

تعیین پهنه‌های سیل‌گیر رود کشکان با استفاده از مدل هیدرولیکی به‌منظور کاهش مخاطرات سیل



سید موسی حسینی*

استادیار گروه جغرافیای طبیعی دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

منصور جعفری‌گلو

دانشیار گروه جغرافیای طبیعی دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

فاطمه گراوند

کارشناس ارشد هیدروژئومورفولوژی دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۸/۲۵ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۹/۲۵)

چکیده

در میان همه مخاطرات طبیعی در کشور، با توجه به آمارهای ثبت‌شده و مشاهدات، سیل از مخرب‌ترین آنهاست و بیشترین فراوانی وقوع را نیز داراست. برای پیش‌بینی دامنه خسارات سیل در شرایط مختلف و توجیه اقتصادی و اجتماعی برنامه‌های کنترل و مهار سیل، پهنه‌بندی خطر سیل برای دوره‌های بازگشت مختلف ضرورت دارد. در حوضه رودخانه کشکان واقع در استان لرستان، با توجه به اینکه روستاها، اراضی زراعی و تأسیسات احداث‌شده در حاشیه رودخانه همواره در معرض خطر طغیان سیل قرار دارند، بررسی نواحی مستعد وقوع سیلاب و تهیه نقشه پهنه‌های سیل‌گیر در این محدوده ضرورت دارد که این تحقیق سعی دارد برای اولین بار به مدلسازی و تحلیل آن بپردازد. در این پژوهش سطوح سیل‌گیر برای دوره‌های بازگشت ۲ تا ۱۰۰۰ ساله در بازه‌ای به طول ۵ کیلومتر از رودخانه کشکان با استفاده از مدل الحاقی HEC-geo-RAS در محیط Arc GIS تعیین شد و نتایج نشان داد که از کل مساحت سیل‌گیر مربوط به دوره بازگشت ۱۰۰۰ سال، ۷۷ درصد آن مستعد سیل‌گیری با دوره‌های بازگشت کوتاه‌مدت (۲۵ سال) است. همچنین نتایج نشان داد که حتی برای دوره‌های بازگشت کوتاه (۲ سال) زمین‌های زراعی اطراف رودخانه در معرض خطر سیل قرار دارند، اما کاربری‌های مسکونی (روستاها) و صنعتی، اغلب از دوره بازگشت ۲۵ سال به بالا دچار این مخاطره می‌شوند این مسئله با توجه به شرایط توپوگرافی منطقه در بالادست بازه مورد مطالعه، دارای اهمیت بیشتری است. همچنین مخاطره سیلاب و پهنه سیل‌گیری رودخانه با توجه به شرایط توپوگرافی منطقه در بالادست بازه دارای اهمیت بیشتری است.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی سیلاب، رود کشکان، سامانه اطلاعات جغرافیایی، مخاطرات سیل، مدل HEC-RAS

Email: smhosseini@ut.ac.ir

* نویسنده مسئول

مقدمه

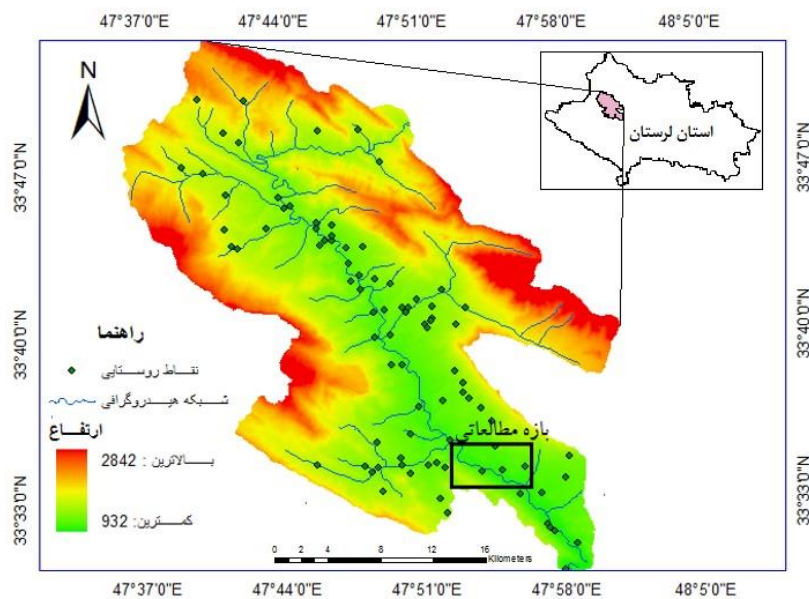
مخاطره را می‌توان پدیده یا واقعه‌ای دانست که رخداد آن برای فرد، جامعه و محیط زیان جدی داشته باشد؛ ویژگی یک مخاطره از طریق برد مکانی، اندازه، فراوانی، احتمال وقوع و همچنین جمعیتی که تحت تأثیر قرار می‌دهد، تشخیص داده می‌شود [۱۳]. رخداد سیل ممکن است بر اثر نوسانات اقلیمی، مانند افزایش فراوانی توفان؛ و فعالیت‌های انسان مانند زهکشی زمین و تخریب و نابودی جنگل تشدید شود [۱۱]. بررسی آمار و اطلاعات خسارات سالانه ناشی از وقوع سیلاب‌ها در ایران و جهان، بیانگر گستردگی صدمات ناشی از سیلاب به منابع طبیعی، انسانی و اقتصادی مناطق مختلف است [۹]. حدود ۸۶ درصد مخاطرات طبیعی قرن بیستم، مخاطرات اقلیمی است [۱۲]. به‌طور میانگین در هر سال ۶۰ رویداد سیل در ایران اتفاق می‌افتد و میانگین تلفات انسانی ناشی از سیل در هر سال ۱۴۱ نفر است [۵]؛ بنابراین تدوین برنامه‌های جامع با هدف مهار، کنترل و بهره‌برداری بهینه با اعمال اقدامات مدیریتی، متناسب با کلیه عوامل دخیل در ایجاد و طغیان سیلاب‌های منطقه‌ای ضروری است [۹]. با عنایت به تأثیر عوامل مختلف در بروز سیل، انواع اقدامات مدیریتی مانند آبخیزداری و مدیریت کاربری اراضی، برنامه‌ریزی و مدیریت در مسیر رودخانه‌ها و مسیل‌ها، پیش‌بینی و هشدار سیل، اقدامات پیشگیری و حمایتی در مناطق سیل‌گیر و پهنه‌بندی خطر سیل، در کاهش خسارات ناشی از آن مؤثر خواهد بود. از جمله اقدامات مدیریتی که می‌تواند تأثیر بسزایی در کاهش خسارات ناشی از وقوع سیلاب داشته باشد، پهنه‌بندی خطر سیل است [۹]. سوری‌نژاد [۶]، به برآورد حجم رواناب حوضه آبریز رودخانه کشکان پرداخت. او با استفاده از داده‌های بارندگی سالیانه به مدت ۳۲ سال (۷۵-۱۳۴۳) با کمک نرم‌افزار GIS مدل نقشه‌های همباران را تهیه کردند و به این نتیجه رسیدند که ضریب همبستگی میان داده‌های محاسباتی و مشاهداتی (بارندگی- رواناب) سالیانه برای زیرحوضه‌های این منطقه بین ۹۷/۵ و ۹۹/۹۹ درصد است. عبقری [۸] با پهنه‌بندی خطر سیلاب در بخشی از حوضه جاجرود با استفاده از مدل HEC-RAS و GIS برای دوره‌های بازگشت متفاوت، نتیجه گرفت که این مدل قابلیت خوبی در تحلیل هیدرولیکی تراز سطح آب در دوره‌های بازگشت مختلف دارد. حکمتی‌فر و همکاران [۴] شدت خسارات کشاورزی ناشی از سیلاب در سیلاب‌دشت رودخانه قره‌سو در شهر کرمانشاه را مطالعه و با استفاده از مدلسازی HEC-RAS، اراضی سیل‌گیر را شبیه‌سازی کردند و نتایج نشان داد که طرح ترکیبی اصلاح و لایروبی که به‌نظر می‌رسید دارای کاهش خسارت چشمگیری نسبت به دو طرح یادشده به‌طور جداگانه باشد، عملاً تفاوت کاهش خسارت ناشی از این طرح با طرح لایروبی

