

آنالیز ناحیه‌ای رسوب معلق با استفاده از معادله رگرسیونی در حوزه آبخیز گرگانرود^۱

جواد وروانی^۲ سادات فیض‌نیا^۳ محمدمهدوی^۴ محمودعرب‌خدیری^۵

چکیده

یکی از روش‌های برآورد فرسایش، استفاده از آمار رسوب ایستگاه‌های هیدرومتری و رسوب‌سنجی است. آنالیز رگرسیونی ارتباط بین آمار رسوب و خصوصیات حوزه آبخیز را بخوبی نشان می‌دهد. در این تحقیق، ابتدا با انتخاب یازده ایستگاه هیدرومتری و رسوب‌سنجی که از آمار و اطلاعات کافی برخوردار بودند 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 نیمه‌تراکم و دبی متوسط سالیانه، رابطه مثبت و درصد سازندهای زمین‌شناسی مقاوم و نسبتاً مقاوم به فرسایش ماقبل کواترنر رابطه منفی با میزان رسوب‌دهی معلق حوزه آبخیز گرگانرود 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.

واژه‌های کلیدی: رسوب معلق، آنالیز رگرسیون، گرگانرود، سد وشمگیر، رابطه آماری، تراکم جنگل و ایران

۱- تاریخ دریافت: ۸۰/۵/۲۹، تاریخ تصویب نهایی: ۸۰/۱۰/۳

۲- کارشناس ارشد آبخیزداری

۳- استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

۴- استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

۵- عضو هیات علمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری

مقدمه

فرایند تولید رسوب، حمل و رسوبگذاری در رودخانه‌ها بخشی از چرخه 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 و انتقال آن در بین شبکه آبراهه‌ها، از ویژگی‌های مهم رژیم رسوب‌دهی حوزه‌های آبخیز به‌شمار می‌رود، زیرا که تغییر هریک از عوامل مذکور، موجب تغییر عملکرد آبخیزها می‌گردد (۱۳ و ۱۴).

بیشتر رسوبات حمل‌شده توسط رودخانه‌ها که در مخازن نهشته می‌شوند، از حوزه آبخیز بالادست آنها منشأ می‌گیرند، بنابراین تولید رسوب حوزه‌های آبخیز می‌تواند به‌عنوان شاخص مستقیم در اندازه‌گیری فرسایش اراضی بالادست (۱۴) و معیار سهل‌الوصول و قابل قبول برای درجه‌بندی آبخیزها از نظر فوق به‌کار رود (۴).

استفاده از شاخص آماری میانگین در برآورد متوسط رسوب‌دهی حوزه‌های آبخیز با خطای زیادی همراه است، که علت آن مربوط به ماهیت رابطه رسوب معلق و سایر عوامل موثر می‌باشد. در طی سالیان متمادی محققان مختلف روابط متعددی بین میزان رسوب و مشخصه‌های حوزه آبخیز اعم از اقلیم، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، هیدرولوژی و غیره ارائه داده‌اند. اندرسون^۱ و همکاران (۱۹۷۵) بیان می‌دارند که برآوردهایی از رسوب و رسوبگذاری اعتبار کمی و کیفی دارند که مبتنی بر آنالیزهای چندمتغیره باشند. اینکه چه عواملی در این بین می‌توانند به‌عنوان متغیر مستقل وارد معادلات رگرسیون شوند، اهمیت خاصی دارد. این متغیرها به‌عنوان ورودی معادلات شامل متغیرهای هواشناسی، مشخصات استاتیک حوزه‌های آبخیز، زمین‌شناسی و توپوگرافی و ویژگی‌های دینامیک حوزه‌های آبخیز (کاربری اراضی) است. تغییر

رسوب‌دهی حوزه‌های آبخیز، یک پدیده هیدرولوژیکی ناشی از اختلافات خصوصیات حوزه‌ها و تغییرات ناشی از شانس است. روش‌های رگرسیونی منطقه‌ای، تغییرات مربوط به خصوصیات حوزه‌های آبخیز را بیان نموده و تغییرات ناشی از شانس را متوسط می‌کند. از طرف دیگر، در مناطق مختلف روابط ارائه شده مختص همان منطقه است و نمی‌توان آنها را برای شرایط و مناطق دیگر به‌کار برد (۴ و ۷).

اندرسون و همکاران (۱۹۷۵) میزان رسوبگذاری ۴۸ مخزن در کالیفرنیا شمالی را به ویژگی‌هایی از قبیل مقدار بارندگی، فراوانی بارش برف و باران، محل و استانداردهای جاده‌سازی، 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 به‌دست آورده‌اند.

جانسن و پینتر^۲ (۱۹۷۴) بین دبی متوسط تولید رسوب و متغیرهای توپوگرافی و اقلیمی رودخانه‌های مختلف در هریک 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.

