



محاسبه میزان فرسایش و رسوب حوزه آبخیز آزاد رود نشتارود با مدل های *RUSLE* و *MPSIAC* مبتنی بر فن آوری سیستم اطلاعات جغرافیائی (*GIS*)

فرشاد میردار هریجانی ¹ محمد رضا جوادی ² شعبانعلی غلامی ²

¹- دانشجوی کارشناس ارشد آبخیزداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور.

²- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور.

مازندران- شهرستان نور ابتدای جاده چمستان دانشگاه آزاد اسلامی گروه مهندسی منابع طبیعی- مرتع و آبخیزداری

(Mail: Mjavadi26@yahoo.com)

چکیده

آثار سوء پدیده فرسایش و هدررفت خاک در کوتاه مدت ممکن است چندان چشمگیر و محسوس نباشد، ولی در بلند مدت یکی از عوامل اصلی در کاهش حاصلخیزی خاک، کاهش محصول، رسوب مواد در آبراهه ها، کانال های آبیاری و رودخانه ها، کاهش ظرفیت مخازن و عمر سدها، وقوع سیل و آلودگی محیط زیست می باشد. این تحقیق با هدف برآورد میزان فرسایش و رسوب حوزه آبخیز آزاد رود نشتارود واقع در استان مازندران با مساحتی بالغ بر ۲۲۳۳۰ هکتار مبتنی بر فن آوری سیستم اطلاعات جغرافیائی (*GIS*) و مدل های *RUSLE* و *MPSIAC* انجام گرفته است. در این تحقیق، لایه های مورد نیاز مدل ها در محیط *GIS* و نرم افزار *ArcHydro* تهیه شد و در نهایت با تلفیق لایه های به دست آمده میزان فرسایش در حوزه آبخیز به ترتیب در مدل های *RUSLE* و *MPSIAC* برابر ۲.۷ و ۳.۸ تن در سال برآورد شده است. همچنین مقدار رسوب حوزه آبخیز در هر دو روش برابر ۱.۲ و ۱.۵ تن در سال برآورد گردیده است. مقایسه این دو مدل نشان می دهد که روش *RUSLE* برای این حوزه آبخیز با توجه به آزمون مجموع حداقل مربعات میانگین *R.S.S* و روش *MPSIAC* با توجه به آزمون انحراف معیار، کمتر جهت برآورد رسوب حوضه مناسب تشخیص داده شد.

واژگان کلیدی: فرسایش و رسوب، حوزه آبخیز آزاد رود، *ArcHydro*, *MPSIAC*, *RUSLE*

مقدمه :

فرسایش صرف نظر از انواع شکلی آن، پدیده ای کهن به قدمت پیدایش خشکی ها در کره زمین است. پیامدهای فرسایش خاک توسط برخی از پژوهشگران به حدی خطرناک قلمداد شده است که شکوفائی و نابودی تمدن های پیشین را به این پدیده نسبت داده اند. هر چند قدمت فرسایش خاک برابر عمر کره زمین است ولی در قرن بیستم به دلیل افزایش جمعیت و استفاده بیش از حد از زمین تخریب خاک سیر صعودی داشته است و خسارات فراوانی از طریق هدر رفت خاک و انباشت رسوبات در مخزن سدهای ذخیره ای، کانال های آبرسانی، بستر رودخانه ها و سطح اراضی کشاورزی به کشور وارد می شود. به طور مثال، افزایش ۴۵۰ درصدی میزان فرسایش خاک در کشور طی سال های ۱۳۳۰ تا ۱۳۷۸ نشانگر بحرانی بودن وضعیت فرسایش و لزوم کنترل آن در ایران می باشد (احمدی، ۱۳۷۸). در طبیعت، معضل



