

هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۱، تابستان ۱۳۹۶، صص ۵۹-۸۲

وصول مقاله ۱۳۹۵/۰۳/۲۲ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۶/۰۴/۱۱

## تحلیل و مقایسه‌ی رسوب معلق در حوضه‌های آبخیز خزر و ایران مرکزی

منوچهر فرج‌زاده اصل<sup>۱</sup>

علی اصغر هدایی<sup>۲</sup>

مریم ملاشاهی<sup>۳\*</sup>

ندا رجبی رستم آبادی<sup>۴</sup>

### چکیده

فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی در هر کشور بشمار می‌آید که پیامدهایی چون کاهش حاصلخیزی، کاهش محصول و بیابان‌زایی به ویژه در مناطق خشک را به همراه دارد. هدف این تحقیق، مقایسه رسوب معلق در حوضه‌های آبخیز دریای خزر با اقلیم مرطوب و ایران مرکزی با اقلیم خشک کشور است. جهت انجام پژوهش از داده‌های باران‌سنجی، دبی‌سنجی و رسوب‌سنجی به همراه شیب، توپوگرافی، کاربری اراضی و سنگ‌شناسی استفاده شده است. برای تحلیل داده‌ها از روش‌های تحلیل آماری در نرم‌افزار SPSS استفاده شده است. نتایج حاصل از آزمون همبستگی نشان داد که رابطه و همبستگی قوی بین دو پارامتر بارش و رسوب وجود دارد. با توجه به نتایج حاصله از مدل رگرسیون چندمتغیره، بین متغیرهای بارش، دبی و رسوب سالانه در حوضه‌های مورد مطالعه رابطه‌ی معنادار و مستقیم وجود داشته و مدل‌های نسبتاً خوبی از روابط متغیرهای بارش، دبی و

۱- دانشیار اقلیم‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲- استادیار موسسه آموزش عالی علمی کاربردی هلال ایران، تهران

۳- استادیار گروه جنگلداری مناطق خشک، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان (نویسنده‌ی مسئول)

E-mail: maryam.mollashahi@semnan.ac.ir

۴- کارشناس ارشد ژئومورفولوژی دانشگاه تربیت مدرس، تهران

رسوب معلق به دست آمد. بر اساس توزیع فضایی رسوب، در حوضه‌ی آبخیز ایران مرکزی بیشترین میزان رسوب در غرب حوضه در ایستگاه‌های قلعه‌ی شاهرخ و چمریز و کمترین میزان رسوب در شمال و جنوب حوضه مشاهده می‌شود. در حوضه‌ی آبخیز خزر، بیشترین میزان بار رسوبی در حوضه‌ی آبخیز قره‌سو و ران در ایستگاه قزاقلی سپس در حوضه‌ی سفیدرود در ایستگاه قره‌گونی مشاهده می‌گردد. کمترین میزان بار رسوبی نیز مربوط به حوضه‌ی آبخیز خزر در حوضه‌ی تالش و ایستگاه‌های جنوبی خزر است.

کلمات کلیدی: تحلیل زمانی - مکانی، رسوب، حوضه‌های آبخیز، فرسایش.

## مقدمه

فرسایش خاک و رسوب‌گذاری در زمره‌ی بزرگ‌ترین نگرانی‌های زیست‌محیطی دنیا بشمار می‌رود. در بخش‌های زیادی از دنیا نه تنها فرسایش خاک، بلکه همچنین افزایش رسوب‌دهی حوضه‌ی آبخیز موجب زوال زمین و ایجاد اختلال در توسعه‌ی کشاورزی و صنعت شده است (ژیاوکینگ، ۲۰۰۳: ۵۳). فرسایش به عنوان منبع اولیه رسوباتی است که رودها را آلوده ساخته و باعث پر شدن سدها می‌شوند به همین دلیل هر جا صحبت از رسوبات می‌شود پدیده‌ی فرسایش نیز در کنار آن مطرح شده و در اصل این پدیده فرایندی پیوسته می‌باشند و عوامل مؤثر در بروز و کنترل آنها نیز تا حد زیادی مشترک است (نجفی، ۱۳۸۲: ۱۰۱). در کشور ما نیز آثار و علائم فرسایش در اکثر نقاط دیده می‌شود (ضیایی، ۱۳۸۰: ۶۵) و نزدیک به ۷۵ درصد سطح کشور ایران در معرض فرسایش است (بهرامی و رحیمی، ۱۳۸۷: ۱۹). عوامل مختلفی در فرسایش و تولید رسوب مؤثر می‌باشند و بر اساس شرایط هر حوضه ممکن است یک یا چند عامل در تشدید آن مؤثر باشد، از این رو برای بررسی مسئله رسوب‌دهی هر حوضه باید عوامل مؤثر در رسوب‌دهی آن منطقه را

شناخت و به طور صحیح برآورد کرد و سپس تأثیر عوامل مختلف را بر روی رسوبدهی مشخص نمود (امامی، ۱۳۸۷: ۱۰۵، وروانی و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۲۲۹).

در همین زمینه فرارسی (۱۹۹۰: ۲۵۶) در رابطه با ارائه‌ی مدلی برای ۲۰ حوضه آبخیز واقع در شمال ایتالیا از حجم بارش متوسط سالانه، مساحت حوضه و عوامل مربوط به حساسیت یا فرسایش و یا حمل رسوب استفاده کرد. نتایج نشان داد در حوضه‌های مورد مطالعه حجم بارش سالانه در مقایسه با دبی سالانه همبستگی بالاتری با رسوب کل دارد. با پروویستکایا و همکاران (۲۰۰۳: ۱۲۸) با تحلیل آماری و هیدرولوژیکی تغییرات بلندمدت رسوب معلق رودخانه‌های روسیه، تأثیر پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی را بر روی تغییرات مقادیر رسوب رودخانه‌ها بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که فعالیت‌های انسانی مانند احداث سد و معدن بیش از پارامترهای اقلیمی بر میزان رسوب معلق مؤثر است.

در مناطقی مانند ایران که دارای ناهمواری‌های جوان هستند<sup>۱</sup>، ویژگی‌های خاک به طور بیشتری تحت تأثیر ویژگی‌های سنگ است (فایزینا، ۱۹۹۵) بنابراین شناخت حساسیت سنگ‌ها اهمیت زیادی در برآورد رسوبدهی حوضه‌ها دارد. اندرسون (۲۰۱۵) روش رگرسیون منطقه‌ای را بین ویژگی‌های حوضه و شاخص‌های آماری رسوب استفاده کردند. جیسون و پینتر (۲۰۱۶) بین مقدار رسوب و ویژگی‌های توپوگرافی و اقلیمی حوضه‌های آبخیز رابطه‌ی رگرسیون را بهبود بخشیدند. رومپایه و همکاران (۲۰۱۵) در ایتالیا آمار طولانی مدت رسوب مربوط به سد مخزنی را به منظور واسنجی و اعتبار مدل تحویل رسوب توزیع مکانی به کار بردند. نتایج بررسی مجموعه داده‌های رسوب حوضه‌های با کاربری اراضی کشاورزی و نیمه بکر در

---

1- Feizinia

شمال، مرکز و جنوب ایتالیا، نشان داد که عملکرد مدل مذکور در مناطق کوهستانی ضعیف و در مناطق دشتی توانمند است.

