

## طراحی و ساخت دستگاه پایش خودکار سیل و رسوب

حسن رضایی مقدم<sup>۱</sup>، واحدبردی شیخ<sup>۲</sup>، مریم آذرخشی<sup>۳</sup>، محسن حسینعلی زاده<sup>۴</sup> و جهانگیر محمدی<sup>۵</sup>

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

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

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

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

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

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۵/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۳۰

### چکیده مسوط

**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 بطور یکجا هر دو مولفه را پایش نماید وجود ندارد. 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 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 قپان 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 نیم لیتری 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.

**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. نتیجه‌گیری: 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، هیدروگراف سیل، نمونه‌برداری معلق

### مقدمه

متناسب با هدف مدنظر نیستند. برای مثال، در زمینه‌هایی که امنیت جانی انسان‌ها مطرح است (همچون طراحی سازه‌ها و سیستم هشدار سیل) داده‌ها بایستی از کیفیت و دقت بیشتر و فاصله زمانی کوتاه‌تر برخوردار باشند (WMO, 2008). مشاهدات هیدرولوژیکی، روشی برای شفاف‌سازی کمی فرآیندهای چرخه آب است که طیف بسیار وسیعی از پدیده‌ها را در بر می‌گیرد. امروزه پدیده سیل یکی از پیچیده‌ترین رخدادهای مخاطره آمیز است که بیش از سایر بلایای طبیعی همه ساله در نقاط مختلف دنیا منجر به خسارت‌های مالی و جانی زیادی می‌شود (Isazade & Alieigy, 2022). پیشگیری از بلایای ناشی از سیل و خشکسالی، بدون فناوری پیش‌بینی منطقی مبتنی بر درک پدیده بارش-رواناب و تجزیه و تحلیل آماری داده‌های هیدرولوژیکی گذشته غیرممکن خواهد بود و داده‌های هیدرولوژیکی گذشته بدون اندازه‌گیری‌های هیدرولوژیکی فراهم نخواهند شد (Terakawa, 2003).

حوزه‌های آبخیز و منابع آن را نمی‌توان به درستی 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 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، نقشه‌برداری دشت‌های سیلابی، تعیین و پایش جریان‌های زیست‌محیطی یا اکولوژیکی؛ مدیریت حقایقه‌ها و مسائل آب‌های فرامرزی؛ آموزش و پژوهش؛ حفاظت کیفیت آب و تنظیم تخلیه آلاینده‌ها (USGS, 2006). کیفیت داده‌های مورد نیاز برای یک هدف خاص تا حد زیادی به الزامات زمینه‌های کاربردی فوق بستگی دارد و باید توجه کرد که همه داده‌ها در همه زمینه‌های کاربردی

علیرغم موارد اشاره شده در بالا، شواهد فزاینده‌ای وجود دارد که نشان می‌دهد تعداد شبکه‌های پایش هیدرولوژیکی رو به کاهش هستند (Bshir & Garba, 2003). بدیهی است که هزینه نگهداری سیستم‌های رصد هیدرولوژیکی در حال افزایش است و وعده فناوری‌های نسل جدید که داده‌های باکیفیت را با هزینه‌های کمتر ارائه می‌دهند در حال حاضر محقق نشده است (Buytaert et al., 2016). بنابراین ضروری است که جامعه هیدرولوژیست‌ها، همراه با صنعت ابزار دقیق هیدرولوژیکی، به دنبال بهبودهایی در سیستم‌های پایش باشند که جمع‌آوری داده‌های با کیفیت را از طریق سیستم‌هایی که راحت‌تر مدیریت و نگهداری می‌شوند، امکان‌پذیر می‌سازند. دولت‌ها باید بدانند که جمع‌آوری داده‌های با کیفیت و دقت مورد نیاز هزینه‌بردار هستند، اما منافع ناشی از آن، به‌ویژه در دنیای در حال تغییر و بسیار متغیر بسیار بیشتر از هزینه‌های آن است (Stewart, 2015).

در مطالعات حوزه آبخیز، سری‌های زمانی مشاهده شده دبی رودخانه به طور گسترده برای بهینه‌سازی پارامترهای مدل استفاده می‌شود تا تناسب رضایت بخشی بین دبی مدل‌سازی شده و مشاهده شده به دست آید. تنظیم پارامترها، یعنی واسنجی مدل، با استفاده از داده‌های مشاهداتی دبی که دربرگیرنده اطلاعات جامع در مورد فرآیندهای حوضه است، منجر به کاهش عدم قطعیت نتایج مدل‌ها می‌شود. دبی رودخانه در نقطه خروجی یک حوضه یک متغیر هیدرولوژیکی منحصر به فرد است زیرا در برگرفته برآیند نهایی تعداد زیادی جریان (عمودی و افقی) و فرآیندهای انتقال در کل حوضه است. دبی رودخانه که در یک مکان اندازه‌گیری می‌شود، جریان‌های ورودی سیستم (مانند بارش)، جریان‌های خروجی (مانند تبخیر و تعرق) و تغییرات ذخیره آب (به عنوان مثال در دریاچه‌ها و آب‌های زیرزمینی) در کل منطقه بالادست را منعکس می‌سازد. در حالی که اندازه‌گیری سایر متغیرهای هیدرولوژیکی، به عنوان مثال، بارش، تبخیر و تعرق و تغذیه آب زیرزمینی، در هر مکان، فقط فرآیندهای محلی را منعکس می‌کند و تعداد زیادی مشاهده از مقادیر این متغیرها در جاهای مختلف یک حوضه برای توصیف بیابان 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 حوضه‌های آبخیز با دقت قابل قبولی صورت نگیرد (Kiyani Majd et al., 2023). اگرچه ارزش اطلاعات دبی رودخانه در فرآیند مدل‌سازی حوضه کاملاً شناخته شده است اما تعداد ایستگاه‌های پایش دبی جریان، بویژه در مناطق کوهستانی و آبراهه‌های با رتبه‌های پائین تر بسیار محدود است. این خلأ داده‌ای و اطلاعاتی، باعث آسیب‌پذیری بالا در برابر سیل‌های ناگهانی می‌شود. مدل‌های رخداد محور متعددی برای شبیه‌سازی فرآیندهای بارش-رواناب، سیل‌های ناگهانی، فرسایش خاک و پیش‌بینی زمان-واقعی سیل‌های ناگهانی وجود دارد. مدل‌های رخداد محور کاربرد زیادی در طراحی سازه‌ها و اقدامات دارند ولی به دلیل فقدان یا عدم کفایت داده‌های مشاهداتی دبی جریان در مقیاس‌های زمانی

