

بررسی عوامل موثر در پایداری و رسوبگیری سدهای اصلاحی سبک فلزی در اراضی مارنی، مطالعه موردی: حوضه ایده‌لو زنجان

پرویز عبدی‌نژاد*^۱ و پرویز مرادی^۲

^۱ استادیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران و ^۲ استادیار، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۵/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۲۷

چکیده

در این مقاله عوامل موثر در پایداری و رسوبگیری سدهای اصلاحی سبک فلزی در اراضی مارنی مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام این پژوهش با پیمایش صحرایی اقدام به بررسی و جمع‌آوری داده‌ها ۳۸۰ سدهای سبک فلزی شده و از نرم‌افزار آماری (SPSS) و روش‌های ضریب همبستگی پیرسون و تجزیه واریانس رگرسیونی برای انجام تجزیه و تحلیل آماری استفاده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، رابطه بین صفات عرض، طول و حجم سدها با پایداری آن در سطح اطمینان درصد معنی‌دار بوده، با توجه به ضرایب همبستگی صفت عرض سد دارای همبستگی بیشتری نسبت به دو صفت دیگر دارد و صفت طول سد در مرتبه دوم می‌باشد. بر این اساس ابعاد سدهای احداثی از عوامل موثر بر پایداری این نوع سدها است. همچنین، پایداری با مقدار حجم رسوب تجمیع یافته در پشت سدها نیز دارای یک رابطه خطی و معکوس با ضریب تبیین ۰/۲۴ می‌باشد. رابطه بین طول و عرض سدها با مقدار رسوب جمع شده در پشت آن‌ها از نوع خطی و مستقیم بوده، با توجه به ضرایب تبیین آن‌ها (طول ۰/۶۹ و عرض ۰/۲۳) تأثیر عامل طول بیشتر است. به طور کلی برای پایداری مناسب این سدها باید ابعاد آن‌ها به نحو مشخص که طبق معادلات و روابط موجود بین آن‌ها قابل محاسبه است، تعیین و اعمال شود.

واژه‌های کلیدی: بند سیمی، پایداری، تجزیه واریانس، خاک، فرسایش

مقدمه

سفیدرود است که در طول ۲۰ سال بهره‌برداری با ورود متوسط رسوب سالانه حدود ۴۰ میلیون مترمکعب ۵۰ درصد مخزن این سد از رسوب پر شده است، که به منظور افزایش حجم سد با انجام تخلیه رسوبات پشت سد با گل آلودگی حدود ۴۵۰ گرم در لیتر تاکنون توانسته‌اند، از کاهش حجم آگیری سد جلوگیری کنند (Abolghasami, ۱۹۸۴). علاوه بر این چنانچه این رسوب‌ها وارد شبکه‌های آبیاری اراضی

رسوب یک پدیده حاصل از فرسایش است. رسوبات حمل شده به وسیله هرزآب‌ها علاوه بر پر کردن گودی‌های کوچک، سبب افزایش میزان گل آلودگی آبراهه‌های اصلی و رودخانه شده و در نهایت با ورود به مخازن آب موجود در پایین دست موجب کاهش حجم آن‌ها می‌شود. مثال بارز آن مخزن سد

مدیریت حوزه‌های آبخیز استفاده شده است، منابع آبی با کیفیت بالایی حفظ و تامین شده است (Akhtesasi و همکاران، ۲۰۰۷). بر اساس بررسی‌های به عمل آمده در سیل سال ۱۹۹۸ ایالات تگزاس آمریکا، عملکرد سدهای کوچک در جلوگیری از خسارات سیل به اراضی پائین دست بسیار خوب بوده است (Xu و همکاران، ۲۰۰۴). بر اساس تحقیقات به عمل آمده توصیه شده است که به منظور حفظ منابع آب و خاک در حوزه‌های آبخیز روستایی و شهری از سامانه احداث سدهای کوچک استفاده شود (Akhtesasi و همکاران، ۲۰۰۷). سدهای سبک فلزی به عنوان موانعی بر روی آبراهه‌های فرعی احداث می‌شوند (شکل ۱). این سدها علاوه بر جلوگیری از شتاب و سرعت گرفتن هرزآب‌های در داخل این آبراهه‌ها، به عنوان شیب‌شکن، امکان رسوبگذاری رسوبات حمل شده از سطوح حوضه را در پشت خودشان به وجود می‌آورند. این عامل، استقرار پوشش گیاهی و نهال کاری در داخل مخازن این سدها که از رسوب پر شده و دارای رطوبت کافی می‌باشند، را ممکن می‌سازد.

در این مقاله سعی شده است که نقش یکی از این عملیات (سدهای سبک فلزی) در ارتباط با جلوگیری از فرسایش، کاهش میزان تولید و تحویل رسوب در زیرحوزه آبخیز ایده‌لو در حوزه آبخیز زنجان رود مورد بررسی قرار گیرد.

شود، مشکلات لایروبی در کانال‌های آبیاری را به وجود می‌آورد. بنابراین رسوب حاصل از فرسایش هم نقش مثبت و هم نقش منفی را در سطوح حوزه آبخیز بازی می‌کند. نقش مثبت آن در ایجاد تعادل و تناسب در بافت اراضی حاشیه رودخانه که به ویژه اراضی که از بستر رودخانه به وجود آمده‌اند، می‌باشد و نقش منفی آن در پر کردن مخازن سدها و کانال‌های شبکه آبیاری است.

در مجموع چنانچه فرسایش کنترل شود، رسوب نیز مهار خواهد شد. یکی از اهداف اجرای طرح‌های آبخیزداری مهار فرسایش و به دنبال آن کاهش میزان رسوب تولیدی و تحویلی از حوزه‌های آبخیز است. اجرای عملیات آبخیزداری نظیر احداث بانکت، سدهای رسوبگیر گابیونی، سدهای سبک فلزی، تراس بندی و سایر عملیات سبب کاهش فرسایش و مهار رسوب می‌شود. این کار با احداث سدهای کوچک در حوزه‌های آبخیز فرعی علاوه بر جلوگیری از حمل رسوبات ناشی از فرسایش به رودخانه‌های اصلی در حفظ و ذخیره منابع آبی و نیز جلوگیری از وقوع سیل نقش موثری بازی می‌کند (Ric، ۲۰۰۰). احداث سدهای کوچک نظیر سدهای سبک فلزی علاوه بر نقش موثر خود در حفظ منابع آب و خاک حوزه‌های آبخیز از طول عمر مفید طولانی و مناسبی نیز برخوردار هستند (Hauck و McFarland، ۱۹۹۷)، ضمناً در مناطقی که از این سدهای کوچک در



شکل ۱- نمایی از سدهای سبک فلزی احداثی در منطقه مورد مطالعه (ایده‌لو)

ساده، از نظر مشخصات فنی و سهولت اجرایی آنها بستگی دارد. مطالعات Hassanli و همکاران (۲۰۰۹)، بر روی سدهای اصلاحی نشان داد که سدهای اصلاحی واقع در پایین دست آبراهه دارای عملکرد بهتری در ترسیب رسوبات ریزدانه می‌باشند و سدهای اصلاحی که در قسمت میانی و ابتدایی آبراهه واقع شده‌اند، به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند. آنها پیشنهاد دادند که استفاده از سنگ‌های شکسته و گوشه‌دار به جای سنگ‌های گرد، کارایی سدهای اصلاحی را در تله‌اندازی و نگهداری رسوبات ریزدانه افزایش می‌دهد.

