

## Quantitative Analysis of the Basin Components and its Role in the Rate of Annual Sediment Yield (17 Basins in North East Iran)

Ebrahim Taghavi Moghadam<sup>1\*</sup>, Shahram Bahrami<sup>2</sup>, Mohammad Ali Zangane Asadi<sup>3</sup>,  
Leyla Mokhtari<sup>4</sup>

<sup>1</sup> PhD student in Geomorphology, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

<sup>2</sup> Associate Professor of Geomorphology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

<sup>3</sup> Associate Professor of Geomorphology, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

<sup>4</sup> Assistant Professor of Geomorphology, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

### Abstract

Several factors affect the rate of annual sediment basin. Components of the basin and drainage network have a very important role in river sedimentation rate. This study calculated morphometric parameters of basin such as: area (A), the perimeter (P), the ratio of a circle (Re), elongation ratio (Rf), mean height (H), mean slope (S), drainage density (Dd), drainage frequency (Df) along the channels (BL), fault density (DF), the percentage of Quaternary formations (PQ), bifurcation ratio (Rb), the number of hierarchical anomaly (Ha), hierarchical anomaly index ( $\Delta a$ ), density hierarchical anomaly (ga) in the 17 Basins in the North east of Iran. Then, the annual sedimentation rate of the basins (t / y per square kilometer) and the annual sediment suspended (ss) of each station were determined by multivariate statistical methods and using discharge and sediment data Khorasan Razavi regional water authority. Then the annual sedimentation rate of the basins (tons per year per square kilometer) was calculated. Finally, linear regression and correlation coefficients were evaluated among the components of the basin and the rate of annual sediment. The results of the research show that the highest annual sedimentation rates are in the Torghabeh and Radekan basins, respectively, with 1533.1, 1437.1 tons / km<sup>2</sup>. The lowest annual sedimentation rate is in Yangaje and Bar watersheds with 224.1, 462.3 tons / km<sup>2</sup> per year. According to the calculations of P, Ga, A, L, Ha,  $\Delta a$ , and Re indexes, with the values of 0.301, 0.249, 0.232 and 0.230, respectively, have the most correlation with the annual sedimentation rate. In addition, there is a relatively weak correlation between PQ, S, Dd, Rb and annual sedimentation rates. In the case of other parameters, there is no correlation with the annual rate of sedimentation of the basins. The analysis indicated that annual precipitation rates are not entirely affected by morphometric factors in research basins. Factors such as intensity and duration of precipitation, soil type, land use and vegetation in estimating the annual sedimentation rate of the basins should be considered to achieve more accurate results.

**Key words:** Regression, Annual Sediment Yield, Basin, Quantitative Components.

\* e.taghavi@hsu.ac.ir

## تحلیل مؤلفه‌های کمی حوضه آبریز و نقش آنها در میزان رسوب سالیانه ۱۷ حوضه آبریز شمال شرق کشور

ابراهیم تقوی مقدم<sup>\*</sup>، دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران  
شهرام بهرامی، عضو هیئت علمی دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران  
محمدعلی زنگنه اسدی، عضو هیئت علمی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران  
لیلی گلی مختاری، استادیار، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

وصول: ۱۳۹۵/۰۶/۰۴ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۲۸، صص ۱۷۲-۱۴۷

### چکیده

عوامل متعددی در میزان رسوب سالیانه حوضه آبریز تأثیرگذار است. مؤلفه‌های کمی حوضه آبریز و شبکه زهکشی نقش بسیار تعیین‌کننده‌ای در میزان رسوب رودخانه‌ها دارد. در این پژوهش شاخص‌های مورفومتری حوضه آبریز همچون مساحت (A)، محیط (P)، نسبت دایره‌ای (Re)، نسبت کشیدگی (Rf)، میانگین ارتفاع (H)، میانگین شیب (S)، تراکم زهکشی (Dd)، طول آبراه‌ها (BL)، تراکم گسلی (DF)، درصد سازندهای فرسایش‌پذیر (PQ)، نسبت انشعابات (Rb)، تعداد ناهنجاری سلسله‌مراتبی (Ha)، شاخص ناهنجاری سلسله‌مراتبی ( $\Delta a$ ) و تراکم ناهنجاری سلسله‌مراتبی (ga) مربوط به ۱۷ حوضه آبریز در شمال شرق کشور محاسبه شد؛ سپس با بهره‌گیری از داده‌های دبی و رسوب سازمان آب منطقه‌ای، دبی سالیانه رسوب (ss) هر ایستگاه با روش‌های چندمتغیره برآورد رسوب تعیین و پس از آن میزان رسوب سالیانه حوضه‌ها (تن در سال در هر کیلومتر مربع) محاسبه شد. در نهایت با محاسبه رابطه خطی و ضریب همبستگی، تأثیر تک‌تک شاخص‌های مورفومتری حوضه آبریز در میزان رسوب سالیانه محاسبه و ارزیابی شد. نتایج پژوهش نشان می‌دهد حوضه‌های طبقه و رادکان به ترتیب با میزان رسوب ۱۵۳۳/۰۵، ۱۴۳۷/۰۷ بیشترین و حوضه‌های ینگجه و باراریه با میزان رسوب ۲۲۴، ۴۶۲  $\text{ton}/\text{km}^2$  در سال کمترین میزان رسوب سالیانه را به خود اختصاص داده‌اند. براساس محاسبات، شاخص‌های  $\Delta a$ ، P، Ha، L، A، Ga، Re به ترتیب با ۰/۳۰۱، ۰/۲۷۹، ۰/۲۴۹، ۰/۲۳۲، ۰/۲۳۰، ۰/۱۸ و ۰/۱۵۲ بیشترین همبستگی را با میزان رسوب سالیانه دارند؛ همچنین بین شاخص‌های PQ، S، Dd، Rb ارتباط نسبتاً ضعیفی با میزان رسوب سالیانه برقرار است. در سایر شاخص‌ها هیچ‌گونه همبستگی با میزان سالیانه رسوب حوضه‌ها وجود ندارد. محاسبات حاکی است میزان رسوب سالیانه در حوضه‌های پژوهش به‌طور کامل متأثر از عوامل مورفومتری نیست و مؤلفه‌هایی مانند شدت و مدت بارش، نوع خاک، کاربری اراضی و پوشش گیاهی در برآورد میزان رسوب سالیانه حوضه‌ها باید لحاظ شود تا نتایج دقیق‌تری از آن به دست آید.

واژه‌های کلیدی: همبستگی، رسوب سالیانه، حوضه آبریز، مورفومتری، مؤلفه‌های کمی.

## مقدمه

می‌روند؛ با تشدید فرسایش در بالادست حوضه، بیشتر سدها توانایی خود را برای ذخیره آب طی ۲۵-۳۰ سال از دست می‌دهند (رنگزن و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۲۳). از دیدگاه زیست‌محیطی نقش رسوبات معلق در انتقال مواد غذایی، سموم و سایر آلاینده‌ها نیز مهم است؛ با این حال مسئله فرسایش و رسوب در کشور ایران، معضلی اساسی شناخته می‌شود و تمامی سازمان‌های ذی‌ربط سعی در کاهش فرسایش و کنترل بار رسوبی رودخانه‌ها دارند. بررسی‌های انجام‌شده در کشور ما نشان می‌دهد از سال ۱۳۳۰ تا ۱۳۷۸ فرسایش خاک رشدی حدود ۴۵۰ درصدی داشته است که از فاجعه‌ای بزرگ در سرزمین ما خبر می‌دهد (احمدی، ۱۳۸۶: ۲۳۳).

بار رسوبی عبارت است از کل رسوب خروجی از یک حوضه که مقدار آن در نقطه‌ای مرجع و در دوره زمانی خاص امکان اندازه‌گیری داشته باشد (Vanoni, 1975: 27). برآورد تولید رسوب کل (مجموع بار بستر و بار معلق) غیرممکن است (حکیم‌خانی و عرب‌خدری، ۱۳۸۵: ۲۲۳) و از سوی دیگر در بیشتر حوضه‌ها بار معلق قسمت عمده بار کل را تشکیل می‌دهد. بار بستر عمدتاً از فرسایش رودخانه‌ای ناشی می‌شود؛ بر این اساس تولید رسوب معلق در ارتباط نزدیک با فرسایش خاک قرار دارد (Vanoni, 1975: 27).

در کشور ایران اندازه‌گیری بار معلق رودخانه‌ها براساس برنامه‌ای منظم از سال ۱۳۴۳ آغاز شده است؛ به‌نحوی که در سال ۱۳۷۵ تعداد ۷۱۵ ایستگاه وجود داشته و این میزان در سال ۱۳۸۵ به ۱۹۷۶ ایستگاه رسیده است (سازمان آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۸۷: ۸). بدیهی است میزان رسوب رودخانه‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک با توجه به ویژگی‌های

مفهوم «آلومتري» که به‌تازگی در علوم زمین به‌ویژه ژئومورفولوژی وارد شده است، تعیین‌کننده ارتباط و میزان تأثیر متغیرها بر یکدیگر در درون یک سیستم است (نورمحمدی، ۱۳۸۵: ۹). به‌طورکلی تغییرات و رشد نسبی دو مؤلفه تأثیرگذار بر یکدیگر را در یک سیستم «آلومتري» گویند (Bull, 1975: 223). براساس تغییرات نسبی متغیرها در دوره تکامل تدریجی یک سیستم، روابط آلومتري بین تک‌تک متغیرها با یکدیگر و نیز با سایر مجموعه متغیرها به کار برده می‌شود (صادقی و همکاران، ۱۳۸۸: ۳۹؛ مختاری، ۱۳۹۱: ۳).

حوضه‌های آبخیز از نظر سیستمی اجزای به‌هم‌پیوسته‌ای دارند که با یکدیگر در ارتباط‌اند و سیستم را به سمت پایداری و تکامل هدایت می‌کنند. حوضه‌های آبریز، واحدی است که استقلال و همگرایی در آن حاکم و به‌منزله بستر فرایندهای درونی و بیرونی، میدان کار بسیاری از پژوهشگران و دانشمندان علوم زمین است (chorly, 1969: 85).

شاخص‌های مورفومتري تأثیرگذار در میزان رسوب سالیانه به چند دسته تقسیم می‌شوند: شاخص‌های مربوط به فرم حوضه‌ها مانند مساحت، محیط، ضریب گردآوری و نسبت کشیدگی؛ شاخص‌های مربوط به شبکه زهکشی مانند طول آبراهه، تراکم زهکشی و ضریب انشعابات؛ شاخص تحلیل سلسله‌مراتبی و دسته آخر شاخص‌های مربوط به لیتولوژی حوضه‌ها شامل گسیختگی‌ها و جنس سازندهای زمین‌شناسی.

تحلیل شاخص‌های کمی حوضه آبریز، ابزاری بسیار قوی برای تحلیل فرایندهای ژئومورفولوژیکی است. فرسایش و تولید رسوب، عوامل مهمی به شمار

لئوپولد و ولمن<sup>۲</sup> (۱۹۵۷) رابطه شیب، دبی و فرم رودخانه را مطالعه کرده‌اند.

سارش و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۴) در پژوهشی با هدف اولویت‌بندی زیرحوضه‌های یک حوضه آبخیز، ویژگی‌های مورفومتری زیرحوضه‌ها را با توجه به میزان رسوب آنها ارزیابی و برای نتیجه‌گیری، رابطه مساحت حوضه و نوع سازند حوضه را خطی مثبت تعیین کرده‌اند.

آکسوی و کاواس<sup>۴</sup> (۲۰۰۵) تک‌تک روش‌های مرسوم ارزیابی میزان رسوب را بررسی کرده‌اند و در نتیجه ویژگی‌های مورفومتری حوضه آبریز و به‌ویژه ویژگی‌های دامنه و توپوگرافی را در میزان رسوب در حوضه‌ها تعیین‌کننده دانسته‌اند.

رستریو و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۰۶) عوامل کنترل‌کننده رسوب را در حوضه زهکشی مگدونلا واقع در کلمبیا بررسی و با محاسبه ویژگی‌های مورفومتری زیرحوضه‌ها، آنها را براساس میزان رسوب‌دهی اولویت‌بندی کرده‌اند.

دیباس و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۱۰) نقش فرم چشم‌انداز را در میزان رسوب سالیانه با استفاده از روش‌های مورفومتری و 10B<sup>۷</sup> ارزیابی کرده‌اند.

ژانگ و همکاران<sup>۸</sup> (۲۰۱۵) با ایجاد ارتباط بین مشخصات ژئومورفومتری و میزان رسوب در فلات لوئیس چین و با استفاده از روش PLSR دریافتند شکل حوضه و ضریب Relief، از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر میزان رسوب‌اند.

فرسایشی حوضه‌های بالادست بسیار زیاد است (رنگزن و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۲۴). در حالت کلی فرسایش خاک به ارتفاع، ساختمان خاک، آب، پوشش گیاهی و شرایط اقلیمی بستگی دارد؛ اما ویژگی‌های ژئومورفومتری حوضه، کاربری اراضی و شکل و تراکم شبکه زهکشی نیز در میزان رسوب فرسایش حوضه‌ها تعیین‌کننده است (Walling, 1994: 40). عوامل هیدرومورفومتری حوضه آبریز از مهم‌ترین عواملی است که بر میزان بار رسوبی رودخانه‌ها تأثیر می‌گذارد (Montgomery & Brandon, 2002: 482). حوضه‌های آبریز شمال شرق کشور با اقلیم خشک و نیمه‌خشک دبی رسوبی زیادی دارند.

#### پیشینه پژوهش

با توجه به نیاز آبی دشت‌های پایین‌دست برای ایجاد سازه‌های هیدرولیکی، بحث فرسایش و رسوب همواره یکی از دغدغه‌های مهندسان و متولیان مدیریت آب کشور بوده است. در این زمینه مطالعات گسترده‌ای در سراسر جهان انجام شده است؛ مطالعاتی مربوط به ویژگی‌های کمی حوضه آبریز و تأثیر آنها در فرایندهای ژئومورفولوژیکی از قبیل تکتونیک (Hurtrez et al, 1999; keller, 1986; Montgomery, 2002 Alexander, 1972; Gupta and ) سیل‌خیزی (Waymire, 1980; Harlin, 1984) و فرسایش رسوب (Strahler, 1957; Harrison, 2000; Montgomery, ) (Leopold & Langbein, 1962; 2002).

لئوپولد و لانگبین<sup>۱</sup> (۱۹۶۲) رابطه بین بارش مؤثر و محصول رسوبی را بررسی کرده‌اند.

