

## بررسی عوامل موثر در رسوبدهی معلق حوزه آبخیز گرگان رود با استفاده از معادلات رگرسیونی

جواد وروانی، سادات فیض نیا، محمود عرب خدری و محمد مهدوی

به ترتیب عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری و استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

### چکیده

یکی از روش‌های برآورد فرسایش استفاده از آمار رسوب ایستگاه‌های هیدرومتری و رسوب‌سنجی است. تحلیل همبستگی می‌تواند ارتباط بین آمار رسوب و خصوصیات حوزه آبخیز را به خوبی نشان دهد. در این تحقیق ابتدا با انتخاب ۱۱ ایستگاه هیدرومتری و رسوب‌سنجی که از آمار و اطلاعات کافی برخوردار بوده و پراکنش مناسبی در منطقه داشتند متغیرهای مختلف موثر بر رسوبدهی اندازه‌گیری شدند. همچنین میزان رسوب معلق ۳۰ ساله ایستگاه‌ها به روش حد وسط دسته‌ها و تلفیق آمار آینده ماهانه و روزانه برآورد گردید. با تجزیه و تحلیل رگرسیون چندمتغیره مناسب‌ترین رابطه آماری بین رسوبدهی معلق و مشخصات حوزه آبخیز ایستگاه‌ها به دست آمد. با توجه به این معادله پارامترهای درصد اراضی جنگلی کم‌تراکم و نیمه‌متراکم و دبی متوسط سالیانه، رابطه مثبت و درصد سازندهای زمین‌شناسی مقاوم و نسبتاً مقاوم به فرسایش ما قبل کواترنر رابطه منفی با میزان رسوبدهی معلق حوزه آبخیز گرگان رود دارند. این سه متغیر بر روی هم بیش از ۹۶ درصد تغییرات رسوبدهی معلق را بیان کرده و اشتباه معیاری در حدود ۰/۱۹ در برآورد دارند.

**واژگان کلیدی:** رسوب معلق، رابطه همبستگی، گرگان رود، رابطه آماری، تراکم جنگل، ایران

### مقدمه

فرایند تولید رسوب، حمل و رسوبگذاری در رودخانه‌ها بخشی از سیکل هیدرولوژی به حساب می‌آید به طوری که ممکن است قانون طبیعی حرکت رسوب، پراکنش مکانی و زمانی و روند آن تحت تاثیر تغییرات جهانی اقلیم قرار گیرد. مقدار تولید رسوب، چگونگی و زمان رسوبدهی، اندازه و ترکیب دانه‌های رسوبی، انتقال آن در بین شبکه آبراه‌ها از ویژگی‌های مهم رژیم رسوبدهی حوزه‌های آبخیز به شمار می‌رود، زیرا که تغییر در هر یک از عوامل مذکور باعث تغییر عملکرد آبخیزها می‌گردد (Reid, ۱۹۹۳ و Long, ۱۹۹۲).

بیشتر رسوبات حمل شده توسط رودخانه‌ها که در مخازن نهشته می‌شوند، از حوزه آبخیز بالادست آنها منشاء می‌گیرند بنابراین تولید رسوب حوزه‌های آبخیز می‌تواند به عنوان شاخص مستقیم در اندازه‌گیری فرسایش اراضی بالادست (Reid, ۱۹۹۳) و به عنوان معیار سهل‌الوصول و قابل قبول برای درجه‌بندی آبخیزها از نقطه نظر فوق به کار رود (عرب خدری و زرگر، ۱۳۷۴).

استفاده از شاخص آماری میانگین در برآورد متوسط رسوبدهی حوزه‌های آبخیز با خطای زیادی همراه می‌باشد، که علت آن مربوط به ماهیت رابطه رسوب معلق و سایر عوامل موثر می‌باشد. در طی سالیان

متمادی محققین مختلف روابط متعددی بین میزان رسوب و مشخصه‌های حوزه آبخیز اعم از اقلیم، زمین شناسی، کاربری اراضی، هیدرولوژی و غیره ارائه داده‌اند.