بری و ژای^۳ و همکاران (۱۹۹۳) با استفاده از آنالیز رگرسیونی بین متغیرهای ژئومورفولوژی و هیدروکلیماتیک به‌عنوان متغیرهای مستقل و تولید رسوب معلق به‌عنوان متغیر وابسته در ۱۴ ایستگاه در آتلانتیک کانادا، مدل رگرسیونی را برآورد کردند که در ارزیابی تغییرات سالانه بار معلق نسبت به تغییرات کاربری اراضی، زهکشی و هیدرولوژیکی مناسب تشخیص داده شد. این افراد نتیجه‌گیری می‌کنند که پایه زمانی یک‌ماهه در چنین معادلاتی کوتاه است.

^۲ - Jansen & Painter

^۳ - Bray & Xie

^۱ - Anderson

متغیرها می‌تواند تا حدود زیادی این مشکل را مرتفع سازد، از طرفی استفاده از متغیرهای ترکیبی فقط در یک مورد دیده می‌شود و این درحالی است که به نظر می‌رسد استفاده از این متغیرها تا حدود زیادی بتواند در بهبود روابط ارائه شده کمک موثری بنماید.

مواد و روش‌ها

حوزه آبخیز گرگانرود در بخش جنوب شرقی دریای خزر در چین‌خوردگی‌های شمالی البرز، با مختصات $۵۴^{\circ} ۰۲'$ و $۱۶' ۵۶^{\circ}$ طول شرقی و $۳۴' ۳۶^{\circ}$ و $۴۷' ۳۷^{\circ}$ عرض شمالی واقع شده است. حوزه آبخیز گرگان به وسیله رود قره‌سو در بخش جنوب غربی و رود گرگان در بخش شرقی و میانی حوزه زهکشی می‌گردد. هر دو رودخانه دارای بخش کوهستانی و بخش مسطح‌اند. تمام حوزه قره‌سو کوهستانی و از جنگل پوشیده شده است، ولی بخشی از حوزه، گرگان پوشیده از جنگل و بخشی دیگر، بدون پوشش جنگلی است. سد وشمگیر در بخش میانی رودخانه احداث گردیده و از ذخیره آب سیلابی رودخانه با استفاده از پمپاژ و همچنین آبیگری مستقیم از مخزن، اراضی قابل توجهی را آبیاری می‌کند. آب و هوای حوزه مذکور معتدل، مرطوب، نیمه‌مرطوب و نیمه‌خشک است. بارندگی این حوزه از حوزه‌های ساحلی دریای خزر کمتر و بعکس متوسط درجه حرارت آن بیشتر است. به طور کلی، شرایط اقلیمی حوزه از شمال به جنوب و از غرب به شرق تفاوت‌هایی دارد. از جمله میزان باران و رطوبت نسبی در جهاتی که ذکر شد، تفاوت زیادی می‌کند متوسط درجه حرارت بسته به مناطق و ایستگاه‌ها $۱۱/۲$ و $۱۷/۵$ درجه سانتی‌گراد است. متوسط حداکثر مطلق و حداقل مطلق درجه حرارت به ترتیب $۳۶/۱$ و $-۶/۱$ درجه سانتی‌گراد است. میزان باران در نواحی و مناطق مختلف متفاوت است. در ایستگاه پس‌پشته در شرق منطقه بارندگی سالانه بین ۵۳۸ تا ۱۴۹۲ میلی‌متر نوسان دارد و متوسط بارندگی این ایستگاه ۹۷۱ میلی‌متر است. این میزان در غرب منطقه و ایستگاه سالیان تپه ۲۱۰ تا ۴۱۰ و

لاهلو^۱ (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.

کالو آلواردو^۲ و همکاران (۱۹۹۷) در کارولینای شمالی معادلات رگرسیونی را برای پیش‌بینی متوسط رواناب سالانه و رسوب‌دهی معلق حوزه‌های آبخیز روستایی که مساحت آنها بین ۵ تا ۱۱۰۰ کیلومتر مربع متغیر بوده و در مناطق دشت‌سر، کوهستان و سواحل قرار گرفته‌اند، پیشنهاد می‌کنند. برای رسوب معلق سالانه تغییرات عوامل تولید رسوب در بین نواحی مختلف موجب شد که معادلات مجزا برای هر ناحیه به دست آید.

عرب‌خداری 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 آبدهی، اقلیم، پوشش گیاهی و فیزیوگرافی را به روش رگرسیون چندمتغیره مورد بررسی دادند و مناسب‌ترین مدل رسوب‌دهی را که در آن متغیرهای مساحت، شیب و دبی حداکثر متوسط روزانه با دوره بازگشت دوساله شرکت دارند، پیشنهاد می‌کنند.

