

# ارائه مدل‌های رگرسیونی چند متغیره بر آورد رسوب در حوضه های شمال استان خراسان

سعید رضا خداشناس\* - بیژن قهرمان - کامران داوری - حسن ناظریان<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت: ۸۶/۷/۱۲

تاریخ پذیرش: ۸۶/۱۱/۱۵

## چکیده

امروزه استفاده از داده های رسوب ایستگاه‌های هیدرومتری نقش اساسی در پروژه های آبی دارد. در این مطالعه داده‌های هم‌زمان بار رسوبی معلق - دبی جریان در ایستگاه های هیدرومتری در شمال استان خراسان بزرگ مورد بررسی قرار گرفته اند. ۲۹ ایستگاه رسوب‌سنجی انتخاب و سپس بار رسوب متوسط سالیانه با استفاده از منحنی سنجه دبی - رسوب برای ایستگاه های منتخب محاسبه شد. مقدار بار رسوبی کل برای این حوزه های با مساحت بین ۶۱/۵ تا ۱۶۸۰۰ کیلومتر مربع از ۴/۸ هزارتن تا ۱۹/۵ میلیون تن در سال و مقدار بار رسوبی ویژه از ۶۲ تن تا ۳۹۵۶ تن در سال در کیلومتر مربع متغیر بود. به علت تغییرات زیاد بار رسوبی ویژه و کل، ۲۹ حوزه مورد بررسی به دو گروه ۱۷ حوزه بزرگ (بیش از ۵۰۰ کیلومتر مربع) و ۱۲ حوزه کوچک (کوچکتر از ۳۰۰ کیلومتر مربع) تقسیم شدند. سپس خصوصیات مختلف حوزه‌ها (خصوصیات ژئومورفولوژیکی، اقلیمی، هیدرولوژیکی، پوشش اراضی و زمین شناسی) برای بررسی تغییرات زیاد بار رسوبی ویژه و کل در این حوزه‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. از آن‌جا که هیچکدام از پارامترهای مستقل فوق نتوانستند به تنهایی تمام تغییرات بار رسوبی کل و ویژه را در حوزه های مورد بررسی بیان کنند، مدل‌های رگرسیونی چند متغیره بین پارامترهای مستقل و حالت‌های مختلف بار رسوبی ایجاد شد. نتایج نشان داد با تقسیم ۲۹ حوزه به دو دسته حوزه های کوچک و بزرگ افزایش قابل توجهی در ضریب تبیین و کفایت مدل برای مدل‌های به دست آمده برای برآورد بار رسوبی ویژه ایجاد می‌شود و همچنین ضریب تبیین برای مدل‌های برآورد بار رسوبی کل نسبت به بار رسوبی ویژه در تمام حالات بالاتر می‌باشد. بهترین مدل ایجاد شده متشکل از ۵ پارامتر ارتفاع متوسط حوزه، شیب متوسط حوزه، دبی متوسط جریان در کل سال، بارندگی متوسط و دبی حداکثر روزانه با دوره بازگشت ۲ سال برای برآورد بار رسوبی کل در ۱۲ حوزه کوچک در حالتی بود که داده‌های بار رسوبی در کل سال در نظر گرفته شد ( $ME=0/79$  و  $R^2=0/85$ ).

واژه‌های کلیدی: بار رسوبی، معادلات رگرسیونی، منحنی سنجه، استان خراسان

## مقدمه

حوزه که مقدار آن در یک نقطه مرجع و در یک دوره زمانی خاص قابل اندازه گیری باشد (۹). این مقدار را می‌توان به صورت بار رسوبی کل (تن در سال) و یا به صورت بار رسوبی ویژه (تن در سال در کیلومتر مربع) بیان کرد.

بار رسوبی عبارت است از کل رسوب خروجی از یک

۱- به ترتیب استادیار، دانشیار، استادیار و دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی

آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

\* نویسنده مسئول: Email:Saeed khodashenas@yahoo.fr

فراوانی برای شرح تغییرات باررسوبی توسط اثرات ترکیبی خصوصیات مختلف حوزه های زهکشی در سراسر جهان انجام شده که این روابط عموماً به صورت مدل های رگرسیونی چند متغیره یگانه یا چند گانه بیان می شوند (۶).

هدف از این مطالعه، شرح تغییرات باررسوبی و ایجاد مدل های پیش بینی باررسوبی در سه حوزه از شش حوزه شمال استان خراسان بزرگ به وسیله اثرات ترکیبی مورفولوژیکی، اقلیمی، کاربری اراضی، زمین شناسی و هیدرولوژیکی حوزه ها به صورت فرمول های رگرسیونی چند متغیره می باشد.

### مواد و روش ها

#### منطقه مورد مطالعه

استان خراسان بزرگ با وسعتی معادل ۳۱۳۰۰ کیلومتر مربع واقع در طول جغرافیایی ۱۸' ۵۵ تا ۳۰' ۶۱ و عرض جغرافیایی ۱۳' ۳۰ تا ۸' ۳۸ واقع می باشد. آب و هوای استان متنوع و به طور کلی از نوع خشک تا نیمه خشک متغیر است. بلندترین نقطه در بینالود می باشد که ارتفاع آن از سطح دریا ۳۳۰۰ متر و پایین ترین نقطه در محل خروجی دشت سرخس قرار گرفته که ارتفاع آن از سطح دریا ۲۵۰ متر است. استان خراسان بزرگ طبق تقسیم بندی های هیدرولوژیکی به ۶ حوزه بزرگ تقسیم می شود که در این مطالعه بار رسوبی در سه حوزه از شش حوزه بزرگ آبریز استان خراسان بزرگ یعنی حوزه آبریز اترک، حوزه آبریز کویر مرکزی و حوزه آبریز قره قوم مورد مطالعه قرار گرفت.

#### آمار و اطلاعات

در این مطالعه پس از جمع آوری داده های هم زمان دبی رسوب معلق-دبی جریان در ایستگاه هیدرومتری در سرتاسر استان خراسان بزرگ از شرکت سهامی آب

بار رسوبی یک حوزه تنها بخشی از کل فرسایش رسوب تولیدی درون حوزه می باشد که در اغلب موارد بخش مهمی از آن قبل از رسیدن به نقطه خروجی ته نشین می شود. بنابراین بار رسوبی تنها یک منبع مفید برای استخراج اطلاعاتی در مورد شدت فرسایش خالص درون حوزه می باشد (۱۲).

مطالعات انجام شده نشان می دهد که کاهش سالانه توانایی ذخیره سدهای جهان به دلیل ته نشین شدن رسوبات تقریباً ۰/۵ تا ۱ درصد حجم مخزن می باشد که برای بسیاری از سدها این مقدار بالاتر از ۴ تا ۵ درصد بوده و در نتیجه اغلب سدها قسمت اصلی توانایی ذخیره آب خود را در طول ۲۵ تا ۳۰ سال از دست می دهند (۱۱).

بار رسوبی در یک حوزه مقدار خالص از باقی مانده فرآیندهای فرسایش و ته نشینی می باشد، در نتیجه از تمام متغیرهایی که فرسایش و تحویل رسوب را کنترل می کنند تأثیر می پذیرد. فرسایش خاک به پستی و بلندی، خاک، آب و هوا و پوشش گیاهی بستگی دارد در حالی که تحویل رسوب از مورفولوژی حوزه، کاربری اراضی و شکل و تراکم شبکه زهکشی تأثیر می پذیرد (۱۲).

بر طبق نظر دندی و بولتن مساحت حوزه ها یکی از مهمترین متغیرها می باشد و در بسیاری از موارد تنها متغیر مورد استفاده برای پیش بینی بار رسوبی کل و ویژه می باشد (۴). بار رسوبی ویژه عموماً با افزایش مساحت حوزه کاهش می یابد زیرا با افزایش مساحت درصد نسبی نواحی صاف و شیب های کم که به جای تولید رسوب، ته نشین شدن آن را تسریع می کنند، افزایش می یابد (۱۱) اما این فرضیه با توجه به داده های جمع آوری شده در نقاط مختلف جهان توسط بعضی محققین با تردید روبرو شده است. این محققین اعلام می نمایند که فاکتورهای منطقه ای ممکن است تأثیر قوی تری بر بار رسوبی ویژه داشته باشند (۳). مطالعات

منطقه‌ای خراسان، ایستگاه‌های با شرایط زیر به عنوان ایستگاه‌های مناسب تشخیص داده شد:

الف) بند انحرافی و سد در بالا دست ایستگاه وجود نداشته باشد.

