



## بهره‌گیری از روش آماری هیدروژئومورفولوژی در برآورد رسوب تولیدی حوزه آبخیز (مطالعه موردی: حوزه‌های آبخیز زنوزچای و زیلبرچای)

لیلا کاشی زنوزی<sup>۱</sup>، حسن احمدی<sup>۲</sup> و علی اکبر نظری سامانی<sup>۳</sup>

۱- کارشناس ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، (نویسنده مسوول: izenouzi@yahoo.com)

۲- استاد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۳- دانشیار، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۱ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۱۶

### چکیده

فرسایش حوزه‌های آبخیز و بار رسوب رودخانه‌ها از چالش‌های جدی مدیریت منابع آب کشور است که تبعات منفی در بهره‌برداری از تاسیسات آبی و سدها دارد. از آنجا که حجم رواناب و شدت فرسایش خاک و بده رسوب در حوزه‌های آبخیز به ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژیک حوزه آبخیز بستگی دارد، این پژوهش با هدف بررسی رابطه ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژیک و محاسبه مقدار رسوبدهی ویژه در حوزه‌های آبخیز انجام یافته است. به منظور دست‌یابی به هدف پژوهش و بررسی نقش عوامل پوشش گیاهی، تندی شیب و نفوذپذیری خاک در شکل‌گیری رخساره‌های فرسایشی، حوزه آبخیز زنوزچای، یکی از زیر حوزه‌های فرعی حوزه آبخیز زیلبرچای که دارای عدد تراکم شبکه زهکشی بالاتر در مقایسه با سایر زیرحوزه‌ها می‌باشد، انتخاب شد. محاسبه وزن هر یک از عوامل با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی انجام یافت و پس از تحلیل رگرسیونی به روش گام به گام، ضرایب تبیین آنها با وزن رخساره‌های ژئومورفولوژی در سطح اطمینان ۹۵ درصد به دست آمد. حجم رواناب تولیدی در حوزه‌های آبخیز زنوزچای و زیلبرچای، بر اساس روش SCS محاسبه شد. درنهایت، با جایگزینی ضرایب تبیین ویژگی‌های حوزه آبخیز، به‌عنوان ضرایب نمایی در رابطه پیشنهادی دی-رسوب، رسوبدهی ویژه در حوزه‌های آبخیز زنوزچای و زیلبرچای بترتیب ۱۶۳/۶۰ و ۶۷۴/۹۷ تن در کیلومتر مربع برآورد شد. نتایج حاصل از مقایسه مقادیر محاسباتی با آمار مشاهداتی رسوب در طول دوره ۳۵ ساله، نشان داد مقدار رسوب محاسباتی در دو حوزه آبخیز مورد مطالعه بترتیب با اطمینان ۸۵ و ۹۱ درصد مورد تایید است.

واژه‌های کلیدی: رسوب ویژه، روش شماره منحنی، تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، رخساره ژئومورفولوژی، زنوزچای

### مقدمه

لیکن می‌توان با استفاده از مدل‌سازی فرسایش خاک و رسوب آبی میزان فرسایش و رسوب در سطح حوزه آبخیز را محاسبه نمود (۲۲). بدین منظور، مدل‌های تجربی که در مطالعات فرسایش خاک و برآورد رسوبدهی حوزه به کار می‌روند، با در نظر گرفتن تعدادی از عوامل موثر در فرسایش خاک و بر مبنای روش‌های مشاهده‌ای و اندازه‌گیری تجربی ارائه می‌شوند (۱). از سویی، در نگرش سیستمی، از خواص هیدرولیکی رسوب و نیروهای دینامیک حاکم بر دبی رسوب، صرف‌نظر می‌شود و بده رسوب ناشی از بارندگی، تابع روابط بارندگی-رواناب و رواناب-رسوب می‌باشد (۳۰). برآورد ولید رسوب معلق در حوزه‌های دارای آمار هیدرومتری به آسانی امکان‌پذیر است، ولی برای حوزه‌های فاقد آمار هیدرومتری روش‌های دیگری را می‌طلبند. تحلیل منطقه‌ای ابزاری ارزشمند برای این کار است و رگرسیون چند متغیره یکی از مهم‌ترین روش‌های تحلیل منطقه‌ای است. لذا می‌توان در یک منطقه نسبتاً همگن با استفاده از تحلیل منطقه‌ای و رگرسیون چند متغیره رابطه‌ای بین

فرسایش خاک و تولید رسوب از جمله مسائل مهم، در بسیاری از کشورهای در حال توسعه به شمار می‌رود و اغلب روش‌های مطرح شده روی تخمین میزان بار معلق در یک ایستگاه، در زمان‌های مختلف و تحت جریان‌های مختلف تمرکز داشته و در واقع این نوع تخمین مستلزم داشتن ایستگاه در مقطع مورد نظر و در دست بودن آمار مربوطه می‌باشد. ولی در عمل بدلیل وجود محدودیت‌های فنی، اقتصادی و نیروی ماهر، امکان احداث ایستگاه رسوب سنجی و بهره‌برداری از آن فقط در چند نقطه محدود از بازه رودخانه وجود دارد (۲۰) هیدرولوژیست‌ها در صورت کمبود داده‌های غلظت رسوب معلق، از منحنی‌های سنجه برای پیش‌بینی و برآورد غلظت رسوب معلق جریان‌ها استفاده می‌کنند (۱۰). روش‌های برآورد رسوب از نظر نوع منحنی سنجه و استفاده از دبی جریان، به منحنی سنجه یک خطی، چند خطی و حد وسط دسته‌ها طبقه‌بندی می‌شوند (۲۶) که تمامی آنها از رابطه اداره احیای اراضی آمریکا (USBR) پیروی می‌کنند.

