

## ارزیابی پتانسیل خطر سیلاب و بررسی خسارت ناشی از آن در حوضه آبخیز تالار

نفیسه اشتری: کاندیدای دکترای ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

ابوالقاسم گورابی\*: دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران

مریم رحمتی: استادیار مدعو جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد

علیرضا دربان آستانه: دانشیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۱۹

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۸)



20.1001.1.22517812.1401.12.4.1.2

### چکیده

سیلاب‌ها یکی از بحران‌های طبیعی است که هر ساله در نقاط مختلف جهان و کشور به بروز خسارت‌های جانی و مالی محسوس و نامحسوس فراوان منجر می‌شود؛ بنابراین، برنامه‌ریزی برای کاهش، مهار و پیش‌بینی پهنه‌های خطرناک و دارای توان بالا در زمان رویداد سیلاب امری ضروری است. حوضه آبخیز تالار، در البرز مرکزی قرار دارد. در این پژوهش، پهنه‌های سیل‌گیر رودخانه تالار با استفاده از سیستم مدل‌سازی حوضه‌های آبخیز (WMS<sup>۱</sup>) و برنامه HEC-RAS مشخص شد. از داده‌های رقومی ارتفاعی، تصاویر ماهواره‌ای و دبی برای ترسیم مقاطع عرضی و پهنه‌بندی محدوده‌های دارای خطر سیل استفاده شد. پس از تعیین پهنه‌های سیل‌گیر، دوره‌های بازگشت پنجاه و صد ساله با استفاده از رابطه کریگر تعیین شد. در نهایت، خسارت‌های وارد شده بر حریم بیست متری رودخانه تالار و کسلیان در تمام کاربری‌های مسکونی شهری و روستایی، زمین‌های کشاورزی و باغی، و معابر جاده شوسه و آسفالت محاسبه شد. نتایج نشان داد که بیشترین مساحت پهنه‌های عمق آب، مربوط به طبقه اول (۰/۳ متر) در سیلاب ۹۴/۴/۲۸ است. بیشترین مساحت پهنه‌های سیلابی در شهر پل سفید با مساحت (۶۳/۶ هکتار) و شهر زیر آب با مساحت (۲۰/۷ هکتار) قرار دارد. همچنین بیشترین خسارت محاسبه شده در وقوع سیل، مربوط به کاربری‌های مسکونی در شهر زیر آب نزدیک به خروجی حوضه است. نتایج آزمون‌های آماری نشان داد که کاربری مسکونی، بالاترین میانگین عمق (۰/۸۴ متر) و منطقه روستایی لرد با میانگین عمق یک متر، بیشترین توان سیل‌خیزی را دارد. واژگان کلیدی: پهنه‌بندی، رودخانه تالار، سیستم مدل‌سازی حوضه آبخیز، سیل، فرسایش.

<sup>۱</sup> Watershed Management System

## ۱- مقدمه

سیل یکی از عمده‌ترین مسائل جوامع بشری، محیط زیستی و از عوامل بازدارنده برنامه‌های توسعه به شمار می‌رود. وقوع این پدیده در هر منطقه به واکنش‌های هیدرولوژیکی، ویژگی‌های اقلیمی، زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی نواحی بالادست حوضه مرتبط با آن بستگی دارد. آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب نیز متغیر و پیچیده است (Asghari Saraskavand, 2014).

سیلاب‌ها در محیط‌های طبیعی و انسانی بدون دخالت انسان رخ می‌دهد. وقوع خطر سیلاب در محیط‌های انسانی نسبت به وقوع آن در محیط‌های طبیعی از نظر تمرکز جمعیت، اقتصاد و ساخته‌های دست بشر، بر اهمیت موضوع می‌افزاید. باتوجه به اینکه حفاظت کامل از خطر سیلاب امری ممکن نیست، زیستن در کنار آن و اجرای سیاست‌های جدید در خصوص مدیریت کاربری اراضی و توسعه مناطق مسکونی حریم رودخانه به‌منظور کاهش اثرات تخریب آن، امری ضروری است (Yamani et al, 2012). از گام‌های اساسی برای کاهش آثار زیان‌بار ناشی از سیلاب، شناخت مناطق سیل‌گیر و درجه‌بندی این مناطق از نظر میزان خطر سیل است تا بر اساس نتایج حاصل شده، بتوان درباره نحوه استفاده از اراضی و کاربری‌های مختلف از جمله توسعه بهینه آبی شهرها و روستاها، کشاورزی خدماتی و تولیدی تصمیم‌گیری کرد و زیان‌های ناشی از وقوع سیل را کاهش داد (Patial et al, 2008). یکی از روش‌های مدیریت و کاهش سیلاب، مدل‌سازی و پیش‌بینی سیل پیش از وقوع آن است (Damadi et al, 2021). با استفاده از نقشه‌های پهنه‌بندی در حوضه‌های آبخیز، می‌توان در برابر سیلاب به آمادگی دست یافت (Roustayi et al, 2017).

در زمینه پهنه‌بندی سیلاب، تحقیق‌های مختلفی در خارج و داخل کشور صورت گرفته‌است که به برخی از آنها اشاره می‌شود. Ghafari و همکاران (2010)، برای اداره ۴/۵ کیلومتر از دشت سیلابی رودخانه قزل‌اوزن، به پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از مدل<sup>۱</sup> HEC-RAS نرم‌افزار ArcView و الحاقیه HEC-GeoRAS پرداختند. نتایج نشان داد که از کل مساحت تحت تأثیر سیل دویست ساله، ۱۶/۸۹ درصد آن مستعد سیل‌گیری توسط سیل‌های زیر ۲۵ سال است. Mousavi و همکاران (2013) در پژوهشی، به بررسی و پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آبخیز شهر ایذه با استفاده از مدل‌های تجربی فولر و جاستین و مدل سلسله‌مراتبی (AHP) پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که مقدار دبی برآورد شده در مدل فولر برای دوره بازگشت‌های پنج تا دویست به ترتیب عبارت است از: ۵۸/۲۸۳، ۱۳/۲۴۴، ۳۷/۴۱۱، ۴۱/۴۶۶، ۱۳/۴۸۴، ۱۷/۵۳۹، ۲۱/۵۹۴ و ۲۵/۶۴۹ مترمکعب بر ثانیه. همچنین ارتفاع رواناب سالانه به دست آمده از مدل جاستین، برابر با ۹۱۶/۲ سانتی‌متر است. نقشه حاصل از روش سلسله‌مراتبی نیز مناطق نواحی جنوب شرقی را به‌عنوان پهنه‌های آسیب‌پذیر در برابر سیل نشان می‌دهد. Nezafati Namin و Khosh Valad (2016) در تحقیقی، به بررسی ویژگی‌های سیلاب‌های شهری بالخلوچای اردبیل با دوره‌های بازگشت مختلف پرداختند. نتایج نشان داد که سیلاب حتی با دوره برگشت ده ساله، می‌تواند به بروز خسارت در بخش‌های وسیعی از اردبیل منجر شود. همچنین با استفاده از نتایج این تحقیق می‌توان مدیریت سیلاب را در نقاط پرخطر این مسیل اجرا کرد. Rad و همکاران (2018) به بررسی حوضه آبخیز خرم‌آباد واقع در استان لرستان پرداختند. آنها با معرفی شرایط مرزی جریان، دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت‌های مختلف، مقاطع عرضی و فاصله آنها و ضریب زبری مانینگ برای هر مقطع به مدل

<sup>1</sup> Hydrological Engineering Centers River Analysis System

هیدرولیکی HEC-RAS، این مدل را اجرا و نیم‌رخ سطح آب را در دوره‌های بازگشت مختلف سیل به دست آوردند. همچنین آنها مشاهده کردند که بیشترین سطح درگیر سیل به ترتیب به اراضی زراعی دیم، مراتع، جاده، اراضی مسکونی و زمین‌های رها شده مربوط است. Motlagh و Ebadi (2020) برای پهنه‌بندی سیلاب و تعیین حد بستر و حریم رودخانه مارون، از نرم‌افزار HEC-RAS در محیط GIS استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که مساحت سیل‌خیزی برای دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله به ترتیب برابر با ۱۲۶۵، ۱۶۵۱، ۲۳۳۴ و ۴۴۵۰ هکتار است. Damadi و همکاران (2021) با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS، به پهنه‌بندی سیلاب حوضه آبخیز سرباز پرداختند. نتایج نشان داد که با دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله به ترتیب ۸۶/۳۶۶، ۱۲/۳۹۷، ۹۵/۴۴۹ و ۷۸/۵۸۰ هکتار، مساحت پهنه سیلاب حوضه آبخیز سرباز در محدوده شهر ریسک افزایش می‌یابد. Pournabi Darzi و همکاران (2021) به منظور پهنه‌بندی خطر سیل در حوضه آبخیز چشمه کیله، از مدل هیدرولیکی HEC-RAS در ARC GIS استفاده کردند. نتایج به دست آمده در این پژوهش نشان داد که هر چه دوره بازگشت طولانی‌تر شود، سطح وسیع‌تری از اراضی تحت تأثیر سیل قرار می‌گیرد. همچنین بیشترین سطح سیلابی، مربوط به اراضی زراعی به وسعت ۲۴/۶ هکتار است.

Tate و همکاران (1999)، روشی را برای افزایش دقت آنالیز خروجی نرم‌افزار HEC-RAS در سیستم اطلاعات ارائه کردند که به تطبیق داده‌های نقشه‌برداری زمینی، هندسه رودخانه و سازه‌های کنترل با مدل زمینی موجود در سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌پردازد. David و Smith (2000) با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS، به بررسی رفتار هیدرولیکی سیلاب پرداختند. Hill (2001) قابلیت مدل کامپیوتری HEC-geo-RAS را در پهنه‌بندی خطر سیل و مزایای استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS بیان کرد. Gichamo و همکاران (2012)، مقاطع عرضی رودخانه را با استفاده از ابزار مدل‌سازی HEC-RAS-GeoRAS برای شبیه‌سازی سیل ایجاد کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که روش ارائه شده، دارای پتانسیل خوبی برای استفاده در زمینه‌هایی است که کمبود داده‌های توپوگرافی وجود دارد. Pistocchi و Mazzoli (2002) با استفاده از مدل‌های HEC-RAS و HEC-HMS<sup>۱</sup>، به بررسی و مطالعه رودخانه‌ها به منظور مدیریت خطرهای هیدرولیکی پرداختند. Andam (2003) در پایان‌نامه خود با عنوان مقایسه رژیم رودخانه‌های جنگلی و غیر جنگلی با استفاده از مدل HEC-RAS و الحاقیه HEC-GeoRAS، تغییرات سرعت و عدد فرود را در این دو نوع رودخانه بررسی و تأثیر پوشش گیاهی را بر رژیم رفتار فیزیکی جریان مقایسه کرد و نتیجه گرفت که استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS، می‌تواند مقادیر عددی مناسبی را برای مطالعه رژیم و سایر خصوصیات هیدرولیکی جریان رودخانه در اختیار محققان قرار دهد. Napradean و Chira (2006)، نقشه پهنه‌بندی خطر سیل‌گیری را برای حوضه‌های آبریز کوچک در نزدیکی دریای بایا در دره آستورو تهیه کردند. برای این منظور، از ترکیب دو برنامه و WetSpa و HEC-RAS استفاده شد؛ بدین ترتیب که از خروجی داده‌های برنامه WetSpa به عنوان ورودی برنامه HEC-RAS و برای هر دو مدل، از نرم‌افزار ۲ و ۳ Arc View استفاده شد. Zope و همکاران (2015) با استفاده از HEC-RAS و HEC-HMS، تأثیر سیل را بر مناطق ساحلی در شهر بمبئی بررسی کردند و به

