

تعیین ضریب نشت در رودخانه‌های فصلی، مطالعه موردی حوضه آبریز رودخانه خشک شیراز

سید احمد رضا ترابی^۱، جهانگیر پرهمت^{۲*}، حسین صدقی^۳ و حسین بابازاده^۴

چکیده

مستندات تاریخی موجود بیانگر این است که آبریزهای جنوب ایران به‌ویژه کلان‌شهر شیراز، استعداد بالایی در سیل‌خیزی دارد. در این تحقیق ضمن تعیین ضریب نشت، عوامل مؤثر بر افت حجم سیلاب در حوضه آبریز رودخانه خشک شیراز بررسی شده است. به‌همین‌منظور کاربری‌های مختلف اراضی و درصد پوشش گیاهی از روی تصاویر ماهواره‌ای تهیه شد؛ علاوه‌بر آن، اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های آب‌سنجی زیرحوضه‌ها نیز جمع‌آوری و از اطلاعات هندسی ۴۷۰ مقطع عرضی عمود بر جهت جریان در طول مسیر رودخانه استفاده شد. به‌منظور شبیه‌سازی جریان در رودخانه خشک شیراز و سرشاخه‌های آن از نرم‌افزار MIKE استفاده شد. سپس سیلاب‌هایی با دوره‌بازگشت ۵ تا ۱۰۰ ساله برای فرایند شبیه‌سازی درنظر گرفته و داده‌های مربوط به آن وارد پایگاه داده‌های نرم‌افزار شد. برای ارزیابی دقت مدل از شاخص ریشه میانگین مربعات خطا RMSE استفاده شد. نتایج نشان داد مدل کامپیوتری MIKE و معادلات حاکم سنت‌ونانت می‌توانند برای شبیه‌سازی جریان در رودخانه‌های فصلی مورد استفاده قرار گیرند. براین‌اساس میزان ضریب نشت برای رودخانه خشک و سرشاخه‌های آن برابر با 10^{-5} (l/s) حجم افت انتقال سیلاب برای دوره‌بازگشت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله در رودخانه خشک بیش از یک میلیون متر مکعب، در شاخه چنارسوخته بیش از صد هزار مترمکعب و در شاخه نهرا عظم برای سیلاب با دوره‌بازگشت‌های ۵۰ و ۱۰۰ ساله بیش از دویست هزار مترمکعب است. بیشترین درصد نفوذ در دوره‌بازگشت ۵ ساله رخ می‌دهد و مقدار آن برای رودخانه خشک، شاخه چنارسوخته و شاخه نهرا عظم به‌ترتیب ۲۰، ۶ و ۵ درصد از حجم سیلاب محاسبه شد. در شرایطی که افزایش شیب رودخانه منجر به کاهش قابل‌توجه افت حجم سیلاب می‌شود، دوره بازگشت سیلاب با افت حجم سیلاب معادله مستقیم دارد. با توجه به کارایی مدل در شبیه‌سازی جریان در رودخانه‌های فصلی پیشنهاد می‌شود، از مدل MIKE-11 در شبیه‌سازی جریان در مسیل‌های مشابه استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: رودخانه خشک شیراز، سیلاب، ضریب نشت، معادلات سنت‌ونانت، مدل MIKE

ارجاع: ترابی س. ا.، پرهمت ج.، صدقی ح. و بابازاده ح. ۱۴۰۲. تعیین ضریب نشت در رودخانه‌های فصلی، مطالعه موردی حوضه آبریز رودخانه خشک شیراز. مجله پژوهش آب ایران. ۵۰: ۴۷-۵۵. <https://dx.doi.org/10.22034/IWRJ.2023.14247.2495>

۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲- استاد پژوهشی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

۳- استاد گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۴- استاد گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول: Porhemmat@scwmri.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۰۹

مقدمه

رودخانه‌ها، همواره یکی از منابع طبیعی مهم در تأمین نیاز و توسعه جامعه بشری محسوب می‌شوند. زندگی در کنار رودخانه‌ها و بهره‌برداری از آن‌ها با مخاطرات و مشکلاتی نظیر طغیان و جابه‌جایی مسیر همراه است. با افزایش روزافزون جمعیت و گسترش شهرها، طبیعی است که وقوع سیلاب خسارت‌های فراوانی به بار می‌آورد (ترابی و شریفان، ۱۳۸۹). زمانی که سیل در یک منطقه خشک رخ می‌دهد، حجم جریان، با حرکت به سمت پایین‌دست به دلیل نفوذ در بستر کاهش می‌یابد. این کاهش حجم، اتلاف انتقال نامیده می‌شود (قبادیان، ۱۳۹۰). اگرچه تلفات انتقال به‌عنوان امری مهم از سال‌ها پیش مورد بررسی قرار گرفته است، اما هنوز هیچ‌گونه اطلاعات دقیقی درباره فرایند تشکیل‌دهنده تلفات انتقال وجود ندارد. نرم‌افزارهای مختلفی برای شبیه‌سازی جریان در سیستم رودخانه توسعه یافته است؛ اما کمتر در رودخانه‌های فصلی به‌کار گرفته شده‌اند؛ بنابراین، مقالات کمتری در ارتباط با این موضوع مهم وجود دارد و به‌علاوه، حضور چنین رودخانه‌هایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل نبود ایستگاه آب‌سنجی، برآورد انتقال را با مشکل مواجه می‌سازد. روش جایگزین برای برآورد تلفات انتقال در رودهای فصلی، توسعه روش‌های ساده است که در آن داده‌ها در ایستگاه‌های آب‌سنجی بالادست و پایین‌دست در دسترس هستند، مطلوب است که تلفات انتقال به‌عنوان اختلاف در حجم جریان در این ایستگاه‌های پشت‌سرهم برآورد شود. مطالعات قبلی در زمینه محیط‌های خشک ارائه شده‌اند، دبی اوج و حجم سیل اغلب زمانی که آب بیش از ظرفیت کانال‌های رسوبی جریان می‌یابد، در پایین‌دست کاهش می‌یابد. تلفات انتقال در رودخانه‌های فصلی استرالیا، هند و عربستان سعودی و آریزونا، به ترتیب کاهش ۸ درصد و ۹۵ درصد حجم سیلاب و دبی اوج را نشان می‌دهد (توت، ۲۰۰۰)؛ بنابراین اجرای چنین پروژه‌ای در آبریزهای ایران که کشوری با آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک و رودخانه‌های فصلی فراوان است، ضروری به نظر می‌رسد. به دلیل ناهمگنی آبخیزها و غیرخطی بودن رفتارهای آبشناسی و فرسایشی، شناخت کامل رابطه‌های آن‌ها بسیار پیچیده و مشکل است؛ بنابراین در ارزیابی و بررسی این سامانه‌ها، نیاز به شبیه‌سازی فرایندها وجود دارد (تیموری و الوندی، ۱۴۰۰).

