



Environment and Water Engineering

Homepage: www.jewe.ir



ISSN: 2476-3683

Research Paper

Estimating the Volume of Debris Flows along the Sijan Stream Using Topographic Surveys and CIVIL 3D

Rouhangiz Akhtari^{1*}, Majid Zareei² and Mohammadreza Gharibreza³

¹Assist. Professor, Department of River Engineering-and-Coastal-Protection, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

²Surveying Expert, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

³Assoc. Professor, Department of River-Engineering-and-Coastal-Protection, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Article information

Received: May 24, 2022

Revised: July 30, 2022

Accepted: July 31, 2022

Keywords:

Deposition

Erosion

Mountainous Streams

Surveying

Watershed Management

*Corresponding author:

r.akhtari@areeo.ac.ir



Abstract

The awareness of floods and estimating the debris flow is a fundamental step for assessing risk and planning in the watershed. The village of Sijan, located in the Southern Alborz, is one of the areas threatened by debris flows. The research aimed to estimate the volume of debris flows along 700 m of a stream of Sijan Village time range from 2018 to 2021. The study method included surveying the stream in two-time intervals, which involved one concrete and four gabion checkdams, and calculation of erosion and sedimentation happened via debris flow using the Civil-3D software. Results showed that five check dams had 823 m² and 750 m³ area and volume, respectively. Debris flows covered 25500 m² after the flood in 2019, in which the estimated erosion and deposition volumes were 7250 m³ and 10100 m³ according to the elevation difference technique. The Sijan stream channel experienced sedimentation and erosion along the northern and southern banks. Implemented watershed management measures have played a vital role in mitigating the risk of debris flows, especially at the concrete check dam.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Introduction

Debris flows are mass movements and destructive events along the steep streams or rivers which drain from watersheds comprising high outcrop rock units. Such an event became a crucial environmental issue for many countries

facing climate changes and monsoon weather regimes. Climate drivers (intensity and duration of rainfall, temperature, freezing, and melting), topographic features and geological settings (failures and joints, tectonic and seismicity situation, lithology, sediment production and



carrying capacity of a stream, type, and volume of portable debris), and land use changes are contributing to happening of debris flows. Therefore, the formation of erosional and depositional landforms, changing slope of streams, blockage of bridges, and several destructive implications are associated with debris flows. The importance of such events leads to monitoring, forecasting, and environmental impact of debris-flows. However, estimating debris flows volume at the accumulation stage after the event is far more convenient. This fundamental step is determined by preparing the digital elevation model (DEM) in two periods before and after the flood and the calculation Difference of DEM (DoD). The production of a DEM from physical phenomena and the ground surface is achievable filed through surveying, UAV Flight Planning, and high-resolution satellite images. Required accuracy, purpose, cost of the project, and The conditions of the research area lead to choosing the appropriate method of measuring debris flows. This research aimed to estimate the volume of debris flows that occurred between 2018 and 2021 along 700 m upstream of Sijan Village, focusing on the debris flood event in April 2019.

Material and Methods

The village of Sijan is the tourist target for the Iran capital people located in the mountainous area of the Southern Alborz. The studied catchment contains this village has an area of 10 km² and a mean slope of 18° and has experienced several destructive debris flows. This catchment is also being sub-catchment of the Arange watershed with steep slope morphology comprising rigid and uplifted geological formations with upstream areas prone to flood flow occurrence. The present study considered two destructive debris flows in the Arange watershed that occurred in the last decades. Intense rainfall on 19th July 2015 had a total amount of 13.4 mm at an hour, causing a debris flood event, combined with the loss of life and irreparable financial losses to Sijan village upstream of the Arange watershed. Because of these terrible flood impacts, the Natural Resources and Watershed Management brunch in Alborz Province constructed a concrete check dam (a 2.5 m height) and four gabion check dams with a height of one meter. The geographical location of Alborz province, Sijan catchment, and these five check dams showed in Fig. 1.

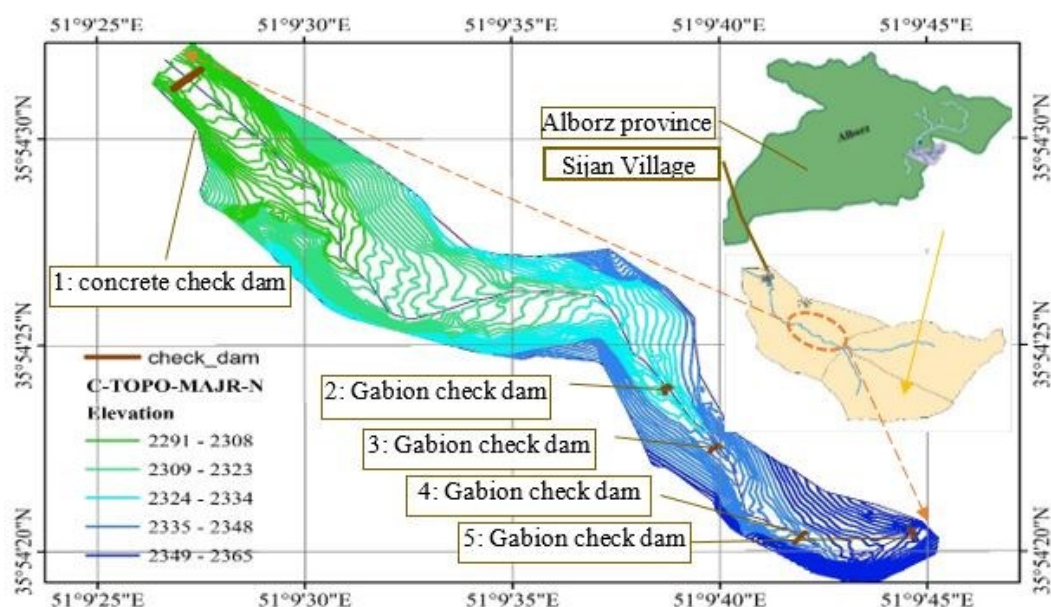


Fig 1. Location of the check dams constructed in fall 2018 along the upstream stream of Sijan village in Alborz Province

The second destructive debris flow happened in April 2019 through a 122 mm intense rainfall and thawing of snow. Consequently, check dams were filled with coarse grain sediments, and the

Sijan stream morphology has notably changed in forms of erosional and depositional features. Filed observations indicated the high performance of check dams to control and

manage flash floods and relevant debris flow and protect the village from damages.

The UAV Flight Planning application in the field observations wasn't compatible with the study area because of the mountainous landscape. This issue was solved using field surveying. A stream section was 700 m long with a mean slope of 12°, located upstream of the Sijan village. The first Surveying operation was a pre-debris flood event on Nov 18, 2018, in which five check dams were empty of sediment. The second round of surveying was on Sep 01, 2021, when five check dams filled with coarse sediment of debris flow. According to the CHRS database, the stream has received 956 mm of precipitation in elapsed time between two debris flows.

The Civil3D tool edited and analyzed the data collection, production DEM and calculation of the volume variations as positive (deposition) and negative (erosion). Besides, The Civil3D tool calculates the height difference obtained using two methods. The DoD was calculated based on the longitudinal profile of the stream (longitudinal transactions). Furthermore, the DoD was calculated based on the transverse cross-sections.

Results

Results showed that five check dams had 823 m² and 750 m³ area and volume, respectively. The result of spatial distribution and height of eroded and deposited sites is shown in Fig. 2. Using the longitudinal profile method highest erosion and accumulation depths are estimated at four m and 11 m, while using the cross-sectional method, these values are obtained at six m and 14 m, respectively. Based on the DoD-longitudinal technique along 700 m of the Sijan stream, volumes of erosional and depositional sites have been 7390 m³ and 10530 m³, respectively. According to the DoD along the 67 transverse sections with 10 m intervals, the volume of erosional and depositional sites obtained 7106 m³ and 9725 m³, respectively. Minor differences between the volumes of erosional and depositional areas of the two applied methods are related to the morphology of the stream. Streams, for example, allowed floods to accumulate materials in point bars that weren't surveyed completely.