یانگ و همکارانش (۲۰۰۴: ۱۲۱۵) تأثیر فعالیت‌های انسانی بر جریان رسوب معلق رودخانه یانگ‌تسه در طول قرن گذشته مورد مطالعه قرار دادند. طی این تحقیق معلوم گردید که جریان سالانه رسوب به داخل خلیج (مصوب رودخانه) در آغاز قرن ۲۰ حدود ۳۹۵ میلیون تن در سال بوده است که به تدریج به میانگین ۵۰۹ میلیون تن در سال در دهه‌ی ۱۹۶۰ افزایش یافته است.

مولینا و همکاران (۲۰۰۸: ۱۸۰) در مطالعه‌ای در حوضه‌ی پائوت<sup>۱</sup> اکوادور به بررسی عوامل حاکم بر تغییرات فضایی رسوب‌دهی پرداختند. ترامبلی و همکاران (۲۰۰۸: ۲۴۱) غلظت رسوبات معلق سالانه را در ۲۰۸ رودخانه شمال آمریکا با استفاده از تحلیل‌های فراوانی در یک مقیاس بزرگ مطالعه کردند و دریافتند که بیشینه غلظت رسوب معلق در بهار و تابستان بوده و بین غلظت رسوب معلق و دبی همبستگی بالایی برقرار است. رومن و همکاران (۲۰۱۰: ۳۱۳۴) یک تابع رگرسیونی برای برآورد بار رسوب معلق رودخانه‌های واقع در شمال ایالات متحده به دست آوردند. نتایج آنها نشان داد که متوسط رسوب معلق سالانه در منطقه‌ی مورد مطالعه متأثر از متغیرهای مساحت حوضه، الگوی کاربری اراضی، بارندگی فصلی، ساخت خاک، تغییرات هیدرولوژیکی و تا حدود کمتر عامل توپوگرافی می‌باشد. خدانشناس و همکاران (۱۳۸۷: ۱۶۳) به ارائه‌ی مدل‌های رگرسیونی چندمتغیره برآورد رسوب در حوضه‌های شمال استان خراسان (۲۹ حوضه) مبادرت ورزیدند. بهترین مدل ایجاد شده متشکل از ۵ پارامتر ارتفاع متوسط حوضه، شیب متوسط

---

1- Paute

حوضه، دبی متوسط جریان در کل سال، بارندگی متوسط و دبی حدکثر روزانه با دوره‌ی بازگشت دو ساله برای برآورد بار رسوبی کل در ۱۲ حوضه‌ی کوچک بود.

عوامل مختلفی در فرسایش و تولید رسوب مؤثر می‌باشند و بر اساس شرایط هر حوضه ممکن است یک یا چند عامل در تشدید آن مؤثر باشد، از این رو برای بررسی مسئله رسوب‌دهی هر حوضه باید عوامل مؤثر در رسوب‌دهی آن منطقه را شناخت و به طور صحیح برآورد کرد و سپس تأثیر عوامل مختلف را بر روی رسوب‌دهی مشخص نمود (امامی، ۱۳۸۷). از سویی برآورد صحیح بار رسوبی و فهم دینامیک رسوب در حوضه‌های آبخیز نیازمند درک درست تغییرات مکانی و زمانی رسوب می‌باشد (وروانی و همکاران، ۱۳۸۶). مطالعات صورت گرفته بیانگر وجود ارتباط قوی بین مقادیر ورودی بارش و جریان و همچنین خروجی‌های متناسب رسوب در آن‌ها می‌باشد ولی بررسی تغییرات مقادیر رسوب در حوضه‌های آبخیزی که در اقلیم مرطوب قرار گرفته‌اند (مانند حوضه‌ی آبخیز دریای خزر) و حوضه آبخیزی که در اقلیم خشک قرار گرفته‌اند (مانند حوضه‌ی آبخیزی ایران مرکزی) کمتر مورد توجه بوده که هدف مقاله‌ی حاضر را تشکیل می‌دهد.

## مواد و روش

به منظور بررسی تغییرات سریع یا روندهای احتمالی در سری‌های زمانی اقلیمی در حوضه‌های آبخیز خزر و ایران مرکزی، اطلاعات و آمار لازم (آمار رسوب، بارش و دبی) از سازمان هواشناسی و همچنین مدیریت منابع آب کشور تهیه گردید. همچنین اطلاعات سطح زمین شامل: کاربری اراضی، شیب، ارتفاع، جنس زمین، طول شبکه‌های زهکشی و طول آبراهه اصلی از نقشه‌های کلان کشور در مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ که توسط دستگاه‌های مختلف از جمله سازمان نقشه‌برداری، زمین‌شناسی، منابع طبیعی و جنگل‌ها و مراتع کشور تهیه شده است، گردآوری شد.

نقشه‌های کاربری اراضی بر اساس نوع کاربری به شش طبقه دسته‌بندی شدند که عبارتند از: مناطق شهری، اراضی جنگلی، اراضی مرتع، اراضی کشاورزی، اراضی باتلاقی و اراضی بایر (زمین‌های بدون پوشش). نقشه‌های زمین‌شناسی نیز از نظر مقاومت و بسته به میزان مقاومت سنگ‌ها و میزان رسوبی که تولید می‌کنند به ۱۰ طبقه تقسیم شده که عبارتند از: سخت‌ترین سنگ‌ها، سنگ‌های بسیار سخت، سنگ‌های خیلی سخت، سنگ‌های به مقدار کافی سخت، سنگ‌ها با سختی متوسط، سنگ‌های به مقدار کافی نرم، سنگ‌های نسبتاً نرم، سنگ‌های پودری، سنگ‌های سست و سنگ‌های خیلی سست. نقشه‌های شیب و ارتفاعی نیز از نقشه‌ی رقومی ایران استخراج گردیدند. برای تهیه‌ی مدل رقومی ارتفاع از نقشه‌ی رقومی ایران با قدرت تفکیک ۳۰ متر استفاده شد و در محیط نرم‌افزاری Arc GIS شیب آن استخراج شد. در این مطالعه برای آشکارسازی روند تغییرات در طی سال‌های مورد مطالعه از آزمون‌های مختلفی چون من-کندال و رگرسیون خطی استفاده شد.

