

## بررسی و ارزیابی میزان هدررفت خاک در کاربری‌های اراضی حوضه آبخیز آشگاه با استفاده از مدل RUSLE و تصاویر ماهواره‌ای لندست (سنجنده (OLI

عقیل مددی<sup>۱\*</sup>، امیرحسام پاسبان<sup>۲</sup>، بهروز نظافت تکلہ<sup>۳</sup>

۱- \*استاد گروه جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی.

۲- دانشجوی دکتری، رشته ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی.

۳- دانشجوی دکتری، رشته ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی.

\*ایمیل نویسنده مسئول: A\_madadi@uma.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۲

### چکیده

بهره‌برداری روزافزون و مدیریت نادرست انسان بر محیط طبیعی تاثیر زیادی بر تشدید فرسایش خاک دارد. هدف پژوهش حاضر بررسی میزان فرسایش خاک در کاربری‌های اراضی حوضه آبخیز آشگاه استان اردبیل با استفاده مدل RUSLE است. در این راستا ابتدا تصویر ماهواره‌ای لندست OLI 8 پس از تصحیحات با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM) در هفت کلاس کاربری شامل: اراضی بایر، مراتع خوب، ضعیف، کشاورزی آبی، دیم، مناطق مسکونی و آبی تفکیک شدند. صحت کلی و ضریب کاپا برای نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه به ترتیب برابر ۰/۹۰ و ۰/۸۷ درصد به دست آمد. سپس عوامل مدل RUSLE شامل فرساینده‌گی باران (R)، فرسایش‌پذیری خاک (K)، توپوگرافی (LS)، پوشش گیاهی (C) و عملیات حفاظتی خاک (P) به ترتیب با استفاده از داده‌های بارندگی، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، مدل رقومی ارتفاع (DEM) و کاربری اراضی در محیط ArcGIS تهیه شده‌اند. در نهایت پس از تلفیق این لایه‌ها مقدار فرسایش سالانه خاک برای حوضه آشگاه بین ۰/۰۹ تا ۱۱/۰۲ تن در هکتار در سال در سطح پیکسل به دست آمد. در نهایت نتایج نشان داد کاربری کشاورزی دیم با میانگین فرسایش ۰/۴۸ تن در هکتار در سال و کاربری مراتع خوب با میانگین ۰/۲۱ و تن در هکتار در سال به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین هدررفت خاک را در بین سایر کاربری‌های به خود اختصاص داده‌اند. هم‌چنین بررسی روابط رگرسیونی بین فاکتورهای مدل RUSLE و مقدار فرسایش سالانه خاک نشان داد که فاکتور توپوگرافی (LS) با بالاترین مقدار ضریب تعیین (۰/۸۵) بیش‌ترین اهمیت را در برآورد فرسایش سالانه خاک به وسیله مدل RUSLE دارد.

### کلمات کلیدی

"فرسایش پذیری خاک"، "کاربری اراضی"، "معادله جهانی فرسایش خاک اصلاح شده"، "سیستم اطلاعات جغرافیایی"، "آشگاه".

## ۱. مقدمه

فرسایش خاک، یک فرآیند طبیعی است (لی و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۲۱). که سطح از دست رفتگی خاک توسط عوامل محیطی مختلف نظیر آب و هوا، خاک، توپوگرافی و پوشش گیاهی را موجب می‌شود (چن و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۹). با این حال، مداخلات انسانی از طریق تغییر کاربری زمین و فعالیت‌های کشاورزی و ساختمانی می‌تواند این جریان را تسریع بخشد (ونکر و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۹؛ بارلی و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۱۷). از این جهت امروزه فرسایش خاک ناشی از تغییر کاربری زمین به مهم‌ترین مسئله تخریب زمین در سراسر جهان تبدیل شده که دگرگونی فرم اراضی و اختلال کارکردهای اصلی محیط طبیعی از پیامدهای این واکنش‌های ژئومورفیکی آن است (پائول و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۱۹). این واکنش‌های ژئومورفولوژی تشدید فرسایش خاک و افزایش تعداد مناطق آسیب‌پذیر را به همراه دارد (آسیس و همکاران، ۲۰۲۱). در مطالعات اخیر بیان شده که خصوصیات چشم‌انداز حوضه‌های آبخیز می‌تواند حدود ۵۶ تا ۴۷ درصد تغییرات کاربری را در فرسایش خاک و بازده رسوب پاسخ دهد (اویانگ و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۱۸). زیرا کاربری اراضی بازتاب کنش‌های میان انسان و محیط زیست و نیز توصیف‌کننده نحوه بهره برداری متنوع انسان از مکان است (رن و همکاران<sup>۷</sup>، ۲۰۱۹). استفاده از داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند شناخت مناسبی نسبت به چگونگی تغییرات کاربری اراضی و مدیریت بهینه آن ارائه دهد. تغییرات کاربری زمین می‌تواند در راستای جلوگیری از فرسایش خاک و هدایت محیط طبیعی به سمت تعادل و پایداری قدم بردارد (ژانگ و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۲۰). بنابراین، تعیین عوامل مؤثر بر فرسایش و پیش‌بینی مقدار فرسایش خاک و رسوب در حوضه‌های آبخیز به منظور اجرای برنامه‌های حفاظت از خاک و تعیین روش‌های مبارزه با فرسایش و کاهش تولید رسوب ضروری و نخستین گام در ارائه راهکارهای حفاظت از خاک است (جوزی و مرادی مجد، ۱۳۹۴). با توجه به اهمیت حفاظت خاک و همچنین اهمیت بررسی و تعیین حساسیت خاک در مقابل عوامل فرسایش‌دهی، محققان مختلف از ابعاد مختلف سعی نمودند عوامل فرسایش را شناسایی و مدل‌هایی را برای ارزیابی خاک ارائه دهند (بیاتی خطیبی، ۱۳۹۴). از مهم‌ترین این مدل‌ها، می‌توان به معادله جهانی هدررفت خاک (USLE<sup>۹</sup>)، پروژه پیش‌بینی فرسایش آبی (WEPP<sup>۱۰</sup>)، ابزار ارزیابی خاک و آب (SWAT<sup>۱۱</sup>) و مدل

اروپایی فرسایش خاک (EUROSEM<sup>۱۲</sup>) اشاره نمود (Arnold et al., 1998). در طی ۴۰ سال اخیر مدل USLE به سبب داشتن محاسبات ساده، پرکاربردترین روش تخمین پتانسیل فرسایش خاک و برآورد تأثیرات عملیات مدیریتی مختلف بر آن بوده است (کینل، ۲۰۰۰). به دنبال آن، نسخه جدید مدل USLE با نام معادله تجدیدنظر شده جهانی هدررفت خاک RUSLE<sup>۱۳</sup> توسعه یافته است که روش مورد استفاده در پژوهش حاضر است که برآوردهای دقیق‌تری از عامل‌های R، K، C و P فرسایش خاک انجام می‌دهد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۷). مدل RUSLE می‌تواند پتانسیل فرسایش خاک را به صورت سلول به سلول پیش‌بینی کند که هنگام تلاش برای شناسایی الگوی مکانی تلفات خاک فعلی در یک منطقه بزرگ بسیار مفید است (شیندی و مان جاشری<sup>۱۴</sup>، ۲۰۱۰). با استفاده از مدل RUSLE فرسایش سطحی و شبای ناشی از باران و رواناب، در سطوح تحت روان آب سطحی پیش‌بینی می‌شود. سطوح تحت رواناب، محدوده‌ای هستند که جریان‌های سطحی از ابتدای آن سرچشمه می‌گیرند و در انتهای آن تمرکز یافته یا به محدوده رسوب گذاری وارد می‌شوند (جونز و همکاران<sup>۱۵</sup>، ۲۰۰۸). با توجه به اهمیت مطالعه کاربری‌های اراضی و نقش آن در فرسایش خاک و نیز با تاکید بر بررسی کارایی و دقت نتایج حاصل از به‌کارگیری داده‌های سنجش از دور (RS)، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل تجدیدنظر شده جهانی خاک (RUSLE) میزان فرسایش خاک بر کاربری‌های اراضی حوضه آبخیز آتشیگاه مورد مطالعه قرار می‌گیرد. با توجه به این امر که، تاکنون مطالعه‌ای در زمینه بررسی میزان فرسایش در کاربری‌های مختلف، در حوضه آبخیز آتشیگاه انجام نشده است. نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند برای پژوهشگران، مسئولان و سیاست‌گذاران در راستای پهنه‌بندی فرسایش خاک بسیار جالب باشد. تاکنون مطالعات متعددی در رابطه با موضوع تغییر کاربری‌ها و تأثیر آن بر فرسایش خاک در مناطق مختلف به انجام رسیده است. پژوهش و همکاران (۱۳۹۰)، اثر کاربری اراضی مختلف در فرسایش و تولید رسوب با استفاده از GIS<sup>۱۶</sup> را در حوضه سد زاینده‌رود علیا مطالعه نمود. نتایج حاصل از پژوهش ایشان نشان داد که بیش‌ترین مقدار فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه مورد مطالعه، در کاربری‌های مراتع متراکم و بوته‌زارها صورت گرفته است. این افزایش تولید رسوب در این دو نوع کاربری ناشی از تأثیر متقابل دو عامل، شیب و چرای بی رویه دام در اوایل فصل بهار است. بابایی و همکاران (۱۳۹۵)، مقدار میانگین سالانه فرسایش حوضه آبخیز کن سولقان را ۲۰/۲۲ تن در هکتار در سال برآورد کردند و نشان دادند عامل LS با ضریب همبستگی ۰/۶۸ درصد بیش‌ترین تأثیر را در برآورد فرسایش

