

Research Paper

Design and Construction of an Automatic Discharge and Sediment Load Monitoring Equipment

Hassan Rezaei Moghadam¹, Vahedberdi Sheikh², Maryam Azarakhshi³,
Mohsen Hosseinalizadeh⁴ and Jahangir Mohamadi⁵

- 1- Ph.D. Student, Department of Watershed Management, Faculty of Range and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran,
(Corresponding Author: hassan.rezaemoghadam@gmail.com)
- 2- Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Range and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
- 3- Assistant Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Agriculture, University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh, Iran
- 4- Associate Professor, Department of Arid Zone Management, Faculty of Range and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
- 5- Associate Professor, Department of Forestry, College of Forest Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Received: 21 August, 2023

Accepted: 20 December, 2023

Extended Abstract

Background: Large-scale and regional planning requires observed data on environmental variables, such as runoff and suspended sediment load from watersheds. Data is fundamental for generating information and knowledge, and scientific management of a system is impossible without a monitoring and measurement plan. Management of watershed systems and water resources is no exception to this axiom. With ongoing trends in socioeconomic development, climate change, increasing pressure on natural resources and watersheds, and, consequently, an increase in floods and sediment yield, there will be a greater need for more accurate information about sediment and runoff processes in the near future. Many tools and instruments for measuring runoff and sediment components have been produced and marketed by a number of foreign companies. However, their cost is very high in Iran, on the one hand, and a device that measures both components at once is very rare, on the other hand.

To carry out simulations that are both accurate and efficient, it is essential to have access to sufficient and reliable data and information for verification and validation purposes. In the field of water resources and watershed management, data and information are considered to be crucial tools. By providing important insights into the management of water resources, the availability of data and information can help enhance the efficiency and optimization of water usage, prevent natural hazards (such as floods and droughts), manage water quality, and improve the management of water supply and demand. Therefore, this study aimed to design and construct an automated flood and sediment load-monitoring device with the ability to record the runoff height of watersheds and a planned sampling of runoff for measuring suspended sediment using cheap sensors and tools.

Methods: This study presents an innovative device designed to monitor runoff discharge and suspended sediment sampling. The device has been constructed and installed at the outlet of the sub-basin under study. A regular cross-section was constructed at the outlet to facilitate the installation of the device, which enabled the monitoring of the runoff hydrograph of the sub-basin outlet and suspended sediment load sampling. In this research, analog hygrometer sensors were used to measure the height of runoff with 3 cm intervals (measurement accuracy of 3 cm). DC pumps with valves were used to collect the sediment sample, which created a vacuum in the sampling container and caused the runoff sample to be transferred into the container. To evaluate the device's capabilities in real and natural conditions, it was installed at the outlet of a sub-watershed in the eastern loess lands of Golestan province, located upstream of Qapan Oliya village in the Kalaleh district for two years to record the hydrograph of likely flood events and take runoff samples at the user-defined depths of flood (two samples at depths of 20 and 60 cm in rising limb and one sample at a depth of 20 cm in recession limb of hydrographs). The samples were stored in 0.5 liter containers, and the user was informed by sending an SMS to replace the filled containers with empty ones. It is noteworthy that the device under consideration facilitates the collection of runoff samples at any frequency and at any height for



Copyright ©2024 Rezaei Moghadam et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which allows users to read, copy, distribute and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

research requirements. The device boasts a remarkable advantage in the form of its SMS notification feature, which keeps the user informed about the monitoring site and equipment status, including runoff sampling, power outages, and battery status. The device incorporates a built-in battery that remains active during power outages in the electricity network to record flood events. Additionally, the user can communicate with the device via a mobile phone at any time and receive SMS updates on the device's operating status, such as power, battery, memory level, and event registration. Furthermore, to ensure accurate rainfall data recording, a WatchDog tipping bucket rain gauge has been installed within the studied sub-basin.

Results: During these two years, only three rainfall events leading to runoff and flooding occurred in this sub-watershed, and the designed device successfully recorded the hydrograph of all three events and informed the user. In each of these recorded flood events, at least two runoff samples (one sample in the rising limb and one sample in the recession limb of the hydrograph) were collected and stored by the device to be transferred to the laboratory to determine the suspended load. The present study has demonstrated that the automated runoff and sediment monitoring device, which has been specifically designed to measure a range of parameters such as flow rate, water level, and suspended sediment load, represents a valuable and practical tool for those seeking to monitor runoff and sediment at the outlet of watersheds.

Conclusion: Data and information play a vital role in water resources and watershed management. The availability of such data and information in the management of watersheds and water resources helps enhance water use optimization and efficiency, prevent natural disasters such as floods and droughts, manage water quality, and improve water supply and demand management. Therefore, the prototype of the designed device shows that this device has a good capability for the industrial production of an inexpensive runoff and sediment monitoring tool to scientifically manage small-scale watersheds.

Keywords: Dielectric sensor, Flood hydrograph, Observed data, Suspended sediment sampler, Vacuum pump

How to Cite This Article: Rezaei Moghadam, H., Sheikh, V., Azarakhshi, M., Hosseinalizadeh, M., & Mohamadi, J (2024). Design and Construction of an Automatic Discharge and Sediment Load Monitoring Equipment. *J Watershed Manage Res*, 15(1), 78-93. DOI: [10.61186/jwmr.15.1.78](https://doi.org/10.61186/jwmr.15.1.78)

مقاله پژوهشی

طراحی و ساخت دستگاه پایش خودکار سیل و رسوب

حسن رضایی مقدم^{۱*}، واحدبردی شیخ^۲، مریم آذرخی^۳، محسن حسینی زاده^۴ و جهانگیر محمدی^۵

۱- دانشجوی دکتری گروه آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران،

(نویسنده مسوول: hassan.rezaemoghadam@gmail.com)

۲- استاد، گروه آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۳- استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران

۴- دانشیار، گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۵- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۵/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۲۹
صفحه: ۷۸ تا ۹۳

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: برنامه‌ریزی‌های کلان و منطقه‌ای نیازمند داده‌های اندازه‌گیری شده از متغیرهای محیطی از جمله رواناب و رسوب معلق خروجی از آبخیزها است. داده، پایه و اساس تولید اطلاعات و دانش است و مدیریت علمی یک سیستم بدون پایش و اندازه‌گیری آن مقدور نیست. مدیریت سیستم آبخیز و منابع آب نیز از این قاعده کلی مستثنی نیست. با توجه به توسعه اقتصادی - اجتماعی جوامع، تغییرات اقلیمی و فشار فزاینده بر منابع طبیعی و آبخیزها و بالتبع افزایش سیلاب‌ها و رسوبات ناشی از آن‌ها، در آینده نزدیک، احتمالاً الزام بیشتری برای دستیابی به اطلاعات صحیح‌تر درباره رسوب و رواناب وجود خواهد داشت. اگرچه ابزار و ادوات متعددی برای اندازه‌گیری مولفه‌های رواناب و رسوب توسط تعدادی از شرکت‌های خارجی تولید و روانه بازار شده‌اند، اما از یک سو قیمت تمام شده آنها در کشور ایران بسیار بالا است و از سوی دیگر دستگاهی که به‌طور یکجا هر دو مولفه را پایش نماید وجود ندارد. از طرفی پیش‌نیاز شبیه‌سازی دقیق و کارآمد داده و اطلاعات دقیق و کافی جهت واسنجی و اعتبارسنجی مدل‌های شبیه‌سازی می‌باشد. داده و اطلاعات به‌عنوان ابزاری مهم در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب و آبخیزها محسوب می‌شوند. فراهمی داده و اطلاعات در مدیریت سیستم آبخیز و منابع آب، به ارتقای بهره‌وری و بهینه‌سازی استفاده از منابع آب، پیشگیری از خطرات طبیعی مانند سیلاب و خشکسالی، مدیریت کیفیت آب، بهبود مدیریت عرضه و تقاضای آب کمک می‌کند. بنابراین، هدف این پژوهش، طراحی و ساخت یک دستگاه پایش سیل و رسوب با قابلیت ثبت خودکار ارتفاع جریان رواناب خروجی از آبخیزها و نمونه‌برداری برنامه‌ریزی شده از رواناب جهت اندازه‌گیری بعدی رسوب معلق با استفاده از سنسورها و ادوات ارزان قیمت می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش یک دستگاه پایش رواناب خروجی و نمونه‌برداری رسوب معلق طراحی و ساخته شد که در خروجی زیر حوضه مورد مطالعه نصب شد. بدین منظور، سطح مقطع منظمی در خروجی زیرحوضه مورد مطالعه احداث گردیده و با نصب این دستگاه ابتدائی، هیدروگراف سیلاب خروجی حوضه و نمونه‌برداری بار معلق رسوب انجام شد. در این پژوهش از سنسورهای رطوبت‌سنج آنالوگ جهت اندازه‌گیری ارتفاع رواناب با فواصل ۳ سانتی‌متر (دقت اندازه‌گیری ۳ سانتی‌متر) استفاده شده است. جهت برداشت نمونه رسوب از پمپ‌های DC سوپاپ‌دار استفاده شد که با ایجاد خلأ در ظروف نمونه‌گیر باعث انتقال نمونه رواناب به داخل ظروف می‌گردد. برای ارزیابی قابلیت دستگاه در شرایط واقعی و طبیعی، دستگاه طراحی شده، طی مدت دو سال در خروجی یکی از زیر حوضه‌های اراضی لسی شرق گلستان در بالادست روستای قیابان علیا از توابع شهرستان کلاله نصب گردید تا در صورت وقوع رخداد سیل، هیدروگراف آن ثبت شده و اگر ارتفاع سیل به مقادیر تعریف شده توسط کاربر (ارتفاع ۲۰ و ۶۰ سانتی‌متری رواناب در شاخه صعودی و یک نمونه رواناب در ۲۰ سانتی‌متری ارتفاع رواناب در شاخه نزولی هیدروگراف سیلاب) رسید نسبت به تهیه و ذخیره نمونه رواناب در یک بطری با گنجایش نیم‌لیتری اقدام نماید و همزمان با اخذ نمونه رواناب، به کاربر پیامک هم ارسال نماید تا نسبت به جایگزینی ظروف پر شده با ظروف خالی نمونه‌برداری اقدام نماید. شایان ذکر است این دستگاه امکان برداشت نمونه رواناب به هر تعداد و در هر ارتفاعی را با توجه به نیازهای تحقیقاتی دارا می‌باشد. از مزایای برجسته این دستگاه می‌توان به اطلاع‌رسانی آن از طریق پیامک اشاره کرد که کاربر را از وضعیت خروجی منطقه اعم از برداشت نمونه رواناب، قطعی جریان برق دستگاه، وضعیت شارژ باتری تعبیه شده برای فعال نگه‌داشتن دستگاه در زمان قطع جریان برق و وقوع رویداد سیل آگاه می‌سازد. همچنین کاربر می‌تواند از طریق گوشی همراه در هر لحظه از زمان با دستگاه ارتباط برقرار کرده و از وضعیت کارکرد دستگاه طراحی شده (برق، باتری، میزان حافظه و ثبت یا عدم ثبت رویداد) از طریق پیامک اعلام بگیرد. همچنین جهت ثبت داده‌های دقیق بارندگی، یک دستگاه باران‌نگار ثابت ترازویی ساخت شرکت واچداگ (WatchDog) در داخل زیرحوضه مورد مطالعه نصب گردید.