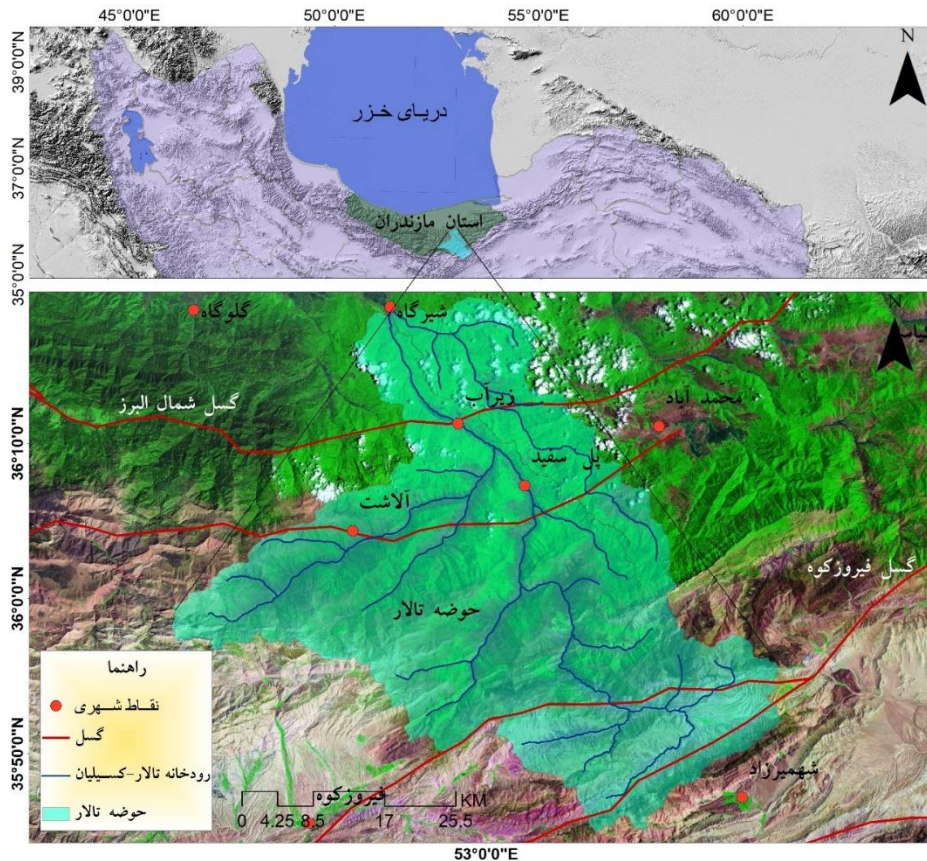
<sup>۱</sup> Hydrological Modeling System

این نتیجه رسیدند که با افزایش جزئی در اوج و حجم رواناب در هنگام جزرومد، می‌توان خسارت‌های زیادی را بر این مناطق وارد کرد.

هدف از این پژوهش، پهنه‌بندی مناطق مستعد سیل‌گیر و محاسبه خسارت در نواحی فرسایش‌یافته و تخریب‌شده بر اثر سیلاب در بیست متری حریم رودخانه در حوضه آبخیز تالار است. حوضه آبخیز تالار به دلیل بارش‌های فراوان، عبور جریان رودخانه‌های تالار و کسلیان و کاربری‌های شهری و روستایی آن، توان بالایی برای وقوع سیلاب دارد که باتوجه به موقعیت جغرافیایی و مساعد بودن شرایط آب‌وهوایی در سال‌های اخیر، این منطقه با سیلاب‌های شدیدی روبرو بوده‌است که این امر، اهمیت پهنه‌بندی خطر سیلاب و مدیریت و برنامه‌ریزی منطقه را افزایش می‌دهد.

## ۲- منطقه مورد مطالعه

از نظر مختصات، حوضه آبخیز تالار بین طول شرقی  $52^{\circ}35'22''$  تا  $53^{\circ}23'34''$  و عرض شمالی  $35^{\circ}44'23''$  تا  $36^{\circ}19'16''$  واقع شده‌است (شکل ۱). حوضه معرف کسلیان به‌عنوان بخشی از رودخانه تالار و با مختصات طول جغرافیایی  $53^{\circ}18'$  تا  $53^{\circ}30'$  شرقی و عرض جغرافیایی  $36^{\circ}7'$  تا  $35^{\circ}58'$  شمالی، در رشته‌کوه‌های البرز مرکزی در استان مازندران واقع شده‌است. شکل ۱، حوضه تالار با مساحت ۲۱۰۰ کیلومتر مربع است. خروجی حوضه تالار، در محل ایستگاه شیرگاه با ارتفاع ۱۱۲۸ متر است. بارندگی متوسط حوضه، ۷۹۱ میلی‌متر و متوسط دما، ۱۱/۱۵ درجه سانتی‌گراد است (Soleymani et al, 2008). رودخانه کسلیان یکی از شاخه‌های رودخانه تالار است که از دامنه‌های شمالی کوه گلرد سرچشمه می‌گیرد، سپس در جهت شمال غربی جریان می‌یابد و روستاهای سنگده، وزملا، ولیک بن، پاشاکلا و چند روستای دیگر را سیراب و با شاخه کوچکی به نام سوخته‌سرا برخورد می‌کند. سپس از این محل به غرب تغییر مسیر می‌دهد، در شیرگاه به رودخانه تالار می‌پیوندد و در نهایت، به دریای خزر وارد می‌شود (Sadeghi et al, 2011).



شکل ۱: حوضه آبخیز تالار

### ۳- مواد و روش

برای اجرای این پژوهش، از داده‌های ورودی نقشه رقومی زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، نقشه رقومی پوشش گیاهی (تهیه شده از تصویر سنجنده لندست ۷ برگرفته از سایت USGS)، نقشه رقومی پراکندگی خاک (تهیه شده از گزارش خاک‌شناسی سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری استان مازندران)، مدل رقومی ارتفاعی (DEM<sup>۱</sup>) با قدرت تفکیک مکانی ده متر (تهیه شده از سازمان نقشه‌برداری کشور) و آمار و اطلاعات رویداد سیل ۱۳۹۴/۴/۲۸ (اطلاعات هیدروگراف سیلاب‌های ثبت شده ایستگاه هیدرومتری شیرگاه، سازمان آب منطقه‌ای استان مازندران) استفاده شد. در ابتدا برای استخراج مرز حوضه آبخیز و شبکه زهکشی، از مدل (TOPAZ) در محیط WMS10 استفاده شد. داده ورودی به مدل TOPAZ، DEM10 متر است و در نهایت، خروجی مدل TOPAZ شامل مرز حوضه، شبکه زهکشی و نقشه فاصله از خروجی است. به منظور بررسی وضعیت هیدرولوژی حوضه هیدروگراف واحد SCS، از مدل HEC-1 در محیط WMS استفاده شد. با استفاده از این منحنی می‌توان آب‌دهی اوج و مقدار کل رواناب را به دست آورد. اندازه حوضه آبخیز نیز می‌تواند بر شکل هیدروگراف اثر بگذارد. هیدروگراف واحد SCS بی‌بعد و تک اوجی است. این هیدروگراف، نسبت بین آب‌دهی هیدروگراف واحد در هر زمان  $Ut$  و آب‌دهی هیدروگراف واحد در زمان رسیدن به اوج،  $Up$  را در برابر نسبت بین زمان‌های آنها  $T$  زمان رسیدن به آب‌دهی اوج  $Tp$  نشان می‌دهد. ارتباط بین آب‌دهی اوج و زمان رسیدن به آن در رابطه زیر تعیین شده است:

<sup>۱</sup> Digital Elevation Model

<sup>۲</sup> Topographic Parametrization



$$U_p = C \frac{A}{T_p}$$

رابطه ۱

که در آن،  $A$  مساحت حوضه و  $C$  مقدار ثابت در سیستم SI 08/2 و در سیستم انگلیسی ۴۸۴ است. زمان تأخیر حوضه به صورت اختلاف زمانی بین مرکز ثقل بارندگی مازاد و فقط با رسیدن به اوج هیدروگراف تعریف می‌شود. با مشخص شدن زمان و دبی اوج، هیدروگراف واحد می‌تواند از هیدروگراف بدون بعد SCS به دست آید (US Army Corps of Engineers, 2000).

به منظور تعیین سطوح سیل گیر در نرم افزار WMS، لازم است مدل مفهومی، شبکه شماتیک و فایل هندسی تهیه شود. ایجاد مدل مفهومی در برنامه WMS شامل موقعیت آبراهه‌ها، خط مرکزی رودخانه، پوشش‌های کناره و کاربری زمین است که به صورت یک مدل عددی تعریف می‌شود. مقاطع عرضی، بخش مهمی از مدل مفهومی است. برای استخراج مقاطع عرضی با استفاده از خطوط منحنی، میزان نواحی که خط‌القدر دارد، انتخاب و هشتصد مقطع عرضی از ورودی حوضه به سمت خروجی ترسیم شد. برای استخراج داده‌های عددی از جدول مانینگ نیز لازم است اطلاعات کافی از کاربری زمین‌های داخل حوضه برآورد شود؛ بدین منظور، از نقشه کاربری استفاده و ضرایب مانینگ در حوضه تالار استخراج شد (جدول ۱).

جدول ۱: ضرایب مانینگ برای کاربری‌های حوضه تالار (راهنمای ضریب مانینگ، وزارت نیرو)

ضریب مانینگ	مزارع کشاورزی	باغ	مناطق مسکونی	رودخانه	فاقد پوشش گیاهی
۰/۰۴	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۰۲	

شبکه شماتیک، نموداری از مدل مفهومی است. این شبکه یک مدل عددی از مقاطع عرضی را که در هر آبراهه برآورد شده‌است، نشان می‌دهد. همچنین باید بیان کرد که فایل هندسی شامل داده‌های مقاطع عرضی استفاده شده توسط HEC-RAS به علاوه داده‌های سه بعدی زمین مرجع شده‌است که از شبکه شماتیک تهیه می‌شود.

