Watershed Engineering and Management
DOI: 10.22092/ijwmse.2025.368771.2109

Volume 18, Issue 1, 2026, Pages 120-146

Design and development of a specialized spatial system for the management and analysis of suspended sediment data and flow discharge at country hydrometric station

Mahmoudreza Tabatabaei[1*], Amin Salehpour Jam[1] and Jamal Mosaffaie[1]
[1] Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 08 February 2025 Accepted: 08 June 2025

Extended abstract

Introduction

Rapid population growth and economic development, especially in sensitive areas like watersheds, have increased the demand for water resources, leading to significant challenges. In watershed management, monitoring erosion and sedimentation processes is of paramount importance, as these processes directly influence the quality and quantity of water resources. Awareness of suspended sediment loads in these basins can facilitate a deeper understanding of ecological processes and assist in the assessment of the environmental status of watersheds, which in turn improves the management and conservation of water resources. The word “transform” in your sentence means to change or significantly improve something. In this context, it suggests that the design and implementation of advanced systems will lead to a significant enhancement or alteration in the way research is conducted regarding watershed management, sediment, and erosion. By aggregating and analyzing hydrologic data, this system provides accurate and up-to-date information on the amount of suspended sediment in rivers, enabling continuous and comprehensive monitoring and evaluation of watersheds. This, in turn, facilitates the adoption of necessary measures for the optimal management of these resources..

Materials and methods

In this research, a specialized spatial system for the management and analysis of hydrological data has been developed using the C# programming language and open-source spatial libraries. This system utilizes the SQLite database as its underlying data storage platform and employs Entity Framework 6 (EF6) and LINQ for facilitating data extraction and management. In the database design, sedimentation and flow discharge data have been comprehensively collected and stored. The system is capable of executing a variety of spatial and descriptive queries and analyses on this data. Furthermore, it provides the capability to perform statistical analyses and extract statistical summaries from the sedimentation data. These features enable researchers to process and analyze the data with ease, allowing for a more precise examination of results related to erosion and sedimentation processes. The designed system serves as an efficient tool, facilitating the monitoring and assessment of watershed conditions.

Results and discussion

The results of this research can be summarized into two main sections: system design and construction, and statistical analysis of sedimentation data in the Aras watershed. In the first section, which focuses on the design and development of the spatial system, appropriate graphical interfaces for data storage, user interaction with the database, and data management were designed and coded with the help of modern techniques and advanced methods. By utilizing these tools, the data extraction and management process was streamlined, and the possibility of performing statistical analyses was enabled. As a result, users can process and analyze the data with greater accuracy and ease. In the second section, the statistical results obtained from the analysis of the sedimentation data of the Aras Basin (with 26,156 data points recorded up to 2017) indicate that, at the basin scale, the average daily suspended sediment discharge is 11,814.95 tons per day, the average concentration of suspended sediment is 4,185.68 milligrams per liter, and the average instantaneous flow discharge is 13.16 cubic meters per second. At the level of study units, the highest and lowest average suspended sediment discharge values were found in the study units of Jolfā-Dūzāl (code 1105) with a value of 10,312.33 tons per day, and Qara Ziyaldin (code 1108) with a value of 991.96 tons per day, respectively. Moreover, at the hydrometric station scale, the highest and lowest average

* Corresponding author: Taba1345@hotmail.com

DOI: 10.22092/ijwmse.2025.368771.2109

daily suspended sediment discharge were observed at the Jolfā hydrometric station (code 807-19) with 571,697.82 tons per day, and Nāvar-Khrouji Neor (code 0195-19) with 2.82 tons per day, respectively. The extreme values of suspended sediment recorded at the Jolfā hydrometric station are significantly high (over 3 million tons per day), so these figures should be used with caution. According to the findings, the land in this area is located in marly zones that are highly susceptible to erosion, and the contribution of lateral erosion in producing sediment is significant in river sections that have developed meandering patterns. However, further studies on land-use changes and other factors influencing sediment generation in this area are required.

Conclusion

This research was conducted with the aim of developing a national software infrastructure for managing suspended sediment data and flow discharge from hydrometric stations. The developed system possesses the capability to store, retrieve, and analyze spatial and temporal data, and it is specifically utilized for simulating suspended sediment in rivers. Additionally, advanced graphical interfaces have been created to significantly facilitate user interaction with the data. One of the notable features of this system is its use of open-source technologies in its design and development. This ensures that there are no legal restrictions or dependencies on foreign licenses for its use and development. This characteristic significantly enhances the commercialization potential of the system both domestically and in international markets. In addition to the design and development of this software system, the results obtained from its application in rapid and accurate statistical analysis of sediment data from the Aras watershed clearly demonstrate its unique capabilities in data management and analysis. Given the importance of accurately understanding erosion and sedimentation processes in the watersheds of the country, this system serves as an efficient and effective tool for obtaining precise and reliable information.

Keywords: Database, Flow discharge, Sediment data, SQL, Suspended sediment, Watershed

Cite this article: Tabatabaei, M.R., Salehpour Jam, A., Mosaffaie, J., 2026. Design and development of a specialized spatial system for the management and analysis of suspended sediment data and flow discharge at country hydrometric station. Watershed. Water. Eng. Manag.18(1), 120-146.

© 2026, The Author(s). Published by Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0)

مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۱۸، شماره ۱، ۱۴۰۵، صفحات ۱۲۰-۱۴۶

Watershed Engineering and Management
Volume 18, Issue 1, 2026, Pages 120-146
DOI: 10.22092/ijwmse.2025.368771.2109

طراحی و ساخت سامانه مکانی تخصصی برای مدیریت و تحلیل داده‌های رسوب معلق و دبی جریان در ایستگاه‌های هیدرومتری کشور

محمودرضا طباطبائی[1*]، امین صالح‌پورجم [1] و جمال مصفائی[1]

[1] دانشیار پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۸

چکیده مبسوط

مقدمه

رشد سریع جمعیت و توسعه اقتصادی، به‌ویژه در مناطق حساس مانند حوزه‌های آبخیز، تقاضا برای منابع آب را افزایش داده و چالش‌های مهمی را به دنبال دارد. در زمینه آبخیزداری، مدیریت و پایش فرایندهای فرسایش و رسوبگذاری از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا این فرایندها تأثیر مستقیم بر کیفیت و کمیت منابع آبی دارند. آگاهی از مقادیر رسوب معلق در این حوضه‌ها می‌تواند به درک بهتر فرایندهای بوم‌شناختی و تسهیل ارزیابی وضعیت محیط‌زیستی آبخیزها کمک کند که به نوبه خود بهبود مدیریت و حفاظت از منابع آب را رقم می‌زند. در این راستا، طراحی و ساخت سامانه‌های پیشرفته نظیر سامانه اطلاعات مکانی تخصصی ایستگاه‌های آب‌سنجی کشور می‌تواند تغییرات چشمگیری در پژوهش‌های مربوط به آبخیزداری و فرسایش و رسوب ایجاد کند. این سامانه با تجمیع و تحلیل داده‌های هیدرولوژیکی، اطلاعات دقیق و به‌هنگام درباره میزان رسوب معلق رودخانه‌ها را در اختیار محققان و کارشناسان قرار می‌دهد. به‌طوری‌که می‌توان به‌طور مستمر و جامع به پایش و ارزیابی حوزه‌های آبخیز پرداخت و تدابیر لازم را برای مدیریت بهینه این منابع اتخاذ کرد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، یک سامانه مکانی تخصصی برای مدیریت و تحلیل داده‌های هیدرولوژیکی با استفاده از زبان برنامه‌نویسی سی شارپ (C#) و کتابخانه‌های مکانی متن باز توسعه داده شده است. این سامانه از پایگاه داده SQLite به‌عنوان بستر ذخیره‌سازی داده‌ها استفاده می‌کند و از فناوری Entity Framework 6 (EF6) و زبان LINQ برای تسهیل استخراج و مدیریت داده‌ها بهره می‌برد. در طراحی پایگاه داده، داده‌های رسوب معلق و دبی جریان به‌طور جامع جمع‌آوری و ذخیره شده‌اند. سامانه قادر است، پرس‌وجوها و تحلیل‌های مکانی و توصیفی متنوعی را بر روی این داده‌ها انجام دهد. همچنین، امکان انجام تحلیل‌های آماری و استخراج خلاصه‌های آماری از داده‌های رسوب معلق فراهم شده است. این ویژگی‌ها به محققان این امکان را می‌دهد که به‌راحتی به پردازش و تحلیل دقیق داده‌ها پرداخته و نتایج مرتبط با فرسایش و رسوبگذاری را با دقت بیشتری بررسی کنند. سامانه طراحی شده به‌عنوان یک ابزار کارآمد، امکان پایش و ارزیابی وضعیت حوزه‌های آبخیز را تسهیل می‌نماید.

نتایج و بحث

نتایج این پژوهش را می‌توان در دو بخش طراحی و ساخت سامانه و تحلیل آماری داده‌های رسوب معلق حوزه آبخیز ارس خلاصه نمود. در بخش نخست که در زمینه طراحی و ساخت سامانه مکانی است، با کمک تکنیک‌های مدرن و

*مسئول مکاتبات: Taba1345@hotmail.com

روش‌های پیشرفته، رابط‌های گرافیکی مناسبی برای ذخیره‌سازی و ارتباط کاربر با پایگاه داده و همچنین مدیریت داده‌ها طراحی و کدنویسی شد. با استفاده از این ابزارها، فرایند استخراج و مدیریت داده‌ها تسهیل شده و امکان تحلیل‌های آماری فراهم آمده است. در نتیجه، کاربران می‌توانند داده‌ها را با دقت و سهولت بیشتری پردازش و تحلیل کنند. در بخش دوم، نتایج آماری به‌دست آمده از تحلیل آماری داده‌های رسوب معلق حوضه ارس (نتایج گرفته شده تا سال ۱۳۹۶ به تعداد ۲۶۱۵۶ داده ثبت شده) نشان می‌دهد که در مقیاس حوضه، میانگین دبی رسوب معلق روزانه ۱۱۸۱۴/۹۵ تن در روز، میانگین غلظت رسوب معلق ۴۱۸۵/۶۸ میلی‌گرم در لیتر و میانگین دبی لحظه‌ای جریان ۱۳/۱۶ مترمکعب در ثانیه بوده است. درمقیاس واحدهای مطالعاتی، میانگین بیشترین و کمترین دبی رسوب معلق به‌ترتیب مربوط به واحدهای مطالعاتی جلفا-دوزال (کد ۱۱۰۵) با مقدار ۱۰۳۱۲/۳۳ تن در روز و قره ضیالدین (کد ۱۱۰۸) با مقدار ۹۹۱/۹۶ تن در روز بوده. همچنین در مقیاس ایستگاه آب‌سنجی، میانگین بیشترین و کمترین دبی رسوب معلق روزانه به‌ترتیب مربوط به ایستگاه‌های آب‌سنجی جلفا (با کد ۸۰۷-۱۹) با مقدار ۵۷۱۶۹۷/۸۲ تن در روز و ناور-خروجی نئور (با کد ۰۱۹۵-۱۹) مقدار۲/۸۲ تن در روز محاسبه شده است. مقادیر حدی رسوب معلق ثبت شده ایستگاه آب‌سنجی جلفا بسیار زیاد بوده (افزون بر سه میلیون تن در روز) که لازم است با احتیاط از این اعداد استفاده شود. طبق بررسی به‌عمل آمده اراضی این منطقه در پهنه‌های مارنی حساس به فرسایش واقع شده و سهم فرسایش کناری رودخانه در تولید رسوب در بازه‌هایی از رودخانه که حالت مئاندری پیدا نموده‌اند بسیار زیاد است. با این‌حال لازم است مطالعاتی در خصوص تغییر کاربری و دیگر عوامل تأثیر گذار در ایجاد رسوب این منطقه انجام شود.

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف توسعه زیرساخت نرم‌افزاری ملی برای مدیریت داده‌های رسوب معلق و دبی جریان ایستگاه‌های آب‌سنجی انجام شده است. سامانه ایجادشده، توانایی ذخیره‌سازی، بازیابی و تحلیل داده‌های مکانی و زمانی را دارا بوده و به‌طور خاص در شبیه‌سازی رسوب معلق در رودخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین، با ایجاد رابط‌های گرافیکی پیشرفته، تعامل کاربران با داده‌ها به شکل قابل‌توجهی تسهیل شده است. یکی از ویژگی‌های بارز این سامانه، استفاده از فناوری‌های متن‌باز در طراحی و توسعه آن است. این امر موجب می‌شود که هیچ‌گونه محدودیت قانونی یا وابستگی به مجوزهای خارجی برای استفاده و توسعه آن وجود نداشته باشد. این خصوصیت به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای پتانسیل تجاری‌سازی سیستم را هم در داخل کشور و هم در بازارهای بین‌المللی افزایش می‌دهد. علاوه بر طراحی و توسعه این سیستم نرم‌افزاری، نتایج به‌دست‌آمده از کاربرد آن در تحلیل آماری سریع و دقیق داده‌های رسوب از حوزه آبخیز ارس، قابلیت‌های منحصر به فرد آن در مدیریت و تحلیل داده‌ها را به وضوح نشان می‌دهد. با توجه به اهمیت درک دقیق فرایندهای فرسایش و رسوبگذاری در حوزه‌های آبخیز کشور، این سیستم به‌عنوان ابزاری کارآمد و مؤثر در به‌دست آوردن اطلاعات دقیق و قابل‌اعتماد عمل می‌کند.

واژه‌های کلیدی: پایگاه داده، داده‌های رسوب معلق، دبی جریان، رسوب معلق، حوزه آبخیز، SQL

مقدمه

به‌منظور تحقق اهداف مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، داشتن آگاهی از وضعیت متغیرهای حوضه ضروری است. در این راستا، چگونگی ذخیره‌سازی و مدیریت داده‌ها در قالب پایگاه داده و استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی مرتبط، نقش مهمی در پایش و ارزیابی آنها دارد. در این رابطه، یکی از متغیرهای کلیدی در حوزه‌های آبخیز، داده‌های رسوب معلق است که اهمیت ویژه‌ای در درک وضعیت فرسایش و رسوب، طراحی بهینه سازه‌های آبی و سایر مطالعات کیفی آب در حوزه‌های آبخیز دارد.

علیرغم رویکردهای چندگانه در استفاده از این داده‌ها، متاسفانه تاکنون، اقدامی درخور به جهت ذخیره‌سازی و مدیریت صحیح این داده‌ها به‌عمل نیامده و مدیریت آنها همواره با چالش‌هایی همراه بوده است.

