



ISSN 2251-7480

## استفاده از الگوریتم تلفیق تصاویر برای افزایش صحت برآورد رسوبدهی در مدل WaTEM/SEDEM (مطالعه موردی: حوزه آبخیز درکش)

عاطفه بهزادفر<sup>۱</sup>، عبدالواحد خالدی درویشان<sup>۲\*</sup> و علیرضا قره گوزلو<sup>۳</sup>

۱) کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی؛ دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات؛ تهران؛ ایران

۲\*) استادیار گروه مهندسی آبخیزداری؛ دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس؛ نور؛ ایران

نویسنده مسئول مکاتبات: a.khaledi@modares.ac.ir

۳) دانشیار آموزشکده سازمان نقشه برداری کشور؛ تهران؛ ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۲۴

### چکیده

امروزه آگاهی از میزان فرسایش خاک یکی از بخش‌های مهم در مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز است. با توجه به عدم وجود آمار و اطلاعات کافی مربوط به دبی آب و رسوب در حوزه‌های آبخیز، میزان فرسایش خاک با استفاده از مدل‌های کاربرپسند و فناوری‌های نوین برآورد می‌شود. هدف از انجام این تحقیق بررسی و برآورد میزان فرسایش و رسوب حوزه آبخیز درکش استان خراسان شمالی با استفاده از مدل WaTEM/SEDEM و بهره‌گیری از قابلیت‌های RS، GIS و الگوریتم ادغام تصاویر است. ابتدا با استفاده از الگوریتم Gram-Schmidt برای تلفیق تصاویر چندطیفی لندست ۷ و ۸ با تصاویر پانکروماتیک و از دو دوره تصویر ماهواره‌ای با اختلاف زمانی ۱۲ ساله (۲۰۰۳ و ۲۰۱۵) با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ نقشه عامل مدیریت زراعی مطابق با نقشه‌های کاربری اراضی منطقه تهیه شد. سپس نقشه سایر عوامل ورودی مدل با استفاده از نرم‌افزارهای ArcGIS و ENVI تهیه و مدل اجرا گردید و میزان فرسایش و رسوب برای حوزه مورد مطالعه در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و همچنین با استفاده و بدون استفاده از الگوریتم ادغام تصاویر برآورد و با مقادیر مشاهده‌ای مقایسه گردید. مقایسه داده‌های رسوب مشاهداتی در حوزه آبخیز درکش با مقادیر برآورد شده نشان داد که نقشه نهایی طبقه‌بندی فرسایش حاصل از اعمال الگوریتم تلفیق تصاویر بهتر و دقیق‌تر قادر به شناسایی نقاط حساس به خطر فرسایش است. با توجه به یافته‌های پژوهش حاضر، کارایی بالای مدل WaTEM/SEDEM در برآورد تولید رسوب اثبات و مشخص شد که اعمال الگوریتم تلفیق تصاویر منجر به افزایش صحت نتایج مدل می‌شود.

**کلید واژه‌ها:** تصاویر پانکروماتیک؛ تصاویر چند طیفی؛ فرسایش خاک؛ نسبت تحویل رسوب

### مقدمه

است. به‌منظور محاسبه حجم کل رسوب و فرسایش در حوزه‌های آبخیز، در صورت وجود آمار و اطلاعات کافی مربوط به دبی آب و رسوب، اغلب از روش‌های آماری استفاده می‌گردد. با توجه به عدم وجود آمار و اطلاعات کافی در بیش‌تر حوزه‌های آبخیز دنیا، فرسایش خاک و تولید رسوب با استفاده از فناوری برآورد فرسایش (که همان مدل‌های فرسایشی هستند) ارزیابی می‌گردد. مدل،

امروزه تخریب اراضی به‌طور عام و فرسایش خاک به‌طور خاص از بحث‌های مهم در مدیریت کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست، منابع آب و طبعاً مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز است. فرسایش خاک فرآیندی پیچیده می‌باشد و اندازه‌گیری میزان حقیقی آن دشوار