### بحث و نتایج

مشخصات آماری و نوسانات رسوب در حوضه‌ی آبخیز دریاچه خزر در جدول (۱) نشان داده شده است. همانطور که جدول مذکور نشان می‌دهد بیشترین میزان رسوب در ایستگاه‌های شرقی حوضه در حوضه‌ی قره‌سو و گرگان یعنی ایستگاه‌های واقع بر روی گرگان‌رود مشاهده می‌گردد. در ایستگاه قزاقلی میزان متوسط رسوب سالیانه بیش از  $242765/3$  تن و کمترین میزان رسوب در این حوضه مربوط به ایستگاه نوده با میزان  $1987/2$  تن در سال است. در جنوب دریای خزر در حوضه‌ی قره‌سو و هراز بیشترین میزان رسوب در ایستگاه کشتارگاه بر روی رودخانه‌ی بابل رود با مقدار  $6938/8$  تن در سال مشاهده می‌شود و در ایستگاه ریگ چشمه این عدد به  $20898/3$  تن در سال می‌رسد. در حوضه‌ی سفیدرود و هراز از میزان بار رسوبی به صورت قابل توجهی کاسته شده به طوری که میانگین رسوب در این حوضه

در ایستگاه هرات بر ۱/۱۲۷۴۳ تن در سال و در ایستگاه درازلات به ۷/۸۶۹۸۶ تن در سال رسیده است. در جنوب غرب دریاچه‌ی خزر در حوضه‌ی سفیدرود بیشترین میزان رسوب در ایستگاه قره‌گونی بر روی رودخانه‌ی قزل‌اوزن با میزان ۱/۲۳۱۲۱۷۴ تن در سال مشاهده می‌شود. به سمت غرب باز از میزان بار رسوبی کاسته شده و میزان رسوب در این منطقه به ۲/۶۴۱۹ تن در سال در حوضه‌ی تالش می‌رسد. همچنین در حوضه‌ی ارس بیشترین میزان رسوب در ایستگاه تازه‌کند بر روی رودخانه‌ی اهر چای با میزان ۲۱۲۸۹ تن در سال مشاهده می‌شود.

جدول (۱) مشخصات آماری رسوب معلق در ایستگاه‌های حوضه‌ی آبخیز دریای خزر

ایستگاه	میانگین	حداکثر	انحراف معیار	ضریب تغییرات
گنبد	۳/۶۸۶۴۵	۵/۲۶۰۱۶۲	۳/۷۷۹۷۲	۱/۱
نوده	۲/۱۹۸۷	۵/۱۱۰۱۷	۲۵۲۳	۱/۲
قزاقلی	۳/۲۴۲۷۶۵	۷/۹۵۱۵۸	۰/۲۸۴۸۵	۱/۲
ریگ چشمه	۳/۲۰۸۹۸	۴/۲۶۶۴۶۳	۱/۵۴۶۷۴	۲/۶
کشتارگاه	۸/۶۹۳۸	۳/۲۹۷۴۱۰	۲/۸۲۴۷۶	۱/۲
هرات بر	۱/۱۲۷۴۳	۶/۱۶۵۹۲۸	۴/۲۹۶۳۲	۲/۳
درازلات	۷/۸۶۹۸۶	۵/۷۴۹۴۷۲	۱/۱۹۴۹۴۰	۲/۲
قره‌گونی	۱/۲۳۱۲۱۷۴	۷/۷۳۵۰۶۳	۳/۲۸۲۵۴	۱/۲
لوشان	۴/۹۴۳۲۵	۴/۳۸۰۴۳۶	۵/۱۲۶۶۰	۱/۳
گیلوان	۵/۲۱۲۸۹	۶/۱۲۰۶۲۶	۸/۳۰۵۴۸	۱/۴
ماشین خانه	۲/۶۴۱۹	۶/۲۹۶۲۰	۳/۷۹۱۱	۱/۲
نیر	۸/۳۰۴	۵/۱۵۸۵	۱/۴۵۵	۱/۵
تازه‌کند	۲/۳۳۲۱۴	۵/۱۳۵۶۰	۴/۴۱۰۲۸	۱/۲

جدول (۲) مشخصات آماری رسوب معلق در ایستگاه‌های ایران مرکزی را نشان می‌دهد. ایران مرکزی با ساختار زمین‌شناسی متنوع خود بیشترین تنوع زمین‌ساختی را در مقایسه با دیگر حوضه‌های آبخیز کشور دارا می‌باشد (علایی طالقانی،

۱۳۹۲: ۱۶۵). در شمال شرقی حوضه در زیرحوضه‌ی کویر مرکزی بیشترین میزان رسوب در ایستگاه بن‌کوه بر روی رودخانه‌ی حبله‌رود برابر با  $۱۳۵۶۴۲/۳$  تن در سال به ثبت رسیده است. همچنین در این زیر حوضه کمترین میزان بار رسوبی در ایستگاه رویین  $۱۱۰۶/۴$  تن در سال می‌باشد. در شمال غربی حوضه در زیرحوضه‌ی دریاچه نمک بیشترین میزان بار رسوبی با مقدار  $۱۲۸۵۴۹/۱$  تن در سال در ایستگاه سیرا بر روی رودخانه‌ی کرج مشاهده می‌شود. همچنین کمترین میزان بار رسوبی این زیرحوضه در ایستگاه بن رود مشاهده می‌شود که میزان متوسط رسوب حمل شده در این ایستگاه برابر با  $۲۵/۳$  تن در سال است. در غرب حوضه در ایستگاه قلعه‌ی شاهرخ در حوضه‌ی گاوخونی حداکثر میزان رسوب سالانه به  $۲۴۱۸۵۷/۶$  تن در سال می‌رسد. همچنین میزان رسوب سالانه در ایستگاه چمریز بر روی رودخانه‌ی کر در غرب حوضه برابر با  $۱۸۴۶۵۴/۹$  تن در سال مشاهده و در جنوب حوضه در ایستگاه حسین آباد باز از مقدار بار رسوبی کاسته می‌شود که میزان رسوب سالانه ایستگاه به  $۳۱۳۰۶$  تن در سال می‌رسد.

جدول (۲) شاخص‌های آماری رسوب و نوسانات آن در ایستگاه‌های حوضه‌ی آبخیز ایران مرکزی بر حسب تن در سال

ایستگاه	میانگین	حداکثر	انحراف معیار	ضریب تغییرات
روح‌آباد	۱۴۸۶۵/۶	۷۰۷۹۰/۴	۲۴۶۱۰/۲	۱/۷
بن‌کوه	۱۳۵۶۴۲/۳	۸۰۰۱۹۳/۳	۲۱۴۹۵۱/۶	۱/۶
رویین	۱۱۰۶/۴	۶۴۹۴/۷۶	۱۶۳۹/۹	۱/۵
سیرا	۱۲۸۵۴۹/۱	۸۶۳۱۹۸/۹	۲۱۷۳۶۵/۱	۱/۷
رودک	۷۷۵۸۱/۵	۳۷۱۸۷۷/۴	۹۳۵۲۵/۷	۱/۲
بندشاه عباسی	۳۱۹۰۲/۶	۱۱۲۳۸۷/۱	۳۷۴۴۱	۱/۲
بن رود	۲۵/۳	۱۱۳/۶	۳۷	۱/۵
قلعه شاهرخ	۲۴۱۸۵۷/۶	۷۸۳۰۵۴/۹	۲۲۲۹۴۴	۰/۹
حسین‌آباد	۳۱۳۰۶/۵	۴۵۰۱۵/۵	۱۲۷۲۲/۲	۰/۴
چمریز	۱۸۴۶۵۴/۹	۷۶۴۹۴۷/۸	۲۵۱۸۷۶/۳۶	۱/۴



### – آزمون نموداری من-کندال رسوب در ایستگاه‌های حوضه‌های آبخیز

آماره نموداری من-کندال جهت آزمون معنی‌داری روند و آشکارسازی جهش در سری‌های زمانی با استفاده از مؤلفه  $U_i$  و  $U_i'$  ترسیم شد. نتایج مربوط به آزمون نموداری من-کندال میزان رسوب سالانه در حوضه‌های مورد مطالعه نشان داد که روند بارش، دبی و رسوب‌گذاری در طی دوره‌ی آماری مطالعه شده در بیشتر ایستگاه‌ها کاهشی بوده و در ایستگاه‌های کشتارگاه، درازلات، گیلوان و قره‌گونی در حوضه‌ی آبخیز خزر روند افزایشی داشته‌اند. در حوضه‌ی آبخیز ایران مرکزی نیز تنها ایستگاه قلعه شاهرخ روند افزایشی داشته است (جدول ۳).

