

**Web site:**

<https://wsrcj.srbiau.ac.ir>

Email:

iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

Vol. 13
No. 4 (52)

Received:
2023-05-12

Accepted:
2023-07-18

Pages: 11-25



Investigating the Effect of Land Use Changes on the Distribution of Dam Reservoir Sediment (Case Study: Lasak Dam) Using the HEC-RAS Model

Saied Rashedi¹, Seyd Abaa Hisseini², Sara Nazif³ and Bagher Ghermez Cheshmeh⁴

- 1) PhD student, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2) Associate Professor, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
3) Associate Professor, Department of Water Engineering, University of Tehran.
4) Assistant Professor, Research Institute of Soil Protection and Watershed Management.
* Corresponding author email: abbas_hoseyni@srbiau.ac.ir

Abstract:

Introduction: In the last few decades, due to the growth of industries, drastic changes have occurred in the climate of the planet, and its average temperature has increased significantly. Land use changes and climate have had a great impact on discharge and sediment production in watershed. The increase in the production of sediments has many harmful environmental and constructional effects; among these effects we can mention the reduction of the useful depth of the dam and consequently the reduction of the life of the dam. The purpose of this study is to investigate the process of sedimentation along the Mubarakabad River (Emamzadeh Ebrahim watershed) and the effect of time on the increase in the sedimentation depth of the Lasak dam reservoir located in Guilan province using the HEC-RAS model in different states for the time range of 1997 to 2071.

Methods: Mubarakabad River is one of the main branches of Pasikhan River, which is the most important river supplying water to Anzali wetland. This watershed has various uses, including forest, degraded pasture, medium pasture and good quality pasture, residential, paddy field, etc. To carry out this study, land use changes in the years 1997, 2007, 2020, 2040 and 2071 were used. In order to measure the runoff, sediment and flow rate in the coming years (2022 and 2071) with the help of the LARS-WG statistical model in two scenarios (RCP 4.5 and RCP 8.5) and SWAT tool was investigated. To implement the HEC-RAS model, three models of surface reduction were used: Borland and Miller's method, Moody's surface reduction method and surface increase method. The input variables of the model are loaded in three sections: topographic map, discharge information, discharge-sediment, and sediment grading. The model was calibrated using discharge and sediment data during the study period. In this study, changes in sedimentation along the Mubarakabad River from upstream to the construction site of Lasak Dam were investigated. Also, the sedimentation depth of the dam reservoir was investigated in different years using the HEC-RAS model.

Results: The simulation results of this study showed that with passing of time, the percentage of residential areas will increase significantly and the area of pastures located in the southern part of the basin will decrease. Currently, in this basin, the total area of 1.87 km² has been allocated to the residential sector, which includes several villages. While in 2071, this amount will reach 21.45 km². Also, pastures with dense coverage in this basin in 1997 were equal to 99.65 km², and in 2071 this amount will decrease to 4.82 km². The results of this study showed that from the source to the construction site of the dam, sediment deposition has increased due to the reduction of the slope, and the largest amount of sediments have accumulated in the reservoir of the dam. It was also observed that with passing time, the depth of sediments behind the dam reservoir has increased significantly, which reduces the efficiency of the dam. The results of this study showed that there is an increasing trend in the sedimentation depth of the reservoir, so that its maximum value was obtained in 2071, equivalent to 39.1 meters from the height of the dam intake. The results of this study show that in the years 2071 and 2040, 2.02 and 1.92 million tons of sediment will settle in the Lasak dam reservoir, respectively.

Conclusion: According to the results obtained from the HEC-RAS model simulation in the Emamzadeh Ebrahim watershed, it can be seen that if detailed and executive planning is not done in this area, land use change will occur severely. This change of uses causes the increase of soil erosion and production of sediment in the watershed, in other words, this change of uses can be considered as an alarm for the destruction of Anzali Wetland. In general, due to the conditions of the watershed and its high erosion upstream, the life of the Lasak dam will not be long, and its construction will reduce the water rights of the Anzali wetland and lead this international wetland to complete destruction at a faster rate.

Keywords: Level rise, Sediment, Lasak dam, HEC-RAS model, Sediment rating curves



بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر توزیع رسوب مخزن سد (مطالعه موردی سد لاسک) با استفاده از مدل HEC-RAS

سعید راشدی^۱، سید عباس حسینی^{۲*}، سارا نظیف^۳ و باقر قرمز چشمه^۴

(۱) دانشجوی دکتری، گروه مدیریت ساخت و آب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

(۲) دانشیار، گروه مدیریت ساخت و آب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

(۳) دانشیار، گروه مهندسی آب- دانشگاه تهران.

(۴) استادیار پژوهشی- پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.

* ایمیل نویسنده مسئول: abbas_hoseyni@srbiau.ac.ir

چکیده:

زمینه و هدف: در چند دهه اخیر به دلیل رشد صنایع تغییرات شدیدی در اقلیم کره زمین رخ داده است و دمای متوسط آن افزایش قابل توجهی داشته است. تغییرات کاربری اراضی و اقلیم تاثیر بسیار زیادی بر روی دبی و تولید رسوب در حوضه‌ها داشته است. افزایش تولید رسوبات اثرات زیان بار زیست محیطی و عمرانی زیادی به همراه دارد، از جمله این اثرات می‌توان به کاهش عمق مفید سد و به تبع آن کاهش عمر سد اشاره کرد. هدف از انجام این مطالعه بررسی روند رسوب‌گذاری در طول مسیر رودخانه مبارک‌آباد (حوضه امامزاده ابراهیم) و اثر زمان بر افزایش عمق رسوب مخزن سد لاسک واقع در استان گیلان با استفاده از مدل HEC-RAS در حالت‌های مختلف برای دامنه زمانی سال‌های ۱۳۷۶ الی ۱۴۵۰ است.

روش پژوهش: رودخانه مبارک‌آباد یکی از شاخه‌های اصلی رودخانه پسیخان است که مهمترین رودخانه تامین کننده آب تالاب انزلی است. این حوضه دارای کاربری‌های متنوع از جمله جنگل، مرتع تخریب شده، مرتع متوسط و مرتع با کیفیت خوب، مسکونی، شالیزار و ... می‌باشد. برای انجام این مطالعه از تغییرات کاربری اراضی در سال‌های، ۱۳۷۶، ۱۳۸۶، ۱۳۹۹، ۱۴۱۹ و ۱۴۵۰ استفاده شد. برای سنجش رواناب، رسوب و دبی در سال‌های آینده (سال‌های ۱۴۱۹ و ۱۴۵۰) با کمک مدل آماری LARS-WG در دو سناریو (RCP 8.5 و RCP 4.5) و ابزار SWAT مورد بررسی قرار گرفت. برای اجرای مدل HEC-RAS از سه الگوی کاهش سطح به روش بورلند و میلر، روش کاهش سطح مودی و روش افزایش سطح استفاده شد. متغیرهای ورودی مدل در سه بخش نقشه توپوگرافی، اطلاعات دبی، دبی- رسوب و همچنین دانه‌بندی رسوبات بارگذاری می‌شود. واسنجی مدل با استفاده از اطلاعات دبی و رسوب در طول دوره مورد مطالعه انجام شد. در این مطالعه تغییرات رسوب‌گذاری در طول رودخانه مبارک‌آباد از سرچشمه تا محل احداث سد لاسک بررسی شد. همچنین عمق رسوب مخزن سد در سال‌های مختلف با استفاده از مدل HEC-RAS مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج شبیه‌سازی این مطالعه نشان داد که با گذر زمان درصد مناطق مسکونی افزایش چشمگیری خواهد یافت و از مساحت مراتع که در بخش جنوبی حوضه قرار دارند کاسته می‌شود. در حال حاضر در این حوضه ۱/۸۷ کیلومتر مربع مساحت کل به بخش مسکونی که شامل چند روستا است اختصاص یافته است. در حالی که در سال ۱۴۵۰ این مقدار به ۲۱/۴۵ کیلومتر مربع خواهد رسید. همچنین مراتع با پوشش متراکم در این حوضه در سال ۱۳۷۶ معادل ۹۹/۶۵ کیلومتر مربع بوده است که در سال ۱۴۵۰ این مقدار به ۴/۸۲ کیلومتر مربع کاهش خواهد یافت. نتایج این مطالعه نشان داد که از سرچشمه تا محل احداث سد رسوب‌گذاری به دلیل کاهش شیب افزایش یافته است و بیشترین مقدار رسوبات در مخزن سد تجمع یافته‌اند. همچنین مشاهده شد که با گذر زمان عمق رسوبات پشت مخزن سد افزایش چشمگیری یافته است که باعث کاهش کارایی سد می‌شود. نتایج این مطالعه نشان داد که روند افزایشی در عمق رسوب مخزن وجود دارد، به نحوی که بیشترین مقدار آن در سال ۱۴۵۰ معادل ۳۹/۱ متر از ارتفاع آبرگیری سد به دست آمده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که در سال‌های ۱۴۵۰ و ۱۴۱۹ به ترتیب ۲/۰۲ و ۱/۹۲ میلیون تن رسوب در مخزن سد لاسک ته‌نشست خواهد کرد.

نتایج: با توجه به نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی مدل HEC-RAS در حوضه امامزاده ابراهیم مشاهده می‌شود در صورتی که برنامه‌ریزی دقیق و اجرایی در این منطقه صورت نگیرد، تغییر کاربری اراضی به شدت رخ خواهد داد. این تغییر کاربری‌ها سبب افزایش فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه می‌شود. به عبارتی می‌توان از این تغییر کاربری‌ها به عنوان زنگ خطری برای نابودی تالاب انزلی یاد کرد. به طور کلی با توجه به شرایط حوضه و فرسایش زیاد آن در بالادست عمر سد لاسک زیاد نخواهد بود و احداث آن سبب کاهش حق‌آبه تالاب انزلی می‌شود و این تالاب بین‌المللی را با سرعت بیشتری به سمت نابودی کامل می‌کشاند.