یافته‌ها: در طول این دو سال، تنها سه رخداد بارش منجر به رواناب و سیل در این زیرحوضه اتفاق افتاد و دستگاه طراحی شده، هیدروگراف هر سه رخداد را با موفقیت ثبت و مخابره نمود. همچنین در هر یک از این وقایع سیل ثبت شده، حداقل دو نمونه رواناب (یک نمونه در شاخه صعودی هیدروگراف و یک نمونه هم در شاخه نزولی هیدروگراف) توسط دستگاه برداشت و ذخیره گردید تا برای تعیین میزان بار معلق به آزمایشگاه منتقل شود. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد دستگاه پایش خودکار رواناب و رسوب طراحی شده، با اندازه‌گیری پارامترهای مختلفی مانند دبی جریان، ارتفاع آب و بار رسوب معلق یکی از ابزارهای مهم و کاربردی برای پایش رواناب و رسوب در خروجی حوزه‌های آبخیز می‌باشد.

نتیجه‌گیری: داده و اطلاعات به‌عنوان ابزاری مهم در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب و آبخیزها محسوب می‌شوند. فراهمی داده و اطلاعات در مدیریت سیستم آبخیز و منابع آب، به ارتقای بهره‌وری و بهینه‌سازی استفاده از منابع آب، پیشگیری از خطرات طبیعی مانند سیلاب و خشکسالی، مدیریت کیفیت آب، بهبود مدیریت عرضه و تقاضای آب کمک می‌کند. بنابراین نمونه اولیه دستگاه طراحی شده، نشان داد که این دستگاه از قابلیت خوبی جهت تولید صنعتی ابزار پایش رواناب و رسوب ارزان قیمت برای مدیریت علمی آبخیزهای کوچک مقیاس برخوردار می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پمپ خلأ، داده مشاهداتی، سنسور رطوبت، نمونه‌برداری بار معلق، هیدروگراف سیل

مقدمه

توسط بخش‌های دولتی و خصوصی برای کاربردهای مختلف استفاده می‌شوند. از جمله، برنامه‌ریزی، طراحی، بهره‌برداری و نگهداری سیستم‌های مدیریت آب چند منظوره، تهیه و انتشار پیش‌بینی‌ها و هشدارهای سیل با هدف حفاظت از جان و مال مردم، طراحی سرریزها، بزرگراه‌ها، پل‌ها و آبگذرها،

حوزه‌های آبخیز و منابع آن را نمی‌توان به‌درستی مدیریت کرد؛ مگر اینکه بدانیم در چه وضعی هستند، کمیت و کیفیت اطلاعات حوزه آبخیز چگونه است و در آینده قابل پیش‌بینی، وضعیت آن‌ها چگونه تغییر خواهد کرد. داده‌های هیدرولوژیکی

(مانند تبخیر و تعرق) و تغییرات ذخیره آب (به عنوان مثال در دریاچه ها و آب های زیرزمینی) در کل منطقه بالادست را منعکس می سازد. در حالی که اندازه گیری سایر متغیرهای هیدرولوژیکی، به عنوان مثال، بارش، تبخیر و تعرق و تغذیه آب زیرزمینی، در هر مکان، فقط فرآیندهای محلی را منعکس می کند و تعداد زیادی مشاهده از مقادیر این متغیرها در جاهای مختلف یک حوضه برای توصیف بیلان آب آن ضروری است (Hunger & Döll, 2008). فقدان آمار و اطلاعات یا کافی نبودن آمار درست و مناسب سبب شده است تا بررسی و شناخت رفتار متغیرهای هیدرولوژیکی و خصوصیات حوضه های آبخیز با دقت قابل قبولی صورت نگیرد (Kiyani Majd et al., 2023). اگرچه ارزش اطلاعات دبی رودخانه در فرآیند مدل سازی حوضه کاملاً شناخته شده است اما تعداد ایستگاه های پایش دبی جریان، بویژه در مناطق کوهستانی و آبراهه های با رتبه های پائین تر بسیار محدود است. این خلأ داده ای و اطلاعاتی، باعث آسیب پذیری بالا در برابر سیل های ناگهانی می شود. مدل های رخداد محور متعددی برای شبیه سازی فرآیندهای بارش-رواناب، سیل های ناگهانی، فرسایش خاک و پیش بینی زمان-واقعی سیل های ناگهانی وجود دارد. مدل های رخداد محور کاربرد زیادی در طراحی سازه ها و اقدامات دارند ولی به دلیل فقدان یا عدم کفایت داده های مشاهداتی دبی جریان در مقیاس های زمانی و مکانی کوچک، واسنجی و کاربرد آن ها با مشکلات زیادی روبرو است.

هیدرولوژی علمی است که بر اساس مشاهدات و اندازه گیری ها توسعه یافته است. نظریه های هیدرولوژیک یا از بینش های به دست آمده از تجزیه و تحلیل داده ها پدید آمده اند یا توسط داده هایی که از نظریه های هیدرولوژیک پشتیبانی می کنند مورد تأیید قرار گرفته اند (Wood, 1998). مصریان اولین اندازه گیری های جریان رودخانه را با استفاده از نیلومترها (وسایل اندازه گیری ارتفاع آب رودخانه نیل) در سه نقطه در طول مسیر رودخانه نیل اندازه گیری کردند. اولین اندازه گیری منظم دبی رودخانه در دو رودخانه تیمز و لی در کشور انگلستان در دهه ۱۸۸۰ میلادی شروع شد. سازمان زمین شناسی ایالات متحده، برای مدت بیش از ۱۰۰ سال (از اواخر قرن ۱۹ که اولین اندازه گیری ها را شروع کرد) مشغول جمع آوری منظم داده های دبی رودخانه ها است و در حال حاضر حدود ۸۵۰۰ ایستگاه هیدرومتری فعال دارد. همچنین آرژانتین یکی از کشورهای پیشرو در زمینه سنجش دبی رودخانه ها است که از اوایل قرن بیستم، ایستگاه های هیدرومتری دایر کرده است و در حال حاضر، شبکه ملی هیدرولوژی آرژانتین به تنهایی ۳۳۹ ایستگاه هیدرومتری زمان-واقعی (Real-time) دارد (Depetris, 2021). در ایران الگوی ساخت ایستگاه هیدرومتری معمولاً با تثبیت حاشیه رودخانه و نصب لیمونوگراف و اشل در یک جناح رودخانه انجام می شود. این نوع سازه در برخی موارد همراه با دیوار ساحلی جهت تثبیت حاشیه رودخانه همراه است و در برخی موارد صرفاً با احداث پایه و نصب لیمونوگراف انجام می شود. در کشور ایران ۱۰۶۸ ایستگاه هیدرومتری وجود دارد

نقشه برداری دشت های سیلابی، تعیین و پایش جریان های زیست محیطی یا اکولوژیکی؛ مدیریت حقایقه ها و مسائل آب های فرامرزی؛ آموزش و پژوهش؛ حفاظت کیفیت آب و تنظیم تخلیه آلاینده ها (USGS, 2006). کیفیت داده های مورد نیاز برای یک هدف خاص تا حد زیادی به الزامات زمینه های کاربردی فوق بستگی دارد و باید توجه کرد که همه داده ها در همه زمینه های کاربردی متناسب با هدف مدنظر نیستند. برای مثال، در زمینه هایی که امنیت جانی انسان ها مطرح است (همچون طراحی سازه ها و سیستم هشدار سیل) داده ها بایستی از کیفیت و دقت بیشتر و فاصله زمانی کوتاه تر برخوردار باشند (WMO, 2008). مشاهدات هیدرولوژیکی، روشی برای شفاف سازی کمی فرآیندهای چرخه آب است که طیف بسیار وسیعی از پدیده ها را در بر می گیرد. امروزه پدیده سیل یکی از پیچیده ترین رخداد های مخاطره آمیز است که بیش از سایر بلایای طبیعی همه ساله در نقاط مختلف دنیا منجر به خسارت های مالی و جانی زیادی می شود (Isazade & Alijegigy, 2022). پیشگیری از بلایای ناشی از سیل و خشکسالی، بدون فناوری پیش بینی منطقی مبتنی بر درک پدیده بارش-رواناب و تجزیه و تحلیل آماری داده های هیدرولوژیکی گذشته غیرممکن خواهد بود و داده های هیدرولوژیکی گذشته بدون اندازه گیری های هیدرولوژیکی فراهم نخواهند شد (Terakawa, 2003).

علیرغم موارد اشاره شده در بالا، شواهد فزاینده ای وجود دارد که نشان می دهد تعداد شبکه های پایش هیدرولوژیکی رو به کاهش هستند (Bshir & Garba, 2003). بدیهی است که هزینه نگهداری سیستم های رصد هیدرولوژیکی در حال افزایش است و وعده فناوری های نسل جدید که داده های با کیفیت را با هزینه های کمتر ارائه می دهند در حال حاضر محقق نشده است (Buytaert et al., 2016). بنابراین ضروری است که جامعه هیدرولوژیست ها، همراه با صنعت ابزار دقیق هیدرولوژیکی، به دنبال بهبودهایی در سیستم های پایش باشند که جمع آوری داده های با کیفیت را از طریق سیستم هایی که راحت تر مدیریت و نگهداری می شوند، امکان پذیر می سازند. دولت ها باید بدانند که جمع آوری داده های با کیفیت و دقت مورد نیاز هزینه بردار هستند، اما منافع ناشی از آن، به ویژه در دنیای در حال تغییر و بسیار متغیر بسیار بیشتر از هزینه های آن است (Stewart, 2015).

