چهل و دومین گردهمایی (همایش) ملی
علوم زمین
The 42nd National Geosciences Congress
www.geoconf.ir

ارزیابی میزان رسوب زایی ناشی از فرسایش در حوزه‌های آبریز رودخانه ها وسازه های عمرانی به روش پسیاک (PSIAC)

عبدالرضا علی جانی*

*دانش آموخته دکتری رسوب شناسی – زمین شناسی مهندسی و مشاور ارشد ژئو تکنیک شرکت دانش خاک بتن

arz.alijani@yahoo.com

چکیده:

درمطالعات پایه پروژه های عمرانی ساماندهی رودخانه، مخازن سدها و حوزه های آبریز رودخانه ها برآورد میزان فرسایش پذیری و حجم رسوب ورودی و ارزیابی بار رسوبی حاصل شده به منظور اتخاذ تدابیر مهندسی و راهکارهای مربوطه بسیار حائز اهمیت می باشد. به منظور بررسی میزان فر سایش پذیری و ارزیابی رسوب حاصله در مطالعات طرح انجام شده واقع در بخشی از مسیر حوزه آبریز کارون، از روش پسیاک(PSIAC)به عنوان یکی از روش های کاربردی در ابن ارتباط استفاده گردید. در این روش ۹ عامل اصلی فرسایش مورد بررسی قرار می گیرد که یکی از مهم‌ترین آنها، عامل زمین شناسی سطحی ونوع لیتولوژی سازندهای زمین شناسی منطقه بوده که در این مطالعات بیشتر مد نظر بوده است. در مجموع با توجه به فرسایش پذیری و میزان رسوب ورودی به حوزه آبریز منطقه، طرح مورد مطالعه در کلاس ۲ (رسوب کم) رسوب دهی و شدت رسوب دهی عمدتا کم (ندرتا متوسط) قرار دارد، لیکن در راستای کاهش بیشتر رسوب زایی می توان تمهیدات لازم را با بکار بستن راهکارهای مناسب سازه ای و غیر سازه ای، مقاوم سازی شیب های تند، تراس بندی شیب های تند ، برم کشت گیاه، ایجاد دیوار حائل و نظایر آن و خصوصا ایجاد ایجاد سازه های تله انداز رسوب که قابل توصیه می باشد، استفاده نمود.

کلمات کلیدی : ارزیابی ، میزان رسوب زایی، فرسایش ، حوزه های آبریز، ، روش پسیاک (PSIAC)

۱. مقدمه

منبع اصلی تامین و تغذیه رودخانه ها و حوزه های رسوبی و حوزه های آبریز رودخاته، بواقع رسوب حاصل از فرسایش می باشد. از آنجائیکه همواره تعادلی فی‌مابین تغذیه رسوبی و ریخت شناسی(morphology) رودخانه ها برقرار می باشد، در صورت ایجاد هرگونه تغییری در این ریختار، اعم از عوامل طبیعی، غیر طبیعی و یا دخالت اتسانی، رودخانه یا حوزه آبریز نسبت به این تغییر واکنش نشان داده و متناسب با افزایش و یا کاهش رسوب ورودی یا خروجی، ریختار، پلان و پروفایل آن دچار تغییر خواهد شد.در بررسی منطقه ای ، ضمن آمار برداری از غلظت مواد رسوبی رودخانه های پیرامون طرح مورد مطالعه، نسبت به ارزیابی و تجزیه و تحلیل آمار رسوبی و داده های مرتبط در ایستگاه های نمونه برداری شده منتخب پرداخته و با انجام تصحیحات لازم متناسب عوامل ۹ گانه مرتبط با این داده هادر روش پسیاک به امتیاز بندی احجام رسوبی حاصله جهت تعیین نوع کلاس و میزان رسوب فرسایش دهی پرداخته می شود .(۴، ۱۰)

روش پسیاک در سال ۱۹۶۸ میلادی توسط کمیته مدیریت آب و خاک در آمریکا ارائه شد. این روش به منظور محاسبه شدت فرسایش خاک و تولید رسوب در مناطق خشک و نیمه خشک غرب آمریکا بکار گرفته شد. در ایران این روش، اولین بار در سال ۱۳۵۲ خورشیدی و در حوزه سد دز، مورد استفاده قرار گرفته است.در این روش، برآورد فرسایش و رسوب نسبت به دیگر روش ها، بیشترین عامل مؤثر در فرسایش مد نظر قرار گرفته است.

در این مدل، ۹ عامل مؤثر در فرسایش مد نظر قرار داده شده است که هر کدام از این عوامل ۹ گانه، بسته به شدت و ضعف خود امتیازی را به خود اختصاص می‌دهد و در نهایت با در نظر گرفتن این امتیازها، میزان رسوب دهی در حوزه مد نظر مشخص خواهد شد.

۲.مزایا و معایب روش پسیاک (PSIAC)

روش پسیاک دارای مزایا و معایبی به شرح ذیل می باشد:

مزایا:

با توجه به تعداد زیاد عوامل مؤثر در فرسایش ، این روش دارای دقت خوب و بالایی است.

میزان فرسایش را هم به صورت کیفی و هم کمی بیان می کند.

علاوه بر لحاظ عوامل مؤثر در فرسایش در زمان گذشته، عوامل امروزی را نیز مد نظر قرار داده است.

عوامل مؤثر در فرسایش را به طور نسبتا دقیق مورد ارزیابی قرار می‌دهد.

