



دانشگاه گورگان و منابع طبیعی گورگان

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و هفتم، شماره دوم، ۱۳۹۹

۲۳۶-۲۳۳

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2020.17618.3325

شبیه‌سازی دوبعدی سیل با استفاده از مدل Nays 2D Flood و مقایسه آن با تصویر ماهواره سنتینل ۲ (مطالعه موردی: سیل اسفند ۱۳۹۸ در بازه انتهایی رودخانه آرازکوسه، استان گلستان)

* عبدالرضا بهره‌مند^۱، فاطمه جمالی^۲ و چوقی بایرام کمکی^۳

^۱ دانشیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانشجوی کارشناسی ارشد گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم

کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۲ استادیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱۸، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۰۹

چکیده

سابقه و هدف: وقوع سیلاب با دوره بازگشت‌های نادر در بیشتر مناطق کشور و اثرات زیان‌بار جانی و مالی ناشی از آن که اغلب نیز به دلیل اقدامات انسانی تشدید می‌شوند، باعث شده تا به مقوله مدیریت سیلاب بیش‌ازپیش پرداخته شود. در این راستا شبیه‌سازی پهنه سیلاب یکی از اقدامات مؤثر در کاهش میزان این خسارات می‌باشد. به‌منظور شبیه‌سازی این پهنه مدل‌های متعدد هیدرولیکی توسعه‌یافته‌اند. مدل‌های عددی هیدرولیکی می‌توانند یک‌بعدی، دوبعدی و سه‌بعدی باشند. از آن‌جهت که در اجرای اقدامات مهندسی و مدیریتی مربوط به سیل، لازم است تا پهنه آن با دقت کافی و با هزینه کم شبیه‌سازی شود، در پژوهش حاضر از یک مدل هیدرولیکی دوبعدی با عنوان Nays 2D Flood استفاده شده است.

مواد و روش‌ها: مدل فوق در بازه کوتاهی از شاخه آرازکوسه قبل از الحاق آن به رودخانه گرگان‌رود برای رخداد سیل ۲۶ اسفندماه ۱۳۹۸، به‌عنوان یک واقعه نادر، مورد استفاده قرار گرفت. بدین‌منظور یک لایه DEM با قدرت تفکیک یک متر و هیدروگراف سیل با گام زمانی یک ساعت به مدل معرفی گردید. پس از انتخاب شبکه سلولی مناسب و تهیه نقشه زبری کانال و دشت سیلابی از روی تصاویر Google Earth، مدل مذکور اجرا گردید.

یافته‌ها: نتایج این شبیه‌سازی شامل نقشه‌های عمق، پهنه سیل و سرعت جریان می‌باشد. ارزیابی نتایج مربوط به پهنه‌بندی در پژوهش حاضر از طریق محاسبه ضریب F و مقایسه پهنه شبیه‌سازی‌شده توسط مدل با تصاویر مشاهده‌شده از آن که توسط ماهواره سنتینل ۲ در تاریخ ۱۶ فروردین ۱۳۹۸ ثبت گردیده است، صورت پذیرفت. میزان آماره F در تحقیق حاضر ۰/۷۸ محاسبه گردید. این رقم گواه این است که تطابق قابل‌قبولی بین پهنه محاسبه‌شده توسط مدل و پهنه مشاهده‌شده توسط ماهواره مذکور وجود دارد. مساحت پهنه سیل در تصویر ماهواره‌ای ۱۳/۹۵ هکتار می‌باشد، درحالی‌که پهنه شبیه‌سازی‌شده توسط مدل ۱۴/۳۰ هکتار برآورد گردید. جهت ارزیابی نتایج مربوط به

* مسئول مکاتبه: abdolreza.bahremand@yahoo.com

عمق، از داده‌های منحنی سنجه استفاده گردید. میزان عمق محاسبه‌شده، توسط مدل در تاریخ ۱۶ فروردین ۱۳۹۸ برابر ۶/۲۲ متر می‌باشد. در همین تاریخ عمق آب طبق منحنی سنجه معادل ۶/۱۳ متر، مشاهده شده است. میزان خطا در این ارزیابی ۶/۱۸ درصد محاسبه گردید.

نتیجه‌گیری: این نتایج، بیانگر این است که مدل Nays 2D flood عملکرد قابل‌قبولی داشته است و می‌توان از آن در پژوهش‌های آینده نیز استفاده کرد. با توجه به این‌که حرکت سیل در دشت سیلابی در طول و عرض می‌باشد، مدل‌های دوبعدی که این واقعیت را لحاظ می‌کنند بر مدل‌های یک‌بعدی برتری پیدا می‌کنند. نتایج این پژوهش و پژوهش‌های مشابه، نشان از دقت خوب این مدل‌ها در شبیه‌سازی پهنه سیل در خارج از مجرای رودخانه می‌باشند. مدل مذکور با در اختیار داشتن یک لایه DEM با قدرت تفکیک بالا بدون نیاز به داده‌های مقاطع کانال در مواقعی که سیل از بستر رودخانه خارج شده باشد، با دقت مناسب قابل‌استفاده است.