به منظور تعیین سطوح عمق آب، از مدل HEC-RAS در WMS استفاده شد. از نرم افزار HEC-RAS در طرح‌های مهندسی رودخانه از جمله تهیه پروفیل سطح آب، تعیین منحنی دبی - اشل در ابتدا و انتهای بازه‌ها در رودخانه‌های طبیعی و مصنوعی، بررسی وضعیت جریان و پهنه‌بندی سیل در شرایط مختلف ساماندهی رودخانه استفاده می‌شود (Ghafari et al, 2006). اجرای این برنامه شامل تعریف جریان و شرایط مرزی برای آبراهه‌ها، محاسبه عمق‌های نرمال و جهت موقعیت توزیع جریان برای محاسبه پروفیل‌های سرعت است. برای تعیین نقاط ارتفاع آب فایل هندسی - که شامل مقاطع عرضی به همراه خط رودخانه، سواحل و کاربری‌ها است - لازم است با برنامه HEC-RAS شبیه‌سازی شود. برای تعیین جریان و شرایط مرزی، عدد دبی پیک برای سیلاب ۹۴/۴/۲۸، ۱۶۳ مترمکعب بر ثانیه در نظر گرفته شد که در خروجی حوضه ایستگاه شیرگاه ثبت شده‌است. از آن جا که شیب بالادست و پایین دست رودخانه در روند سیلاب تأثیر بسیاری دارد؛ به پانزده درصد شیب بالادست، مقدار ۰/۰۲ و به ده درصد شیب پایین دست، مقدار ۰/۰۱ اختصاص داده شد. برای دستیابی به دقت بیشتر در تولید نقشه سیلاب، نقاط پراکنده ارتفاع سطح آب به همراه خط مرکزی و قوس‌های مقطع عرضی با فاصله بیست متری درون‌یابی شد. مدل HEC-RAS از فایل هندسی وارد شده،

نقاط ارتفاع آب را درون‌یابی می‌کند. این نقاط در محیط WMS فراخوانی و پلات پروفیل مقاطع عرضی در محل مقاطع واقع در مناطق روستایی و شهری تهیه شد و در نهایت، نقشه‌های گستره عمق آب برای رویداد ۱۳۹۴/۴/۲۸ تهیه و مقایسه شد.

### ۱-۳- تعیین دوره‌های بازگشت

برای تعیین دبی حداکثر لحظه‌ای برای دوره‌های بازگشت پنجاه و صد ساله، از روش کریگر استفاده شد (جدول ۲). کریگر از جمله روابط تجربی معروف است که در عین سادگی و در دسترس بودن پارامترهای موردنیاز، ضریب منطقه‌ای آن (C) در مقایسه با سایر روش‌ها، تمامی سیلاب‌های مشاهده شده دنیا را پوشش می‌دهد (Fath Zadeh and Jaydari, 2013).

کریگر پیشنهاد داده‌است برای تعیین دبی حداکثر سیل از رابطه زیر استفاده شود:

$$Q = 46 C A(0.894 A - 0.048)$$

رابطه ۲

که در آن، Q دبی اوج سیل بر حسب  $\text{ft}^3/\text{s}$ ، A مساحت حوضه بر حسب  $\text{mil}^2$  و C ضریب کریگر است.

جدول ۲: دبی اوج حداکثر لحظه‌ای مطابق با روش کریگر

دوره بازگشت	دبی اوج حداکثر لحظه‌ای (مترمکعب بر ثانیه)
۲	۱۱/۳۵۹
۵	۴۶/۰۵
۱۰	۶۹/۰۷
۲۰	۹۱/۱۷
۲۵	۹۸/۲۴
۵۰	۱۱۹/۷۳
۱۰۰	۱۴۱/۲۲

### ۲-۳- برآورد خسارت در مناطق سیلابی

برای برآورد خسارت در مناطق سیلابی، ابتدا نقشه کاربری‌های اراضی داخل حوضه تالار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ (۲۰۱۵)، از طریق الگوریتم حداکثر احتمال و طبقه‌بندی نظارت‌شده در محیط نرم‌افزاری ENVI 5.1 تهیه شد. این کاربری‌ها شامل زمین‌های کشاورزی، باغی و جنگلی، زمین‌های بایر، مناطق مسکونی شهری، روستایی و معابر است. به منظور برآورد میزان خسارت در هر یک از کاربری‌های مناطق پهنه‌بندی شده در سیلاب ۱۳۹۴/۱۲/۲۸، ابتدا مساحت هر یک از عمق‌های آب در کاربری‌ها تا حریم بیست متری - رقم ذکر شده براساس آیین‌نامه مربوط به ساخت و ساز در حریم رودخانه تا سال ۱۳۹۲ است - براساس میزان آب‌دهی رودخانه‌های منطقه مذکور تعیین شد. بنابراین، این رقم به طور مستقیم برای برآورد خسارت کاربری ناشی از خطر سیل است و فرسایش به طور نامستقیم را

پوشش می‌دهد. سپس رودخانه تعیین و ارزش پولی هر مترمربع از کاربری‌های زیر پوشش خطر سیل مطابق با جدول ۳ در مساحت کاربری‌ها ضرب شد؛ بدین ترتیب، میزان خسارت وارد شده به هر کاربری تا حریم بیست متری از رودخانه برآورد شد.

جدول ۳: ارزش‌های پولی کاربری اراضی در هر یک مترمربع طبق نظر کارشناسان در نواحی شهری و روستایی در سال ۱۳۹۴

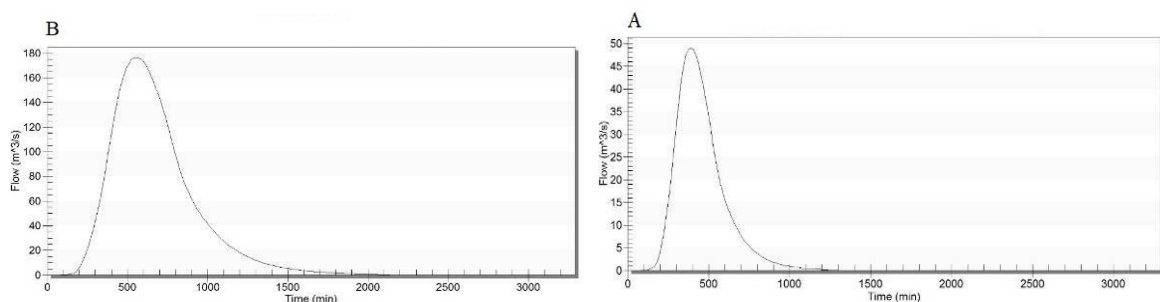
نام کاربری (یک مترمربع)	ارزش کل (ریال)
زمین روستایی در حریم رودخانه	۲,۲۳۵,۲۰۹
زمین شهری در حریم رودخانه	۲۶,۸۲۲,۵۱۳
زمین کشاورزی در حریم رودخانه	۸۹۴,۰۸۴
زمین باغی در حریم رودخانه	۱,۳۴۱,۱۲۶
معابر جاده روستایی	۳,۱۲۹,۲۹۳
معابر جاده شهری	۶,۷۰۵,۶۲۸

### ۳-۳- ارزیابی خطر

برای بررسی میانگین عمق‌های آب در کاربری‌ها و مناطق مختلف حوضه تالار، از آزمون‌های آماری استفاده شد. بدین ترتیب، ۱۲۰۰۰ نمونه رستری شامل فایل‌های کاربری اراضی، عمق آب و مناطق به طور کامل بررسی شد. برای بررسی ارتباط عمق آب با کاربری‌ها و مناطق، از آزمون‌های تحلیل واریانس یک‌طرفه، توکی و دانکن در محیط Spss استفاده شد.

### ۴- یافته‌ها (نتایج)

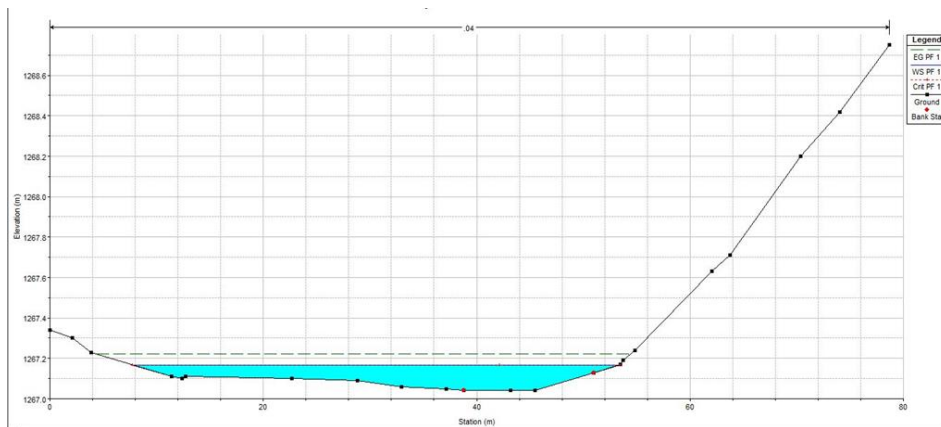
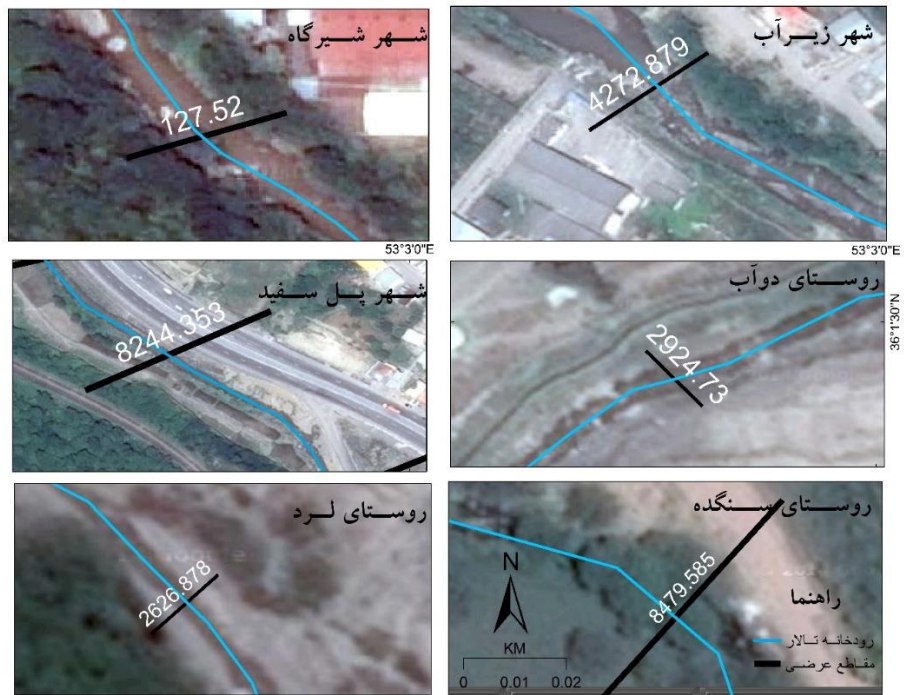
در هیدروگراف واحد SCS شکل ۲، زمان از آغاز رواناب تا رسیدن به اوج در حوضه کسپیلان در ۳۹۰ دقیقه و برای حوضه تالار در ۵۵۵ دقیقه رخ داد. نتایج مدل HEC-1 و هیدروگراف واحد SCS بیانگر آن است که حوضه تالار جزء حوضه‌های کشیده است؛ بنابراین، شکل هیدروگراف‌ها حالت کشیده دارد و باعث می‌شود دبی اوج حوضه کمتر باشد و زمان تخلیه سیلاب بیشتر شود.