بر خلاف مدل پسیاک اصلاح نشده، امکان کمتر دخالت نظر شخصی کارشناسی و به عبارتی روش پسیاک اصلاح شده توصیف کیفی و روش پسیاک اصلاح نشده هم توصیف کیفی و هم محاسبه کمی عددی را لحاظ می‌نماید.

معایب :

در واقع عیب بزرگ این روش در میزان دقت لحاظ شده، می باشد. در ارزیابی صحیح هر یک از فاکتورهای ۹ گانه و تعیین اولویت آنها از نظر مؤثر بودن در تولید و ایجاد رسوب خواهد بود که بستگی به توانایی و تجربه کافی کارشناس مورد نظر خواهد داشت و لذا این مهم نیز با بکارگیری تجربه علمی و عملی کارشناسان باتجربه و قرار دادن فاکتورها به صورت معادلات فرمولی مناسب محاسبه می‌گردد.(۱،۶)

علاوه بر روش پسیاک جهت محاسبه فرسایش و رسوب زایی روش‌هایی نظیر: FAO، BLM ، و EPM و EURO SEM [1] که به دلیل فاکتورها و عوامل مورد بررسی کمتر، از دقت پایین ترین نسبت به روش پسیاک برخوردارند.

۳ـ برآورد تجربی رسوبات به روش (PSIAC)

در این روش برای ۹ عامل از مهم‌ترین عوامل مؤثر در فرسایش حدود حداقل و حداکثر امتیازاتی توصیه گردیده که با جمع امتیازات و تعیین امتیاز کل میزان پتانسیل فرسایش حوزه آبریز به این روش قابل برآورد خواهد بود.(۷،۸،۱۵)

در جدول (I) عوامل ۹ گانه، حدود ضرائب و فاکتورهای مؤثر و مهم برای تشخیص حدود امتیاز مربوط به هر یک از عوامل ارائه گردیده است.

لازم به توضیح می‌باشد که در روش پسیاک اصلاح شده (Modified PSIAC)[2] برای تعیین دقیق‌تر امتیاز مربوط به هر یک از عوامل روابطی پیشنهاد گردیده که در این مطالعات تا حد امکان از فرمول‌های تجربی فوق به همراه شناخت و ارزیابی از خصوصیات کیفی هر یک از عوامل ۹ گانه استفاده گردیده است.

موارد اصلی مؤثر در فرسایش در این روش عبارتند از: زمین‌شناسی سطحی، خاک، آب و هوا، جریان‌های سطحی (رواناب‌ها)، ناهمواری (پستی و بلندی)، پوشش گیاهی، نحوهٔ استفاده از زمین، فرسایش اراضی مرتفع و بلند و بالاخره فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب.

در جدول (I) امتیازات در نظر گرفته شده برای هر عامل و روش یا علت تخمین میزان کمی آن درج گردیده است. در ادامه توضیحاتی دربارهٔ هر یک از عوامل نامبرده ارائه می‌گردد:

1 . European Soil Erosion Model
2 . MPSIAC: Modify Pacific South-West Inter Agency Committee

جدول (I) امتیاز هر یک از عوامل ۹گانه در شرایط گوناگون

زمین شناسی سطحی	**(۱۰) رسوبات زیاد**	**(۵) رسوبات متوسط**	**(۰) رسوبات کم**
	الف ـ (شیل دریایی) ب ـ گچ و مارنهای آندیریت دار (خرد شده ـتکه تکه) ج ـ لایه سنگهای سخت و شیل د ـ ماسه سنگ‌ها	الف ـ سنگ‌هایی با سختی متوسط ـ سنگهای دگرگونی ب ـ سنگهای خرد شده یا هوا دیده متوسط ج ـ سنگ‌هایی با شکستگی متوسط د ـ گرانیتها (آذرین) ه ـ سنگهای آهکی نرم و ـ کنگلومرا ز ـ سنگ آهک با لایه‌های ضخیمض	الف ـ تشکیلات سخت و فشرده ب ـ دولومیت‌ها ج ـ لایه‌های بزرگ آبرفتی
خاک ها	**(۱۰) رسوبات زیاد**	**(۵) رسوبات متوسط**	**(۰) رسوبات کم**
	الف ـ بافت نرم با پراکندگی زیاد، شور، قلیایی، دارای قابلیت انبساط و انقباض زیاد ب ـ سیلت دانه‌ای و شن نرم ج ـ شنی د ـ بافت شنی ـ لومی از جنس گرانیت	الف ـ بافت متوسط ب ـ دارای قطعات تخته سنگی به طور پراکنده ج ـ لایه‌های آهکی د ـ بافت قلوه‌سنگی (بین ۳۰ تا ۵۰ درصد حجم)	الف ـ دارای درصد زیادی از تخته‌سنگ ب ـ رس‌های با ساختمان محکم ج ـ بالا بودن مقدار مواد آلی خاک
آب و هوا	**(۱۰) رسوبات زیاد**	**(۵) رسوبات متوسط**	**(۰) رسوبات کم**
	الف ـ باران‌های چند روزه همراه با دوره‌های کوتاهی از رگبار تند ب ـ ورود رگبارهای شدید بطور متناوب ج ـ آب و هوای خشک با شدت باران زیاد د ـ وجود جریان های حاصل از ذوب برف	الف ـ وجود بارندگی با مدت و شدت متوسط ب ـ رگبارهای متناوب	الف ـ آب و هوای مرطوب با بارندگی‌های با شدت کم ب ـ اکثر بارندگی به شکل برف ج ـ یخ بستن و ذوب شدن د ـ آب هوای خشک با وجود بارندگی مداوم ولی بسیار کم