ناچیز بوده است. نگارش و همکاران [۱۵]، با استفاده از داده‌های بارش و دبی روزانه در یک دوره ۲۸ ساله شدت سیل‌خیزی حوضه کشکان را بررسی کردند که نتایج نشان داد روند تغییرات ضریب رواناب سالانه حوضه دارای رشد ۸۴ درصدی بوده است. حسینی و همکاران [۳] به پیش‌بینی سیلاب‌های تاریخی (با دوره‌های بازگشت ۲ تا ۱۰۰۰ ساله) رودخانه کشکان پرداختند. آنها به کمک مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS، و توسط داده‌های ثبت‌شده بارش-رواناب روزانه، رواناب روزانه را شبیه‌سازی کردند و نتایج نشان داد که این مدل کارایی زیادی در شبیه‌سازی رواناب روزانه دارد. میلر و همکاران [۱۹] با تلفیق مدل‌های هیدرولوژیکی و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، اثر تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی را بر واکنش هیدرولوژیکی دو حوضه آبخیز ایالات متحده آمریکا بررسی کردند. نتایج نشان داد که در حوضه آبخیز رودخانه سن‌پدرو به‌علت کاهش سطح جنگل‌ها و ازدیاد اراضی کشاورزی و مناطق شهری، رواناب متوسط سالانه افزایش یافته است. کبل و همکاران [۱۷] با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS و مدل هیدرولیکی HEC-RAS و تخمین بارش راداری در آمریکای مرکزی، مدلی منطقه‌ای برای سیلاب معرفی کرده و مدل را با سیلاب تابستان سال ۲۰۰۲ مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که این مدل کارایی زیادی در پیش‌بینی سیلاب در مقیاس منطقه‌ای دارد. گیسون و همکاران [۱۶] قابلیت مدل HEC-RAS را برای محاسبات انتقال رسوب رودخانه بررسی و نتایج این مدل را با مدل HEC-6 مقایسه کردند. آنها نتیجه گرفتند که نتایج مدل HEC-RAS در مقایسه با مدل HEC-6 در شرایط خاصی، کمی متفاوت است که دلیل آن تفاوت در هیدرولیک مدل است. زینی‌وند و همکاران [۲۰] با تلفیق نرم‌افزارهای HEC-RAS و ArcView به پهنه‌بندی سیلاب رودخانه سیلاخور بروجرد در ایران برای هفت دوره بازگشت پرداختند و در نهایت، مساحت سیل‌خیز و ارتفاع جریان در دوره‌های بازگشت مختلف را مشخص کردند. کلیماس و همکاران [۱۸] به‌منظور ارزیابی مدل HEC-RAS برای تعیین شدت خطر سیل ناشی از توفان به شبیه‌سازی یک سیلاب رخ‌داده در یک دریاچه یخی در پرو پرداختند. پس از اجرای مدل نتایج نشان داد که مدل HEC-RAS می‌تواند اطلاعات مهمی را درباره خطر سیل، شدت سیل و حداکثر عمق آب در طول اوج سیلاب و زیرساخت‌های آسیب‌دیده نشان دهد. زیوپی [۲۱]، به مطالعه تأثیر سیلاب بر سازه‌های شهری در شهر ساحلی بمبئی در هند پرداختند. آنها با استفاده از نقشه‌های تغییرات پوشش سطح زمین و کاربری اراضی، نقشه خطر سیل برای کاربری‌های اراضی مختلف را با مدل هیدرولیکی HEC-RAS تهیه کردند. نتایج نشان داد که نقشه‌های پهنه‌بندی سیل توسط مدل HEC-RAS برای برآورد سیلاب و خطر سیل بسیار مؤثر است. با توجه به مطالعات انجام‌گرفته در خصوص