فرسایش خاک در مقابل پدیده خاک‌سازی^۱ قرار دارد و عوامل مختلف طبیعی و انسانی در بروز و تشدید فرسایش نقش دارند. در بررسی عوامل فرسایش خاک اساساً نمی‌توان عامل مشخص و معینی را بعنوان عامل اصلی فرسایش در یک منطقه معرفی نمود و فرسایش موجود را باید معلول تأثیرات متقابل مجموعه عوامل و عناصر مؤثر در ایجاد فرسایش دانست. فرسایش خاک توسط آب یکی از مسائل مهم و اصلی بازدارنده برای تحقق توسعه اقتصادی و اجتماعی به دلیل تخریب منابع زیست محیطی افزون بر عامل بازدارنده در دستیابی به امنیت غذایی در جهان می‌باشد (قدوسی، ۱۳۸۲). هدف از شناخت عوامل مؤثر در فرسایش خاک، ارزیابی خطرات فرسایش و مشخص کردن مناطقی بوده است که از نظر خطر فرسایش مشابه بوده و به نظر می‌رسیده است که از این طریق امکان برنامه‌ریزی برای حفاظت خاک و مبارزه با فرسایش میسر می‌شود. با توجه به چنین نگرش و تفکری بوده است که لزوم آگاهی از مقدار و شدت فرسایش برای تعیین استراتژی‌های کارآمد و بهینه حفاظت خاک و مبارزه با فرسایش و تولید رسوب مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته تا بر اساس آن بتوان موقعیت مکانی و میزان خطر فرسایش را پیش‌بینی نمود (Morgan, ۱۹۹۵).

فرسایش خاک و رسوبگذاری به وسیله آب شامل فرایندهای جداسازی ذرات خاک توسط قطرات باران، انتقال و رسوب مواد توسط جریان آب می‌باشد (Wischmeier and Smith, ۱۹۷۷).

آقاجانلو (۱۳۸۴) در مطالعه‌ای تحت عنوان بررسی و مقایسه نتایج برآورد تولید رسوب با استفاده از دو مدل MPSIAC و EPM در برآورد فرسایش و رسوبدهی بخشی از حوزه آبخیز زنجانرود در محیط GIS، مقدار رسوب محاسبه شده توسط روشهای MPSIAC و EPM، با رسوب اندازه‌گیری شده در ایستگاه هیدرومتری (در حدود ۴۶۶۳۲ تن در سال) را مورد مقایسه قرار دادند و بیان نمودند که رسوب برآوردی توسط روش MPSIAC حدود ۲/۴ و روش EPM حدود ۸ برابر رسوب اندازه‌گیری شده در ایستگاه هیدرومتری میباشد.

داوری، بهرامی و قدوسی (۱۳۸۱) در مطالعه خود تحت عنوان بررسی و مقایسه نتایج برآورد تولید رسوب با استفاده از دو مدل MPSIAC و EPM در حوزه آبخیز نوژیان واقع در جنوب شرقی خرم آباد با اشاره به فقدان ایستگاههای رسوب سنجی در اکثر حوزه های آبخیز کشور استفاده از مدل‌های ابداع شده در زمینه برآورد تولید رسوب را الزامی می‌دانند. در این تحقیق تلاش شد تا با واسنجی دو مدل MPSIAC و EPM در محیط GIS و مقایسه نتایج آنها با آمار رسوب اندازه‌گیری شده حدود صحت و دقت این مدلها ارزیابی شود. در این راستا، پس از ورود لایه های اطلاعاتی به محیط GIS و وزن دهی آنها از تلفیق این لایه ها در دو مدل EPM و MPSIAC واحدهای همگن تفکیک شده و سپس شدت فرسایش و تولید رسوب در این واحدها محاسبه گردیده است. نتایج این تحقیق نشان داده است که مقدار رسوب برآورد شده با استفاده از مدل‌های MPSIAC و EPM نسبت به آمار رسوب اندازه‌گیری شده به ترتیب ۱/۸ و ۰/۶ برابر بوده است.