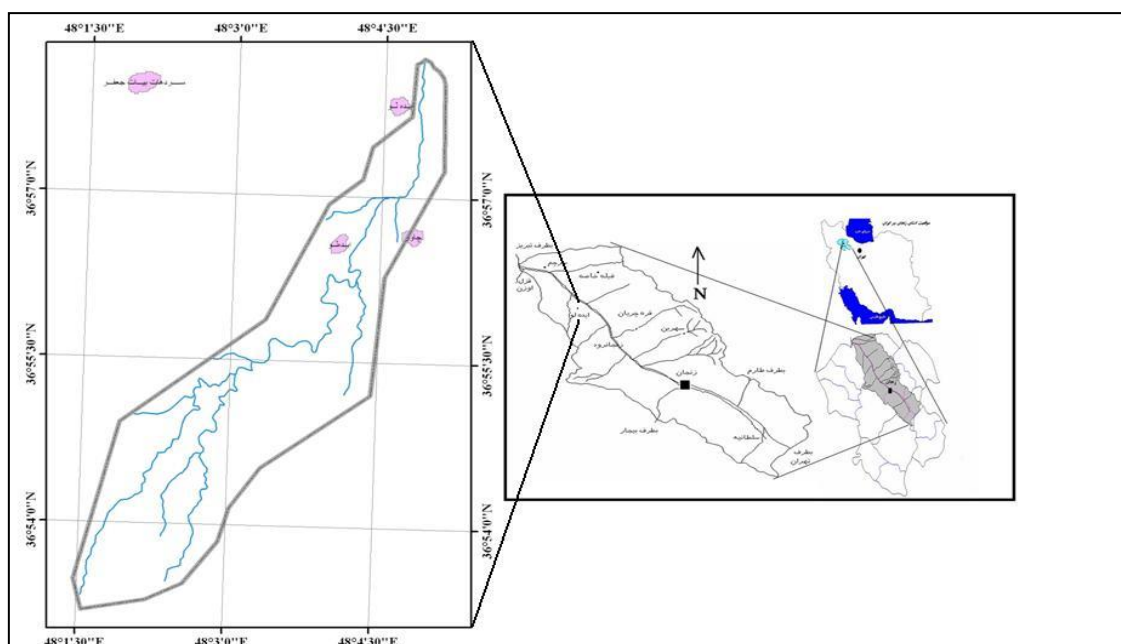
مطالعه سدهای اصلاحی رودخانه زینگری در منطقه نیمه‌خشک فلات لسی چین نشان داد که سدهای اصلاحی دبی بیشینه سیلاب و دبی رسوب را به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد (Honxiong, ۱۹۹۸). مطالعه ۵۰۰ سازه اصلاحی در سر شاخه‌های حوزه آبخیز تگزاس نشان داد که دبی اوج در بعضی از موارد از ۴۸ تا ۹۴ درصد کاهش یافته است (Moore, ۱۹۹۶). تأثیر سدهای اصلاحی توریسنگی روی بار معلق، حوزه آبخیز زیارت نشان داد که میانگین بار معلق رودخانه زیارت در دو دوره زمانی قبل و بعد از احداث سازه‌های گابیونی اختلاف معنی‌داری ندارد (Faraz و Khalilzadeh, ۲۰۰۲). با توجه به این که در سال‌های اخیر، استفاده از این نوع سازه‌ها در بیشتر حوزه‌های آبخیز کشور رایج شده است، لذا مطالعه اثرات احداث این نوع سازه‌ها امری ضروری به نظر می‌رسد. در تحقیق حاضر عوامل موثر در پایداری و رسوبگیری سدهای اصلاحی سبک فلزی در اراضی مارنی حوضه ایده‌لو زنجان مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

موقعیت و ویژگی‌های منطقه: زیرحوضه آبخیز روستای ایده‌لو با مساحتی حدود ۵۰۰ هکتار که یکی از زیرحوضه‌های آبخیز رودخانه زنجان رود است. این حوضه در ۵۵ کیلومتری شمال غرب شهر زنجان در مسیر جاده ترانزیتی زنجان-میانه قرار گرفته است (شکل ۲).

برای حفاظت آب و خاک معمولاً از روش‌های مکانیکی، بیومکانیکی و بیولوژیکی استفاده می‌شود. یکی از انواع عملیات مکانیکی حفاظت خاک و کنترل فرسایش ایجاد چکدم‌ها یا سدهای اصلاحی می‌باشد که در واقع بر روی آبراهه‌های بالادست حوزه‌های آبخیز احداث می‌شوند (Chuan و همکاران، ۲۰۰۸). سدهای اصلاحی، سدهای کوچکی هستند که در عرض یک آبراهه یا خندق به منظور کاهش سرعت جریان‌های متمرکز (Gray و Leiser, ۱۹۸۲؛ Nyssen و همکاران، ۲۰۰۴)، افزایش کیفیت آب (Honxiong, ۱۹۹۸)، کنترل، تله‌اندازی رسوبات (Castillo و همکاران، ۲۰۰۷؛ Chuan و همکاران، ۲۰۰۸)، افزایش ظرفیت نفوذ در کانال (Bombino و همکاران، ۲۰۰۸؛ Goel و همکاران، ۱۹۹۶)، کاهش دبی، افزایش پوشش گیاهی (Honxiong, ۱۹۹۸؛ Hassanli و همکاران، ۲۰۰۹)، افزایش زمان تمرکز و زمان، اوج سیلاب تاخیر حوضه (Akhtesasi و همکاران، ۲۰۰۷؛ Nejafinejad, ۲۰۰۲) ساخته می‌شوند که در نهایت منجر به اصلاح نیمرخ طولی و عرضی آبراهه خواهند شد (Dunbar و همکاران، ۱۹۹۹). این گونه سدها دارای ساختمانی ساده بوده و از لحاظ اقتصادی نیز مناسب می‌باشند (Gray, ۱۹۸۲).

بنا بر گزارش ارائه شده به‌وسیله هادسون (Hudson, ۱۹۷۶)، هدف اصلی از احداث این، سدها نگهداشت رسوبات و کاهش سرعت جریان آب می‌باشد. اگر چه طراحی و اجرای سدهای اصلاحی در ایران سابقه‌ای حدود ۴۰ سال دارد، اما هنوز اثرات واقعی آن بر خصوصیات هندسی، ژئومورفولوژیکی و هیدرولوژیکی آبراهه‌ها به‌خوبی شناخته نشده است. در این بین بیشتر تحقیقات در مورد تأثیر سدها بر روی برتری سدهای بزرگ و مخزنی متمرکز شده، اما توجه کمتری به اثرات و بازدهی سدهای کوتاه شده است. برای اولین بار در سال ۱۹۳۹ مطالعه بر روی اقدامات فنی و مکانیکی به‌وسیله Bennet (۱۹۳۹) در ایالت متحده آمریکا با نظر سرویس حفاظت خاک آمریکا (SCS) انجام شد و به این نتیجه رسید که درصد موفقیت در مهار و مبارزه با فرسایش در حوزه‌های آبخیز به انتخاب سازه‌های مناسب و در عین حال



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد پژوهش

۱- اراضی زراعی دیم رها شده ۲- اراضی مرتعی و چراگاه‌های فصلی
 فرسایش خاک بیشتر از نوع ورقه‌ای، شیاری و انحلالی می‌باشد. در سطوح شیب‌دار عاری از پوشش گیاهی، فرسایش ورقه‌ای بسیار شدیدتر است. فرسایش انحلالی در مناطقی که شیب ملایم‌تر می‌شود، در اثر نفوذ هرزآب‌ها اتفاق می‌افتد. بر اساس آمار بارندگی ایستگاه هواشناسی فیله خاصه (۱۹۹۷-۱۹۹۲) میانگین بارندگی این منطقه حدود ۲۷۶ میلی‌متر و ماه‌های پر باران از دی تا اردیبهشت ماه می‌باشد. به‌طوری که در ماه‌های دی، بهمن، اسفند نزولات بیشتر به‌صورت برف و در ماه‌های فروردین و اردیبهشت به‌صورت باران می‌باشد. بر اساس طبقه‌بندی دومارتن منطقه جزو اقلیم نیمه‌خشک سرد است. پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی منطقه مورد مطالعه به‌شرح زیر است. متوسط بارندگی سالانه ۲۷۶ میلی‌متر در سال (میانگین شش ساله)، پر باران‌ترین ماه سال آبان ماه (نوامبر) معادل ۴۶/۴ میلی‌متر، کم باران‌ترین ماه سال مرداد (آگوست) معادل ۱/۴۸ میلی‌متر، کمینه مطلق درجه حرارت ۲۸- درجه سانتی‌گراد در دی ماه و بیشینه مطلق درجه حرارت ۴۱ درجه سانتی‌گراد در مرداد ماه و میانگین سالانه درجه حرارت ۱۲/۹۷ درجه سانتی‌گراد است.