جریان خروجی و مقدار رسوب و فرسایش را در ابعاد پیکسل محاسبه می‌کند. TC معرف توانایی حمل رسوب است و به پارامترهایی از جمله ضریب توانایی حمل رسوب و پتانسیل فرسایش شیاری بستگی دارد (Van Oost *et al.*, 2000). مدل WaTEM/SEDEM از جمله مدل‌های توزیعی در برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب می‌باشد و از این حیث که هم مقدار فرسایش و هم مقدار رسوب (و به تبع آن مقدار نسبت تحویل رسوب) را به صورت کمی برای هر زیرحوزه از یک حوزه آبخیز جداگانه برآورد می‌کند، حائز اهمیت می‌باشد. ویژگی دیگر این مدل حساسیت زیاد آن به عوامل کاربری اراضی می‌باشد (Notebaert *et al.*, 2006). از آنجا که عامل کاربری اراضی در حوزه‌های آبخیز یک عامل پویا و در حال تغییر می‌باشد، نقش کلیدی در برآورد میزان فرسایش خاک و تولید رسوب دارد. به منظور تهیه نقشه کاربری اراضی به عنوان یکی از مهم‌ترین لایه‌های ورودی مدل از روش‌های سنجش از دوری (RS) و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست برای دو دوره زمانی مختلف (با اختلاف زمانی ۱۲ ساله) استفاده شد. در این راستا متناسب با میزان تغییر کاربری اراضی، مقدار افزایش و یا کاهش فرسایش خاک و تولید رسوب و ارتباط این دو مورد بررسی قرار گرفت.

مطالعات مختلفی در خصوص استفاده از روش‌های نوین به منظور بررسی میزان فرسایش خاک و تولید رسوب بر اساس مدهای مختلف از جمله RUSLE و WaTEM/SEDEM در نقاط مختلف دنیا صورت گرفته است. در این راستا محققان و نویسندگان خارج از کشور پژوهش‌هایی را در ارتباط با برآورد فرسایش و رسوب با مدل‌های فوق انجام داده‌اند، از جمله Bartsch و همکاران (۲۰۰۲) برای محاسبه فاکتورهای مورد نیاز RUSLE جهت تعیین خطر فرسایش خاک Camp Williams. از تکنیک‌های GIS استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که برای حصول بهترین نتیجه از لحاظ صحت و دقت

وسیله‌ای است که بخشی از واقعیت را شبیه‌سازی می‌کند. مناسب‌ترین مدل برای مطالعات، به نحوه استفاده از مدل و ویژگی‌های حوزه، نیازهای اطلاعاتی (مانند تعداد و نوع ورودی‌ها و خروجی‌های مدل و تغییرات مکانی و زمانی آن‌ها) و همچنین صحت و اعتبار مدل بستگی دارد. مدل‌های زیادی برای برآورد فرسایش خاک و توسعه طرح‌های مدیریتی فرسایش خاک ارائه شده که از مهم‌ترین آنها می‌توان به معادله‌های جهانی فرسایش خاک (Wischmeier and Smith, 1978)، پروژه پیش‌بینی فرسایش آبی (Foster *et al.*, 1995) و ابزار ارزیابی خاک و آب (Arnold *et al.*, 1998) اشاره نمود. مدل توزیع مکانی فرسایش خاک و پهنه‌بندی رسوب (WaTEM<sup>۱</sup>/SEDEM<sup>۲</sup>) مدلی است که از ترکیب دو مدل به نام‌های WaTEM (Van Oost *et al.*, 2000) و SEDEM (Notebaert *et al.*, 2006) توسط گروه جغرافیایی منطقه‌ای و طبیعی در دانشگاه Leuven بلژیک بسط داده شده است. مدل WaTEM مقدار هدر رفت خاک توسط فرسایش آبی را بر اساس معادله اصلاح شده جهانی هدر رفت خاک RUSLE و همچنین مسیریابی رسوبات به رودخانه و ته‌نشست رسوبات را محاسبه می‌کند. طی پنجاه سال اخیر مدل USLE با نام RUSLE توسعه یافته که برآوردهای دقیق‌تری از عوامل  $R^3$ ،  $K^4$ ،  $C^5$ ،  $P^6$  و در نهایت هدررفت خاک انجام می‌دهد (Renard *et al.*, 1991). مدل مذکور یک مدل تجربی بوده و پارامترهای آن با استفاده از مدل‌های رگرسیون حاصل از اندازه‌گیری‌های میدانی و با استفاده از نمودارهای تجربی به دست می‌آیند. مدل SEDEM میانگین نسبت تحویل رسوب<sup>۷</sup> (SDR) سالانه را بر اساس فرمول ظرفیت انتقال رسوب<sup>۸</sup> (TC) محاسبه می‌کند، در واقع SEDEM یک مدل مبتنی بر توزیع مکانی است که مقدار جریان ورودی، مقدار