<sup>2</sup> Leopold & Wolman

<sup>3</sup> Suresh et al

<sup>4</sup> Aksoy and Kavvas

<sup>5</sup> Restrepo et al

<sup>6</sup> DiBiase et al

<sup>7</sup> Cosmogenic erosion rates et al

<sup>8</sup> Zhang et al

<sup>1</sup> Leopold & Langbein

مورفومتریک در روش تحلیل خوشه‌ای، زیرحوضه‌های حوضه آبریز پل دوآب شازند را طبقه‌بندی کرده‌اند.

هدف این مطالعه، ارزیابی نقش عوامل ژئومورفومتری حوضه‌های آبریز در بار رسوبی آنهاست. جامعه آماری این پژوهش ۱۷ حوضه آبخیز در شمال شرق کشور است؛ با این شرط که یک ایستگاه هیدرومتری (رسوب‌سنجی) در نقشه خروجی حوضه باشد و در بالادست این ایستگاه‌ها هیچ‌گونه سدی وجود نداشته باشد. بدین منظور از روش‌های محاسبه ویژگی‌های مورفومتری حوضه‌ها و تحلیل رگرسیون چندمتغیره و روش‌های آماری استفاده شده است.

#### روش‌شناسی پژوهش

##### معرفی محدوده پژوهش

حوضه‌های مطالعه‌شده در این پژوهش در چهارگوش مختصاتی عرض جغرافیایی  $36^{\circ}15'$  و  $37^{\circ}8'$  و طول جغرافیایی  $58^{\circ}20'$  و  $59^{\circ}30'$  شامل حوضه‌های آبریز دیزباد علیا، دررود، خرو، میرآباد، طاغان، بار، ینگجه و چکنه متعلق به حوضه آبریز دشت کویر و حوضه‌های آبخیز فریزی، گل‌مکان، شان‌دیز، طر‌قه، طرق، کارده، ارداک و رادکان متعلق به حوضه آبریز بزرگ کشف‌رود و حوضه آبخیز کلات متعلق به حوضه قره‌قورم است (شکل ۱). حوضه‌های برگزیده در دو رشته‌کوه به نام‌های هزار مسجد در شمال و بینالود در جنوب قرار گرفته‌اند که چاله ناودیسی کشف‌رود این دو توده را از هم جدا می‌کند. مرز شمالی منطقه منطبق بر گسل عشق‌آباد است که این ارتفاعات را از دشت ترکمنستان جدا می‌کند. حوضه کپه‌داغ از نوع ژئوسنکلینال و عمل رسوب‌گذاری در

تستا و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۶) عواملی چون بارش، روان‌آب و نقش آنها را در میزان رسوب در حوضه زهکشی سالادا<sup>۲</sup> در کوه‌های آلپ بررسی و با ارزیابی ویژگی‌های کمی حوضه آبریز، نقش این دو عامل را در افزایش میزان رسوب بسیار مؤثر معرفی کرده‌اند.

در ایران تاکنون مطالعه جامع و کاملی در این زمینه صورت نگرفته است؛ به‌جز مطالعات حکیم‌خانی و عرب‌خدردی (۱۳۸۵) که ویژگی‌های مورفومتری حوضه‌های دریاچه ارومیه را بررسی و تأثیر آنها را بر میزان رسوب معلق سالیانه ارزیابی کرده‌اند.

اوتق و نهتانی (۱۳۸۳) رابطه واحدهای ژئومورفولوژی و فرسایش و رسوب را در حوضه آبخیز کاشیدار (گرگانرود) ارزیابی و با استفاده از رخساره واحد ژئومورفولوژی و روش ام‌پسیاک این رابطه را با رگرسیون  $0/04$  معنادار اعلام کرده‌اند.

شریعت‌جعفری و غیومیان (۱۳۸۴) در بررسی آلومتری بین همبستگی رسوب حوضه با گسیختگی شیب و رانش زمین در حوضه طالقان مرکزی و تقسیم‌بندی این حوضه به ۸ زیرحوضه دریافتند رانش زمین در افزایش رسوب‌زایی حوضه کاملاً مؤثر است.

جوکار سرهنگی و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از ویژگی‌های کمی حوضه‌های آبریز، سیلاب را در حوضه‌های دامنه شمالی البرز مدل‌سازی کرده‌اند.

بومری و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از ویژگی‌های کمی حوضه آبریز مانند مساحت و محیط، شکل، شیب و زمان، تمرکز در پهنه‌های سیلابی را در حوضه دامن شناسایی کرده‌اند.

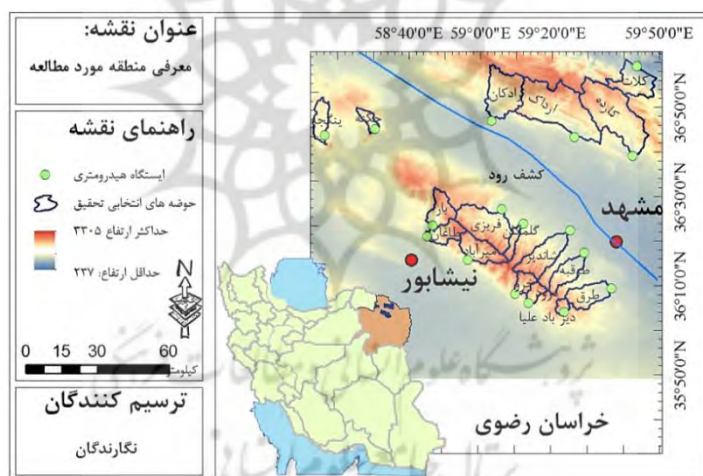
دارابی و همکاران (۱۳۹۱) با به‌کاربردن مؤلفه‌های

<sup>۱</sup> Tuseta et al

<sup>۲</sup> Salada

کمترین ارتفاع آن در منتهی‌الیه شرقی منطقه واقع در دشت مشهد - چناران ۴۳۰ متر از سطح دریاست. براساس طبقه‌بندی آمبرژه و کوپن، منطقه مطالعه شده جزو اقلیم خشک و سرد و در عرض‌های کمتر، نیمه‌خشک و سرد است. میانگین بارش در منطقه ۲۵۰-۴۰۰ میلی‌متر و میانگین دما ۱۵/۶ درجه است (سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۰). فرایند شکل‌زایی منطقه آب‌های جاری متأثر از توده‌های سرد شمالی است. ذوب برف در ارتفاعات منطقه علاوه بر افزایش دبی رودخانه‌ها باعث تغذیه سفره آب زیرزمینی و همچنین پرآبی چشمه‌های کارستیک منطقه شده است (طالقانی، ۱۳۸۴: ۲۴۲).

محیطی نسبتاً آرام بوده است و شباهت فراوانی به زون چین‌خورده زاگرس شکسته دارد. این منطقه در دوره مزوزوئیک باعث ایجاد سنگ‌هایی از نوع آهک، گچ، مارن، سیلت‌ستون و کنگلومرا در پهنه‌های سازندی آق‌دریوند، کشف‌رود، چمن‌بید، مزدوران شوربجه، تیرگان، کلات و... شده است. واحد بینالود را عده‌ای دنباله البرز شرقی می‌دانند؛ در دوره پالئوزوئیک متأثر از حرکات ماگمایی شدید توده گرانیتی بینالود و ساختارهای دگرگونی اطراف آن شکل گرفته است. قسمت غربی آن از توده‌های آندزیتی با قله منفرد در محدوده بخش چکنه نیشابور تشکیل شده است (طالقانی، ۱۳۸۴: ۲۳۸). بیشترین ارتفاع منطقه بینالود ۳۲۱۱ متر و



شکل ۱. نقشه منطقه مطالعه شده

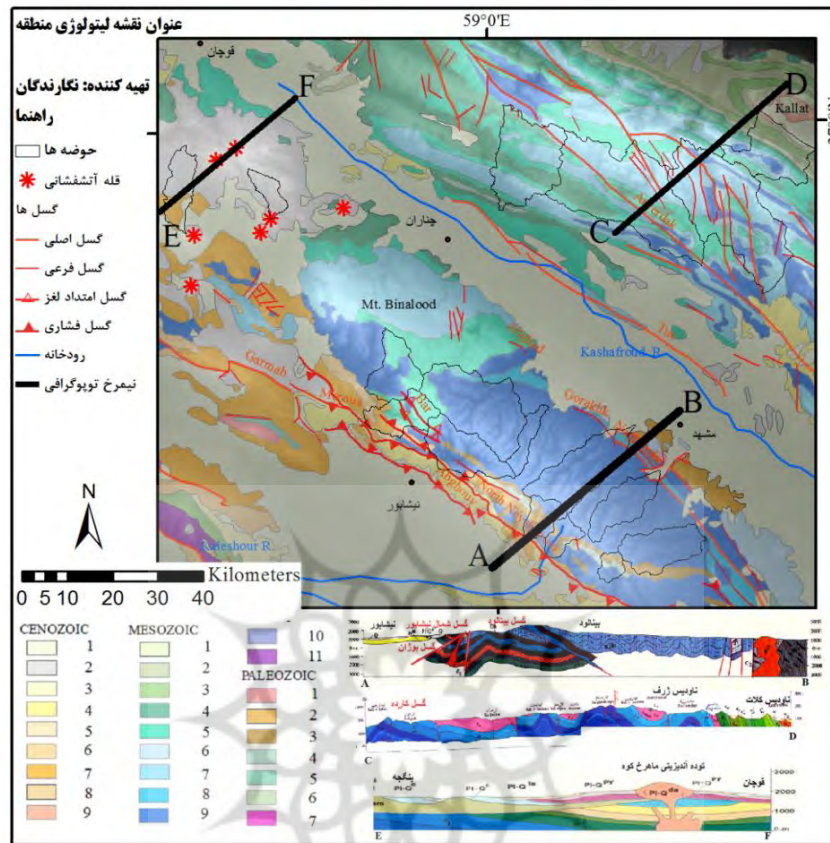
نیشابور، گسل آبقوی، بوژان، گسل آبقند - طرهبه و گسل گوراخک عموماً شرقی - غربی است. گسل‌های امتداد لغز کپه‌داغ شامل کلاته عرب‌ها، گسل اصلی کپه‌داغ و گسل قره‌داغ، در اثر حرکات همگرایی بلوک توران و ایران مرکزی جهت شمالی - جنوبی دارند (شکل ۲). مطالعات شعبانیان<sup>۱</sup> (۲۰۱۲) نشان می‌دهد

حوضه‌های این پژوهش از دو زون ساختاری متفاوت کپه‌داغ و بینالود انتخاب شده است. حوضه ژئوسنکلینال کپه‌داغ - هزار مسجد ماهیت ژورایی و به موازات مرز شمال شرقی ایران امتداد دارد و حوضه رسوبی - آذرین آلا‌داغ - بینالود در منتهی‌الیه البرز شرقی واقع شده است. جهت گسل‌های دامنه جنوبی و شمالی بینالود شامل گسل بینالود، گسل شمال

<sup>1</sup> Shabanian

فشاری حدود ۱/۳ تا ۲/۵ سانتی‌متر در سال  
زیرراندگی وجود دارد.

در محل گسل اصلی راستگرد کپه‌داغ سالی ۴/۳  
سانتی‌متر حرکت وجود دارد؛ همچنین در محل گسل



شکل ۲. نقشه لیتولوژی و سن سازندهای منطقه به همراه نیمرخ چین‌شناسی از ۳ بازه عرضی

(سازند چهل‌کمان، مارل و لیمستون)، ۹- پالئوسن  
(سازند پستلیق، کنگلومرای قرمز، ماسه‌سنگ و گل  
سنگ)؛ سازندهای مزوزوئیک شامل ۱- مزوزوئیک -  
پالئوژن (ملانژ تکتونیزه‌شده، افیولیت، چرت)،  
۲- اواخر کرتاسه (سازند نیریز، سازند آبدراز، سازند  
کلات)، ۳- کرتاسه (سازند آتامیر و آبتالکه)، ۴- اوایل  
کرتاسه (سازند تیرگان، سرچشمه)، ۵- ژوراسیک -  
کرتاسه (سازند لار و شوريجه)، ۶- اواخر ژوراسیک -  
گرانیت، سازند شیرکوه و شاه‌کوه)، ۷- اواسط تا  
اواخر ژوراسیک (سازند مزدوران)، ۸- اواسط  
ژوراسیک (کنگلومرا)، ۹- ژوراسیک (سازند

در شکل (۲) لیتولوژی تشکیل‌دهنده منطقه  
براساس مقیاس زمانی طبقه‌بندی شده است. این  
مناطق عبارت‌اند از: سازندهای سنوزوئیک شامل  
۱- کواترنری (دشت سرهای فرسایش، رسوبات  
تراستی)، ۲- پلیوسن - کواترنر (ماسه‌سنگ و  
کنگلومرای رودخانه‌ای، داسیت و آندیزیت و توف  
آتشفشانی)، ۳- پلیوسن (ماسه‌سنگ و کنگلومرای  
پلی‌میکتیک)، ۴- میوسن (سازند قرمز بالایی)،  
۵- الیگوسن (گرانیت و دیوریت)، ۶- اوایل ائوسن  
(ماسه‌سنگ و آهک)، ۷- ائوسن (شیل به همراه توف  
آتشفشانی، آهک و ژپس)، ۸- پالئوسن - ائوسن



ارتفاعی (DEM) ۳۰ متر تولیدشده ماهواره Aster و نقشه‌های رقمی شده سازمان نقشه‌برداری کشور است. نقشه زمین‌شناسی و گسل حوضه‌ها با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه و درصد هرکدام از سازندها تعیین شد؛ سپس با استفاده از ضرایب روش پسیاک، درصد سازندهای فرسایش‌پذیر در هر حوضه محاسبه شد و در مدل پژوهش به کار رفت. تمامی این اطلاعات در پایگاه اطلاعات زمینی (Geodatabase) طبقه‌بندی و آماده پردازش شد.

در این پژوهش نخست داده‌های دبی و رسوب بیش از ۳۸ ایستگاه هیدرومتری از سازمان آب منطقه‌ای خراسان رضوی تهیه و از بین آنها تعداد ۱۷ ایستگاه با شرایط زیر مناسب تشخیص داده شد:

الف- در بالادست ایستگاه هیچ‌گونه سد یا بند انحرافی مسبب تغییر در رژیم هیدرولوژیک رودخانه وجود نداشته باشد.

ب- طول دوره آماری بیش از ۱۵ سال داشته باشد تا اطلاعات و جامعه آماری گسترده‌تر و پیرو آن تحلیل بهتری انجام شود. درنهایت امکان دسته‌بندی حوضه‌ها به سه گروه براساس سازندهای زمین‌شناسی باشد. در جدول (۱) مشخصات کلی حوضه‌های پژوهش کوتاه بیان شده است.