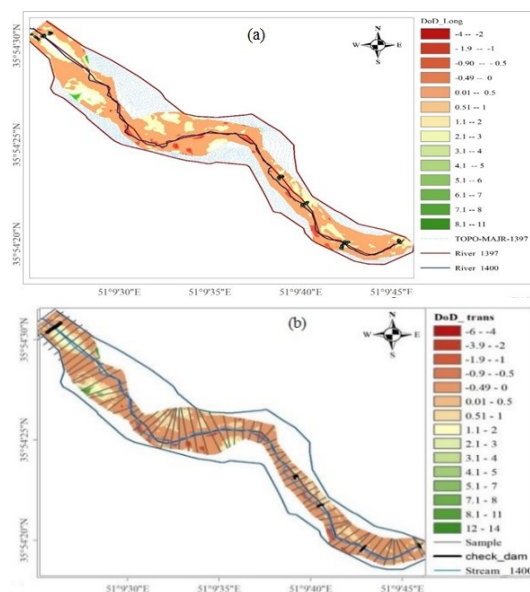


Fig. 2 Spatial distribution of erosion (negative) and deposit (positive) site of Sijan stream from 2018 to 2021 using: a) DoD- longitudinal and b) DoD- transverse

Conclusions

The present study concludes the capability of the DoD techniques to highlight topographic-based natural events. Accordingly, the erosional and depositional site volumes along a high-risk stream were estimated successfully using this capability. Results showed debris flows covered 25500 m², 700 m in length, after the flood in 2019, in which the estimated erosion and depositional site volumes were 7250 m³ and 10100 m³ according to the elevation difference technique. On average, the sedimentation potential upstream of the Sijan village stream is 10.33 m³/m of channel length, and the sediment accumulation potential for the same section is 14.35 m³/m of channel length. The Sijan stream channel experienced sedimentation and erosion along the northern and southern banks. Implemented watershed management measures have played a vital role in mitigating the risk of debris flows, especially at the concrete check dam.

Data Availability

The data used in this research are presented in the text of the article.

Conflicts of interest

The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

مقاله پژوهشی

برآورد حجم واریزه های سیلاب سیجان با استفاده از نقشه برداری زمینی و ابزار-Civil-3D

روح انگیز اختری^{۱*}، مجید زارعی^۲ و محمدرضا غریب رضا^۳

^۱استادیار، گروه تحقیقات مهندسی رودخانه و سواحل، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

^۲کارشناس نقشه برداری، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

^۳دانشیار، گروه تحقیقات مهندسی رودخانه و سواحل، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ دریافت: [۱۴۰۱/۰۳/۰۳] تاریخ بازنگری: [۱۴۰۱/۰۵/۰۸] تاریخ پذیرش: [۱۴۰۱/۰۵/۰۹] واژه های کلیدی: آبراهه کوهستانی انباشت رسوب برداشت رسوب مدیریت آبخیزداری نقشه برداری *نویسنده مسئول: r.akhtari@areeo.ac.ir 	آگاهی از حجم سیل-واریزه برای ارزیابی ریسک و برنامه ریزی حفاظتی در حوزه های آبخیز یک گام اساسی محسوب می شود. روستای سیجان در البرز جنوبی از جمله مناطق مستعد سیلاب واریزه ای می باشد. این پژوهش با هدف برآورد احجام برداشت و انباشت رسوبات بین سال های ۱۳۹۷ و ۱۴۰۰ در طول ۷۰۰ m از مسیر بالادست روستای سیجان انجام شد. روش شناسی پژوهش براساس نقشه برداری زمینی مسیر یاد شده به علاوه یک بند سنگی ملاتی و چهار بند گابیونی در دو مقطع زمانی ۱۳۹۷ (زمان ساخت بندها) و ۱۴۰۰ (پس از رخداد سیل ۱۳۹۸) و برآورد احجام با کمک نرم افزار Civil3D تنظیم شد. بر این اساس، مجموع سطح و حجم مخازن پنج بند اصلاحی آبخیزداری در سال ۱۳۹۷ به ترتیب 823 m^2 و 750 m^3 بوده است. در مقابل، میزان انباشت و فرسایش پس از رویداد سیل-واریزه با استفاده از فن اختلاف ارتفاعی برای سطح نقشه برداری شده (25500 m^2)، به ترتیب ۲۵۰ و 10100 m^3 برآورد شد. تحلیل مکانی نشان داد که الگوی انباشت رسوب بیشتر منطبق بر کرانه شمالی مسیر است و در طول کرانه جنوبی مسیر، فرسایش رخ داده است. نتایج پژوهش نشان داد، عملیات مکانیکی آبخیزداری به خصوص بند سنگی ملاتی در جایگاه مناسب احداث شده و نقش تعیین کننده ای در کاهش مخاطره سیل-واریزه داشته است.

۱- مقدمه

پدیده های همچون رانش زمین و جریان های واریزه ای در ابعاد بزرگ خطر آفرین خواهد بود. علاوه بر تخریب و آسیب های تراز سطح آب در طولانی مدت مخاطراتی را به دنبال خواهد



متغیر به ترتیب ۹۹، ۱۵+ و ۱۴-٪ در شرایط آزمایشگاهی تخمین زده شد. شکل‌گیری و حرکت جریان واریزه‌ای با ظرفیت نفوذ خاک نیز ارتباط دارد. در یک بررسی آزمایشگاهی مشخص شد که تشکیل جریان واریزه‌ای پس از انجام فرآیند نفوذ، در خاکی با درصد رطوبت کمتر از ۵٪ به صورت زمین لغزش و ناگهانی است اما با درصد رطوبت بزرگتر از ۵٪ به آرامی، به صورت فرسایش خندقی و به دفعات رخ خواهد داد (Hu et al. 2015). ضریب زبری مانینگ در شبیه‌سازی یک رخداد واریزه‌ای به کار می‌رود، در صورتی که رابطه مانینگ از لحاظ تئوری برای شرایط متلاطم است اما حرکت جریان واریزه‌ای معمولاً آرام و یا شبیه به جریان آرام است. تخمین ضریب زبری جریان واریزه‌ای براساس نتایج آزمایشگاهی در پژوهش (Zhu et al. 2020) انجام شد.

آگاهی از حجم رویدادهای سیل-واریزه، گام اساسی برای برآورد شدت (انرژی) رویداد و ارزیابی ریسک برای برنامه‌ریزی حفاظتی در حوزه آبخیز است. محاسبه غلظت سیل-واریزه براساس روش‌های عددی، فیزیکی، تجربی و شاخص‌های ژئومورفولوژی مدنظر بوده است. Takahashi (2007) و Yu et al. (2013) پایه‌گذار روابط تجربی در برآورد غلظت جریان واریزه‌ای بوده‌اند. Schimmel et al. (2021) از داده‌های به دست آمده از سیگنال‌های لرزه‌ای^۲ برای محاسبه سرعت و حجم جریان واریزه‌ای استفاده کردند. آنها این رویکرد ساده که مبتنی بر یک رابطه خطی بین مربع دامنه لرزه‌ای و بزرگی جریان واریزه است، را پیشنهاد می‌کنند. اثربخشی کنترل جریان واریزه‌ای به وسیله بند اصلاحی در مناطق کوهستانی به کمک یک مدل عددی دو بعدی شبیه‌ساز جریان واریزه‌ای^۳ توسط Kim and Kim (2021) بررسی شد. در این مطالعه بیان شد که بند اصلاحی سنگی ملاتی حداکثر دبی جریان واریزه‌ای را تا ۶۲٪ و حداکثر عمق جریان را تا ۷۷٪ کاهش خواهد داد.

