



## تغییرات مکانی و فصلی رسوب معلق در ایستگاه‌های واقع در طول رودخانه گرگانرود، استان گلستان

سولماز خزایی موغانی<sup>۱</sup>، علی نجفی نژاد<sup>۲</sup>، مجید عظیم محسنی<sup>۳</sup> و واحد بردی شیخ<sup>۲</sup>

۱- دانش آموخته دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، (نویسنده مسؤل: solmaz\_khazaei@yahoo.com)

۲- دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳- استادیار دانشگاه گلستان

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۶

تاریخ دریافت: ۹۱/۲/۲۰

### چکیده

مقدار رسوب در یک رودخانه متناسب با شرایط محیطی تغییر می‌کند و برای برآورد میزان رسوب این تغییرپذیری باید در نظر گرفته شود. در این تحقیق تغییرات مکانی و فصلی بار رسوبی در ۷ ایستگاه هیدرومتری تمر، حاجی‌قوشان، قزاقلی، گنبد، سد وشمگیر، آق‌قلا و بصیرآباد واقع در شاخه اصلی رودخانه گرگانرود در استان گلستان مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اینکه تغییرات بار رسوبی به دبی وابسته است در این تحقیق از معادله خطی شده سنج رسوب با تبدیل لگاریتمی داده‌های دبی جریان و رسوب استفاده گردید. با در نظر گرفتن این رابطه خطی و نابرابری شیب این خطوط در ایستگاه‌های مختلف، آنالیز کوواریانس تعمیم‌یافته با متغیر کمکی لگاریتم دبی برای مقایسه لگاریتم بار رسوبی ایستگاه‌ها استفاده شد. به منظور ارزیابی دقیق‌تر بار رسوب معلق و اصلاح منحنی سنج رسوب، این مقایسه در سه دامنه دبی کم، متوسط و زیاد صورت گرفت. بررسی تغییرات فصلی نیز با مقایسه درصد حمل رسوب معلق در هر فصل انجام گردید. تغییرات مکانی مقدار بار رسوب معلق به طور کلی از ایستگاه تمر به بصیرآباد روند افزایشی نشان داد، در طول این مسیر در مناطقی نیز کاهش زیادی (به طور متوسط ۸۰٪) دیده شد که علت اصلی آن احداث سد ارزیابی گردید. هم‌چنین با بررسی تغییرات فصلی مشخص شد فصل بهار با حداقل ۵۰٪ تا حداکثر ۷۰٪ دارای بالاترین میزان حمل رسوب معلق در ایستگاه‌ها می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تغییرات زمانی، تغییرات مکانی، آنالیز کوواریانس، رسوب معلق، گرگانرود

### مقدمه

تحقیقات زیادی که در دو دهه اخیر در مورد مسئله فرسایش خاک، حمل رسوب و ته‌نشست آنها به عمل آمده، اما هنوز راهی طولانی برای فهم کامل این پدیده‌ها باقی مانده

فرآیند تولید رسوب، حمل و رسوب‌گذاری در رودخانه‌ها بخشی از چرخه هیدرولوژی به حساب می‌آید (۷، ۹، ۲۲). با وجود مطالعات و

است (۲). پیکوت و همکاران (۲۷) بیان داشتند که دشواری تخمین تغییرات زمانی غلظت رسوب معلق در سیستم رودخانه به دلایل بیشماری از جمله انتقال رسوب معلق در رودخانه، تخمین بار رسوبی تولیدی و تهیه داده ورودی از فرآیندهای پیچیده دخیل در آبخیز است. به منظور برآورد رسوب انتقالی رودخانه‌ها به طور معمول از معادله سنجه رسوب استفاده می‌شود (۳، ۲۵، ۲۸). با توجه به اینکه محور اکثر تحقیقات رسوب معلق معادله سنجه رسوب است و این معادله در برآورد رسوب دارای خطا می‌باشد، محققان بسیاری برای رفع این مشکل روش‌های اصلاحی را به کار بردند. در یکی از روش‌های اصلاحی ابتدا دبی‌های جریان با یک نمو معین به تعدادی دسته تقسیم می‌شوند و برای دبی متوسط هر دسته، میانگین رسوب همان دسته تعیین می‌گردد و منحنی سنجه برای این داده‌ها به دست می‌آید (۱، ۵، ۱۳، ۱۵). کرادر و همکاران (۱۰) در روش اصلاحی دیگر پس از لگاریتم گرفتن از داده‌های دبی و رسوب، به جای رگرسیون غیر خطی از رگرسیون خطی در منحنی سنجه رسوب استفاده کردند و منحنی‌های حاصل را به سه نوع مقعر، محدب و نزدیک به خط تقسیم نمودند. در بررسی تغییرات فصلی رسوب معلق، خوجینی و نژادهاشمی (۱۸) و محمدی و همکاران (۲۴) به ترتیب با بررسی رسوب‌دهی حوزه آبخیز طالقان و گرگانرود نتیجه گرفتند که بیشترین رسوبات حوزه در فصل بهار حمل می‌گردد. در زمینه بررسی تغییرات مکانی و زمانی رسوب معلق، هو و همکاران (۱۴) تغییرات زمانی و

مکانی رسوب معلق و دلایل این تغییرات در سه ایستگاه بالادست، میان و پایین‌دست رود یانگ‌تزه در چین طی پنج دهه پرداختند و به این نتیجه رسیدند که رسوب معلق تحت تأثیر خصوصیات حوزه آبخیز و فعالیت‌های انسانی تغییر می‌کند. وانگ و همکاران (۳۴) تغییرات زمانی و مکانی ته‌نشست ۵۰ سال رسوب معلق را در پنج ایستگاه واقع در زیر شاخه‌های رودخانه زرد چین با روش بیلان رسوب مورد بررسی قرار دادند و عامل اصلی این تغییرات رسوب را فعالیت‌های انسانی از جمله ساخت سدهای اصلاحی در طول این بازه‌ها دانستند. مین و همکاران (۲۳) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تغییرات غلظت رسوب منطقه ساحلی سامنگیوم را مطالعه نمودند که نتایج نشان داد که غلظت رسوبات پس از دایک کاهش یافته است.