وجود ساختار فایل مبنا[1] به‌جای پایگاه داده، و فقدان یک سامانه مکانی تخصصی مرتبط، موجب شده است تا اقتباس داده‌های مورد نیاز با اتلاف زمان زیاد همراه بوده و در عین حال انجام تحلیل‌های آماری حداقلی نیز از سرعت و دقت کافی برخوردار نباشند.

در این رابطه با توجه به بررسی‌های به‌عمل آمده بر روی داده‌های ارائه‌شده توسط پورتال رسمی شرکت مدیریت منابع آب ایران (دفترمطالعات پایه منابع آب وزارت نیرو)، تا سال ۱۳۹۶، بالغ بر ۴۵۰۰۰۰ رکورد اطلاعاتی داده‌های رسوب معلق صرفنظر از داده‌های دبی روزانه که تعدادی به‌مراتب بیشتری از داده‌های رسوب معلق را شامل می‌شود) در کشور ثبت شده است که مدیریت آنها در قالب فایل‌های اکسل نامناسب بوده و همانطور که بیان شد، امکان تحلیل‌های آماری و پایش و ارزیابی آنها را با دشواری روبرو ساخته است و لذا نیازمند ارائه یک ساختار مناسب به‌منظور ذخیره‌سازی، بازیابی و مدیریت هستند.

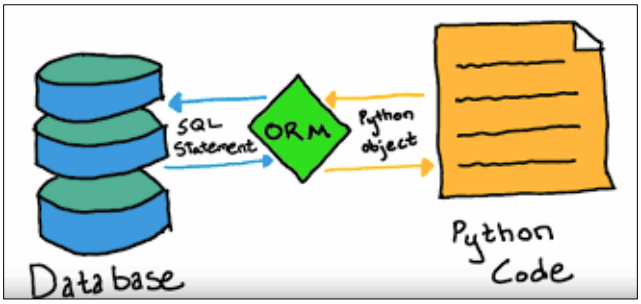
در سه دهه اخیر، پیشرفت‌های چشمگیر در علوم کامپیوتر و فناوری اینترنت به تسریع در توسعه تکنیک‌های تشخیص و مدیریت اطلاعات حوزه آبخیز منجر شده است. این روند به‌طور مداوم به سمت پژوهش‌های نوین با ادغام فناوری اطلاعات پیش می‌رود. با این حال، چالش‌هایی در ترکیب علم هیدرولوژی و فناوری اطلاعات ازجمله ذخیره و طبقه‌بندی داده‌های متنوع مانند بارش، تبخیر و کیفیت آب وجود دارد. علاوه بر این، مدیریت و به اشتراک‌گذاری داده‌های مشاهده‌ای از طریق سیستم‌های خودکار نیز از دیگر چالش‌های مهم به شمار می‌آید. در این زمینه، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) به‌عنوان ابزارهای کلیدی در توسعه سیستم‌های اطلاعاتی نقش بسزایی ایفا کرده‌اند (Lee and Kwon, 2013).

در سطح جهانی، بسیاری از سیستم‌های اطلاعات هیدرولوژیک (HIS) بر پایه GIS ایجاد شده و نتایج مثبتی حاصل کرده‌اند. به‌عنوان مثال، سرویس زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS) اطلاعات منابع آب را به‌صورت آنلاین منتشر می‌کند و خدمات هیدرولوژیک قدرتمندی ارائه می‌دهد. همچنین، دولت کانادا سازمان WSC را برای جمع‌آوری و ارائه داده‌های منابع آب تأسیس کرده است. کنسرسیوم دانشگاه‌ها نیز سیستم CUAHSI-HIS را با یک مدل پایگاه داده استاندارد (ODM) راه‌اندازی کرده که امکان ذخیره و اشتراک‌گذاری داده‌های هیدرولوژیک را فراهم می‌کند (Horsburgh and Tarboton, 2008؛ Kadlec et al., 2015).

این پیشرفت‌ها نه تنها مدیریت منابع آب را بهبود بخشیده، بلکه تحلیل و درک بهتری از داده‌های هیدرولوژیکی ارائه می‌دهد و به حفظ بوم‌سازگان آبی کمک می‌کند. با این حال، همکاری بیشتری بین دانشمندان و متخصصان هیدرولوژی و فناوری اطلاعات برای غلبه بر چالش‌ها ضروری است. ذخیره‌سازی و بازیابی اطلاعات از ارکان کلیدی سامانه‌های اطلاعاتی است. در این رابطه، دو رویکرد اصلی شامل سیستم فایل و سیستم پایگاه وجود دارد. سیستم فایل به‌دلیل سادگی، با مشکلاتی نظیر افزونگی داده‌ها و امنیت پایین مواجه است (Silberschatz et al., 2020)، در حالی که سیستم‌های پایگاه داده با هدف رفع این محدودیت‌ها طراحی شده‌اند و امکان سازماندهی داده‌ها به‌صورت جداول یا اشیاء را فراهم می‌کنند. این سیستم‌ها امنیت و قابلیت اشتراک‌گذاری بهتری دارند و کارایی جستجو را بهبود می‌بخشند. SQLite به‌عنوان یک پایگاه داده رابطه‌ای متن‌باز و سبک، به‌دلیل عدم نیاز به پیکربندی، گزینه مناسبی برای مدیریت داده‌های کوچک و متوسط است و حداکثر اندازه آن به ۱۴۰ ترابایت می‌رسد (Kreibich, 2010; Gaffney, 2010). همچنین، تکنولوژی ORM[2]، مانند Entity Framework Core، به برنامه‌نویسان این امکان را می‌دهد که به‌صورت شی‌گرا با پایگاه‌های داده رابطه‌ای تعامل داشته باشند (Schwichtenberg, 2018؛ Peres, 2016، Lerman and Miller, 2012). شکل ۱، به‌طور شماتیک، نحوه تعامل محیط برنامه نویسی و پایگاه داده را توسط تکنولوژی ORM را نشان می‌دهد (Peres, 2016).

[1] File base

[2] Object Relational Mapping



شکل ۱- نمایش تعاملات یک قطعه کد فرضی با بانک اطلاعاتی به واسطه ORM

Fig. 1. Illustration of interactions between a hypothetical code snippet and a database via ORM

در مجموع مزایای استفاده از پایگاه داده رابطه‌ای SQLite و ORM شامل سادگی کار با پایگاه داده، پشتیبانی از زبان‌های برنامه‌نویسی مختلف، و امنیت و پشتیبانی از عملیات CRUD[1] است (Alomari et al., 2023). استفاده از قابلیت‌های پرس و جو در سیستم‌های پایگاه داده رابطه‌ای امکان بازیابی و تجزیه و تحلیل داده‌های مشاهداتی و مربوطه را میسر می‌سازد. به‌عنوان نمونه، پورتال آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده و سیستم اطلاعاتی آب سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده از این نوع مدل برای ذخیره‌سازی و بازیابی داده‌های منابع آب استفاده می‌کنند (Bollen et al., 2020).

در پژوهشی، Giadrossich et al., (2025) در جنگل ایالتی مارگانی، در جنوب غربی ساردنیای ایتالیا، به بررسی تأثیر پوشش تاج درختان بر فرسایش خاک تحت باران مصنوعی شدید می‌پردازد. این پژوهش شامل هشت قطعه جفتی با و بدون پوشش تاج درختان بوده و هدف آن اندازه‌گیری میزان رسوب منتقل شده توسط رواناب است. نتایج این تحقیق که در بانک اطلاعاتی SQLite ذخیره و مدیریت شده است، منبعی ارزشمند برای محققان در زمینه مدیریت جنگل و تأثیرات آن بر فرسایش خاک فراهم آورده به‌نحوی که دسترسی و قابلیت استفاده مجدد از داده‌ها را افزایش می‌دهد.

در پژوهشی دیگر که توسط Lyronis et al., (2025) در ایستگاه‌های آب-هواشناسی جزیره کرت در یونان و به‌منظور ایجاد یک پایگاه داده یکپارچه و متن‌باز SQL برای مدیریت داده‌ها انجام شد، تلاش شد تا داده‌های متنوع جمع‌آوری‌شده از ایستگاه‌های مستقل به‌صورت یکپارچه درآمده و منتشر شوند. این پروژه به ادغام داده‌ها در یک پایگاه داده MySQL و ایجاد یک محیط دسترسی چندکاربره پرداخته و امکان تعامل کاربرپسند با داده‌ها را از طریق نرم‌افزار Metabase فراهم کرده است.

ویژگی‌های نوآورانه شامل نمایش بصری قابل تنظیم، ایجاد پرس‌وجوهای شخصی‌سازی‌شده بدون نیاز به دانش قبلی از برنامه‌نویسی پایگاه داده و ورود خودکار داده‌ها از طریق وب‌سایت‌های نهادهای معتبر یا فایل‌های خاص است. این سازوکار طراحی شده با ارائه نمایه‌های بصری واضح از داده‌ها، تصمیم‌گیری در زمینه‌های حیاتی مانند مدیریت ریسک سیلاب، کاهش خشکسالی و برنامه‌ریزی منابع آب پایدار را بهبود می‌بخشد و با معرفی چنین سیستمی، مطالعات هیدرولوژیکی را ساده‌تر کرده است، همکاری بین ارائه‌دهندگان داده‌ها را تشویق و سیاست‌گذاری مبتنی بر داده را تسهیل می‌کند.

در پژوهشی که توسط Saravani et al., (2025) انجام شد، ابزارها و خدماتی برای ردیابی و پیش‌بینی شاخص‌های منابع آب توسعه یافت تا دسترسی مقامات به اطلاعات نزدیک به زمان واقعی فراهم شود. این پروژه شامل طراحی یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری مبتنی بر وب (Web-GIS DSS) برای تحلیل داده‌های جغرافیایی بود و از تکنیک‌های مختلفی برای تعیین شاخص‌های آب، ازجمله شاخص‌های وضعیت تغذیه‌ای (TSIs)، آسیب‌پذیری منابع آب[2] (WRVI) و استرس آب اجتماعی[3] (SWSI) استفاده کرد. تکنیک‌های

[1] CRUD is the acronym for create, read, update and delete

[2] Water Resource Vulnerability Index
[3] Social Water Stress Index

یادگیری ماشین[1] (ML) مانند درخت تصمیم، جنگل تصادفی و XGBoost[2] برای ارزیابی کیفیت آب به‌کار رفت که بهترین عملکرد مربوط به XGBoost بود. این تحقیق بر نقش اساسی Web-GIS DSS در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی تأکید دارد و پتانسیل ادغام فناوری‌های ML و Web-GIS را برای ترویج شیوه‌های پایدار محیطی و ایجاد مدل‌هایی برای تحقیقات آینده نشان می‌دهد. در پژوهشی که توسط Su et al., (2024) انجام شد انجام شد، سیستم هیدرولوژیک و کیفیت آب کارولینای جنوبی[3] (SC.HAWQS) به‌عنوان یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری مبتنی بر وب و کاربرپسند توسعه یافت تا به چالش‌های مدلسازی حوزه‌های آبخیز بزرگ‌مقیاس پاسخ دهد. این سیستم از ابزار ارزیابی خاک و آب (SWAT) به‌عنوان موتور اصلی استفاده می‌کند و داده‌های مربوط به آب و هوا، خاک، توپوگرافی و کاربری زمین را به‌صورت یکپارچه حفظ می‌کند.

در این مطالعه، کالیبراسیون و اعتبارسنجی برای شش حوضه کلیدی انجام شد و از SC.HAWQS برای بررسی دینامیک چرخه آب منطقه‌ای و واکنش‌های آن به تغییرات اقلیمی در بازه زمانی ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۰ استفاده شد. این پلتفرم به‌عنوان ابزاری ارزشمند برای مدیریت منابع آب منطقه‌ای و تصمیم‌گیری پایدار در شرایط تغییرات اقلیمی معرفی شد. در پژوهشی که توسط Zehar et al., (2021) انجام شد، تلاش برای برقراری ارتباط بین فناوری اطلاعات و مطالعات محیط زیستی صورت گرفت. هدف این پژوهش توسعه پلتفرمی برای درک آلودگی رودخانه یامونا در هند بود که ناحیه دک پاتهر تا آگرا را برای دوره ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۰ مورد بررسی قرار داد. این پلتفرم بر اساس پایگاه داده‌ای از کیفیت آب، فلزات سنگین و کاربری زمین طراحی شده است و شامل لایه‌های کاربردی مانند نقشه وب، شاخص آلودگی فلزات سنگین و WebGIS است.

لایه‌های پشتیبان شامل Arc Spatial Data Engine، SQLite و Java Server Pages هستند. این برنامه به کاربران امکان می‌دهد تا داده‌ها را در یک پلتفرم تعاملی تحلیل کرده و داده‌های جدیدی بر اساس کوئری‌های انتخابی ایجاد کنند. مقامات می‌توانند از این پلتفرم برای مدیریت آلودگی و اجرای سیاست‌های پیشگیرانه استفاده کنند. Brown et al., (2022) از مرکز علوم آب نیومکزیکو وابسته به سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS)، به بررسی انتقال رسوب معلق در سد جمز در نیومکزیکو طی دوره ۱۹۴۸ تا ۲۰۱۸ پرداختند. داده‌های مورد استفاده از پایگاه داده‌های ملی اطلاعات آب (NWIS) استخراج شده و با استفاده از نرم‌افزارهای پایگاه داده رابطه‌ای مانند PostgreSQLمدیریت شدند.

نتایج نشان داد که بار رسوب معلق در فصل‌های مختلف سال، به‌ویژه در دوره‌های ذوب برف و باران‌های موسمی، به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. این مطالعه تأکید می‌کند که استفاده از پایگاه‌های داده رابطه‌ای می‌تواند در تحلیل دقیق‌تر و مدیریت بهتر داده‌های رسوبی مؤثر باشد. Cohen et al., (2022) به بررسی روندهای مکانی و عوامل مؤثر بر جریان رسوب بستر و معلق در رودخانه‌های جهانی پرداختند. مدل مورد استفاده در این مطالعه از پایگاه‌های داده رابطه‌ای برای ذخیره و مدیریت داده‌های ورودی و خروجی استفاده کرده است. نتایج نشان داد که عوامل مختلفی مانند کاربری زمین، اقلیم و فعالیت‌های انسانی بر جریان رسوب تأثیرگذار هستند و استفاده از پایگاه‌های داده رابطه‌ای می‌تواند در تحلیل این عوامل مؤثر باشد.