واژه‌های کلیدی: تصویر ماهواره‌ای سنتینل ۲، سیل ۱۳۹۸ استان گلستان، شبیه‌سازی هیدرولیکی دوبعدی سیل، مدل Nays 2D Flood

مقدمه

حریم رودخانه‌ها، تصرف غیرقانونی این‌گونه اراضی، افزایش روند تجاوز به بستر و حریم رودخانه‌ها و دخل و تصرف غیرمجاز این اراضی موجب شد تا تمهیداتی جهت کاهش اثرات زیان‌بار سیلاب‌ها و حفظ و بهره‌برداری بهینه از رودخانه‌ها اندیشیده شود. در این راستا تعیین پهنه‌هایی که در معرض سیل قرار می‌گیرند و یا خسارت‌هایی که ممکن است در اثر وقوع سیل با دوره بازگشت‌های معین رخ دهد برای سیاست‌گذاری و مدیریت مناطق موردنظر ضروری به‌نظر می‌رسد. از کاربرد نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب می‌توان به تعیین بستر و حریم رودخانه‌ها، مطالعه و توجیه اقتصادی طرح‌های عمرانی، پیش‌بینی و هشدار سیل، عملیات امداد و نجات و ... اشاره نمود (۲). به‌منظور پهنه‌بندی سیل نیاز به استفاده از یک مدل عددی پیش‌بینی‌کننده، برای تعیین مناطق و منابع مولد سیل وجود دارد. این مدل‌ها می‌توانند درجات متفاوتی از پیچیدگی را پوشش دهند. مدل‌های مذکور، از انواع ساده که یک صفحه افقی مماس بر سطح آب را بر روی لایه مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با

رودخانه‌های استان‌های شمالی ایران در اغلب ماه‌های سال فاجعه سیل را تجربه می‌کنند. عواملی همچون ویژگی‌های زمین‌شناسی و خاک‌شناسی، فیزیوگرافی حوزه‌ها، تخریب پوشش گیاهی، تعرض به حریم رودخانه‌ها، شدت بارش و ... در بروز سیلاب‌ها نقش اساسی دارند (۱۱). واژه سیل، جاری شدن حجم بسیار بالای آب که منجر به بروز خسارات جانی و مالی می‌گردد را در ذهن تداعی می‌کند. یکی از تعاریف جامع سیل بیان می‌کند که هر جریان سطحی آب، با صرف‌نظر کردن از عامل ایجادکننده آن در صورتی سیل تلقی می‌شود که میزان جریان آب در مقطع خاصی از رودخانه بیش از حالت عادی باشد، تداوم زمانی آن محدود باشد، جریان آب از بستر طبیعی خود تجاوز کرده و اراضی پست و حاشیه رودخانه را فراگیرد و خسارت‌های مالی و جانی به همراه داشته باشد (۸). رشد روزافزون جمعیت و توسعه سریع زندگی شهری و روستایی در اراضی حاشیه رودخانه‌ها و طبیعتاً افزایش ساخت‌وسازها در

گروگان‌رود، انجام دادند و نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش نشان داد که پهنه محاسبه‌شده توسط مدل مذکور با تصاویر Google Earth مطابقت مناسبی دارد (۱). مدل Nays 2D Flood در سال ۲۰۱۸ در کشور افغانستان توسط شایق‌فروتن و همکاران مورد استفاده قرار گرفته شد این مطالعه با هدف استفاده از مدل Nays 2D flood و داده‌های DEM جهانی در دسترس برای مدل‌سازی سیلاب احتمالی رودخانه بلخاب در شمال افغانستان انجام شد. هم‌چنین اعتبارسنجی نتایج از طریق پرسش از افراد بومی صورت پذیرفت و نتایج بیانگر آن بود که عملکرد مدل قابل قبول بوده و یک ابزار مدل‌سازی قابل اجرا برای شبیه‌سازی طغیان سیل می‌باشد که می‌تواند در ارزیابی آسیب‌پذیری سیل مورد استفاده قرار گیرد (۱۳). پژوهش حاضر با هدف استفاده از مدل Nays 2D flood برای مدل‌سازی سیلاب ۲۶ اسفندماه ۱۳۹۸ در مقطعی از رودخانه ازاکوسه به طول یک کیلومتر، واقع در استان گلستان انجام گردید. علت انتخاب این رخدادهای سیل، بدین جهت است که سیل مذکور از سیلاب‌های نادر استان بوده و مساحت پخش آن بر اساس نگاره‌های ماهواره‌ای ۴۰۰ کیلومترمربع بوده که با توجه به طول تقریبی ۱۵۰ کیلومتر مسیل سیلاب، پهنا تقریبی و میانگین سیلاب ۲/۷ کیلومتر ارزیابی می‌شود (۵). عبور رودخانه گروگان‌رود از حاشیه شهر گنبد و وجود روستاهای متعدد، کارخانجات، تأسیسات و زمین‌های کشاورزی در مجاورت این رودخانه و هم‌چنین اثراتی که این عوامل بر ظرفیت آن می‌گذارند، لزوم و اهمیت تعیین پهنه سیل‌گیر به هنگام وقوع سیل، به‌منظور ارائه راه‌کارهای مناسب و انجام اقدامات مؤثر در جهت شناسایی مناطق سیل‌گیر، پهنه‌بندی پتانسیل خطر سیل، ایجاد سیستم‌های مدیریت سیلاب و در نهایت

