بررسی کارایی روش‌های شبیه‌سازی یک‌بعدی، شبه‌دوبعدی و یک بعدی-دوبعدی سیلاب برای رودخانه‌های جاری در دشت‌های سیلابی(مطالعه موردی: رودخانه دز)

سیده مریم موسوی[1*]، سید محمود کاشفی‌پور [2] و مهدی قمشی [3]

۱*- نویسنده مسئول، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۲ - استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۳- استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۷ تاریخ پذیرش: ۹۴/۲/۲۹

چکیده

امروزه مدیریت سیلاب به منظور کاهش خسارت جانی و مالی ناشی از آن از حائز اهمیت‌ترین مباحث در علم مهندسی رودخانه می‌باشد. مدل‌های هیدرودینامیکی متعدد یک، دو، سه بعدی و کوپل در زمینه شبیه‌سازی هیدرولیکی سیل در دنیا توسعه یافته‌اند. مدل‌های یک‌بعدی به زمان محاسباتی محدودی نیاز دارند و فقط امکان بررسی پارامترهای جریان در کانال رودخانه را در اختیار کاربر قرار می‌دهند. این مدل‌ها جزئیاتی از پخش سیلاب و تغییرات جریان میان کانال رودخانه و سیلاب‌دشت‌ها را ارائه نمی‌دهند. دشت‌های پیرامون رودخانه دز در استان خوزستان (محدوده مطالعاتی) وسیع و کم‌ارتفاع هستند. به دلیل پست بودن سیلاب‌دشت‌ها نسبت به کانال رودخانه، هنگام خروج سیلاب از مقطع رودخانه، دو جریان با عمق و سرعت متفاوت، در کانال رودخانه و سیلاب‌دشت‌ها ایجاد می‌گردد. در این مقاله سه شیوه شبیه‌سازی سیلاب، شامل مدل‌سازی یک‌بعدی با مقاطع موجود، مدل شبه دوبعدی MIKE 11 با استفاده از قابلیت LINK CHANNELS و مدل یک‌بعدی-دوبعدی MIKE FLOOD بررسی شده‌اند. نتایج نشان می‌داد که مدل شبه دوبعدی با وجود زمان اجرای بسیار کوتاه‌تر نسبت به مدل کوپل، دقت قابل قبولی در ارزیابی دبی، عمق جریان، شبیه‌سازی روند پخش و کاهش حجم سیلاب دارد، که با واقعیت ذخیره شدن بخشی از سیلاب در سیلاب‌دشت‌ها انطباق دارد و قادر است مشخصات جریان را در کانال اصلی رودخانه و سیلاب‌دشت‌ها به تفکیک ارائه دهد. در حالی‌که برای مدل یک‌بعدی با مقاطع موجود، امکان شبیه‌سازی پخش، تخفیف دبی و کاهش حجم سیلاب در اثر پخش وجود ندارد. این مدل پارامترهای هیدرولیکی جریان را به طور متوسط در کل مقطع ارائه می‌دهد. همچنین روندیابی سیلاب در این مدل قابل بررسی نیست.

کلید واژه ها: MIKE 11، سیلاب، کانال ارتباطی، مدل شبه دو بعدی، MIKE FLOOD .

Evaluating the 1D, Quasi 2D and 1D-2D Flood Modeling Efficiency for Rivers with Floodplains(Case Study: Dez River)

S. M. Mousavi[1*], S. M. Kashefipour[2] and M.Ghomeshi[3]

1*- M. Sc. Student of River Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
2 - Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
3 - Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

Received:28 December 2014 Accepted:19 May 2015

Abstract

Today, flood management is one of the most important topics in river engineering due to reducing the fatality and damages caused by it. Several hydrodynamic models including 1D, 2D, 3D and couple hydraulic models have been developed in the world. One dimensional models have a short computation time and only compute the hydraulic parameters of main river channel. They provide no

details about inflow or overbank flow and flow changing between river and floodplainds. Dez river in Khuzestan province (Case study) is surrounded by wide low elevation plains. Since the elevation of floodplains is lower than the main channel, when overbank flow occurs, two flows with different velocities and depths should be considered in the main channel and floodplains. In the present study three different modeling including: 1D simulation using existing cross sections, quasi 2D simulation using LINK CHANNELS, 1D-2D modeling with MIKE FLOOD, were investigated. The results indicate the quasi 2D model, despite of the limited computational time than 1D-2D model, has an acceptable accuracy in predicting discharge, water level, inflow and overbank flow simulation and reduction in inundation volume, which is compatible with the fact of inundation volume storing in the floodplains and it can separately compute hydraulic parameters of main river and floodplains. In contrast, there is no possibility for 1D model with the original cross sections to simulate overbank flow, discharge and flood volume reduction. It provides the average of hydraulic parameters throughout the whole cross setions. Moreover, flood routing is imposibe to be investigated in this model.

Keywords: MIKE 11, Flood, LINK CHANNELS, Quasi 2D Model, MIKE FLOOD.

مقدمه

سیلاب پدیده‌ای است طبیعی که مانند هر بلای طبیعی دیگری دارای آثار تخریبی غیرقابل اجتناب است. امروزه مدیریت سیلاب به منظور کاهش خسارت‌های جانی و مالی ناشی از آن از حائز اهمیت‌ترین مباحث در مهندسی رودخانه می‌باشد. به طور کلی هدف از پیش‌بینی سیلاب اطلاع از چگونگی جریان، حجم، شدت، تداوم، مکان و مساحت آب‌گرفتگی، تعیین ظرفیت بستر اصلی رودخانه و دشت سیلابی اطراف آن، تغییرات احتمالی در ظرفیت ذخیره و در نهایت زمان وقوع سیلاب‌ها است. تعیین این پارامترها اهمیت ویژه‌ای در طراحی و نگهداری تأسیسات آبی و برنامه‌ریزی و آماده‌سازی برای به حداقل رساندن خسارات جانی و مالی و آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از آن دارد (مسلمی، ۱۳۷۵).

دشت سیلابی به اراضی مجاور یا حاشیه رودخانه‌ها و دریاچه‌ها گفته می‌شود که در شرایط عادی خشک و عاری از جریان آب بوده و در مواقع سیلابی مستغرق می‌شود. از سویی دشت‌های سیلابی را می‌توان نوار نسبتاً همواری در مجاور رودخانه دانست که از رسوبات حمل شده توسط رودخانه تشکیل شده و به طور منظم در زمان طغیان زیر آب می‌رود (بی‌نام، ۱۳۸۶).

مدل‌های متعددی در زمینه پیش‌بینی سیل در دنیا توسعه یافته است که از نقطه نظر پیچیدگی و سهولت به کارگیری، به درجات متعددی تقسیم شده‌اند. در این زمینه مدل‌های هیدرودینامیکی متعدد یک، دو، سه بعدی و کوپل در زمینه شبیه‌سازی هیدرولیکی سیل توسعه یافته‌اند.

هاردی و همکاران[1] (۱۹۹۹) نشان دادند که مدل‌های یک بعدی به زمان محاسباتی محدودی نیاز دارند ولی تنها امکان بررسی پارامترهای هیدرولیکی کانال رودخانه را در اختیار کاربر قرار می‌دهند. در حالی‌که مدل‌های دو بعدی امکان بررسی تغییرات سطح آب میان کانال اصلی و سیلاب‌دشت‌ها و جریان دوبعدی در سیلاب‌دشت‌ها را فراهم می‌سازند.

موسی و بوکویلون[2] (۲۰۰۹) نشان دادند که یکی از مهم‌ترین محاسن مدل‌های یک بعدی در مقایسه با مدل‌های دو و سه بعدی، ساده‌تر بودن معادله‌های حاکم بر آن‌ها (به علت صرف نظر کردن از برخی بخش‌های معادله‌ها با توجه به شرایط فیزیکی توجیه کننده حاکم)، گره‌های محاسباتی کمتر و در نتیجه حجم محاسبات پایین‌تر، کوتاه‌تر بودن زمان اجرا و تحلیل آسان نتایج آن‌ها است. در مقابل، مدل‌های یک بعدی پارامترهای هیدرولیکی مانند سرعت، عمق جریان، عرض سطح آب و .... را به صورت متوسط در مقطع محاسبه می‌کنند و اطلاعاتی از جزئیات جریان در سیلاب‌دشت‌ها ارائه نمی‌دهند. همچنین مسیرهای جریان باید از قبل برای آن‌ها مشخص باشد. در حالی‌که مدل‌های دو بعدی، سه بعدی یا کوپل جزئیات جریان در سیلاب‌دشت‌ها (عمق ، سرعت و...) را بدون نیاز به تعریف مسیرهای جریان ارائه می‌دهند، ولی به دلیل شبکه محاسباتی سنگین به زمان اجرای بیشتری نیاز دارند.

مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که مدل‌های شبه‌دوبعدی[3] گزینه مناسبی میان مدل‌های یک و دوبعدی هستند که به‌خصوص برای رودخانه‌های طولانی، زمان و حجم محاسبات کمتر و دقت قابل قبولی دارند.

1- Hardy *et al.*

2- Moussa and Bocquillon

3- Quasi 2-D

مدل‌های شبه‌دوبعدی روش‌هایی از شبیه‌سازی هیدرولیکی جریان هستند که سیلاب‌دشت‌ها را به صورت حجم‌های ذخیره یا به صورت شبکه‌ای از شاخه‌های یک بعدی جریان که با استفاده از سازه‌های ارتباطی (خاکریز، سرریزو....) به کانال اصلی متصل شده‌اند، شبیه‌سازی می‌کنند و یا جریان در کانال اصلی را به صورت یک‌بعدی (با حل یک‌بعدی معادله‌های کامل سنت ونانت[۱]) و جریان در سیلاب‌دشت‌ها را با استفاده از روابط دوبعدی جریان‌های سطحی[۲] مدل می‌کنند (رونگ و اولسن[۳]،۲۰۰۳ ؛ ورمر و همکاران[۴]،۲۰۰۵).

ویلاژن و همکاران[۵] (۲۰۱۳) دو روش شبیه‌سازی شبه‌دوبعدی شامل: روش سلول‌های سیلاب[۶] (FC) و روش شاخه‌های مجازی[۷] (FRB) را برای بازه‌ای به طول پنج کیلومتر از رودخانه دندر[۸] در بلژیک را مورد بررسی قرار دادند. در روش سلول‌های سیلاب، سیلاب‌دشت‌ها به صورت حجم‌های ذخیره و در روش شاخه‌های مجازی، سیلاب‌دشت‌ها به صورت شبکه‌ای از شاخه‌های مجازی که به رودخانه متصل شده‌اند، مدل می‌شوند. آن‌ها در مطالعه خود برای شبیه‌سازی با روش سلول‌های سیلاب، از مدل InfoWorks-RS و برای روش شاخه‌های مجازی، از مدل‌های InfoWorks-RS، MIKE 11 و HEC-RAS استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها قابلیت روش‌های شبه‌دوبعدی در مدل‌سازی سیلاب‌دشت‌ها را به عنوان حد میانه مدل‌های یک و دوبعدی تأیید می‌کند. اگرچه هر سه مدل از حل معادله‌های سنت ونانت استفاده می‌کنند، ولی به دلیل شبیه‌سازی متفاوت سیلاب‌دشت و تفاوت در سازه‌های هیدرولیکی عبور دهنده جریان به سیلاب‌دشت‌ها، تفاوت‌هایی در نتایج آن‌ها با هم دیده شده است و با این وجود به طور کلی نتایجی نزدیک به هم داشتند.

رایت و همکاران[۹](۲۰۰۸) رودخانه سورن[۱۰] در انگلستان را با مدل شبه دوبعدی MIKE 11 با قابلیت کانال‌های ارتباطی و مدل دو بعدی LISFLOOD-FP شبیه‌سازی کردند و دبی پیک محاسبه شده توسط هر دو مدل را با تفاوتی قابل قبول، مشابه یافتند.

توتجا و شیخ (۲۰۰۹) سه مدل MIKE FLOOD، MIKE 21 و مدل شبه‌دوبعدی MIKE 11 (با استفاده از کانال‌های ارتباطی) را برای شرایط سیلابی رودخانه موری[۱۱] در استرالیا شبیه‌سازی کردند. مطالعه آن‌ها نشان می‌دهد که با افزایش دبی، نتایج سه مدل اندکی متفاوت می‌شود، ولی همچنان تفاوت مساحت سیل‌گیر محاسبه شده به‌وسیله این نرم‌افزارها بین ۰ تا۱۰ درصد باقی می‌ماند.

مطالعه قلی‌نژاد و ظهیری (۱۳۹۱) نشان می‌دهد که در شرایط عادی که عمق جریان از لبه مقطع اصلی کمتر می‌باشد، محاسبه‌ی دبی جریان، ساده بوده و از رابطه‌ی مانینگ و با توجه به هندسه‌ی رودخانه و ضریب زبری آن به دست می آید اما محاسبه‌ی دبی جریان در شرایط سیلابی که جریان وارد دشت‌های سیلابی می شود، کار ساده‌ای نیست. مهم‌ترین بخش غیر قابل اطمینان در تحلیل رودخانه ها، دقت پیش بینی ظرفیت حمل دبی کانال با دشت سیلابی می‌باشد. در دشت‌های سیلابی با عمق کم، شعاع هیدرولیکی، به طور ناگهانی افزایش می‌یابد و اگر دبی برای یک کانال منفرد تخمین زده شود، مطمئناً با خطا همراه خواهد بود. به همین دلیل استفاده از روابط مرسوم در تعیین پارامتر های هیدرولیکی جریان مانند مانینگ، شزی، دارسی-وایسباخ باعث خطا در محاسبات می‌شود. محاسبه درست دبی جریان برای مدیریت بهتر دشت‌های سیلابی، ایجاد سیستم‌های هشدار سیل، ایجاد سدهای تأخیری، طراحی، نگهداری و بهره‌برداری از رودخانه، پیش‌بینی سیل و تراز سطح آب از اهمیت بسیاری برخوردار است. یکی از روش‌های مناسب برای تخمین درست دبی جریان در رودخانه‌ها، برآورد توزیع عرضی سرعت می‌باشد که در این مطالعه از یک مدل بسیار ساده یک‌بعدی و مدل ریاضی شبه‌دوبعدی برای محاسبه توزیع عرضی سرعت در رودخانه استفاده شده است و با توجه به آن دبی کل جریان در مقاطع محاسبه می‌شود.

فیاضی و همکاران (۱۳۸۸) دقت دو نرم‌افزار MIKE FLOOD و MIKE11 را در پهنه بندی سیلاب در محدوده ای از رودخانه کشکان بررسی نمودند. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که در رودخانه های کم عرض و جاری در دره‌های V شکل تفاوتی در نتایج شبیه‌سازی بین این دو مدل وجود ندارد، ولی در مناطق دشتی تفاوت بسیاری بین این دو شبیه‌سازی وجود دارد و به منظور حصول اطمینان ازصحت شبیه‌سازی و ارزش نتایج حاصله بایستی از مدل یک‌بعدی- دو بعدیMIKE FLOOD استفاده گردد.

ویلمز و همکاران[۱۲](۲۰۰۲) از مدل شبه‌دوبعدی MIKE11 را برای تعیین پهنه‌های سیلابی رودخانه دندر در بلژیک به کار بردند. از نتایج مطالعه آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: پاسخ‌های دقیق‌تر تراز سطح آب و پهنه سیلاب محاسبه شده در سیلاب‌دشت‌ها، نیاز به دقت بالای تراز لبه مقاطع کانال اصلی به خصوص در مقاطعی که تراز جریان از کرانه مقطع فراتر می‌رود، دارد که این امر ضرورت انجام نقشه‌برداری دقیق را ایجاب می‌نماید، تعریف رودخانه‌های مجازی به صورت مستقیم و کم قوس (به دلیل تقاطع کم‌تر مقاطع عرضی) مناسب‌تر است و تعریف مقاطع عرضی سیلاب‌دشت‌ها باید

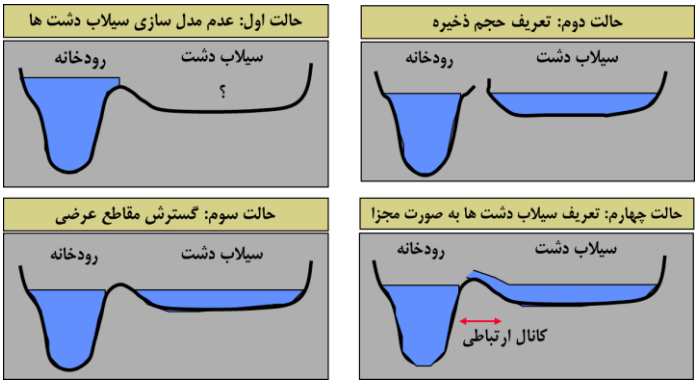
1- Saint. Venant equations
2- shallow water flow equations
3 - Rungø and Olsen
4- Wermer *et al.*
5-Villazón *et al.*
6- Flood Cells
7- Fictitious River Branches
8- Dender
9- Wright *et al.*
10- Severn
11- Murray
12 - Willems *et al.*

با ابعاد و موقعیت مناسب که ارزیابی مناسبی از محدوده سیل‌گیر ارائه دهد، انجام گیرد.