ادامه جدول (I) امتیاز هر یک از عوامل۹گانه در شرایط گوناگون

جریانهای رواناب) سطحی	**(۱۰) رسوبات زیاد**	**(۵) رسوبات متوسط**	**(۰) رسوبات کم**
	الف ـ بالا بودن دبی حداکثر در واحد سطح ب ـ حجم زیاد جریان آب در واحد سطح ج ـ خاک‌های هیدرولوژیکی گروه D د ـ خاک‌های هیدرولوژیکی گروه C	الف ـ دبی حداکثر متوسط ب ـ حجم متوسط جریان آب در واحد سطح ج ـ خاک‌های هیدرولوژیکی گروه B	الف ـ پایین بودن دبی حداکثر در واحد سطح ب ـ حجم کم جریان آب در واحد سطح ج ـ جریان‌های سطحی نادر د ـ خاک‌های هیدرولوژیکی گروه A
ناهمواری (پستی و بلندی)	**(۱۰) رسوبات زیاد**	**(۵) رسوبات متوسط**	**(۰) رسوبات کم**
	الف ـ مناطق با شیب تند (یا بیش از ۳۰٪) ب ـ ارتفاع زیاد، پستی و بلندی زیاد ج ـ بسترهای با شیب تند د ـ پستی و بلندی های سیل گیر	الف ـ فلات با شیب متوسط (کمتر از ۲۰٪) ب ـگسترش مناطق سیل گیر با واحدهای فیزیوگرافی بادبزنی شکل	الف ـ مناطق با شیب آرام (کمتر از ۵٪) ب ـ دشت آبرفتی گسترده
پوشش گیاهی محدود	**(۱۰) رسوبات زیاد**	**(۰) رسوبات متوسط**	**(۱۰-) رسوبات کم**
	الف ـ پوشش زمین کمتر از ۲۰٪ ب ـ پوشش گیاهی پراکنده و بقایای گیاهی محدود ج ـ عدم وجود قلوه سنگ در سطح خاک	الف ـ پوشش زمین کمتر از ۴۰٪ ب ـ بقایای گیاهی قابل توجه ج ـ وجود درخت بطور پراکنده و متراکم	الف ـ سطح زمین کاملا پوشیده از نباتات ، بقایای گیاهی و قلوه سنگ بیش از ۷۰ درصد ب ـ احتمال رسیدن باران به مواد فرسایش پذیر کم باشد.
نحوه استفاده از زمین و (کاربری	**(۱۰) رسوبات زیاد**	**(۰) رسوبات متوسط**	**(۱۰-) رسوبات کم**
	الف ـ بیش از ۵۰٪ تحت کشت ب ـ تقریبا تمام سطح تحت چرای متراکم ج ـ بقایای گیاهی در تمام سطح بتازگی سوزانده شده است. د ـ پوشش جنگلی به تازگی بریده شده ه ـ بریدگی‌های عبور جاده زیاد باشد.	الف ـ کمتر از ۲۵٪ کشت شده ب ـ کمتر از ۵۰٪ سطح کشت چرای مفرط ج ـ کمتر از ۵۰٪ پوشش جنگلی با تازگی قطع شده. د ـ وجود جاده‌های معمولی و دیگر آبینه	الف ـ زمین بایر ب ـ میزان چرا محدود ج ـ به تازگی قطع اشجار نشده د ـ بدون جاده و معبر

ادامه جدول (I) امتیاز هر یک از عوامل۹گانه در شرایط گوناگون

فرسایش اراضی مرتفع و بلند	**(۲۵) رسوبات زیاد**	**(۱۰) رسوبات متوسط**	**(۰) رسوبات کم**
	الف ـ وجود فرسایش شیاری ،گالی و توده‌ای در بیش از ۵۰٪ سطح اراضی ب ـ بالا بودن میزان فرسایش	الف ـ وجود انواع مختلف فرسایش در حدود ۲۵٪ سطح اراضی ب ـ فرسایش بادی با رسوب‌گذاری در کانال‌های آب ج ـ فرسایش متوسط	الف ـ عدم وجود علایم فرسایش ب ـ فرسایش کم
فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب	**(۲۵) رسوبات زیاد**	**(۱۰) رسوبات متوسط**	**(۰) رسوبات کم**
	الف ـ فرسایش کناری رودخانه به طور دائم یا متناوب با عمق جریان طویل‌المدت ب ـ فرسایش ابتدای سرشاخه‌ها و کاهش ارتفاع آنها	الف ـ جریان با عمق و تواتر متوسط با فرسایش کناره یا بستر به طور متناوب	الف ـ انهار پهن و کم‌عمق با شیب مسطح و جریان کوتاه‌مدت ب ـ بستر رودخانه بر روی توده‌های عظیم صخره با قطعات بزرگ سنگ یا در سطوح با پوشش گیاهی خوب ج ـ انهار کنترل شده

۴ـ بحث

در ذیل به تشریح چگونگی امتیازدهی هر یک از عوامل ۹ گانه فرسایش پذیری و رسوبزایی پرداخته میشود.

