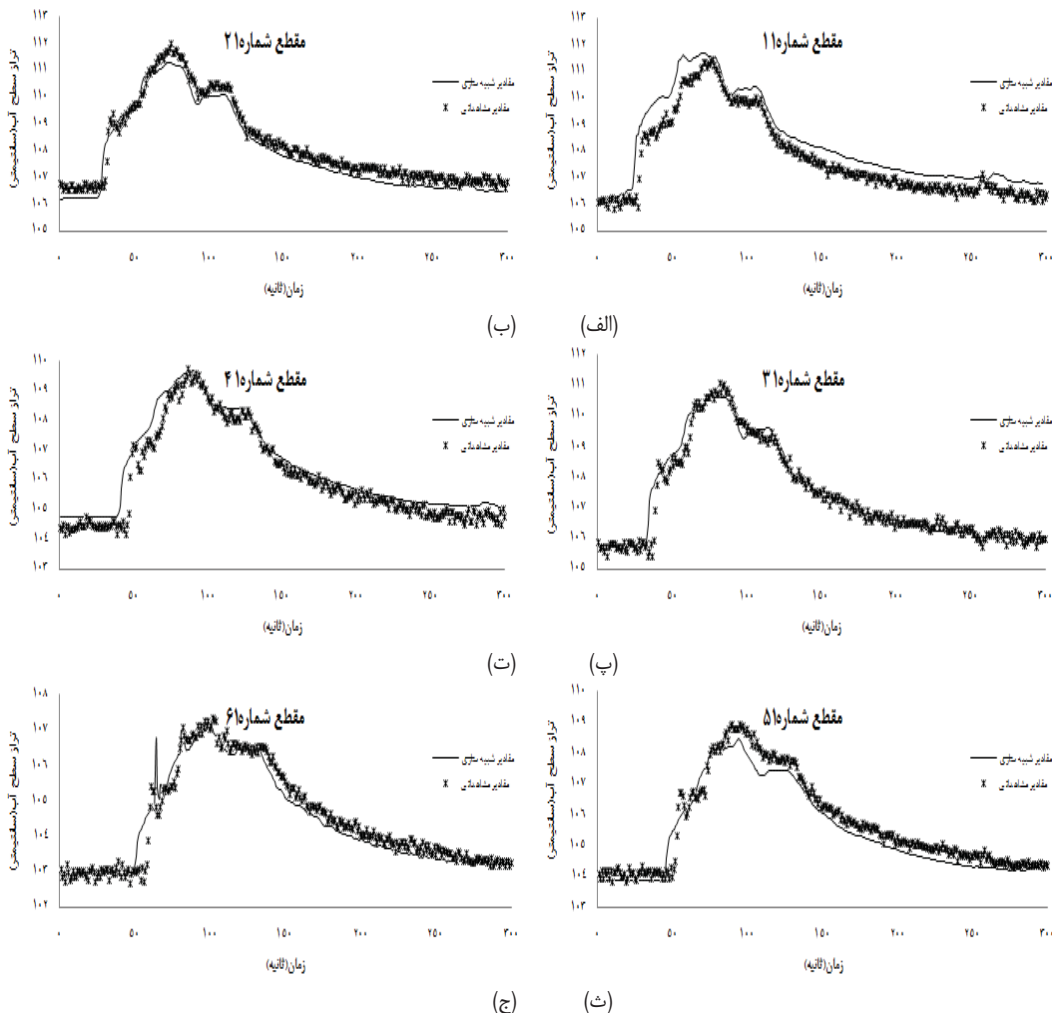
شرایط مرزی بالادست روی این ایستگاه بود. ولی در مقابل دقت شبیه‌سازی برای تمامی ایستگاه‌های دیگر افزایش یافت که این نشان دهنده‌ی صحت واسنجی انجام شده می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به منظور آزمون مدل هیدرودینامیک FLDWAV، از دو هیدروگراف مختلف ایجاد شده در مجموعه‌ی آزمایشگاهی با شرایطی نزدیک به شبکه‌های آبیاری استفاده شد. نتایج اولیه به‌دست آمده از اجرای مدل بدون انجام واسنجی نشان داد که مدل قادر به شبیه‌سازی شرایط فیزیکی مجموعه‌ی آزمایشگاهی و هیدروگراف‌های در نظر گرفته شده می‌باشد. به‌منظور واسنجی مدل از تغییرات n مانینگ در مسیر مورد بررسی استفاده شد و واسنجی مدل با استفاده از هیدروگراف (الف) صورت پذیرفت.