چمن‌بید)، ۱۰- تریاس - ژوراسیک (سازند شمشک، سازند همدان - فلیت)، ۱۱- تریاس - کرتاسه (سرپانتیت)؛ دوره پالئوزوئیک به همراه پرکامبرین عبارت‌اند از: ۱- اوایل پالئوزوئیک (سنگ‌های تلفیقی)، ۲- پرمین (توریدیت متامرفیک با فلیت شیست)، ۳- دونین (سازند بهرام)، ۴- سیلورین (سازند نور)، ۵- اوردوین (سازند شیرگشت)، ۶- کامبرین (سازند میلا و سازند لالون)، ۷- پروتروزوئیک - پرکامبرین (آمفیولیت). با توجه به تنوع سازندها در حوضه‌های پژوهش، اینها بر میزان رسوب و فرسایش حوضه‌ها تأثیر دارند.

### روش پژوهش

در این پژوهش که با هدف کشف ارتباط میزان رسوب سالیانه حوضه‌ها و ویژگی‌های ژئومورفومتری حوضه آبریز انجام شده است، نرم‌افزار Arc gis 10.3 برای تحلیل‌های ژئومورفومتری و نرم‌افزارهای SPSS 18 و Excel 2013 برای تحلیل‌های آماری به کار رفت؛ همچنین از نقشه‌های توپوگرافی رقمی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تولیدشده سازمان نقشه‌برداری کشور و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و GoogleEarth برای کنترل و اعتبارسنجی محاسبات ژئومورفومتری استفاده شد. مبنای محاسبات ژئومورفومتری، مدل رقمی

جدول ۱. مشخصات حوضه‌ها و ایستگاه‌های انتخابی در پژوهش

شماره	ایستگاه	حوضه	مساحت m <sup>2</sup>	محیط km	میانگین ارتفاع M	میانگین شیب %	نسبت دایره‌ای (جدول ۲) Re	نسبت کشیدگی (جدول ۲)	تراکم زهکشی Km/km <sup>2</sup>
۱	دیزباد علیا	دیزباد	۲۹	۶/۶۶	۲۳۶۸	۲۰/۳۸	۰/۷	۱/۶	۳/۹۹
۲	مجموع دررود	دررود	۴۴/۸	۱۰/۹	۲۳۲۸	۲۰/۹۰	۰/۶	۱/۲	۴/۰۰۳
۳	چشمه‌علی	خرو	۵۹/۲	۱۲/۷	۲۳۸۳	۲۲/۰۱	۰/۲	۱/۲	۴/۳
۴	عیش‌آباد	میرآباد	۱۴۸/۳	۲۰/۵۹	۲۳۶۳	۲۴/۷۰	۱/۵	۱/۲	۴/۴۲۱
۵	طاغان	طاغان	۱۰۱/۱	۱۹/۱۵	۲۳۴۱	۲۸	۰/۳	۱/۰	۴/۳۹۴



شماره	ایستگاه	حوضه	مساحت m2	محیط km	میانگین ارتفاع M	میانگین شیب %	نسبت دایره‌ای (جدول ۲) Re	نسبت کشیدگی (جدول ۲)	تراکم زهکشی Km/km <sup>2</sup>
۶	اریه - چهارباغ	بار	۱۱۴/۷	۲۳/۶۸	۲۲۲۸	۳۰/۵۵	۰/۵	۰/۹	۴/۳۲۷
۷	ینگجه - آبشار	ینگجه	۸۸/۴	۱۸/۳۵	۱۹۰۲	۱۳/۶۹	۰/۴	۱/۰	۳/۸۰۶
۸	چکنه علیا	چکنه	۴۱/۷	۱۳/۳۳	۲۰۱۶	۱۴/۷۱	۰/۱	۱/۰	۳/۸۹۲
۹	موشنگ	فریزی	۲۸۳/۲	۲۶/۰۹	۲۲۸۴	۲۵/۷۴	۱/۹	۱/۳	۴/۰۵
۱۰	گلمکان	گلمکان	۴۶/۷	۱۸/۸۷	۲۳۸۲	۸۱/۹۲	۰/۲	۰/۷	۴/۱۲
۱۱	سراسیاب	شاندیز	۱۹۷/۵	۳۲/۵۴	۲۲۵۱	۱۹/۹۵	۰/۴	۰/۹	۳/۹۷
۱۲	گلستان - جاغرق	طرقه	۱۵۵/۵	۲۴/۴۷	۲۰۷۳	۱۷/۵۶	۰/۱	۰/۹	۴/۰۸۶
۱۳	کرتیان	طرق	۱۳۶/۸	۲۳/۴۰	۱۹۴۲	۱۸/۳۴	۱/۵	۱/۰	۴/۰۳
۱۴	کارده - بالادست	کارده	۴۴۲/۸	۵۰/۶۶	۲۱۲۸	۳۰/۳۳	۲/۱	۰/۸	۳/۹۳
۱۵	ارداک - ساروج	ارداک	۴۹۳/۴	۴۴/۴۳	۲۲۲۳	۲۷/۰۴	۰/۴	۱/۰	۳/۹۷۱
۱۶	امامزاده - رادکان	رادکان	۲۴۸/۳	۳۴/۳۲	۲۰۴۸	۲۰/۵۰	۰/۶	۰/۹	۳/۹۷۶
۱۷	دربند کلات	کلات	۱۶۷/۵	۳۱/۶۶	۱۸۳۴	۲۶/۳۰	۰/۳	۰/۸	۳/۹۷۷

زهکشی، نسبت انشعاب، ناهنجاری سلسله‌مراتبی و تراکم ناهنجاری سلسله‌مراتبی استخراج شد. در جدول (۲) مؤلفه‌های کمی حوضه آبریز و شبکه زهکشی با ذکر مرجع آمده است. پس از استخراج خطوط توپوگرافی از این نقشه‌ها، خطوط آبراهه‌ها ترسیم و رده‌بندی شبکه زهکشی به روش استرال<sup>۱</sup> (۱۹۵۷) انجام شد. آرتور استرال، استاد علوم زمین دانشگاه کلمبیا (۱۹۵۷-۱۹۵۲)، براساس قدرت شاخه‌های فرعی و در یک رتبه‌بندی دقیق، روشی را برای رتبه‌بندی شاخه رودها به کار گرفت؛ به نحوی که ترکیب آبراهه‌های کوچک و درجه یک در زهکش و رودخانه اصلی حوضه تأثیر چشمگیری دارد؛ در نتیجه در این پژوهش از روش استرال برای رتبه‌بندی آبراهه‌ها استفاده شد.

پس از تعیین ایستگاه‌های مناسب مرز، حوضه‌های بالادست آنها با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی (DEM) ترسیم شد. برای اجرای مدل پژوهش دو شیوه مرسوم به‌منظور استخراج شبکه زهکشی وجود دارد؛ روش اول به‌کاربردن اکستنشن Arc.hydro و استخراج شبکه زهکشی از مدل رقومی ارتفاعی (Dem) است؛ در این روش استخراج شبکه زهکشی به‌صورت خودکار است؛ روش دوم، استخراج شبکه زهکشی به‌صورت دستی با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی رقومی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور و بسیار مشکل و طاقت‌فرساست. در این پژوهش هر دو روش آزمایش و ارزیابی و در نهایت روش اول مناسب‌تر دانسته و برای استخراج شبکه زهکشی به کار گرفته شد. بر این اساس تمامی محاسبات مربوط به ژئومورفومتری حوضه‌های آبریز و شبکه زهکشی از جمله مساحت، محیط، نسبت دایره‌ای، نسبت کشیدگی، میانگین ارتفاع، شیب حوضه، طول آبراهه، تراکم زهکشی، فرکانس

<sup>1</sup> Strahler

جدول ۲. مؤلفه‌های کمی حوضه آبریز و شبکه زهکشی

شماره	مؤلفه کمی حوضه	معادل لاتین	خلاصه	رابطه	مرجع
۱	مساحت	Area(km <sup>2</sup> )	A	-	-
۲	محیط	Perimeter(km <sup>2</sup> )	P	-	-
۳	نسبت دایره‌ای	Elongation Ratio	Re	$Re = 2/L_b \times \sqrt{A}/\pi$	Miller (1953)
۴	نسبت کشیدگی	Form Factor	Rf	$Rf = A/(L_b)^2$	Horton (1945)
۵	میانگین ارتفاع	Mean elevation	H	-	-
۶	شیب حوضه	Mean Slope	S	-	-
۷	رده آبراهه	Stream Order	U	Hierarchical Rank	Strahler (1964)
۸	طول آبراهه	Basin Length(Km)	BL	$L = \sum Nu$	Horton (1945)
۹	تراکم زهکشی	Drainage density(km <sup>2</sup> /km)	DD	$DD = \sum LU/A$	Horton (1932)
۱۰	فرکانس زهکشی	Drainage Frequency	DF	$DF = Nu/A$	Horton (1945)
۱۱	نسبت انشعاب	Bifurcation ratio	Rb	$Rb = Nu/Nu+1$	Schumm (1956)
۱۲	نسبت مستقیم انشعاب	direct bifurcation ratio	Rbd	$Rbd = Rb(u-u+1) = Nu/Nu+1$	Horton (1945) Strahler (1952)
۱۳	تعداد ناهنجاری سلسله‌مراتبی	Hierarchical anomaly number	Ha	$Ha = \sum (Ha_{i,j} \times Ns_{i,j})$	Avena et al(1967) Bahrami (2013)
۱۴	شاخص ناهنجاری سلسله‌مراتبی	Hierarchical anomaly index	Δa	$Da \ 1/4 \ Ha = N1$	Avena et al(1967)
۱۳	تراکم ناهنجاری سلسله‌مراتبی	Hierarchical anomaly density	ga	$Ga = Ha/A$	Baroni et al. (2005)

آونا و همکاران<sup>۱</sup> (۱۹۶۷) شاخصی را به نام Ha (تعداد ناهنجاری سلسله‌مراتبی آبراهه) تعریف کردند. به نظر آونا و همکاران، Ha عبارت است از کمترین تعداد آبراهه‌های درجه یک که باید به‌طور فرضی به شبکه زهکشی اضافه شود تا اتصالات نظم سلسله‌مراتبی یابند (and Pirrotta, 2008: 267) (Guarnieri). با توجه به اینکه هرگونه بی‌نظمی در شبکه زهکشی باعث ایجاد جریان نامنظم سیلابی می‌شود، بنابراین شاخص ناهنجاری سلسله‌مراتبی تأثیر مستقیمی بر رسوب حوضه‌ها دارد (Ciccacci et all, 1986: 235).

با توجه به اینکه محاسبه دستی Ha کار مشکلی است، در این پژوهش نخست رابطه‌ای برای محاسبه

در روش رده‌بندی استرالر بخشی از آبراهه که هیچ سرشاخه‌ای ندارد، آبراهه درجه ۱ است و با اتصال دو آبراهه درجه ۱، آبراهه درجه ۲ و با اتصال دو آبراهه درجه ۲، آبراهه درجه ۳ و با اتصال دو آبراهه درجه ۳، آبراهه درجه ۴ نامیده می‌شود. به‌طورکلی با اتصال دو آبراهه با درجه مشابه، آبراهه یک درجه بالاتر تشکیل می‌شود. در هر سیستم زهکشی بی‌نهایت اتصال وجود دارد و در حالت طبیعی باید آبراهه‌های درجه یک به آبراهه درجه دو و دو آبراهه درجه دو به یک آبراهه درجه ۳ بریزد. در این حالت شبکه زهکشی ما هنجار است؛ ولی اگر این قانون رعایت نشود، سیستم آبراهه‌ها ناهنجاری سلسله‌مراتبی دارند. این مسئله در اثر عوامل متعدد زمین‌شناسی و تکتونیکی رخ می‌دهد.

<sup>1</sup> Avena et al

لیتولوژی آن و از سوی دیگر با شکل حوضه در ارتباط است. در حوضه‌هایی که به شکل دایره نزدیک‌اند، نسبت زهکشی کمتر است (Strahler, 1950: 115).

برای محاسبه شاخص انشعابات نخست نسبت انشعابات (Rb) و سپس نسبت مستقیم انشعابات (Rbd) محاسبه شد. نسبت انشعابات برای هر رده از آبراهه، از تقسیم تعداد کل آبراهه‌های آن درجه بر تعداد کل آبراهه‌های یک درجه بالاتر به دست می‌آید. نسبت انشعابات کل حوضه از میانگین Rb کل درجات محاسبه می‌شود (Guarnieri and Pirrotta, 2008: 267)؛ نسبت مستقیم انشعابات (Rbd) برای هر رده آبراهه از تقسیم تعداد آبراهه‌های آن درجه (که مستقیماً به یک درجه بالاتر وارد می‌شوند) بر تعداد کل آبراهه‌های یک درجه بالاتر به دست می‌آید. نسبت مستقیم انشعابات کل حوضه از میانگین Rbd کل درجات به دست می‌آید (Baroni et al, 2005: 223).  
نسبت انشعاب Rb با رابطه ۳ به دست می‌آید:

$$\text{Rb (u-u+1)} = \text{Nu/Nu+1} \quad \text{رابطه ۳}$$

در این رابطه:

Rb = نسبت انشعاب

Nu = تعداد آبراهه‌های رتبه ویژه

Nu+1 = تعداد آبراهه‌های رتبه بالاتر است.

به بیان دیگر نسبت انشعابات برای هر رده از آبراهه از تقسیم تعداد کل آبراهه‌های آن درجه بر تعداد کل آبراهه‌های یک درجه بالاتر به دست می‌آید. نسبت انشعابات کل حوضه از میانگین Rb کل درجات محاسبه می‌شود (Guarnieri and Pirrotta, 2008: 267). نسبت انشعابات همچنین در ارتباط

تعداد ناهنجاری سلسله‌مراتبی هر اتصال آبراهه (Ha i-j) تعریف می‌شود و براساس آن، تعداد ناهنجاری سلسله‌مراتبی آبراهه در کل حوضه (Hat) به دست می‌آید. در حالتی که یک آبراهه مبدأ (برای نمونه درجه ۱) به آبراهه بالاتر یا مقصد (برای نمونه درجه ۳) متصل شود، اگر آبراهه مبدأ را i و آبراهه مقصد را j بنامیم، تعداد ناهنجاری سلسله‌مراتبی هر اتصال آبراهه (Ha i-j) از رابطه ۱ به دست می‌آید:

$$\text{رابطه ۱} \quad \text{Ha}_{i \rightarrow j} = 2^{(j-2)} - 2^{(i-1)}$$

پس از محاسبه Ha i-j، تعداد آبراهه‌ها در هر اتصال (Ns i-j) به دست می‌آید؛ سپس از مجموع حاصل ضرب Ha i-j و Ns i-j، تعداد ناهنجاری سلسله‌مراتبی آبراهه برای کل حوضه (Hat) به دست می‌آید (رابطه ۲).

$$\text{رابطه ۲} \quad \text{Ha}_i = \sum (\text{Ha}_{i \rightarrow j} \times \text{Ns}_{i \rightarrow j})$$

پس از محاسبه Hat، شاخص  $\Delta a$  (ناهنجاری سلسله‌مراتبی) از تقسیم Hat بر تعداد واقعی آبراهه‌های درجه یک حوضه به دست می‌آید. شاخص ga (تراکم ناهنجاری سلسله‌مراتبی) نیز از تقسیم Hat بر مساحت حوضه به دست می‌آید (Guarnieri and Pirrotta, 2008: 267).