۱) بر اساس مطالعات زمین‌شناسی در منطقه طرح آزمایشی، میزان و درصد واحدهای مختلف پوشش‌های سنگی گسترش یافته در سطح زیر حوزه‌های آبریز مورد نظر که بر اساس گزارش‌ها و نقشه‌های تهیه شده در خصوص زمین‌شناسی منطقه و محدودهٔ طرح آزمایشی می‌گردد، نوع سازندهای زمین شناسی و جنس لایه های آن مشخص می شود.

لذا پتانسیل هر یک از واحدهای سازندهای مذکور چه به لحاظ نفوذپذیری و چه به لحاظ فرسایش بر اساس ارزیابی‌ها و برداشت‌های صحرایی تعیین می گردد.

بطور مثال در یک منطقه طرح مطالعاتی آزمایشی (در حوزه آبریز کارون برای مثال) در صورتیکه منطقه طرح متشکل از پوشش های سنگی به شرح زیر باشد:

- سنگ اهک (سازند آسماری و سروک) = ٪۴۰ - دارای فرسایش خیلی کم (با امتیاز ۱) 40%×1=0.40
- شیل و مارن (سازند پابده و گورپی) = ٪۲۰ - دارای فرسایش زیاد (با امتیاز ۸) 20%×8=1.60
- سنگ آغاجاری = ٪۱۰ - دارای فرسایش متوسط (با امتیاز ۵) 10%×5=0.50
- نهشته‌های کواترنر = ٪۵ - دارای فرسایش خیلی زیاد (با امتیاز ۵) 5%×10=0.50
- سازند کنگلومرای بختیاری = ٪۲۰ - دارای فرسایش کم (با امتیاز ۳) 20%×3=0.60
- سازند گچساران = ٪۵ - دارای فرسایش خیلی زیاد (با امتیاز ۱۰) 5%×10=0.50

به این ترتیب در سطح زیر حوزه طرح مورد مطالعه حدود ۱۰ درصد از حوزه آبریز دارای فرسایش خیلی زیاد، ۲۰ درصد حوزه دارای فرسایش‌پذیری زیاد، ۱۰ درصد حوزه دارای فرسایش پذیری متوسط، ۲۰ درصد دارای فرسایش‌پذیری کم و بالاخره ۴۰ درصد از مساحت حوزه آبریز دارای فرسایش‌پذیری خیلی کم می‌باشد.

بر اساس جدول (II) امتیاز مربوط به ردیف زمین‌شناسی سطحی برای رسوبات خیلی زیاد ۱۰، رسوبات متوسط ۵ و رسوبات کم صفر می‌باشد.

به این ترتیب همانطور که در ستون توضیحات ردیف اول جدول (II) نیز ملاحظه می‌گردد بااختصاص امتیاز ۱۰ برای رسوبات خیلی زیاد، ۸ برای رسوبات زیاد، ۵ برای رسوبات متوسط، ۳ برای رسوبات کم و بالاخره ۱ برای رسوبات خیلی کم اقدام به برآورد جمع امتیاز مربوط به زمین‌شناسی برای حوزه آبریز منطقه آزمایشی طرح گردید که در ردیف توضیحات جدول (II) محاسبات آن ارائه گردیده است. به این ترتیب بر اساس محاسبات جمع امتیاز مربوط به زمین‌شناسی منطقه طرح مورد نظر، معادل ۴/۱۰ برآورد گردید.

۲) برای انتخاب امتیاز مربوط به خاک حوزه آبریز مورد نظر آزمایشی با توجه به نتایج بازدیدهای میدانی و محلی و ارزیابی‌های بعمل آمده در مجموع بافت خاک حوزه به لحاظ ایجاد فرسایش در ردهٔ متوسط ارزیابی گردیده و امتیازی معادل ۵ به آن تعلق گرفت. حوزه آبریز دارای بافت متوسط، وجود قطعات تخته سنگی بطور پراکنده و وجود لایه‌های آهکی و ماسه‌سنگی بوده است.(۲،۳)

۳) در روش PSIAC تصحیح شده بر اساس روابط تجربی معادلاتی برای برآورد برخی از امتیازات حوزه‌های آبریز ارائه گردیده است.

بر اساس این روش برای پارامتر آب و هوا از فرمول زیر استفاده شده است:

$$X=0.2P_2$$

که در آن P_2 مقدار بارندگی ۶ ساعته حوزه آبریز با دوره بازگشت ۲ سال می‌باشد. مقدار حداکثر رگبار حوزه آبریز منطقه آزمایشی طرح بازای تداوم‌های زمانی مختلف و دوره بازگشت‌های متفاوت طی مطالعات هواشناسی مورد ارزیابی لحاظ شده است.

بر اساس محاسبات مد نظر: شدت حداکثر رگبار ۶ ساعته در تناوب ۲ سال حدود ۵ میلیمتر بر ساعت می‌باشد که معادل وقوع ریزشی برابر ۳۰ میلیمتر طی ۶ ساعت در تناوب ۲ سال منظور گردیده است.

به این ترتیب بر اساس فرمول پیشنهادی روش پسیاک تصحیح شده مقدار امتیاز مربوط به آب و هوا معادل ۶/۰ برآورد خواهد شد.