پهنه‌بندی سیلاب مشخص شده است که سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل‌های ریاضی توانایی زیادی برای تولید نقشه‌های پهنه‌بندی سیل و نمایش چندبعدی آن را در اختیار کاربران قرار می‌دهند. چنین سیستمی توانایی زیادی برای مدیریت سیلاب دشت پیش از وقوع سیل و حتی مدیریت بحران و امداد و نجات در حین وقوع سیل و بازسازی پس از سیلاب در اختیار مدیران و کارشناسان قرار می‌دهد. پتانسیل زیاد سیل خیزی رودخانه کشکان و لزوم مدیریت بهینه آن، استفاده از یک مدل هیدرولیکی کارا و مطمئن را ایجاب می‌کند تا بتوان با دقت و صحت زیادی رفتار هیدرولیکی رودخانه را شبیه‌سازی کرد. هدف این پژوهش، شناخت و شبیه‌سازی رفتار هیدرولیکی رودخانه کشکان و تعیین مرز سیلاب‌دشت در دوره‌های بازگشت مختلف با تلفیق مدل هیدرولیکی HEC-RAS و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در قالب الحاقی HEC-geo-RAS است که براساس آن می‌توان با شناخت رفتار هیدرولیکی رودخانه در مقابل سیلاب‌های مختلف، از مخاطرات سیلاب ناشی از طغیان رودخانه در پیرامون آبراهه اصلی تا حدودی کاست و تمهیدات لازم را به‌منظور مدیریت سیلاب و طراحی سیستم هشدار سیل اتخاذ کرد. حوضه آبریز رودخانه کشکان با وسعت ۹۲۷۶ کیلومتر مربع در استان لرستان در جنوب غربی ایران واقع شده است. این حوضه بخش مهمی از سرشاخه‌های پرآب رودخانه کرخه را تشکیل می‌دهد و حدود یک‌سوم از خاک استان لرستان را در برمی‌گیرد و در محل پل گاومیشان به رودخانه سیمره ملحق می‌شود و رودخانه کرخه را تشکیل می‌دهد [۶]. منطقه تحقیق بخشی از این حوضه آبریز است که از پل باستانی کشکان تا روستای امیرآباد چم‌گز به طول تقریبی ۵ کیلومتر واقع شده است. مختصات جغرافیایی محدوده تحقیق بین طول‌های ۴۷ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۹ دقیقه شرقی و عرض‌های ۳۳ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۵۲ دقیقه شمالی قرار دارد (شکل ۱). براساس تجزیه و تحلیل سری زمانی داده‌های موجود، متوسط دبی سالانه رود کشکان در ایستگاه پل کشکان، واقع در محدوده تحقیق، ۳۳/۲ متر مکعب بر ثانیه و ویژه این ایستگاه ۹/۰۲ لیتر بر ثانیه در هر کیلومتر مربع است [۷]. میانگین بارندگی سالیانه در این نواحی بین ۴۵۰ تا ۶۵۰ میلی‌متر است. از نظر خاک‌شناسی نیز بیشتر سطح حوضه دارای خاک ریزدانه و نفوذناپذیر رس و سیلت است که پتانسیل زیادی برای تولید رواناب حین وقوع بارندگی دارند [۱۰]. از بین رودخانه‌های دائمی لرستان از سال ۱۳۳۴ تا ۱۳۹۲ در یک دوره ۵۸ ساله، رودخانه کشکان با ۱۶ سیلاب بالای ۱۰۰۰ متر مکعب در ثانیه، سیل خیزترین رودخانه استان است (جدول ۱).

جدول ۱. مشخصات سیلاب‌های لحظه‌ای رودخانه کشکان از سال ۱۳۸۸-۱۳۴۹ (شرکت آب منطقه‌ای لرستان، ۱۳۹۲)

تاریخ وقوع سیلاب	حداکثر دبی لحظه‌ای سیلاب (m ³ /s)	تاریخ وقوع سیلاب	حداکثر دبی لحظه‌ای سیلاب (m ³ /s)
۱۳۷۰/۱۲/۶	۱۰۲۰	۱۳۴۹/۱۲/۲۴	۱۳۰۰
۱۳۷۱/۱۱/۱۴	۱۹۰۰	۱۳۵۱/۱۱/۲	۱۲۰۸
۱۳۷۲/۹/۲	۲۳۲۵	۱۳۵۶/۹/۲۴	۱۱۴۰
۱۳۷۲/۱۱/۱۲	۲۶۶۷	۱۳۵۷/۹/۲۱	۱۵۰۰
۱۳۷۷/۱/۱۰	۱۱۶۰	۱۳۶۳/۹/۴	۱۲۶۵
۱۳۸۳/۱۲/۲۱	۱۶۳۰	۱۳۶۵/۲/۱۴	۲۱۸۰
۱۳۸۴/۱۱/۱۵	۳۰۳۰	۱۳۶۶/۱۰/۳۰	۱۳۴۵
۱۳۸۶/۱/۷	۱۲۹۰	۱۳۶۹/۱/۱۳	۱۲۲۰



شکل ۱. حوضه رودخانه کشکان در زیرحوضه شیراوند و موقعیت محدوده تحقیق در استان لرستان

روش تحقیق و تحلیل

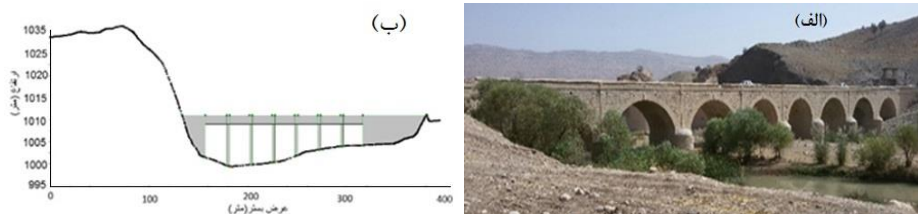
در این پژوهش به منظور تهیه TIN منطقه برای محاسبه پهنه‌های سیلابی، از نقشه رقومی ۱:۱۵۰ و نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰؛ برای تهیه دبی پیک با دوره‌های بازگشت مختلف از آمار ۲۴ ساله حداکثر دبی لحظه‌ای ایستگاه هیدرومتری پل کشکان؛ و برای تحلیل جریان به روش ماندگار، از نرم‌افزارهای HEC-RAS و الحاقیه HEC-geo -RAS در محیط Arc GIS استفاده شده است. به منظور تهیه دبی‌های پیک برای دوره‌های بازگشت مختلف، با تجزیه و تحلیل فراوانی داده‌های حداکثر سیلاب لحظه‌ای ثبت شده در حوضه با استفاده از نرم‌افزار Easy fit بهترین توزیع برازشی براساس آزمون نکویی برازش کولموگروف-اسمیرنوف در سطح اعتماد ۹۵ درصد ($\alpha = 0.05$) پیرسون تیپ پنج سه‌پارامتری مشخص شد که پس از تعیین بهترین توزیع برازشی دوره‌های بازگشت مختلف (T) این متغیر از ۲ تا ۱۰۰۰ ساله در نرم‌افزار Easy fit محاسبه شد که نتایج در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای به ازای دوره‌های بازگشت مختلف