نتایج به‌دست آمده از اعمال واسنجی انجام شده بر روی مدل با استفاده از هیدروگراف (الف)، انطباق بالای مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل با مقادیر مشاهده‌ای را برای هیدروگراف (الف) نشان داد. برای کنترل واسنجی انجام شده بر روی مدل، شبیه‌سازی هیدروگراف (ب) با استفاده از مقادیر n مانینگ حاصل از واسنجی توسط مدل انجام شد. نتایج به‌دست آمده از اعمال واسنجی و مقایسه‌ی مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل در جدول ۴ و شکل‌های ۷-الف تا ۷-ج نشان داده شده است.

مقایسه‌ی جدول ۳ با جدول ۴ نشان می‌دهد که اعمال مقادیر واسنجی به‌دست آمده از هیدروگراف (الف)، منجر به افزایش دقت شبیه‌سازی مدل برای هیدروگراف (ب) شده و مدل برای تمامی ایستگاه‌ها، مقادیر قابل قبولی را شبیه‌سازی نموده است. با توجه به جدول ۴، با اعمال واسنجی دقت شبیه‌سازی در ایستگاه ۱۱ کاهش پیدا کرد که البته مقدار آن چندان زیاد نبود و دلیل آن کاهش تأثیر



شکل ۷- هیدروگراف مقادیر مشاهداتی و مقادیر شبیه‌سازی شده برای هیدروگراف (ب) با اعمال واسنجی

جدول ۴- مقایسه مقادیر مشاهداتی و مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل برای هیدروگراف (ب) با اعمال واسنجی

ایستگاه‌ها	ME(cm)	RMSE	EF	CRM	MAE
مقاطع شماره ۱۱	۱/۵۲	۰/۴۲۷	۰/۹۳۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱
مقاطع شماره ۲۱	۰/۴۵۳	۰/۳۷۹	۰/۹۴۱	۰/۰۰۹	۰/۰۰۱
مقاطع شماره ۳۱	۲/۲۱۷	۰/۳۲۸	۰/۹۵۶	۰/۰۰۶	.
مقاطع شماره ۴۱	۲/۳۲۸	۰/۴۶۸	۰/۹۱۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲
مقطع شماره ۵۱	۱/۴۷۲	۰/۴۰۵	۰/۹۲۶	۰/۰۰۹	۰/۰۰۱
مقاطع شماره ۶۱	۱/۹۳۹	۰/۳۴۷	۰/۹۳۷	۰/۰۰۸	.

به علت محیط نامناسبی که برای ورود پارامترهای مورد نیاز در حل دارد، عدم نمایش نتایج خروجی از مدل در محیطی گرافیکی و اینکه این مدل تنها برای شبیه‌سازی جریان غیر ماندگار در بازه‌ی مورد بررسی به کار برده شده و دارای قسمت جداگانه‌ای برای شبیه‌سازی جریان ماندگار نمی‌باشد، اشاره کرد.

سپاسگزاری

این پژوهش در راستای مأموریت‌های قطب علمی ارزیابی و بهسازی شبکه‌های آبیاری و زهکشی انجام شده است. بدین‌وسیله از حمایت‌های قطب یاد شده، شرکت مدیریت منابع آب ایران و معاونت پژوهشی دانشگاه صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

برای صحت‌سنجی واسنجی انجام شده، نتایج به‌دست آمده در شبیه‌سازی هیدروگراف دوم مورد استفاده قرار گرفت. نتایج اعمال واسنجی، شبیه‌سازی بسیار خوب مدل برای شرایط هیدروگراف‌های در نظر گرفته شده را نشان داد. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که این مدل به‌خوبی قادر به شبیه‌سازی جریان غیر ماندگار در مجموعه‌ی آزمایشگاهی است و باز بودن کد مرجع مدل، امکانی را فراهم می‌نماید تا بتوان مدل را برای شرایط مختلف موجود در مجموعه‌ی آزمایشگاهی تطبیق داد و با توجه به مزایای متعدد آن، کاربری آن در بهره‌برداری، بهسازی و بازسازی شبکه‌های آبیاری قابل توصیه می‌باشد. قابل ذکر است که این مدل نواقصی دارد که از آن جمله می‌توان به عدم توانایی مدل برای شبیه‌سازی شرایط اولیه خشک برای بازه‌ی مورد بررسی، مشکلات زیاد در فایل ورودی داده‌ها