کلیدواژه‌ها: افزایش سطح، رسوب، سد لاسک، مدل HEC-RAS، منحنی سنج رسوب

مقدمه

فرسایش غیر طبیعی خاک مشکل محیط زیستی بسیار گسترده‌ای است که در کشورهای در حال توسعه زندگی انسان-ها را تهدید می‌کند. هر ساله ۷۵ میلیارد تن خاک در جهان به خاطر فرسایش برداشته می‌شود که بیشترین آن مربوط به اراضی کشاورزی است. نرخ متوسط از دست دادن خاک برای آسیا ۱۳/۸ تن در هکتار بر سال است (Ananda and Herath, 2003). عرب‌خردی^۱ و همکاران مقدار فرسایش آبی خاک کشور را بر اساس نقشه شدت فرسایش با کاربرد روش توان فرسایش (EPM) معادل ۹۷۶ میلیون تن در سال برآورد کردند (Arabkhedri et al., 2018). فرسایش خاک و رسوب حاصل از آن پیامدهایی چون تغییر در چرخه طبیعی آب، افزایش شدت سیل‌خیزی، کاهش حاصلخیزی خاک، افزایش رانش زمین، پر شدن مخازن سدها و کانال‌های انتقال آب، کاهش کیفیت آب در آبراه‌ها و دریاچه‌ها، بیابان‌زایی، از دست دادن توان زیستی خاک، آلودگی آب و خاک که از مهمترین چالش‌های محیط زیستی می‌باشند، به همراه خواهد داشت (Wang et al., 2012; Sieber et al., 2013; Yu and Song, 2023; Leul et al., 2023). تولید رواناب سطحی در هر حوضه آبخیز تحت تاثیر بیلان آب آن حوضه و بیلان آبی حوضه تحت تاثیر عوامل اقلیمی و خصوصیات فیزیکی از جمله توپوگرافی، خاک و کاربری اراضی است (Sieber et al., 2013). اهمیت نوع کاربری اراضی به اندازه‌ای است که معتقدند درک و فهم پیامدهای تغییر کاربری اراضی نیاز اصلی فرایندهای هیدرولوژیکی در آینده هستند (Turner et al., 2003). تغییر کاربری اراضی از طریق تاثیر بر نوع و مقدار پوشش گیاهی، مقدار تبخیر و تعرق و نفوذ بارش در خاک موثر است که به نوبه خود، باعث تغییر نیاز آبی، از قبیل نیاز برای آبیاری و شهرنشینی، تغییر در میزان آب در دسترس برای فرایندهای نفوذ، مقدار رواناب حاصل از رواناب کشاورزی و مناطق مسکونی می‌شود (DeFries and Eshleman, 2004; Malede et al., 2022; Bai et al., 2023).

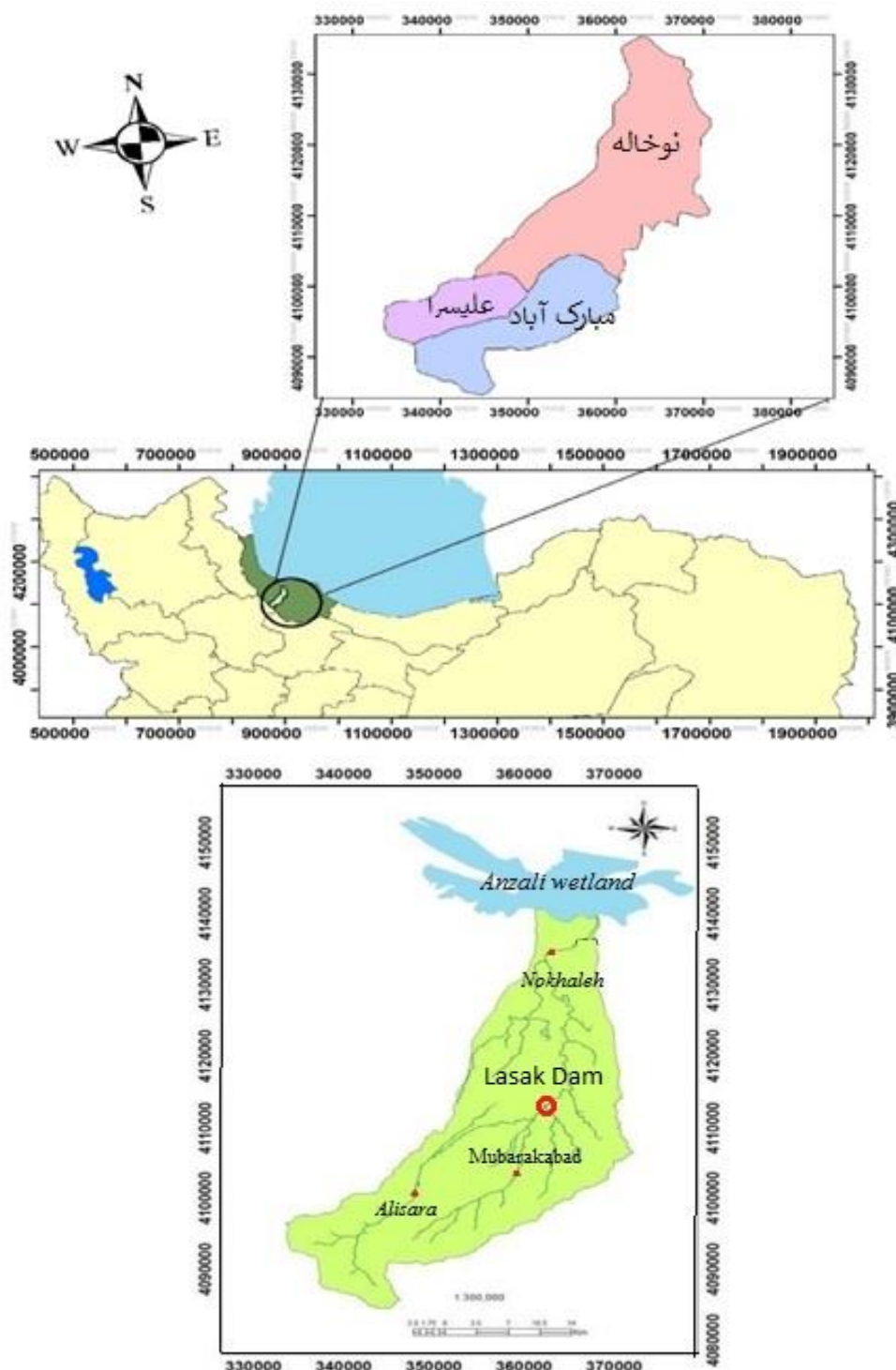
مطالعات در مورد نقش کاربری‌های مختلف اراضی در تولید رواناب و رسوب از دیرباز تاکنون به طور مستمر انجام شده است. اکبرزاده^۲ و همکاران به بررسی مقدار نشست رسوبات مخزن سد شهید عباسپور با استفاده از روش‌های تجربی و مدل HEC-RAS پرداختند. در این پژوهش مقدار نشست رسوبات سد شهید عباسپور محاسبه و با مقدار واقعی اندازه‌گیری شده مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج آن‌ها نشان داد که تطابق خوبی بین مدل عددی HEC-RAS و داده‌های اندازه‌گیری شده وجود دارد (Akbarzadeh et al., 2018). فرشادی و شفاعی بجستان^۳ میزان رسوبات ورودی به مخزن سد گتوند علیا

را با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS 4.0 تخمین زدند و پس از واسنجی و اجرای مدل میزان بار رسوب ورودی به مخزن سد گتوند علیا را برابر ۵۶۳۰۰۰۰ تن در سال برآورد کردند. نتایج آن‌ها نشان داد پس از گذشت ۱۰۰ سال، ۴۹۸ میلیون تن و با توجه به ضریب تله‌اندازی ۹۰ درصد، حجم کل رسوب در مخزن انباشته شده که معادل با ۱۴/۹۵ درصد از حجم کل مخزن سد است (Farshadi and Shafaei Bejestan, 2010). دیسارز^۴ و همکاران از مدل HEC-RAS به شبیه‌سازی تاثیر بلند مدت رسوب‌گذاری و فرسایش بر روی پروفیل سطح آب در رودخانه نر (Ner) واقع در کشور لهستان پرداختند. آن‌ها از روابط میتر-پیتر و مولر و انگلوند-هانسن برای محاسبه میزان انتقال رسوب استفاده کردند. بر اساس نتایج به دست آمده، این پژوهشگران بیان کردند که مدل مذکور می‌تواند ابزار مناسبی برای پیش‌بینی تاثیرات بلند مدت رسوب و فرسایش بر روی پروفیل-های سطح آب ارایه کند (Dysarz et al., 2017). غفاری^۵ و همکاران اثر تغییر کاربری اراضی را بر پاسخ‌های هیدرولوژیک حوضه آبخیز زنجان رود با استفاده از مدل SWAT بررسی نمودند. این پژوهشگران برای شبیه‌سازی مدل SWAT از داده‌های روزانه و ماهانه دبی و بارش استفاده نمودند. نتایج این پژوهشگران نشان داد که تغییر در کاربری اراضی از سال ۱۳۴۶ تا ۱۳۸۶ منجر به افزایش مقدار رواناب سطحی در حدود ۳۳ درصد و کاهش سطح سفره آب‌های زیرزمینی در حدود ۲۲ درصد شده است (Ghafari et al., 2010). تادسه و دای^۶ با استفاده از تلفیق مدل HEC-RAS و مدل SWAT به بررسی رسوب‌گذاری مخزن سد کوما واقع در حوضه رودخانه آواش در اتیوپی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که استفاده از تلفیق دو مدل مذکور با ضریب تبیین ۰/۸۵ و ۰/۶۷ و همچنین با داشتن ضرایب نش-ساتکلیف برابر با ۰/۹۰ و ۰/۶۲ به ترتیب برای شبیه‌سازی روزانه دبی و رسوب دارای کارایی مناسب است (Tadesse and Dai, 2019). جوشی^۷ و همکاران مدل ریاضی HEC-RAS را برای برآورد انتقال بار رسوب در رودخانه ماومی (Maumee) واقع در اوهایو (Ohio) که از این رودخانه برای کشتیرانی استفاده می‌شود به کار بردند. نتایج مدل در پیش‌بینی تغییرات بستر و همچنین قسمت‌هایی از رودخانه نشان داد که مدل توانایی خوبی در مدل‌سازی رسوب دارد (Joshi et al., 2019).