منطقه مورد پژوهش از نظر سازند زمین‌شناسی مربوط به رسوبات مارنی دوره میوسن می‌باشد. این عامل باعث بالابودن شدت فرسایش در منطقه است. رسوبات مارنی این منطقه از نوع رس‌های گچ‌دار همراه با ماسه ریزدانه است. این رسوبات به‌دلیل داشتن بافت ریز و املاح آهکی و گچی در برخورد باران، املاح بین ذرات شسته شده و ذرات رس به‌صورت پراکنده در اثر نیروی ثقل (شیبدار بودن تپه‌ها) وارد آبراهه‌های فرعی و در نهایت رودخانه اصلی می‌شوند.
 بر اساس مشاهدات صحرایی در این مناطق لایه‌ای به عمق یک متر از پلیستوسن (رسوبات آبرفتی دوران چهارم) وجود دارد که به‌دلیل داشتن بافت درشت دانه از نفوذپذیری بالایی برخوردار است که شرایط مناسبی برای استقرار پوشش گیاهی به‌وجود آورده است. لیکن در محل‌هایی که این لایه از بین رفته است، تپه‌ها کاملاً لخت و عاری از پوشش گیاهی هستند که سبب تشدید فرسایش می‌شوند. در حال حاضر از اراضی محل مورد مطالعه، بهره‌برداری زراعی نمی‌شود، اما در گذشته بخشی از این اراضی به‌صورت کشت دیم بهره‌برداری می‌شد. امروزه از اراضی این منطقه به‌عنوان چراگاه فصلی استفاده می‌شود. به‌طور کلی بهره‌برداری از اراضی در شرایط فعلی به‌صورت زیر است:

جدول ۲ نتایج حاصله ارایه شده است. بعد از جمع‌آوری داده‌های مورد اشاره برای انجام تجزیه و تحلیل از نرم‌افزار آماری SPSS و روش‌های ضریب همبستگی پیرسون و تجزیه واریانس رگرسیونی استفاده شد.

نحوه محاسبه حجم رسوب هر سد سبک فلزی:

برای محاسبه حجم رسوب در هر یک از سدهای سبک فلزی مورد بررسی طبق روشی که در ادامه توضیح داده می‌شود، عمل شده است. در شکل ۵ یک آبراهه به همراه محل سد اصلاحی نشان داده شده است. عرض بالایی سد از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$B = l + x_1 + x_2 \quad (1)$$

$$a = tg\phi = \frac{h}{x_1} \quad (2)$$

$$b = tg\phi' = \frac{h}{x_2} \quad (3)$$

$$B = l + \frac{h}{a} + \frac{h}{b} \quad (4)$$

که در آن‌ها، a و b شیب دیواره‌های آبراهه، h ارتفاع مفید سد و x_1 و x_2 به ترتیب تصاویر کناره‌های آبراهه بر سطح افق می‌باشند. با فرض این که سطح مقطع به شکل دوزنقه باشد، مساحت دوزنقه برابر $S = \frac{(B+l)h}{2}$ است، بنابراین مساحت مقطع یک یا S_1 برابر است با:

$$S = \frac{\left(l + \frac{h}{a} + \frac{h}{b} + l\right)h}{2} = hl + \frac{h^2}{2a} + \frac{h^2}{2b} \quad (5)$$

عرض بالایی سد در مقطع ۲ (به فاصله $\frac{L}{2}$ از مقطع اول) از رابطه $B' = l + x'_1 + x'_2$ به دست می‌آید. از آن جایی که ارتفاع مفید در مقطع دوم (h') برابر $\frac{h}{2}$ است. بنابراین $x'_1 = \frac{h}{2a}$ و $x'_2 = \frac{h}{2b}$ که با جایگذاری B' برابر است با:

$$B' = l + \frac{h}{2a} + \frac{h}{2b} \quad (6)$$

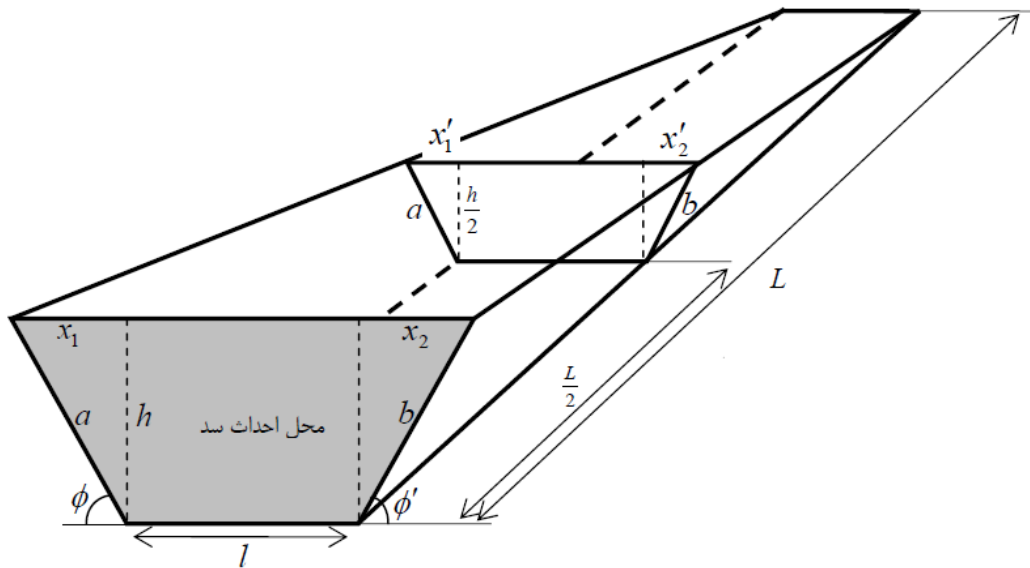
از این رو مساحت مقطع دو یا S_2 برابر است با:

$$S_2 = \frac{(B' + l)h}{2} = \frac{hl}{2} + \frac{h^2}{8a} + \frac{h^2}{8b} \quad (7)$$

روش پژوهش: روش مطالعه شامل دو مرحله، کار میدانی در خصوص جمع‌آوری داده‌ها و تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها می‌باشد. در مرحله جمع‌آوری داده‌ها ضمن مراجعه به منطقه مورد مطالعه از طریق پیمایش و مشاهده تعداد سدهای سبک فلزی بر روی هر یک از آبراهه‌های فرعی از طریق متر کردن طول رسوب‌گیری و رسم پروفیل‌های عرضی آبراهه بر اساس عمق‌یابی رسوب در مقاطع مختلف حجم رسوب هر یک از سدهای سبک فلزی برآورد شده است. در این اندازه‌گیری طول سدها، حجم رسوب و درصد پایداری آن‌ها تعیین شد.