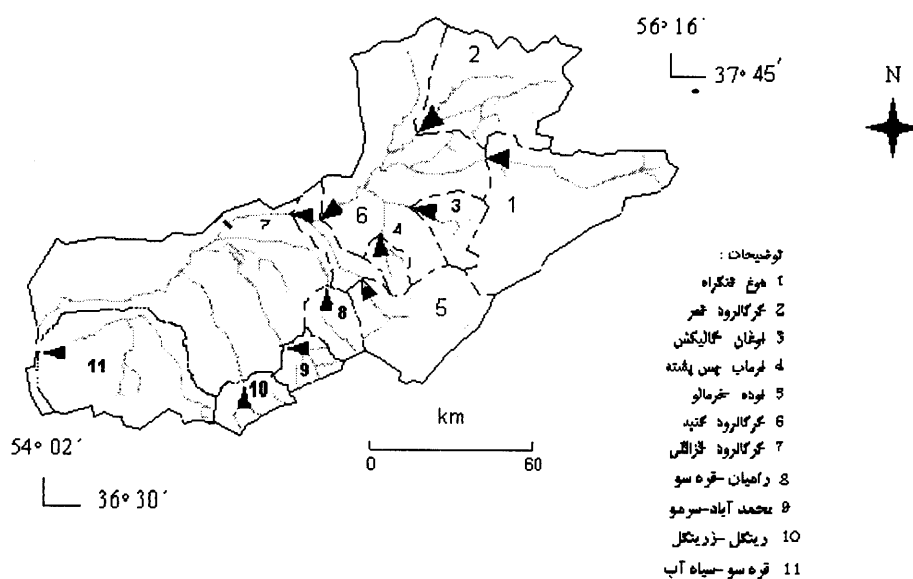
حکیم‌خانی (۱۳۷۷)، با در نظر گرفتن پراکنش جغرافیایی ۱۷ زیرحوزه در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه و آمار طولانی‌مدت جریان و رسوب آنها، رابطه رگرسیونی بین رسوب معلق و ویژگی‌های دیگر حوزه آبخیز برقرار می‌کند، به طوری که متغیرهای درصد اراضی رو به غرب، درصد سنگ‌های حساس، بارش متوسط و دبی متوسط سالانه، بیش از ۹۳ درصد تغییرات تولید رسوب معلق را بیان می‌کند. چنانکه 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

^۱ - Lahlou

^۲ - Calvo-Alvarado

آنها در جداول آورده می‌شود. درصد مساحت کلاس‌های مختلف کاربری اراضی با توجه به نقشه‌های موجود (۶) از منطقه محاسبه گردید که مقادیر لگاریتم این متغیرها در جدول ۳ آورده شده است. 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 که در جدول ۴ مقادیر لگاریتم این متغیرها آورده شده است. علاوه بر سه گروه اصلی متغیرهای مذکور، تعدادی متغیر نیز به عنوان متغیر ترکیبی که عرب‌خدری و زرگر (۱۳۷۴) در بهبود و افزایش ضریب تعیین معادلات رگرسیونی پیشنهاد می‌کنند، 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 یازده ایستگاه مذکور، برای به‌دست آوردن معادله رگرسیونی اقدام شد. بدین منظور از بین روش‌های مختلف جستجوی متوالی، روش گام‌به‌گام انتخاب گردید (۱۰).

متوسط سالانه آن ۲۹۵ میلی‌متر است. حوزه آبخیز گرگانرود در محدوده دو زون البرز و کپه‌داغ قرار گرفته و سازندهای مختلفی از پرکامبرین تا کواترنر در منطقه رخنمون دارد (۱). 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) و متوسط رسوب معلق ۳۰ ساله این ایستگاه‌ها (۷۲-۱۳۴۱) با توجه به روش حد وسط دسته‌ها و تلفیق آمار آبدی روزانه و ماهانه (پیشنهاد شده توسط عرب‌خدری و همکاران، ۱۳۷۷) برآورد گردید (جدول ۱). از بین پارامترهای مختلف زمین‌شناسی، درصد مساحت کلاس‌های مختلف حساسیت به فرسایش واحدهای زمین‌شناسی (۵) با تهیه نقشه حساسیت به فرسایش حوزه آبخیز گرگانرود، در هریک از ایستگاه‌ها محاسبه گردید که در جدول ۲ مقادیر لگاریتم این متغیرها دیده می‌شود. از آنجایی که شکل لگاریتمی مقادیر متغیرها در معادلات رگرسیونی استفاده می‌شود، بنابراین مقادیر لگاریتمی



