

تجزیه و تحلیل پتانسیل سیل خیزی و تولید رواناب حوضه آبخیز سد شهید رجایی ساری بر اساس GIS و رویکرد سنجش از دور

امیرحسین اسفندیاری^۱، فرهاد قادری^{۲*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

^۲ دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

دریافت: ۱۴۰۱/۵/۱۹، بازنگری: ۱۴۰۱/۸/۲۳، پذیرش: ۱۴۰۱/۹/۱۲، نشر آنلاین: ۱۴۰۱/۹/۱۲

چکیده

هدف این مطالعه تجزیه و تحلیل پتانسیل سیل خیزی و تولید رواناب حوضه آبخیز سد شهید رجایی ساری بر اساس GIS (Geographic Information System) و رویکرد سنجش از دور است. در این مطالعه سنجش فرسایش پذیری خاک بر اساس مدل جهانی هدررفت خاک با پارامترهای ورودی فرسایش پذیری باران، فرسایش پذیری خاک، فاکتورهای توپوگرافی: طول و درجه شیب، مدیریت پوشش اراضی، عملیات حفاظتی انجام شد. بدین منظور قبل از تولید نتایج این فاکتورها در ابتدا داده‌های ورودی از جمله DEM (Digital Elevation Model)، شیب، لایه زمین‌شناسی، لایه کاربری زمین، بارش، خاک، شاخص پوشش گیاهی تهیه شد و الگوی توزیع مکانی آن‌ها در محدوده مورد مطالعه توصیف و تحلیل شد. نتایج نشان داد شدت فرسایش پذیری باران در نواحی شمال غربی محدوده مورد مطالعه بیشتر از بقیه بخش‌های آن است. مقادیر فاکتور پوشش اراضی در اراضی جنگلی متراکم و نواحی بدون فرسایش، صفر و نزدیک به صفر و در اراضی با فرسایش پذیری بالاتر شامل مراتع تخریب یافته و کوه‌های بدون پوشش گیاهی و نسبتاً لغت تا ۰/۴۲ بود. بخش‌هایی از جنوب و جنوب غربی حوضه بیش از ۹۰۰۰ تن در هکتار در سال فرسایش داشت. نتایج آزمون همبستگی پیرسون نشان داد که در سطح اطمینان ۹۹ درصد ارتباط بین پتانسیل سیل خیزی منطقه با فاکتور فرسایش خاک از نظر آماری مستقیم و معنادار است. نتیجه‌گیری کلی حاکی از آن است که تکنیک‌های سنجش از دور و GIS در صورت تلفیق با مقادیر سنجش میدانی پارامترهای مورد مطالعه، می‌تواند در حوضه مطالعات محیط‌زیستی رشته مهندسی عمران کاربردهای زیادی داشته باشد.

کلیدواژه‌ها: GIS، رواناب، سنجش از دور، فرسایش خاک.

۱- مقدمه

Qaderi، ۲۰۱۹). محمدنژاد و همکاران (۱۳۹۸) پهنه‌بندی مخاطره سیلاب را در حوضه رودخانه مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که به ترتیب عوامل هیدرولوژی (رواناب، تراکم زهکشی، فاصله از آبراهه)، عوامل زمین‌شناسی (لیتولوژی)، ارتفاع و شیب مهم‌ترین نقش را در وقوع مخاطره سیلاب در این منطقه داشتند. Elsadek و همکاران (۲۰۱۹) خطر رواناب حوضه آبخیز Qena در مصر را بر اساس GIS و رویکرد سنجش از دور مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج نشان داد نقشه نهایی خطر سیل می‌تواند اقدامات مناسبی را برای کاهش خطرات سیل در منطقه آغاز کند و به مدیریت آبخیزداری کمک کند.

در استان مازندران و حوضه آبخیز سد شهید رجایی ساری در رابطه با تجزیه و تحلیل پتانسیل سیل خیزی حوضه آبخیز سد شهید رجایی ساری تاکنون مطالعه‌ای صورت نگرفته است. با توجه

در مهندسی محیط زیست منابع آب بسیار مهم هستند (Babanezhad و همکاران، ۲۰۱۷؛ Qaderi و همکاران، ۲۰۱۸). آلودگی می‌تواند به عرصه‌های مختلف محیط زیست آسیب برساند (Ebrahimi و Qaderi، ۲۰۲۱؛ Ebrahimi Ghadi و همکاران، ۲۰۱۹؛ Dabbaghi و همکاران، ۲۰۲۱) که یکی از این عرصه‌ها منابع آب هستند (Qaderi و Yavari، ۲۰۲۰)، بنابراین محققین متعددی در مورد حفاظت از محیط زیست در سال‌های اخیر تحقیقات متفاوتی انجام داده‌اند (Qaderi و Moghadam، ۲۰۱۹؛ Taghizadeh و همکاران، ۲۰۱۹؛ Sheikhholeslami و همکاران، ۲۰۲۰). یکی از موارد آسیب‌زننده به محیط زیست سیل است که می‌تواند باعث فرسایش خاک شود و خاک در زندگی بشر بسیار مهم است (Qaderi و Tamadoni، ۲۰۱۹؛ Khalegh و

* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۹۱۲۸۱۴۴۶۰۹

که در رابطه (۱) پارامترها عبارتند از، E مقدار فرسایش خاک، R فاکتور فرساینده باران، K فاکتور فرسایش پذیری خاک، L طول شیب، S درجه شیب، C عامل مدیریت پوشش، P فاکتور عملیات حفاظتی.

۲-۲-۱- محاسبه پارامتر L و S

این دو عامل تأثیر توپوگرافی بر فرسایش خاک در یک منطقه را منعکس می‌کند. در تحقیق حاضر عامل‌های L و S با استفاده از معادله Desmet و Govers (۱۹۹۶) استفاده شده است. از لایه رستری DEM^۱ و مدل‌سازی در نرم‌افزار GIS به منظور محاسبه فاکتورهای L و S استفاده شد.

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m$$

$$m = \frac{F}{1 + F}$$

$$F = \frac{\sin \beta / 0.0896}{3(\sin \beta)^{0.8} + 0.56}$$

که در روابط بالا λ امتداد طول شیب در سطح افقی نسبت به امتداد آن در سطح شیب‌دار، m توان طول شیب و β درجه شیب می‌باشد. (/)

۲-۲-۲- محاسبه فاکتورهای C و P

عامل مدیریت پوشش (C) نسبت خاک فرسایش یافته در شرایط اجرای مدیریت پوشش گیاهی به فرسایش ایجاد شده در شرایط ایده‌آل یا مطلوب یعنی شخم در جهت شیب است که مقدار آن بین صفر و یک متغیر است. در تحقیق حاضر، مقدار C با استفاده از مقادیر پیشنهادی Yang و همکاران (۲۰۰۳) و Shin (۱۹۹۹) محاسبه شده است (جدول (۱)).

جدول ۱- مقادیر پیشنهادی برای عوامل C و P

| نوع کاربری | عامل C | عامل P |
|---------------|----------|----------|
| مناطق مسکونی | ۰/۱ | ۱ |
| اراضی کشاورزی | ۰/۳۲۲ | ۰/۵ |
| اراضی دیمی | ۰/۱ | ۰/۵ |
| اراضی آبی | ۰/۵ | ۰/۵ |
| جنگل | ۰/۰۰۱ | ۱ |
| مرتع | ۰/۲ | ۱ |
| مرداب | ۰/۰۵ | ۱ |
| اراضی بایر | ۰/۳۵ | ۱ |
| آب | ۰/۰۱ | ۱ |

به این که استان مازندران یکی از مناطق سیل‌خیز ایران محسوب می‌شود و مطالعه خطر سیل برای استفاده مناسب از زمین در مناطق مستعد سیلاب بسیار ضروری می‌باشد (Elsadek و همکاران، ۲۰۱۹) و همچنین با توجه به این که تکنیک سنجش از دور و ابزار GIS امکانات جدیدی را برای تحقیقات هیدرولوژیکی فراهم کرده است، این مطالعه در پی استفاده از این دو ابزار کارآمد (GIS و سنجش از دور) در تجزیه و تحلیل خطرات زیست محیطی رواناب این حوضه می‌باشد.

۲- روش تحقیق

در این مطالعه لایه‌های اطلاعاتی مختلف برای حوضه سد شهید رجایی ساری تهیه شدند. داده‌های متغیرهای ورودی شامل شاخص پوشش گیاهی، شیب، مقدار بارش متوسط، مقدار شدت بارش نیم ساعته و یک ساعته، ارتفاع از سطح دریا، پارامترهای زمین‌شناسی و کاربری اراضی به عنوان ورودی به GIS داده شدند و خروجی نیز مقدار فرسایش بود.

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

این مطالعه در حوضه آبخیز سد مخزنی شهید رجایی واقع در استان مازندران صورت گرفت. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی سد شهید رجایی را نشان می‌دهد.



شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی سد شهید رجایی ساری

۲-۲- برآورد فرسایش خاک

برای برآورد فرسایش خاک از معادله جهانی RUSLE استفاده شد. مقدار هدررفت خاک در معادله RUSLE با استفاده از رابطه (۱) در حوضه محاسبه می‌شود (قهرمانی، ۱۳۹۱).

$$E = R * K * L * S * C * P \quad (1)$$

در این رابطه I شدت بارندگی (سانتی‌متر در ساعت) است.

$$E=0.283 \quad (۸)$$

که رابطه (۷) برای شدت بارندگی‌های کوچک‌تر و مساوی ۷۶ میلی‌متر در ساعت و رابطه (۸) برای شدت‌های بالاتر از ۷۶ میلی‌متر در ساعت به کار می‌رود (قهرمانی، ۱۳۹۱).