در زمینه تغییر کاربری اراضی و ارتباط آن با عوامل مختلف سیلاب تحقیقات زیادی در سطح ایران و جهان انجام شده است. سوریا و مودگال (۲۰۱۲) با استفاده از مدل HEC-HMS و داده‌های سنجش‌ازدور، تأثیر تغییر کاربری اراضی طی ۲۹ سال را در حوضه تیروسولام روی سیلاب بررسی و با استفاده از مدل HEC-RAS نقشه پهنه‌بندی سیل را تهیه کردند. در تحقیق دیگری در شرق هندوستان سانپال و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از داده‌های ماهواره لندست در دوره ۲۸ ساله نقشه کاربری اراضی را با استفاده از نرم‌افزار ENVI تهیه کردند.

تحقیق حاضر، با هدف تعیین ضریب نشت و عوامل مؤثر بر آن در حوضه آبریز رودخانه خشک شیراز در محدوده شهری انجام شده است. افزایش سطوح نفوذناپذیر آبریز که ناشی از شهرسازی و احداث انواع سازه‌ها بر خاک‌های نفوذپذیر است، به‌طور طبیعی از میزان سطوح نفوذپذیر که قادر به جذب بخشی از بارندگی هستند، می‌کاهد. حاصل این تغییرات، توسعه زهکشی آبریز، کوتاه‌شدن زمان تمرکز و افزایش سیلاب‌های آبریز خواهد بود. تغییر شرایط طبیعی آبریز در مناطق مختلف بسیار زیاد است و کنترل و اندازه‌گیری همه آن عوامل تقریباً غیرممکن است، به همین دلیل استفاده از مدل‌های هیدرولوژیک برای کشف روابط حاکم بین پدیده‌های مختلف بسیار متداول است؛ بنابراین با توجه به اهمیت این موضوع در اکثر پروژه‌ها از نرم‌افزارهایی نظیر HEC و WMS استفاده می‌شود. این در حالی است که جنبه نوآوری این تحقیق استفاده از نرم‌افزار MIKE به دلیل قدمت حدود ۳۰ ساله و قابلیت اطمینان بالای آن، است، به‌طوری‌که مشاهده می‌شود مقادیر ضریب مانینگ حاصل برای شاخه‌های نهر اعظم و چنار سوخته و رودخانه خشک به ترتیب ۰/۰۲۴، ۰/۰۴۸ و ۰/۰۳۵ بود (ترابی و شریفان، ۱۳۸۹). این مدل برای ضریب نشت در شاخه‌های نهر اعظم و چنار سوخته نیز واسنجی شده است. بهترین مقداری که با ویژگی‌های میدانی تطابق داشت 10^{-5} (l/s) بود. ضریب نشت مورد نظر انتخاب‌شده برای ایستگاه اقبال‌آباد (واقع در رودخانه خشک) برابر با 10^{-5} (l/s) است. اعتبارسنجی مدل نیز انجام شد. نتایج اعتبارسنجی نشان داد که واسنجی مدل برای ضریب نشت منجر به بهبود نتایج آن می‌شود و مدل برای شبیه‌سازی رودخانه‌های غیردائمی (فصلی) به اندازه کافی دقیق است. سیلاب‌ها منبع مهم آب در مناطق خشک محسوب

شاخه شرقی و غربی است که شاخه شرقی، نهر اعظم و شاخه غربی، چنارسوخته نامیده شده است. آبریز رودخانه خشک در مختصات طول شرقی $52^{\circ}30'41''$ - $52^{\circ}30'12''$ و عرض شمالی $29^{\circ}13'44''$ - $29^{\circ}13'58''$ واقع شده و دارای مساحتی حدود $900/3$ کیلومتر مربع است و آبریز این رودخانه یکی از آبریزهای فرعی مهارلو است. حدود ۷۵ درصد مساحت این حوضه دارای پوشش گیاهی است (سازمان آبخیزداری جهاد کشاورزی فارس، ۱۳۸۱). شاخه نهر اعظم دارای ۱۱ کیلومتر طول و شیب $0/00525$ درصد بوده و شاخه چنارسوخته دارای ۱۳ کیلومتر طول و شیب $0/0153$ درصد است. این دو شاخه درون شهر شیراز به یکدیگر متصل می‌شوند و رودخانه خشک را می‌سازند (صوفی، ۱۳۸۶). شیب این رودخانه در ادامه مسیر $0/00556$ درصد بوده که از محل اتصال دو شاخه به بعد رودخانه کانال‌بندی شده و همه سواحل آن با دیوار جداسازی شده است و پس از طی مسافت $33/5$ کیلومتر به دریاچه مهارلو می‌ریزد.

موقعیت جغرافیایی رودخانه مورد نظر در این مطالعه را نشان می‌دهد.