در پژوهشی Bollen et al., (2020) در منطقه فلاندر واقع در شمال بلژیک، یک سیستم مدیریت داده را برای پیش‌بینی، مانیتورینگ و ردیابی آلودگی طراحی کردند. این سیستم همچنین به منظور هشدار و اعتبارسنجی داده‌های اخذ شده از حسگرهای مستقر در شبکه رودخانه‌ای منطقه ایجاد شد. به علاوه، برای شبیه‌سازی دبی جریان و شوری آب، از مدل‌های داده‌محور استفاده شده است. در این سیستم برای ذخیره‌سازی داده‌ها، از پایگاه داده رابطه‌ای PostgreSQL به همراه افزونه‌های مکانی PostGIS و pgRouting استفاده شد. انواع پرسش‌های مکانی یا توصیفی مرتبط با رودخانه‌ها در این سامانه با استفاده از زبان SQL صورت گرفته است. در پژوهشی دیگر (Li

[1] Machine learning
[2] Extreme Gradient Boosting
[3] South Carolina Hydrologic and Water Quality System

et al., (2016 یک سامانه اطلاعات هیدرولوژیکی به نام سیستم مرکز داده آبخیز[1] را در کشور چین توسعه دادند. هدف این سامانه به اشتراک‌گذاری، مدیریت، تجزیه و تحلیل و نمایش مجموعه‌ای متنوع از داده‌های هیدرولوژیکی جمع‌آوری شده در مقیاس حوضه‌ای است. این سامانه به طور کلی بر مبنای تکنولوژی مشتری/خدمتگذار (client/server) و فناوری وب ساخته شده و شامل بخش‌های مرورگرهای وب (Web Browsers)، سرور داده (Data Server)، سرور وب (Server Web) و GIS Server است. لازم به ذکر است که در بخش سرور داده، از پایگاه داده رابطه‌ای SQL Server 2012 استفاده شده است. این سامانه در بازه‌هایی میانی حوضه Heihe در چین به کار گرفته شده است.

در پژوهشی دیگر، (Horsburgh et al., 2008) به منظور ذخیره‌سازی و بازیابی مشاهدات محیطی نقطه‌ای، مدل داده مشاهدات (Observations Data Model یا ODM) را ارائه کردند. این مدل یک قالب جدید و سازگار برای ذخیره‌سازی داده‌ها در یک پایگاه داده رابطه‌ای طراحی شده است و موجب تسهیل در تجزیه و تحلیل یکپارچه مجموعه داده‌های بزرگ (جمع‌آوری شده توسط چندین محقق) می‌شود. در این مدل، داده‌های مشاهداتی به همراه داده‌های جانبی (متا داده) مربوط به آنها ذخیره می‌شوند، به‌طوری که امکان تفسیر و اخذ اطلاعات از داده‌های خام مشاهداتی فراهم شود. طراحی این مدل بر مبنای یک پایگاه داده رابطه‌ای است و هر مشاهده به عنوان یک رکورد در نظر گرفته می‌شود. در رابطه با استفاده از پایگاه‌های داده رابطه‌ای (RDBMS) در ذخیره‌سازی و مدیریت داده‌های کمی و کیفی آب، پژوهش‌های مشابه دیگری توسط Marggraf et al., (2024)، Shin et al., (2023)، Wilk (2022) و Tangi et al., (2022) انجام گرفته است که همگی بر لزوم استفاده از RDBMS تاکید داشته‌اند.

جمع‌بندی پژوهش‌های انجام‌شده نشان می‌دهند که استفاده از پایگاه‌های داده رابطه‌ای (مانند MySQL، PostgreSQL، SQLite و SQL Server) و سامانه‌های Web-GIS نقش مهمی در مدیریت، تحلیل و تصمیم‌سازی در حوزه منابع آب و محیط زیست ایفا می‌کند. این سامانه‌ها با بهره‌گیری از فناوری‌هایی چون Metabase، مدل‌سازی SWAT، یادگیری ماشین و ODM، امکان تحلیل بصری، برآورد شاخص‌ها، پیش‌بینی شرایط، و تصمیم‌گیری سریع را فراهم می‌سازند. همچنین، ادغام داده‌ها از منابع مختلف، بهبود دسترسی‌پذیری و طراحی محیط‌های کاربرپسند موجب تسهیل پژوهش، همکاری بین نهادها، و ارتقاء سیاست‌گذاری مبتنی بر داده شده‌اند.

در ایران، توسعه مکانیزم مدیریت و اشتراک‌گذاری اطلاعات حوزه آبخیز در حوزه داده‌های رسوب معلق به‌دلیل کمبود استانداردهای فنی مناسب و پلتفرم‌های اشتراک‌گذاری اطلاعات، نابالغ بوده و به روش سنتی و فایلینگ است. فقدان این استانداردهای فنی موجب شده است که مدیریت این اطلاعات به شکل سنتی و ناکارآمد انجام شود.

روش فایلینگ، با وجود سادگی، دارای ضعف‌هایی مانند امنیت پایین، افزونگی داده و جستجوی کند است. در مقابل، پایگاه‌های داده با سازماندهی ساختاریافته، امنیت بالاتر و قابلیت اشتراک‌گذاری مؤثر، راهکاری مناسب برای مدیریت داده‌های هیدرولوژیکی به شمار می‌روند. بنابراین، توسعه سامانه اطلاعات هیدرولوژیک برای جمع‌آوری، تحلیل و به‌اشتراک‌گذاری داده‌های مشاهده‌ای، ضرورتی حیاتی برای مدیریت علمی منابع آب و حفاظت از بوم‌سازگان حوزه آبخیز است.

به همین دلیل، در پژوهش حاضر برای اولین بار در ایران یک سامانه مکانی تخصصی برای اشتراک‌گذاری، مدیریت، تحلیل و تجسم داده‌های مشاهداتی رسوب معلق توسعه داده شده است که می‌تواند توسط محققان ذیربط برای تحقیقات و تحلیل‌های بیشتر مورد استفاده قرار گیرد. این پژوهش با هدف ارائه یک راهکار مناسب برای ایجاد یک زیرساخت نرم‌افزاری در مقیاس ملی و برای کلیه ایستگاه‌های آب‌سنجی کشور به منظور ذخیره‌سازی، مدیریت و تحلیل آماری داده‌های رسوب معلق ایستگاه‌های آب‌سنجی کشور انجام شده است. استفاده از تکنولوژی‌های پایگاه داده (DBMS)، ORM و زبان های LINQ و #C، و نهایتا استفاده از

[1] Watershed Data Center System

کامپوننت‌های متن باز GIS نظیر Dotspatial، ازجمله نوآوری‌های این پژوهش بوده که قبلا در کارهای مشابه استفاده نشده است. علاوه بر این، به‌منظور انجام یک نمونه کار واقعی، با توجه به امکانات تعبیه شده در سامانه نرم‌افزاری، داده‌های رسوب معلق واقع در حوضه رتبه ۲ ارس مورد تحلیل آماری قرار گرفته است که به‌عنوان یک کار الگویی می‌تواند به سهولت برای دیگر حوضه‌های کشور تکرار شود.

مواد و روش‌ها

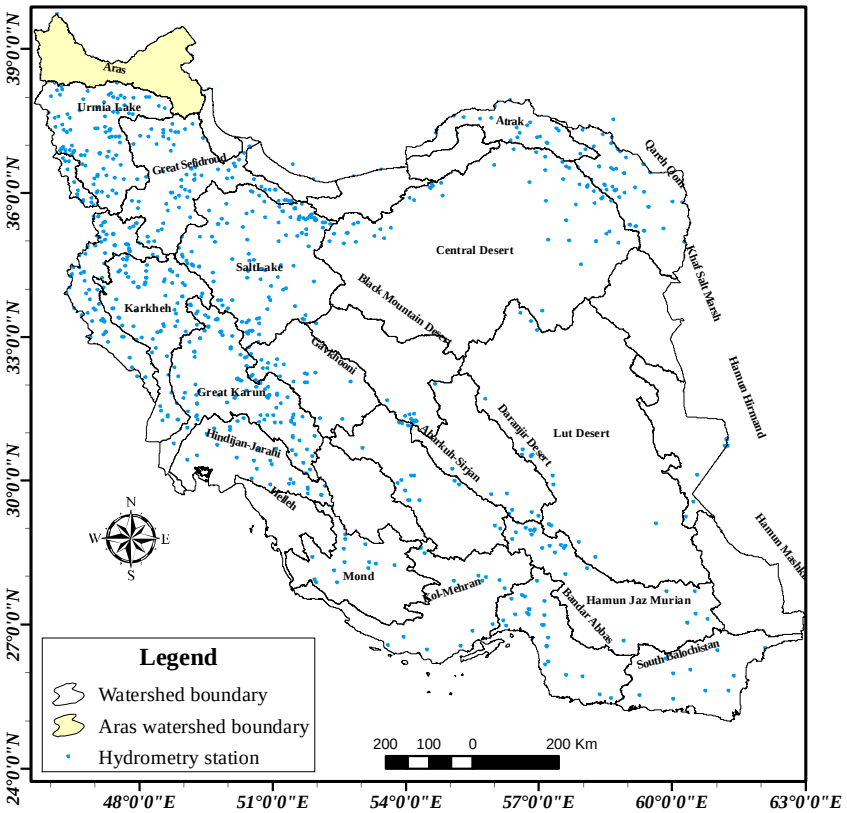
منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده: منطقه مورد مطالعه مشتمل بر کلیه ایستگاه‌های آب‌سنجی کشور است. در شکل ۲، موقعیت ایستگاه‌های آب‌سنجی کشور در حوزه‌های آبخیز رتبه ۲ تماب (تحقیقات منابع آب) نشان داده شده است. در پژوهش انجام شده، اطلاعات مورد نیاز شامل کلیه داده‌های رسوب معلق ایستگاه‌های آب‌سنجی کشور (تا آخرین سال آماری ممکن، ۱۳۹۷) به‌همراه داده‌های دبی جریان روزانه است که از شرکت تماب اخذ شده است. وضعیت ایستگاه‌های آب‌سنجی به تفکیک استان‌های کشور در جدول ۱ نمایش داده شده است. لازم به ذکر است که لایه مکانی ایستگاه‌های رسوب سنجی کشور (اخذ شده از دفتر منابع آب) دارای تعداد ۱۱۱۶ ایستگاه است که در پایگاه داده سامانه ذخیره شده است.

روش‌شناسی: روش‌شناسی این پژوهش در قالب مراحل هشت‌گانه اصلی ذیل انجام شد.

الف- نیازسنجی و تعیین الزامات سامانه. در این مرحله چالش‌های موجود و نیاز کاربران با هدف طراحی ساختار سامانه، به‌شرح موارد ذیل بررسی شد.

-بررسی چالش‌های موجود در مدیریت داده‌های رسوب معلق و دبی جریان در ایستگاه‌های آب‌سنجی کشور

-تعیین نیازهای کاربران نهایی (سازمان منابع طبیعی، پژوهشگران، و مدیران منابع آب)



شکل۲- موقعیت ایستگاه‌های آب‌سنجی کشور در حوزه‌های آبخیز رتبه ۲ تماب

Fig. 2. The location of the country's hydrometric stations in the watersheds of the 2nd rank of Tamab

جدول ۱- تعداد ایستگاه‌های آب‌سنجی به تفکیک استان‌های کشور تا پایان سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ (وزارت نیرو، ۱۳۹۸)

Table 1. The number of hydrometric stations by province in the country until the end of the water year 2016-2015 (Ministry of Energy, 2019)

Regional Water Company	Grade 1	Grade 2	Grade 3	Grade 4	Total	Regional Water Company	Grade 1	Grade 2	Grade 3	Grade 4	Total
East Azerbaijan	27	6	9	25	67	Fars	30	11	3	4	48
West Azerbaijan	31	19	10	23	83	Qazvin	7	5	2	6	20
Ardabil	13	0	3	16	32	Qom	3	0	1	8	12
Isfahan	15	8	1	22	46	Kurdistan	28	8	7	0	43
Alborz	8	2	2	10	22	Kerman	22	12	0	5	39
Ilam	18	3	7	3	31	Kermanshah	31	15	2	4	52
Bushehr	8	0	0	2	10	Gilan	19	3	12	20	54
Tehran	25	9	4	19	57	Golestan	16	9	15	12	52
Chaharmahal and Bakhtiari	16	8	0	5	29	Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad	6	5	0	0	11
South Khorasan	0	0	4	0	4	Lorestan	12	14	0	8	34
North Khorasan	2	0	9	7	18	Mazandaran	13	9	11	41	74
Razavi Khorasan	17	14	20	19	70	Markazi	6	6	0	13	25
Khuzestan	24	20	3	2	49	Hormozgan	33	1	0	1	35
Zanjan	13	6	0	4	23	Hamadan	4	12	0	11	27
Semnan	1	4	2	10	17	Yazd	13	8	1	3	25
Sistan and Baluchestan	19	7	2	2	30	Total	480	224	130	305	1139[1]

ب- تعیین ویژگی‌های کلیدی سامانه. در این مرحله، با توجه به شناخت حاصل از مرحله نیازسنجی، موارد ذیل در طراحی و ساخت سامانه مورد توجه قرار گرفت.

- قابلیت ذخیره‌سازی و مدیریت داده‌ها
- امکان تحلیل‌های آماری و مکانی
- رابط کاربری گرافیکی (GUI) کاربرپسند
- قابلیت توسعه‌پذیری و یکپارچه‌سازی با سیستم‌های دیگر

ج- انتخاب فناوری‌ها و ابزارهای توسعه. این مرحله شامل موارد ذیل است.

-زبان برنامه‌نویسی: استفاده از C# در Microsoft Visual Studio به‌دلیل قدرت بالا در توسعه نرم‌افزارهای دسکتاپ، پشتیبانی از شیءگرایی، و یکپارچگی با فناوری‌های .NET.

-پایگاه داده: به‌کارگیری یک سیستم مدیریت پایگاه داده رابطه‌ای (DBMS) برای ذخیره‌سازی ساختاریافته داده‌ها

-دسترسی به داده‌ها: استفاده از ORM (Object-Relational Mapping) برای تسهیل ارتباط با پایگاه داده و کاهش کدنویسی تکراری

-پردازش داده‌ها: استفاده از LINQ (Language Integrated Query) برای انجام پرس‌وجوهای پیچیده و تحلیل داده‌ها به‌صورت کارآمد

-قابلیت‌های مکانی: استفاده از کتابخانه DotSpatial (یک کامپوننت GIS متن‌باز) برای نمایش، پردازش و تحلیل داده‌های مکانی

د- طراحی معماری سامانه. در این مرحله طراحی موارد ذیل در معماری سامانه انجام شد:

- لایه نمایش (Presentation Layer): رابط کاربری گرافیکی برای تعامل کاربر با استفاده از زبان C# و کامپوننت‌های DotSpatial
- لایه منطق (Logic Layer): پردازش داده‌ها، اعتبارسنجی، و اجرای تحلیل‌های آماری با استفاده از زبان C#
- لایه داده (Data Access Layer): مدیریت ذخیره‌سازی و بازیابی داده‌ها از پایگاه داده، با استفاده از زبان C#، ORM و LINQ

[1] به گفته یکی از کارشناسان وزارت نیرو
در اثر سیل فروردین ماه ۱۳۹۸ تعداد ۳۰۲ ایستگاه آب‌سنجی از بین رفته است.