Anderson (۱۹۷۵) بیان می‌دارند که برآوردهایی از رسوب و رسوبگذاری اعتبار کمی و کیفی دارند که مبتنی بر آنالیزهای چندمتغیره باشند. این که چه عواملی در این بین می‌تواند به عنوان متغیر مستقل وارد معادلات رگرسیون شوند، اهمیت خاصی دارد. این متغیرها به عنوان ورودی معادلات شامل متغیرهای هواشناسی مشخصات استاتیک حوزه‌های آبخیز زمین‌شناسی و توپوگرافی و ویژگی‌های دینامیک حوزه‌های آبخیز (کاربری اراضی) می‌باشد. تغییر رسوبدهی حوزه‌های آبخیز به عنوان یک پدیده هیدرولوژیکی ناشی از اختلافات خصوصیات حوزه‌ها و تغییرات ناشی از شانس می‌باشد. روش‌های رگرسیونی منطقه‌ای تغییرات مربوط به خصوصیات حوزه‌های آبخیز را بیان نموده و تغییرات ناشی از شانس را تعدیل می‌نماید از طرفی دیگر در مناطق مختلف روابط ارائه شده مختص همان منطقه بوده و نمی‌توان آنها را برای شرایط و مناطق دیگر به کار برد (عرب خدری و زرگر ۱۳۷۴ و Anderson, ۱۹۷۵).

Anderson (۱۹۷۵) میزان رسوبگذاری ۴۸ مخزن در کالیفرنیا شمالی را به ویژگی‌هایی از قبیل مقدار بارندگی، فراوانی بارش برف و باران، محل و استانداردهای جاده سازی، آتش‌سوزی جنگل، زمین‌شناسی، فیزیوگرافی، کلاس‌های مختلف لغزش در آبخیزها، محدوده گسل‌های زمین‌شناسی و محتوای رس خاک‌های حوزه آبخیز ربط داده و مدل رگرسیونی نهایی با واریانس توضیح داده شده (ضریب همبستگی) ۰/۸۶ و اشتباه معیار ۰/۱۳۸ واحد لگاریتمی به دست آورده اند.

Jansen و Painter (۱۹۷۴) بین دبی متوسط تولید رسوب و متغیرهای توپوگرافی و اقلیمی رودخانه‌های مختلف در هر یک از زون‌های اقلیمی دنیا، روابط رگرسیونی خطی برقرار کرده و نتیجه‌گیری می‌کنند که چنین مدل‌هایی می‌توانند برای برآورد رسوبدهی رودخانه‌هایی که آماری از آنها وجود ندارد به کار روند.

Xie و همکاران (۱۹۹۳) با استفاده از آنالیز رگرسیونی بین متغیرهای ژئومورفولوژی و هیدروکلیماتیک به عنوان متغیرهای مستقل و تولید رسوب معلق به عنوان متغیر وابسته در ۱۴ ایستگاه در آتلانتیک کانادا مدل رگرسیونی را برآورد نمودند که در ارزیابی تغییرات سالانه بارمعلق نسبت به تغییرات کاربری اراضی، زهکشی و هیدرولوژیکی مناسب تشخیص داده شد. این افراد نتیجه‌گیری می‌کنند که پایه زمانی یک‌ماهه در چنین معادلاتی کوتاه می‌باشد.

Lahlou (۱۹۸۸) بعد از آنالیز روش‌های متعدد تعیین رسوبگذاری سدها روابطی را بین تولید رسوب از آبخیزها و مساحت لیتولوژی و رواناب سالیانه آنها برقرار کرده است. این روابط منجر به ساخت یک سری فرمول برای تعیین میزان رسوبگذاری سدهای ساخته شده مراکش شد.