1 Lee et al

2 Chen et al

3 Vanacker et al

4 Borrelli et al

5 Paul et al

6 Ouyang et al

7 Ren et al

8 Zhang et al

9- Universaal Soil Loss Equation (USLE)

10- Water Erosion Prediction project (WEPP)

11- Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

12- European Soil Erosion Model (EUROSEM)

13 Revised Universal Soil Loss Equation

14 Shinde &amp; Manjushree

15 Jones et al

16 Geographic Information system

متراکم است فرسایش ناچیزی رخ می‌دهد. سانتوس<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی تغییرات کاربری اراضی و نقش آن بر فرسایش خاک پرداختند. آن‌ها برای این امر از تصاویر ماهواره‌ای لندست طی سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۰ استفاده کردند. نتایج نشان داد که سطح زمین‌های کشاورزی و مراتع در این مناطق کاهش یافته و میزان فرسایش ۱۰ برابر افزایش یافته است. جزولی<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۷)، مدل‌سازی فرسایش خاک را با استفاده از GIS و RUSLE و سنجش از راه دور انجام دادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که بین مدل RUSLE و رویکرد شاخص طیفی توافق خوبی است، همچنین میزان خاک پیش‌بینی‌شده می‌تواند به دلیل ناهمواری توپوگرافی زمین و افزایش ناحیه‌های کشاورزی باشد. روات<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۸)، به منظور ارزیابی و اندازه‌گیری میزان آسیب‌پذیری فرسایش خاک در حوضه آبریز ناحیه الله‌آباد از ایالت اوتار پرادش هند را با استفاده از RUSLE و GIS انجام دادند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که پوشش گیاهی فرسایش خاک را متوقف می‌کند. همچنین مطالعه نقشه‌های خطر فرسایش در ایجاد استراتژی‌های بهتر برای برنامه‌ریزی زمین و محیط‌زیست مفید خواهد بود. آماح<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۲۰) از معادله تجدیدنظرشده جهانی هدررفت خاک (RUSLE) برای مطالعه فرایندهای فرسایش خاک در Edda Afikpo Mesas حوضه‌های آبریز رودخانه کراس پایین نیجریه استفاده نمودند. آن‌ها در این پژوهش از داده‌های DEM، تصاویر ماهواره‌ای و نقشه پایه منطقه استفاده نمودند. مطالعه‌ی آن‌ها نشان داد که ۱۸/۸ درصد از زمین‌های موجود برای توسعه در معرض بسیار زیاد خطر فرسایش است. از نتایج این تحقیق می‌توان برای اهداف حفاظت و سازگاری استفاده کرد. بر اساس بررسی‌های انجام گرفته می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تأثیرات عوامل مختلف همچون داده‌های بارش، خاک، توپوگرافی، تصاویر ماهواره‌ای، مدل ارتفاعی دیجیتال، در شناسایی و برآورد فرسایش منطقه با استفاده از مدل RUSLE موثر واقع می‌گردند.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز آتسگاه در جنوب غربی شهرستان اردبیل در موقعیت ۴۷ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲ دقیقه طول شرقی و از ۳۸ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. سرشاخه‌های این حوضه از ارتفاعات سبلان در غرب حوضه سرچشمه می‌گیرد. مساحت این حوضه ۴۰/۵ کیلومترمربع و حداکثر ارتفاع این حوضه حدود ۳۵۹۶ متر در منتهی الیه قسمت غربی حوضه و حداقل ارتفاع آن ۱۷۹۸ متر در

سالیانه خاک داشته است. عرب و همکاران (۱۳۹۷)، به بررسی وضعیت فرسایش در حوضه آبخیز اوغان با مساحت ۳۸۹/۲۵ کیلومترمربع پرداختند. آن‌ها در این پژوهش برای برآورد فرسایش خاک از مدل RUSLE استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که میزان فرسایش سالیانه خاک در کل محدوده مطالعاتی از ۰ تا ۶۵۷۴ تن در هکتار در سال در سطح پیکسل برآورد شده است. همچنین نشان دادند که فاکتور پوشش گیاهی بیش‌ترین تأثیر را در برآورد فرسایش سالانه خاک توسط مدل RUSLE داشته است. محمدی و همکاران (۱۳۹۷)، با هدف مطالعه و برآورد مکانی و زمانی فرسایش خاک در دوره‌های ۱۹۹۴-۱۹۹۹-۲۰۰۸-۲۰۱۵ در زیرحوضه مندرجان واقع در غرب استان اصفهان پرداختند. آن‌ها با استفاده از فن‌آوری‌های سنجش از دور و GIS به این نتیجه رسیدند که مقدار فرسایش خاک در سال ۱۹۹۴-۱۹۹۹-۲۰۰۸-۲۰۱۵ به ترتیب ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۱ تن در هکتار در سال است. همچنین عامل پستی و بلندی در منطقه با ضریب همبستگی ۸۰ درصد بیش‌ترین تأثیر را در برآورد میزان فرسایش سالانه خاک توسط مدل RUSLE داشته است. نژاد افزلی و همکاران (۱۳۹۸)، جهت برآورد فرسایش خاک در حوضه آبخیز دهکهان جنوب کرمان از مدل تجدید نظر شده جهانی فرسایش خاک (RUSLE) استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد میزان فرسایش سالیانه خاک در محدوده مطالعاتی ۵۰ تن در هکتار در سال برآورد شده است. خسروی‌اقدم و همکاران (۱۳۹۸)، به منظور برآورد عامل فرسایش‌پذیری خاک و ارتباط آن با برخی از ویژگی‌های زمین را با استفاده از مدل USLE در بخشی از حوضه آبخیز نازلو چای ارومیه انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که مقدار عامل K در محدوده ۰/۰۷۹ تا ۰/۰۲۹ تن در ساعت بر مگاژول میلی‌متر متغیر است. همچنین خاک‌های منطقه از نظر فرسایش‌پذیری در کلاس‌های فرسایش‌پذیری کم و خیلی کم قرار دارند. مارتینز<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۱)، به مدلسازی اثرات تغییرات کاربری زمین بر روی رواناب و فرسایش خاک در جنوب کشور اسپانیا پرداختند و به این نتیجه رسیدند که افزایش کشت دیم و تبدیل پوشش گیاهی به مناطق مسکونی و راه‌های ارتباطی به طور محسوسی باعث فرسایش خاک شده است. نالینا<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۴)، به مطالعه تغییرات کاربری اراضی منطقه نیلجیس کشور هندوستان پرداختند. نتایج نشان داد که فعالیت کشاورزی در اراضی شیبدار کوهستانی و طی این دوره به سرعت افزایش یافته است. ان‌واگو<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۷)، در مطالعه‌ای تأثیر تغییر پوشش زمین بر مقدار فرسایش خاک در نیجریه را مطالعه کردند. آن‌ها در این پژوهش تأثیر پوشش زمین را در چهار دوره بررسی کردند و نتایج نشان داد که در دامنه‌های شیبدار فرسایش خاک شدید و در مناطقی که پوشش گیاهی

<sup>4</sup> Santos

<sup>5</sup> Jazoli

<sup>6</sup> Rawat

<sup>7</sup> Amah

<sup>1</sup> Martinez

<sup>2</sup> Nalina

<sup>3</sup> Nwaogu

چندطیفی از منابع منحصر به فرد برای برنامه‌ریزی کاربردی در مقیاس‌های مختلف، از جمله کاربری اراضی و پوشش اراضی، شناسایی تغییرات و نظارت بر پویایی محیط طبیعی را شامل می‌شوند (طاهرپرور و همکاران، ۱۳۹۵). بنابراین در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای لندست 8 OLI استفاده شد. مشخصات تصویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۱، ارائه شده است.