تعیین میزان درصد پایداری: برای تعیین میزان درصد پایداری در هر سد مقدار مساحت آن با توجه به ابعاد اولیه احداث شده بر روی آبراهه که در جلوی رو به پایین سد مشخص است را در نظر گرفته و محاسبه می‌شود. به این شکل که حاصل ضرب عرض آبراهه یا سد در ارتفاع آن این رقم را با سطح باقی‌مانده در زمان بررسی میدانی مقایسه شده و به صورت درصد بیان شده است. در این مرحله حدود ۳۸۰ سد سبک فلزی مورد بازدید و بررسی قرار گرفت. این سدهای سبک فلزی در وسعت ۱۵۰ هکتار به ارتفاع بیشینه یک متر به منظور اصلاح پروفیل طولی آبراهه‌ها و تثبیت کناره‌ها احداث شده‌اند.

برای نمونه‌برداری از سدهای مورد مطالعه از روش نمونه‌گیری طبقه‌ای متناسب با بزرگی طبقات استفاده شد، یعنی تعداد کل سدها در چهار گروه قرار گرفته و از هر گروه بسته به بزرگی طبقات حجم نمونه بزرگ‌تری انتخاب شد (جدول ۲). برای این کار با استفاده از جدول ۱ درصد تخریب سدها در چهار گروه ۱۰۰ درصد، ۹۰ تا ۷۰ درصد، ۶۰ تا ۴۰ درصد و ۳۰ تا صفر درصد دسته‌بندی شده و به قید قرعه تعداد ۳۰ نمونه به نسبت تعداد کل و تعداد هر گروه به طوری که از گروه اول ۱۷ عدد، از گروه دوم پنج عدد، از گروه سوم پنج عدد و از گروه چهارم سه عدد نمونه‌برداری تصادفی شد (روش نمونه‌گیری طبقه‌ای متناسب با بزرگی طبقات) و مشخصات آن‌ها از نظر عرض آبراهه، طول رسوب‌گیری و حجم رسوب برآورد شده و در



شکل ۵- نمایی از یک آبراهه و سده سبک فلزی احداث شده و ابعاد و مشخصات آن برای محاسبه حجم رسوب

که در آن، V حجم رسوبات (متر مکعب)، P شیب کف آبراهه، h ارتفاع مفید سد (متر)، l عرض کف آبراهه (متر) و a و b شیب دیواره‌های آبراهه است.

طبق رابطه (۱۲) برای به دست آوردن حجم چهار عامل مورد نیاز بوده که برای تهیه نمودار از آن استفاده شده است (Mahmoudi و Sadeghi، ۲۰۰۵).

بدین صورت که ابتدا مقادیر حد برای هر یک از عوامل تعیین شد. ارتفاع این سدها معمولاً دو تا سه متر است (Ziaei، ۱۹۹۱)، بنابراین برای ارتفاع مفید سد (h) محدوده ۰/۵ تا سه متر، برای عرض کف آبراهه (l) محدوده ۰/۵ تا ۱۰ متر، برای شیب کف آبراهه (p) مقادیر ۰/۲ تا ۰/۳ و شیب دیواره‌های آبراهه ۱۰۰ و ۲۰۰ درصد در نظر گرفته شد. بنابراین مقادیر مذکور برای تهیه نمودار نهایی مد نظر قرار گرفت.

فاصله‌های ۰/۵ متر برای ارتفاع مفید سد، مقادیر ۰/۵، یک، دو، چهار، شش و ۱۰ متر برای عرض کف آبراهه و مقادیر ۰/۲، ۰/۵، ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ نیز برای شیب کف آبراهه در نظر گرفته شد. سپس حجم رسوبات با توجه به تغییرات این عوامل به دست آمده و در محیط EXCEL ترسیم شد. به منظور تهیه نمودار در ابتدا فرض شد $a=b=1$ و به ازای تغییرات h و l مقادیر متفاوتی برای $h^2l + \frac{h^3}{3a} + \frac{h^3}{3b}$ در رابطه (۱۲) به دست

آمد و به صورت نزولی $h^2l + \frac{h^3}{3a} + \frac{h^3}{3b}$ مرتب شد.

با فرض این که S_3 در فاصله L از مقطع یک برابر صفر باشد، حجم مخزن ایجاد شده از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$V = \frac{1}{6}L(S_1 + 4S_2 + S_3) \quad (8)$$

با جایگذاری مقادیر مساوی متغیرهای رابطه فوق، حجم کل از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$V = \frac{1}{6}L \left[\left(hl + \frac{h^2}{2a} + \frac{h^2}{2b} \right) + 4 \left(\frac{hl}{2} + \frac{h^2}{8a} + \frac{h^2}{8b} \right) + 0 \right]$$

$$V = \frac{1}{6}L \left(3hl + \frac{h^2}{a} + \frac{h^2}{b} \right) \quad (9)$$

از آن جایی که فاصله بین مقطع ۱ و ۳ یا L از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$L = \frac{h}{p - p'} \quad (10)$$

که در آن، p شیب آبراهه و p' شیب حد رسوبات بوده و مقدار $p' = \frac{P}{2}$ در نظر گرفته می‌شود، بنابراین:

$$L = \frac{2h}{p} \quad (11)$$

با جایگذاری در رابطه (۹)، مقدار حجم از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$V = \frac{2h}{6p} \left(3hl + \frac{h^2}{a} + \frac{h^2}{b} \right)$$

و یا

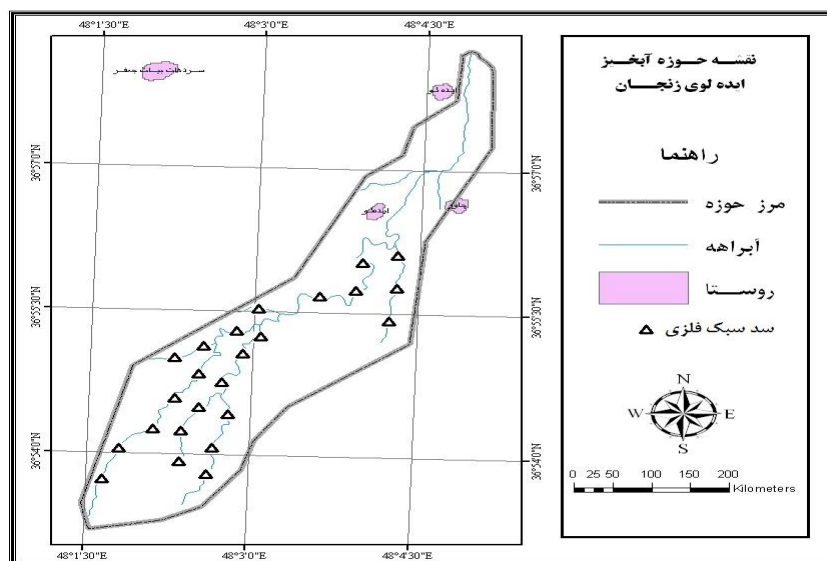
$$V = \frac{1}{p} \left(h^2l + \frac{h^3}{3a} + \frac{h^3}{3b} \right) \quad (12)$$

شامل، عرض سد (عرض آبراهه)، طول رسوبگیری، حجم رسوبگیری و درصد پایداری آن‌ها با پیمایش و کار میدانی به شرح زیر مورد بررسی قرار گرفتند. در جدول ۱ میزان درصد پایداری و تخریب سدها به صورت درصدی ارائه شده است. با توجه به کم بودن صفات مورد مطالعه، برای مشخص نمودن وجود رابطه بین صفات از روش همبستگی پیرسون استفاده شد که نتایج به دست آمده در جدول ۲ ارائه شده و در شکل ۳ موقعیت حوزه آبخیز ایده‌لو و نحوه پراکنش و قرارگیری سدهای سبک فلزی ارائه شده است.