منابع

- ۱- پرورش ریزی ع. ۱۳۷۹. آزمون و تطبیق مدل هیدرودینامیک FLDWAV. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران.
- ۲- شمسایی ا. و موسوی ش. ۱۳۸۳. تخمین پارامترهای شکست سدهای خاکی و روندیابی سیلاب ناشی از آن. اولین کنگره ی مهندسی عمران. دانشگاه صنعتی شریف.
- ۳- کوچک زاده ص.، منعم م. و کسب دوز ش. ۱۳۷۸. تعیین مناسبترین گزینه توزیع آب در شبکه آبیاری (مطالعه موردی شبکه آبیاری قوری چای). مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۳۰، شماره ۲، صفحات ۳۷۸-۳۶۹.
- ۴- محسنی موحد ا. و منعم م.ج. ۱۳۸۶. معرفی یک مدل ریاضی جدید برای ارزیابی و بهینه سازی عملکرد کانال‌های آبیاری. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد یازدهم. شماره ۴۰.
- ۵- منعم م. ۱۳۸۵. بررسی شبیه سازی عملکرد دریاچه های کنترل کانالها با استفاده از مدل هیدرودینامیک. مجله دانشکده فنی دانشگاه تبریز. جلد ۳۲، شماره ۳.
- ۶- منعم م.، علیرضایی م.ر. و صالحی ا. ۱۳۸۱. ارزیابی عملکرد بهره برداری از شبکه های آبیاری به روش تحلیل پوششی داده ها (DEA). علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد ششم. شماره ۴.
- ۷- منعم م. و همکاران. ۱۳۷۹. ارزیابی عملکرد شبکه آبیاری قزوین با استفاده از مدل. دهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. تهران. صفحات ۱۵۵-۱۶۷.
- 8- Amein M. 1968. An Implicit method for numerical flood routing. J. Water Resources Research. Vol. 4(4). pp. 719-726.
- 9- Anderson B.G., Rutherford I.D., and Western A.W. 2005. An analysis of the influence of riparian vegetation on the propagation of flood waves. Environmental Modelling & Software 21 (2006) 1290e1296.
- 10- Burt C.M., Mills R.S., Khalsa R.D., and Ruiz C.V. 1998. Improved proportional-integral (PI) logic for canal automation. J. Irrig. Drain. Eng. 124(1). 53-57.
- 11- Clemmens A.J. 1993. Editorial on canal system hydraulic modeling. J. Irrig. Drain. Eng. 119(4). 613-614.