ب) دارای طول دوره آماری مناسب (بیشتر از ۲۰ سال) و آمار دقیق و صحیح باشد و دارای جدیدترین داده‌های سال‌های اخیر برای بار رسوبی معلق و دبی جریان عبوری باشند.

ج) محدوده حوزه در استان خراسان بزرگ و در سه حوزه مورد بررسی واقع شده باشد.

بعد از انتخاب ایستگاه‌های هیدرومتری مناسب نیاز به اندازه‌گیری بار رسوبی می‌باشد.

برای محاسبه مقدار رسوب متوسط سالانه در این مطالعه از فرمول توانی منحنی سنجه برآورد رسوب که در آن دبی رسوب به دبی جریان عبوری در هر ایستگاه ارتباط داده می‌شود، استفاده شد (۲).

$$Q_s = aQ_w^b \quad (1)$$

که در آن  $Q_s$  دبی بار رسوبی (تن در روز)،  $Q_w$  دبی جریان (مترمکعب در روز)  $a, b$  پارامترهای ثابت می‌باشند. با داشتن دبی‌های روزانه جریان در طول دوره آماری مشخص و قرار دادن آن‌ها در فرمول توانی به دست آمده برای هر ایستگاه و سپس تقسیم مقدار حاصله بر طول دوره آماری دبی روزانه، مقدار متوسط بار رسوبی برای هر ایستگاه در کل سال و ماه‌های پرباران سال (دی، بهمن، اسفند، فروردین، اردیبهشت، خرداد) محاسبه شد.

بررسی‌های آماری نشان دادند که مقدار بار رسوبی یک رودخانه وقتی غلظت‌ها از دبی جریان خروجی تخمین زده شوند و از رگرسیون حداقل مربعات از متغیرهای لگاریتم گرفته شده استفاده شود، از مقدار واقعی کمتر تخمین زده می‌شود. برای اصلاح مقادیر اندازه‌گیری شده توسط منحنی سنجه چندین فرم از فاکتورهای اصلاح اریب پیشنهاد شده

است. در این بررسی از ضریب اصلاحی فرگوسن (۵) برای اصلاح مقادیر رسوبی استفاده شد. در این روش مقدار کاهش پیش‌بینی بار رسوبی توسط منحنی سنجه متناسب با اندازه پخشیدگی داده‌ها در اطراف خط رگرسیونی می‌باشد

$$CF = 2.561S^2 \quad (2)$$

که در آن  $S^2$  متوسط مربعات خطا در رگرسیون داده‌های لگاریتم (در مبنا ۱۰) گرفته شده است.

پارامترهای اثرگذار بر بار رسوبی در این مطالعه به ۵ دسته اصلی پارامترهای ژئومورفولوژیکی، پارامترهای هیدرولوژیکی، پارامترهای اقلیمی، پارامترهای کاربری اراضی و پارامترهای زمین‌شناسی تقسیم‌بندی شدند (جدول ۱).

پارامترهای ژئومورفولوژیکی با استفاده از نرم افزار Ilwis استخراج شد بطوری که ابتدا نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس  $\frac{1}{50000}$  و  $\frac{1}{250000}$  در محدوده حوزه‌ها اسکن گردید. بعد از رقومی کردن مرز حوزه‌ها و آبراهه‌های موجود در آن برای حوزه‌های مورد بررسی از روی نقشه‌های اسکن شده، نقشه DEM در محدوده حوزه‌ها نیز ایجاد شد. سپس از روی آن پارامترهای مختلف ژئومورفولوژیکی استخراج گردید. پارامترهای استخراج شده در این مطالعه برای حوزه‌های بزرگ و کوچک (جدول ۲) آورده شده است (توضیحات بیشتر در ناظرین (۱۳۸۴) ارایه شده است).

۱- فاصله بین نقطه خروجی حوزه تا دورترین نقطه روی مرز حوزه

۲- نسبت اختلاف بین ارتفاع متوسط حوزه با ارتفاع حداقل حوزه به اختلاف ارتفاع حداکثر حوزه با ارتفاع حداقل حوزه

۳- نسبت اختلاف ارتفاع به فاصله افقی بین دو نقطه خروجی حوزه و دورترین نقطه حوزه روی خط تقسیم حوزه

آن برابر مساحت حوزه باشد

۴- نسبت مساحت حوزه به مجذور طول حوزه

۵- نسبت محیط حوزه به محیط دایره فرضی که مساحت

(جدول ۱) - تعریف و واحد پارامترهای حوزه

نام پارامتر	واحد	نام پارامتر	واحد	واحد	نام پارامتر
تراکم زهکشی	km/km <sup>2</sup>	DD	طول حوزه <sup>(۱)</sup>	m	L <sub>C</sub>
دمای متوسط ایستگاهها	c <sup>0</sup>	T	شیب متوسط رودخانه ها	%	S <sub>tr</sub>
بارندگی متوسط ایستگاهها	mm/yr	P	ارتفاع متوسط حوزه	m	H <sub>mean</sub>
دبی لحظه ای حداکثر با دوره بازگشت دوسال	m <sup>3</sup> /s	Q <sub>im2</sub>	ارتفاع حداقل حوزه	m	H <sub>min</sub>
دبی روزانه حداکثر با دوره بازگشت دوسال	m <sup>3</sup> /s	Q <sub>dm2</sub>	ارتفاع حداکثر حوزه	m	H <sub>max</sub>
رواناب در کل سال	mm/yr	R <sub>ym</sub>	ارتفاع نقطه خروجی حوزه	m	H <sub>out</sub>
رواناب در ماههای پر باران سال	mm/m	R <sub>mm</sub>	ارتفاع دورترین نقطه حوزه	m	H <sub>far</sub>
دبی متوسط جریان در کل سال	m <sup>3</sup> /yr	Q <sub>ym</sub>	اختلاف ارتفاع مطلق	m	H <sub>a</sub>
دبی متوسط جریان در ماههای پر باران سال	m <sup>3</sup> /yr	Q <sub>mm</sub>	شیب متوسط حوزه	%	S <sub>c</sub>
درصد سنگهای حساس به فرسایش	m <sup>2</sup>	A <sub>t</sub>	شیب رودخانه اصلی	%	S <sub>mr</sub>
درصد اراضی زراعی	m <sup>2</sup>	A <sub>c</sub>	طول رودخانه اصلی	m	L <sub>mr</sub>
بار رسوب متوسط سالانه در کل ماه های سال	ton/yr	Q <sub>sy</sub>	طول تمام رودخانه ها	m	L <sub>tr</sub>
بار رسوب متوسط سالانه در ماه های پر باران	ton/yr	Q <sub>sm</sub>	محیط	m	L
مقدار اصلاح شده بار رسوب متوسط سالانه در کل ماه های سال توسط ضریب اصلاحی فرگوسن	ton/yr	Q <sub>esy</sub>	مساحت	m <sup>2</sup>	A
مقدار اصلاح شده بار رسوب متوسط سالانه در ماه های پر باران توسط ضریب اصلاحی فرگوسن	ton/yr	Q <sub>esm</sub>	نسبت پستس و بلندی <sup>(۲)</sup>	m/m	HI
مقدار اصلاح شده بار رسوب متوسط سالانه ویژه در کل ماه های سال توسط ضریب اصلاحی فرگوسن	ton/yr.km <sup>2</sup>	Q <sub>scsy</sub>	نسبت اختلاف ارتفاع <sup>(۲)</sup>	m/m	R <sub>f</sub>
مقدار اصلاح شده بار رسوب متوسط سالانه ویژه در ماه های پر باران توسط ضریب اصلاحی فرگوسن	ton/yr.km <sup>2</sup>	Q <sub>scsm</sub>	ضریب شکل هورتون <sup>(۴)</sup>	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	F <sub>f</sub>
			ضریب فشردگی <sup>(۵)</sup>	m/m	C

حساسیت سنگها در محدوده حوزه های مورد نظر برش زده شد و از روی آن درصدی از حوزه ها که دارای پوشش اراضی زراعی آبی دارای محدودیت کم شوری، اراضی زراعی دیم، اراضی زراعی آبی مخلوط زراعت و باغ، مخلوط کاربری و دیم بودند و همچنین درصدی از حوزه که دارای سنگهای حساس به فرسایش بودند به ترتیب به عنوان پارامتر مربوط به حساسیت به فرسایش کاربری اراضی و زمین شناسی برای هر حوزه در نظر گرفته شد.