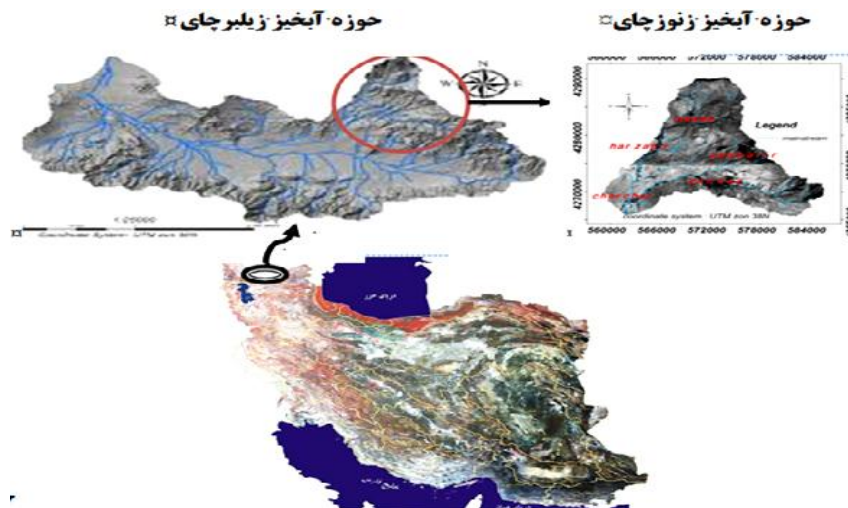
و اندازه رخساره‌های ژئومرفولوژی، مقادیر شیب و مقدار بار رسوب و شکل نهشته‌های رسوبی روی مخروط افکنه‌ها وجود دارد (۲۷،۲۱،۹) و مطالعات زیادی نشان داده‌اند که مقدار فرسایش خاک متأثر از رخساره‌های فرسایشی می‌باشد (۱۷). جمع‌بندی تحقیقات گذشته مبین این است که فرآیندهای فرسایش متأثر از عوامل محیطی و برای برآورد آن نیاز به بهره‌گیری از روش‌های فرآیند پایه می‌باشد. بر این اساس پژوهش حاضر نیز به منظور استفاده از نقشه‌های ژئومرفولوژی و رخساره‌های فرسایشی، برای بررسی دقیق رابطه بین عوامل محیطی و میزان فرسایش انجام یافته است.

### مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز زیلبرچای در شمال غرب ایران واقع شده است و زون‌چای یکی از زیر حوزه‌های آن می‌باشد. حوزه آبخیز زیلبرچای با وسعت ۲۶۱۴/۳۷ کیلومتر مربع، بین مختصات جغرافیایی "۰۲' ۰۵' ۴۵M تا "۰۳' ۰۶' ۴۶M طول شرقی و "۲۶' ۱۸' ۳۸M تا "۴۵' ۴۰' ۳۸M عرض شمالی واقع شده است. بررسی منحنی‌های آمبروترمیک ایستگاه‌های مظفرآباد، پل چرچر و مرند نشان می‌دهد، این منطقه در ناحیه کوهستانی قرار گرفته که زمستان‌هایی بسیار سرد و تابستان معتدل دارد و متوسط بارندگی در آن حدود ۳۰۰ میلی‌متر در سال می‌باشد (شکل ۱).

تولید رسوب معلق حوزه‌های دارای آمار و سایر ویژگی آنها برقرار کرده و از آن برای حوزه‌های فاقد آمار استفاده نمود (۱۲،۷).

بر اساس پژوهش‌های انجام یافته توسط محققین در راستای مدل‌سازی برآورد فرسایش خاک و برآورد رسوب آبی، پتانسیل فرسایش یک منطقه ترکیب دو بخش فرسایش‌دهندگی، شامل اقلیم یا رواناب و فرسایش‌پذیری شامل خصوصیات خاک، توپوگرافی، سنگ و کاربری اراضی است (۸) و الگوی رسوبدهی رودخانه در اثر کاهش درصد تاج پوشش گیاهی بطور معنی‌داری افزایش می‌یابد (۲۳،۱۳،۱۱،۸،۶). همچنین تندی شیب و طول شیب (عامل LS)، تاثیر مثبت در ایجاد رواناب و تولید بار رسوب معلق دارد (۳۴،۳۲،۱۹،۲). پژوهش‌های انجام یافته روی اثر پوشش سنگریزه و افزایش نفوذپذیری خاک در فرسایش خاک و تولید رسوب معلق را با استفاده از شبیه‌سازی رواناب نشان داده است با افزایش سنگریزه و نفوذپذیری خاک، سرعت جریان و ضریب زبری مانینگ و عدد فرود کاهش یافته‌اند ولی عدد رینولدز تغییرات قابل ملاحظه‌ای ندارد. همچنین تلفات خاک با افزایش نفوذپذیری به صورت نمایی کاهش می‌یابد (۱۶). با مطالعات انجام یافته روی تاثیر پوشش سنگریزه و افزایش نفوذپذیری خاک با استفاده از شبیه‌سازی رواناب، چنین استنباط شده است که با افزایش نفوذپذیری مقدار کل رسوب کاهش می‌یابد (۳۳،۱۵). از سویی، پذیرفته شده که رابطه‌ای تنگاتنگ بین نوع



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

بهره‌گیری از روش آماری هیدروژئومرفولوژی در برآورد رسوب تولیدی حوزه آبخیز ..... ۱۶۸  
**روش پژوهش**