و مکانی کوچک، واسنجی و کاربرد آن‌ها با مشکلات زیادی روبرو است.

هیدرولوژی علمی است که بر اساس مشاهدات و اندازه‌گیری‌ها توسعه یافته است. نظریه‌های هیدرولوژیکی یا از بینش‌های به‌دست‌آمده از تجزیه و تحلیل داده‌ها پدید آمده‌اند یا توسط داده‌هایی که از نظریه‌های هیدرولوژیکی پشتیبانی می‌کنند مورد تأیید قرار گرفته‌اند (Wood, 1998). مصریان اولین اندازه‌گیری‌های جریان رودخانه را با استفاده از نیلومترها (وسایل اندازه‌گیری ارتفاع آب رودخانه نیل) در سه نقطه در طول مسیر رودخانه نیل اندازه‌گیری کردند. اولین اندازه‌گیری منظم دبی رودخانه در دو رودخانه تیمز و لی در کشور انگلستان در دهه ۱۸۸۰ میلادی شروع شد. سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده، برای مدت بیش از ۱۰۰ سال (از اواخر قرن ۱۹ که اولین اندازه‌گیری‌ها را شروع کرد) مشغول جمع‌آوری منظم داده‌های دبی رودخانه‌ها است و در حال حاضر حدود ۸۵۰۰ ایستگاه هیدرومتری فعال دارد. همچنین آرژانتین یکی از کشورهای پیشرو در زمینه سنجش دبی رودخانه‌ها است که از اوایل قرن بیستم، ایستگاه‌های 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 لیمنوگراف و اشل در یک جناح رودخانه انجام می‌شود. 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 لیمنوگراف انجام می‌شود. در کشور ایران ۱۰۶۸ ایستگاه هیدرومتری وجود دارد 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 به صورت 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 به میزان 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 زیادی وجود دارد. محققینی مانند میرابوالقاسمی و مرید، وروانی، نجفی‌نژاد و میرمینی، 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 به نحوی نیستند که بتوانند نماینده جریان رسوب خروجی از آبخیزها باشند.

بررسی داده‌های ایستگاه هیدرومتری قزاقلی در رودخانه گرگانرود 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, 2002). این واقعیت درباره تمام داده‌های رسوب معلق جمع‌آوری شده در سایر ایستگاه‌های هیدرومتری ایران نیز صادق است (Heidarnejad et al., 2006; Mohammadi Ostadkalah, 2002). در حالی که برای محاسبه میزان واقعی بار معلق انتقال یافته توسط رودخانه‌ها، به داده‌های متراکم سیلابی نیاز است؛ بنابراین، اطلاعات به دست آمده از داده‌های بارمعلق موجود، به دلیل رویکرد نامناسب نمونه‌گیری از اعتبار کافی برخوردار نیستند. محققین

متعددی مانند تلوری، صادقی، عرب خدیری و خانی، پرهت و دومیری گنجی، برزگری و ذرتی پور و همکاران نیز به این واقعیت تأکید کرده اند (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 طولانی مدت، 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 سرگردان (Nehls, Nam Rim, & Wessolek, 2011)، در حالی که سیستم حسگر الکترونیکی فقط وجود و وجود جریان سطحی را تشخیص می‌دهد. سیستم‌های سطل تخلیه خود خالی می‌شوند و می‌توانند 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 سطل اوج از نوع بلفورت دارای دقت تنها ۱۲ میلی‌متر بر ساعت است که کاربرد آن را برای نظارت بر رویدادهای جریان کم محدود می‌کند (Nystuen, 1999). به همین ترتیب، خطای واژگونی سطل می‌تواند در سرعت‌های جریان بیشتر از ۱۵۰ میلی‌متر بر ساعت به دلیل پاسخ غیرخطی ابزار، از ۲۵٪ تجاوز کند (Stewart, 2015). این سیستم‌ها همچنین می‌توانند مسدود شوند (Stagnaro et al., 2016) که در محیط‌های با رسوب بالا نگران کننده است. سرریزها و فلوم‌های با بریدگی V نیز برای اندازه‌گیری رواناب در مقیاس کرت (Radatz, Thompson, & Madison, 2013) و همچنین برای اندازه‌گیری رواناب سطحی در حوضه‌های بزرگ‌تر استفاده شده‌اند (Eltner, Mulsow, & Maas, 2013). با این حال، این تأسیسات اغلب گران هستند، با هزینه هر قطعه که می‌تواند 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 جریان‌های طبیعی است. در نهایت، استومف و همکاران، (Stomph et al., 2002) یک فلومتر برای اندازه‌گیری دبی‌های کوچک (۲ تا ۶۰ لیتر در دقیقه) طراحی کرد که در آن آب وارد محفظه‌ای پر از روزنه‌های دایره‌ای کوچک می‌شود و سپس از آن تخلیه می‌شود.