-طراحی مدل‌های داده‌ای برای نمایش اطلاعات ایستگاه‌های آب‌سنجی، داده‌های رسوب معلق، و دبی جریان با استفاده از زبان #C و کامپوننت‌های DotSpatial

ه- پیاده‌سازی سامانه. در این مرحله کلیه مراحل طراحی سامانه، کد نویسی توابع و طبقه‌ها، ساخت پایگاه داده و انتقال داده های رسوب معلق و دبی جریان به‌شرح ذیل انجام شده است:

- مدیریت داده‌ها: امکان ثبت، ویرایش، حذف و جستجوی داده‌های رسوب و دبی
- تحلیل آماری: پیاده‌سازی توابع آماری (میانگین، میانه، حداقل، حداکثر و غیره)
- نمایش مکانی: استفاده از DotSpatial برای نمایش ایستگاه‌ها بر روی نقشه و تحلیل‌های مکانی

-اتصال سیستم به پایگاه داده و پیاده‌سازی ORM برای تسهیل عملیات CRUD

و- ارزیابی و اعتبارسنجی سامانه. در این مرحله اقدام به بررسی صحت داده‌های رسوب معلق و دبی جریان اقتباس شده، حاصل از پرس و جوهای تعریف شده بر روی پایگاه داده، به‌شرح ذیل شد:

-آزمون واحد (Unit Testing): بررسی صحت عملکرد هر تابع یا کلاس به صورت جداگانه

-آزمون یکپارچگی (Integration Testing): اطمینان از عملکرد صحیح سیستم در حالت یکپارچه

-ارزیابی با داده‌های واقعی: استفاده از داده‌های ایستگاه‌های حوضه ارس به‌عنوان مطالعه موردی و تحلیل نتایج

-بازخورد کاربران: دریافت نظرات برخی کارشناسان حوزه آبخیزداری و منابع آب برای بهبود عملکرد سامانه

ز- مستندسازی و ارائه راهکارهای توسعه آینده. در این مرحله ضمن ارائه دستورالعمل نحوه استفاده از سامانه نرم‌افزاری، پیشنهاداتی برای توسعه‌های آتی سامانه به‌شرح موارد ذیل، ارائه شد:

-تهیه مستندات فنی و کاربردی سامانه و دستورالعمل به‌کارگیری آن

-ارائه پیشنهاداتی برای توسعه‌های آتی مانند افزودن هوش مصنوعی برای پیش‌بینی رسوب، توسعه نسخه تحت وب برای دسترسی گسترده‌تر و یکپارچه‌سازی با سامانه‌های ملی در دیگر دستگاه‌های اجرایی نظیر وزارت نیرو

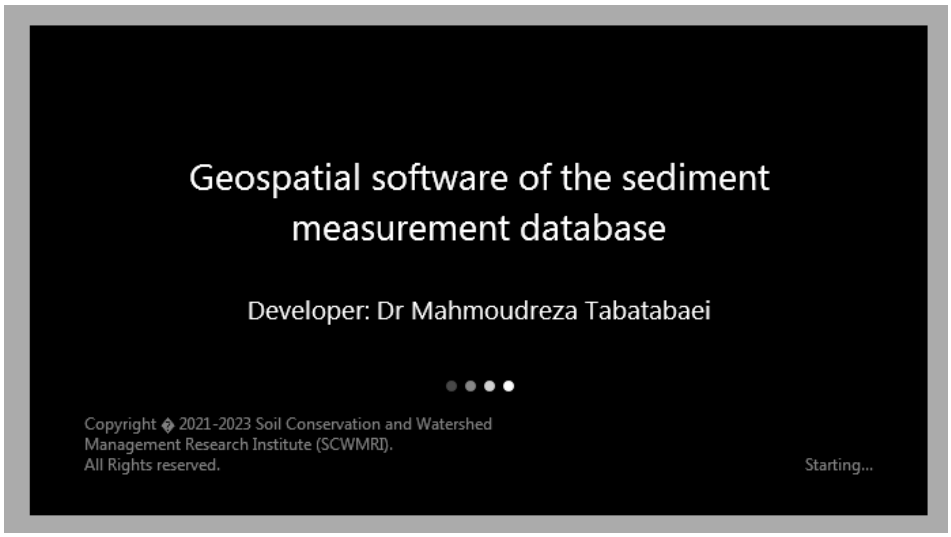
در مجموع، روش به‌کارگرفته‌شده در این پژوهش، مبتنی بر یک چارچوب سیستماتیک از نیازسنجی تا پیاده‌سازی و ارزیابی بوده است. ترکیب فناوری‌های پایگاه داده، ORM، LINQ و GIS در قالب یک سامانه نرم‌افزاری مکانی، نوآوری اصلی این کار محسوب می‌شود. همچنین، قابلیت تعمیم‌پذیری سیستم با استفاده از داده‌های حوضه ارس به‌عنوان نمونه، نشان‌دهنده پتانسیل بالای این سامانه برای کاربرد در سایر حوزه‌های آبخیز کشور است.

نتایج و بحث

نتایج این پژوهش به‌طور کلی به دو بخش مجزا ولی مرتبط با یکدیگر شامل نتایج طراحی سامانه و سپس تحلیل آماری داده‌های رسوب معلق در حوضه رتبه ۲ ارس خلاصه شده است.

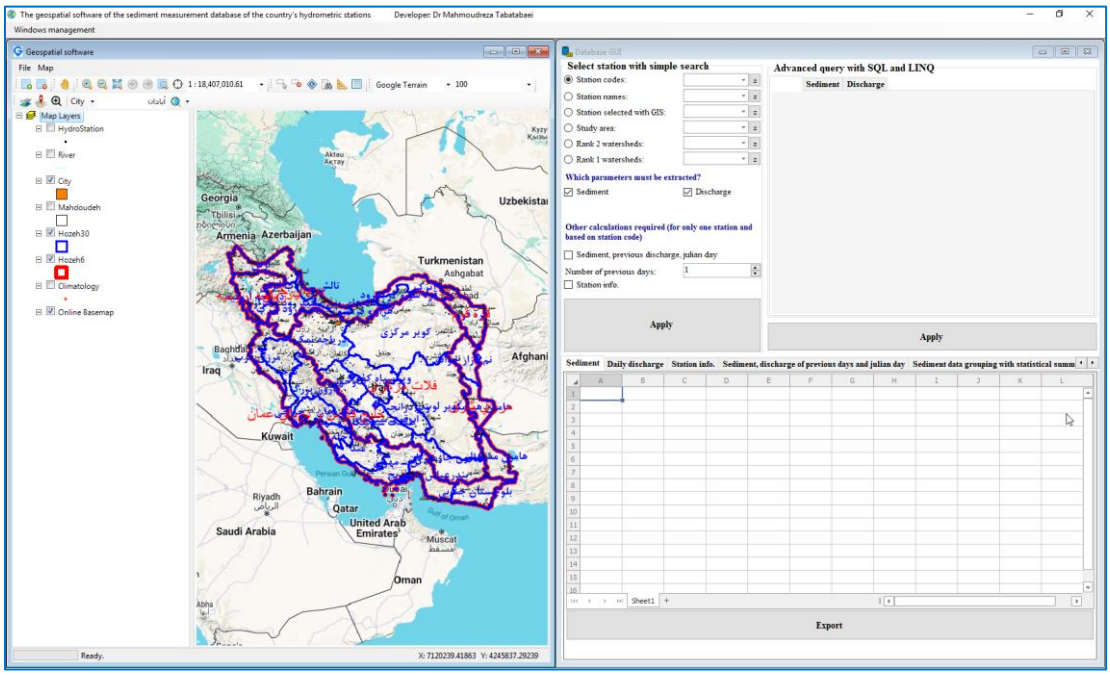
الف- نتایج طراحی و کدنویسی سامانه

سامانه مکانی داده‌های رسوب معلق (شکل۳)، از دو بخش پایگاه داده (پنجره سمت راست شکل ۴) و یک نرم‌افزار تخصصی GIS (پنجره سمت چپ شکل ۴) تشکیل شده است. این پنجره‌ها ضمن آنکه با یکدیگر در ارتباط هستند، می‌توانند به‌صورت پیش‌فرض (نشان داده شده در شکل ۴) و یا بسته به نیاز کاربران به‌صورت تکی و حداکثر شده مورد استفاده قرار گیرند. در ادامه، امکانات طراحی شده در دو بخش اصلی (پایگاه داده و سامانه داده‌های مکانی) به‌اختصار بیان می‌شود.



شکل ۳- صفحه اولیه نشان داده شده پس از اجرای نرم‌افزار

Fig. 3. The initial screen displayed after running the software



شکل ۴- پنجره اصلی نرم افزار

Fig. 4. The main window of the software

- بخش سامانه مکانی

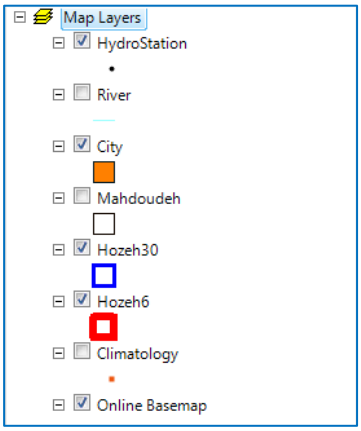
نوار ابزار عمومی: شکل ۵، نوار ابزار طراحی شده در سامانه مکانی را نشان می دهد. ابزارهای موجود در این نوار ابزار، ابزارهای شناخته‌شده‌ای هستند که در اغلب نرم‌افزارهای GIS مورد استفاده قرار می‌گیرند و عموماً به‌منظور راهبری، ارتباط و تعامل با لایه‌های اطلاعاتی به‌کار می‌روند.

شکل ۵-نوار ابزار عمومی سامانه

Fig. 5. The general toolbar of the system

پنجره مدیریت لایه‌های اطلاعاتی[1]:

کلیه لایه‌های اطلاعاتی در این پنجره نمایش داده می‌شوند. با استفاده از این پنجره، امکان مدیریت لایه‌های اطلاعاتی وجود دارد.

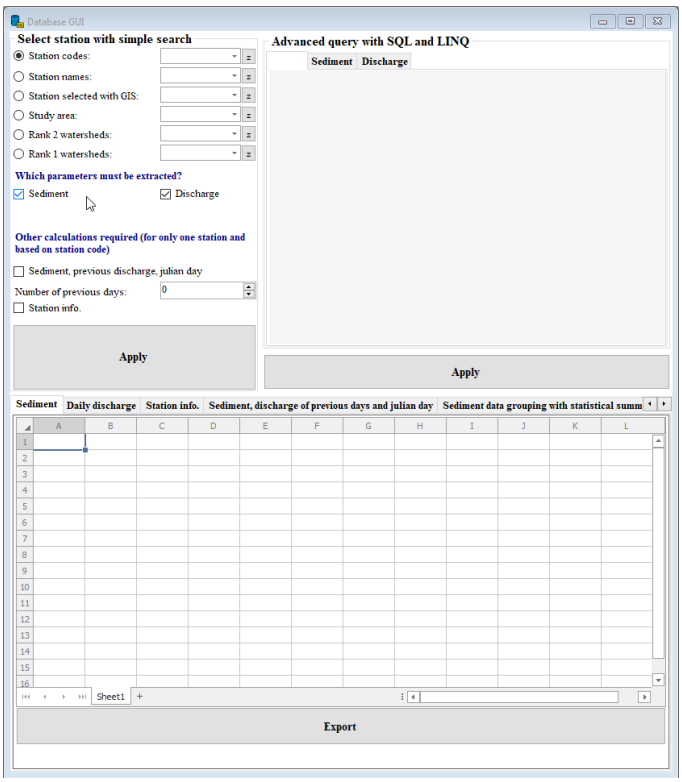


شکل ۶- قاب مدیریت لایه‌های اطلاعاتی

Fig. 6. The layer management panel

-بخش پایگاه داده‌های رسوب معلق سامانه

به‌منظور تعامل با پایگاه داده‌های رسوب معلق سامانه، ابزارهای گرافیکی طراحی و کدنویسی شده است که به کمک آنها، امکان تعامل با پایگاه داده وجود دارد (شکل ۷).

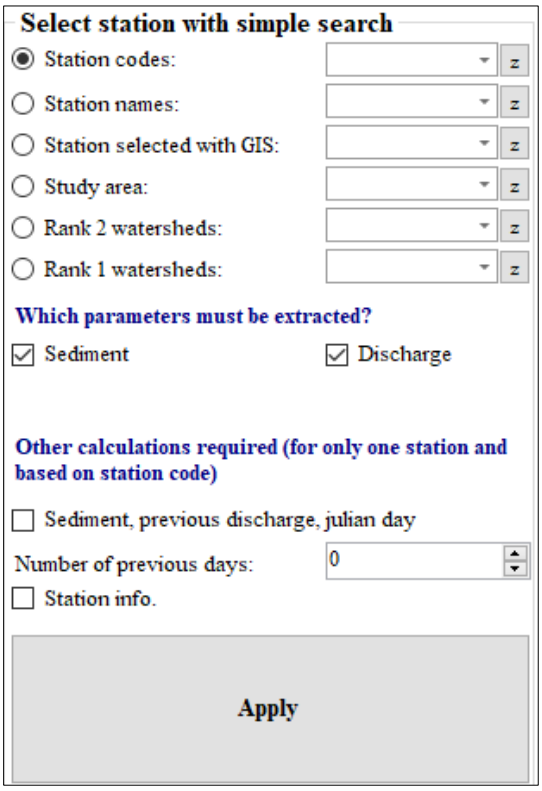


شکل ۷- بخش پایگاه داده‌های رسوب معلق سامانه

Fig. 7. Section of the suspended sediment databases of the system

[1] Legend

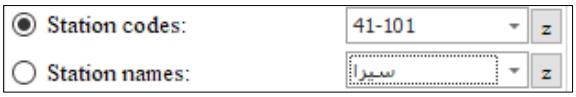
در شکل ۸، بخشی از این محیط گرافیکی و ابزارهای آن نشان داده شده است. به‌منظور واکشی اطلاعات رسوب معلق از پایگاه داده، امکانات مختلفی طراحی و کدنویسی شده است که در شکل ۸ با دکمه‌های رادیویی نشان داده شده‌اند. همان‌طور که در این شکل نشان داده شده است، کاربر می‌تواند با روش‌های زیر داده‌های مورد نظر را از پایگاه داده استخراج نماید.