۳۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۵۰	۲۵	۱۰	۵	۲	دوره بازگشت (سال)
۲۹۵۷	۲۴۵۷	۱۷۹۸	۱۳۰۸	۹۳۴	۵۹۸	۴۱۱	۲۲۶	دبی پیک (m^3/s)
-	۱۰۰۰	۹۰۰	۸۰۰	۷۰۰	۶۰۰	۵۰۰	۴۰۰	دوره بازگشت (سال)
-	۵۰۰۱	۴۷۹۷	۴۶۱۷	۴۳۱۶	۴۰۷۰	۳۶۸۹	۳۳۴۳	دبی پیک (m^3/s)

عملیات تهیه نقشه پهنه‌های سیلابی

گام اول شامل تهیه اطلاعات ورودی برای نرم‌افزار HEC-RAS است که در تحقیق حاضر با استفاده از الحاقیه HEC-geo -RAS انجام گرفته و براساس پنج مرحله زیر است: تهیه نقشه رقومی منطقه با مقیاس مناسب برای شبیه‌سازی رودخانه و اراضی اطراف آن، تهیه خط مرکزی ریان، تهیه لایه سواحل رودخانه، تهیه لایه مسیر حرکت جریان و تهیه لایه مقاطع عرضی. گام دوم فراخوانی اطلاعات در نرم‌افزار HEC-RAS و اجرای مدل هیدرولیکی است که در اینجا خط‌های ایجاد شده برای دقت بیشتر نرم‌افزار برای تعیین پهنه‌های سیل‌گیر برطرف شد و داده‌های هندسی کامل شد؛ از جمله اینکه تمام موانع و سازه‌های ایجاد شده در مسیر جریان به دقت شبیه‌سازی شد. برای این منظور با بازدیدهای میدانی از منطقه، اطلاعات پل‌ها شامل طول و عرض پل، تعداد پایه‌های پل، طول و عرض هر یک از پایه‌ها و اندازه عرشه پل، که ضروری بود حاصل و در نرم‌افزار شبیه‌سازی شد. شکل ۲ پل بازسازی شده کشکان در نرم‌افزار HEC - RAS را نشان می‌دهد.

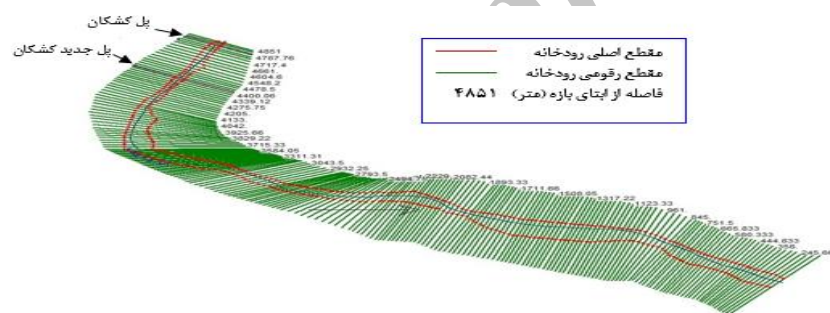


شکل ۲. الف) پل کشکان، سازه‌ی احداث‌شده در مسیر رودخانه؛ ب) نمایی از بازسازی پل کشکان در نرم‌افزار HEC-RAS

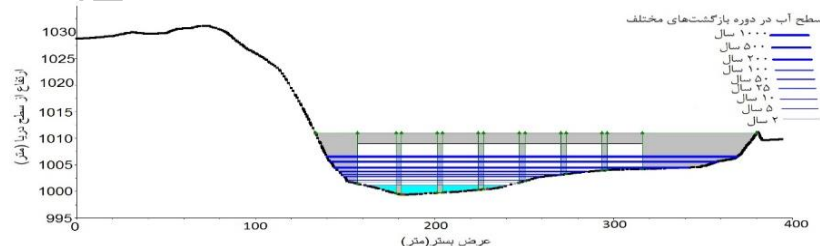
پس از شبیه‌سازی پل‌ها باید سطوح غیرمؤثر جریان نیز برای نرم‌افزار تعریف شود که این سطوح اغلب برای تشریح بخش‌هایی از یک مقطع عرضی استفاده می‌شود که در آنها، آب ذخیره شده، اما سرعت جریان توده‌ی آب در جهت پایین‌دست، نزدیک یا برابر صفر است [۱]. گام بعدی تعیین ضریب مقاومت جریان است که برای تعیین ضریب زبری مانینگ در بازه‌ی مورد مطالعه از روش کاون استفاده شده است. بدین منظور ضمن بازدیدهای میدانی از منطقه، ابتدا براساس جدول‌های موجود، ضریب مانینگ اولیه تخمین زده شد و سپس با توجه به تأثیر دیگر شرایط حاکم بر رودخانه در مقاطع مختلف، برای اصلاح ضریب مانینگ به‌دست‌آمده از رابطه‌ی کاون استفاده شد؛ ضرایب مانینگ به‌دست‌آمده برای ساحل چپ ۰/۰۶۰، برای کانال اصلی ۰/۰۴۹ و برای ساحل راست ۰/۰۵۸ است. در مرحله‌ی بعدی وارد کردن شرایط مرزی (شیب نرمال سطح آب)، به‌منظور شروع محاسبات توسط برنامه، تعریف یک سطح آغازین آب ضروری است. براساس عدد فرود سه نوع رفتار متفاوت از جریان در کانال‌های باز مشاهده می‌شود [۲]: الف) اگر $Fr > 1$ باشد جریان را فوق‌بحرانی گویند؛ ب) اگر $Fr < 1$ باشد جریان را زیربحرانی گویند؛ ج) اگر $Fr = 1$ باشد جریان را بحرانی گویند که نوعی جریان مختلط است [۲]. بدین منظور عدد فرود برای حوضه‌ی مورد مطالعه محاسبه شد که مقدار آن ۱/۱۸ به‌دست آمد که براساس آن نوع جریان فوق‌بحرانی مشخص شد که برای این نوع جریان شرایط مرزی بالادست به مدل معرفی شد. گام بعدی وارد کردن مقدار دبی لازم برای تحلیل جریان و تعیین رژیم جریان است که مقدار دبی با دوره‌های بازگشت مختلف به مدل معرفی شد (جدول ۲). در نهایت نتایج مدلسازی انجام‌گرفته با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS در سامانه‌ی اطلاعات مکانی ارائه شد و پس از محاسبه TIN سطح آب، پهنه‌ی سیلابی از تفاضل TIN عوارض زمین و سطح آب برای دوره‌های بازگشت مختلف تهیه شد.