با توجه به اهمیت رسوب معلق و حجم رواناب در خروجی حوزه‌های آبخیز و فقدان امکانات لازم برای اندازه‌گیری 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 می‌تواند زمینه‌ساز جمع‌آوری آمار فشرده و بسترساز مطالعات بارش-رواناب و فرسایش و رسوب در مقیاس آبخیزهای کوچک و کوهستانی باشد و بسیاری از کمبودهای اطلاعاتی در سرشاخه رودخانه‌ها را برطرف نماید. البته باید توجه داشت که دستگاه مورد بحث دارای تفاوت‌هایی با نمونه‌های 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 می‌باشد که قابلیت استعلام وضعیت خروجی حوضه آبخیز را در هر لحظه داشته باشد و بستر انجام پژوهش‌های آبخیزداری همچون مدل‌سازی بارش-رواناب، فرسایش و رسوب و همچنین ارزشیابی پروژه‌های آبخیزداری را در آبخیزهای بالادست تسهیل نماید.

## مواد و روش

### طراحی و ساخت دستگاه پایش رواناب و نمونه‌بردار رسوب معلق

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

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

### منبع تغذیه

منبع تغذیه شامل یک عدد باتری ۱۲ ولتی ۷ آمپر و یک عدد شارژر باتری ۱۲ ولتی می‌باشد که ولتاژ مورد نیاز قطعات مختلف دستگاه را حتی در زمان‌های قطعی جریان برق تأمین می‌نماید.

### بردهای الکترونیکی و واحدهای محاسبه ذخیره و ارتباطی

این قسمت شامل بخش‌های زیر می‌باشد

۱- مجموعه ماژول‌های ارتفاع‌سنج: این ماژول‌ها با استفاده از حسگرهای رطوبت‌سنج که به فواصل دلخواه کنار هم قرار می‌گیرند اطلاعات مربوط به ارتفاع سیلاب را در اختیار آی سی رابط قرار می‌دهند.

۲- مجموعه مدارهای فرمان پمپ‌های نمونه‌گیر: این مدارها با توجه به دستوری که از آی سی اصلی کنترل

کننده صادر می‌شود می‌تواند پمپ‌های خلأ را روشن و یا خاموش کند.

۳- آی سی رابط بین برد اصلی و ماژول‌های ارتفاع‌سنج و پمپ‌های نمونه‌گیر: این آی سی به طور متوالی ارتفاع سیل را با استفاده از ماژول‌های ارتفاع‌سنج که این ماژول‌ها 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 می‌نماید.

۴- محل قرارگیری ماژول سیم‌کارت: این ماژول که از نوع SIM800 می‌باشد برای اطلاع‌رسانی از طریق پیامک و یا کنترل از راه دور دستگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

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

۶- ماژول ساعت: این قسمت برای استفاده از زمان برای ثبت اطلاعات در آی سی حافظه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۷- سوکت ارتباط‌گیری با مدار ارتفاع‌سنج و پمپ-های نمونه‌گیر: از طریق این سوکت اطلاعات بین آی سی اصلی کنترل کننده و آی سی رابط رد و بدل می‌شود.