<sup>1</sup> Water and Tillage Erosion Model

<sup>2</sup> Sediment Delivery Model

<sup>3</sup> Rainfall Erosivity Factor

<sup>4</sup> Soil Erodibility Factor

<sup>5</sup> Crop Management Factor

<sup>6</sup> Land Management Factor

<sup>7</sup> Sediment Delivery Ratio

<sup>8</sup> Transport Capacity

پیش‌بینی، ترکیب اندازه‌گیری‌های زمینی و GIS نتایج دقیق‌تری را به همراه دارد. Alatorre و همکاران (۲۰۱۲) به واسنجی و اعتبارسنجی مدل WaTEM/SEDEM و سپس استفاده از آن در ارزیابی رسوبدهی در یک حوزه آبخیز کوچک آزمایشی در مرکز اسپانیا پرداختند. نتایج نشان داد که نسخه واسنجی شده مدل، کارایی خوبی در ارزیابی رسوب‌دهی سالانه در مقیاس حوزه آبخیز دارد. در نسخه واسنجی شده مدل مذکور فاکتورهای اصلی از جمله مدل رقومی ارتفاع و نقشه پارسل مورد بازبینی و تأکید بیشتری قرار گرفت بدین ترتیب نتایج حاصل از نسخه واسنجی شده دقیق‌تر و به مقادیر رسوب مشاهداتی نزدیک‌تر شدند. Shi و همکاران (۲۰۱۲) پس از واسنجی مدل WaTEM/SEDEM به بررسی اثر پروژه‌های مدیریت

همه‌جانبه حوزه‌های آبخیز<sup>۱</sup> ISWM بر فرسایش خاک در منطقه TGA چین پرداختند. برای این منظور نقشه کاربری اراضی و نقشه اقدامات حفاظتی برای دو دوره ۱۹۹۵ و ۲۰۰۵ تهیه و پس از استفاده به عنوان ورودی‌های اصلی مدل، رسوب‌دهی برای دو زمان قبل و بعد از اجرای ISWM محاسبه و مورد مقایسه قرار گرفت، نتایج این پژوهش بیانگر تأثیر مستقیم کیفیت نقشه کاربری اراضی بر روی نتایج حاصل از مدل بود.