صادقی (۳۲) در حوزه امامه، کارسون و راهامبرگ (۱۶) در زیمبابوه، پروسدیچ و همکاران (۲۹) در سطح مرداب آلن کانادا، لفرانکس و همکاران (۲۱) در غرب فرانسه، کیتکا و همکاران (۱۹) در کنیا به مطالعه تغییرات رسوب به صورت مکانی و زمانی مبادرت نمودند. نتایج مطالعات ارائه شده نشان داد که پراکندگی نواحی رسوب‌خیز از نظر مواد معلق یکسان نمی‌باشد و در اکثر موارد بیشترین مقدار رسوب در فصل بهار رخ می‌دهد. مرور منابع نشان می‌دهد که تحقیقات انجام شده به خصوص در داخل کشور، یا تنها به بررسی روشی برای برآورد رسوب معلق پرداخته‌اند و یا اینکه بررسی تغییرات مکانی با استفاده از مدل‌ها و به صورت مقایسات رسوب

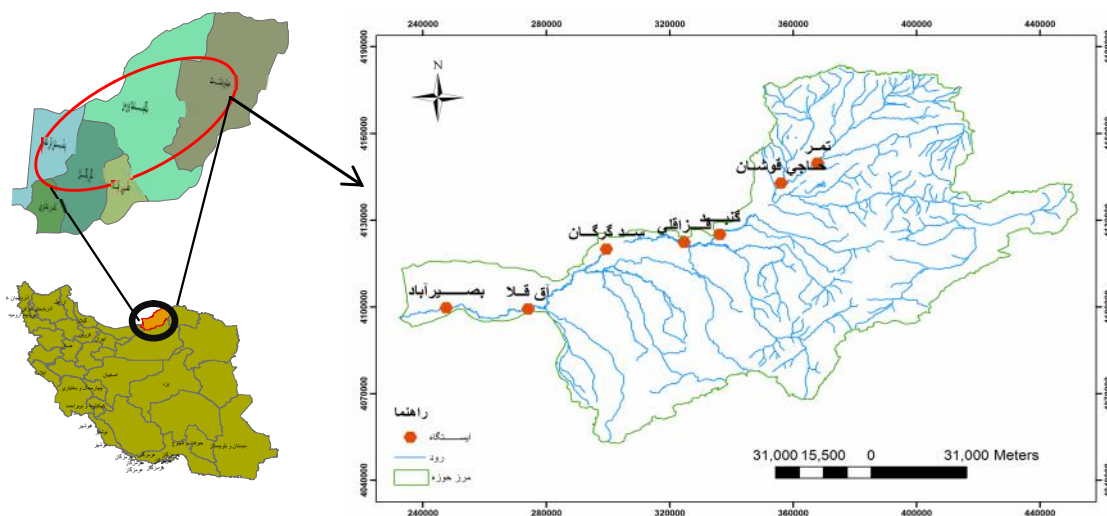
دارد ۳۵۹/۴ کیلومتر است. این حوزه در محدوده مختصات طول شرقی ۱۰° ۵۴ تا ۲۶° ۵۶ و عرض شمالی ۳۵° ۳۶ تا ۱۵° ۳۸ قرار گرفته است (شکل ۱). روی شاخه اصلی گرگانرود ۸ ایستگاه هیدرومتری تمر، حاجی قوشان، سد گلستان، گنبد، قزاقلی، سد وشمگیر، آق قلا و بصیرآباد قرار گرفته است. ایستگاه سد گلستان به دلیل عدم وجود داده کافی از تجزیه و تحلیل حذف گردید و در این تحقیق ۷ ایستگاه باقیمانده مورد بررسی قرار گرفتند. به دلیل فقدان داده‌های پیوسته رسوب روزانه از مقادیر ماهانه آن استفاده گردید و مقدار رسوب معلق و دبی ماهانه در ۲۵ سال (۱۳۸۸-۱۳۶۳) مورد مطالعه به صورت سری زمانی مرتب گردید. تعداد سال‌های مورد بررسی (۲۵ سال) با توجه به دوره مشترک آماری بین ایستگاه‌ها و هم چنین در نظر گرفتن سال‌هایی که نواقص آماری نداشته باشد، انتخاب گردیده است.

خروجی در زیر حوزه‌ها است نه در طول یک بازه از رودخانه، همچنین در مطالعات مشابه خارج از کشور که در زمینه تغییرات زمانی و مکانی رسوب معلق رودخانه انجام شده است، نقش دبی در تغییرات رسوب یکسان در نظر گرفته شده است در حالی که تغییرات دبی در هر ایستگاه می‌تواند دارای تأثیر متفاوتی در تغییرات رسوب باشد. در این راستا تحقیق حاضر به بررسی تغییرات مکانی و فصلی رسوب معلق در هفت ایستگاه هیدرومتری واقع روی شاخه اصلی رودخانه گرگانرود با استفاده از روش‌های آماری مناسب که تغییرات رسوب را در هر ایستگاه نسبت به هم متفاوت در نظر گرفته است انجام گرفته است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز گرگانرود دارای ۱۱۳۳۹/۱ کیلومتر مربع وسعت می‌باشد و طول شاخه اصلی آن که در دشت گنبد و گرگان جریان



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.

## آنالیز داده‌ها

قبل از انجام هرگونه تحلیل آماری ابتدا داده‌ها با استفاده از آزمون ران تست (۶) از لحاظ همگن بودن بررسی شد.

برای بررسی تغییرات مکانی میزان رسوب به عنوان متغیر مورد مطالعه، میزان دبی که در ارتباط مستقیم با میزان رسوب است به عنوان متغیر کمکی مورد استفاده قرار گرفت و منحنی سنجه رسوب به عنوان مدل این ارتباط در نظر گرفته شد. مدل منحنی سنجه در رابطه زیر ارایه شده است.

$$Q_s = aQ_w^b \quad (۱)$$

که در آن  $Q_s$  میزان رسوب،  $Q_w$  میزان دبی و  $b$  پارامترهای مدل می باشند.

برای مقایسه میزان رسوب در ایستگاه‌ها با در نظر گرفتن میزان دبی از آنالیز کوواریانس استفاده گردید. از آنجا که مدل آنالیز کوواریانس یک مدل خطی نسبت به پارامترها می باشد و مدل سنجه رسوب یک منحنی غیر خطی نسبت به پارامترها محسوب می گردد، ابتدا با تبدیل لگاریتمی مدل سنجه رسوب به یک مدل خطی نسبت به پارامترها تبدیل شد و سپس لگاریتم رسوب و لگاریتم دبی جانشین مقادیر اصلی آن در آنالیز کوواریانس گردید. فرم خطی شده نسبت به پارامترهای منحنی سنجه رسوب به صورت زیر ارایه می گردد:

$$y_s = a + bx_s \quad (۲)$$

که در این رابطه  $y_s$  لگاریتم دبی رسوب،  $x_s$  لگاریتم دبی جریان،  $a$  عرض از مبدأ و  $b$  شیب خط می باشد.