قدرت تفکیک مکانی معقول قرار داده و بدین ترتیب پهنه سیل را نشان می‌دهند، تا مدل‌های هیدرودینامیکی پیشرفته‌تر امروزی را شامل می‌شوند (۷). بدون شک، تعداد زیادی مدل عددی برای تشریح فرآیندهای جریان در کانال‌های روباز و رودخانه‌ها وجود دارند؛ این مدل‌ها به سه نوع یک‌بعدی (۱D)، دوبعدی (۲D) و سه‌بعدی (۳D) تقسیم می‌شوند (۱۵). مدل‌های یک‌بعدی به زمان محاسباتی محدودی نیاز دارند اما فقط امکان بررسی پارامترهای جریان را در کانال رودخانه در اختیار کاربر قرار می‌دهند و جزئیاتی از پخش سیلاب و تغییرات جریان بین مجرای رودخانه و دشت سیلابی ارائه نمی‌دهند (۹). از سوی دیگر با توجه به این‌که ساختار جریان‌های ثانویه سه‌بعدی می‌باشد، بنابراین شبیه‌سازی آن‌ها به‌ویژه در رودخانه‌ها نیاز به مدل‌هایی دارد که جریان آب و حمل رسوب در کناره‌ها و کف رودخانه را به‌صورت سه‌بعدی بیان نماید. از طرفی استفاده از یک مدل سه‌بعدی، به دلیل دخالت فرسایش و عوامل دخیل در آن به‌طور نسبی هزینه‌بر است، برخی از پژوهشگران مدل‌های دوبعدی‌ای را پیشنهاد می‌کنند، که تا حدودی توانایی مقابله با یک مدل سه‌بعدی را از نظر کارایی داشته باشد (۶). رحیم‌زاده و همکاران در سال ۲۰۱۹ فرآیند شبیه‌سازی پهنه سیل ۲۵ مارس ۲۰۱۲ را در بازه‌ای از رودخانه گروگان‌رود به طول ۱۰ کیلومتر، توسط دو مدل هیدرولیکی یک‌بعدی HEC-RAS و مدل دوبعدی LISFLOOD-FP انجام دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل دوبعدی LISFLOOD-FP نتایج کمی بهتری نسبت به مدل یک‌بعدی HEC-RAS ارائه داده است (۱۰). بهره‌مند و جمالی در سال ۲۰۱۹ با به‌کارگیری مدل هیدرولیکی Nays 2D flood فرآیند پهنه‌بندی سیل ۱۵ مارس ۲۰۱۲ را در مقطع ۱۰ کیلومتری از رودخانه

سپس در پایین‌دست روستای تمر به دریاچه سد گلستان ریخته و در ادامه مسیر رودخانه‌هایی همچون آجی‌قوشان، دوغ و اوغان، ارازکوسه و ... به آن می‌پیوندند. در نهایت نیز این رودخانه پس از طی مسیر خود در دشت گرگان به دریای خزر می‌ریزد. منطقه مورد مطالعه این پژوهش بازه‌ای از شاخه ارازکوسه به طول یک کیلومتر در نزدیکی شهر گنبد کاووس می‌باشد. هم‌چنین این بازه حدود یک کیلومتر با ایستگاه هیدرومتری ارازکوسه فاصله داشته و در پایین‌دست آن، قبل از الحاق این شاخه به شاخه اصلی گرگان‌رود واقع شده است. بازه مطالعاتی این تحقیق از بین اراضی کشاورزی و منطقه مسکونی عبور می‌کند و در محدوده جغرافیایی $55^{\circ} 07' 56''$ تا $55^{\circ} 08' 20''$ طول شرقی و $37^{\circ} 13' 23''$ تا $37^{\circ} 13' 45''$ عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱).

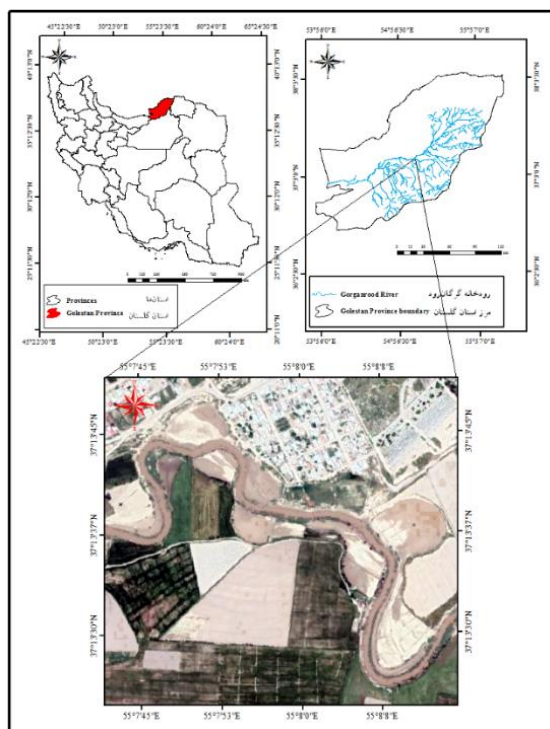
ایمن‌سازی مناطق در معرض خطر، برای پیش‌گیری و مقابله با این پدیده را روشن می‌سازد (۱۲).

به‌طور خلاصه اهداف این پژوهش عبارتند از:

۱. معرفی و ارزیابی مدل Nays 2D Flood
۲. شبیه‌سازی سیل بزرگ ۲۹ اسفند ۱۳۹۸ در خروجی رودخانه ارازکوسه
۳. استفاده از داده‌های سنجش از دور در ارزیابی پهنه سیل پیش‌بینی‌شده توسط یک مدل هیدرولیکی دوبعدی.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: حوزه گرگان‌رود در استان گلستان، در حاشیه دریاچه خزر واقع شده است و از حیث وسعت، وسیع‌ترین حوزه استان می‌باشد. گرگان‌رود از بهم پیوستن رودخانه‌های زاوه و قرناوه در محل روستای تمر در شرق استان شکل می‌گیرد،



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه.

Figure 1. Location of the study area.

• وجود داده‌هایی برای ارزیابی کارایی مدل عمق (جریان و پهنه مشاهده‌شده از سیل).

جهت تهیه لایه DEM دقیق، ابتدا نقشه توپوگرافی بازه رودخانه با مقیاس ۱:۲۰۰۰ از شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان تهیه شد. سپس این نقشه در محیط نرم‌افزار ArcGIS به لایه DEM با قدرت تفکیک مکانی یک متر تبدیل گردید (شکل ۲).

هیدروگراف اعمال‌شده به مدل، مربوط به وقوع سیلاب در تاریخ ۲۶ اسفندماه سال ۱۳۹۸ بوده که در ایستگاه ارازکوسه ثبت گردیده است و دبی اوج آن ۳۵۵ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد (شکل ۳).