#### مواد و روش‌ها

##### منطقه مورد مطالعه

هم‌چنین در این راستا محققان داخل کشور نیز پژوهش‌هایی را در ارتباط با برآورد فرسایش و رسوب با مدل‌های فوق انجام داده‌اند، آرخی و نیازی (۱۳۸۹) در حوزه بالادست سد ایلام از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل RUSLE برای تخمین فرسایش خاک و تولید رسوب استفاده کردند و در نهایت مؤثر بودن RS و GIS را برای تخمین کمی مقادیر فرسایش خاک، بار رسوب و هم‌چنین مدیریت فرسایش اثبات نمودند. جوان‌دوست و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی تحت عنوان برآورد عامل فرساینده‌گی باران با استفاده از الگوریتم‌های زمین‌آمار برای برآورد فرسایش در مدل

حوزه آبخیز درکش با مساحتی بالغ بر ۱۲۰۰۰ هکتار در محدوده ۵۶°۴۵' تا ۵۶°۴۷' طول شرقی و ۳۷°۲۷' تا ۳۷°۲۵' عرض شمالی و در فاصله ۷۵ کیلومتری بجنورد مرکز استان خراسان شمالی و در شهرستان مانه و سملقان واقع شده است. این حوزه آبخیز از نظر تقسیمات ژئومورفولوژی، تماماً در واحد کوهستان و ساختار تشکیلات زمین‌شناسی آن، اساساً آهکی است. بیش از ۶۰ درصد کاربری اراضی این حوزه را جنگل‌های بلوط ایرانی با خصوصیات منطقه رویشی هیرکانی (با استناد به مطالعات تفصیلی اجرایی صورت گرفته) به خود اختصاص می‌دهد. جنگل‌های بلوط مذکور تنها جنگل‌های بلوط شرق کشور هستند. سایر کاربری‌های غالب این منطقه شامل مراتع (۳۰٪)، اراضی کشاورزی، مسکونی و متفرقه (برون زدگی‌های سنگی) (۱۰٪) هستند. متوسط بارندگی حوزه آبخیز بر اساس نتایج مطالعات تفصیلی- اجرایی طرح جنگل‌های غیرچوبی (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان شمالی، ۱۳۹۲)، ۳۹۰ میلیمتر برآورد شده است که بالاترین میزان بارندگی در پهنه استان خراسان شمالی را

پیش‌بینی، ترکیب اندازه‌گیری‌های زمینی و GIS نتایج دقیق‌تری را به همراه دارد. Alatorre و همکاران (۲۰۱۲) به واسنجی و اعتبارسنجی مدل WaTEM/SEDEM و سپس استفاده از آن در ارزیابی رسوبدهی در یک حوزه آبخیز کوچک آزمایشی در مرکز اسپانیا پرداختند. نتایج نشان داد که نسخه واسنجی شده مدل، کارایی خوبی در ارزیابی رسوب‌دهی سالانه در مقیاس حوزه آبخیز دارد. در نسخه واسنجی شده مدل مذکور فاکتورهای اصلی از جمله مدل رقومی ارتفاع و نقشه پارسل مورد بازبینی و تأکید بیشتری قرار گرفت بدین ترتیب نتایج حاصل از نسخه واسنجی شده دقیق‌تر و به مقادیر رسوب مشاهداتی نزدیک‌تر شدند. Shi و همکاران (۲۰۱۲) پس از واسنجی مدل WaTEM/SEDEM به بررسی اثر پروژه‌های مدیریت همه‌جانبه حوزه‌های آبخیز<sup>۱</sup> ISWM بر فرسایش خاک در منطقه TGA چین پرداختند. برای این منظور نقشه کاربری اراضی و نقشه اقدامات حفاظتی برای دو دوره ۱۹۹۵ و ۲۰۰۵ تهیه و پس از استفاده به عنوان ورودی‌های اصلی مدل، رسوب‌دهی برای دو زمان قبل و بعد از اجرای ISWM محاسبه و مورد مقایسه قرار گرفت، نتایج این پژوهش بیانگر تأثیر مستقیم کیفیت نقشه کاربری اراضی بر روی نتایج حاصل از مدل بود.