ایستگاه‌های آب‌سنجی مورد استفاده در این مطالعه به شرح زیر است (احمدی، ۱۳۸۲):

۱- ایستگاه آب‌سنجی نهر اعظم: این ایستگاه در مختصات طول شرقی $52^{\circ}28'$ و عرض شمالی $29^{\circ}42'$ واقع شده و ارتفاع آن از سطح دریا حدود 1650 متر است. مساحت آبریز $392/8$ کیلومترمربع تا بالای ایستگاه است. آنالیز فرکانس روی داده‌های این ایستگاه انجام شده و از نتایج به‌دست‌آمده برای تعیین هیدروگراف سیلاب شاخه نهر اعظم با دوره‌بازگشت‌های مختلف استفاده شد (شکل ۲).

۲- ایستگاه آب‌سنجی چنارسوخته: این ایستگاه در مختصات $52^{\circ}26/5'$ طول شرقی و عرض شمالی $29^{\circ}42/5'$ واقع شده است و دارای ارتفاع 1650 متر از سطح دریا است. مساحت آبریز چنارسوخته $144/2$ کیلومترمربع است. آنالیز فرکانس روی داده‌های این ایستگاه نیز انجام و از نتایج به‌دست‌آمده برای تعیین هیدروگراف سیلاب شاخه چنارسوخته با دوره‌بازگشت‌های مختلف استفاده شد (شکل ۳).

۳- ایستگاه آب‌سنجی اقبال‌آباد: این ایستگاه در انتهای مسیر رودخانه خشک واقع شده است. در نقطه‌ای که به دریاچه مهارلو می‌ریزد و در مختصات $52^{\circ}40/7'$ و عرض

می‌شوند، با نفوذ سیلاب در بستر رودخانه‌های فصلی آبخوان‌های آبرفتی مجدد پر می‌شوند. در این مطالعه، روندیابی سیلاب، با استفاده از ماژول MIKE-11 نرم‌افزار MIKE انجام شد. مدل مذکور برای ضریب مانینگ و ضریب نشت واسنجی شد. نتایج مدل با اندازه‌گیری‌های به‌عمل آمده در ایستگاه اقبال‌آباد مطابقت دارد. براین اساس مدل منتخب روندیابی سیلاب در رودخانه فصلی را با دقت مناسبی محاسبه می‌کند. تطابق زیاد مدل با نتایج به‌دست‌آمده از مشاهدات میدانی، نتایج صحت‌سنجی ایستگاه اقبال‌آباد را نشان می‌دهد که مدل عددی منتخب توانسته روندیابی سیلاب را در رودخانه فصلی به‌خوبی انجام دهد و برای تجزیه و تحلیل چنین جریان‌هایی می‌توان از مدل مذکور استفاده کرد. به دلیل شیب تند رودخانه و متوسط طول آن، تبخیر و تعرق سطح جریان در نظر گرفته نشد. با محاسبه اختلاف حجم جریان ورودی و خروجی می‌توان حجم جریان ابتدا و انتهای شاخه‌ها و همچنین حجم اتلافی را برآورد کرد. در این روش، افت انتقال شاخه‌های نهر اعظم و چنارسوخته و رودخانه خشک برای سیلاب‌هایی با دوره‌بازگشت ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله محاسبه شد. محاسبات نشان دادند که حجم قابل‌ملاحظه‌ای از جریان رودخانه خشک در بستر رودخانه نفوذ می‌کند که این امر ممکن است به دلیل عرض رودخانه باشد. این رودخانه عمدتاً بیش از ۸۰ متر و در جایی بیش از ۲۰۰ متر پهنا دارد. بیش از ۷۵ درصد مسیر رودخانه از شن تشکیل شده که سبب افزایش نفوذ آب می‌شود. میزان زبری سطح مقطع‌های مختلف نیز به این روند کمک می‌کند. حجم زیاد نفوذ در رودخانه مذکور نه تنها مناطق شهری را در مقابل سیلاب‌ها حفظ می‌کند، بلکه منبع مناسبی برای تقویت مجدد آب‌های زیرزمینی است که می‌تواند بسیاری از نیازهای منطقه را با توجه به اقلیم خشک آن برطرف سازد.