در ادامه شاخص انشعابات در حوضه‌های پژوهش محاسبه شد. شاخص انشعابات، یکی از شاخص‌های شبکه زهکشی است که تأثیر مستقیمی بر هیدروگراف سیل و در نتیجه بر دبی رسوب دارد. شاخص انشعابات از عدد نسبت انشعابات حوضه (Rb) منهای نسبت مستقیم انشعابات (Rbd) حوضه به دست می‌آید (Baroni, et al, 2005: 223). تفاوت در نسبت انشعاب متأثر از میزان تکامل حوضه و همچنین تنوع

عرب‌خدری (۱۳۸۵) با بررسی بیش از ۲۸ ایستگاه هیدرومتری در زیرحوضه‌های دریاچه ارومیه روشی پیشنهاد دادند که براساس آن برمبنای شاخص‌هایی چون مساحت حوضه، دبی سالیانه، لیتولوژی حوضه و جهت حوضه، امکان محاسبه میزان رسوب معلق حوضه‌ها وجود دارد (رابطه ۶).

$$\text{LogSy}=0.608\text{Log}(AQ)-0.935\text{Log}(N+W)+0.573\text{Log}(Li+2)+3/705$$

رابطه ۶

در این رابطه  $A$  مساحت (کیلومتر مربع)،  $Q$  دبی متوسط سالیانه (مترمکعب در ثانیه)،  $N$  درصد اراضی رو به شمال،  $W$  درصد اراضی رو به غرب،  $Li$  مجموع واحدهای کواترنری و سنگ‌های حساس به فرسایش و  $Sy$  تولید رسوب معلق (تن در سال) است. این معادله در سطح یک درصد معنادار است. این روش‌ها با توجه به متغیرهای استفاده‌شده، عموماً مبتنی بر ویژگی‌های کمی حوضه آبریز و لیتولوژی است.

در ادامه برای اعتبارسنجی روش‌های انجام‌شده در پژوهش از آمار ایستگاه هیدرومتری مستقر در خروجی حوضه‌ها و داده‌های هیدرومتری دبی و رسوب سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۹۲ استفاده شد. در حالت کلی در ایستگاه‌های رسوب‌سنجی غلظت مواد معلق ( $C$ ) برحسب گرم بر لیتر و گذر حجمی متناظر با آن ( $Q_w$ ) برحسب مترمکعب بر ثانیه طی یک دوره آماری طولانی مدت اندازه‌گیری و با استفاده از رابطه ۷ ( $Q_s$ ) برحسب تن در روز محاسبه می‌شود.

$$Q_s=0.0864c Q_w \quad \text{رابطه ۷}$$

داده‌های اندازه‌گیری‌شده با استفاده از روش‌های آماری ارزیابی، تصحیح و سپس با استفاده از نسبت دبی به رسوب و دبی سالیانه رودخانه میزان بار

مستقیم با ناهنجاری سیستم زهکشی است (Strahler, 1950: 116).

پس از محاسبه شاخص‌های مورفومتری حوضه آبریز این پرسش مطرح می‌شود که آیا عوامل ژئومورفومتری تأثیری بر میزان بار رسوبی حوضه‌ها دارند. در این پژوهش سعی شده است با ارزیابی مؤلفه‌های کمی حوضه آبریز و شبکه زهکشی، تأثیر این متغیرها بر بار رسوبی حوضه‌ها ارزیابی شود. بدین منظور با استفاده از روش‌های سیکاسی و همکاران<sup>۱</sup> (۱۹۸۶) و حکیم‌خانی و عرب‌خدری (۱۳۸۵) میزان رسوب کل حوضه آبریز محاسبه شد. روش سیکاسی و همکاران براساس ویژگی‌های مورفومتری شبکه زهکشی به‌ویژه تراکم زهکشی است. یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در افزایش رسوب در حوضه‌ها، میزان تراکم زهکشی است (Seta, 2007: 23). عموماً هرچه میزان فراوانی آبراه‌ها در یک حوضه بیشتر باشد، میزان کاوش و برداشت رسوب از سطح حوضه بیشتر خواهد بود. بر همین مبنا سیکاسی و همکاران (۱۹۸۶) روشی ارائه دادند که براساس آن امکان محاسبه رسوب حوضه برمبنای ضریب تراکم زهکشی و میزان ناهنجاری سلسله‌مراتبی وجود دارد. برای محاسبه میزان فرسایش نخست با توجه به میزان تراکم زهکشی از یکی از این دو تابع استفاده می‌شود (رابطه ۴ و ۵).

$$\text{LogTu}= 1.05954 +2.79687\log D+0.13985 \Delta a \quad D \geq 6 \quad \text{رابطه ۴}$$

$$\text{LogTu}= 1.44780 +0.32619D+0.10247 \Delta a \quad D < 6 \quad \text{رابطه ۵}$$

در این رابطه  $D$ ، تراکم زهکشی و  $\Delta a$ ، شاخص ناهنجاری سلسله‌مراتبی است. حکیم‌خانی و

<sup>۱</sup> Ciccacci et al

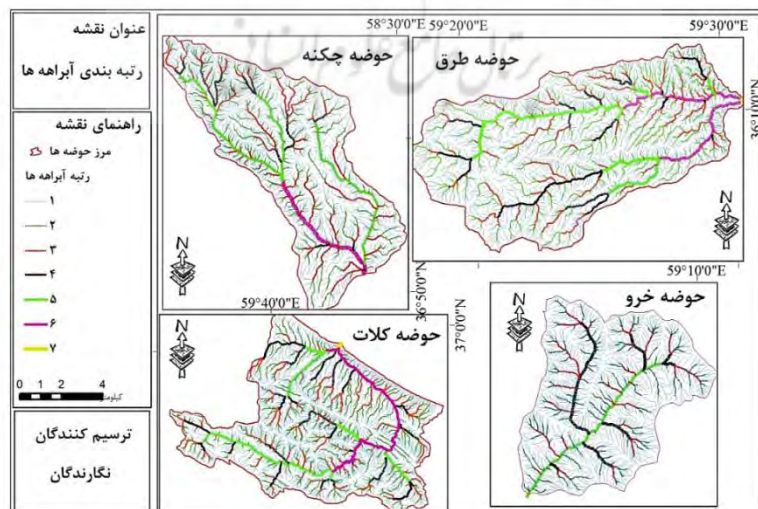
### رده‌بندی آبراهه‌ها

در این پژوهش پس از انتخاب ایستگاه‌های مناسب، حوضه بالادست آن با نرم‌افزار Arc map مدل رقومی ارتفاعی (DEM) به صورت خودکار ترسیم شد؛ سپس با استفاده از ماژول Arc hydro به صورت خودکار آبراهه‌های موجود در هر حوضه استخراج شد (شکل ۳). براساس محاسبات انجام‌شده، حوضه‌های کارده و ارداک به ترتیب با ۵۷۲۷ و ۶۳۹۸ آبراهه بیشترین و حوضه‌های دیزباد و دررود به ترتیب با ۳۷۸ و ۶۰۲ کمترین آبراهه را دارند. براساس شمارش رده آبراهه‌ها حوضه‌های فریزی، کارده، ارداک، رادکان و کلات، ۷ رده آبراهه دارند. رده‌بندی آبراهه‌ها در این پژوهش براساس رتبه‌بندی استرالر و به صورت خودکار انجام شد؛ به نحوی که دو آبراهه درجه یک به آبراهه‌ای درجه دو و دو آبراهه درجه دو به آبراهه‌ای درجه سه متصل می‌شود و به همین ترتیب برای سایر رده‌ها اعمال شد (جدول ۳). در ادامه برای محاسبه شاخص  $\Delta a$ ، تمامی اتصالات در هر رده به صورت دستی به دقت شمرده و در مدل استفاده شد (جدول ۴).

رسوبی هریک از حوضه‌های پژوهش در واحد تن در سال در کل حوضه تعیین شد؛ در ادامه این نتایج با میزان بار رسوبی حاصل از روش حکیم‌خانی و عرب‌خدری (تن در سال خروجی از کل حوضه) مقایسه شد. در نهایت با بهره‌گیری از منحنی سنجه و رسوب، مقدار رسوب حوضه‌ها بر وزن تن در هر کیلومترمربع و ارتباط همبستگی میان متغیرهای ژئومورفومتری حوضه آبریز با میزان رسوبی سالیانه رودخانه هر حوضه محاسبه و شاخص‌های مؤثر در افزایش بار رسوبی رودخانه تعیین و معرفی شد.

### یافته‌های پژوهش

هریک از مؤلفه‌های کمی حوضه زهکشی با مقادیر مشخص بیان‌کننده نوعی فرم در حوضه است. این مؤلفه‌ها بر انرژی جریانی، حرکات توده‌ای و دبی آب و رسوب در حوضه تأثیر می‌گذارد (Zhang, 2015: 20). در این پژوهش از متغیرهای مستقل در سه دسته مؤلفه‌های مربوط به حوضه آبریز، مؤلفه‌های شبکه زهکشی و مؤلفه‌های لیتولوژیکی برای ارزیابی همبستگی آماری با دبی رسوب در حوضه‌ها استفاده شد.



شکل ۳. ترسیم دقیق آبراهه‌ها و رده‌بندی آنها به روش استرالر

### شاخص انشعابات

شاخص انشعابات، یکی از شاخص‌های شبکه زهکشی است که تأثیر مستقیمی بر هیدروگراف سیل و در نتیجه بر دبی رسوب دارد. نسبت انشعابات همچنین در ارتباط مستقیم با ناهنجاری در سیستم زهکشی است (strahler, 1957: 915). در جدول (۳) تعداد آبراهه‌های موجود در هر رده به تفکیک آورده و مقادیر Rb برای حوضه‌های پژوهش محاسبه شده است. کمترین میزان نسبت انشعاب ۲/۸ برای حوضه

فریزی و بیشترین میزان آن ۵/۷۲ برای حوضه گلمکان محاسبه شده است. هرچقدر نسبت انشعاب بیشتر باشد، شکل حوضه کشیده‌تر می‌شود. همان‌طور که از محاسبه شاخص نسبت انشعابات برمی‌آید، حوضه گلمکان و شاندیز شکل کشیده‌تری نسبت به سایر حوضه‌ها دارند؛ در مقابل حوضه فریزی و رادکان شکل گردتری نسبت به سایر حوضه‌ها دارند و در نتیجه هیدروگراف سیل آنها رأس تیزتری دارد و میزان رسوب آنها نیز باید بیشتر باشد.

جدول ۳. تعداد آبراهه‌ها در هر رده برای محاسبه شاخص Rb

حوضه درجه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷
۱	۲۸۲	۴۶۶	۶۵۹	۱۷۰۸	۱۱۲۳	۱۲۴۴	۷۶۱	۶۵۹	۲۹۵۴	۴۷۴	۲۰۶۹	۱۱۴۲	۱۲۳۵	۴۶۵۲	۵۲۰۴	۲۶۳۴	۱۷۲۲
۲	۷۵	۱۰۲	۱۲۹	۳۸۲	۲۵۸	۲۷۳	۱۸۱	۱۲۹	۵۶۸	۱۰۶	۳۹۴	۲۴۵	۲۴۴	۸۱۶	۹۱۵	۴۹۸	۳۱۷
۳	۱۶	۲۶	۳۴	۷۲	۶۰	۵۰	۳۷	۳۴	۱۳۲	۲۴	۸۴	۵۸	۵۶	۱۹۴	۲۱۶	۱۲۰	۹۰
۴	۴	۵	۸	۱۷	۱۱	۱۴	۱۲	۸	۲۵	۲	۱۴	۱۱	۱۳	۵۳	۵۰	۳۳	۲۰
۵	۱	۲	۲	۵	۴	۶	۳	۲	۱۰	۱	۲	۳	۲	۹	۹	۹	۶
۶	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۳	۰	۱	۱	۱	۲	۳	۳	۲
۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱
SUM	۳۷۸	۶۰۲	۸۳۳	۲۱۸۵	۱۴۵۷	۱۵۸۸	۹۹۵	۸۳۳	۳۶۹۳	۶۰۷	۲۵۶۴	۱۴۶۰	۱۵۵۱	۵۷۲۷	۶۳۹۸	۳۲۹۸	۲۱۵۸
Rb	۴/۱۱	۳/۲۳۸	۳/۴۳۱	۳/۴۸۲	۳/۳۷۱	۳/۱۸۴	۳/۲۳۶	۳/۴۳۱	۲/۸۸	۵/۷۲۲	۴/۵۸۸	۳/۵۶۵	۴/۰۴۵	۳/۲۴۳	۳/۲۹۹	۲/۷۹۰	۲/۷۹

### شاخص ناهنجاری سلسله‌مراتبی

آونا و همکاران (۱۹۶۷) شاخصی را به نام Ha (تعداد ناهنجاری سلسله‌مراتبی آبراهه) تعریف کردند. با توجه به اینکه هرگونه بی‌نظمی در شبکه زهکشی باعث ایجاد جریان نامنظم سیلابی می‌شود، بنابراین شاخص ناهنجاری سلسله‌مراتبی تأثیر مستقیمی بر رسوب حوضه‌ها دارد (Ciccacci et al, 1986: 237).

در این مقاله برای رعایت اختصار از آوردن جداول محاسبه تعداد ناهنجاری سلسله‌مراتبی (Ha i-j) اجتناب شد. در جدول (۴) مقادیر Ha<sub>i</sub> برای هر اتصال و سپس تعداد ناهنجاری سلسله‌مراتبی، شاخص ناهنجاری سلسله‌مراتبی و تراکم ناهنجاری سلسله‌مراتبی در هریک از حوضه‌های پژوهش محاسبه شد.