البته می‌توان به‌طور تقریبی مشخصات جریان واریزه‌ای را براساس ویژگی‌های اساسی حوضه از DEMهای جهانی تخمین زد (Haas and Densmore 2019). DEMهای

داشت. شدت و مدت بارش، دما، توپوگرافی، یخ‌زدگی، ذوب، قابلیت حمل رسوب آبراهه، نوع و حجم واریزه‌های قابل حمل و کاربری اراضی از عوامل مؤثر در ایجاد یک سیلاب واریزه‌ای خواهد بود (Shokouhi and Rigi Ladz 2018). فرآیند تشکیل-انتشار-انباشت^۱ مراحل ایجاد یک رویداد سیل-واریزه به‌شمار می‌رود (Shu et al. 2018). پایش، پیش‌بینی و مکانیسم هر یک از مراحل سه‌گانه فوق در جریان‌های واریزه‌ای موضوع مورد بررسی پژوهش‌های مختلف بوده است. برخی محققین معتقدند منحنی آستانه بارندگی در سامانه‌های هشدار سیل، در صورت عبور بارش از یک حد مشخص (سطح احتمال ۵۰، ۷۰ و ۹۰٪) می‌تواند احتمال رخداد سیل-واریزه را هشدار دهد (Zhuang et al. 2015). در این راستا عدم قطعیت تخمین بارندگی برای تعیین حد آستانه بارش برای وقوع سیلاب واریزه‌ای نیز تأثیرگذار است (Nikolopoulos et al. 2014). برآورد بارندگی مبنی بر اطلاعات ماهواره‌ها در مناطق کوهستانی نیز دارای عدم قطعیت قابل توجهی است (Nikolopoulos et al. 2017). وقوع سیل-واریزه در ناحیه سرد-خشک کمترین احتمال و در ناحیه مرطوب بیشترین احتمال را داشته و همچنین منطقه‌ای با توپوگرافی پیچیده، خاک ضخیم‌تر با محتوای شن و ماسه بیشتر برای تشکیل سیل-واریزه مستعدتر است (Zhu et al. 2020). برای پیش‌بینی جریان واریزه‌ای Tian et al. (2022) از مدل‌های ریاضی و رگرسیون‌های چند متغیره بهره گرفته‌اند. اشاره به طراحی و اجرای سیستم پایش رویدادهای سیل-واریزه از سال ۱۹۸۹ در شرق ایتالیا، کوهستان آلپ ضرورت و اهمیت این موضوع را نشان می‌دهد (Cucchiario et al. 2019). در حال حاضر، این سیستم دربردارنده ابزار دقیق و چند حسگر اولتراسونیک است که امکان تخمین سرعت جریان واریزه‌ای، دبی اوج و حجم کل رویدادهای سیل-واریزه را می‌دهد.

Shu et al. (2017) خصوصیات هیدرودینامیکی مرحله شکل‌گیری جریان واریزه‌ای غیر همگن را با استفاده از مدل آزمایشگاهی مورد بررسی قرار داد. در این پژوهش تغییرات سه متغیر، دبی جریان، ترکیب خاک و شیب کانال بر روی سرعت جریان واریزه‌ای مدنظر بود. ضریب همبستگی این سه

^۲Seismic Signals^۳Kanako-2D^۱Formation- propagation- accumulation

تلقی کرد. در تحقیقی دیگر یک رخداد سیل-واریزه ناگهانی در سال ۲۰۰۹ در منطقه مسینای سیسیل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای توسط Aronica et al. (2012) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این رویداد بارش ۲۰۰ mm در کمتر از ۴ ساعت با دبی اوج حدود ۱۲۰ mm/hr با دوره بازگشت ۳۰ ساله رخ داد که با مقایسه DEM قبل و بعد از آن محصول تصاویر LIDAR و با فواصل ارتفاعی ۲ m، حجم سیل-واریزه در حوضه‌ای به مساحت ۰/۶ km²، ۰/۶ km³ برآورد شد.

سیلاب‌های واریزه‌ای از نوع سیلاب با غلظت بالای رسوب است. غلظت بالای رسوب باعث افزایش قدرت تخریب این سیلاب‌ها می‌شود. با اقدامات آبخیزداری نظیر بندهای اصلاحی در حوضه‌های بالادست مناطق سکونت‌گاهی می‌توان آورد رسوبی و قدرت تخریب این نوع از سیلاب را کاهش داد. در مناطق مستعد سیلاب‌های واریزه‌ای همچون کوهستان آلپ ابزارآلات متنوع و روش‌های مختلف برداشت سطح زمین برای پایش این رخداد تعبیه و به کار گرفته شده است. متأسفانه این موضوع در ایران مورد توجه واقع نشده است. در این پژوهش برآورد حجم آورد رسوبات درشت‌دانه ناشی از سیلاب در مسیل بالادست روستای سیجان استان البرز که چندین جریان واریزه‌ای را در تاریخچه خود داشته، مورد نظر است. کوهستانی بودن منطقه نیز امکان استفاده از سیستم نقشه‌برداری هوایی را نداد، لذا از نقشه‌برداری زمینی استفاده شد. نرم‌افزار Civil3D نیز برای ویرایش و تجزیه تحلیل عملیات نقشه‌برداری و محاسبه احجام انباشت و برداشت رسوبات استفاده شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

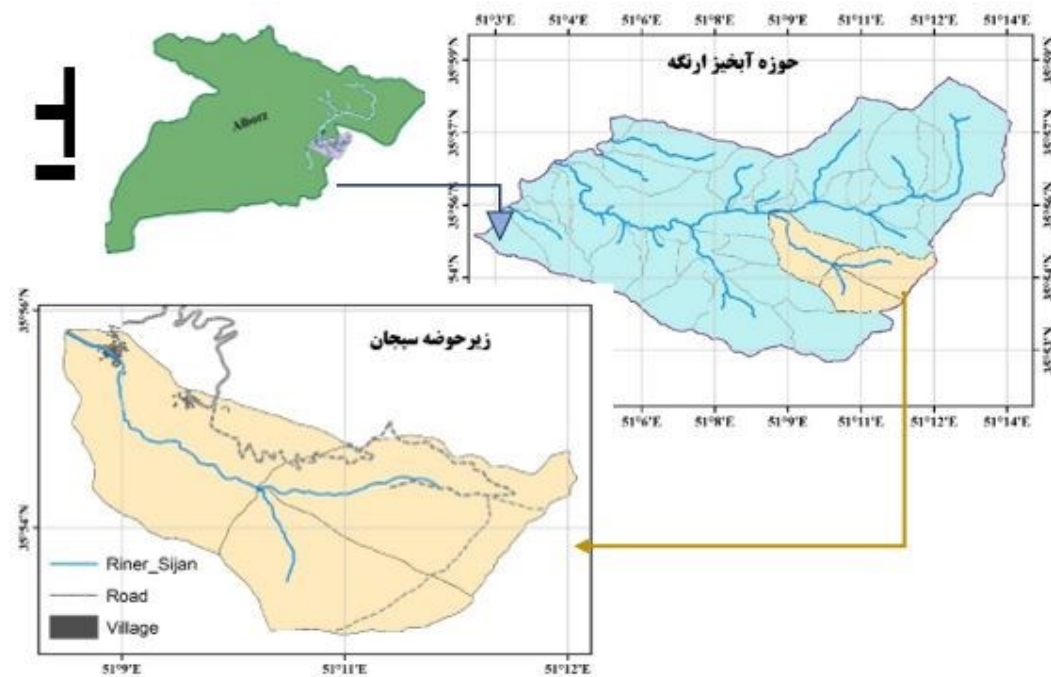
حوزه آبخیز ارنکه با مساحت ۱۰۰ km² در بخش البرز جنوبی در پایین‌دست سد امیرکبیر و جزء حوزه آبخیز رودخانه کرج محسوب می‌شود. موقعیت حوزه آبخیز ارنکه در استان البرز، روستا و خشکه‌رود سیجان در شکل (۱) نشان داده شده است. نزدیکی منطقه مورد مطالعه به شهر کرج و تهران، شرایط طبیعی آن و وجود پیست اسکی خور، ارزش تفرجگاهی و گردشگری آن را افزایش داده است (Anonymous 2015). جهت عمومی آبراهه در این حوضه از شرق به غرب می‌باشد.