در مطالعات حوزه آبخیز، سری های زمانی مشاهده شده دبی رودخانه به طور گسترده برای بهینه سازی پارامترهای مدل استفاده می شود تا تناسب رضایت بخشی بین دبی مدل سازی شده و مشاهده شده به دست آید. تنظیم پارامترها، یعنی واسنجی مدل، با استفاده از داده های مشاهداتی دبی که دربرگیرنده اطلاعات جامع در مورد فرآیندهای حوضه است، منجر به کاهش عدم قطعیت نتایج مدل ها می شود. دبی رودخانه در نقطه خروجی یک حوضه یک متغیر هیدرولوژیکی منحصر به فرد است زیرا در برگیرنده برآیند نهایی تعداد زیادی جریان (عمودی و افقی) و فرآیندهای انتقال در کل حوضه است. دبی رودخانه که در یک مکان اندازه گیری می شود، جریان های ورودی سیستم (مانند بارش)، جریان های خروجی

زیادی وجود دارد. محققینی مانند میرابوالقاسمی و مرید، وروانی، نجفی‌نژاد و میرمعینی، مساعدی و محمدی استادکالاته در تحقیقات خود بر این موضوع تأکید دارند. در برخی از ایستگاه‌های هیدرومتری در ایران، نمونه‌های مربوط به رسوب معلق برداشت می‌شوند و با استفاده از این داده‌ها و داده‌های نظیر دبی رودخانه، میزان بار معلق سالانه رودخانه محاسبه و برآورد می‌شود. با این حال، بررسی‌ها نشان می‌دهند که نمونه‌های برداشت شده به‌نجوی نیستند که بتوانند نماینده جریان رسوب خروجی از آبخیزها باشند.

بررسی داده‌های ایستگاه هیدرومتری قزاقلی در رودخانه گرگانود نشان می‌دهد که سهم دفعات اندازه‌گیری در دبی‌های بالا و در زمان‌های سیلابی کم است و بیش از ۸۴٪ نمونه‌های رسوب برداشت شده در این ایستگاه، مربوط به زمان وقوع جریان پایه هستند (Mohammadi Ostadkalateh, 2002). این واقعیت درباره تمام داده‌های رسوب معلق جمع‌آوری شده در سایر ایستگاه‌های هیدرومتری ایران نیز صادق است (Heidarnejad et al., 2006; Mohammadi Ostadkalateh, 2002). در حالی که برای محاسبه میزان واقعی بار معلق انتقال یافته توسط رودخانه‌ها، به داده‌های متراکم سیلابی نیاز است؛ بنابراین، اطلاعات به‌دست آمده از داده‌های بارمعلق موجود، به‌دلیل رویکرد نامناسب نمونه‌گیری از اعتبار کافی برخوردار نیستند. محققین متعددی مانند تلوری، صادقی، عرب خدری و خانی، پرهت و دومیری گنجی، برزگری و ذرتی پور و همکاران نیز به این واقعیت تأکید کرده‌اند (Arabkhedri & Khani, 2001; Porhemmat & Dumiri Ganji, 2005; Sadeghi et al., 2008; Telvari, 2003; Zoratipour et al., 2008).

در استان گلستان، پیشرفته‌ترین ابزار مربوط به ثبت داده‌های رسوب معلق، در ایستگاه قزاقلی قرار دارد که با فواصل زمانی یک ساعته، برداشت نمونه را انجام می‌دهد؛ اما قسمت اعظم رسوبات مربوط به سیلاب‌های آبی و زودگذر بوده که در فاصله زمانی یک ساعت، گاهی تغییرات غلظت قابل توجهی دارد (Barzegari banadkahi, 2015).

رواناب سطحی یا جریان سطحی، یک فرآیند اساسی مورد علاقه در هیدرولوژی است. رواناب یکی از دلایل اصلی فرسایش است و می‌تواند باعث تلفات مواد مغذی از حوزه‌های آبخیز شود (Al-Hamdan et al., 2017)؛ بنابراین اندازه‌گیری دقیق کمیت رواناب برای درک مکانیسم‌ها و اثرات جریان زمینی حیاتی است. تعدادی از ابزارها برای تعیین کمیت رواناب استفاده شده است. در مقیاس کوچک (شامل طول‌های مرتبه ۱ تا ۱۰ متر)، اساسی‌ترین روش اندازه‌گیری شامل انحراف جریان به یک بشکه یا ساختار مشابه است (Dosskey, Hoagland, & Brandle, 2007). سپس می‌توان مقدار آب و رسوب جمع‌آوری شده را اندازه‌گیری کرد. این تنظیم معمولاً ارزان است و نصب آن آسان است، اما در صورت تمایل به نظارت طولانی‌مدت، نیاز به تخلیه دوره‌ای بشکه‌ها دارد. سیستم‌های جایگزین برای کاهش این مشکلات طراحی شده‌اند، از جمله تقسیم جریان به ظروف متعدد (Tan et al., 2012) یا استفاده از حسگرهای الکترونیکی آب (Sharma et al., 2022) یا سطوحی

که از این تعداد ۴۶۴ ایستگاه درجه ۱، ۲۱۰ ایستگاه درجه ۲، ۱۲۲ ایستگاه درجه ۳ و ۲۷۲ ایستگاه درجه ۴ می‌باشد. ایستگاه هیدرومتری پایاب سد کهک در رودخانه سیستان، قدیمی‌ترین ایستگاه هیدرومتری کشور از نوع درجه ۱ می‌باشد که در سال ۱۳۲۰ در استان سیستان و بلوچستان تأسیس شده است (National Meteorological Organization of Iran, 2021).

علیرغم قدمت طولانی اندازه‌گیری مقدار دبی رودخانه‌ها، بررسی رسوب معلق رودخانه‌ها به‌عنوان یکی از شاخص‌های اندازه‌گیری کیفیت آب رودخانه‌ها در علم هیدرولوژی، از نیم قرن پیش شروع شده و تکنیک‌های مختلفی برای اندازه‌گیری بار معلق رودخانه معرفی شده است. برای اولین بار در سال ۱۹۶۳ نمونه‌گیری به‌صورت دستی و با استفاده از بطری‌های مخصوص توسط ادوارد و همکاران انجام شد (Edwards et al., 1999). در سال ۱۹۷۰، مک هنری و همکاران از تکنیک هسته‌ای برای اندازه‌گیری بار معلق رودخانه با استفاده از اشعه X یا گاما استفاده کردند که امروزه کمتر از این روش‌ها استفاده می‌شود؛ از دلایل آن عدم دسترسی به ماده اولیه و عدم دقت بالایی آن در نمونه‌های سیلابی می‌باشد.

سالکید و جی پی در سال ۱۹۸۱، روش نمونه‌گیری ضربه‌ای را معرفی کرد. در این روش، با ایجاد ضربه به یک سنسور، میزان رسوب عبوری از یک مقطع اندازه‌گیری می‌شود که در به‌کارگیری این روش، مشکلات زیادی وجود داشت.

اسکینر در سال ۱۹۸۹، از تیوپ لرزان برای اندازه‌گیری رسوب معلق استفاده کرد. میزان لرزش تیوپ به‌میزان رسوب و دمای آب بستگی دارد و با داشتن دما و ثبت میزان لرزش، می‌توان میزان رسوب را اندازه‌گیری کرد. در سال ۱۹۹۱، تورن و همکاران از وسایل صوتی برای اندازه‌گیری پارامترهای مربوط به رسوب استفاده کردند. میزان انعکاس صوت به‌عنوان یک عامل در تعیین اندازه ذرات و میزان غلظت رسوب به‌کار رفت. این روش برای ذرات با اندازه ۶۲ تا ۲۰۰ میکرون مناسب بود. برجسته‌ترین مشکل دستگاه صوتی، تغییر نتایج با عمق است. به این ترتیب که در غلظت‌های بالا باید عمق را کمتر گرفت تا میزان خطا کمتر شود. در حال حاضر، توسعه این روش در حال بررسی است و وان ریجن در سال ۱۹۹۳ تلاش‌هایی در همین راستا داشته است.

آگراول و پات اسمیت در سال ۱۹۹۴ از روش انکسار نور لیزر برای اندازه‌گیری اندازه ذرات رسوب استفاده نمودند که نسبتاً گران می‌باشد. کلیفورد و همکاران در سال ۱۹۹۵ از روش عبور نور برای تعیین میزان گل آلودگی آب استفاده کردند. در این روش، نور از یک منبع ساطع شده و به نمونه آب رسوب‌دار برخورد کرده و در طرف دیگر یک سنسور حساس، میزان نور عبوری از توده را جذب می‌کند. این میزان نور وابسته به میزان گل آلودگی آب است و در این روش نیز کالیبراسیون بین نور عبوری و گل آلودگی برقرار می‌شود.

در مورد کشور ما، اطلاعات دقیقی درباره خسارت‌های مربوط به رسوب معلق موجود نیست و اندازه‌گیری‌ها و برآوردهای مختلفی انجام شده است که میان آن‌ها اختلافات

دستگاه طراحی شده متشکل از سه قسمت اصلی به شرح زیر می باشد:

۱- منبع تغذیه ۲- بردهای الکترونیکی و واحدهای محاسبه ذخیره و ارتباطی ۳- بخش ای مکانیکی دستگاه منبع تغذیه

منبع تغذیه شامل یک عدد باتری ۱۲ ولتی ۷ آمپر و یک عدد شارژر باتری ۱۲ ولتی می باشد که ولتاژ مورد نیاز قطعات مختلف دستگاه را حتی در زمان های قطعی جریان برق تأمین می نماید.

بردهای الکترونیکی و واحدهای محاسبه ذخیره و ارتباطی
این قسمت شامل بخش های زیر می باشد

۱- مجموعه مازول های ارتفاع سنج: این مازول ها با استفاده از حسگرهای رطوبت سنج که به فواصل دلخواه کنار هم قرار می گیرند اطلاعات مربوط به ارتفاع سیلاب را در اختیار آی سی رابط قرار می دهند.

۲- مجموعه مدارهای فرمان پمپ های نمونه گیر: این مدارها با توجه به دستوری که از آی سی اصلی کنترل کننده صادر می شود می تواند پمپ های خلأ را روشن و یا خاموش کنند.

۳- آی سی رابط بین برد اصلی و مازول های ارتفاع سنج و پمپ های نمونه گیر: این آی سی به طور متوالی ارتفاع سیل را با استفاده از مازول های ارتفاع سنج که این مازول ها از ۳۰ عدد سنسور حسگر رطوبت از نوع آنالوگ تشکیل شده است محاسبه کرده و هر زمان که آی سی اصلی کنترل کننده، ارتفاع سیلاب را نیاز داشته باشد اطلاعات را ارائه می نماید.

۴- محل قرارگیری مازول سیم کارت: این مازول که از نوع SIM800 می باشد برای اطلاع رسانی از طریق پیامک و یا کنترل از راه دور دستگاه مورد استفاده قرار می گیرد.

۵- ورودی برق ۱۲ ولت مدار: این قسمت برق باتری ۱۲ ولت مدار را تأمین می نماید.

۶- مازول ساعت: این قسمت برای استفاده از زمان برای ثبت اطلاعات در آی سی حافظه مورد استفاده قرار می گیرد.

۷- سوکت ارتباط گیری با مدار ارتفاع سنج و پمپ های نمونه گیر: از طریق این سوکت اطلاعات بین آی سی اصلی کنترل کننده و آی سی رابط رد و بدل می شود.