جدول ۴. محاسبه شاخص ناهنجاری سلسله‌مراتبی

۸		۷		۶		۵		۴		۳		۲		۱		مسیر
$Ha_{i \rightarrow j} \times$	$Ns_{i \rightarrow j}$	$Ha_{i \rightarrow j} \times$	$Ns_{i \rightarrow j}$	$Ha_{i \rightarrow j} \times$	$Ns_{i \rightarrow j}$	$Ha_{i \rightarrow j} \times$	$Ns_{i \rightarrow j}$	$Ha_{i \rightarrow j} \times$	$Ns_{i \rightarrow j}$	$Ha_{i \rightarrow j} \times$	$Ns_{i \rightarrow j}$	$Ha_{i \rightarrow j} \times$	$Ns_{i \rightarrow j}$	$Ha_{i \rightarrow j} \times$	$Ns_{i \rightarrow j}$	
۰	۵۸۲	۰	۵۵۸	۰	۹۳۶	۰	۸۱۲	۰	۱۲۲۲	۰	۴۷۲	۰	۳۲۹	۰	۲۲۲	۱→۲
۷۷	۷۷	۹۵	۹۵	۱۲۶	۱۲۶	۱۲۹	۱۲۹	۱۶۹	۱۶۹	۷۴	۷۴	۵۲	۵۲	۱۸	۱۸	۱→۳
۷۲	۲۴	۱۸۰	۶۰	۳۳۳	۱۱۱	۱۸۰	۶۰	۴۹۵	۱۶۵	۱۷۱	۵۷	۷۵	۲۵	۱۱۷	۳۹	۱→۴
۳۴۳	۴۹	۲۹۴	۴۲	۲۵۲	۳۶	۵۱۸	۷۴	۱۰۴۳	۱۴۹	۳۵	۵	۱۸۹	۲۷	۵۶	۸	۱→۵
۰	۰	۱۸۰	۱۲	۶۶۰	۴۴	۸۱۰	۵۴	۴۸۰	۳۲	۴۳۵	۲۹	۲۴۰	۱۶	۰	۰	۱→۶
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱→۷
۰	۵۷	۰	۱۱۲	۰	۱۷۵	۰	۱۶۴	۰	۲۲۴	۰	۱۰۴	۰	۸۸	۰	۴۰	۲→۳
۱۸	۹	۷۸	۳۹	۹۶	۴۸	۴۲	۲۱	۱۰۶	۵۳	۵۲	۲۶	۲۶	۱۳	۵۸	۲۹	۲→۴
۶۶	۱۱	۱۰۸	۱۸	۸۴	۱۴	۲۵۲	۴۲	۲۷۰	۴۵	۱۲	۲	۶۶	۱۱	۱۸	۳	۲→۵
۰	۰	۵۶	۴	۳۲۲	۲۳	۳۵۰	۲۵	۲۸۰	۲۰	۲۸۰	۲۰	۱۱۲	۸	۰	۰	۲→۶
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲→۷
۰	۱۴	۰	۳۳	۰	۴۳	۰	۳۰	۰	۵۷	۰	۲۵	۰	۱۵	۰	۱۵	۳→۴
۲۴	۶	۱۲	۳	۲۰	۵	۶۴	۱۶	۷۶	۱۹	۴	۱	۱۶	۴	۰	۰	۳→۵
۰	۰	۴۸	۴	۸۴	۷	۱۸۰	۱۵	۷۲	۶	۹۶	۸	۸۴	۷	۰	۰	۳→۶
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳→۷
۰	۴	۰	۱۲	۰	۱۳	۰	۹	۰	۱۸	۰	۴	۰	۴	۰	۴	۴→۵
۰	۰	۰	۰	۱۶	۲	۱۶	۲	۰	۳۲	۴	۸	۱	۰	۰	۸	۴→۶
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۴	۴→۷
۰	۰	۰	۳	۰	۵	۰	۴	۰	۶	۰	۲	۰	۲	۰	۰	۵→۶
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۶	۵→۷
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۶→۷
۶۰۰	۱۰۵۱	۱۹۹۳	۲۵۴۱	۲۹۹۱	۱۱۹۱	۸۶۸	۲۶۷	ha								
۶۵۹	۷۶۱	۱۲۴۴	۱۱۲۳	۱۷۰۸	۶۵۹	۴۶۶	۲۸۲	n1								
۰/۹	۱/۳۸	۱/۶	۲/۲۶	۱/۷۵	۱/۸	۱/۸۶	۰/۹۴۶	Δa								
۱۴/۳	۱۱/۸۸	۱۷/۳۸	۲۵/۱	۲۰/۱	۲۰/۱	۱۹/۴	۹/۲۱	ga								

جدول ۵. ادامه جدول ۴، محاسبه شاخص ناهنجاری سلسله‌مراتبی

۱۷		۱۶		۱۵		۱۴		۱۳		۱۲		۱۱		۱۰		۹		
$Ha_{i \rightarrow j} \times$	$Ns_{i \rightarrow j}$	$Ha_{i \rightarrow j} \times$	$Ns_{i \rightarrow j}$	$Ha_{i \rightarrow j} \times$	$Ns_{i \rightarrow j}$	$Ha_{i \rightarrow j} \times$	$Ns_{i \rightarrow j}$	$Ha_{i \rightarrow j} \times$	$Ns_{i \rightarrow j}$	$Ha_{i \rightarrow j} \times$	$Ns_{i \rightarrow j}$	$Ha_{i \rightarrow j} \times$	$Ns_{i \rightarrow j}$	$Ha_{i \rightarrow j} \times$	$Ns_{i \rightarrow j}$	$Ha_{i \rightarrow j} \times$	$Ns_{i \rightarrow j}$	
۰	۱۳۳۴	۰	۲۰۱۰	۰	۳۹۷۱	۰	۳۵۶۶	۰	۹۴۵	۰	۷۹۹	۰	۱۶۶۰	۰	۳۴۹	۰	۲۱۱۸	۱→۲
۱۵۵	۱۵۵	۲۸۱	۲۸۱	۵۳۱	۵۳۱	۴۴۳	۴۴۳	۱۵۴	۱۵۴	۱۴۰	۱۴۰	۱۸۶	۱۸۶	۵۴	۵۴	۲۹۳	۲۹۳	۱→۳
۲۶۷	۸۹	۴۵۶	۱۵۲	۸۶۱	۲۸۷	۸۹۷	۲۹۹	۲۶۴	۸۸	۲۴۹	۸۳	۳۹۳	۱۳۱	۷۸	۲۶	۶۴۵	۲۱۵	۱→۴
۴۶۲	۶۶	۸۱۹	۱۱۷	۱۷۴۳	۲۴۹	۹۲۴	۱۳۲	۸۵۴	۱۲۲	۳۹۹	۵۷	۴۳۴	۶۲	۳۲۹	۴۷	۱۴۰۰	۲۰۰	۱→۵
۶۹۰	۴۶	۴۰۵	۲۷	۸۷۰	۵۸	۱۷۴۰	۱۱۶	۰	۰	۶۱۵	۴۱	۱۲۰	۸	۰	۰	۹۳۰	۶۲	۱→۶



۹۳	۳	۱۱۱۶	۳۶	۱۱۴۷	۳۷	۱۰۲۳	۳۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۴۱	۱۱	۱→۷
۰	۲۲۹	۰	۳۶۵	۰	۶۷۴	۰	۵۸۴	۰	۷۳	۰	۱۷۶	۰	۲۶۶	۰	۶۶	۰	۳۸۴	۰	۳۸۴	۲→۳	
۱۱۰	۵۵	۹۰	۴۵	۲۲۸	۱۱۴	۲۵۰	۱۲۵	۵۸	۲۹	۸۴	۴۲	۱۳۰	۶۵	۱۶	۸	۱۵۰	۷۵	۱۵۰	۷۵	۲→۴	
۲۰۴	۳۴	۳۸۴	۶۴	۷۲۶	۱۲۱	۳۸۴	۶۴	۴۰۸	۶۸	۲۰۴	۳۴	۴۸۰	۸۰	۱۸۶	۳۱	۶۷۲	۱۱۲	۶۷۲	۱۱۲	۲→۵	
۴۲۰	۳۰	۱۵۴	۱۱	۵۳۲	۳۸	۹۱۰	۶۵	۰	۰	۱۸۲	۱۳	۱۴	۱	۰	۰	۴۴۸	۳۲	۴۴۸	۳۲	۲→۶	
۰	۰	۶۶۰	۲۲	۸۷۰	۲۹	۵۱۰	۱۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۱۰	۷	۲۱۰	۷	۲→۷	
۰	۶۵	۰	۸۸	۰	۱۴۷	۰	۱۴۹	۰	۳۳	۰	۴۱	۰	۵۲	۰	۹	۰	۹۵	۰	۹۵	۳→۴	
۳۶	۹	۸۸	۲۲	۲۰۴	۵۱	۱۲۸	۳۲	۹۲	۲۳	۵۲	۱۳	۱۴۴	۳۶	۶۰	۱۵	۱۰۴	۲۶	۱۰۴	۲۶	۳→۵	
۱۶۸	۱۴	۶۰	۵	۲۴۰	۲۰	۳۲۴	۲۷	۰	۰	۸۴	۷	۰	۰	۰	۰	۱۶۸	۱۴	۱۶۸	۱۴	۳→۶	
۰	۰	۲۵۲	۹	۲۵۲	۹	۲۸۰	۱۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۸۴	۳	۸۴	۳	۳→۷	
۰	۱۶	۰	۲۷	۰	۴۰	۰	۳۷	۰	۱۴	۰	۹	۰	۱۵	۰	۲	۰	۲۸	۰	۲۸	۴→۵	
۴۰	۵	۸	۱	۴۰	۵	۹۶	۱۲	۰	۰	۱۶	۲	۰	۰	۰	۰	۲۴	۳	۲۴	۳	۴→۶	
۰	۰	۹۶	۴	۱۲۰	۵	۴۸	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۴	۱	۲۴	۱	۴→۷	
۰	۶	۰	۸	۰	۸	۰	۹	۰	۲	۰	۳	۰	۲	۰	۰	۰	۱۱	۰	۱۱	۵→۶	
۰	۰	۱۶	۱	۱۶	۱	۳۲	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵→۷	
۰	۲	۰	۳	۰	۳	۰	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳	۰	۳	۶→۷	
۲۶۴۵	۴۸۸۵	۸۳۸۰	۷۹۸۹	۱۸۳۰	۲۰۲۵	۱۹۰۱	۷۲۳	۵۴۹۳	ha												
۱۷۲۲	۲۶۳۴	۵۲۰۴	۴۶۵۲	۱۲۳۵	۱۱۴۲	۲۰۶۹	۴۷۴	۲۹۵۴	n1												
۱/۵۶	۱/۸۵	۱/۶۱	۱/۷۱	۱/۴۸	۱/۷۷	۰/۹۱	۱/۵۲	۱/۸۵	Δa												
									ga												

میزان فراوانی آبراهه‌ها در یک حوضه بیشتر باشد، میزان کاوش و برداشت رسوب از سطح حوضه بیشتر خواهد بود که این امر تحت تأثیر مستقیم لیتولوژی و تکنونیک منطقه قرار دارد. براساس محاسبات انجام شده حوضه‌های میرآباد و طاغان با  $۴/۳۹$  و  $۴/۳۹$   $km^2/km^2$ ، بیشترین و حوضه‌های ینگجه و چکنه به ترتیب با  $۳/۸$  و  $۳/۹۹$   $km^2/km^2$  کمترین تراکم زهکشی را دارند. لیتولوژی حوضه‌های چکنه و ینگجه رسوبات و خاکسترهای آتشفشانی پلیوستوسن و تراست‌های کواترنری است؛ در نتیجه تراکم زهکشی کمتری در واحد سطح دارد؛ در مقابل حوضه‌های طاغان و باراریه در محل سازندهای آهکی لار و فیلیت همدان قرار دارند که دو گسل اصلی و گسل‌های فرعی بر آنها تأثیر گذاشته‌اند و بیشترین میزان تراکم زهکشی را دارند. با توجه به میزان تراکم

براساس محاسبات انجام شده مقادیر ha در جدول بالا محاسبه شده است. حوضه‌های کارده و ارداک به ترتیب با ۷۹۸۹ و ۸۳۸۰، بیشترین و حوضه‌های دیزباد و گلمکان به ترتیب با ۲۶۷ و ۷۲۳، کمترین میزان ha را دارند. از نظر شاخص ناهنجاری سلسله‌مراتبی حوضه‌های طاغان و فریزی به ترتیب با  $۲/۲۶$  و  $۱/۸۵$ ، بیشترین و حوضه‌های چکنه و شاندیز به ترتیب با  $۰/۹۱۰$  و  $۰/۹۱۸$ ، کمترین میزان Δa را دارند؛ همچنین حوضه‌های طاغان و فریزی، بیشترین و حوضه‌های دیزباد و شاندیز، کمترین مقدار تراکم ناهنجاری زهکشی (ga) را دارند.

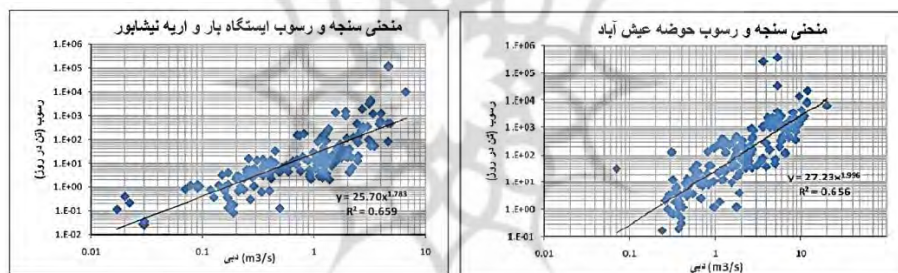
محاسبه رسوب با استفاده از ویژگی‌های شبکه زهکشی یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر افزایش رسوب در حوضه‌ها، میزان تراکم زهکشی است. عموماً هرچه

حوضه‌های پژوهش از منحنی دبی - رسوب (سنجه رسوب) استفاده شد. برای به‌دست‌آوردن رابطه بین دبی رودخانه و دبی رسوب ایستگاه‌ها از آمار طولانی‌مدت برداشت‌شده سازمان تمام استفاده شد؛ بدین‌صورت که یک تابع لگاریتمی برای این دو مؤلفه رسم و ضریب همبستگی آن محاسبه شد. با داشتن منحنی سنجه و رسوب و رسم منحنی تداوم جریان، امکان برآورد مقدار رسوب برای سال‌های مختلف فراهم می‌آید؛ سپس منحنی سنجه و رسوب برای تمامی ایستگاه‌ها رسم و نسبت دبی به رسوب برای تمامی دوره‌های پژوهش محاسبه شد. درنهایت با استفاده از دبی پایه و سیلاب رودخانه میزان رسوب سالیانه برای هر ایستگاه تعیین شد.

زهکشی در تمامی حوضه‌های پژوهش از معادله دوم روش سیکاسی و همکاران ( $\log sy = D < 6$ ) استفاده شد. براساس برآورد رسوب با روش سیکاسی و همکاران که علاوه بر تراکم زهکشی از شاخص ناهنجاری سلسله‌مراتبی نیز استفاده می‌کند، حوضه‌های ارداک و کارده به ترتیب با ۳۹۹۳۱۵ و ۵۹۳۳۵۸ تن در سال، بیشترین و حوضه‌های دیزباد و دررود با ۲۰۴۷۳ و ۳۹۴۳۹ تن در سال، کمترین میزان رسوب سالیانه را دارند (جدول ۶).