هوایی و هشت نقطه کنترل زمینی انجام شد. تبدیل هندسی انجام شده تولید  $RMSE \pm 0/1$  میکرومتر در جهت‌های X, Y, Z می‌کند. نقشه درصد تراکم تاج پوشش گیاهی با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و تفسیر عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره IRS<sup>۱</sup> (۲۰۰۵) با شاخص NDVI تهیه شد. به‌منظور انجام بازدیدهای میدانی و نمونه‌برداری، سه نقشه شیب در هشت کلاس، رخساره‌های ژئومرفولوژی و لیتولوژی با هم تلفیق و ۴۳ واحد کاری در حوزه مطالعاتی تشکیل شد. نقشه رخساره‌های ژئومرفولوژی، پس از بازدیدهای میدانی و انجام آزمون آماری به روش Random Sampling مورد بازبینی مجدد قرار گرفت. نقشه تولید شده با شاخص کاپای ۰/۹۳ و درصد اطمینان ۰/۹۴ قابل استفاده می‌باشد (جدول ۱) و پس از تعیین نقاط نمونه‌برداری بر روی واحدهای کاری همگن با استفاده از روش آماری Stratified Random Sampling (۲۴) ۶۷ نمونه خاک برداشت شده و با انجام آزمایشات خاک نقشه نفوذیری خاک تهیه شد. نقشه‌های پایه کلاس‌بندی شده و با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)<sup>۴</sup> وزن تمام طبقات نسبت به هدف فرسایش و تولید رسوب مورد انتظار در هریک از آنها، محاسبه شدند. به عبارت دیگر هر کدام از طبقات که نقش کاهنده‌تر در پدیده فرسایش داشته باشد وزن کمتر و هرکدام از طبقات که اثر تشدیدکنندگی در رخداد فرسایش داشته است وزن بیشتری به خود اختصاص می‌دهد (جدول ۲)

ابتدا حوزه آبخیز زیلبرچای به ۵۶ زیر حوزه تقسیم‌بندی شد. طبق رابطه (۱) زیر حوزه زونچای با عدد تراکم شبکه زهکشی برابر  $7/57 km^1$  (عدد تراکم شبکه زهکشی در کل حوزه آبخیز زیلبرچای  $5/22 km^1$  محاسبه شد) دارای بیشترین تراکم شبکه زهکشی نسبت به سایر زیرحوزه‌هاست و روی آن در محل پیوستن به آبراهه اصلی زیلبرچای ایستگاه هیدرومتری به نام پل چرچر احداث شده است، لذا برای بررسی رگرسیونی ویژگی‌های ژئومرفولوژیک حوزه آبخیز انتخاب شد. در این تقسیم‌بندی زیرحوزه‌ها، حوزه آبخیز زونچای خود شامل هشت زیرحوزه بوده است.

$$Dd = L_i / A \quad (1)$$

که در آن: Dd: تراکم زهکشی (بر کیلومتر) و  $L_i$ : طول آبراهه‌ها (کیلومتر) و A، مساحت حوزه (کیلومترمربع) می‌باشند.

سپس، نقشه‌های پایه در حوزه آبخیز زونچای، مشتمل بر نقشه‌های درصد شیب، درصد تراکم تاج پوشش گیاهی و نفوذپذیری خاک تهیه شد. نقشه شیب بر اساس نقشه‌های توپوگرافی (۱:۲۵۰۰۰) با استفاده از نرم‌افزار Arc\GIS 9.3 تهیه شد. نقشه ژئومرفولوژی سال ۱۳۷۵ از طریق اورتوفتوی تهیه شده از عکس‌های هوایی (۱:۴۰۰۰۰) به وسیله تکنیک فتوگرامتری آفاین دوبعدی<sup>۱</sup> رقومی شد. درون‌یابی داخلی با خطای کمتر از یک پیکسل در زوج استریو، و درون‌یابی خارجی با نقطه مرکزی عکس

جدول ۱- نتایج حاصل از آزمون آماری به روش Stratified Random Sampling، با استفاده از نرم‌افزار Erdas Imagine

شماره ردیف	رخساره‌های فرسایشی	دقت میدل (%)	دقت کاربر (%)
۱	آبراهه درجه ۳	۱۰۰	۱۰۰
۲	آبراهه درجه ۲	۹۵/۶۵	۸۸
۳	آبراهه درجه ۱	۱۰۰	۱۰۰
۴	بدلند	۱۰۰	۱۰۰
۵	دریاچه سد	---	---
۶	مناطق مسکونی	---	---
۷	فرسایش روخانه‌ای	۱۰۰	۱۰۰
۸	خندق	۱۰۰	۱۰۰
۹	فرسایش شیاری	---	---
۱۰	برون‌زدگی سنگی	۱۰۰	۱۰۰
۱۱	دامنه منظم	۱۰۰	۱۰۰
۱۲	توده سنگی	---	---
۱۳	فرسایش سطحی	۸۸/۸۹	۸۸/۸۹
۱۴	حرکت‌های توده‌ای	۱۰۰	۷۷/۷۸

۹۴٪ = صحت کل طبقه‌بندی  
 ۰/۹۳۱۲ = کل شاخص آماری کاپا

1- Two Dimensional Affine  
 2- Root Mean Square Error  
 4- Analytical Hierarchy Process

جدول ۲- حداکثر و حداقل وزن‌های محاسبه شده بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

شماره ردیف	پارامترها	طبقات پارامترها	بیشترین وزن سلسله مراتبی	کمترین وزن سلسله مراتبی
۱	رخساره‌های ژئومرفولوژی	خندق	۲/۹۳	۰/۲۸ ۰/۱۷
		بدلند	۲/۲۰	
		حرکت‌های توده‌های توده سنگی	۱/۸۵	
		دامنه منظم		
۲	نفوذپذیری خاک	نفوذپذیری سریع نفوذپذیری آهسته	۱/۸۴	۰/۱۲
۳	درصد شیب	۲۰-۳۰	۲/۶۲	۰/۱۴ ۰/۱۱
		۳۰-۶۰	۱/۷۵	
		>۶۰		
۴	درصد تاج پوشش گیاهی	۰-۳۰	۱/۲۳	۰/۱۳ ۰/۱۰
		۷۰-۹۰		
		۹۰-۱۰۰		

فرسایشی نشان‌دهنده شدت فرسایش و تولید رسوب هستند، آنالیز واریانس انواع رخساره‌های ژئومرفولوژی در ارتباط با سه ویژگی حوزه آبخیز زون‌چای شامل درصد شیب، درصد تاج پوشش گیاهی و نفوذپذیری خاک در سطح معنی‌داری پنج درصد انجام یافت (جدول ۳) و معلوم شد رابطه بین رخساره‌های ژئومرفولوژی و عوامل یاد شده، در حوزه آبخیز زون‌چای در سطح پنج درصد معنی‌دار می‌باشد.