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

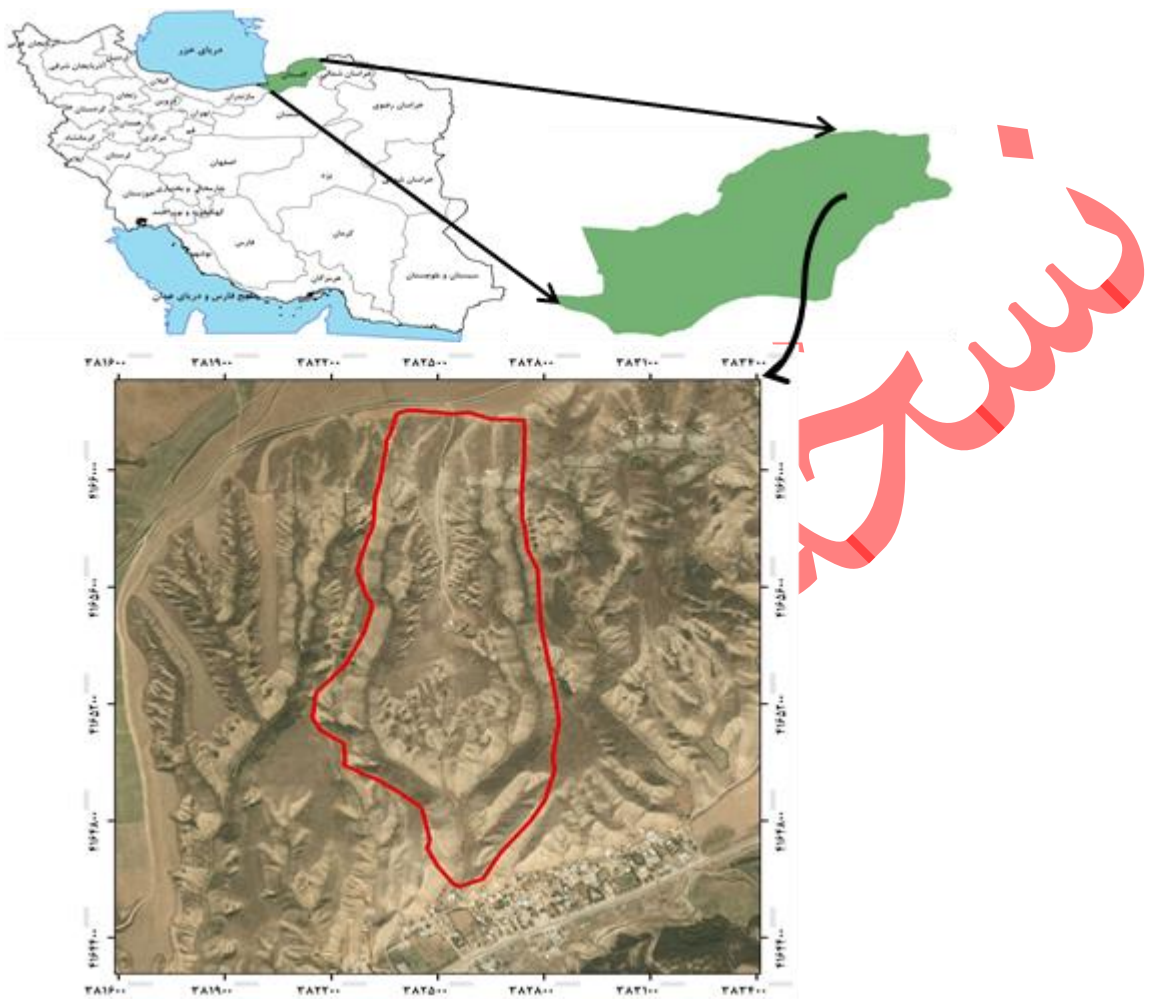
۹- آی سی اصلی کنترل کننده: قلب اصلی این سیستم می‌باشد که وظیفه هماهنگی بین کلیه بخش‌ها را بر عهده دارد.

### بخش‌های مکانیکی دستگاه

۱- جعبه قرارگیری برد و ظروف نمونه‌گیری ۲- استوانه قرارگیری سنسورهای ارتفاع‌سنج ۳- پمپ‌های نمونه‌گیر ۴- مسیرهای خلأ ۵- مسیرهای نمونه‌گیری سیلاب ۶- ظروف نمونه‌گیری.

دستگاه پایش خودکار رواناب و رسوب طراحی و ساخته شده در این تحقیق، در نقطه خروجی یکی از زیر حوضه‌های اراضی لسی شرق گلستان در بالادست روستای قیان علیا از توابع شهرستان کلاله نصب شد تا قابلیت‌های آن بطور واقعی مورد ارزیابی قرار گیرد. زیر حوضه مذکور در حدفاصل طول جغرافیایی ۵۱° ۳۹' ۵۵" تا ۲۰° ۴۰' ۵۵" شرقی و عرض جغرافیایی ۱۴° ۳۷' ۳۷" تا ۰۷° ۳۸' ۳۷" 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 قیان شده و خسارت‌هایی را بر ساکنان آن و همچنین جاده اصلی کلاله - مراوه تپه تحمیل می‌نماید. با توجه به انتظارات اهالی 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.





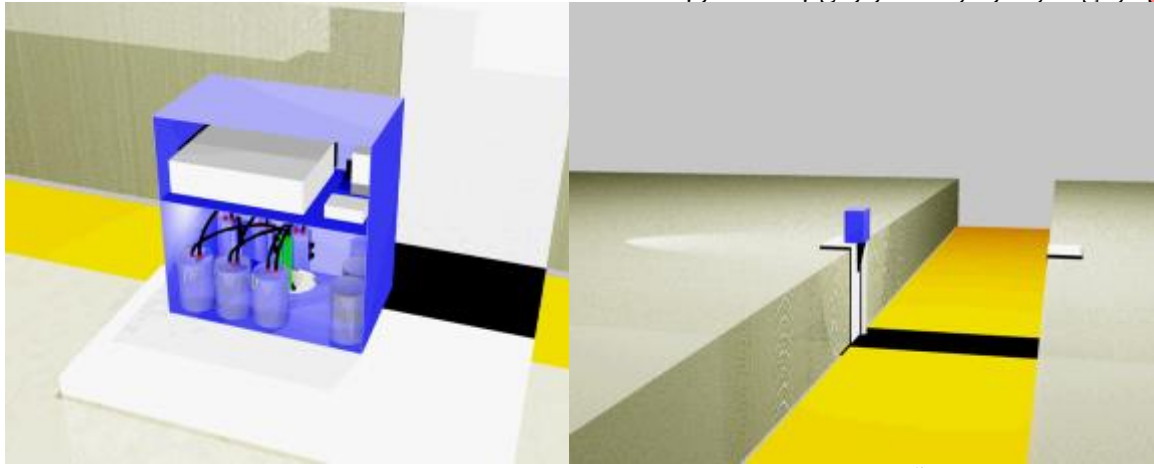
شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان گلستان و ایران  
Figure 1. Location of the study area in the Golestan province and Iran

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 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 بصورت 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 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

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 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،

برقرار کرده و از وضعیت کارکرد دستگاه طراحی شده (برق، باتری، میزان حافظه و ثبت یا عدم ثبت رویداد) از طریق پیامک اعلام بگیرد. (شکل ۲).

