

برآورد تلفات حاصلخیزی خاک با استفاده از رسوبات نهشته شده در سدهای اصلاحی (مطالعه موردی: سراب حوزه آبخیز صفارود شهرستان رامسر)

- ❖ محسن آرمین*؛ استادیار، دانشکده منابع طبیعی و پژوهشکده منابع طبیعی و زیست محیطی، دانشگاه یاسوج
- ❖ محمد رسول رجبی؛ کارشناسی ارشد آبخیزداری اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مازندارن- نوشهر
- ❖ فاطمه برزگری بنادکوکي؛ عضو هیئت علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه پیام نور

چکیده

فرسایش خاک و تلفات عناصر غذایی و مواد آلی متعاقب آن اثرات مستقیم و غیر مستقیمی از کاهش تولید و سودبخشی تا آلودگی-های فیزیکی و شیمیایی منابع آب دارد. یکی از مهم ترین پیامدهای فرسایش هم برای محیط منشأ آن و هم برای چرخه های اقتصادی کاهش حاصلخیزی خاک است. تلفات حاصلخیزی خاک معمولاً با تجزیه و تحلیل رسوبات منتقل شده در رواناب ناشی از باران طبیعی یا شبیه سازی شده در پلات های آزمایشی مطالعه می شود اما در این تحقیق تلفات حاصلخیزی خاک با تجزیه و تحلیل رسوبات نهشته شده پشت سدهای اصلاحی که با هدف کنترل فرسایش و تثبیت پروفیل طولی در آبراهه های حوزه آبخیز صفارود شهرستان رامسر طی سال های ۱۳۷۳ الی ۱۳۸۸ احداث گردیده اند، بررسی شد. بدین منظور تلفات خاک با تعیین چندین ویژگی فیزیکی- شیمیایی رسوبات نهشته شده در پشت سدهای اصلاحی منتخب و مقایسه آنها با همان ویژگی های خاک منشأ بررسی شد. در بخش تجزیه و تحلیل ویژگی های فیزیکی- شیمیایی خاک، نتایج نشان داد که اغلب خاک های مورد مطالعه دارای بافت شنی، غیر شور، خنثی، آهکی و غیرسدی می هستند. بر اساس تقسیم بندی مقدار ماده آلی، تقریباً ۶۰ درصد از خاک های مورد مطالعه دارای ساختمان ضعیف و پایداری ساختمانی کمی هستند و غالباً در کلاس متوسط فرسایش پذیری خاک قرار دارند. در بخش تلفات حاصلخیزی خاک، نتایج نشان داد که فرسایش نه فقط منجر به از دست رفتن اجزاء معدنی جامد خاک می شود بلکه همچنین منجر به تلفات مواد آلی و مواد مغذی شیمیایی خاک می شود. تغییر در خصوصیات خاک در نتیجه فرسایش خاک اساساً به دلیل کاهش عمق مؤثر بر سطح حاصلخیزی تأثیر می گذارد. یک کاهش معنی داری در مقدار کربن و نیتروژن و همه عناصر ماکرو و ریزمغذی ها ایجاد می شود. تلفات کربن، ازت، فسفر، پتاسیم، سدیم و مجموع کلسیم و منیزیم در منطقه مورد مطالعه به ترتیب به میزان ۶۵۸۸/۲۶، ۱۹۲۱/۷۸، ۱۹/۷۱، ۶/۵۳، ۱۹/۸۹ و ۵۰۳/۱۳ گرم در هکتار در سال است که این میزان تلفات تهدیدی جدی برای فرایندها و فعالیت های مرتبط با حاصلخیزی خاک از جمله توسعه پوشش گیاهی در منطقه است.

کلید واژگان: تلفات حاصلخیزی، فرسایش خاک، رسوب، سدهای اصلاحی، حوزه آبخیز صفارود، شهرستان رامسر.

۱. مقدمه

خاک حاصلخیز و آب با کیفیت مرغوب از باارزش‌ترین سرمایه‌های هر کشوری هستند. به دنبال افزایش جمعیت جهان و تغییر عملیات تولید محصولات کشاورزی، صدماتی بر منابع طبیعی وارد شده و خطرات جدیدی آن‌ها را تهدید می‌نماید [۱۵]. بعد از دو قرن که از پیشرفت تکنولوژی می‌گذرد، انسان هنوز قادر نیست تا طبیعت را به خوبی مدیریت کند. این سوء مدیریت منجر به یک بحران محیطی شده که ناشی از سه مسئله افزایش سریع جمعیت، مصرف و کاهش بی‌رویه منابع و آلودگی است. جمعیت جهان با رشد فعلی در سال ۲۰۲۰ به حدود هشت میلیارد نفر خواهد رسید، این افزایش جمعیت به معنی افزایش آلودگی هوا، آب و اراضی و کاهش شدید منابع طبیعی و نهایتاً گسترش فقر و گرسنگی در سراسر دنیا است. اگر روند فعلی ادامه یابد، اثر ترکیبی افزایش آلودگی و کاهش شدید منابع منجر به وقوع خسارت‌های شدید محیطی خواهد شد. اما چنانچه از هم‌اکنون مدیریت صحیح استفاده از منابع در دستور کار قرار گیرد، ممکن است در سال ۲۰۲۵ وضعیت کره زمین به یک حالت پایدار برسد [۱۸]. فرسایش با کاهش عمق ریشه‌دوانی و به دلیل خارج شدن سریع عناصر غذایی و ذخیره رطوبت خاک؛ باعث کاهش تولید خاک نیز می‌شود. کاهش حاصلخیزی به طور مستقیم بر ذی‌توده^۱ و تولید محصول تأثیر می‌گذارد. علیرغم اهمیت این پدیده، در مقایسه با مطالعاتی که راجع به تلفات فیزیکی خاک و ارزیابی میزان فرسایش انجام شده [۵]، مطالعات کمی روی این موضوع صورت گرفته است [۸]. تخریب خاک شامل تغییر در یک یا چند تا از خصوصیات خاک به وضعیتی بدتر از وضعیت اولیه آن به دلیل فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و یا بیولوژیکی است. در یک عبارت کلی، تخریب خاک باعث ایجاد تغییرات در حاصلخیزی خاک و ظرفیت خاک برای فعالیت‌های کشاورزی و منابع طبیعی پایدار است [۹]. تولید خاک زراعی به چهار دلیل عمده شامل تخریب ساختمان خاک، کاهش مواد آلی خاک، کاهش عمق خاک و تلفات و کاهش عناصر غذایی خاک به تدریج کاهش

می‌یابد [۴]. چنین فرایندی معمولاً ناشی از استفاده و مدیریت نامناسب خاک و فرایندهای تشدیدشونده متعاقب آن است. بعلاوه، رواناب منجر به تلفات مواد آلی و بسیاری از اجزاء غیر آلی خاک می‌شود که عامل ایجاد بسیاری از خصوصیات فیزیکی خاک هستند و نقش مهمی در توسعه و پایداری خاک ایفا می‌کنند [۱۶]. همچنین فرایند مشابهی منجر به تلفات عناصر غذایی محلول خاک و آن بخش از موادی می‌شود که جذب ذرات جامد خاک می‌شوند. به همین دلیل رسوبات جمع شده در پشت سدها و موانع نسبت به خاک‌های منشأ معمولاً از نظر مواد آلی، رس و عناصر غذایی، غنی هستند [۲۴]. درجه غنی بودن بستگی به نوع خاک، رژیم بارندگی، شیب و نوع عملیات احیایی دارد [۱]. یکی از گسترده‌ترین پارامترهای مورد استفاده برای ترسیم و تشریح پیامدهای فرسایش خاک میزان غنی‌سازی^۲ (ER) است که به عنوان نسبت بین غلظت عناصر غذایی در رسوبات ناشی از فرسایش و خاک‌های منشأ است [۳]. در مطالعه‌ای در خلیج بینتونی در اندونزی، ارزش عملکرد حفظ و نگهداری عناصر غذایی و جلوگیری از فرسایش خاک، با استفاده از روش هزینه فرصت از دست رفته، معادل ۸۰۰ دلار برآورد شده است [۲۹]. در بررسی فرسایش حاصلخیزی خاک و هزینه‌های مرتبط با آن در خاک‌های مختلف در کشور قنا مشخص شد که رسوبات فرسایش یافته از نظر عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم و مواد آلی غنی‌تر از خاک‌های مادری (منشأ) هستند [۱۹]. راجع به کاربرد سدهای اصلاحی در ارتباط با اثر آنها روی تصحیح جریان آب، اثرات هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی، اثرات محیطی، اثر سنگ‌شناسی روی رسوب‌گذاری آنها و میزان فرسایش مطالعات زیادی در ایران انجام شده است اما با توجه به بررسی سوابق تحقیق، مطالعه خاصی راجع به اینکه رسوبات نهشته‌شده پشت سدهای اصلاحی را به‌عنوان معیاری از تلفات حاصلخیزی خاک بررسی کرده باشد، وجود ندارد.

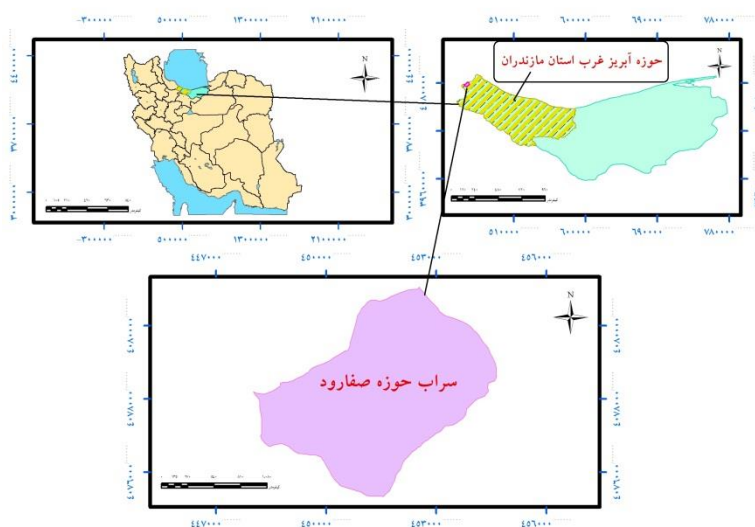
¹ Biomass

² Enrichment Ratio

۲. روش‌شناسی

۱.۲. منطقه مورد مطالعه

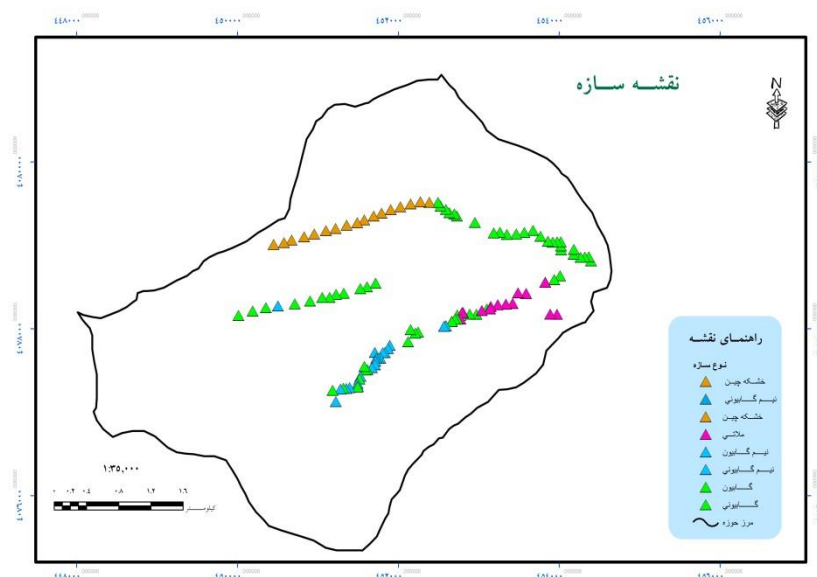
منطقه مورد مطالعه به مساحت ۲۰۳۵/۲۸ هکتار بخشی از سرآب حوزه آبخیز صفارود در غرب استان مازندران و جنوب شهرستان رامسر است که سطحی معادل ۱۳ درصد از کل حوزه آبخیز صفارود را در بر می‌گیرد و به لحاظ جغرافیایی در سیستم تصویر UTM در زون ۳۹ شمالی و در طول ۴۴۸۰۰۸ تا ۴۵۴۶۶۹ متر شرقی و عرض ۴۰۷۵۳۲۵ تا ۴۰۸۱۰۵۲ متر شمالی واقع