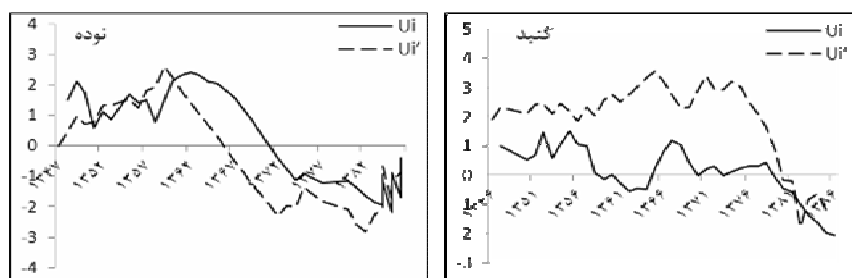
جدول (۳) نتایج خط روند بارش، دبی و رسوب بر اساس آزمون من کندال در ایستگاه‌های حوضه-های مورد مطالعه

نام حوضه	نام ایستگاه	روند بارش	روند دبی	روند رسوب
	گنبد	کاهشی	کاهشی	کاهشی
	نوده - خرمالو	کاهشی	کاهشی	کاهشی
	قزاقلی	کاهشی	کاهشی	کاهشی
	ریگ‌چشمه	افزایشی	افزایشی	بدون روند
	کشتارگاه	افزایشی	افزایشی	افزایشی
	هرات بر	کاهشی	کاهشی	کاهشی
دریای خزر	درازلات-طول لات	افزایشی	افزایشی	کاهشی
	لوشان	کاهشی	کاهشی	افزایشی
	گیلوان	افزایشی	افزایشی	افزایشی
	قره گونی	افزایشی	افزایشی	افزایشی
	ماشین خانه	کاهشی	کاهشی	کاهشی
	نیر	کاهشی	کاهشی	کاهشی
	تازه کند-اهرچای	کاهشی	کاهشی	کاهشی

ادامه‌ی (جدول ۳)

نام حوضه	نام ایستگاه	روند بارش	روند دبی	روند رسوب
	بن رود	کاهشی	کاهشی	بدون روند
	سیرا	کاهشی	کاهشی	کاهشی
	رودک	کاهشی	کاهشی	کاهشی
	قلعه شاهرخ	افزایشی	افزایشی	افزایشی
ایران	بند شاه عباسی	کاهشی	کاهشی	کاهشی
مرکزی	چمریز	کاهشی	کاهشی	بدون روند
	حسین آباد (صلح آباد)	کاهشی	کاهشی	افزایشی
	روح آباد	افزایشی	افزایشی	افزایشی
	بنکوه	بدون روند	کاهشی	کاهشی
	رویین	بدون روند	افزایشی	افزایشی

همانطوری که در شکل (۱) مشاهده می‌شود میزان رسوب در ایستگاه گنبد با تغییرات ناگهانی روبرو بوده، این تغییرات در داخل محدوده اطمینان صورت گرفته و معنی‌دار نمی‌باشد. میزان رسوب در ایستگاه نوده با تغییرات ناگهانی از سال ۱۳۵۱ شروع شده و سرانجام در سال ۱۳۶۰ به روند افزایشی معنی‌دار تبدیل شده، تا سال ۱۳۷۲ روند افزایشی ادامه داشته و در سال ۱۳۸۴ یک روند معنی‌دار و کاهشی در سری‌های زمانی رسوب در ایستگاه نوده مشاهده شده که تا پایان دوره‌ی آماري ادامه دارد. برای تمامی ایستگاه‌های مطالعه شده در این تحقیق نمودارهای آزمون من‌کنندال استخراج شده است ولی به دلیل محدودیت، تنها تعدادی از آنها در این بخش آورده شده است.



شکل (۱) تغییرات آماره‌های  $U$  و  $U'$  مجموع رسوب سالانه ایستگاه‌های گنبد و نوده

#### – تحلیل ارتباط و مدل رگرسیونی برآورد رسوب

در این بخش با استفاده از تحلیل رگرسیونی چندمتغیره و دخالت دادن متغیرهای بارش ( $X_1$ ) و دبی ( $X_2$ ) به عنوان متغیرهای مستقل و پارامتر رسوب به عنوان متغیر وابسته سعی گردید تا روابط بهینه و مدل رگرسیونی مربوطه استخراج گردیده و در پیش‌بینی مقادیر رسوب به کار گرفته شوند. نوسانات بارش بر میزان دبی و نیز تغییرات رواناب سطحی بر میزان بار رسوبی رود تأثیر به‌سزایی دارد که با تغییر در موقعیت جغرافیایی ایستگاه، میزان این تأثیر نیز تغییر می‌کند (علیزاده، ۱۳۸۸). عامل بارندگی در هر منطقه‌ای دارای تغییرات مکانی و زمانی می‌باشد که این تغییرات در نوسانات میزان آب‌دهی رودهای آن منطقه در بازه‌های زمانی و مکانی گوناگون اثری مستقیم دارد (عزیزی و رضانی‌پور، ۱۳۸۷). البته در این بین نباید از نقش خصوصیات مختلف حوضه از جمله زمین‌شناسی، توپوگرافی، خاک، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و غیره غافل ماند چرا که این عوامل بر نگره‌داشت سطحی نزولات جوی در حوضه و عدم تخلیه‌ی آن به جریان رودخانه‌ها تأثیر زیادی می‌تواند داشته باشند (علیزاده، ۱۳۸۸).

در جدول (۴) با استفاده از تحلیل رگرسیونی چندمتغیره و دخالت دادن متغیرهای بارش ( $X_1$ ) و دبی ( $X_2$ ) به عنوان متغیرهای مستقل و پارامتر رسوب به عنوان

متغیر وابسته سعی گردید تا روابط بهینه و مدل رگرسیونی مربوطه استخراج گردیده و در پیش‌بینی مقادیر رسوب به کار گرفته شوند. لذا در حوضه‌های مورد مطالعه رابطه‌ی بین بارش و رسوب سالانه مستقیم و معنادار بوده و با افزایش میزان بارش حجم رسوب سالانه نیز افزایش یافته همچنین با کاهش بارش از حجم رسوب سالانه نیز کاسته می‌شود.