برازش فرم خطی شده منحنی سنجه رسوب

در نمودارهای لگاریتمی تهیه گردید و هم چنین ضریب تعیین  $R^2$  مربوط به هر نمودار گزارش شد.

این تبدیل لگاریتمی دارای مزایای دیگری نیز می باشد که از جمله آن کاهش خطای ناشی از بزرگی اعداد رسوب معلق با تبدیل لگاریتمی است. همچنین تخمین حاصل از مدل غیرخطی با استفاده از روش تکرار (براساس آزمون و خطا) به دست می‌آید و همیشه به جواب نمی‌رسد (۲).

به علت امکان رفتار متفاوت میزان رسوب در ایستگاه‌های مختلف بر حسب دبی از آنالیز کوواریانس تعمیم یافته استفاده گردید و استخراج نتایج آن در نرم افزار SAS به انجام رسید. هم چنین مقایسات زوجی ایستگاه‌ها از لحاظ میزان رسوب با آزمون دانکن انجام گرفت. تعداد زیاد مشاهدات تیمارها و یکسانی آنها در مقایسات، باعث توانمند شدن آنالیز کوواریانس و آزمون دانکن نسبت به فرضیات اساسی در مدل های خطی از قبیل نرمال بودن می‌گردد (۲۶) که به همین دلیل نتایج بررسی گزارش نگردید.

کلیه مقایسات و نتایج برحسب لگاریتم رسوب ارائه گردید که به علت یک به یک بودن تابع لگاریتم این نتایج برای داده‌های واقعی نیز صادق است (۲۰).

برای بررسی تغییرات فصلی رسوب معلق، پس از تعیین مقدار کل رسوب سالانه و فصلی در هر ایستگاه درصد سهم هر فصل از این مقدار کل محاسبه گردید و با مقایسه درصد حمل رسوب در هر فصل تغییرات فصلی مقدار

رسوب معلق در هر ایستگاه مشخص شد.

در آنالیز کوواریانس کلاسیک فرض بر این است که شیب خط رابطه بین متغیر اصلی و متغیر کمکی در همه تیمارها (ایستگاه‌ها) یکسان است. در صورتی که این فرض برقرار نباشد به عبارتی متغیر کمکی تاثیر یکسانی بر متغیر مورد مطالعه در همه تیمارها نداشته باشد از آنالیز کوواریانس تعمیم یافته استفاده می‌گردد (۳۰). مدل آماری آنالیز کوواریانس به صورت زیر می باشد.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + S_i(X_{ij} - \bar{X}) + v_{ij} \quad (3)$$

$$i=1,2,\dots, \quad j=1,2,\dots, n$$

که در آن  $X_{ij}$  مشاهده  $j$ ام لگاریتم دبی در ایستگاه  $i$ ام،  $X$  میانگین کل لگاریتم دبی،  $\mu$  اثر ایستگاه،  $\tau_i$  میانگین کل،  $jz$  میزان خطا و  $v_{ij}$  شیب خط در ایستگاه  $i$ ام است. از مزایای این روش، آزمون برابری شیب خط نیز می‌باشد که هم زمان با بررسی تغییرات در تیمارها صورت می‌گیرد.

در واقع با انجام این آنالیز سه آزمون هم‌زمان انجام می‌گیرد: مقایسه ایستگاه‌ها (تیمارها) از لحاظ رسوب که آزمون اصلی می‌باشد، تاثیرگذاری میزان دبی در رسوب که برای افزایش دقت در مدل در نظر گرفته شده است و هم چنین اثر متقابل بین میزان دبی و تیمار، معنی‌دار بودن اثر متقابل بیانگر

شیب‌های نابرابر است و یا به عبارتی متفاوت بودن نرخ تاثیر گذاری دبی بر میزان رسوب در ایستگاه‌های مختلف است. با توجه به تاثیر بالای تغییرات دبی در تغییرات رسوب، برای افزایش دقت محاسبات و هم چنین تبعیت از روش‌های اصلاحی ارائه شده توسط محققان دیگر برای کاهش خطای منحنی سنج رسوب، بررسی تغییرات مکانی رسوب معلق در سه دامنه دبی کم، متوسط و زیاد انجام گرفت. برای انتخاب این طبقات ابتدا دبی‌های جریان در همه ایستگاه‌ها به طبقات کوچکتر تقسیم گردیدند و فراوانی هر طبقه محاسبه گردید. سپس با مقایسه این دامنه‌ها با نمودار گرافیکی شیب تغییرات جریان به ازای تغییرات رسوب، نقاطی که ایستگاه‌ها از نظر شیب و رسوب معلق تغییر یافته بود به عنوان حد بالای طبقه تعیین گردید. زیرا برای مقایسه ایستگاه‌ها با یکدیگر طبقات باید به نحوی انتخاب گردند که در این محدوده از دبی‌ها عملکرد ایستگاه‌ها نسبت به هم یکسان و بدون تغییر باشد.

## نتایج و بحث

### نتایج حاصل از همگنی داده‌ها

نتایج ارائه شده در جدول ۱، همگنی داده‌های رسوب مورد استفاده در تمام ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد.