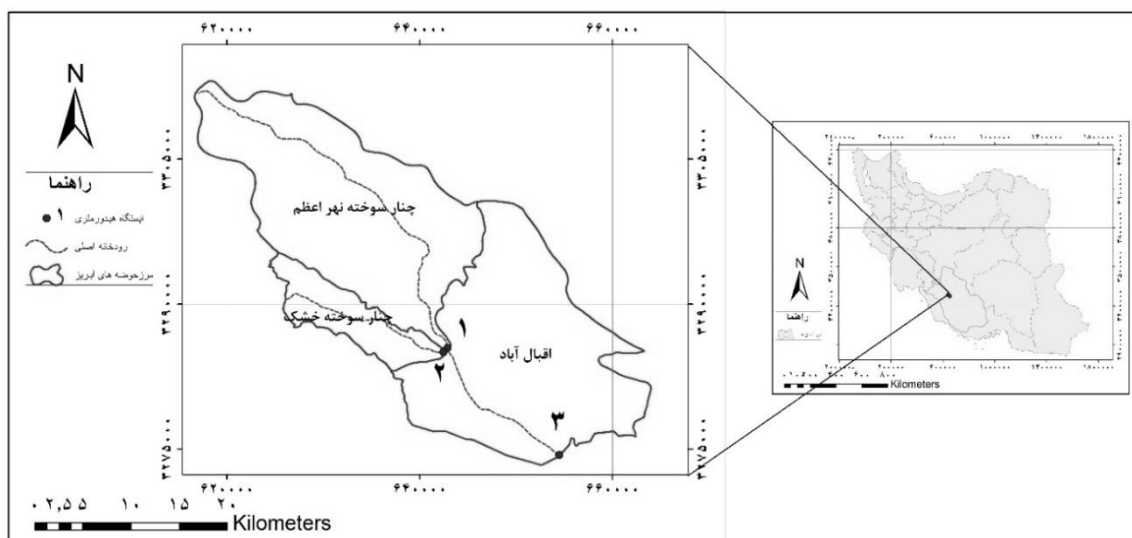
مواد و روش‌ها

موقعیت و مشخصات منطقه تحقیق

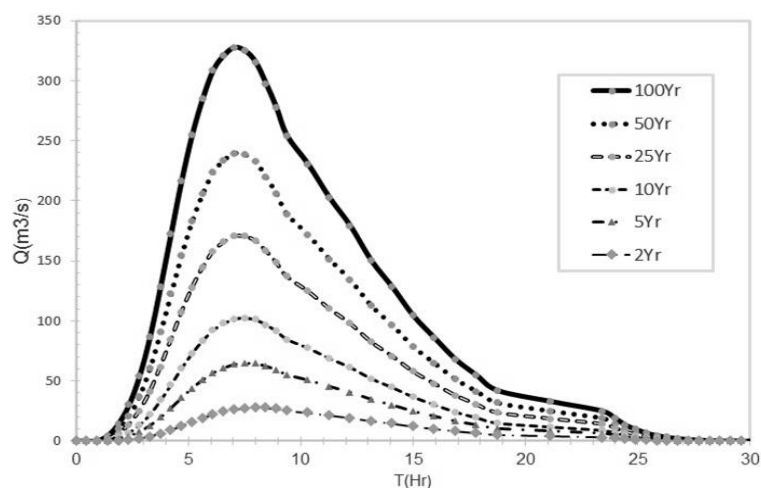
رودخانه خشک در استان فارس، کلان‌شهر شیراز واقع شده است. این رودخانه فصلی است و از ارتفاعات شمالی شهر شیراز سرچشمه گرفته و از دل شهر شیراز عبور می‌کند و به دریاچه مهارلو می‌ریزد. ارتفاع متوسط شیراز از سطح دریا ۱۵۴۰ متر است. این رودخانه ترکیبی از دو

۹۰۰ کیلومترمربع است (صوفی، ۱۳۸۶).

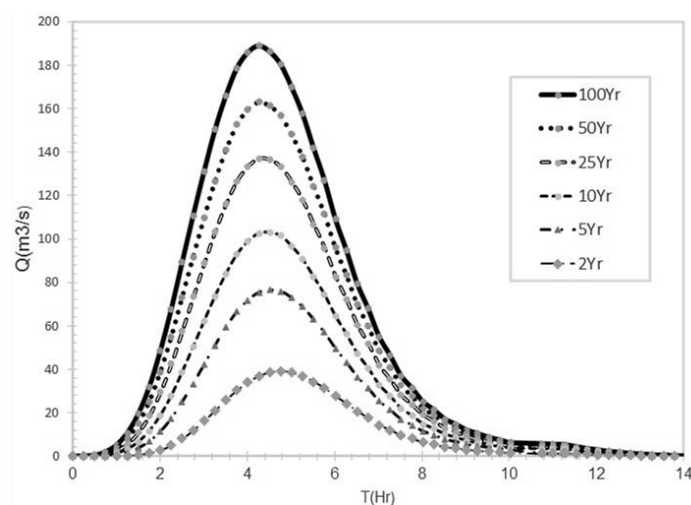
شمالی $33^{\circ} 33' 29''$ واقع شده است و در ارتفاع ۱۴۹۰ متر از سطح دریا است. مساحت آبریز برای این ایستگاه



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (رودخانه خشک شیراز)



شکل ۲- هیدروگراف سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف در شاخه نهر اعظم



شکل ۳- هیدروگراف سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف در شاخه چارمخاله

تشریح مدل

به منظور شبیه سازی سیل در این رودخانه، MKE-11 که یک نرم افزار مدل سازی ریاضی یک بعدی است، مورد استفاده قرار گرفت. برای روندیابی هیدرولیکی سیلاب در مدل مذکور، از طرح تفاضل متناهی از طریق شبکه ابوت ۶ نقطه ای و حل معادلات پیوستگی و اندازه حرکت به طور همزمان استفاده می شود که این معادلات به عنوان معادلات سنت ونانت نامیده می شوند. این مدل با استفاده از ضریب مانینگ تنظیم شده است. اتلاف انتقال از طریق مقایسه بین حجم جریان بالادست و جریان پایین دست برای سیلاب با دوره بازگشت های مختلف محاسبه شد. همچنین درصدهای حجمی نفوذ جریان در شاخه های مختلف محاسبه شد. روندیابی سیلاب در رودخانه خشک به وسیله ماژول هیدرودینامیکی مدل کامپیوتری MIKE-11 انجام شد. با بهره گیری از روش موج دینامیکی، معادلات پیوستگی و اندازه حرکت (معادلات سنت ونانت) را مبتنی بر فرضیات زیر ترکیب می کند (لاو، ۲۰۱۳):

۱. آب تراکم ناپذیر و همگن است، یعنی تغییرات چگالی قابل چشم پوشی است.

۲. شیب رو به پایین ناچیز است؛ از این رو، کسینوس زاویه ای که با افق می سازد، می تواند یک باشد.

۳. طول موج ها در مقایسه با عمق آب، بزرگ هستند. اطمینان می دهد که این جریان را می توان در جهتی موازی با کف در نظر گرفت. به عبارتی دیگر، شتاب دهی عمودی را می توان نادیده انگاشت و تغییرات فشار هیدرواستاتیک در امتداد عمود را می توان در نظر نگرفت؛ یعنی شتاب های عمودی را می توان نادیده انگاشت و تغییرات فشار هیدرواستاتیک در امتداد عمود را می توان در نظر نگرفت.

۴. این جریان در مرحله زیر بحرانی قرار دارد.

در ماژول هیدرودینامیکی، ابتدا معادلات سنت ونانت با استفاده از طرح تفاضل محدود نوشته شده و سپس معادلات به وسیله شبکه ای از نقاط در مکان ها و زمان های مختلف تحلیل شدند. برای رسیدن به این هدف، شبکه های دبی جریان (Q) و عمق جریان (H) انتخاب شده اند. نقاط H گره های عمق هستند و سطوح آب در این نقاط در گام های زمانی مختلف توسط برنامه محاسبه

شدند. به منظور حل عددی معادلات، روش تفاضل، به واسطه شبکه نقاط Abbott6 مورد استفاده قرار گرفت.