سد لاسک یکی از سازه‌های ایجاد شده بر روی رودخانه پسیخان است. رودخانه پسیخان دارای سه زیرحوضه به نام علیسرا، مبارک‌آباد و نوخاله است. رودخانه پسیخان به عنوان پر آب‌ترین رودخانه ورودی تالاب محسوب می‌گردد. به عبارتی این رودخانه شاه‌رگ اصلی تامین آب تالاب انزلی است، بنابراین این رودخانه از اهمیت ملی و بین‌المللی برخوردار است. اسدی دبی

کردند که علت زیاد بودن فرسایش و تولید رسوب در قسمت مبارک‌آباد وجود مراتع تخریب شده، جنگل‌تراشی، شیب زیاد منطقه، وجود اراضی تحت کشت چای در شیب زیاد و چرای بیش از حد دام است (Ebrahimi et al., 2022a, b). تاکنون هیچ مطالعه‌ای جهت بررسی تاثیرات احداث سد لاسک بر روی رودخانه پسیخان و رفتار مورفولوژیکی آن انجام نشده است.

آب رودخانه پسیخان ۲۰/۷ مترمکعب بر ثانیه است که نسبت به دیگر رودخانه‌های حوضه آبخیز تالاب انزلی بسیار بیشتر است. همچنین تولید رسوب در حوضه پسیخان ۱۸۸/۳ هزار تن در سال نسبت به دیگر زیرحوضه‌های تالاب انزلی بیشتر است (Asadi, 2016). همچنین ابراهیمی^۱ و همکاران نشان دادند که فرسایش در بخش جنوبی حوضه پسیخان در زیرحوضه مبارک-آباد بسیار بیشتر از بخش شمالی آن است. این پژوهشگران بیان



شکل ۱. موقعیت حوضه پسیخان و زیرحوضه مبارک‌آباد و ایستگاه‌های هیدرومتری آن

ایستگاه هیدرومتری آن دارای طول جغرافیایی $58^{\circ} 24' 49''$ و عرض جغرافیایی $37^{\circ} 4' 9''$ است. طول رودخانه از محل سرچشمه تا محل اتصال به شاخه اصلی ۳۲ کیلومتر است و مساحت این زیر حوضه $111/5$ کیلومترمربع و شیب متوسط وزنی حوضه آبخیز امامزاده ابراهیم $37/6$ درصد و شیب متوسط وزنی خود رودخانه امامزاده ابراهیم $9/37$ درصد می‌باشد (شکل ۱).

دبی و رسوب حوضه پسیخان

در جدول ۱ میانگین بلند مدت (سی ساله) آمار رسوب و دبی در سه ایستگاه موجود در حوضه پسیخان نمایش داده شده است. همانگونه که در جدول ۱ نشان داده شده است میانگین بار رسوب معلق در زیرحوضه مبارک‌آباد ($66/6$ هزار تن در سال) دو برابر زیرحوضه علیسرا ($31/3$ هزار تن در سال) است. علت بیشتر بودن رسوب معلق در زیرحوضه مبارک‌آباد را می‌توان به وجود مراتع تخریب شده با سطح زیاد در بالا دست آن نسبت داد. این مراتع در بخش جنوبی حوضه و در موقعیتی با شیب بسیار زیاد قرار دارند. همچنین میانگین دبی سالانه نیز در زیرحوضه مبارک‌آباد بیشتر از زیرحوضه علیسرا است و در انتهای حوضه در محل ایستگاه هیدرومتری نوخاله به بیشترین مقدار خود ($14/3$ مترمکعب در ثانیه) می‌رسد.

سد لاسک

محدوده مطالعاتی سد مخزنی لاسک در حوضه آبریز مبارک‌آباد (امامزاده ابراهیم) در استان گیلان و شهرستان شفت واقع گردید است. مختصات جغرافیایی محل سد در $49^{\circ} 24'$ طول شرقی و $37^{\circ} 3'$ عرض شمالی واقع شده است. ساختگاه سد در نزدیکی روستای لاسک واقع است. هدف اصلی از اجرای این طرح (ساخت سد مخزنی لاسک)، تامین آب شرب شهر شفت و روستاهای اطراف آن و بهبود شرایط آبیاری زمین‌های کشاورزی موجود (عمدتا شالیزار) در محدوده کانال فومن در منطقه رودخانه امامزاده ابراهیم جهت آبیاری از سد است. مطالعات اولیه در ارتباط با ساخت سد مخزنی بر روی رودخانه امامزاده ابراهیم از سال ۱۳۷۲ توسط شرکت سهامی آب منطقه‌ای گیلان آغاز گردید. در این منطقه متوسط بارندگی سالانه در محل طرح حدود ۹۷۹ میلی‌متر می‌باشد، در محل سد

هدف از انجام این پژوهش (۱) بررسی اثر تغییرات کاربری، که به نرخ قابل توجهی در بالادست حوضه در حال رخ دادن است، بر برخی ویژگی‌های هیدرولوژیکی حوضه مبارک‌آباد، (۲) بررسی تغییرات رسوب در طول رودخانه تا نقطه احداث سد لاسک و (۳) بررسی وضعیت رسوب‌گذاری در آینده در مخزن سد لاسک می‌باشد. با توجه به به آنکه خروجی سد لاسک وارد روخانه پسیخان و سپس وارد تالاب انزلی می‌گردد رسوب شناسی این زیر حوضه در آینده بسیار حائز اهمیت می‌باشد که در این تحقیق مورد توجه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

حوضه مورد مطالعه

حوضه مبارک‌آباد در واقع بخشی از حوضه‌ی بزرگ‌تر پسیخان واقع در استان گیلان است. رودخانه پسیخان مهم‌ترین رودخانه حوضه تالاب انزلی در استان گیلان واقع در شمال ایران است. دو شاخه اصلی و کوهستانی آن، رودخانه امامزاده ابراهیم (زیرحوضه مبارک‌آباد) و سیامزگی (زیرحوضه علیسرا) است که هر دو از ارتفاعات کوه لانه برهنه که ارتفاعی حدود ۲۸۶۷ متر دارد، سرچشمه می‌گیرند. دو شاخه مذکور در جهت شمال-شمال شرقی جریان یافته و در حدود ۱۹ کیلومتری جنوب غرب شهر رشت به هم پیوسته و رودخانه پسیخان را تشکیل می‌دهد. حوضه آبخیز رودخانه پسیخان در محدوده مختصات جغرافیایی $41^{\circ} 8'$ تا $41^{\circ} 34'$ طول شرقی و $54^{\circ} 36'$ تا $37^{\circ} 27'$ عرض شمالی قرار گرفته است. طول اصلی رودخانه پسیخان از سرشاخه سیاهمزگی تا تالاب انزلی $94/45$ کیلومتر است و وسعت حوضه آبریز آن حدود ۷۷۵ کیلومترمربع می‌باشد. میانگین ارتفاع آن $475/7$ متر می‌باشد (شکل ۱). این حوضه دارای شیب متوسط وزنی $19/62$ درصد و کل رودخانه دارای شیب متوسط $3/08$ درصد می‌باشد.

زیرحوضه مبارک‌آباد (امامزاده ابراهیم) در شرق رودخانه سیاهمزگی واقع است که محل سرچشمه آن کوه خرکش با 2403 متر ارتفاع و جهت کلی این رودخانه جنوب به شمال است و یکی دیگر از سرشاخه‌های اصلی رودخانه پسیخان با عرض جغرافیایی $37^{\circ} 4'$ تا $57^{\circ} 36'$ شمالی و طول جغرافیایی $49^{\circ} 15'$ تا $49^{\circ} 26'$ شرقی می‌باشد که محل

جدول ۱. آمار بار رسوب معلق و آبدی رودخانه‌ها در ایستگاه‌های نمونه‌برداری

ایستگاه	رسوب معلق (هزار تن در سال)	میانگین مقدار بار رسوب معلق (هزار تن در سال)	حداکثر مقدار بار رسوب معلق (هزار تن در سال)	رسوب معلق (هزار تن در سال)	حداکثر مقدار بار رسوب معلق (هزار تن در سال)	میانگین دبی (مترمکعب سالانه)	حداکثر دبی (مترمکعب سالانه)	متوسط بارندگی (میلی‌متر)
نوخاله	۷۴/۴	۱۹۶/۹	۴۰۷/۴	۱۴/۳	۲۲/۲	۳۳/۴	۱۱۰۴/۸۰	
مبارک‌آباد	۰/۸	۶۶/۶	۲۲۳/۱	۲/۹	۴/۲	۶/۱۹	۹۰۸/۴۰	
علیسرا	۰/۵	۳۱/۳۱	۱۸۵/۰	۱/۲۱	۳/۰۲	۵/۰۶	۸۴۴/۳۰	

جدول ۲. مشخصات کلی طرح سد لاسک

ویژگی	مقدار	واحد	ویژگی	مقدار	واحد
حجم مخزن در تراز نرمال	۵۹/۲۶	میلیون متر مکعب	طول تاج	۹۱۵	متر
تراز نرمال بهره‌برداری	۱۶۱/۵	متر از سطح دریا	تراز تاج	۱۶۵/۶	متر از سطح دریا
حجم مخزن در حداقل تراز بهره‌برداری	۵	میلیون متر مکعب	تراز کف رودخانه	۹۸	متر از سطح دریا
آورد رودخانه	۹۴/۶	میلیون متر مکعب	ارتفاع سد	۶۷/۶	متر
حجم تنظیم سد	۸۷/۷	میلیون متر مکعب	حجم بدنه	۶	میلیون متر مکعب
حجم سرریز	۸/۰۸	میلیون متر مکعب			

$$F_{gr} = U_*^n \left[gh \left(\frac{y_s}{y} - 1 \right) \right]^{-1/2} \left[\frac{V}{\sqrt{32 \log \left(\frac{\alpha D}{d} \right)}} \right]^{1-n} \quad (1)$$

که در آن F_{gr} ، عدد تحرک ذرات؛ U_* ، سرعت برشی (L/T) ؛ n ، توان انتقال وابسته به اندازه رسوب؛ α ، ضریب برابر با ۱۰ در معادله آشفته ناهموار؛ d ، اندازه ذرات رسوب (L) ؛ و D ، عمق آب (L) .