در مطالعه حاضر، سه حالت شبیه‌سازی هیدرولیک سیلاب شامل: مدل‌سازی با مقاطع موجود (برداشت شده)، مدل‌سازی شبه دوبعدی با ستفاده از قابلیت LINK CHANNEL(کانال‌های ارتباطی) در مدل MIKE 11 و مدل‌سازی با استفاده از مدل یک‌بعدی- دوبعدی MIKE FLOOD بررسی شده است و دقت و کیفیت مدل‌های یک‌بعدی، شبه دوبعدی و یک‌بعدی-دوبعدی مذکور در انجام شبیه‌سازی و ارائه نتایج مورد بحث و مطالعه قرار گرفته تا در انتها بتوان مناسب‌ترین گزینه‌ها را برای شبیه‌سازی شرایط سیلابی رودخانه‌های جاری در اراضی پست و دشت‌ها مشخص نمود.

مواد روش‌ها

به طور کلی در شبیه‌سازی یک‌بعدی جریان سیلابی با استفاده از بسته نرم‌افزاری MIKE 11 که در این تحقیق استفاده شده است، چهار حالت مختلف شبیه‌سازی در اختیار کاربر قرار می‌گیرد: عدم مدل‌سازی سیلاب‌دشت‌ها، مدل‌سازی سیلاب‌دشت‌ها به صورت حجم ذخیره: در این روش به وسیله نقشه‌های توپوگرافی و بر اساس ترازهای مختلف آب در مقطع اصلی رودخانه، سطح آب گرفتگی سیلاب‌دشت ها بین دو مقطع متوالی محاسبه و به عنوان حجم ذخیره به مدل معرفی می شود. با این کار مدل حجم سیلاب ورودی به سیلاب‌دشت‌ها را بر اساس تراز سطح آب در رودخانه اصلی محاسبه می‌گردد. در این حالت تنها تأثیر پخش سیلاب در رودخانه اصلی مشخص می شود و امکان تعیین عمق و سرعت آب در سیلاب‌دشت وجود ندارد. مدل‌سازی سیلاب‌دشت‌ها با استفاده از گسترش مقاطع: در این رویکرد رودخانه اصلی و سیلاب‌دشت‌های آن به صورت یک‌جا و با عریض کردن مقاطع به مدل معرفی می‌شوند. در این حالت امکان ارائه سرعت و عمق جریان به صورت مجزا در رودخانه اصلی و سیلاب‌دشت‌ها وجود ندارد و سرعت و عمق جریان به طور متوسط در کل مقطع عریض شده محاسبه و به دست می‌آید. همان‌طور که پیشتر اشاره شد در رودخانه‌های جاری در سیلاب‌دشت‌های وسیع و کم ارتفاع، بخش اعظم سیلاب خارج شده از رودخانه در زمان اوج سیلاب، بلافاصله به رودخانه اصلی بازنمی‌گردد و بازگشت سیلاب به رودخانه اصلی نیازمند گذشت زمان است. این به معنی کاهش حجم سیلاب منتقل شده به پایین دست و در نتیجه کاهش رقوم سطح آب ونهایتاً کاهش ارتفاع سازه های حفاظتی پایین دست می باشد، که این رویکرد قادر به شبیه سازی این پدیده نیست. مدل‌سازی رودخانه اصلی و سیلاب‌دشت‌ها به صورت مجزا و اتصال آن‌ها با استفاده از کانال‌های ارتباطی(LINK-CHANNELS): در این رویکرد سیلاب‌دشت‌های پیرامون رودخانه اصلی به عنوان دو رودخانه مجازی در دو طرف رودخانه اصلی به مدل معرفی می شوند و رودخانه اصلی و مجازی(که معرف سیلاب دشت است) با استفاده از کانال‌های ارتباطی به یکدیگر متصل می‌شوند. تا زمانی که تراز سطح آب در رودخانه اصلی به تراز بالادست معرفی شده برای کانال ارتباطی نرسیده باشد، دبی رودخانه مجازی صفر است، اما به محض رسیدن تراز آب در رودخانه اصلی به تراز بالادست کانال اصلی بخشی از سیلاب وارد رودخانه مجازی می‌شود. از آنجایی که معادله‌های حاکم بر رودخانه اصلی و مجازی یکسان هستند، مدل برای رودخانه اصلی و مجازی به صورت مجزا با حل معادله‌های پیوستگی و اندازه حرکت جریان یک‌بعدی غیرماندگار، سرعت، ترازسطح آب و سایر پارامترهای هیدرولیکی رودخانه اصلی و مجازی را محاسبه می‌کند. بنابراین در این رویکرد زمان رسیدن اوج سیلاب به پایین‌دست در رودخانه اصلی و مجازی بسته به سرعت جریان در آن‌ها متفاوت است که این موضوع تطابق بهتری با واقعیت دارد. چرا که در واقعیت هم سرعت جریان در رودخانه اصلی چندین برابر سرعت در سیلاب‌دشت است. بنابراین این رویکرد تقریباً تمامی ایرادهای سه رویکرد قبلی را رفع می‌کند. این چهار حالت در شکل (۱) نمایش داده شده‌اند (بی‌نام، ۲۰۰۷b).



شکل ۱- شبیه‌سازی یک‌بعدی سیلاب در MIKE 11

مبانی مدل یک بعدی MIKE 11

این بسته نرم افزاری توسط انستیتو هیدرولیک دانمارک تهیه شده و قادر به شبیه‌سازی یک بعدی جریان، انتقال رسوب و کیفیت آب در شرایط جریان ناپایدار در رودخانه‌ها، مصب‌ها و شبکه‌های آبیاری می‌باشد. این برنامه از روش تفاضل محدود برای حل یک بعدی معادله‌های حاکم جریان، انتقال رسوب و کیفیت آب استفاده می‌کند. مدل هیدرودینامیکی در واقع عنصر زیربنایی تمام سیستم مذکور است و پایه‌ای برای سایر زیرمدل‌های موجود در برنامه نظیر پخش و انتشار، کیفیت آب و حمل رسوبات می‌باشد (بی‌نام، ۲۰۰۷b).

مبانی مدل یک بعدی-دوبعدی MIKE FLOOD

مدل MIKE FLOOD یک مدل ترکیبی است که با ارتباط دو مدل MIKE 11 و MIKE 21 قادر به شبیه‌سازی جریان‌های ترکیبی داخل رودخانه و سیلاب‌دشت‌ها به صورت کاملاً هیدرودینامیکی می‌باشد. این مدل در واقع ترکیبی از مدل یک‌بعدی MIKE 11 و مدل دوبعدی MIKE 21 است و در گروه مدل‌های یک‌بعدی-دوبعدی قرار می‌گیرد. در این مدل ارتباط بین دو زیر مدل به لحاظ هیدرودینامیک صرفاً به صورت چشمه‌های جریان در معادله پیوستگی هر یک از دو مدل برقرار می‌باشد. بدین ترتیب در مدل یک سری از نقاط شبکه مدل یک‌بعدی به یک سری از نقاط شبکه در مدل دو بعدی وابسته می‌شود، در این شرایط در صورتی که تراز آب در هر یک از مدل‌ها بر دیگری غلبه نماید، ظرفیت تبادل جریان بین دو مدل ایجاد می‌شود. حال این جریان متناسب با نوع ارتباط در نظر گرفته شده به صورت یک چشمه به مدل گیرنده ارسال و به صورت چاه از مدل فرستنده کسر می‌شود. لازم به ذکر است میزان این تبادل با استفاده از روش‌های متنوع در نظر گرفته شده در مدل قابل اصلاح می‌باشد. در رابطه با بررسی چگونگی عملکرد مدل MIKE FLOOD می‌توان گفت به لحاظ محاسباتی با توجه به استفاده مستقیم از مدل دوبعدی MIKE 21 و مدل یک بعدی MIKE 11 این مدل کلیه قابلیت‌های محاسباتی حاکم بر هر دوی این مدل‌ها را دارا است و می‌تواند در مطالعات سیلاب، طوفان‌های دریایی، زهکشی شهری، شکست سد، طراحی هیدرولیکی سازه‌ها و مصب‌ها مورد استفاده قرار بگیرد. لازم به ذکر است که MIKE 21 معادله‌های پیوستگی و مومنتوم را به‌صورت غیریکنواخت دوبعدی (معادله‌های ناویر استوکس) شبیه‌سازی و حل می‌کند (بی‌نام، ۲۰۰۷a).