چهار حالت فوق در سه وضعیت از حوزه ها یعنی تمام ۲۹ حوزه مورد بررسی، ۱۲ حوزه بامقیاس  $\frac{1}{50,000}$  (مساحت کمتر از ۳۰۰ کیلومتر مربع) و ۱۷ حوزه با مقیاس  $\frac{1}{25,000}$  (مساحت بیشتر از ۵۰۰ کیلومتر مربع) در نظر گرفته شدند و مجموعاً در ۱۲ حالت داده های رسوبی مورد بررسی قرار گرفتند. (جداول ۳ و ۲) مقادیر رسوب و

پارامترهای هیدرولوژیکی به کار گرفته شده در این مطالعه عبارتند از: میانگین دبی حداکثر لحظه ای، میانگین دبی حداکثر روزانه، دبی متوسط جریان در کل سال و ماههای پر باران سال، رواناب متوسط جریان در کل سال و در ماه های پر باران سال. مقادیر پارامترها از روی داده های اولیه اخذ شده از شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان محاسبه گردید.

پارامترهای اقلیمی در نظر گرفته شده عبارت بودند از: دمای متوسط منطقه ای و بارندگی متوسط برای حوزه های مورد بررسی. بارندگی متوسط با استفاده روش معکوس فاصله و با استفاده از داده های ایستگاه های باران سنجی در کل استان خراسان بزرگ با طول دوره آماری مناسب (۱۰ سال به بالا) محاسبه شدند. نقشه های رقوم موجود پوشش اراضی و نقشه رقوم

## نتایج و بحث

### بررسی رسوب در حوزه های آبریز تحت مطالعه

برای به دست آوردن ضریب a و b در فرمول توانی (معادله ۱) پس از دسته بندی داده های دبی جریان-دبی رسوب معلق هم زمان، ابتدا از داده های موجود لگاریتم گرفته شد و پس از رسم نمودار دبی جریان-دبی رسوب معلق، خط رگرسیون حداقل مربعات توسط نرم افزار اکسل از بین داده های کل سال و داده های ماه های پرباران سال عبور داده شد. ضریب a از ۶/۷۸ تا ۶۴۰ و توان b از ۱/۴۴ تا ۳/۹۶ برای حالتی که از داده های باررسوبی در کل سال استفاده شود و ضریب a از ۸ تا ۲۹۰ و توان b از ۱/۳۹ تا ۳/۷۸ در حالتی که تنها از داده های بار رسوبی در ماه های پرباران سال استفاده شود متغیر بود.

بیشترین ضریب تبیین برای ایستگاه اولنگک اسدی (۰/۸۸) واقع بر رودخانه کشف رود و کمترین ضریب تبیین (۰/۵۲) برای ایستگاه امامزاده واقع بر رودخانه رادکان بود به طوری که از داده های رسوبی در کل ماه های سال استفاده شد و به طور مشابه بیشترین و کمترین ضریب تبیین (۰/۸۹ و ۰/۵۱) مانند حالت پیش برای ایستگاه های اولنگک اسدی و امام زاده در حالتی بود که تنها از داده های برداشت شده در ماه های پرباران استفاده شد. بیشترین مقدار بار رسوبی ۱۹/۵ میلیون تن در سال برای ایستگاه پل خاتون واقع بر رودخانه کشف رود و کمترین مقدار ۴۸۲۴ تن در سال متعلق به ایستگاه چشمه علی واقع بر رودخانه خرو بود به طوری که از داده های رسوبی در کل سال استفاده شد و به طور مشابه بیشترین (۱۹/۷ میلیون تن در سال) و کمترین مقادیر بار رسوبی محاسبه شده (۴۳۸۴ تن در سال) برای ایستگاه های پل خاتون و چشمه علی در حالتی که از داده های رسوبی در ماه های پرباران استفاده شد به دست آمد.

سایر پارامترهای موثر بر آن را به ترتیب برای حوزه های بزرگ و کوچک نشان می دهد.

برای بررسی اثر پارامترهای مختلف بر تولید رسوب و ایجاد مدل های رگرسیونی، داده های رسوبی به دو دسته مقادیر بار رسوبی کل و بار رسوبی ویژه تقسیم شدند. بین کل سال و ماه های پرباران سال نیز محاسبات به صورت جداگانه انجام پذیرفت. کلیه اطلاعات رسوبی بر مبنای ضریب فرگوسن تصحیح شدند.

### روش های رگرسیونی

در این مطالعه برای ایجاد مدل های رگرسیونی از سه روش پیشرو، پسر و روش بهترین ترکیب ها استفاده شد و نرم افزار SigmaStat برای این منظور مورد استفاده قرار گرفت.

### کفایت مدل ها

کفایت و دقت مدل های رگرسیونی به دست آمده توسط مقایسه مقادیر برآورد شده و مشاهده شده بار رسوبی با استفاده از فاکتور کفایت مدل برای تمام مدل های به دست آمده محاسبه شد (۸) :

$$ME = 1 - \frac{\sum(O_i - P_i)^2}{\sum(O_i - O_{\text{mean}})^2} \quad (3)$$

که در آن n تعداد مشاهدات،  $O_{\text{mean}}$  متوسط مقادیر مشاهده شده،  $O_i$  مقادیر مشاهده شده،  $P_i$  مقادیر تخمین زده شده می باشد. مقدار ME از ۱ تا منفی بی نهایت تغییر می کند و نشان دهنده تغییرات اولیه محاسبه شده توسط مدل می باشد. هر چه مقدار ME به ۱ نزدیکتر باشد مدل دارای دقت و کفایت بیشتر است. مقادیر منفی ME بیانگر این مطلب هستند که مدل تغییراتی بیشتر از آنچه در واقعیت مشاهده شده ایجاد می کند و به عبارتی مدل دقیق نمی باشد.

جدول ۲) داده های اقلیمی، هیدرولوژیکی، کاربری اراضی، زمین شناسی و بار رسوبی برای ۱۷ حوزه بزرگ

ک ایستگاه	نام ایستگاه	LC	Str	Hmean	Ha	Sc	Smr	Lmr	Ltr	L	A	HI	Rr	Ff	C	DD	T
		m	%	m	m	%	%	m	m	m	m <sup>2</sup>	m/m	m/m	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	m/m	km/km <sup>2</sup>	°c
11001	تبرک آباد	33900	9/59	1901/4	1267	10/9	11/53	36254/97	154108/6	141969/2	5/18E+08	0/32	0/0374	0/451	1/76	0/298	11/43
11003	هی می	46923	9/89	1863/2	1367	10/5	12/24	56252/64	249560/1	177240/5	8/99E+08	0/34	0/0291	0/408	1/668	0/278	11/43
11011	بارزو	27600	11/76	1959/3	1500	17/1	9/69	37578/97	117718/5	134680	5/97E+08	0/37	0/0543	0/783	1/556	0/197	10/25
11013	رضا آباد	131600	6/36	1619/2	1800	9/1	4/78	154126/6	1008133	445876	5/64E+09	0/34	0/0137	0/326	1/675	0/179	11/18
11021	بابامان	37800	8/62	1608/2	2000	14/3	6/69	49991/29	166315/6	179386/3	1/24E+09	0/35	0/0529	0/87	1/436	0/134	11/55
11027	فتیش	58800	8/23	1547/9	1600	12/4	4/92	58799/82	342280/3	207526/8	1/41E+09	0/34	0/0272	0/408	1/559	0/243	12/33
11035	درین	48550	10/24	1312/7	2000	15/3	13/39	56017/37	165072/6	170471/3	1/12E+09	0/31	0/0413	0/474	1/439	0/148	12/74
11039	آغوزار	203385	7/53	1490/1	2300	10/3	5/07	245122/7	215188/3	670301/6	1/18E+10	0/39	0/0114	0/285	1/741	0/182	11/81
47039	درج آباد	88500	1/85	1664	1735	3/2	0/76	127053	1098077	297861/3	4/16E+09	0/29	0/0196	0/531	1/303	0/264	13/61
47045	حسین آباد جنگل	123996	2/02	1563/1	1834	3/1	0/6	178639/2	2194778	486685/9	9/41E+09	0/27	0/0148	0/612	1/416	0/233	13/46
47059	بیدواز اسفرازمین	37650	7/14	2102/3	1784	10/6	4/06	54618/6	130892/1	117138/7	5/35E+08	0/44	0/0474	0/377	1/429	0/245	12/54
64033	اورنگ اسدی	150900	7/8	1529/4	2105	8	0/59	151400/6	187822/0	440468	8/77E+09	0/3	0/0139	0/385	1/327	0/214	12/2
64037	آق دریند	247157	5/68	1352/6	2400	6/8	1/11	276981/5	3833688	678570/6	1/63E+10	0/31	0/0097	0/267	1/498	0/235	13/07
64039	پل خابون	269647	5/74	1335/2	2600	6/9	1/85	313315/4	390158/3	732198/8	1/68E+10	0/36	0/0096	0/231	1/594	0/232	13/16
65001	چهارچوب	55972	8/1	1098/7	1800	13	10/06	69517/98	253640/1	155517/2	8/29E+08	0/33	0/0322	0/265	1/524	0/306	13/33
67001	حانم قلعه	62767	14/3	1740/2	2500	19/9	10/19	82000/3	368457/9	193590/2	1/16E+09	0/5	0/0398	0/295	1/601	0/317	12/3
68005	محمد تقی بیگی	39450	14/27	1926/8	1810	17/9	19/11	59632/62	285477/6	169589/4	9/21E+08	0/46	0/0459	0/592	1/577	0/31	10/52