جهانی با قدرت تفکیک مکانی در حدود ۱۲m به صورت رایگان در دسترس هستند (Jacobsen 2013). یک مدل-سازی یکپارچه در انتقال رسوب برای رویدادهای سیل-واریزه ناگهانی در حوضه‌های کوهستانی توسط Radice (2011) ارائه شد. (Bani Habib and Tanhapour 2019) یک رابطه تجربی را هم برای تصحیح ضریب غلظت رسوبات و برآورد غلظت رسوبات سیل-واریزه برای حوضه‌های آبخیز ایران ارائه کردند. معرفی و شناخت عوامل موثر در سیلاب واریزه‌ای و بررسی مطالعات انجام شده در این خصوص موضوع پژوهش Shokouhi and Rigi Ladz (2018) بود. محاسبه غلظت جریان در مرحله انتشار سیل-واریزه نیازمند تجهیزات و برنامه‌ریزی دقیقی است. برآورد حجم سیل-واریزه از مرحله تشکیل (فرسایش) و انباشت (رسوب‌گذاری) پس از رویداد به مراتب آسان‌تر و ساده‌تر است و می‌تواند کارگشا هم باشد. حجم واریزه‌های ناشی از سیلاب با محاسبه اختلاف مدل رقومی ارتفاعی زمین^۱ (DEM) در دو مقطع زمانی پیش و پس از زمان سیلاب (DoD) مورد نظر مشخص خواهد شد.

استخراج دقیق DEM به عنوان نمایش سه‌بعدی از عارضه-های فیزیکی و ناهمواری‌های زمین با برداشت زمینی، پهباد و تصاویر ماهواره‌ای امکان‌پذیر است. شاید بتوان وجه تمایز این روش‌ها را از سه منظر، قدرت تفکیک مکانی، وسعت مکانی و هزینه مورد نیاز دانست. انتخاب هر یک از این روش‌ها متناسب با دقت، هدف و هزینه پروژه مورد نظر خواهد کرد. (Coviello et al. 2019) با پایش مداوم و برداشت سطح زمین با نقشه‌برداری و همچنین پهباد با قدرت تفکیک مکانی بسیار بالا در طی دو سال در یک مخروطه افکنه در شرق کوهستان آلپ تا ۳ m انباشت رسوبات ریزدانه را تخمین زدند. در مطالعه Cucchiario et al. (2019) اثر بندهای اصلاحی بر دینامیک رسوب را با کمک اطلاعات سیستم پایش در کوهستان آلپ، تهیه توپوگرافی در چندین بازه زمانی با استفاده از پهباد و محاسبه اختلاف ارتفاع مدل‌های رقومی ارتفاعی بررسی کردند. بندهای اصلاحی دینامیک رسوب را در کانال مورد مطالعه به‌طور قابل‌توجهی تغییر داده است. اما عملکرد آنها را نمی‌توان رضایت‌بخش

¹ Digital Elevation Model

² DEMs of Difference

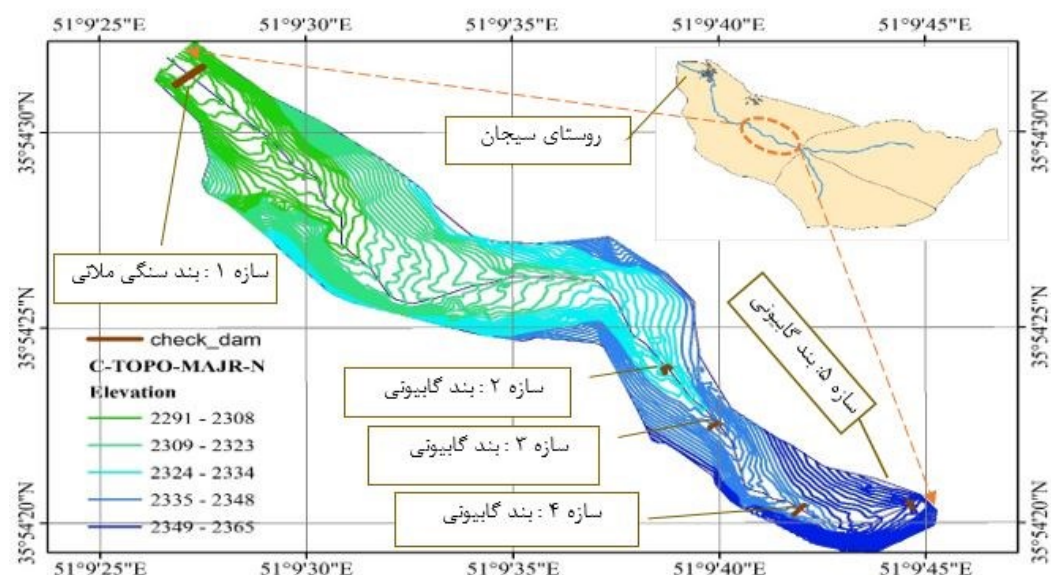


شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه ارنگه در شرق استان البرز و زیرحوضه سیجان

Fig. 1 Geographical location of the Arange watershed in the East of Alborz province and Sijan catchment

حوزه آبخیز ارنگه دارای توپوگرافی کاملاً کوهستانی، دامنه‌های پرشیب، میزان بیرون زدگی‌های سنگی نسبتاً زیاد با نواحی بالادست مستعد وقوع سیل-واریزه‌ای است (Anonymous 2015). در دهه اخیر، این حوزه دو رخداد از این نوع سیل را تجربه کرده است. بارش شدید ۲۸ تیرماه ۱۳۹۴ به میزان ۱۳/۴ mm در مدت یک ساعت، یک رویداد سیل واریزه‌ای را همراه با خسارت‌های جانی و مالی

جبران‌ناپذیری را برای روستای سیجان رقم زد (Akhtari et al. 2019). به واسطه این سیلاب مهیب، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان البرز در مسیل بالادست روستای سیجان یک بند سنگی ملاتی به ارتفاع ۲/۵ m و چهار بند اصلاحی به ارتفاع ۱ m را در سال ۱۳۹۷ احداث کرد (شکل ۲).



شکل ۲- موقعیت سازه‌های آبخیزداری اجرا شده در پاییز ۱۳۹۷ در مسیل بالادست روستای سیجان

Fig. 2 Location of the check dams constructed in fall 2018 along the upstream stream of Sijan village

مشخصات جانمای پنج سازه مشخص شده در شکل (۲) به ازای هر دو بند، شامل فاصله در راستای مسیل، فاصله افقی، فاصله عمودی و شیب آبراهه در جدول (۱) آمده است. اعداد ۱ تا ۵ در این جدول متناظر سازه‌ای در شکل (۲) است.