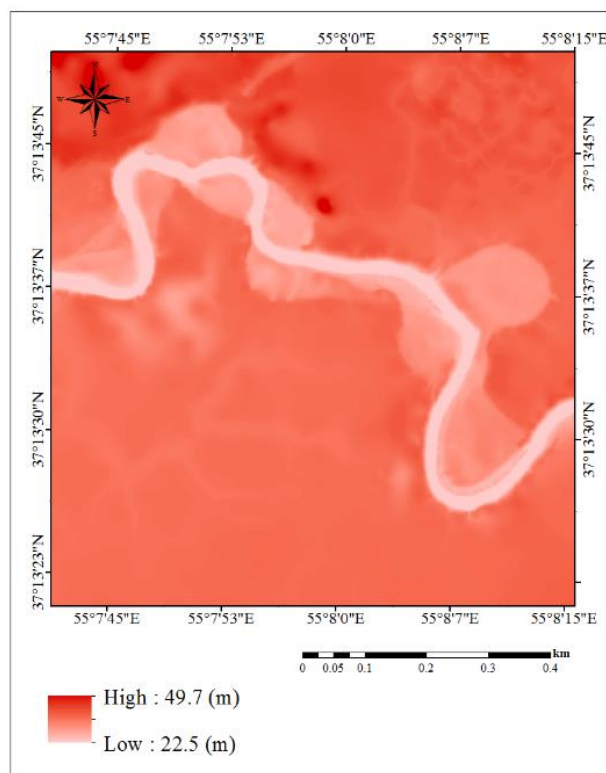
مجموعه داده‌های موردنیاز: داده‌های موردنیاز برای اجرای مدل‌های هیدرولیکی پهنه‌بندی سیل به چهار دسته مجزا تقسیم می‌شوند (۱۴):

• داده‌های DEM کانال و دشت سیلابی که به عنوان عمق سنج عمل نموده و اطلاعات مقطع کانال از آنها توسط مدل استخراج می‌شود.

• در برخی مدل‌ها هنوز هم به داده‌های هندسی مربوط به مقطع رودخانه در بازه مورد نظر جهت استخراج اطلاعات عمق نیازمند هستیم.

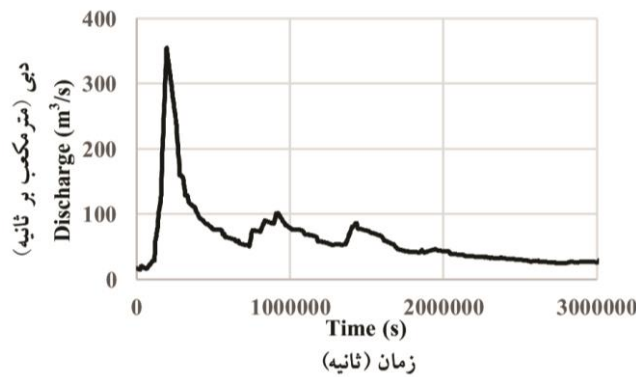
• ضریب زبری برای کانال و دشت سیلابی که می‌تواند توزیعی یا یکنواخت باشد.

• سری زمانی مقادیر جریان و تراز آب به عنوان شرایط مرزی (بالادست یا پایین‌دست و یا هر دو).



شکل ۲- لایه DEM منطقه مطالعاتی.

Figure 2. DEM of the study area.



شکل ۳- هیدروگراف اعمال شده به مدل.

Figure 3. Hydrograph applied to the model.

تجزیه و تحلیل‌گر جریان سیل است، که بر پایه شبیه‌سازی جریان ناپایدار در صفحه دوبعدی با استفاده از دستگاه مختصات مرزی منطبق بر عرصه مطالعاتی وارد شده به آن^۱، که به‌عنوان مختصات منحنی عمومی^۲ عمل نموده، استوار می‌باشد (۱۳). فرایند شبیه‌سازی در این مدل مبنی بر معادلات سنت-ونانت بوده و این معادلات در یک سیستم مختصات مستطیلی (x,y) به شرح زیر است (رابطه ۱):

$$\frac{h\partial}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = q + r \tag{1}$$

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial(hu^2)}{\partial x} + \frac{\partial(uvh)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_x}{\rho} + D^x$$

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(uvh)}{\partial x} + \frac{\partial(hv^2)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_y}{\rho} + D^y$$

ضوابط D^x و D^y هر یک به شرح زیر تعریف می‌شوند (رابطه ۲):

$$\frac{\tau_x}{\rho} = C_f u \sqrt{u^2 + v^2} \tag{2}$$

$$\frac{\tau_y}{\rho} = C_f v \sqrt{u^2 + v^2}$$

$$D^x = \frac{\partial}{\partial x} \left[v_t \frac{\partial(uh)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[v_t \frac{\partial(uh)}{\partial y} \right]$$

$$D^y = \frac{\partial}{\partial x} \left[v_t \frac{\partial(vh)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[v_t \frac{\partial(vh)}{\partial y} \right]$$

- 1- Coordinates fitted-boundary
- 2- General curvilinear coordinates

که در آن، Cr مقدار عدد کورانت جهت برقراری شرط پایداری محاسبات عددی، g شتاب گرانش زمین، h_{max} حداکثر ارتفاع آب هنگام وقوع سیل، Δt گام زمانی هیدروگراف اعمال شده به مدل و $x\Delta$ طول هر سلول شبکه می‌باشند (۴).

توضیح این‌که ابتدا از طریق برقراری شرط کورانت جهت پایداری محاسبات عددی ($0.7 < Cr < 0.3$) (۴)، مناسب‌ترین اندازه برای طول هر سلول از شبکه، در گام زمانی یک ثانیه و حداکثر ارتفاع آب معادل ۴ متر، ۱۱ متر محاسبه و شبیه‌سازی انجام شد و نتایج با ارتفاع آب در منحنی سنجه مقایسه گردید که این مقایسه بیانگر تطابق مناسب بین داده‌های اندازه‌گیری شده و نتایج مدل‌سازی، می‌باشد. جهت افزایش دقت در انتخاب ابعاد شبکه، مدل برای دو سناریوی دیگر با طول هر سلول شبکه معادل مقادیر ۱۳ و ۱۸ متر، اجرا شد، که عمق محاسبه شده در این دو سناریو، اختلاف زیادی با ارتفاع آب در منحنی سنجه داشت. مدل مذکور برای سناریوی طول هر سلول شبکه، کم‌تر از ۱۱ متر طبق شرایط حاضر قابل اجرا نبود و بنابراین همان سناریوی اول، حالت بهینه شبکه در نظر گرفته شد.