جدول ۱، مشخصات تصویر ماهواره‌ای مورد استفاده در پژوهش

داده‌های ماهواره‌ای	قدرت تفکیک مکانی	ردیف و گذر	تاریخ تصویر	فرمت
Landsat- 8 OLI	۳۰ متر	۱۶۷-۳۴	۲۵ ژوئن ۲۰۲۰	TIFF

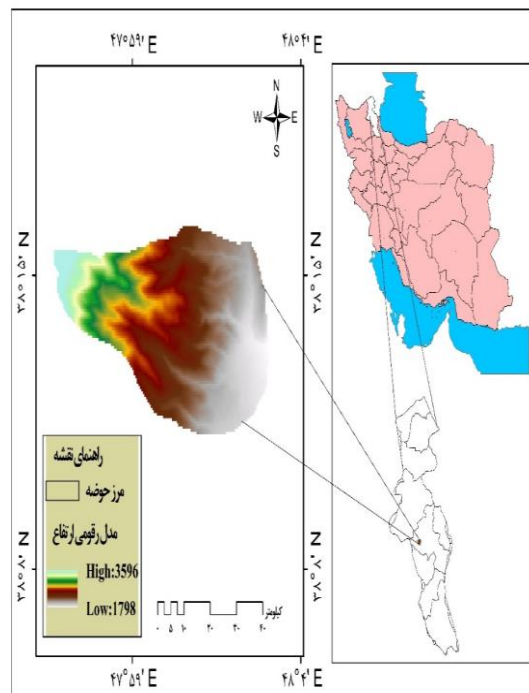
### ۲-۳- مدل جهانی هدررفت خاک تجدیدنظر شده (RUSLE)

در این پژوهش مدل تجدیدنظر جهانی فرسایش خاک RUSLE به منظور برآورد هدررفت خاک مورد استفاده قرار گرفت که لایه‌های آن را می‌توان با کمک تکنیک‌های سنجش از دور و GIS به دست آورد. معادله جهانی فرسایش خاک (USLE) در سال ۱۹۴۷ توسط سازمان تحقیقات کشاورزی ایالات متحده آمریکا برای برآورد میزان فرسایش سطحی ارائه شد (ویشمایر و اسمیت<sup>۲</sup>، ۱۹۷۸). نسخه تجدیدنظر شده آن (RUSLE) جهت تخمین فرسایش خاک و طراحی برنامه‌های حفاظتی مورد استفاده قرار می‌گیرد (رنارد و همکاران<sup>۳</sup>، ۱۹۹۷). مدل RUSLE یک مدل برآورد فرسایش آبی است که با شش عامل زیر ارتباط دارد و به صورت رابطه (۱) نشان داده می‌شود (ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸).

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1) \text{ رابطه}$$

در این رابطه، A میانگین سالانه هدررفت خاک در واحد سطح (تن در هکتار در سال)، R عامل فرسایش باران (مگاژول میلی‌متر در هکتار بر ساعت در سال)، K عامل فرسایش‌پذیری خاک (تن در ساعت بر مگاژول بر میلی‌متر)، L عامل طول شیب، S عامل درجه شیب، C عامل پوشش گیاهی و P عامل عملیات حفاظتی است. مقادیر C، LS، P بدون واحد هستند. در این رابطه فرسایش متوسط سالیانه خاک از طریق حاصل ضرب فاکتورهای فرسایش‌پذیری (R)، فرسایش‌پذیری خاک (K)، عملیات حفاظتی (P)، مدیریت پوشش گیاهی (C)، توپوگرافی (LS)، محاسبه می‌شود. روش مذکور با تأکید بر مجموع انرژی بارش برای محاسبه شدت فرسایش سطحی که دربرگیرنده فرسایش ورقه‌ای و شیاری است توسعه یافته است. از آنجا که پارامترهایی

خروجی حوضه در قسمت شرقی می‌باشد. موقعیت حوضه آبخیز آتشیگاه در شکل ۱، نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز آتشیگاه

### ۲-۲- داده‌ها و ابزارهای پژوهش

پژوهش حاضر از نوع کاربردی بوده و روش تحقیق آن تحلیلی مبتنی بر تلفیق آنالیز داده‌ها، سیستم اطلاعات جغرافیایی، سنجش از دور و استفاده از مدل تجدیدنظر شده جهانی فرسایش خاک (RUSLE) است. داده‌ها و ابزارهای مورد استفاده در پژوهش شامل لایه‌های رقومی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور، مدل رقومی ارتفاعی (DEM<sup>۱</sup>)، با تفکیک مکانی ۳۰ متر، داده‌های بارندگی از سازمان هواشناسی کشور، تصویر ماهواره‌ای لندست 8 OLI برای سال ۲۰۲۰ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر، منطقه مورد مطالعه از سایت [www.usgs.gov](http://www.usgs.gov)، جمع‌آوری نمونه‌های تعلیمی نیز از طریق بازدید میدانی و ایجاد ترکیب‌های رنگی کاذب انجام شد و گزارش و داده‌های آزمایشگاهی خاک حوضه مورد مطالعه از معاونت آبخیزداری سازمان جنگل‌ها مراتع و آبخیزداری کشور می‌باشد. در این پژوهش از نرم افزارهای ArcGIS 10.3 جهت ترسیم نقشه‌ها و تحلیل‌های مرتبط با آن و همچنین از نرم افزار ENVI 5.3 جهت تهیه لایه‌های پوشش گیاهی و کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه و نیز از نرم افزارهای آماری مثل Excel 2016 و SPSS 17 جهت محاسبات آماری و روابط رگرسیونی معادلات بهره‌گیری شده است. تصاویر ماهواره‌ای لندست طولانی‌ترین آرشيو از تصاویر جهانی با قدرت تفکیک متوسط، داده‌های

<sup>2</sup> Wischmeier and Smith

<sup>3</sup> Renard et al

<sup>1</sup> Digital Elevation Model

سنگریزهای	فرسایش
خاک‌های ماسه‌ای	۰/۱۶ خاک‌های ماسه‌ای نرم ۰/۴۲
خاک‌های لومی شنی	۰/۱۲ خاک‌های لومی با ماسه ۰/۴۲
خاک‌های سیلت لومی	۰/۴۸ بسیار ریز خاک‌های لومی ۰/۳۷
خاک‌های سیلتي رسی	۰/۲۵ خاک‌های لومی رسی ۰/۳۷

نظیر عامل پوشش، فرسایش پذیری خاک در مقیاس روز و ماهانه نیز تغییر قابل توجهی دارند، تغییرات زمانی متغیرهای مؤثر در فرسایش خصوصاً تغییرات فصلی بارش در این مدل در نظر گرفته شده است (رضایی و همکاران، ۱۳۸۶).

### ۱-۳-۲- عامل فرساینده‌ی باران (R)

مفهوم فرساینده‌ی باران توسط ویشمایر و اسمیت به منظور لحاظ تاثیر اقلیم بر فرسایش خاک ارائه شد. پتانسیل باران در ایجاد فرسایش، فرساینده‌ی باران نامیده می‌شود که تابعی از خصوصیات فیزیکی بارندگی است و با انرژی مستقیم باران، انرژی جنبشی بارندگی و حداکثر شدت بارندگی ۳۰ دقیقه‌ای در ارتباط است (ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸). جهت محاسبه عامل فرساینده‌ی باران (R)، آمار بارش ماهانه و سالانه ۱۰ ساله (سال آبی ۱۳۹۹-۱۳۹۰) پنج ایستگاه باران سنجی سرعین، شمشیرخوانی، سئین، سردابه و آتشگاه مورد استفاده قرار گرفت. سپس محاسبه شاخص اصلاح شده فورنیه (MIF) با استفاده از رابطه ۲، مقادیر فرساینده‌ی باران (R) با کاربرد رابطه ۴ و ۳ مورد محاسبه قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۴، نشان داده شده است. با انتقال این اعداد به محیط برنامه ArcGIS و اعمال درون‌یابی IDW نقشه رستری ۳۰ متری تغییرات مکانی (R) تهیه گردید.

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_i^2}{\sum_{i=1}^{12} P} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه  $P_i$  متوسط بارندگی (میلی‌متر) در ماه،  $i$  و  $P$  متوسط بارندگی سالیانه (میلی‌متر) است. با استفاده از رابطه (۲) شاخص فورنیه برای تمام ایستگاه‌ها محاسبه گردید و مقدار R برای هر یک از ایستگاه‌های شاخص بر اساس رابطه‌های (۳) و (۴) محاسبه گردید.

$$R - \text{Factor} = (0.07397 * F^{1.847}) / 17.2 \quad \text{رابطه (۳)} \quad F < 55 \text{mm}$$

$$R - \text{Factor} = (9577 - 6081 * F + 0.4770 * F^2) / 172 \quad \text{رابطه (۴)} \quad F > 55 \text{mm}$$

### ۲-۳-۲- عامل فرسایش پذیری خاک (K)

مورگان برای ضریب فرسایش‌پذیری (K) خاک‌های مختلف اعدادی را پیشنهاد کرده است که در جدول ۲، ارائه داده شده است (Morgan, 2011). به منظور تهیه نقشه عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) از نقشه بافت خاک ۱:۲۵۰۰۰۰ ایران و اطلاعات جدول (۲)، استفاده گردید.