¹ Pedogenesis



طهماسبی پور (۱۳۷۳) در تحقیق خود تحت عنوان کاربرد و ارزیابی مدل MPSIAC برای تهیه نقشه فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز جاجرود با استفاده از GIS برای محاسبه مقدار فرسایش در این حوزه از روش MPSIAC استفاده نمود. در این روش برای تعیین عوامل نه‌گانه موثر در فرسایش، تصاویر ماهواره‌ای رنگی، سیاه و سفید کاسموس با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نقشه توپوگرافی، تصاویر ماهواره‌ای لندست سیستم TM با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و سیستم MSS با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ و عکسهای هوایی با مقیاسهای ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۲۰۰۰۰ مورد استفاده قرار گرفتند. سپس با انجام عملیاتهای صحرائی و آزمایشگاهی نقشه‌های زمین‌شناسی، ارزیابی خاکها، شیب و ... مشخص گردید. در خاتمه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) رقومی کردن و تجزیه تحلیل داده‌ها بعمل آمد. با مقایسه مقدار محاسبه شده از روش MPSIAC با میزان واقعی اندازه‌گیری شده در مخزن سد لتیان در حدود ۸۵ درصد دقت داشته است. در نهایت ایشان اظهار می‌دارد که استفاده از GIS در این زمینه مفید بوده و نقشه بدست آمده از این روش دقیق‌تر و مطابقت زیادی با مقدار واقعی دارد.

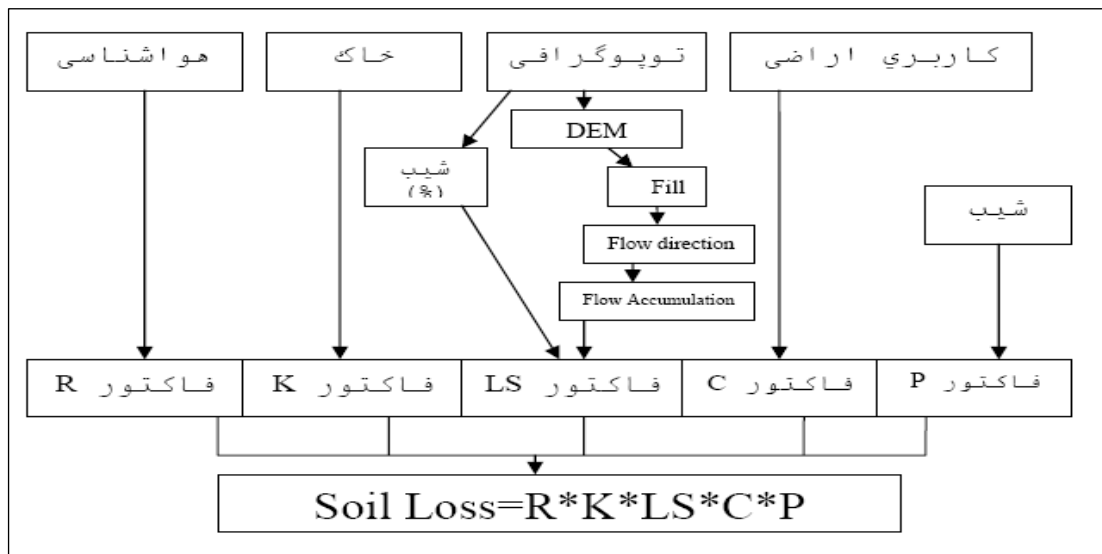
مواد و روش‌ها:

موقعیت جغرافیائی محدوده مطالعاتی از ادرو:

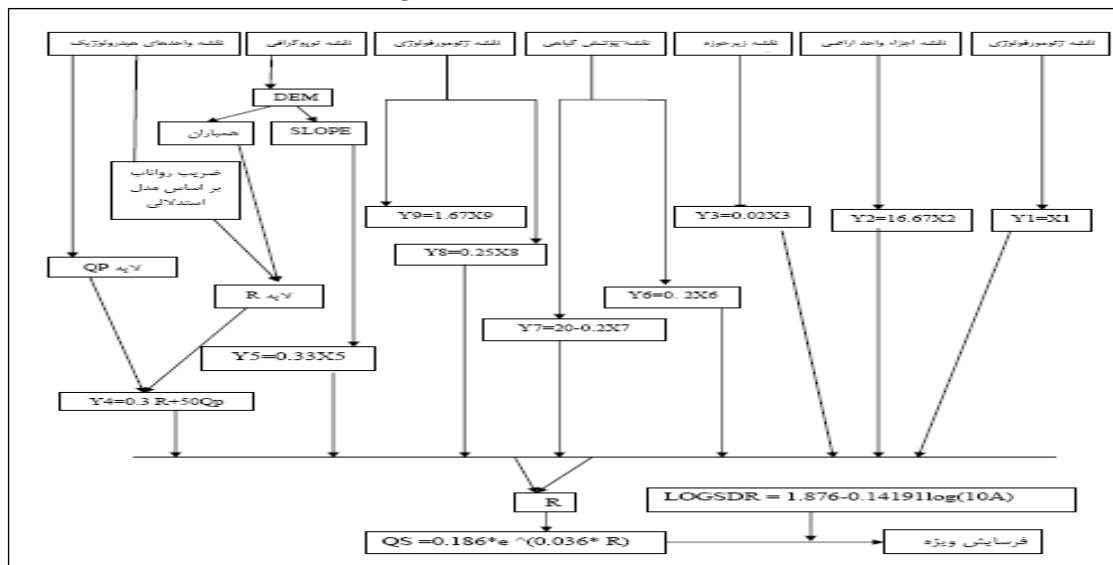
قلمرو مطالعاتی، منطقه‌ای کوهستانی در بخش شمال کشور، با وسعتی برابر ۲۲۳۳۰ هکتار و در محدوده‌ای با مختصات جغرافیایی ۱۹° ۵۴' تا ۱۸° ۰۴' ۵۱ طول شرقی و ۳۶° ۲۶' تا ۳۳° ۱۳' ۴۲ عرض شمالی در محدوده تقسیمات سیاسی استان مازندران قرار گرفته است فاصله تقریبی از شهرنشتارود حدود ۱۲ کیلومتر می باشد. بلندترین نقطه منطقه مطالعاتی با ارتفاع ۴۴۰۷ متر در بخش جنوبی واقع و پست‌ترین نقطه آن در بخش شمالی حوضه با ارتفاع ۳۷ متر قرار گرفته اند. از نقطه نظر تقسیمات هیدرولوژی کل کشور حوزه آبخیز آزاد رود جزء حوزه آبریز دریای خزر با کد شناسائی ۱ می باشد که تحت حوزه آبخیز رودخانه های بین سفید رود و هراز با کد ۱۴، تحت واحد های هیدرولوژیک غرب مازندران از صفا رود تا حد شرقی حوزه آبریز رودخانه چالوس با کد ۱۴۲ و حوزه رودخانه های بین آزارود و سرداب رود با کد ۱۴۲۷ و در نهایت در محدوده آبریز رودخانه های بین آزارود و کاظم رود با نام اختصاری نشتارود با کد شناسائی ۱۴۲۷۱ قرار می گیرد.