سپس با توجه به تغییرات P ، حجم رسوبات را به دست آمد. این مراحل به طور مشابه برای $a=b=2$ نیز انجام شد.

نتایج و بحث

در این بررسی درصد پایداری این سدها بر اساس روش‌های متداول آماری (روش‌های ضریب همبستگی پیرسون و تجزیه واریانس رگرسیونی) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است که از ۳۸۰ سد سبک فلزی به طور تصادفی ۳۰ سد سبک فلزی انتخاب و صفاتی



شکل ۳- نقشه زیر حوزه آبخیز گمیش‌آباد و موقعیت قرارگیری سدهای سبک فلزی

بررسی ضرایب همبستگی صفات اندازه‌گیری سدها با پایداری: ضرایب همبستگی بین صفات اندازه‌گیری سدها با پایداری در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس این نتایج هر سه صفت عرض، طول و حجم سدها با پایداری آن در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار بوده، دارای رابطه معکوس هستند، به عبارت دیگر با افزایش مقدار این سه صفت، پایداری کاهش می‌یابد. با توجه به این ضرایب صفت عرض سد دارای همبستگی بیشتری نسبت به دو صفت دیگر دارد و صفت طول سد در مرتبه دوم می‌باشد. بر این اساس برای پایداری مناسب این سدها باید ابعاد آن‌ها به نحو مشخص که طبق معادلات و روابط موجود بین آن‌ها قابل محاسبه است، تعیین و اعمال شود.

جدول ۱- درصد پایداری سدهای سبک فلزی در منطقه مورد مطالعه

تعداد	درصد پایداری	درصد تخریب
۲۵۵	۱۰۰	۰
۶	۹۰	۱۰
۱۹	۸۰	۲۰
۲۷	۷۰	۳۰
۸	۶۰	۴۰
۳۰	۵۰	۵۰
۷	۴۰	۶۰
۵	۳۰	۷۰
۲	۲۰	۸۰
۲۱	۰	۱۰۰

بررسی روابط بین صفات مورد بررسی با پایداری:

پس از اطمینان از وجود رابطه بین صفات مستقل (عرض، طول و حجم آبراهه) و صفت پایداری، بر اساس بررسی ضرایب همبستگی بین صفات، معادله‌های مختلف بین تک تک صفات مستقل و صفت پایداری بررسی شد. از بین معادله‌های خطی، لگاریتمی، اینورس، کوادراتیک و کوئیک بهترین معادله که دارای بیشترین ضریب تبیین بود، انتخاب شده و برای این که نتیجه بهتری از نظر مقایسه بین صفات انجام شود، با توجه به نتایج بررسی آمار معادلات آن‌ها، یک معادله یا روش که به‌طور نسبی بین همه صفات دارای ضریب تبیین بیشتری داشت یعنی معادله خطی انتخاب شد که در ادامه به بررسی آن در هر مورد از صفات مورد نظر پرداخته می‌شود.

رابطه عرض سد و پایداری: برای بررسی رابطه بین صفت عرض و پایداری سد اقدام به ترسیم نمودار ارائه شده در شکل ۶ شد. در این بررسی بر اساس این نمودار و برازش معادله‌های مختلف از بین آن‌ها، معادله خطی با ضریب تبیین $R^2 = 0.57$ به‌عنوان بهترین معادله انتخاب شد.

$$y = 179.05 - 18.50x$$

که در آن، x عرض سد و y پایداری می‌باشد. بر اساس این معادله بین عرض سد با پایداری یک رابطه خطی معکوس وجود دارد. به‌طوری که با افزایش مقدار عرض، پایداری آن کاهش می‌یابد.

بر این اساس در حوزه آبخیز ایده‌لو بیشترین مقدار عرض سد در وضعیت پایداری با توجه به معادله خطی بین عرض سد و پایداری آن کمتر از پنج متر می‌باشد. با بررسی عرض سدهای دارای پایداری ۱۰۰ درصد دیده می‌شود که این رقم تا حدود زیادی با واقعیت تطبیق داشته و نشان‌دهنده قدرت و توانایی مناسب این معادله در ارائه رابطه بین عرض سد و پایداری

می‌باشد.

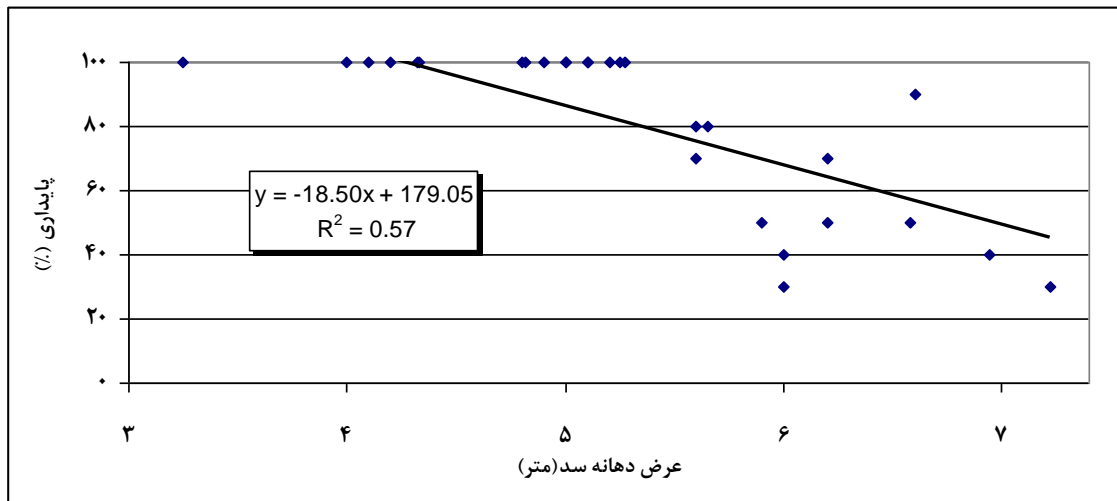
جدول ۲- صفات اندازه‌گیری شده برای هر یک از سدهای سبک

ردیف	شماره	فلزی		عرض دهانه (متر)	طول رسوبگیر (متر)	حجم رسوب (مترمکعب)	درصد پایداری
		عرض دهانه (متر)	طول رسوبگیر (متر)				
۱	۲۰	۵/۲۷	۹/۳۰	۸/۷۶	۱۰۰		
۲	۳۷	۴/۰۰	۹/۲۰	۷/۳۵	۱۰۰		
۳	۵۱	۶/۰۰	۱۱/۶۰	۱۰/۲۹	۳۰		
۴	۶۴	۶/۲۰	۱۳/۰۰	۶/۵۵	۷۰		
۵	۷۳	۶/۶۰	۶/۳۰	۳/۶۱	۹۰		
۶	۷۴	۵/۶۵	۱۱/۴۵	۱۵/۰۰	۸۰		
۷	۷۵	۷/۲۲	۱۱/۳۵	۸/۱۴	۳۰		
۸	۷۸	۴/۹۰	۷/۷۰	۹/۲۲	۱۰۰		
۹	۸۳	۵/۶۰	۷/۴۰	۳/۴۲	۸۰		
۱۰	۸۶	۸/۲۰	۲۳/۰۰	۴۲/۶۷	۰		
۱۱	۹۲	۴/۲۰	۹/۶۰	۹/۹۴	۱۰۰		
۱۲	۹۷	۶/۲۰	۱۰/۷۰	۶/۰۰	۵۰		
۱۳	۱۰۵	۵/۲۰	۹/۲۰	۹/۵۴	۱۰۰		
۱۴	۱۰۷	۵/۶۰	۹/۵۰	۵/۰۰	۷۰		
۱۵	۱۳۰	۵/۲۵	۸/۹۵	۷/۷۰	۱۰۰		
۱۶	۱۴۳	۵/۰۰	۸/۰۰	۳/۰	۱۰۰		
۱۷	۱۵۲	۴/۳۳	۸/۹۰	۹/۹۶	۱۰۰		
۱۸	۱۷۴	۴/۱۰	۶/۵۰	۳/۲۴	۱۰۰		
۱۹	۱۷۷	۴/۳۲	۷/۵۰	۸/۶۷	۱۰۰		
۲۰	۱۹۱	۵/۱۰	۹/۴۰	۹/۱۴	۱۰۰		
۲۱	۲۷۸	۲/۹	۹/۲	۳/۰۰	۱۰۰		
۲۲	۲۴۷	۶/۹۴	۱۲/۷۰	۱۰/۱۰	۴۰		
۲۳	۲۵۴	۶/۵۸	۱۰/۸۰	۷/۲۳	۵۰		
۲۴	۲۶۶	۴/۸۰	۷/۵۰	۵/۰۰	۱۰۰		
۲۵	۲۷۸	۵/۹۰	۹/۲۰	۳/۰۰	۵۰		
۲۶	۲۸۱	۳/۲۵	۸/۶۰	۳/۹۶	۱۰۰		
۲۷	۲۹۲	۵/۰۰	۷/۲۰	۱۰/۰۰	۱۰۰		
۲۸	۳۰۵	۶/۰۰	۱۲/۰۰	۵/۱۲	۴۰		
۲۹	۳۴۵	۴/۸۲	۷/۵۰	۶/۷۳	۱۰۰		
۳۰	۳۶۵	۵/۱۰	۸/۸۰	۷/۷۱	۱۰۰		