معادلات سنت ونانت

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} + S_f \right) = 0 \quad (2)$$

در معادله (۱) و (۲) به ترتیب x طول در امتداد محور کانال برحسب متر، t زمان برحسب ثانیه، Q دبی جریان برحسب مترمکعب بر ثانیه، A سطح مقطع مرطوب برحسب مترمربع است، q جریان جانبی برحسب مترمربع بر ثانیه، S_f شیب خط اصطکاک، α ضریب توزیع سرعت و g شتاب ثقل برحسب متر بر متر مربع ثانیه است. ورودی مدل شامل هیدروگراف سیلاب شاخه های نهر اعظم و چنارسوخته به عنوان شرط مرزی بالادست و منحنی دبی اشل ایستگاه اقبال آباد رودخانه خشک به عنوان شرط مرزی پایین دست در نظر گرفته شد. هیدروگراف منتخب متعلق به دوره بازگشت ۱۰۰ ساله برای شبیه سازی است. مطابق با مطالعات، زمانی که سیل با دبی اوج بالاتر رخ می دهد، اتلاف انتقال بالاتر است. این مطالعات نشان می دهد که تغذیه آب های زیرزمینی به دلیل سیل بزرگ بیشتر از تغذیه چند سیل مکرر است (لانگ، ۲۰۰۵). به منظور شبیه سازی جریان در رودخانه خشک، از اطلاعات هندسی مربوط به مقاطع عرضی نقشه برداری شده، استفاده شد (شاخه چنارسوخته ۹۰ مقطع)، شاخه نهر اعظم (۷۰ مقطع) و رودخانه خشک (۳۱۰ مقطع).

پارامترهای مختلفی که ضریب مانینگ را تحت تأثیر قرار می دهد، به یکدیگر مرتبط هستند. با استفاده از معادله (۳) مقدار ضریب مانینگ رودخانه تعیین می شود:

$$n = k(n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \quad (3)$$

در معادله (۳)، n ضریب مانینگ، n_0 مقدار پایه برای هر n طبیعی، n_1 ضریب تصحیح اثر بی نظمی سطح مقطع (۰-۰/۰۲)، n_2 کمیت تغییرات شکل و اندازه سطح مقطع کانال (۰-۰/۰۱۵)، n_3 کمیتی برای انسداد کانال (۰-۰/۰۵)، n_4 کمیتی برای پوشش گیاهی و وضعیت جریان (۰-۰/۱) و k کمیتی برای مارپیچ بودن کانال (۱-۱/۳) است. با توجه به پارامترهایی که بر مبنای

شده است. منحنی‌های سنجه با تابع آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) مقایسه شدند (معادله (۴)).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (c_i - o_i)^2} \quad (4)$$

در معادله (۴)، c_i مقدار پارامتر محاسبه‌شده برای پیشامد i و o_i مقدار پارامتر مشاهده‌شده برای پیشامد i و n تعداد پیشامدها است. نتایج مقایسه در جدول ۱ ارائه شده است. مقادیر ضریب مانینگ به‌دست‌آمده برای شاخه‌های نهر اعظم، چنارسوخته و رودخانه خشک به‌ترتیب ۰/۰۲۴، ۰/۰۴۸ و ۰/۰۳۵ بود. در جدول ۱ نتایج واسنجی ضریب مانینگ ارائه که براساس حداقل RMSE ضریب مانینگ انتخاب شد.

مشاهدات میدانی در بستر رودخانه و نتایج طبقه‌بندی خاک ذکر شد، ضریب مانینگ بین ۰/۰۱۲ و ۰/۰۲۹ برای چنارسوخته و بین ۰/۰۴ و ۰/۰۵۹ برای شاخه نهر اعظم و بین ۰/۰۲۹ و ۰/۰۴۸ برای رودخانه خشک برآورد شده است (ترابی و شریفان، ۱۳۸۹). دقت محدوده مقادیر با واسنجی مشخص شد. مقدار ضریب نشت به بافت خاک، نوع جریان و پوشش گیاهی محلی بستگی دارد و معمولاً بین 10^{-4} و 10^{-7} در نظر گرفته می‌شود. مدل برای ضریب نشت نیز واسنجی شده است.

واسنجی و اعتبارسنجی مدل

واسنجی مدل با استفاده از ضریب مانینگ و منحنی‌های سنجه مشاهده‌شده سیلاب با دوره‌بازگشت ۱۰۰ ساله، بر مبنای مقایسه منحنی‌های شبیه‌سازی‌شده سنجه انجام

جدول ۱- نتایج واسنجی ضریب مانینگ

ایستگاه نهر اعظم		ایستگاه چنارسوخته		ایستگاه اقبال‌آباد	
N	RMSE	N	RMSE	N	RMSE
۰/۰۱۲	۰/۲۲۰۳۵	۰/۰۴۰	۰/۱۲۹۹۷	۰/۰۲۹	۰/۲۲۶۲
۰/۰۱۶	۰/۲۰۲۳۵	۰/۰۴۵	۰/۱۱۸۲۷	۰/۰۳۱	۰/۲۱۷۵
۰/۰۱۹	۰/۱۷۹۳۵	۰/۰۴۸	۰/۱۰۳۵۷	۰/۰۳۳	۰/۱۸۸۲
۰/۰۲۲	۰/۱۵۱۹۵	۰/۰۵۱	۰/۱۱۱۲۷	۰/۰۳۵	۰/۱۷۷۰
۰/۰۲۴	۰/۱۳۴۳۵	۰/۰۵۳	۰/۱۲۱۰۷	۰/۰۳۹	۰/۲۱۳۲
۰/۰۲۷	۰/۱۹۹۴۵	۰/۰۵۶	۰/۱۳۶۲۷	۰/۰۴۳	۰/۲۳۶۴
۰/۰۲۹	۰/۲۲۹۶۵	۰/۰۵۹	۰/۱۵۹۲۷	۰/۰۴۷	۰/۲۴۲۴

برای ایستگاه اقبال‌آباد نیز برابر با 10^{-5} (l/s) است. واسنجی ضریب نشت منجر به بهبود نتایج شد و نشان داد مدل برای شبیه‌سازی رودخانه غیردائمی به اندازه کافی دقیق است.