۸- آی سی حافظه: این بخش وظیفه اصلی ذخیره سازی کلیه اطلاعات را بر عهده دارد.

۹- آی سی اصلی کنترل کننده: قلب اصلی این سیستم می باشد که وظیفه هماهنگی بین کلیه بخش ها را بر عهده دارد.

بخش های مکانیکی دستگاه

۱- جعبه قرارگیری برد و ظروف نمونه گیری ۲- استوانه قرارگیری سنسورهای ارتفاع سنج ۳- پمپ های نمونه گیر ۴- مسیرهای خلأ ۵- مسیرهای نمونه گیری سیلاب ۶- ظروف نمونه گیری.

دستگاه پایش خودکار رواناب و رسوب طراحی و ساخته شده در این تحقیق، در نقطه خروجی یکی از زیر حوضه های اراضی لسی شرق گلستان در بالادست روستای قپان علیا از توابع شهرستان کلاله نصب شد تا قابلیت های آن به طور واقعی مورد ارزیابی قرار گیرد. زیر حوضه مذکور در حدفاصل طول جغرافیایی ۵۱° ۳۹' تا ۵۵° ۴۰' ۵۵' شرقی و

سرگردان (Nehls, Nam Rim, & Wessolek, 2011)، در حالی که سیستم حسگر الکترونیکی فقط وجود یا عدم وجود جریان سطحی را تشخیص می دهد. سیستم های سطلی تخلیه خود خالی می شوند و می توانند برای استقرار طولانی مدت استفاده شوند، اما ممکن است خطای قابل توجهی در نرخ جریان کم و بالا داشته باشند. به عنوان مثال، نشان داده شده است که باران سنج سطلی اوج از نوع بلفورت دارای دقت تنها ۱۲ میلی متر بر ساعت است که کاربرد آن را برای نظارت بر رویدادهای جریان کم محدود می کند (Nystuen, 1999). به همین ترتیب، خطای واژگونی سطلی می تواند در سرعت های جریان بیشتر از ۱۵۰ میلی متر بر ساعت به دلیل پاسخ غیرخطی ابزار، از ۲۵٪ تجاوز کند (Stewart, 2015). این سیستم ها همچنین می توانند مسدود شوند (Stagnaro et al., 2016) که در محیط های با رسوب بالا نگران کننده است. سرریزها و فلوام های با بریدگی V نیز برای اندازه گیری رواناب در مقیاس کرت (Radatz, Thompson, & Madison, 2013) و همچنین برای اندازه گیری رواناب سطحی در حوضه های بزرگ تر استفاده شده اند (Eltner, Mulsow, & Maas, 2013) با این حال، این تأسیسات اغلب گران هستند، با هزینه هر قطعه که می تواند بیش از ۵۰۰۰ دلار آمریکا باشد (Pinson et al., 2004). علاوه بر این، حفظ وضعیت مورد نیاز بالادست بستر در زیر شکاف سرریز مستلزم نگهداری مکرر در جریان های طبیعی است. در نهایت، استومف و همکاران، (Stomph et al., 2002) یک فلوامتر برای اندازه گیری دبی های کوچک (۲ تا ۶۰ لیتر در دقیقه) طراحی کرد که در آن آب وارد محفظه ای پر از روزنه های دایره ای کوچک می شود و سپس از آن تخلیه می شود.

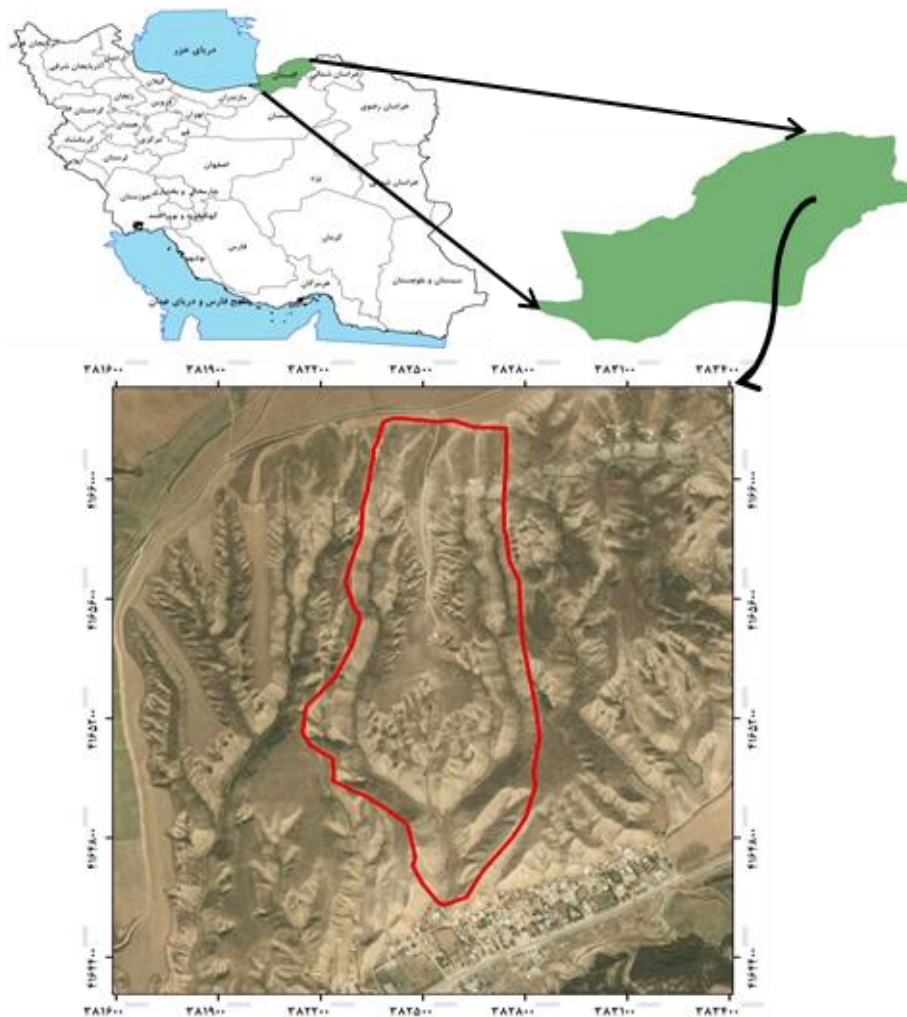
با توجه به اهمیت رسوب معلق و حجم رواناب در خروجی حوزه های آبخیز و فقدان امکانات لازم برای اندازه گیری آن، طراحی و ساخت دستگاه پایش خودکار رواناب و رسوب، با هزینه تمام شده کمتر و قابلیت بیشتر همچون مراقبت از راه دور حائز اهمیت است. این دستگاه می تواند زمینه ساز جمع آوری آمار فشرده و بستر ساز مطالعات بارش- رواناب و فرسایش و رسوب در مقیاس آبخیزهای کوچک و کوهستانی باشد و بسیاری از کمبودهای اطلاعاتی در سرشاخه رودخانه ها را برطرف نماید. البته باید توجه داشت که دستگاه مورد بحث دارای تفاوت هایی با نمونه های مشابه موجود در دنیا (دستگاه نمونه بردار رواناب Hatch Sigma SD900 Sampler و دستگاه نمونه بردار رواناب رسوب Campbell Scientific CS6500 Integrated Water Sampler) است؛ بنابراین هدف ما در این مطالعه توسعه یک دستگاه پایش خودکار پایش رواناب و رسوب ارزان می باشد که قابلیت استعلام وضعیت خروجی حوضه آبخیز را در هر لحظه داشته باشد و بستر انجام پژوهش های آبخیزداری همچون مدل سازی بارش- رواناب، فرسایش و رسوب و همچنین ارزشیابی پروژه های آبخیزداری را در آبخیزهای بالادست تسهیل نماید.

مواد و روش ها

طراحی و ساخت دستگاه پایش رواناب و نمونه بردار رسوب معلق

این روستا از مسئولان مبنی بر احداث بند کنترل سیل یا ساخت کانال هدایت رواناب و رسوب خروجی از این زیرحوضه، اندازه‌گیری رواناب و رسوب آن برای شناخت و کمی‌سازی عکس‌العمل هیدرولوژیک آن و طراحی دقیق پروژه مناسب از اهمیت زیادی برخوردار است.

عرض جغرافیایی "۳۷° ۳۷' ۱۴" تا "۳۷° ۳۸' ۰۷" شمالی واقع شده و مساحت آن ۷۴/۵ هکتار و کاربری آن مرتع می‌باشد (شکل ۱). رواناب و رسوب خروجی این حوضه، در زمان وقوع رگبارهای شدید، وارد روستای قپان شده و خسارت‌هایی را بر ساکنان آن و همچنین جاده اصلی کلاله - مراوه تپه تحمیل می‌نماید. با توجه به انتظارات اهالی



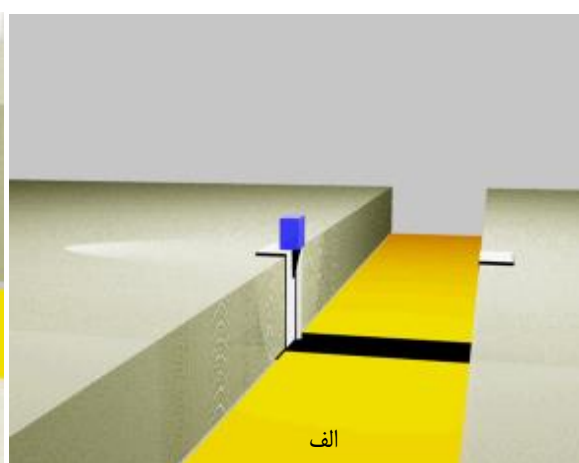
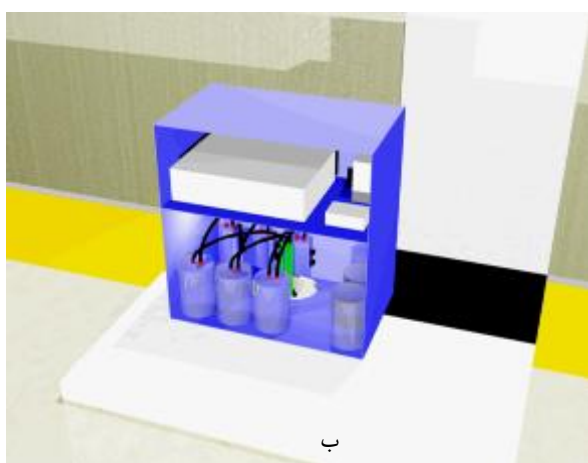
شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان گلستان و ایران
Figure 1. Location of the study area in the Golestan province and Iran