جدول (۴) همبستگی متغیرهای بارش ( $xI$ ) و دبی ( $X2$ ) با رسوب ( $Y$ ) در ایستگاه‌های حوضه‌های

مورد مطالعه

نام حوضه	نام ایستگاه	همبستگی	معناداری	فرمول رگرسیون ( $Y=a+b_1x_1+b_2x_2$ )
دریای خزر	گنبد	۰/۹۴	۰/۰۰۰۰۲	$Y=-187363.4+13281.04X_1+361.5X_2-187363.4+13281.04X_1+361.5X_2$
	نوده-خرمالو	۰/۷۲	۰/۰۰۰۰۰۱	$Y=1251.8+20662.5X_1+55.7X_2$
	قزاقلی	۰/۸۸	۰/۰۰۰۰۰۴	$Y=-645309.3+40581.3X_1+888.76X_2$
	ریگ چشمه	۰/۲	۰/۰۰۳	$Y=-147309+318.8X_1+7339.2X_2$
	کشتارگاه	۰/۸۵	۰/۰۰۰۰۰۹	$Y=-279788+591.9X_1+1962.2X_2$
ایستگاه هیدروژئومورفولوژی در استان خراسان جنوبی	گنبد	۰/۹۴	۰/۰۰۰۰۲	$Y=-187363.4+13281.04X_1+361.5X_2-187363.4+13281.04X_1+361.5X_2$
	نوده-خرمالو	۰/۷۲	۰/۰۰۰۰۰۱	$Y=1251.8+20662.5X_1+55.7X_2$
	قزاقلی	۰/۸۸	۰/۰۰۰۰۰۴	$Y=-645309.3+40581.3X_1+888.76X_2$
	ریگ چشمه	۰/۲	۰/۰۰۳	$Y=-147309+318.8X_1+7339.2X_2$
	کشتارگاه	۰/۸۵	۰/۰۰۰۰۰۹	$Y=-279788+591.9X_1+1962.2X_2$
	هرات بر	۰/۷۴	۰/۰۰۰۰۰۸	$Y=-1559.9+1773X_1+13.9X_2$
	درازلات	۰/۴	۰/۰۰۰۰۰۲	$Y=-632211+556.1X_1+98.3X_2$
	لوشان	۰/۳۷	۰/۰۰۹	$Y=41045.4+17072.2X_1+2142.1X_2$
	گیلوان	۰/۵	۰/۰۰۰۰۳	$Y=-2753.5+413.9X_1+135.7X_2$
	قره‌گونی	۰/۸۲	۰/۰۰۰۰۰۴	$Y=-305188+16746X_1+879.5X_2$
	ماشین‌خانه	۰/۴	۰/۰۰۲	$Y=-16036.6+2157.9X_1+6.2X_2$
	نیر	۰/۹	۰/۰۰۰۰۰۱	$Y=-150.3+1721.7X_1+6.2X_2$
تازه‌کند	۰/۶	۰/۰۰۰۰۰۳	$Y=-48171.1+15797.9X_1+48.8X_2$	

ادامه‌ی جدول (۴)

نام حوضه	نام ایستگاه	همبستگی	معناداری	فرمول رگرسیون ( $Y=a+b_1X_1+b_2X_2$ )
ایران مرکزی	بن رود	۰/۱	۰/۰۹	$Y=-0.1+332.2X_1+0.03X_2$
	سیرا	۰/۴	۰/۰۰۰۰۴	$Y=-430932+22204.3X_1+489.5X_2$
	رودک	۰/۴	۰/۰۰۰۰۸	$Y=-101247+28697.9X_1+81.4X_2$
	قلعه شاهرخ	۰/۶	۰/۰۰۰۰۱	$Y=-23550+7104.9X_1+502.4X_2$
	بندشاهعباسی	۰/۶	۰/۰۰۰۰۱	$Y=3079.9+5575.8X_1+49.6X_2$
	چمریز	۰/۸	۰/۰۰۰۰۲	$Y=-192639+36117.6X_1+1197.9X_2$
	حسین‌آباد	۰/۷	۰/۰۰۱	$Y=7849.3+192.1X_1+133.9X_2$
	روح‌آباد	۰/۹	۰/۰۰۵	$Y=-70949.3+49018.2X_1+436.8X_2$
	بنکوه	۰/۸	۰/۰۰۰۰۶	$Y=-334631+137670.4X_1+4201.9X_2$
	رویبن	۰/۳	۰/۰۰۲	$Y=-482.4+11741X_1+17.6X_2$

#### – نقش نوع کاربری اراضی در رسوب‌دهی

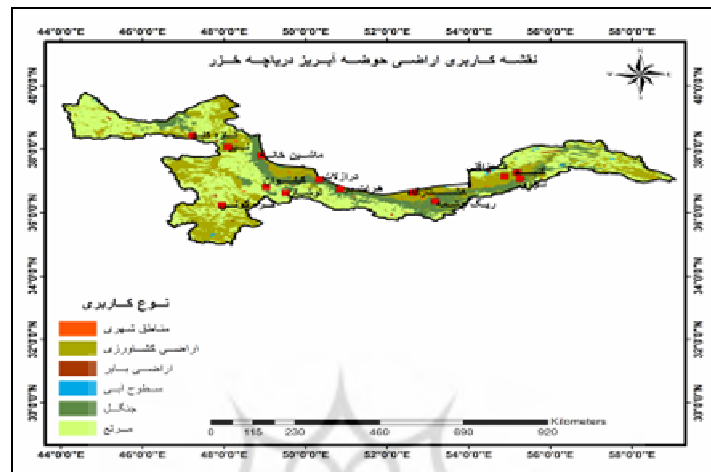
نوع کاربری زمین بر میزان بار رسوبی رود تأثیر زیادی دارد. بیشترین نوع کاربری زمین در حوضه‌ی قره‌سو و ران (یعنی حوضه‌ی گرگان‌رود) زمین‌های کشاورزی می‌باشند (شکل ۲). کشاورزی این منطقه بیشتر از نوع دیم بوده که این نوع کشاورزی معمولاً در جهت شیب صورت گرفته و باعث تشدید فرسایش می‌شود. با پیشروی به سمت جنوب خزر از میزان بار رسوبی رودها نسبت به شرق خزر کاسته می‌شود. در این ناحیه از خزر بر میزان پوشش جنگلی افزوده شده و بیشترین میزان کاربری را جنگل‌های متراکم به خود اختصاص داده است. در جنوب غرب دریاچه، مجدداً بر میزان بار رسوبی رود افزوده می‌شود، به طوری که در حوضه‌ی سفیدرود مساحت مناطق جنگلی به ۴ درصد می‌رسد. بیشترین نوع کاربری در این حوضه به مراتع (۵۱ درصد از مساحت حوضه) تعلق دارد که بیشتر از نوع مراتع متوسط بوده

و به دلیل عدم وجود پوشش گیاهی متراکم میزان دبی افزایش یافته و در پی آن بر میزان بار رسوبی رودخانه‌ها نیز افزوده می‌شود (رفاهی، ۱۳۸۸).