این مدل برای ضریب نشت در شاخه‌های نهر اعظم و چنارسوخته نیز واسنجی شده است. بهترین مقداری که با ویژگی‌های میدانی تطابق داشت، 10^{-5} (l/s) بود. نتایج در جدول ۲ نشان داده شده است. ضریب نشت به‌دست‌آمده

جدول ۲- نتایج واسنجی ضریب نشت در ایستگاه نهر اعظم و ایستگاه چنارسوخته

ایستگاه نهر اعظم		ایستگاه چنارسوخته	
Leakage Coefficient (l/s)	RMSE	Leakage Coefficient (l/s)	RMSE
۰	۰/۱۳۴۳۵	۰	۰/۱۰۲۷۱
10^{-7}	۰/۱۳۳۴۲	10^{-7}	۰/۱۰۱۶۷
10^{-6}	۰/۱۳۰۹۲	10^{-6}	۰/۰۹۸۱۹
$5/5 \times 10^{-6}$	۰/۱۲۷۷۷	$5/5 \times 10^{-6}$	۰/۰۹۳۰۸
10^{-5}	۰/۱۲۰۹۰	10^{-5}	۰/۰۹۰۰۶
$5/5 \times 10^{-5}$	۰/۱۲۶۳۲	$5/5 \times 10^{-5}$	۰/۰۹۹۱۴
10^{-4}	۰/۱۳۸۳۳	10^{-4}	۰/۱۰۲۶۶

جدول ۳- نتایج واسنجی ضریب نشت در ایستگاه اقبال آباد

Leakage Coefficient (l/s)	RMSE
۰	۰/۱۷۷۰۴
۱۰ ^{-۷}	۰/۱۷۵۹۰
۱۰ ^{-۶}	۰/۱۷۵۶۰
۵/۵×۱۰ ^{-۶}	۰/۱۷۴۸۶
۱۰ ^{-۵}	۰/۱۶۵۸۶
۵/۵×۱۰ ^{-۵}	۰/۱۷۵۱۸
۱۰ ^{-۴}	۰/۱۷۹۹۷

جدول ۳ نتایج واسنجی ضریب نشت را برای ایستگاه اقبال آباد نشان می‌دهد. همچنین جدول ۴ نتایج حاصل از محاسبات تلفات انتقال و درصد نفوذ را برای دوره‌بازگشت‌های مختلف ارائه می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، رودخانه خشک دارای بالاترین درصد نفوذ در مقایسه با سایر شاخه‌ها است.

جدول ۴- نتایج محاسبات تلفات انتقال و درصد نفوذ در دوره‌بازگشت‌های مختلف

دوره بازگشت	۵ سال	۱۰ سال	۲۵ سال	۵۰ سال	۱۰۰ سال					
رودخانه	حجم (m^3/s) %	حجم (m^3/s) %	حجم (m^3/s) %	حجم (m^3/s) %	حجم (m^3/s) %					
نهر اعظم (۱ km)	۱۰۴۲۲۲/۷۶	۵/۶۹	۱۲۲۵۰۱/۴۸	۴/۲۸	۱۸۹۳۵۳/۳۲	۳/۹۸	۲۴۰۷۴۲/۷۶	۳/۶۱	۲۹۰۶۰۴/۱۲	۳/۲
چنار سوخته (۱۳ km)	۶۸۳۰۱/۷۲	۶/۳۷	۸۴۹۷۸/۰۴	۵/۸۰	۱۰۴۱۳۳/۹۶	۵/۳۰	۱۱۷۹۸۴/۴۸	۵/۰۳	۱۳۲۴۸۸/۰۸	۴/۸۵
خشک (۳۴ km)	۵۵۳۹۰۴/۷۲	۲۰/۳۰	۷۵۵۲۲۲/۴۴	۱۸/۳۵	۱۰۰۵۴۷۵/۵۰	۱۵/۶۷	۱۲۰۹۵۶۷/۶۰	۱۴/۰۳	۱۴۵۳۲۱۷/۵۲	۱۲/۷۹

نتایج و بحث

سیلاب با نفوذ در بستر رودخانه در مناطق خشک منبع مهمی برای تغذیه آبخوان به شمار می‌رود. در این مطالعه، روندیابی سیلاب، با استفاده از ماژول MIKE-11 نرم‌افزار MIKE انجام شد. مدل مذکور برای ضریب مانینگ و ضریب نشت واسنجی شد. تطابق زیاد مدل با نتایج به‌دست‌آمده از مشاهدات میدانی، نتایج صحت‌سنجی ایستگاه اقبال آباد را نشان می‌دهد که مدل عددی منتخب توانسته روندیابی سیلاب را در رودخانه غیردائمی (فصلی) به‌خوبی انجام دهد و برای تجزیه و تحلیل چنین جریان‌هایی می‌توان از مدل مذکور استفاده کرد. به‌دلیل شیب تند رودخانه و متوسط طول آن، تبخیر و تعرق سطح جریان در نظر گرفته نشد. با محاسبه اختلاف حجم جریان ورودی و خروجی می‌توان حجم اتلافی را برآورد کرد. در این روش، افت انتقال نهر اعظم، چنار سوخته و رودخانه خشک برای سیلاب‌هایی با دوره‌بازگشت ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله محاسبه شد. درصد حجم نفوذ برای هر شاخه رودخانه محاسبه و نتایج در جدول ۴ نشان داده شد. شکل ۴ هیدروگراف پیش‌بینی‌شده توسط مدل‌سازی عددی برای دوره‌بازگشت‌های مختلف رودخانه خشک را نشان می‌دهد.