پس از محاسبه تمام فاکتورهای ورودی، نقشه تلفات خاک^۲ و پتانسیل فرسایش خاک با استفاده از رابطه (۹) تهیه شد. که در این معادله A مقدار هدررفت طبیعی خاک بر حسب تن در هکتار در سال است.

$$A=R*K*L*S*C*P \quad (۹)$$

به‌منظور تهیه نقشه نهایی فرسایش خاک ابتدا همه عوامل مدل RUSLE شامل S, C, R, K, L و P به صورت نقشه‌های رستری و اندازه سلول ۷۰ متری تهیه شدند و سپس با ضرب همه این لایه‌ها میزان فرسایش خاک در سطح پیکسل محاسبه و نقشه نهایی فرسایش خاک به‌دست آمد. سپس با میانگین‌گیری از مقادیر فرسایش هر یک از پیکسل‌ها میانگین فرسایش برای کل حوضه مورد نظر در محیط نرم‌افزار GIS برآورد شد (الوندی، ۱۳۹۸).

۲-۳-۲- تهیه لایه‌های اطلاعاتی مختلف با استفاده از داده-

های سنجش از دور و GIS

عوامل گفته شده در روش تحقیق در قالب لایه‌های اطلاعاتی در نظر گرفته شدند. با توجه به متفاوت بودن این عوامل در سطح حوضه، این لایه‌ها هرکدام دارای کلاس‌های مختلفی هستند که به این کلاس‌ها با توجه به ویژگی‌های آن‌ها و بر اساس میزان و نحوه تأثیرشان در ایجاد رواناب (تأثیر مثبت یا منفی) یک امتیاز داخلی و منحصربه‌فرد داده شد. این لایه‌ها با استفاده از اطلاعات و داده‌های مربوط به سنجش از دور، نقشه‌های توپوگرافی، نقشه زمین‌شناسی و بازدید صحرایی تهیه شدند.

۲-۳-۱- تهیه لایه پوشش گیاهی (NDVI)^۲

مقدار لایه پوشش گیاهی (NDVI) برای هر پیکسل با استفاده از باندهای قرمز و مادون قرمز طیف تصاویر ماهواره‌ای به‌صورت رابطه (۱۰) است (قهرمانی، ۱۳۹۱):

$$NDVA = NIR-RED / NIR+RED \quad (۱۰)$$

برای تهیه لایه پوشش گیاهی (NDVI) از اطلاعات سنجش از دور و GIS استفاده شد؛ بدین‌منظور از تصاویر ماهواره لندست ۸

فاکتور عملیات حفاظتی (P) نسبت خاک فرسایش یافته در شرایط انجام عملیات حفاظتی به فرسایش ایجاد شده در شرایط ایده‌آل یعنی شخم در جهت شیب است. عامل P نیز بین صفر و یک متغیر است. برای محاسبه این عامل نیز از مقادیر پیشنهادی Dawen و همکاران (۲۰۰۶) استفاده شد (جدول (۲)).

جدول ۲- ارزش P برای کاربری و پوشش اراضی مختلف

| ارزش عددی P | کلاس کاربری/ پوشش اراضی |
|-------------|-------------------------|
| ۱ | اراضی بایر |
| ۰/۸ | جنگل تنک |
| ۱ | اراضی آیش |
| ۰/۸ | جنگل با تراکم متوسط |
| ۰/۸ | جنگل باز |
| ۱ | بستر رودخانه |

۲-۲-۳- فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (K)

فرسایش‌پذیری، حساسیت خاک نسبت به فرسایش است. این پارامتر میزان مقاومت خاک در مقابل جداسازی و انتقال توسط عوامل فرساینده را نشان می‌دهد. بهترین روش اندازه‌گیری آن استفاده از پلات‌های استاندارد است. پلات استاندارد پلاتی است به طول ۲۲/۱ متر و عرض ۱/۸۳ متر با شیب یکنواخت ۹ درصد آیش پیوسته و شخم خورده در جهت شیب. در چنین پلات‌هایی عوامل S, C, P و R در مدل RUSLE برابر یک در نظر گرفته می‌شوند و عامل فرسایش‌پذیری از تقسیم تلفات خاک (A) بر عامل فرسایش‌پذیری (R) به‌دست می‌آید (رابطه (۵)) (قهرمانی، ۱۳۹۱).

$$K=A/R \quad (۵)$$

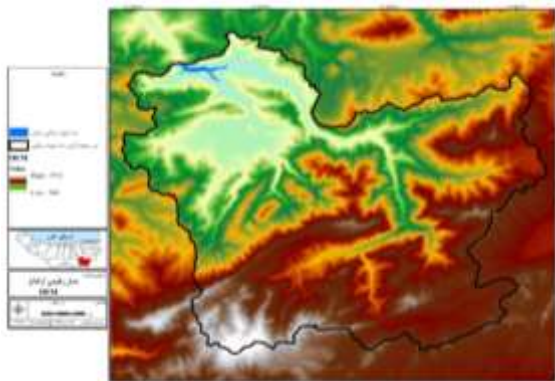
۲-۲-۴- فاکتور فرسایش‌پذیری باران (R)

بارندگی یکی از متغیرهای مهم آب و هوایی مؤثر در فرآیندهای هیدرولوژیکی پیچیده در سطح زمین است. رابطه (۶) توسط Wischmeier و Smith در سال ۱۹۷۸ ارائه شده برای محاسبه R ارائه شده است:

$$R=(E, I_{30}) \quad (۶)$$

در این رابطه، I_{30} حداکثر شدت بارندگی ۳۰ دقیقه‌ای (میلی‌متر در ساعت) و E انرژی جنبشی باران (ژول بر مترمربع در سال) است که مقدار آن را می‌توان از روابط زیر به‌دست آورد:

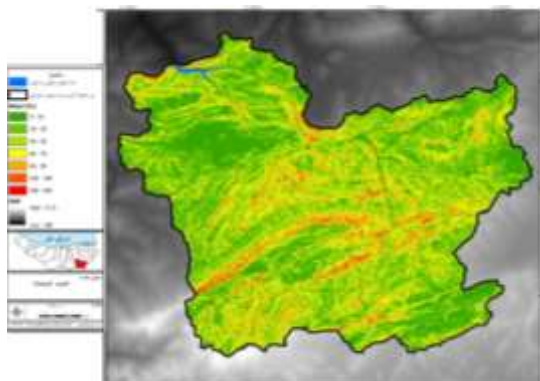
$$E=210.2+89\log I \quad (۷)$$



شکل ۲- نقشه الگوی توزیع فضایی مدل رقومی ارتفاع (DEM)

۲-۱-۳- الگوی توزیع فضایی شیب

در این تحقیق لایه شیب بر مبنای مدل رقومی ارتفاع (DEM) در نرم افزار GIS به دست آمده است که نتایج آن در شکل (۳) به صورت الگوی توزیع فضایی شیب (بر حسب درصد) نشان داده شده است. در نقشه مذکور نقاط با طیف رنگی سبز نشان گر پایین بودن درصد شیب و نقاط با طیف رنگی قرمز نیز شدت شیب را بر حسب درصد نشان می دهد.



شکل ۳- الگوی توزیع فضایی شیب (بر حسب درصد)

۳-۱-۳- اندازه گیری بارش متوسط سالانه

برای اندازه گیری بارش متوسط سالانه در این تحقیق از داده های میانگین بارندگی ۵ ساله ۹۴ تا ۹۸ چهار ایستگاه های باران سنجی ساری، قائم شهر، سپیدرود و کیاسر اداره کل هواشناسی استان مازندران بهره گرفته شد. میانگین بارندگی برای ایستگاه های مذکور در جدول (۳) ارائه شده است. به منظور تخمین میانگین بارش سالانه در کل محدوده مطالعه با استفاده از داده های مذکور از روش درون یابی فاصله وزنی معکوس (IDW)^۵ استفاده شد که نتایج آن در شکل (۴) نشان داده شده است.

استفاده شد. از NDVI برای تبدیل داده های چند طیفی به یک تصویر تک بانندی استفاده شد که این تصویر تک بانندی نشان دهنده توزیع پوشش گیاهی است. این شاخص مقادیری بین ۱- و ۱ دارد و مقادیر کم نشان دهنده زمین لخت، مناطق مسکونی و آب است. برای محاسبه این شاخص از تصاویر سنجنده OLI^۴ حاصل از سنجنده ماهواره لندست ۸ استفاده شد.

۲-۳-۲- تهیه پارامتر ارتفاع

به منظور تهیه این معیار از نقشه های توپوگرافی منطقه با مقیاس ASTER تهیه شده توسط سازمان نقشه برداری کشور استفاده شد. پس از آماده سازی این لایه با استفاده از ابزار Topo to Raster موجود در محیط GIS لایه خطوط تراز به فرمت رستر تبدیل شد و در نهایت مدل رقومی ارتفاع منطقه حاصل شد.

۲-۳-۳- تهیه لایه شیب

به منظور تهیه لایه شیب ابتدا با استفاده از نقشه های توپوگرافی ASTER رقومی منطقه مورد مطالعه، DEM منطقه در محیط GIS ساخته شد. سپس این نقشه از روی مدل رقومی ارتفاع و با استفاده از تابع Slope در محیط GIS تهیه شد (واعظی، ۱۳۹۶؛ رامبد، ۱۳۸۷).