در مرحله بعد، با توجه به مقیاس متوسط و مساحت حوزه آبخیز زون‌چای، شبکه سلولی منظم متشکل از واحدهای ۲۵۰ × ۲۵۰ مترمربعی با استفاده از نرم‌افزار Arc\GIS9.3 تشکیل داده و با نقشه‌های پایه قطع داده شد. وزن‌های محاسبه شده بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی در ستون مساحت ضرب شد و بعد از انجام آنالیز منطقه‌ای با استفاده از نرم‌افزار SPSS18.0 مورد تجزیه و تحلیل رگرسیونی قرار گرفت. از آنجا که نوع رخساره‌های

جدول ۳- آنالیز واریانس ویژگی‌های حوزه آبخیز زون‌چای با رخساره‌های ژئومرفولوژی

F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	ویژگی‌های ژئومرفولوژی حوزه آبخیز زون‌چای
۰/۳۳۱	۲/۰۸۷	۲۳	۷/۹۸۴E-۰۲	بین گروه‌ها
	۶/۳۰۱		۱/۴۴	درون گروه‌ها شیب
			۷/۹۹۸	کل
۰/۳۷۱	۲/۰۸۴	۲۲	۷/۹۸۶	بین گروه‌ها
	۵/۶۲۳		۱/۲۳۷	درون گروه‌ها درصد تاج پوشش گیاهی
			۷/۹۹۸	کل
۰/۲۸۲	۲/۰۸۶	۲۵	۷/۹۸۰	بین گروه‌ها
	۷/۳۹۹		۱/۸۵	درون گروه‌ها نفوذپذیری خاک
			۷/۹۹۸	کل

ویژگی‌های مزبور بدست آمد (جدول ۴). با توجه به مقادیر ضریب  $R^2$ ، مدل رگرسیونی با  $R^2=۰/۷۴۲$  از جهت تعداد و نوع متغیرهای انتخابی، مناسب‌ترین مدل رگرسیونی برای توجیه متغیر وابسته (رخساره‌های ژئومرفولوژی) می‌باشد.

سپس میزان همبستگی بین وزن‌های محاسبه شده برای هر یک از واحدهای ۶/۲۵ هکتاری نقشه‌های درصد شیب، درصد تاج پوشش گیاهی و نفوذپذیری خاک با وزن‌های رخساره‌های ژئومرفولوژی مورد بررسی قرار گرفت و بهترین معادله برای رخساره‌های ژئومرفولوژی و

جدول ۴- خلاصه مدل رگرسیون چند متغیره به روش گام به گام

مدل	ضرایب غیر استاندارد		ضریب R <sup>2</sup>	معادله رگرسیون خطی
	ضریب B	خطای استاندارد		
۱	مقدار ثابت	۶۱/۸۵۳	۰/۶۸۱	$Y=۲۵۳۴/۸۱۷+۱/۳۷۹X_1$
	درصد تاج پوشش	۰/۰۰۸		
۲	مقدار ثابت	۵۸/۳۷۴	۰/۷۴۰	$Y=۱۴۲۴/۰۵۰+۰/۸۷۳X_1+۰/۲۷۵X_2$
	درصد تاج پوشش	۰/۸۷۳		
	درصد تندی شیب دامنه	۰/۲۷۵		
۳	مقدار ثابت	۵۹/۳۱۹	۰/۷۴۲	$Y=۱۲۴۰/۸۰۱+۰/۸۲۷X_1+۰/۲۹۶X_2+۰/۰۸۳X_3$
	درصد تاج پوشش	۰/۸۲۷		
	درصد تندی شیب دامنه	۰/۲۹۶		
	نفوذپذیری خاک	۰/۰۸۳		

محاسبه شد و سپس با نتایج حاصل از مطالعات انجام شده توسط کارشناسان مجرب وزارت جهاد کشاورزی در ایستگاه مظفرآباد، واقع در انتهای خروجی زلیبرچای (۴)، مشاهده شد که مقدار رسوب ویژه محاسبه شده، با اطمینان ۹۱ درصد قابل قبول می‌باشد.

### نتایج و بحث

آنالیز واریانس ویژگی‌های حوزه آبخیز زنونچای با رخساره‌های ژئومرفولوژی نشان داد رابطه معنی‌دار میان آنها برقرار است. از سویی ویژگی‌های ژئومرفولوژیک حوزه آبخیز از توان کنترل مولفه‌های آب نمود و شدت فرسایش و تولید رسوب برخوردار می‌باشند (۲۵،۵). همچنین، مقادیر فرسایش خاک و رسوبدهی حوزه آبخیز بر اساس نوع رخساره‌های ژئومرفولوژیک تشکیل یافته در سطح حوزه آبخیز، قابل محاسبه هستند (۱۸،۱۴). نتایج حاصل از تحلیل آماری رگرسیونی چند متغیره در سطح اطمینان ۹۵ درصد، به روش گام به گام بین سه ویژگی تندی شیب و درصد تاج پوشش گیاهی و نفوذپذیری خاک با رخساره‌های ژئومرفولوژی نیز حاکی از آنست که ضرایب تبیین بالا و خطای استاندارد کمتر می‌باشند. (جدول ۵). همچنین انواع مختلف رخساره‌های فرسایشی، بطور متفاوت، متاثر از عوامل مذکور هستند و می‌توانند بر اساس شرایط منطقه مطالعاتی متفاوت باشند.