جدول ۲- ضریب فرسایش پذیری خاک (برحسب  $(t \text{ h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1})$ ) (Morgan, 2011).

وضعیت خاک	K	وضعیت خاک	K
خاک سطحی با پوشش	۰/۵	اراضی مقاوم به	۰/۱

### ۳-۳-۲- عامل توپوگرافی (LS)

عامل توپوگرافی نیازمند نقشه‌های تجمیع جریان و شیب است که از نقشه مدل رقومی ارتفاعی استخراج می‌شوند و در نهایت با استفاده از رابطه ۵، عامل توپوگرافی به دست می‌آید. به طور کلی می‌توان هر یک از عوامل طول شیب و درجه شیب را با هم در نظر گرفت که آن را با علامت LS نشان می‌دهند (Paidam, 2012).

$$LS = (fa \times \frac{\text{cell\_size}}{22.3})^{0.4} (\frac{\sin}{0} / 0896)^{1.3} \quad \text{رابطه (۵)}$$

در این رابطه LS عامل طول دامنه، fa تجمیع جریان می‌باشد.

### ۴-۳-۲- عامل پوشش گیاهی (C)

به منظور تهیه نقشه عامل C ابتدا باید مقادیر شاخص NDVI برای کل حوضه محاسبه شود. بدین منظور برای تهیه نقشه NDVI از تصویر ماهواره‌ای Landsat 8 OLI سال ۲۰۲۰ منطقه مطالعه شده با استفاده از رابطه (۶) استفاده شد (Dabral et al., 2011). نقشه شاخص پوشش گیاهی NDVI منطقه مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار ENVI 5.3 از رابطه (۶) به دست آمد.

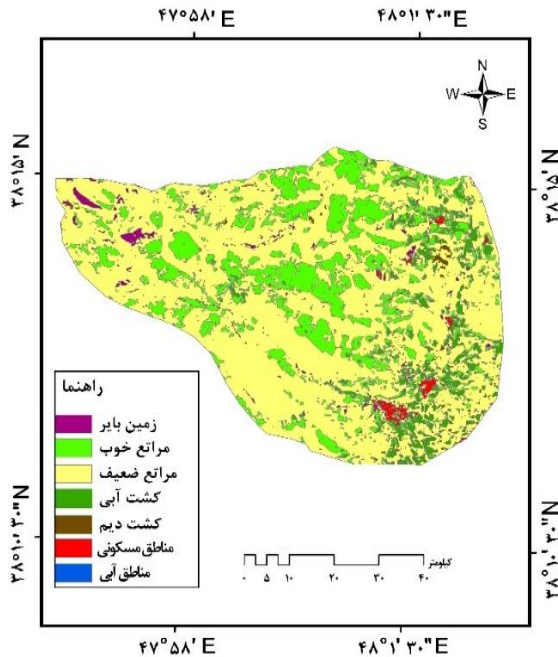
$$NDVI = (P_{NIR} - P_{Red}) / (P_{NIR} + P_{Red}) \quad \text{رابطه (۶)}$$

در این رابطه  $P_{Red}$  باند قرمز و  $P_{NIR}$  باند مادون نزدیک است. پس از محاسبه NDVI برای کل حوضه، در نهایت توزیع مکانی مقادیر C در حوضه نیز با استفاده از رابطه (۷) (Dabral et al., 2011) و توسط تحلیلگر مکانی نرم‌افزار ArcGIS به دست آمد.

$$C = 0/407 - 0/5953 * NDVI \quad \text{رابطه (۷)}$$

### ۵-۳-۲- عامل عملیات حفاظت خاک (P)

در مدل RUSLE عامل P نشان‌دهنده نسبت هدررفت خاک در شرایط اجرای عملیات حفاظتی (کشت روی خطوط تراز، کشت نواری، ترانس‌بندی و زهکشی زیرسطحی) به هدررفت خاک تحت زراعت شخم در جهت شیب است (ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸). این عملیات حفاظتی به دلیل تأثیر بر سرعت رواناب، زمان تمرکز و نیروی هیدرولیکی رواناب بر خاک سبب کاهش فرسایش می‌شوند و ارزش عددی این عامل از صفر (نشان‌دهنده عملیات



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی حوضه آتشفشان با استفاده از روش (SVM)

### ۲-۳-۲- فرسایش خاک (RUSLE)

با توجه به (شکل الف) نتایج عامل فرسایش باران (R) از ۷۴ تا ۹۸/۳۴ مگاژول بر میلی متر بر هکتار بر ساعت در سال متغیر می‌باشد که بیشترین مقدار آن مربوط به قسمت‌های شمال و جنوب شرقی و کمترین آن مربوط به قسمت‌های مرکزی و جنوب غربی است.

جدول ۴- مقادیر شاخص‌های F و R (بر حسب مگاژول بر میلی متر بر هکتار بر ساعت)، در ایستگاه‌های مجاور حوضه آتشفشان

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	X	Y	F	R
سرعین	باران سنجی	۲۴۳۱۸۴	۴۲۲۶۶۷۲	۳۷/۱۴	۵۸/۷۰
شمشیرخوانی	باران سنجی	۲۳۸۴۹۹	۴۲۴۰۰۹۲	۶۰/۳۲	۱۴۳/۷۶
سئین	باران سنجی	۲۳۹۵۲۵	۴۲۳۲۴۹۳	۴۲/۱۶	۷۴/۱۸
سردابه	باران سنجی	۲۴۰۶۶۵	۴۲۴۱۶۲۷	۵۶/۵۷	۱۲۷/۶۸
آتشفشان	باران سنجی	۲۴۲۴۵۹	۴۲۳۳۸۹۲	۴۴/۶۲	۸۲/۳۶

حفاظتی کامل) تا یک (بدون عملیات حفاظتی) متغیر است (ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸).

### ۲-۳-۳- تلفیق لایه‌ها و تهیه نقشه فرسایش خاک (RUSLE)

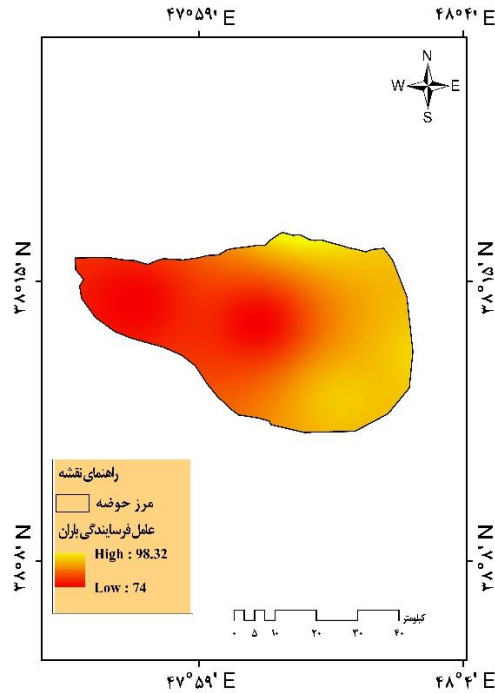
پس از تهیه لایه‌ها و طبقه‌بندی هر کدام از آن‌ها مطابق شرایط منطقه و دامنه اعداد به‌دست‌آمده، نقشه نهایی فرسایش خاک با هم‌پوشانی لایه‌های مذکور تهیه و به کلاس‌های مختلف فرسایش طبقه‌بندی شد. برای تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه نیز ابتدا تصویر ماهواره‌ای لندست 8 OLI مربوط به تاریخ ۲۵ ژوئن ۲۰۲۰ از سایت زمین شناسی آمریکا (USGS) دانلود گردید و سپس در محیط نرم افزار ENVI 5.3 با روش طبقه‌بندی نظارت شده و الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM)، به طبقه‌بندی کاربری‌های موجود در حوضه مورد مطالعه پرداخته شد. همچنین به منظور بالا بردن دقت کار از باند پانکروماتیک تصویر با قدرت تفکیک ۱۵ متر استفاده شد. در نهایت کاربری‌های اراضی در ۷ طبقه برای حوضه آبخیز آتشفشان استخراج گردید.