شکل ۲: هیدروگراف واحد SCS، (A) هیدروگراف واحد حوضه کسپیلان و (B) هیدروگراف واحد حوضه تالار

مطابق با شکل ۳ و جدول ۴، ارتفاع تراز آب فعلی و ارتفاع تراز آب در سطح بحرانی در تمامی پلات‌های پروفیل مقاطع عرضی بر روی هم منطبق است که این امر، وضعیت خطر را در این مناطق نشان می‌دهد. ذکر این امر لازم است که در شکل ۴، موقعیت هر یک از مقاطع عرضی در نقشه نمایش داده شده است.





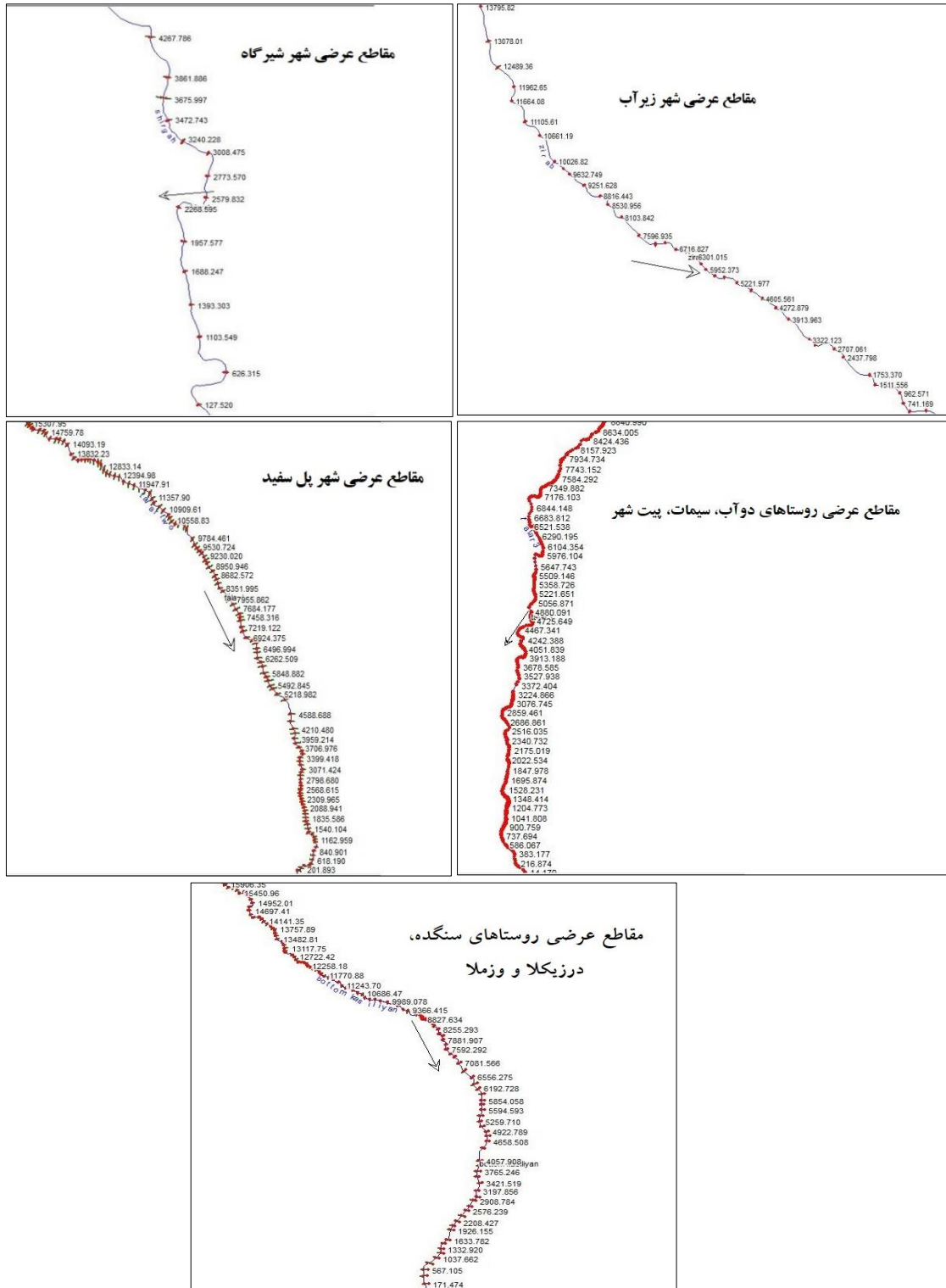
شکل ۳: مقاطع عرضی در محدوده‌های شهری و روستایی شهر شیرگاه، شهر زیر آب، شهر پل سفید، روستای دوآب، روستای سنگده، روستای لرد و رودبار به همراه موقعیت آنها در نقشه و یک نمونه پلات پروفیل مقطع عرضی در روستای سنگده

جدول ۴: ویژگی‌های هیدرو ژئومورفولوژیکی مقاطع عرضی

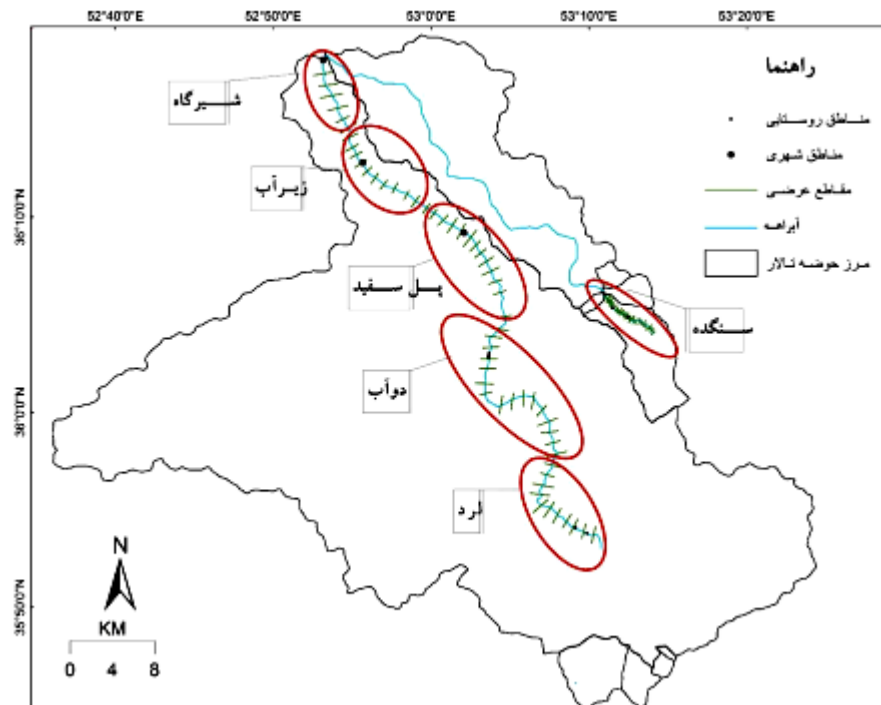
ارتفاع تراز آب فعلی و بحرانی	ارتفاع ساحل راست	ارتفاع ساحل چپ	عرض جغرافیایی ساحل راست	طول جغرافیایی ساحل راست (UTM)	عرض جغرافیایی ساحل چپ (UTM)	طول جغرافیایی ساحل چپ (UTM)	مقطع عرضی
۳۵۱/۶	۳۵۱/۶	۳۴۹/۸	۴۰۱۶۸۳۲/۷	۶۶۹۲۹۲/۲	۴۰۰۱۶۸۴	۶۶۹۳۲۹	شیرگاه
۵۵۵/۵	۵۵۵/۴	۵۵۵/۹	۴۰۰۵۲۸۰/۲	۶۷۷۸۶۸/۴	۴۰۰۵۳۱۰/۳	۶۷۷۹۰۴/۳	زیر آب
۶۶۲/۷	۶۶۱/۳	۶۶۱/۱	۴۰۰۰۰۲۲/۹	۶۸۴۲۷۵/۶	۴۰۰۰۰۸۵/۶	۶۸۴۳۸۸/۹	پل سفید
۹۰۲/۴	۹۰۰/۳	۸۹۹/۹	۳۹۸۸۶۵۸/۷	۶۸۴۶۷۷/۶	۳۹۸۸۶۴۷/۶	۶۸۴۶۸۷/۲	دو آب
۱۵۴۲/۶	۱۵۴۲/۳۰	۱۵۴۲/۶	۳۹۷۴۱۰۹	۶۹۳۳۶۴/۳	۳۹۷۴۱۰۹	۶۹۳۳۶۴/۳	لرد
۱۳۹۰/۷	۱۳۹۰/۴	۱۳۹۰/۶	۳۹۹۳۱۱۴/۶	۷۰۰۲۱۲/۴	۳۹۹۳۱۶۵/۷	۷۰۰۲۴۸/۴	سنگده

## ۱-۴- برآورد پهنه‌های سیلاب

برای ارزیابی پتانسیل سیل، در ابتدا ۸۱۱ مقطع شکل ۴ عرضی از ورودی به سمت خروجی حوضه استخراج و ترسیم شد. بازه‌های مقاطع عرضی برای دو رودخانه تالار (شهرهای شیرگاه، زیرآب، پل سفید و روستاهای دو آب، لرد و رودبار) و کسلیان (روستاهای سنگده، درزیکلا و وزملا) در شکل ۵ نمایش داده شد.