جدول ۳- رابطه صفات اندازه‌گیری سدها با پایداری به روش همبستگی پیرسون

صفت	عرض سد	طول رسوبگیری	حجم رسوبگیری	پایداری
عرض سد	۱	۰/۶۴**	۰/۴۸۳**	-۰/۸۱۵**
طول رسوبگیری	۰/۶۴**	۱	۰/۸۳۱**	-۰/۷۶۶**
حجم رسوبگیری	۰/۴۸۳**	۰/۸۳۱**	۱	-۰/۴۸۶**
پایداری	-۰/۸۱۵**	-۰/۷۶۶**	-۰/۴۸۶**	۱

** معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد

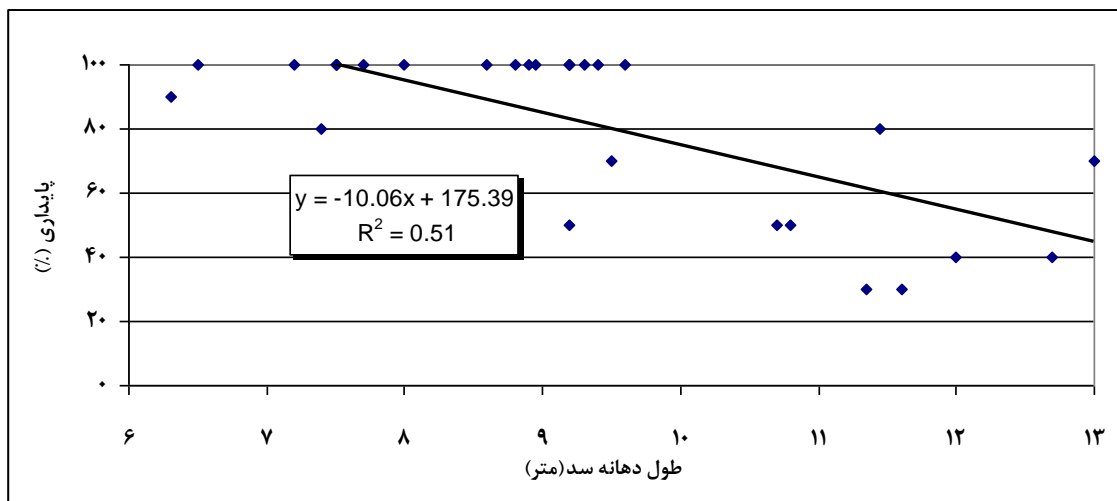


شکل ۶- نمودار رابطه عرض دهانه سد با پایداری

جدول ۴- تجزیه واریانس رگرسیون صفت عرض سد با پایداری

منابع	رگرسیون	باقی مانده
df (درجه آزادی)	۱	۲۸
SS (مجموع مربعات)	۱۶۲۰۸/۵۰۲	۸۱۷۸/۱۶۵
MS (میانگین مربعات)	۱۶۲۰۸/۵۰۲	۲۹۲/۰۷۷
آزمون F	۵۵/۴۹	---
sig F	۰/۰۰۰	معنی دار

همچنین با استفاده از بررسی‌های آمار در محیط برنامه SPSS اقدام به تحلیل واریانس رگرسیون بین صفت عرض سد و پایداری شد که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است. بر اساس داده‌های این جدول، F محاسبه شده بسیار معنی دار بوده و نشان‌دهنده وجود یک رابطه موثر بین این دو می‌باشد. معادله فوق رابطه این دو متغیر را توجیه می‌کند.



شکل ۷- نمودار رابطه بین طول رسوبگیری و پایداری

که در آن، x طول رسوبگیری و y پایداری می‌باشد. بر اساس این معادله با افزایش طول سد درصد پایداری آن کاهش می‌یابد. به طوری که با توجه به رابط موجود بین طول و پایداری سدهای احداثی اندازه طول سد مناسب برای حالت پایدار سد در حدود کمتر از نه متر

رابطه طول رسوبگیری با پایداری: شکل ۷ نشان‌دهنده نمودار بین پایداری و طول رسوبگیری است. بر اساس این نمودار رابطه بین این یک رابطه خطی معکوس به شکل معادله زیر می‌باشد. ضریب تبیین این معادله $R^2 = 0.51$ درصد می‌باشد.
 $y = 175.39 - 10.06x$

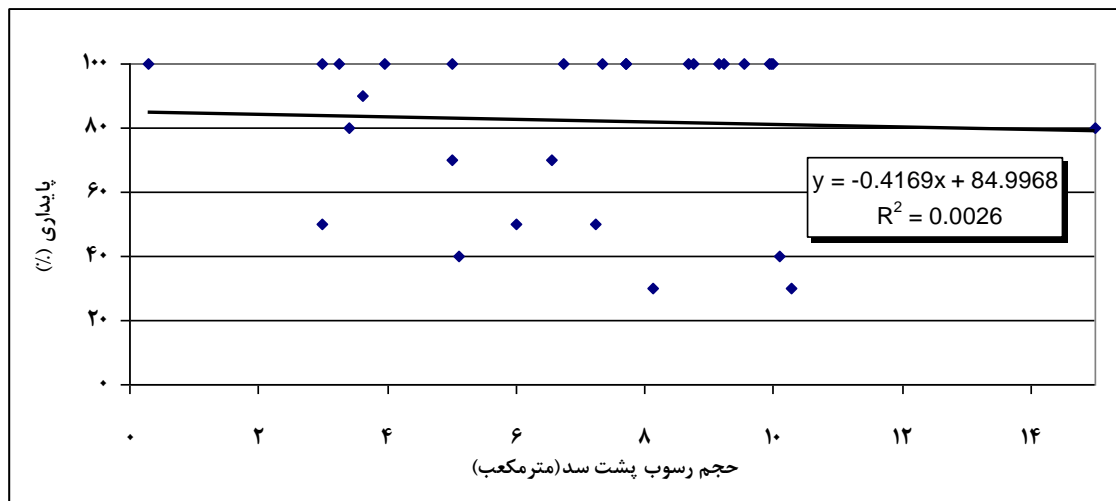
پایداری این سدهای اصلاحی علاوه بر حجم رسوب عوامل دیگر دخالت داشته و در آن موثر هستند. پس به طور کلی بین پایداری و حجم رسوب به تنهایی رابطه معنی دار و قابل قبول بیانی وجود ندارد.