ضرایب همبستگی ویژگی‌های حوزه‌های آبخیز از جمله ضریب همبستگی رخساره‌های ژئومرفولوژی با ویژگی‌های یاد شده در حوزه آبخیز، معیار مناسبی برای سنجش میزان شدت تاثیر آن ویژگی‌ها در ایجاد فرسایش و به تبع آن تولید رواناب و رسوب معلق در سطح حوزه آبخیز است (۲۸). ضرایب همبستگی پیرسون با آزمون فرض مساوی بودن ضرایب همبستگی محاسبه شدند.

در مرحله بعد نقشه CN برای کل حوزه آبخیز زلیبرچای تهیه شد و با استفاده از CN متوسط حوزه آبخیز، بر اساس روش SCS ارتفاع رواناب برای حوزه‌های آبخیز زنونچای و زلیبرچای محاسبه شد (رابطه ۲) و متعاقباً با ضرب ارتفاع رواناب در مساحت حوزه آبخیز حجم رواناب کل حوزه بدست آمد.

$$Q=(P-0.2S)^2/P+0.8, P>0.2S \quad (۲)$$

که در آن Q: ارتفاع رواناب (سانتی‌متر) و P: ارتفاع بارندگی ۲۴ ساعته (سانتی‌متر) و S، حداکثر توان نگهداری مربوط رایش و نفوذ در خاک و ذخیره سطحی (سانتی‌متر) است که بر حسب سانتی‌متر و طبق رابطه (۳) و با استفاده از CN متوسط حوزه آبخیز محاسبه شد.

$$S=(2540/CN) - 25.4 \quad (۳)$$

در نهایت بر اساس روش آزمون و خطا و از سویی با توجه به یافته محققین در ارتباط با روابط موجود بین درصد شیب دامنه، نفوذپذیری خاک و درصد تاج پوشش گیاهی با مقدار فرسایش و رسوب تولید شده (۲۲،۱۸،۱۶،۲) رابطه بین رواناب و رسوب ویژه ایجادگردید مقدار رسوب ویژه در حوزه آبخیز زنونچای محاسبه شد. با مقایسه مقدار رسوب محاسباتی و مشاهداتی معلوم شد با توجه به اختلاف اندک بین مقادیر رسوب ویژه مشاهداتی و رسوب ویژه محاسبه شده و نیز با توجه به سطح اطمینان ۸۵ درصد قابلیت اجرای مدل، مقدار محاسباتی رقم دقیقی از مقدار رسوب تولید شده در حوزه آبخیز زنونچای می‌باشد. رسوب ویژه مشاهده شده بر اساس آمار ۳۵ ساله (۱۳۸۵-۱۳۵۰) و پس از برقراری منحنی سنجه رسوب بدست آمد. سپس، با استفاده از ضرایب تبیین (R<sup>2</sup>) بدست آمده بین وزن‌های رخساره‌های ژئومرفولوژی و وزن‌های درصد تراکم تاج پوشش گیاهی و درصد تندی شیب دامنه و نفوذ پذیری خاک در حوزه آبخیز زنونچای، رسوب ویژه در حوزه آبخیز زلیبرچای نیز

جدول ۵- نتایج حاصل از رگرسیون چند متغیره به روش گام به گام

متغیر	ضریب	خطای استاندارد (%)	ضریب تبیین	خطای استاندارد (%)	ضریب تبیین	خطای استاندارد (%)	ضریب تبیین	خطای استاندارد (%)	ضریب تبیین	خطای استاندارد (%)	ضریب تبیین	خطای استاندارد (%)
تندی	۰/۷۳	۲/۷	۰/۶۰	۰/۸	۰/۷۲	۰/۱۵۵	۰/۷۸	۰/۶۴	۰/۷۶	۰/۳	۰/۸۱	۰/۳۹
شیب دامنه	۰/۷۳	۲/۷	۰/۶۰	۰/۸	۰/۷۲	۰/۱۵۵	۰/۷۸	۰/۶۴	۰/۷۶	۰/۳	۰/۸۱	۰/۳۹
تاج پوشش گیاهی (%)	۰/۸۶	۰/۸۲	۰/۹۱	۰/۲۲	۰/۶۴	۰/۱۵۷	۰/۸۳	۰/۹	۰/۷۴	۰/۱۷	۰/۸۲	۰/۷۴
نفوذپذیری خاک	۰/۴۰	۰/۸۲	۰/۲۵	۰/۱۶	۰/۳۷	۰/۴۳	۰/۱۴	۰/۴۰	۰/۲۸	۰/۱۴	۰/۲۴	۰/۳۰
	۰/۴۰	۰/۸۲	۰/۲۵	۰/۱۶	۰/۳۷	۰/۴۳	۰/۱۴	۰/۴۰	۰/۲۸	۰/۱۴	۰/۲۴	۰/۳۰
	۰/۴۰	۰/۸۲	۰/۲۵	۰/۱۶	۰/۳۷	۰/۴۳	۰/۱۴	۰/۴۰	۰/۲۸	۰/۱۴	۰/۲۴	۰/۳۰
	۰/۴۰	۰/۸۲	۰/۲۵	۰/۱۶	۰/۳۷	۰/۴۳	۰/۱۴	۰/۴۰	۰/۲۸	۰/۱۴	۰/۲۴	۰/۳۰
	۰/۴۰	۰/۸۲	۰/۲۵	۰/۱۶	۰/۳۷	۰/۴۳	۰/۱۴	۰/۴۰	۰/۲۸	۰/۱۴	۰/۲۴	۰/۳۰
	۰/۴۰	۰/۸۲	۰/۲۵	۰/۱۶	۰/۳۷	۰/۴۳	۰/۱۴	۰/۴۰	۰/۲۸	۰/۱۴	۰/۲۴	۰/۳۰