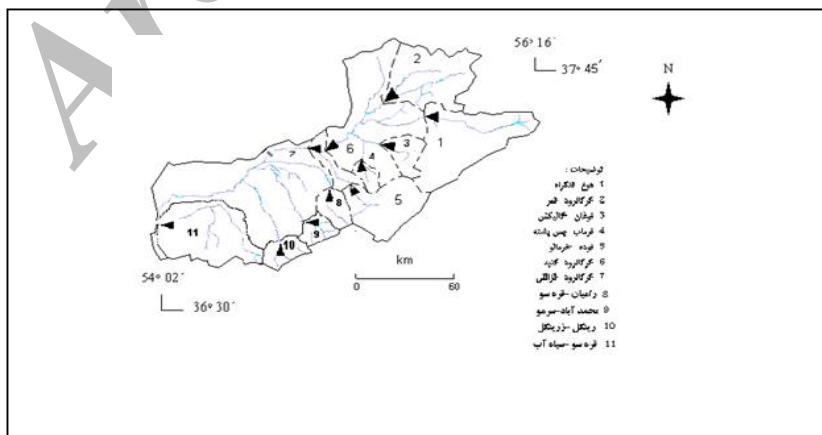
Colvo-Alvarado و همکاران (۱۹۹۷) در کارولینای شمالی معادلات رگرسیونی برای پیش‌بینی متوسط رواناب سالانه و رسوبدهی معلق حوزه‌های آبخیز روستایی که مساحت آنها بین ۵ تا ۱۱۰۰ کیلومتر مربع متغیر می‌باشد و در مناطق دشت‌سر، کوهستان و سواحل قرار گرفته‌اند، پیشنهاد می‌کنند. برای رسوب معلق سالانه تغییرات عوامل تولید رسوب در بین نواحی مختلف باعث شد که معادلات مجزا برای هر ناحیه به دست آید.

عرب خدری و زرگر (۱۳۷۴) در مطالعه خود در البرز شمالی و تحلیل منطقه‌ای رسوب روابط چندگانه بین میزان رسوب معلق سالیانه آبخیز و ویژگی‌هایی از قبیل ابدی، اقلیم، پوشش گیاهی و فیزیوگرافی به روش رگرسیون چندمتغیره مورد بررسی قرار داده و مناسب‌ترین مدل رسوبدهی را که در آن متغیرهای مساحت، شیب و دبی حداکثر متوسط روانه با دوره بازگشت دو ساله شرکت دارند، پیشنهاد می‌کنند.

حکیم‌خانی (۱۳۷۷)، با در نظر گرفتن پراکنش جغرافیایی ۱۷ زیرحوزه در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه و آمار طولانی مدت جریان و رسوب آنها، رابطه رگرسیونی بین رسوب معلق و ویژگی‌های دیگر حوزه آبخیز برقرار می‌کنند، به طوری که متغیرهای درصد اراضی رو به غرب، درصد سنگ‌های حساس، بارش متوسط و دبی متوسط سالانه، بیش از ۹۳ درصد تغییرات تولید رسوب معلق را بیان می‌نمایند. چنان که از نتایج تحقیقات گذشته برمی‌آید در به دست آوردن بیشتر معادلات رگرسیونی و وارد کردن متغیرها مشکل هم‌خطی وجود دارد. به نظر می‌رسد به جای ماتریس همبستگی، استفاده از همبستگی جزئی متغیرها می‌تواند تا حدود زیادی این مشکل را مرتفع نماید از طرفی استفاده از متغیرهای ترکیبی فقط در یک مورد دیده می‌شود و این در حالی است که به نظر می‌رسد استفاده از این متغیرها تا حدود زیادی بتواند در بهبود روابط ارائه شده کمک موثری داشته باشد.