معرفی قابلیت MIKE 11 در شبیه‌سازی شبه‌دوبعدی با استفاده از کانال‌های ارتباطی(LINK CHANNEL)

یکی از ویژگی‌های MIKE 11 امکان انجام یک شبیه‌سازی شبه دوبعدی با استفاده از کانال‌های ارتباطی است. این بدان معنی است که در محیط یک‌بعدی MIKE 11 می‌توان از قابلیتی استفاده نمود که جریان خارج شده از مقطع اصلی رودخانه را با استفاده از یک سازه ارتباطی وارد سیلاب‌دشت پیرامون کند. اتفاقی که در روند شبیه‌سازی معمول در MIKE 11 و سایر مدل‌های یک‌بعدی به ازای سیلاب‌های بزرگ بروز می کند، عدم توانایی مدل در مرز پخش قرار دادن کرانه‌های مقطع اصلی است. به عبارت دیگر جریان به طور یکنواخت از کف مقطع بالا می‌آید و تا سیلاب‌دشت‌ها را هم فرا می‌گیرد؛ حال آن‌که ممکن است جریان در مقطع اصلی هنوز به تراز لبه کانال رودخانه نرسیده باشد. این وضعیت در رودخانه‌های جاری در دشت‌ها رخ می‌دهد. معرفی کانال‌های ارتباطی امکان تصحیح این مشکل را به کاربر می‌دهد و این امر به این ترتیب انجام می‌گیرد که دو رودخانه مجازی به ازای سیلاب‌دشت‌های پیرامون رودخانه به مدل معرفی می‌شود. سپس در گره‌هایی که تراز سطح آب از تراز لبه مقطع بالاتر می‌رود، یک کانال ارتباطی از کانال اصلی رودخانه به رودخانه مجازی معرف سیلاب‌دشت، معرفی می‌گردد. کانال ارتباطی یک شاخه کوتاه برای اتصال سیلاب‌دشت به رودخانه است. آن‌ها در شبیه‌سازی سیلاب در سیلاب‌دشت‌ها نقش مهمی ایفا می‌کنند و مناسب برای مدل‌سازی رودخانه های شریانی یا وجود خاکریز در لبه مقاطع کانال رودخانه هستند. چندین انشعاب و خاکریز می‌توانند در یک کانال‌ارتباطی خلاصه شوند ودر نتیجه اندازه مدل کوچک‌تر می‌شود. کانال های ارتباطی در واقع عملکردی مشابه یک کالورت آزاد دارند و روابط کالورت‌ها در مورد آن ها حاکم است و پارامترهای تراز کف در بالادست و پایین دست سازه ، ضریب زبری و ضریب افت انرژی می‌توانند برای این اتصال تعریف شوند. شکل مقطع کالورت توسط یک جدول عمق-عرض برای لینک مشخص می‌شود. یک کانال ارتباطی نیازی به مقطع عرضی در بالادست و پایین دست بازه خود ندارد و تنها سه نقطه محاسباتی(دو نقطه h و یک نقطه Q در بین آن دو) دارد. از کانال‌های ارتباطی تنها می‌توان در حالت شبیه‌سازی هیدرودینامیک استفاده نمود و در حالت شبیه‌سازی انتقال رسوب و پخش-انتقال باید از تعریف کانال‌های ارتباطی اجتناب کرد.

رابطه انرژی حاکم بر کانال‌های ارتباطی به شرح زیر است:

$$\left(h1+\frac{v_1^2}{2g}\right)-\left(h2+\frac{v_2^2}{2g}\right)=\frac{Q^2}{2g}\left(\frac{\zeta_{s1}}{A_{s1}^2}+\frac{\zeta_f+\zeta_b}{A_{Save}^2}+\frac{\zeta_{s2}}{A_{s2}^2}\right) \quad (۱)$$

که در آن، h_1 : عمق جریان ورودی، h_2: عمق جریان خروجی، v_1: سرعت جریان ورودی، v_2: سرعت جریان خروجی، A_{s1} : سطح مقطع کالورت در ورودی آن، A_{s2} : سطح مقطع کالورت در خروجی، A_{Save} : متوسط سطح مقطع کالورت در طول آن، ζ_{s1} : ضریب افت انرژی ورودی (افت انقباضی)، ζ_{s2} : ضریب افت انرژی خروجی(افت انبساطی)، ζ_f : افت اصطکاکی و ζ_b : بیانگر افت ناشی از وجود خم و انحراف، آسیب‌دیدگی کالورت و رسوبات و خاشاک به جا مانده در آن است (بی‌نام، ۲۰۰۷ c و d).

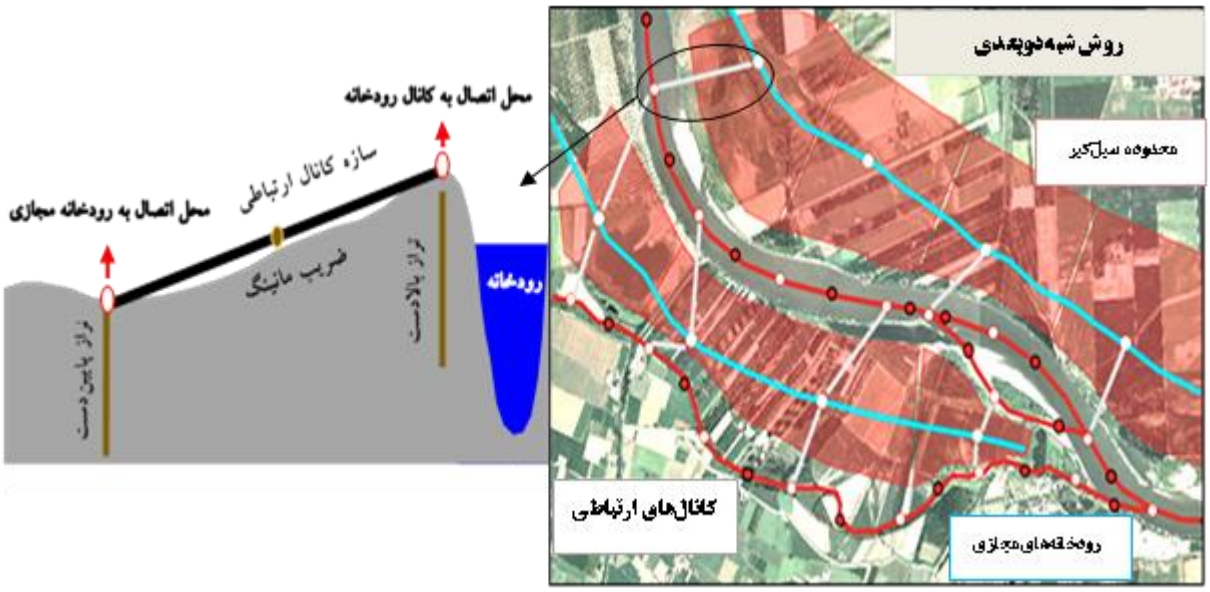
در شکل (۲) یک کانال ارتباطی و پارامترهای طراحی آن به صورت شماتیک نشان داده شده است.

محدوده مطالعاتی

حوضه آبریز رودخانه دز در ایران، واقع در ارتفاعات زاگرس میانی و محدود به مختصات جغرافیائی ′۱۷و ° ۳۱ تا ′۱۵و ° ۳۴ عرض شمالی و ′ ۱۷و ° ۴۸ تا ′ ۲۰و ° ۵۰ طول شرقی است. این رودخانه پس از خروج از سد دز، مسیر خود را در منطقه کوهستانی ادامه داده و در مناطق کوهپایه‌ای به سد تنظیمی دزفول می‌رسد. آنگاه رودخانه دز به طرف شهرستان دزفول ادامه مسیر داده و در پایین‌دست شهرستان مذکور، به محل سدانحرافی دزفول می‌رسد . پس از آن رودخانه دز به طرف جنوب ادامه مسیر داده و شاخه بالارود را تقریباً ۲۴ کیلومتر پایین‌تر از سدتنظیمی دزفول دریافت می‌نماید. از این پس جریان رودخانه دز در جهت جنوب می‌باشد. در محل بند قیر رودخانه دز به شاخه اصلی کارون ملحق می‌گردد.