ک ایستگاه	P	Qim2	Qdm2	Rym	Rmm	Qym	Qmm	Al	Ac	Qsy	Qsm	Fy	Fm	Qcsy	Qcsm	Qscsy	Qscsm
	mm/yr	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	mm/yr	mm/m	m <sup>3</sup> /yr	m <sup>3</sup> /yr	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	ton/yr	ton/yr	ton/yr	ton/yr	ton/yr	ton/yr	ton/yr	ton/yr
11001	269	39/42	11/18	0/000613	0/000459	317/18	237/4	44	39/7	395642/9	401360	2/316	2/365	916014/3	949218/1	1769/173	1833/303
11003	270/4	24/24	5/27	0/000259	0/00022	232/82	198	49/6	32/8	103148/2	157870/6	3/219	3/401	331894/4	536862/8	369/0761	597/0069
11011	260/6	88/07	17/17	0/000814	0/00057	485/75	339/9	61/7	3/5	365600/5	205987	1/59	1/919	581314	395319/4	974/2041	662/5022
11013	276/2	153/87	33/85	0/000153	0/000115	863/6	651/1	61	47/7	1940633	1505173	3/532	2/37	6851135	3567297	1214/535	632/3927
11021	273/6	26/97	8/35	0/000405	0/000263	503/88	326/8	40/6	18/2	58841/8	44168/06	2/431	2/544	143003/3	112357/3	115/0305	90/37913
11027	276/2	91/85	11/49	0/00027	0/000185	380/67	260/9	85/9	5/8	611123/7	226191/1	1/726	1/434	1054619	324466/2	747/8665	230/0902
11035	331/2	16/17	4/2	0/000299	0/000214	334/11	239/2	*	10/6	35524/2	25133/11	1/958	1/966	6952777	49411/89	62/23345	44/22802
11039	281/3	172/84	62/97	0/000211	0/000149	2488/68	1755/3	*	29/8	2522832	2640657	2/787	1/998	7029651	5276188	595/4854	446/9487
47039	282/4	38/56	15/52	3/81E-05	0/000035	158/25	145/4	57/7	44/8	6629628	12313200	2/483	2/066	16452850	25438164	3956/149	6116/702
47045	263/1	50/33	22/54	0/000037	3/47E-05	348/2	326/6	*	48/7	2679683	2658825	2/1	2/048	5626196	5446535	597/8205	578/7304
47059	275/4	39/83	12/49	0/000414	0/00032	221/29	170/9	22/3	2/5	127344/4	111468/9	2/255	2/065	287124/3	230164/5	537/0495	430/5095
64033	275/4	65/54	24/52	3/82E-05	3/57E-05	335/09	313/1	60/2	25/4	821692/6	835323	2/537	2/234	2084004	1866092	237/6226	212/7758
64037	260/8	122/9	38/9	4/22E-05	3/91E-05	690/08	638/3	*	30/3	4193874	4030500	2/448	2/393	10262843	9643987	628/1378	590/2607
64039	260/8	214/45	51/93	0/00005	4/77E-05	840/17	791/7	*	30/2	19556458	19723019	2/368	2/195	46285121	43296553	2756/17	2578/208
65001	271/4	54/15	11/48	0/000269	0/000219	223/23	181/3	*	0	78225/5	164176/7	1/907	1/735	149177/3	284885/1	179/8612	343/4824
67001	271/4	51/45	16/61	0/00059	0/00037	686/95	430/3	53/7	3/8	341573/4	276163/4	2/481	2/134	847238/7	589443/4	727/918	506/4293
68005	259/7	49/04	8/02	0/000887	0/000386	633/09	355/3	35/7	22/6	1073500	675467/4	1/819	1/913	1952342	1291862	2119/818	1402/881

جدول ۳) داده های اقلیمی، هیدرولوژیکی، کاربری اراضی، زمین شناسی و بار رسوبی برای ۱۲ حوزه کوچک

کد ایستگاه	نام ایستگاه	LC	Str	Hmean	Ha	Sc	Smr	Lmr	Ltr	L	A	HI	Rr	Ff	C	DD	T
		m	%	m	m	%	%	m	m	m	m <sup>2</sup>	m/m	m/m	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	m/m	km <sup>2</sup> /km <sup>2</sup>	c <sup>0</sup>
47043	اریه	15900	28/76	2244/4	1290	33/5	20/70	27029/91	213603/6	57875/98	1/18E+08	0/50	0/0811	0/465	1/506	1/817	12/63
47061	عراقی	22100	19/42	1951/3	1256	20/7	18/05	36550/38	441936/7	106503/75	2/11E+08	0/48	0/0568	0/431	2/071	2/099	11/31
47081	خرد چشمه علی	11186	20/95	2404	1609	23/1	15/20	12619/95	84032/92	35336/75	6/15E+07	0/52	0/1438	0/492	1/271	1/365	13/15
47085	خردجمع	14054	20/75	2337/7	1842	23/6	12/96	15908/74	141281/6	47985/76	1/09E+08	0/48	0/1311	0/55	1/299	1/300	13/12
47093	طافون	16000	39/63	2378	1702	43/4	35/11	19016/54	151261/3	47616/36	8/15E+07	0/51	0/1064	0/318	1/488	1/856	12/72
62003	کلاه رحمان	14800	27/96	2058/2	1230	31/7	21/56	16552/63	152937/9	53343/13	1/21E+08	0/40	0/0831	0/55	1/371	1/269	13/49
64003	امام زاده رادکان	21400	31/80	1975/2	1695	35/2	28/28	34568/51	290018/1	73993/48	2/48E+08	0/45	0/0792	0/537	1/331	1/178	12/1
64007	فریزی	20526	39/94	2184/2	1720	47/1	24/76	26077/01	474885/2	80701/82	2/84E+08	0/44	0/0838	0/675	1/35	1/670	12/59
64023	حصار	20788	37/92	1870/1	1680	38/8	36/01	23257/05	176856	51110/48	8/92E+07	0/38	0/0808	0/206	1/527	1/983	13/97
64027	گلستان	20450	37/13	1972/3	1820	40/3	31/16	25240/51	115172/8	56788/53	7/33E+07	0/39	0/0890	0/175	1/871	1/571	13/44
64029	کریان	20213	30/80	1763/9	1442	33/2	36/24	24287/04	218822/8	55470/95	1/40E+08	0/38	0/0713	0/343	1/321	1/560	13/61
66001	لاین سو	27530	21/17	1611/4	2400	32/6	13/16	32210/74	332530/7	81546/78	2/28E+08	0/38	0/0872	0/298	1/53	1/470	11/94