آماری ۳۵ ساله در سطح معنی داری ۰/۰۵ و  $R^2$  برابر با ۸۲ درصد برقرار شد:

$$Y=0.0534X^{0.768} \quad (۴)$$

پس از جایگزینی حجم رواناب محاسباتی (X) در رابطه مزبور، مقدار رسوب معلق سالانه (Y) در سطح حوزه آبخیز زونوزچای، بر حسب  $\text{ton/km}^2/\text{y}$  محاسبه و پس از تقسیم بر مساحت حوزه رسوب دهی ویژه برآورد شد. از سویی، با قرار دادن ضرایب همبستگی ( $R^2$ ) تندی شیب دامنه، درصد تاج پوشش گیاهی و نفوذپذیری خاک با رخساره های فرسایشی، در رابطه نمایی بین رسوب ویژه و حجم رواناب تولید شده در سطح حوزه آبخیز زونوزچای، مقدار رسوب ویژه برآورد شد (۵):

$$Y=X \left( \frac{R_s}{R_v + R_i} \right) \quad (۵)$$

که در آن  $R_s$ ،  $R_v$  و  $R_i$ : به ترتیب ضریب تبیین ( $R^2$ ) تندی شیب دامنه، درصد تاج پوشش گیاهی و نفوذپذیری خاک در حوزه آبخیز زونوزچای هستند. با توجه به تفاوت اندک میان مقدار رسوب ویژه مشاهداتی و محاسبه شده، مدل ایجاد شده در سطح اطمینان ۸۵ درصد قابل اجرا می باشد. درحوزه آبخیز زونوزچای با داشتن بیشترین عدد شبکه تراکم زهکشی، ویژگی های ژئومورفولوژیک و همچنین شرایط اقلیمی، نسبت به سایر زیرحوزه های حوزه آبخیز زیلبرچای، مقدار بیشتری از تولید رسوب مورد انتظار بوده است. به منظور ارزیابی مدل، مقدار رسوب ویژه درحوزه آبخیز زیلبرچای، به جهت برخورداری از شرایط اقلیمی و ویژگی های ژئومورفولوژیک مشابه با حوزه آبخیز زونوزچای، در سطح اطمینان ۹۱ درصد محاسبه شد. نتایج حاصل از اجرای مدل در دو حوزه آبخیز زونوزچای و زیلبرچای در جدول (۶) گنجانده شده است.

طبق داده های جدول (۵)، رخساره های ژئومورفولوژی در وهله اول متأثر از درصد تاج پوشش گیاهی و سپس تندی شیب دامنه و نفوذپذیری خاک هستند. عرب خدردی و حکیم خانی (۵) نیز با تحلیل رگرسیونی چند متغیره ویژگی های هیدروژئومورفولوژیک حوزه آبخیز دریاچه ارومیه، دامنه های رو به شمال و غرب را به دلیل برخورداری از پوشش گیاهی بهتر دارای تاثیر کاهنده بر ایجاد فرسایش و تولید رسوب در منطقه دانستند، در حالی که تاثیر واحدهای کواترنر و سنگ های حساس به فرسایش را در تولید رسوب مثبت ارزیابی شده است.

صادقی و همکاران (۲۵) و زارع خورمیری و همکاران (۳۶) حجم رواناب تولید شده در حوزه آبخیز تحت تاثیر ویژگی های فیزیکی حوزه آبخیز، بویژه شیب دامنه دانسته اند. بنابراین، می توان رابطه ای بین حجم رواناب تولید شده و مقدار فرسایش رخ داده، ایجاد نموده و مقدار رسوب معلق در سطح حوزه آبخیز را تخمین زد. از آنجا که تندی شیب دامنه با مقدار فرسایش خاک رابطه مستقیم دارد و از سویی، نفوذپذیری خاک و درصد تاج پوشش گیاهی، رابطه معکوس با فرسایش خاک و رسوب دهی حوزه آبخیز دارند (۲۲،۶،۱) بنابراین ضریب همبستگی شیب دامنه در صورت کسر و مجموع ضرایب همبستگی نفوذپذیری خاک و درصد تاج پوشش گیاهی در مخرج کسر منظور شدند و به منظور محاسبه مقدار رسوب ویژه به صورت نمایی در معادله پیشنهادی دبی-رسوب (۵) قرار داده شدند.

حجم رواناب تولید شده در سطح حوزه های آبخیز زیلبر چای و زونوزچای به روش SCS محاسبه شد. رابطه نمایی بین داده های مشاهداتی دبی و رسوب در ایستگاه پل چرچر روی رودخانه زونوزچای بر اساس طول دوره

جدول ۶- مقادیر رواناب و رسوب ویژه مشاهداتی و محاسباتی در حوزه‌های آبخیز زنونچای و زیلبرچای

حوزه آبخیز	ایستگاه هیدرومتری	مساحت (km <sup>2</sup> )	ارتفاع رواناب (cm)	متوسط CN حوزه	حجم رواناب براساس روش SCS (m <sup>3</sup> )	مقدار رسوب ویژه مشاهده شده (ton/km <sup>2</sup> )	مقدار رسوب ویژه محاسبه شده (ton/km <sup>2</sup> )
زونچای	پل چرچر	۳۲۰	۱۱/۶۳	۸۲/۸۴	۳۷۲۱/۶	۱۹۲	۱۶۳/۶۰
زیلبرچای	مظفرآباد	۲۶۱۴/۳۷	۱۴	۸۰/۱	۳۶۶۰۱/۱۸	۷۴۰	۶۷۴/۹۷

ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی و اقلیمی نسبت به سایر زیرحوزه‌ها بالاتر است، می‌تواند به‌عنوان حوزه شاهد انتخاب گردد تا ضرایب همبستگی ( $R^2$ ) سایر عوامل مدل را با انواع رخساره‌های تشکیل یافته محاسبه نموده و با تعمیم مدل، به حوزه آبخیز اصلی مقدار رسوب تولید شده در سطح آن تخمین زد.