۲-۳-۴- تهیه نقشه زمین شناسی

برای به دست آوردن این معیار مهم از نقشه زمین شناسی منطقه با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ تهیه شده توسط سازمان زمین شناسی کشور استفاده شد که پس از رقومی کردن آن در محیط نرم افزار Micro Station لایه نهایی آماده شد (رامبد، ۱۳۸۷؛ محمدزاده و عسگری، ۱۳۹۷).

۳- نتایج و بحث

۳-۱- توصیف وضعیت مقادیر متغیرهای پژوهش و نحوه

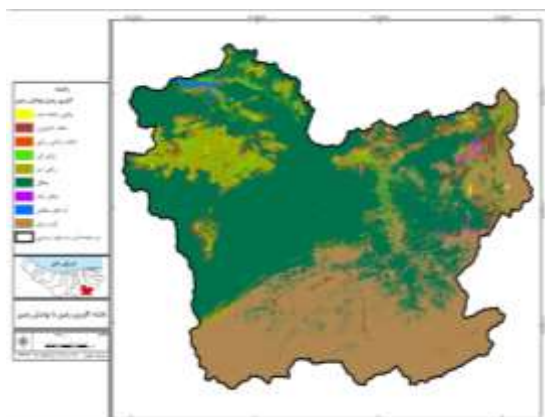
توزیع مکانی آن ها

۳-۱-۱- الگوی توزیع فضایی ارتفاع

برای تولید نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM) از تصاویر ماهواره ای ASTER با قدرت مکانی ۲۸/۵ متر استفاده شده است که نتایج آن در شکل (۲) نشان داده شده است.

۳-۱-۵- پوشش یا کاربری زمین (Landcover)

در این پژوهش به منظور تهیه نقشه پوشش زمین (LandCover) و گزارش وضعیت موجود کاربری زمین در محدوده حوضه آبریز سد شهید رجایی در ابتدا به تعیین زمان مناسب تصویربرداری ماهواره‌ای اقدام گردید. بازه زمانی نیمه مرداد ماه تا اواسط مهرماه به‌عنوان بهترین زمان برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای جهت پوشش زمین تشخیص داده شد. چراکه در سایر فصول به ویژه در پاییز و زمستان با ریزش برگ درختان امکان تشخیص مناطق دارای پوشش گیاهی از جمله جنگل‌ها و همچنین باغات کشاورزی را در منطقه شمال کشور با مشکل مواجه می‌نماید. در مرحله بعدی اقدام به انتخاب نوع سنجنده ماهواره‌ای جهت اخذ تصاویر گردید. بدین منظور با توجه به هدف طرح و در نظر گرفتن وضعیت دسترسی ایران به تصاویر ماهواره‌ای، اخذ تصاویر دو ماهواره آمریکایی لندست ۸ (پرتاب در ۱۱ فوریه ۲۰۱۳) و ماهواره سازمان فضایی اتحادیه اروپا یعنی سنتینل-۲ ملاک قرار گرفت. با در نظر گرفتن شاخص‌های جوی و وضعیت ابر در آسمان سعی شد تصاویر برای یک روز انتخاب شوند تا این که تغییر مقادیر طیفی بین تصاویر با عوارض مشابه ایجاد نشود. بنابراین در بازه زمانی مورد مطالعه (نیمه مردادماه تا اواسط مهرماه) تصاویر تاریخ ۲۰۲۰/۰۹/۱۷ (۱۳۹۹/۰۶/۲۶) برای ماهواره Sentinel-2A مناسب تشخیص داده شد و از سایت سازمان فضایی اتحادیه اروپا این تصاویر اخذ گردیدند و مبنای طبقه‌بندی کاربری‌های عمده در محدوده مورد مطالعه این پژوهش گردید. در نهایت بعد از انجام پیش‌پردازش‌ها و طبقه‌بندی تصاویر، خروجی کار که در فرمت رستری بود جهت تلفیق عوارض درون هر طبقه و همچنین پاک‌سازی خطاهای طبقه‌بندی و تولید نقشه‌های خروجی و گرفتن خلاصه آماری وضعیت پوشش اراضی در محدوده مورد مطالعه وارد محیط نرم‌افزار ArcMap10.7.1 شد. نتایج تهیه نقشه کاربری یا پوشش زمین در حوضه آبریز سد شهید رجایی ساری در شکل (۶) نشان داده شده است.

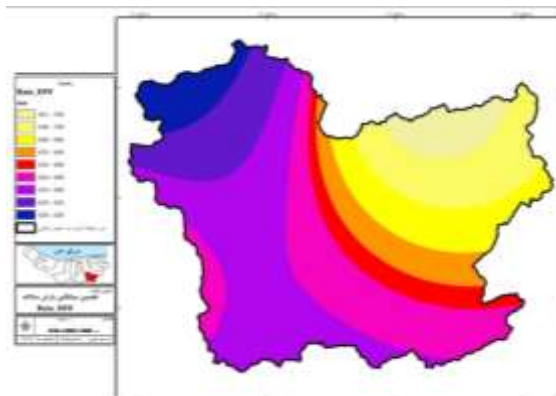


شکل ۶- نقشه پوشش کاربری زمین

جدول ۳- میانگین بارندگی ایستگاه‌های باران‌سنجی و

مشخصات ایستگاه‌ها

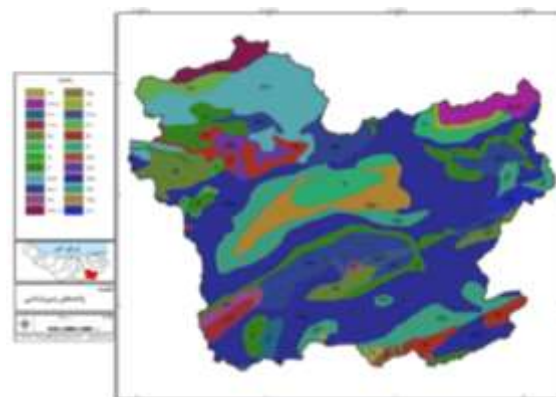
| ردیف | نام ایستگاه | میانگین بارش (mm) | X_UTM | Y_UTM |
|------|-------------------|-------------------|----------|---------|
| ۱ | کیاسر- باران‌سنجی | ۴۶۶/۱ | ۷۲۹۱۶۹/۵ | ۴۰۱۲۸۴۴ |
| ۲ | ساری | ۶۷۳/۶ | ۶۷۹۶۹۸/۸ | ۴۰۲۲۴۳۶ |
| ۳ | پل سفید | ۵۷۱/۲ | ۶۸۴۷۷۰/۹ | ۳۹۹۴۶۶۷ |
| ۴ | قائم‌شهر | ۶۲۵/۶ | ۶۳۱۰۸۲/۷ | ۴۰۱۵۶۸۷ |



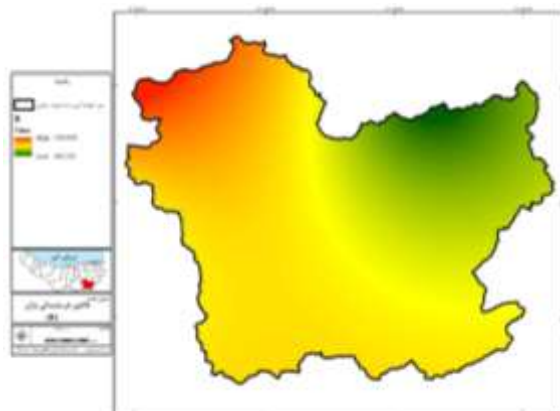
شکل ۴- نقشه تخمین میانگین بارش سالانه

۳-۱-۴- پارامتر زمین‌شناسی

در این پژوهش لایه زمین‌شناسی بر مبنای واحدهای زمین‌شناسی نشان داده شده است که نتایج آن در شکل (۵) نشان داده شده است. مطابق نقشه مذکور تعداد ۲۴ واحد زمین‌شناسی نمونه موردی این تحقیق را تشکیل می‌دهند که ۳۴/۸۴ درصد سطح حوضه آبریز سد شهید رجایی ساری را شیل‌های خاکستری تیره و ماسه سنگ‌ها تشکیل می‌دهد.



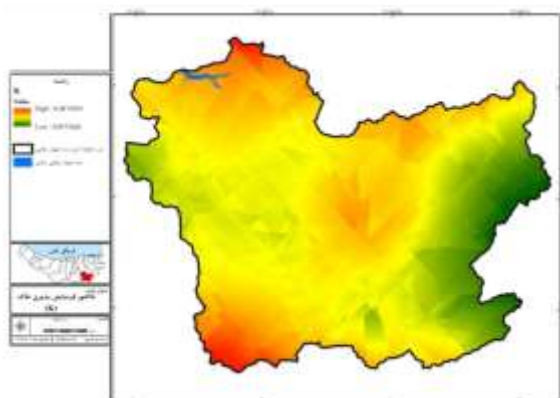
شکل ۵- نقشه واحدهای زمین‌شناسی



شکل ۸- نقشه فاکتور فرساینده‌گی باران (R)

۳-۲-۲- فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (K)

در شکل (۹) فاکتور فرسایش خاک ارائه شده است. در این پژوهش به منظور محاسبه فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (K) از داده‌های نمونه‌برداری شده از عمق ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متری تیپ‌های مختلف نقشه خاک‌شناسی حوضه مورد مطالعه این تحقیق (در مجموع در ۲۳ نقطه) از طرح منظومه‌های اشتغال‌زایی روستاهای شهرستان‌های ساری و میانرود که توسط سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران تهیه شده استفاده شد. در نهایت نقشه رستری فاکتور فرسایش‌پذیری خاک حوضه مورد مطالعه بر اساس درون‌یابی نقاط مذکور با استفاده از روش کریجینگ در نرم‌افزار GIS تهیه گردید که نتایج آن به شرح شکل (۹) است.