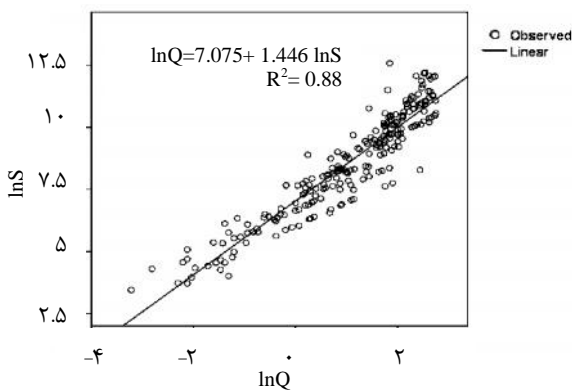
جدول ۱- نتایج بررسی همگنی ایستگاه‌ها

ایستگاه	آماره K	مقدار معنی‌داری	ایستگاه	آماره K	مقدار معنی‌داری
بصیرآباد	۱۴۱	۰/۴۶	گنبد	۸۳/۳۶	۰/۵۶
آق‌قلا	۱۳۸	۰/۷۶	حاجی قوشان	۱۸/۹۳	۰/۸۴
سد وشمگیر	۹۷/۱۵	۰/۴۷	تمر	۲۴/۲۸	۰/۹۱
قزاقلی	۱۵/۱۸	۰/۸۴			

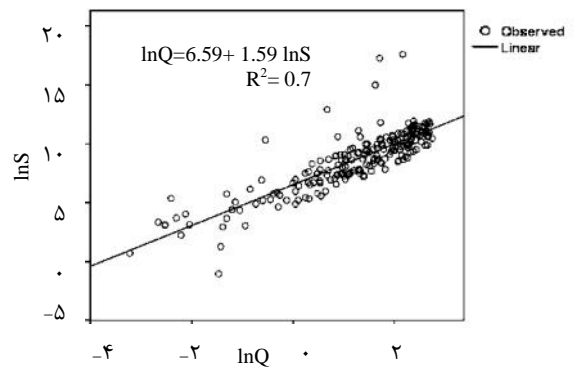
### مدل خطی برازش داده شده بر ایستگاه‌های مورد مطالعه

نتایج برازش مدل بر لگاریتم داده‌های دبی جریان و رسوب معلق (اشکال ۲ تا ۸) همبستگی نسبتاً بالایی نشان داد. برای مقایسه

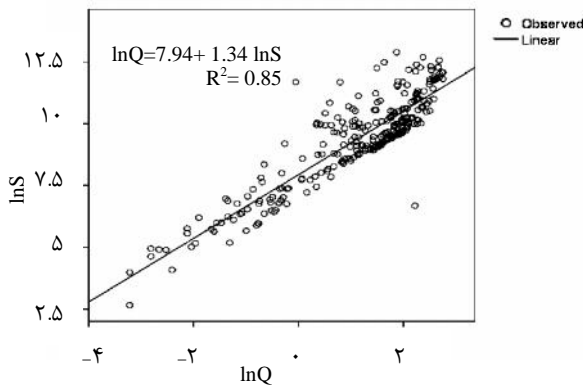
بهتر شیب خط معادله‌های برازش داده شده، رابطه دبی-رسوب این ایستگاه‌ها در یک دستگاه مختصات و در کنار هم رسم گردید (شکل ۹) که به صورت گرافیکی مقایسه شیب ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد.



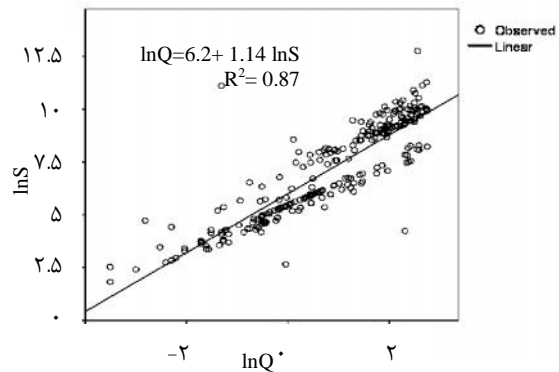
شکل ۳- رابطه خطی بر اساس لگاریتم دبی جریان و رسوب معلق در ایستگاه آق قلا



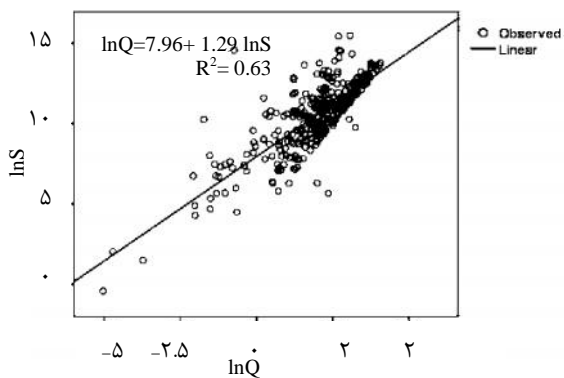
شکل ۲- رابطه خطی بر اساس لگاریتم دبی جریان و رسوب معلق در ایستگاه بصیرآباد



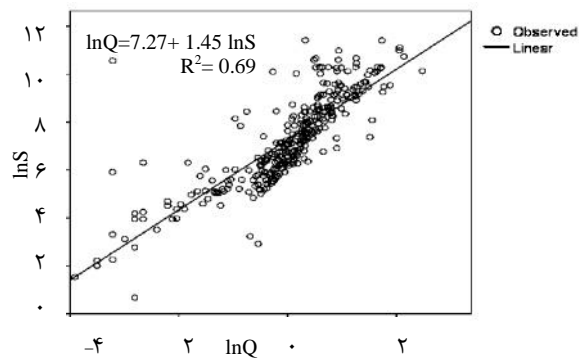
شکل ۵- رابطه خطی بر اساس لگاریتم دبی جریان و رسوب معلق در ایستگاه گنبد



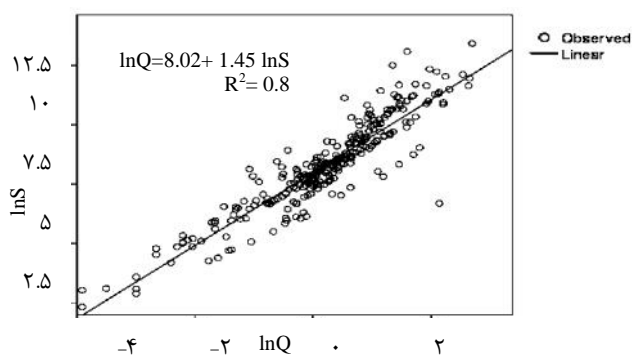
شکل ۴- رابطه خطی بر اساس لگاریتم دبی جریان و رسوب معلق در ایستگاه سد وشمگیر