شکل ۴: مقاطع عرضی بر روی رودخانه تالار و کسپیلان در برنامه HEC-RAS



شکل ۵: بازه‌های مقاطع عرضی بر روی رودخانه تالار و کسپلیان

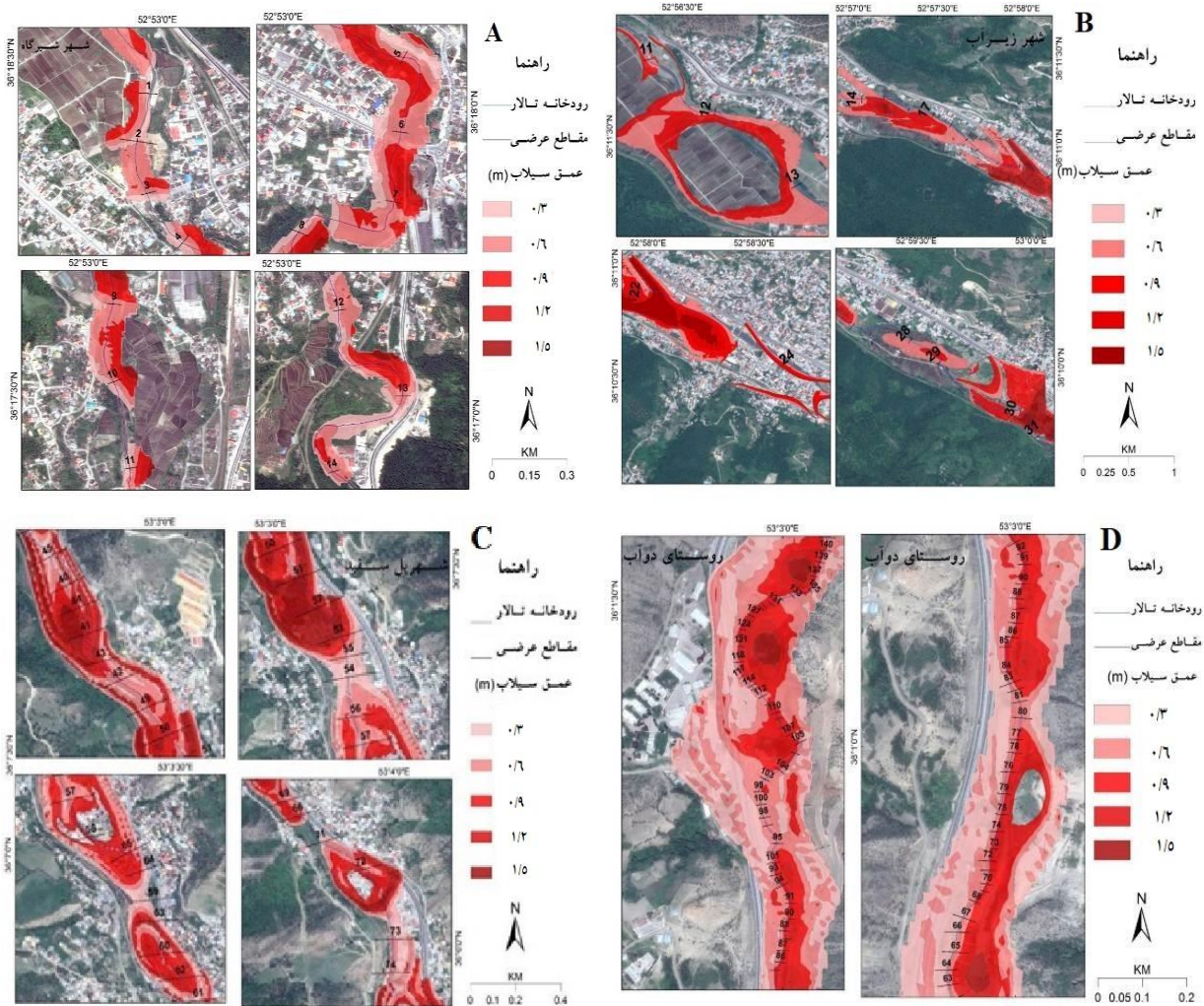
شکل ۶، نقشه پهنه‌بندی شده عمق آب را برای رویداد سیل ۱۳۹۴/۴/۲۸ با مقدار دبی اوج لحظه‌ای ۱۶۳ مترمکعب بر ثانیه، در ایستگاه هیدرومتری شیرگاه برای رودخانه تالار و کسپلیان نشان می‌دهد. مطابق با جدول‌های ۵ و ۶ و شکل ۶، بیشترین مساحت پهنه‌های سیلابی در شهر شیرگاه در عمق ۰/۶ متر با مساحت ۱۳/۸ هکتار، شهر زیر آب در عمق ۰/۶ متر با مساحت ۷۹/۳ هکتار، شهر پل سفید در عمق ۰/۶ متر با مساحت ۸۸/۳ هکتار، روستای دوآب در عمق ۰/۳ متر با مساحت ۵۷/۸ هکتار، روستاهای لرد و رودبار در عمق ۱/۲ متر با مساحت ۸/۲ هکتار، روستاهای درزیکلا، وزملا و سنگده در عمق ۰/۶ متر با مساحت ۳۱/۱ هکتار قرار دارد.

جدول ۵: مساحت پهنه‌های سیلابی در مناطق شهری

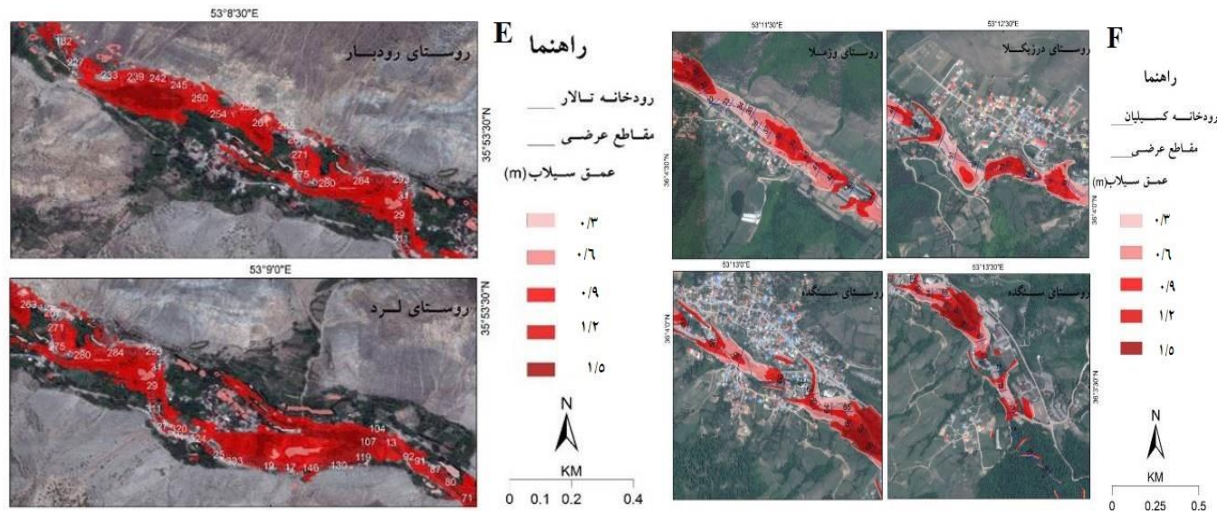
شهر شیرگاه	مساحت	شهر زیر آب	مساحت	شهر پل سفید	مساحت
عمق آب متر	هکتار	عمق آب متر	هکتار	عمق آب متر	هکتار
۰/۳	۹/۵	۰/۳	۱/۷	۰/۳	۶۳/۶
۰/۶	۱۳/۸	۰/۶	۷۹/۳	۰/۶	۸۸/۳
۰/۹	۶/۷	۰/۹	۶۰/۶	۰/۹	۶۲/۷
۱/۲	۲/۹	۱/۲	۳۲/۸	۱/۲	۴۲/۴
۱/۵	۱/۴	۱/۵	۲۰/۷	۱/۵	۱۹/۱

جدول ۶: مساحت پهنه‌های سیلابی در مناطق روستایی

مساحت هکتار	روستاهای سنگده، درزیکلا و وزملا عمق آب متر	مساحت هکتار	روستای لرد و رودبار عمق آب متر	مساحت هکتار	روستای دوآب عمق آب متر
۲۲/۱	۰/۳	۱/۲	۰/۳	۵۷/۸	۰/۳
۳۱/۱	۰/۶	۱/۸	۰/۶	۵۳/۷	۰/۶
۲۴/۴	۰/۹	۱/۱	۰/۹	۰/۰۲	۰/۹
۱۷/۷	۱/۲	۸/۲	۱/۲	۱۰/۱	۱/۲
۹/۳	۱/۵	۴/۶	۱/۵	۱/۴	۱/۵







شکل ۶: پهنه‌های سیل گیر در محدوده‌های روستایی و شهری. (A) شهر شیرگاه، (B) شهر زیرآب، (C) شهر پل سفید، (D) روستای دوآب، (E) روستای رودبار و (F) رودبار و روستاهای سنگده، درزیکلا، وزملا

دبی اوج حداکثر لحظه‌ای طبق رابطه کریگر برای دوره بازگشت پنجاه ساله،  $119/73$  مترمکعب بر ثانیه و برای دوره بازگشت صد ساله،  $141/22$  مترمکعب بر ثانیه تخمین زده شد. سپس پهنه‌های عمق یک تا پنج متر برای شهرهای شیرگاه، زیر آب، پل سفید، روستاهای دوآب، لرد، رودبار، سنگده، درزیکلا و وزملا برای دوره‌های بازگشت پنجاه ساله و صد ساله تهیه شد. پهنه‌های عمق  $0/3$  متر تا  $1/5$  متر نیز برای شهرهای شیرگاه، زیر آب، پل سفید، روستاهای دوآب، لرد، رودبار، سنگده، درزیکلا و وزملا برای دوره‌های بازگشت پنجاه ساله و صد ساله تهیه شد. مطابق با جدول‌های ۷ و ۸ و شکل ۷، بیشترین مساحت پهنه‌های سیلابی در مناطق مورد مطالعه مربوط به دوره بازگشت صد ساله در عمق  $0/3$  متری است. تنها در روستاهای سنگده، وزملا و درزیکلا این دوره بازگشت، رقم  $722/2$  هکتار را در عمق  $1/5$  متری، مربوط به منطقه دوآب معادل  $0/2$  هکتار است.

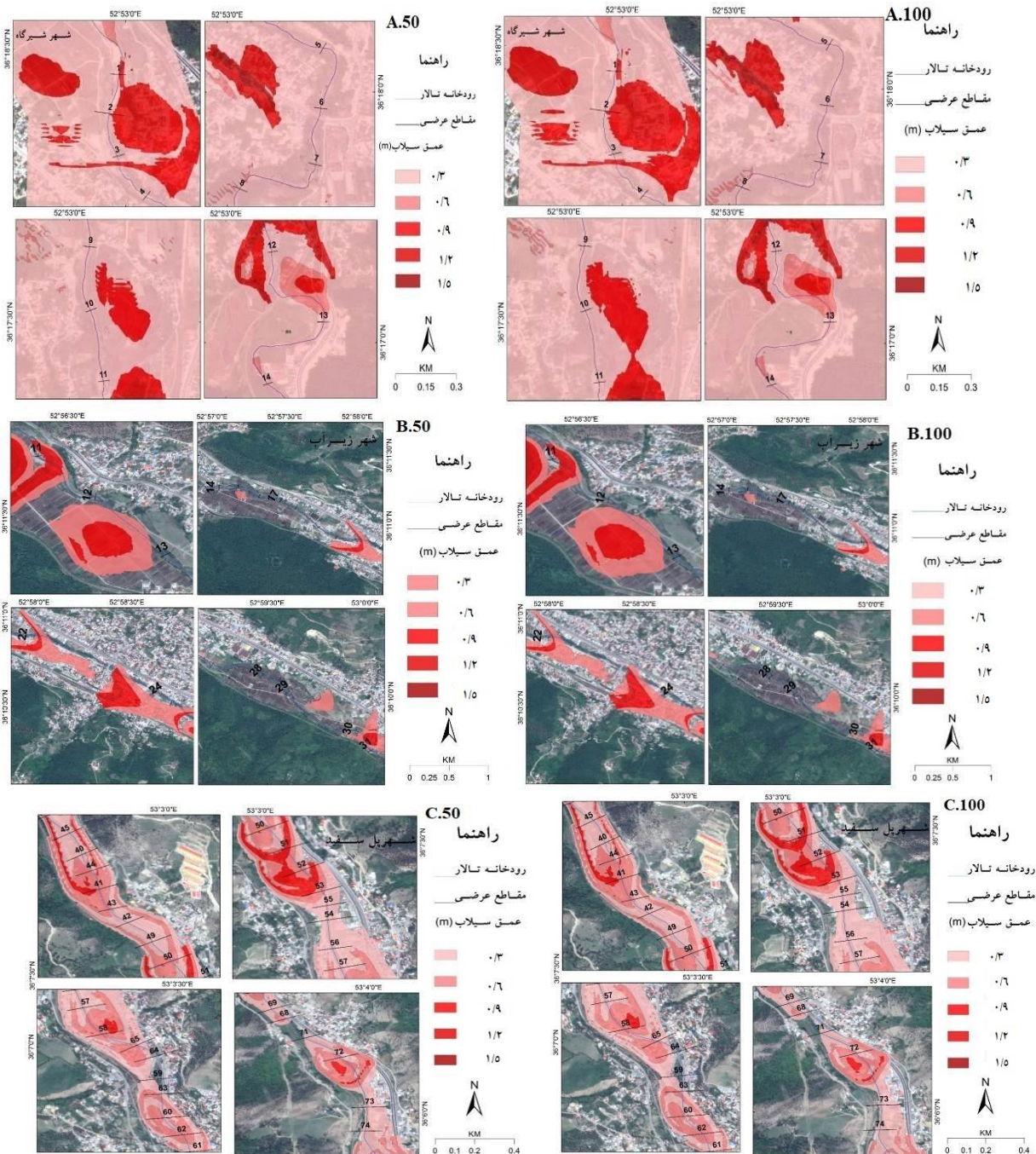
جدول ۷: مساحت پهنه‌های سیلابی در محدوده‌های شهری در دوره‌های بازگشت پنجاه و صد سال