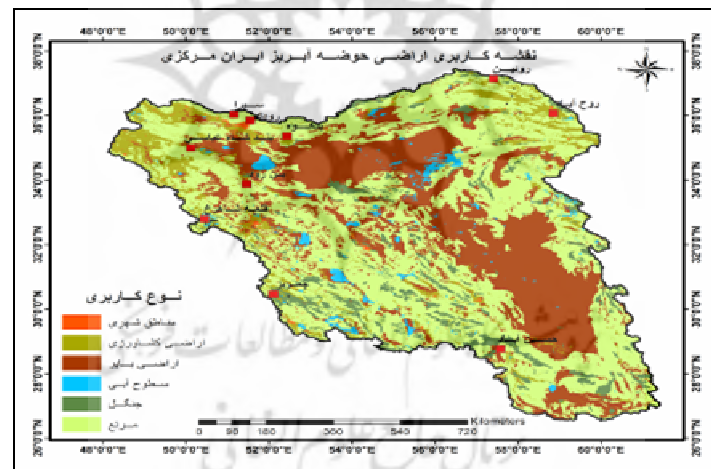
در حوضه‌ی آبخیز ایران مرکزی در همه‌ی زیرحوضه‌ها بیشترین میزان کاربری زمین به بخش مرتع تعلق دارد که عمدتاً از نوع مراتع فقیر می‌باشند (شکل ۳). از دیگر ویژگی‌های ایران مرکزی گستره‌ی وسیع زمین‌های بایر و لم‌یزرع می‌باشد که در تمامی زیرحوضه‌های سهم قابل توجهی را به خود اختصاص داده است. در ایران مرکزی به دلیل شرایط زمین‌شناسی و کم بودن آب در دسترس برای مصارف گوناگون کشاورزی گسترش کمی یافته است.

#### – نقش نوع زمین‌شناسی در رسوب‌دهی

از نظر زمین‌شناسی در شرق حوضه‌ی خزر در حوضه‌ی قره‌سو و ران، بیشترین پوشش زمین را سنگ‌های با درجه سختی VIII تشکیل داده‌اند که جزء سنگ‌های پودری می‌باشند که ۳۶ درصد از مساحت حوضه را در بر گرفته و شامل رسوبات ماندابی و باتلاقی (خاک تورب)، خاک زراعتی و غیره می‌باشند که قابلیت فرسایش فراوانی دارند (شکل ۴).

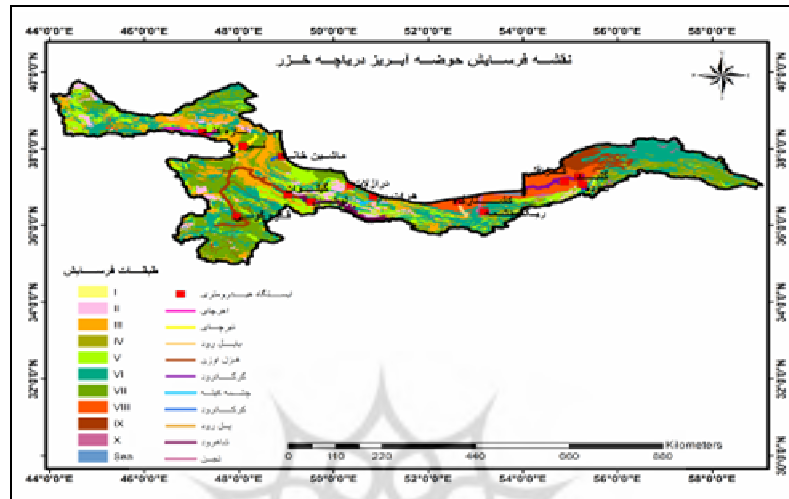


شکل (۲) نقشه کاربری اراضی در سطح حوضه‌ی آبخیز دریای خزر



شکل (۳) نقشه کاربری اراضی در حوضه‌ی آبخیز ایران مرکزی

مقاوم‌ترین سنگ‌ها در حوضه‌ی آبخیز تالش مشاهده می‌گردد. در حوضه‌ی ارس بیشترین جنس زمین مربوط به سنگ‌های با درجه‌ی سختی VI (۲۶ درصد) می‌باشد.



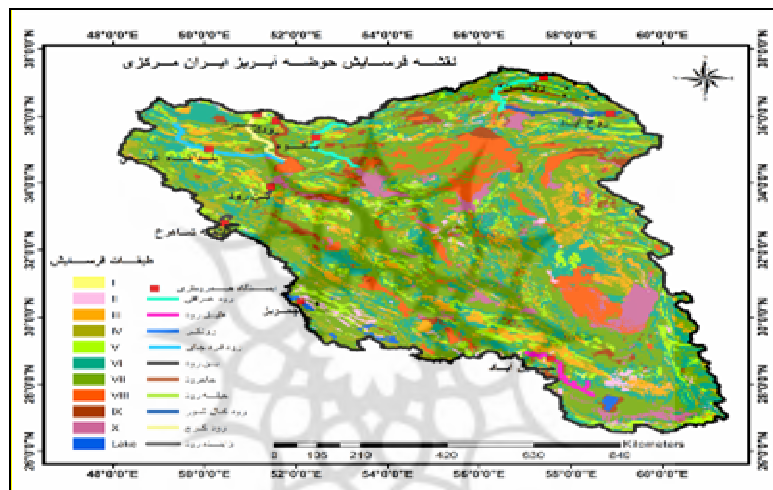
شکل (۴) نقشه‌ی فرسایش حوضه‌ی آبخیز خزر

پیکره‌ی زمین‌شناسی ایران مرکزی به دلیل وجود زون سنندج - سیرجان، همچنین وجود پوسته قدیمی از دوران کامبرین تا زمان کواترنر از تنوع بالایی در مقایسه با دیگر حوضه‌های آبخیز کشور برخوردار است. در قسمت‌های مرکزی ایران و شرق حوضه به دلیل گسترش رسوبات نرم شرایط برای فرسایش مساعدتر می‌باشد (علایی طالقانی، ۱۳۸۲). رود کالشور در شمال شرقی حوضه‌ی آبخیز ایران مرکزی در زیرحوضه‌ی کویر مرکزی قرار گرفته است. همچنین وسعت زمین‌های بدون پوشش و لم‌یزرع در این حوضه به ۳۵ درصد از مساحت حوضه می‌رسد که شامل شوره‌زار، نم‌زار و تپه‌های ماسه‌ای می‌باشند که عدم پوشش گیاهی مناسب باعث برخورد مستقیم قطرات باران با سطح زمین شده، همچنین وجود رسوبات تبخیری در این حوضه خود باعث افزایش میزان بار رسوبی رودخانه می‌گردد (شکل ۵).



**– نقش میزان شیب در رسوب‌دهی**

در حوضه‌ی آبخیز دریاچه خزر ۴۸/۵ درصد از مساحت حوضه در شیب ۰ تا ۵ درصد قرار گرفته است. همچنین در این حوضه آبخیز ۲۸ درصد از مساحت حوضه در شیب ۵ تا ۱۵ درصد قرار گرفته است.