### تشکر و قدردانی

مراتب سپاس و قدردانی، به جناب آقای دکتر عرب‌خداری، عضو هیئت علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، به سبب ارسال نتایج تحقیقات ارزشمندشان تقدیم می‌شود. همچنین از آقایان، دکتر سعادت و مهندس نامدار، کارشناسان سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، که پژوهندگان را در راستای به ثمر رسیدن اهداف این تحقیق یاری نموده‌اند، تشکر و قدردانی می‌شود.

در مورد رسوب ویژه مشاهده شده در حوزه آبخیز زیلبرچای، به نتایج پژوهش‌های انجام یافته توسط عرب‌خداری (۴،۳) برای تهیه نقشه فرسایش و رسوب‌دهی حوزه‌های آبخیز در کشور، برای ایستگاه مظفرآباد، واقع در نقطه انتهایی خروجی حوزه آبخیز زیلبرچای، استناد شده است. رسوب ویژه محاسباتی اندکی کمتر از مقادیر مشاهداتی هستند، ولی رقمی نزدیک به مقدار مشاهداتی می‌باشد.

ارتباط بین عوامل موثر در فرایند فرسایش شامل اقلیم، توپوگرافی، شرایط خاک و پوشش گیاهی با مقیاس زمانی و مکانی، در ایجاد فرسایش غالب موثر می‌باشند و با مقادیر بار رسوب تولید شده در سطح حوزه آبخیز مرتبط نیستند (۳۵). بنابراین چنین استنباط می‌شود که در حوزه‌های فاقد آمار دی-رسوب، زیرحوزه‌ای که در آن تنوع رخساره‌های ژئومورفولوژی با حوزه آبخیز اصلی یکسان است و پیش‌بینی تولید رسوب نیز در آن با توجه به

### منابع

- Ahmahi, H. 2007. Applied geomorphology. Tehran University Press, Iran, 688 pp. (In Persian)
- Asadi, H., M. Vazifehdoost, A. Mousavi and M. Honarmand. 2011. Assessment and mapping of soil erosion hazard in Navrood watershed using revised universal soil loss equation (RUSLE), geographic information system (GIS) and remote sensing (RS). Report of researches Guilan Regional Water Company, 13 pp. (In Persian)
- Arabkhedri, M. 2005. A study on the sediment suspended yield in river basin of Iran. Journal of Water Resources Researches of Iran, 2: 66-76. (In Persian)
- Arabkhedri, M., A. Valikhajini, Sh. Hakimkhani, A.H. Charkhabi and A. Telvari. 2003. Final report of researching project of Iran for estimating and mapping of sediment deposition. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute.
- Arabkhedri, M. and Sh. Hakimkhani. 2006. Regression analysis of suspended sediment load and hydrogeomorphologic characteristics in Orumiyeh lake watershed. Journal of Agriculture Sciences, 37: 223-231. (In Persian)
- Bayat, R., B. Ghermezcheshmeh and H.Gh. Rafahi. 2011. Considering the role of vegetation conopy on sediment yield. Journal of Engineering and Watershed Management, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute of Iran, 3: 187-195. (In Persian)
- Draper, N.R. and H. Smith. 1981. Applied regression analysis. John Wiley and Sons, New York, 736 pp.
- Feiznia, S. 2008. Applied sedimentology with emphasis on soil erosion and sediment production. Gorgan university of Agriculture Sciences and Natural Resources, Iran, 356 pp. (In Persian)
- Hartley, A.J., G.S. Weissmann, G.J. Nichols and G.L. Warwick. 2009. Distributary fluvial systems: characteristics, distribution and controls on development. Abstract volume, From River to Rock Record-Aberdeen-January: 43-44.
- Horowitz, A. 2002. The use of rating (transport) curve to predict suspended sediment concentration: A matter of temporal resolution. Peachtree Business Center. Turbidity and other Sediment Surrogates Workshop 3 pp.
- Jabari, I. and D. Talebpoor. 2010. Deposition and decreasing of optimal use of Mahabad dam and signs of changing in the upstream environmental systems. Journal of Geographical researches, University of Isfahan, Iran, 96: 1-20. (In Persian)
- Jansson, M.B. 1996. Estimating a sediment rating curves of the reventazon river at Palomo using logged mean loads within discharge classes. Journal of Hydrology, 183: 227-241.