رواناب، قطعی جریان برق دستگاه، وضعیت شارژ باتری تعبیه شده برای فعال نگه داشتن دستگاه در زمان قطع جریان برق و وقوع رویداد سیل آگاه می‌سازد. همچنین کاربر می‌تواند از طریق گوشه همراه در هر لحظه از زمان با دستگاه ارتباط



ب

الف



ت



شکل ۲- اجزای دستگاه پایش خودکار رواناب و رسوب: الف) تصویر شماتیکی از محل نصب نمونه بردار 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 نمونه برداری، پ) جعبه محافظ دستگاه و لوله محافظ سنسورهای اندازه گیری ارتفاع رواناب، ت) برد الکترونیکی طراحی شده جهت نمونه برداری 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 شن و سیمان) با عرض ۲/۳ متر و شیب ۲ درصد احداث گردید (شکل ۳).

جهت اندازه گیری 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 بصورت رقمی و با انتروال زمانی تنظیم شده به دلخواه کاربر روی حافظه رقمی ثبت می‌کند (شکل ۴).

**نصب باران‌نگار**  
جهت ثبت داده‌های دقیق بارندگی، یک دستگاه باران‌نگار ثابت 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

و رسوب اندازه‌گیری شد و با کم کردن وزن ظرف، وزن خالص رسوب بدست آمد. برای بدست آوردن جرم رسوب از رابطه (۱) استفاده شد. همچنین حجم رسوب کل سیلاب از ضرب وزن رسوب در هر لیتر در حجم کل سیلاب بدست آمد.

شیب آبراهه ۰/۰۲۵ اندازه‌گیری شد و ضریب مانینگ ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

### نتایج

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 آذر ۱۳۹۹ در خروجی زیرحوضه قبان 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

**محاسبه رسوب معلق**  
بعد از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه حجم نمونه آب و رسوب محاسبه شد 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 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.

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

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 بدست می‌آید، S شیب کانال در محل مقطع اندازه‌گیری جریان، n ضریب زبری مانینگ، Q دبی جریان بر حسب m<sup>3</sup>/s و A سطح مقطع جریان بر حسب m<sup>2</sup> می‌باشد. در محل مقطع اندازه‌گیری جریان، عرض کانال ۲/۲۳ متر و



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.

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. 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



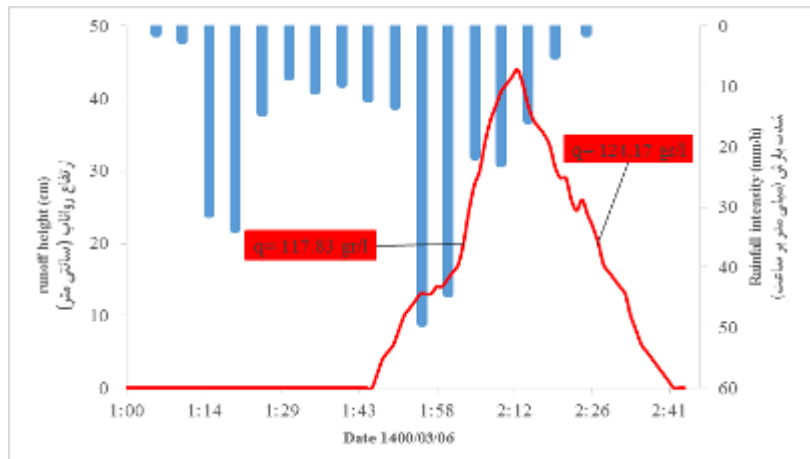
شکل ۵- خروجی منطقه مورد مطالعه بعد از سیلاب  
Figure 5- Outlet of the studied area after the flood

جدول ۱- خلاصه اطلاعات وقایع بارش - رواناب ثبت شده

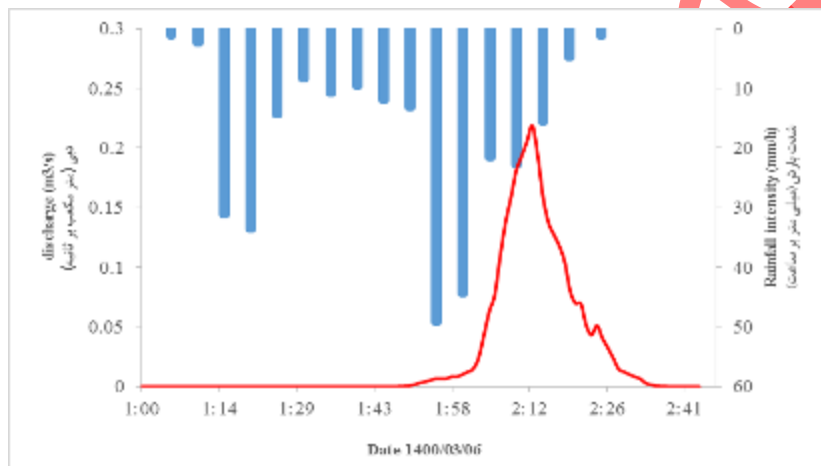
Table 1. Summary of recorded rainfall-runoff events