جدول ۱- مشخصات مکانی سازه‌های آبخیزداری اجرا شده در مسیل سیجان در پاییز ۱۳۹۷

Table 1 Spatial characteristics of the studied check dams

Characteristics	Spacing Between Check Dams (m)					
	4-5	3-4	2-3	1-2	2-5	1-5
Length Stream (m)	88.5	95.1	55.1	455.2	239.5	965.0
Horizontal Distance (m)	64.1	62.3	40.0	334.2	166.4	500.0
Vertical Distance (m)	8.0	10.0	5.0	36.0	24.0	59.5
Slope Stream (%)	12.0	16.0	12.5	10.0	14.0	12.0

(سال ۱۴۰۰) در شکل (۳) برای دو بند سنگی ملاتی و بند گابیونی دوم نمایش داده شده است. لازم به ذکر است که با توجه به سرشاخه بودن این مسیل و مسیل‌هایی مشابه که جایگاه بندهای اصلاحی هستند، متأسفانه داده‌های دبی و رسوب در آن‌ها برداشت نمی‌شود.

در سیل‌های فرودین ماه ۱۳۹۸، این حوضه بالغ بر ۱۲۲ بارش دریافت کرد. بندهای اصلاحی ساخته شده در این مسیل توانسته بود این رخداد سیل-واریزه را در بالادست محدود کرده و از خسارت‌های احتمالی به روستا جلوگیری کند (Akhtari et al. 2019). وضعیت مسیل و بندهای آبخیزداری طی مراحل نقشه‌برداری اول (سال ۱۳۹۷) و دوم



شکل ۳- وضعیت سازه‌های آبخیزداری مسیل سیجان: الف- بند سنگی ملاتی در زمان نقشه‌برداری فاز اول (۱۳۹۷)، ب- بند سنگی ملاتی در فرودین ۱۳۹۸ پس از رخداد سیل، ج- بند گابیونی دوم در زمان نقشه‌برداری فاز اول، و د- بند گابیونی دوم در زمان نقشه‌برداری فاز دوم (۱۴۰۰)

Fig. 3 Status of check dams in Sijan stream: a) concrete check dam at the first phase Surveying (2018), b) concrete check dam after debris flood 2019, c) gabion check dam at the first phase surveying, and d) gabion check dam at the second phase Surveying (2021)

۲-۲- روش پژوهش

سخت منطقه، استفاده نشد. لذا عملیات نقشه‌برداری دقیق زمینی در دو مقطع زمانی همراه با اخذ سایر اطلاعات هیدرولوژیکی و هیدرولیکی انجام گرفت. ۷۰۰ m از طول مسیل سیجان مشتمل بر ۵ سازه آبخیزداری، با دوربین

در این پژوهش، به‌منظور برآورد حجم سیل-واریزه در مسیل سیجان استان البرز دو روش برداشت سطح زمین آزموده شد. سیستم نقشه‌برداری هوایی (پهپاد) به دلیل کوهستانی بودن

خالی بودن مخازن آن‌ها از رسوب بود. دومین برداشت زمینی در ۱۰ شهریور ماه ۱۴۰۰ بعد از رخداد سیل واریزه‌ای فروردین ۱۳۹۸ و با پر شدن مخازن بندهای اصلاحی انجام شد. براساس پایگاه اطلاعاتی بارش مرکز آب و هواشناسی و سنجش از دور (Nguyen et al. 2019) این مسیل در طی ۳۵ ماه از آبان ۱۳۹۷ تا شهریور ۱۴۰۰ که شامل سه سال آبی ۹۸-۱۳۹۷، ۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ است، در مجموع ۹۵۶ mm بارش با میانگین ۸۰ mm دریافت کرده است. مجموع و میانگین بارش ماهانه در طول دوره مذکور در جدول (۳) آمده است. بیش‌ترین بارش در ماه‌های اسفند، فروردین و اردیبهشت با میانگین بارش ۷۰ mm رخ داده است.

جدول ۳- مجموع بارش و میانگین بارش ماهانه (mm) در مسیل سیجان بین دو مقطع نقشه‌برداری

Table 3 Total and average monthly rainfall (mm) in Sijan stream between two times of Surveying

Gregorian month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Total monthly rainfall	110	56	206	218	201	6	1	0	0	37	51	70
Ave. monthly rainfall	37	19	69	73	67	2	0	0	0	19	25	23

تشریح شده که برای سایر ارتفاع‌ها نیز قابل اجرا است. اولین گام شامل ساخت یک مرز در پشت بند با فرمت وکتوری^۱ است که می‌تواند فراتر از مخزن بند نیز باشد و قابل تدقیق در مراحل بعدی است. تراز ارتفاعی سرریز بند، که از عملیات نقشه‌برداری به دست می‌آید، به مرز مرحله قبل اختصاص داده می‌شود تا این مرز نقش خطوط شکست^۲ را داشته باشد. سپس این لایه به یک سطح تبدیل می‌شود (در این مطالعه نام آن، سطح مخزن است). تدقیق سازی این سطح به واسطه دستورات موجود در نرم‌افزار نیز انجام شد. حال با گزینه Volumes Dashboard از سربرگ Analyze و با انتخاب دو سطح ارتفاعی، لایه سطح مخزن تدقیق شده و DEM به دست آمده از منحنی تراز، حجم مخزن بند برآورد شد. گام نهایی الگوریتم انتخاب شده، استخراج و ترسیم مقدار حجم به صورت برداشت^۳ و انباشت^۴ بوده است.

¹ Polyline Vector

² Break-line

³ Cut

⁴ Fill

نقشه‌برداری لیزری TS06 به روش کدینگ و با مقیاس ۱:۲۰۰ پیمایش شد.

جدول ۲- زمان برداشت نقاط زمینی مسیل سیجان برای برآورد

حجم سیل-واریزه

Table 2 Time of surveying of Sijan Stream to estimate volume of debris

Surveying Operations	Description	Time of Surveying
The first operation	Empty check dams	Nov 18, 2018
The second phase	Filled check dams	Sep 01, 2021

دو مقطع زمانی برداشت اطلاعات زمینی در جدول (۲) آمده است. مقطع زمانی اول برداشت نقاط زمینی ۲۷ آبان ماه ۱۳۹۷ بعد از اتمام ساخت بندهای اصلاحی و در شرایط

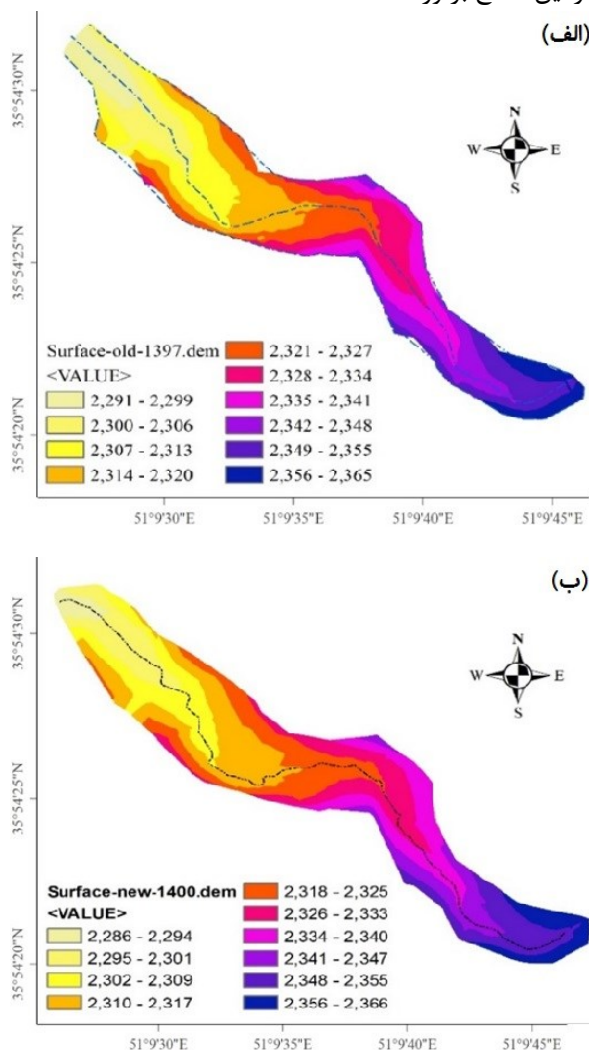
۲-۲-۱- پردازش داده‌ها و استخراج منحنی تراز