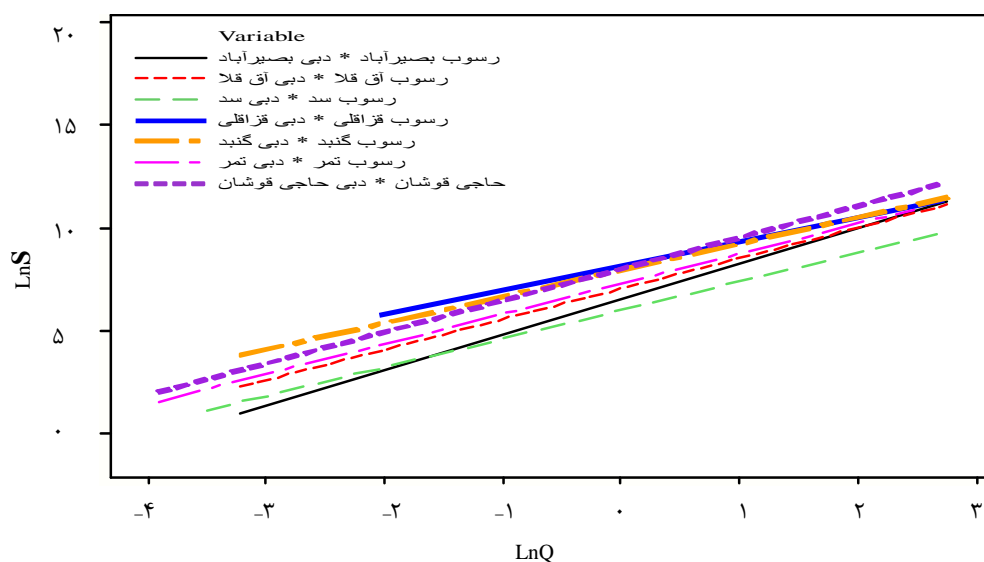
شکل ۷- رابطه خطی بر اساس لگاریتم دبی جریان و رسوب معلق در ایستگاه فزاقلی



شکل ۶- رابطه خطی بر اساس لگاریتم دبی جریان و رسوب معلق در ایستگاه تمر



شکل ۸- رابطه خطی بر اساس لگاریتم دبی جریان و رسوب معلق در ایستگاه حاجی قوشان



شکل ۹- رابطه خطی دبی و رسوب ایستگاه‌های مورد مطالعه در دامنه دبی یکسان

### آنالیز کوواریانس تعمیم یافته

کوواریانس تعمیم یافته پس از طبقه بندی دبی جریان به سه دسته کم، متوسط و زیاد انجام گرفت (جداول ۲، ۳ و ۴).

از آنجایی که شیب خط معادله لگاریتم رسوب و دبی ایستگاه‌ها متفاوت است، آنالیز

جدول ۲- مقادیر معنی داری در تحلیل معنی دار بودن تغییرات رسوب در دبی های کم

منابع تغییرات	آماره F	درجه آزادی	مقدار معنی داری
ایستگاه‌ها	۷/۸۹	۶	۰/۰۰۰۱
لگاریتم دبی	۴۷۲/۳۵	۱	۰/۰۰۰۱
اثر متقابل ایستگاه و دبی	۰/۹۳	۶	۰/۴۷
خطا		۱۲۶	

جدول ۳- مقادیر معنی داری در تحلیل معنی دار بودن تغییرات رسوب در دبی‌های متوسط

منابع تغییرات	آماره F	درجه آزادی	مقدار معنی داری
ایستگاه‌ها	۰/۷۳	۶	۰/۰۰۹۱
لگاریتم دبی	۲/۳۶	۱	۰/۰۰۰۱
اثر متقابل ایستگاه و دبی	۰/۷۶	۶	۰/۰۰۳
خطا		۴۳	

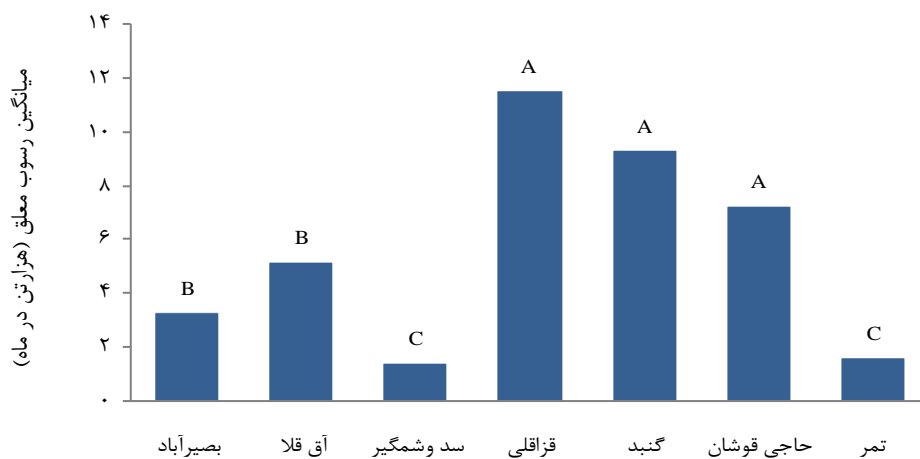
جدول ۴- مقادیر معنی داری در تحلیل معنی دار بودن تغییرات رسوب در دبی‌های زیاد

منابع تغییرات	آماره F	درجه آزادی	مقدار معنی داری
ایستگاه‌ها	۳/۹۲	۶	۰/۰۰۸۹
لگاریتم دبی	۲۲/۴۲	۱	۰/۰۰۰۱
اثر متقابل ایستگاه و دبی	۷/۱۴	۶	۰/۰۰۲
خطا		۴۰	

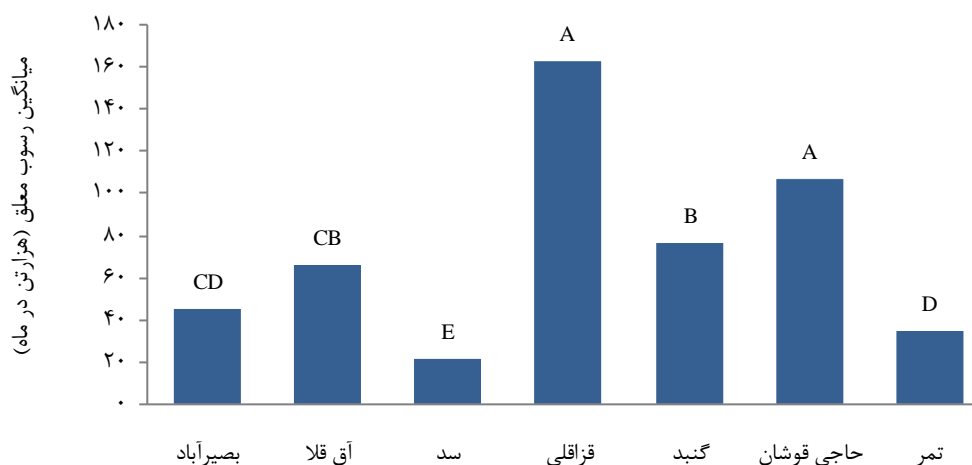
اختلاف معنی داری پیدا می‌کند. تغییرات دبی در ایستگاه‌های مختلف باعث عملکرد متفاوتی در تغییرات رسوب می‌شود. معنی دار بودن لگاریتم دبی نشان از انتخاب مناسب دبی به عنوان متغیر کمکی دارد.