کردن ظرف نگهداری نمونه اقدام می‌کند و بعد از پر شدن ظرف نمونه، پمپ غیرفعال می‌شود. در نمونه آزمایشی فعلی، با توجه به عمق کم کانال خروجی زیرحوضه مورد مطالعه، دو ارتفاع ۲۰ و ۶۰ سانتیمتری برای اخذ نمونه رواناب به حجم ۰/۵ لیتر تعریف شده است؛ بنابراین در صورتی که سطح رواناب در مقطع جریان مورد نظر، از ۲۰ سانتی‌متر عبور نکند هیچ نمونه‌ای برداشت نمی‌شود؛ اما در صورتی که سطح رواناب از ۲۰ سانتیمتر فراتر رود ولی به ۶۰ سانتی‌متر نرسد، یکبار در شاخه صعودی هیدروگراف و بار دیگر در شاخه نزولی هیدروگراف از عمق ۲۰ سانتی‌متری جریان، نمونه رواناب برداشت می‌شود. در صورتی که عمق جریان آب در محل

این دستگاه قابلیت اندازه‌گیری ارتفاع رواناب را در خروجی حوزه آبخیز با استفاده از سنسور رطوبت‌سنج دارد که سیلاب را در ارتفاع‌های دلخواه (در نمونه اولیه دستگاه که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است سنسورها با فواصل ۳ سانتی‌متر تعبیه شده‌اند. به عبارتی دقت اندازه‌گیری این دستگاه ۳ سانتی‌متر می‌باشد) اندازه‌گیری می‌کند. بخش دیگر این دستگاه برداشت نمونه رواناب جهت اندازه‌گیری رسوب می‌باشد. کارکرد این بخش از دستگاه طوری است که در صورت بالا آمدن سطح آب در مقطع جریان تا ارتفاع‌های تعریف شده توسط کاربر، پمپ خلأ کوچکی که در دستگاه تعبیه شده است فعال می‌شود و نسبت به مکش رواناب و پر

این دستگاه امکان برداشت نمونه رواناب به هر تعداد و در هر ارتفاعی را با توجه به نیازهای تحقیقاتی دارا می‌باشد. از مزایای برجسته این دستگاه می‌توان به اطلاع‌رسانی آن از طریق پیامک اشاره کرد که کاربر را از وضعیت خروجی منطقه اعم از برداشت نمونه رواناب، قطعی جریان برق دستگاه، وضعیت شارژ باتری تعبیه شده برای فعال نگه‌داشتن دستگاه در زمان قطع جریان برق و وقوع رویداد سیل آگاه می‌سازد. همچنین کاربر می‌تواند از طریق گوشی همراه در هر لحظه از زمان با دستگاه ارتباط برقرار کرده و از وضعیت کارکرد دستگاه طراحی شده (برق، باتری، میزان حافظه و ثبت یا عدم ثبت رویداد) از طریق پیامک استعلام بگیرد. (شکل ۲).

مقطع جریان از ۶۰ سانتی‌متر فراتر رود یک نمونه رواناب نیز از عمق ۶۰ سانتی‌متری برداشت می‌شود؛ بنابراین در صورتی که عمق جریان از ۶۰ سانتی‌متر بیشتر باشد، دستگاه به صورت خودکار سه نمونه رواناب از واقعه سیلاب اتفاق افتاده جهت اندازه‌گیری بارمعلق برداشت می‌کند. در صورتی که پمپ خلأ، فعال شود، دستگاه پیامکی را برای گوشی تلفن همراه کاربر تعریف شده ارسال می‌کند تا هم از وقوع جریان سیلاب مطلع شود و هم برای انتقال نمونه‌های رواناب برداشت شده توسط دستگاه به محل آزمایشگاه اندازه‌گیری بارمعلق، به محل ایستگاه مراجعه نماید و ظروف نمونه پر شده را با ظروف نمونه‌گیری خالی جایگزین نماید تا دستگاه برای واقعه رواناب بعدی آماده باشد. شایان ذکر است



شکل ۲- اجزای دستگاه پایش خودکار رواناب و رسوب: الف) تصویر شماتیکی از محل نصب نمونه‌بردار طراحی شده در خروجی منطقه مورد مطالعه، ب) تصویر شماتیکی از فضای داخلی جعبه محافظ تهیه شده برای استقرار برد الکترونیکی، پمپ خلأ و ظروف نمونه‌برداری، پ) جعبه محافظ دستگاه و لوله محافظ سنسورهای اندازه‌گیری ارتفاع رواناب، ت) برد الکترونیکی طراحی شده جهت نمونه‌برداری رواناب و رسوب

Figure 2. The details of the automatic runoff and sediment monitoring device: a) a schematic image of the installation location of the designed sampler at the outlet of the study area, b) a schematic image of the interior of the protective box prepared for the installation of the electronic board, vacuum pump and sampling containers) protective box of the device and protective tube of runoff height measurement sensors, t) electronic board designed for sampling runoff and sediment.

استفاده از منابع قرضه محلی و شن و سیمان) با عرض ۲/۲۳ متر و شیب ۲ درصد احداث گردید (شکل ۳).

جهت اندازه‌گیری رواناب و رسوب معلق ناشی از رخداد بارش در خروجی منطقه مورد مطالعه سطح مقطع منظمی (با



شکل ۳- سطح مقطع با شکل هندسی منظم ساخته شده در خروجی منطقه مورد مطالعه
Figure 3. Regular geometrically shaped cross-section made at the exit of the studied area

در منطقه آورده شده است. این دستگاه، رگبار باران را با دقت ۰/۱ میلی‌متر به صورت رقومی و با انتروال زمانی تنظیم شده به دلخواه کاربر روی حافظه رقومی ثبت می‌کند (شکل ۴).

نصب باران‌نگار
جهت ثبت داده‌های دقیق بارندگی، یک دستگاه باران‌نگار ثبات ترازویی ساخت شرکت واچداگ (WatchDog) در داخل زیرحوضه مورد مطالعه نصب گردید که تصویر آن بعد از نصب



شکل ۴- باران‌نگار نصب شده در منطقه مورد مطالعه
Figure 4. Rainlogger installed in the study area

$$Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در این معادله، R شعاع هیدرولیکی بر حسب m ، با در نظر گرفتن عرض جریان ثابت و ارتفاع آب در هر لحظه توسط دستگاه به دست می‌آید، S شیب کانال در محل مقطع اندازه‌گیری جریان، n ضریب زبری مانینگ، Q دبی جریان بر حسب m^3/s و A سطح مقطع جریان بر حسب m^2 می‌باشد. در محل مقطع اندازه‌گیری جریان، عرض کانال ۲/۲۳ متر و شیب آبراهه ۰/۰۲۵ اندازه‌گیری شد و ضریب مانینگ ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

دستگاه پایش خودکار رواناب و رسوب طراحی شده در این تحقیق، بعد از انجام آزمایش‌های اولیه در محیط آزمایشگاه، برای ارزیابی عملکرد آن در محیط‌های طبیعی، در

محاسبه رسوب معلق

بعد از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه حجم نمونه آب و رسوب محاسبه و سپس داخل ظروف با وزن مشخص منتقل شد. نمونه آب و رسوب در آون به مدت ۲۴ ساعت با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. در نهایت وزن ظرف و رسوب اندازه‌گیری شد و با کم کردن وزن ظرف، وزن خالص رسوب به دست آمد. برای به دست آوردن جرم رسوب از رابطه (۱) استفاده شد. همچنین حجم رسوب کل سیلاب از ضرب وزن رسوب در هر لیتر در حجم کل سیلاب به دست آمد.
رابطه (۱)

وزن آب و رسوب / (۱۰۰۰ * وزن رسوب) = جرم رسوب در هر لیتر

تهیه هیدروگراف سیل

برای تهیه هیدروگراف سیل از فرمول مانینگ (رابطه ۲) استفاده شد.

با توجه به اینکه دستگاه پایش سیل و رسوب ارتفاع رواناب را با فواصل زمانی یک دقیقه ثبت کرده است بنابراین با استفاده از فرمول مانینگ دبی متناظر ارتفاع ثبت شده محاسبه گردید که در آن عرض کانال ۲/۲۳ متر، شیب آبراهه ۰/۰۲۵ و ضریب مانینگ ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. سپس هیدروگراف مربوط به هر رخداد در اکسل رسم شد. بنابراین از روی هیدروگراف رسم شده زمان اوج و دبی حداکثر لحظه‌ای محاسبه گردید. با توجه به اینکه ارتفاع رواناب با فواصل زمانی یک دقیقه ثبت شده بود بنابراین بعد از محاسبه دبی متناظر ارتفاع، مجموع دبی‌های لحظه‌ای برای هر سیلاب محاسبه شد و در فواصل زمانی ارتفاع‌های ثبت شده (۶۰ ثانیه) ضرب شد و حجم هر واقعه محاسبه گردید.

آذر ۱۳۹۹ در خروجی زیرحوضه قپان نصب شد و به مدت ۲ سال تا آذر ۱۴۰۱ حفظ شد. جریان برق مورد نیاز، با کابل کشی از نزدیک‌ترین واحد مسکونی در فاصله ۲۰۰ متری تأمین شد. در این مدت فقط سه مورد رگبار منجر به وقوع رواناب در این زیرحوضه اتفاق افتاد. خوشبختانه، دستگاه مورد نظر، هر سه رخداد سیلاب (۱۴۰۰/۳/۶، ۱۴۰۰/۴/۹ و ۱۴۰۱/۵/۱۸) را ثبت نمود (شکل ۵) که هیدروگراف‌های آن در شکل‌های ۶ الی ۱۱ ارائه شده است. خلاصه اطلاعات وقایع بارش - رواناب ثبت شده با دستگاه پایش خودکار رواناب و رسوب نصب شده در خروجی منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است.