بعد از عملیات میدانی و استخراج نقاط برداشت شده، ادامه کار در نرم‌افزار CIVIL3D انجام شد. توانایی طراحی پویا، طراحی مدل سه‌بعدی مؤلفه‌های مورد بررسی از برداشت زمینی، راحتی کاربران و امکان لینک شدن با نرم‌افزارهای دیگر از قابلیت‌های آن می‌باشد. در نقشه‌برداری زمینی از دستگاه DGPS نیز استفاده شد تا نقاط مبنا برای توجیه کردن مختصات جغرافیایی با دقت سانتیمتر و تصحیح آن با سیستم جهانی UTM برداشت شود. در محیط CIVIL3D نقاط مشترکی را که با دوربین و DGPS برداشت شده را روی هم انداخته و به این صورت نقاط ما در سیستم یکپارچه جهانی UTM قرار گرفت. سپس دسته‌بندی داده‌ها برای ساخت منحنی تراز انجام و با ابزار Create Surface، نقشه توپوگرافی مسیل استخراج شد.

۲-۲-۲- حجم مخزن بندهای اصلاحی

برای برآورد حجم -سطح - ارتفاع مخزن بند اصلاحی، الگوریتم زیر در محیط نرم افزار دنبال شد. این الگوریتم تنها برای حجم -سطح -حداکثر ارتفاع مخزن (معادل تراز سرریز)

۷۴۸ بوده که سطحی معادل با 823 m^2 را در برمی گیرند. نقشه برداری زمینی در طول 700 m مسیل شامل خط القعر آبراهه و دامنه های مشرف به آبراهه بوده که سطحی معادل 25500 m^2 را شامل شد. میزان برداشت و انباشت رسوبات در این سطح برآورد شده است.



شکل ۴- مدل رقومی ارتفاعی تولید شده برای کل بازه

نقشه برداری شده از مسیل در دو مقطع زمانی ۱۳۹۷ و ۱۴۰۰

Fig. 4 Digital Elevation Model (DEM) produced for the whole surveying interval in 2018 and 2021

جدول ۳- مقادیر حجم- سطح - ارتفاع مخازن بندهای اصلاحی ساخته شده در مسیل سیجان

Table 3 Elevation-area-capacity table for five check dam reservoirs

Check Dam	Type	Crest Level (m)	Area (m^2)	Volume (m^3)
DAM-01	Concrete	2294.3	545.17	555.43
DAM-02	Gabion	2331.7	89.05	51.74
DAM-03	Gabion	2336.2	32.28	19.18
DAM-04	Gabion	2346.22	81.4	64.69
DAM-05	Gabion	2354.7	74.94	56.71
Total			822.84	747.75

۳-۲-۲- انباشت و برداشت رسوبات در طول مسیل

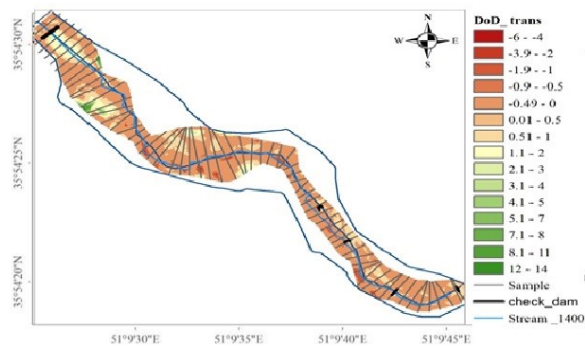
در این پژوهش، برای دو مقطع زمانی ۱۳۹۷ و ۱۴۰۰ دو نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۰۰ تولید و DEM مربوط به آنها تولید شد. با استفاده از فن محاسبه اختلاف ارتفاع (DoD) بین دو مدل رقومی ارتفاعی DEMs، محل و میزان حجم برداشت و انباشت رسوبات به دست آمد. فرض بر این است که حجم واریزه های ناشی از سیلاب همان میزان انباشت رسوبات خواهد بود که این مهم در بازدیدهای میدانی به اثبات رسید. محاسبه اختلاف ارتفاع به دو روش در نرم افزار Civil3D انجام شده است. در یک روش، DoD در راستای پروفیل طولی مسیل (DoD - Longitudinal) و در روش دیگر براساس مقاطع عرضی ایجاد شده در پروفیل طولی مسیل (DoD - transverse) محاسبه شد. پیش نیاز محاسبه در روش های فوق پروفیل طولی آبراهه است. به واسطه پراکنش نقاط برداشت شده از کف رودخانه (خط- القعر) که بُعد ارتفاع به آنها اختصاص یافت و با دستور Create Surface Profile پروفیل طولی از مسیر رودخانه ایجاد شد. در روش DoD - Longitudinal از گزینه Volumes Dashboard استفاده شد. در روش DoD - transverse ابتدا از طریق منوی خطوط نمونه برداری طول مسیر با فواصل مشخص برش های عرضی به عنوان سطوح مقایسه ایجاد و سپس با انتخاب گزینه Compute Materials احجام برداشت و انباشت رسوبات برآورد شد. در این مرحله، در هر دو روش یاد شده، برداشت معادل Cut و انباشت معادل Fill بوده است.

۳- یافته ها و بحث

همان گونه که در تشریح روش ها اشاره شد، خطوط منحنی تراز و سپس نقشه DEM برای سال های ۱۳۹۷ و ۱۴۰۰ با استفاده از ابزار Civil3D به دست آمد که در شکل (۴) قابل مشاهده است. براساس نتایج به دست آمده، در سال ۱۳۹۷ کم ترین و بیش ترین ارتفاع توپوگرافی 2291 m و 2365 m و در سال ۱۴۰۰ کم ترین و بیش ترین ارتفاع 2286 m و 2325 m بوده است. مطابق نقشه توپوگرافی سال ۱۳۹۷، مقادیر حجم- سطح- ارتفاع (تراز سرریز) برای پنج بند اصلاحی ساخته شده در مسیل سیجان در شرایط خالی از رسوب به دست آمد. نتایج آن در جدول (۴) آورده شده است. مجموع مخازن ایجاد شده در بالادست روستای سیجان تقریباً 748 m^3

¹ Sample Lines

بالادست است. برای هر مقطع سطح انباشت و برداشت محاسبه و بین هر دو مقطع متوالی حجم انباشت و برداشت برآورد شد. نقشه نهایی پراکنش مکانی انباشت و برداشت رسوب هر مقطع در حد فاصل سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۴۰۰ در شکل (۶) آمده است. نتایج نشان داد، حداکثر برداشت در شکل‌گیری سیل-واریزه ۶ m و حداکثر انباشت پس از تجمع واریزه‌ها، ۱۴ m بوده است.