شهر شیرگاه		مساحت		شهر زیر آب		مساحت		شهر پل سفید		مساحت	
عمق آب (متر)	ساله ۵۰	ساله ۱۰۰	عمق آب (متر)	ساله ۵۰	ساله ۱۰۰	عمق آب (متر)	ساله ۵۰	ساله ۱۰۰	عمق آب (متر)	ساله ۵۰	ساله ۱۰۰
۰/۳	۱۸۱	۲۹۲	۰/۳	۱۰/۷	۱۲/۵	۰/۳	۱۸۱	۱۸۱/۶	۰/۳	۱۸۱	۱۸۱/۶
۰/۶	۴۲/۹	۶۶/۶	۰/۶	۷۴/۲	۸۱/۳	۰/۶	۴۲/۹	۹۳/۶	۰/۶	۹۲/۹	۹۳/۶
۰/۹	۱۸/۶	۱۹/۲	۰/۹	۲۵/۲	۶۳	۰/۹	۱۸/۶	۱۸/۹	۰/۹	۱۸/۶	۱۸/۹
۱/۲	۸/۱	۱۳/۶	۱/۲	۸/۲	۴۹/۷	۱/۲	۸/۱	۵۰/۲	۱/۲	۴۸/۱	۵۰/۲
۱/۵	۱/۳	۴/۴۰	۱/۵	۴/۷	۸/۵	۱/۵	۱/۳	۳۰	۱/۵	۲۴/۳	۳۰

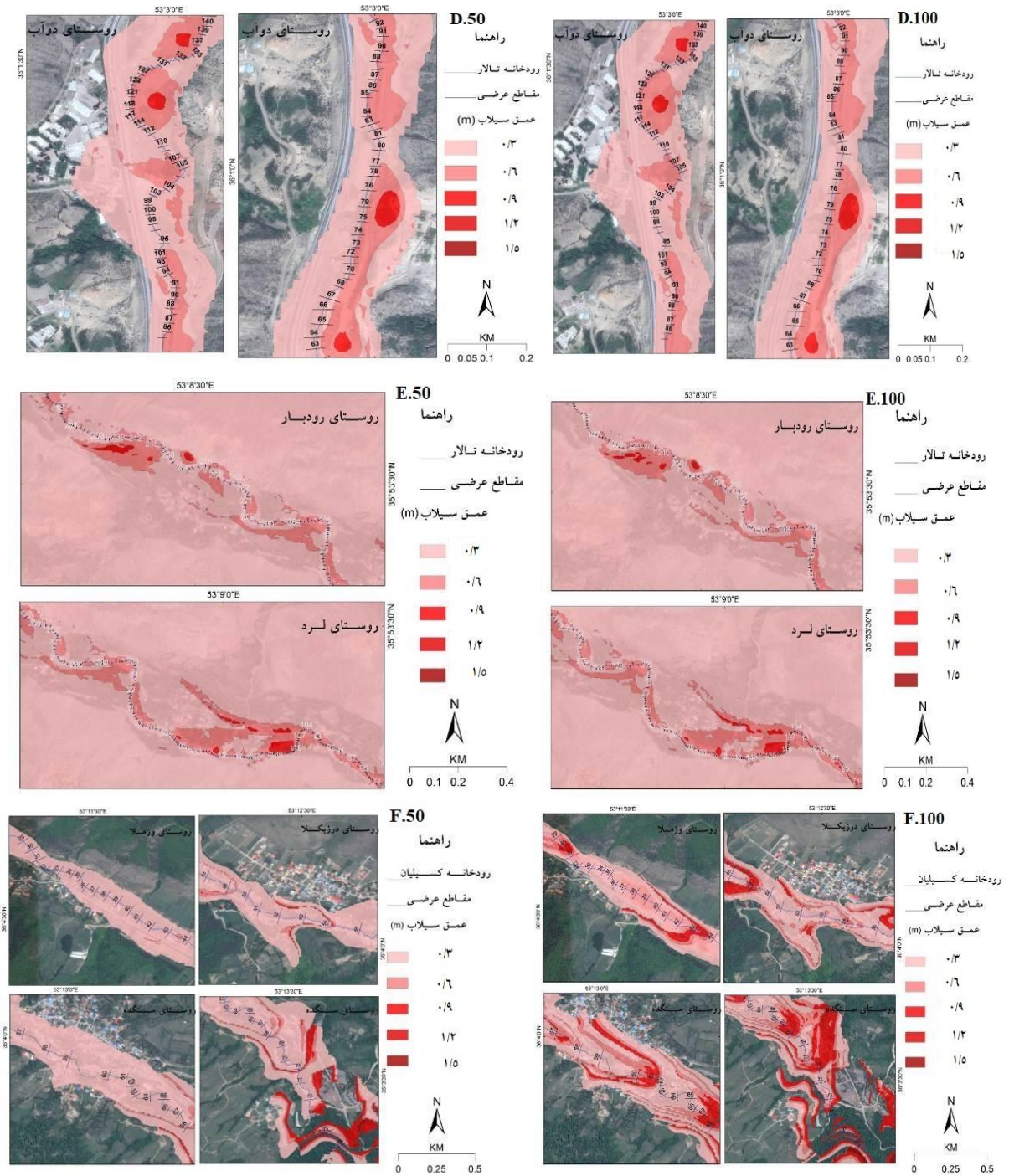


جدول ۸: مساحت پهنه‌های سیلابی در محدوده‌های روستایی در دوره‌های بازگشت پنجاه و صد سال

مساحت		ولیک بن ..	مساحت		لرد و رودبار	مساحت		دوآب و ...
ساله ۱۰۰	ساله ۵۰	عمق آب (متر)	ساله ۱۰۰	ساله ۵۰	عمق آب (متر)	ساله ۱۰۰	ساله ۵۰	عمق آب (متر)
۱۸۸/۶	۲۷۶/۹	۰/۳	۱۸/۵	۱۶/۵	۰/۳	۱۱۵/۶	۱۱۴/۸	۰/۳
۷۲۲/۲	۳۳/۳	۰/۶	۱۴/۸	۱۴/۵	۰/۶	۳۳/۴	۳۲/۸	۰/۶
۵۹/۲	۲۹/۶	۰/۹	۱۱/۱۶	۱۰	۰/۹	۵/۵	۵/۴	۰/۹
۴۴/۲	۲۸/۱	۱/۲	۱۴	۱۲	۱/۲	۰/۸	۰/۶	۱/۲
۱۱۹/۰۱	۴۸/۱	۱/۵	۹/۲	۷/۲	۱/۵	۱	۰/۲	۱/۵







شکل ۷: پهنه‌های سیل‌گیر در محدوده‌های روستایی و شهری در دوره‌های بازگشت پنجاه و صد ساله. A.50 و A.100 شهر شیرگاه، B.50 و B.100 شهر زیر آب، C.50 و C.100 شهر پل سفید، D.50 و D.100 روستای دوآب، E.50 و E.100 روستاهای لرد و رودبار و F.50 و F.100 روستاهای سنگه، درزیکلا، وزملا

#### ۲-۴- ارزیابی خسارت

در بخش ارزیابی خسارت، بیشترین خسارت‌های وارد شده مطابق با جدول ۹ در کاربری مسکونی حریم رودخانه، مربوط به شهر زیر آب، سپس شهر شیرگاه و پل سفید است. در بخش زمین‌های کشاورزی و باغی نیز به ترتیب بیشترین خسارت به شهر پل سفید و شیرگاه بازمی‌گردد. همچنین بیشترین خسارت در بخش معابر جاده (شوسه و آسفالت) مربوط به شهر شیرگاه است. بیشترین خسارت‌های وارد شده در زمین‌های روستایی حریم رودخانه و بیشترین خسارت‌های وارد شده در کاربری مسکونی حریم رودخانه نیز مربوط به روستاهای زیر حوضه کسلیان (سنگده، درزیکلا و وزملا) است. در بخش زمین‌های کشاورزی و باغی نیز به ترتیب روستای دوآب و لرد دارای بیشترین خسارت است. همچنین بیشترین خسارت در بخش معابر جاده شوسه به روستاهای لرد و رودبار بازمی‌گردد. نمایی از خسارت‌های وارد شده پس از وقوع سیلاب در شهر زیرآب و پل سفید، در شکل‌های ۸ تا ۱۰ نمایش داده شده است.