پوشش گیاهی رودخانه دز در ارتفاعات پایینی حوضه آبریز کم و در سرشاخه‌ها و ارتفاعات بیشتر می‌باشد. توپوگرافی این رودخانه تا حوالی سد تنظیمی دز، کوهستانی و مسیر آن پر پیچ و خم با شیب تند است. پس از سدتنظیمی دز، رودخانه وارد بستر جلگه‌ای و پست می‌شود، به‌نحوی که در بخش عمده‌ای از مسیر، شیب سیلاب‌دشت‌های هر دو سمت رودخانه منفی است. بدین معنی که تراز لبه مقاطع از سیلاب‌دشت بالاتر است. محدوده مطالعاتی این تحقیق شامل حد فاصل ایستگاه هیدرومتری دزفول به مختصات(۳۵۸۷۵۶۱،۲۵۵۶۱۷) تا نزدیکی بند قیر به مختصات (۲۹۸۸۲۰،۳۵۰۳۳۱۳) و به طول تقریبی ۱۹۵ کیلومتر است.

موقعیت قرارگیری ایستگاه‌های هیدرومتری در طول مسیر بازه مطالعاتی، به ترتیب برابر ایستگاه دزفول، حرمله و بامدژ می‌باشد.



شکل۲- نمایش شماتیک مدل‌سازی شبه‌دو بعدی سیلاب با استفاده از کانال‌های ارتباطی و پارامترهای آن



شکل ۳ – موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری و مرزهای بالادست و پایین‌دست مدل

روش انجام تحقیق

در این مطالعه سه حالت شبیه‌سازی یک‌بعدی، شبه دوبعدی و یک‌بعدی–دو بعدی به ترتیب زیر برای رودخانه دز بررسی شده است:

شبیه‌سازی شماره یک: مدل‌سازی یک‌بعدی با استفاده از مقاطع برداشت شده و مدل یک‌بعدی MIKE 11.

شبیه‌سازی شماره دو: مدل‌سازی شبه‌دوبعدی هیدرولیکی سیلاب بوسیله مدل ریاضی MIKE11 و با استفاده از قابلیت کانال‌های ارتباطی (LINK CHANNELS) و مقاطع اصلی رودخانه.

شبیه‌سازی شماره سه: مدل‌سازی یک‌بعدی–دوبعدی سیلاب با استفاده از مدل ریاضی MIKE FLOOD.

تعداد ۴۰۹ مقطع عرضی در بازه مورد مطالعه موجود است. برای انجام مدل‌سازی با استفاده از کانال‌های ارتباطی ابتدا باید دو رودخانه مجازی در دو سمت کانال اصلی رودخانه (معرف سیلاب‌دشت‌ها) تعریف کرد و بر روی آن‌ها مقاطع لازم را پیاده کرد. برای این منظور با استفاده از نرم‌افزار GIS دو رودخانه مجازی مورد نظر تعریف شده و مقاطع با استفاده از نقشه‌های رقومی شده[1](DEM) با مقیاس۱:۲۰۰۰و ۱:۲۵۰۰۰و با استفاده از امکانات نرم‌افزار GIS با فاصله ۵۰۰ متر از یکدیگر، استخراج و با استفاده از اطلاعات توپوگرافی DEM تبدیل به داده‌های سه بعدی (دارای X,Y,Z) شدند .

برای ساخت توپوگرافی بستر مورد نیاز در مدل MIKE FLOOD، اطلاعات توپوگرافی محدوده از محیط GIS فراخوانده شد و به فرمت مناسب برای توپوگرافی بستر تبدیل گردید. هر چه دقت این توپوگرافی بستر بالاتر باشد، شبیه‌سازی هیدرودینامیکی MIKE 21 و در نتیجه تخمین عمق در آن دقیق‌تر خواهد بود.

واسنجی مدل ریاضی

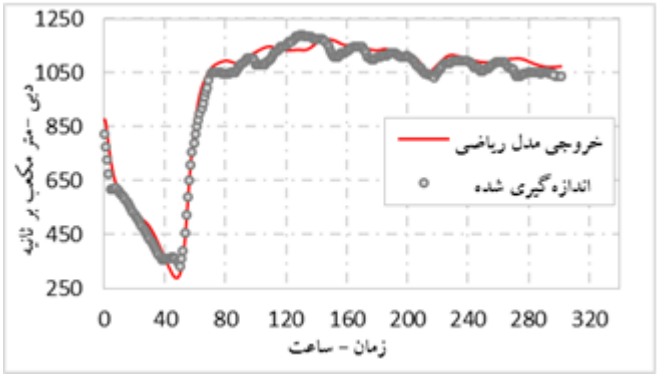
برای انجام واسنجی مدل هیدرودینامیکی لازم است از اطلاعات یک سیلاب شاخص ثبت شده در ایستگاه‌های هیدرومتری استفاده گردد. به منظور با توجه به داده‌های سیلاب موجود، در مرزهای بالادست بازه یعنی در ایستگاه هیدرومتری دزفول و در محل الحاق شاخه بالارود، هیدروگراف بدست آمده از سیل ماه‌های بهمن و اسفند سال ۱۳۸۴ اختصاص داده شد. سپس در محل ایستگاه‌های

1- Digital Elevatin Model

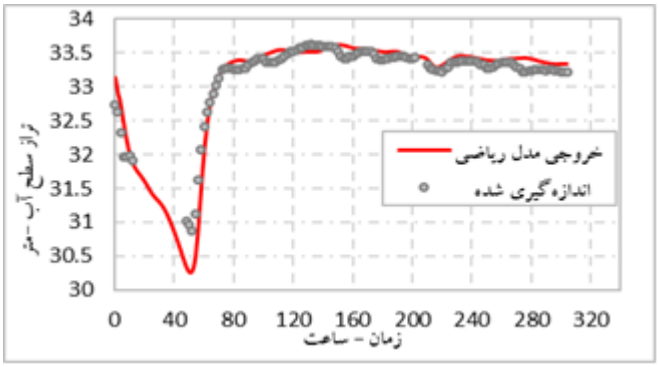
هیدرومتری حرمله و بامدژ نتایج مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه و مقادیر ضریب مانینگ با انجام واسنجی تعیین شد. لازم به توضیح است که در آمار اخذ شده از سازمان آب و برق خوزستان، مقادیر دبی سیل سال ۱۳۸۴برای هر دو ایستگاه حرمله و بامدژ ثبت شده است. اما تنها برای ایستگاه حرمله داده‌های رقوم سطح آب اندازه‌گیری شده موجود است. بنابراین برای ایستگاه حرمله واسنجی با استفاده از مقادیر دبی و رقوم سطح آب و برای ایستگاه بامدژ با مقادیر دبی ثبت شده صورت پذیرفت.

موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری و مرزهای بالادست و پایین‌دست مدل در شکل (۳) نشان داده شده است.

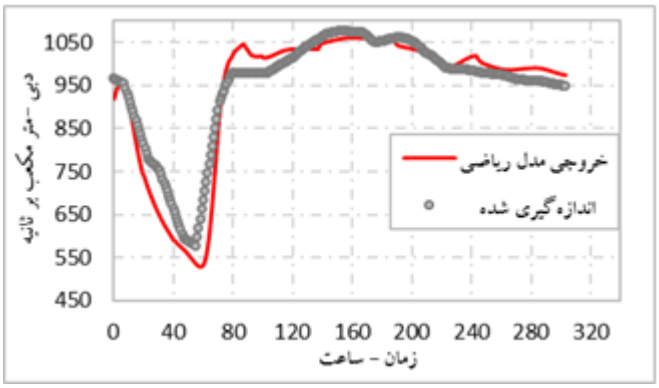
بر اساس نتایج واسنجی، مقادیر زبری برای بازه ایستگاه دزفول تا ناحیه خماط(از مقطع شماره پنج تا مقطع صد و هشتاد و هفت) برابر ۰/۰۴۵، از پایین دست خماط تا کمی پایین دست ایستگاه حرمله (از مقطع صد و هشتاد و هشت تا دویست و پنجاه) برابر ۰/۰۴، از بعد از مقطع دویست و پنجاه تا مقطع شماره دویست و شصت و شش برابر ۰/۰۴۵، از بعد آن تا مقطع سیصد و بیست و پنج برابر ۰/۰۳۵ و پس از آن تا انتهای مسیر مقدار زبری برابر ۰/۰۳۳ تعیین شد. نتایج واسنجی انجام شده در ایستگاه های حرمله و بامدژ در شکل‌های (۴) تا (۶) نشان داده شده است.