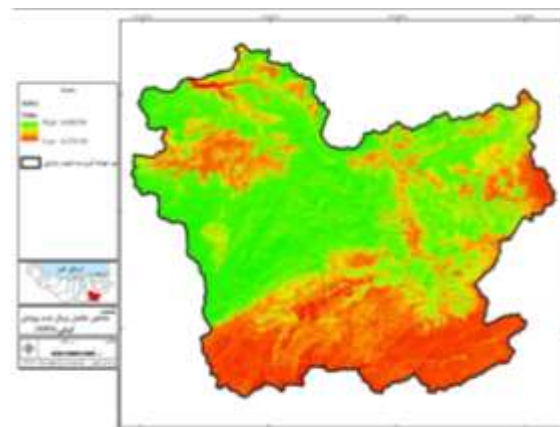
شکل ۹- نقشه فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (K)

۳-۲-۳- فاکتورهای توپوگرافی (L, S)

در این مطالعه از روش Moore و همکاران (۱۹۹۱) و نرم‌افزار متن باز SAGA GIS که دارای یک ابزار ساده برای استخراج یک مرحله‌ای فاکتور LS از معادله جهانی هدررفت خاک (USLE)^۶ از

۳-۱-۶- شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)

در این پژوهش نتایج شاخص NDVI در شکل (۷) نشان داده شده است. همان‌طوری که در این نقشه مشهود است محدوده‌های با طیف رنگی سبز بیان مناطق با پوشش سبزی‌نگی بالا و نواحی با طیف رنگی قرمز نیز بیان‌گر کمبود سبزی‌نگی یا پایین بودن پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. بنابراین بر اساس این شاخص انتظار می‌رود در این نواحی که شاخص NDVI مقادیر پایین‌تری دارند مقدار فرسایش خاک بیشتر اتفاق داده و در نتیجه آلاینده‌های موجود در خاک را به آب‌های سطحی بیشتری انتقال دهد. اما از طرف دیگر امروزه بیشتر آلاینده‌های زیست‌محیطی توسط فعالیت‌های بشری از فعالیت‌های صنعت گرفته تا استفاده از آفت‌کش‌ها برای محصولات زراعی و کشاورزی صورت می‌گیرد.



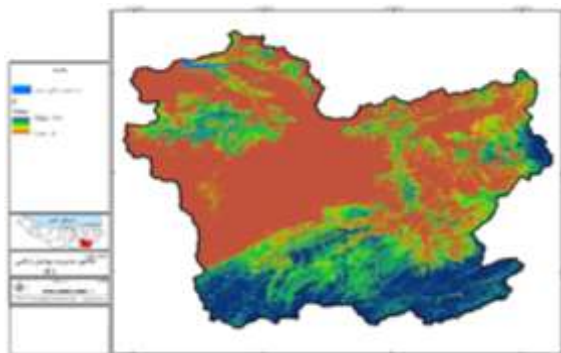
شکل ۷- شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده یا NDVI

۳-۲-۲- نتایج مدل‌سازی فاکتورهای RUSLE در نرم‌افزار GIS

۳-۲-۱- فاکتور فرساینده‌گی باران (R)

برای تعیین مقدار فاکتور R در این مطالعه، داده‌های میانگین بارندگی سالانه ۵ سال ایستگاه‌های هواشناسی موجود در ایستگاه ساری، قائم‌شهر، پل سفید و کیاسر استفاده شد. با بهره‌گیری از تحلیل‌های مکانی نرم‌افزار ArcGIS 10.8، روش درون‌یابی کریجینگ برای تعمیم داده‌های بارش نقطه‌ای به کل سطح حوضه استفاده شد. نتایج الگوی توزیع فضایی فاکتور فرسایش‌پذیری باران در شکل (۸) نشان داده شده است. نقشه مذکور بیان‌گر آن است شدت فرسایش‌پذیری باران در نواحی شمال غربی محدوده مورد مطالعه بیشتر از بقیه بخش‌های آن است.

6. Universal Soil Loss Equation (USLE)



شکل ۱۱- نقشه فاکتور مدیریت پوشش اراضی (C)

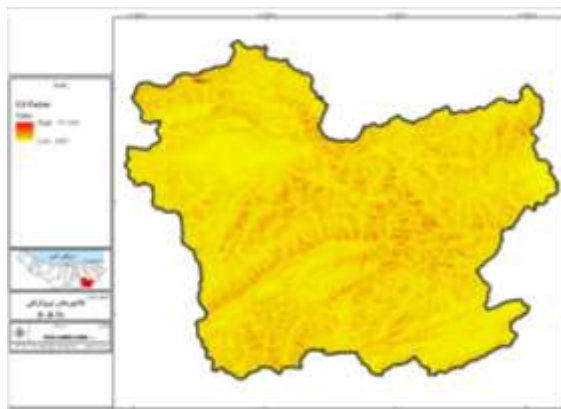
۳-۲-۵- فاکتور عملیات حفاظتی (P)

Smith و Wischmeier (۱۹۷۸) فاکتور اقدامات حفاظتی خاک را به عنوان نسبت هدررفت خاک را از بالادست و پایین دست سطح شیب‌داری که اقدامات حفاظتی (کشت در خطوط تراز، کشت نواری، احداث تراس‌ها، حوضچه‌های رسوب‌گیر، بانکت‌بندی، مالچ‌پاشی و زهکش زیر سطحی) در آن انجام گرفته، به کرت استاندارد بیان می‌کند. به‌طور عمده هرچه مقدار این عامل کمتر باشد کارهای حفاظتی مؤثرتر و هدررفت خاک کمتر است و چنانچه منطقه‌ای فاقد هرگونه عملیات حفاظتی باشد مقدار این فاکتور یک در نظر گرفته می‌شود. از آنجا که در منطقه مورد مطالعه این تحقیق هیچ‌گونه اقدامات حفاظتی صورت نگرفته است عدد یک برای فاکتور P در کل منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شد.

۳-۲-۶- تهیه نقشه فرسایش خاک

بعد از تهیه و تولید لایه‌های فاکتورهای R, K, L, S و C در نهایت در نرم‌افزار GIS لایه‌های مذکور در هم ضرب گردیدند. در نهایت مقادیر نقشه فرسایش برآورد شده خاک با استفاده از روش فواصل هندسی^۹ در نرم‌افزار ArcMap 10.8 به پنج طبقه خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد. در نتیجه نقشه فرسایش خاک و توزیع مکانی هدررفت آن در محدوده حوضه آبریز سد شهید رجایی مطابق شکل‌های (۱۲) تهیه گردید.

یک مدل رقومی ارتفاع (DEM) است، استفاده شد. روش این ابزار شامل ترکیب پیش‌پردازش‌های DEM از جمله حذف شکاف داده‌ای یا همان حذف سینک‌ها^۷، تجمع جریان^۸، مساحت حوضه آبخیز (SCA)^۹، شیب و محاسبه فاکتور LS نهایی است (SAGA GIS user manual). شکل (۱۰) نتیجه نهایی تولید فاکتور LS را در نرم‌افزار GIS نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- نقشه فاکتورهای توپوگرافی (L, S)

۳-۲-۴- فاکتور مدیریت پوشش اراضی (C)

در این پژوهش از داده‌های نمونه‌برداری شده از کلاس‌های پوششی مربوط به حوضه آبریز سد شهید رجایی که توسط اداره جهاد کشاورزی شهرستان ساری که در طرح منظومه‌های اشتغال-زایی روستایی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مورد استفاده قرار گرفته است، بهره گرفته شد. لذا در این تحقیق به منظور برآورد فاکتور C از داده ۲۳ نقطه که به‌صورت تصادفی انجام گرفته و موقعیت جغرافیایی آن‌ها ثبت شده است استفاده شد و مقادیر آن از روش درون‌یابی کریجینگ به کل سطح محدوده مورد مطالعه تعمیم داده شد که نتایج آن در شکل (۱۱) داده شده است. مقادیر فاکتور C مشاهدات میدانی با توجه به نوع پوشش و کاربری منطقه مورد مطالعه در اراضی جنگلی متراکم و نواحی بدون فرسایش، صفر و نزدیک به صفر و در اراضی با فرسایش‌پذیری بالاتر شامل مراتع تخریب یافته و کوه‌های بدون پوشش گیاهی و نسبتاً لخت تا ۰/۴۲ اختصاص یافته بود.