بحث

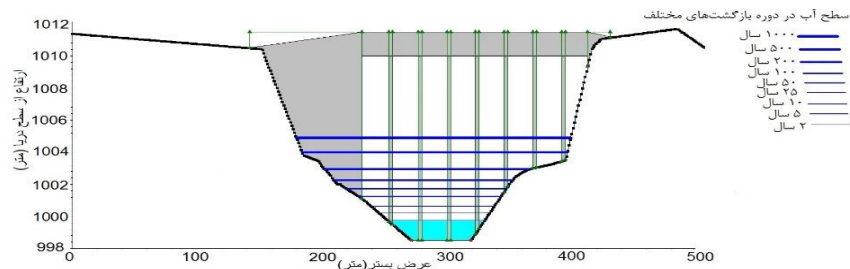
در این پژوهش پس از تهیه مدل هندسی و شبیه‌سازی کلیه عوارض موجود در مسیر رودخانه و همچنین معرفی کلیه پارامترهای مورد نیاز در مدل، شرایط هیدرولیکی رودخانه کشکان در بازه مورد نظر برای سیلاب‌های با دوره‌های بازگشت ۲ تا ۱۰۰۰ ساله با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS شبیه‌سازی شد. در شکل‌های زیر برخی از نتایج اخذشده از مدلسازی با HEC-RAS نشان داده شده است. شکل ۳ بازه رودخانه کشکان را به طول تقریبی ۵ کیلومتر از پل باستانی کشکان تا روستای امیرآباد نشان می‌دهد. نیمرخ‌های طولی و عرضی تراز سطح آب مهم‌ترین خروجی مدل HEC-RAS و نشان‌دهنده تغییرات سطح آب برای سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف است. شکل ۴ نمایی از مقطع عرضی پل کشکان (در ۳۷ متری از ابتدای بازه) و شکل ۵ نمایی از مقطع عرضی پل جدید کشکان (در ۴۱۴ متری از ابتدای بازه) به همراه تراز آب رودخانه به ازای دوره‌های بازگشت مختلف از دو تا ۱۰۰۰ سال را در نرم‌افزار HEC-RAS نشان می‌دهند. شکل ۶ نیز تراز سطح آب را در طول افقی رودخانه در دوره‌های بازگشت دو تا ۱۰۰۰ ساله نشان می‌دهد.



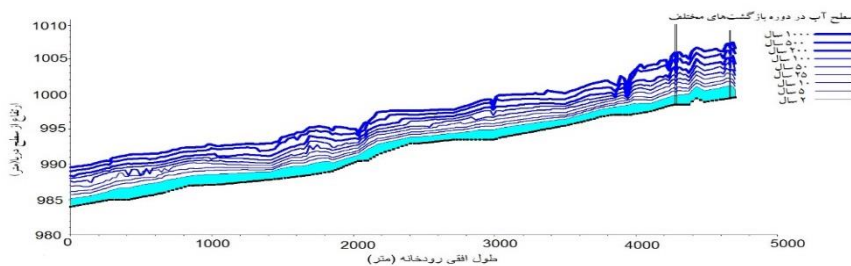
شکل ۳. نمایی از طرح شماتیک رودخانه در محیط HEC-RAS



شکل ۴. ارتفاع سطح سیل‌گیر در دوره‌های بازگشت مختلف در مقطع شماره ۳ محل شبیه‌سازی پل کشکان

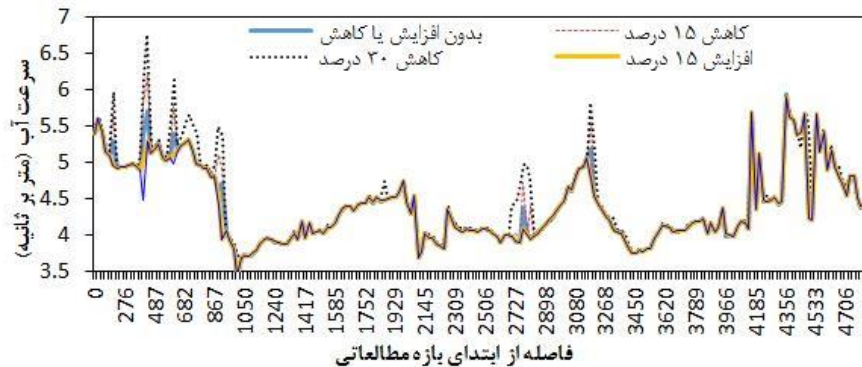


شکل ۵. ارتفاع سطح سیل‌گیر در دوره‌های بازگشت مختلف در مقطع شماره ۱۹ محل شبیه‌سازی پل جدید کشکان