یکی از امکانات مدل Nays 2D Flood اتصال آن به Google Earth و ایجاد یک تصویر ماهواره‌ای پس‌زمینه از منطقه مورد مطالعه می‌باشد، این توانایی امکان تهیه نقشه ضریب زبری منطقه را نیز فراهم می‌سازد (شکل ۴).

در این مطالعه، ضریب زبری برای مجرای رودخانه با استفاده از رابطه کاون (رابطه ۱)، (۰/۰۶۵) و برای دشت سیلابی از طریق جدول چاو (جدول ۱) به دست آمد (رابطه ۴).

$$n = n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 \quad (4)$$

در اینجا h عمق آب، t زمان، u سرعت جریان در جهت x ، v سرعت جریان در جهت y ، g شتاب گرانش، H ارتفاع آب از سطح آب‌های آزاد، T_x تنش برشی در رودخانه در جهت x ، T_y تنش برشی در رودخانه در جهت y ، C_f ضریب اصطکاک بستر رودخانه، V_f ضریب لزجت گردابه‌ای، ρ چگالی آب است، q دبی در واحد سطح و I میزان ارتفاع باران است (۱۳ و ۱۴).

هم‌چنین مدل برای شبیه‌سازی جریان توربولنت یا آشفته که جریان نامنظمی همراه با گردابه‌های (ادی‌های) کوچک و بزرگ زیاد است از مدل معادله صفر^۱ استفاده می‌کند (۱۴).

مدل به سهولت به کاربر اجازه می‌دهد که به تعداد دلخواه شاخه فرعی و جریان ورودی به رودخانه اصلی در هر نقطه بالادست و در طول مسیر لحاظ کند. مدل Nays 2D Flood در آبراهه‌ها و رودخانه‌های کوچک تا خیلی بزرگ مانند می‌سی‌سی‌پی با موفقیت به کار گرفته شده است. چون مدل به داده‌های کانال رودخانه در سیلاب‌های بزرگ (سیلاب‌هایی که دبی کانال خیلی کوچک‌تر از دبی کل سیل می‌باشد) نیازی ندارد بنابراین می‌تواند برای مناطق فاقد داده باتیمتری کانال به راحتی استفاده گردد (برگرفته از دستورالعمل مدل و وب‌سایت iRIC).

مراحل اجرای مدل و نتایج: به منظور ایجاد شبکه سلولی مناسب برای انجام محاسبات عددی ابتدا چندین شبکه با ابعاد سلولی متفاوت آزمون شدند. در آزمون‌های مختلف معیار مقایسه، عمق حداکثر جریان در نظر گرفته شد. بنابراین برای تعیین ابعاد شبکه ابتدا پایداری محاسبات عددی از طریق برقراری شرط کورانت بررسی گردید (رابطه ۳).

$$Cr = \sqrt{gh_{max} \frac{\Delta t}{\Delta x}} \quad (3)$$

1- Zero Equation Model

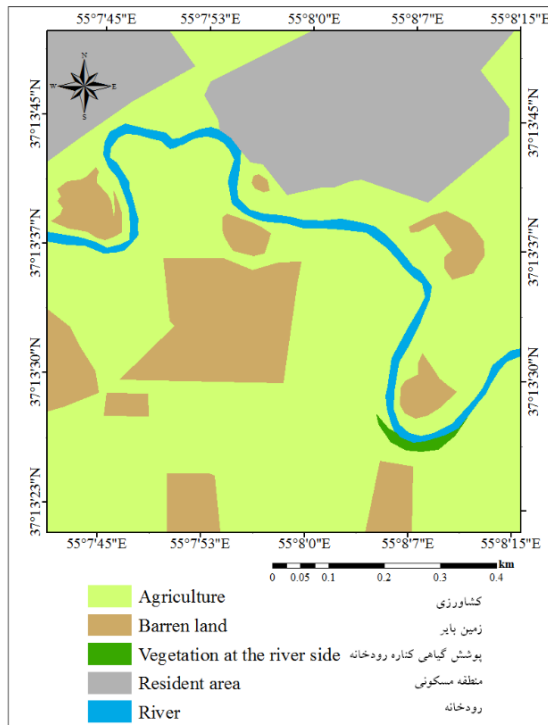
وجود موانع در برابر جریان، n_4 ضریب زبری ناشی از وجود پوشش گیاهی و m ضریب اصلاح برای پیچان‌رودی بودن کانال می‌باشد (جدول ۱).

که در آن، n ضریب زبری ترکیبی، n_b ضریب زبری پایه، n_1 ضریب زبری ناشی از نامنظمی‌های سطح کانال، n_2 ضریب زبری ناشی از تغییرات شکل و اندازه مقطع عرضی کانال، n_3 ضریب زبری ناشی از

جدول ۱- ضریب زبری سطوح مختلف در منطقه مطالعاتی.

Table 1. Roughness coefficient of different surfaces of the study area.