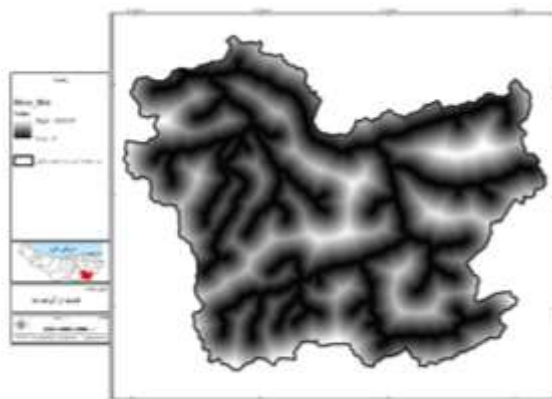
9. Specific catchment area
10. Geometrical Intervals

7. Sink removal
8. Flow accumulation

لایه‌های مختلف از روش فازی سازی مقادیر این لایه‌ها (دامنه مقادیر فازی بین صفر تا یک) اقدام گردید. گفتنی است که برای برخی از معیارها مثل شیب، لایه زمین‌شناسی و پوشش زمین و غیره که در مباحث قبلی نقشه مربوط به آن لایه ارائه شده بود در اینجا فقط نقشه مقادیر فازی آن آورده شده است.

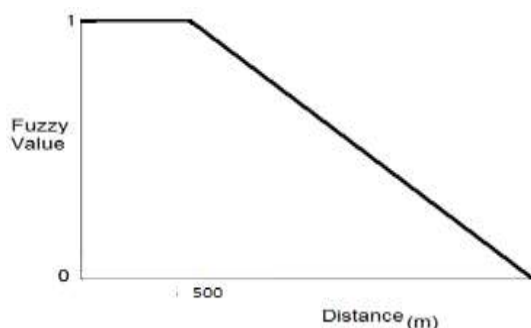
۳-۳-۱- معیار فاصله از آبراهه‌ها

در این تحقیق با استفاده از لایه شبکه آبراهه‌ها و با بهره‌گیری از تابع فاصله اقلیدسی^{۱۱} در نرم‌افزار ArcGIS 10.8 معیار فاصله از آبراهه‌ها تولید گردید که نتایج آن در شکل (۱۳) ارائه شده است.

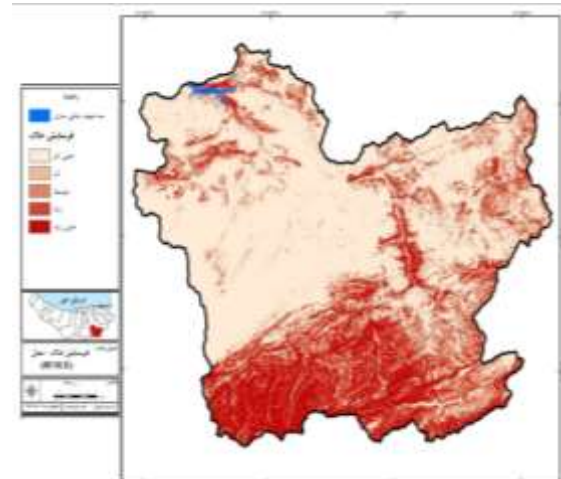


شکل ۱۳- نقشه معیار فاصله از آبراهه‌ها

برای تولید نقشه فازی شده معیار فاصله از آبراهه‌ها در ابتدا به فواصل تا ۵۰۰ متر ارزش یک اختصاص داده شد و بقیه فواصل با افزایش فاصله از رودخانه‌ها در دامنه صفر تا یک مطابق نمودار شکل (۱۴) مقدار معکوسی به آن‌ها اختصاص یافت. به عبارتی در فواصل دورتر ارزش فازی به سمت صفر و در فواصل تا ۵۰۰ متر ارزش یک و به سمت ۵۰۰ متر مقدار نزدیک به یک گرفتند.



شکل ۱۴- نمودار فازی سازی معیار فاصله از آبراهه‌ها



شکل ۱۲- نقشه فرسایش خاک

۳-۲-۷- هدررفت سالانه خاک

با تولید لایه فرسایش خاک مقادیر هدررفت سالانه خاک (پارامتر A در مدل RUSLE) به واحد تن در هکتار در سال بر اساس پیکسل به پیکسل به دست آمد. در ادامه با استفاده از طبقات فرسایش خاک و مجموع مساحت هر طبقه و نسبت آن به کل محدوده و همچنین کل هدررفت خاک برحسب تن در سال برای هر یک از طبقات فرسایش محاسبه گردید. متوسط هدررفت سالانه خاک منطقه بین ۲/۶۴ و ۷۴/۱۳ تن در هکتار در سال بوده و میانگین آن ۲۵/۰۴ تن در هکتار در سال است. با توجه به تغییرات مکانی فرسایش بخش‌هایی از جنوب و جنوب غربی حوضه بیش از ۹۰۰۰ تن در هکتار در سال فرسایش دارد که بیشتر از سایر نواحی بوده و با فقدان پوشش گیاهی و شیب زیاد این ناحیه مرتبط است. طبقات فرسایش خیلی کم و خیلی زیاد به ترتیب با سهم ۱۰/۵۷٪ و ۱۸/۵۷٪ بیشترین بخش از سطح کل محدوده مورد مطالعه این تحقیق را پوشش داده است. در این ارتباط بیشترین بخش هدررفت خاک در طبقه فرسایش خیلی زیاد اتفاق می‌افتد که مجموعاً حدود ۱۶۶۹۴۴۷۰۰ تن در سال است. این مقدار حدود ۷۴/۲۰٪ از مقدار فرسایش در کل حوضه آبریز در منطقه مورد مطالعه این پژوهش است.

۳-۳- سنجش پتانسیل سیل خیزی و تولید رواناب

در این تحقیق برای سنجش پتانسیل سیل خیزی و تولید رواناب در محدوده مورد مطالعه از معیارهای فاصله از آبراهه‌ها، تراکم زهکشی، شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، بارش باران، زمین‌شناسی، جنس خاک استفاده شد. لازم به ذکر است چون این لایه‌ها در نهایت قرار است با هم تلفیق شده و پتانسیل سیل خیزی منطقه را نشان دهند لذا برای همین منظور و جهت همسو کردن

۳-۳-۲- معیار تراکم زهکشی

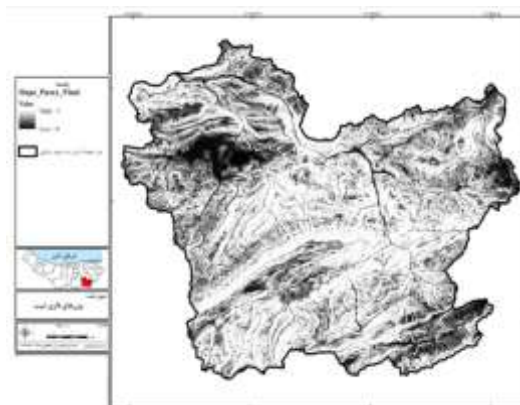
در این پژوهش با استفاده از جدول (۴) که از پژوهش ابراهیمیان قاجاری و براری سیاوشکلایی (۱۳۹۸) اقتباس شده است بعد از تولید شبکه زهکشی اقدام به فازی نمودن مقادیر این معیار در این لایه نیز مطابق لایه فاصله از رودخانه به طبقات زیاد و خیلی زیاد ارزش یک و بقیه فواصل طبقات نیز وزن فازی معکوس در دامنه صفر تا یک اختصاص داده شد.

جدول ۴- طبقات تراکم زهکشی و پتانسیل تولید رواناب آن

| طبقات | پتانسیل تولید رواناب |
|-------------|----------------------|
| ۰ - ۰/۱۵ | خیلی کم |
| ۰/۳ - ۰/۱۵۰ | کم |
| ۰/۴۵ - ۰/۳ | متوسط |
| ۰/۶ - ۰/۴۵ | زیاد |
| ۰/۷۵ - ۰/۶ | خیلی زیاد |

۳-۳-۳- معیار شیب

این معیار توسط DEM ۲۸/۵ متری تصویر ماهواره ASTER و با استفاده از تابع Slope در GIS بر حسب درصد به دست آمد (شکل (۴)). سپس مقادیر آن به دامنه فازی صفر تا یک تبدیل شد. بدین صورت که به طبقات شیب بالای ۲۰ درصد ارزش فازی یک و بقیه موارد ارزش معکوس اختصاص داده شد. یعنی هرچه شیب کمتر باشد مقدار فازی آن به سمت صفر میل می کند و بالعکس. شکل (۱۵) توزیع فضایی مقادیر فازی شده معیار شیب را در محدوده حوضه آبریز سد شهید رجایی ساری را نشان می دهد.

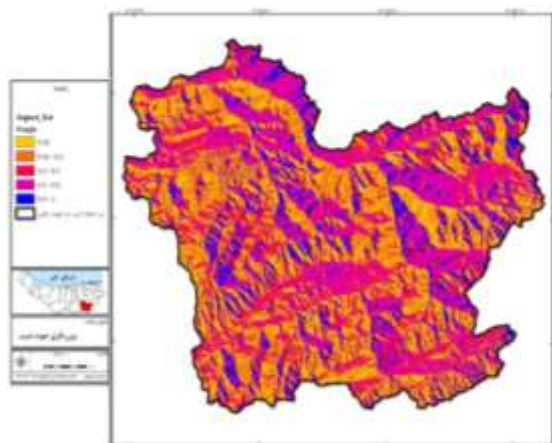


شکل ۱۵- نقشه مقادیر فازی شده معیار شیب

۳-۳-۴- معیار جهت شیب

در شکل (۱۶) نقشه مقادیر فازی شده معیار جهت شیب نشان داده شده است. در این تحقیق با توجه به هم پوشانی محدوده مورد مطالعه این تحقیق با بخشی از محدوده مورد مطالعه پژوهش

ابراهیمیان قاجاری و براری سیاوشکلایی (۱۳۹۸). لذا در این تحقیق برای فازی سازی از داده های قابلیت تولید رواناب جهت مختلف شیب که در جدول (۵) آورده شده است، بهره گرفته شده است. بدین صورت که برای جهت غربی که در طبقه پتانسیل خیلی زیاد تولید رواناب قرار دارند، ارزش فازی یک و برای جهت جنوب و جنوب غربی ارزش ۰/۸، برای جهت جنوب شرق و شمال غرب ارزش ۰/۵ و برای جهت شمال شرقی مقدار ۰/۲ و جهت شمالی و شرقی و سطوح هموار نیز ارزش ۰/۰۵ داده شده است.