۲-۲- روش تحقیق

اندازه‌گیری مستقیم میزان فرسایش و رسوب در هر واحد مطالعاتی بدلیل پرهزینه بودن احداث ایستگاه‌های رسوب‌سنجی، وقت‌گیر بودن و فقدان افراد کارآزموده در همه‌ی واحدهای مطالعاتی امکان‌پذیر نیست و استفاده از روش‌های تجربی برای برآورد فرسایش و رسوب مناطق فاقد ایستگاه‌های رسوب‌سنجی رایج شده است. این مدل‌ها (RUSLE و MPSIAC) قادرند میزان فرسایش و رسوب را به صورت کمی برآورد نمایند. در این مطالعه فاکتورهای موثر با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، داده‌های اقلیمی، خاک، کاربری و عملیات صحرائی به دست آمد. سپس با استفاده از نرم افزار ARCGIS و ARCHYDRO، نقشه‌ها و تحلیل‌های مرتبط با آنها تهیه گردید. در اشکال (۱) و (۲) نمودارهای چرخش اطلاعات روش‌های فرسایشی به کار رفته در این تحقیق نشان داده شده است.



شکل شماره ۱: گردش اطلاعات مدل فرسایشی RUSLE



شکل شماره ۲: گردش اطلاعات مدل فرسایشی MPSIAC



مبانی نظری روش **RUSLE**

به منظور محاسبه فرسایش ویژه از مدل **RUSLE**، ابتدا شدت فرسایش با استفاده از معادله زیر محاسبه شده است:

$$\text{Soil Loss} = R * K * LS * C * P \quad \text{معادله شماره (۱)}$$

مبانی نظری روش **MPSIAC**

مدل **MPSIAC** در سال ۱۹۶۸ میلادی توسط کمیته مدیریت آب در آمریکا برای محاسبه شدت فرسایش خاک و تولید رسوب مناطق خشک و نیمه خشک غرب ایالات متحده آمریکا ارائه شد. این روش برای اولین بار در ایران در سال ۱۳۵۲ در حوزه سد دز استفاده شد. و سپس با توجه به دقت نسبتاً خوب آن در مقایسه با سایر روشها و مدل‌های تجربی در برخی از حوزه های آبخیز کشور مانند دو خواهران، کهیر، زاینده رود، مارون، هلیل رود، دز، سراوان و اوزن دره مورد استفاده قرار گرفت. در حال حاضر نیز برای بررسی فرسایش خاک و تولید رسوب در طرح های جامع کشور از این روش استفاده می شود. برای استفاده از روش **PSIAC** برای برآورد وضعیت فرسایش و تولید رسوب در هر یک از اجزای واحد اراضی یا واحد هیدرولوژیک، ۹ عامل موثر در فرسایش و رسوب زایی بر حسب شدت و ضعف نقش آنها در فرسایش خاک و تولید رسوب باید مورد بررسی و ارزیابی دقیق قرار گیرند. نهایتاً نمره بدست آمده از ۹ عامل در هر یک از اجزای واحد اراضی بیانگر شدت فرسایش خاک و میزان رسوب زایی در آن واحد می باشد.

جدول شماره (۱) تعیین میزان فرسایش و رسوب در واحدهای مطالعاتی حوزه آبخیز آزاد رود به روش **RUSLE**

واحد هیدرولوژیکی	R	K	L	S	C	P	A=RKLSCP (Ton/hect)	SDR%	رسوب ویژه (تن در هکتار)
A1T	79.6	0.25	17.53	8.38	0.09	1.00	2.8	0.38	1.1
A2T	109.2	0.33	22.24	5.82	0.04	1.00	2.0	0.49	1.0
A3T	110.3	0.33	11.67	6.38	0.04	1.00	1.2	0.53	0.6
A4T	138.4	0.30	29.61	6.52	0.05	1.00	4.2	0.50	2.1



جدول شماره (۲) تعیین میزان فرسایش و رسوب در واحدهای مطالعاتی حوزه آبخیز آزاد رود به روش MPSIAC