شکل٤- مقایسه دبی اندازه‌گیری شده و خروجی مدل ریاضی شبه‌دوبعدی در ایستگاه حرمله



شکل٥- مقایسه تراز سطح آب اندازه‌گیری شده و خروجی مدل ریاضی شبه‌دوبعدی در ایستگاه حرمله



شکل٦- مقایسه دبی اندازه‌گیری شده و خروجی مدل ریاضی شبه‌دوبعدی در ایستگاه بامدژ

جدول۱- خطاهای محاسبه شده برای واسنجی مدل در محل ایستگاه حرمله

	ضریب تبیین	اختلاف نسبت به خط ۴۵درجه	متوسط مطلق خطاها	مجموع مربع خطاها
دبی	۰/۹۹	۱/۰۲	۲/۹۶	۳۴/۷۶
تراز سطح آب	۰/۹۳	۱/۰۰	۱/۴۰	۰/۱۸

جدول۲- خطاهای محاسبه شده برای واسنجی مدل در محل ایستگاه بامدژ

	ضریب تبیین	اختلاف نسبت به خط ۴۵درجه	متوسط مطلق خطاها	مجموع مربع خطاها
دبی	۰/۹۲	۱/۰۰	۳/۴۱	۴۳/۰۶

به منظور ارزیابی واسنجی انجام شده در ایستگاه‌های حرمله و بامدژ، در جدول‌های (۱) و (۲) مقادیر خطاهای آماری مجموع مربع خطاها[1] (RMSE)، ضریب تبیین[2] (R^2)، اختلاف نسبت به خط ۴۵درجه (α) و متوسط مطلق خطاها[3] (ERROR) نمایش داده شده است:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_{ip}-x_{im}\right)^2}{n}} \quad (۲)$$

$$R^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} x_{ip}.x_{im}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n} x^2_{ip}.\sum_{i=1}^{n} x^2_{im}} \quad (۳)$$

$$x_{ip} = \alpha.x_{im} \rightarrow \alpha = \frac{x_{ip}}{x_{im}} \quad (۴)$$

$$\%Error = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left|\left(x_{ip}-x_{im}\right)\right|}{\sum_{i=1}^{n} x_{im}} \quad (۵)$$

1- Root Mean Square Error
2 - Cofficient Of Determination
3- Average Absolute Error

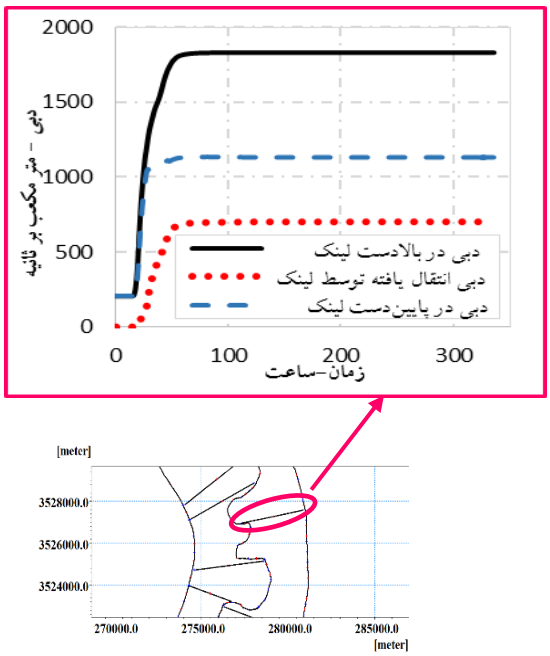
که در این روابط، x_{ip}: داده مدل‌سازی شده ، x_{ip}: داده اندازه گیری شده و n: تعداد داده‌ها است.

نتایج جدول‌های (۱) و (۲) نشان می‌دهد که با استفاده از زبری‌های به دست آمده و با توجه به کیفیت اطلاعات موجود، مدل ریاضی انطباق خوبی با واقعیت دارد. همچنین نزدیک بودن مقادیر ضریب تبیین و اختلاف نسبت به خط ۴۵درجه به عدد یک مؤید دقت خوب شبیه‌سازی انجام‌شده است.

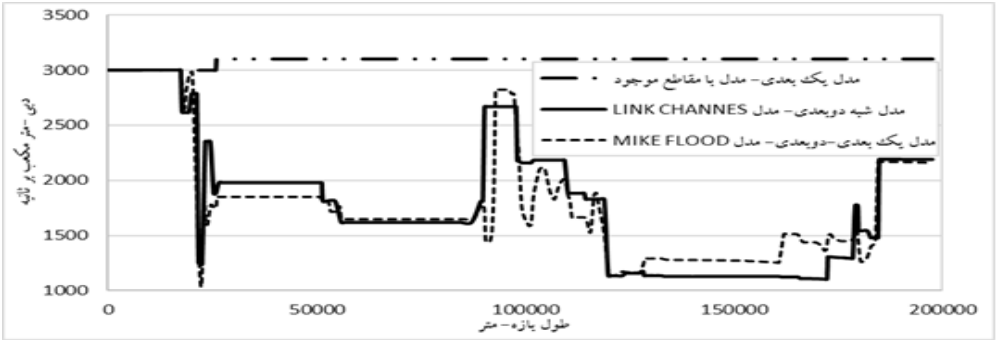
نتایج و بحث

در مطالعه حاضر به منظور بررسی کارایی مدل شبه‌دوبعدی(مدل MIKE 11 همراه با قابلیت LINK CHANNEL) در رودخانه دز، برای شرط مرزی بالادست از دبی ثابت ۳۰۰۰ متر مکعب بر ثانیه برای رودخانه دز و ۱۰۰ مترمکعب بر ثانیه برای شاخه بالارود استفاده شده. برای مرز پایین‌دست نیز از دبی– اشل محاسبه شده توسط نرم افزار با استفاده از رابطه مانینگ و اطلاعات مقطع در محل مورد نظر، استفاده شده. با توجه به فاصله چندین کیلومتری مرز پایین‌دست از ایستگاه‌های هیدرومتری، تأثیر این مرز در نتایج و پروفیل سطح آب عملاً از بین می‌رود.

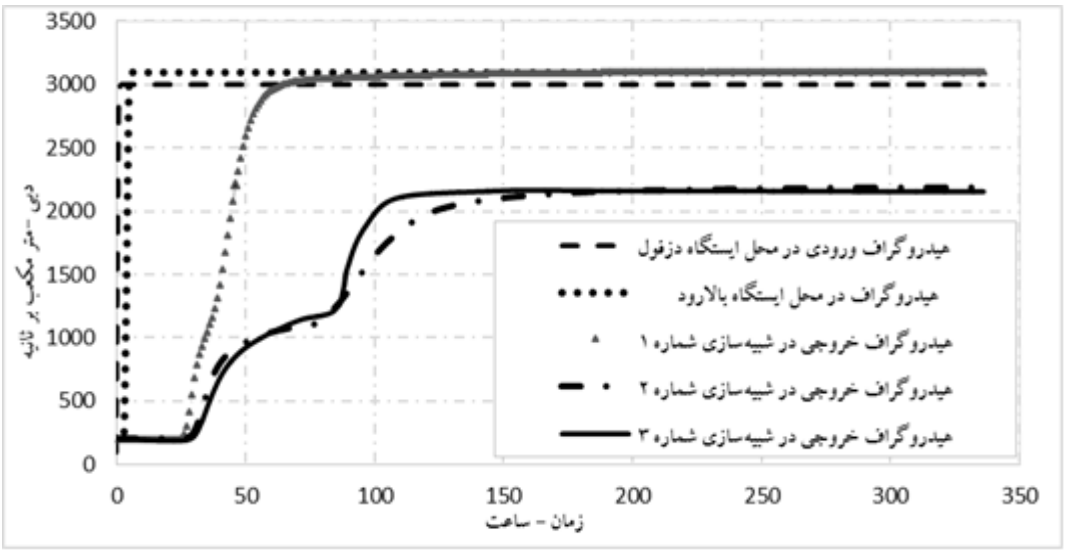
برای نشان دادن پیوستگی مدل LINK CHANNELS، در شکل (۷) مقدار دبی قبل از کانال ارتباطی، بعد از آن و مقدار دبی انتقال یافته توسط اتصال نشان داده شده است.