شکل ۱۶- نقشه مقادیر فازی شده معیار جهت شیب

جدول ۵- قابلیت تولید رواناب جهت مختلف شیب

| طبقات | پتانسیل تولید رواناب |
|-----------|----------------------|
| سطح هموار | خیلی کم |
| شمال | |
| شرق | |
| شمال شرق | کم |
| جنوب شرق | |
| شمال غرب | متوسط |
| جنوب | |
| جنوب غرب | زیاد |
| غرب | |
| غرب | خیلی زیاد |

۳-۳-۵- معیار کاربری اراضی

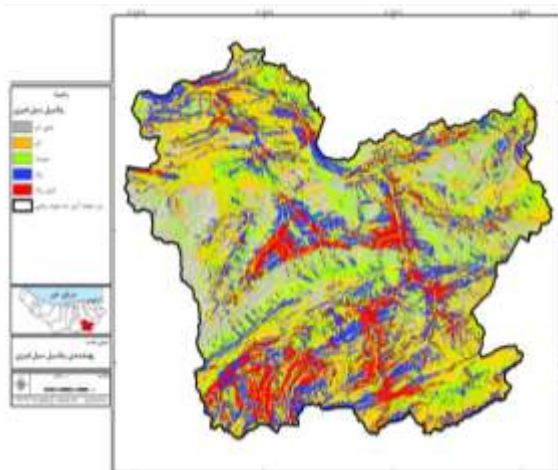
در این تحقیق مطابق با جدول (۶) لایه کاربری زمین که دارای مقادیر کیفی بوده است به دامنه مقادیر فازی تبدیل گردیدند. طبق نتایج به دست آمده بیشترین مقادیر ضرایب فازی سازی کلاس های کاربری بر اساس پتانسیل تولید رواناب مربوط به کاربری نواحی ساخته شده (۱) و بعد از آن نواحی کوه و مرتعی (۰/۸۵) و کمترین مقدار مربوط به جنگل و آب های سطحی (۰/۰۵) بوده است. شادفر (۱۳۹۵) بیان کرد معیار کاربری مرتع بیشترین تأثیر را در رخداد فرسایش دارد.

۳-۴- ترکیب لایه‌های پتانسیل تولید رواناب و پهنه‌بندی نقاط سیل خیز

بعد از این که همه لایه‌های مربوط به معیارهای فاصله از آبراهه‌ها، تراکم زهکشی، شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، بارش باران، زمین‌شناسی و غیره تولید شد در نهایت مطابق با جدول (۷) به هر لایه با توجه اهمیت آن در تولید سیلاب در مقایسه با سایر معیارها وزن نهایی اعمال شد که مجموع وزن‌ها برابر یک بوده است. بنابراین با استفاده از تابع محاسبه‌گر رستر^{۱۲} از زیر مجموعه Map Algebra در ابزارهای تحلیل فضایی اقدام به تولید نقشه نهایی و پهنه‌بندی نقاط سیل خیز گردید. گفتنی است که برای پهنه‌بندی نیز از روش نقاط شکست طبیعی Jenks از توابع پهنه‌بندی استفاده شد که در پنج طبقه مطابق با طیف لیکرت (از خیلی کم تا خیلی زیاد) دسته‌بندی گردیدند. مطابق نقشه (شکل ۱۷)) محدوده‌های قرمز و آبی به ترتیب زیاد و خیلی زیاد دارای بیشترین قابلیت تولید سیلاب در محدوده مورد مطالعه این پژوهش هستند و نواحی خاکستری و نارنجی نیز از قابلیت کمتری برای تولید رواناب و بروز سیلاب برخوردار هستند.

جدول ۷- وزن نهایی ترکیب لایه‌های پتانسیل سیل خیزی (قاجاری و براری سیاوشکلایی (۱۳۹۸))

| معیارها | شیب | جنس | کاربری | بارش | تراکم | فاصله | زمین | جهت |
|-----------|------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| وزن نهایی | ۰/۱۷ | ۰/۱۰۴ | ۰/۰۵۲ | ۰/۱۴۸ | ۰/۱۰۴ | ۰/۰۸۸ | ۰/۱۷۸ | ۰/۰۸۸ |



شکل ۱۷- نقشه ترکیب لایه‌های پتانسیل تولید رواناب و پهنه‌بندی نقاط سیل خیز

جدول ۶- مقادیر ضرایب فازی‌سازی کلاس‌های کاربری بر اساس پتانسیل تولید رواناب (قاجاری و براری سیاوشکلایی، ۱۳۹۸)

| ردیف | کلاس کاربری | وزن فازی |
|------|---------------------|----------|
| ۰ | جنگل | ۰/۰۵ |
| ۱ | باغات کشاورزی | ۰/۴۵ |
| ۲ | باغات و اراضی زراعی | ۰/۵ |
| ۳ | آب‌های سطحی | ۰/۰۵ |
| ۴ | جنگل تنک | ۰/۳ |
| ۵ | زراعی آبی | ۰/۴ |
| ۶ | زراعی دیم | ۰/۵۵ |
| ۷ | کوه و مرتع | ۰/۸۵ |
| ۸ | نواحی ساخته شده | ۱ |

۳-۳-۶- معیار بارش باران

برای تولید نقشه بارش همان‌طور که در مباحث پیشین نیز اشاره گردید از میانگین بارندگی ۵ ساله ۹۴ تا ۹۸ برای ایستگاه‌های ساری، قائم‌شهر و پل سفید و داده سال ۱۳۹۸ ایستگاه باران-سنجی کیاسر استفاده شد. با توجه به این که تغییرپذیری مقدار بارش در داخل محدوده مورد مطالعه این تحقیق به دلیل کوچکی آن پایین است (اگرچه بخش‌های جنوبی بارش کمتری دریافت می‌کنند) لذا در اینجا با معکوس نمودن مقادیر آن یعنی تقسیم مقادیر هر پیکسل بر بیشترین مقدار لایه بر فازی‌سازی مقادیر آن اقدام گردید.

۳-۳-۷- معیار زمین‌شناسی

در این قسمت از تحقیق نیز منظور فازی‌سازی واحدهای زمین‌شناسی هم از داده‌های پژوهش قاجاری و براری سیاوشکلایی (۱۳۹۸) استفاده شد و هم از نظر یک کارشناس ارشد زمین‌شناسی مهندسی استفاده شد. به عبارتی با در اختیار قرار دادن مقادیر کیفی پتانسیل تولید رواناب طبقات زمین‌شناسی حوزه آبخیز تجن که در پژوهش پژوهش قاجاری و براری سیاوشکلایی (۱۳۹۸) استفاده شده بود از کارشناس زمین‌شناسی خواسته شد با توجه به مقادیر کیفی مندرج در جدول زیر به آن‌ها با توجه به قابلیت نفوذپذیری آب، ارزش عددی بین ۰ تا ۱۰۰ اختصاص دهد. سپس مقادیر مذکور با تقسیم بر صد به دامنه صفر تا یک فازی برده شدند. گفتنی است که برای لایه‌هایی مثل زمین‌شناسی و کاربری زمین که ماهیت پلیگونی دارند بعد از اختصاص وزن کمی برای هر طبقه آن‌ها به فرمت رستری در ابعاد یا اندازه پیکسلی ۱۰ متر در ۱۰ متر تبدیل شدند تا امکان تلفیق با سایر لایه‌ها فراهم گردد.

۳-۵- نتایج آمار استنباطی: آزمون همبستگی و تحلیل

رگرسیون

در این بخش هدف آزمون ارتباط یا همبستگی پارامترهای پتانسیل سیل خیزی و تولید رواناب در محدوده مورد مطالعه و فرسایش یا هدررفت خاک است. همچنین در راستا از تحلیل‌های رگرسیونی نیز به منظور سنجش تبیین واریانس تولید رواناب و فرسایش خاک استفاده شده است. جدول (۸) آزمون همبستگی معیارهای پتانسیل سیل خیزی و تولید رواناب و فرسایش خاک را ارائه می‌دهد.

جدول ۸- آزمون همبستگی معیارهای پتانسیل سیل خیزی،

تولید رواناب و فرسایش خاک

| | پتانسیل سیل خیزی | |
|------------------|------------------|------------------|
| | فرسایش خاک | پتانسیل سیل خیزی |
| پتانسیل سیل خیزی | ۰/۲۴۵** | ۱ |
| | ۰/۰۰۰ | Sig. (2-tailed) |
| | ۵۱۹۲۸۸ | N |
| فرسایش خاک | ۰/۲۴۵** | ۱ |
| | ۰/۰۰۰ | Sig. (2-tailed) |
| | ۵۱۹۲۸۸ | N |

** همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنادار است

نتایج آزمون همبستگی پیرسون نشان داده است که در سطح اطمینان ۹۹ درصد ($\alpha=0.000$) ارتباط بین پتانسیل سیل خیزی یا تولید رواناب منطقه با فاکتور فرسایش خاک از نظر آماری معنادار بوده است و این ارتباط مستقیم ($r=0.245$) بوده است. جدول (۹) آماره‌های خطاها در مدل رگرسیونی ارتباط معیارهای پتانسیل سیل خیزی و تولید رواناب و فرسایش خاک را نشان می‌دهد.