ضریب زبری Roughness coefficient	کاربری اراضی Land use
0.024	کشاورزی Agriculture
0.0113	اراضی بایر Barren land
0.052	پوشش گیاهی کناره رودخانه Vegetation at the river side
0.1	منطقه مسکونی Residential area

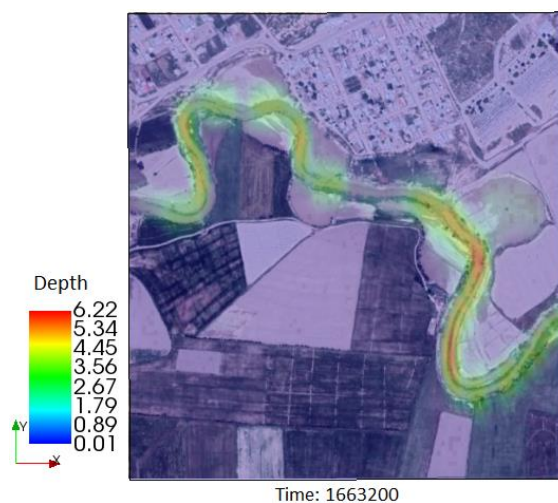


شکل ۴- ضریب زبری منطقه مطالعاتی.

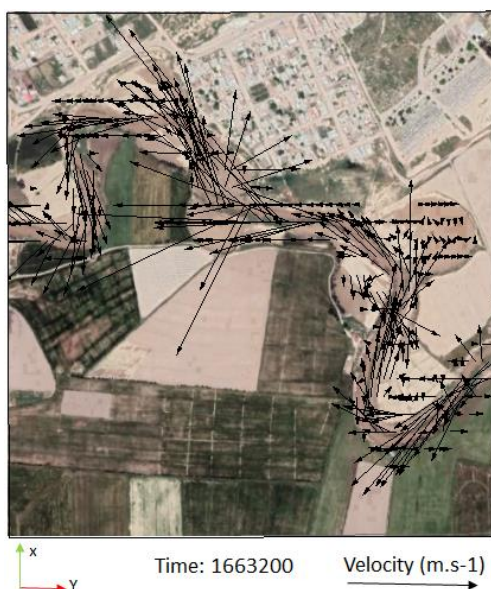
Figure 4. Roughness coefficient of the study area.

پس از اعمال داده‌های DEM، جریان ورودی و نقشه ضریب زبری به مدل و اجرای آن در گام زمانی یک‌ساعته، نتایج به صورت نقشه‌های عمق (شکل ۵) و جهات مختلف سرعت (شکل ۶) حاصل گردید. سپس این نتایج با تصویر پس‌زمینه منطقه مورد مطالعه روی هم گذاری شد.

لازم به ذکر است که یکی از مزایای مدل این است که می‌توان پیکسل‌هایی که در آن ساختمان‌ها و موانع بلند قرار دارند را با کلیک موس کامپیوتر مشخص و بعنوان مانع یا آب‌ترکشن^۱ به مدل معرفی کرد تا در محاسبات و شبیه‌سازی لحاظ نماید (۱۴).



شکل ۵- عمق (متر) سیل (در ساعت ۶:۳۰ روز ۱۶ فروردین ۱۳۹۸).
Figure 5. Depth (m) of the flood at 6:30 AM, 5 April 2019.

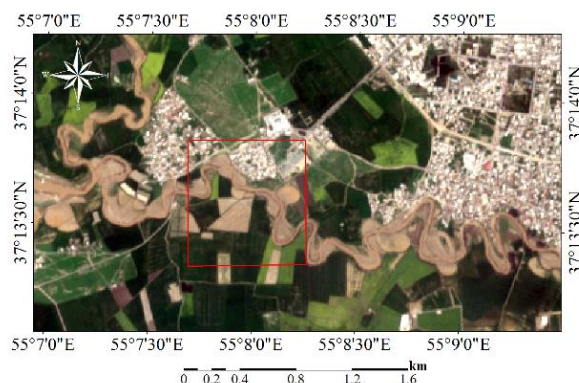


شکل ۶- بردارهای سرعت.
Figure 6. Velocity vectors.

1- Obstruction

است. با توجه به این‌که تصویر فوق در تاریخ ۵ آوریل ۲۰۱۹ مصادف با ۱۶ فروردین ۱۳۹۸ در ساعت ۶:۳۰ با قدرت تفکیک ۱۰ متر ثبت گردیده، ارزیابی مدل با استفاده از نتایج ثبت‌شده در گام زمانی مشابه با زمان ثبت تصویر انجام شده است (شکل ۷).

ارزیابی نتایج مدل: جهت بررسی صحت نتایج مربوط به عمق شبیه‌سازی‌شده در پژوهش حاضر از داده‌های منحنی سنججه و نیز جهت ارزیابی پهنه شبیه‌سازی‌شده، از تصویر موجود از پهنه سیل که توسط ماهواره سنتینل ۲ ثبت گردیده، استفاده شده



شکل ۷- پهنه مشاهده شده توسط ماهواره سنتینل ۲ (در ساعت ۶:۳۰ روز ۱۶ فروردین ۱۳۹۸).

Figure 7. Flooded area observed by sentinel2 satellite of the flood at 6:30 AM, 5 April 2019.

است. در جدول ۲ عملکرد مدل براساس مقایسه اعماق محاسباتی با مشاهداتی به‌ازای دبی‌های مختلف نشان داده شده است (جدول ۲).

مقدار عمق محاسبه‌شده توسط مدل و مقدار مشاهده‌شده آن در منحنی سنججه به‌ترتیب ۶/۲۲ و ۶/۶۳ متر می‌باشد، که گواه عملکرد قابل‌قبول مدل

جدول ۲- خطای مدل براساس مقایسه اعماق محاسباتی با مشاهداتی به‌ازای دبی‌های مختلف.

Table 2. Comparison of the model simulated water depths with the observed ones and the corresponding errors for different discharge.