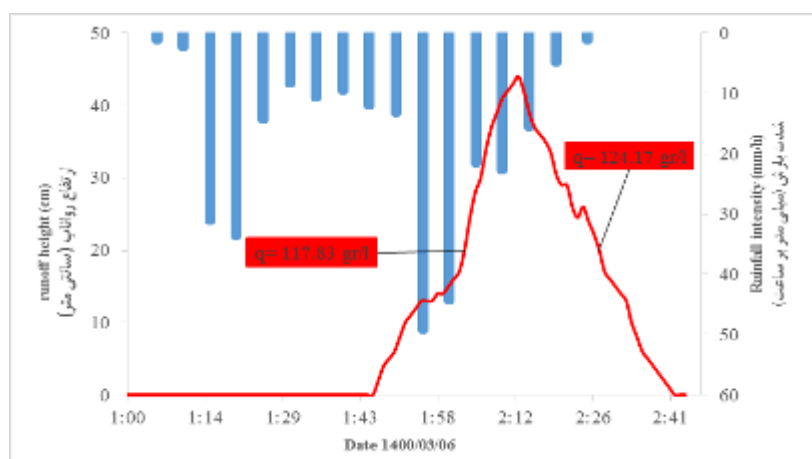


شکل ۵- خروجی منطقه مورد مطالعه بعد از سیلاب
Figure 5. Outlet of the studied area after the flood

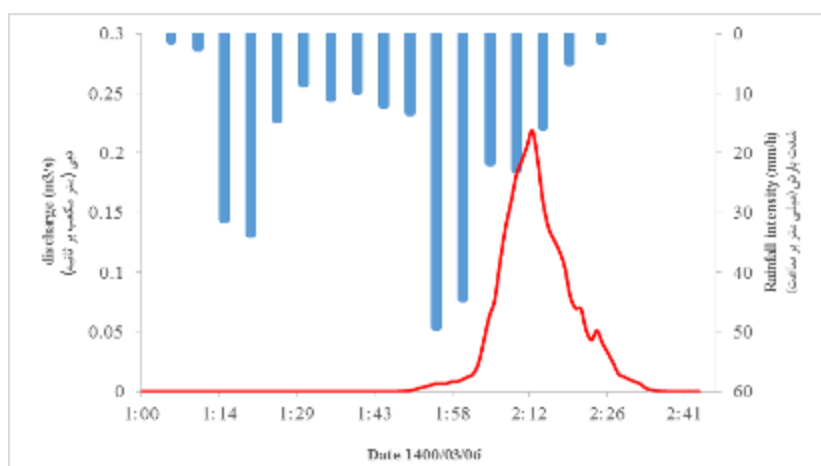
جدول ۱- خلاصه اطلاعات وقایع بارش - رواناب ثبت شده

Table 1. Summary of recorded rainfall-runoff events

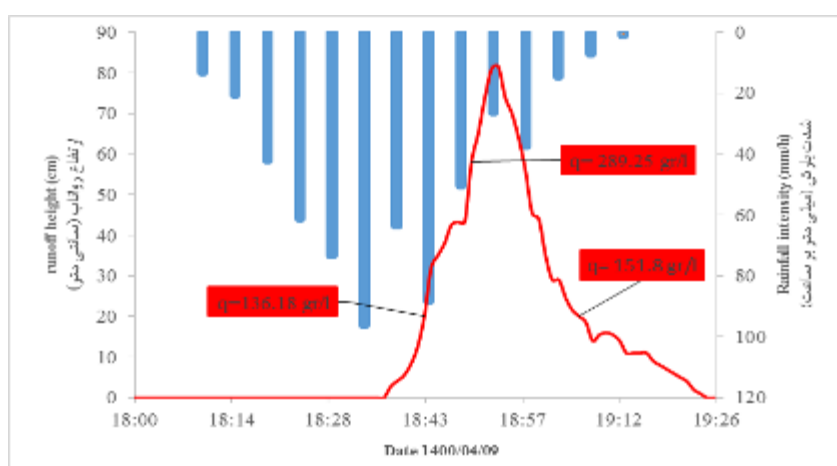
2022/08/09	2021/06/30	2021/05/27	تاریخ رخداد date event
30.4	49.6	24.7	کل بارش (mm) total precipitation (mm)
17:00	18:10	1:05	زمان شروع بارش Start time of rainfall
18:30	19:15	2:26	زمان خاتمه بارش End time of rain
0.32	1.01	0.21	دبی حداکثر لحظه‌ای (m ³ /s) Instantaneous maximum flow rate (m ³ /s)
13	16	26	زمان اوج (min) Peak time (min)
125.13	496.15	171.19	حجم سیل (m ³) Flood volume (m ³)
0.23	0.66	0.16	عمق رواناب (mm) Runoff depth (mm)
0.55	1.34	0.93	ضریب رواناب (%) Runoff coefficient (%)
82.92	136.18	117.83	غلظت رسوب (گرم بر لیتر) در ارتفاع ۲۰ سانتی‌متری شاخه صعودی Sediment concentration (g/l) at the height of 20 cm of the ascending branch
-	289.25	-	غلظت رسوب (گرم بر لیتر) در ارتفاع ۶۰ سانتی‌متری شاخه صعودی Sediment concentration (g/l) at the height of 60 cm of the ascending branch
98.17	151.8	124.17	غلظت رسوب (گرم بر لیتر) در ارتفاع ۲۰ سانتی‌متری شاخه نزولی Sediment concentration (g/l) at the height of 20 cm of the descending branch



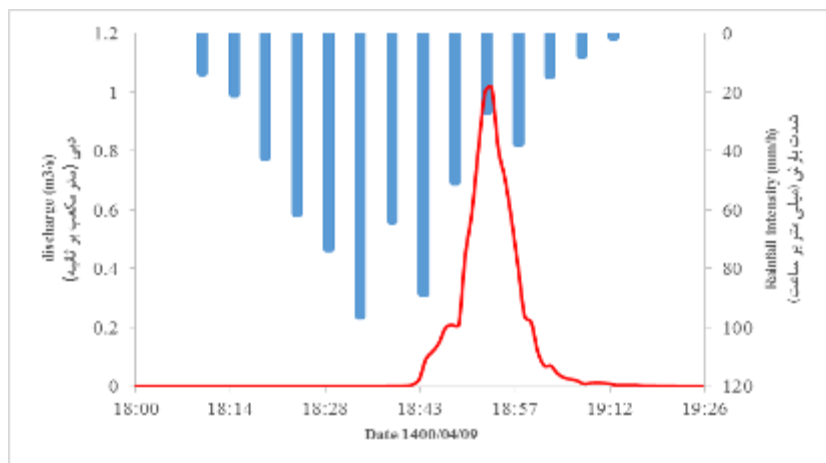
شکل ۶- ارتفاع ثبت شده در سیلاب ۱۴۰۰/۰۳/۰۶
Figure 6. Recorded heights of flood on 2021/05/27



شکل ۷- هیدروگراف بدست آمده از اطلاعات دستگاه پایش خودکار در سیلاب ۱۴۰۰/۰۳/۰۶
Figure 7. Hydrograph obtained from the data recorded by the automatic monitoring device for flood event on 2021/05/27

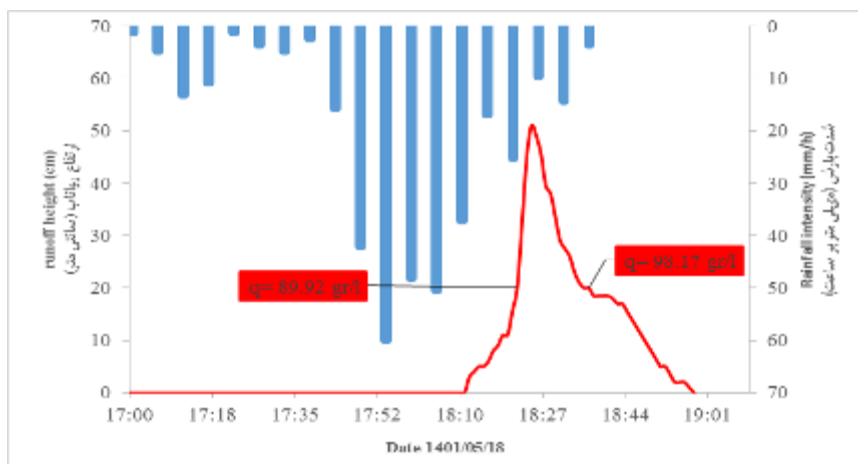


شکل ۸- ارتفاع ثبت شده در سیلاب ۱۴۰۰/۰۴/۰۹
Figure 8. Recorded heights for flood event on 2021/06/30



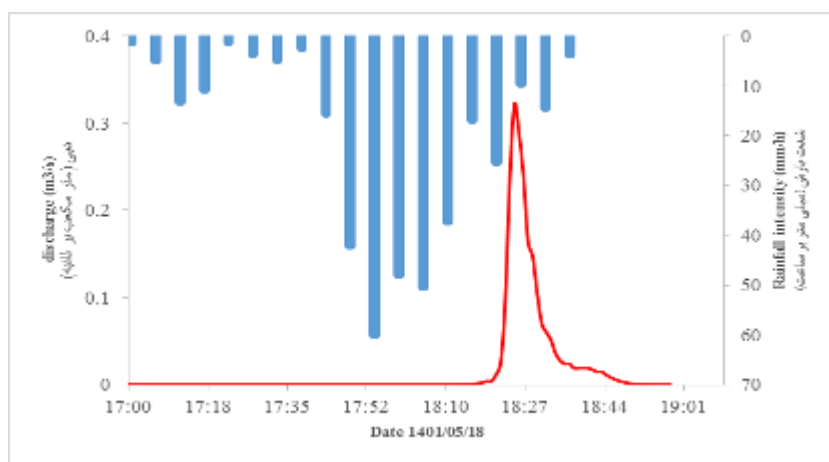
شکل ۹- هیدروگراف بدست آمده از اطلاعات دستگاه پایش خودکار در سیلاب ۱۴۰۰/۰۴/۰۹

Figure 9- Hydrograph obtained from the data recorded by the automatic monitoring device for flood event on 2021/06/30



شکل ۱۰- ارتفاع ثبت شده در سیلاب ۱۴۰۱/۰۵/۱۸

Figure 10. Recorded height for flood event on 2022/08/9



شکل ۱۱- هیدروگراف بدست آمده از اطلاعات دستگاه پایش خودکار در سیلاب ۱۴۰۱/۰۵/۱۸

Figure 11. Hydrograph obtained from the recorded data by the automatic monitoring device for flood event on 2022/08/09

مقطع اندازه‌گیری جریان کمتر از ۶۰ سانتی‌متر بوده است در طول این رخدادها، دستگاه پایش سیل و رسوب موردنظر فقط تعداد ۲ نمونه رواناب (ارتفاع ۲۰ سانتی‌متری شاخه صعودی و

همان‌طور که در شکل‌های شماره ۶ و ۱۰ مشخص شده است در رخدادهای سیل تاریخ‌های ۱۴۰۰/۰۳/۰۶ و ۱۴۰۱/۰۵/۱۸ به دلیل اینکه ارتفاع حداکثر سیل در محل

رودخانه‌ها، پدیده پس افت از نوع یک یا ساعتگرد می‌باشد و غلظت بار معلق در شاخه صعودی بیشتر از شاخه نزولی است، فراوانی پدیده حلقه پس افت خلاف ساعتگرد یا نوع سوم کمتر رایج است. در حلقه پس افت نوع سوم، برای یک دبی معین، غلظت بار معلق در شاخه نزولی بیشتر از شاخه صعودی است. حلقه پس افت خلاف ساعتگرد به دلیل تأخیر در انتقال بار رسوبی از آبراهه‌های فرعی اتفاق می‌افتد و یا منشاء اصلی رسوب مناطق بالادست حوضه یا فرو ریختن دیواره‌های جانبی رودخانه اصلی در طول شاخه نزولی است (Gellis, 2013). این نوع حلقه پس افت در آبخیزهای کوچک (Kothyari, Tiwari, & Singh, 1997) و مناطق لسی (Yu, Shi, & Zhang, 2023) بیشتر رایج است. منطقه مورد مطالعه در این تحقیق نیز، یک زیرحوضه کوچک در اراضی لسی شرق گلستان است؛ بنابراین یافته‌های این تحقیق، با یافته‌های تحقیقات پیشین همسو است و بیانگر کارایی مناسب دستگاه در پایش پدیده‌های واقعی است.