جدول ۹- آماره‌های خطاها در مدل رگرسیونی ارتباط معیارهای

پتانسیل سیل خیزی و تولید رواناب و فرسایش خاک

| مدل | اندازه | بررسی هم‌خطی | | | | |
|-----|--------|--------------|------------|--------------|----------------|------|
| | | مقادیر ویژه | شاخص وضعیت | نسبت واریانس | | |
| | | | | مقدار ثابت | آسیب پذیری سیل | |
| ۱ | ۱ | ۳/۰۹۰ | ۱/۰۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۲ |
| | ۲ | ۰/۸۳۹ | ۱/۹۲۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۸۶ |
| | ۳ | ۰/۰۵۹ | ۷/۲۶۰ | ۰/۰۰ | ۰/۵۸ | ۰/۱۱ |
| | ۴ | ۰/۰۱۳ | ۱۵/۶۹۴ | ۰/۹۹ | ۰/۴۱ | ۰/۰۱ |

۴- نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد سنجش فرسایش‌پذیری خاک بر اساس مدل جهانی هدررفت خاک تحت عنوان RUSLE قابل اندازه‌گیری است که در این تحقیق در محدود مورد مطالعه این پژوهش یعنی حوزه آبریز سد شهید رجایی شهرستان ساری استفاده شد. نتایج نشان داد شدت فرسایش‌پذیری باران در نواحی شمال غربی محدوده مورد مطالعه بیشتر از بقیه بخش‌های آن است. با توجه به تغییرات مکانی فرسایش، بخش‌هایی از جنوب و جنوب غربی حوزه بیش از ۹۰۰۰ تن در هکتار در سال فرسایش داشت. نتایج آزمون همبستگی پیرسون نشان داد که در سطح اطمینان ۹۹ درصد ارتباط بین پتانسیل سیل خیزی منطقه با فاکتور فرسایش خاک از نظر آماری مستقیم و معنادار بود. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که تکنیک‌های سنجش از دور و GIS در صورت تلفیق با مقادیر سنجش میدانی پارامترهای مورد مطالعه می‌تواند در حوزه مطالعات محیط زیستی رشته مهندسی عمران کاربردهای زیادی داشته باشد و در مدل‌سازی و برآورد پارامترهای محیط زیستی بسیار سودمند واقع شوند.

۵- تقدیر و تشکر

این تحقیق با حمایت دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل به انجام رسید که بدین‌وسیله از همراهی و مساعدت این دانشگاه کمال تشکر و قدردانی به‌عمل می‌آید.

۶- مراجع

ابراهیمیان قاجاری، براری سیاوش‌کلایی، م. "پهنه‌بندی پتانسیل تولید رواناب با استفاده از مدل‌های GIS-MCDA فازی (مطالعه موردی: حوزه آبریز رودخانه تجن)"، علوم و فنون نقشه‌برداری، ۱۳۹۸، ۹ (۱)، ۱-۱۴.

رامبد ر، "ارزیابی عوامل مؤثر بر میزان رواناب و برآورد آن با استفاده از اطلاعات رقمی سنجش از دور و GIS"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی گرایش آب‌شناسی، دانشگاه شیراز، ۱۳۸۷.

شادفر ص، "تعیین پتانسیل فرسایش خندقی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، (مطالعه موردی: حوزه آبخیز طرود)"، مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۳۹۵، ۸ (۳)، ۲۶۳-۲۵۶.

قهرمانی پ، "ارزیابی خطر فرسایش خاک بر اساس منطق فازی و با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و داده‌های سنجش از دور در حوزه آبخیز قرناوه گلستان"، پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد رشته منابع طبیعی- آبخیزداری، دانشگاه ارومیه، ۱۳۹۱.

محمدزاده گلانی ف، عسگری ش، "برآورد میزان رواناب حوزه آبریز شهرستان ملکشاهی به‌روش (SCS) با استفاده از GIS و

- Nanoscience, 2019, 9, 1869-1889.
- Moghadam MT, Qaderi F, "Modeling of petroleum wastewater treatment by Fe/Zn nanoparticles using the response surface methodology and enhancing the efficiency by scavenger", *Results in Physics*, 2019, 15, 102566-102576.
- Moore ID, Grayson RB, Ladson AR, "Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications", *Hydrological processes*, 1991, 5 (1), 3-30.
- Qaderi F, Sayahzadeh AH, Azizpour F, Vosughi P, "Efficiency modeling of serial stabilization ponds in treatment of phenolic wastewater by response surface methodology", *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2018, 16 (8), 4193-4202.
- Sheikholeslami Z, YousefiKebria D, Qaderi F, "Application of γ -Fe₂O₃ nanoparticles for pollution removal from water with visible light", *Journal of Molecular Liquids*, 2020, 299, 112-118.
- Shin K, "The Soil Loss Analysis of Soil using GIS in Watershed", Doctor in Philosophy Thesis, Kangwon National University, Kangwon-Do, Korea, 1999, 22.
- Tamadoni A, Qaderi F, "Optimization of soil remediation by ozonation for PAHs contaminated soils", *Ozone: Science & Engineering*, 2019, 41 (5), 454-472.
- Taghizadeh M, Yousefi Kebria D, Qaderi F, "Effect of biosurfactant as a novel draw solution on photocatalytic treatment and desalination of produced water by different forward osmosis membranes", *Water Science & Technology Water Supply*, 2019.
- Wischmeier WH, Smith DD, "Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning (No. 537)", Department of Agriculture, Science and Education Administration, 1978.
- Yang D, Kanae S, Oki T, Koike T, Musiake K, "Global potential soil erosion with reference to land use and climate changes", *Hydrological processes*, 2003, 17 (14), 2913-2928.
- Yavari SM, Qaderi F, "Determination of thermal pollution of water resources caused by Neka power plant through processing satellite imagery", *Environment, Development and Sustainability*, 2020, 22 (3), 1953-197.
- RS", سیزدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران و سومین همایش ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه محقق اردبیلی، ۱۰ و ۱۱ مهر ۱۳۹۷.
- محمدنژاد م، گلی مختاری ل، بهنیا فر ا، "پهنه‌بندی مخاطره سیلاب در حوضه رودخانه کلات (زیرحوضه منتهی به شهر کلات)", پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱۳۹۸، ۸ (۳)، ۲۰۳-۲۲۱.
- واعظی مر، "تعیین خطرپذیری سیل در جاده شاهرود-توسکستان- گرگان با استفاده از نرم‌افزار GIS"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود، ۱۳۹۶.
- الوندی ا، سعدالدین ا، بردی‌شیخ و، "پیش‌بینی اثرات اقدامات اصلاحی بر خصوصیات رواناب سطحی و میزان فرسایش خاک در آبخیز بنکوه حوضه رودخانه حبله‌رود"، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۱۳۹۸، ۲۶ (۱)، ۴۸-۲۷.
- Babanezhad E, Amini Rad H, Hosseini Karimi SS, Qaderi F, "Investigating nitrogen removal using simultaneous nitrification-denitrification in transferring wastewater through collection networks with small-diameter pipes", *Water Pract Technol*, 2017, 12, 396-405.
- Dabbaghi F, Rashidi M, Nehdi ML, Sadeghi H, Karimaei M, Rasekh H, Qaderi F, "Experimental and informational modeling study on flexural strength of eco-friendly concrete incorporating coal waste", *Sustainability*, 2021, 13 (13), 7506.
- Dawen Y, Kanae S, Oki T, Koike T, Musiake K, "Global potential soil erosion with reference to land use and climate changes", *Hydrol, Process*, 2006, 17, 2913-2928.
- Desmet PJJ, Govers G, "A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units", *Journal of soil and water conservation*, 1996, 51 (5), 427-433.
- Ebrahimi M, Qaderi F, "Determination of the most effective control methods of SO₂ pollution in Tehran based on adaptive neuro-fuzzy inference system", *Chemosphere*, 2021, 263, 128002.
- Ebrahimi Ghadi M, Qaderi F, Babanezhad E, "Prediction of mortality resulted from NO₂ concentration in Tehran by Air Q+ software and artificial neural network", *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2019, 16 (3), 1351-1368.
- Elsadek WM, Ibrahim MG, Mahmood WE, "Runoff hazard analysis of wadi qena watershed", Egypt based on GIS and remote sensing approach, *Alexandria. Engineering Journal*, 2019, 58 (1), 377-385.
- Khalegh R, Qaderi F, "Optimization of the effect of nanoparticle morphologies on the cost of dye wastewater treatment via ultrasonic/photocatalytic hybrid process", *Applied*

EXTENDED ABSTRACT

Analysis of Flood Potential and Runoff Production of Shahid Rajaei Sari Dam Watershed Based On GIS and Remote Sensing Approach

Amir Hossein Esfandiyari, Farhad Qaderi*

Faculty of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran

Received: 10 August 2022; Review: 14 November 2022; Accepted: 03 December 2022

Keywords:

GIS, runoff, remote sensing, soil erosion.