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 (میلی‌متر)	دبی متوسط سالیانه (مترمکعب در ثانیه)	متوسط رسوب معلق (تن در سال)
دوغ - تنگراه	۴۱۵	۱/۵۶	۱۵۰۵۹
گرگانرود - تمر	۴۶۵	۱/۵۱	۲۶۴۲۰۲
اوغان - گالی کش	۵۹۴	۲/۶۵	۱۰۱۱۸۷
گرگانرود - گنبد	۴۴۶	۷/۵۴	۳۹۸۸۱۰۷۲
نرماب - پس پشته	۶۹۵	۲/۱۳	۲۸۸۴۰
خرمالو - نوده	۴۲۱	۲/۲۹	۶۲۲۱۷
قره‌سو - رامیان	۶۰۸	۱/۴۲	۲۲۵۴۲۳
گرگانرود - قزاقلی	۴۶۴	۱۶/۳۶	۵۵۶۶۸۳۶
زرین گل - زرین گل	۵۲۴	۲/۳۳	۵۶۵۴۲
محمدآباد - سرمو	۴۹۷	۱/۴۷	۷۴۵۸۱
قره‌سو - سیاه‌آب	۵۹۸	۱/۹۲	۴۶۸۷۹

جدول ۲- مقادیر لگاریتم درصد مساحت کلاس‌های مختلف حساسیت به فرسایش واحدهای زمین‌شناسی در هریک

از ایستگاه‌ها

رودخانه - ایستگاه	ماقبل کواترن					کواترن
	مقاوم به فرسایش	نسبتاً مقاوم به فرسایش	حساس به فرسایش	نسبتاً حساس به فرسایش	حساس به فرسایش	نسبتاً مقاوم به فرسایش
دوغ - تنگراه	۰/۸۳	۱/۶۰	۱/۵۹	۰/۷۵	۰/۷۰	۱/۲۷
گرگانرود - تمر	۰/۶۶	۰/۹۸	۰/۲۲	۱/۲۵	۰/۸۳	۱/۸۷
اوغان - گالی کش	۰/۶۶	۱/۸۶	۱/۳۹	۰/۷۸	۰/۶۷	۰/۲۹
گرگانرود - گنبد	۰/۷۳	۱/۳۱	۱/۱۸	۱/۰۴	۰/۸۲	۱/۷۵
نرماب - پس پشته	۰/۶۶	۱/۴۶	۱/۸۲	۰/۷۵	۰/۶۷	۰/۶۹
خرمالو - نوده	۰/۹۶	۱/۵۷	۱/۵۸	۰/۷۵	۱/۲۲	۰/۹۲
قره‌سو - رامیان	۰/۶۶	۱/۳۱	۱/۷۸	۰/۷۵	۱/۱۷	۰/۹۶
گرگانرود - قزاقلی	۰/۷۶	۱/۳۶	۱/۳۴	۱/۰۰	۰/۹۲	۱/۶۶
زرین گل - زرین گل	۱/۰۳	۱/۵۲	۱/۷۷	۰/۷۵	۰/۶۷	۰/۲۱
محمدآباد - سرمو	۱/۲۰	۱/۴۱	۱/۷۷	۰/۷۵	۰/۶۷	۰/۵۴
قره‌سو - سیاه‌آب	۱/۲۴	۰/۸۴	۱/۳۷	۰/۷۵	۰/۶۷	۱/۷۵

جدول ۳- مقادیر لگاریتم درصد مساحت کلاس‌های کاربری اراضی در هر یک از ایستگاه‌ها

مخلوط مرتج و اراضی دیم	جنگل			مرتج			رودخانه- ایستگاه
	جنگل کم تراکم	جنگل نیمه‌متراکم	جنگل متراکم	مرتج نیمه تراکم	مرتج نیمه‌متراکم	مرتج متراکم	
۱/۳۰	۰/۴۰	۰/۴۷	۱/۱۷	۰/۹۶	۱/۰۱	۱/۶۶	دوغ- تنگراه
۱/۲۰	۰/۹۸	۱/۰۹	۱/۱۶	۰/۵۴	۱/۱۴	۱/۲۴	گرگانرود- تمر
۱/۱۳	۰/۴۰	۱/۷۰	۰/۹۷	۰/۵۴	۰/۶۰	۰/۴۸	اوغان- گالی کش
۰/۷۷	۰/۷۱	۰/۸۵	۱/۱۷	۰/۸۲	۱/۲۷	۱/۳۳	گرگانرود- گنبد
۰/۳۰	۰/۴۰	۰/۰۸	۱/۹۳	۰/۵۴	۰/۶۰	۰/۴۸	نرماب- پس پشته
۰/۷۹	۰/۴۰	۱/۱۰	۰/۵۳	۰/۷۶	۱/۱۲	۱/۸۵	خرمالو- نوده
۰/۳۰	۰/۴۰	۱/۵۲	۱/۷۹	۰/۵۴	۰/۶۰	۰/۶۱	قره‌سو- رامیان
۰/۷۵	۰/۶۷	۰/۸۹	۱/۲۵	۰/۷۸	۱/۲۱	۱/۲۶	گرگانرود- قزاقلی
۰/۳۰	۰/۴۰	۰/۹۹	۱/۹۵	۰/۵۴	۰/۶۰	۰/۴۸	زرین‌گل- زرین‌گل
۰/۳۰	۰/۴۰	۱/۳۸	۱/۸۵	۰/۵۴	۰/۸۱	۰/۷۳	محمدآباد- سرمو
۰/۳۰	۰/۴۰	۰/۶۵	۱/۵۹	۰/۵۴	۰/۶۰	۰/۶۵	قره‌سو- سیاه‌آب