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

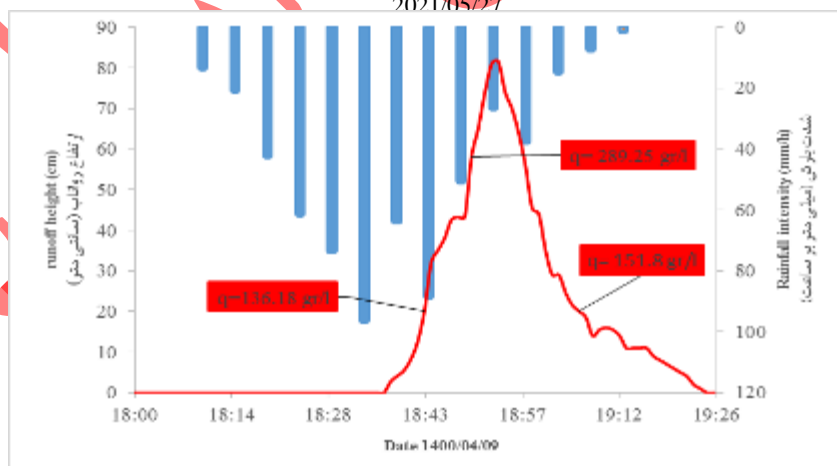




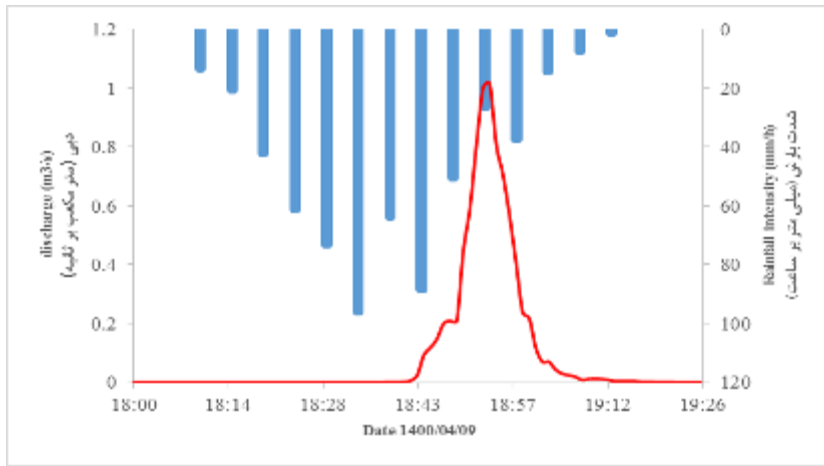
شکل ۶- ارتفاع ثبت شده در سیلاب ۱۴۰۰/۰۳/۰۶  
Figure 6. Recorded heights of flood on 2021/05/27



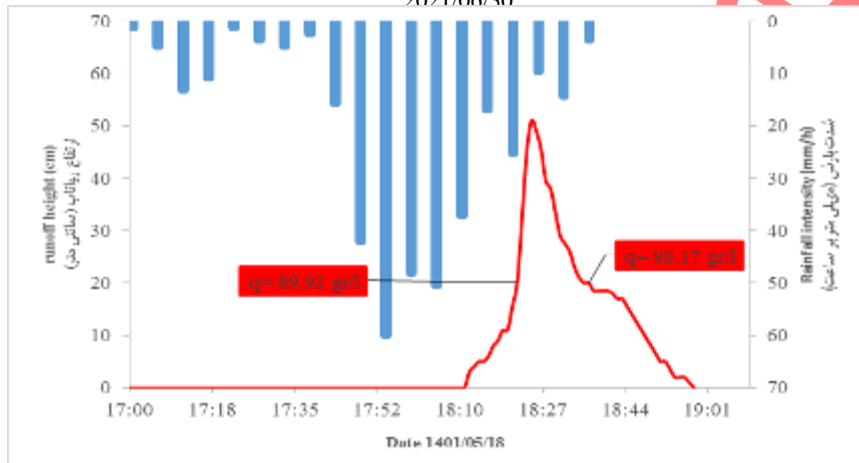
شکل ۷- هیدروگراف بدست آمده از اطلاعات دستگاه پایش خودکار در سیلاب ۱۴۰۰/۰۳/۰۶  
Figure 7. Hydrograph obtained from the data recorded by the automatic monitoring device for flood event on 2021/05/27