شکل ۶ - پراکنش مکانی انباشت و برداشت مسیل سیجان با روش اختلاف DEM در مقاطع عرضی بین دو مقطع زمانی ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۰

Fig. 6 Spatial distribution of erosion and deposit site of Sijan by using DoD-transverse between 2018 to 2021

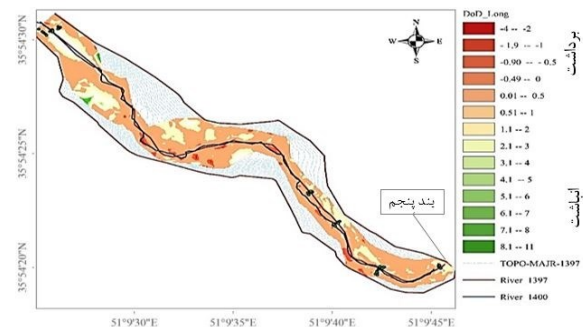
خلاصه پارامترهای آماری سیل-واریزه‌ها براساس میزان برداشت و انباشت در مقاطع عرضی در جدول (۵) ارائه شده است. مجموع احجام برداشت و انباشت با این روش برابر m^3 ۷۱۰۰ و m^3 ۹۷۲۵ تخمین زده شد. حداقل فرسایش یا برداشت واریزه‌ها برابر m^3 ۱۱/۶ در بالادست رخ داده است، حال آنکه حداکثر فرسایش برابر m^3 ۲۷۸ و در m ۲۹۰ پایین‌دست مسیل رخ داده است. تحلیل مکانی نشان داد که حداکثر انباشت برابر m^3 ۱۳۴۰ در m^2 ۱۲۰ پایین‌دست رخ داده است.

جدول ۵- پارامترهای آماری سیل-واریزه‌ها در مقاطع عرضی در مسیل نقشه‌برداری سیجان

Table 5 Statistical parameters of debris along with the surveyed cross sections of Sijan stream

Parameters	Average	Min	Max	Section of Min	Section of Max
Area of erosion (m^2)	21.4	1.7	35.4	3	28
Volume of erosion (m^3)	209	11.6	278.3	67	29
Accumulation of erosion (m^3)	7106.0				
Area of deposit (m^2)	33.1	0.4	88.4	43	13
Volume of deposit (m^3)	287.3	7.26	1339	43	13
Accumulation of deposit (m^3)	9724.9				

نتایج اختلاف DEMها (شکل ۴) به روش DoD-Longitudinal نشان داد که در راستای پروفیل طولی مسیل سیجان در بازه زمانی سه ساله از آبان‌ماه ۱۳۹۷ الی شهریورماه ۱۴۰۰، در سطحی برابر m^2 ۲۵۵۰۰، m^3 ۷۳۸۹/۸۷ حجم فرسایش در مرحله شکل‌گیری جریان واریزه‌ای و حجمی برابر m^3 ۱۰۵۲۷/۹۰ در مرحله انباشت رسوب رخ داده است. پراکنش جغرافیایی مناطق فرسایش و رسوب‌گذاری در شکل (۵) نمایش داده شده است. میزان برداشت در مرحله شکل‌گیری سیل-واریزه در شکل (۵) با مقادیر m ۴- تا صفر و با طیف رنگی قرمز نمایش داده شده و مقادیر انباشت در مرحله انباشت واریزه‌ها از تراز m ۲ تا m ۱۱ و با طیف رنگی سبز مشخص شده است. انباشت رسوب از صفر تا m ۲ در دو طبقه با طیف رنگی نارنجی نشان داده شده است.



شکل ۵- پراکنش مکانی انباشت و برداشت مسیل سیجان با روش اختلاف DEM در راستای طولی بین دو مقطع زمانی ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۰

Fig. 5 Spatial distribution of erosion and deposit pattern of Sijan stream using DoD-longitudinal between 2018 to 2021

برای مقایسه ارتفاع دو DEMs براساس مقاطع عرضی (DoD-transverse) در راستای خط القعر تعداد ۶۷ مقطع عرضی به فاصله m ۱۰ در طول m ۷۰۰ مسیل سیجان تعبیه شد. نحوه شماره‌گذاری مقاطع از پایین‌دست به

راستای پروفیل طولی به ترتیب ۷۳۹۰ و 10530 m^3 برآورد شد. با فن اختلاف ارتفاع براساس پروفیل عرضی و با تعداد ۶۷ مقطع به فاصله ۱۰ m، حجم فرسایش در مرحله شکل-گیری 7106 m^3 و حجم واریزه‌ها در مرحله انباشت 9725 m^3 برآورد شد.

۲- حداکثر برداشت و انباشت برای فن مقطع عرضی به ترتیب ۶ و ۱۴ m برآورد شد. در حالی که برای فن راستای پروفیل طولی، حداکثر برداشت و انباشت ۴ و ۱۱ m بوده است.

۳- به‌صورت میانگین می‌توان پتانسیل برداشت واریزه را برای بالادست مسیل روستای سیجان $10/3 \text{ m}^3$ در متر طول مسیل و پتانسیل انباشت واریزه را برای همین بخش $14/5 \text{ m}^3$ در متر طول مسیل بیان کرد.

۴- روش پژوهش، تحلیل مکانی مناسبی از فرایند فرسایش و رسوب‌گذاری برای اجرای روش‌های کنترل فرسایش کرانه‌ای ارائه می‌کند. بر این اساس، در کرانه شمالی مسیل سیجان فرایند انباشت و در کرانه جنوبی مسیل عمدتاً برداشت مصالح رخ داده است.

نتایج این پژوهش زمینه‌ساز مطالعات تکمیلی از جمله شبیه‌سازی رخداد سیلاب واریزه‌ای خواهد بود. استفاده از روش مقایسه DEMs عرضی که برآورد بیشتری به دست می‌دهد، برای ملاحظات کنترل سیل-واریزه و اجرای الگوی ساماندهی خشکه‌رودها جنبه محتاطانه‌تر و مناسب‌تر به نظر می‌رسد.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های استفاده شده در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که، هیچ‌گونه تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

References

Akhtari, R., Gharibreza, M., & Hossaini, M. S. M. (2019). Evaluation of the performance of small structures to control flood and sediment operations Sijan Stream in Arange watershed Alborz province. Proc, 2019, 14th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering of Iran Watershed Management and Integrated Management of Water and Soil Resources, Iran [In Persian].

۹۵۰ mm بارش در طول سه سال متوالی از ۱۳۹۷-۱۴۰۰ در بخشی از آبراهه منتهی به روستای سیجان به طول ۷۰۰ m، سطحی معادل 25500 m^2 و با متوسط شیب ۱۲٪، به‌طور متوسط حداکثر عمق برداشت ۵ m معادل 21 m^2 سطح و 209 m^3 حجم فرسایش ایجاد کرده است. در این دوره انباشت واریزه‌ها به وسعت 33 m^2 و به حجم 287 m^3 با متوسط حداکثر عمق انباشت $12/5 \text{ m}$ بوده شده است

در تحقیقات مشابه در حوضه Rio Gere در ایتالیا در ماه August سال 2017، ۱۱۰ mm بارش در ۲ hr موجب سیلاب واریزه‌ای شد که در بخشی از رودخانه آن به طول ۲۱۶ m، با شیب متوسط ۱۳°، حداکثر عمق فرسایش ۷ m و حجم فرسایش 17800 m^3 با اختلاف بین DEMها پیش و پس از رخداد سیل محاسبه شد (Baggio et al. 2021). در حوضه‌ای دیگر در ایتالیا به وسعت $6/3 \text{ km}^2$ برای یک رخداد سیل در سال ۲۰۱۳ با ۲۳ mm بارش در ۳۳ min حجم واریزه‌ها پس از رخداد 8000 m^3 برآورد شد (Arattano et al. 2014). حجم سیل-واریزه در حوضه‌ای به مساحت 2 m^2 با مقایسه DEM قبل و بعد از آن رخداد، 60000 m^3 برآورد شد (Aronica, et al. 2012).