### ۳- نتایج و بحث

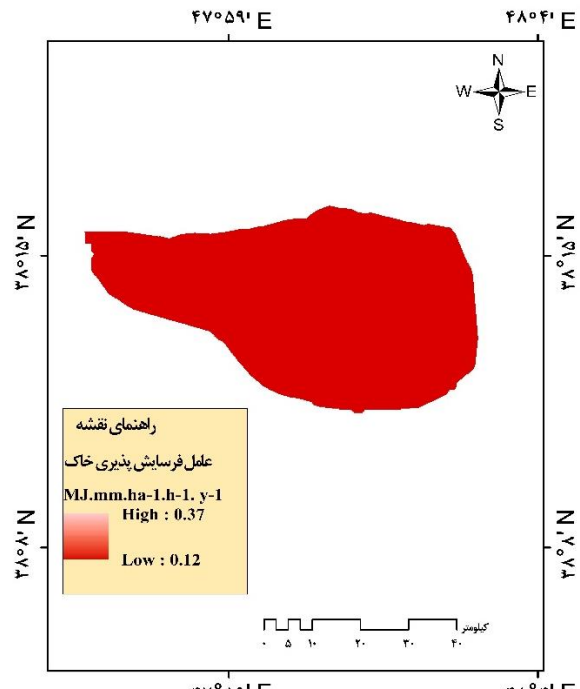
#### ۳-۱- نتایج طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای

پس از طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای به روش ماشین بردار پشتیبان (SVM)، نقشه کاربری اراضی به‌دست آمده به هفت کلاس کاربری شامل اراضی بایر مراعات خوب، کشاورزی آبی، دیم، مناطق مسکونی و آبی تفکیک شد (شکل ۲). صحت نقشه به‌دست آمده برای سال ۲۰۲۰ با استفاده از تصویر گوگل ارث و نقاط کنترل زمینی و همچنین تصویر رنگی کاذب همان سال مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش، صحت کلی برای نقشه کاربری اراضی حوضه آتشفشان برابر ۰/۹۰ و ضریب کاپا برابر ۰/۸۷ به‌دست آمد.

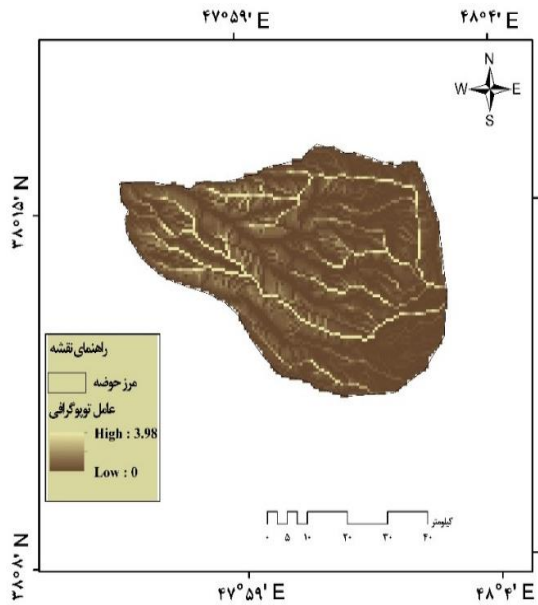
<sup>1</sup> United States Geological Survey



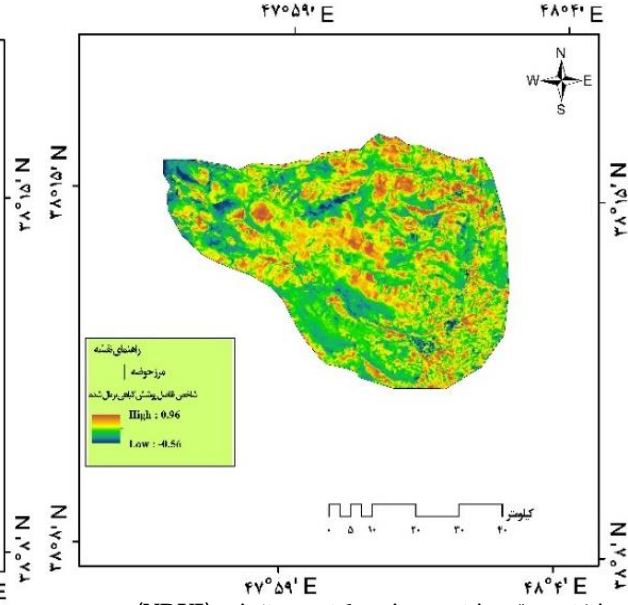
شکل الف- نقشه عامل فرساینده‌گی باران (R)، حوضه آتشفگاه



شکل ب- نقشه عامل فرسایش پذیری خاک (K) حوضه آتشفگاه

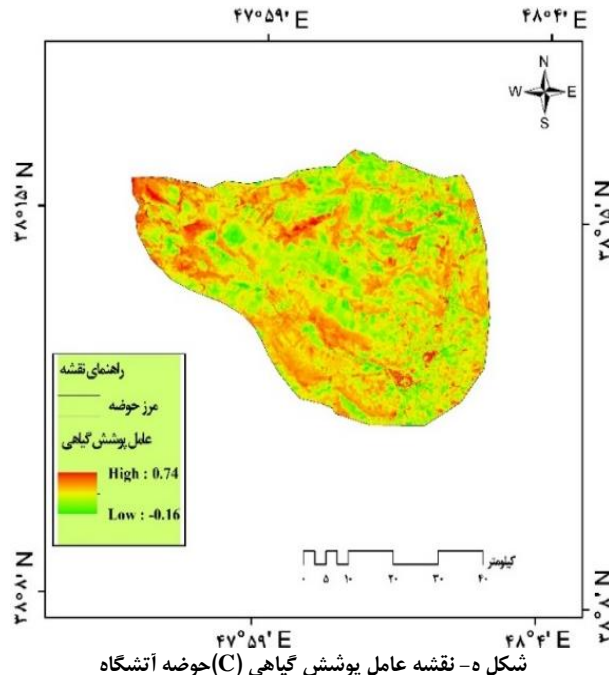


شکل ج- نقشه عامل توپوگرافی (LS) حوضه آتشفگاه



شکل د- نقشه شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) حوضه آتشفگاه





شکل ۵- نقشه عامل پوشش گیاهی (C) حوضه آتشفگاه

عامل عملیات حفاظت خاک (P) نیز با توجه به عدم اطلاعات موجود از منطقه برای کل منطقه عدد ۱ در نظر گرفته شد. فرسایش سالانه خاک (RUSLE)، جهت تهیه نقشه متوسط فرسایش سالانه خاک حوضه آبخیز آتشفگاه از طریق حاصل ضرب عامل‌های فرساینده باران (R)، فرسایش‌پذیری خاک (K)، توپوگرافی (LS)، پوشش گیاهی (C) و عملیات حفاظت خاک (P) در افزونه Raster Calculator در محیط ArcGIS با استفاده از (رابطه ۱) محاسبه شد. مقادیر فرسایش سالانه خاک در حوضه مورد مطالعه بین ۰/۰۹ تا ۱۱/۰۲ تن در هکتار در سال متغیر می‌باشد. همچنین میانگین مقادیر فرسایش خاک در منطقه مورد مطالعه نیز ۰/۱۶ تن در هکتار در سال و انحراف معیار آن برابر با ۰/۵۵ تن در هکتار در سال می‌باشد. در (شکل ۳)، نقشه متوسط فرسایش سالانه خاک (RUSLE) حوضه آتشفگاه ارائه شده است.

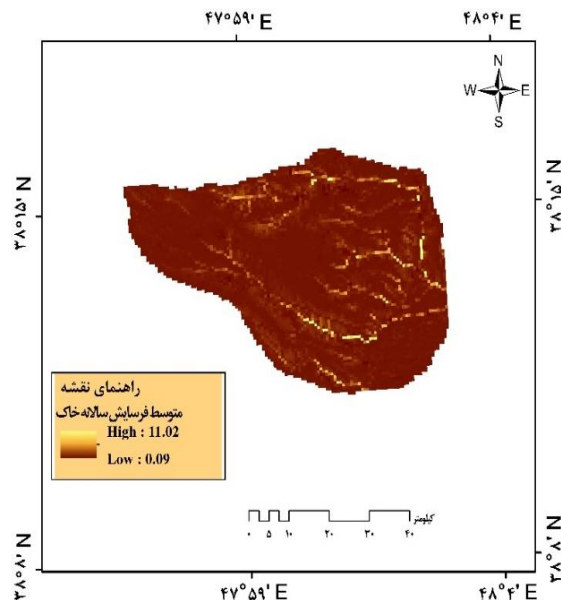
متوسط مقدار عامل فرسایش‌پذیری خاک (K)، بر اساس شکل (ب)، در حوضه مورد مطالعه بین ۰/۱۲ تا ۰/۳۷ تن بر هکتار در سال متغیر می‌باشد. بر اساس شکل (ج)، مقدار عامل LS در منطقه مورد مطالعه بین ۰ تا ۳/۹۸ متغیر می‌باشد که در دامنه‌های پرشیب به‌خصوص اطراف آبراهه‌ها این مقدار بیش‌تر است. با استفاده از شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) عامل پوشش گیاهی (C) حوضه آتشفگاه براساس رابطه ۴ و ۵ تهیه شد که در (شکل د و ه) ارائه شده است. بر اساس این شکل مقدار عامل C بین ۰/۱۶- تا ۰/۷۴ متغیر است. به طور کلی می‌توان گفت که نیمه شرقی و مرکزی حوضه به دلیل وجود اراضی دیم و همچنین بدون استفاده مقادیر کم‌تری از مقدار C را دارا است و همچنین نواحی جنوبی و غربی حوضه به دلیل وجود اراضی مرتع بیش‌ترین مقادیر را به خود اختصاص داده است.