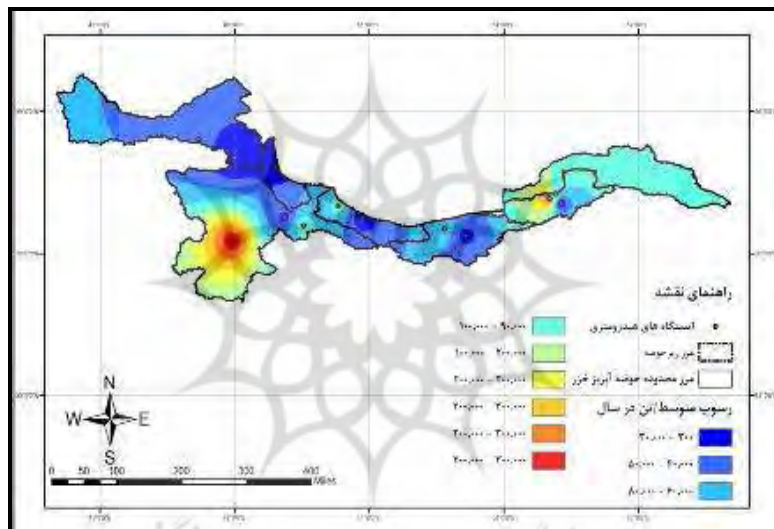


شکل (۵) نقشه‌ی فرسایش در حوضه‌ی آبخیز ایران مرکزی

کمترین مساحت به شیب بیشتر از ۴۵ درصد تعلق دارد که ۰/۰۰۰۰۷ درصد از مساحت حوضه‌ی آبخیز دریاچه خزر را به خود اختصاص داده است. در حوضه‌ی آبخیز ایران مرکزی ۶۸/۲ درصد از مساحت حوضه در شیب ۰ تا ۵ درصد قرار گرفته است همچنین در این حوضه آبخیز ۱۹/۴ درصد از مساحت حوضه در شیب ۵ تا ۱۵ درصد قرار گرفته است. کمترین مساحت حوضه با میزان ۱ درصد در شیب بیشتر از ۴۵ درصد مستقر می‌باشد.

### – توزیع فضایی رسوب در سطح حوضه‌ی آبخیز خزر

در حوضه‌ی آبخیز خزر، بیشترین میزان بار رسوبی در حوضه‌ی آبخیز قره‌سو و ران در ایستگاه قزاقلی سپس در حوضه‌ی سفیدرود در ایستگاه قره‌گونی مشاهده می‌گردد. کمترین میزان بار رسوبی در حوضه‌ی آبخیز خزر در حوضه تالش و ایستگاه‌های جنوبی خزر مشاهده شد (شکل ۷).



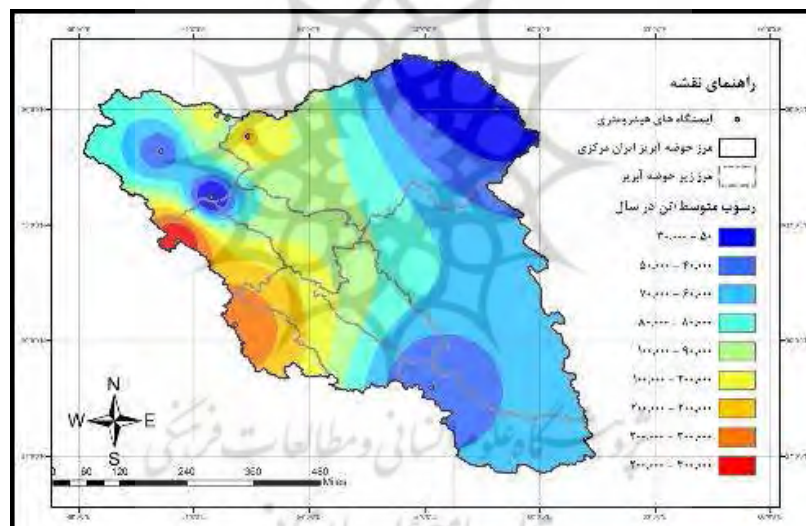
شکل (۷) توزیع فضایی بار رسوبی در سطح حوضه‌ی آبخیز دریای خزر

ایران مرکزی با ساختار زمین‌شناسی متنوع خود بیشترین تنوع زمین‌ساختی را در مقایسه با دیگر حوضه‌های آبخیز کشور دارا می‌باشد. در شمال شرقی حوضه در زیرحوضه کویر مرکزی بیشترین میزان رسوب در ایستگاه بن‌کوه به ثبت رسیده است. در گوشه شمال شرقی ایران بیشترین میزان بار رسوبی در ایستگاه پل خاتون و کمترین میزان رسوب در ایستگاه کرتیان دیده می‌شود. ایران مرکزی بیشتر از

رسوبات سست تبخیری پوشیده شده است و با افزایش میزان رواناب سطحی بر میزان بار رسوبی نیز افزوده می‌شود. در حوضه‌ی آبخیز ایران مرکزی بیشترین میزان رسوب در غرب حوضه در ایستگاه‌های قلعه شاهرخ و چمریز و کمترین میزان رسوب در شمال و جنوب حوضه مشاهده می‌شود (شکل ۷).

### نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر به منظور مقایسه رسوب معلق در حوضه‌های آبخیز دریای خزر با اقلیم مرطوب و ایران مرکزی با اقلیم خشک کشور صورت پذیرفت.



شکل (۷) توزیع فضایی بار رسوبی در حوضه‌ی آبخیز ایران مرکزی

بنابه یافته‌های این تحقیق حوضه خزر به دلیل واقع شدن در مسیر سیستم‌های باران‌زای سیبری و مدیترانه و تحت تأثیر قرار گرفتن از ارتفاعات البرز پرآب‌ترین رودهای کشور را در خود جای داده در نتیجه بیشترین میزان رسوب معلق در تمامی

سطح کشور در این نواحی مشاهده و ثبت گردیده است. بر خلاف آن حوضه‌ی آبخیز ایران مرکزی با توجه به میزان کم بارش و به تبع آن جریان رواناب کمتر، میزان رسوب کمتری را تولید می‌کند. نتایج حاصل از آزمون همبستگی نشان داد که رابطه و همبستگی قوی بین دو پارامتر بارش و رسوب وجود دارد به طوری که نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیقات کلوو (۱۹۸۳)، خوش‌رفتار و مازینی (۱۳۹۰) مغایرت دارد و در مقابل با نتایج کارهای مانو و همکاران (۲۰۰۹)، فرارسی (۱۹۹۰) و میرابوالقاسمی و مرید (۱۳۷۴) همخوانی دارد. با توجه به نتایج حاصله از مدل رگرسیون چندمتغیره، بین متغیرهای بارش، دبی و رسوب سالانه در حوضه‌های مورد مطالعه رابطه‌ی معنادار و مستقیم وجود داشته و مدل‌های نسبتاً خوبی از روابط متغیرهای بارش، دبی و رسوب معلق به دست آمد. این با نتیجه کار تلوری و همکارانش (۱۳۸۶) که هیچ‌گونه رابطه‌ی معتبری ما بین دبی و رسوب‌دهی در حوضه‌ی آبخیز گاران پیدا نمودند مغایرت نشان داد و در مقابل با نتایج رومن و همکاران (۲۰۱۰) و کلوو و همکاران (۱۹۹۷) همخوانی دارد. نتایج تحقیق فرج زاده و قره‌چورلو (۱۳۹۰) حاکی از همبستگی بسیار ضعیف متغیر بارش متوسط با متوسط رسوب معلق در ایستگاه‌های مورد مطالعه بود. در مقابل متغیر دبی همبستگی متوسط و معنی‌داری با میزان رسوب معلق داشت و در بهترین حالت بیش از ۵۲ درصد تغییرات رسوب‌دهی را تبیین نمود. در حالی که در مطالعه‌ی حاضر همبستگی بالایی بین میزان رواناب و رسوب معلق در حوضه‌های مورد مطالعه دیده شد.