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، برای نخستین بار در دامنه‌های جنوبی البرز با هدف بررسی کارایی بندهای اصلاحی و برآورد حجم سیل-واریزه به روش مقایسه DEMs با مقیاس ۱:۲۰۰ اقدام شده است. در این پژوهش، کارایی دو فن سطح مقایسه در برآورد میزان برداشت و انباشت رسوبات نیز آزموده شد. در یک روش سطح مقایسه در راستای طولی مسیر و در فن دیگر سطح مقایسه در راستای پروفیل‌های عرضی مسیر خواهد بود. نتایج کلی این پژوهش به صورت زیر می‌باشند:

۱- در سطحی برابر 25500 m^2 در ۷۰۰ m طول بازه مورد مطالعه میزان برداشت و انباشت با فن اختلاف ارتفاع در

- paper, Engineering Geology for Society and Territory, Torino, Italy. DOI: [10.1007/978-3-319-09054-2_22](https://doi.org/10.1007/978-3-319-09054-2_22)
- Aronica, G., Brigandi, G., & Morey, N. (2012). Flash floods and debris flow in the city area of Messina, North-East part of Sicily, Italy in October 2009: the case of the Giampileri catchment. *Nat. Hazard. Earth Syst. Sci.*, 12, 98. DOI: [10.5194/nhess-12-1295-2012](https://doi.org/10.5194/nhess-12-1295-2012).
- Baggio, T., Mergili, M., & D'Agostino, V. (2021). Advances in the simulation of debris flow erosion: The case study of the Rio Gere (Italy) event of the 4th August 2017. *Geomorph.*, 381, 107664. DOI: [10.1016/j.geomorph.2021.107664](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107664).
- Bani Habib, M. E., & Tanhapour, M. (2019). Proposing an empirical equation for estimation of the sediment concentration of debris flow (Case study: Jiangjia Gully in China). *J. Watershed Manage. Res.*, 9(18), 70-79. DOI: [10.29252/jwmr.9.18.70](https://doi.org/10.29252/jwmr.9.18.70) [In Persian].
- Coviello, V., Theule, J. I., Marchi, L., Comiti, F., Cavalli, M., Arattano, M., Lucia, A. and Macconi, P. (2019). Deciphering sediment dynamics in a debris-flow catchment: Insights from instrumental monitoring and high-resolution topography. 7th International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation, June 10 - 13, 2019, Golden, Colorado, USA. DOI: [http://dx.doi.org/10.25676/11124/173231](https://dx.doi.org/10.25676/11124/173231).
- Cucchiario, S., Cavalli, M., Vericat, D., Crema, S., Llana, M., Beinat, A., Cazorzi, F. (2019). Geomorphic effectiveness of check dams in a debris-flow catchment using multi-temporal topographic surveys. *CATENA*, 174, 73-83. DOI: [10.1016/j.catena.2018.11.004](https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.11.004).
- Haas, T.D. and Densmore, A. L. (2019). Debris-flow volume quantile prediction from catchment morphometry. *Geol.*, 47(8), 791-794. DOI: <https://doi.org/10.1130/G45950.1>.
- Hu, W., Xu, Q., Wang, G. H., van Asch, T. W. J., & P.-Y. Hicher (2015). Sensitivity of the initiation of debris flow to initial soil moisture. *Landslides*, 12(6), 1139-1145. DOI: [10.1007/s10346-014-0529-2](https://doi.org/10.1007/s10346-014-0529-2).
- Kim, M.-I., & Kim, N. (2021). Analysis of debris flow reduction effect of check dam types considering the Mountain Stream Shape: A case study of 2016 debris flow hazard in Ulleung-do Island, South Korea. *Adv. Civil Eng.*, Article ID 8899368. DOI: [10.1155/2021/8899368](https://doi.org/10.1155/2021/8899368).
- Nguyen, P.; Shearer, E. J., Tran, H., Ombadi, M., Hayatbini, N., Palacios, T., Huynh, P., Braithwaite, D., Updegraff, G., Hsu, K., Bob Kuligowski, B., Will S. Logan, W. S., & Sorooshian, S. (2019). The CHRS data portal, an easily accessible public repository for Persian global satellite precipitation data. *Sci. Data*, 6, 180296. DOI: [10.1038/sdata.2018.296](https://doi.org/10.1038/sdata.2018.296).
- Nikolopoulos, E. I., Crema, S., Marchi, L., Marra, F., Guzzetti, F., & Borga M. (2014). Impact of uncertainty in rainfall estimation on the identification of rainfall thresholds for debris flow occurrence. *Geomorphol.*, 221, 286-97. DOI: [10.1016/j.geomorph.2014.06.015](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.06.015).
- Nikolopoulos, E. I., Destro, E., Maggioni, V., Marra, F., & Borga, M. (2017). Satellite rainfall estimates for debris flow prediction: an evaluation based on rainfall accumulation-duration thresholds. *J. Hydrometeorol.*, 18(8), 2207-2214. DOI: <https://www.jstor.org/stable/26392080>.
- Radice, A., Giorgetti, E., Brambilla, D., Longoni, L., & Papini, M. (2011). On integrated sediment transport modelling for flash events in mountain environments. *Acta Geophys.*, 60(1), 191-213. DOI: [10.2478/s11600-011-0063-8](https://doi.org/10.2478/s11600-011-0063-8).
- Schimmel, A., Coviello, V., & Comiti, F. (2021). Debris-flow velocity and volume estimations based on seismic data. *Nat. Hazard. Earth Syst. Sci. Discus.*, 1-21. DOI: [10.5194/nhess-22-1955-2022](https://doi.org/10.5194/nhess-22-1955-2022).
- Shokouhi, S. E., & Rigi Ladz, B. (2018). Debris flood and its effective factors. The 6th Scientific Congress on the Development and Promotion of Agricultural Sciences and Natural Resources in Iran, Tehran. Iran. [In Persian].
- Shu, A. P., Tian, L., Wang, S., Rubinato, M., Zhu, F., Wang, M., & Sun, J. (2018). Hydrodynamic Characteristics of the Formation Processes for Non-Homogeneous Debris-Flow. *Water*, 10(4), 452. DOI: <https://doi.org/10.3390/w10040452>.
- Shu, A. P., Wang, L., Zhang, X., Ou, G. Q., & Wang, S. (2017). Study on the formation and

- initial transport for non-homogeneous debris flow. *Water*, 9(4), 253. DOI: <https://doi.org/10.3390/w9040253>.
- Takahashi, T. (2007). Debris Flow: Mechanics, Prediction and Countermeasures (1st ed.). Taylor & Francis. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780203946282>.
- Tian, M., Li, L., & Xiong, Z. (2022). A data-driven method for predicting debris-flow runout zones by integrating multivariate adaptive regression splines and Akaike information criterion. *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 81(6), 222. DOI: [10.1007/s10064-022-02701-3](https://doi.org/10.1007/s10064-022-02701-3).
- Yu, B., Ma, Y., & Wu, Y. (2013). Case study of a giant debris flow in the Wenjia Gully, Sichuan Province, China. *Nat Hazard*, 65, 835–849. DOI: [10.1007/s11069-012-0395-y](https://doi.org/10.1007/s11069-012-0395-y).
- Zhu, X., Liu, B., & Liu, Y. (2020). New method for estimating roughness coefficient for debris flows. *Water*, 12(9), 2341. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12092341>.
- Zhuang, J., Cui, P., Wang, G., Chen, X., Iqbal, J., & Guo, X. (2015). Rainfall thresholds for the occurrence of debris flows in the Jiangjia Gully, Yunnan Province, China. *Eng. Geol.*, 195, 335-346. DOI: [10.1016/j.geomorph.2014.06.015](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.06.015).

How to cite this paper:

Akhtari, R., Zareei, M. and Gharibreza, M. (2023). Estimating the volume of debris flows along the sijan stream using topographic surveys and CIVIL 3D. *Environ. Water Eng.*, 9(3), 399-412. DOI: [10.22034/ewe.2022.341249.1788](https://doi.org/10.22034/ewe.2022.341249.1788).