جدول ۴- مقادیر لگاریتم متغیرهای فیزیوگرافی اندازه‌گیری شده در هر یک از ایستگاه‌ها

شیب آبراهه اصلی	شیب متوسط حوزه	طول آبراهه	ارتفاع متوسط	ارتفاع حداکثر	محیط	مساحت	رودخانه- ایستگاه
۲/۲۵	۰/۵۶	۱/۷۳	۳/۱۴	۳/۴۱	۲/۳۸	۳/۲۴	دوغ- تنگراه
۲/۰۱	۰/۶۴	۱/۷۴	۲/۷۱	۳/۳۸	۲/۲۴	۳/۱۸	گرگانرود- تمر
۲/۴۷	۰/۷۹	۱/۶۵	۳/۰۶	۳/۴۱	۲/۰۰	۲/۶۰	اوغان- گالی کش
۱/۵۹	۰/۴۳	۲/۰۳	۲/۹۳	۳/۴۱	۲/۵۹	۳/۷۱	گرگانرود- گنبد
۲/۶۸	۰/۹۳	۱/۳۸	۲/۹۲	۳/۳۱	۱/۸۳	۲/۲۵	نرماب- پس پشته
۲/۶۸	۰/۸۰	۱/۵۸	۳/۱۸	۳/۴۶	۲/۲۱	۲/۹۵	خرمالو- نوده
۲/۷۳	۱/۰۰	۱/۴۹	۳/۱۲	۳/۴۷	۱/۹۳	۲/۴۲	قره‌سو- رامیان
۱/۴۵	۰/۳۵	۲/۰۹	۳/۰۰	۳/۴۶	۲/۶۶	۳/۸۳	گرگانرود- قزاقلی
۲/۷۹	۱/۰۸	۱/۳۵	۳/۱۹	۳/۴۷	۱/۸۸	۲/۵۶	زرین‌گل- زرین‌گل
۳/۰۰	۱/۰۱	۱/۲۲	۳/۲۸	۳/۵۴	۱/۹۵	۲/۵۹	محمدآباد- سرمو
۲/۱۳	۰/۷۱	۲/۰۰	۲/۸۰	۳/۵۱	۲/۳۱	۳/۲۱	قره‌سو- سیاه‌آب

نتایج

(جدول ۶) در این مرحله ضریب همبستگی متغیر دبی متوسط سالیانه متغیر وابسته و مقدار $R^2=0.647$ مجذور ضریب همبستگی است و 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. $64/00$ درصد مقدار کل مجموع مربعات $(3/89+2/146=6/04)$ اشتباه مجذور شده است

با توجه به ماتریس همبستگی متغیرها (جدول ۵)، می‌توان دید که متغیر دبی متوسط سالیانه (QW) نسبت به سایر متغیرها همبستگی بالایی (۰/۸۲) با میزان تولید رسوب دارد. بنابراین اولین مرحله تشکیل معادله رگرسیون با استفاده از این متغیر مهم است. نتایج حاصل از وارد شدن متغیر دبی متوسط سالیانه در جداول ۶ تا ۸ دیده می‌شود. مقدار R

جدول ۶- نتایج حاصل از وارد شدن متغیر دبی متوسط سالیانه، QW

مقدار R	۰/۸۰
مقدار ضریب تعیین R ^۲	۰/۶۴
مقدار R تعدیل شده	۰/۶۱
اشتباه معیار برآورد	۰/۴۹

جدول ۷- آنالیز واریانس معادله اول

منبع	مجموع مربعات	df	میانگین مربعات	سطح معنی‌دار
رگرسیون	۳/۸۹	۱	۳/۸۰۴	۰/۰۰۳
باقی‌مانده	۲/۱۴۶	۹	۰/۲۳۸	
کل	۶/۰۴	۱۰		

جدول ۸- ضرایب متغیرهای وارد شده در مدل

متغیر	ضریب رگرسیون	اشتباه معیار ضرایب	ضریب رگرسیون استاندارد شده	سطح معنی‌داری
ثابت	۴/۳۷۳	۰/۲۴۱	-	۰/۰۰
QW	۱/۸۶۹	۰/۴۶۲	۰/۸۰۳	۰/۰۰۳