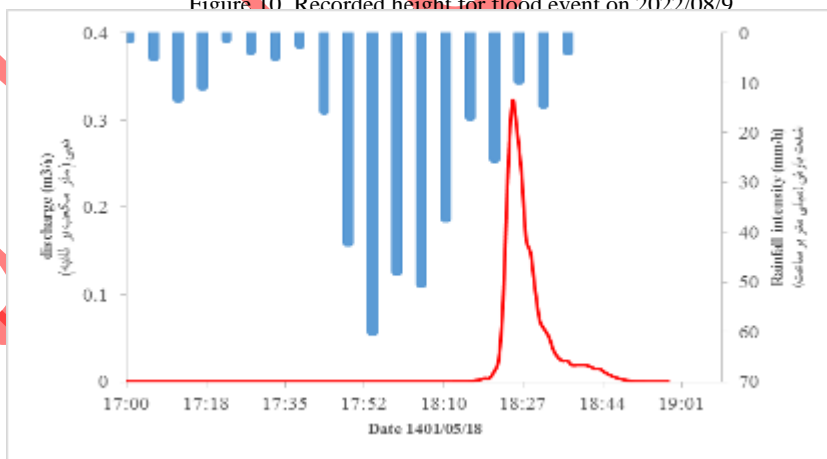
شکل ۸- ارتفاع ثبت شده در سیلاب ۱۴۰۰/۰۴/۰۹  
Figure 8. Recorded heights for flood event on 2021/06/30



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

فقط تعداد ۲ نمونه رواناب (ارتفاع ۲۰ سانتی‌متری شاخه صعودی و 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

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 مقطع اندازه‌گیری جریان کمتر از ۶۰ سانتیمتر بوده است در طول این رخدادها، دستگاه پایش سیل و رسوب مورد نظر

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.

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 هر گونه 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 نسبت داده می‌شود که در اثر آن، مقدار بار معلق برای یک دبی معین در شاخه صعودی و نزولی هیدروگراف می‌تواند کمتر یا زیادتر باشد (Gellis, 2013; Sadeghi et al., 2008; Yu, Shi, & Zhang, 2023). اگرچه، در اغلب رودخانه‌ها، پدیده پس افت از نوع یک یا ساعتگرد می‌باشد و غلظت بار معلق در شاخه صعودی بیشتر از شاخه نزولی است.



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

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 قابل قبولی ثبت نمود؛ بنابراین این دستگاه را می‌توان برای پایش و ارزشیابی اقدامات آبخیزداری انجام شده در سرشاخه‌ها مورد استفاده قرار داد.

هیدروگراف حاصل از دستگاه‌های اندازه‌گیری بخصوص دستگاه پایش خودکار رواناب به صورت مستقیم با استفاده از سیستم‌های اندازه‌گیری و سنسورهای دقیق برآورد می‌شود.

در این پژوهش داده‌های بارندگی به وسیله باران‌نگار ثابت رقمی 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. بطوریکه برای رخداد بارش - رواناب تاریخ ۱۴۰۰/۳/۶، هم شکل هیدروگراف و هم شکل هایتوگراف 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).

این داده‌ها از تغییرات سطح آب در طی یک رخداد در طول زمان ثبت می‌شود.

در حالی که روابط تجربی و مدل‌های بارش- رواناب به عنوان یک ابزار پایدار برای تخمین هیدروگراف خروجی آبخیزها، با استفاده از داده‌های دیگر مانند بارش، تبخیر، نفوذ-پذیری و ... بطور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند، این روابط و مدل‌ها، دارای پارامترهایی هستند که برآورد مقدار آن‌ها کار ساده‌ای نیست و معمولاً همراه با خطا هستند؛ بنابراین هیدروگراف‌های بدست آمده از آن‌ها دارای عدم قطعیت هستند و ریسک تصمیم‌گیری و اجرای اقدامات بر اساس آن‌ها بالاست.

هر چند روابط تجربی و مدل‌های بارش - رواناب معمولاً شکل هیدروگراف قابل قبولی برای زیرحوضه‌های فاقد آمار ارائه می‌دهند، اما نمی‌توانند به دقت تغییرات جزئی لحظه‌ای در هیدروگراف واقعی خروجی آبخیز را به نمایش بگذارند و معمولاً هیدروگراف حاصل از آن‌ها شکل منظم‌تری دارد در حالی که هیدروگراف حاصل از دستگاه‌های اندازه‌گیری نوسانات و تغییرات لحظه‌ای را نیز ثبت می‌کنند و دقت بالایی دارند. به علاوه، روابط تجربی تحت تأثیر تغییرات محیطی قرار می‌گیرند و نتایج آن‌ها برای شرایط آینده ممکن است ناسازگار باشند.

دستگاه پایش خودکار رواناب و رسوب، یکی از ابزارهای مهم برای پایش رواناب و رسوب در خروجی حوضه‌های آبخیز می‌باشد. این دستگاه برای اندازه‌گیری پارامترهای مختلفی مانند دبی جریان، ارتفاع آب و بار رسوب معلق طراحی شده است. مزایای استفاده از دستگاه پایش خودکار رواناب و رسوب عبارت‌اند از:

۱. **کاهش هزینه‌ها:** استفاده از دستگاه پایش خودکار رواناب و رسوب می‌تواند هزینه‌های پایش رواناب و رسوب را کاهش دهد، زیرا این دستگاه قابلیت پایش و اندازه‌گیری خودکار پارامترهای مورد نیاز را در طول زمان دارد و نیازی به حضور مأمور پایش در زمان وقوع رخداد سیل و انجام اندازه‌گیری‌های 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 پیچ‌های آلومینیومی به فواصل ۳ سانتی‌متر نصب گردیده است که به محض تماس رطوبت ناشی از سیل به هر قسمت از این سنسورها ارتفاع سیل توسط پردازشگر محاسبه، ثبت و اطلاع‌رسانی انجام می‌گیرد. **زمان‌بندی منظم:** دستگاه پایش خودکار رواناب و رسوب به صورت خودکار زمان‌بندی شده است که می‌تواند نمونه سیلاب را در بازه‌های زمانی مشخص اندازه‌گیری کند و در صورت نیاز به طور خودکار اطلاع‌رسانی کند.