شکل ۸: نمایی از ساختمان شش طبقه و مغازه تخریب‌شده در حریم بیست متری رودخانه شهر زیرآب (سیل ۱۳۹۴/۴/۲۸)



شکل ۹: بالادست پل شهید طباطبایی در شهر پل سفید و خانه‌سازی در بیست متری حریم رودخانه





شکل ۱۰: بل تخریب شده کوثر بر روی رودخانه تالار در شهر پل سفید

جدول ۹: برآورد خسارات (برحسب ریال) در کاربری‌های تحت پوشش سیلاب

نام کاربری	شیرگاه	زیرآب	پل سفید	روستای دوآب	روستاهای لرد و رودبار	روستاهای سنگده، درزیکلا و وزملا
مسکونی	۶۲,۳۳۴,۹۸۴,۸۴۴	۲۶۶,۴۸۲,۷۴۴,۱۸۳	۳,۸۶۲,۴۴۱,۹۳۹	۷۵,۳۲۶,۵۵۹	۳۴,۴۲۲,۲۲۶	۲,۳۸۴,۱۶۳,۸۱۴
کشاورزی زمین	۸,۲۳۹,۶۷۹,۴۳۸	۳۹,۲۷۱,۱۶۸,۳۰۶	۹۶,۹۷۹,۴۳۴,۹۸۳	۱۰,۰۵۶,۶۵۴,۳۸۲	۱۷۰,۲۳۳,۵۵۲	۵,۴۸۴,۷۱۲,۲۵۸
زمین باغی	۷۸,۵۴۴,۳۶۶,۱۸۲	۲,۸۰۵,۰۸۰,۵۷۷	۵,۱۷۴,۵۰۹,۸۸۹	۳۴۳,۶۴۱,۱۰۲	۱۳,۱۲۵,۹۹۹,۳۰۲	۳۹۱,۶۰۸,۶۹۷
مغایر جاده شوسه	۱۳۹,۵۶۶,۴۷۸	۱۱۳,۴۱۴,۵۲۸	۸۱,۳۱۶,۹۲۰	۸۹,۴۰۸,۳۷۸	۲۲۳,۵۲۰,۹۴۶	۱۳۴,۱۱۲,۵۶۷
مغایر جاده آسفالت	۳۱۸,۰۷۰,۳۰۶	۲۰۶,۱۷۵,۷۲۰	۱۰۳,۵۳۴,۹۰۲			

### ۳-۴- ارزیابی خطر

برای بررسی ارتباط عمق آب در هر یک از کاربری‌های مختلف حوضه، از آزمون‌های آماری به عنوان ابزاری کمی برای بررسی میزان دقت در یافته‌های پژوهش استفاده شد. بدین منظور، بررسی نتایج آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه نشان می‌دهد که جدول ۱۰ این آزمون در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که حداقل یکی از مناطق با سایر مناطق اختلاف معنی‌داری دارد. برای بررسی کامل‌تر، از آزمون توکی استفاده شد.

جدول ۱۰: آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه، میانگین عمق آب و مناطق

آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه					
میانگین عمق آب و مناطق					
سطح معنی‌داری	F آزمون	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	
.۰۰۰	۲۱۵/۷۰۳	۲۶۲/۳۷۳	۶	۱۵۷۴/۲۴۰	بین گروه‌ها
		۱/۲۱۶	۱۲۰۹۴	۱۴۷۱۰/۶۸۱	داخل گروه‌ها
			۱۲۱۰۰	۱۶۲۸۴/۹۲۱	کل

در آزمون توکی، ارتباط میانگین عمق‌های آب در مناطق مختلف بررسی شد. جدول ۱۱، مطابق با آزمون توکی میانگین عمق‌های آب در مناطق مختلف در پنج گروه طبقه‌بندی شده است که کمترین میانگین عمق آب، در روستای دوآب با ۰/۵۹ متر و بیشترین میانگین با یک متر در روستای لرد قرار دارد.

جدول ۱۱: نتایج آزمون توکی مناطق و عمق آب

Subset for alpha = 0.05					مناطق
۰/۳	۰/۶	۰/۹	۱/۲	۱/۵	
۰/۵۹					دوآب
۰/۶۷	۰/۶۷				شیرگاه
	۰/۷۶	۰/۷۶			پل سفید
		۰/۷۹	۰/۷۹		سنگه ده
			۰/۸۷		زیراب
				۱	لرد

بررسی نتایج آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه نشان می‌دهد که جدول ۱۲ این آزمون در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار است. بنابراین، می‌توان گفت حداقل یکی از کاربری‌ها با سایر کاربری‌ها اختلاف معنی‌داری دارد. برای بررسی کامل‌تر، از آزمون دانکن استفاده شد.

جدول ۱۲: آزمون تحلیل واریانس یک طرفه، میانگین عمق آب و کاربری‌ها

آزمون تحلیل واریانس یک طرفه					
میانگین عمق آب و کاربری‌ها					
سطح معنی داری	F آزمون	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	
۰.۰۰۰	۳۵/۱۷۴	۴۶/۱۶۸	۹	۴۱۵/۵۱۶	بین گروه‌ها
		۱/۳۱۳	۱۲۰۹۰	۱۵۸۶۹/۲۰	داخل گروه‌ها
			۱۲۰۹۹	۱۶۲۸۴/۷۱۷	کل

در آزمون دانکن، اختلاف‌ها به صورت جزئی‌تر بیان می‌شود. جدول ۱۳ در این آزمون کاربری‌ها در سه سطح ارزیابی شد. سطح اول، بیانگر کاربری است که دارای کمترین میانگین عمق آب است. در این سطح، مراتع با مساحت ۰/۶ هکتار و میانگین عمق آب ۰/۵۷ متر، کمترین خطر را دارد. سطح دوم، بیانگر کاربری‌هایی است که میانگین عمق متوسط دارد که به ترتیب بر اساس میانگین عمق آب، زمین بایر با ۰/۷ متر میانگین عمق آب و مساحت ۱/۵ هکتار، مناطق مسکونی با میانگین عمق ۰/۷۴ متر و مساحت ۱/۶۴ هکتار و سطح زیر کشت با میانگین عمق ۰/۷۴ متر و مساحت ۱۲/۵ هکتار، خطر بیشتری نسبت به سطح اول دارد. در سطح سوم، کاربری‌هایی ذکر شده‌است که بیشترین خطر را از لحاظ عمق آب دارند که به ترتیب بر اساس میانگین عمق آب، جاده آسفالتی با ۰/۸۱ متر عمق آب و مساحت ۰/۳۷ هکتار، جنگل با میانگین عمق ۰/۸۱ متر و مساحت ۴/۲ هکتار، باغ با میانگین عمق ۰/۸۲ متر و مساحت ۱/۵ هکتار و مناطق مسکونی شهری با میانگین عمق ۰/۸۴ متر و مساحت ۷/۶ هکتار، خطر بیشتری نسبت به سطح دوم دارد. در مجموع، دو کاربری مراتع با میانگین عمق آب ۰/۵۷ متر، کمترین میانگین عمق آب و مناطق مسکونی شهری با میانگین عمق آب ۰/۸۴ متر، بیشترین میانگین عمق آب را دارد.

جدول ۱۳: نتایج آزمون دانکن میانگین عمق آب و کاربری‌ها

Subset for alpha = 0.05			مساحت (هکتار)	نوع کاربری
سطح سوم	سطح دوم	سطح اول		
		۰/۵۷	۰/۶	مرتع
	۰/۷۰		۱/۵	زمین بایر
	۰/۷۴		۱/۶۴	مسکونی روستایی
	۰/۷۴		۱۲/۵	سطح زیر کشت
۰/۸۱			۰/۳۷	جاده آسفالتی
۰/۸۱			۴/۲	جنگل
۰/۸۲			۱/۵	باغ
۰/۸۴			۷/۶	مسکونی



## ۵- بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش به منظور ارزیابی پتانسیل سیلاب در حوضه تالار و بررسی پیامدهای انسانی که شامل خسارت به کاربری‌های مختلف در حوالی حریم رودخانه است، از برنامه HEC-RAS و WMS 10 استفاده شد. نتایج پهنه‌بندی‌های عمق آب و خسارت‌های وارد شده در مناطق شهری و روستایی، زیر پوشش خطر سیل مشخص شد. باتوجه به پهنه‌بندی سیلاب ۹۴/۴/۲۸ مشخص شد که بیشترین مساحت پهنه‌های عمق آب در شهر پل سفید، در تمامی طبقات ۰/۳ متر، ۰/۶ متر، ۰/۹ متر، ۱/۲ متر و ۱/۵ متر به ترتیب با مساحت (۶۳/۶ هکتار)، (۸۸/۳ هکتار)، (۶۳/۶ هکتار) و (۲۰/۷ هکتار) قرار دارد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین مساحت پهنه‌های سیلابی در شهر پل سفید و زیرآب قرار دارد. پهنه‌بندی دوره بازگشت سیل پنجاه و صد ساله نیز دربرگیرنده افزایش مساحت عمق‌های آب یک متر، دو متر، سه متر، چهار متر و پنج متر نسبت به سیلاب ۹۴/۴/۲۸ است. نتایج نقشه پهنه‌بندی سیلاب، با پژوهش Rahmani و همکاران (2019) مطابقت دارد که بیان کردند وضعیت سیل‌خیزی در ایستگاه هیدرومتری شیرگاه - تالار کاملاً با نتایج سیلاب‌های مشاهداتی منطبق است. با بررسی دبی‌های پیک در سیلاب ۱۳۹۴/۴/۲۸ که ۱۶۳ مترمکعب بر ثانیه برآورد شده است و دبی پیک محاسبه شده در دوره بازگشت صد ساله، می‌توان نتیجه گرفت که دبی پیک سیلاب ۱۳۹۴/۴/۲۸ به دبی پیک سیلاب در دوره بازگشت صد ساله نزدیک‌تر است؛ بنابراین، سیلاب ۱۳۹۴/۴/۲۸ در حوضه تالار، سیلاب مخرب و به دوره بازگشت صد ساله نزدیک است. یافته‌های این تحقیق بر حساسیت بالای سیل در نقاط اشاره شده این حوضه با نتایج پژوهش‌های Golshan و همکاران (2018) و Soleymani و همکاران (2021) - که درخصوص ارزیابی توان سیل‌خیزی و اولویت‌بندی سیلاب در حوضه تالار است - همخوانی دارد.

باتوجه به مساحت پهنه‌های عمق سیلاب در سیل ۹۴/۴/۲۸ و مساحت کاربری‌های زیر پوشش خطر سیلاب مشخص شد که بیشترین خسارت، مربوط به شهر زیرآب در کاربری مسکونی با خسارت ۲۶۶,۴۸۲,۷۴۴,۱۸۳ ریال است. در مرحله دوم نیز شهر پل سفید با کاربری کشاورزی و خسارت ۹۶,۹۷۹,۴۳۴,۹۸۳ ریال و شهر شیرگاه در خروجی حوضه با کاربری زمین باغی و خسارت محاسبه شده ۷۸,۵۴۴,۳۶۶,۱۸۲ ریال قرار دارد. این نتایج با پژوهش Mirzaie و همکاران (2020) مطابقت دارد که بیان کردند در صورت وقوع سیلاب در اثر تغییر اقلیم، شهر زیرآب ۸/۷ درصد تحت تأثیر سیلاب قرار خواهد گرفت. در نهایت، در ارزیابی خطر سیلاب با آزمون‌های تحلیل واریانس یک‌طرفه، دانکن و توکی مشخص شد که کاربری مسکونی با ۰/۸۴ متر، بالاترین میانگین عمق را دارد و منطقه روستایی لرد با میانگین عمق یک متر، دارای بیشترین توان سیل‌خیزی است.