#### محاسبه رسوب با منحنی دبی - رسوب (سنجه رسوب)

برای به‌دست‌آوردن متوسط رسوب سالیانه در



شکل ۴. منحنی سنجه - رسوب محاسبه‌شده برای ایستگاه‌های عیش‌آباد (میرآباد) و بار نیشابور

۲۸ ایستگاه هیدرومتری در زیرحوضه‌های دریاچه ارومیه روشی پیشنهاد می‌دهند که براساس آن برمبنای شاخص‌هایی چون مساحت حوضه، دبی سالیانه، لیتولوژی حوضه و جهت حوضه امکان محاسبه میزان رسوب معلق حوضه‌ها وجود دارد. جدول (۵) مقادیر  $Sy$  محاسبه‌شده برای حوضه‌های پژوهش را نشان می‌دهد. یکی از مزایای این روش نسبت به سایر روش‌ها، استفاده از طیف وسیعی از معیارهای مورفومتری، لیتولوژیکی و هیدرولوژیکی است. در این روش پس از محاسبه تک‌تک مؤلفه‌های تأثیرگذار بر

براساس محاسبات انجام‌شده حوضه‌های دیزباد و ینگجه به ترتیب با ۱۹۷۸۶ و ۱۹۸۲۱، کمترین میزان رسوب سالیانه و در مقابل حوضه‌های کارده و ارداک به ترتیب با ۴۲۳۴۶۸ و ۳۶۰۶۴۷ تن در سال، بیشترین رسوب سالیانه را دارند. در رتبه‌های بعدی حوضه‌های اردکان، فریزی و طرقله قرار دارند.

#### محاسبه رسوب سالیانه به روش حکیم‌خانی و عرب‌خداری

حکیم‌خانی و عرب‌خداری (۱۳۸۵) با بررسی بیش از

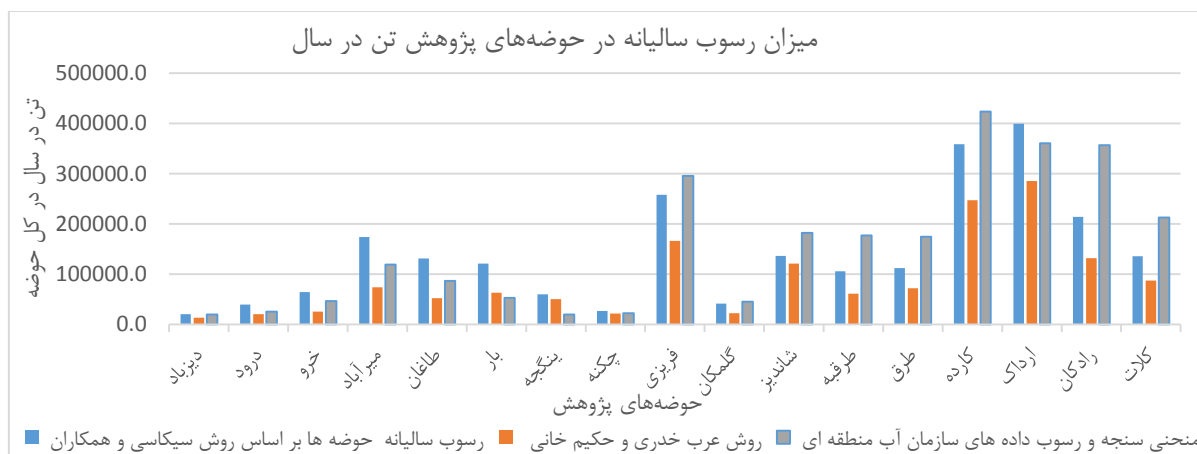
رسوب حوضه‌ها براساس رابطه فوق میزان رسوب سالیانه هرکدام از حوضه‌های پژوهش محاسبه شد. براساس جدول (۵) حوضه ارداک و کارده به ترتیب با رسوب حوضه‌ها براساس رابطه فوق میزان رسوب سالیانه هرکدام از حوضه‌های پژوهش محاسبه شد. براساس جدول (۵) حوضه ارداک و کارده به ترتیب با رسوب حوضه‌ها براساس رابطه فوق میزان رسوب سالیانه هرکدام از حوضه‌های پژوهش محاسبه شد.

### جدول ۶. محاسبه میزان رسوب سالیانه در حوضه‌های پژوهش

محاسبه رسوب سالیانه با روش‌های											
حوضه	PQ	DF	BL	DF	Rb	دبی به رسوب	دبی روزانه	رسوب روزانه	رسوب سالیانه		
									منحنی سنجه و رسوب	سیکاسی و همکاران ۱۹۸۷	حکیم‌خانی و عرب‌خداری ۱۳۸۵
واحد	%	km	km <sup>2</sup> /km <sup>2</sup>	...	...	mg/lit	M3	ton/day	حوضه در سال	حوضه در سال	حوضه در سال
...	...	...	...	...	...	...	...	...	سال	سال	سال
دیزباد	۵۴/۶	۰/۰۰۰۷	۱۱۵/۸۹	۱۳/۰۴	۴/۱۱	۰/۰۱۰	۵۵۶۶/۲	۵۴/۲	۱۹۷۸۶/۶	۲۰۴۷۲/۹	۱۳۳۱۶/۱
دررود	۸۲/۲	۰/۰۰۰۵	۱۷۹/۳۶	۱۳/۴۴	۳/۲۴	۰/۰۰۶	۱۱۴۷۱/۷	۷۰/۱	۲۵۵۷۸	۳۹۴۳۸/۸	۲۰۳۱۹/۷
خرو	۷۳/۵	۰/۰۰۰۵	۲۵۴/۶۶	۱۴/۰۷	۳/۴۳	۰/۰۲۲	۵۷۶۹/۸	۱۲۸/۱	۴۶۷۴۶/۵	۶۴۳۱۴/۵	۹۹۲۵۷/۶
میرآباد	۸۵/۴	۰/۰۰۰۵	۶۵۵/۶۹	۱۴/۷۴	۳/۴۸	۰/۰۳۰	۱۰۹۹۸/۸	۳۲۶/۳	۱۱۹۱۰۹/۲	۱۷۴۰۷۰/۷	۷۳۷۵۷/۹
طاغان	۱۵/۸	۰/۰۰۰۴	۴۴۴/۱۸	۱۴/۴۱	۳/۳۷	۰/۰۱۳	۱۸۵۲۴/۴	۲۳۷/۴	۸۶۶۴۹/۶	۱۳۱۱۴۰/۶	۵۲۴۷۱/۵
بار	۲۸/۵	۰/۰۰۰۴	۴۹۶/۲۶	۱۳/۸۵	۳/۱۸	۰/۰۰۷	۲۰۷۶۷/۳	۱۴۵/۳	۵۳۰۱۹/۴	۱۲۱۰۶۸/۱	۶۳۳۷۵/۲
پینگجه	۹۷/۸	۰/۰۰۰۵	۳۶۶/۶۱	۱۱/۲۵	۳/۲۴	۰/۰۱۲	۴۵۰۳	۵۴/۳	۱۹۸۲۰/۹	۵۹۹۰۴/۵	۵۰۲۴۵/۳
چکنه	۸۵/۵	۰/۰۰۰۵	۱۶۲/۴۲	۱۹/۹۶	۳/۴۳	۰/۰۱۸	۳۴۱۴/۸	۶۱/۷	۲۲۵۰۲/۷	۲۶۹۹۳/۶	۲۱۸۲۰/۳
فریزی	۸۹/۳	۰/۰۰۰۶	۱۱۴۷/۲	۱۳/۰۴	۲/۸۸	۰/۰۱۳	۶۱۲۰۷/۴	۸۱۰/۳	۲۹۵۷۶۶/۶	۲۵۸۱۶۷/۷	۱۶۶۵۷۲/۹
گلمکان	۹۰/۱	۰/۰۰۰۳	۱۹۲/۳۳	۱۳	۵/۷۲	۰/۰۱۵	۱۳۴۸۰/۵	۱۹۷/۹	۴۵۸۶۸/۵	۴۱۴۱۵/۸	۲۲۳۱۵/۶
شاندیز	۹۵/۵	۰/۰۰۰۴	۷۸۵/۳	۱۲/۹۸	۴/۵۹	۰/۰۵۷	۲۱۸۷۱/۷	۱۲۴۳	۱۸۲۲۵۱/۱	۱۳۶۳۳۵/۷	۱۲۱۳۵۵/۹
طرقه	۹۸/۷	۰/۰۰۰۴	۴۷۲/۰۲	۱۲/۶۴	۳/۵۶	۰/۰۸۶	۸۸۰۷/۹	۷۵۹/۲	۱۷۷۰۹۹/۶	۱۰۵۹۲۲/۸	۶۱۰۵۱/۲
طرق	۸۳/۶	۰/۰۰۰۵	۵۵۱/۴۳	۱۱/۳۴	۴/۰۵	۰/۰۳۱	۱۵۵۸۵	۴۷۸/۲	۱۷۴۵۶۰	۱۱۲۳۴۰	۷۲۳۷۷/۴
کارده	۲۷/۸	۰/۰۰۰۴	۱۷۴۳/۸	۱۲/۹۳	۳/۲۴	۰/۰۵۰	۲۳۱۹۰/۱	۱۱۶۰/۲	۴۲۳۴۶۸/۵	۳۵۸۵۹۳	۲۴۷۳۲۸/۴
ارداک	۳۵/۹	۰/۰۰۰۴	۱۹۵۹/۲	۱۲/۹۷	۳/۳۰	۰/۰۲۵	۴۰۰۲۶/۵	۹۸۸/۱	۳۶۰۶۴۷/۶	۳۹۹۳۱۵	۲۸۵۵۰۳/۷
رادکان	۴۶/۳	۰/۰۰۰۴	۹۸۷/۶	۱۳/۲۸	۲/۷۹	۰/۰۶۳	۱۳۷۸۴	۸۶۸	۳۵۶۸۳۵/۴	۲۱۶۹۰۹/۷	۱۳۱۷۴۱/۸
کلات	۳۲	۰/۰۰۰۴	۶۶۹/۶۵	۱۲/۸۸	۲/۸۰	۰/۰۴۹	۱۱۷۸۱/۷	۵۸۳/۱	۲۱۲۸۴۳/۳	۱۳۵۸۹۳	۸۷۳۹۵/۴

رسوب و حوضه‌های دیزباد و چکنه و گلمکان نیز، کمترین میزان رسوب سالیانه را دارند.

مطالعات نشان می‌دهد در هر سه روش یادشده حوضه‌های ارداک، کارده و فریزی، بیشترین میزان رسوب را دارند.



شکل ۵. نمودار میزان رسوب سالیانه محاسبه‌شده با سه روش رسوب‌سنجی

## بحث

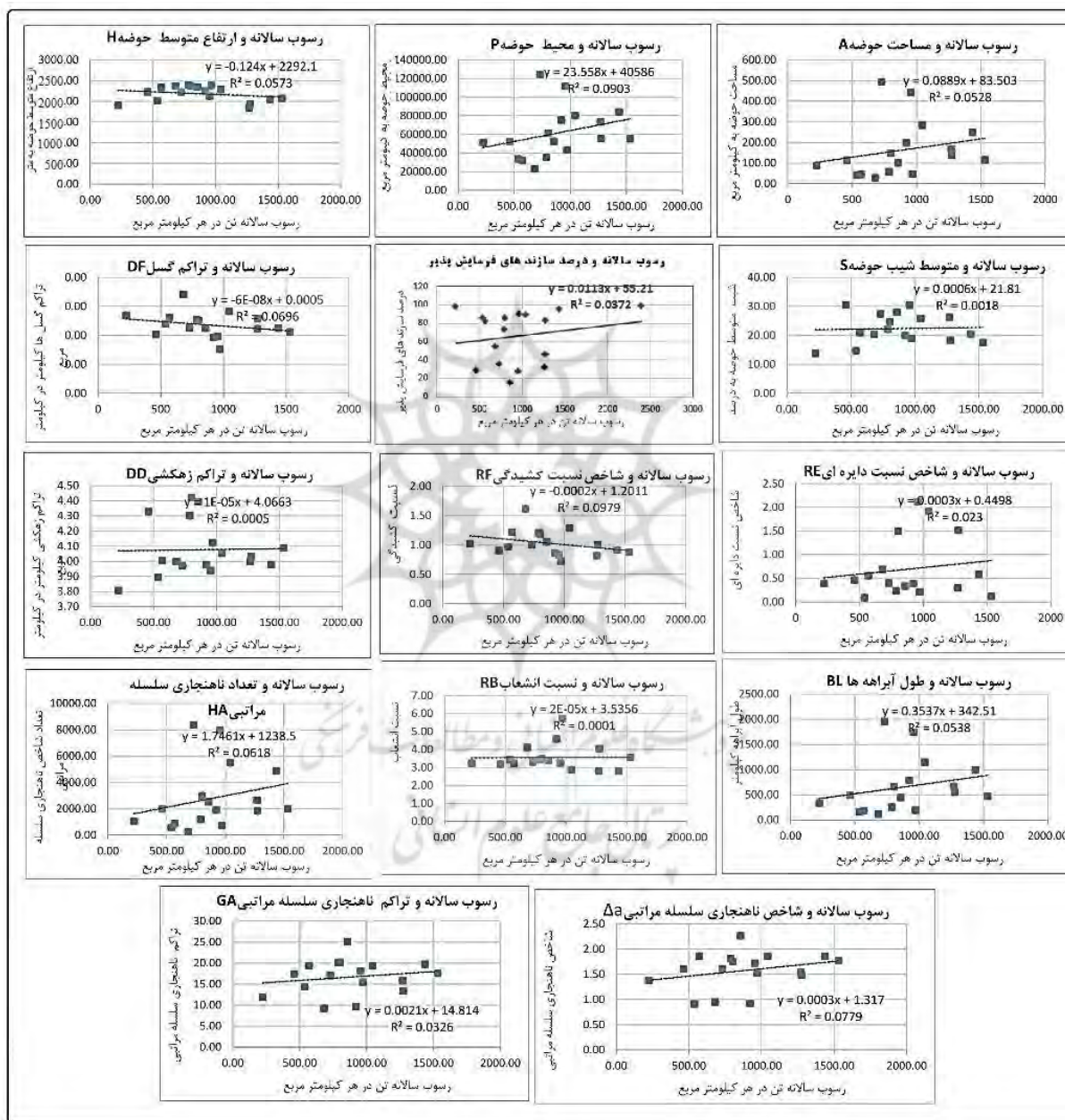
سال، بیشترین و حوضه‌های دیزباد و چکنه با ۲۰۳۱۹/۷ و ۲۱۸۲۰ تن در سال در کل حوضه، کمترین رسوب سالیانه را دارند.