اراضی دیم و بایر می‌باشد که باعث شده است تا مقادیر میانگین فرسایش در آن‌ها بالا باشد.

#### ۴- نتیجه گیری

کاربری اراضی، یکی از عوامل مهم در ایجاد فرسایش خاک است و در سال‌های اخیر، تاثیر متقابل تغییر کاربری اراضی و فرسایش خاک به یک نگرانی عمده زیست‌محیطی تبدیل شده است. با توجه به اهمیت موضوع، در پژوهش حاضر نیز بررسی میزان فرسایش خاک بر کاربری اراضی در حوضه آبخیز آتشفشان با استفاده از مدل RUSLE مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور ابتدا نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصویر ماهواره‌ای لندست 8 OLI و با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان در هفت کلاس کاربری شامل اراضی بایر، مراتع خوب، ضعیف، کشاورزی دیم، آبی، مناطق مسکونی و آبی طبقه‌بندی گردید. صحت کلی و ضریب کاپا برای نقشه کاربری اراضی تهیه شده به ترتیب برابر ۰/۹۰ و ۰/۸۷ درصد به دست آمد. سپس نقشه‌های عوامل R, K, LS, C و P مدل RUSLE در محیط GIS تهیه و پس از تلفیق این لایه‌ها از طریق Raster Calculator در محیط Arcmap نقشه متوسط فرسایش سالانه خاک برای کل حوضه آبخیز آتشفشان بین ۰/۰۹ تا ۱۱/۰۲ تن در هکتار در سال محاسبه شد. نتایج ارزیابی نقشه هدررفت خاک بر روی کاربری‌های اراضی منطقه مورد مطالعه نشان داد که کاربری اراضی دیم با میانگین فرسایش خاک ۰/۴۸ تن در هکتار در سال دارای بیشترین هدررفت خاک و مراتع خوب با میانگین فرسایش ۰/۲۱ تن در هکتار در سال دارای کمترین هدررفت خاک را در بین سایر کاربری‌های موجود در منطقه را دارا می‌باشند. در این پژوهش سعی شد از قابلیت‌های GIS برای ایجاد داده‌های مورد نیاز مدل RUSLE استفاده شود. در نهایت پیشنهاد می‌گردد، با تعیین ظرفیت چرأ، مدیریت پوشش گیاهی، روند تغییرات کاربری اراضی در حوضه آبخیز آتشفشان کنترل و در جهت احیا، اصلاح و توسعه مراتع گام برداشته شود. بنابراین انتظار می‌رود، این مطالعه و نتایج حاصل از این پژوهش، راه-گشایی برای اعمال مدیریت بهتر و علمی‌تر مدیران و برنامه‌ریزان ذی‌صلاح در این زمینه گردد.



شکل ۳- نقشه فرسایش سالانه خاک (RUSLE) حوضه آتشفشان

با تلفیق لایه‌های مدل فرسایش و کاربری اراضی با استفاده از افزونه Zonal statistic as table در محیط Arc map مقادیر هدررفت خاک در هر کدام از کاربری‌های موجود در حوضه برآورد گردید. نتایج نشان داد که کاربری کشاورزی دیم با میانگین ۰/۴۸ تن در هکتار در سال بیشترین و کاربری مراتع خوب با میانگین ۰/۰۲ در هکتار در سال کمترین هدررفت خاک را در بین کاربری‌های مختلف را به خود اختصاص داده است. از طرفی دیگر دلیل بالا بودن مقادیر میانگین فرسایش در کاربری مراتع ضعیف به این دلیل است که این اراضی در شیب‌های تندتری قرار دارند. بنابراین نسبت به فرسایش حساس می‌باشند و همین امر می‌تواند دلیل بالا بودن میانگین فرسایش در این اراضی باشد. همچنین باتوجه به نقشه عامل C و تراکم پوشش گیاهی (NDVI) بیشترین مقدار NDVI مربوط به مراتع خوب و کشت آبی می‌باشد که این موضوع باعث شده است که این اراضی نسبت به سایر کاربری‌ها از میانگین فرسایش کمتری برخوردار باشند. درواقع پوشش گیاهی مهم‌ترین مانع در برابر فرسایش می‌باشد. همچنین کمترین مقدار عامل C و پوشش گیاهی (NDVI) نسبت به سایر کاربری‌های موجود مربوط به

#### منابع

- بابایی، م.، حسینی، س.، ز. نظری سامانی، ع. ا.، المدرسی، س. ع.، (۱۳۹۵)، پهنه‌بندی فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE 3D مطالعه موردی: حوضه آبخیز کن. مهندسی و مدیریت آبخیز، دوره ۸، شماره ۲، صص ۱۸۱-۱۶۵.
- پژوهش، م.، گرجی، م.، طاهری، م.، سرمیدان، ف.، محمدی، ج.، صمدی، ح.، (۱۳۹۰)، اثر کاربری اراضی مختلف حوضه سد زاینده رود علیا در تولید رسوب با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی. نشریه پژوهش آب ایران، شماره ۸، صص ۱۴۳-۱۵۲.
- جوزی، س.، مرادی مند، ن.، (۱۳۹۴)، ارزیابی عوامل مؤثر بر شدت فرسایش خاک در روش شش عامله فائو با استفاده از تکنیک TOPSIS. نشریه حفاظت و بهره‌برداری از منابع طبیعی، دوره ۴، شماره ۱، صص ۷۹-۱۰۰.

- حاجی، خ، اسمعیلی عوری، ا، مصطفی زاده، ر، نظرزاد، ح، (۱۳۹۴)، تهیه و ارزیابی نقشه فرسایش خاک حوضه آبخیز روضه‌چای ارومیه با استفاده از GIS و RUSLE. دومین همایش ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه محقق اردبیلی، ۱۳-۱۲ اسفند، ۱-۶.
- خسروی اقدم، ک، ممتاز، ح، ر، اسد زاده، ف، (۱۳۹۸). برآورد عامل فرسایش‌پذیری خاک مدل USLE و ارتباط آن با برخی ویژگی‌های زمین منظر در بخشی از حوضه آبخیز نازلوچای ارومیه. تحقیقات کاربردی خاک، جلد ۷، شماره ۱، صص ۳۱-۴۳.
- رضایی، م، قرقه‌چی، ش، قانعی مطلق، غ، ایوبی، ش، (۱۳۸۶). برآورد فرسایش خاک در حوضه زیارت با استفاده از مدل RUSLE. دهمین کنگره علوم خاک ایران، کرج، صص ۱۱۶۳-۱۱۶۱.
- طاهرپور، م، پیرمردیان، ن، وظیفه دوست، م، (۱۳۹۵). مقایسه روش‌های پرکردن پیکسل‌های فاقد داده در تصاویر ماهواره لندست ۷ ETM+ در برآورد نقشه ضریب گیاهی. تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۷، شماره ۴، صص ۶۶۵-۶۷۶.
- عرب، د، روحانی، ح، فتح‌آبادی، ا، سیدیان، س، م، (۱۳۹۷). برآورد فرسایش خاک با استفاده از روش RUSLE در حوضه آبخیز اوغان گلستان. دومین همایش ملی دانش و فناوری علوم کشاورزی منابع طبیعی و محیط‌زیست ایران، تهران.
- محمدی، ش، کریم زاده، ح، ر، پورمنافی، س، سلطانی کوپایی، س، (۱۳۹۷). برآورد مکانی و زمانی فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE و سری‌های زمانی ماهواره لندست. مندرجان، اصفهان، مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۷۱، شماره ۳، صص ۷۷۴-۷۵۹.
- نژادافضلی، ک، شاه‌رخی، م، ر، بیاتانی، ف، (۱۳۹۸). برآورد فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE و شناسایی موثرترین عامل آن در حوضه آبخیز دهکان (جنوب کرمان). مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۸، شماره ۲۰، صص ۳۸-۲۱.
- Amah, J. I., Aghamelu, O. P., Omonona, O. V., Onwe, I. M., 2020. A Study of the Dynamics of soil Erosion Using RUSLE Modeling and Geospatial Tool in Edda-Aficpo Mesas, South Eastern Nigeria, Pakistan Journal of Geology, V2, I 2, p:56-71.
- Arnold, J.G. Srinivasan, R. Muttiah, R.S. Williams, J.R. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model development1, Wiley Online Library.
- Assis, K. G. O., da Silva, Y. J. A. B., Lopes, J. W. B., Medeiros, J. C., Teixeira, M. P. R., Rimá, F. B., & Singh, V. P, 2021. Soil loss and sediment yield in a perennial catchment in Southwest Piauí, Brazil. Environmental Monitoring and Assessment, 193(1), 1-11.
- Borrelli, P., Robinson, D. A., Fleischer, L. R., Lugato, E., Ballabio, C., Alewell, C., Meusburger, K., Modugno, S., Schütt, B., Ferro, V., Bagarello, V., Van Oost, K., Montanarella, L., & Panagos, P, 2017. An assessment of the global impact of 21st century land-use change on soil erosion. Nature Communications, 8(1), 1-13.
- Chen, J., Xiao, H., Li, Z., Liu, C., Wang, D., Wang, L., & Tang, C, 2019. Threshold effects of vegetation coverage on soil erosion control in small watersheds of the red soil hilly region in China. Ecological Engineering, 132, 109-114
- Diwediga, B., Le, Q. B., Agodzo, S. K., Tamene, L. D., & Wala, K, 2018. Modelling soil erosion response to sustainable landscape management scenarios in the Mo River Basin, Togo, West Africa. Science of the Total Environment, 625, 1309-1320.
- Han, J., Ge, W., Hei, Z., Cong, C., Ma, C., Xie, M., Liu, B., Feng, W., Wang, F., & Jiao, J. (2020). Agricultural land-use and management weaken the soil erosion induced by extreme rainstorms. Agriculture, Ecosystems & Environment, 301, 107-470.
- Jazouli, A. E., Barakat, A., Ghafiri, A., El Moutaki, S., Ettaqy, A., Khellouk, R, 2017. Soil erosion modeled with USLE, GIS, and remote sensing: a case study of Ikkour watershed in middle Atlas, Morocco, Geoscience Letters, 4(1): 1-12.
- Jones D.S, Kowalski D.G, Robert B.S., 2008. Calculating Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) Estimates on Department of Defense Lands: A Review of RUSLE Factors and U.S. Army Land Condition-Trend Analysis (LCTA) Data Gaps. Center for Ecological Management of Military Lands Department of Forest Science, Colorado State University Fort Collins, CO 80523.
- Kinnell, P.I.A, 2000. AGNPS-UM: Applying the USLE within the agricultural non point source pollution model. Environmental Modelling and Software, 15(3): 331-341.
- Lee, S., Chu, M. L., Guzman, J. A., & Botero-Acosta, A, 2021. A comprehensive modeling framework to evaluate soil erosion by water and tillage. Environmental Management, 279, 111631.