جدول ۵- تجزیه واریانس رگرسیون صفت طول رسوبگیری با پایداری

منابع	رگرسیون	باقی مانده
df (درجه آزادی)	۱	۲۸
SS (مجموع مربعات)	۲۱۶۶۶۷/۸۵۱	۲۷۷۰۸/۸۱۵
MS (میانگین مربعات)	۵۵۵۹/۲۸۳	۲۹۶/۴۹۲
آزمون F	۱۸/۷۵	---
sig F	۰/۰۰	معنی دار

می باشد. یعنی با افزایش طول رسوبگیری سدهای حادثی به بیش از نه متر پایداری آن را کاهش می دهد. بررسی تجزیه واریانس رگرسیونی بین این دو صفت در جدول ۵ ارائه شده است. بر اساس مقدار F این جدول رابطه بین این دو صفت در سطح یک درصد معنی دار بوده و مشخص می کند که معادله فوق رابطه بین این دو متغیر را به خوبی توجیه می نماید.

رابطه حجم رسوبات با پایداری: رابطه بین حجم رسوبات تجمیع شده در پشت سد با پایداری آن در شکل ۸ به صورت نمودار ارائه شده است که بر اساس این نمودار رابطه بین این دو نیز یک رابطه خطی و معکوس است. اما با توجه به تبیین آن نمی تواند یک رابطه و معادله قابل استناد باشد. لذا می توان گفت در



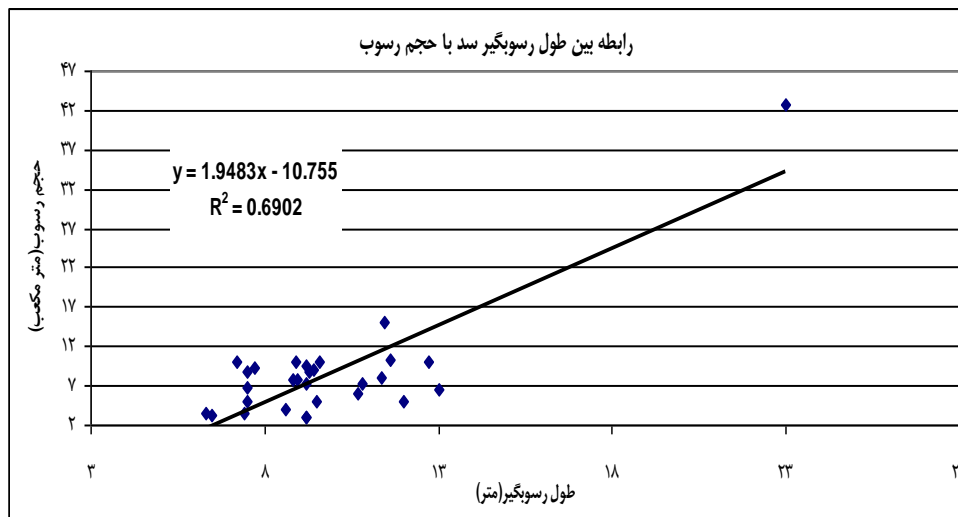
شکل ۸- نمودار رابطه بین پایداری و حجم رسوب

رابطه طول و عرض سد با حجم رسوب پشت آن: بر اساس شکل های ۹ و ۱۰ که نشان دهنده نمودار بین طول و عرض سدها با حجم رسوب جمع شده در پشت سدهاست. مشاهده می شود که رابطه بین آن ها از نوع خطی و مستقیم است. این رابطه با توجه به ضریب تبیین نمایش داده شده برای هر نمودار در مورد طول و حجم رسوب با مقدار ۰/۶۹ نسبت به رابطه عرض و حجم رسوب سد که برابر با ۰/۲۳ است مقدار بیشتری بوده، نشان دهنده وجود رابطه قوی و موثری است. به عبارت دیگر تأثیر اندازه طول رسوبگیری در سدهای اصلاحی مورد بررسی بر حجم رسوب جمع شده در پشت سد نسبت به عرض این سدها بیشتر و تعیین کننده تر می باشد.

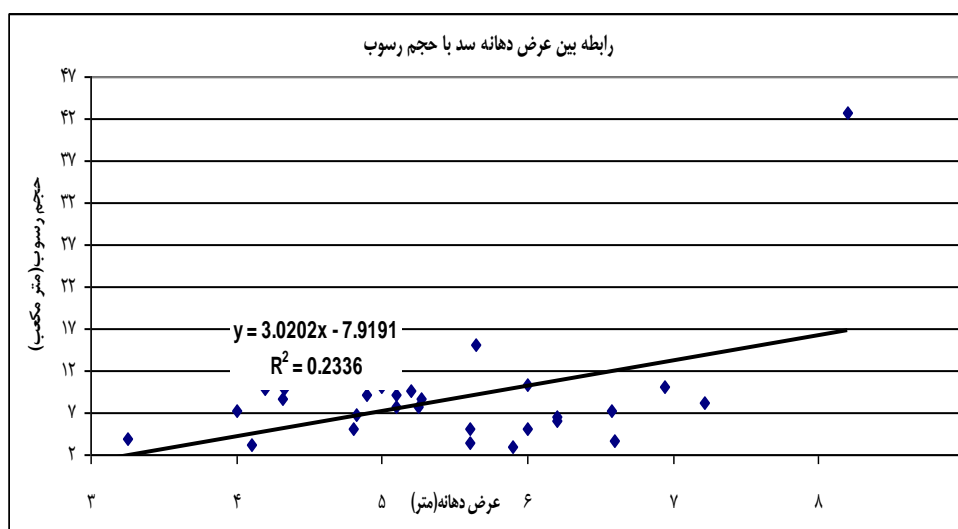
بررسی تجزیه واریانس رگرسیونی بین این دو صفت در جدول ۶ ارائه شده است. بر اساس مقدار F این جدول رابطه بین این دو صفت در سطح یک درصد معنی دار بوده و مشخص می کند که معادله فوق رابطه بین این دو متغیر را به خوبی توجیه می نماید.

جدول ۶- تجزیه واریانس رگرسیون صفت حجم رسوبات با پایداری

منابع	رگرسیون	باقی مانده
df (درجه آزادی)	۳	۲
SS (مجموع مربعات)	۶۷۱۱/۲۴	۱۷۶۷۵/۴۲
MS (میانگین مربعات)	۲۲۳۷/۰۷۹	۶۷۹/۸۲۴
آزمون F	۳/۲۹	---
sig F	۰/۰۳۶۴	معنی دار



شکل ۱۰- نمودار رابطه بین طول رسوبگیر سد با حجم رسوب



شکل ۱۱- نمودار رابطه بین حجم رسوب سد با پایداری

نتیجه گیری

ضرایب همبستگی بین صفات اندازه گیری سدها با پایداری در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس این نتایج هر سه صفت عرض، طول و حجم سدها با پایداری آن در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی دار بوده، دارای رابطه معکوس هستند، به عبارت دیگر با افزایش مقدار این سه صفت، پایداری کاهش می یابد. با توجه به این ضرایب صفت عرض سد دارای همبستگی بیشتری نسبت به دو صفت دیگر دارد و صفت طول سد در مرتبه دوم می باشد.