در ادامه به منظور ارزیابی تأثیر هر یک از مؤلفه‌های مورفومتری حوضه‌های آبریز و میزان واقعی رسوب سالیانه از تحلیل‌های آماری رابطه خطی و ضریب همبستگی و ضریب تعیین بین پارامتر رسوب سالیانه (SS) (تن در هر کیلومترمربع) حوضه به‌منزله متغیر مستقل و شاخص‌های مورفومتری حوضه آبریز و شبکه زهکشی از قبیل A, P, Re, Rf, H, S, Rb, BL, Ha, Δa, ga, FD, PQ به‌منزله متغیر وابسته استفاده شد. شکل (۶) رابطه خطی و مقدار ضریب همبستگی بین میزان رسوب سالیانه از هر کیلومترمربع حوضه و شاخص‌های یادشده را نشان می‌دهد. براساس نتایج پژوهش بین شاخص Ha, Δa و میزان رسوب سالیانه ارتباط مستقیمی وجود دارد. ضریب تعیین بین آنها ۸۳٪ است؛ با وجود این ارتباط معناداری بین شاخص ga و میزان رسوب سالیانه وجود ندارد. در حالت کلی رابطه مستقیمی بین Ha, Δa, ga وجود دارد. نتایج حاصل از رگرسیون خطی نشان می‌دهد بین شاخص

میزان رسوب سالیانه در هر کیلومتر از حوضه‌های آبریز به‌منظور ارزیابی تأثیر هر یک از شاخص‌های ژئومورفومتری حوضه آبریز با استفاده از داده‌های واقعی سازمان آب منطقه‌ای محاسبه شد. بر این اساس حوضه‌های طرجه، اردکان و طرق به ترتیب با میزان رسوب ۰۷/۰۵، ۱۴۳۷/۱۵۳۳ و ۱۲۷۵ تن در هر کیلومترمربع بیشترین میزان رسوب سالیانه را دارند و حوضه‌های ینگجه و بار و چکنه با میزان رسوب ۶۲، ۲۲۴ و ۵۳۹ تن در کیلومترمربع، کمترین میزان رسوب را به خود اختصاص داده‌اند؛ این در حالی است که نتایج حاصل از روش سیکاسی و همکاران نشان می‌دهد حوضه‌های ارداک و کارده به ترتیب با ۳۹۹۳۱۵ و ۳۵۸۵۹۳ تن در سال، بیشترین میزان رسوب سالیانه و حوضه‌های دیزباد و چکنه به ترتیب با ۲۶۹۹۳/۶ و ۳۹۴۳۸/۸ تن در کل حوضه، کمترین میزان رسوب سالیانه را دارند. این نتایج با محاسبات انجام‌شده با روش حکیم‌خانی و عرب‌خدری نیز همخوانی دارد؛ به نحوی که حوضه‌های ارداک و کارده با میزان رسوب ۲۸۵۵۰۳/۷ و ۲۴۷۳۲۸ تن در

تراکم زهکشی، تراکم ناهنجاری سلسله‌مراتبی و تعداد ناهنجاری سلسله‌مراتبی ارتباط مستقیم مثبت برقرار است و با افزایش هرکدام از شاخص‌های نامبرده میزان رسوب سالیانه در هر کیلومتر مربع افزایش می‌یابد.

ناهنجاری سلسله‌مراتبی و رسوب سالیانه در کیلومتر مربع ارتباط مستقیم وجود دارد و با افزایش ناهنجاری سلسله‌مراتبی میزان رسوب حوضه‌ها نیز افزایش می‌یابد؛ همچنین بین شاخص مساحت و محیط حوضه‌ها، طول آبراهه‌ها، نسبت دایره‌ای،



شکل ۶. ضریب همبستگی میزان رسوب حوضه‌ها با استفاده از داده‌های سازمان آب منطقه‌ای (تن در کیلومتر مربع در سال) با سایر ویژگی‌های مورفومتری حوضه

جدول ۷. ماتریس همبستگی پیرسون و آماره شاخص‌های پژوهش

شاخص‌های پژوهش	تراکم ناهنجاری	سلسله‌مراتبی شاخص ناهنجاری	تعداد ناهنجاری سلسله‌مراتبی	نسبت انشعاب سلسله‌مراتبی	تراکم زهکشی	طول آبراهه	نسبت کشیدگی	نسبت دایره‌ای	تراکم گسل	درصد سازنده‌های فرسایش‌پذیر	میانگین شیب	میانگین ارتفاع	محیط	مساحت حوضه‌ها	آماره	شاخص‌های پژوهش
معادله	$y = 0.0021x + 14.814$	$y = 0.0003x + 1.317$	$y = 1.7461x + 1238.5$	$y = 2E-05x + 3.5356$	$y = 1E-05x + 4.0663$	$y = 0.3537x + 342.51$	$y = -0.0002x + 1.2011$	$y = -0.0003x + 0.4498$	$y = -6E-08x + 0.0005$	$y = 0.0113x + 55.21$	$y = 0.0006x + 21.81$	$y = -0.124x + 2292.1$	$y = 23.558x + 40586$	$y = 0.0889x + 83.503$		معادله
R2	۰/۰۳۲۶	۰/۰۷۷۹	۰/۰۶۱۸	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۵	۰/۰۵۳۸	۰/۰۹۷۹	۰/۰۲۳	۰/۰۶۶۶	۰/۰۳۷۲	۰/۰۰۱	۰/۰۵۷۳	۰/۰۹۰۳	۰/۰۵۲۸	R2	
PC	۰/۱۸	۰/۲۷۹	۰/۲۴۹	۰/۰۱۰	۰/۰۲۲	۰/۲۳۲	-۰/۳۱۳	۰/۱۵۲	-۰/۲۶۴	۰/۱۹۲	۰/۰۴۲	۰/۲۳۹	۰/۳۰۱	۰/۲۳۰	PC	
2σ	۰/۴۸۸	۰/۲۷۸	۰/۳۳۶	۰/۹۷۰	۰/۹۳۴	۰/۳۷۰	۰/۲۲۱	۰/۵۶۱	۰/۳۰۶	۰/۴۵۹	۰/۸۷۳	۰/۳۵۵	۰/۲۴۱	۰/۳۷۵	2σ	
cov	۲۶۰/۴۸	۳۶/۲۴	۲۱۶۱۳۴/۵۲	۲/۵۷	۱/۳۷	۴۳۷۸۱/۹۹	-۲۴/۰۴	۳۴/۲۵	-۰/۰۱	۸۳۹/۰۷	-۷۵/۹۵	-۱۵۳۴۷/۱۲۹۱۶	۳۰/۰۱۰۹۹۹/۱۶		cov	

مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر تولیدشده از ماهواره استر و همچنین نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور محاسبه شد. در این پژوهش از ۱۵ مؤلفه اصلی حوضه آبریز و شبکه زهکشی که در میزان رسوب حوضه‌ها تأثیر دارند شامل مساحت، محیط، نسبت دایره‌ای، نسبت کشیدگی، میانگین ارتفاع، میانگین شیب، تراکم زهکشی، فرکانس زهکشی، طول آبراهه‌ها، تراکم گسلی، درصد سازنده‌های حساس به فرسایش، نسبت انشعابات، تعداد ناهنجاری سلسله‌مراتبی، شاخص ناهنجاری سلسله‌مراتبی و تراکم ناهنجاری سلسله‌مراتبی، استفاده شد و محاسبه شدند. نتایج حاصل از روش سیکاسی و همکاران نشان می‌دهد حوضه‌های ارداک و کارده به ترتیب با ۳۹۹۳۱۵ و ۳۵۸۵۹۳ تن در سال، بیشترین میزان رسوب سالیانه و حوضه‌های دیزباد و چکنه به ترتیب با ۳۹۴۳۸/۸ و ۲۶۹۹۳/۶ تن در کل حوضه، کمترین میزان رسوب سالیانه را دارند.

روش حکیم‌خانی و عرب‌خدری نیز نشان داد حوضه‌های ارداک و کارده با میزان رسوب ۲۸۵۵۰۳/۷ و ۲۴۷۳۲۸ تن در سال، بیشترین و حوضه‌های دیزباد و چکنه با ۲۰۳۱۹/۷ و ۲۱۸۲۰ تن در سال در کل

در جدول (۷) ماتریس همبستگی پیرسون به همراه شاخص R2 و واریانس ۵۲ آورده شده است. بین شاخص‌های نسبت کشیدگی (Rf)، نسبت انشعابات (Rb) و ارتفاع متوسط حوضه‌ها (H) و رسوب حوضه‌ها همبستگی وجود ندارد و این نشان‌دهنده ارتباط نداشتن این شاخص‌ها با رسوب حوضه‌هاست. درباره نسبت کشیدگی طبیعی است که حوضه‌ای با نسبت کشیدگی کمتر و ضریب انشعاب کمتر دایره‌ای شکل است و در نتیجه رسوب‌دهی بیشتری دارد. حوضه‌های واقع در رشته‌کوه بینالود از ارتفاع نسبی بیشتری نسبت به سایر حوضه‌ها برخوردارند؛ با وجود این عامل، وسعت کم حوضه‌ها و بارش کمتر نسبت به حوضه‌های کپه‌داغ باعث شده است این حوضه‌ها رسوب سالیانه کمتری نسبت به سایر حوضه‌ها داشته باشند.

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش با هدف کشف ارتباط مؤلفه‌های کمی شبکه زهکشی و میزان رسوب حوضه‌ها، ۱۷ حوضه آبریز بزرگ با شرایط ویژه در شمال شرق کشور انتخاب و مؤلفه مورفومتری آنها با استفاده از

حوضه، کمترین رسوب سالیانه را دارند؛ همچنین نتایج حاصل از داده‌های سازمان آب منطقه‌ای خراسان رضوی و منحنی سنجه و رسوب نشان داد حوضه‌های طرقله و رادکان به ترتیب با  $۱۵۳۳/۰۵$  و  $۱۴۳۷/۰۷$  تن در هر کیلومتر مربع بیشترین میزان رسوب سالیانه و حوضه‌های ینگجه و باراریه به ترتیب با  $۲۲۴/۱۲$  و  $۴۶۲/۳۵$  تن در هر کیلومتر مربع کمترین میزان رسوب سالیانه را دارند.

مهم‌ترین مرحله در هر پژوهش علمی، اعتبارسنجی داده‌های پژوهش است. بدین منظور آمار رسوب حوضه‌ها (تن در روز از کل حوضه) دسته‌بندی و پس از پردازش، داده‌های دارای خطا حذف شد. با توجه به اینکه داده‌های برداشت‌شده از رسوب با روش نمونه‌برداری روزانه است، بنابراین با استفاده از نسبت رسوب به دبی و همچنین آمار دبی ماهیانه این ایستگاه‌ها، میزان رسوب سالیانه هریک از ایستگاه‌های پژوهش محاسبه شد. براساس بررسی‌ها، حوضه‌های طرقله، رادکان و طرق به ترتیب با میزان رسوب  $۰۷/۰۵$ ،  $۱۴۳۷/۱۵۳۳$  و  $۱۲۷۵$  تن در هر کیلومتر مربع، بیشترین میزان رسوب سالیانه را دارند و حوضه‌های ینگجه و بار و چکنه با میزان رسوب  $۴۶۲$ ،  $۲۲۴$  و  $۵۳۹$  تن در کیلومتر مربع، کمترین میزان رسوب را به خود اختصاص داده‌اند. در ادامه میزان رسوب سالیانه در هر کیلومتر مربع مبنای تحلیل رگرسیون قرار گرفت و ارتباط آن با هریک از شاخص‌های یادشده با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون محاسبه و تحلیل شد.

نتایج پژوهش براساس جدول (۶) نشان می‌دهد محیط و مساحت حوضه به ترتیب با ضریب  $۰/۳۰۱$  و  $۰/۲۳۰$ ، بیشترین همبستگی پیرسون را با میزان رسوب

سالیانه دارند. در نتیجه وسعت حوضه آبریز، عامل بسیار مهمی در افزایش روان‌آب و پیرو آن افزایش میزان رسوب است؛ همچنین شاخص‌های ناهنجاری سلسله‌مراتبی، تعداد ناهنجاری سلسله‌مراتبی، طول آبراهه و تراکم ناهنجاری سلسله‌مراتبی نیز رابطه مستقیمی با میزان رسوب سالیانه دارند؛ به نحوی که ضریب پیرسون آنها به ترتیب  $۰/۲۷۹$ ،  $۰/۲۴۹$ ،  $۰/۲۳۲$  و  $۰/۱۸۰$  محاسبه شده است. در نتیجه هر حوضه‌ای که در شبکه زهکشی آن آنومالی و ناهنجاری وجود داشته باشد، میزان رسوب سالیانه (کیلومتر مربع) بیشتری نیز داشته است؛ همچنین با افزایش طول آبراهه نیز میزان رسوب سالیانه افزایش داشته است. شاخص نسبت دایره‌ای با ضریب همبستگی پیرسون  $۰/۱۵۲$  و ضریب تعیین  $۰/۰۲$  است؛ در نتیجه هر حوضه‌ای که ضریب گردآوری زیادی دارد، شدت روان‌آب و پیرو آن رسوب بیشتری نیز داشته است. شاخص‌های نسبت کشیدگی و میانگین ارتفاع، همبستگی منفی با میزان رسوب سالیانه دارد و در حوضه‌های پژوهش تأثیری در میزان رسوب سالیانه نداشته است. شاخص‌های تراکم زهکشی، نسبت انشعابات، درصد واحدهای فرسایش‌پذیر میانگین شیب به ترتیب با ضریب همبستگی  $۰/۰۲۲$ ،  $۰/۰۱۰$ ،  $۰/۰۳۷$  و  $۰/۰۴۲$ ، ارتباط نسبتاً ضعیفی با میزان رسوب سالیانه دارد.

در حالت کلی بررسی‌ها نشان می‌دهد حوضه‌های واقع در دامنه جنوبی هزار مسجد میزان رسوب بیشتری نسبت به سایر حوضه‌ها دارند. حوضه‌های دامنه جنوبی بینالود نیز با وجود وسعت کم و سازندهای سخت و سنگی میزان رسوب سالیانه زیادی در واحد سطح دارند که عواملی چون شیب و ارتفاع زیاد در این حوضه‌ها تأثیر مستقیمی در میزان



رسوب سالیانه آنها داشته است.