شکل ۸- روش‌های انتخاب ایستگاه آب‌سنجی

Fig. 8. Methods for selecting hydrometric stations

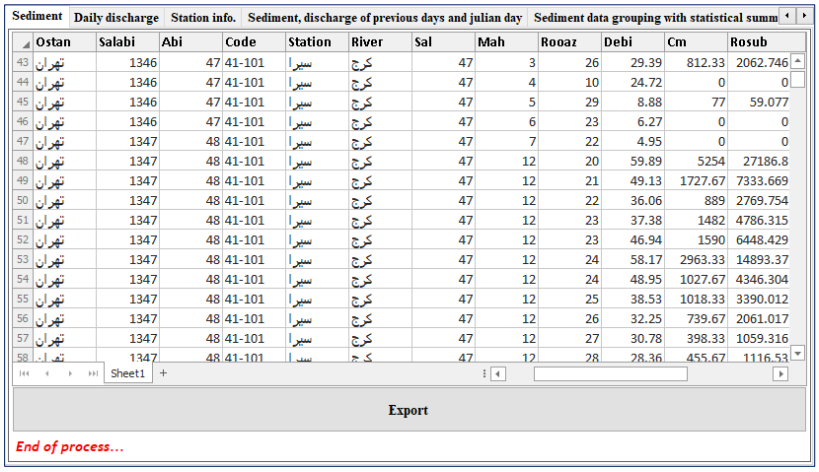
-استخراج داده با استفاده از کد یا نام ایستگاه آب‌سنجی: در این روش کاربر با انتخاب کد ایستگاه یا نام ایستگاه از لیست‌های پائین افتادنی، می‌تواند به داده‌های رسوب معلق یا دبی جریان آن ایستگاه دسترسی پیدا نماید شکل (۹).



شکل ۹- انتخاب ایستگاه با کد یا نام ایستگاه آب‌سنجی

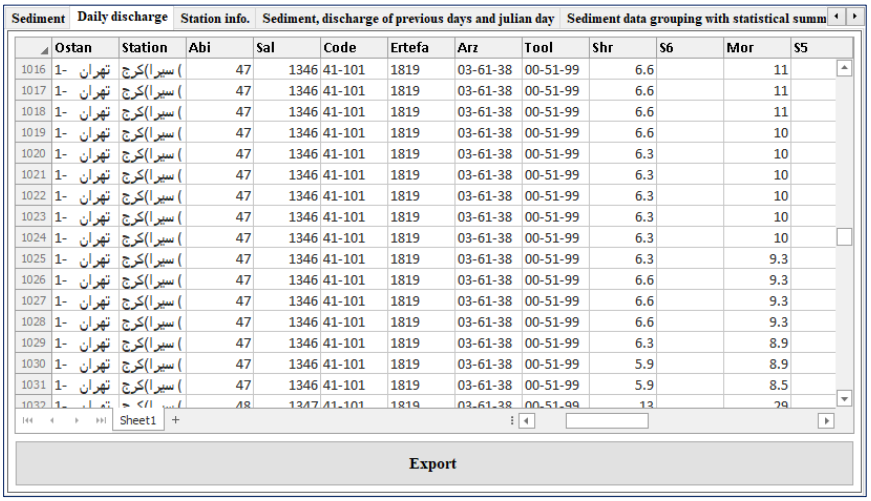
Fig. 9. Selecting a station by code or name of the hydrometric station

در شکل ۱۰ و ۱۱، به ترتیب داده‌های رسوب معلق و دبی روزانه برای ایستگاه آب‌سنجی سیرا (کد ۴۱-۱۰۱) از پایگاه داده استخراج و نمایش داده شده است.



شکل ۱۰- داده‌های رسوب معلق استخراج شده از از پایگاه داده مربوط به ایستگاه آب‌سنجی سیرا (کد ۱۰۱-۴۱)

Fig. 10. Suspended sediment data extracted from the database related to the Sierra hydrometric station (code 101-41)



شکل ۱۱- داده دبی جریان روزانه استخراج شده از از پایگاه داده مربوط به ایستگاه آب‌سنجی سیرا (کد ۱۰۱-۴۱)

Fig. 11. Daily flow discharge data extracted from the database related to the Sierra hydrometric station (code 101-41)

در شکل ۹ و درکنار لیست انتخاب ایستگاه آب‌سنجی، دکمه کوچکی (به نام Z) تعبیه شده است که با فعال نمودن آن، ایستگاه مربوطه انتخاب (برجسته شده)، و عمل بزرگنمایی بر روی نقشه بر روی آن ایستگاه انجام می‌شود (شکل ۱۲).

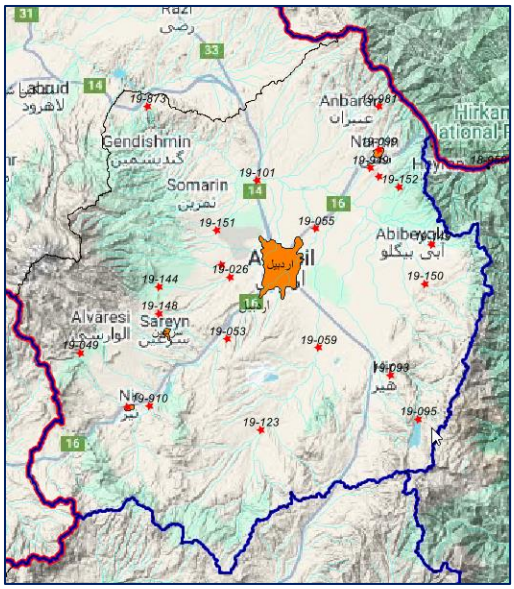
شکل ۱۲- بزرگنمایی ایستگاه آب‌سنجی انتخاب شده

Fig. 12. Zooming in on the selected hydrometric station

-استخراج داده با استفاده از سطوح هیدرولوژیکی: در این روش با تعیین یک محدوده هیدرولوژیکی (حوضه‌های رده ۱و ۲ تماب) یا واحد های مطالعاتی، بر اساس روابط مکانی بین عوارض لایه‌های اطلاعاتی، داده‌های ایستگاه‌های واقع شده در آن محدوده از پایگاه داده استخراج و نمایش داده می‌شوند. به عنوان مثال در شکل‌های ۱۳، ۱۴و ۱۵ داده‌های آب‌سنجی واحد مطالعاتی اردبیل مورد جستجو و اقتباس قرار گرفته است.

شکل ۱۳- انتخاب واحد مطالعاتی

Fig. 13. Selecting the study unit



شکل ۱۴- ایستگاه‌های آب‌سنجی انتخاب شده در واحد مطالعاتی اردبیل (ایستگاه‌های منتخب با ستارهای قرمز رنگ مشخص شده است)

Fig. 14. Selected hydrometric stations in the Ardabil study unit (selected stations are marked with red stars)

Sediment | Daily discharge | Station info. | Sediment, discharge of previous days and julian day | Sediment data grouping with statistical summ

	Sazman	Ost	Ostan	Salabi	Abi	Code	Station	River	Sal	Mah	Rooaz	Debi
1	25	25- اردبيل	,ايجانشرقي	1380	81	19-022	عمو قين	بوليك چاي	80	8	24	0.01
2	25	25- اردبيل	,ايجانشرقي	1380	81	19-022	عمو قين	بوليك چاي	80	9	8	0.18
3	25	25- اردبيل	,ايجانشرقي	1380	81	19-022	عمو قين	بوليك چاي	80	10	29	0.1
4	25	25- اردبيل	,ايجانشرقي	1380	81	19-022	عمو قين	بوليك چاي	80	11	24	0.25
5	25	25- اردبيل	,ايجانشرقي	1380	81	19-022	عمو قين	بوليك چاي	80	12	28	0.11
6	25	25- اردبيل	,ايجانشرقي	1380	81	19-022	عمو قين	بوليك چاي	80	8	24	0.01
7	25	25- اردبيل	,ايجانشرقي	1380	81	19-022	عمو قين	بوليك چاي	80	9	8	0.18
8	25	25- اردبيل	,ايجانشرقي	1380	81	19-022	عمو قين	بوليك چاي	80	10	29	0.1
9	25	25- اردبيل	,ايجانشرقي	1380	81	19-022	عمو قين	بوليك چاي	80	11	24	0.25
10	25	25- اردبيل	,ايجانشرقي	1380	81	19-022	عمو قين	بوليك چاي	80	12	28	0.11
11	25	25- اردبيل	,ايجانشرقي	1380	81	19-022	عمو قين	بوليك چاي	81	1	10	0.13
12	25	25- اردبيل	,ايجانشرقي	1380	81	19-022	عمو قين	بوليك چاي	81	1	20	0.09
13	25	25- اردبيل	,ايجانشرقي	1380	81	19-022	عمو قين	بوليك چاي	81	2	7	0.01
14	25	25- اردبيل	,ايجانشرقي	1380	81	19-022	عمو قين	بوليك چاي	81	2	11	
15	25	25- اردبيل	,ايجانشرقي	1380	81	19-022	عمو قين	بوليك چاي	81	2	15	
16	25	25- اردبيل	,ايجانشرقي	1380	81	19-022	عمو قين	بوليك چاي	81	2	25	1.41

Sheet1 +

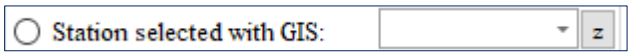
Export

End of process...

شکل ۱۵- داده دبی جریان روزانه استخراج شده از از پایگاه داده مربوط به واحد مطالعاتی اردبیل (کد ۱۱۰۳)

Fig. 15. Daily flow discharge data extracted from the database related to the Ardabil study unit (code 1103)

-استخراج داده در محیط GIS: علاوه بر روش‌های یاد شده، چنانچه کاربر علاقمند به انتخاب ایستگاه(های) آب‌سنجی در محیط GIS باشد می‌تواند با ابزار تعبیه شده در نوار ابزار ( )، ایستگاه یا ایستگاه‌های مورد نظر را انتخاب نموده و سپس از بخش پایگاه داده (شکل ۱۶) نسبت به انتخاب همه یا برخی از آنها اقدام نماید.



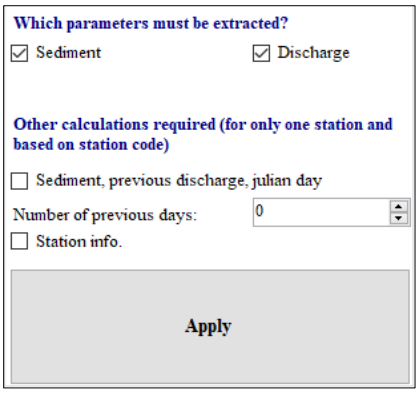
شکل ۱۶- انتخاب ایستگاه‌های تعیین شده در محیط GIS

Fig. 16. Selecting defined stations in the GIS environment

پس از این انتخاب، مشابه با مراحل قبل، داده‌های رسوب معلق یا دبی جریان در جداول مربوطه در اختیار کاربر قرار می‌گیرد.

-مدیریت انتخاب داده‌های موجود در پایگاه اطلاعاتی

به‌منظور انتخاب داده‌های مورد نیاز (دبی جریان، رسوب معلق) از پایگاه داده، یا محاسبه دبی روزهای گذشته یا روز ژولین از امکانات این بخش استفاده می‌شود شکل (۱۷).



شکل ۱۷- انتخاب داده‌های مورد نیاز پایگاه

Fig. 17. Selecting required data from the database

انتخاب پارامترهای این بخش در چگونگی اقتباس[1] اطلاعات از پایگاه داده موثر بوده و به کمک آن می‌توان، چهار نوع اطلاعات را از پایگاه داده اقتباس نمود که در ادامه به اختصار توضیح داده می‌شوند:

-گزینه‌های Sediment و Discharge:

با اتتخاب این گزینه‌ها، داده‌های رسوب معلق و دبی روزانه ایستگاه (های) مورد نظر در جدول‌های Sediment و Daily Discharge در بخش پایینی نرم افزار نشان داده می‌شوند.

-گزینه Sediment, previous discharge, julian day:

با استفاده از این گزینه می‌توان علاوه بر داده‌های رسوب معلق و دبی روزانه، برای دبی جریان روزانه، داده‌های روزهای پیشین آن را از پایگاه داده اخذ نمود. به‌منظور روشن شدن مطلب به مثال زیر توجه شود.

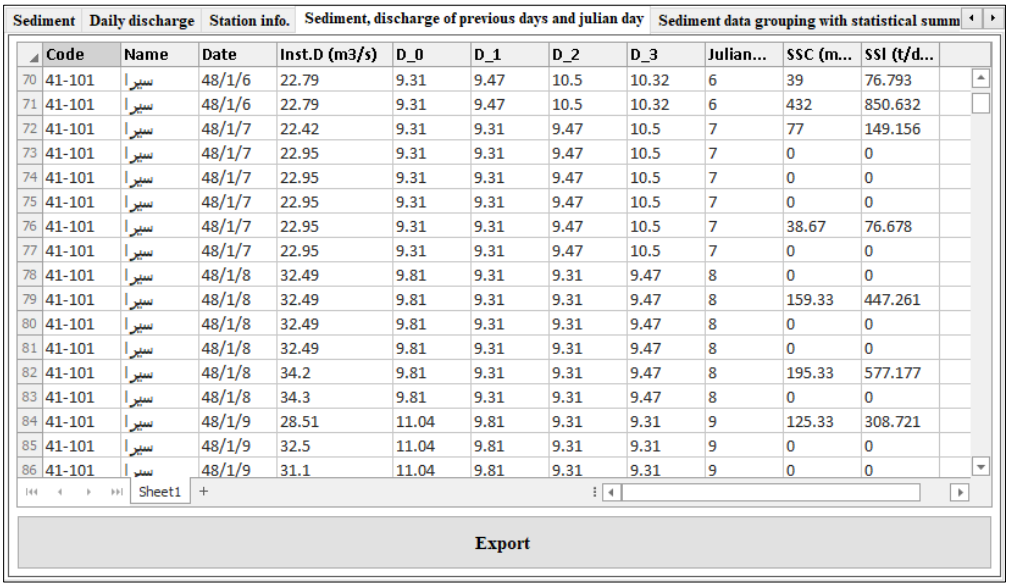
مثال: کاربر از سامانه می‌خواهد تا برای ایستگاه آب‌سنجی سیرا با کد ۴۱-۱۰۱، علاوه بر داده‌های رسوب معلق این ایستگاه، داده‌های دبی روزانه این ایستگاه به نحوی از پایگاه داده اقتباس شود که دبی‌های جریان سه روز قبل هر رکورد اطلاعاتی نیز واکشی شود (شکل ۱۸).