- Martínez-Murillo, M. J. F., Lopez Vicente MPoesen, J., & Ruiz Sinoga, J. D, 2011. Modelling the effects of landuse changes on runoff and soil Eerosion in two Mediterranean catchments with active gullies (South of Spain). *LandformAnalysis*. 17(1): 99-104.
- Morgan, R.P.C. and M.A. Nearing. 2011. The future role of information technology in erosion modeling. *Hand Book of Erosion Modeling*, 631 pages.
- Nwaogu C, Okeke OJ, Adu SA, Babine E, Pechanec V., 2017. Land use land cover change and soil-gully erosion relationships: A study of Nanka, South-Eastern Nigeria using geoinformatics. *Proceedings of GIS Ostrava: Dynamics in GIscience*. Pp. 305-319.
- Ouyang, W., Wu, Y., Hao, Z., Zhang, Q., Bu, Q., & Gao, X, 2018. Combined impacts of land-use and soil property changes on soil erosion in a mollisol area under long-term agricultural development. *Science of the total environment*, 613, 798-809.
- Paul, S. S., Li, J., Li, Y., & Shen, L, 2019. Assessing land-use/land-cover change and soil erosion potential using a combined approach through remote sensing, RUSLE and random forest algorithm. *Geocarto International*, 36, 1-15.
- Rawat, K. S., Singh, S. K, 2018. Appraisal of Soil Conservation Capacity Using NDVI Model-Based C Factor of RUSLE Model for a Semi Arid Ungauged Watershed: a Case Study, *Water Conservation Science and Engineering*, 3(1): 47-58.
- Ren, Y., Lü, Y., Comber, A., Fu, B., Harris, P., & Wu, L, 2019. Spatially explicit simulation of land-use/landcover changes: Current coverage and future prospects. *Earth Science Reviews*, 190, 398-415.
- Santos J. C. N, Andrade E. M, Medeiros P. H. A, Joao M., 2017. Land use impact on soil erosion at different scales in the Brazilian semi-arid. *Revista Ciencia Agronomica*. 48(2): 251-260.
- Shinde K.N, Manjushree S., 2010. Prioritization of micro watersheds on the basis of soil erosion hazard using remote sensing and geographic information system. *International Journal of Water Resource and Environmental Engineering*. 2(3): 130-136.
- Vanacker, V., Ameijeiras-Mariño, Y., Schoonejans, J., Cornélis, J. T., Minella, J. P., Lamouline, F., Vermeire, M. L., Campforts, B., Robinet, J., Van de Broek, M., Delmelle. P., & Opfergelt, S, 2019. Land-use impacts on soil erosion and rejuvenation in Southern Brazil. *Catena*, 178, 256-266.
- Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses (a guide to conservation planning). U.S. Department of Agriculture, *Agriculture Handbook No. 537*, Washington, No, 537.
- Zhang, Y., Zhang, X., Bi, Z., Yu, Y., Shi, P., Ren, L., & Shan, Z, 2020. The impact of land-use changes and erosion process on heavy metal distribution in the hilly area of the Loess Plateau, China. *Science of The Total Environment*, 718, 137305.
- Zhen, L., Ishwaran, N., Luo, Q., Wei, Y., & Zhang, Q, 2020. Role and significance of restoration technologies for vulnerable ecosystems in building an ecological civilization in China. *Environmental Development*, 34, 100-494.
- Dabral P, Baithuri N, Pandey A. Soil erosion assessment in a hilly catchment of North Eastern India using USLE, GIS and remote sensing. *Water Res Manag*. 2011;22(12):1783-1798.
- Arnold, J., Srinivasan, R., Mutiah, R., Williams, J. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model development1. *J Am Water Res Assoc*, 34(1): 73-89.
- Paidam, M., Vincent, K., Kyoung, j. L. 2012. Soil erosion risk assessment of the Keiskamma catchment, South Africa using GIS and remote sensing. *Environmental Earth Sciences*, 65: 2087-2102.

## Investigating and evaluating the amount of soil loss in the land uses of the Atashgah watershed using the RUSLE model and Landsat satellite images (OLI meter)

Aghil Madadi <sup>1\*</sup>, Amir Hesam Pasban <sup>2</sup>, Behrouz Nazafat Tekleh <sup>3</sup>

1\*- Professor of the Department of Natural Geography (Geomorphology), Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili.

2- Ph.D. student, Geomorphology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili.

3- Ph.D. student, Geomorphology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili.

\* Email Address: A\_madadi@uma.ac.ir

### Introduction

Soil erosion is a natural process (Lee et al., 2021). which causes the level of soil loss by various environmental factors such as weather, soil, topography and vegetation (Chen et al., 2019). However, human interventions through land use change and agricultural and construction activities can accelerate this flow (Wenker et al., 2019; Barley et al., 2017). For this reason, nowadays, soil erosion caused by land use change has become the most important issue of land degradation all over the world, and the transformation of the land form and the disruption of the main functions of the natural environment are the consequences of these geomorphic reactions (Paul et al., 2019). These geomorphological reactions intensify soil erosion and increase the number of vulnerable areas (Asis et al., 2021). In recent studies, it has been stated that landscape characteristics of watersheds can account for about 56-47% of land use changes in soil erosion and sediment yield (Oyang et al., 2018). Because land use is a reflection of the actions between humans and the environment, as well as describing how humans use the place in various ways (Ren et al., 2019). The use of remote sensing data and geographic information system can provide a proper understanding of land use changes and its optimal management. Land use changes can prevent soil erosion and guide the natural environment towards balance and stability (Zhang et al., 2020). Therefore, determining the effective factors on erosion and predicting the amount of soil and sediment erosion in watersheds in order to implement soil protection programs and determine the methods of fighting erosion and reducing sediment production is essential and the first step in providing soil protection solutions (Jozi and Moradi Majid , 2014). Considering the importance of soil protection and also the importance of investigating and determining the sensitivity of soil to erosion factors, different researchers from different dimensions tried to identify erosion factors and provide models for soil evaluation (Bayati Khatibi, 2014). The most important of these models are the Universal Soil Loss Equation (USLE), the Water Erosion Prediction Project (WEPP), the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) and the European Soil Erosion Model (EUROSEM) (Arnold et al., 1998). During the last 40 years, the USLE model has been the most widely used method for estimating soil erosion potential and estimating the effects of various management operations on it due to its simple calculations (Kinel, 2000). After that, a new version of the USLE model has been developed with the name of the revised universal equation of soil loss RUSLE, which is the method used in the current research that makes more accurate estimates of the factors R, K, C and P of soil erosion (Mohammadi et al., 2017). ). The RUSLE model can predict soil erosion potential on a cell-by-cell basis, which is very useful when trying to identify the spatial pattern of current soil loss in a large area (Shindi and Man Jasherari, 2010). Using the RUSLE model, surface erosion and ruts caused by rain and runoff are predicted in the surfaces under surface water flow. Surfaces under runoff are areas where surface currents originate from the beginning and are concentrated at the end or enter the sedimentation area (Jones et al., 2008). Considering the importance of studying land uses and its role in soil erosion, and also emphasizing the efficiency and accuracy of the results obtained from the use of remote sensing (RS) data, geographic information system (GIS) and revised global soil model (RUSLE) ) the amount of soil erosion on the land uses of the Ateshgah watershed is studied. Due to this fact, no study has been conducted in the Ateshgah watershed in the field of investigating the amount of erosion in different land uses. The results of this study can be very interesting for researchers, officials and policy makers in the direction of soil erosion zoning. So far, many studies have been done in