## مواد و روش‌ها

به منظور پیدا کردن معادله مناسب برای منطقه از بین ایستگاه‌های موجود در حوزه آبخیز گرگان‌رود تعداد ۱۱ ایستگاه که آمار دبی جریان و رسوب نسبتاً کامل و پراکنش مناسبی در منطقه داشتند، انتخاب گردید (شکل ۱). متوسط رسوب معلق ۳۰ ساله این ایستگاه‌ها (۱۳۴۲-۷۲) با توجه به روش حدوسط دسته‌ها و تلفیق آمار ابدی روزانه و ماهانه پیشنهاد شده توسط عرب خدری و همکاران (۱۳۷۷) برآورد گردید (جدول ۱). از بین پارامترهای مختلف زمین‌شناسی درصد مساحت کلاس‌های مختلف حساسیت به فرسایش واحدهای زمین‌شناسی (فیض‌نیا، ۱۳۷۴) با تهیه نقشه حساسیت به فرسایش حوزه آبخیز گرگان‌رود، در هر یک از ایستگاه‌ها محاسبه گردید. از آنجایی که شکل لگاریتمی مقادیر متغیرها در معادلات رگرسیونی استفاده می‌شود بنابراین مقادیر لگاریتمی آنها در جداول آورده می‌شود. درصد مساحت کلاس‌های مختلف کاربری اراضی با توجه به نقشه‌های موجود از منطقه (وزارت کشاورزی، ۱۳۷۶) محاسبه گردید که مقادیر لگاریتم این متغیرها در محاسبات مدنظر قرار گرفت. با توجه به گزارش‌های موجود و نقشه‌های مربوطه، اندازه متغیرهای مختلف فیزیوگرافی حوزه آبخیز ایستگاه‌ها اعم از مساحت، شیب، محیط حوزه و غیره به دست آمد. علاوه بر سه گروه اصلی متغیرهای مذکور، تعدادی متغیر نیز به عنوان متغیر ترکیبی براساس پیشنهاد عرب خدری و زرگر (۱۳۷۴) به منظور بهبود و افزایش ضریب تعیین معادلات رگرسیونی به دست آمد که تلفیقی از متغیرهای اندازه‌گیری شده مذکور بود. با تشکیل ماتریس همبستگی بین لگاریتم مقادیر متغیرهای مستقل و لگاریتم مقدار رسوبدهی معلق ۱۱ ایستگاه مذکور، نسبت به بدست آوردن معادله رگرسیونی اقدام شد. بدین منظور از بین روش‌های مختلف جستجوی متوالی، روش گام به گام انتخاب گردید (Hair و همکاران ۱۹۹۸).



شکل (۱) نقشه حوزه آبخیز گرگان‌رود و پراکنش زیرحوزه‌های انتخاب شده

جدول (۱) مقادیر رسوب معلق، دبی متوسط سالیانه و بارش متوسط در هریک از ایستگاه‌های انتخاب شده

رودخانه - ایستگاه	متوسط بارش سالیانه (میلی متر)	دبی متوسط سالیانه (مترمکعب در ثانیه)	متوسط رسوب معلق (تن در سال)
دوغ-تنگراه	۴۱۵	۱/۵۶	۱۵۰۵۹
گرگان رود-تمر	۴۶۵	۱/۵۱	۲۶۴۲۰۲
اوغان-گالیکش	۵۹۴	۲/۶۵	۱۰۱۱۸۷
گرگان رود-گنبد	۴۴۶	۷/۵۴	۳۹۸۱۰۷۲
نرماب-پس پشته	۶۹۵	۲/۱۳	۲۸۸۴۰
خرمالو-نوده	۴۲۱	۲/۲۹	۶۲۲۱۷
قره‌سو-رامیان	۶۰۸	۱/۴۲	۲۲۵۴۲۳
گرگان رود-فراقلی	۴۶۴	۱۶/۳۶	۴۴۶۶۸۳۶
زرین گل-زرین گل	۵۲۴	۲/۳۳	۵۶۵۴۲
محمدآباد-سرمو	۴۹۷	۱/۴۷	۷۴۵۸۱
قره‌سو-سیاه‌آب	۵۹۸	۱/۹۲	۴۶۸۷۶