بررسی‌ها نشان می‌دهد نتایج روش سیکاسی و همکاران (۱۹۸۷) و روش حکیم‌خانی و عرب‌خدردی (۱۳۸۵) تا حدودی نزدیک به آمار رسوب سازمان آب منطقه‌ای است؛ اما این نتایج به شدت متأثر از مساحت حوضه‌هاست و روش معتبری برای برآورد رسوب نیست؛ از سوی دیگر میزان و شدت بارش سالیانه، نوع خاک و کاربری اراضی، از مهم‌ترین عوامل افزایش رسوب محسوب می‌شوند که در روش‌های یادشده لحاظ نشده‌اند. با توجه به وجود تشکیلات لس، مارن و گچ در بعضی حوضه‌ها، فرسایش خندقی در این روش‌ها لحاظ نشده است؛ این در حالی است که گالی‌ها، مهم‌ترین عارضه فرسایش در حجم وسیع محسوب می‌شوند که میلیون‌ها تن خاک مرغوب را از دسترس خارج می‌کنند؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود به منظور برآورد رسوب حوضه‌ها، یک مدل منطقه‌ای ارائه شود که علاوه بر شاخص‌های مورفومتری حوضه آبریز، شاخص‌هایی چون کمیت و کیفیت بارش، ساختار خاک، کاربری اراضی و پوشش گیاهی نیز ارزیابی شود تا نتایجی دقیق و واقعی‌تر از میزان رسوب حوضه‌ها به دست آید.

شاخص‌های ژئومورفومتری به طور کامل و دقیق مبین میزان رسوب سالیانه حوضه‌های آبریز نیست و عوامل هیدرولوژیکی، انسانی و اقلیمی نیز باید لحاظ شود؛ با وجود این عوامل مورفومتری حوضه آبریز با تأثیر بر سایر شاخص‌های محیطی و اقلیمی تا حدودی تعیین‌کننده میزان رسوب و فرسایش در حوضه‌های آبریزند. این قبیل مطالعات نشان‌دهنده روابط بین مؤلفه‌های مورفومتری حوضه آبریز، فرایندها و محصولات رسوبی حوضه‌هاست و روند تکامل

ژئومورفولوژیکی حوضه‌های آبریز را ارزیابی و تحلیل می‌کند.

#### منابع

احمدی، حسن، جعفری، محمد، گلکاریان، علی، ابریشم، الهام السادات و لافلن، جان، (۱۳۸۶). برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از مدل WEPP (مطالعه موردی: حوضه آبخیز باراریه نیشابور، فصلنامه پژوهش و سازندگی، دوره ۲۰، شماره ۱، ۱۶۱-۱۷۲).

اوتق، مجید و نهتانی، محمد، (۱۳۸۳). رابطه واحدهای ژئومورفولوژی و فرسایش و تولید رسوب در حوضه آبخیز کاشیدار گرگانرود، نشریه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دوره ۱۱، شماره ۱، ۱۵۷-۱۷۰.

بهرامی، شهرام، معتمدی راد، محمد و اکبری، الهه، (۱۳۹۲). بررسی تأثیر تکتونیک در ویژگی‌های کمی شبکه زهکشی (مطالعه موردی: چهار حوضه زهکشی در شمال شرق کشور)، نشریه مطالعات مناطق خشک، دوره ۳، شماره ۱۲، ۸۵-۱۰۲.

بومری، محمد، نهتانی‌فر، عبدالباسط، رادفر، شهباز و مهدوی، ابوالقاسم، (۱۳۹۰). شناسایی پهنه‌های سیلابی و ویژگی‌های فیزیوگرافی و کمی حوضه آبریز دامن با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور، جغرافیا و توسعه، دوره ۹، شماره ۲۲، ۱۲۹-۱۴۶.

گاماسیاب)، دو فصلنامه جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، دوره ۱، شماره ۱، ۱۲۷-۱۴۵.

رنگزن، کاظم، زراسوندی، علیرضا و حیدری، ارسلان، (۱۳۸۷). مقایسه دو مدل EPM و MPSIAC در برآورد فرسایش و رسوب حوضه پگاه سرخ‌گتوند - خوزستان با استفاده از تکنیک‌های RS و GIS. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۲، شماره ۶۴، ۱۲۳-۱۳۶.

سازمان آب منطقه‌ای خراسان رضوی، (۱۳۷۸). اطلاعات ایستگاههای هیدرومتری و رسوب‌سنجی.

سازمان هواشناسی کشور، (۱۳۹۰). اطلاعات هواشناسی ایستگاههای سینوپتیک و باران‌سنجی کشور.

شاه‌زیدی، سمیه، (۱۳۹۱). مقیاس در ژئومورفولوژی، پایان‌نامه دکتری ژئومورفولوژی، استاد راهنما: معیری، مسعود، دانشگاه اصفهان، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی.

شریعت‌جعفری، محسن و غیومیان، جعفر، (۱۳۸۴). بررسی ارتباط و همبستگی بین رسوب‌دهی با گسیختگی شیب‌ها و رانش زمین در حوضه طالقان مرکزی، نشریه علوم زمین، دوره ۱۴، شماره ۵۵، ۹۰-۹۷.

شفیعی، الهه، علوی، سید احمد و نادری میقان، نصیر، (۱۳۸۸). تکنیک فعال در رشته‌کوه بینالود با تکیه بر بررسی‌های مورفوتکتونیک،

پورعلی، ملیحه، (۱۳۸۹). بررسی و تحلیل‌های کمی و کیفی مخروط‌افکنه‌های دامنه شمالی رشته‌کوه بینالود با توجه به برنامه‌ریزی محیطی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: زمردیان، محمدجعفر، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، گروه جغرافیای طبیعی.

جوکار سرهنگی، عیسی، امیراحمدی، ابوالقاسم و نیکزاد، اسحاق، (۱۳۸۸). مدل‌سازی برآورد سیلاب حوضه‌های آبی دامنه‌های شمالی البرز مرکزی با استفاده از ویژگی‌های ژئومورفولوژی کمی و مورفومتری و به‌کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۱۴، شماره ۲۹، ۱۶۲-۱۴۱.

حکیم‌خانی، شاهرخ و عرب‌خدری، محمود، (۱۳۸۵). تحلیل رگرسیونی بین رسوب معلق و ویژگی‌های هیدروژئومورفومتریک حوضه دریاچه ارومیه، نشریه علوم کشاورزی، دوره ۳۷، شماره ۱۷، ۲۲۳-۲۳۱.

دارابی، حمید، سلیمانی، کریم، شاهدی، کاکا و میریعقوب‌زاده، میرحسن، (۱۳۹۱). طبقه‌بندی زیرحوضه‌ها براساس پارامترهای مورفومتریک با استفاده از تحلیل‌های خوشه‌ای در حوضه آبریز پل دوآب شازند، نشریه دانش آب و خاک، دوره ۲۲، شماره ۴، ۱۹۹-۲۱۱.

رامشت، محمدحسین، احمدی، عبدالمجید و آرا، هایده، (۱۳۸۹). حوضه‌های آبریز از دیدگاه سیستمی (مطالعه موردی: حوضه آبریز

- Alexander, G.N, (1972). **Effect of catchment area on flood magnitude**, Journal of Hydrology, 16 (3), Pp 225–240.
- Avena, G.C., Giuliano, G., Lupia Palmieri, E., (1967). **Sulla valutazione quantitativa Della gerarchizzazione ed evoluzione dei reticoli l uviai**, Bollettino Della Societa Geologica Italiana, Vol 86, Pp 81–796.
- Bahrami, Sh., (2013). **Analyzing the drainage system anomaly of Zagros basins: Implications for active tectonics**, Journal of Tectonophysics, Vol 608, Pp 914–928.
- Baroni, C., Noti, V., Ciccacci, S., Righini, G., Salvatore, M.C., (2005). **Fluvial origin of the valley system in northern Victoria Land (Antarctica) from quantitative geomorphic analysis**, GSA Bulletin, Vol 117, Pp 212–228.
- Bull, William, (1975). **Allometric change of landforms: Geological Society of America bulletin**, Characteristics and bed material, Vol 86, Pp 1489-1498.
- Chorley, R. J., (1969). **The drainage basin as the fundamental geomorphic unit, Water, Earth and man: a synthesis of hydrology, geomorphology and socio-economic geography**, geomorphology and socio-economic geography, Methuen and Co Ltd., London, 588 p.
- Ciccacci, S., Fredi, P., Palmieri, E.L, Pugliese, F, (1986). **Indirect evaluation of erosion entity in drainage basins through geomorphic, climatic and hydrological parameters**, First International Conference geomorphology on Geomorphology, 233-248, Costa.
- DiBiase, Roman A., Kelin X. Whipple a, Arjun M. Heimsath a, William B. Ouimet, b., (2010). **Landscape form and millennial erosion rates in the San Gabriel Mountains**, Earth and Planetary Science Letters, Vol 289, Pp 134–144.
- Doorncamp J. C. and CuchlaineA. M., (1971). **Numerical Analysis in Geomorphology An introduction**, Journal of Geoscience, Vol 137, Pp 780-781.
- پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۱، شماره ۷۰، ۷۹ - ۹۲.
- صادقی، حمیدرضا، نورمحمدی، فرهاد، صوفی، مجید، یثربی، بنفشه، (۱۳۸۸). **مدل‌های آلومتری آبکندها در منطقه دره‌شهر ایلام**، مجله پژوهش‌های آبخیزداری، دوره ۲۷، شماره ۸۵، ۳۸-۴۵.
- طالقانی، محمود، (۱۳۸۴). **ژئومورفولوژی ایران**، جلد ۱، نوبت ۲۱، تهران، انتشارات قومس.
- علیزاده، امین، (۱۳۸۳). **اصول هیدرولوژی کاربردی**، جلد ۱، نوبت ۴۰، مشهد، انتشارات آستان قدس.
- غیاثی، نجف‌قلی، عرب‌خداری، محمود، غفاری، علیرضا و حاتمی، حمید، (۱۳۸۴). **بررسی تأثیر برخی از ویژگی‌های هندسی آبخیزها بر سیلاب‌های حداکثر لحظه‌ای با دور بازگشت‌های مختلف**، مجله پژوهش و سازندگی، دوره ۴، شماره ۶۲، ۲-۱۰.
- مختاری، لیلا، (۱۳۹۱). **آلومتری در ژئومورفولوژی**، رساله دکتری ژئومورفولوژی، استاد راهنما: رامشت، محمدحسین، دانشگاه اصفهان، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی.
- نورمحمدی، فاطمه، (۱۳۸۵). **آلومتری و تولید رسوب آبکندهای بخشی از منطقه دره‌شهر در استان ایلام**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، استاد راهنما: صادقی، سید حمیدرضا، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی.
- Aksoy H. M. L., Kavvas, (2005). **A review of hillslope and watershed scale erosion and sediment transport models**, Journal of Catena, Vol 64, Pp 247–271.

- Miller, J.P., (1958). **High mountain streams: effects of geology on channel characteristics and bed material**, New Mexico State Bureau of mines and mineral resource, 53 p.
- Montgomery, D.R., Brandon, M.T., (2002). **Topographic controls on erosion rates in tectonically active mountain ranges**, Earth and Planetary Science Letters, Vol 201, Pp 481 – 489.
- Restrepo, J. D. B. Kjerfve, M., Hermelin, and J.C. Restrepo., (2006). **Factors controlling sediment yield in a major South American drainage basin: the Magdalena River**, Colombia. Journal of Hydrology, Vol 316, Pp 213-232.
- Seta.M.D, Monte.M.D, Fredi.P, Palmieri. E.L (2007). **Direct and indirect evaluation of denudation rates in Central Italy**, Journal of Catena, Vol 71, Pp 21-30.
- Shabaniyan E. O, Bellier, L Siame, MR. Abbassi, D Bourlès, R Braucher, and Y, Farbod., (2012). **The Binalud Mountains: A key piece for the geodynamic puzzle of NE Iran**, Journal of Tectonics, Vol 31, Pp 1-25.
- Strahler A. N, (1957). **Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology**, Transactions American Geophysical Union, Vol 38, Pp 913-920.
- Strahler, A.N., (1950). **Equilibrium theory of erosional slopes approached by frequency distribution analysis**, Am. J. Sci, Vol 248, Pp 800–814.
- Suresh, M.; Sudhakar, S.; Tiwari, K. N. & Chowdary, V. M., (2004). **Prioritization of watersheds morphometric parameters and assessment of surface water potential using remote Sensing**, Journal of TI Indian Society of remote sensing, Vol 3, Pp 249-259.
- Tuseta, J. D. Vericata, b, R, Batallaa, (2016). **Rainfall, runoff and sediment transport in a Mediterranean mountainous catchment**, Journal of Science of the Total Environment, Vol 540, Pp 114– 132.
- Guarnieri, P., Pirrotta, C., (2008). **The response of drainage basins to the late Quaternary tectonics in the Sicilian side of the Messina Strait (NE Sicily)**, Journal of Geomorphology, Vol 95, Pp 260–273.
- Gupta, V, Waymire E, Wang C, (1980). **A representation of an instantaneous unit hydrograph from geomorphology**, Journal of Water Resour Res, Vol 16, Pp 855–862.
- Hafzullah Aksoy, M. Levent Kavvas, b., (2005). **A review of hillslope and watershed scale erosion and sediment transport models**, Journal of Catena, Vol 64, Pp 247–271.
- Harrison, C. G. A., (2000). **What factors control mechanical erosion rates?**, International Journal of Earth Sciences, Vol 88, Pp 752–763.
- Harlin, JM, (1984). **Watershed morphometry and time to hydrograph peak**, Journal of Hydrology, Vol 67, Pp 141–154
- Horton, R. E., (1932). **Drainage Basin Characteristics**, Transactions - American Geophysical Union, Vol 13, Pp 350-361.
- Hurtrez, J.-E. And Lucazeau, F. and Lavé, J. and Avouac, J.-P., (1999). **Investigation of the relationships between basin morphology, tectonic uplift, and denudation from the study of an active fold belt in the Siwalik Hills, central Nepal**, Journal of Geophysical Research, Vol 104, Pp 12779-12796
- Keller, E. A., (1986). **Investigation of active tectonics: surficial Earth processes**, National Academy Press., Washington DC, Vol 12, Pp 136-147.
- Leopold, L.B., and Langbein, W.B., (1962). **The concept of entropy in landscape evolution: US Geological Survey Professional Paper**, Vol 500, Pp 1-20.
- Leopold, L.B., and Wolman, M.G., (1957). **River channel patterns: braided, meandering and straight: US Geological Survey Professional Paper**, Vol 282, Pp 39-85.

past 100 years, IAHS Publication, Vol 224, Pp 203- 211.

Zhang H.Y, a, b, Z.H. Shi a, c N.F. Fanga, M.H. Guoa, (2015). **Linking watershed geomorphic characteristics to sediment yield: Evidence Loess Plateau of China**, Journal of Geomorphology, Vol 234, Pp 19- 27.

Vanoni, V. A., (Ed) (1975). **Sedimentation Engineering**, Manuals & Reports on Engineering Practice, no 54, New York, USA, 745 p.

Walling, D.E., HE, Q., (1994). **Rates of overbank sedimentation on the flood plains of several British rivers during the**