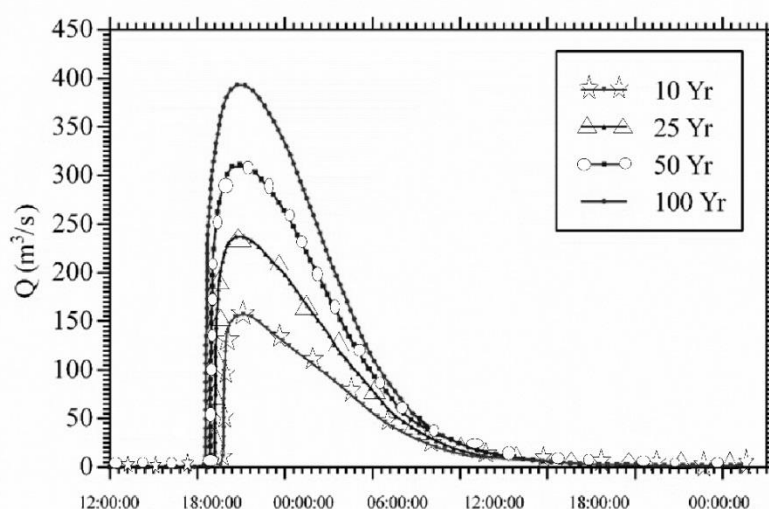
محاسبات انجام‌شده بیانگر این است که حجم قابل ملاحظه‌ای از جریان رودخانه خشک در بستر رودخانه

نفوذ می‌کند که این امر ممکن است به‌دلیل عرض رودخانه باشد. عرض رودخانه عمدتاً بیش از ۸۰ متر و در جایی بیش از ۲۰۰ متر پهنا دارد. بیش از ۷۵ درصد مسیر رودخانه از شن تشکیل شده که سبب افزایش نفوذ آب می‌شود. میزان زبری سطح مقطع‌های مختلف نیز به این روند کمک می‌کند. حجم زیاد نفوذ در رودخانه مذکور نه‌تنها مناطق شهری را در مقابل سیلاب حفظ می‌کند، بلکه منبع مناسبی برای تقویت مجدد آب‌های زیرزمینی است که می‌تواند بسیاری از نیازهای منطقه را با توجه به اقلیم خشک آن برطرف سازد.

نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد مدل MIKE-11 کارایی بالایی در شبیه‌سازی بارش رواناب دارد. بررسی نتایج شبیه‌سازی بارش رواناب با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-HMS توسط جانسون و همکاران (۲۰۰۱)، دسیلوا و همکاران (۲۰۱۴) و حسینی و همکاران (۱۳۹۴) با نتایج پژوهش حاضر مشابه و قابل‌مقایسه است. همچنین نتایج نشان داد تغییر کاربری اراضی بستر رودخانه به زراعی و شهری باعث می‌شود دبی حداکثر سیلاب و حجم رواناب کاهش یابد؛ البته در سطح اطمینان ۹۵ درصد، دبی حداکثر سیلاب و حجم رواناب در قبل و بعد از تغییر کاربری اراضی بستر رودخانه در دوره‌بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ ساله اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند، اما در دوره‌بازگشت ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله

باید در مدیریت منابع آب و مدیریت ریسک سیل مورد توجه باشد. به‌طور کلی می‌توان گفت تغییرات کاربری اراضی با ایجاد تغییراتی در میزان نفوذپذیری خاک و به تبع آن تغییر در شماره منحنی حوضه آبریز، موجب ایجاد تغییراتی در دبی اوج و حجم سیلاب می‌شود که با نتایج محققانی مانند دو و همکاران (۲۰۱۲)، سانپال و همکاران (۲۰۱۴) و شنانی‌هویزه و همکاران (۱۳۹۶) هماهنگی دارد. در کل می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که در سال‌های اخیر تغییر کاربری اراضی ناشی از دخالت‌های انسانی با تأثیرگذاری بر خصوصیات سیلاب باعث افزایش خطر سیل در حوضه آبریز شده است و پیشنهاد می‌شود با مدیریت کاربری اراضی و جلوگیری از تخریب بیشتر منابع طبیعی، مانع تشدید روند سیل‌خیزی منطقه شد.

اختلاف آن‌ها معنی‌دار است. این تغییر ناشی از کاهش CN و درواقع به‌دلیل افزایش ظرفیت نفوذپذیری خاک است؛ اما سرعت این کاهش در سیلاب، با دوره‌بازگشت‌های مختلف متغیر است. به عبارت دیگر نرخ اثر تغییر کاربری اراضی بستر رودخانه بر دبی حداکثر سیلاب و حجم رواناب با افزایش دوره‌بازگشت کاهش پیدا می‌کند. بهنام و همکاران (۱۳۹۲)، حسینی و همکاران (۱۳۹۴)، درفشی و همکاران (۱۳۹۴) و زوپ و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی تغییرات کاربری اراضی آبریز و تأثیر آن بر مشخصات هیدروگراف سیل پرداخته و به نتایج مشابه و قابل‌مقایسه با نتایج پژوهش حاضر رسیده‌اند. افزایش حجم رواناب برای ذخیره آبی سد مفید است، اما افزایش حداکثر دبی سیلاب باعث تشدید خطرات سیل می‌شود که این امر



شکل ۴- هیدروگراف پیش‌بینی‌شده برای دوره‌بازگشت‌های مختلف در رودخانه خشک

۳. افزایش دوره‌بازگشت، افزایش حجم افت انتقال را به‌دنبال دارد. حجم افت انتقال در دوره‌بازگشت ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله بیش از یک میلیون متر مکعب است که می‌تواند منبع مناسبی برای تغذیه آب‌های زیرزمینی منطقه باشد.