تا این مرحله متغیر دیگری را وارد نکرده‌ایم. برای وارد کردن متغیر دوم در معادله، دو روش وجود دارد. ۱- همبستگی جزئی و ۲- مقادیر t جزئی. همبستگی جزئی مقداری از تغییرات y است 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. به‌عنوان مثال همبستگی جزئی درصد اراضی جنگلی کم‌تراکم (F_۳) با دبی متوسط سالیانه در حدود ۰/۶۴۸ است. 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 توسط متغیر QW توضیح داده شده است. هم‌اکنون با اضافه کردن متغیر F_۳ [۰/۴۱۹ = ۰/۱۵] × (۱ - ۰/۶۵۴) = ۱۵ درصد واریانس کل می‌تواند توضیح داده شود. با وارد شدن متغیر F_۳، معادله جدیدی به صورت زیر به دست می‌آید:

$$y = ۳/۶۸۳ + ۱/۵۳۹ (\text{Log } QW) + ۱/۶۳۵ (\text{Log } F_3) \quad (۲)$$

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 (۳/۸۹ - ۶/۰۴) کاهش می‌یابد. اشتباه معیار برآورد (۰/۴۹) اندازه دیگری از تعیین صحت پیش‌بینی است. مقدار آن حاصل تقسیم جذر مجموع مربعات اشتباه به درجه آزادی (۰/۴۹ = $\sqrt{۲/۱۴۶} \div ۹$) است. این عدد بیانگر مقدار انحراف معیار واقعی متغیر وابسته حول خط رگرسیون است، همچنین به‌عنوان 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 است. بنابراین، مقدار پیش‌بینی شده برای هر مشاهده برابر مقدار عرض از مبدا ۴/۳۷۳ به اضافه ضریب رگرسیون (۱/۸۶۹) ضریب متغیر مستقل است، به طوری که اگر مقدار لگاریتم رسوب‌دهی معلق را به‌عنوان y در نظر بگیریم، در این صورت معادله به صورت زیر درمی‌آید:

$$y = ۴/۳۷۳ + ۱/۸۶۹ \text{ Log } (QW) \quad (۱)$$

نیمه‌متراکم و کم‌تراکم (دست‌خورده) و GR مجموع درصد مساحت سازندهای زمین‌شناسی مقاوم به فرسایش و نسبتاً مقاوم به فرسایش ماقبل کواترن است.

در ارزیابی معادله برآوردشده تا حد ممکن معنی‌داری آماری مدنظر قرار گرفت، اما برای رعایت فرضیات رگرسیونی، یکنواختی واریانس، مستقل بودن باقیمانده و نرمالیتیه بودن مورد آزمون قرار گیرد. رسم گراف مقدار باقیمانده‌های استیودنت‌شده در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده می‌تواند برای مقایسه تفاوت بین مقدار واقعی متغیر وابسته و مقدار پیش‌بینی به کار رود. چنانکه در شکل ۲ دیده می‌شود، مقدار باقیمانده‌های استیودنت در مقابل مقادیر پیش‌بینی‌شده کاملاً حالت تصادفی دارد و الگوی خاصی بین این دو دیده نمی‌شود، این حالت نشان‌دهنده یکنواختی واریانس و مستقل بودن باقیمانده‌هاست.

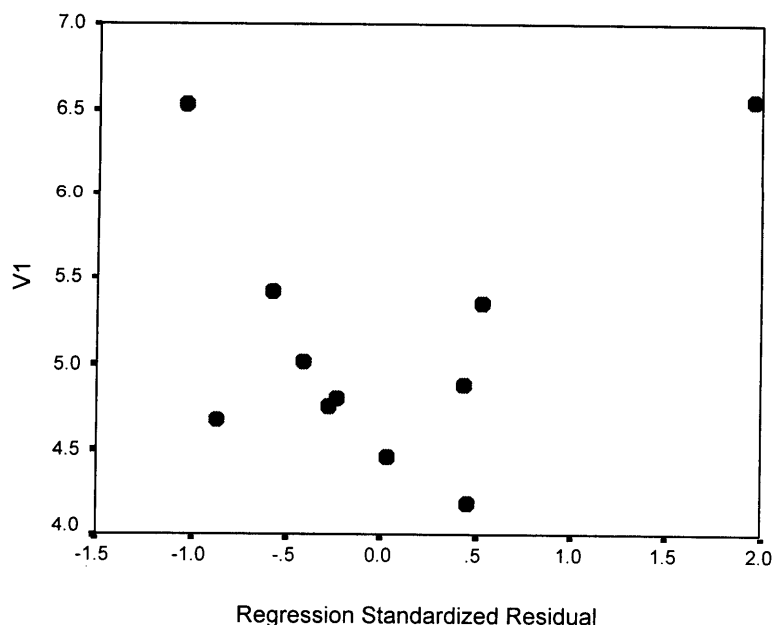
مقدار R^2 این معادله به مقدار ۱۵ درصد افزایش پیدا کرده (همان‌مقداری که قبلاً پیش‌بینی کرده بودیم) و کل واریانس توضیح داده شده تا این مرحله ۷۹/۰۰ درصد است. مقدار t نشان‌دهنده معنی‌دار بودن هر دو ضریب F_3 و QW در سطح ۵ درصد است.