واحد هیدرولوژیکی	زمین شناسی	خاک	آب وهوا	رواناب	شیب	پوشش زمین	استفاده از اراضی	وضعیت فعلی فرسایش	فرسایش رودخانه ای	مجموع امتیازات	رسوب ویژه بر حسب تن در هکتار	SDR%	فرسایش ویژه بر حسب تن در هکتار
A1T	4.26	3.91	4.37	3.41	20.57	0.94	8.17	3.05	2.08	50.76	1.50	0.38	4.0
A2T	5.54	5.49	9.25	5.39	15.1	1.3	8.71	2.00	2.36	55.14	1.76	0.49	3.6
A3T	4.07	5.59	9.08	6.47	14.97	1.14	8.13	2.01	2.34	53.81	1.68	0.53	3.2
A4T	4.70	5.07	12.06	5.84	16.51	0.68	7.05	1.91	2.54	56.35	1.84	0.50	3.7

جدول شماره (۳) برآورد متوسط رسوبدهی ایستگاه دینار سرا با استفاده از منحنی شدت رسوبدهی

معیار	پارامترها	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	سالانه
براساس روابط آماری	متوسط دبی (متر مکعب بر ثانیه)	2.03	1.95	2.59	4.40	3.52	2.92	4.86	2.79	2.66	2.63	2.14	2.57	2.92
	رسوبدهی (تن در روز در ماه)	14.73	13.91	21.98	121.67	96.98	80.99	83.98	48.03	46.41	21.71	17.68	20.97	
	رسوبدهی (تن در ماه /سال)	456.53	431.15	681.31	3771.87	3006.45	2510.66	2519.32	1441.01	1392.34	651.32	530.52	629.04	18021.52
	رسوبدهی (تن در فصل /سال)		1569.00		9288.98		5352.66		1810.88		18021.52			



به ذکر است که رسوب معلق ویژه ۸۵.۵۱ تن در کیلومتر مربع می باشد با توجه به بازدید صحرایی و شرایط هیدرولیکی رودخانه آزاد رود میزان بار کف ۲۵-۲۰ درصد معلق می باشد بنابراین میزان واقعی رسوب ویژه ۱۰۴.۷ تن در کیلومتر مربع می باشد. (براساس تحلیل آمار فصلی ایستگاه)



آزمون نتایج و انتخاب روش مناسب

در تعیین مناسبترین روش بر آورد فرسایش و رسوب منطقه می‌بایستی تحلیل‌های آماری بر اساس نتایج و روش‌های متداول انجام پذیرد. بدین ترتیب که ابتدا نتایج برآورد فرسایش در ایستگاه‌ها و سپس مدل‌ها انجام شود. برای آزمون نتایج روش‌های آماری مختلفی وجود داشته که متداول‌ترین آنها روش آزمون t استیودنت و روش آزمون حداقل مربعات میانگین و همچنین روش آماری رگرسیون می‌باشد که در این بررسی از روش‌های دوم و سوم استفاده شده است. بدیهی است برای انتخاب مناسبترین مدل برآورد می‌توان از سایر روش‌های آزمون آماری نیز استفاده نمود که برای تهیه این گزارش از روش‌های ارائه شده در اینجا استفاده شده است. در جدول شماره (۴) نتایج هر یک از روش‌ها برای مقایسه ارائه شده است.

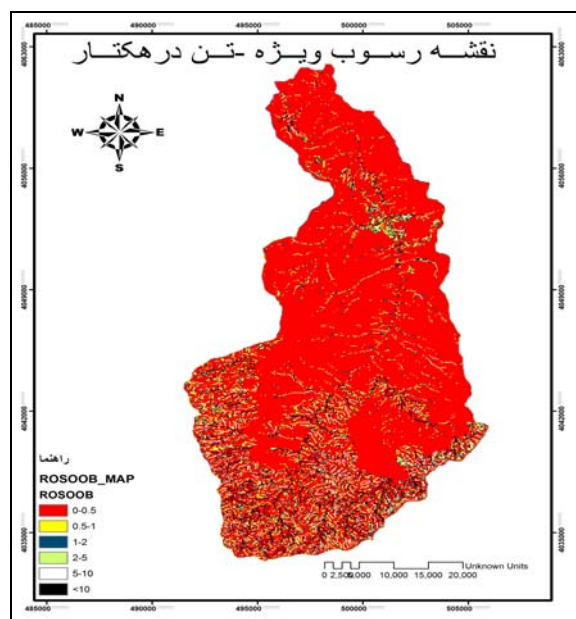
جدول شماره (۴) تعیین مقدار رسوب برآوردی از هر یک از روش‌ها