شکل ۱. نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور ایران و غرب استان مازندران

اوایل هشتاد به اجرا درآورد. با توجه به موضوع تحقیق و با ملحوظ قرار دادن اینکه قسمت اعظم سازه‌های احداثی در سرآب حوزه آبخیز یاد شده واقع گردیده‌اند، از این‌رو عرصه موصوف جهت انجام این تحقیق انتخاب گردید. به طور کلی در این حوزه سه آبراهه به نام‌های تنگدره، آبشار و فیلدم وجود دارد که آبراهه فیلدم خود دارای دو سرشاخه به نام‌های لی‌سرا و صیقل محله است. در شکل ۲ موقعیت مکانی سازه‌های آبخیزداری احداث شده در هر یک از آبراهه‌ها نشان داده شده است.

در راستای اقدامات آبخیزداری، در سال ۱۳۷۲ مدیریت آبخیزداری سازمان جهاد سازندگی استان مازندران مبادرت به تهیه طرح تفصیلی- اجرایی کل عرصه حوزه آبخیز صفارود کرد و متعاقب آن اقدامات اجرایی مشتمل بر سازه‌های گابیونی، سنگی ملاتی، خشکه‌چین و ترکیبی گابیونی- خشکه‌چین در طول مسیر آبراهه‌های اصلی و همچنین اقدامات بیولوژیکی و به همراه آن اقدامات مدیریتی نظیر مدیریت چرای دام و غیره در سطح حوزه آبخیز طی سال‌های دهه هفتاد و



شکل ۲. موقعیت سازه‌های آبخیزداری در منطقه مورد مطالعه

۲.۲. روش تحقیق

تلفات حاصلخیزی خاک معمولاً با تجزیه و تحلیل رسوبات منتقل شده در رواناب ناشی از باران طبیعی یا شبیه‌سازی شده در پلات‌های آزمایشی مطالعه می‌شود [۲]. در این تحقیق تلفات حاصلخیزی خاک با تجزیه و تحلیل رسوبات نهشته‌شده در پشت سد‌های اصلاحی که با هدف کنترل فرسایش و تثبیت پروفیل طولی در آبراهه‌های حوزه آبخیز صفارود شهرستان رامسر طی سال‌های ۱۳۷۳ الی ۱۳۸۸ احداث گردیده‌اند، بررسی شد. در واقع هدف اصلی تحقیق بررسی تلفات خاک با تعیین چندین ویژگی فیزیکی-شیمیایی رسوبات نهشته‌شده در پشت بندهای اصلاحی منتخب و مقایسه آنها با همان ویژگی‌های خاک منشأ است. همچنین سعی خواهد شد که تلفات عناصر غذایی خاک به‌عنوان تابعی از مساحت حوزه آبخیز تشریح شود و میزان فرسایش برای حوزه‌هایی که رسوبات آنها به‌وسیله سد‌های اصلاحی نهشته شده است، نیز محاسبه شود.

۱.۲.۲. انتخاب سدهای اصلاحی، نمونه‌برداری خاک

و رسوب

به دلیل شرایط بحرانی حوزه آبخیز صفارود شهرستان رامسر به لحاظ فرسایشی و به دنبال تهیه طرح تفضیلی-اجرایی آن، ۱۳۰ مورد سد اصلاحی با ارتفاع ۱/۵ تا ۵ متر در آبراهه‌های این حوزه طی سال‌های ۱۳۷۳ الی ۱۳۸۸ احداث گردید که بیش از ۹۰ درصد آنها در حال حاضر از رسوب پر شده‌اند. چنانچه قبلاً نیز بیان شد، منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، سرآب این حوضه است که بعد از یک بازدید کامل و جامع از حوزه تعداد ۴۶ نمونه خاک و رسوب از رسوبات پشت سد‌های اصلاحی موجود در آبراهه‌های تنگدره، آبشار، لی‌سرا و صیقل محله و خاک‌های منشأ بالادست آنها برداشت شد. نمونه‌های برداشت شده از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری رسوبات پشت سد‌های اصلاحی و خاک‌های منشأ بالادست برداشت شده‌اند. به منظور برداشت یک نمونه کاملاً معرف و شاخص، هر نمونه در واقع مخلوطی از ۵ نمونه کوچک‌تر است که از ۵ نقطه مختلف پشت سد اصلاحی

[۱۴]. در جدول ۱ موقعیت جغرافیایی ۱۱ سد اصلاحی انتخاب شده، نوع سازه، سال احداث و واحد سنگی غالب آنها نشان داده شده است.

برداشت شده‌اند. به‌منظور جلوگیری از مخلوط شدن نمونه‌های رسوب پشت سد با خاک‌های اطراف، سعی شده که از رسوبات کناره‌های سد نمونه برداشت نشود

جدول ۱. موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های سدهای اصلاحی انتخاب شده

شماره سد اصلاحی	آبراهه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	نوع سازه	نوع واحد سنگی	سال احداث
۱	صیقل محله	۴۵۲۹۹۰	۴۰۷۷۸۶۷	گابیونی	کنگلومرا همراه با بین لایه‌های سیلت و ماسه‌سنگ	۱۳۸۸
۲	لی سرا	۴۵۱۱۸۱	۴۰۷۷۲۷۴	گابیونی	کنگلومرا همراه با بین لایه‌های سیلت و ماسه‌سنگ	۱۳۷۳
۳	آبشار	۴۵۱۸۳۴	۴۰۷۸۱۱۳	گابیونی	کنگلومرا همراه با بین لایه‌های سیلت و ماسه‌سنگ	۱۳۷۵
۴	آبشار	۴۵۱۳۳۳	۴۰۷۸۴۳۳	گابیونی	کنگلومرا همراه با بین لایه‌های سیلت و ماسه‌سنگ	۱۳۷۵
۵	آبشار	۴۵۱۲۱۷	۴۰۷۸۴۳۹	گابیونی	کنگلومرا همراه با بین لایه‌های سیلت و ماسه‌سنگ	۱۳۷۵
۶	آبشار	۴۵۱۱۶۷	۴۰۷۸۳۷۸	گابیونی	کنگلومرا همراه با بین لایه‌های سیلت و ماسه‌سنگ	۱۳۷۵
۷	آبشار	۴۵۱۱۱۷	۴۰۷۸۳۶۱	گابیونی	کنگلومرا همراه با بین لایه‌های سیلت و ماسه‌سنگ	۱۳۷۵
۸	آبشار	۴۵۱۰۲۳	۴۰۷۸۳۱۲	گابیونی	کنگلومرا همراه با بین لایه‌های سیلت و ماسه‌سنگ	۱۳۷۵
۹	آبشار	۴۵۰۸۲۷	۴۰۷۸۲۰۹	گابیونی	کنگلومرا همراه با بین لایه‌های سیلت و ماسه‌سنگ	۱۳۷۵
۱۰	آبشار	۴۵۰۷۷۳	۴۰۷۸۱۸۸	گابیونی	کنگلومرا همراه با بین لایه‌های سیلت و ماسه‌سنگ	۱۳۷۵
۱۱	آبشار	۴۵۰۶۵۳	۴۰۷۸۱۷۲	گابیونی	کنگلومرا همراه با بین لایه‌های سیلت و ماسه‌سنگ	۱۳۷۵

آزمایشگاه منتقل شد و وزن مخصوص آنها اندازه‌گیری شد. اگر وزن مخصوص رسوبات (تن بر مترمکعب) ضرب در حجم رسوبات (مترمکعب) شود، وزن رسوبات به تن به دست می‌آید.

$$t = \rho * V \quad \text{فرمول (۲)}$$

که t وزن رسوبات به تن، ρ چگالی رسوبات به تن بر مترمکعب و V حجم رسوبات به مترمکعب است. با تقسیم وزن رسوبات (تن) بر مساحت حوزه آبخیز سد (هکتار)، میزان فرسایش به تن بر هکتار به دست می‌آید که اگر این میزان بر تعداد سال‌های عمر سازه (سال) تقسیم شود، میزان فرسایش به تن بر هکتار بر سال به دست می‌آید.

$$SY = \left(\frac{t}{A}\right) / T \quad \text{فرمول (۳)}$$

که t وزن رسوبات (تن)، A مساحت حوزه آبخیز سد

برای ارزیابی حجم رسوبات و میزان فرسایش، ابعاد هر سد اصلاحی، ارتفاع رسوبات و مساحت گوه رسوب‌گذاری اندازه‌گیری شده است. حجم رسوبات تجمع یافته پشت هر سد با استفاده از یک شکل سه‌بعدی که اغلب یک هرم عمودی با قاعده دوزنقه‌ای است، محاسبه شد [۱۲] و [۲۰] که فرمول محاسبه آن به صورت زیر است:

$$V = 1/3 * B * H \quad \text{فرمول (۱)}$$

که V حجم رسوبات نهشته‌شده به متر مکعب، B مساحت قاعده گوه رسوب‌گذاری به متر مربع و H طول گوه رسوب‌گذاری به متر است. برای آن دسته از سدهای اصلاحی که شکل گوه رسوب‌گذاری آنها چندان با شکل تشریح شده مطابقت نمی‌کرد، شکل‌های هندسی دیگر و حتی ترکیبی از چندین شکل هندسی مورد استفاده قرار گرفت. وزن رسوبات با تعیین چگالی (وزن مخصوص) آنها محاسبه شده است. برای تعیین چگالی نمونه‌ها به