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

$$\text{Log (QS)} = ۵/۸۷۳ + ۱/۹۰۹ (\text{Log QW})$$

$$+ ۰/۹۵۳ (\text{Log FD}) - ۱/۷۰۶ (\text{Log GR})$$

در این معادله، QS رسوب‌دهی معلق به تن در سال، QW دبی متوسط سالیانه به مترمکعب در ثانیه، FD مجموع درصد مساحت اراضی جنگلی



شکل ۲- مقادیر باقیمانده استیودنت‌شده (محور X) در مقابل مقادیر پیش‌بینی‌شده

بحث و نتیجه‌گیری

هدف از آنالیز رگرسیون چندمتغیره، استفاده از متغیرهای مستقل برای پیش‌بینی مقدار متغیر وابسته است. میانگین حسابی رسوب‌دهی معلق زیرحوزه‌های انتخاب‌شده (۱۱ زیرحوزه) می‌تواند مقدار رسوب‌دهی معلق را به‌دست دهد و این مقدار به‌عنوان مقدار متوسط رسوب‌دهی معلق حوزه آبخیز گرگان‌رود تلقی شود. اما سؤال که مطرح می‌شود این است که میانگین مقدار متغیر وابسته را به‌طور کامل پیش‌بینی نمی‌کند و زمانی از میانگین استفاده می‌شود که متغیر مستقل موثر بر رسوب‌دهی در دسترس نباشد.

وقتی متغیرهای مستقلی وجود دارند، از معادله رگرسیونی می‌توان برای برآورد مقدار متغیر وابسته استفاده کرد. از طرفی، استفاده از معادله رگرسیونی سبب کاهش مجموع اشتباهات مجذور شده نسبت به میانگین می‌شود، چراکه مقدار واقعی متغیر وابسته با مقدار پیش‌بینی‌شده آن همیشه اختلاف دارد و هرچه این اختلاف کمتر باشد، برآورد ما صحیح‌تر است. همچنین نوع رابطه‌ای که در مدل‌های رگرسیونی در نظر گرفته می‌شود، رابطه آماری^۱ است. رابطه آماری با رابطه جبری یا تابعی^۲ 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 این‌رو متغیر وابسته یک متغیر تصادفی به حساب می‌آید که فقط می‌توان مقدار متوسط آن را برآورد کرد. همان‌طوری که گفته شد، متغیر رسوب‌دهی معلق که یک متغیر وابسته در این تحقیق به‌شمار می‌رود، دارای رابطه آماری با متغیرهای مستقل دیگر است. اگر مقدار متوسط سالانه متغیر وابسته (رسوب‌دهی معلق زیرحوزه‌ها) برای پیش‌بینی به‌کار برده شود، مجموع اشتباهات مجذور شده زیاد خواهد بود.

مقدار R^2 (ضریب تعیین معادله) ۰/۹۶ است که نشان می‌دهد ۹۶ درصد واریانس متغیر وابسته (رسوب‌دهی معلق) حول میانگین آن نشان داده شده است، در صورتی که فقط مقدار متوسط رسوب‌دهی معلق زیرحوزه‌های انتخاب‌شده (۵/۱۴) واحد لگاریتمی) برای پیش‌بینی به‌کار 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 به‌دست آمده در مدل متوجه می‌شویم که این ضرایب در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است، 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 عرب‌خدری و زرگر (۱۳۷۴) که در حدود ۰/۹۸ است، کمتر می‌باشد، ولی از مقدار ۰/۹۳ به‌دست آمده برای حوزه آبخیز دریاچه ارومیه بیشتر است. اشتباه برآورد این معادله در حدود ۰/۱۹ است که این مقدار بیانگر حدود تغییرات پیش‌بینی مدل است که بسته به اندازه نمونه و سطح اعتماد مورد نظر، این فاصله تغییر می‌کند. اشتباه معیار به‌دست آمده در مقایسه با حوزه آبخیز البرز شمالی (۰/۰۲) و مدل ارائه‌شده توسط آندرسون (۱۹۹۸) (۰/۱۳۸) بیشتر است.

از بین متغیرهای مستقل سه متغیر مجموع درصد مساحت سازندهای مقاوم به فرسایش و نسبتا مقاوم به فرسایش ماقبل کواترنر (GR)، مجموع درصد مساحت اراضی جنگلی نیمه‌تراکم و کم‌تراکم یا اراضی جنگلی دست‌خورده (FD) و دبی متوسط سالیانه (QW) در رسوب‌دهی معلق زیرحوزه‌های انتخاب‌شده موثرند. تغییرات دو عامل QW و FD با هم دیگر همسو بنابراین با افزایش این دو پارامتر مقدار رسوب‌دهی معلق نیز افزایش می‌یابد. رابطه مذکور عملا نیز معنی‌دار است چراکه با افزایش درصد اراضی جنگلی کم‌تراکم و نیمه‌تراکم که بنابر تعریف وزارت کشاورزی (۱۳۷۶) اراضی‌ای هستند که در اثر قطع بی‌رویه و دست‌کاری افراد انسانی در

^۱ - Statistical

^۲ - Functional

مقاوم ماقبل کواترنر، همبستگی منفی با رسوبدهی معلق دارند، همچنین ضریب رگرسیونی جزئی منفی در معادله دارد. این امر نیز به صورت منطقی قابل توجیه است، بدین نحو که افزایش واحدهای زمین‌شناسی مقاوم به فرسایش، موجب کاهش رسوبدهی حوزه‌های آبخیز می‌گردد.