۴. درصد نفوذ با کاهش دوره‌بازگشت افزایش می‌یابد؛ به‌نحوی که در دوره‌بازگشت ۵ ساله، ۲۰ درصد از حجم سیلاب در رودخانه خشک نفوذ می‌کند.

منابع

۱. احمدی ل. ۱۳۸۲. بررسی نحوه فرسایش و رسوب‌گذاری در رودخانه خشک شیراز با روش

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، روندیابی سیلاب در رودخانه خشک شیراز انجام و افت انتقال محاسبه شد و مورد بحث قرار گرفت. براساس آنچه در بالا گفته شد، نتایج زیر را می‌توان استنباط کرد:

۱. واسنجی مدل برای ضریب نشت منجر به افزایش تطابق منحنی‌های شبیه‌سازی‌شده سنج و منحنی‌های مشاهده‌شده شد. ضریب نشت برابر با 10^{-5} (l/s) است که بیشترین تطابق را داشت.

۲. شیب زیاد شاخه چنارسوخته در مقایسه با شاخه نهر اعظم منجر به کاهش چشمگیر افت حجم در این شاخه رودخانه شده است.

- خاک (علوم و صنایع کشاورزی). (۲۵(۲): ۲۹۶-۳۰۴.
11. De Silva M.M.G.T. Weerakoon S.B. and Herath S. 2014. Modeling of event and continuous flow hydrographs with HEC-HMS: Case study in the Kelani River Basin, Sri Lanka. *Journal of Hydrologic Engineering*. 19(4): 800-806.
 12. Du J. Qian L. Rui H. Zuo T. Zheng D. Xu Y. and Xu C.Y. 2012. Assessing the effects of urbanization on annual runoff and flood events using an integrated hydrological modeling system for Qinhuai River basin, China. *Journal of Hydrology*. 464: 127-139.
 13. Johnson C. Yung A. Nixon K. Legates D. 2001. The use of HEC-Geo HMS and HEC-HMS to Perform Grid-Based Hydrology Analysis of a Watershed. Texas: Dodson & Associated. 85 p.
 14. Lange J. 2005. Dynamics of transmission losses in a large arid stream channel. *Journal of Hydrology*, 306(1-4), pp.112-126.
 15. Love A.E.H. 2013. A treatise on the mathematical theory of elasticity. Cambridge university press.
 16. Sanyal J. Densmore A. L. and Carbonneau P. 2014. Analysing the effect of land-use/cover changes at sub-catchment levels on downstream flood peaks: A semi-distributed modelling approach with sparse data. *Catena*. 118: 28-40.
 17. Suriya S. and Mudgal B. V. 2012. Impact of urbanization on flooding: The Thirusoolam sub watershed-A case study. *Journal of hydrology*. 412: 210-219.
 18. Tooth S. 2000. Process, form and change in dryland rivers: a review of recent research. *Earth-Science Reviews*. 51(1-4): 67-107.
 19. Zope P. E. Eldho T. I. and Jothiprakash V. 2016. Impacts of land use-land cover change and urbanization on flooding: A case study of Oshiwara River Basin in Mumbai, India. *Catena*. 145:142-154.
- غیرماندگار. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شیراز.
۲. اداره ارزیابی و اطلاعات جغرافیایی. ۱۳۸۱. خلاصه‌ای از گزارش ارزیابی سیمای حوضه آبخیز رودخانه خشک شیراز، مدیریت آبخیزداری سازمان جهاد کشاورزی استان فارس.
 ۳. بهنام پ. صمدی ح. شایان نژاد م. و ابراهیمی ع. ۱۳۹۲. بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر هیدروگراف سیل رودخانه زاینده‌رود در محدوده شهری اصفهان. نشریه آب‌وفاضلاب. (۴)۲۴: ۱۰۳-۱۱۱.
 ۴. ترابی س.ا.ر. و شریفان ر.ا. ۱۳۸۹. شبیه‌سازی یک‌بعدی جریان دائمی و غیردائمی مطالعه موردی شاخه چنارسوخته رودخانه خشک شیراز. دومین همایش ملی کشاورزی و توسعه پایدار (فرصت‌ها و چالش‌های پیشرو). شیراز.
 ۵. تیموری م. و الوندی ا. ۱۴۰۰. شبیه‌سازی بارش رواناب با نرم‌افزار eWater Source در آبخیز چهل‌چای، استان گلستان. نشریه پژوهش‌های آبخیزداری. (۱)۳۴: ۱۶-۲۹.
 ۶. حسینی س. م. جعفری‌گلو م. یمانی م. و گراوند ف. ۱۳۹۴. پیش‌بینی سیلاب‌های تاریخی رودخانه کشکان با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS. نشریه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. (۱)۴: ۱۱۸-۱۳۳.
 ۷. درفشی خ. خالدی ش. شعبانی‌نیا ح. و مهرجونزاد ا. ۱۳۹۴. بررسی تغییرات کاربری اراضی و مدل‌سازی بارش رواناب با استفاده از مدل HEC-HMS مطالعه موردی: حوضه آبخیز بابلرود. نشریه پژوهش‌های فرسایش محیطی. (۴)۵: ۳۰-۴۴.
 ۸. شنائی‌هویزه س.م. زارعی ح. و رضانی ح. ۱۳۹۶. بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر هیدروگراف سیل، مطالعه موردی حوضه آبریز ابوالعباس. نشریه علوم و مهندسی آبیاری. (۱)۴۰: ۲۱۹-۲۲۹.
 ۹. صوفی م. ۱۳۸۶. راهکارهای سیلاب و رواناب شهری. اولین همایش سیلاب شهری، استان فارس.
 ۱۰. قبادیان ر. ۱۳۹۰. روندیابی سیلاب و تخمین تلفات نشت در رودخانه‌های فصلی با حل همزمان معادلات جریان غیرماندگار و نشت. نشریه آب و