۲.۲.۲. تجزیه‌های آزمایشگاهی نمونه‌های خاک

و محاسبه فاکتور فرسایش پذیری

ابتدا نمونه‌ها در معرض هوا خشک شدند و سپس از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شدند. در آزمایشگاه خاکشناسی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران برخی از خصوصیات فیزیکی- شیمیایی نمونه‌های خاک با استفاده از روش‌های معمول اندازه‌گیری شده است. توزیع اندازه ذرات به روش هیدرومتری و با متلاشی کردن نمونه خاک در ۱۰۰ میلی‌لیتر هگزامتافسفات سدیم ۴۰ درصد تعیین شد [۱۰]. برای بررسی توزیع اندازه ذرات شن، سوسپانسیون آب و خاک تهیه شده به منظور اندازه‌گیری بافت خاک از الک‌های ۰/۰۵۳، ۰/۱۲۵ و ۰/۲ میلی‌متر عبور داده شد و سپس محتویات باقی‌مانده روی هر الک را کاملاً شستشو داده تا تمامی ذرات از هم جدا شدند. بعد از شستشوی کامل محتویات باقی‌مانده روی هر الک جمع آوری، خشک و وزن شد. ذرات باقی‌مانده روی الک ۰/۰۵۳ میلی‌متر (۰/۰۵۳ - ۰/۱۲۵ میلی‌متر) معادل شن خیلی ریز، ذرات روی الک ۰/۱۲۵ (۰/۱۲۵ - ۰/۲ میلی‌متر) معادل شن ریز و ذرات روی الک ۰/۲ (۰/۲ - ۰/۷۵ میلی‌متر) معادل شن درشت است. اسیدیته (pH) و هدایت الکتریکی (EC25) خاک در عصاره ۱:۱ اندازه‌گیری شد. مقدار ماده آلی به روش والکی-بلاک تعیین شد [۱۷]. کربنات کلسیم معادل به روش کلسیمتری اندازه‌گیری شد. عناصر خاک شامل سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، فسفر و ازت نیز با استفاده از روش‌های معمول اندازه‌گیری شدند. بعد از اندازه‌گیری عناصر محلول خاک، نسبت جذب سدیم (SAR) و درصد سدیم قابل تبادل (ESP) با استفاده از روابط زیر محاسبه شد.

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}} \quad \text{فرمول (۵)}$$

$$ESP = \frac{Na}{Na + K + Ca + Mg} \times 100 \quad \text{فرمول (۶)}$$

(هکتار)، T مدت زمان عمر سازه (سال) و SY تولید رسوب حوزه به تن در هکتار در سال است. سدهای اصلاحی همانند سدهای کوتاه رفتار می‌کنند. رواناب در پشت آنها می‌ماند تا اینکه تبخیر شود، به داخل خاک نفوذ کند یا اینکه از داخل بدنه سد عبور کند. از آنجایی که هیچکدام از سدهای مورد بررسی نسبت به عبور آب کاملاً نفوذناپذیر نبودند و از آنجایی که همه رسوبات در پشت سد نهشته نمی‌شوند، ضریب تله‌اندازی رسوب (TE) باید محاسبه شود. ضریب TE تابعی از نسبت جریان ورودی به ظرفیت ذخیره سد، نوع مخزن و روش اجرای سد [۷] و همچنین مدت زمان ماندگاری آب در مخزن سد است [۲۷]. ممکن است رسوبات ریز از بین منافذ موجود در سد گابیونی عبور کنند در حالی که سد سنگ‌چین ملات‌دار تقریباً نفوذناپذیر است، حفراتی دارد که رسوبات می‌توانند از آنها عبور کنند به‌ویژه هنگامی که کاملاً تحکیم یافته نباشند. روش‌های زیادی برای برآورد ضریب TE وجود دارد [۲۷ و ۲۸]. در این تحقیق روش تشریح شده به‌وسیله Brown، یکی از اولین محققین در زمینه تعیین TE، در سال ۱۹۴۳ مورد استفاده قرار گرفت. استفاده از این روش ساده است و به‌وسیله محققین زیادی در سراسر دنیا مورد استفاده قرار گرفت [۱۱، ۲۵ و ۱۶].

$$TE = 100 \left(1 - \frac{1}{1 + 0.0021D \frac{C}{W}} \right) \quad \text{فرمول (۴)}$$

که C ظرفیت ذخیره مخزن به مترمکعب و W مساحت حوزه آبخیز سد به کیلومتر مربع است. دامنه مقادیر D از ۰/۰۴۶ تا ۱ و با مقدار میانگین ۰/۱ بسته به ویژگی‌های مخزن است. Brown (۱۹۴۳) پیشنهاد می‌کند برای مخازنی که در مناطق دارای رواناب متغیرتر و کوچک‌تر هستند و برای آنهایی که آب در پشت آنها ننگه داشته می‌شود و جریان‌های سیل در آنها ذخیره می‌شود، مقدار D نزدیک به یک (ضریب TE بیشتر) باشد.

درصد خاک‌های مورد مطالعه دارای بافت شنی هستند. مقدار هدایت الکتریکی در خاک‌های مورد مطالعه بین صفر تا ۱/۴۶ میلی‌موس بر سانتی‌متر (دسی زیمنس بر متر) تغییر می‌کند. با توجه به مقادیر کلاس شوری استاندارد و حداکثر مقدار هدایت الکتریکی در خاک‌های مورد مطالعه، تمامی نمونه‌های خاک در کلاس غیر شور قرار دارند. در بین پارامترهای مورد بررسی اسیدیته و کربنات کلسیم معادل خاک به ترتیب کمترین و بیشترین درصد ضریب تغییرات را به خود اختصاص داده‌اند. بر اساس کلاس‌های استاندارد اسیدیته خاک و دامنه تغییرات اسیدیته (۶/۳-۷/۵) در منطقه مورد مطالعه، می‌توان گفت که تمامی خاک‌های مورد مطالعه خنثی هستند. بر اساس کلاس‌های استاندارد آهک خاک، می‌توان گفت که خاک‌های مورد مطالعه تقریباً آهکی هستند. از ۷ مورد نمونه خاک خیلی آهکی، ۶ مورد آن رسوبات پشت سدهای اصلاحی هستند که این موضوع می‌تواند ناشی از آبهویی آهک در منطقه مورد مطالعه باشد. مقدار درصد سدیم قابل تبادل در خاک‌های منطقه مورد مطالعه بین ۱/۰۴ تا ۸/۴۸ درصد متغیر است. با توجه به مقادیر کلاس سدیمی بودن خاک، تقریباً تمامی خاک‌های مورد مطالعه در کلاس غیر سدیمی قرار دارند و تنها سه نمونه خاک در کلاس سدیمی قرار دارند. دامنه تغییرات مقدار ماده آلی در خاک‌های مورد مطالعه از ۰/۰۶ تا ۱/۹۴ درصد است. بر اساس کلاس‌های استاندارد مقدار کربن آلی خاک، از نظر مقدار ماده آلی، تقریباً ۶۱ درصد از خاک‌های مورد مطالعه دارای ساختمان بسیار ضعیف و پایداری ساختمانی بسیار کمی هستند.

۲.۳. شاخص فرسایش پذیری کل نمونه‌های

خاک و رسوب

آماره‌های شاخص فرسایش‌پذیری نمونه‌های خاک و رسوب در منطقه مورد مطالعه در جدول ۲ قابل مشاهده است.

که در آن‌ها: غلظت عناصر Na، K، Ca و Mg به میلی‌اکی‌والان بر لیتر است.

در این تحقیق، مقادیر فاکتور فرسایش‌پذیری K با استفاده از معادله زیر محاسبه شدند.
فرمول (۷)

$$K = 2.77M^{1.14}(10^{-7})(12 - Om) + 4.28(10^{-3})(S - 2) + 3.29(10^{-3})(P - 3) \\ (t \times ha \times h / ha \times MJ \times mm)$$

این معادله در واقع شکل تغییر یافته معادله اولیه برآورد فرسایش‌پذیری در معادله جهانی فرسایش خاک (USLE) است [۲۷] که برای محاسبه در سیستم متریک به این صورت تغییر داده شد [۲۳]. در این معادله، تعیین کلاس بافت و ساختمان خاک بر اساس روش ارائه شده در مطالعه [۲۲] صورت گرفته است. پارامتر M بر اساس معادله زیر محاسبه می‌شود [۳۰].

$$M = a(100 - c) \quad \text{فرمول (۸)}$$

که a درصد ذرات ۰/۰۰۲ تا ۰/۱ میلی‌متر (درصد ذرات سیلت + درصد ذرات شن خیلی ریز) و c درصد ذرات رس است.

۳. نتایج

ابتدا ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی نمونه‌های خاک و رسوب و شاخص فرسایش‌پذیری خاک ارائه می‌شود و در نهایت هم نتایج مربوط به فرسایش و تولید رسوب حوزه بالادست سدهای مورد مطالعه و تلفات حاصلخیزی ناشی از فرسایش خاک ارائه می‌شود.

۱.۳. خصوصیات فیزیکی-شیمیایی نمونه‌های

خاک و رسوب

بر اساس طبقه‌بندی بافت خاک آمریکایی، تقریباً ۶۰

جدول ۲. آماره‌های شاخص فرسایش پذیری خاک

متغیر	آماره‌ها			
	حداکثر	حداقل	میانگین	انحراف معیار
شاخص فرسایش پذیری	۰/۰۵۶	۰/۰۰۷	۰/۰۲۷	۰/۰۱۱
ضریب تغییرات				۴۰/۷۴

کلاس‌های قابلیت فرسایش بر اساس شاخص فرسایش پذیری (K) در معادله جهانی فرسایش خاک (USLE) به صورت جدول ۳ است.

جدول ۳. کلاس‌های قابلیت فرسایش بر اساس K در معادله USLE

درجه بندی فرسایش پذیری	ضریب K در معادله USLE بر حسب تن در هکتار در سال در واحد فرسایش باران
بسیار کم	۰/۰۱-۰
کم	۰/۰۲-۰/۰۱
متوسط	۰/۰۴-۰/۰۲
زیاد	۰/۰۶-۰/۰۴
بسیار زیاد	۰/۰۶<

بر اساس کلاس‌های قابلیت فرسایش نشان داده شده در جدول ۳، وضعیت فرسایش پذیری در خاک‌های مورد بررسی به شرح جدول ۴ است.

جدول ۴. وضعیت فرسایش پذیری خاک‌های مورد مطالعه

درجه بندی فرسایش پذیری	تعداد نمونه‌های خاک	درصد نمونه‌های خاک
بسیار کم	۱	۲/۲
کم	۱۰	۲۱/۷
متوسط	۲۸	۶۰/۹
زیاد	۷	۱۵/۲
بسیار زیاد	-	-

مطالعه، اقدام به انتخاب ۱۱ سد شد که در ادامه نتایجی که در این بخش حاصل شده، ارائه می‌شود. در جدول ۵ آماره‌های متغیرهای فیزیکو-شیمیایی نمونه‌های خاک و رسوب سدهای انتخابی ارائه شده است.