همانطور که در بخش مواد و روش اشاره گردید، عمق و تعداد نمونه‌برداری رواناب می‌تواند به دلخواه کاربر و مطابق ویژگی‌های مقطع خروجی آبخیز و اهداف کاربرد دستگاه تنظیم شود. با توجه به تعداد کم رخدادهای سیل ثبت شده در خروجی زیرحوضه مورد مطالعه در این تحقیق و استفاده از رابطه تجربی برای تبدیل داده‌های عمق جریان به دبی جریان، جهت بررسی کارایی و عدم قطعیت‌های احتمالی این دستگاه پیشنهاد می‌شود در آزمایشگاه هیدرولیک مجهز به ادوات سنجش جریان مورد بررسی بیشتر قرار گیرد.

۲۰ سانتی‌متری شاخه نزولی) برداشت کرده است؛ اما در رخداد سیل تاریخ ۱۴۰۰/۰۴/۰۹ که حداکثر ارتفاع سیل در محل مقطع اندازه‌گیری جریان بیش از ۶۰ سانتی‌متر بوده است تعداد سه نمونه رواناب توسط دستگاه پایش سیل و رسوب برداشت شده است. برای اطمینان از عملکرد دستگاه پایش سیل و رسوب نصب شده، از دو نفر از اهالی روستای قپان که منزل آن‌ها در کنار مجرای انتقال سیل قرار داشت درخواست شد که وقوع هرگونه رخداد رواناب خروجی از زیرحوضه را بلافاصله گزارش دهند. این افراد نیز فقط همین سه مورد وقوع سیل را گزارش دادند که با رخدادهای سیل ثبت شده توسط دستگاه کاملاً منطبق است. شکل ۱۲، تصاویری از نمونه‌های رواناب برداشت شده و انتقال داده‌های ثبت شده توسط دستگاه پایش را بعد از وقوع یکی از رخدادهای سیل نشان می‌دهد. نمونه‌های رواناب جمع‌آوری شده، به آزمایشگاه منتقل شدند تا غلظت بار معلق خروجی از زیرحوضه در زمان وقوع رخدادهای سیل اندازه‌گیری شود. نتایج اندازه‌گیری غلظت بار معلق برای شاخه‌های صعودی و نزولی هیدروگراف هر سه رخداد سیل در جدول ۱ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود برای یک دبی مشخص، غلظت بار معلق در شاخه نزولی بیشتر از شاخه صعودی است. غلظت بار معلق در بسیاری از رودخانه‌ها، برای یک مقدار معین دبی تغییرات زیادی دارد که به پدیده حلقه پس افت^۱ نسبت داده می‌شود که در اثر آن، مقدار بار معلق برای یک دبی معین در شاخه صعودی و نزولی هیدروگراف می‌تواند کمتر یا زیاده‌تر باشد (Gellis, 2013; Sadeghi et al., 2008; Yu, Shi, & Zhang, 2023). اگرچه، در اغلب



شکل ۱۲- نمونه سیلاب برداشت شده توسط دستگاه پایش خودکار رواناب و رسوب

Figure 12. The flood sample taken by the automatic runoff and sediment monitoring device



توزیع نسبتاً متقارنی دارند (شکل ۷) ولی برای دو رخداد دیگر، هر دو شکل هیدروگراف سیل و هایتوگراف بارش، دارای چولگی مثبت هستند (شکل‌های ۹ و ۱۱). همچنین با توجه به هیدروگراف سیلاب‌های ثبت شده مشخص شد این دستگاه قادر به ثبت سیلاب‌های کوچک رخ داده در مقیاس زیرحوضه کوچک نیز می‌باشد که می‌توان از آن به عنوان یک مزیت نام برد و اطلاعات رواناب‌های اندک خروجی از آبخیزهای کوچک مقیاس را با دقت قابل‌قبولی ثبت نمود؛ بنابراین این

در این پژوهش داده‌های بارندگی به وسیله باران‌نگار ثابت رقومی نصب شده در منطقه مورد مطالعه اندازه‌گیری شد. مقادیر بارندگی با فاصله زمانی ۵ دقیقه اندازه‌گیری شد. بررسی نظیر به نظیر هیدروگراف سیلاب‌های ثبت شده توسط دستگاه طراحی شده و هایتوگراف بارندگی اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد که هیدروگراف سیلاب‌ها با هایتوگراف بارش‌ها تطابق خوبی دارد. به‌طوریکه برای رخداد بارش- رواناب تاریخ ۱۴۰۰/۳/۶، هم شکل هیدروگراف و هم شکل هایتوگراف

دستگاه را می توان برای پایش و ارزشیابی اقدامات آبخیزداری انجام شده در سرشاخه ها مورد استفاده قرار داد.

هیدروگراف حاصل از دستگاه های اندازه گیری به خصوص دستگاه پایش خودکار رواناب به صورت مستقیم با استفاده از سیستم های اندازه گیری و سنسورهای دقیق برآورد می شود. این داده ها از تغییرات سطح آب در طی یک رخداد در طول زمان ثبت می شود.

در حالی که روابط تجربی و مدل های بارش- رواناب به عنوان یک ابزار پایدار برای تخمین هیدروگراف خروجی آبخیزها، با استفاده از داده های دیگر مانند بارش، تبخیر، نفوذپذیری و ... به طور گسترده ای مورد استفاده قرار می گیرند؛ این روابط و مدل ها، دارای پارامترهایی هستند که برآورد مقدار آن ها کار ساده ای نیست و معمولاً همراه با خطا هستند؛ بنابراین هیدروگراف های به دست آمده از آن ها دارای عدم قطعیت هستند و ریسک تصمیم گیری و اجرای اقدامات بر اساس آن ها بالاست.

هر چند روابط تجربی و مدل های بارش- رواناب معمولاً شکل هیدروگراف قابل قبولی برای زیرحوضه های فاقد آمار ارائه می دهند، اما نمی توانند به دقت تغییرات جزئی لحظه ای در هیدروگراف واقعی خروجی آبخیز را به نمایش بگذارند و معمولاً هیدروگراف حاصل از آن ها شکل منظم تری دارد در حالی که هیدروگراف حاصل از دستگاه های اندازه گیری نوسانات و تغییرات لحظه ای را نیز ثبت می کنند و دقت بالایی دارند. به علاوه، روابط تجربی تحت تأثیر تغییرات محیطی قرار می گیرند و نتایج آن ها برای شرایط آینده ممکن است ناسازگار باشند.

دستگاه پایش خودکار رواناب و رسوب، یکی از ابزارهای مهم برای پایش رواناب و رسوب در خروجی حوزه های آبخیز می باشد. این دستگاه برای اندازه گیری پارامترهای مختلفی مانند دبی جریان، ارتفاع آب و بار رسوب معلق طراحی شده است. مزایای استفاده از دستگاه پایش خودکار رواناب و رسوب عبارتند از:

۱- **کاهش هزینه ها:** استفاده از دستگاه پایش خودکار رواناب و رسوب می تواند هزینه های پایش رواناب و رسوب را کاهش دهد، زیرا این دستگاه قابلیت پایش و اندازه گیری خودکار پارامترهای مورد نیاز را در طول زمان دارد و نیازی به حضور مأمور پایش در زمان وقوع رخداد سیل و انجام اندازه گیری های دستی نیست.

۲- **دقت بالا:** دستگاه پایش خودکار رواناب و رسوب به دلیل استفاده از تعداد زیادی حسگرهای حساس به رطوبت از نوع آنالوگ در بدنه یک لوله با پیچ های آلومینیومی به فواصل ۳ سانتی متر نصب گردیده است که به محض تماس رطوبت ناشی از سیل به هر قسمت از این سنسورها ارتفاع سیل توسط پردازشگر محاسبه، ثبت و اطلاع رسانی انجام می گیرد.

۳- **زمان بندی منظم:** دستگاه پایش خودکار رواناب و رسوب به صورت خودکار زمان بندی شده است که می تواند نمونه سیلاب را در بازه های زمانی مشخص اندازه گیری کند و در صورت نیاز به طور خودکار اطلاع رسانی کند.

۴- **اطلاعات بیشتر:** دستگاه پایش خودکار رواناب و رسوب قادر به اندازه گیری پارامترهای مختلفی است که به دلیل محدودیت های اندازه گیری دستی، ممکن است در دسترس نباشند. با تجهیزاتی پایش خودکار، می توان بیشترین اطلاعات ممکن را جمع آوری کرد.

۵- **پایش طولانی مدت:** دستگاه پایش خودکار رواناب و رسوب، قادر به پایش طولانی مدت جریان و تولید داده های ارزشمند در مناطق دور دست است. در صورت تأمین مستمر انرژی الکتریکی مورد نیاز، این دستگاه می تواند کار پایش ارتفاع رواناب را به مدت چندین ماه پیوسته پایش کند و داده تولید کند.

۶- **پایش زمان واقعی:** دستگاه پایش خودکار رواناب و رسوب قادر به پایش و اندازه گیری پارامترهای مورد بررسی در زمان واقعی است، بنابراین امکان دسترسی به اطلاعات جریان رواناب در هر لحظه از زمان وجود دارد. این قابلیت، استفاده این دستگاه را در سامانه های هشدار سیل زمان- واقعی مقدور می سازد.

۷- **کاهش خطرات:** با استفاده از دستگاه پایش خودکار رواناب و رسوب، امکان ثبت اطلاعات در مواقع سیلابی که اندازه گیری دستی با خطرات زیادی همراه می باشد امکان پذیر است.

به طور کلی، دستگاه پایش خودکار رواناب و رسوب به دلیل دقت نسبتاً بالا، قابلیت پایش مستمر، پایش زمان- واقعی و قیمت تمام شده کمتر، ابزار مناسبی برای انجام پایش خودکار رواناب و رسوب در مناطق دور افتاده و آبخیزهای بالادست است.