- 12- Clemmens A.J., Bautista E., and Strand R.J. 1997. Canal automation pilot project, Phase I Report. WCL Rep. No. 22. United States Water Conservation Laboratory. Phoenix. Ari.
- 13- Clemmens et al. 2005. Simulation of Automatic Canal Controls Systems. J. Irrig. Drain. Engg. August 1.
- 14- Deltour J.L., and Sanfilippo F. 1998. Introduction of the Smith predictor into dynamic regulation. J. Irrig. Drain. Eng., 124(1).47–52.
- 15- Fread D.L. 1998. NWS FLDWAV model: Theoretical Description. Hydrologic research Laboratory. Office of Hydrology, National Weather Service. NOAA
- 16- Fread D.L., Jin M., and Lewis J.M. 1996. An LPI Numerical Implicit Solution for Unsteady Mixed-Flow Simulation. North American Water and Environment Congress '96. ASCE. Anaheim. California. June 22-28.
- 17- Isapoor S., Montazar A., Van Overloop P.J., And Van de Giesen N. 2009. DESIGNING AND EVALUATING CONTROL SYSTEMS OF THE DEZ MAIN CANAL. Irrig. and Drain. DOI: 10. 1002/ird. 545.
- 18- Jabro J.D., Toth J.D., and Fox R.H. 1998. Evaluation and comparison of five simulation models for estimating water drainage fluxes under corn. Journal of Environmental Quality 27: 1376–1381.
- 19- Jakob Ma. Weatherly Hamish. 2007. Integrating uncertainty Canyon Creek hyperconcentrated flows of November 1989 and 1990. Landslides (2008) 5:83–95. DOI 10. 1007/s10346-007-0106-z.
- 20- Javaid A., and Tariq Lati F.M. 2010. Improving Operational Performance of Farmers Managed Distributary Canal using SIC Hydraulic Model. Water Resour Manage. DOI 10. 1007/s11269-010-9596-x.
- 21- Kumar P., Mishra A., Raghuvanshi N.S., and Singh R. 2001. Application of unsteady flow hydraulic-model to a large and complex irrigation system. Agriculture Water Management. 54 (2002) 49-66.
- 22- Kuscü H., Bölüktepe F., and Demir A. 2008. Performance assessment for irrigation water management: A case study in the Karacabey irrigation scheme in Turkey. African Journal of Agricultural Research. Vol. 4 (2). pp. 124-132. February 2009.
- 23- Lin Z., and Manz D.H. 1992. Optimal operation of irrigation canal systems using nonlinear programming dynamic simulation model. Proc. International Workshop on The Application of Mathematical Modeling for the Improvement of Irrigation Canal Operations. Cemagref. Montpellier. France.
- 24- Liu F., and et al. 1998. Development and evaluation of canal automation algorithm CLIS. J. Irrig. Drain. Eng. 124(1) 40–46.
- 25- Malaterre P.O., and Baume J.P. 1997. SIC 3. 0. a simulation model for canal automation design. International Workshop on the Regulation of Irrigation Canals: State of the Art of Research and Applications. RIC97. Marrakech (Morocco).
- 26- Manz D.H., and Ratnayaker N. 1987. Impact of uncontrolled urban storm-water inflow on the operation of irrigation main canal systems. Irrigation and Water Allocation. IAHS Publ. no. 169.
- 27- Merkley G.P., and Walker W.W. 1991. Centralized scheduling logic for canal operation. J. Irrig. Drain. Eng. 117(3).337–393.
- 28- Shahrokhnia M.A., and Javan M. 2005. Performance assessment of Doroodzan irrigation network by steady state hydraulic modeling. Irrigation and Drainage Systems. 19: 189–206.
- 29- Yen B.C., and Tsai C.W.S. 2001. On noninertia wave versus diffusion wave in flood routing. Journal of Hydrology 244 (2001) 97±104. PII: S0022-1694(00)00422-4.

Experimental Accommodation of FLDWAV Hydrodynamic Model for Application in Irrigation and Drainage Networks

H. Moghimzadeh^{1*} - S. Kouchakzadeh² - A. Parvareshrizi³

Received: 18-8-2010

Accepted: 23-10-2011

Abstract

Hydrodynamic models are suitable tools for understanding hydraulic behavior of large and complex networks which can evaluate network performance and improve their operation and management. FLDWAV model is a kind of hydrodynamic model with wide capability which basically has been developed for using in rivers. The model is included by routing different methods, considerable variety of boundary condition and accessible source code hence it can be used in unsteady flow of irrigation and drainage network. The purpose of this study is testing and accommodating the results of FLDWAV model with experimental data, thus the elongated trapezoidal channel was constructed and by the use of collected observation data was evaluated model performance and its application for irrigation and drainage networks. Two hydrographs were produced with different properties and their data was compared with several testing model results from simulating unsteady flows in channel without calibration and with calibration. The results show that FLDWAV model is suitable for simulation of unsteady flow with eligible accuracy. Open source model prepares capability to accommodate model with different conditions in experimental structure and according to multiple advantages, its application is advisable in operation, improvement and rehabilitation of irrigation networks.

Keywords: FLDWAV, Hydrodynamic model, Improvement and rehabilitation, Irrigation network, Unsteady flow

1,2,3- MSc Student, Professor and Assistant Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Respectively

(*-Corresponding Author Email: moghimzadeh@ut.ac.ir)