یکی از نکته‌های قابل توجه در جدول ۵ اختلاف قابل ملاحظه بین مقادیر کربنات کلسیم معادل و ماده آلی در نمونه‌های رسوب و خاک‌های منشأ متناظر آنها است. در

چنانچه در جدول ۴ مشاهده می‌شود، فرسایش پذیری اکثر خاک‌های مورد مطالعه در کلاس متوسط قرار دارد.

۳.۳. تولید رسوب (SY) و ضریب تله‌اندازی

رسوب (TE)

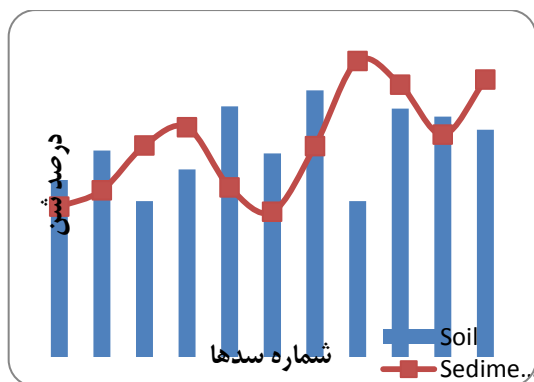
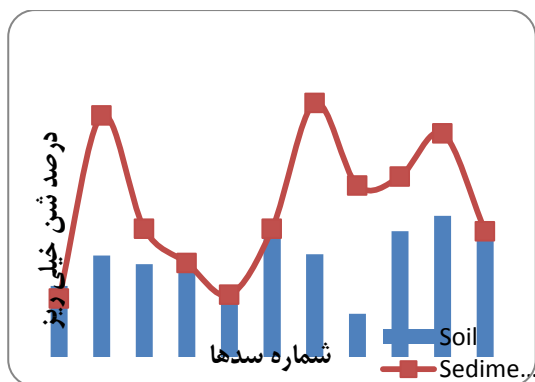
برای تجزیه و تحلیل میزان فرسایش و رسوب و تلفات عناصر غذایی ناشی از آن در حوزه بالادست سدهای مورد

ادامه می‌آیند منظور از Soil (خاک منشأ) و منظور از Sediment (رسوب پشت سد اصلاحی) است.

شکل ۳ مقایسه و تغییرات درصد شن خیلی ریز و شن در نمونه‌های خاک و رسوب در سدهای انتخابی نشان داده شده است. لازم به ذکر است در کلیه شکل‌هایی که در

جدول ۵. آماره‌های متغیرهای فیزیکی- شیمیایی نمونه‌های خاک و رسوب سدهای انتخابی

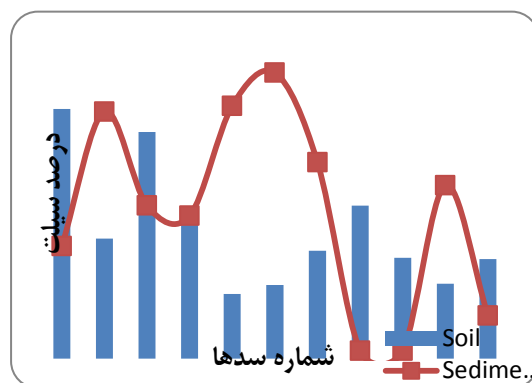
آماره		متغیرهای فیزیکی- شیمیایی				
ضریب تغییرات	انحراف معیار	حداکثر	حداقل	میانگین		
۲۱/۴۹	۶/۶	۴۱/۴۴	۱۹/۲۸	۳۰/۷۴	خاک	رس
۲۶/۱۲	۷/۲	۴۸	۲۲/۱۶	۲۷/۵۷	رسوب	
۴۷/۵	۷/۶۶	۳۱/۴۴	۸/۱۶	۱۶/۱۳	خاک	سیلت
۶۵/۸۲	۱۲/۲۳	۳۶	۱	۱۸/۵۸	رسوب	
۳۰/۱۹	۴/۷۹	۲۲/۲	۶/۸	۱۵/۸۹	خاک	شن خیلی ریز
۴۵/۰۶	۱۰/۷۵	۴۰	۹/۲	۲۳/۸۷	رسوب	
۱۸/۳۷	۹/۷۶	۶۷/۱۲	۳۹/۲۸	۵۳/۱۲	خاک	شن
۲۴/۵۱	۱۳/۱۹	۷۴/۶	۳۶/۵۶	۵۳/۸۴	رسوب	
۱۰۰	۸/۱	۳۲	۳/۵	۸/۰۴	خاک	کربنات کلسیم معادل
۷۹/۰۶	۱۹/۰۵	۵۹	۱	۲۴/۱	رسوب	
۴۸/۴۲	۰/۳۳	۱/۱۳	۰/۰۶	۰/۶۹	خاک	ماده آلی
۳۰/۸۵	۰/۳۱	۱/۶	۰/۶	۱/۰۳	رسوب	
۴۵/۶۴	۰/۱۷	۰/۷۴	۰/۱۳	۰/۳۸	خاک	هدایت الکتریکی
۶۰	۰/۳۷	۱/۲	۰	۰/۶۱	رسوب	
۴/۱۸	۰/۳	۷/۵	۶/۵	۷/۱۷	خاک	اسیدیته
۳/۰۳	۰/۲۱	۷/۴	۶/۷	۷/۱۴	رسوب	
۳۵/۲۴	۰/۰۷	۰/۳	۰/۰۸	۰/۲۱	خاک	نیترژن
۳۸/۲۵	۰/۰۷	۰/۲۹	۰/۱	۰/۱۸	رسوب	
۲۷/۹۵	۳/۹۲	۲۰/۶۳	۸/۴	۱۴/۰۴	خاک	فسفر
۲۳/۱۶	۴/۳۶	۲۴/۸۲	۱۱/۷۲	۱۸/۸۵	رسوب	
۴۶/۳۴	۴/۶۴	۱۸/۱۹	۳/۳۶	۱۰/۰۱	خاک	پتاسیم
۳۳/۳۷	۲/۱۴	۹/۲۹	۴/۳۵	۶/۴۱	رسوب	
۸۶/۱۴	۰/۵۲	۲/۱۱	۰/۲۴	۰/۶	خاک	سدیم
۴۲/۹۹	۰/۳	۱/۳۷	۰/۳۷	۰/۶۹	رسوب	
۱۹/۸۷	۱/۶۱	۶/۱۱	۶	۸/۱۲	خاک	مجموع کلسیم و منیزیم
۴۹/۱۳	۸/۶۴	۳۳/۶	۵/۶	۱۷/۵۲	رسوب	
۸۳/۴	۰/۲۵	۱/۰۲	۰/۱۲	۰/۳	خاک	نسبت جذب سدیم
۳۶/۲۲	۰/۰۸	۰/۴۴	۰/۱۵	۰/۲۴	رسوب	
۶۹/۲۱	۲/۳۲	۸/۴۷	۱/۳۷	۳/۳۵	خاک	درصد سدیم قابل تبادل
۳۲/۰۶	۰/۹۴	۴/۸۷	۱/۷۶	۲/۹۳	رسوب	



شکل ۳. نمودار مقایسه درصد شن خیلی ریز و شن در نمونه‌های خاک و رسوب در سدهای اصلاحی انتخابی

نمونه‌های رسوب پشت سدها بیشتر از خاک‌های منشأ متناظر آنها است که این موضوع به نوعی نشان‌دهنده قابلیت انتقال ذرات شن خیلی ریز در اثر فرایند فرسایش در خاک و نقشی است که این ذرات در تعیین عامل فرسایش‌پذیری خاک دارند. در شکل ۴ مقایسه و تغییرات درصد رس و سیلت در نمونه‌های خاک و رسوب در سدهای انتخابی نشان داده شده است.

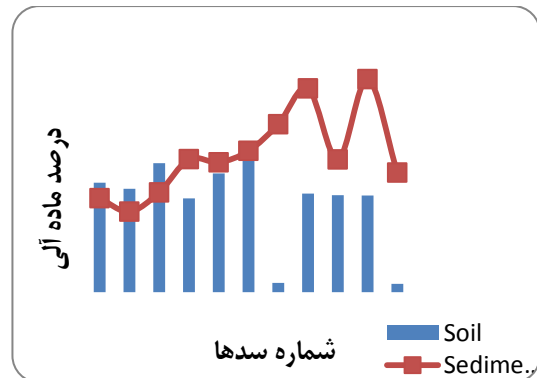
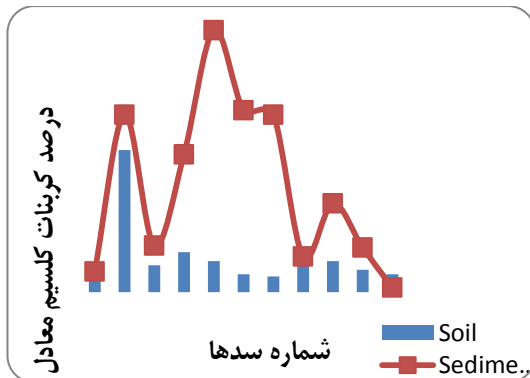
چنانچه در شکل ۳ مشاهده می‌شود در بعضی از سدها میزان شن نمونه رسوب بیشتر است و در بعضی سدهای دیگر میزان شن نمونه خاک منشأ بیشتر است. بنابراین آنچه قابل استنباط است این است که فرایند فرسایش و رسوب حتماً منجر به افزایش شن در آبراهه‌های پایین دست نمی‌شود، بلکه انتقال ذرات شن بستگی به میزان قدرت حمل جریان رواناب دارد. در کلیه سدهای انتخابی، میزان درصد شن خیلی ریز در



شکل ۴. نمودار مقایسه درصد رس و سیلت در نمونه‌های خاک و رسوب در سدهای اصلاحی انتخابی

درصد رس در خاک‌های منشأ بیشتر از این میزان در رسوبات پشت سدها است که چسبندگی ذرات رس خاک و قابلیت کم انتقال آنها توسط رواناب را می‌توان دلیل آن دانست. در شکل ۵ مقایسه و تغییرات درصد کربنات کلسیم معادل و ماده آلی در نمونه‌های خاک و رسوب در سدهای انتخابی نشان داده شده است.