برآورد رسوب مخزن

در این تحقیق دقت دو روش ترازها افزایش و کاهش (Borland and Miller, 1971) داده‌های ارتفاعی تراز اصلاحی و ارتفاع حجم اول سد لاسک و ارتفاع حجمی سطح دوم (پس از ته‌نشینی) انجام شد.

مدل‌سازی HEC-RAS

اطلاعات ورودی به مدل در سه بخش هندسه، رسوب و هیدرومتری تقسیم می‌شوند. برای اطلاعات ژئومتری از نقشه توپوگرافی حوضه با مقیاس ۱/۵۰۰۰ استفاده شد. اطلاعات هیدرولوژی شامل دبی ورودی روزانه در طول دوره مورد مطالعه بود. همچنین اطلاعات مربوط به رسوب نیز شامل منحنی دبی-رسوب و دبی آب ورودی به مخزن، دانه‌بندی رسوبات و درصد رسوبات معلق بود. برای اجرای این مدل بایستی شرط مرزی بالا و پایین دست را در نظر گرفت. برای شرط مرزی بالا امکان معرفی دبی ورودی به مخزن سد به صورت سری زمانی جریان وجود دارد. برای شرط مرزی پایین دست امکان معرفی سه شرط عمق نرمال، دبی-اشل و سطح تراز آب مخزن به صورت سری زمان وجود دارد که در این پژوهش از تراز زمانی سطح آب، به عنوان شرط مرزی پایین دست استفاده شد. در شکل ۲ روند مدل‌سازی نمایش داده شده است.

نقشه کاربری اراضی

کاربری اراضی یکی از مهمترین عوامل موثر بر مقدار رواناب، تبخیر و تعرق، نفوذ و فرسایش سطحی حوضه می‌باشد. از آنجا که از اهداف این مطالعه، بررسی میزان تأثیرپذیری

لاسک، شهریورماه با متوسط بارش ۱۴۵ میلی‌متر، پرباران‌ترین ماه و خردادماه با ۵۶ میلی‌متر بارندگی، کمترین میزان را دارد. متوسط دمای سالانه محدوده مورد مطالعه ۱۵/۳ درجه سانتی‌گراد، بهمن‌ماه با متوسط دمای ۶/۲ درجه سانتی‌گراد سردترین و مرداد با ۲۴/۵ درجه سانتی‌گراد گرم‌ترین ماه سال است. میانگین تبخیر سالانه از تشت در ساختگاه سد لاسک ۱۰۸۰ میلی‌متر برآورد شده است. میزان دبی ورودی به سد لاسک در حدود ۲/۵ متر مکعب در ثانیه برآورد شده است. مشخصات کلی سد لاسک در جدول ۲ نمایش داده شده است.

توزیع رسوب و منحنی سنج رسوب

برای سنجش رسوب از اطلاعات بلند مدت در دوره زمانی سال ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۹ استفاده شد. این اطلاعات از شرکت سهامی آب منطقه‌ای گیلان گرفته شد. همچنین رابطه رسوب معلق و دبی محاسبه شد. برای تعیین رسوب، دبی و رواناب در سال‌های آبی (سال‌های ۱۴۱۹ و ۱۴۵۰) با کمک مدل آماری LARS-WG در دو سناریو (RCP 4.5 و RCP 8.5) و ابزار آب و خاک SWAT مورد بررسی قرار گرفت. برای به دست آوردن تغییرات ماهانه رسوب از میانگین تغییرات رسوب هر ماه در طول دوره مورد مطالعه استفاده شد.

روند رسوب‌گذاری در طول رودخانه با استفاده از مدل HEC-RAS

مدل HEC-RAS برای شبیه‌سازی جریان‌های ماهانه و مسیریابی رسوب در مخزن سد لاسک استفاده شد. دوره مورد بررسی توسط این مدل از سال ۱۳۷۶ تا ۱۴۵۰ بود. معادله آکرز و وایت^۹ در مدل HEC-RAS 4.1 برای مسیریابی رسوب به دلیل طیف گسترده‌ای از اندازه‌های رسوب در مورد مطالعه استفاده شد (معادله ۱). معادله آکرز وایت برای تخمین پتانسیل جریان برای انتقال اندازه دانه‌های رسوبات در نظر گرفته شد. برای محاسبه مقدار غلظت متوسط به دلیل عملکرد رضایت‌بخش در مدل HEC-RAS در نظر گرفته شد (Ackers-White, 1973).



شکل ۲. روند مدل‌سازی در مطالعه حاضر

نتایج و بحث

تغییرات کاربری اراضی

نقشه‌های کاربری اراضی مربوط به سال‌های ۱۳۷۶، ۱۳۸۶ و ۱۳۹۹ و همچنین نقشه پیش بینی شده سال‌های ۱۴۱۹ و ۱۴۵۰ برای استخراج ماتریس احتمال تغییر وضعیت کاربری‌ها با استفاده از روش زنجیره مارکوف مورد استفاده قرار گرفت. با قابل قبول بودن ارزیابی دقت توسط مقادیر ضریب کاپا با اجرای مجدد مدل CA-Markov نسبت به تهیه نقشه کاربری اراضی سال‌های ۲۰۴۰ و ۲۰۷۱ اقدام شد. جدول ۳ مساحت هر کدام از کلاس‌های نقشه‌های طبقه‌بندی شده را (برحسب کیلومتر مربع) برای سال‌های مورد نظر برای حوضه نشان می‌دهد. گسترش کاربری مسکونی به صورت مستمر، با کاهش کاربری شالیزار و مراتع همراه بوده است. بدین صورت که از سال ۱۳۷۶ تا ۱۴۵۰ مساحت کاربری مسکونی از ۱/۸۷ کیلومتر مربع به ۲۱/۴۵ کیلومتر مربع (۱۱ برابر معادل هزار و صد درصد) افزایش یافته است که این موضوع به دلیل افزایش جمعیت و ویلاسازی می‌باشد. مراتع در طول دوره ۷۴ ساله روند کاهشی داشته که این میزان با توجه به تبدیل مراتع به نواحی آبی برای پرورش ماهی، کاشت درخت برای ویلاسازی و همچنین ممکن است به دلیل تغییر اقلیم منطقه و بروز خشک‌سالی به اراضی بایر باشد. بارش و گسترش شهرنشینی و هجوم جمعیت، در حال حاضر دامنه شهرها به شالیزارها رسیده است. عدم حمایت از کشاورزان، افزایش ارزش افزوده اراضی کشاورزی، همه این عوامل دست به دست هم داده‌اند تا اغلب کشاورزان به تفکیک و تغییر کاربری اراضی خود به مسکونی روی آورند. در شکل ۳ نقشه‌های کاربری اراضی در سال‌های مختلف مورد مطالعه نمایش داده شد.

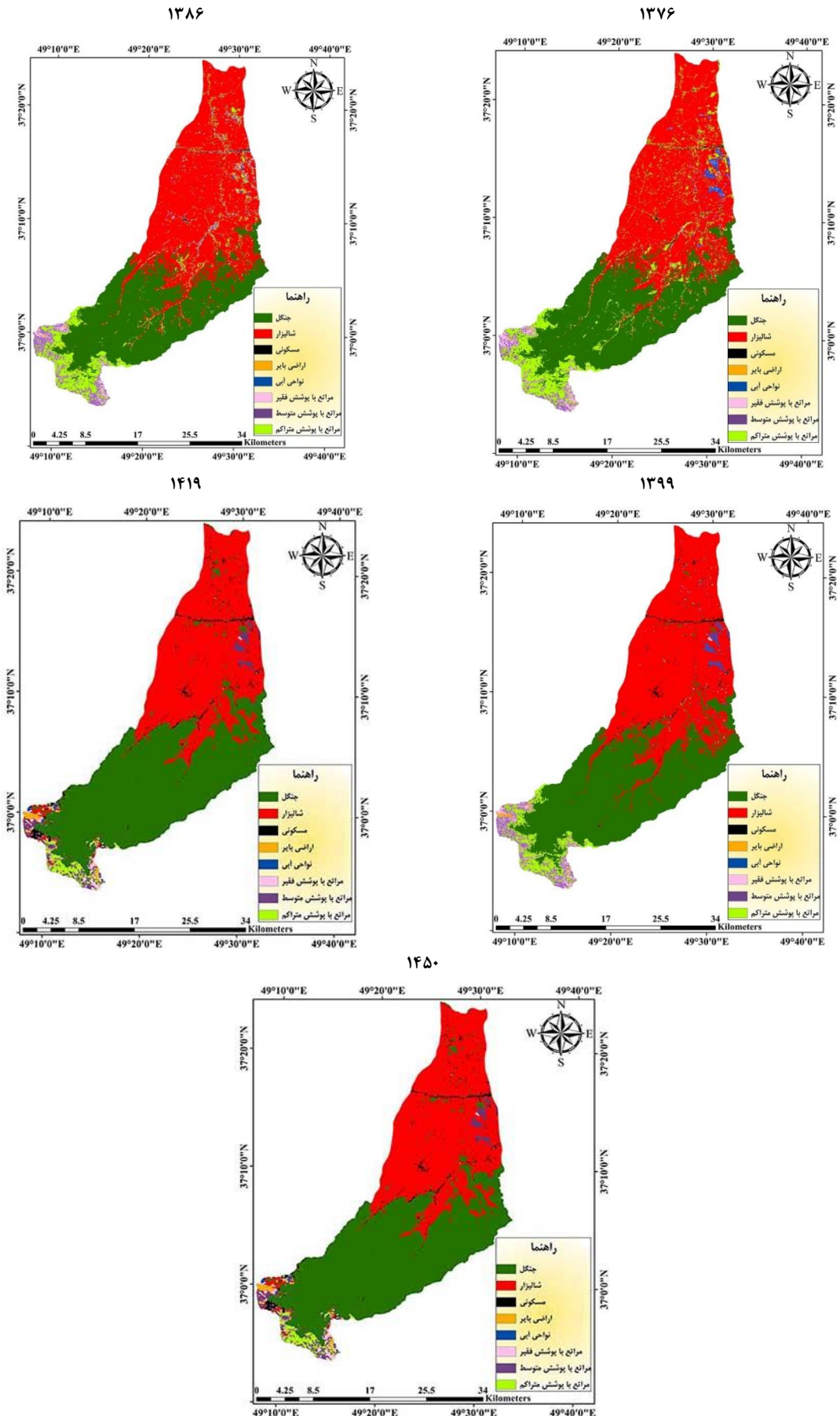
فرآیندهای هیدرولوژی حوضه از تغییرات کاربری اراضی می‌باشد، لذا جهت تهیه نقشه‌های کاربری اراضی مورد نظر از تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. همچنین برای پردازش تصاویر ماهواره‌ای از نرم افزارهای ENVI 5.3، Google Earth و ArcGIS 10.3 به منظور به دست آوردن کاربری اراضی و میزان تغییرات ایجاد شده استفاده شد.

ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی

در این پژوهش برای کشف تغییرات محدوده مورد مطالعه از مقایسه تصاویر طبقه‌بندی شده استفاده گردید زیرا این روش بهترین روش کشف تغییرات در دو زمان مختلف می‌باشد، که در آن مقدار و نوع تغییرات در تصاویر به دست می‌آید. اساس این روش به این صورت است که سه تصویر ۱۳۷۶، ۱۳۸۶ و ۱۳۹۹ که در تاریخ‌های مختلف تهیه شده‌اند، جداگانه طبقه‌بندی می‌شوند، سپس آنها را بر روی هم دیگر انطباق داده و بدین وسیله تغییرات بوجود آمده تشخیص داده می‌شود. همچنین در دو سال ۱۴۱۹ و ۱۴۵۰ نیز پیش‌بینی نقش کاربری اراضی انجام شد.

واسنجی مدل HEC-RAS

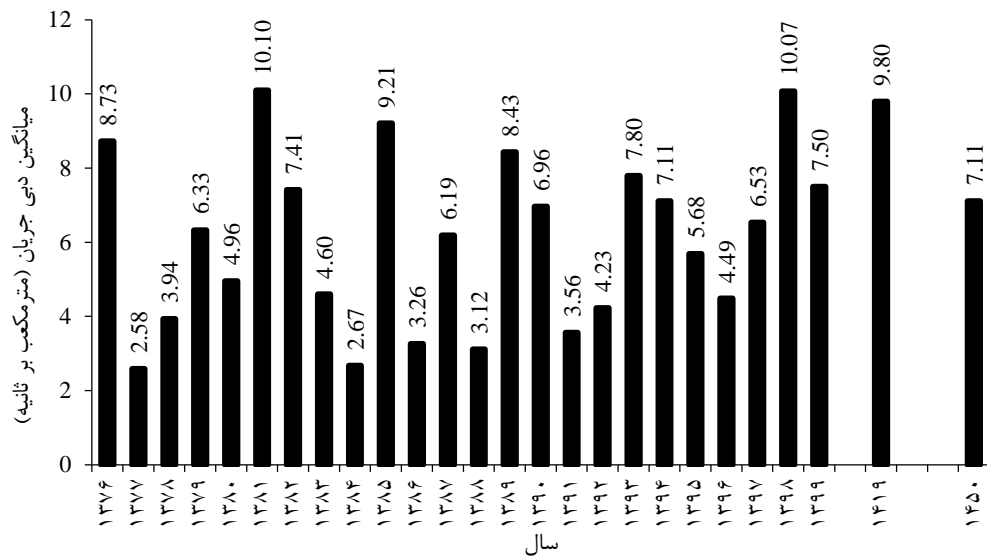
برای واسنجی هیدرولیک جریان در مدل HEC-RAS از اطلاعات دبی-اشل در ایستگاه هیدرومتری مبارک‌آباد (از سال ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۹ به صورت یک سال در میان برای واسنجی استفاده شد) بالادست سد استفاده شده است.



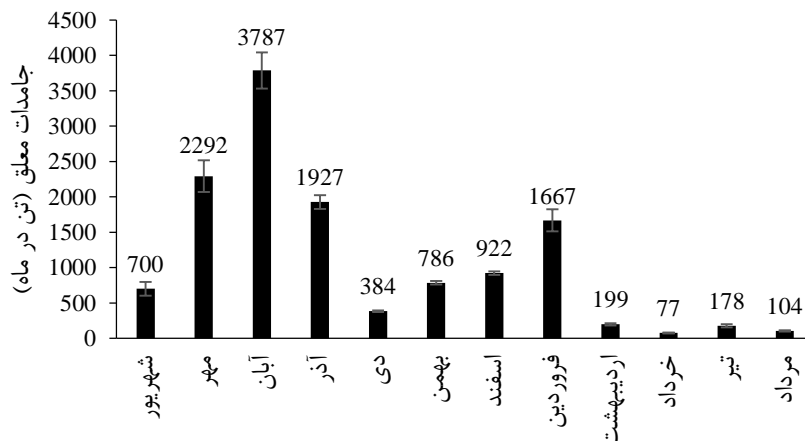
شکل ۳. نقشه‌های کاربری اراضی در سال‌های مختلف تغییرات دبی - رسوب - رواناب

جدول ۳. مساحت (کیلومتر مربع) کلاس‌های کاربری اراضی حوضه آبریز امام‌زاده ابراهیم با الگوریتم حداکثر احتمال

کاربری	نقشه کاربری ۱۳۷۶	نقشه کاربری ۱۳۸۶	نقشه کاربری ۱۳۹۹	نقشه کاربری ۱۴۱۹	نقشه کاربری ۱۴۵۰
مسکونی	۱/۸۷	۳/۷۶	۸/۰۷	۱۳/۰۴	۲۱/۴۵
زمین بایر	۲/۸۵	۱/۲۲	۳/۱۸	۵/۳۳	۱/۸۶
جنگل	۳۰۹/۰۵	۳۰۲/۱۳	۳۵۸/۸۹	۴۲۲/۸۶	۴۴۸/۲۵
مراتع با پوشش فقیر	۱۱/۷۴	۹/۹۶	۸/۹۸	۷/۵۷	۴/۰۶
مراتع با پوشش متوسط	۱۸/۵۵	۳۳/۴۵	۲۲/۷۵	۱۱/۸۹	۴/۲۸
مراتع با پوشش متراکم	۹۹/۶۵	۷۷/۴۵	۳۵/۴۱	۱۳/۲۱	۴/۸۲
شالیزار	۴۰۱/۹۳	۴۲۴/۱۴	۴۱۰/۷۳	۳۷۳/۹۸	۳۶۴/۰۷
نواحی آبی	۶/۹۸	۱/۰۲	۴/۸۶	۴/۹۸	۴/۰۳



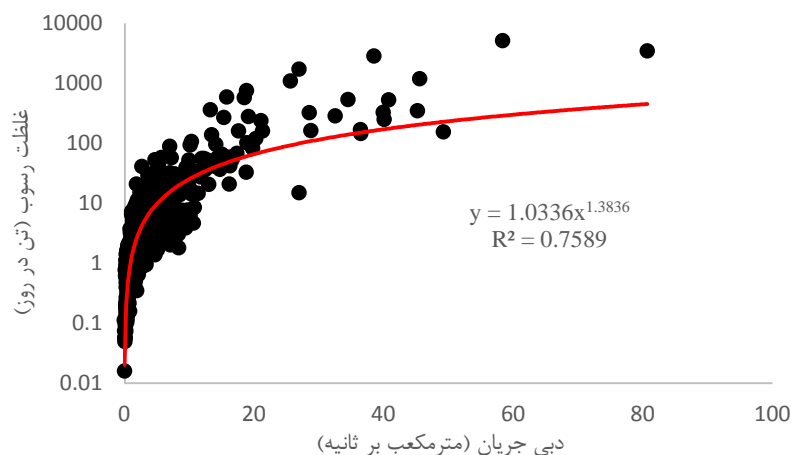
شکل ۴. تغییرات میانگین دبی سالانه در دوره ۱۳۷۶-۱۴۵۰



شکل ۵. میانگین تغییرات ماهانه غلظت رسوبات معلق در طول دوره مطالعاتی

مترمکعب در ثانیه بود. در شکل ۵ تغییرات ماهانه غلظت رسوب در طی دوره ۱۳۷۶-۱۴۵۰ نشان داده شده است. همانگونه که در شکل ۵ مشخص است بیشترین غلظت رسوب در آبان ماه رخ داده است که علت این موضوع را می‌توان به فراوانی بیشتر باران نسبت داد. از اردیبهشت تا مرداد که میزان بارندگی در استان گیلان و به طبع آن در حوضه مبارک‌آباد کاهش می‌یابد، میزان فرسایش خاک و تولید رسوب نیز به حداقل خود رسیده است.