بررسی رابطه بین طول و عرض سدهای رسوب گیر مورد بررسی با پایداری آن ها نشان دهنده وجود رابطه معنی دار و از نوع معادله رابطه خطی معکوس بوده،

همچنین، با توجه به ضرایب تبیین این دو (عرض ۰/۶۶ و طول ۰/۶۰) تأثیر همسان بر پایداری دارند. بر این اساس ابعاد سدهای حادثی از عوامل موثر بر پایداری این نوع سدها است. اما با توجه به مقادیر ضرایب تبیین می توان گفت علاوه بر ابعاد سایر عوامل نیز در این پایداری موثر می باشند که از جمله می توان به مقدار حجم رسوب تجمع یافته در پشت سدها اشاره کرد. در بررسی رابطه این عامل با پایدار مشخص شد که معادله این دو از نوع نیز یک رابطه خطی و معکوس با ضریب تبیین ۰/۲۴ می باشد که نسبت به طول و عرض سدها تأثیر کمتری دارد. همچنین علاوه بر این سه عامل عوامل دیگری بر پایداری سدها تأثیر دارد، عواملی مانند میزان حجم رواناب تولید شده و

مناطق با فرسایش‌پذیری بالا قرار دارند، توصیه می‌شود.

۲- پیشنهاد می‌شود، قبل از اجرای این سدها بر روی آبراهه نسبت به طراحی و انجام محاسبات لازم در زمینه طول، عرض و حجم رسوبگیری سدها و در نتیجه فاصله بهینه هر یک از این سدها از همدیگر اقدام شود.

۳- از آنجایی که به دلایل مختلف در طول زمان این سدها دچار تخریب می‌شوند، لذا سرکشی به آن‌ها و در صورت نیاز مرمت و تعمیر آن‌ها از عوامل مؤثر در کارایی مناسب این سدهاست.

۴- برای تثبیت رسوبات جمع شده در پشت سدهای سبک فلزی کاشت درخت و درختچه‌های سازگار با شرایط محیطی و به‌طور کلی استقرار پوشش گیاهی از ضروریات اجرای این سازه‌ها می‌باشد.

۵- احداث این سدها در مناطق مشابه حوزه آبخیز روستای ایده‌لو که به دلیل داشتن تشکیلات مارنی دوره میوسن پتانسیل بالای تولید رسوب را دارد و از طرفی به دلیل شیب زیاد حوضه امکان استقرار پوشش گیاهی میسر نمی‌باشد، می‌تواند نقش بسیار مؤثر و مثبتی در جهت تثبیت و اصلاح طولی مسیر آبراهه‌های فرعی داشته باشد.

عبور کرده از سدها، بافت خاک و سایر خصوصیات فیزیکی خاک، محل و نحوی استقرار سدها که باید در تحقیقات آینده مورد بررسی قرار گیرند.

بررسی تأثیر ابعاد سدها بر مقدار و حجم رسوب تجمع یافته در پشت آن‌ها نیز موثر بوده و رابطه بین طول و عرض سدها با مقدار رسوب جمع شده در پشت آن‌ها از نوع خطی و مستقیم می‌باشد. با توجه به ضرایب تبیین آن‌ها (طول ۰/۶۹ و عرض ۰/۲۳) تأثیر عامل طول بر مقدار رسوب تجمع یافته بیشتر و موثرتر می‌باشد.

بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق می‌توان گفت سدهای سبک فلزی با طول کمتر از نه متر و عرض کمتر از پنج متر پایدار بوده، در صورت افزایش ابعاد آن از این مقادیر پایداری آن کاهش می‌یابد. بر این اساس برای پایداری مناسب این سدها باید ابعاد آن‌ها به نحو مشخص که طبق معادلات و روابط موجود بین آن‌ها قابل محاسبه است، تعیین و اعمال شود.

پیشنهادات

۱- با توجه به هزینه کم و عمر نسبتاً مفید سدهای سبک فلزی استفاده از آن در آبراهه‌های فرعی که در

منابع مورد استفاده

1. Abolghasami, H. 1984. The effect of dams on suspended load, erosion and sedimentation rivers. MSc Thesis, Agricultural fields, Irrigation, Tarbiat Modares University, 123 pages.
2. Akhtesasi, M., M. Kosari and M. Tazeh. 2007. Assessing the effects of transverse structures on changing the behavior of the bed and the flood, case study: Benadak Sadat basin. 4th National Conference on Watershed Management.
3. Bennet, H.H. 1939. Soil conservation. Mc-Graw, Hill Book Company, 993 pages.
4. Bombino, G., A.M. Gurnellb, V. Tamburinoa, D.A. Zema and S.M. Zimbenea. 2008. Sediment size variation in torrents with check dams: effects on riparian vegetation. Ecological Engineering, 32: 166-177.
5. Castillo, V.M., W.M. Mosch, C. Conesa García, G.G. Barberá, J.A. Navarro Cano and F. López-Bermúdez. 2007. Effectiveness and geomorphological impacts of check dams for soil erosion control in a semi-arid Mediterranean catchment: El Cárcavo (Murcia, Spain). Catena, 70: 416-427.
6. Chuan, R., Q. Luo, G. Zu-Hao Zhou and Zh. Xiao-Hua. 2008. Sediment retention by check dams in the Hekouzhen-Longmen Section of the Yellow River. International Journal of Sediment Research, 23(2): 159-166.
7. Dunbar, J., P. Allen and P. Highlyg. 1999. Multifrequency acoustic profiling for water reservoir sedimentation studies. Journal of Sedimentary Research, 69(2): 518-527.
8. Faraz, J.H. and M. Khalilzadeh. 2002. Effect of watershed dams corrective chek dams on the suspended load of Zyarat Basin. Ahvaz University, 7th International Seminar on River Engineering.
9. Goel, P.K., J.S. Samra and R.C. Bansal. 1996. Sediment retention by gabion structures in Bunga Watershed. Indian Journal of Soil Conservation, 24(2): 107-110.
10. Gray, D.H. and A.T. Leiser. 1982. Biotechnical slope protection and erosion control. Van Nostrand Reinhold Company, 54 pages.

11. Hassanli, A.M., A. Esmaeli Nameghi and S. Beecham. 2009. Evaluation of the effect of porous check dam location on fine sediment retention (a case study). *Environmental Monitoring Assess and Assessment*, 152: 319–326
12. Honxiong, Z. 1998. The use of silt traps dams in Zingzi river basin. *ASAE*, 12: 1064-1069.
13. Hudson, N.W. 1976. *Soil conservation*. London, Batsford.
14. McFarland, A. and L. Hauck. 1997. Report on the water quality of eight PI-556 reservoirs in the upper North Bosque Watershed, TIAER. Tarleton State University, Stephenville, TX.
15. Moore, C.M. 1996. Effect of small structure on peak flow, in effect of watershed change on stream flow. *Water Resources Symposium NO2*, Austin, Texas, October 1968, P101-117, University of Texas Press, Austin and London, 17 pages.
16. Nejafinejad, A. 2002. Watershed assessment report of Qorichai Ramyan, Iran. Agriculture Organization of Golestan Province.
17. Nyssen, J., M. Veyret-Picot, J. Poesen, J. Moeyersons, M. Haile, J. Deckers and G. Govers. 2004. The effectiveness of loose rock check dams for gully control in Tigray, Northern Ethiopia. *Soil Use and Management*, 20: 1-10.
18. Ric, J. 2000. The benefits of small watershed dams. Federal, State Agencies Team Up to Prevent Flooding and Sediment Runoff and to Protect Lives and Property.
19. Sadeghi, M.R. and M. Mahmoudi. 2005. Nomogram developed to estimate the volume of sediment in dams' reform. Proceedings of the 3rd National Conference on Erosion and Sedimentation, Tehran, Soil Conservation and Watershed Management Research Center.
20. Xu, X.Z., H.W. Zhang and O. Zhang. 2004. Development of check dam systems in gullies on the Loess Plateau, China. *Environmental Science and Policy*, 7(2): 79–86.
21. Ziaei, H. 1991. Principles of watershed engineering. Imam Reza University, Publication Institute of Astan Quds Razavi.