علاوه بر محاسبه دبی روزهای پیشین، روزهای ژولین نیز برای هر رکورد اطلاعاتی محاسبه شده است. منظور از روز ژولین، شماره روز از آغاز سال و اعدادی مابین یک تا ۳۶۵ یا ۳۶۶ (در سال‌های کبیسه) است. به عنوان مثال روز ژولین برای روز دو اردیبهشت ماه عدد ۳۳ است. اهمیت این شماره‌ها در شبیه‌سازی رسوب معلق (در روش‌های یادگیری ماشینی) و تشریح شرایط فصلی و توضیح شرایط زمانی نمونه‌ها برای

[1] *Extraction*

آموزش مدل‌ها بسیار موثر است.

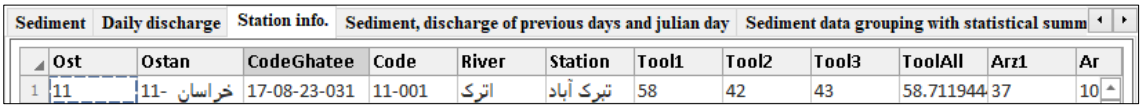
-گزینه .Station info: چنانچه این گزینه فعال شـــده باشد و ایستگاه آب‌سنجی انتخاب شده حاوی اطلاعات توصیفی باشد، اطلاعات آن در جدولی نظیر شکل ۱۹ نمایش داده می‌شود.



	Code	Name	Date	Inst.D (m3/s)	D_0	D_1	D_2	D_3	Julian...	SSC (m...	SSl (t/d...
70	41-101	سیرا	48/1/6	22.79	9.31	9.47	10.5	10.32	6	39	76.793
71	41-101	سیرا	48/1/6	22.79	9.31	9.47	10.5	10.32	6	432	850.632
72	41-101	سیرا	48/1/7	22.42	9.31	9.31	9.47	10.5	7	77	149.156
73	41-101	سیرا	48/1/7	22.95	9.31	9.31	9.47	10.5	7	0	0
74	41-101	سیرا	48/1/7	22.95	9.31	9.31	9.47	10.5	7	0	0
75	41-101	سیرا	48/1/7	22.95	9.31	9.31	9.47	10.5	7	0	0
76	41-101	سیرا	48/1/7	22.95	9.31	9.31	9.47	10.5	7	38.67	76.678
77	41-101	سیرا	48/1/7	22.95	9.31	9.31	9.47	10.5	7	0	0
78	41-101	سیرا	48/1/8	32.49	9.81	9.31	9.31	9.47	8	0	0
79	41-101	سیرا	48/1/8	32.49	9.81	9.31	9.31	9.47	8	159.33	447.261
80	41-101	سیرا	48/1/8	32.49	9.81	9.31	9.31	9.47	8	0	0
81	41-101	سیرا	48/1/8	32.49	9.81	9.31	9.31	9.47	8	0	0
82	41-101	سیرا	48/1/8	34.2	9.81	9.31	9.31	9.47	8	195.33	577.177
83	41-101	سیرا	48/1/8	34.3	9.81	9.31	9.31	9.47	8	0	0
84	41-101	سیرا	48/1/9	28.51	11.04	9.81	9.31	9.31	9	125.33	308.721
85	41-101	سیرا	48/1/9	32.5	11.04	9.81	9.31	9.31	9	0	0
86	41-101	سیرا	48/1/9	31.1	11.04	9.81	9.31	9.31	9	0	0

شکل ۱۸– داده‌های رسوب معلق ایستگاه آب‌سنجی سیرا به همراه داده‌های دبی روزانه جریان (تا سه روز قبل) و روز ژولین

Fig. 18. Suspended sediment data from the Sierra hydrometric station along with daily flow discharge data (up to three days prior) and Julian day

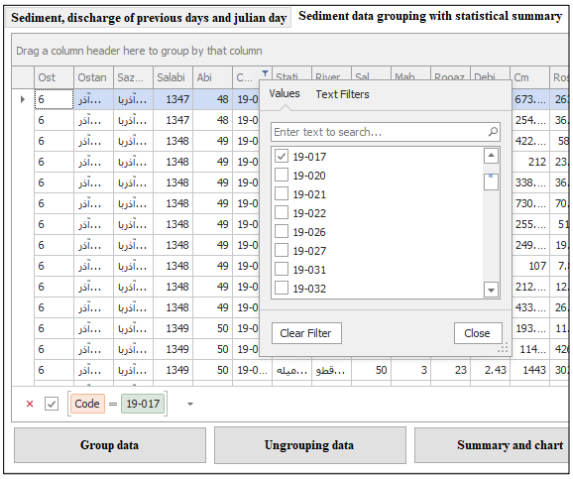


	Ost	Ostan	CodeGhatee	Code	River	Station	Tool1	Tool2	Tool3	ToolAll	Arz1	Ar
1	11	11- خراسان	17-08-23-031	11-001	اترک	تبرک آباد	58	42	43	58.711944	37	10

شکل ۱۹- نمایش اطلاعات توصیفی ایستگاه آب‌سنجی

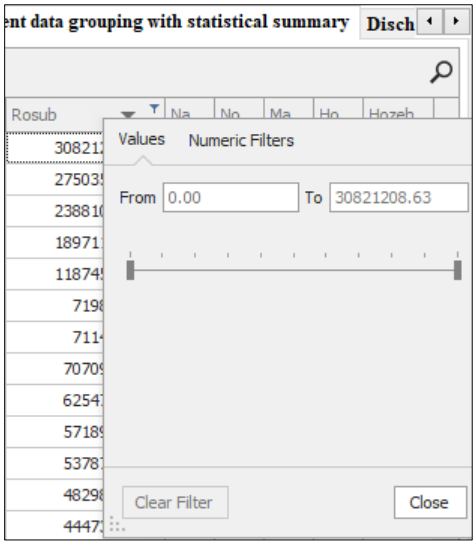
Fig. 19. Displaying descriptive information of the hydrometric station

فیلترنمودن داده‌های رسوب معلق: علاوه بر گروه‌بندی داده‌های رسوب معلق، امکانات دیگری نیز در سامانه و به‌منظور فیلتر نمودن اطلاعات (اعم از ایستگاه آب‌سنجی و یا داده‌های رسوب معلق آنها) تعبیه شده است که با فعال نمودن آنها (دکمه فیلتر از بالای سرستون هر فیلد (▼)می‌توان نسبت به فیلتر نمودن اطلاعات مورد نیاز اقدام نمود (شکل‌های ۲۰ و ۲۱).



شکل ۲۰- فیلتر نمودن ایستگاه‌های آب‌سنجی با کد دلخواه

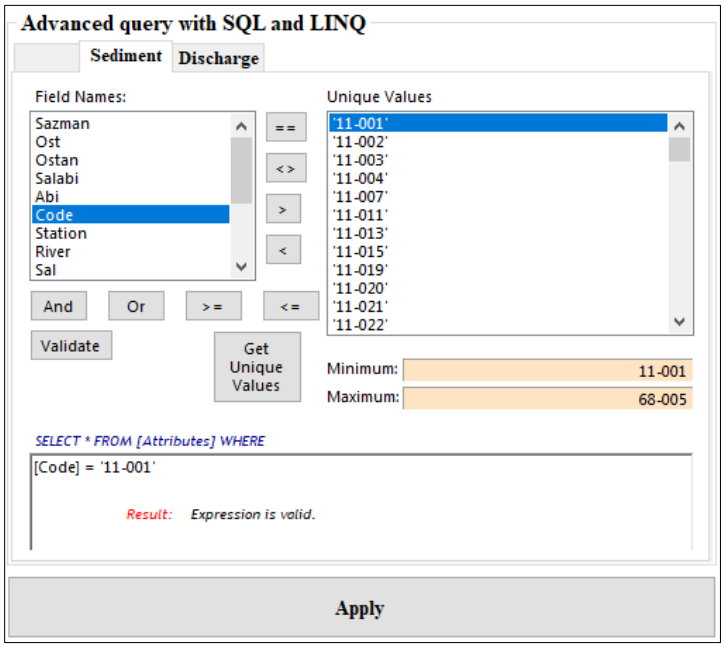
Fig. 20. Filtering hydrometric stations by desired code



شکل ۲۱- پنجره فیلتر برای فیلد عددی

Fig. 21. Filter window for numeric field

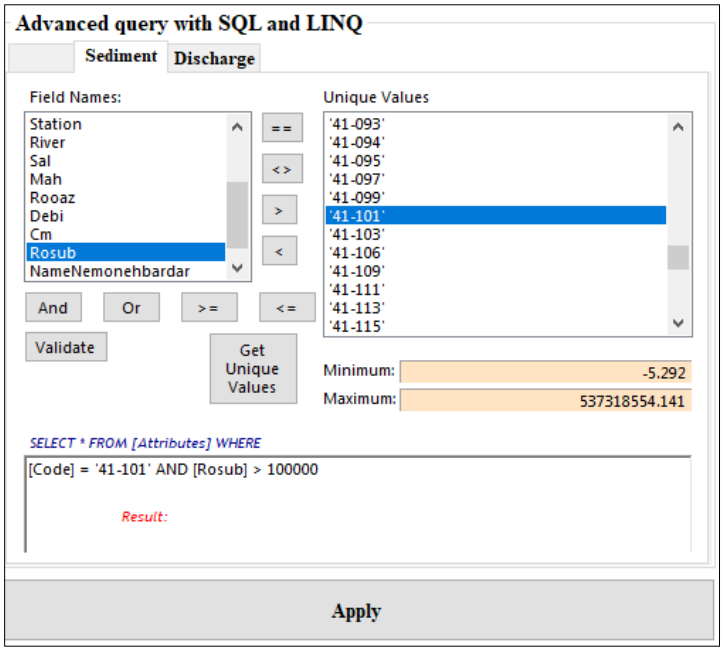
جستجوی پیشرفته: در این بخش امکان طرح پرسش بر روی کلیه داده‌های رسوب معلق و دبی روزانه وجود داشته و کاربر می‌تواند با تعریف پرسش‌های متفاوت و یا ترکیبی، داده مورد نظر خود را از سامانه واکشی نماید (شکل ۲۲).



شکل ۲۲- پنجره جستجوی پیشرفته در داده‌های رسوب معلق و دبی جریان روزانه

Fig. 22. Advanced search window in suspended sediment and daily flow discharge data

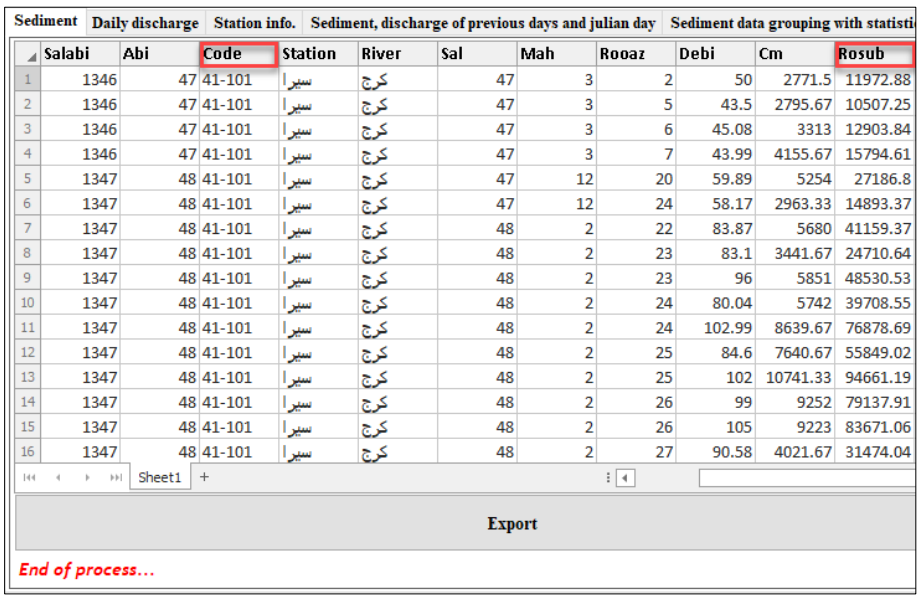
پنجره جستجوی پیشرفته از دو لبه به نام‌های Sediment و Discharge تشکیل شده است. اساسا این پنجره به جدول‌های داده‌های رسوب معلق و دبی جریان روزانه در بانک اطلاعاتی متصل بوده و ستون‌های (فیلدهای) این جدول‌ها را نشان می دهد (شکل ۲۳).



شکل ۲۳- ایجاد یک پرسش (Query) در پنجره جستجوی پیشرفته

Fig. 23. Creating a query in the advanced search window

به‌عنوان مثال در شکل ۲۳، چنانچه در پانل سمت چپ (Field Name) ستون Code انتخاب شود، با فشردن دکمه Get Unique Values، کدهای کلیه ایستگاه‌ها در پانل سمت راست (Uniqe Values) از پایگاه داده واکشی شده و نمایش داده می‌شود. پس از آن کاربر می‌تواند با استفاده از اپراتورهای رابطه ای (مقایسه‌ای) نظیر کوچکتر (<)، بزرگتر (>)، ... و عملگرهای منطقی نظیر And و Or نسبت به تعیین داده‌های رسوب‌سنجی یا دبی جریان با شرایط مورد نظر اقدام نماید. در این رابطه در شکل ۲۴، کاربر با استفاده از عملگرهای یاد شده در ایجاد یک پرسش، داده‌های رسوب معلق ایستگاه آب‌سنجی با کد ۱۰۱-۴۱ که دبی رسوب روزانه آنها بالاتر از ۱۰۰۰۰تن در روز بوده را از پایگاه داده واکشی نموده است.