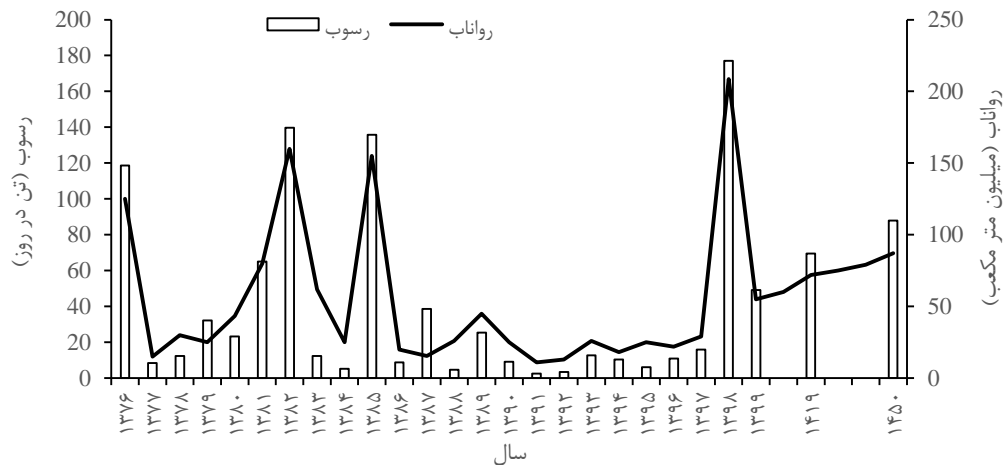
در شکل ۴ تغییرات میانگین دبی سالانه زیرحوضه مبارک-آباد (در محل ایستگاه هیدرومتری) در طی دوره مطالعه (۱۳۷۶-۱۴۵۰) نمایش داده شده است. در این دوره بیشترین مقدار میانگین دبی مربوط به سال ۱۳۸۱ برابر با ۱۰/۱ مترمکعب در ثانیه بوده است. در سال ۱۳۹۸ نیز دبی جریان رودخانه برابر (اختلاف بسیار جزی) با سال ۱۳۸۱ شده است. کمترین مقدار دبی جریان مربوط به ۱۳۷۷ معادل ۲/۵۸



شکل ۶. منحنی سنج رسوب زیر حوضه امامزاده ابراهیم

مطالعه‌ای لکزیان‌پور^{۱۲} و همکاران به بررسی برآورد مقدار رسوب از داده‌های دبی با استفاده از منحنی سنج رسوب پرداختند نتایج نشان می‌دهد با افزایش بارندگی ۹۶/۴۶ درصدی مقدار رسوب معلق به میزان ۹۹/۶۲ درصد افزایش یافته است (Lakzyanpour et al., 2016). همچنین در تحقیقی از منحنی سنج رسوب به منظور تعیین رسوب معلق در رودخانه زاینده‌رود استفاده شد (Halabian and Heydari, 2015). نتایج این مطالعه نشان داد که بیشترین رسوب معلق در سال ۱۳۸۵ و کمترین آن در سال ۱۳۸۱ رخ داده است، همچنین نتایج نشان داد با افزایش بارندگی، رسوب معلق افزایش می‌یابد. در شکل ۷ رابطه بین رواناب و رسوب در حوضه مورد مطالعه نمایش داده شده است. همانگونه که در شکل ۷ مشخص است ارتباط بسیار نزدیکی بین رواناب و رسوب وجود دارد. در سال‌های که رواناب سالانه افزایش یافته است مقدار رسوب تولید شده نیز افزایش یافته است. بیشترین مقدار رواناب (۲۰۸/۵ میلیون مترمکعب) و رسوب در سال ۱۳۹۸ (۱۷۷ تن در روز) به دست آمده است. با افزایش بارندگی، میزان تولید رواناب و فرسایش خاک افزایش می‌یابد، بنابراین با افزایش رواناب تولید رسوب در حوضه نیز افزایش خواهد یافت. در همین راستا ایلدرمی^{۱۳} و همکاران اثر تغییر کاربری اراضی و خشک‌سالی بر رواناب حوضه‌ی زاگرس مرکزی (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی تویسرکان) را بررسی کردند و نتیجه گرفتند رواناب در حوضه‌ی دارای روند افزایشی است که علت آن خشک‌سالی نه چندان محسوس، تغییر کاربری اراضی قابل توجه و افزایش بارندگی در برخی ماه‌ها است (Ildoromi et al., 2018). نتایج پژوهش غفاری^{۱۴} و همکاران بیانگر افزایش مقدار رواناب سطحی در حدود ۳۳ درصد و کاهش سطح آب سفره‌های آب زیرزمینی در حدود ۲۲ درصد به علت تغییرات کاربری است (Ghafari et al., 2010).

در شکل ۶ منحنی سنج رسوب در حوضه مورد مطالعه نمایش داده شده است. برای ترسیم این منحنی از اطلاعات دبی و رسوب ایستگاه هیدرومتری مبارک‌آباد بین سال‌های ۱۳۷۵ الی ۱۳۹۹ استفاده شده است. همانگونه که مشخص است همبستگی خوبی ($R^2=0.7589$) بین اطلاعات دبی و رسوب در این حوضه وجود دارد. این منحنی به عنوان پایه غالب مباحث مربوط به انتقال رسوب است و از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در شکل ۶ منحنی سنج رسوب (رابطه دبی و رسوب معلق) نمایش داده شده است. غالب ارزیابی‌های مقدار تولید رسوب حوضه‌های آبخیز با استفاده از نمونه‌برداری‌های پراکنده و نامنظم از رسوبات معلق رودخانه‌ها صورت می‌گیرد که در صورت عدم وجود اندازه‌گیری واقعی رسوب، از منحنی سنج رسوب برای تخمین غلظت رسوب معلق استفاده می‌شود. ارباب منحنی سنج رسوب از دو عامل نشات می‌گیرد. عامل اول به علت تغییر شکل معادله از حالت لگاریتمی به حالت طبیعی مدل رگرسیون خطی است که در اصل مربوط به ذات منحنی سنج رسوب است. عامل دوم ناشی از عمل برون‌یابی برای برآورد رسوب دبی‌های بالا است (Varwani et al., 2017). هرویتز^{۱۵} که در ارتباط با کمیت و کیفیت اطلاعات بوده و باعث می‌شود رسوب برآوردی دارای خطای زیادی باشد (Horowitz, 2002). نتایج شکل ۶ نشان می‌دهد که همبستگی قابل قبولی بین دبی و رسوب (ضریب تعیین برابر با ۰/۷۵) وجود دارد، از این‌رو از معادله این نمودار برای تخمین غلظت رسوب استفاده شده است. عوامل بسیاری چون اقلیم، کاربری اراضی، صحت آمار و نحوه تجزیه و تحلیل آماری بر شکل و شیب منحنی‌ها موثر می‌باشد. در پژوهش حکیم‌خانی^{۱۱} و همکاران به تحلیل رسوب معلق در دریاچه ارومیه پرداختند که عوامل دبی متوسط سالانه، درصد سنگ‌های حساس به فرسایش، بارش متوسط سالانه و درصد اراضی به عنوان عوامل اصلی بیش از ۰/۹۳ تغییرات رسوب معلق معرفی شدند (Hakimkhani et al., 2000).

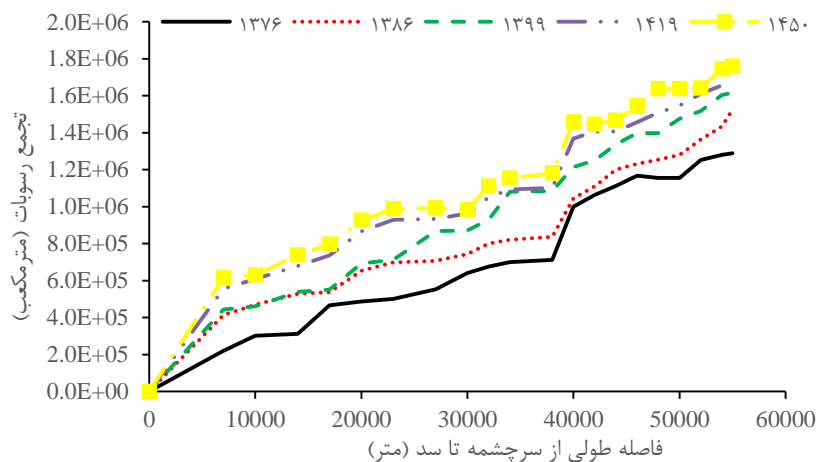


شکل ۷. تغییرات رواناب و رسوب در حوضه مورد مطالعه

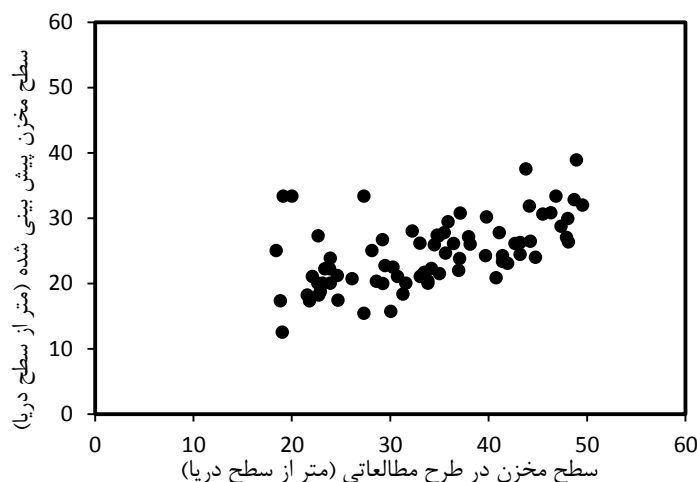
تغییرات سالانه رسوب‌گذاری در طول مسیر یک روند افزایشی داشته است که علت آن را می‌توان به تخریب مراتع و جنگل- تراشی در بخش جنوبی حوضه نسبت داد. از دلیل اصلی افزایش رسوب در سال‌های آینده را می‌توان به کاهش مساحت مراتع بخش جنوبی حوضه نسبت داد. بدین صورت که مقدار مراتع با پوشش متراکم از ۹۹/۶۵ به ۴/۸۲ کیلومترمربع (جدول ۳) خواهد رسید. اهمیت مراتع در تولید رسوب به این دلیل است که این کاربری در بخش پرشیب حوضه قرار دارد و تغییر در مساحت آن سبب تغییرات زیادی در فرسایش خاک و تولید رسوب می‌شود. همچنین دلیل دیگر افزایش رسوب در سال‌های آینده را می‌توان به افزایش درصد کاربری مسکونی در منطقه نسبت داد. همانطور که در جدول ۳ نشان داده شد، از سال ۱۳۷۶ تا ۱۴۵۰ درصد کاربری مسکونی حدود بیست درصد افزایش خواهد یافت. به طور کلی می‌توان مهمترین عامل