نتیجه گیری کلی

داده و اطلاعات در مدیریت سیستم آبخیز و منابع آب، اهمیت ویژه ای دارند. در دنیای امروز، با توجه به تغییرات آب و هوایی و رشد جمعیت و مداخلات انسانی گسترده در سیستم های طبیعی، مدیریت منابع آب و آبخیزها به یک چالش بزرگ تبدیل شده است. در این بین، داده و اطلاعات به عنوان ابزاری مهم در مدیریت و برنامه ریزی منابع آب و آبخیزها محسوب می شوند. فراهمی داده و اطلاعات در مدیریت سیستم آبخیز و منابع آب، به ارتقای بهره وری و بهینه سازی استفاده از منابع آب، پیشگیری از خطرات طبیعی مانند سیلاب و خشکسالی، مدیریت کیفیت آب، بهبود مدیریت عرضه و تقاضای آب کمک می کند. در چرخه تولید دانش، داده های خام اندازه گیری شده نقش هسته اولیه را ایفا می کنند و با پردازش این داده های خام، اطلاعات ارزشمند تولید می شود. تحلیل و سنتز این اطلاعات ارزشمند منجر به تولید دانش می شود که بستر مدیریت علمی و آگاهانه محیط پیرامون و سیستم های مورد بهره برداری را فراهم می کند. علاوه بر آن، مدیریت علمی یک پروژه شامل چهار مرحله ارزیابی وضع موجود، طراحی و برنامه ریزی، اجرا، پایش و ارزشیابی می باشد. پایش مستمر و تولید داده طولانی مدت از یک سیستم، هم برای تحقق بهینه مرحله ارزیابی وضع موجود (قبل از شروع پروژه) و هم امکان پایش و ارزشیابی اثربخشی اقدامات انجام شده در قالب پروژه (بعد از اتمام

ارزان قیمت در آبخیزهای کوچک مقیاس بالادست که سر منشأ تولید آب، سیل و رسوب هستند بسیار ضروری است. با توجه به اهمیت مواردی نظیر نیاز به داشتن اطلاعات دقیق از میزان رسوبات معلق و میزان رواناب در برنامه‌ریزی‌های کلان و منطقه‌ای، ناکافی بودن سیستم نمونه‌برداری رسوبات معلق و ثبت سیلاب در کشور و نیز برای تکمیل کار محققین قبلی، دستگاه پایش خودکار سیل و رسوب تهیه و کارایی و قابلیت آن در شرایط طبیعی در خروجی حوزه آبخیز بررسی شد. این اقدام به منظور فراهم کردن داده‌های دقیق و قابل اعتماد از سیلاب برای آینده کشور و تصمیم گیران سطح کلان حائز اهمیت می‌باشد.

پروژه ضروری است. متأسفانه اکثر قریب به اتفاق طرح‌ها و پروژه‌های حفاظت آب و خاک اجرا شده در حوزه‌های آبخیز بالادست، از فقر سیستم پایش و فقدان داده‌های کافی رنج می‌برند و کمی‌سازی اثربخشی آن‌ها درهاله‌ای از ابهام قرار دارد. اگرچه ایستگاه‌های آبسنجی (هیدرومتری) متعددی توسط وزارت نیرو نصب شده و در حال بهره‌برداری و تولید داده‌های آب و رسوب می‌باشند، اما اولاً اکثر این ایستگاه‌ها روی رودخانه‌های اصلی در پائین‌دست آبخیزهای بزرگ مستقر هستند، ثانیاً نصب و بهره‌برداری آن‌ها بسیار گران تمام می‌شود؛ بنابراین وجود ایستگاه‌های پایش آب و رسوب ساده و

References

- Al-Hamdan, O. Z., Pierson, F. B., Nearing, M. A., Williams, C. J., Hernandez, M., Boll, J., Nouwakpo, S. K., Weltz, M. A., & Spaeth, K. (2017). Developing a parameterization approach for soil erodibility for the Rangeland Hydrology and Erosion Model (RHEM). *Transactions of the ASABE*, 60(1), 85-94.
- Arabkhedri, M., & Khani, S. H. (2001). Validity of Extrapolation Methods for Estimating the Mean Annual Suspended Sediment yield (17 hydrometric Stations in the Country). *Journal of Agriculture and Natural Resources Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 3, 123-132 (In Persian).
- Barzegari banadkahi, F. (2015, December 2015.). *Construction and performance evaluation of digital suspended sediment sampler* International Conference on Science and Engineering, Dubai UAE (In Persian).
- Bshir, D., & Garba, M. (2003). *Hydrological monitoring and information system for sustainable basin management*. In Proceedings of the First Annual Conference of the Nigerian Association of Hydrological Sciences, Federal University of Technology, Yola, Adamawa, Nigeria
- Buytaert, W., Dewulf, A., De Bièvre, B., Clark, J., & Hannah, D. M. (2016). Citizen science for water resources management: toward polycentric monitoring and governance? In (Vol. 142, pp. 01816002): American Society of Civil Engineers.
- Depetris, P. (2021). The Importance of Monitoring River Water Discharge. *Frontiers in Water*, 3, 745912.
- Dosskey, M., Hoagland, K., & Brandle, J. (2007). Change in filter strip performance over ten years. *Journal of soil and water conservation*, 62(1), 21-32.
- Edwards, T. K., Glysson, G. D., Guy, H. P., & Norman, V. W. (1999). *Field methods for measurement of fluvial sediment*. US Geological Survey Denver, CO.
- Eltner, A., Mulsow, C., & Maas, H.-G. (2013). Quantitative measurement of soil erosion from TLS and UAV data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40, 119-124.
- Gellis, A. C. (2013). Factors influencing storm-generated suspended-sediment concentrations and loads in four basins of contrasting land use, humid-tropical Puerto Rico. *Catena*, 104, 39-57.
- Heidarnejad, M., Golmaee, S. H., Mosaedi, A., & Ahmadi, M. Z. (2006). Estimation of sediment volume in Karaj Dam Reservoir (Iran) by hydrometry method and a comparison with hydrography method. *Lake and Reservoir Management*, 22(3), 233-239.
- Hunger, M., & Döll, P. (2008). Value of river discharge data for global-scale hydrological modeling. *Hydrology and Earth System Sciences*, 12(3), 841-861.
- Isazade, G. V., & Alieigiy, B. Z. (2022). Simulation of Flood Prone Areas using Perceptron Neural Network and GIS (Study Area: Zolachai watershed, Salmas City). *Journal of Watershed Management Research*, 12(24), 108-197 (In Persian).
- Kiyani Majd, M., Nohtani, M., Dehmardeh Ghaleh No, M. R., & Shikh, Z. (2023). Simulating the Runoff of Watersheds in Dry Areas on A Monthly Scale using the SWAT Model (Case Study: Lar Watershed). *Journal of Watershed Management Research*, 14(27), 135-145 (In Persian).
- Kothyari, U., Tiwari, A., & Singh, R. (1997). Estimation of temporal variation of sediment yield from small catchments through the kinematic method. *Journal of hydrology*, 203(1-4), 39-57.
- Mohammadi Ostadkalateh, A. (2002). *Optimizing the relationship between discharge and suspended sediment in selected stations of Gorganrud River* Gorgan University] (In Persian).
- National Meteorological Organization of Iran. (2021).
- Nehls, T., Nam Rim, Y., & Wessolek, G. (2011). Technical note on measuring run-off dynamics from pavements using a new device: the weighable tipping bucket. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(5), 1379-1386.
- Nystuen, J. A. (1999). Relative performance of automatic rain gauges under different rainfall conditions. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 16(8), 1025-1043.

- Pinson, W. T., Yoder, D. C., Buchanan, J. R., Wright, W. C., & Wilkerson, J. B. (2004). Design and evaluation of an improved flow divider for sampling runoff plots. *Applied Engineering in Agriculture*, 20(4), 433-438.
- Porhemmat, J., & Dumiri Ganji, M. (2005). *Analysis of sediment supply relations in the hydrometric stations of Handijan-Jarhiri basin*. Proceedings of the 3rd National Conference on Erosion and Sedimentation in Tehran, Iran's Soil Conservation and Watershed Research Center., Tehran (In Persian).
- Radatz, T. F., Thompson, A. M., & Madison, F. W. (2013). Soil moisture and rainfall intensity thresholds for runoff generation in southwestern Wisconsin agricultural watersheds. *Hydrological Processes*, 27(25), 3521-3534.
- Sadeghi, S., Mizuyama, T., Miyata, S., Gomi, T., Kosugi, K., Fukushima, T., Mizugaki, S., & Onda, Y. (2008). Determinant factors of sediment graphs and rating loops in a reforested watershed. *Journal of hydrology*, 356(3-4), 271-282.
- Sharma, R., Mishra, D. R., Levi, M. R., & Sutter, L. A. (2022). Remote Sensing of Surface and Subsurface Soil Organic Carbon in Tidal Wetlands: A Review and Ideas for Future Research. *Remote Sensing*, 14(12), 2940.
- Stagnaro, M., Colli, M., Lanza, L. G., & Chan, P. W. (2016). Performance of post-processing algorithms for rainfall intensity using measurements from tipping-bucket rain gauges. *Atmospheric Measurement Techniques*, 9(12), 5699-5706.
- Stewart, B. (2015). Measuring what we manage—the importance of hydrological data to water resources management. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 366, 80-85.
- Stomph, T., De Ridder, N., Steenhuis, T., & Van de Giesen, N. (2002). Scale effects of Hortonian overland flow and rainfall-runoff dynamics: Laboratory validation of a process-based model. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 27(8), 847-855.
- Tan, Q., Liu, S., Chen, X., Wu, M., Wang, H., Yin, H., He, D., Xiong, H., & Zhang, J. (2012). Design and evaluation of a novel evodiamine-phospholipid complex for improved oral bioavailability. *Aaps Pharmscitech*, 13, 534-547.
- Telvari, A. R. (2003). The relationship between the amount of suspended sediment and some watershed characteristics in Dez and Karkheh sub-basins. . *Research and Construction*, 3(5), 56-68 (In Persian).
- Terakawa, A. (2003). *Hydrological data management: Present state and trends*. Secretariat of the World Meteorological Organization.
- USGS. (2006). Benefits of the USGS Stream Gauging Program – Users and uses of US stream flow data. . 82.
- WMO. (2008). Guide to Hydrological Practices. *World Meteorological Organization*.
- Wood, E. F. (1998). 'Hydrologic measurements and observations: An assessment of needs. Proc., 1997 Abel Wolman Distinguished Lecture and Symposium on Hydrologic Sciences,
- Yu, B., Shi, Z., & Zhang, Y. (2023). Linking hydrological and landscape characteristics to suspended sediment-discharge hysteresis in Wudinghe River Basin on the Loess Plateau, China. *Catena*, 228, 107169.
- Zoratipour, A., Mahdavi, M., Khalighi Sigaroudi, S., Salajgheh, A., & Shams al-Maali, N. (2008). Investigating the effect of sediment classification on the improvement of hydrological methods for estimating the suspended load of rivers (case study: Taleghan watershed). *Iranian Natural Resources Journal*, 4(61), 819-831 (In Persian).