زیر حوضه	MPESIAC		RUSLE	
	qs(T/ha.Y)	(Pi-Oi) ²	qs(T/ha.Y)	(Pi-Oi) ²
A1T	1.50	0.2116	1.1	0.0004
A2T	1.76	0.5184	1.0	0.0056
A3T	1.68	0.4096	0.6	0.1598
A4T	1.84	0.64	2.1	1.0875
STD	0.15		0.62	
MAX	1.84		2.1	
MIN	1.50		0.6	
R.S.S		1.78		1.25

*میزان رسوب ویژه در ایستگاه هیدرومتری منطقه برابر ۱/۰۴ تن در هکتار برآورد گردید.

جمع‌بندی نتایج آزمون:

- همان‌طور که از نتایج مشخص است، روش RUSLE برای حوزه آبخیز آزاد رود با توجه به آزمون مجموع حداقل مربعات میانگین R.S.S مناسبتر تشخیص داده شده است. از طرف دیگر با توجه به انحراف معیار کمتر کاربرد نتایج روش MPESIAC برای حوزه مناسب بوده و مشکلی در این رابطه نیز وجود ندارد. شکل شماره (۱) نشان دهنده رسوب ویژه روش منتخب می‌باشد.
- نرم افزار Arc Hydro در به دست آوردن میزان L در روش RUSLE مفید می‌باشد.
- مدل RUSLE با توجه به اینکه تمامی مراحل آن توسط نرم افزار GIS انجام می‌شود از دقت بالایی برخوردار می‌باشد.



شکل شماره (۱) رسوب ویژه روش RUSLE.

مراجع

- ۱) احمدی، حسن، (۱۳۷۸)، "ژئومورفولوژی کاربردی، جلد ۱ (فرسایش آبی)"، چاپ سوم، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۸۸ صفحه.
- ۲) احمدی، حسن و فیض‌نیا، سادات، (۱۳۷۸)، "سازندهای دوره کوتاه‌تر (مبانی نظری و کاربردی آن در منابع طبیعی)"، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۵۷ صفحه.
- ۳) رفاهی، حسینقلی، (۱۳۷۸)، "فرسایش آبی و کنترل آن"، چاپ اول، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۵۱ صفحه.
- ۴) فیض‌نیا، سادات، (۱۳۷۴)، "مقاومت سنگها در مقابل فرسایش در اقلیم مختلف ایران"، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۴۷، صفحه ۹۵-۱۱۶.
- ۵) قدوسی، جمال، (۱۳۸۲)، "مدل‌سازی مرفولوژی فرسایش خندقی و پهنه‌بندی خطر آن (مطالعه موردی در آبخیز زنجانرود)"، رساله دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۳۶۸ صفحه.
- ۶) نبوی نامقی، غلامرضا-امین علیزاده، غلامعلی کمالی، ۱۳۷۷، نمایه فرسایش‌دگی باران در استان خراسان، مجله نیوار، شماره ۳۹، صفحه ۷-۱۹.

- ۷) Hudson, N.W., (1971), "Soil Conservation Cornell University Press". Ithaca, New York. 320 pp.
- ۸) Hudson, N.W., (1985), "Soil Conservation Batsford". London.
- ۹) Morgan, R.P.C., (199۵), "Soil erosion and conservation". Second edition. Silsoe College, Cranfield University. 198 pp.
- ۱۱) Satterlund, D.R., (1972), "Wildland Watershed Management". The Ronald Press Company. New York. 370 pp.