### نتایج و بحث

با توجه به ماتریس همبستگی متغیرها، می‌توان دید که متغیر دبی متوسط سالیانه (QW) همبستگی بالایی (۰/۸۲) با میزان تولید رسوب، نسبت به سایر متغیرها دارد. بنابراین اولین مرحله تشکیل معادله رگرسیون با استفاده از این متغیر مهم می‌باشد. در این مرحله متغیر دبی متوسط سالیانه و رسوب متغیر وابسته است و مقدار  $R^2$  مجذور ضریب همبستگی (۰/۶۴۷) می‌باشد که در اغلب موارد ضریب تعیین مدل نامیده می‌شود و بیان می‌کند که چه مقدار از کل واریانس متغیر وابسته (رسوب معلق) می‌تواند توسط دبی متوسط سالیانه توضیح داده شود. (۶۴ درصد) مقدار کل مجموع مربعات  $(6/04 = 2/146 + 3/89)$  اشتباه مجذور شده است که اگر فقط میانگین رسوبدهی برای پیش‌بینی مقدار آن به کار رود اتفاق می‌افتد. با استفاده از متغیر دبی متوسط سالیانه این اشتباه تا ۶۴/۴۰ درصد  $(6/04 - 3/89)$  کاهش می‌یابد. اشتباه معیار بر آورد (۰/۴۹) اندازه دیگری از تعیین صحت پیش‌بینی می‌باشد. مقدار آن حاصل تقسیم جذر مجموع مربعات اشتباه به درجه آزادی (۰/۴۹) می‌باشد. این عدد بیانگر مقدار انحراف معیار واقعی متغیر وابسته حول خط رگرسیون می‌باشد و همچنین به عنوان مقدار انحراف معیار اشتباه برآورد در نظر گرفته می‌شود. در مرحله اول فقط متغیر مستقل لگاریتم دبی متوسط سالیانه (QW) برای به دست آوردن معادله رگرسیونی استفاده شد. ضریب رگرسیون متغیر مستقل QW، ۱/۸۶۹ می‌باشد. بنابراین، مقدار پیش‌بینی شده برای هر مشاهده برابر مقدار عرض از مبدأ ۴/۳۷۳ به اضافه ضریب رگرسیون (۱/۸۶۹) ضربدر متغیر مستقل می‌باشد به طوری که اگر مقدار لگاریتم رسوبدهی معلق را به عنوان Y در نظر گرفته شود در این حالت رابطه به صورت زیر در می‌آید.

$$\text{رابطه (۱)} \quad y = 4/373 + 1/869 \log(QW)$$

تا این مرحله ما متغیر دیگری را وارد نکرده‌ایم. برای وارد کردن متغیر دوم در معادله دو روش شامل همبستگی جزئی و مقادیر t جزئی وجود دارد. همبستگی جزئی مقداری از تغییرات Y می‌باشد که توسط متغیرهای موجود در معادله (متغیر QW در مرحله اول) به حساب نیامده است و می‌تواند با اضافه کردن سایر متغیرها توضیح داده شود. همچنین مقادیر t جزئی بیانگر معنی‌دار بودن همبستگی جزئی متغیرهای مستقل وارد نشده در مدل است. به عنوان مثال همبستگی جزئی درصد اراضی جنگلی کم‌تراکم (F3) با دبی متوسط سالیانه در حدود ۰/۶۴۸ می‌باشد.

این مقدار به این معنی است که ۴۱/۹۹ درصد واریانس باقی‌مانده می‌تواند توسط متغیر دوم توضیح داده شود از طرفی ۶۴ درصد واریانس قبلاً توضیح داده شده است (توسط متغیر QW). هم اکنون با اضافه کردن متغیر F3  $[0/15 = 0/419 * (1 - 0/64)]$  ۱۵ درصد واریانس کل می‌تواند توضیح داده شود. با وارد شدن متغیر F3، رابطه جدیدی به دست می‌آید که به صورت زیر است.

رابطه (۲)  $y = 3/683 + 1/539(\log QW) + 1/635(\log F3)$   
مقدار  $R^2$  این معادله به مقدار ۱۵ درصد افزایش پیدا کرده است و کل واریانس توضیح داده شده تا این مرحله ۷۹/۰۰ درصد می‌باشد. مقدار t نشان‌دهنده معنی‌دار بودن هر دو ضریب F3 و QW در سطح ۵ درصد می‌باشد.