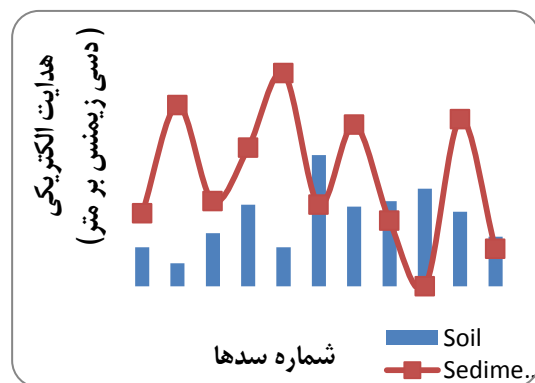
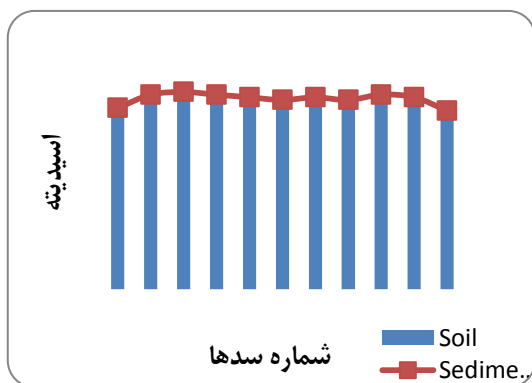
اگر چه از نظر قابلیت فرسایش‌پذیری، ذرات سیلت خاک رفتاری مشابه با ذرات شن خیلی ریز دارند اما مقایسه میزان درصد سیلت و شن خیلی ریز در نمونه‌های رسوب و خاک‌های منشأ متناظر آنها در شکل‌های ۳ و ۴ این موضوع را در منطقه مورد مطالعه در این تحقیق تأیید نمی‌کند. در ۸ مورد از ۱۱ مورد سد انتخابی، میزان



شکل ۵. نمودار مقایسه درصد کربنات کلسیم معادل و درصد ماده آلی در نمونه‌های خاک و رسوب در سدهای اصلاحی انتخابی

آهک در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. وجود صفر تا ۳ درصد آهک حد قابل تحملی برای بیشتر گیاهان است و بیشتر از این مقدار ممکن است برای رشد گیاه و توسعه پوشش گیاهی مشکل باشد. در شکل ۶ مقایسه و تغییرات اسیدیته و هدایت الکتریکی نمونه‌های خاک و رسوب در سدهای انتخابی نشان داده شده است.

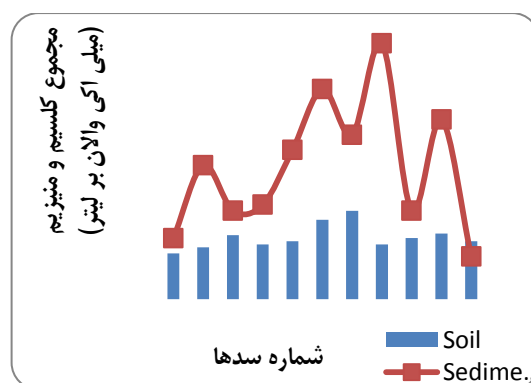
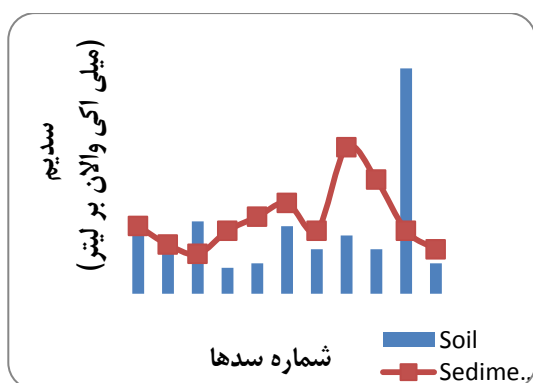
همانطور که انتظار می‌رفت میزان درصد ماده آلی در نمونه‌های رسوب در اغلب سدها بیشتر از خاک‌های منشأ است. لذا می‌توان ادعا کرد که در منطقه مورد مطالعه فرایند فرسایش منجر به از دست رفتن عناصر غذایی خاک می‌شود. تفاوت قابل ملاحظه بین درصد کربنات کلسیم معادل نمونه‌های خاک منشأ و رسوبات پشت سدها از شکل ۵ قابل استنباط است که آبشویی زیاد



شکل ۶. نمودار مقایسه میزان اسیدیته و هدایت الکتریکی در نمونه‌های خاک و رسوب در سدهای اصلاحی انتخابی

اسیدیته در رسوبات پشت سدها نسبتاً بیشتر از خاک‌های منشأ است. در شکل ۷ مقایسه و تغییرات مجموع عناصر کلسیم و منیزیم نمونه‌های خاک و رسوب در سدهای انتخابی نشان داده شده است.

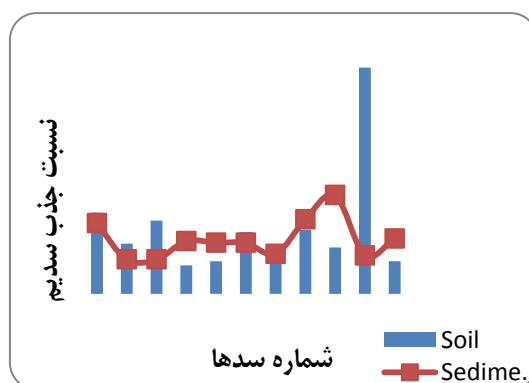
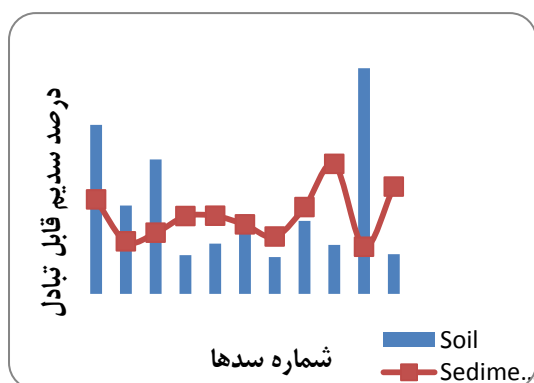
با توجه به شکل ۶، فرایند فرسایش منجر به افزایش قابل ملاحظه هدایت الکتریکی در رسوبات پشت سدها نسبت به خاک‌های منشأ بالادست شده است. میزان اسیدیته هم در بین نمونه‌های خاک و هم در بین نمونه‌های رسوب تغییرات بسیار کمی دارد، ثانیاً میزان



شکل ۷. نمودار مقایسه میزان سدیوم و مجموع کلسیم و منیزیم در نمونه‌های خاک و رسوب در سدهای اصلاحی انتخابی

در اثر از دست رفتن عناصر غذایی خاک در اثر فرسایش ایجاد می‌شود. در شکل ۸ مقایسه و تغییرات نسبت جذب سدیوم و درصد سدیوم قابل تبادل نمونه‌های خاک و رسوب در سدهای انتخابی نشان داده شده است.

چنانچه در شکل ۷ مشاهده می‌شود، میزان مجموع کلسیم و منیزیم در نمونه‌های رسوب پشت سدها به میزان قابل ملاحظه‌ای بیشتر از خاک‌های منشأ است که این موضوع به نوعی نشان‌دهنده شدت بحرانی است که

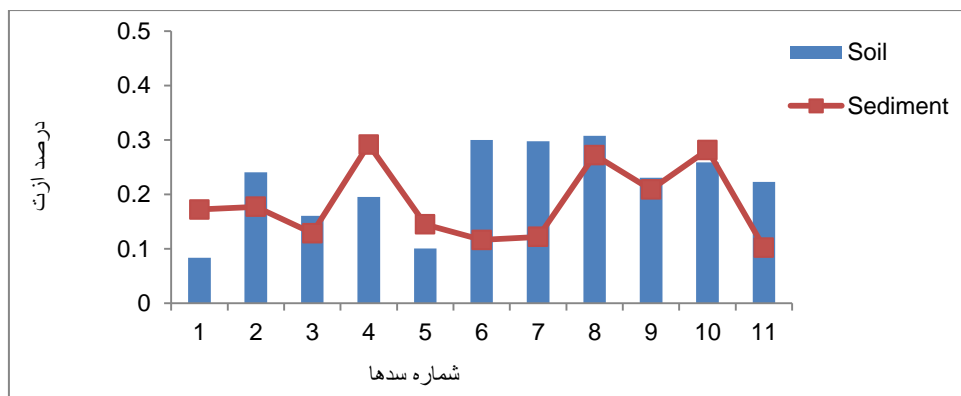


شکل ۸. نمودار مقایسه میزان درصد سدیوم قابل تبادل و نسبت جذب سدیوم در نمونه‌های خاک و رسوب در سدهای اصلاحی انتخابی

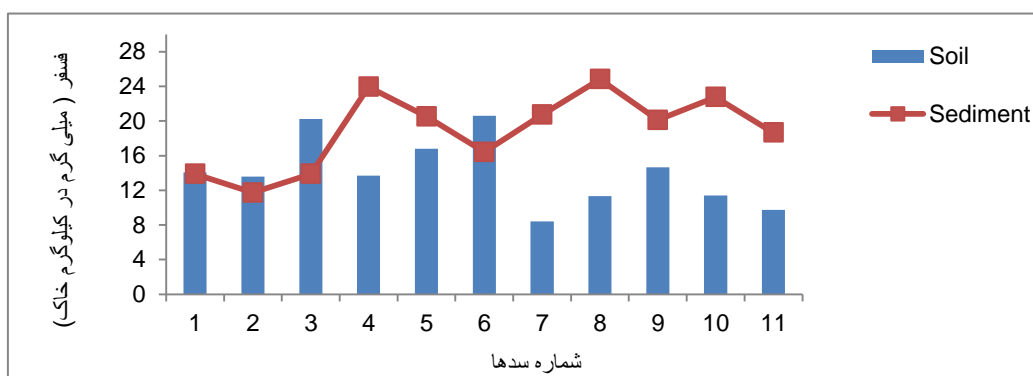
در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ به ترتیب مقایسه و تغییرات فسفر و پتاسیم نمونه‌های خاک و رسوب در سدهای انتخابی نشان داده شده است. در جدول ۶ هم تولید رسوب حوزه آبخیز بالادست هر سد مورد مطالعه بر اساس روابط تشریح شده در بخش مواد و روش‌ها نشان داده شده است.

در شکل ۱۱ مقایسه و تغییرات پتاسیم نمونه‌های خاک و رسوب در سدهای انتخابی نشان داده شده است.

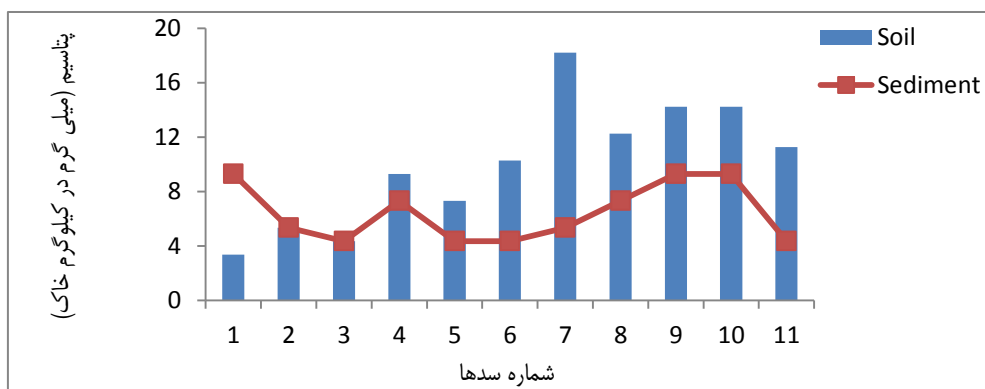
آنچه از شکل‌های مربوط به سدیوم خاک قابل مشاهده است این است که اولاً در سد شماره ۱۰ میزان سدیوم در خاک منشأ به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از میزان این عنصر در رسوب پشت سد است. ثانیاً می‌توان گفت که در اثر وقوع رواناب و ایجاد فرسایش، عنصر سدیوم نیز همراه با ذرات فرسایش یافته خاک منتقل می‌شود. در شکل ۹ مقایسه و تغییرات درصد ازت نمونه‌های خاک و رسوب در سدهای انتخابی نشان داده شده است.