## منابع

1. Andam, K., 2003. Comparing Physical Habitat Conditions in Forested and Non-Forested Streams, Thesis of Partial Fulfillment of the Requirements For the Degree of Master of science Specializing in Civil and Environmental Engineering, University of Vermont, 136P.
2. Asghari Saraskanroud, S., 2014. Investigating the potential of morphological changes in Shahrchay river Urmia, *Journal of Geography and Planning*, 57(20), 49-62. (in Persian)
3. Damadi, S.; Dehvani, A. H.; Dehmardeh Ghaleh No, M. R.; & M. Ebrahimian, 2021. Flood zoning using HEC-RAS hydraulic model in Sarbaz river of Sistan and Baluchestan, *Journal of Watershed Engineering and Management*, 1(3), 590-601. (in Persian)

4. David, A., & A. Smith., (2000). HEC-RAS 2.2 for backwater and Environmental Engineering, University of Kansas Lawrence, Kansas, 88P.
5. Fathzadeh, A., & A. Jaydari., (2013). Corriger coefficient correction based on different return periods to estimate maximum flood discharge (Case study: Central Iran watershed). *Geography and environmental hazards*. 2(7), 105-121. (in Persian)
6. Ghafari, G., & A. Amini., (2010). Management of flood plains using GIS case study study: Ghezel Ozan river. *Geographical Space*. 10 (32), 117-134. (in Persian)
7. Ghafari, G.; Soleimani, K.; & A. Masaedi, 2006. Investigation of morphological changes lateral stream using GIS (Babolrood, Mazandaran), *Geographical Research*, 57, 61-71. (in Persian)
8. Gichamo, T. Z.; Popescu, I.; Jonoski, A.; & D .Solomatine, 2012. River cross-section extraction from the ASTER global DEM for flood modeling, *Environmental Modelling & Software*, 31, 37-46.
9. Golshan, M.; Esmali Ouri, A.; & KH. Khosravi, 2018. Evaluation of flood sensitivity to Talar watershed using probabilistic frequency ratio model, *Journal of Natural Environmental Hazards*, 7(15), 1-16. (in Persian)
10. Hill, M., 2001. Flood Plain Delineation Using the HEC-geo-RAS Extension for Arc View, Brigham Young University, CeEn 514.
11. Mirzaei, S.; Vafakhah, M.; Pardahan, B.; & S. J. Alavi, 2020. Prediction and analysis of flood zone in the context of climate change based on CanESM2 model scenarios, *Echo Hydrology*, 7(2), 551-562. (in Persian)
12. Mousavi, M.; Abedini, M.; & A. Esmali, 2013. Flood risk analysis and zoning in Izeh watershed using experimental and hierarchical models, Second International Conference on Environmental Hazards, Iran, Tehran. (in Persian)
13. Napradean, I., & R. Chira., (2006). The hydrological modeling of the Usturoi Valley - Using two modeling programs-WetSpa And HecRas. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*. 1(1).
14. Nezafati Namin, F., & N. khosh Valad., (2016). Analysis of urban flood characteristics of Balkheluchay Ardabil with different return periods. The Second International Conference on New Findings in Science and Technology. iran, Qom. (in Persian)
15. Rad, M.; Vafa Khah, M.; & M. Gholam Ali Fard, 2017. Flood zoning using HEC-RAS hydraulic model downstream of Khorramabad watershed, *Hazards of the Natural Environment*, 7(16), 211-226. (in Persian)
16. Rahmani, SH.; Azizian, A.; & A. Samadi, 2019. New method for flood hazard mapping in GIS Case Study: Mazandaran Province sub-basins, *Iran Water Resources Research*, 15(3). (in persian)
17. Roustaei, SH.; Mousavi, R.; & GH. Alizadeh Gorji, 2017. Preparation of flood zoning map of Nekarood watershed using model SCS-CN and GIS/RS, *Quantitative Geomorphological Research*, 6(1), 108-118. (in Persian)
18. Sadeghi, H., 1996. Investigation of effective causes in flood and evaluation of controllable factors, *Journal of Forest and Rangeland*, 26. (in Persian)
19. Sadeghi, S. H.; Motamed Nia, M.; & H. Moradi, 2011. Estimation of the components of a single hydrogram using the relationship between the components of rainforest and hydrograms in the Kasilian watershed, *Watershed Research (Research and Construction)*, 24(3), 44-52. (in Persian)
20. Shafiei Motlagh, Kh., & N. Ebadati., (2020). Flood zoning and simulation of river hydraulic behavior using HEC RAS software) Case study: Maroon River - Southwest of Iran, *Echo Hydrology*, 7(2), 397-409. (in Persian)

21. Soleimani, K.; Shokrian, F.; Abdoli Bozhani, S.; & , A. Saberi, 2021. Prioritization of flood risk potential of Talar watershed in GIS environment, *Echo Hydrology*, 8(3), 749-762. (in Persian)
22. Soleimani, K.; Bashir Gonbad, M.; Mousavi, S. R.; & SH. Khalighi, 2008. Flood production potential in watersheds using HEC HMS model in GIS environment (Case study of Kasilian watershed), *Natural Geography Research*, 65, 51-60. (in Persian)
23. Patial, J. P.; Savangi, A.; Singh, O. P.; Singh, A. K.; & T. Ahmad, 2008. Development of a GIS Interface for estimation of Runoff from Watersheds, *Water Resources Management*, 22, 1221-1239.
24. Pistocchi, A., & P. Mazzoli., (2002). Use of HEC-RAS and HECHMS models with ArcView for hydrologic risk management, iEMSs Congress Proceedings, Lugano.
25. Pournabi Darzi, S.; Vafakhah, M.; & M. R. Rajabi, 2021. Flood risk zoning using HEC-RAS and Arc GIS hydraulic models (Case study: Cheshmeh Kileh watershed in Tonekabon), *Journal of Natural Environmental Hazards*, 10(28), 15-28. (in Persian)
26. Tate, E. C.; Olivera, F.; & D. Madement, 1999. Floodplain Mapping Using HEC-RAS and ARC View GIS, Center for Research (CRWR).Report, N0.pp-1.
27. US Army Corps of Engineers, 2000. Hydrologic modeling system HEC-HMS: Technical Reference Manuals, Hydrologic Engineering Center, USA.
28. Yamani, M.; Tourani, M.; & S. Chezgheh, 2012. Determination of Flood Zones Using HEC-RAS Model (Case Study: Upstream of Taleghan Dam from Glink Bridge to Veshteh Bridge), *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 1(1), 1-16. (in Persian)
29. Zope, P. E.; T. I. Eldho.; & V. Jothiprakash, 2015. Impacts of urbanization on flooding of a coastal urban catchment: a case study of Mumbai City, India, *Natural Hazards*, 8,887-908.

# Evaluation of Flood Hazard Potential and Investigation of Damage Caused by it in Talar Drainage Watershed

**Nafiseh Ashtari:** *Ph.D Candidate in Geomorphology, Faculty of Earth Sciences, University of Shahid Beheshti, Tehran*

**Abolghasem Goorabi<sup>1</sup>:** *Associate Professor of Geomorphology, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran*

**Maryam Rahmati:** *Visiting Assistant Professor of Physical Geography, Faculty of Humanities, University of Lorestan, Khorramabad*

**Alireza Darban Astaneh:** *Associate Professor of Geography and Rural Planning, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran*

Article History (Received:2022/01/08

Accepted: 2022/05/09)



20.1001.1.22517812.1401.12.4.1.2

## Extended abstract

### 1- Introduction

Flood is defined as an unconventional increase in river discharge. Complete protection from flood hazards is rather impossible. For those living next to floods, implementing new policies is necessary regarding land use management and development of residential areas along rivers to reduce the effects of destruction. One of the basic steps to reduce the harmful effects of floods is to identify flood-prone areas and grade these at risk. For this purpose, one of the solutions against floods is to prepare for a zone. By using zoning maps in watersheds, flood preparedness can be created. The purpose of this study is to perform the zoning of flood-prone areas in Talar drainage watershed and to calculate the damage in areas eroded and destroyed by floods in 20 meters of river, which due to the geographical location and weather conditions in recent years, this region has been faced with various floods and in this regard, the importance of risk zoning and management and planning of the region intensifies.

### 2- Methodology

In order to conduct this research, input data including digital geological file, digital vegetation file, digital soil file, digital elevation model (DEM) with a spatial resolution of 10 meters, satellite image, and flood event statistics and information were used on 19 July 2015. HEC-1 model in WMS was used to estimate the hydrograph of SCS unit in Talar basin and Kasilian sub-basin. To determine the flow and boundary conditions, the peak flow number for the flood of 19 July 2015 is 163 cubic meters per second. In order to zone the flood, software WMS and HEC-RAS models have been used. Since the upstream and downstream slope of the river have a significant impact on the flooding process, the upstream slope is 0.02, and the downstream slope is 0.01. Water elevation points were imported from HEC-RAS program in WMS, and cross section profile plots were prepared at the location of sections located in rural and urban areas, and finally, water depth maps were prepared and compared for the event on 19 July 2015. The Kruger Method was used to determine the maximum instantaneous discharge for 50-year and 100-year return periods. In order to calculate the damage in flooded and eroded areas, a 20-meter area of the river has been considered. Then, the monetary values in each square meter of the covered uses have been estimated according to experts, and finally, the flood damage has been calculated. Duncan-Tukey and ANOVA tests were used to assess the hazard.

### 3- Results

In the SCS unit hydrograph, the peak time is 390 minutes for the Kasilian basin and 555 minutes for the Talar basin. The height of the current water level and the height of the water level at the critical level in some cross-sectional profile plots have coincided, which indicates the dangerous situation in these areas. The largest area of flood zones in the flood of 19 July 2015 in Shirgah, Zirab, and Pol Sefid cities at a depth of 0.6 meters, Do Ab villages at a depth of 0.3 meters, Lerd and Rudbar villages at a depth of 1.2 meters, Darzikola, Vazmela and Sangdeh villages at a depth of 0.6 meters. The highest area of flood zones in the 50-year return

<sup>1</sup> Corresponding Author: [goorabi@ut.ac.ir](mailto:goorabi@ut.ac.ir)

period is in Pol Sefid and Shirgah cities at a depth of 0.3 meters with an area of 181 hectares, and the 100-year return period in Shirgah with an area of 292 hectares at a depth of 0.3 meters. Also, the largest area of flood zones in the 50-year and 100-year return period in rural areas is located in the villages of Valik Ben Sang Deh, Darzikola, and Vazmela, with an area of 276.9 and 188.6, respectively, at a depth of 0.3 meters. The results of statistical tests in the risk assessment section showed that in total, two uses of rangelands with an average water depth of 0.57 meters have the lowest average water depth and urban residential areas with an average water depth of 0.84 meters have the highest average water depth.

#### **4- Discussion & Conclusions**

According to the flood zoning on 19 July 2015, it was determined that the highest areas of water depth zones of 0.3 meters, 0.6 meters, 0.9 meters, 1.2 meters, and 1.5 meters are located in Pol Sefid city. The zoning of the 50-year and 100-year flood return period also indicates an increase in the area of water depths of 0.3 meters, 0.6 meters, 0.9 meters, 1.2 meters, and 1.5 meters compared to the flood of 19 July 2015. Considering the area of flood depth zones in the flood of 19 July 2015 and the area of land uses covered by flood risk, it was determined that the most damage is related to the Zirab city in residential use with a damage of 266,482,744,183 Rials. Then the city of Pol Sefid with agricultural use with damage of 96,979,434,983 Rials and the city of Shirgah with garden land use with damage of 78,544,366,182 Rials. Finally, flood risk assessment with Duncan, Tukey, and ANOVA tests showed that residential land use has the highest average depth of 0.84 m, and Lerd rural area with an average depth of 1 m has the highest flood potential.

**Key Words: Flood, Erosion, Talar river, Watershed Modeling System, Zoning.**