شکل ۷- نمونه نمایش پیوستگی مدل شبه‌دوبعدی در محل LINK CHANNELS در شرایط بی ثابت



شکل ۸- تغییرات دبی بیشینه در طول رودخانه به ازای سه شبیه‌سازی اجرا شده در شرایط دبی ثابت



شکل ۹- هیدروگراف خروجی مدل‌ها در کیلومتر۱۸۷/۵۲۸(پایین‌دست رودخانه) به ازای دبی ثابت

همان‌طور که در شکل (۷) مشخص است، مقدار دبی در کانال اصلی رودخانه و در بالادست کانال ارتباطی برابر ۱۸۳۰متر مکعب بر ثانیه است. این مقدار در پایین‌دست کانال ارتباطی برابر ۱۱۳۳ متر مکعب بر ثانیه و مقدار دبی انتقال یافته توسط اتصال برابر ۶۹۷ متر مکعب بر ثانیه است که به خوبی برقرار بودن پیوستگی را در این سازه‌های ارتباطی نشان می‌دهد.

در شکل (۸) روند تغییرات دبی در طول مسیر رودخانه به ازای سه شبیه‌سازی بررسی شده نمایش داده شده است. همچنین در شکل (۹) هیدروگراف‌های ورودی در شرایط مرزی مدل‌ها و هیدروگراف خروجی در پایین‌دست بازه مطالعاتی به ازای شبیه‌سازی‌های انجام شده نمایش داده شده است.



شکل ۱۰- تغییرات تراز سطح آب در طول رودخانه به ازای چهار سناریو در شرایط دبی ثابت

جدول۳-تغییرات دبی(مترمکعب بر ثانیه) و حجم سیلاب (میلیون متر مکعب) در سه شبیه‌سازی اجرا شده در دبی ثابت

	شبیه‌سازی شماره سه		شبیه‌سازی شماره دو		شبیه‌سازی شماره یک	
کیلومتراژ-متر	حجم	دبی	حجم	دبی	حجم	دبی
۱۹۹/۶۴	۳۶۲۳	۳۰۰۰	۳۶۲۳	۳۰۰۰	۳۶۲۳	۳۰۰۰
۲۷۴۸۹/۹	۲۲۱۱	۱۸۵۰	۲۳۶۶	۱۹۷۹	۳۷۰۴	۳۱۰۰
۵۵۹۱۵/۴	۱۹۴۱	۱۶۴۸	۱۹۱۱	۱۶۲۱	۳۶۵۶	۳۱۰۰
۱۰۸۱۶۵	۲۱۹۲	۱۹۵۱	۲۴۴۷	۲۱۸۳	۳۵۴۴	۳۱۰۰
۱۵۵۱۳۴	۱۳۷۶	۱۲۶۷	۱۲۵۶	۱۱۳۰	۳۴۱۸	۳۱۰۰
۱۷۰۸۷۱	۱۴۹۴	۱۴۱۷	۱۲۱۴	۱۱۰۷	۳۳۶۷	۳۱۰۰
۱۸۷۵۲۸	۲۱۲۴	۲۱۶۷	۲۰۹۸	۲۱۹۰	۳۳۰۴	۳۱۰۰
۱۹۵۴۳۵	۲۱۰۹	۲۱۶۱	۲۰۸۴	۲۱۹۰	۳۲۷۳	۳۱۰۰

مطابق شکل (۸)، مدل‌سازی یک‌بعدی با مقاطع اصلی به دلیل عدم مدل‌سازی پخش سیلاب و خروج جریان از کانال رودخانه، عملاً تغییرات دبی در طول رودخانه را ثابت محاسبه می‌کند. در حالی‌که مدل شبه دوبعدی LINK CHANNELS با لحاظ نمودن پخش سیلاب و خروج و ورود جریان به کانال رودخانه، به طور کلی از الگوی تغییرات دبی به دست آمده از مدل MIKE FLOOD تبعیت می‌کند و دقت قابل قبولی در محاسبه ارائه می‌دهد. نزدیکی نتایج محاسبات مدل شبه دوبعدی به نتایج مدل یک بعدی-دوبعدی، بر قابلیت آن برای شبیه‌سازی سیلاب برای رودخانه‌های جاری در دشت‌ها صحه می‌گذارد؛ چرا که در نواحی کوهستانی و مرتفع به دلیل بلند بودن دو طرف مقاطع و V شکل بودن آن‌ها، پخش سیلاب اتفاق نمی‌افتد و نتایج هر سه حالت بالا بسیار نزدیک به هم به دست می‌آید. مطابق شکل (۹) هیدروگراف‌های محاسبه شده توسط مدل MIKE FLOOD و مدل LINK CHANNELS در پایین‌دست بازه، تطابق خوبی با یکدیگر دارند و نتایج بسیار نزدیکی در محاسبه دبی و زمان رسیدن سیلاب به پایین دست ارائه می‌دهند.

در شکل (۱۰) تغییرات ترازهای سطح آب محاسبه شده توسط سه شبیه‌سازی بررسی شده نشان داده شده است.

بنابر شکل (۱۰)، مقایسه نتایج رقوم سطح آب محاسبه شده، نزدیکی نتایج مدل شبه‌دوبعدی به مدل یک‌بعدی-دوبعدی و دقت خوب این مدل در شبیه‌سازی انجام شده را نشان می‌دهد در حالی‌که شبیه‌سازی یک‌بعدی (مدل با مقاطع اصلی) ترازهای سطح آب را بسیار بالا و دور از واقعیت شرایط سیلابی رویداده در رودخانه نشان می‌دهد. همچنین باید توجه داشت که در این شبیه‌سازی امکان ارائه پاسخ‌های مناسب در مورد تخفیف اوج سیلاب و کاهش حجم آن وجود ندارد.

در شبیه‌سازی با استفاده از مدل یک‌بعدی، در شرایط سیلابی که تراز جریان به کرانه‌های مقاطع می‌رسد، برای ادامه‌ی اجرا و متوقف نشدن آن، کرانه‌های کانال رودخانه به صورت عمودی ادامه داده می‌شود. در این حالت تمام دبی جریان در کانال رودخانه جریان خواهد داشت و منجر به افزایش غیر واقعی تراز سطح آب می‌گردد. این مورد با واقعیت در تناقض است؛ چرا که در این حالت باید جریان از کانال رودخانه خارج و در سیلاب‌دشت‌ها جریان یابد.

در شبیه‌سازی با استفده از مدل یک‌بعدی-دوبعدی، گره‌های مربوط به مقاطع عرضی از مدل یک بعدی به خانه‌های مدل دوبعدی مرتبط می‌شوند و وقتی جریان در هر کدام بر دیگری غلبه نماید، ظرفیت تبادل میان آن‌ها برقرار می‌گردد. این جریان متناسب با نوع ارتباط در نظر گرفته شده به صورت یک چشمه به مدل گیرنده ارسال و به صورت چاه از مدل فرستنده کسر می‌شود. در نتیجه در هنگام رسیدن تراز آب به لبه مقاطع کانال رودخانه، بخشی از دبی جریان که مقدار آن متناسب با دبی-اشل سازه ارتباطی مدل یک‌بعدی و دوبعدی است، وارد سیلاب‌دشت می‌گردد. در این‌حالت دبی کانال رودخانه و در نتیجه تراز سطح آب کاهش می‌یابد و بخشی از حجم سیلاب در سیلاب‌دشت‌ها ذخیره می‌گردد. این حالت انطباق مناسبی با روند پخش سیلاب در طبیعت و تخفیف دبی ناشی از پخش دارد. در مدل شبه دوبعدی روندی مشابه مدل یک‌بعدی-دوبعدی وجود دارد؛ با این تفاوت که مدل شبه‌دوبعدی به طور کامل در محیط یک‌بعدی MIKE 11 شبیه‌سازی می‌شود و برای ارتباط کانال اصلی و کانال‌های مجازی (معرف سیلاب‌دشت‌ها)، از یک مجموعه از کانال‌های ارتباطی استفاده شده است و در آن‌ها متناسب با دبی-اشل کانال ارتباطی، بخشی از دبی جریان وارد رودخانه مجازی می‌شود. بنابراین دبی و تراز سطح آب در طول کانال روخانه در نتیجه این تبادل جریان کاهش می‌یابد.