به همین ترتیب متغیرهای دیگری در رابطه وارد شد و در هر مرحله آزمون معنی‌دار بودن ضرایب و غیره انجام گردید. در بعضی از موارد با اضافه کردن متغیرهای جدید، متغیرهایی که قبلاً وارد شده بودند بی‌معنی بوده که از معادله خارج شدند. در نهایت با این روش معادله نهایی به صورت زیر به دست آمد:

$$\text{رابطه (۳)} \quad \log(QS) = 5/873 + 1/909(\log QW) + 0/922(\log FD) - 1/709(\log GR)$$

در این رابطه:

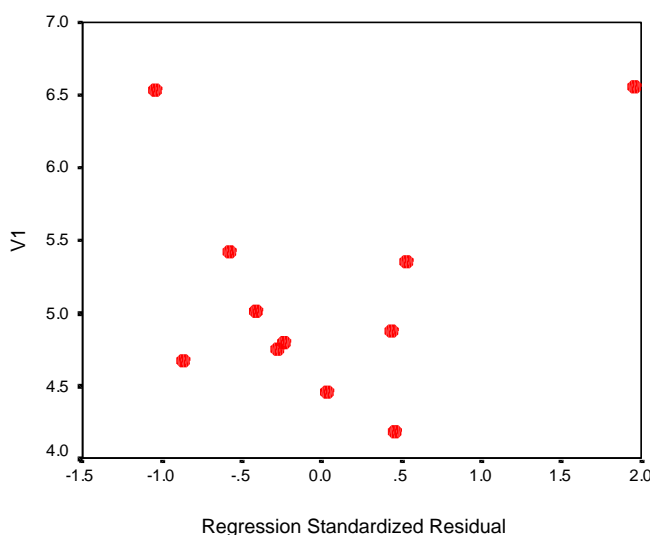
QS: رسوبدهی معلق به تن در سال

QW: دبی متوسط سالیانه به مترمکعب در ثانیه

FD: مجموع درصد مساحت اراضی جنگلی نیمه‌متراکم و کم‌تراکم (دست خورده)

GR: مجموع درصد مساحت سازندهای زمین‌شناسی مقاوم به فرسایش و نسبتاً مقاوم به فرسایش ماقبل کواترنر در ارزیابی معادله برآورد شده تا حد ممکن معنی‌داری آماری مد نظر قرار گرفت اما برای رعایت فرضیات رگرسیونی بایستی یکنواختی

واریانس، مستقل بودن باقی‌مانده و نرمالیتت مورد آزمون قرار گیرد. رسم گراف مقدار باقی‌مانده‌های استیودنت شده در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده می‌تواند برای مقایسه تفاوت بین مقدار واقعی متغیر وابسته و مقدار پیش‌بینی به کار رود. چنان که در شکل (۲) دیده می‌شود، مقدار باقی‌مانده‌های استیودنت در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده (VI) کاملاً حالت تصادفی داشته و الگوی خاصی بین این دو دیده نمی‌شود که این حالت نشان‌دهنده یکنواختی واریانس و مستقل بودن باقی‌مانده‌ها می‌باشد.



شکل (۲) مقادیر باقی‌مانده استاندارد شده (محور افقی) در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده (محور عمودی)

## نتایج و بحث

هدف از آنالیز رگرسیون چندمتغیره استفاده از متغیرهای مستقل برای پیش‌بینی مقدار متغیر وابسته می‌باشد. میانگین حسابی رسوبدهی معلق زیرحوزه‌های انتخاب شده (۱۱ زیرحوزه) می‌تواند مقدار رسوبدهی معلق را به دست دهد و این مقدار به عنوان مقدار متوسط رسوبدهی معلق حوزه آبخیز گرگان‌رود تلقی شود. اما سئوالی که مطرح می‌باشد این است که میانگین مقدار متغیر وابسته را به طور کامل پیش‌بینی نمی‌کند و زمانی از میانگین استفاده می‌شود که متغیر مستقل موثر بر رسوبدهی در دسترس نباشد. وقتی متغیرهای مستقلی وجود دارد از معادله رگرسیونی می‌توان برای برآورد مقدار متغیر وابسته استفاده کرد. از طرفی استفاده از معادله رگرسیونی باعث کاهش مجموع اشتباهات مجذور شده نسبت به میانگین می‌شود چرا که مقدار واقعی متغیر وابسته با مقدار پیش‌بینی شده آن همیشه اختلاف دارد و هرچه این اختلاف کمتر باشد، برآورد ما صحیح‌تر است.