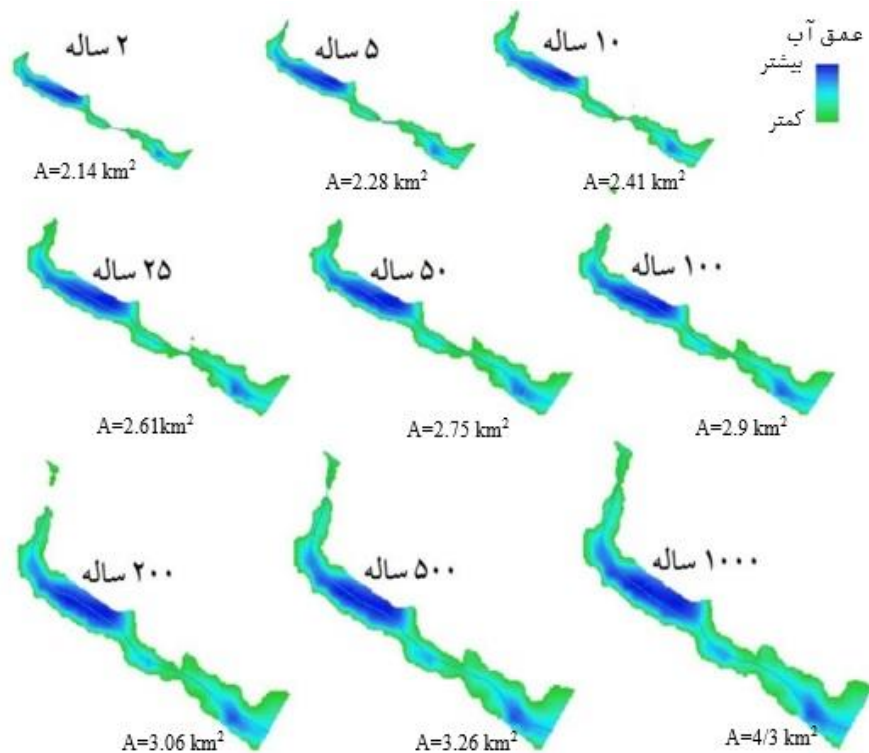
شکل ۶. پروفیل طولی رودخانه همراه ارتفاع سطح آب در دوره‌های بازگشت مختلف

آنالیز حساسیت ضرایب مانینگ در مدل: برای اطمینان، ضرایب مانینگ به‌دست‌آمده در مدل واسنجی شدند؛ به این‌گونه که به ضرایب به‌دست‌آمده (برای ساحل چپ ۰/۰۶۰، برای کانال اصلی ۰/۰۴۹ و برای ساحل راست ۰/۰۵۸)، ۱۵ و ۳۰ درصد افزوده و ۱۵ و ۳۰ درصد کسر شد و پس از آن به‌ازای مقادیر جدید به‌دست‌آمده مدل مجدداً اجرا و اختلاف در سطح، عمق و سرعت اندازه‌گیری شد که در تمام نتایج به‌دست‌آمده، این اختلاف ناچیز بود که در شکل‌های زیر این تغییرات در طول بازه برای دوره بازگشت ۲۵ ساله نشان داده شده است.



شکل ۷. نتایج به دست آمده تغییرات ضریب مانینگ در سرعت آب در طول بازه در دوره بازگشت ۲۵ ساله

تعیین حد بستر رودخانه و پهناهای سیلابی بر مبنای مطالعات هیدرولیک در محیط GIS پس از اجرای مدل توسط نرم افزار HEC-RAS (با استفاده از اطلاعات ورودی اصلی که از طریق الحاقیه HEC-GeoRAS در محیط GIS تولید و به آن منتقل شده بود) و تولید خروجی مدل، نتایج مجدداً به محیط GIS ارسال شدند. بعد از تمام این مراحل نرم افزار Arcview لایه‌های مختلفی نظیر توپوگرافی سطح آزاد آب، عمق آب و پهنا سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف را تهیه می‌کند که کاربردی‌ترین این لایه‌ها پهنا سیلاب است که حدود دشت سیلابی را در دوره‌های بازگشت مختلف مشخص می‌کند. از نظر ژئومورفولوژیک، دشت سیلابی به منطقه مجاور کانال رودخانه گفته می‌شود که به وسیله رودخانه موجود در اقلیم کنونی و تکرار طغیان‌های عظیم تغییر می‌کند [۱۳]. شکل ۸ پهناهای سیل‌گیر مساحت سطح آب و تغییرات عمق آب با دوره‌های بازگشت مختلف در بازه مطالعاتی را نشان می‌دهد که به ازای دوره‌های بازگشت طولانی‌تر، مقدار دبی بیشتر شده و سطح سیلاب در هر یک از مقاطع افزوده می‌شود. با توجه به پروفیل هر یک از مقاطع این سطح سیلاب کاهش یا افزایش نسبت به سایر مقاطع نشان می‌دهد و با افزایش سطح مقطع ارتفاع سیل‌گیری کاهش پیدا می‌کند. به موازات همین کاهش یا افزایش سطح سیلابی عمق نیز کاهش یا افزایش می‌یابد که در هر مقطع با افزایش دوره بازگشت، شاهد عمق سیلاب هستیم. شبیه‌سازی عرضی مقاطع و به خصوص پروفیل طولی سیل‌گیری رودخانه حاکی از افزایش سطح سیلاب است و علت کاهش سطح سیلاب در برخی مقاطع، وجود موانع یا تنگ شدن مقاطع است که در این صورت سطح سیلاب کاهش پیدا می‌کند و بر عمق آب گرفتگی افزوده می‌شود.



شکل ۸. پهنه‌های سیل‌گیر جریان آب رودخانه با دوره‌های بازگشت مختلف در بازه مطالعاتی (علامت A در زیر هر شکل نشان‌دهنده مساحت پهنه سیل‌گیر به‌ازای دوره بازگشت مورد نظر است).