شکل ۲۴- داده‌های رسوب معلق واکشی شده از پایگاه داده با اجرای یک پرسش (Query)

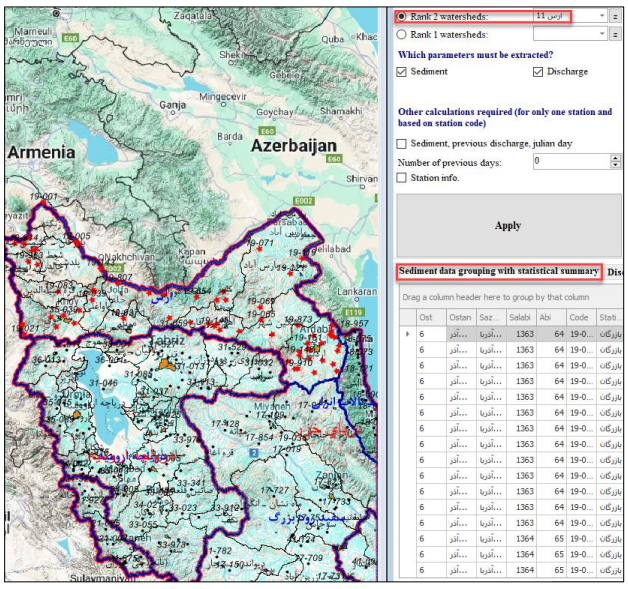
Fig. 24. Suspended sediment data retrieved from the database by executing a query

به‌روز رسانی پایگاه داده: به‌منظور به‌روز رسانی داده‌های رسوب معلق پایگاه داده سامانه، می‌توان از نرم‌افزارهای مرتبط با بانک اطلاعاتی SQLite نظیر Navicat Permium، DB Browser for SQLite (DB4S) و نظایر آن استفاده نمود. در پژوهش حاضر از نرم‌افزار Navicat Permium نسخه ۱۶ به‌منظور مدیریت پایگاه داده‌های سامانه استفاده شده است.

ب- نتایج تحلیل آماری داده‌های رسوب معلق حوضه رتبه ۲ ارس: در این بخش، ضمن ارائه معرفی اجمالی اجزا و امکانات موجود در تحلیل داده‌های رسوب معلق، نتایج آماری تمامی داده‌های رسوب معلق (رسوب معلق) حوضه‌ی ارس، تا آخرین سال آماری در دسترس (سال ۱۳۹۷)، با بهره‌گیری از تحلیل روابط مکانی بین حوضه، واحدهای مطالعاتی و ایستگاه‌های آب‌سنجی واقع در آنها محاسبه شده است.

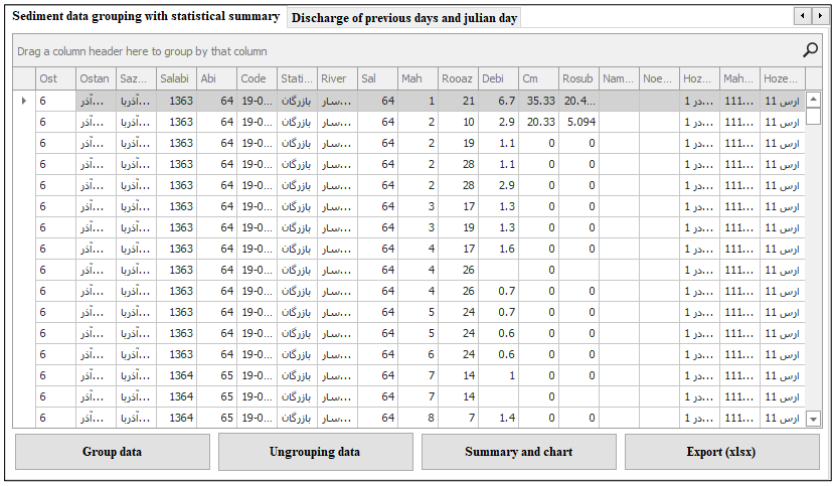
به‌منظور خلاصه‌سازی و گروه‌بندی داده‌های رسوب معلق ایستگاه‌های آب‌سنجی واقع در واحدهای هیدرولوژیکی، امکانات ویژه‌ای در سامانه طراحی شده است. به‌عنوان نمونه، در شکل ۲۵، با انتخاب حوضه‌ی ارس از پانل سمت راست، تعدادی ایستگاه آب‌سنجی در این محدوده انتخاب و در پانل سمت چپ بر روی نقشه به‌صورت ستاره‌های قرمز رنگ نمایش داده شده‌اند. چنانچه نیاز باشد، ایستگاه‌های این محدوده را به گونه‌ای دسته‌بندی کرد که وضعیت آنها از نظر تعداد و تحلیل‌های آماری مورد بررسی قرار گیرد، لبه "گروه‌بندی داده‌های رسوب با خلاصه آماری" از پایین صفحه فعال می‌شود (شکل ۲۶). در این شکل (شکل ۲۶)، تمامی رکوردهای اطلاعاتی ایستگاه‌های آب‌سنجی واقع در حوضه ارس نمایش داده شده است. برای گروه‌بندی این اطلاعات، دکمه "Group data" در پایین فرم را فعال می‌شود (شکل ۲۷).

همان‌طور که در شکل ۲۷ نشان داده شده است، در حوضه رتبه ۲ ارس، تعدادی واحد مطالعاتی نظیر مغان-پارس‌آباد با کد ۱۱۰۱، مشکین‌شهر با کد ۱۱۰۲، و غیره تا واحد مطالعاتی زنگنه با کد ۱۱۱۳، با استفاده از روابط مکانی توسط سامانه شناسایی و نمایش داده شده‌اند. برای هر یک از واحدهای مطالعاتی، اطلاعات خلاصه‌ای از داده‌های رسوب معلق کلیه ایستگاه‌های آب‌سنجی واقع در آنها محاسبه و نمایش داده شده است. این اطلاعات شامل تعداد ایستگاه‌های آب‌سنجی، حداقل‌ها، حداکثرها و میانگین‌های مقادیر غلظت رسوب معلق (میلی‌گرم بر لیتر)، دبی رسوب معلق (تن بر روز) و دبی لحظه‌ای (مترمکعب بر ثانیه) ایستگاه‌های آب‌سنجی مورد بررسی است. به‌عنوان مثال، در شکل ۲۸، که اولین رکورد در جدول شکل ۲۷ را نشان می‌دهد، خلاصه آماری از داده‌های رسوب معلق ایستگاه‌های محدوده‌ی مطالعاتی مغان-پارس‌آباد ارائه شده است.



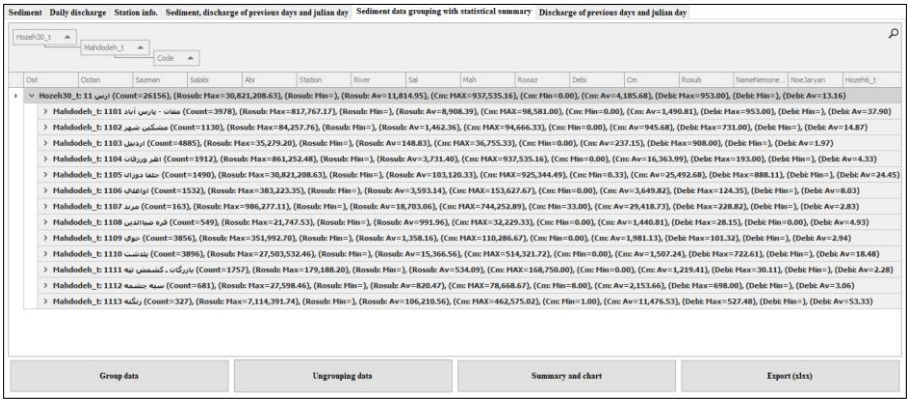
شکل۲۵- ایستگاه‌های آب‌سنجی انتخاب شده در حوضه ارس

Fig. 25. Selected hydrometric stations in the Aras basin



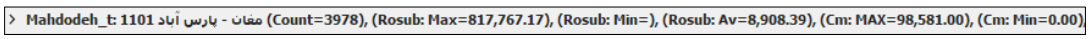
شکل۲۶- رکوردهای اطلاعاتی ایستگاه‌های آب‌سنجی واقع در حوضه ارس

Fig. 26. Information records of hydrometric stations located in the Aras basin



شکل ۲۷- رکوردهای اطلاعاتی دسته‌بندی شده ایستگاه‌های آب‌سنجی واقع در حوضه ارس

Fig. 27. Categorized information records of hydrometric stations located in the Aras basin



شکل ۲۸- خلاصه آماری داده‌های رسوب معلق ایستگاه‌های آب‌سنجی واقع در واحد مطالعاتی مغان-پارس آباد

Fig. 28. Statistical summary of suspended sediment data from hydrometric stations in the Moghan-Parsabad study unit

به‌منظور نمایش گرافیکی داده‌های رسوب معلق گروه‌بندی شده، می‌توان از امکانات دیگری که در سامانه تعبیه شده است، استفاده نمود. با توجه به اهمیت موضوع، تحلیل آماری داده‌های رسوب معلق در حوضه ارس در سه مقیاس مختلف حوضه رتبه ۲ ارس، واحدهای مطالعاتی تشکیل‌دهنده آن و نهایتاً در ایستگاه‌های آب‌سنجی هر واحد مطالعاتی انجام شده است. نتایج این تحلیل‌ها در جدول‌های ۲ تا ۴ خلاصه شده‌اند. همچنین، به‌منظور آگاهی از مقادیر حداکثر و حداقل رسوب معلق ثبت‌شده در ایستگاه‌های آب‌سنجی واقع در حوضه ارس، مقادیر دبی رسوب در کلیه جدول‌ها به‌ترتیب از بزرگ به کوچک مرتب شده‌اند. در جدول مربوطه، پارامترهای آماری شامل مقادیر بیشینه، کمینه و میانگین داده‌های رسوب معلق برای کل حوضه ارس ارائه شده است.

جدول ۲- پارامترهای آماری داده‌های رسوب معلق حوضه ارس

Table 2. Statistical parameters of suspended sediment data in the Aras basin

Variables /Statistics	Minimum*	Maximum	Average	Count
Suspended Sediment Load (toneday^{-1})	0.01	30,821,208.63	11,814.95	
Suspended Sediment Concentration (mgl^{-1})	0.04	937,535.16	4,185.68	
Instantaneous Flow Discharge (m^{3}s^{-1})	0.01	953.00	13.16	
Total number of samples with null data				26156

*Minimum values after removing null data

در رابطه با جدول ۲، اشاره به چند نکته حائز اهمیت است. نخست آنکه مقادیر موجود در ستون حداقل، کمترین مقادیر ثبت شده در داده‌های رسوب معلق پس از فیلتر کردن و حذف داده‌های ناقص (خالی) است. همچنین در ستون حداکثر، مقادیر حدی رسوب به‌طور قابل توجهی بالا بوده و لازم است با احتیاط از این اعداد استفاده شود. طبق بررسی‌های انجام‌شده، اراضی این منطقه در پهنه‌های مارنی حساس به فرسایش واقع شده‌اند و سهم فرسایش کناری رودخانه در تولید رسوب در بخش‌هایی از رودخانه که حالت مئاندری پیدا کرده‌اند، بسیار زیاد است. با این حال، لازم است مطالعات بیشتری در خصوص تغییر کاربری اراضی و دیگر عوامل تأثیرگذار در ایجاد رسوب در این منطقه انجام شود. در جدول‌های ۳ و ۴ به‌ترتیب، پارامترهای آماری داده‌های رسوب معلق واحدهای مطالعاتی و ایستگاه‌های آب‌سنجی حوضه ارس خلاصه شده است.

جدول ۳- پارامترهای آماری داده‌های رسوب معلق واحدهای مطالعاتی حوضه ارس

Table 3. Statistical parameters of suspended sediment data from study units in the Aras basin

Name of the study area	Min. of SSL* ($tonday^{-1}$)	Max. of SSL ($tonday^{-1}$)	Av. of SSL ($tonday^{-1}$)	Min. of SSC** (mgl^{-1})	Max. of SSC (mgl^{-1})	Av. of SSC (mgl^{-1})	Min. of IFD*** (m^3s^{-1})	Max. of IFD (m^3s^{-1})	Av. of IFD (m^3s^{-1})	count
Julfa Dozal (1105)	0.01	30821208.63	103120.33	0.33	925344.49	25492.68	0.01	888.11	24.45	1490
Poldasht (1110)	0.03	27503532.46	15366.56	0.33	514321.72	1507.24	0.02	722.61	18.48	3896
Zanganeh (1113)	0.01	7114391.74	106210.56	1.00	462575.02	11476.53	0.01	527.48	53.33	327
Merand (1107)	0.07	986277.11	18703.06	33.00	744252.89	29418.73	0.01	228.82	2.83	163
Ahar Varzghan (1104)	0.01	861252.48	3731.40	0.04	937535.16	16363.99	0.01	193.00	4.33	1912
Moghan-Parsabad (1101)	0.01	817767.17	8908.39	2.00	98581.00	1490.81	0.01	953.00	37.90	3978
Uaghli (1106)	0.01	383223.35	3593.14	6.00	153627.67	3649.82	0.01	124.35	8.03	1532
Khoy (1109)	0.01	351992.70	1358.16	2.00	110286.67	1981.13	0.01	101.32	2.94	3856
Bazargan-Keshmesh Tapeh (1111)	0.01	179188.20	534.09	0.33	168750.00	1219.41	0.01	30.11	2.28	1757
Meshkin Shahr (1102)	0.05	84257.76	1462.36	3.00	94666.33	945.68	0.01	731.00	14.87	1130
Ardabil (1103)	0.01	35279.20	148.83	2.00	36755.33	237.15	0.01	908.00	1.97	4885
Siyah Cheshmeh (1112)	0.01	27598.46	820.47	8.00	78668.67	2153.66	0.01	698.00	3.06	681
Qara Ziyauddin (1108)	0.53	21747.53	991.96	10.33	32229.33	1440.81	0.19	28.15	4.93	549

*Suspended Sediment Load **Suspended Sediment Concentration *** Instantaneous Flow Discharge

جدول ۴- داده‌های رسوب معلق مرتب شده ایستگاه‌های آب‌سنجی حوضه ارس به تفکیک واحدهای مطالعاتی

Table 4. Sorted suspended sediment data of hydrometric stations in the Aras basin by study units