کد ایستگاه	P	Q <sub>int2</sub>	Q <sub>int3</sub>	R <sub>ym</sub>	R <sub>sum</sub>	Q <sub>im</sub>	Q <sub>im</sub>	Q <sub>im</sub>	A <sub>i</sub>	A <sub>c</sub>	Q <sub>cy</sub>	Q <sub>em</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>m</sub>	Q <sub>cy</sub>	Q <sub>em</sub>	Q <sub>esay</sub>	Q <sub>esem</sub>
	mm/yr	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	mm/yr	mm/m	m <sup>3</sup> /yr	m <sup>3</sup> /yr	m <sup>3</sup> /yr	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	ton/yr	ton/yr	ton/yr	ton/yr	ton/yr	ton/yr	ton/yr/km <sup>2</sup>	ton/yr/km <sup>2</sup>
47043	277/8	23/07	6/09	2/02E-03	1/60E-03	237/16	187/6	43/2	*	18199/2	18770/28	2/49	2/5	45297/1	46933/2	385/3942	399/3144	
47061	277	36/21	4/35	8/75E-04	5/84E-04	184/16	122/9	35/3	*	16900/3	18428/61	2/131	2/109	36004/4	38867/59	171/0405	184/6422	
47081	302	5/21	2/06	2/96E-03	2/27E-03	182/02	139/7	2/5	*	4824/3	4348/286	2/408	2/72	11613/3	11825/63	188/7112	192/1615	
47085	303/9	13/73	5/32	1/64E-03	1/51E-03	178/06	164/6	13/4	*	8063/4	8036/876	1/834	1/843	14785/6	14814/79	136/0657	136/3344	
47093	285/5	14/55	4/68	2/56E-03	2/29E-03	208/44	186/3	22/0	*	16008/1	14226/94	3/552	3/605	56829/9	51286/43	697/4371	629/4057	
62003	269/9	18/07	6/66	1/27E-03	1/12E-03	153/04	135/33	12/7	*	73317/3	63049	2/621	2/35	192161/6	148165/5	1594/614	1229/521	
64003	272/1	27/51	2/35	7/81E-04	4/72E-04	192/16	116/1	1/7	*	10769/3	7943/801	2/462	2/272	26505/3	18045/14	107/6796	73/30962	
64007	283/6	34/07	15/31	2/36E-03	1/95E-03	671/15	554/9	10/1	*	36270/9	31959/58	3/629	3/893	131557/7	124087/7	462/6685	436/3977	
64023	294/2	7/71	4/73	4/48E-03	4/03E-03	399/7	359/5	7/8	*	14544/9	14798	2/679	2/779	38948/6	41118/26	436/8115	461/1444	
64027	300/1	8/57	1/81	1/45E-03	1/40E-03	106/54	102/8	7/5	*	23507/4	24308/68	2/146	2/136	50426/5	51925/75	687/8392	708/2897	
64029	305/6	23/06	5/71	1/50E-03	1/37E-03	209/95	192/6	4/6	*	20089/8	19770/92	2/409	2/44	48371/2	48231/32	344/7335	343/7366	
66001	297/1	24/74	6/05	1/55E-03	8/76E-04	349/9	198/1	54/1	*	34201/4	20065/48	1/994	1/845	68173/9	37017/16	301/3636	163/6348	

**بررسی نرمال بودن متغیرها**

برای بیان و نشان دادن این موضوع که چه عواملی بار رسوبی را در حوزه های شمال استان خراسان بزرگ کنترل می کنند، ابتدا تست نرمال بر روی متغیرها انجام شد و سپس محاسبات ضریب همبستگی با استفاده از داده های مربوط به ۲۹ حوزه مورد نظر انجام گرفت. برای این منظور ضریب همبستگی پیرسن برای تمام جفت متغیرها به دست آمد. برای ایجاد جدول همبستگی بین متغیرهای مستقل و وابسته موجود فقط از داده هایی که دارای توزیع نرمال نبودند برای تبدیل به حالت نرمال لگاریتم در مبنای ۱۰ گرفته شد (۱۱) (جدول ۴).

**استخراج مدل های رگرسیونی چند متغیره**

بررسی ماتریس همبستگی بین پارامترهای مختلف حوزه نشان داد که هیچکدام از پارامترهای حوزه به تنهایی قادر به شرح تمام تغییرات مشاهده شده در بار رسوبی نیستند (ناظریان ۱) از این رو رگرسیون های چند متغیره با استفاده از روش های پیشرو، پسر و بهترین ترکیبها استفاده شد. به این منظور از آنجا که اکثر پارامترها در سه حالت در نظر گرفته شده، به خصوص داده های بار رسوبی، از توزیع لوگ نرمال پیروی می کنند، پس از لگاریتم گرفتن از تمام متغیرهای مستقل و وابسته عملیات ایجاد مدل انجام شد.

**انتخاب پارامترهای مستقل مناسب برای ایجاد مدل****در حالتی که کل ۲۹ حوزه در نظر گرفته شود**

در این حالت از ۲۳ متغیر مستقل، متغیرهای طول تمام رودخانه ها و تراکم زهکشی برای ایجاد مدل در هر چهار حالت بار رسوبی غیر ویژه و ویژه در کل سال و در ماه های پرباران به علت اندازه گیری طول آبراهه ها در دو مقیاس

متفاوت حذف شدند. در نتیجه ۲۱ پارامتر مستقل باقی ماند. از این ۲۱ متغیر ضریب فشردگی و ضریب شکل هورتون نیز به علت عدم توجه فیزیکی اثر آنها بر بار رسوبی ویژه و غیر ویژه حذف شدند. در نتیجه ۱۹ پارامتر مستقل برای ایجاد مدل در این حالت به کار برده شد (جدول ۴).

**در حالتی که تنها ۱۷ حوزه بزرگ در نظر گرفته شوند**

از آنجا که در این حالت تنها ۱۷ نمونه برای ایجاد مدل رگرسیونی وجود دارد، تعداد متغیرهای مستقل نباید از ۱۶ متغیر بیشتر باشد. به این منظور تعدادی از متغیرهایی که دارای تأثیر کم بر روی مقادیر بار رسوبی غیر ویژه و ویژه در ماه های پرباران و کل سال در این حالت بودند حذف شدند. همچنین برای ایجاد مدل برای برآورد بار رسوبی غیر ویژه در کل سال، از مقادیر دبی متوسط جریان و روانآب در کل سال و برای ایجاد مدل برای بار رسوبی غیر ویژه در ماه های پرباران از مقادیر دبی متوسط جریان و روانآب متوسط در ماه های پرباران استفاده شد (جدول ۴).

**در حالتی که تنها ۱۲ حوزه کوچک در نظر گرفته شوند**

در این حالت نیز مانند حالت قبل در انتخاب متغیرهای مستقل محدودیت وجود دارد به این صورت که متغیرهای مستقل نباید از ۱۱ عدد بیشتر باشند. به این ترتیب متغیرهای با ضریب همبستگی پایین از بین متغیرها حذف شدند.

در این حالت نسبت پستی و بلندی و ارتفاع مطلق به علت عدم وجود همبستگی بین آنها و مساحت حوزه ها حذف شدند. در حالی که ارتفاع متوسط حوزه ها و نسبت اختلاف ارتفاع به علت اینکه دارای نسبت همبستگی منفی و قابل قبول با مساحت بودند، برای ایجاد مدل در این حالت به کار گرفته شدند.



علت تغییرات موقتی بار رسوبی در حوزه های کوچک است. به این علت که قسمت اعظم رسوب تحویلی در طول وقایع سیلابی عظیم رخ می دهد. در حوزه های بزرگ تغییرات موقتی در بار رسوبی ویژه کمتر مشهود است. اگر مقدار بار رسوبی غیر ویژه در نظر گرفته شود، حوزه های کوچک تأثیر کمتری خواهند داشت، به خاطر این که مقدار کل رسوب منتقل شونده در این حوزه ها محدود می باشد. در هر صورت برای اهداف طراحی، بار رسوبی غیر ویژه مهم تر از بار رسوبی ویژه می باشد (۱۰).

بهترین مدل های به دست آمده برای حالات مختلف مورد مطالعه به همراه ضریب تبیین و درصد معنی دار بودن مربوط به هر مدل در (جدول ۵) آورده شده است.

#### ایجاد مدل با استفاده از روش بهترین ترکیب ها

درحالی که ۲۹ حوزه با هم در نظر گرفته شوند برای ایجاد مدل در این حالت می بایست از ۱۹ متغیر استفاده شود. در نتیجه با این ۱۹ متغیر می توان در مجموع ۲<sup>۱۹</sup> مدل متشکل از ترکیب های متفاوت از متغیرها را تشکیل داد.