پس از معنی دار بودن تغییرات رسوب در ایستگاه‌های مورد مطالعه، با استفاده از آزمون دانکن عملکرد ایستگاه‌ها در گروه‌هایی طبقه‌بندی گردید. که نتایج گروه‌بندی در دبی‌های متفاوت در شکل‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ ارائه شده است.

نتایج آنالیز کوواریانس در تمام طبقات دبی نشان می‌دهد که تغییرات رسوب در ایستگاه‌ها معنی دار می‌باشد به این مفهوم که ایستگاه‌ها از لحاظ لگاریتم رسوب در تمام دامنه‌های دبی با هم متفاوت می‌باشند. اثر متقابل ایستگاه و دبی، در دبی‌های کم معنی دار نیست اما در دبی‌های متوسط و زیاد معنی دار می‌باشد که نشان دهنده این است که در دبی‌های کم شیب خط رگرسیونی ایستگاه‌ها تقریباً با هم برابر است اما هرچه به سمت دبی‌های زیاد پیش می‌رود شیب خط



شکل ۱۰- میانگین رسوب معلق ایستگاه‌ها در دبی‌های کم



شکل ۱۱- میانگین رسوب معلق ایستگاه‌ها در دبی‌های متوسط



شکل ۱۲- میانگین رسوب معلق ایستگاه‌ها در دبی‌های زیاد

انتظار داریم از بالادست حوزه به سمت پایین دست با افزایش شاخه‌های ورودی به شاخه اصلی گرگانرود و هم‌چنین حرکت آب در مسیر طولانی و افزوده شدن رسوب در این مسیر از سمت تمر به سمت بصیرآباد سیر افزایشی مقادیر رسوب معلق دیده شود که از ایستگاه تمر به سمت ایستگاه حاجی قوشان و در ادامه به سمت ایستگاه گنبد این روند افزایش هرچند به مقدار کم دیده شد (شکل ۱۰). مقایسه در دبی‌های متوسط و زیاد (شکل ۱۱ و ۱۲) نشان داد که از حاجی قوشان به سمت قزاقلی برخلاف اینکه انتظار افزایش مقدار بار معلق رسوبی را داریم این مقدار در ایستگاه گنبد کاهش می‌یابد. در ادامه مسیر میزان افزایش بار معلق رسوب در ایستگاه قزاقلی که ورودی به سد وشمگیر می‌باشد به اوج خود می‌رسد و در خروجی سد وشمگیر این مقدار به طور متوسط در همه دامنه‌های دبی ۸۵ درصد کاهش یافت. به سمت ایستگاه آق‌قلا مقدار بار رسوب معلق افزایش ولی در ایستگاه بصیرآباد مقدار بار رسوب معلق خروجی به حدود ۵۰ درصد نسبت به ایستگاه آق‌قلا کاهش یافته است. کاهش چشمگیر مقدار بار معلق رسوب در خروجی سدها و ایستگاه‌های بعد از آن نشان از تأثیر بالای سد در کاهش بار معلق دارد که در دبی‌های بالا درصد کاهش و عملکرد شدیدتری داشت.

تغییرات مکانی رسوب معلق در هر سه دامنه دبی به صورت زیر قابل تفسیر است:  
از ایستگاه تمر به سمت ایستگاه حاجی قوشان مقدار بار رسوب معلق افزایش می‌یابد، مقدار بار رسوب معلق پایین در ایستگاه تمر را

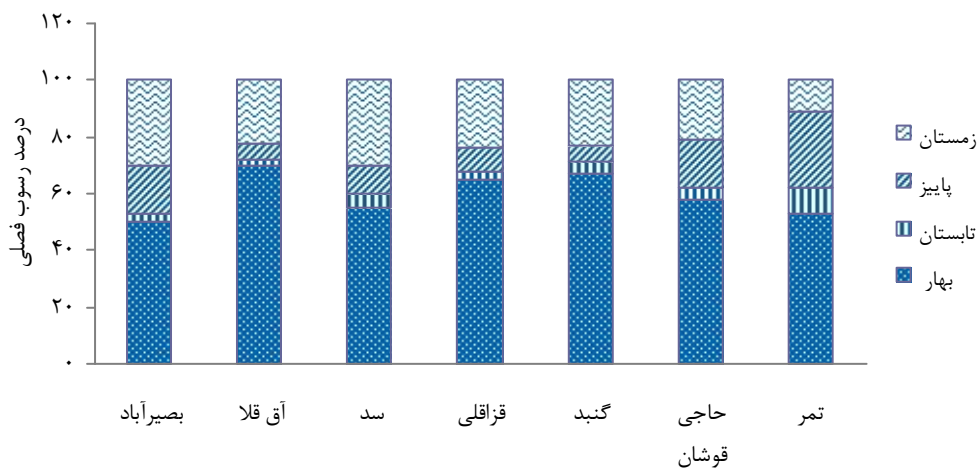
می‌توان به علت کم بودن مساحت، دبی پایین و عدم وجود شاخه فرعی ورودی به این ایستگاه دانست که با نتایج وفاخواه و مهدوی (۳۳) مبنی بر دخالت عوامل فیزیوگرافی در تولید رسوب معلق به ترتیب در بخشی از حوزه آبخیز ساحلی دریای خزر و حوزه آبخیز زاینده‌رود و سیرجان همخوانی دارد. به سمت ایستگاه حاجی قوشان رسوب به طور متوسط حدود ۴ برابر افزایش می‌یابد یکی از دلایل آن ورود شاخه فرعی آجی‌سو به شاخه اصلی گرگانرود و قبل از این ایستگاه می‌باشد که حوزه آبخیز آن دارای سازند لسی بوده و پوشش گیاهی ضعیف‌تر است. از دلایل دیگر که در طول رودخانه در تمامی ایستگاه‌ها صادق است، فرسایش خندقی و کناری است که رسوب زیادی را وارد جریان می‌کند. هم‌چنین سازند لسی موجود در حوزه گرگانرود با حساسیت بالا به فرسایش منشأ تولید رسوب محسوب می‌گردد که با اظهارات صادقی (۳۲) در خصوص نقش تشکیلات زمین‌شناسی آبخیز هراز در فرسایش خاک همخوانی دارد. در ایستگاه گنبد که بعد از سد گلستان واقع شده مقدار رسوب نسبت به ایستگاه حاجی قوشان به‌طور قابل توجهی کاهش نشان داد که دلیل اصلی آن رسوب‌گذاری در مخزن سد گلستان می‌باشد پس از آن با توجه به دلایل ذکر شده و ورود شاخه‌های فرعی آراز کوسه و آزارتپه مقدار بار معلق رسوبی در ایستگاه قزاقلی مجدد افزایش می‌یابد. در ایستگاه سد وشمگیر که در خروجی سد وشمگیر قرار داد، این مقدار بسیار کاهش پیدا کرده و به کمترین مقدار خود