شکل ۹. نمودار مقایسه درصد ازت در نمونه‌های خاک و رسوب در سدهای اصلاحی انتخابی



شکل ۱۰. نمودار مقایسه فسفر در نمونه‌های خاک و رسوب در سدهای اصلاحی انتخابی



شکل ۱۱. نمودار مقایسه پتاسیم در نمونه‌های خاک و رسوب در سدهای اصلاحی انتخابی

سد شماره ۹ متغیر است. مقایسه تولید رسوب ویژه حوزه بالادست سدهای مورد مطالعه در جدول ۶ و مقادیر تولید رسوب ویژه ارائه شده توسط محققان در نواحی مختلف

چنانچه در جدول ۶ مشاهده می‌شود تولید رسوب در حوزه بالادست هر سد از ۰/۰۱ تن در هکتار در سال در سدهای شماره ۱ و ۱۱ تا ۲/۳۶ تن در هکتار در سال در

بخشی از رسوبات ریزدانه همراه با رواناب از بدنه سد عبور می‌کنند که در این حالت باید ضریب تله‌اندازی رسوب محاسبه و رسوبات واقعی تولید شده در حوزه با در نظر گرفتن ضریب تله‌اندازی رسوب تعیین شوند.

ایران حاکی از تولید رسوب بسیار کم حوزه مورد مطالعه است. اما از آنجایی که کلیه سدهای انتخابی در این مطالعه از نوع گابیونی و نسبت به رواناب نفوذپذیر بودند، بنابراین همه رسوبات در پشت سد اصلاحی نهشته نمی‌شوند و

جدول ۶. تولید رسوب حوزه آبخیز بالادست هر سد بر اساس حجم رسوبات موجود در سد

شماره سد اصلاحی	سال احداث	حجم رسوب (متر مکعب)	وزن مخصوص رسوبات (تن بر متر مکعب)	مساحت حوزه آبخیز سد (هکتار)	SY تولید رسوب (تن در هکتار در سال)
۱	۱۳۸۸	۲	۱/۷	۶۳/۴	۰/۰۱
۲	۱۳۷۳	۹۱	۱/۷	۱۴۵	۰/۰۵
۳	۱۳۷۵	۵۵	۱/۷	۱۵	۰/۳۷
۴	۱۳۷۵	۸۴	۱/۷	۴۵/۱	۰/۱۷
۵	۱۳۷۵	۶۱	۱/۷	۳/۱	۱/۹۷
۶	۱۳۷۵	۵۳	۱/۷	۳/۲	۱/۶۵
۷	۱۳۷۵	۵۹	۱/۷	۲۷	۰/۲۲
۸	۱۳۷۵	۵۹	۱/۷	۲/۸	۲/۱
۹	۱۳۷۵	۶۳/۷	۱/۷	۲/۷	۲/۳۶
۱۰	۱۳۷۵	۵۷/۲	۱/۷	۳/۷	۱/۵۴
۱۱	۱۳۷۵	۵۹/۱۵	۱/۷	۳۷۱	۰/۰۱

نشان داده شده است.

در جدول ۷ تولید رسوب حوزه بالادست سدهای مورد مطالعه با در نظر گرفتن ضرایب متفاوت تله‌اندازی رسوب

جدول ۷. تولید رسوب حوزه بالادست سدهای مورد مطالعه با لحاظ کردن ضرایب تله‌اندازی رسوب

شماره سد اصلاحی	SY تولید رسوب اندازه‌گیری شده (تن در هکتار در سال)	مساحت حوزه سد (کیلومتر مربع)	ظرفیت ذخیره مخزن (متر مکعب)	ضریب تله‌اندازی رسوب TE			SY تولید رسوب محاسبه شده (تن در هکتار در سال)		
				D=1	D=0.1	D=0.046	D=1	D=0.1	D=0.046
۱	۰/۰۱	۰/۶۳	۸۸	۲۱/۱	۲/۶	۱/۲	۰/۰۴	۰/۳۸	۰/۸۲
۲	۰/۰۵	۱/۳۵	۹۱	۱۱/۶	۱/۳	۰/۶	۰/۴۲	۳/۸۴	۸/۲۹
۳	۰/۳۷	۰/۱۵	۹۱	۱۱/۳	۵/۵	۵/۵	۰/۶۶	۳/۲۷	۶/۶۸
۴	۰/۱۷	۰/۴۵	۸۹	۲۹/۲	۳/۹	۱/۸	۰/۵۸	۴/۲۷	۹/۰۸
۵	۱/۹۷	۰/۰۳	۱۰۲	۸۷/۳	۴۰/۸	۲۴/۱	۲/۲۵	۴/۸۲	۸/۶۶
۶	۱/۶۵	۰/۰۳	۷۶	۸۳/۲	۳۳/۲	۱۸/۶	۱/۹۸	۴/۹۵	۸/۸۴
۷	۰/۲۲	۰/۲۷	۸۵	۳۹/۷	۶/۲	۲/۹	۰/۵۵	۳/۵۴	۷/۴۵
۸	۲/۱	۰/۰۳	۸۵	۳۸/۹	۲۲/۶	۲۲/۶	۲/۴۲	۵/۳۹	۹/۲۶
۹	۲/۳۶	۰/۰۳	۱۰۶	۸۹/۱	۴۵/۱	۲۷/۴	۲/۶۴	۵/۲۲	۸/۵۸
۱۰	۱/۵۴	۰/۰۴	۹۵	۸۳/۳	۳۵	۱۹/۸	۱/۸۲	۴/۳۹	۷/۷۴
۱۱	۰/۰۱	۳/۷۱	۹۱	۴/۸	۰/۵	۰/۲	۰/۲	۱/۹۵	۴/۲۳
میانگین	۰/۹۴	۰/۶۲	۹۰/۱۸	۵۳/۹	۱۱/۹	۱۱/۳	۱/۲	۳/۸	۷/۱

برای گیاهان) نشان‌دهنده یک درصد مقدار نیتروژن کل است در حالی که ۹۹ درصد آن به شکل آلی است. قبل از اینکه نیتروژن به وسیله گیاهان مورد استفاده قرار گیرد باید توسط فرایند معدنی شدن تبدیل به نیتروژن غیر آلی شود که سرعت این فرایند بستگی به فعالیت میکروبی (زیستی) و بنابراین شرایط محیطی دارد. در خاک‌های منطقه مورد مطالعه این فرایند به شکل کاملاً مطلوبی اتفاق افتاده است. تلفات کل حاصلخیزی خاک با استفاده از میزان رسوب و غلظت عناصر غذایی در رسوبات پشت سدها اندازه‌گیری شده است. در شکل‌های ۱۲ تا ۱۷ تلفات حاصلخیزی عناصر غذایی خاک با و بدون لحاظ کردن ضرایب تله‌اندازی رسوب در سدهای انتخابی نشان داده شده است. در کلیه این شکل‌ها منظور از SY (M)، SY (TE1)، SY (TE2) و SY (TE4) به ترتیب رسوب اندازه‌گیری شده در سدها، رسوب برآورد شده با لحاظ کردن ضریب ته‌نشست^۱ (D=0.046)، رسوب برآورد شده با لحاظ کردن ضریب ته‌نشست (D= 0.1) و رسوب برآورد شده با لحاظ کردن ضریب ته‌نشست (D=1) است.

با توجه به شکل ۱۲ بیشترین تلفات کربن به میزان ۸۲۳۸۰ گرم در هکتار در سال در سد شماره ۸ و کمترین آن ۴۰ گرم در هکتار در سال در سد شماره ۱ محاسبه شده است.

در شکل ۱۳ نشان داده شده که بیشترین تلفات نیتروژن به میزان ۲۶۵۱۴ گرم در هکتار در سال در سد شماره ۴ و کمترین آن ۴۰ گرم در هکتار در سال در سد شماره ۱۱ محاسبه شده است.

بیشترین تلفات فسفر به میزان ۲۲۹ گرم در هکتار در سال در سد شماره ۸ و کمترین آن ۰/۱۴ گرم در هکتار در سال در سد شماره ۱ محاسبه شده است.

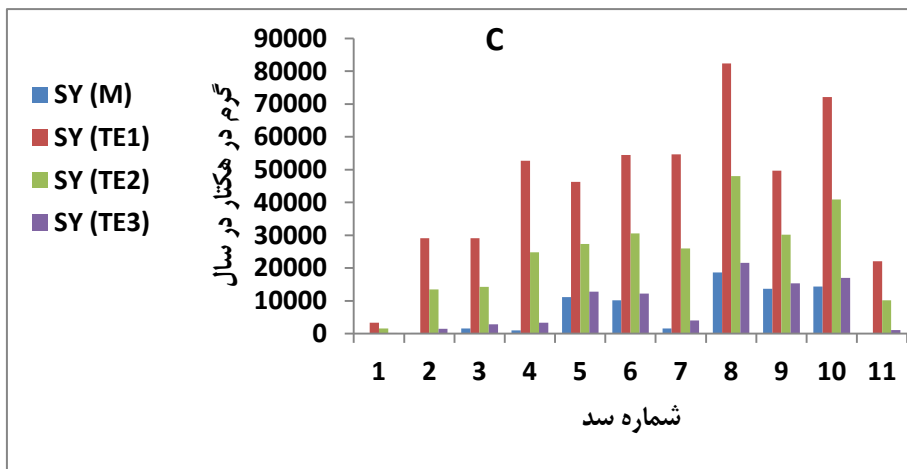
در شکل ۱۵ نشان داده شده که تلفات پتاسیم خاک در منطقه مورد مطالعه از ۰/۰۴ گرم در هکتار در سال در سد شماره ۱ تا ۷۹ گرم در هکتار در سال در سد شماره ۹ محاسبه شده است.

مقادیر حداقل، میانگین و حداکثر ضریب تله‌اندازی رسوب محاسبه شده بر اساس رابطه Brown در سال ۱۹۴۳، به ترتیب ۱۱/۳ (D=0.046)، ۱۱/۹ (D=0.1) و ۵۳/۹ (D=1) درصد بود. میانگین تولید رسوب اندازه‌گیری شده در سدهای اصلاحی ۰/۹۴ تن در هکتار در سال است اما با در نظر گرفتن ضرایب برای تله‌اندازی رسوب، مقادیر برآوردی برای تولید رسوب در سدهای اصلاحی مختلف از ۱/۲، ۳/۸ تا ۷/۱ تن در هکتار در سال بر اساس ضریب TE متفاوت است. در بعضی از سدهای اصلاحی انتخابی ضریب تله‌اندازی رسوب تا ۹۰ درصد بود.