1663200	1598400	669600	108000	گام زمانی (ثانیه) Time step (s)
58.5	66.6	58.9	36.9	دبی (مترمکعب برثانیه) Discharge (m ³ /s)
6.63	7.26	6.76	5.46	عمق مشاهداتی (متر) Observation depth (m)
6.22	6.35	6.24	5.96	عمق شبیه‌سازی (متر) Simulation depth (m)
6.18	12.53	7.69	9.15	میزان خطا Error value

از مقطع خارج و در عرض نیز حرکت می‌کند، اخیراً مورد تأکید و اقبال قرار گرفته است. با توجه به نتایج ارزیابی پژوهش حاضر و نتایج پژوهش رحیم‌زاده و همکاران (۲۰۱۹) که به‌وسیله مدل دوبعدی LISFLOOD-FP پهنه سیلاب در رودخانه گرگان‌رود را مورد بررسی قرار دادند و ضریب F را $۰/۶۹$ برآورد کردند (۱۰) می‌توان این‌گونه برداشت کرد که مدل‌های هیدرولیکی دوبعدی Nays 2D Flood و LISFLOOD-FP برای شبیه‌سازی پهنه سیلاب از قابلیت بالایی برخوردارند. این مطالعه، نقشه‌ای از پهنه سیل در بازه کوتاهی از رودخانه ارازکوسه را محاسبه نمود که حاوی مناطق مستعد وقوع سیل و اراضی سیل‌گیر می‌باشد.

پژوهش حاضر در مقایسه با پژوهش شایق‌فروتن و همکاران (۲۰۱۸)، از برتری دارای اهمیتی برخوردار است، زیرا ارزیابی نتایج مدل Nays 2D Flood به‌صورت کمی با مقایسه پهنه مشاهداتی ثبت شده در تصویر ماهواره‌ای و با استفاده از محاسبه ضریب F صورت گرفته، در صورتی‌که نتایج پژوهش انجام شده در رودخانه بلخاب کشور افغانستان (شایق‌فروتن و همکاران، ۲۰۱۸)، از طریق پرسش از افراد محلی انجام شده است. اما نتایج هر دو پژوهش بیانگر عملکرد قابل قبول مدل مذکور می‌باشد.

در نهایت نشان داده شد که ابزار Nays 2D Flood یک مدل مفید و دارای قابلیت پیش‌بینی سیل و به‌ویژه توانمند در تعیین مناطق مستعد سیل بوده که یکی از مهم‌ترین الزامات برای مطالعه نقشه‌های خطر سیل است. مدل مورد استفاده در این پژوهش مانند همه مدل‌های هیدرولیکی دارای بیش‌ترین حساسیت به پارامتر زبری مانینگ و ابعاد شبکه می‌باشد. هم‌چنین مانند همه مدل‌های دوبعدی دقت مدل رقمی ارتفاعی (DEM) به‌کارگرفته شده بسیار در دقت نتایج اهمیت دارد (به‌خصوص در مواقعی که مدل را بدون معرفی مقاطع جریان اجرا نماییم). در خصوص

مساحت پهنه سیل در تصویر ماهواره سنتینل ۲ و مقادیر محاسباتی آن توسط مدل به‌ترتیب معادل $۱۳/۹۵$ و $۱۴/۳۰$ هکتار می‌باشد. هم‌چنین فرآیند ارزیابی پهنه محاسباتی توسط مدل، با استفاده از ضریب F صورت گرفته است. ضریب F طبق رابطه ۵، محاسبه گردید (۱۰).

$$F = \frac{A}{C+B+A} \quad (5)$$

که در آن، A مساحت پهنه‌ای است که هم در مدل و هم در تصاویر ماهواره‌ای مرطوب می‌باشد، B مساحت پهنه‌ای است که مدل آن را خشک نشان داده اما در تصویر مشاهداتی مرطوب است و C نیز مساحت پهنه‌ای است که مدل آن را مرطوب نشان داده ولی در تصویر مشاهداتی خشک می‌باشد.

ضریب F جهت مقایسه پهنه سیل در پژوهش‌های متعدد مانند پژوهش بتس و دی‌رو (۲۰۰۰) و هم‌چنین رحیم‌زاده و همکاران (۲۰۱۹) مورد استفاده قرار گرفته است (۳ و ۱۰). در نتیجه در پژوهش حاضر سعی گردید از این فاکتور برای ارزیابی میزان تطابق بین نتایج مدل‌سازی و پهنه ثبت‌شده توسط تصویر ماهواره‌ای استفاده شود. با توجه به مقدار فاکتور F (۰/۷۸) می‌توان چنین بیان کرد که نتایج شبیه‌سازی مدل Nays 2D Flood با تصاویر موجود تطابق قابل قبولی داشته است.

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه، یک مدل شبیه‌سازی طغیان سیل، با استفاده از داده‌های DEM، جریان ورودی و نقشه ضریب زبری برای یک کیلومتر از بازه رودخانه ارازکوسه در استان گلستان صورت پذیرفت. از ویژگی‌های بارز این پژوهش استفاده از یک مدل هیدرولیکی دوبعدی و نیز ارزیابی نتایج آن با تصویر ثبت‌شده توسط ماهواره سنتینل ۲ می‌باشد. به‌کارگیری این‌گونه مدل‌ها در شبیه‌سازی پهنه‌های سیل که جریان

عدم قطعیت در نتایج مدل به میزان قابل توجهی به دقت نقشه زبری و دقت مدل رقومی ارتفاعی مورد استفاده بستگی دارد. در این خصوص انجام یک پژوهش منسجم پیشنهاد می‌شود.

پارامتر زبری با توجه به استفاده مدل از یک نقشه توزیعی باید بیش‌ترین دقت صورت گیرد. بدیهی است که در مواقعی که جریان از مقطع خارج و در دشت سیلابی با عمق کم پخش می‌شود، اهمیت نقشه مناسب و دقیق‌تر زبری به مراتب بیش‌تر می‌شود.