و با توجه به نتایج می‌توان اظهار داشت که تولید رسوب در طول رودخانه گرگانود دارای تغییرات مکانی است که با یافته‌های بسیاری از محققین پیشین همچون چیل و همکاران (۸)، خواجوند خزاعی (۱۷)، قدیمی عروس محله و قدسی (۱۲)، اسدی و امامی (۴)، صادقی و توفیقی (۳۱) تأیید گردیده است.

#### بررسی تغییرات فصلی ایستگاه‌ها

باتوجه به شکل ۱۳ فصل بهار و فصل تابستان به ترتیب بیشترین و کمترین درصد حمل رسوب را دارا است.

می‌رسد. در طی مسیر تا ایستگاه بعدی که آق‌قلا است مقدار رسوب معلق افزایش پیدا کرده و به ۲ برابر می‌رسد اما بعد از ایستگاه آق‌قلا به سمت ایستگاه بصیر آباد به دلیل عدم الحاق شاخه فرعی، شیب کم (۰/۱ درصد) و مئاندری شدن رودخانه، رسوبات ته نشست یافته و در ایستگاه بصیرآباد تا حد ۵۰ درصد کاهش می‌یابد. که با نتایج تحقیقات محمدی و همکاران (۲۴) که به منظور بهینه‌سازی روابط رسوب و دبی جریان در طول رودخانه گرگانود انجام گرفت مطابقت دارد. در مجموع



شکل ۱۳- مقایسه درصد حمل رسوب معلق در فصول مختلف سال در ایستگاه‌های مورد مطالعه

فصل بهار که در آن باران‌های بهاری باعث ایجاد جریان زیاد می‌شود را توجیه نمود که با نتایج محمدی و همکاران (۲۴) گالارت و همکاران (۱۱) و کیتکا و همکاران (۱۹) مبنی بر تولید رسوب در فروردین ماه به دلیل تمرکز بارش مطابقت دارد.

فصل بهار بین ۷۰-۵۰ درصد و فصل تابستان بین ۱۰-۳ از مقدار رسوب معلق حمل شده را در ایستگاه‌ها به خود اختصاص می‌دهد. از آنجایی که در این مطالعه رسوب معلق مدنظر است وجود دبی جریان برای حمل و اندازه‌گیری رسوب الزامی می‌باشد به همین دلیل می‌توان بالا بودن رسوب معلق در

## منابع

1. Arabkhedri, M. 2005. Evaluation of hydrological models for estimating of suspended sediment in base flow and flood stages in Ilam dam watershed, Proceeding of 3rd National Conference of Erosion and Sedimentation, 486-490 pp. Tehran, Iran. (In Persian)
2. Arabkhedri, M., SH. Hakimkhani and A. Khodjeini. 1997. Revisal necessity on general methods to estimation of rivers suspended sediment. Proceeding of the 5th International river Engineering Congress, 429 -437 pp. Ahvaz, Iran.
3. Arnold, J.G. 1999. Water resources of the Texas Gulf Basin. Water Science and Technology, 39(3): 121-133.
4. Asadi, S.M. and S.N. Emami. 2000. Assess the geological formations, slope, facies of geomorphology to production sediment, Proceeding of Second national conference on land management-soil erosion and sustainable development, 233-255 pp. Khoram abad, Iran. (In Persian)
5. Azami, A., A. Najafinejad and M. Arabkhedri. 2005. Evaluation of hydrological models for estimating of suspended sediment in base flow and flood stages in Ilam dam watershed. Proceeding of 3rd national conference of Erosion and sedimentation. 486-490 pp. Tehran, Iran. (In Persian)
6. Behboodian, J. 2009. Non Parametric Statistics, Fifth edition. Shiraz University press. 280 pp. (In Persian)
7. Biksham G. and V. Subramanya. 1988. Sediment transport of Godavari river basin and its controlling factors. Journal of Hydrology, 101: 275-290.
8. Chappell, N., A.I. Douglas, J.M. Hanapi and T. Wlodek. 2004. Sources of suspended sediment within a tropical catchment recovering from selective logging, Hydrological Processes, 18: 685-701.
9. Crawford, C.G. 991. Estimation of suspended sediment rating curves and mean suspended sediment load. Journal of Hydrology, 129: 331-348.
10. Crowder, D.W., M. Demissiie and M. Markus. 2007. The accuracy of sediment load when log-transformation produces nonlinear sediment load-discharge relationship. Journal of Hydrology, 336: 250-268.
11. Gallart, F., C. Balasch, D. Regues and M. Soler. 2004. Spatial and temporal scales of sediment production and transport in a small Mediterranean mountain catchment, [http://www.cosis.net/abstracts/EGU04/O2895/EGU04-\]-02895-\(.pdf\)](http://www.cosis.net/abstracts/EGU04/O2895/EGU04-]-02895-(.pdf).
12. Ghadimi Aroos Mahale, F. and V.J. Ghodusi. 2005. Analysis of suspended sediment and dissolved materials in the Salt Lake Basin. Pajohesh & Sazandegi, 45(4): 58-64. (In Persian)
13. Horowitz, A.J. 2002. The use of rating (transport) curves to predict suspended sediment. Concentration: A matter of temporal resolution. Turbidity and other surrogat workshop. Reno, NV.3 pp.
14. Hu, B., H. Wang, Z. Yang and X. Sun. 2011. Temporal and spatial variations of sediment rating curves in the Changjiang (Yangtze River) basin and their implications. Quaternary International, 230: 34-43.
15. Jansson, M.B. 1996. Estimating a sediment rating curve of the Reventazon River at Palamo using logged mean lods within discharge classes. Journal of Hydrology, 183(4): 277-241.