از آن جا که ایجاد تمام این مدل ها امکان پذیر نمی باشد، با استفاده از نرم افزار سیگما استت ۱۰۰ عدد از اولین و بهترین ترکیب های ۲، ۳، ۴ و تا ۱۹ تایی که دارای بالاترین ضریب تبیین بودند انتخاب شدند. تشخیص این که کدام یک از این ۱۰۰ مدل در هر کدام از ترکیب ها بهترین مدل می باشد با استفاده از فاکتور تورم واریانس (VIF) انجام شد به این صورت که اولین مدلی که تمام متغیرهای آن دارای فاکتور تورم واریانس پایین تر از ۴ بودند به عنوان بهترین مدل از آن ترکیب انتخاب شد. همچنین در شرایطی که در بین ۱۰۰ ترکیب ایجاد شده اول از بهترین ترکیب های ۲ و ۳ و ۴ و... تایی هیچ ترکیبی که در آن تمام متغیرها دارای VIF کوچکتر از ۴ باشند وجود نداشته باشد، ترکیبی

به علت محدودیت در انتخاب متغیرها، از بین پارامترهای فیزیوگرافی مربوط به شیب، شیب متوسط حوزه انتخاب شد. همچنین از دو پارامتر مساحت و محیط که دارای ضریب همبستگی تقریباً مشابه با مقادیر بار رسوبی ویژه و غیر ویژه می باشند، پارامتر مساحت انتخاب شد (جدول ۴).

#### بررسی مدل های تولیدی توسط روش های پسرو و پیشرو

در تمام مدل ها و برای تمام حالات معمولاً روش پیشرو، مدلی متشکل از متغیرهای کمتر و اغلب متشکل از تنها یک یا دو متغیر را به وجود می آورد. در حالی که متغیرهای موجود در مدل های ایجاد شده در روش پسرو بیشتر می باشد. اگرچه مدل های ایجاد شده به خصوص مدل های ایجاد شده توسط روش پسرو که دارای متغیرهای زیاد هستند دارای ضریب تبیین بالا می باشند اما نمی توان تنها از روی ضریب تبیین بر مناسب بودن این مدل ها دلالت کرد.

نکته قابل توجه در مدل های به دست آمده توسط این دو روش به خصوص روش پسرو برای حالات مختلف مورد بررسی، وجود همبستگی بالا بین متغیرها، بالاخص متغیرهای ژئومورفولوژیکی می باشد که ارایه یک مدل یک مناسب برای پیش بینی بار رسوبی ویژه و غیر ویژه را با مشکل روبرو می کند. این مشکل در علم آمار به عنوان هم خطی بین متغیرهای مستقل شناخته می شود. برای مشاهده هم خطی بین متغیرهای موجود در مدل های استخراجی توسط دو روش پیشرو و پسرو برای حالات مختلف مورد بررسی مقدار VIF (فاکتور تورم واریانس) برای مدل های استخراجی توسط نرم افزار سیگما پلات به دست آمد (جدول ۵).

نکته دیگر بالا بودن ضریب تبیین برای مدل های برآورد رسوب غیر ویژه نسبت به بار رسوبی ویژه می باشد. این امر به

نشان دهنده مناسب بودن مدل نمی باشد کفایت و دقت مدل های کمی به دست آمده توسط فاکتور کفایت مدل (معادله ۳) محاسبه شد. بررسی فاکتور کفایت به دست آمده برای مدل های استخراجی نشان داد که تنها دو مدل برآورد رسوب کل برای کل ماه های سال و ماه های پرباران سال علاوه بر داشتن ضریب تبیین بالا نسبت به سایر مدل ها دارای فاکتور کفایت بالا نیز می باشند در نتیجه مدل هایی مناسب برای پیش بینی به حساب می آیند. مقادیر کفایت مدل برای مدل های استخراجی در (جدول ۵) آمده است.

برای مقایسه بین مقادیر اندازه گیری شده و محاسبه شده از روش بهترین ترکیب ها، مقادیر آن ها در یک نمودار در مقابل هم رسم شد (شکل ۱). بیشترین مقدار ضریب تبیین بین مقادیر اندازه گیری شده و محاسبه شده در حالتی بود که ۱۲ حوزه کوچک در نظر گرفته شد و برآورد بار رسوبی کل در تمام ماه های سال مد نظر قرار گرفت. البته با حذف دو ایستگاه روح آباد (۴۱۶۰ کیلومتر مربع) و پل خاتون (۱۶۸۰۰ کیلومتر مربع) در ضریب تبیین بین مقادیر اندازه گیری شده و محاسبه شده در مدل های برآورد بار رسوبی کل در حالتی که تمام حوزه ها (از ۵۱۴/۰ به ۰/۸۱ برای کل ماه های سال و از ۰/۴ به ۰/۹ برای ماه های پرباران سال) و ۱۷ حوزه بزرگ (از ۰/۲۶ به ۰/۶۸ برای کل ماه های سال و از ۰/۵۴ به ۰/۷۳ برای ماه های پرباران سال) در نظر گرفته شوند افزایش قابل توجهی ایجاد شد.

همچنین با حذف ایستگاه کلاته رحمان (۱۲۱ کیلومتر مربع) در حالتی که محاسبه بار رسوبی ویژه در کل ماه های سال برای ۱۲ حوزه کوچک مد نظر باشد، مقدار ضریب تبیین بین مقادیر محاسبه شده و مقادیر اندازه گیری شده از ۰/۵۹ به ۰/۷۹ افزایش یافت. به نظر می رسد که آمار در این ایستگاه ها غیر واقعی باشد

که در آن تمام متغیرها دارای VIF کمتر از ۱۰ (حد بحرانی VIF) باشد به عنوان بهترین ترکیب انتخاب شد.

مدل رگرسیونی چند متغیره به دست آمده از روش بهترین ترکیب ها به ترتیب ۹۰ و ۸۹ درصد تغییرات بار رسوبی را برای حالتی که ۲۹ حوزه با هم در نظر گرفته شد و برآورد بار رسوبی کل در کل ماه های سال و ماه های پرباران سال مد نظر بود را شرح داد. پارامترهای این مدل عبارتند از طول حوزه، ارتفاع متوسط حوزه، نسبت پستی و بلندی و بارندگی متوسط منطقه ای. اما مدل رگرسیونی به دست آمده از این روش برای برآورد بار رسوبی ویژه در کل سال و ماه های پرباران سال تنها ۴۰ و ۴۱ درصد تغییرات بار رسوبی ویژه را شرح می دهد که این امر احتمالاً به دلیل تغییرات زیاد در محدوده مساحتی حوزه های مورد بررسی می باشد. با گروه بندی داده ها به دو دسته حوزه های کوچک و بزرگ تغییراتی در ضریب تبیین مدل های استخراجی به خصوص مدل های ایجاد شده برای برآورد بار رسوبی ویژه ایجاد شد. به طوری که مدلی متشکل از ۵ پارامتر شیب متوسط رودخانه ها، ارتفاع متوسط، شیب رودخانه اصلی، تراکم زهکشی و دبی لحظه ای حداکثر با دوره بازگشت ۲ سال تا ۸۰ درصد تغییرات بار رسوبی ویژه در کل سال را بیان کرد.

همچنین افزایش در ضریب تبیین برای برآورد بار رسوبی ویژه در حالتی که ۱۲ حوزه کوچک مورد بررسی قرار گرفتند نیز مشاهده شد به طوری که ۷۱ درصد تغییرات بار رسوبی ویژه در کل سال توسط ۴ پارامتر شیب متوسط حوزه، مساحت حوزه، دبی روزانه حداکثر با دوره بازگشت ۲ سال و رواناب متوسط سالانه بیان شد.

### ۳-۷- ارزیابی مدل های تولیدی

از آنجا که تنها بالا بودن ضریب تبیین برای یک مدل





## نتیجه

نتایج نشان داد که ترکیب پارامترهای مختلف توسط معادلات رگرسیونی تا حد زیادی تغییرات بار رسوبی را در حالات مختلف در حوزه های شمالی استان خراسان بزرگ بیان می کند.

مساحت حوزه ها به تنهایی ۸۳ درصد و ۷۹ درصد تغییرات بار رسوبی را در سطح معنی داری یک درصد به ترتیب برای داده های بار رسوبی غیر ویژه در کل ماه های سال و ماه های پرباران سال در حالتی که کل ۲۹ حوزه با هم در نظر گرفته شد را شرح داد.