از طرفی نوع رابطه‌ای که در مدل‌های رگرسیونی در نظر گرفته می‌شود رابطه آماری می‌باشد. رابطه آماری با رابطه جبری یا تابعی تفاوت دارد. در رابطه آماری برای هر مقدار متغیر مستقل مثل دبی متوسط سالیانه، چندین مقدار متغیر وابسته مثل رسوب معلق مشاهده

می‌شود. اما در رابطه جبری برای یک مقدار متغیر مستقل فقط یک مقدار متغیر وابسته وجود دارد. از این رو متغیر وابسته یک متغیر تصادفی به حساب می‌آید که فقط می‌توان مقدار متوسط آن را برآورد نمود. همان طوری که گفته شد، متغیر رسوبدهی معلق که یک متغیر وابسته در این تحقیق به شمار می‌رود، دارای رابطه آماری با متغیرهای مستقل دیگر می‌باشد. اگر مقدار متوسط سالیانه متغیر وابسته (رسوبدهی معلق زیرحوزه‌ها) را برای پیش‌بینی به کار برده شود، مجموع اشتباهات مجذور شده زیاد خواهد بود.

مقدار  $R^2$  (ضریب تعیین معادله) ۰/۹۶ می‌باشد که نشان می‌دهد ۹۶ درصد واریانس متغیر وابسته (یعنی رسوبدهی معلق) حول میانگین آن نشان داده شده است، در صورتی که فقط مقدار متوسط رسوبدهی معلق زیرحوزه‌های انتخاب شده (۵/۱۴ واحد لگاریتمی) برای پیش‌بینی به کار رود مقدار مربعات خطای کل برابر ۶/۰۴ واحد لگاریتمی خواهد بود ولی با کاربرد متغیرهای مستقل و معادله مذکور این مقدار در حدود ۹۶ درصد کاهش می‌یابد (۵/۷۸۳/۶۱۰۴). با آزمون معنی‌داری ضرایب و ثابت به دست آمده در مدل متوجه می‌شویم که این ضرایب در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار بوده بنابراین کاربرد متغیرهای مستقل GR، FD و QW در برآورد رسوبدهی معلق می‌تواند موثر

واقع شود و نسبت به میانگین بهتر عمل کند. این مقدار ضریب تعیین نسبت به ضریب به دست آمده توسط عرب خدری و زرگر (۱۳۷۴) که در حدود ۰/۹۸ می باشد کمتر می باشد ولی از مقدار ۰/۹۳ به دست آمده برای حوزه آبخیز دریاچه ارومیه بیشتر می باشد. اشتباه برآورد این معادله در حدود ۰/۱۹ می باشد که این مقدار بیانگر حدود تغییرات پیش بینی مدل می باشد که بسته به اندازه نمونه و سطح اعتماد مورد نظر این فاصله تغییر می کند. اشتباه معیار به دست آمده در مقایسه با حوزه آبخیز البرز شمالی (۰/۰۲) و مدل ارائه شده توسط آندرسون ۱۹۹۸ (۰/۱۳۸) بیشتر می باشد.