۴) برای جریان‌های سطحی (روانابها) نیز بر اساس روابط پیشنهادی روش پسیاک اصلاح شده عمل گردید. در این روش رابطه پیشنهادی برای تعیین امتیاز مربوط به جریان‌های سطحی به شرح زیر می‌باشد:

$$X=0.006R+10Q_P$$

که بر این اساس، امتیاز مربوط به جریان‌های سطحی حوزه آبریز مطابق رابطه فوق معادل ۲/۷ برآورد گردیده است.

که در آن R ارتفاع رواناب سالانه بر حسب میلیمتر (۲۰۰ میلیمتر) و Q_P دبی ویژه حداکثر سیلاب حوزه در دوره بازگشت ۲ سال ($Q_p=0.15m^3/sec/Km^2$) می‌باشد.

۵) به منظور برآورد امتیاز ناهمواری مندرج در جدول مربوطه، و بر مبنای روش پسیاک تصحیح شده مطابق رابطه زیر عمل گردید:

$$X=0.33S$$

که در آن S متوسط شیب حوزه آبریز به درصد و X امتیاز مربوط به ناهمواری می‌باشد.

برای حوزهٔ آبریز منطقه طرح آزمایشی، میانگین شیب حوزه آبریز ۳۰ درصد محاسبه شده که به این ترتیب امتیاز مربوط به ناهمواری معادل ۹/۹ برآورد گردید.

۶) امتیاز مربوط به پوشش گیاهی حوزه آبریز منطقه آزمایشی طرح بر اساس بازدیدهای منطقه‌ای و بررسی‌های بعمل آمده بر مبنای تخمین درصد اراضی سخت و فاقد پوشش تعیین گردید. فرمول پیشنهادی روش پسیاک تصحیح شده مطابق معادله زیر می‌باشد:

$$X=0.2P_b$$

که در آن P_b درصد اراضی سخت و فاقد پوشش ($P_b=30\%$) و X امتیاز مربوط به وضعیت پوشش زمین (پوشش گیاهی) می‌باشد.

لازم به ذکر است که به طور کلی وجود پوشش گیاهی، سنگ و لاشبرگ خاک را محافظت نموده و جلوی فرسایش خاک را می‌گیرد. در نتیجه بخشی از اراضی که فاقد این نوع پوشش‌ها باید آمادگی بیشتی در مقابل فرسایش خاک خواهند داشت.(۵،۱۱) در روش پسیاک این بخش از اراضی سخت و فاقد پوشش تلقی می‌گردند. با توجه به تخمین درصد اراضی سخت و فاقد پوشش مقدار امتیاز پوشش گیاهی حوزه معادل ۶ برآورد گردید.

۷) در مورد نحوه استفاده از اراضی حوزه آبریز منطقه طرح آزمایشی، بر اساس رابطه پیشنهادی در روش پسیاک تصحیح شده مندرج در جدول مربوطه، مطابق رابطه زیر برآورد گردید:

$$X=20-0.2b$$

که در آن b درصد تاج پوشش گیاهی (شامل اراضی زراعی و مرتع) و X امتیاز مربوط به نحوهٔ استفاده از اراضی حوزه می‌باشد. ($b=70\%$) به این ترتیب بر اساس نتایج بررسی‌های منطقه‌ای و جمع‌بندی‌های حاصله، مقدار ضریب فوق، معادل ۶ برآورد گردید.

۸) با توجه به اطلاعات طرح آزمایشی مورد نظر در صورتی که در منطقه طرح با بررسی های صورت گرفته، فرسایش های بادی در حوزه مشاهده نشده باشد و به عبارتی فرسایش اصلی منطقه عمدتاً از نوع آبی بوده باشد و فرسایش از نوع بادی فاقد تأثیر و یا تأثیر بسیار کمتری در حوزه منطقه طرح آزمایشی خواهد داشت. لذا در شرایطی که حدود ۴۰٪ اراضی پتانسیل فرسایش پذیری متوسط در محدوده امتیاز صفر تا ۲۵ داشته باشند، امتیاز مربوط به این عامل فرسایش (حدود ۴۰٪ اراضی) معادل ۱۰ خواهد بود.

۹) در زمینهٔ فرسایش آبی نیز با لحاظ حدود ۵۰٪ فرسایش رودخانه‌ای در منطقه طرح آزمایشی، عمدتاً وقوع فرسایش از نوع ورقه‌ای (یا لایه‌ای) و نیز تا حدی فرسایش از نوع شیاری بوده که به دلیل وقوع بارندگی‌های کوتاه‌مدت شدید در منطقه طرح آزمایشی و وجود نواحی با شیب متوسط و بعضاً کمبود پوشش گیاهی متوسط و پوشش بخش‌هایی از حوزه آبریز از سازندهای نرم و فرسایش‌پذیر منطقه بوده است که از اهمیت نسبتاً بالایی برخوردار خواهد بود، (حدود ۵۰٪ اراضی) مقدار امتیاز لحاظ شده این عامل معادل ۱۲/۵ خواهد بود.