منطقه ایجاد شده‌اند، انتظار فرسایش خاک زیاد و بالطبع رسوبدهی معلق بیشتر می‌رود. از طرفی، مقایسه ضرایب بتای دو متغیر QW و FD این نتیجه را می‌دهد که تاثیر متغیر QW در برآورد میانگین رسوبدهی معلق بیشتر از FD است (ضریب ۰/۸۲۰ در مقابل ۰/۴۲۶). همچنین متغیر GR یا مجموع درصد مساحت سازندهای مقاوم به فرسایش و نسبتا

منابع

- ۱- جاماب (شرکت مهندسی مشاور)، ۱۳۶۹. طرح جامع آب کشور، گزارش حوزه آبخیز گرگانرود، وزارت نیرو.
- ۲- حکیم‌خانی، شاهرخ، ۱۳۷۷. ارائه مدل رگرسیونی چندمتغیره براساس عوامل موثر بر رسوبدهی معلق حوزه آبخیز دریاچه ارومیه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۲۰۰ ص.
- ۳- عرب‌خداری، محمود، شاهرخ حکیم‌خانی و علی ولی خوجینی، ۱۳۷۷. ضرورت تجدیدنظر در روش متداول بار معلق رودخانه‌ها، پژوهش و سازندگی، شماره ۳۹.
- ۴- عرب‌خداری، محمود و اکبر زرگر، ۱۳۷۴. برآورد تولید رسوب در بخش شمالی البرز با استفاده از مدل‌های رگرسیونی، مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۲۱: ۲۲ - ۲۸.
- ۵- فیض‌نیا، سادات، ۱۳۷۴. مقاومت سنگ‌ها در مقابل فرسایش در اقلیم مختلف ایران، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۴۷: ۹۵-۱۱۶.
- ۶- وزارت کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی، پشتیبانی اداره کل آمار و اطلاعات، ۱۳۷۶. اطلس کاربری اراضی حوزه‌های شمال، نشریه شماره ۷۶/۰۹.
- 7-Anderson, W. 1975. Relation of reservoir sedimentation to catchment's attributes, landslide potential, geologic fault and predicted density, I'Association Internationale 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, Vol, 20 :82-87.
- 9-Colvo-Alvarado-Julio - C., & D.J. Gregory, 1997. Predicting mean annual runoff and suspended sediment yield in rural watersheds in North Carolina, Report No, 307-Feb (Internet).
- 10-Hair, J.R. ,F. J. Anderson, E. R. Thatham, L.R. Black & C. William, 1998. Multivariate data analysis, Prentice Hall press, PP:700.
- 11-Jansen, J.M.L., & R.B. Painter, 1979. Prediction sediment yield from Climate and Topography, Jour. of Hyd. Vol. 21:371-380.
- 12-Lahlou, A., 1988. 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, 1992.
- 14- Reid, L.M., 1993. Research and cumulative watershed effects, United States Department of Agriculture and Forest Service, Pacific, Southwest Research Station, General Technical Report, P SW-GTR-141.

Analysis of Regional Suspended Sediment in Gorganroud Drainage Basin Using Regression Equation

J.Varvani¹ S.Feiznia² M.Mahdavi³ M.Arabkhedri⁴

Abstract

Suspended sediment yield data could be used for estimating soil erosion in drainage basins. The objective of multiple regression analysis is to use the independent variables (values known) to predict the single dependent value selected by the researcher. In this research, eleven stations were selected in Gorganroud drainage basin according to area of upland catchment, geology, climate, vegetation cover, etc. The potential factors effective in suspended sediment yield were identified. Using the mean load within discharge data, 30 years mean suspended sediment load of each station was estimated. Multiple regression analysis was used to obtain the best statistical relationship between suspended sediment yield data and independent variables. According to the final model, the percentage of forest area density and mean annual discharge vary together and are in positive relationship with sediment yield. Inversely, the percentage of area of resistance and relatively resistant geological formation have negative effect on sediment yield. These three independent variables explain more than 96% of variation in mean suspended sediment load in Gorganroud basin and exhibit 19% standard error in their prediction.

Keyword: Suspended sediment, Regression analysis, Gorganroud basin, Statistical relationship, Medium density forest

¹ - Senior Expert in Watershed Management

² -Professor, Natural Resources Faculty, Tehran University

³ -Professor, Natural Resources Faculty, Tehran University

⁴ - Staff Member, Soil Conservation and Watershed Management Research Center