۳. **اطلاعات بیشتر:** دستگاه پایش خودکار رواناب و رسوب قادر به اندازه‌گیری پارامترهای مختلفی است که به دلیل محدودیت‌های اندازه‌گیری دستی، ممکن است در دسترس نباشند. با تجهیزیات پایش خودکار، می‌توان بیشترین اطلاعات ممکن را جمع‌آوری کرد.

۴. **پایش طولانی مدت:** دستگاه پایش خودکار رواناب و رسوب، قادر به پایش طولانی مدت جریان و تولید داده‌های ارزشمند در مناطق دوردست است. در صورت تأمین مستمر انرژی الکتریکی مورد نیاز، این دستگاه می‌تواند کار پایش ارتفاع رواناب را به مدت چندین ماه پیوسته پایش کند و داده تولید کند.

۵. **پایش زمان واقعی:** دستگاه پایش خودکار رواناب و رسوب قادر به پایش و اندازه‌گیری 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 سامانه‌های هشدار سیل زمان- واقعی مقهور می‌سازد.

۶. **کاهش خطرات:** با استفاده از دستگاه پایش خودکار رواناب و رسوب، امکان ثبت اطلاعات در مواقع سیلابی که اندازه‌گیری دستی با خطرات زیادی همراه می‌باشد امکان‌پذیر 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.

### نتیجه‌گیری

داده و اطلاعات در مدیریت سیستم آبخیز و منابع آب، اهمیت ویژه‌ای دارند. در دنیای امروز، با توجه به تغییرات آب و هوایی و رشد جمعیت و مداخلات انسانی گسترده در سیستم‌های 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 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. در چرخه تولید دانش، داده‌های خام اندازه‌گیری شده نقش هسته اولیه را ایفا می‌کنند و با پردازش این داده‌های خام، اطلاعات ارزشمند تولید می‌شود. تحلیل و سنتز این اطلاعات ارزشمند منجر به تولید دانش می‌شود که بستر مدیریت علمی و آگاهانه محیط پیرامون و سیستم‌های مورد بهره‌برداری را فراهم می‌کند. علاوه بر آن، مدیریت علمی یک پروژه شامل چهار مرحله ارزیابی وضع موجود، طراحی و برنامه‌ریزی، اجرا، پایش و ارزشیابی می‌باشد. 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 پروژه) ضروری است. متأسفانه اکثر قریب به اتفاق طرح‌ها و پروژه‌های حفاظت آب و خاک اجرا شده در حوضه‌های آبخیز بالادست، از فقر سیستم پایش و فقدان داده‌های کافی رنج می‌برند و کمی‌سازی اثربخشی آن‌ها در هاله‌ای از ابهام قرار



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 تصمیم‌گیران سطح کلان حائز اهمیت می‌باشد.

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 ارزان قیمت در آبخیزهای کوچک مقیاس بالادست که سر منشأ تولید آب، سیل و رسوب هستند بسیار ضروری است.

## منابع

- 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 banadkoshi., 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., Mulso, 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., & Aliegyy, 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.
- 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.
- 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).

## “Research Paper”

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

Hasan rezaei moghadam<sup>1</sup>, Vahedberdi Sheikh<sup>2</sup>, Maryam Azarakhshi<sup>3</sup>, Mohsen Hosseinalizadeh<sup>4</sup> and Jahangir Mohamadi<sup>5</sup>

- 1- Ph.D. Student of Watershed Management Department, Faculty of Pasture and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources  
(Corresponding author author: hassan.rezaemoghadam@gmail.com)
- 2- Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Pasture and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
- 3- Assistant Professor, Department of Natural Engineering, Faculty of Agriculture, Torbet Heydarieh University, Torbet Heydarieh, Iran
- 4- Associate Professor, Department of Desert Management, Faculty of Pasture and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
- 5- Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 21 August, 2023 Accepted: 20 January, 2024

#### Extended Abstract

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

**Material and Methods:** In this research, analog hygrometer sensors were used to measure the height of runoff with 3 cm intervals (measurement accuracy 3 cm). DC pumps with valves were used to collect the sediment sample, which by creating a vacuum in the sampling container, causes 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 subwatershed in the eastern loess lands of the Golestan province, located in upstream of the Qapan Aliya village in the Kalaleh district for two years period in order to record the hydrograph of likely flood events and take runoff samples at the user-defined depths of flood (2 samples at depths of 20 and 60 cm in rising limb and one sample at the depth of 20 cm in recession limb of hydrographs), store them in a 0.5 liter containers, and inform the user by sending SMS to replace the filled containers with empty ones.

**Results:** During these two years, only three rainfall events leading to runoff and flooding occurred in this subwatershed, and the designed device successfully recorded the hydrograph of all three events and informed the user. Also, 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 in order to be transferred to the laboratory to determine the suspended load.

**Conclusion:** Therefore, the prototype of the designed device showed 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