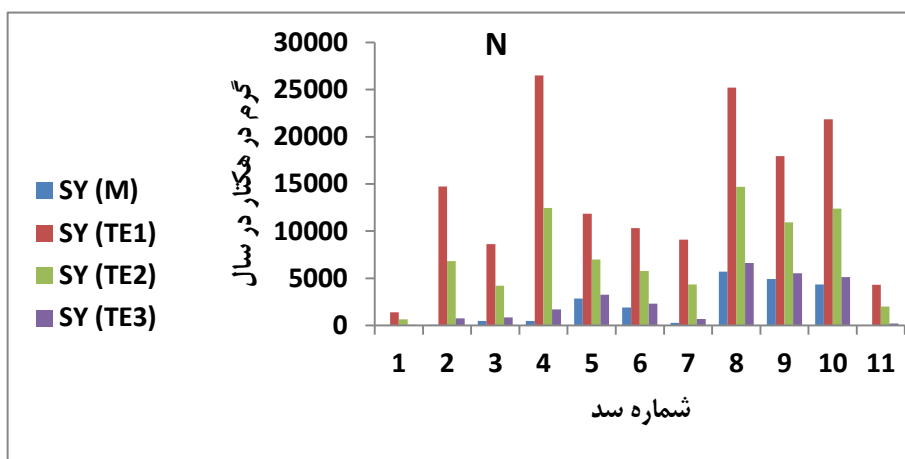
۴.۳. عناصر غذایی خاک و تلفات حاصلخیزی

نیتروژن یکی از عناصر پرمصرف ضروری برای گیاهان است و مقدار آن همراه با کربن شاخصی از درجه تکامل ماده آلی خاک است. میانگین، حداکثر، حداقل، دامنه تغییرات و ضریب تغییرات نسبت کربن به نیتروژن در خاک‌های منشأ در منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۳/۰۴، ۱۱/۷۶، ۰/۱۳، ۲/۳۲ و ۷۶/۸ درصد بود. چنانچه در منابع مختلف گفته شده، نسبت کربن به نیتروژن ۱۰ تا ۱۲ برای یک خاک زراعی طبیعی است. نسبت‌های ۱۵ تا ۲۵ اشاره به کند شدن فرایند تجزیه دارد، در حالی که اعداد بیشتر از ۲۵ نشان می‌دهد که ماده آلی خام بوده و احتمالاً به سرعت تجزیه نمی‌گردد. زمانی که نسبت کربن به نیتروژن کمتر از ۱۰ می‌باشد، تجزیه احتمالاً بسیار سریع صورت می‌گیرد. مواد آلی با نسبت کربن به نیتروژن بیشتر از ۲۰ تجزیه نیتروژن را متوقف کرده و موجب کاهش نیتروژن قابل دسترس برای گیاه می‌شود. بنابراین نسبت کم کربن به نیتروژن شاخصی از سرعت تجزیه و کیفیت خوب هوموس در منطقه مورد مطالعه است. به عبارت دیگر در منطقه مورد مطالعه کربن آلی تبدیل به نیتروژن شده است. مقادیر نیتروژن نمونه‌های خاک و رسوب آنالیز شده مطابق با مقادیر ماده آلی آنها بود، از این رو نیتروژن در شکل غیر آلی (قابل استفاده

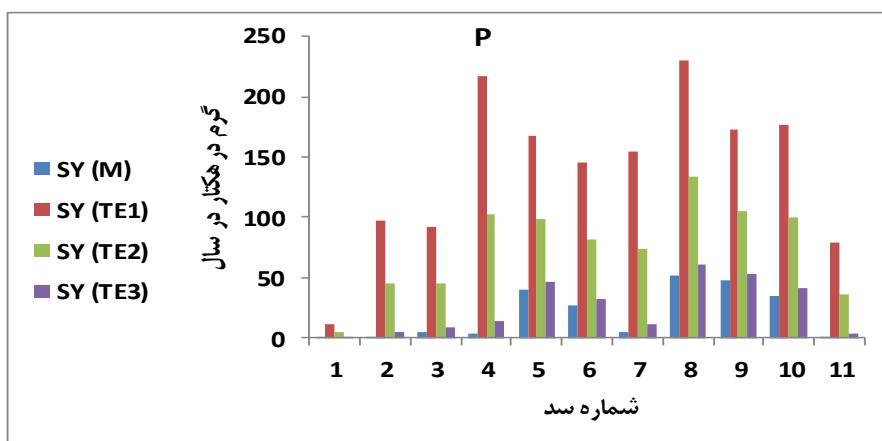
¹ D= Retention Coefficients



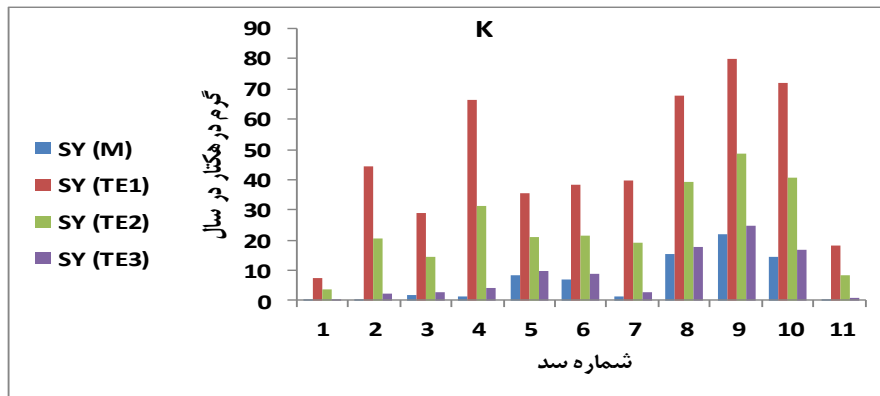
شکل ۱۲. تلفات کربن خاک



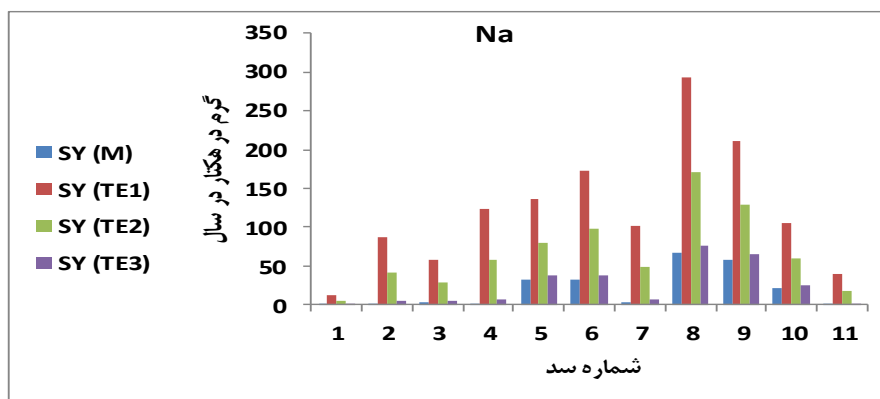
شکل ۱۳. تلفات نیتروژن خاک



شکل ۱۴. تلفات فسفر خاک



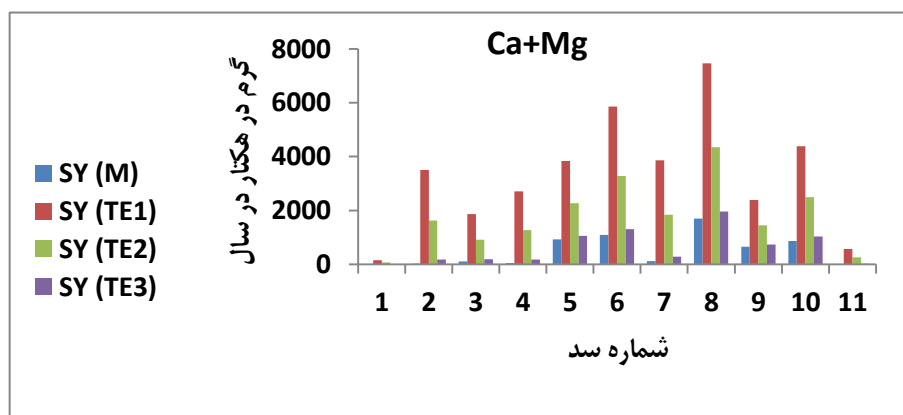
شکل ۱۵. تلفات پتاسیم خاک



شکل ۱۶. تلفات سدیم خاک

در سال و کمترین آن به میزان ۰/۱ گرم در هکتار در سال در سد شماره ۱۱ ثبت شده است.

چنانچه در شکل ۱۶ مشخص است بیشترین تلفات سدیم خاک در سد شماره ۸ به میزان ۲۹۲ گرم در هکتار



شکل ۱۷. تلفات مجموع کلسیم و منیزیم خاک

در سدهای ۱ و ۱۱ مشاهده شده است. در جدول ۸ میانگین تلفات حاصلخیزی محاسبه شده با و بدون لحاظ کردن ضرایب مختلف تله‌اندازی رسوب نشان داده شده است.