بعد از اینکه پهنه‌های سیل‌گیر در دوره‌های بازگشت مختلف توسط نرم‌افزار Arc Gis به‌دست آمد مساحت این پهنه‌ها نیز محاسبه شد که مساحت کل پهنه سیل‌گیر ۱۰۰۰ ساله مشخص و مقدار آن برابر ۳/۴۰ کیلومتر مربع محاسبه شد که ۷۷ درصد از این مقدار مربوط به پهنه‌های سیل‌گیر با دوره‌های بازگشت کوتاه‌مدت (۲۵ سال و کمتر از آن) است. بعد از به‌دست آمدن مساحت پهنه‌های سیل‌گیر در دوره‌های بازگشت مختلف، مساحت این پهنه‌ها برای کاربری‌های مختلف نیز محاسبه شد که براساس نتایج جدول ۳، مناطق مسکونی در معرض خطر سیل‌گرفتگی دوره بازگشت ۲۵ ساله (دوره بازگشت کوتاه‌مدت) واقع شده‌اند و این خطر برای مناطق صنعتی مطابق با دوره بازگشت ۱۰ ساله است.



شکل ۹. نمایش پهنه‌های سیل‌گیر در گوگل ارث

جدول ۳. مساحت پهنه‌های سیل‌گیر (کیلومتر مربع) برحسب نوع کاربری به‌ازای دوره‌های بازگشت مختلف

نوع کاربری	دوره بازگشت (سال)								
	۱۰۰۰	۵۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۵۰	۲۵	۱۰	۵	۲
زمین‌های زراعی	۲/۳۶	۲/۰۹	۱/۸۴	۱/۷۸	۱/۵۱	۱/۴۶	۱/۳۴	۰/۹۸	۰/۹۵
مناطق مسکونی روستایی	۰/۹۱	۰/۸	۰/۷۴	۰/۷	۰/۶۵	۰/۶۳	-	-	-
مراکز صنعتی	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۴	-	-

تغییرات عدد فرود در جدول ۴ نشان داده شده است که در بیشتر طول بازه در دوره‌های بازگشت مختلف، مقدار این پارامتر بیشتر از ۱ است که نشان‌دهنده فوق‌بحرانی بودن جریان در یک بازه شیبدار (کوهستانی) است. عدد فرود با نیروی ثقل رابطه مستقیم دارد و به دلیل آنکه جریان آب در کانال‌ها، دارای سطح آزاد است، به نیروی ثقل حساسیت زیادی دارد و با تغییر در شیب (تغییر در نیروی ثقل) عدد فرود تغییر کرده و وضعیت جریان نیز به سرعت تغییر می‌کند. این به معنای اهمیت نیروی ثقل (عدد فرود) در رفتار جریان در کانال‌هاست. با افزایش عدد فرود، مقدار حداکثر عمق کاهش می‌یابد و فرسایش بستر بیشتر می‌شود که دلیل آن افزایش مقدار سرعت جریان به دلیل افزایش شیب است که این افزایش سرعت به طور قطع سبب افزایش تنش برشی اعمال‌شده بر بستر می‌شود و در نتیجه مقدار فرسایش افزایش می‌یابد.

جدول ۴. تغییرات عدد فرود در دوره‌های بازگشت مختلف در طول بازه مطالعاتی

دوره بازگشت (سال)	فاصله از ابتدای بازه (متر)										
	۴۷	۵۲۹	۱۰۲۴	۱۵۱۳	۲۰۱۷	۲۵۱۴	۳۰۰۲	۳۵۰۵	۴۰۱۸	۴۵۰۵	۴۷۷۶
۲	۱/۰۹	۱/۱	۱/۱۱	۱/۱۱	۱/۱۱	۱/۱۳	۱/۱۴	۱/۰۴	۱/۰۴	۱/۱۱	۰/۹۹
۵	۱/۱۳	۱/۱۲	۱/۱۲	۱/۰۶	۱/۰۹	۱	۱/۰۷	۱/۰۷	۱/۰۷	۱/۱۴	۱/۰۱
۱۰	۱/۰۲	۱/۰۴	۱/۱۲	۱/۱۱	۱/۱۲	۱/۱۲	۱/۱۳	۱/۱۷	۱/۰۸	۱/۲۱	۰/۹۸
۲۵	۱/۱۳	۱/۱۳	۰/۹۹	۱/۰۱	۱/۱	۱/۱۱	۱/۰۸	۱/۰۸	۱	۱/۱۵	۱
۵۰	۱/۱۲	۱/۱۲	۱/۱۲	۱/۰۱	۱/۱۲	۱/۰۹	۱/۰۸	۱/۰۴	۱/۰۴	۱/۱۳	۰/۹۲
۱۰۰	۱/۰۴	۱	۱/۱۴	۱/۱۲	۱/۱	۱/۱	۱/۱	۱/۰۸	۱/۰۶	۱/۰۹	۱/۱
۲۰۰	۱/۰۸	۱/۰۴	۱/۱۱	۱	۱/۱۷	۱/۱۶	۱/۰۹	۱/۱	۱/۰۷	۱/۳	۱/۰۱
۵۰۰	۱/۱	۱/۱۱	۱/۱۱	۱/۱۳	۱/۱۴	۱/۱۶	۱/۱۵	۱/۱۱	۱/۰۷	۱/۲	۰/۸۹
۱۰۰۰	۱/۰۲	۱/۱۳	۱/۱۴	۱/۲۸	۱/۰۸	۱/۰۶	۱/۰۵	۱/۰۳	۱/۰۴	۱	۱/۱

نتیجه‌گیری

با توجه به ویژگی‌های توپوگرافی حوضه رودخانه کشکان در بازه مطالعاتی، مساحت پهنه سیل‌گیر متناظر با وقوع سیلی با دوره بازگشت ۲۵ ساله که معادل بارندگی حداکثر ۷۱ میلی‌متر در روز است، ۲/۶۱ کیلومتر مربع به‌دست آمده است. به‌عبارت دیگر پهنه سیلابی وقوع سیل با دوره بازگشت ۲۵ سال حدود ۷۷ درصد از کل مساحت پهنه سیل‌گیر به‌ازای دوره بازگشت ۱۰۰۰ ساله (۳/۴ کیلومتر مربع) است که رقم چشمگیری است. همچنین نتایج نشان داد که حتی به‌ازای دبی متوسط عبوری از رودخانه (دوره بازگشت ۲ سال) زمین‌های زراعی اطراف رودخانه در معرض خطر سیل قرار دارند که نشان‌دهنده بی‌توجهی به حریم رودخانه در بازه بررسی شده توسط کشاورزان است؛ اما کاربری‌های مسکونی (روستاها) و صنعتی اغلب از دوره بازگشت ۲۵ سال به بالا (معادل دبی $934 \text{ m}^3/\text{s}$) دچار این مخاطره می‌شوند. همچنین در بازه مورد تحقیق، توجه به مخاطرات ناشی از وقوع سیل در منطقه تحقیق حتی برای وقایعی با دوره‌های بازگشت کوتاه‌مدت می‌تواند تلفات انسانی و خسارات اقتصادی را در پی داشته باشد که در این زمینه مدیران و برنامه‌ریزان باید سیاست‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای لازم را اتخاذ کنند.