تغییرات طولی رسوب

در شکل ۸ روند تغییرات طولی رسوب از سرچشمه رودخانه تا محل احداث سد در طول زمان نمایش داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود در تمام سال‌های مورد بررسی از مبدا تا محل سد روند رسوب‌گذاری افزایش یافته است. این روند افزایشی را می‌توان به شیب زیاد منطقه در بالادست نسبت داد، چراکه در شرایطی که شیب زیاد است جریان متلاطم بوده و امکان رسوب ذرات وجود ندارد. در ادامه مسیر به دلیل کاهش شدید شیب و کاهش تلاطم جریان ذرات زمان بیشتری برای رسوب کردن دارند. کل بار رسوب انباشته شده در مخزن سد لاسک برای ارزیابی عملکرد مدل از بالادست به پایین دست در نزدیکی محل سد در نظر گرفته شد. با در نظر گرفتن وزن حجمی ۱/۱۵ تن بر مترمکعب رسوبات، نتایج نشان می‌دهد که در سال‌های ۱۴۵۰ و ۱۴۱۹ به ترتیب ۲/۰۲ و ۱/۹۲ میلیون تن رسوب در مخزن سد لاسک ته‌نشست خواهد کرد. به طور کلی



شکل ۸. تجمع رسوب در مخزن سد لاسک در طول زمان بر اساس مدل HEC-RAS



شکل ۹. تغییرات اندازه‌گیری و شبیه‌سازی سطح مخزن در زمان‌های مختلف در طول دوره شبیه‌سازی دقت تخمین مدل

استفاده کردند. به صورت کلی نتایج مطالعه حاضر دارای دقت بیشتری نسبت به دقت مدل در مطالعه محمد و همکاران (Mohammad et al., 2016) دارد. این پژوهشگران حجم کل بار رسوب انباشته شده در مخزن ۱/۱۳ کیلومتر مکعب برآورد کردند که این مقدار بسیار نزدیک به مقادیر اندازه‌گیری شده بود. به علاوه این مدل نشان داد که عمده حجم رسوبات (۸۷/۷ درصد) در طول پنج سال اول بعد از بهره‌برداری سد انباشته شده‌اند. اعلمی و منتظمی نوین^{۱۶} با استفاده از مدل HEC-RAS برآورد کردند که سالانه ۱۳۲۴۴۲ تن رسوب در مخزن سد یامچی اردبیل ترسیب می‌کند (Alami and Monazami, 2010).

جدول ۴. میانگین خطا (E) و (Se) حجم مفید باقیمانده مخزن سد لاسک

روش	روش Borland and Miller	
	برای کاهش سطح	برای کاهش سطح
R ²	۰/۹۸	۰/۸۳
E	۳۸/۱۷	۴۶/۴۹
Eadj	۱۰/۲۴	۱۶/۲۸
Se	۳۱/۰۸	۳۶/۶۵
Seadj	۲۵/۲۹	۲۹/۶۱

عمق رسوب در مخزن سد

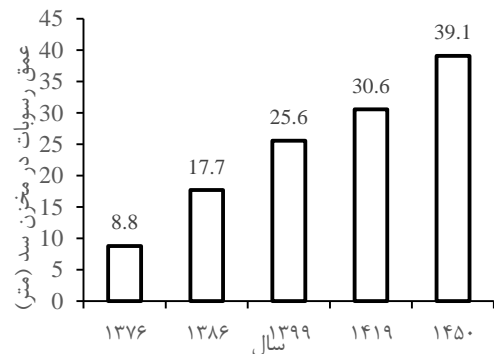
در شکل ۱۰ تغییرات عمق رسوب در مخزن سد لاسک در سال‌های مختلف نمایش داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود روند افزایشی در عمق رسوب مخزن مشاهده می‌شود به نحوی که بیشترین مقدار آن در سال ۱۴۵۰ معادل ۳۹/۱ متر از ارتفاع آبرگیری سد به دست آمده است. علت روند افزایشی عمق رسوب را می‌توان به اثر تجمعی رسوب در مخزن سد نسبت داد. همچنین دلیل دیگر این موضوع تخریب موانع و افزایش جنگل-تراشی است که سبب لخت شدن زمین و افزایش فرسایش خاک و به طبع آن تولید رسوب می‌شود. مشاهده می‌شود که در

تغییرات در رسوب حوضه را به تغییر کاربری در زمان‌های مختلف نسبت داد. در تمام نمودارها مشاهده می‌شود که تا یک کیلومتری از سرچشمه روند افزایشی شدید در رسوب‌گذاری وجود دارد. علت این موضوع را می‌توان به شیب زیاد منطقه و رسوب ذرات درشت نسبت داد. بعد از این مرحله به دلیل کاهش اندازه ذرات رسوب روند تغییرات کاهش یافته است. همچنین مشاهده می‌شود که در فاصله ۴۰۰۰ متری نیز یک شیب در اغلب نمودارها رخ داد است که علت این را نیز به تغییر شیب طولی رودخانه در این منطقه نسبت داد. در شکل ۹ همبستگی سطح مخزن (پیش‌بینی شده در طرح) و مقدار شبیه‌سازی شده (از مدل HEC-RAS) نمایش داده شده است که نشان می‌دهد مطابقت خوبی بین این دو وجود دارد.

در جدول ۴ دقت مدل تخمین زده شده در سه حالت نمایش داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود مدل کاهش سطح بورلند و میلر (Borland and Miller, 1971) نسبت به دو روش دیگر دارای دقت مناسب‌تری است. بنابراین مدل کاهش سطح Borland and Miller برای پیش‌بینی توزیع رسوب در مخزن سد لاسک انتخاب شد. مقایسه منحنی ظرفیت-عمق پیش‌بینی شده با منحنی واقعی نشان می‌دهد که روش کاهش سطح می‌تواند حجم رسوب را بیشتر از حالت واقعی در عمق پایین مخزن تخمین بزند، اما در سطح بالاتر سطح عمق، روش کاهش حجم رسوب را کمتر از حالت واقعی تخمین می‌زند. محمد^{۱۵} و همکاران رسوب‌گذاری مخزن سد موصل (عراق) را با استفاده از مدل ریاضی HEC-RAS برای جریان رودخانه اصلی و رسوبات مخزن سد موصل بررسی کردند. برای شبیه‌سازی جریان، مدل را با ضریب همبستگی ۰/۷۸ و روندیابی رسوب در سطح اولیه بستر را با ضریب همبستگی ۰/۹۸ و میانگین و انحراف معیار مطلق ۰/۹۵ و انسجی و از معادله ایگزوز و وایت برای روندیابی رسوب‌گذاری

قطرات باران به سطح زمین جلوگیری می‌کند. همچنین به دلیل سیستم ریشه‌ای سطحی و تراکم تعداد گیاهان در مراتع سبب نفوذ بیشتر آب به داخل پروفیل خاک شده و از رواناب جلوگیری می‌کند. همانگونه که مشاهده شد روند افزایشی در ته‌نشین شدن ذرات رسوب از سرچشمه رودخانه تا محل احداث سد وجود دارد. در بالا اشاره شد که علت این موضوع عمدتاً کاهش شیب و کاهش تلاطم جریان است. همچنین این مطالعه نشان داد که عمق ته نشینی مخزن سد لاسک در طول زمان به میزان قابل توجهی افزایش یافته است که می‌تواند باعث کاهش کارایی و طول عمر سد شود. بنابراین لازم است برای کنترل تغییرات کاربری اراضی و تولید رسوب در حوضه آبخیز اقدامات مناسبی انجام شود تا از آسیب بیشتر به محیط زیست و زیرساخت‌ها جلوگیری شود. مدل HEC-RAS بزرگ مؤثر برای پیش‌بینی رسوب‌گذاری در مخازن سدها است و می‌تواند در مطالعات آینده برای ارزیابی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر رسوب‌گذاری در سایر حوضه‌های آبخیز استفاده شود. اهمیت این رودخانه صرفاً به منابع مالی احداث سد برمی‌گردد. چراکه این رودخانه منابع اصلی تامین آب تالاب انزلی است. تالاب انزلی که در سه دهه اخیر به شدت عمق آن به واسطه ورود رسوبات رو به کاهش است و در حال حاضر به حدود یک متر رسیده است احداث سد مذکور بر شدت کاهش عمق تالاب و نهایتاً مرگ زودرس تالاب کمک می‌کند. حق‌آبه تالاب انزلی حجم مخزن سد ۴۵ میلیون متر مکعب است که آورد رودخانه در محل سد ۸۵ میلیون متر مکعب پیش‌بینی شده و مقرر شده است که حق‌آبه تالاب ۳۴/۲۴ میلیون متر مکعب باشد. نکته قابل توجه اینکه در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد که بیشترین نیاز آبی مزارع برنج به آب است به ناچار باید آب در پشت سد ذخیره شود تا به این نیاز پاسخ داده شود. با توجه به بالا بودن دمای محیطی، تبخیر آب از مزارع، عدم بارندگی در فصل تابستان و نیاز حداکثر مزارع به آب، مطمئناً حداقل میزان حق‌آبه آب تالاب محقق خواهد شد و در تابستان تالاب به بیشترین حق‌آبه نیاز دارد و عملاً در بخش‌هایی از تالاب از جمله منطقه حفاظت شده اسلکه به طور کامل خشک می‌شود و حق‌آبه تالاب در فصول پاییز و زمستان به تالاب خواهد رسید که در این فصول نیازی به این حق‌آبه نمی‌باشد.

صورت عدم کنترل رسوب در بالادست عمق مخزن از سال ۱۳۷۶ تا ۱۴۵۰ چهار برابر کاهش خواهد یافت. امام‌قلی‌زاده^{۱۷} و همکاران در مطالعه‌ای رسوب ورودی به سد شیرین دره واقع در شهرستان بجنورد را بررسی کردند. این پژوهشگران بیان کردند که سالانه ۰/۸ درصد از حجم مخزن سد به دلیل رسوبات وارد شده به آن پر می‌شود. همچنین بیان کردند که در یک دوره صد ساله ۷۳/۲ میلیون تن رسوبات در مخزن سد انباشته می‌شود (Emamgholizadeh et al., 2020).