1. Introduction

The purpose of this study is to analyze the environmental risks of soil erosion in the runoff of the Shahid Rajaei Dam in Sari based on GIS and remote sensing approach. In this study, soil erodibility was assessed based on the global model of soil loss called RUSLE with rainfall erosion input parameters, soil erodibility, topographic factors: length and slope, land cover management, conservation operations. For this purpose, before producing the results of these factors, first the input data such as DEM, slope, geological layer, land use layer, precipitation, soil and vegetation index was prepared and their spatial distribution pattern in the study area was described and analyzed. In the next step, the potential for flooding and runoff production was measured using the criteria of distance from waterways, drainage density, slope, slope direction, land use, rainfall, geology, soil type. In this regard, while fuzzy the layers, different variables were applied in order to integrate the mentioned layers in the final step on the production of flood potential map and runoff production. After producing the main layers, namely flood potential and runoff production, soil erodibility was studied using Pearson correlation test and regression model of the relationship between these factors and the results were discussed. The results of this study showed that remote sensing and GIS techniques in combination with field measurement values of the studied parameters can have many applications in the field of environmental studies in the field of civil engineering and in modeling and estimating environmental parameters. Be very beneficial bio.

Water resources are very important in environmental engineering (Babanezhad et al., 2017; Qaderi et al., 2018). Pollution can be damage different parts of environment (Ebrahimi and Qaderi, 2021; Ebrahimi Ghadi et al. 2019; Dabbaghi et al. 2021) like as water resources (Yavari and Qaderi, 2020). Therefor many researches have been done about environment protection (Moghadam and Qaderi, 2019; Taghizadeh at al. 2019; Sheikholeslami at al. 2020). Flood can cause to soil erosion and soil is very important in human life (Tamadoni and Qaderi, 2019; Khalegh and Qaderi, 2019). Concerning that Mazandaran province and Shahid Rajaei dam in Sari are among the flood prone areas of Iran, flood risk mapping is very crucial and essential for choosing appropriate land uses and managing water resources in such areas (Elsadek et al., 2019).

2. Methodology

2.1. Research Methods

For the advancement of study goals, different information layers (surface slope, land cover, half hour rainfall intensity with 10-year return period, hourly rainfall intensity with 2-year return period, average annual precipitation, altitude, geologic and land-use parameters) were prepared for the watershed of Shahid Rajaei dam, Sari, Iran. Variable input data including land cover index, mean precipitation, half-hour and hourly rainfall intensity, altitude, geologic and land-use parameters were entered as GIS inputs and its output was erosion.

* Corresponding Author

E-mail addresses: esfandeyari@yahoo.com (Amir Hossein Esfandiyari), f.qaderinit@ac.ir (Farhad Qaderi).

2.2. Area of study

This research was conducted at the watershed of Shahid Rajaei Dam, Sari, Mazandaran, Iran.

3. Results and discussion

3.1. Description of the measurements and spatial distribution of research variables

3.1.1. Spatial distribution patterns of elevation

For producing the maps of digital elevation model (DEM), Satellite images produced by the ASTER satellite sensor having pixel resolution of 28.5 m were used.

3.1.2. Spatial distribution patterns of slope

In the present research, slope layer was obtained according to digital elevation model (DEM) in GIS software and the results were displayed as the spatial distribution pattern of slope (%).

3.1.3. Measuring average annual precipitation

To measure average annual precipitation, the data of 5-year average rainfall (2015-2019) from four rain-gauge stations (Sari, Ghaemshahr, Sepidrood, and Kiasar) of Mazandaran Meteorological Organization was used.

3.1.4. Geology parameter

In this research, geology layer was presented as geological units.

3.1.5. Land-use or land-cover

For preparing land-cover maps and reporting the current land-use situation in the watershed of Shahid Rajaei dam, firstly an appropriate time was determined for satellite imagery. After conducting preprocesses and classification of the images, the output presented in raster format was entered into ArcMap10.7.1 software in order to merge the features of classes and remove the classification errors and create output maps and statistical abstract of land-cover condition in the study area.

3.1.6. Normalized difference vegetation index (NDVI)

Results of NDVI were represented in this research.

3.2. Results of modeling RUSLE factors in GIS software

3.2.1. Rainfall erosivity factor (R)

For measuring R in this study, average annual rainfall data of 5 years were collected from weather stations located in Sari, Ghaemshahr, Pol-e-sefid and Kiasar.

3.2.2. Soil erodibility factor (K)

For calculating soil erodibility factor (K) in this research, data were provided from job-creation plan in the villages of Sari and Miandorood performed by Management and Planning Organization of Mazandaran.

3.2.3. Topographic factors (*L, S*)

In the present research, the procedure of Moore et al. (1991) and SAGA GIS open-source software were used; this software owns a simple tool for single-step exploration of LS factor from Universal Soil Loss Equation (USLE) using a digital elevation model (DEM).

3.2.4. Soil conservation practices factor (*P*)

Since no conservation practices were performed in the study area, the number considered for *P* in the whole study area was 1.

3.2.5. Soil erosion map

After creating the layers of factors *C, S, L, K, R*, these layers were finally multiplied in GIS software. At the end, by using the geometrical distances method in ArcMap 10.8 software, measures of the evaluated soil erosion map were classified into five classes i.e. very low, low, moderate, high, and very high.

4. Conclusions

Soil erodibility was measured through Revised Universal Soil Loss equation (RUSLE). For this purpose, before creating the results for used factors, their input data including DEM, slope, geologic layer, land-cover layer, precipitation, soil, and NDVI index were prepared and their spatial distribution patterns in the study area (watershed of Shahid Rajaei Dam, Sari) were analyzed. Study results suggested that remote sensing techniques and GIS combined with field measurements of the studied parameters can be used for the environmental studies of civil engineering and also be very useful for the modeling and evaluation of environmental parameters.

5. References

- Babanezhad E, Amini Rad H, Hosseini Karimi SS, Qaderi F, "Investigating nitrogen removal using simultaneous nitrification-denitrification in transferring wastewater through collection networks with small-diameter pipes", *Water Pract Technol*, 2017, 12, 396-405. <https://doi.org/10.2166/wpt.2017.044>
- Dabbaghi F, Rashidi M, Nehdi ML, Sadeghi H, Karimaei M, Rasekh H, Qaderi F, "Experimental and informational modeling study on flexural strength of eco-friendly concrete incorporating coal waste", *Sustainability*, 2021, 13 (13), 7506. <https://doi.org/10.3390/su13137506>
- Elsadek WM, Ibrahim MG, Mahmood WE, "Runoff hazard analysis of Wadi Qena Watershed, Egypt based on GIS and remote sensing approach", *Alexandria Engineering Journal*, 2019, 58 (1), 377-385.
- Ebrahimian Y, Barari Siyavashkalayi M, "Runoff production potential zoning using fuzzy GIS-MCDA models (case study: Tajan river basin)", *Journal of Geomatics and Technology*, 2019, 9 (1), 1-14.
- Ebrahimi M, Qaderi F, "Determination of the most effective control methods of SO₂ pollution in Tehran based on adaptive neuro-fuzzy inference system", *Chemosphere*, 2021, 263, 128002. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128002>
- Ebrahimi Ghadi M, Qaderi F, Babanezhad E, "Prediction of mortality resulted from NO₂ concentration in Tehran by Air Q+ software and artificial neural network", *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2019, 16 (3), 1351-1368. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1818-4>
- Khalegh R, Qaderi F, "Optimization of the effect of nanoparticle morphologies on the cost of dye wastewater treatment via ultrasonic/photocatalytic hybrid process", *Applied Nanoscience*, 2019, 9, pages1869-1889. <https://doi.org/10.1007/s13204-019-00984-9>
- Moghadam MT, Qaderi F, "Modeling of petroleum wastewater treatment by Fe/Zn nanoparticles using the response surface methodology and enhancing the efficiency by scavenger", *Results in Physics*, 2019, 15, 102566-102576. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2019.102566>
- Moore ID, Grayson RB, Ladson AR, "Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications", *Hydrological processes*, 1991, 5 (1), 3-30.
- Qaderi F, Sayahzadeh AH, Azizpour F, Vosoghi P, "Efficiency modeling of serial stabilization ponds in treatment of phenolic wastewater by response surface methodology", *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2018, 16 (8), 4193-4202. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1816-6>

- Sheikholeslami Z, YousefiKebria D, Qaderi F, "Application of γ -Fe₂O₃ nanoparticles for pollution removal from water with visible light", *Journal of Molecular Liquids*, 2020, 299, 112-118. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.112118>
- Tamadoni A, Qaderi F, "Optimization of soil remediation by ozonation for PAHs contaminated soils", *Ozone: Science and Engineering*, 2019, 41 (5), 454-472. <https://doi.org/10.1080/01919512.2019.1615865>
- Taghizadeh M, Yousefi Kebria D, Qaderi F, "Effect of biosurfactant as a novel draw solution on photocatalytic treatment and desalination of produced water by different forward osmosis membranes", *Water Science & Technology Water Supply*, 2019. <https://doi.org/10.2166/ws.2019.154>
- Yavari SM, Qaderi F, "Determination of thermal pollution of water resources caused by Neka power plant through processing satellite imagery, Environment", *Development and Sustainability*, 2020, 22 (3), 1953-1975. <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0272-2>