relation to the issue of land use change and its effect on soil erosion in different regions. Research and colleagues (2013) studied the effect of different land use on erosion and sediment production using GIS in the Upper Zayandeh Rood dam basin. The results of his research showed that the highest amount of soil erosion and sediment production in the studied basin took place in the uses of dense pastures and bushes. This increase in sediment production in these two types of land use is due to the mutual effect of two factors, the slope and excessive livestock grazing in the early spring season. Babaei et al. (2016) estimated the annual average erosion of Sulqan watershed to be 20.22 tons per hectare per year and showed that the LS factor with a correlation coefficient of 0.68% had the greatest impact on the estimation of annual soil erosion. Arab et al. (2017) investigated the erosion situation in the Oghan watershed with an area of 389.25 square kilometers. In this study, they used the RUSLE model to estimate soil erosion and concluded that the annual soil erosion rate in the entire study area was estimated from 0 to 6574 tons per hectare per year at the pixel level. They also showed that the vegetation factor had the greatest impact on the estimation of annual soil erosion by the RUSLE model. Mohammadi et al. (2017) aimed to study and estimate the spatial and temporal soil erosion in the periods of 1994-1999-2008-2015 in the Manderjan sub-basin located in the west of Isfahan province. Using remote sensing and GIS technologies, they concluded that the amount of soil erosion in 1994-1999-2008-2015 was 0.001 to 233, 0.001 to 297, 0.001 to 231, 0.001 respectively. It is up to 215 tons per hectare per year. Also, the height and height factor in the region with a correlation coefficient of 80% has the greatest effect in B The annual soil erosion rate was estimated by the RUSLE model. Nejad Afzali et al. (2018) used the Revised Global Model of Soil Erosion (RUSLE) to estimate soil erosion in Dehkhani watershed south of Kerman. Their results showed that the annual soil erosion in the study area is estimated at 50 tons per hectare per year. Khosravi-Aghadam et al. (2018), in order to estimate the soil erodibility factor and its relationship with some land characteristics, using the USLE model in a part of the Nazlu Chai watershed of Urmia. Their results showed that the value of K factor varies in the range of 0.079 to 0.029 tons per hour per megajoule mm. Also, in terms of erodibility, the soils of the region are in low and very low erodibility classes.

### Methodology

Ateshgah watershed is located in the southwest of Ardabil city at the position of 47°50' to 48°2' east longitude and from 38°12' to 38°16' north latitude. The main branches of this basin originate from Sablan heights in the west of the basin. The area of this basin is 40.5 square kilometers and the maximum height of this basin is about 3596 meters at the extreme end of the western part of the basin and its minimum height is 1798 meters at the outlet of the basin in the eastern part. The location of Atashgah watershed is shown in Figure 1.

### Research data and tools

The current research is of an applied type and its research method is an analysis based on the integration of data analysis, geographic information system, remote sensing and the use of the revised global model of soil erosion (RUSLE). The data and tools used in the research include 1:25000 digital layers of the National Mapping Organization, digital elevation model (DEM), with a spatial resolution of 30 meters, rainfall data from the National Meteorological Organization, Landsat OLI 8 satellite image for 2020 with a spatial resolution of 30 meters, the studied area from the website [www.usgs.gov](http://www.usgs.gov), the collection of educational samples was also done through field visits and the creation of false color combinations, and the soil laboratory data of the studied basin is from the watershed deputy of the country's organization of forests, pastures and watershed. In this research, ArcGIS 10.3 software was used to draw maps and analyzes related to it, as well as ENVI 5.3 software to prepare vegetation and land use layers of the study area, and statistical software such as Excel 2016 and SPSS 17 for statistical calculations and The regression relations of the equations have been used. Landsat satellite images include the longest archive of global images with moderate resolution, multispectral data from unique sources for functional planning at various scales, including land use and land cover, change detection and monitoring of natural environment dynamics (Taherparour et al. , 2015). Therefore, Landsat OLI 8 satellite images were used in this research. The specifications of the satellite image used in this research are presented in Table After classifying the satellite image using the Support Vector Machine (SVM) method, the obtained land use map was

separated into seven land use classes, including good, poor pastures, irrigated agriculture, rainfed, residential and irrigated areas (Figure 2). The accuracy of the obtained map for 2020 was checked using the Google Earth image and ground control points, as well as the false color image of the same year. In this research, the overall accuracy for the land use map of Atashgah basin was 0.90 and the Kappa coefficient was 0.87. 3-2- Soil erosion (RUSLE) According to (Figure A), the results of the rain erosive factor (R) vary from 74 to 34.98 MJ/mm/hectare/hour per year, the highest value of which is related to the north and southeast parts and the lowest value is related to the central parts. and southwest. The average amount of soil erodibility factor (K), according to figure (b), varies between 0.12 and 0.37 tons/hectare per year in the study area. According to figure (c), the value of LS factor in the studied area varies between 0 and 3.98, which is higher in steep slopes, especially around waterways. Using the Normalized Vegetation Index (NDVI), the vegetation factor (C) of the Atashgah basin was prepared based on equation 4 and 5, which is presented in (Figure d and e). Based on this figure, the value of the C factor varies between -0.16 and 0.74. In general, it can be said that the eastern and central half of the basin has lower amounts of C due to the presence of dry and unused lands, and the southern and western parts of the basin have the highest amounts due to the presence of pasture lands. The soil protection operation factor (P) was also considered to be 1 due to the lack of available information from the region for the entire region. Annual soil erosion (RUSLE), to prepare the average annual soil erosion map of Atashgah watershed through the product of rain erosion factors (R), soil erodibility (K), topography (LS), vegetation cover (C) and soil protection operations (P) It was calculated in the Raster Calculator plugin in the ArcGIS 10.3 environment using (Relation 1). The annual soil erosion values in the studied basin vary between 0.09 and 11.02 tons per hectare per year. Also, the average amount of soil erosion in the studied area is 0.16 tons per hectare per year and its standard deviation is 0.55 tons per hectare per year. In (Figure 3), the average annual soil erosion (RUSLE) map of Atashgah basin is presented.

### Conclusion

Land use is one of the important factors in causing soil erosion, and in recent years, the mutual impact of land use change and soil erosion has become a major environmental concern. Considering the importance of the topic, in the current research, the amount of soil erosion on land use in the Atashgah watershed has been investigated using the RUSLE model. For this purpose, first, the land use map was classified using the Landsat OLI 8 satellite image and using the support vector machine algorithm into seven land use classes, including barren land, good pastures, poor pastures, rainfed agriculture, water, residential areas, and water. The overall accuracy and Kappa coefficient for the prepared land use map were obtained as 0.90 and 0.87%, respectively. Then the maps of R, K, LS, C and P factors of the RUSLE model were prepared in the GIS environment and after combining these layers through the Raster Calculator in the Arcmap environment, the average annual soil erosion map for the entire Atashgah watershed between 0.09 and 11.02 tons It was calculated per hectare per year. The results of the evaluation of the soil loss map on the land uses of the studied area showed that dry land use with an average soil erosion of 0.48 tons per hectare per year has the highest soil loss and good pastures with an average erosion of 0.21 tons per hectare per year has the lowest. They have soil waste among other uses in the region. In this research, it was tried to use GIS capabilities to create the required data of RUSLE model. Finally, it is suggested to control the process of land use changes in the Atashgah watershed by determining grazing capacity, vegetation management, and take steps to restore, improve and develop pastures. Therefore, it is expected that this study and the results of this research will pave the way for the implementation of better and more scientific management by competent managers and planners in this field.

### Keywords

"soil erodibility", "land use", "revised global soil erosion equation", "geographical information system", "Atashgah".