بر اساس توزیع فضایی رسوب، در حوضه‌ی آبخیز ایران مرکزی بیشترین میزان رسوب در غرب حوضه در ایستگاه‌های قلعه شاهرخ و چمریز و کمترین میزان رسوب در شمال و جنوب حوضه مشاهده می‌شود. در حوضه‌ی آبخیز خزر، بیشترین میزان بار رسوبی در حوضه‌ی آبخیز قره‌سو و ران در ایستگاه قزاقلی سپس در حوضه‌ی

سفیدرود در ایستگاه قره‌گونی مشاهده می‌گردد. کمترین میزان بار رسوبی در حوضه‌ی آبخیز خزر در حوضه‌ی تالش و ایستگاه‌های جنوبی خزر مشاهده شد. در نهایت پیشنهاد می‌شود جهت دستیابی به روابط دقیق‌تر متغیر بارش با رسوب‌دهی در حوضه‌ها از خصوصیات مهم بارش چون شدت و مدت بارندگی در تحلیل‌های رگرسیونی استفاده گردد.



## منابع

- امامی، احسان (۱۳۸۷)، بررسی مدل منطقه‌ای رسوب با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و مقایسه آن با رگرسیون چندمتغیره، مقالات دومین کنفرانس ملی نیروگاه‌های آبی کشور، تهران: شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران.
- بهرامی، محمد و علی رحیمی (۱۳۸۷)، برآورد حجم رسوب ناشی از فرسایش در حوضه‌ی آبخیز کرد شیخ به روش‌های تجربی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، فصلنامه‌ی زمین‌شناسی کاربردی، شماره‌ی ۲، صص ۱۸-۳۵.
- تلوری، عبدالرسول، بیرویدیان، نادر و اسماعیل منوچهری (۱۳۸۵)، مدل‌سازی تغییرات زمانی رسوب در حوضه‌ی آبخیز گاران در استان کردستان، پژوهش و سازندگی، شماره‌ی ۷۵، صص ۶۴-۷۰.
- خداشناس، رضا، قهرمان، بیژن، داوری، کامران و حسن ناظریان (۱۳۸۷)، ارائه مدل‌های رگرسیونی چندمتغیره برآورد رسوب در حوضه‌های شمال استان خراسان، مجله‌ی آب و خاک، جلد ۲۲، شماره‌ی ۲، صص ۱۵۰-۱۶۴.
- خوش‌رفتار، رضا و فرشته مازینی (۱۳۹۰)، بررسی آماری دبی و رسوب حوضه‌ی آبخیز قره‌سو (استان گلستان)، فصلنامه‌ی فضای جغرافیایی، دوره‌ی ۱۱، شماره‌ی ۳۳، صص ۱۰۱-۱۲۱.
- فرج‌زاده، منوچهر و مرتضی قره‌چورلو (۱۳۹۰)، تحلیل مکانی و زمانی رسوب معلق در حوضه‌ی آبخیز قره‌سو، پژوهش‌های فرسایش محیطی، شماره‌ی ۳، صص ۶۱-۸۳.
- کاویانی، محمدرضا و بهلول علیجانی (۱۳۸۳)، مبانی اقلیم‌شناسی، تهران، انتشارات سمت.

- موسوی، سیدفرهاد؛ حیدرپور، منوچهر و سعید شعبانلو (۱۳۸۵)، بررسی رسوب در مخزن سد زاینده‌رود با استفاده از مدل‌های تجربی افزایش و کاهش سطح، نشریه‌ی آب و فاضلاب اصفهان، شماره‌ی ۵۷، صص ۷۶-۸۲.
- میرابوالقاسمی، هادی و سعید مرید (۱۳۷۴)، بررسی رسوب‌خیزی حوضه‌ی آبخیز رودخانه‌ی کرخه و برخی عوامل مؤثر بر آن، مجموعه مقالات اولین همایش ملی فرسایش و رسوب، تهران: معاونت آبخیزداری وزارت جهاد سازندگی، صص ۴۶۱-۴۷۵.
- وروانی، جواد؛ فیض‌نیا، سادات؛ احمدی، حسن و محمد جعفری (۱۳۸۶)، ارزیابی کارایی مدل‌های تجربی برآورد رسوب حوزه‌های آبخیز در زمان سیلاب‌های منفرد و ارائه‌ی ضرائب اصلاحی، نشریه دانشکده‌ی منابع طبیعی، دوره‌ی ۶۰، شماره‌ی ۴، صص ۱۲۲۵-۱۲۳۹.
- Anderson, W., (2015), **Relation of reservoir sedimentation to catchment's attributes, landslide potential, geologic fault and predicted density**, I' Assosiation Internationale des Sciences Hydrologiques symposium de Tokyo, PP. 75-86.
- Bobrovistkaya, Nelly. N., Kokorev, Alexander V., and Lemeshko, Nataly, (2003), **Regional patterns in recent trends in sediment yields of Eurasian and Siberian rivers**, Global and Planetary Change 39: 127-146.
- Feiznia, S., (1995), **Stone resistance again erosion in various Iran climates**, Journal of Iran natural resources, No. 95: PP: 95-112.
- Ferraresi, M. (1990), **The regionalization of fluvial sediment yield in Emilia Romagna (northern Italy)**, International symposium on regionalization in hydrology, Ljubljana, IAHS publish, Vol. 191: PP. 253-260.
- Janson, J.M.L., R.B. Painter. (2016), **Prediction of sediment yield from climate and topography**, Journal of Hydrology, 21: PP.371-380.

- Mano, V, Nemery, J, Belleudy, Ph and Poiriel, A, (2009), **Assessment of suspended sediment transport in four alpine watersheds (France): influence of the climatic regime**, Hydrology Journal, Process 23: PP. 777–792.
- Molina, A , Govers, G, Poesen, J, Van Hemelryck, H, Bièvre, B.D, Vanacker, V, (2008), **Environmental factors controlling spatial variation in sediment yield in a central Andean mountain area**, Geomorphology, 98: PP. 176-186.
- Restrepo, Juan.d, Kgerfve, Björn, Hermelin, Michel. Restrepo, Juan.c, (2006), **Factors controlling sediment yield in a major South American drainage basin: the Magdalena River, Colombia**, Journal of Hydrology 316: 213-232.
- Roman, David C., Vogel, Richard M. and Schwarz, Gregory E. (2010), **Multivariate models of watershed suspended sediment loads for the Eastern United States**, Urban Water Resources Research Council - 7th Urban Watershed Management Symposium, PP. 3133-3144.
- Rompaey, A.V., Bazzoffi, P., Jones, R.J.A., Montanarella, L., (2015), **Modeling sediment yields in Italian catchments**, Journal of Geomorphology, 65, PP. 157–169.
- Tramblay, Yves. St-Hilaire, Andre and Ouarda, Taha B.M.J. (2008), **Frequency analysis of maximum annual suspended sediment concentrations in North America**, Hydrological Sciences Journal 53: PP. 236-252.
- Yang, S.L.; Shi, Z.; Zhao, H.Y.; Li, P.; Dai, S.B.; Gao, A. (2004), **Effects of human activities on the Yangtze suspended sediment flux into the estuary in the last century**, Hydrology and Earth System Sciences 8(6): PP. 1210-1216.