لذا در کل بر اساس مقادیر اختیار شده جمع کل امتیازات حوزه آبریز طرح آزمایشی مورد نظر معادل ۶۲/۲۰ برآورد گردیده که توسط رابطه زیر میانگین حجم سالانه فرسایش در حوزه قابل تخمین خواهد بود.

$$Q_S=38.77 \exp (0.0358 R)$$

که در آن R جمع امتیازات و Q_S میزان فرسایش حوزه بر حسب مترمکعب در سال بر کیلومتر مربع می‌باشد.
به این ترتیب بر اساس جمع امتیاز مربوط به رسوب میزان فرسایش حوزه آبریز معادل ۲۷۱/۱۰ متر مکعب در سال بر کیلومتر مربع برآورد و با منظور نمودن متوسط وزن مخصوص مواد رسوبی معادل ۱/۵۰ تن بر متر مکعب میزان فرسایش حوزه آبریز بالغ بر ۴۰۰ تن در سال (معادل ۴۰۶/۶۵ تن در سال) بر کیلومتر مربع قابل تخمین بوده است.

جدول (II): برآورد امتیازات مربوط به عوامل فرسایش به روش PSIAC در حوزه آبریزی به مساحت حدود $300Km^2$ کیلومتر مربع

ردیف	عامل فرسایش	امتیاز	توضیحات
۱	زمین شناسی سطحی (۱۰ تا ۰)	۴/۱۰	۱۰٪ حوزه دارای فرسایش خیلی زیاد ۲۰٪ حوزه دارای فرسایش زیاد ۱۰٪ حوزه دارای فرسایش متوسط ۲۰٪ حوزه دارای فرسایش کم ۴۰٪ حوزه دارای فرسایش خیلی کم (۰/۱×۱۰+۰/۲×۸+۰/۱×۵+۰/۲×۳+۰/۴×۱)=۴/۱۰
۲	خاک (۱۰ تا ۰)	۵	بافت متوسط و دارای قطعات تخته سنگی
۳	آب و هوا (۱۰ تا ۰)	۶/۰	$X=۰/۲P_2$ میزان بارندگی ۶ ساعته با دوره بازگشت ۲ سال (mm) $P_1=۳۰$ $X=۰/۲×۳۰=۶/۰$
۴	جریان‌های سطحی (روانابها) (۱۰ تا ۰)	۲/۷	$X=۰/۰۰۶R+۱۰Q_P$ ارتفاع رواناب سیلابی سالانه (mm) $R=۲۰۰$ دبی ویژه حداکثر سیل با دوره بازگشت ۲ سال $(m^3/sec/km^2)$ $Q_P=۰/۱۵۰$ $X=۰/۰۰۶×۲۰۰+۱۰×۰/۱۵۰=۲/۷$
۵	ناهمواری (پستی و بلندی) (۲۰ تا ۰)	۹/۹	$X=۰/۳۳S$ شیب متوسط حوزه (٪) $S=۳۰$ $X=۰/۳۳×۳۰=۹/۹$
۶	وضعیت پوشش زمین (پوشش گیاهی) (۱۰+ تا ۱۰-)	۶	$X=۰/۲P_b$ درصد اراضی سخت و فاقد پوشش $P_b=۳۵$ $X=۰/۲×۳۰=۶$
۷	نحوه استفاده از اراضی (۱۰+ تا ۱۰-)	۶	$X=۲۰-۰/۲b$ درصد تاج پوشش گیاهی (اراضی زراعی و مرتع) $b=۷۰$ $X=۲۰-۰/۲۰×۷۰=۶$
۸	فرسایش اراضی مرتفع و بلند (۲۵ تا ۰)	۱۰	وجود انواع مختلف فرسایش در حدود ۶۰ درصد از سطح اراضی ـ فرسایش متوسط

۹	فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب (۲۵ تا ۰)	۱۲/۵	جریان با عمق و تواتر متوسط با فرسایش کناره یا بستر بطور متناوب (حدود ۵۰٪)
جمع امتیاز : ۶۲/۲۰			

۶ـ نتیجه گیری

به منظور تعیین رده یا کلاس رسوبزایی در هر منطقه و حوزه آبریز رودخانه‌ها، ابتدا با توجه به نتایج حاصل از امتیازبندی عوامل ۹ گانه روش پسیاک و تعیین حجم رسوب ویژه منطقه طرح ($ton/Year/Km^2$) با لحاظ عدد تعیین شده در جدول ذیل (جدول III) ، نسبت به تعیین درجه رسوب، شدت رسوب‌دهی و کلاس یا رده رسوب‌دهی اقدام می‌گردد.

جدول (III) تعیین کلاس رسوب دهی رسوب ویژه

کلاس رسوب دهی	شدت رسوب دهی	درجه رسوب	رسوب ویژه ($Ton/Year/Km^2$)
۱	خیلی کم	۰-۲۵	کمتر از ۲۰۰
۲	کم	۲۵-۵۰	۲۰۰~ ۵۰۰
۳	متوسط	۵۰-۷۵	۵۰۰~۱۵۰۰
۴	زیاد	۷۵-۱۰۰	۱۵۰۰~۲۵۰۰
۵	خیلی زیاد	بیشتر از ۱۰۰	بیشتر از ۲۵۰۰

لذا با توجه به میزان رسوب ویژه منطقه طرح آزمایشی مورد نظر که عددی معادل ۴۰۶/۶۵ تن در سال بر کیلومتر مربع بوده است، درجه رسوب در حد ۵۰-۲۵ شدت رسوب دهی در حد کم و کلاس بازده رسوب دهی در حد کلاس ۹ می باشد و به عبارتی منطقه طرح آزمایشی مورد نظر از نظر میزان فرسایش پذیری حوزه آبریز رودخانه ای و به عبارتی رسوبزایی یا رسوب دهی آن در حد کم خواهد بود. (۹،۱۲،۱۳) که با توجه به عدد رسوب حاصله شده و کلاس آن هر چند رسوبزایی در حد کم می باشد، لیکن در راستای کاهش بیشتر رسوبزایی، می توان تمهیدات لازم را با به کار بستن راهکارهایمناسب در راستای کاهش هر چه بیشتر فرسایش پذیری و کنترل رسوبزایی در منطقه طرح منتهی به مخزن سد مورد نظر، اقدام عملی مناسب را بعمل آورد. (۱۴)