### جمع بندی

از بین متغیرهای مستقل سه متغیر مجموع درصد مساحت سازندهای مقاوم به فرسایش و نسبتاً مقاوم به فرسایش ما قبل کواترنر (GR)، مجموع درصد مساحت اراضی جنگلی نیمه متراکم و کم تراکم و یا اراضی جنگلی دست خورده (FD) و دبی متوسط سالانه ( $Q_w$ ) در رسوبدهی معلق زیرحوزه های انتخاب شده موثر می باشند. تغییرات دو عامل  $Q_w$  و FD با هم دیگر هم سو بوده و بنابراین با افزایش این دو پارامتر مقدار رسوبدهی معلق نیز افزایش می یابد. رابطه مذکور عملاً نیز معنی دار است چرا که با افزایش درصد اراضی جنگلی کم تراکم و نیمه تراکم که طبق تعریف وزارت کشاورزی (۱۳۷۶) اراضی هستند که در اثر قطع بی رویه و دست کاری افراد انسانی در منطقه ایجاد شده اند انتظار فرسایش خاک زیاد و بالطبع رسوبدهی معلق بیشتر می رود. از طرفی مقایسه ضرایب بتای دو متغیر  $Q_w$  و FD این نتیجه را می دهد که تاثیر متغیر  $Q_w$  در برآورد میانگین رسوبدهی معلق بیشتر از FD می باشد (ضریب ۰/۸۲۰ در مقابل ۰/۴۲۶). همچنین متغیر (GR) یا مجموع درصد مساحت سازندهای مقاوم به فرسایش و نسبتاً مقاوم ما قبل کواترنر، همبستگی منفی با رسوبدهی معلق داشته و ضریب رگرسیون جزئی منفی در معادله دارد. این امر نیز به صورت منطقی قابل توجیه است بدین نحو که افزایش واحدهای زمین شناسی مقاوم به فرسایش، باعث کاهش رسوبدهی حوزه های آبخیز می گردد.

### منابع

- ۱- جاماب (شرکت مهندسی مشاور)، ۱۳۶۹. طرح جامع آب کشور، گزارش حوزه آبخیز گرگان رود، وزارت نیرو.
- ۲- حکیم خانی، ش، ۱۳۷۷. ارائه مدل رگرسیونی چندمتغیره براساس عوامل موثر بر رسوبدهی معلق حوزه آبخیز دریاچه ارومیه، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۲۰۰ ص.

۳- عرب خدری، م، ش. حکیم خانی، و ولی خوجینی، ع، ۱۳۷۷. ضرورت تجدید نظر در روش متداول بار معلق رودخانه ها، پژوهش و سازندگی، شماره ۳۹.

۴- عرب خدری، م، ا. زرگر، ۱۳۷۴. برآورد تولید رسوب در بخش شمالی البرز با استفاده از مدل های رگرسیونی، مجله پژوهش و سازندگی، ۲۱: ۲۲ تا ۲۸.

۵- فیض نیا، س، ۱۳۷۴. مقاومت سنگها در مقابل فرسایش در اقلیم مختلف ایران، مجله منابع طبیعی ایران، ۴۷: ۹۵-۱۱۶.

۶- وزارت کشاورزی، ۱۳۷۶. اطلس کاربری اراضی حوزه های شمال، معاونت برنامه ریزی، پشتیبانی اداره کل آمار و اطلاعات، نشریه شماره ۷۶/۰۹.

7- Anderson W.H., 1975. Relation of Reservoir Sedimentation to Catchment's Attributes, Landslide Potential, Geologic Fault and Predicted Density, 1 Association International des Sciences Hydrologiques Symposium de Tokyo.

8- Bray, D., H. Xie, 1993. a regression method for estimating suspended sediment yield for ungauged watersheds in Atlantic Canada, Canadian journal of Civil Engineering, 20:82-87.

9- Colvo Alvarado, J.C. and G.D. James, 1997. Predicting Mean Annual Run off and suspended sediment yield in rural watersheds in North Carolina, Report No, 307-Feb. (Internet)

10- Hair, J.R., F. Joseph, Anderson E. Ralph, That ham, L. Ronald Black, C. William, 1998. Multivariate Data Analysis, Prentice Hall Press, 700p.

11- Jansen, J.M.L. and R.B. Painter, 1979. Prediction sediment yield from climate and Topography, Jour, of Hyde. 21: 37-38.

12- Lahlou, A., 1988. the silting of Moroccan dams, sediment Budgets, IAHS Public: No 179.

13- Long Y., 1992. the design and operation of sediment transport measurement programs, in River Basins, the Chinese experience – IAHS, Public, No 210.

14- Reid, L.M., 1993. Research and cumulative watershed Effects United.

15- States Department of Agriculture forest service, Pacific, South West Research station, General Technical Report, PSW-GTR – 141.

16- Xie, H. and D. Bray, 1993. A regression method for estimating suspended sediment yield for engaged watersheds in Atlantic Canada, Canadian journal of Civil Engineering, 20: 82-87.