16. Karlsson, M. and M. Rahmberg. 2002. Assessment of suspended sediment variability in Odzi River, Zimbabwe, Arbetsgruppen for Tropisk Ekologi, Uppsala University. 36 pp.
17. Khajuvand Khazaei, M. 2000. Evaluation of hydrologic parameters in Kasilian watersheds with emphasis on sediment deposition. Second national conference on land management-soil erosion and sustainable development, 321-325 pp. Khoram Abad, Iran. (In Persian)
18. Khodjeini, A. and M. Nejad Hashemi. 1988. Study of suspended sediment yield in Taleghan basin, Pajohesh & Sazandegi, 11(2): 10-13. (In Persian)
19. Kitheka, J.U., M. Obiero and P. Nthenge. 2005. River discharge sediment transport and exchange in the Tana Estuar, Kenya, Estuarine. Coastal and Shelf Science, 63: 455-468.
20. Kleinbaum, D.G., L.L. Kupper and K.E. Muller. 2007. Applied regression analysis and other multivariable methods. Cole- Interscience, 906 pp.
21. Lefrançois, J., C. Grimaldi, F. Birgand, C. Gascuel-Oudoux and N. Gilliet. 2004. Spatial and temporal variations of suspended sediment load in small agricultural catchments. Geophysical Research Abstracts, 6: 31-34.
22. Longyuqian, Q.N. 1986. Erosion and transportation of sediment in the Yellow river basin. International Journal of Sediment Research, 1(14): 127-138.
23. Min, J.E., J.H. Ryu and S. Lee. 2012. Monitoring of suspended sediment variation using Landsat and MODIS in the Saemangeum coastal area of Korea, SeungHyun Son. Marine Pollution Bulletin, 64: 382-390.
24. Mohamadi, A., A. Mosaedi and A. Heshmatpour. 2007. Determination of the best model to estimate suspended sediment load in Ghazaghli gauge station-Gorganroud river. Journal of Agriculture Science and Natural Resources. 14(4): 232-240. (In Persian)
25. Mosaedi, A. 1998. Hydrological sizing of sedimenting reservoir system for irrigation and water supply. PhD Thesis, Technical university of Budapest. Hungary. 101 pp.
26. Neter, J., M.H. Kutner, C.J. Nachtsheim and W. Wasserman. 1996. Applied linear statistical models. The McGraw-Hill Co, Inc. 1181 pp.
27. Picouet, C., B. Hingray and J.C. Olivero. 2001. Empirical and conceptual modeling of the suspended sediment dynamics in large tropical African river: The upper Niger river Basin. Journal of Hydrology, 250: 19-39.
28. Poplawski, W.A., J. Piorewicz and M.R. Gourlay. 1989. Sediment transport in an Inland river in Neartherland. Hydrobiology. pp: 77-92. Report, P SW-GTR-141.
29. Proosdij, D.V., R.G.D. Davidson-Arnott and J. Ollerhead. 2004. Conceptual model of the seasonal and spatial controls on the inorganic sediment budget of a bay of fundy saltmarsh. <http://www.cciw.ca/ccsea/cc03proc/Ollerhead01.pdf>.
30. Rencher, A. 2000. Linear Models in Statistics. Wiley-Interscience. 578 pp.
31. Sadeghi, S.H.R. and V.B. Tofighi. 2003. Application area-time model to prepare sediments rating curve (Case study: Karun River basin-Khanmirza). Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources of Khazar, 1: 54-66. (In Persian)
32. Sadeghi, S.H.R. 2000. Some aspects of spatial and temporal distribution of prediction models of watershed sediment yield, PhD Thesis, G.B.P.U.A. and T., Pantaagar, India. 266 pp.

33. Vafa Khah, M. and M. Mahdavi. 2001. Sedimentation analysis of regional research projects in the northern region (Mazandaran and Golestan,). Tarbiat Modares University, Iran. 76 pp. (In Persian)
34. Wang, S., Y. Yan and Y. Li. 2012. Spatial and temporal variations of suspended sediment deposition in the alluvial reach of the upper Yellow River from 1952 to 2007. *Catena*, 92: 30-37.

## Spatial and Seasonal Variation of Suspended Sediment in Different Stations of Gorganroud River, Golestan Province

Solmaz Khazaei Moughani<sup>1</sup>, Ali Najafinejad<sup>2</sup>, Majid Azimmohseni<sup>3</sup> and Vahed Berdi Sheikh<sup>2</sup>

---

1- Former MSc, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

(Corresponding author: solmaz\_khazaei@yahoo.com)

2- Associate Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

3- Assistant Professor, Golestan University

Received: May 9, 2012      Accepted: February 24, 2013

---

### Abstract

The amount of sediment load significantly changes along a river due to environmental effects. This variability should be considered to estimate the amount of sediment load. In this research, spatial and seasonal variation of sediment load along of Gorganroud river were evaluated based on the information of 7 hydrometry stations sited in main branch of the river namely, Tamar, Hajighoshn, Gonbad, Voshmgrir, Aghghala and Basirabad. Since the amount of sediment load is directly correlated with water discharge, for assuming the effect of water discharge, linear form of sediment rating curve is used where the linear form is produced by the logarithm transformation. Based on this linear relationship with possibly different slopes, the generalized analysis of covariance with logarithm of discharge as its covariate was used to compare the logarithm of sediment load as its response. In order to precisely estimate the amount of sediment load and adequately modify the sediment rating curve, the spatial comparison was drawn separately at low, middle and high rate of water discharge. Spatial evaluation demonstrated an increase in sediment load from Tamer station to Basirabad but there are some distinctive areas between mentioned stations with noticeably decreasing (80% in average) in their sediment load mainly due to reservoir building. For seasonal evaluation of sediment load, the percentage of sediment yield at different seasons was compared. This evaluation revealed that spring with at least 50% and at most 70% of total suspended sediment discharge has the highest amount of suspended sediment yield in this river.

**Keywords:** Seasonal variation, Spatial variation, Analysis of covariance, Suspended sediment, Gorganroud river