۶ـ راهکارهای پیشنهادی:

مناسب ترین و مهم ترین راهکارها و روش های پیشگیری از فرسایش بیشتر و رسوبزایی حوزه‌های آبریز رودخانه ای و بالتبع رسوب گذاری رسوب آنها و مخازن سدها، توجه به مطالعات پایه و عمدتاً استفاده از روش های کنترل فرسایش و رسوب می باشد که اهم این راهکارها شامل موارد ذیل است:

۱ـ نگاه ویژه به مطالعات پایه، خصوصاً مطالعات هیدرولوژی، کلیماتولوژی و زمین شناسی منطقه طرح با لحاظ نمودن منابع مالی مورد نیاز در طرح‌های عمرانی.

۲ـ انجام و بررسی‌های جامع و اندازه‌گیری دقیق پارامترهای اقلیمی مرتبط با دبی آب و دبی رسوب حوزه‌های آبریز مناطق مطالعاتی.

۳ـ ایجاد و احداث ایستگاه های هواشناسی دقیق، مکفی و مورد نیاز در مناطق مختلف کشور (حتی‌الامکان ایستگاه‌های سینوپتیک)

۴ـ آموزش کارشناسان و تکنسین های مرتبط با آماربرداری و نمونه برداری صحیح پارامترهای اقلیمی و سنجش دقیق نمونه های آب و رسوب ورودی به ایستگاه های نمونه برداری.

۵ـ تجزیه و تحلیل دقیق داده های آماری و آنالیز نتایج حاصله جهت برآورد دقیق میزان دبی آب و دبی رسوب و میزان فرسایش پذیری و رسوبزایی سازندهای زمین شناسی منطقه و جمعبندی نتایج مطالعات پایه حاصله، قبل از آغاز هر گونه عملیات اجرایی و پروژه های عمرانی.

۶ـ لحاظ نمودن استراتژی مناسب و متناسب با روش‌های کنترل فرسایش در منطقه و محدوده مطالعاتی با انتخاب روش متناسب با نوع خاک، آب و هوا، خصوصیات حوزه و شرایط آبخیزداری منطقه طرح مورد نظر و به حداقل رساندن سطح و زمان تخریب خاک و حفاظت از خاک های عریان و فاقد پوشش و همچنین افزایش پوشش گیاهی با حداکثر سطح ممکن، افزایش نفوذپذیری خاک به حداکثر میزان ممکن و مدیریت شیب اراضی به منظور جلوگیری از تمرکز جریان با احداث زهکش ها به منظور هدایت زه آب ها.

۷ـ استفاده از روش های سازه ای و غیر سازه ای (بیولوژیکی و مدیریتی) کنترل فرسایش با انجام برنامه ریزی های مناسب و مدون اجرایی و حفاظتی متناسب با شرایط محل و موقعیت منطقه مورد مطالعه شامل:

ـ روش‌های سازه ای: با هدف کنترل و کاهش سرعت رواناب سطحی نظیر کنترل شیب بستر در سازه‌های عمرانی، کانال های انحرافی، آبراهه های با و بدون پوشش گیاهی و همچنین سازه های حفاظت کننده آبراهه ها نظیر احداث گابیون (Gabion basket) ، خشکه چین (RIPRAP) سدهای اصلاحی و کنترلی (Checkdams) و حوضچه های ترسیب رسوب (Setting Basins).

ـ روش‌های بهره برداری یا روش های مدیریتی: با انجام برنامه ریزی و نظارت دقیق بر عملیات اجرایی به منظور کاهش فرسایش سطح حوضه، شامل نظارت بر عملیات کشاورزی و یا ساختمانی در سطح منطقه و حوضه به منظور جلوگیری از دست خوردگی سطح خاک.

ـ روش های بیولوژیکی: مبتنی بر توسعه پوشش گیاهی بخصوص در مناطق با اقلیم خشک و نیمه خشک. و توصیه این متد به عنوان اولویت اول انتخاب روش کنترل روش به دلایل کم هزینه تر بودن آن و نیاز زمانی کمتر جهت واقعیت و نگهداری در این روش نسبت به سایر روش های کنترل فرسایش.

۸ت انحراف بخشی از جریان پر از رسوب رودخانه اصلی و ذخیره آن در استخر فرعی خارج از مسیر اصلی رودخانه (off-stream reservoir) ، در صورت امکان انجام و احداث گودال طبیعی یا حوضچه کوچک در مجاورت رودخانه به منظور ذخیره آب و تخلیه رسوبات نهشته شده.

۹ـ مقاوم سازی شیب های تند ورودی رسوب به مخازن سدها با انجام تمهیدات لازم. نظیر: تراس بندی مناسب، کشت گیاه یا ایجاد دیواره های حایل پایدار بوسیله سنگ گابیون و نظایر آن، ایجاد سیستم زهکشی مناسب، مهار نمودن توده های سنگ، ایجاد و استفاده از موانع و مصالح ساحلی به منظور جلوگیری از باتلاقی شدن بخش هایی از ساحل دریاچه مخازن، استفاده از توری یا ژئوتکستایل برای حفاظت شیب ها و جلوگیری از پر کردن یا تخلیه کردن سریع مخزن سد به منظور بهره برداری مناسب از مخازن سدها.