همچنین مساحت حوزه ها ۶۶ درصد و ۶۲ درصد تغییرات بار رسوبی را در سطح معنی دار یک درصد به ترتیب برای داده های بار رسوبی غیر ویژه در کل ماه های سال و ماه های پرباران سال در حالتی که ۱۷ حوزه بزرگ در نظر گرفته شد شرح داد. اثر مساحت بر مقادیر مختلف بار رسوبی ویژه در شرایطی که کل ۲۹ حوزه و ۱۷ حوزه بزرگ در نظر گرفته شد اگرچه مثبت است اما معنی دار نمی باشد. اثر مساحت بر مقادیر بار رسوبی غیر ویژه در کل ماه های سال و ماه های پرباران سال در حالتی که ۱۲ حوزه کوچک در نظر گرفته شود معنی دار نمی باشد ولی مثبت است در حالی که اثر مساحت در این حالت بر بار رسوبی ویژه در کل ماه های سال و ماه های پرباران سال بر خلاف حالات قبلی منفی بود.

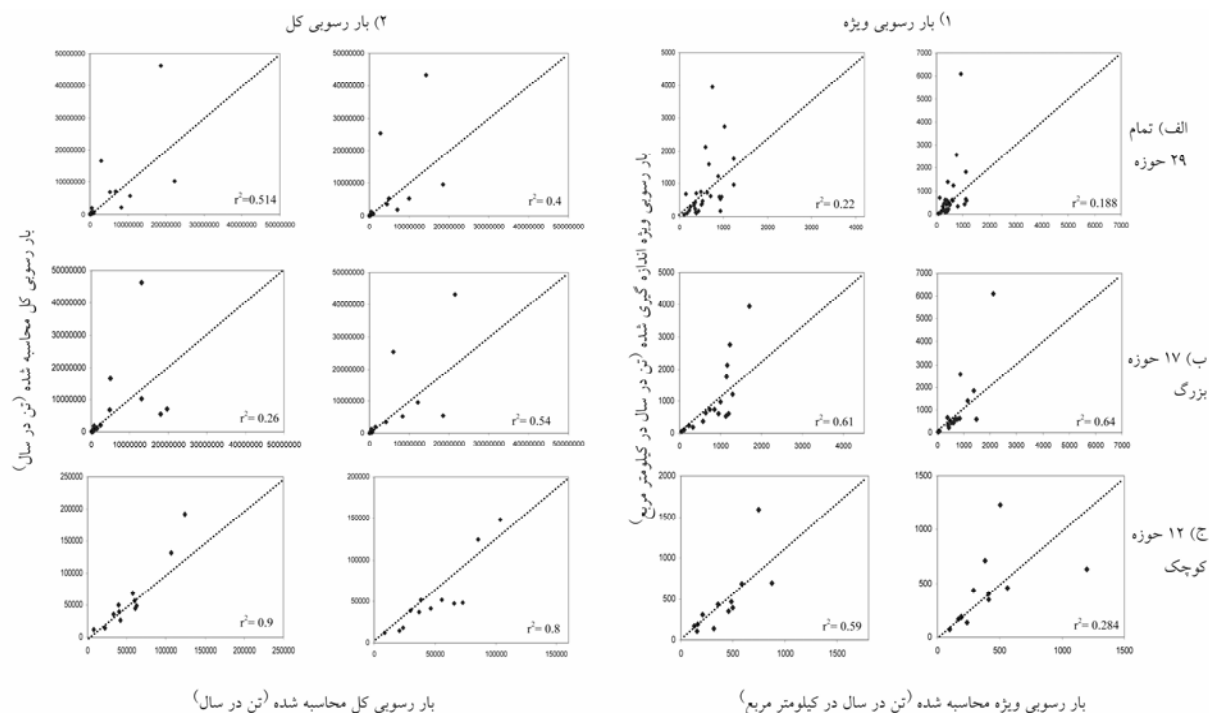
مساحت حوزه ها در حالت های مختلف بار رسوبی به صورت یک متغیر جعبه سیاه عمل کرده و مانع از شرح اثر واقعی پارامترهای ژئومورفولوژیکی دیگر در حوزه های مورد نظر شد.

مدل های به دست آمده برای پیش بینی بار رسوبی ویژه در حالت های مختلف (بخصوص برای حالتی که کل ۲۹ حوزه با هم در نظر گرفته شد) دارای ضریب تبیین و کفایت مدل پایین تر نسبت به مدل های برآورد بار رسوبی غیر ویژه بودند. اما تقسیم این ۲۹ حوزه به دو دسته ۱۷ حوزه بزرگ و ۱۲ حوزه کوچک سبب افزایش ضریب تبیین و کفایت مدل پیش بینی کننده بار رسوبی ویژه شد. به طور کلی مدلی که بار رسوبی غیر ویژه را در کل ماه های سال در ۱۲ حوزه کوچک پیش بینی می کند با ضریب تبیین ۰/۸۵ و کفایت مدل بهترین مدل پیش بینی بار رسوبی به حساب آمد.

از آن جا که مدل های پیش بینی کننده بار رسوبی غیر ویژه در تمام حالات دارای ضریب تبیین و کفایت مدل بالاتر بودند می توان از این مدل ها برای محاسبه مقدار رسوب تحویلی به رودخانه ها و تاسیسات مختلف ذخیره آب مانند سدها و مخازن ذخیره سیلاب استفاده کرد. بار رسوب ویژه را می توان در این حالات از تقسیم مقدار محاسبه شده بار رسوبی غیر ویژه توسط این مدل ها تقسیم بر مساحت حوزه ها محاسبه کرد.

جدول ۵) بهترین مدل‌های به دست آمده از روش‌های بهترین ترکیبها، پیشرو و پسرو برای حالات مختلف