مقادیر متوسط مطلق خطاها و مجموع مربع خطاها برای تراز سطح آب مدل یک بعدی نسبت به مدل یکبعدی-دوبعدی به ترتیب برابر ۴/۰۳ و ۴/۲۶ درصد و برای مدل شبه‌دوبعدی نسبت به یک‌بعدی-دوبعدی برابر ۱/۶۵ و ۱/۸۲ درصد تعیین شده است که مؤید دقت مناسب شبیه‌سازی مدل LINK CHANNELS در مقایسه

با مدل MIKE FLOOD است. در ادامه در جدول(۳) تفاوت سه حالت شبیه‌سازی شده در برآورد حجم سیلاب نشان داده شده است.

همان‌طور که پیش از این گفته شد، جدول (۴) نیز نشان می‌دهد که مدل‌های شبه‌دوبعدی و MIKE FLOOD، دبی و حجم سیلاب را با دقت خوبی نزدیک به هم ارزیابی کرده‌اند. مقدار خطای مدل شبه‌دوبعدی نسبت به مدل یک‌بعدی–دوبعدی در برآورد دبی برابر ۵/۷۴ درصد و در تعیین حجم برابر ۵/۲۲ درصد به دست آمده است. در حالی‌که مدل‌سازی یک‌بعدی با مقاطع موجود، تغییرات پیک سیلاب را نشان نمی‌دهد و کاهش و افزایش حجم سیلاب در اثر پخش و بازگشت جریان به رودخانه را لحاظ نمی‌کند و تنها روندیابی انجام شده در طول مسیر رودخانه را نشان می‌دهد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مدل شبه‌دوبعدی با وجود زمان اجرای کوتاه (مشابه مدل‌سازی یک‌بعدی) بهترین و نزدیک‌ترین نتایج را در ارزیابی شبیه‌سازی سیلاب و الگوی تغییرات آن به مدل یک‌بعدی–دوبعدی دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق قابلیت روش‌های شبه‌دوبعدی در مدل‌سازی سیلاب‌دشت‌ها به عنوان حد میانه مدل‌های یک و دوبعدی تأیید می‌کند. به دلیل شبیه‌سازی متفاوت سیلاب‌دشت‌ها، روش حل عددی متفاوت و تفاوت در سازه‌های عبور دهنده جریان به سیلاب‌دشت‌ها در مدل‌های شبه‌دوبعدی و کوپل، تفاوت‌هایی در نتایج آن‌ها با هم دیده شده است و با این وجود به طور کلی نتایجی نزدیک به هم داشتند. ویلاژن و همکاران (۲۰۱۳) نیز در مطالعه خود دو روش شبیه‌سازی شبه‌دوبعدی شامل سلول‌های سیلاب و روش شاخه‌های مجازی، قابلیت روش‌های شبه‌دوبعدی در مدل‌سازی جریان سیلابی و اهمیت روش حل و فرضیه‌های در نظر گرفته شده در مورد سازه‌ها و ساختارهای مؤثر بر عبور جریان را مورد تأیید قرار دادند.

مدل شبه‌دوبعدی LINK CHANNELS به دلیل قابلیت آن در شبیه‌سازی ورود و خروج جریان به کانال رودخانه، نزدیک‌ترین پاسخ‌ها را به مدل یک‌بعدی–دوبعدی MIKE FLOOD در محاسبه اوج سیلاب، تغییرات حجم آن و تراز سطح آب برای رودخانه‌های جاری در دشت‌ها ارائه می‌دهد. در دبی‌های بالا اختلافاتی در نتایج دیده می‌شود، ولی به طور کلی انطباق مناسبی با یکدیگر دارند. در حالی‌که در مدل با مقاطع اصلی، به دلیل عدم مدل‌سازی پخش سیلاب، امکان ارائه پاسخ‌های مناسب در مورد تأثیرات پخش سیلاب وجود ندارد.

در مدل شبه‌دوبعدی ضرورت دقت بالای ترازهای لبه مقاطع، به منظور شبیه‌سازی دقیق‌تر عبور جریان از آن و تعریف رودخانه‌های مجازی در مسیرهای مستقیم و کم‌قوس‌تر به نحوی که محدوده سیل‌گیر را پوشش دهد، از دیگر نتایج به دست آمده در این تحقیق بود که با مطالعه انجام شده توسط رایت و همکاران (۲۰۰۸) همخوانی دارد.

پیاده کردن و اجرای مدل MIKE FLOOD زمان‌بر است. اجرا و رفع خطاهای اجرایی آن نیاز به صرف وقت فراوان و مهارت و تجربه کاربر دارد. ساخت مدل شبه‌دوبعدی نیز نسبتاً زمان‌بر بوده، ولی اجرای آن مشابه سایر مدل‌های یک‌بعدی آسان‌تر است. زمان اجرای کوتاه مدل‌سازی یک بعدی و شبه‌دوبعدی (در حدود چند دقیقه) در مقایسه با زمان بسیار طولانی اجرای مدل کوپل (چندین ساعت) از دیگر نتایج به دست آمده است که امکان دست‌یابی به پاسخ‌های مناسب با استفاده از مدل شبه‌دوبعدی را در زمان کوتاه‌تر در مقایسه با مدل کوپل، فراهم می‌سازد. موسی و بوکویلون (۲۰۰۹) و همچنین هاردی و همکاران (۱۹۹۹) نیز در تحقیقات خود بر اهمیت زمان کوتاه شبیه‌سازی‌های انجام شده توسط مدل‌های یک‌بعدی و شبه‌دو بعدی در مقایسه با مدل‌های دو بعدی و کوپل تأکید دارند.

منابع

۱- بی‌نام. ۱۳۸۶. راهنمای روش‌های محاسبه آب‌شستگی موضعی. نشریه شماره ۳۱۸ الف، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.

۲- فیاضی، م.، باقری، ع.، صدقی، ح.، کیهان، ک. و ک. کاوه. ۱۳۸۸. مطالعه پهنه بندی سیلاب با استفاده از مدل های ریاضی یک بعدی و دو بعدی (MIKE 11 & MIKE FLOOD). هشتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۳- قلی نژاد، ج. و ع. ظهیری. ۱۳۹۱. بررسی کارایی مدل‌های یک بعدی و شبه‌دوبعدی در تعیین دبی جریان رودخانه‌های سیلابی. نهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۴- مسلمی، ع.ر. ۱۳۷۵. آشنایی با بلاهای طبیعی و شرایط غیرمترقبه و اقدامات امدادی. انتشارات معاونت ترویج و مشارکت مردمی وزارت جهادسازندگی سابق.

5-Anonymous. 2007a. Mike Flood 1D-2D Modeling. User Manual.

6- Anonymous. 2007b. Mike 11 A Modeling System for Rivers and Channels, Short Introduction Tutorial.

7- Anonymous. 2007c. Mike 11 A Modeling System for Rivers and Channels. Reference Manual.

8- Anonymous. 2007d. Mike 11 A Modeling System for Rivers and Channels. User Manual.

9- Hardy, R. J., Bates, P. D. and M. G. Anderson. 1999. The importance of spatial resolution in hydraulic models for floodplain environments. Journal of Hydrology, 216: 124–136.

10- Moussa, R. and Cl. Bocquillon. 2009. On the use of the diffusive wave for modelling extreme flood events with overbank flow in the floodplain. Journal of Hydrology, 374: 116–135.

11- Rungø, M. and K. W. Olsen. 2003. Combined 1- and 2- dimensional flood modeling. Proceeding 4th Iranian Hydraulic Conference, Shriraz, Iran.

12- Tuteja, N. K. and M. Shaikh. 2009. Hydraulic modelling of the spatio-temporal flood inundation patterns of the Koondrook Perricoota Forest. 18 th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia.

13- Villazón, M. F., Timbe, L. and P. Willems. 2013. Comparative analysis of 1-D river flow models applied in a quasi 2-D approach for floodplain inundation prediction. MASKANA, 4(1): 107-126.

14- Wermer, M., Blazkova, S. and J. Petr. 2005. Spatially distributed observations in constraining inundation modelling uncertainties. Hydrological Processes, 19: 3081-3096.

15- Willems, P., Vaes, G., Popa, D., Timbe, L. and J. Berlamont. 2002. Quasi 2D river flood modelling, In: River Flow. 2002, D. Bousmar and Y. Zech (ed.), Swets & Zeitlinger, Lisse. 2: 1253-1259.

16- Wright, N. G., Villanueva, I., Bates, P. D., Mason, D. C., Wilson, M. D., Pender, G. and S. Neelz. 2008. Case study of the use of remotely sensed data for modeling flood inundation on the river Severn, U.K. Journal of Hydraulic Engineering, 134(5): 533-540.