شکل ۱۰. رسوب‌گذاری در مخزن سد لاسک بر اساس مدل کاهش سطح

نتیجه‌گیری

در عصر حاضر به منظور بررسی تغییراتی که عمدتاً ناشی از تامین تقاضاهای بشری می‌باشد و همچنین، به دلیل پیشرفت گسترده نرم‌افزارها، استفاده از مدل‌ها با هدف جلوگیری از صرف زمان و هزینه بیشتر، امری غیر قابل اجتناب و برای مدیریت و برنامه‌ریزی بهتر امری ضروری به شمار می‌رود. در این مطالعه به بررسی تغییرات عمق مخزن سد لاسک و روند رسوب‌گذاری در مسیر رودخانه مبارک‌آباد با استفاده از حالت‌های مختلف مدل HEC-RAS در سال‌ها مختلف پرداخته شده است. نتایج به دست آمده از این مطالعه نشان داد که در حوضه امام‌زاده ابراهیم درصد کاربری مسکونی رو به افزایش است و درصد مراتع در بخش جنوبی و پر شیب حوضه به شدت کاهش یافته است. کاهش مراتع سبب افزایش تولید رسوب در حوضه می‌شود. کاهش پوشش گیاهی در سطح زمین سبب افزایش فرسایش خاک و تولید رسوب می‌شود. اهمیت مراتع در بخش کنترل فرسایش و تولید رسوب بسیار بیشتر از جنگل‌ها است، چراکه ارتفاع گیاهان در مراتع کم بوده و از برخورد مستقیم

Reference:

- Aasdi, H. (2016). Estimation of Sediment, Organic Carbon, and Phosphorous Loads from Pasikhan River into Anzali Wetland, Iran. *International Journal of Environmental Protection*, 6(1), 129-133
- Ackers, P., & White, W. R. (1973). Sediment transport: New approach and analysis. *Journal of the Hydraulics Division, ASCE* 99 (HY11), 2041-60.
- Akbarzadeh, N., Qureshi Najafabadi, S. H., & Majedzadeh Tabatabai, M. R. (2018). Investigating the amount of sedimentation of Shahid Abbaspur dam reservoir using experimental methods and HEC-RAS numerical model, National clean water conference, Tehran, Iran. [In Persian]

- Alami, M. T., & Monazami Nwein, M. (2010). Investigating sediment distribution on the surface of Yamchi dam reservoir in Ardabil using software and methods of level reduction and level increase and comparison of results, 5th National Civil Engineering Congress, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. [In Persian]
- Ananda, J., & Herath, G. (2003). Soil erosion in developing countries: a socio-economic appraisal, *Journal of environmental management*, 68(4), 343-353.
- Arabkhedri, M., Shadfar, S., Jafari-Ardakani, A., Bayat, R., Khajavi, E., & Mahdian, M. H. (2018). Improving Water Erosion Estimates for Iran. *Watershed Management Research*, 31(120), 13-27. [In Persian]
- Bai, X., Zhao, W., Liu, H., Zhang, Y., Yang, Q., Liu, J., & Chang, X. (2023). Effects of precipitation changes and land-use alteration on stream flow: A comparative analysis from two adjacent catchments in the Qilian Mountains, arid northwestern China. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 94.
- Borland, W. M., & Miller, C. R. (1971). *River mechanics*, Chapter, B29. Reservoir sedimentation, H. W. Shen, editor, Water Resources Publication, Fort Collins, Colorado, U.S.A.
- DeFries R, Eshleman N K. 2004. Land-use change and hydrologic processes: a major focus for the future. *Hydrological Processes*, 18(11): 2183–2186.
- Dysarz, T., Szalkiewicz, E., & Wicher-Dysarz, J. (2017). Long -term impact of sediment deposition and erosion on water surface profiles in the Ner River. *Water*, 9(168), 1 -14.
- Ebrahimi, E., Asadi, H., Joudi, M., Rashti, M. R., Farhangi, M. B., Ashrafzadeh, A., & Khodadadi, M. (2022a). Variation entry of sediment, organic matter and different forms of phosphorus and nitrogen in flood and normal events in the Anzali wetland. *Journal of Water and Climate Change*, 13(2), 434-450.
- Ebrahimi, E., Asadi, H., Rahmani, M., Farhangi, M. B., & Ashrafzadeh, A. (2022b). Effect of precipitation and sediment concentration on the loss of nitrogen and phosphorus in the Pasikhan River. *AQUA—Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, 71(2), 211-228.
- Emamgholizadeh, S., Khademi, N., & Hosseini, S. H. (2020). Prediction of input sediment to the Shirin-Darreh dam Reservoir using HEC-RAS numerical model. *Journal of Watershed Management Research*, 11(21), 208-222. [In Persian]
- Farshadi, M. R., & Shafaei Bejestan, M. (2010). Estimation of sediment entrance to the Gotvand Olia dam reservoir using HEC -RAS 4.0 model, 2th National Conference on Water Resources Management, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.
- Ghafari, G., Qodousi, J., & Ahmadi, H. (2010). Investigating the hydrological effects of land use change in catchment (case study: Zanjan River watershed). *Journal of water and soil Conservation*, 16(1), 163-180. [In Persian]
- Hakimkhani, S., Arab Khedri, M., Mahdavi, M., & Vali Khojini, A. D. (2000). Regional analysis of suspended sediment in Urmia lake basin, second conference on erosion and sedimentation, Khorramabad, Lorestan. [In Persian]
- Halabian, A., & Heydari, M. (2015). Estimation of sediment using the curve of sediment gauge and study of flow changes on it, *Geography*, 14(5), 193-218. [In Persian]
- Horowitz, A. J., (2002). The use of sediment rating curves for monitoring suspended sediment concentrations and fluxes: Issues of temporal resolution, estimation errors, and sampling frequency, proceedings MTMIV, U.S. Geological Survey, Peachtree Business Center, Suite 130, 3039 Amwiler Road, Atlanta, Ga 30360, USA.
- Ildoromi, A., Nouri, H., & Kazemi Barzideh, S. (2018). The effect of land use changes and drought on runoff of central Zagros Basin (Case study: Basin Tuyserkan). *Arid Regions Geographic Studies*, 8 (31), 3-42. [In Persian]
- Joshi, N., Lamichhane, G. R., Rahaman, M., Kalra, A., & Ahmad, S. (2019). Application of HEC -RAS to Study the Sediment Transport Characteristics of Maumee River in Ohio, World Environmental and Water Resources Congress. American Society of Civil Engineers, USA
- Lakzianpour, Gh. H., Mohammad Rezapour, A., & Malmir, M. (2016). Evaluation of the effects of climate change on the amount of runoff of the Nazlu Chai River in the Urmia Lake Basin, *Geography and Development*, 42, 183-198. [In Persian]
- Leul, Y., Assen, M., Damene, S., & Legass, A. (2023). Effects of land-use dynamics on soil organic carbon and total nitrogen stock, Western Ethiopia. *Applied and Environmental Soil Science*, <https://doi.org/10.1155/2023/5080313>
- Malede, D.A., Alamirew, T., & Andualem, T.G. (2022). Integrated and individual impacts of land use land cover and climate changes on hydrological flows over Birr River Watershed, Abbay Basin, Ethiopia. *Water*, 15(1), 166.
- Mohammad, M. E., Al - Ansari, N., Issa, I., & Knutsson, S. (2016). Sediment in Mosul Dam reservoir using the HEC - RAS model. *Lakes Reservoirs: Research Management*, 21(3), 235-244.
- Sieber, A., Kuemmerle, T., Prishchepov, A.V., Kelly, J., Baumann, M., Volker, C.R., & Leonid, M.B. (2013). Landsatbased mapping of post-Soviet land use change to assess the effectiveness of the Oksky and Mordovsky protected areas in European Russia. *Article Remote Sensing of Environment*, 133, 38-51.
- Tadesse, A., & Dai, W. (2019). Prediction of sedimentation in reservoirs by combining catchment based model and stream based model with limited data. *International journal of sediment research*, 34(1), 27 -37
- Turner, M.G., Pearson, S.M., & Bolstad, P. (2003). Effects of land-cover change on spatial pattern of forest communities in the Southern Appalachian Mountains (USA). *Landscape Ecology*, 18(5), 449–464.

- Varwani, J., Najafinjad, A., & Mir Moeini Kohrorudi, A., (2017). modification of the sediment gauge curve using the least unbiased variance method. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 1(15), 150-16 [In Persian]
- Wang, H., Yang, Z., Saito, Y., Liu, J. P., Sun, X., & Wang, Y. (2007). Stepwise decreases of the Huanghe sediment load: Impacts of climate change and human activities. *Global and Planetary Change*, 57, 331- 354.
- Wang, Q., Liu, J., Wang, Y., Guan, J., Liu, Q., & Lv, D. (2012). Land use effects on soil quality along a native wetland to cropland chronosequence. *Journal of Soil Biology*, 53, 114-120.
- Water Industry Standards Committee Plan Sediment, (1989). How to calculate the amount of sediment accumulation in reservoirs and dams.
- Yu, H., & Song, W. (2023). Research progress on the impact of land use change on soil carbon sequestration. *Land*, 12(1), 213.

یادداشت ها

- ¹ Arabkhedri
- ² Akbarzadeh
- ³ Farshadi and Shafaei Bejestan
- ⁴ Dysarz
- ⁵ Ghafari
- ⁶ Tadesse and Dai
- ⁷ Joshi
- ⁸ Ebrahimi
- ⁹ Ackers-White
- ¹⁰ Horowitz
- ¹¹ Hakimkhani
- ¹² Lakzyanpour
- ¹³ Ildoromi
- ¹⁴ Ghafari
- ¹⁵ Mohammad
- ¹⁶ Alami and Monazami Nwein
- ¹⁷ Emamgholizadeh