۱۰ـ انتخاب و استفاده بهینه از روش‌های کنترل رسوب نظیر طراحی و احداث سدهای اصلاحی یا سازه‌های کنترل (Grade control structure) در سرشاخه رودخانه‌های با شیب توپوگرافی تند بصورت سدهای متوالی در راستای کاهش شیب مسیر رودخانه و کاهش سرعت جریان و کاهش میزان حرکت بار بستر و جلوگیری از کف کنی رودخانه و همچنین ایجاد حوضچه های ترسیب رسوب، نظیر:

- احداث حوضچه های ترسیب بار معلق، عمدتاً در مناطق شهری و به منظور ترسیب بار معلق رسوبات ریزدانه رسی و سیلتی در مخازن و حوضچه ها.
- احداث حوضچه های ترسیب بار بستر، به منظور کاهش سرعت جریان و ترسیب بار بستر رسوبات درشت دانه شن و ماسه ای و قلوه سنگی در حوضچه ها و مخازن سدها.

در مجموع، با لحاظ معایب و محاسن کلیه روش ها ی کنترل فرسایش و رسوب زایی، علیرغم هزینه های بعضا بالاتر، روش های ایجاد تله انداز رسوب نسبت به سایر روش ها بسیار موثرتر بوده و به عنوان اولویت اول انتخاب و قابل توصیه خواهد بود.

۷.منابع:

۱ـ ارومیه‌ای. ا ، رستگارلاری، ع. وم. ، کیمان فرد، ۱۲۸۱،پهنه‌بندی خطر فرسایش و برآیند میزان رسوب‌زایی در حوضه آبریز سد درودزن، مجموعه مقالات سومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ص ۱۰ تا ۳۴.

۲ـ فیض نیا، س، ۱۳۸۷، رسوب‌شناسی کاربردی با تأکیدی بر فرسایش خاک و تولید رسوب: انتشارات دانشکدهٔ علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

3- Alijani, A.R., et al. (2016) Evaluating the Amount of Erodability and Sedimentation by Comparing Sediment Weight Model and PSIAC Experimental Model (Case Study: Lali Water Catchment, Khuzestan, Iran). Open Journal of Geology, 6, 691-702.http://dx.doi.org/10.4236/ojg.2016.68053.

4-Alijani, A.R., et al. (2016) Evaluating the Amount of Erodability and Sedimentation by Comparing Sediment Weight Model and PSIAC Experimental Model (Case Study: Lali Water Catchment, Khuzestan, Iran). Open Journal of Geology, 6, 691-702.http://dx.doi.org/10.4236/ojg.2016.68053

5- Brown, A.G., Carey, C., Erkens, G., Fuchs, M., Hoffman, T., Macaire, J.J., Molenhauer, k.m, and D. E., Walling, 2009. From sedimentary records to sediments budgets multiple approaches to catchment sediments flex: Geomorphology V. 108, (1-2) P. 35-47.

6- Colman, D.J., and F.N., Seatena, 1986, Identification and evaluation of sediment sew us. In R.I., Hardly, (Ed.). Drainage Basim sediment Delivery: IAHS Publication, V. 159. P. 3-18.

7- Fradkin, Philip L.A. River No More, the Colorado River and the west Berkely: Yniversity of California, Press, 1996.

8. Grams, PE, and J.C., Schmidt, 2005, Eqnilibrium or indeterminate? Where sediments budgets fail: sediment mass balance and adjustment of channel form, Green River down stream from flaming Gorge Dam, Utah and Colorals: Geomorphology, V 71 (1), P. 156-181.

9- Jones, S.J., 2004, Tectonic controls on dravinage evolution and development of Terminal allurial fans, Southern Pyrenees, Spein, Terra Nova, V. 16. P. 121-127.

10- Text book of lithology, K.C.Jackson, Nature and Geology Publication, 2008.

11- Veatot. D., and J., Poesen, 2005, Predicting soil erosion and sediment field at the basic scale scale issue and sediment – quantitatine models: Earth science reviews, v. 71, p. 95-125.

12-Alijani, A.R., et al. (2016) Evaluating the Amount of Erodability and Sedimentation by Comparing Sediment Weight Model and PSIAC Experimental Model (Case Study: Lali Water Catchment, Khuzestan, Iran). Open Journal of Geology, 6, 691-702.http://dx.doi.org/10.4236/ojg.2016.68053

13- Alijani, A.R., et al. (2016) Evaluating the Amount of Erodability and Sedimentation by Comparing Sediment Weight Model and PSIAC Experimental Model (Case Study: Lali Water Catchment, Khuzestan, Iran). Open Journal of Geology, 6, 691-702.http://dx.doi.org/10.4236/ojg.2016.68053.

14- P. Kerssens, A. Prins and L. Van Rijn, 1979. "Model for Suspended sediment transport", Journal of Hydraulic Division, ASCE.

15. Sui, J., He, Y., and C., Lin, 2009, changes in sediment transport in Kuye River in the loess platean in China, International Journal of sethiment Research, V 24 (2), P. 201-213.