No	Station code	Name of the study area	Maximum of SSL ($tonday^{-1}$)	Average of SSL ($tonday^{-1}$)	Minimum of SSL ($tonday^{-1}$)
1	19-807	1105 Jolfa Dozal	30,821,208.63	571,697.82	2.31
2	19-143	1110 Poldasht	27,503,532.46	287,629.88	3.31
3	19-020	1105 Jolfa Dozal	23,881,015.30	821,435.11	22.12
4	19-005	1113 Zanganeh	7,114,391.74	113,871.65	0.00
5	19-037	1107 Marand	986,277.12	19,053.74	0.07
6	19-105	1104 Ahar Varzeqan	861,252.48	10,934.00	0.00
7	19-069	1101 Moghan - Parsabad	817,767.17	11,971.37	0.00
8	19-137	1105 Jolfa Dozal	563,882.49	9,772.98	0.00
9	19-045	1106 Oghli	383,223.35	4,869.89	0.00
10	19-031	1109 Khoy	351,992.70	2,265.46	0.00
11	19-071	1101 Moghan - Parsabad	295,007.51	6,562.44	0.00
12	35-039	1109 Khoy	278,070.37	861.02	0.00
13	19-013	1110 Poldasht	231,477.74	809.54	0.00
14	19-067	1104 Ahar Varzeqan	224,002.10	3,307.31	0.00
15	19-135	1105 Jolfa Dozal	212,539.56	5,246.19	0.00

ادامه جدول ۴

Table 4. Continued

16	19-914	1111 Bazargan - Kashmash Tepe	179,188.20	1,055.60	0.07
17	19-131	1105 Jolfa Dozal	151,890.69	4,278.69	0.12
18	19-039	1106 Oghli	141,745.83	2,772.66	0.00
19	19-015	1110 Poldasht	125,466.94	2,304.40	0.00
20	19-141	1104 Ahar Varzeqan	112,756.23	1,290.63	0.00
21	19-854	1105 Jolfa Dozal	110,429.94	2,939.67	0.00
22	19-027	1109 Khoy	108,169.38	2,918.39	0.00
23	19-081	1109 Khoy	94,402.97	1,067.93	0.00
24	19-147	1104 Ahar Varzeqan	93,953.78	1,146.89	0.00
25	19-011	1111 Bazargan - Kashmash Tepe	88,492.30	758.02	0.00
26	19-065	1102 Meshkin Shahr	84,257.77	1,820.54	0.00
27	19-043	1106 Oghli	70,527.54	1,339.45	0.00
28	19-089	1105 Jolfa Dozal	64,183.57	713.60	0.03
29	19-087	1109 Khoy	47,818.10	1,411.99	0.00
30	19-075	1111 Bazargan - Kashmash Tepe	45,086.47	399.31	0.00
31	19-873	1103 Ardabil	35,279.20	622.15	0.06
32	19-127	1104 Ahar Varzeqan	33,334.36	924.01	0.00
33	19-053	1103 Ardabil	31,693.09	321.69	0.00
34	19-963	1112 Siah Cheshmeh	27,598.46	1,024.75	0.04
35	19-101	1103 Ardabil	24,672.41	879.51	0.00
36	19-083	1108 Qara Ziyaoddin	21,747.53	993.77	0.00
37	19-151	1103 Ardabil	20,474.20	177.38	0.00
38	19-032	1105 Jolfa Dozal	18,783.52	770.62	0.00
39	19-153	1112 Siah Cheshmeh	12,148.98	172.35	0.01
40	19-055	1103 Ardabil	10,627.73	344.15	0.03
41	19-059	1103 Ardabil	9,593.84	173.37	0.00
42	19-063	1102 Meshkin Shahr	5,850.90	108.26	0.00
43	19-017	1109 Khoy	5,110.94	151.92	0.00
44	19-145	1104 Ahar Varzeqan	4,872.73	82.33	0.00
45	19-022	1103 Ardabil	3,726.40	30.99	0.00
46	19-007	1111 Bazargan - Kashmash Tepe	2,637.99	33.57	0.00
47	19-021	1109 Khoy	2,615.50	75.60	0.11
48	19-123	1103 Ardabil	2,559.04	49.85	0.00
49	19-051	1103 Ardabil	2,359.71	34.35	0.00
50	19-121	1101 Moghan - Parsabad	2,179.21	16.20	0.00
51	19-093	1103 Ardabil	1,402.38	8.85	0.00
52	19-149	1103 Ardabil	657.71	11.61	0.00
53	19-144	1103 Ardabil	619.40	8.03	0.00
54	19-981	1103 Ardabil	391.87	7.35	0.00
55	19-910	1103 Ardabil	352.39	15.95	0.21
56	19-949	1103 Ardabil	223.51	5.90	0.01
57	19-148	1103 Ardabil	183.73	2.67	0.01
58	19-099	1101 Moghan - Parsabad	182.46	1.67	0.00

ادامه جدول ۴

Table 4. Continued

59	19-119	1103 Ardabil	173.77	9.87	0.00
60	19-026	1103 Ardabil	114.68	3.50	0.00
61	19-049	1103 Ardabil	85.52	1.95	0.00
62	19-152	1103 Ardabil	73.51	2.69	0.00
63	19-097	1103 Ardabil	49.48	1.62	0.00
64	19-150	1103 Ardabil	40.89	3.53	0.00
65	19-095	1111 Bazargan - Kashmash Tepe	12.45	2.82	0.03

همانطور که از جدول‌های ۳ و ۴ استنباط می‌شود، بیشترین رسوب معلق متعلق به ایستگاه آب‌سنجی جلفا با کد ۸۰۷-۱۹در واحد مطالعاتی جلفا دوزال (با کد ۱۱۰۵) است. همچنین کمترین مقدار دبی رسوب معلق با مقدار ۰/۰۰۱ تن در روز در ایستگاه‌های ۱۳۵-۱۹، ۱۹-۱۲۷،۱۹-۱۴۷، ۱۹-۰۳۲، ۱۹-۱۴۵، ۱۹-۰۲۲، ۱۹-۱۴۹، ۱۹-۰۲۶، ۱۹-۱۵۲ و ۱۹-۱۵۰ مشابه است.

در مجموع پژوهش حاضر از جنبه‌های مختلف در انطباق با پژوهش‌های پیشین مانند Giadrossich et al., (2025) و Lyronis et al., (2025) است که به‌ترتیب از SQLite و MySQL برای مدیریت داده‌های هیدرولوژیکی استفاده کردند. همچنین، مشابه پژوهش Saravani et al., (2025)که بر توسعه سامانه‌های Web-GIS DSSتأکید داشت، این پژوهش نیز با بهره‌گیری از کامپوننت‌های مکانی متن‌باز، امکان تحلیل‌های فضایی و توصیفی پیشرفته را فراهم کرده است. از سوی دیگر، مانند مطالعات Su et al., (2024) و Zehar et al., (2021)، این سامانه با ادغام فناوری‌های پایگاه داده(SQLite) ، ORM (Entity Framework 6) و زبان‌های برنامه‌نویسی (C# و LINQ) محیطی کاربرپسند و یکپارچه برای مدیریت داده‌ها ایجاد کرده است.

نوآوری اصلی این پژوهش نسبت به کارهای پیشین، استفاده ترکیبی از فناوری‌های مذکور در کنار تحلیل‌های آماری و مکانی ویژه داده‌های رسوب معلق در مقیاس ملی است که پیش از این در ایران مورد توجه قرار نگرفته بود. این سامانه با ارائه راهکاری عملی برای استانداردسازی مدیریت داده‌های رسوبی، گامی مؤثر در جهت رفع چالش‌های موجود در سیستم‌های سنتی فایلینگ برمی‌دارد. در مجموع، این سامانه مکانی می‌تواند به‌عنوان یک ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری در فرایند مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز کشور، در اختیار کارشناسان و مدیران قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

این پژوهش با طراحی یک سامانه هوشمند مبتنی بر فناوری‌های NET. و GIS، گامی مؤثر در راستای تحول نظام مدیریت داده‌های رسوبی کشور برداشته است. یافته‌ها حاکی از آن است که علی‌رغم قابلیت‌های منحصربه‌فرد سامانه در تحلیل‌های مکانی و مدیریت ساختاریافته داده‌ها، چالش‌های بنیادین ازجمله کمبود داده‌های باکیفیت، ناهمگونی روش‌های اندازه‌گیری و عدم استانداردهای یکپارچه، دقت تحلیل‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به‌منظور غلبه بر این چالش‌ها، راهکارهای راهبردی زیر پیشنهاد می‌شود.

(۱) تدوین استانداردهای ملی نمونه‌برداری و پایش، (۲) بکارگیری الگوریتم‌های هوشمند یادگیری ماشین برای بازسازی داده‌های ناقص، (۳) استقرار شبکه‌ای از حسگرهای پیشرفته و (۴) توسعه نسخه تحت وب سامانه با معماری مدرن (ASP.NET Core/React) به‌منظور ارائه خدمات تحلیلی بلادرنگ. تحقق این راهکارها مستلزم همکاری و تعامل سازنده تمامی نهادهای ذیربط بوده و می‌تواند منجر به ایجاد تحولی اساسی در نظام پایش و مدیریت رسوب کشور شود.

تشکر و قدردانی

پژوهش انجام شده با حمایت مالی و معنوی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری به مدت سه سال انجام شده است که بدین وسیله از کلیه حمایت‌ها و عزیزانی که ما را در این راه کمک نموده‌اند، تشکر

می‌شود. لازم به ذکر است که برای طراحی و ساخت این سامانه نرم‌افزاری، تاکنون، بالغ بر ۶۸۰۰ خط برنامه در محیط C# توسط نگارنده کدنویسی شده است.

تعارض منافع

در این مقاله تضاد منافعی وجود ندارد و این مساله مورد تایید همه نویسندگان است.

منابع مورد استفاده

Alomari, M.A., Aris, H., Ghaleb, M., Almurtadha, Y., Alkawsi, G.A., Al-Hadi, I.A.A.Q., Baashar, Y., Samsudin, K., 2023. Embedded devices security: Design and implementation of a light RDBMS encryption utilizing multi-core processors. IEEE Access 11, 19836-19848.

Bollen, E., Pagán, B.R., Kuijpers, B., Van Hoey, S., Desmet, N., Hendrix, R., Dams, J., Seuntjens, P., 2022. A database system for querying of river networks: facilitating monitoring and prediction applications. Water Supply 22(3), 2832-2846.

Brown, J.E., Matherne, A.M., Reale, J.K., Miltenberger, K.E., 2022. Suspended-sediment transport and water management, Jemez Canyon Dam, New Mexico, 1948–2018 (No. 2022-5081). US Geological Survey.

Cohen, S., Syvitski, J., Ashley, T., Lammers, R., Fekete, B., Li, H.Y., 2022. Spatial trends and drivers of bedload and suspended sediment fluxes in global rivers. Water Resou. Res. 58(6), e2021WR031583.

Gaffney, K.P., Prammer, M., Brasfield, L., Hipp, D.R., Kennedy, D., Patel, J.M., 2022. Sqlite: past, present, and future. Proceed. VLDB Endowment 15(12), 3535-3547.

Giadrossich, F., Murgia, I., Guastini, E., 2025. FAIR-Compliant Database for Soil Erosion Studies: The Marganai Forest Experiment. Sci Data 12, 561.

Horsburgh, J.S., Tarboton, D.G., Maidment, D.R., 2008. CUAHSI Community Observations Data Model (ODM) Version 1.1: Design specifications. [online] Available at: <http://his.cuahsi.org/odmdatabases.html>

Kadlec, J., StClair, B., Ames, D.P., Gill, R.A., 2015. WaterML R package for managing ecological experiment data on a CUAHSI HydroServer. Ecolo. Inform. 28, 19-28.

Kreibich, J., 2010. Using SQLite. O'Reilly Media, Inc. Sebastopol, CA, USA, pp. 1-528..

Lyronis, A., Varouchakis, E.A., Anyfanti, I., 2025. A Unified Open-Source Metabase Design for Hydro-meteorological Data Descriptive Analysis. Environ. Process. 12, 18. https://doi.org/10.1007/s40710-025-00758-2

Lerman, J., Miller, R., 2012. Programming Entity Framework: DbContext: Querying, Changing, and Validating Your Data with Entity Framework 1st Edition. O'Reilly Media, Inc. Sebastopol, CA, USA. pp. 1-237.

Lee, S.H., Kwon, K.R., 2013. Vector watermarking scheme for GIS vector map management. Multimedia Tool. Applica. 63, 757-790.

Li, Y., Gao, R., Kang, X., Chen, C., Zhou, Q., 2017. A watershed data management and visualization system using code-first approach. Multimedia Tool. Applica. 76, 18221-18235.

Marggraf, J., Dramais, G., Le Coz, J., Calmel, B., Camenen, B., Topping, D. J., Santini, W., Pierrefeu, G., Lauters, F., 2024. River suspended-sand flux computation with uncertainty estimation using water samples and high-resolution ADCP measurements, Earth Surf. Dynam. 12, 1243–1266, https://doi.org/10.5194/esurf-12-1243-2024, 2024.

Peres, R., 2016. Entity Framework Core Cookbook. Packt Publishing Ltd.

Saravani, M.J., Saadatpour, M., Shahvaran, A.R., 2024. A web GIS based integrated water resources assessment tool for Javeh Reservoir. Expert Sys. Applic. 252, 124198.

Schwichtenberg, H., 2018. Modern Data Access with Entity Framework Core, Apress, Essen, Germany

Shin, J.H., Grabowski, R.C., Holman, I., 2023. Indicators of suspended sediment transport dynamics in rivers. Hydrol. Res. 54(8), 978-994.

Ministry of Energy, Iran Water Resources Management Company, Office of Basic Water Resources Studies. 2024. https://stu.wrm.ir/login.asp (in Persian).

Silberschatz, A., Korth, H. F., Sudarshan, S., 2020. Database System Concepts (7th ed.). McGraw-Hill Book Company. ISBN 9780078022159. Pp. 1-1299

Su, Q., Srinivasan, R., Karthikeyan, R., 2024. SC.HAWQS: A User-Friendly Web-Based Decision Support System for Regional Water Resources Management Under a Changing Climate. Water Resour. Manage. 38, 1261–1278. https://doi.org/10.1007/s11269-023-03719-2

Tangi, M., Bizzi, S., Fryirs, K., Castelletti, A., 2022. A dynamic, network scale sediment (dis) connectivity model to reconstruct historical sediment transfer and river reach sediment budgets. Water Resour. Res. 58(2), e2021WR030784.

Wilk, P., 2022. Expanding the sediment transport tracking possibilities in a River Basin through the development of a digital platform-DNS/SWAT. Applied Sci. 12(8), 3848.

Zehra, R., Singh, M., Verma, J., 2021. WebGIS Concept of River Pollution Monitoring System—A Case Study of Yamuna River. In Proceedings of Second International Conference on Smart Energy and Communication: ICSEC 2020 (pp. 91-95). Springer Singapore.