13. Jokar Sarhangi, A. and V. Gholami. 2008. The impact of land use changes and on increasing of erosion and suggest a suitable way to land use in the Zaram Rood watershed of Mazandaran by using GIS. *Journal of Geography Researches*, 23: 127-144. (In Persian)
14. Maleki, M. 2007. Modelling of soil erosion and sedimentation using analytical hierarchy process method (Case study: Latian watershed). Ph.D. thesis, Azad Islamic University, Science and Reseaches Baranch of Tehran, Iran, 184 pp. (In Persian)
15. Martinez-Zevala, L., A. Jornan, N. Bellinfant and J. Gill. 2010. Relationship between rock fragment cover and soil hydrological response in a Mediterranean environment. *Journal of soil science and plant nutrition*, 56: 95-104.
16. Mirzaee, S., M. Gorji and Jafari A. Ardakani. 2012. Effect of surface rock fragment cover on soil erosion and sediment using simulated run off. *Journal of soil management and sustainable*, Gorgan university of Agriculture Sciences and Natural Resources, Iran, 2: 141-154. (In Persian)
17. Mohammadkhan, Sh., H. Ahmadi and M. Jafary. 2011. Relationship between soil erosion, slope, parent material and distance to road (Case study: Latian Watershed, Iran). *Arab Journal of Geoscience*, 4: 331-338.
18. Mohammadkhan, Sh. 2009. Quantitative estimation of soil erosion and sediment load based on geomorpholog model (Case study: Latian Watershed). Ph.D. thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran, 256 pp. (In Persian)
19. Najafinejad, A., M. Mardian, J. Varvani and V.B. Sheikh. 2011. Evaluation and comparison of representative hill slope and raster based hill slope methods for computation of topography factor in USLE. *Journal of Soil Management and Sustainable*, 1: 99-116. (In Persian)
20. Nourani, V.N., M. Talebbydokhti, J. Abedini and G.R. Rakhshandehroo. 2005. Suspended Sediment Load Estimating Using Geostatistics (Case study: Talkherood River, Tabriz). *Journal of water resources researches of Iran*, 2: 56-79. (In Persian)
21. Leier, A.L., P.G. DeCelles and J.D. Pelletier. 2005. Mountains, monsoon sand megafans. *Geology*, 33: 289-292.
22. Rafahi, H.Gh. 2006. Water erosion and conservation. University of Tehran, Iran, 671p. (In Persian)
23. Rafiee. B., N. Kamani, S. Khodabakhsh and A. Bozorgzadeh. 2010. The performance and calibration of MPSIAC based on physical conditions of watershed (Case study: Bakhtyari river watershed). *Journal of Geology of Iran, National Geology Organization, Iran*, 14: 63-71. (In Persian)
24. Saadat, H., R. Bonnell, F. Sharifi, G. Mehuys, M. Namdar and S. Ale-Ebrahim. 2011. Land use and land cover classification over a large area in Iran based on single date analysis of satellite imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 118: 388-400.
25. Sadeghi, S.H.R., A. Afzali, M. Vafakhah and A.R. Telvari. 2012. Capability of various statistical analyses in estimation of unit hydrograph components for northern watersheds of Iran. *Journal of Watershed Management*, 5: 1-15. (In Persian)
26. Saghafian, B., B. Ghermezcheshmeh and M. Samiee. 2008. Regional analysis of sediment in southwest watershed of Iran. *Iran Water Resources Management Company (WRMC)*, 125 pp. (In Persian)
27. Saito, K. and T. Oguchi. 2005. Slope of alluvial fans in humid regions of Japan, Taiwan and the Philippines. *Geomorphology*, 70:147-162.
28. Servati, M., J. Qodousi and M. Teimouri Yaseri. 2009. Investigating of geomorphological properties in losses in the north of yeli Bedraq of Golestan province. *Journal of Natural Geography*, 1: 97-114.
29. Shabani, M., S. Feiznia, H. Ahmadi, J. Ghodusi and A. Sarreshtehdari. 2006. Considering effect of land use changing on sediment yield. (Case study: Taleghan watershed). *Journal of Natural Resources of Iran*, 59: 41-56. (In Persian)
30. Singh, V. P., 1988. *Hydrologic systems: rainfall and runoff modelling*, Prentice-Hall, Englewood cliffs, New Jersey, USA, 578 pp.
31. Rafahi, H.Gh. 2006. Water erosion and conservation, University of Tehran Press, Iran, 668 pp. (In Persian)
32. Rodriguez, J.L.G. and M.C.G. Suarez. 2010. Historical review of topographical factor LS of water erosion models. *Aqua-LAC*, 2: 56-61.
33. Tilong, G.W. D. Qianjiu and J.Z. Li. 2010. Effect of surface stone cover on sediment and solute transport on slope of fallow land in the semi-arid loess in the northwestern China. *Soils Sediments*, 10:1200-1208.
34. Varvani, J., S. Feiznia, H. Ahmadi and M. Jafary. 2008. Evaluation of performance of empirical models storm events sediment yield of drainage basin and introducing calibration coefficients. *Journal of Natural Resources of Iran*, 60:1225-1239. (In Persian)
35. Vento, J. and J. Poesen. 2005. Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: Scale issues and semi-quantitative models. *Earth-Science Reviews*, 71: 95-125.
36. Zare Khormizi, M., A. Najafinejad N. Noura and A. Kaviani. 2012. Effect of slope and soil properties on run off and soil loss using rainfall simulator, Chehel Chai watershed, Golestan province. *Journal of Soil Management and Sustainable*, 19: 165-178. (In Persian)

## Using Statistical Hydrogeomorphology Method for Estimating Sediment Yield of Watersheds (Case study: Zonouz Chay and Zilber Chay watersheds)

Leila Kashi Zenouzi<sup>1</sup>, Hassan Ahmadi<sup>2</sup> and Aliakbar Nazari Samani<sup>3</sup>

---

1- M.Sc., Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran

(Corresponding author: lzenouzi@yahoo.com)

2- Professor, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran

3- Associate Professor, University of Tehran

Received: January 20, 2013 Accepted: February 5, 2014

---

### Abstract

Watershed erosion and sediment load of rivers are serious water resources management challenges, which have negative consequences on the operation of water installations and dams. This study has done with the aim of investigating the relationship between hydro geomorphologic characteristics and calculation the amount of especial deposition around watersheds, because of depending on the volume of runoff and soil erosion rates or sediment discharge with hydrogeomorphologic characteristics in the watershed. In order to achieving to the object of research and investigating the role of percent of vegetation cover density, slope rates and soil permeability in fancies formation, Zonouz Chai catchment, one of sub-basins of Zilber Chai watershed, which has a higher number of drainage density than other sub-basins was selected and the weights of all effective factors were calculated according to the analytic hierarchy method (AHP). Afterwards, based on the multiple regression model using stepwise method the correlation coefficients ( $R^2$ ) were determined at 95% confidence level and amount of runoff volume was calculated in Zonouz Chai and Zilber Chai based on SCS method. Finally, correlation coefficients of watershed characteristics were estimated and were replaced as exponential coefficients for discharge-sediment equation, which was suggested. Then especial deposition rates were calculated in Zonouz Chai and Zilber Chai respectively, 163 and 672 (ton/km<sup>2</sup>/y). Comparison of computational results with observational rates, based on 35 statistic data years, was found, in the two watersheds has acceptable accuracy at 85% and 91%, respectively.

**Keywords:** Especial Deposition Rate, SCS method, Analytical Hierarchy Process (AHP), Regression analysis, Zonouz Chai