بیشترین تلفات مجموع کلسیم و منیزیم در سد شماره ۸ به میزان ۷۴۶۸ گرم در هکتار در سال و کمترین آن به میزان ۱/۳۴ گرم در هکتار در سال در سد شماره ۱۱ ثبت شده است. به طور کلی بیشترین میزان تلفات عناصر غذایی خاک در سد شماره ۸ و کمترین آنها

جدول ۸. میانگین تلفات حاصلخیزی عناصر غذایی خاک (گرم در هکتار در سال)

سناریوهای برآورد رسوب	کربن	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	سدیم	مجموع کلسیم و منیزیم
SY (M)	۶۵۸۸/۲۶	۱۹۲۱/۷۸	۱۹/۷۱	۶/۵۳	۱۹/۸۹	۵۰۳/۱۳
SY(TE1)	۴۵۰۷۷/۹۹	۱۳۸۰۹/۰۹	۱۴۰/۳۷	۴۵/۳۹	۱۲۱/۹۱	۳۳۲۷/۸۳
SY(TE2)	۲۴۲۹۳/۵۴	۷۳۸۹/۹۵	۷۵/۲۲	۲۴/۴۱	۶۶/۸۷	۱۸۰۲/۴۹
SY(TE3)	۸۳۵۸/۷۹	۲۴۶۸/۶۰	۲۵/۲۶	۸/۳۲	۲۴/۶۷	۶۳۳/۰۶

میزان کربنات کلسیم معادل و هدایت الکتریکی در نمونه‌های رسوب پشت سدهای اصلاحی خیلی بیشتر از خاک‌های منشأ بالادست بود که نشان دهنده آبشویی زیاد آهک و املاح در منطقه است. در کلیه سدهای انتخابی، میزان درصد شن خیلی ریز در نمونه‌های رسوب پشت سدها بیشتر از خاک‌های منشأ متناظر آنها است که این موضوع به نوعی نشان دهنده قابلیت انتقال ذرات شن خیلی ریز در اثر فرایند فرسایش در خاک و نقشی است که این ذرات در تعیین عامل فرسایش‌پذیری خاک دارند. میزان درصد رس در خاک‌های منشأ بیشتر از این میزان در رسوبات پشت سدها است که چسبندگی ذرات رس خاک و قابلیت کم انتقال آنها توسط رواناب را می‌توان دلیل آن دانست. بنابراین این ادعا که رسوبات موجود در پشت سدهای اصلاحی نسبت به رس غنی‌تر هستند، رد می‌شود. همانطور که انتظار می‌رفت میزان درصد ماده آلی در نمونه‌های رسوب در اغلب سدها بیشتر از خاک‌های منشأ است. لذا می‌توان ادعا کرد که در منطقه مورد مطالعه فرایند فرسایش منجر به از دست رفتن عناصر غذایی خاک می‌شود. وجود کلسیم و منیزیم خیلی بیشتر در رسوبات پشت سدها نسبت به خاک‌های منشأ بالادست حاکی از شدت از دست رفتن املاح خاک در اثر فرایند فرسایش است. یکی از پیامدهای خیلی مهم

سدیم، فسفر، ازت، کلسیم، منیزیم و پتاسیم همه از عناصر ضروری پرمصرف برای گیاهان هستند، بنابراین میزان تلفات این عناصر در منطقه مورد مطالعه تهدیدی جدی از نظر توسعه پوشش گیاهی است.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس طبقه‌بندی بافت خاک، حدود ۶۰ درصد خاک‌های مورد مطالعه دارای بافت شنی هستند. در بین ذرات تشکیل دهنده بافت خاک، بیشترین ضریب تغییرات مربوط به ذرات سیلت است. بر اساس کلاس‌های هدایت الکتریکی، اسیدیته، کربنات کلسیم معادل و درصد سدیم قابل تبادل خاک‌های منطقه مورد مطالعه از نوع غیر شور، خنثی، آهکی و غیرسدیمی هستند. بر اساس تقسیم‌بندی مقدار ماده آلی، تقریباً ۶۰ درصد از خاک‌های مورد مطالعه دارای ساختمان ضعیف و پایداری ساختمانی کمی هستند. اکثر خاک‌های مورد مطالعه در کلاس متوسط فرسایش‌پذیری خاک قرار دارند. در مقایسه با میزان تولید رسوب ویژه در مناطق مختلف کشور، داده‌های به دست آمده در خصوص تولید رسوب ویژه حوزه بالادست سدهای اصلاحی مورد بررسی حاکی از تولید رسوب ویژه کم در منطقه مورد مطالعه است.

کشاورزی است [۱۹]. در هندوستان ارزش هر هکتار از جنگل‌های مانگرو از نظر جلوگیری از فرسایش و نگهداری عناصر غذایی ماکروی خاک ۲۳۲/۵ دلار برآورد شده است [۱۳]. هزینه فرایند فرسایشی که در منطقه مورد مطالعه اتفاق افتاده است، باعث تلفات مواد سطحی و از بین رفتن لایه‌های سطحی خاک شده است اما از آنجایی که مدت زمان تماس خاک با رواناب کم است، تجزیه مواد شیمیایی کمتر رخ داده است. از نظر ذرات تشکیل دهنده خاک، روند و تفاوت مشخصی بین خاک‌های منشأ رسوبات نهشته شده در سدها مشاهده نشد.

فرسایش تلفات حاصلخیزی است. رواناب نه فقط منجر به از دست رفتن اجزاء معدنی جامد خاک می‌شود بلکه همچنین منجر به تلفات مواد آلی و مواد مغذی شیمیایی خاک می‌شود. تغییر در خصوصیات خاک در نتیجه فرسایش خاک اساساً به دلیل کاهش عمق مؤثر بر سطح حاصلخیزی تأثیر می‌گذارد. یک کاهش معنی‌داری در مقدار نیتروژن و کربن ایجاد شده است. هزینه تلفات نیتروژن، فسفر و پتاسیم ناشی از فرسایش خاک از ۸۰۵ تا ۷۳۵۴ دلار در مطالعه‌ای برآورد شده است که بیانگر هزینه‌های پنهان (غیر ملموس) برای تولید محصولات

References

- [1] Albert, E.E., Wendt, R.C., and Piest, R.E., (1983). Physical and chemical properties of eroded soil aggregates. *Transactions of American Society of Agricultural Engineers*, 26 (2), 465-471.
- [2] Alías, L.J., López Bermúdez, F., Marín Sanleandro, P., Romero Díaz, M.A., and Martínez, J., (1997). Clay minerals and soil fertility loss son Petric Calcisol under a semiarid Mediterranean environment. *Soil Technology*, 10, 9–19.
- [3] Barrows, H.L., and Kilmer, V.J., (1963). Plant nutrient losses from soils by water erosion. *Advances in Agronomy*, 16, 303-316.
- [4] Bertoni, J., and Lombardi Neto, F., (1985). *Conservacao do solo. Livroceres, Piracicaba*. 392pp.
- [5] Boardman, J., and Poesen, J., (2006). *Soil erosion in Europ*. John Wiley and Sons. England.
- [6] Brown, C.B., (1943). *Discussion of Sedimentation in reservoirs*. In: Witzig, J. (Ed.), Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 69, pp. 1493-1500.
- [7] Brune, G. M., 1953. Trap efficiency of reservoirs. *Transaction of the American Geophysical Union* 34, 407-418.
- [8] Do Parlo Wildner, L., and Da Veiga, M., (1992). *Conservation y rehabilitacion de tierras en America Latina*. Erosion y perdida de fertilidad del suelo.
- [9] El-Swaify, S.A., and Dangler, E.W., (1982). Rainfall erosion in tropics: A state – of – the Art. Symposium on soil erosion and conservation in the tropics. American Soil Association, Fort Collins, pp.1-24.
- [10] Gee, G.W., and Bauder, J.W., (1986). *Particle-size analysis*, In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Anlysis, part I. Physical and Mineralogical Methods, 2nd edition. Agronomy 9, American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 383–411.
- [11] Hadley, R.F., and Walling, D.E., (Eds.). (1984). Erosion and sediment yield: some methods of measurement and modellings. 121 pp.
- [12] Hernandez Laguna, E., Martinez Lioris, M., and Romero Diaz, A., (2004). Determination del volumen de sedimentos retenidos en diques de correccion hidrologica. In: Bento, G., Diez, Herrero, A. (Eds.). *Riesgos Naturales y Antropics en Geomorfologica: ESG y CSIC*, 201-210.
- [13] Hussain, S.A., and Badola, R., (2008). Valuing mangrove ecosystem services: linking nutrient retention function of mangrove forests to enhanced agro ecosystem production. *Journal of Soil Water Conservation*, 32(8):120-130.

- [14] Marín Sanleandro, P., Ortiz Silla, R., Romero Díaz, A., and Martínez Lloris, M., (2005). Caracterización físico-química de los sedimentos retenidos en diques de corrección hidrológica y su relación con la degradación de suelos. Cuenca del Río Quipar, Sureste de España. In: Jiménez Ballesta, R., Alvarez González, A.M. (Eds.), Control de la degradación de suelos, pp. 707–712
- [15] Meyer, L.D., Skagg, R.W., and Howell, T.A., (1989). Challenges in soil and water research. Transactions of the ASAF 32, 887-893.
- [16] Milne, R.M., and Haynes, R.J., (2004). Soil organic matter, microbial properties and aggregate stability under annual and perennial pastures. *Biology and Fertility of Soils*, 39, 172-178.
- [17] Nelson, D.W., and Sommers, L.E., (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter, In: Page, L.A., Miller, R.H., Kenney, D.R. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Methods, 2nd edition. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 539–579.
- [18] Owen, O.S., and Chiras, D.D., (1995). Natural Resources conservation, Management for sustainable future. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- [19] Quansah, C., Safo, E.Y., Ampontuah, E.O., and Amankwah, A.S., (2000). Soil fertility erosion and the associated cost of NPK removed under different soil and residue management in Ghana. *Ghana Journal of Agricultural Science*, 33(1): 33-42.
- [20] Romero Diaz, A., (2008). Los diques de correccion hidrológica como instrumentos de cauntification de la erosión. *Gaudernos, de Investigation Geografica*, 34, 83-89.
- [21] Romero Diaz, A., Martinez Lloris, M., and Belmonte Serrato, F., (2004). The Construction of check dams of hydrological Correction as policy to retain the erosion and to Aviod the silting up of dams in the Segura basin (Spain). In: Faz, A., Ortiz, R., Garica, G., (Eds.). Fourth International Conference on Land Degradation.
- [22] Rosewell, C.J. and Loch, R.J. (2002). Estimation of the RUSLE Soil Erodibility Factor. In "Soil Physical Measurement and Interpretation for Land Evaluation", McKenzie, Coughlan, and Cresswell (eds.), CSIRO Publishing, pp. 360-369.
- [23] Rosewell, C.J., and Edwards, K., (1988). SOILLOSS- a program to assist in the selection of management practices to reduce erosion. Soil Conservation Service of New South Wales, Technical Handbook No. 11.
- [24] Sharpley, A.N., (1985). The selective erosion of plant nutrients in runoff. *Soil Science Society of American Journal*, 49, 1527-1534.
- [25] Vaibhau, G., and Jothiprakash, V., (2010). Modelling the time variation of reservoir trap efficiency. *Journal of Hydrologic Engineering*, 15 (12), 1001-1015.
- [26] Verstraeten, G., and Poesen, J., (1998). Flooding of properties and sedimentation in retention ponds in central Belgium, Modelling soil erosion, sediment transport and closely related hydrological processes, Proceeding of a symposium held in Vienna, IAHS ublication, 249, IAHS Press, Wallingford, pp. 187-193.
- [27] Verstraeten, G., and Poesen, J., (2000). Estimating trap efficiency of small reservoirs and ponds: methods and implications for the assesment of sediment yield. *Progress in Physical Geography*, 24 (2), 219–251.
- [28] Verstraeten, G., and Poesen, J., (2001). Modelling the long-term sediment trap efficiency of small ponds. *Hydrological Processes*, 15, 2797–2819.
- [29] Ward, P.J., Renssen, H., Aerts, J.C.J.H., Van Balen, R.T., and Vandenberghe, J., (2009). The impact of land use and climate change on late Holocene and future suspended sediment yield of the Meuse catchment. *Journal of Geomorphology*, 103: 389-400.
- [30] Wischmeier, W.H., and Smith, D.D., (1978). Predicting rainfall erosion losses. A guide to Conservation Planning. United States, Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537, 58 pp.