منابع

- Bahremand, A., and Jamali, F. 2019. Introduction and application of Nays 2D Flood model for flood zoning in Gorganrud flood plain. 14th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering of Iran Watershed Management and Integrated Management of Water and Soil Resources, At Urmia, Iran. 9p.
- Barkhordar, M., and Chavoshian, A. 2002. Flood zoning "River Flood Control Workshop", Iranian Hydraulic Society. 20p.
- Bates, P.D., and De Roo, A.P.J. 2000. A simple raster-based model inundation simulation, *J. Hydrol.* 236: 54-77.
- Bates, P.D., Horritt, M.S., and Fewtrell, T.J. 2010. A simple inertial formulation of the shallow water equations for efficient two-dimensional flood inundation modelling. *J. Hydrol.* 387: 33-45. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2010.03.027.
- Flood Golestan, Report of disaster Workgroup, part of Seismology, Engineering and Risk taking. 2019. Ministry of Roads and City Planning and Road, Housing and Urban Development Research Center. 42p.
- Ghodsian, M. 2008, Laboratory estimation of flow pattern at 90 degree bend. 4th National Congress of Civil Engineering Mage 4-6, Sharif University of Tehran. 7p. (In Persian)
- Horrittand, M.S., and Bates, P.D. 2001. Effects of spatial resolution on a raster-based model of flood flow, *J. Hydrol.* 268: 87-99.
- Mohammadpur, M., and Sabzevari, T. 2008. Flood Zoning with Geographic Information system (GIS) (Study Plan: Part of Gharaghagh River in Fars Province). Proceedings of the First GIS Conference Urban, Amol. 10p. (In Persian)
- Musavi, S.M., Kashefipour, S.M., and Ghomshi, M. 2015. Evaluation of one-dimensional, quasi-two-dimensional and one-dimensional- two-dimensional flood simulation methods for running rivers in floodplains (Case study: Dez River). *J. Irrig. Sci. Engin.* 39: 24-13.
- Rahimzadeh, O., Bahremand, A., Noura, N., and Mukolwe, M. 2019, Evaluating flood extent mapping of two hydraulic models, 1D HEC-RAS and 2D LISFLOOD-FP in comparison with aerial imagery observations in Gorgan flood plain, / Iran, *Natural Resource Modeling.* 12p. DOI: 10.1111/nrm.12214.
- Ranjbar, M., and Nadiri, M. 2008. Investigating the Causes of Flooding in Eastern Part of Golestan Province (Case study: Madarsoo Watershed). *J. Stud. Human Settle. Plan.* 13p. (In Persian)
- Sepehri, V., Nurani, V., and Alami, M. 2010. Flood Zoning with Geographic Information system. 8th International Seminar on River Engineering, Ahvaz, Shahid Chamran University. 7p. (In Persian)
- Shaiqfrotan, M., Schaab, C., Nakaza, E., Shimizu, Y., and Tariq Shoaib, M. 2018. Applicability of IRIC (Nays 2D Flood) for the Prediction of flash flood inundation area of Balkhab river, Proceedings of ISER 149th International Conference, Kyoto, Japan. 6p.
- Shimizu, Y., and Takebayashi, H. 2015, Nays2D Flood Solver Manual, iRIC Project All Rights Reserved. Japan. 51p.
- Zhang, Y., Jia, Y., and Wang, S.Y. 2007. A conserviative Multy-Block Algorithm for tow-dimensional Numbering Model. *J. Math Sei.* 13p.

Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 27(2), 2020**http://jwsc.gau.ac.ir**DOI: 10.22069/jwsc.2020.17618.3325*

2D Flood Simulation Using the Nays 2D Flood Model and Comparison with the Sentinel 2 Satellite Image (Case Study: Flood of March 2019 at the end of Arazkuse River, Golestan Province)

***A. Bahremand¹, F. Jamali² and Ch.B. Komaki³**

¹Associate Prof., Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,

²M.Sc. Student, Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,

³Assistant Prof., Dept. of Management of Desert Areas, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 02.07.2020; Accepted: 04.28.2020

Abstract

Background and Objectives: Flooding occurrence with rare return periods in most regions of the country and its harmful human and financial effects, which are intensifying often due to human actions, has brought the issue of flood management under more attention. Numerous numerical models have been developed to simulate flooding. These hydraulic models are three types, i.e., one-dimensional, two-dimensional and three-dimensional. Due to the fact that it is necessary to simulate inundation accurately with low cost, a two-dimensional horizontal hydraulic model called Nays 2D Flood was used in the present study.

Materials and Methods: The model was used for simulating flood in Arazkuse river reach before joining the Gorganrood River for the event occurred on March 20, 2019, as this phenomenon is one of the rare floods for the region. For this purpose, a DEM with one meter resolution and flood hourly hydrograph were given to the model. Then an appropriate grid was determined and the roughness of the channel and flood plain were mapped using the Google Earth images in the model software environment.

Results: The results of this simulation include maps of depth and flood zone and flow rate. The results were evaluated by computing the F coefficient and comparing the area calculated by the model with the images recorded by Sentinel 2 satellite on the same date. The F statistic was calculated 0.78 in the present study. This number indicates that there is an acceptable match between the area calculated by the model and the area observed by the satellite. The flooded area is 13.95ha in the satellite image, while the simulated area was estimated 14.30ha by the model. To evaluate the results, also the depths from rating curve data were used to compare with the simulated depths. The depth calculated by the model is 6.22 m on 5 April 2019. At that date, the depth of water was observed according to the rating curve measuring 6.63 meters. The error rate in this evaluation was calculated 6.18%.

Conclusion: These results suggest that the Nays 2D flood model has an acceptable function and it can also be used in future researches. Since the flood movement in a flood plain is in length and width, the two-dimensional models that take into account this fact are preferred to the one-dimensional models. The results of this study and similar researches indicate the good

* Corresponding Author; Email: abdolreza.bahremand@yahoo.com

accuracy of these models in simulating the flood zone outside the river channel. Having a high resolution DEM, the model can be used successfully without channel sections' data when the flood has spread out of the channel bed.

Keywords: Golestan Province flooding of March 2019, Nays 2D Flood, Sentinel 2 imagery, Two-dimensional flood hydraulic simulation