منابع

- [۱]. جبلی فرد، سعید؛ احمدی، حسن (۱۳۹۲). سیستم تحلیل رودخانه HEC-RAS، واحد صنعتی امیرکبیر، تهران: انتشارات جهاد دانشگاهی.
- [۲]. حسن پور، فرزاد؛ بحرینی مطلق، مسعود؛ امیری، میثم (۱۳۹۱). پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از HEC-geo-RAS، انتشارات زیتون سبز.
- [۳]. حسینی، سید موسی؛ جعفر بیگلو، منصور؛ یمانی، مجتبی؛ گراوند، فاطمه (۱۳۹۴). پیش‌بینی سیلاب‌های تاریخی رودخانه کشکان با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال چهارم، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۴: ۱۳۳-۱۱۸.
- [۴]. حکمتی‌فر، حسین؛ نظریها، مهرداد؛ گیوه‌چی، سعید (۱۳۸۶). ارزیابی خسارات کشاورزی ناشی از سیلاب با استفاده از مدل سازی HEC-RAS و ARC View، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره ۱۱، شماره ۴، زمستان ۱۳۸۸: ۹۵-۱۰۸.
- [۵]. ذبیح‌زاده، قباد (۱۳۸۸). مستندسازی و تحلیل فضایی مخاطرات اقلیمی در ایران، به راهنمایی منوچهر فرحزاده، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم انسانی.
- [۶]. سوری‌نژاد، علی (۱۳۸۱). برآورد حجم رواناب حوضه آبخیز رودخانه کشکان با استفاده از GIS، پژوهش‌های جغرافیایی، ۱۳۸۱ (۴۳): ۸۰-۵۷.
- [۷]. شرکت آب منطقه‌ای استان لرستان (۱۳۹۲). اطلاعات و مشخصات رودخانه‌های استان لرستان.
- [۸]. عبقری، هیراد (۱۳۸۳). پهنه‌بندی سیلاب در حوضه آبخیز جاجرود با استفاده از GIS، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- [۹]. قمی اویلی، فرشته؛ صادقیان، محمدصادق؛ جاوید، امیرحسین؛ میرباقری، سیداحمد (۱۳۸۹). شبیه‌سازی پهنه‌بندی سیل با استفاده از مدل HEC-RAS (مطالعه موردی: رودخانه کارون حدفاصل بند قیر تا اهواز)، فصلنامه علوم و فنون منابع طبیعی، ۱۳۸۹ (۱): ۱۱۵-۱۰۵.
- [۱۰]. کرمی، فریبا؛ شیروند، هنگامه؛ درگاهیان، فاطمه (۱۳۸۹). بررسی الگوی سینوپتیک سیل بهمن ۱۳۸۴ شهرستان پلدختر، فصلنامه جغرافیایی و مطالعات محیطی، ۲ (۴): ۹۹-۱۰۶.
- [۱۱]. کیت، اسمیت (۱۳۹۱). مخاطرات محیطی، ترجمه ابراهیم مقیمی و شاپور گودرزی‌نژاد، چاپ چهارم، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- [۱۲]. محمدی، حسین (۱۳۹۰). مخاطرات جوی، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

[۱۳]. مقیمی، ابراهیم (۱۳۹۳). دانش مخاطرات برای زندگی با کیفیت بهتر و محیط پایدارتر، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

[۱۴]. مقیمی، ابراهیم (۱۳۸۸). اکوزئومورفولوژی و حقوق رودخانه، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

[۱۵]. نگارش، حسین؛ طاوسی، تقی؛ مهدی نسب، مهدی (۱۳۹۰). بررسی شدت سیل‌خیزی حوضه آبریز رودخانه کشکان، فصلنامه جغرافیایی لار، سال چهارم، شماره ۱۳، ۱۳۹۰: ۴۹-۵۸.

[16]. Gibson, S., G. Brunner, S. Piper, and M. Jensen. (2006). Sediment transport computations with HEC-RAS. Proceedings of the Eighth Federal Interagency Sedimentation Conference (8thFISC), April 2-6, Reno, NV, USA.

[17]. Keble, M.R., Yang, Z.L., Hutchison, K., Maidment, D.R. (2005). Regional Scale Flood Modeling using NEXRAD, Rainfall, GIS, and HEC-HMS/RAS: A Case Study for the San Antonio River Basin Summer 2002 Storm Event, Journal of Environmental Management, 75: 325-336.

[18]. Klimeš, Jan. Benešová, Miroslava. Vilímek, Vít. Bouška, Petr. Cochachin Rapre, Alejo. (2014). the reconstruction of a glacial lake outburst flood using HEC-RAS and its significance for future hazard assessments: an example from Lake 513 in the Cordillera Blanca, Peru. Journal of Natural Hazards April 2014, Volume 71, Issue 3, pp. 1617-1638.

[19]. Miller S.N. Kepner W.G. and Mehaffey M.H. (2002). Integration Landscape Assessment and Assessment and Hydrologic Modeling for Land Cover Change Analysis. Journal of the American Water Resources Association. 38(4):919-929. 16- US Army Corps of Engineers. 1992.

[20]. Zeinivand, H., Aghighi, H. Jalalirad, R. Flood Zoning using GIS Tools and Hydraulic Models in the Broudjerd Seilakhor Floodplain, Iran. 2006. 7th International Congress on Civil Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran: 1-7.

[21]. Zope, P.E. Eldho, T.I. Jothiprakash, V., (2015), Impacts of urbanization on flooding of a coastal urban catchment: a case study of Mumbai City, India., Journal of Natural Hazards, January 2015, Volume 75, Issue 1, pp 887-908.