مجموعه ایستگاه‌ها	چگونگی استفاده از اطلاعات	ویژه / غیر ویژه	مدل‌های پیشنهادی توسط روش بهترین ترکیبها	R <sup>2</sup>	P	ME	VIF		C <sub>p</sub>	Mstres
							MAX	AVG		
مجموعه ایستگاه‌ها	اطلاعات	ویژه		0/9	0/0001	0/5	3/1	2/398	3/07	0/12
		غیر ویژه	$SY = -0/956 + 2/416 L_C + 4/347 H_{min} - 2/421 HI - 8/092 P$	0/89	0/0001	0/37	3/1	2/4	5/1	0/125
		ویژه	$SY = 1/249 + 2/296 L_C + 4/307 H_{min} - 2/928 HI - 8/824 P$	0/4	0/0285	0/15	8/64	5/84	0/434	0/142
		غیر ویژه	$SSY = 18/553 - 0/938 S_C + 0/267 S_{nr} - 0/477 A - 4/754 P + 0/899 Q_{dm2}$	0/41	0/0099	0/11	8/45	4/6	3/28	0/144
		ویژه	$SSY = 22/566 - 0/991 S_C - 0/668 A - 5/583 P + 0/852 Q_{dm2}$	0/86	0/0002	0/24	6/49	4/32	184/7	0/129
		غیر ویژه	$SY = 8/077 - 1/116 S_{nr} + 2/332 L_C - 0/302 A_c - 2/882 H_2 + 1/209 Q_{ym}$	0/89	0/0001	0/51	5/17	3/9	29/3	0/119
		ویژه	$SY = 16/926 - 2/231 S_C + 0/766 S_{nr} + 0/825 L_C - 5/993 P + 0/651 Q_{dm2}$	0/8	0/0013	0/46	3/34	1/96	26/52	0/0672
		غیر ویژه	$SSY = -7/339 - 1/227 S_{nr} + 3/22 H_{min} + 0/355 S_{nr} + 1/748 DD + 0/986 Q_{dm2}$	0/76	0/0026	0/42	1/69	1/33	4/14	0/0854
		ویژه	$SSY = -7/774 + 0/683 S_{nr} + 3/429 H_{min} - 2/234 DD + 0/331 A_c + 0/621 Q_{dm2}$	0/85	0/0186	0/79	2/44	1/61	2/5	0/0327
		غیر ویژه	$SY = 23/232 - 2/063 H_{min} + 1/588 S_C - 0/862 Q_{ym} - 5/211 P + 1/052 Q_{dm2}$	0/84	0/0225	0/75	3/38	2/75	2/187	0/0318
		ویژه	$SY = 5/298 + 1/456 S_C - 0/801 L_C - 1/841 R_c - 0/621 Q_{dm} + 1/238 Q_{dm2}$	0/71	0/0477	0/54	3/14	2/29	-0/25	0/052
		غیر ویژه	$SSY = 9/682 + 1/844 S_C - 1/649 A + 1/05 Q_{dm2} - 0/998 Q_{ym}$	0/69	0/0205	0/14	1/3	1/24	8/28	0/0523
ویژه	$SSY = 6/293 + 1/651 S_{nr} - 1/499 L_{nr} + 0/483 A_1$									
مجموعه ایستگاه‌ها	از اطلاعات	پسرو		0/89	0/0001	0/89	5/46	3/75	0/126	
		ویژه	$SY = -6/108 + 2/388 H_{min} - 2/29 R_c + 0/753 Q_{dm2}$	0/89	0/0001	0/89	5/46	3/75	0/124	
		غیر ویژه	$SY = -6/014 + 2/4184 H_{min} - 2/136 R_c + 0/7718 Q_{dm2}$	0/86	0/0001	0/15	2/14	2/14	0/15	
		ویژه	$SY = -8/3 + 2/93 H_{min} - 3/1 R_c$	0/86	0/0001	0/15	2/14	2/14	0/151	
		غیر ویژه	$SY = -8/742 + 3/018 H_{min} - 3/212 R_c$	0/23	0/0085	1	1	1	0/155	
		ویژه	$SSY = 23 - 8/3 P$	0/23	0/0085	1	1	1	0/155	
		غیر ویژه	$SSY = 23/45 - 8/51 P$	0/22	0/0096	1	1	1	0/17	
		ویژه	$SSY = 23/468 - 8/518 P$	0/22	0/0096	1	1	1	0/17	
		غیر ویژه	$SY = -1/15 + 1/28 L_{nr}$	0/74	0/0001	1	1	1	0/182	
		ویژه	$SY = -32/089 - 561/704 L_C + 0/867 S_{nr} + 4/11 L_{nr} - 556/787 R_c + 16/756 P + 2/05 Q_{dm2} + 555/249 H_2$	0/92	0/0002	0/0002	101/667	25792/6	0/087	
		غیر ویژه	$SY = 5/17 + 3/12 L_{nr} - 1/81 A$	0/79	0/0001	0/0001	25/04	25/04	0/159	
		ویژه	$SY = -12/652 + 4/191 L_C + 1/904 S_{nr} - 3/67 S_C + 1/554 S_{nr} + 2/984 L_{nr} + 42/176/67 A - 42/177 Q_{dm} + 1/51 Q_{dm2} + 42/175/78 R_{mm}$	0/99	0/0001	0/0001	125/49	49/27	0/02	
غیر ویژه	$SSY = -49/742 + 7/597 L_C + 6/567 H_{min} - 3/318 S_C + 1/722 S_{nr} - 5/024 L_{nr} + 2/697 L_{nr} + 8/629 R_c + 0/422 A_c - 1/664 Q_{ym} + 7/764 P + 2/795 Q_{dm2}$	0/76	0/001	0/001	1/14	1/07	0/074			
ویژه	$SSY = 5/383 - 0/942 S_C + 2/684 DD$	0/98	0/0008	0/0008	517/03	89/95	0/0115			
غیر ویژه	$SSY = 14/443 - 1/411 S_C + 2/17 L_{nr} - 2/589 A + 0/849 Q_{dm2}$	0/54	0/0042	1	1	1	0/137			
ویژه	$SSY = 4/099 + 0/834 Q_{dm2}$	0/66	0/0072	30/17	15/05	0/117				
غیر ویژه	$SY = 4/099 + 0/834 Q_{dm2}$	0/38	0/0332	1	1	0/0725				
ویژه	$SSY = 4/074 + 0/806 Q_{dm2}$	0/38	0/0332	1	1	0/0725				
غیر ویژه	$SSY = 4/047 + 0/806 Q_{dm2}$	0/39	0/0302	1	1	0/0812				
ویژه	$SSY = 0/0604 + 1/637 S_C$	0/39	0/0302	1	1	0/0812				
غیر ویژه	$SSY = -7/415 + 8/629 T + 0/378 A_c$	0/3	0/0664	1	1	0/087				
ویژه	$SSY = -8/881 + 9/905 T + 0/387 A_c$	0/46	0/0625	1/4	1/4	0/074				
غیر ویژه	$SSY = -8/881 + 9/905 T + 0/387 A_c$	0/53	0/0336	1/4	1/4	0/07				
ویژه	$SSY = -15/981 + 4/214 S_C - 1/618 S_{nr} - 3/454 L_{nr} + 7/619 DD + 1/7775 T - 2/87 R_{mm}$	0/93	0/0071	12/44	6/65	0/017				



(شکل ۱) - رابطه بین مقادیر اندازه گیری شده و محاسبه شده بار رسوبی در حالات مختلف

## منابع

- ۱- ناظریان، ح. ۱۳۸۴. ارائه مدل های رگرسیونی چند متغیره برآورد رسوب در حوزه های شمال استان خراسان بزرگ. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری وزهکشی. دانشگاه فردوسی مشهد.
- 2- Asselman, N. E. M. 2000. Fitting and interpretation of sediment rating curves. *Journal of Hydrology* 234: 228-248.
- 3- Church, M., D. Ham, M. Hassan and H. O. Slaymaker. 1999 . Fluvial clastic sediment yield in Canada: scaled analysis. *Canadian Journal of Earth Sciences* 36(8):1267-1280.
- 4- Dendy, F. E. and G. C. Bolton. 1976. Sediment yield-runoff-drainage area relationships in the United States. *Journal of Soil and Water Conservation* 31:264-266.
- 5- Ferguson, R. I. 1986. River loads underestimated by rating curves. *Water Resources Research* 22: 74-76.
- 6- Harrison, C. G. A. 2000. What factor control mechanical erosion rates. *Int. J. Earth Sci.* 531.
- 7- Lane, L. J., M. Hernandez and M. Nichols. 1997. Processes controlling sediment yield from watersheds as functions of spatial scale. *Environmental Modeling and Software* 12: 355-369.
- 8- Nash, J. E., J.V. Sutcliffe. 1970. Riverflow forecasting through conceptual models: Part I. A discussion of principles. *Journal of Hydrology* 10:282-290.
- 9- Vanoni, V.A. 1975. *Sedimentation Engineering*. Asce Manuals and Reports on Engineering Practices. Vol. 54.
- 10- Verstraeten, G. and J. Poesen. 2001. Factors controlling sediment yield from small intensively cultivated catchments in temperate humid climate. *Geomorphology* 40: 123-144.
- 11- Verstraeten, G., J. Poesen, J. D. Vente, and X. Koninckx. 2003. Sediment yield variability in Spain: a quantitative and semiquantitative analysis using reservoir sedimentation rates. *Geomorphology* 50: 327-348.
- 12- Walling , D. E. 1994. Measuring sediment yield from river basins. In: Lal, R. (Ed.), *Soil Erosion Research Methods*. 2nd edn. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, IA, USA, pp: 39-80.

## Multivariate regression models for predicting sediment yield of the northern watersheds in the Great Khorasan province

S.R.Khodashenas – B.Gahraman – K.Davary – H.Nazerian<sup>1</sup>

### Abstract

Sediment load-discharge data of hydrometric stations in the north of Great Khorasan province were studied. Twenty nine stations were selected and the mean annual sediment yield was computed using sediment rating curves. The total annual sediment yield for these catchments (61.5 to 16800 km<sup>2</sup>) varied between 4.8 to 19500 M ton/year and the specific sediment yield varied between 62 to about 4000 ton/year/km<sup>2</sup>. Due to large variations in the total and specific sediment yield, 29 selected catchments were divided in two groups: 17 large catchments (area>500 km<sup>2</sup>) and 12 smaller ones (area<300 km<sup>2</sup>). Various characteristics of the catchments such as geomorphology, climate, hydrology, land cover and geology were analyzed to describe the reasons behind the sediment yield variations. Multivariate regression models between independent variables and different forms of sediment yield were developed. The results showed that after classifying the catchments into 2 groups (large and small), R<sup>2</sup> and the adequacy of specific sediment yield prediction models were highly increased. Also, the results showed that R<sup>2</sup> for total sediment yield prediction models were higher than that of specific sediment yield prediction models. Finally, the best model for each class and form (total/ specific yield) were selected. The model including mean elevation, mean slope, mean annual discharge, mean precipitation and maximum daily discharge with return period of 2 years was selected as the best model to predict the total annual sediment yield of the 12 small catchments (R<sup>2</sup>=0.85, ME=0.79).

**Key words:** Regression models, sediment yield prediction, watershed, Great Khorasan province.

---

\*- Corresponding author Email: Saeed.khodashenas@yahoo.fr

<sup>1</sup> - Contribution from College of Agriculture Ferdowsi University