هم‌چنین در این راستا محققان داخل کشور نیز پژوهش‌هایی را در ارتباط با برآورد فرسایش و رسوب با مدل‌های فوق انجام داده‌اند، آرخی و نیازی (۱۳۸۹) در حوزه بالادست سد ایلام از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل RUSLE برای تخمین فرسایش خاک و تولید رسوب استفاده کردند و در نهایت مؤثر بودن RS و GIS را برای تخمین کمی مقادیر فرسایش خاک، بار رسوب و هم‌چنین مدیریت فرسایش اثبات نمودند. جوان‌دوست و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی تحت عنوان برآورد عامل فرساینده‌گی باران با استفاده از الگوریتم‌های زمین‌آمار برای برآورد فرسایش در مدل

<sup>1</sup> Integrated Stormwater Management

RUSLE و از طریق رابطه (۱) برآورد می‌شود:

$$A=R*K*LS*C*P \quad (1)$$

که در آن:

A مقدار متوسط هدررفت خاک ایجاد شده (تن در هکتار در سال)

R عامل فرساینده‌گی باران (مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت سال)

K عامل فرسایش‌پذیری خاک (کیلوگرم ساعت بر مترمربع مگاژول میلی‌متر)

LS عامل توپوگرافی (طول و درجه شیب)

C عامل مدیریت زراعی (عامل پوشش گیاهی)

P عامل مدیریت اراضی (اقدامات کنترل روناب، فرسایش و رسوب)

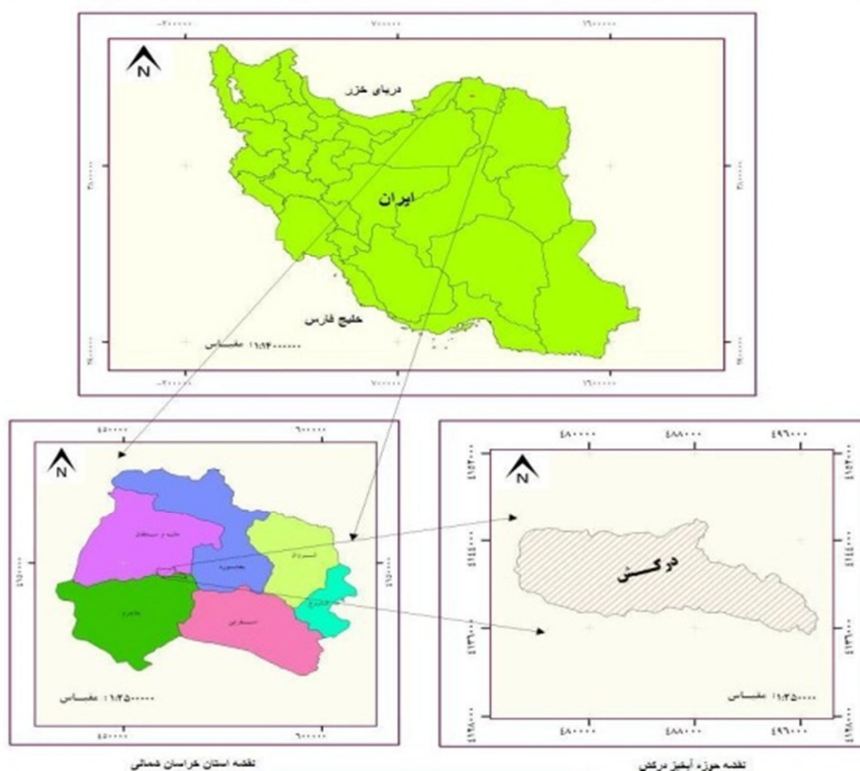
مقادیر عوامل L, S, C و P بدون واحد می‌باشند.

دارد. این منطقه به‌عنوان تنها ذخیره‌گاه بلوط شرق کشور و برخوردار از جاذبه‌های طبیعی گردشگری در استان خراسان شمالی از اهمیت بالایی برخوردار است (مطالعات تفصیلی - اجرایی طرح جنگل‌های غیرچوبی، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان شمالی، ۱۳۹۲).

### ورودی‌های مدل WaTEM/SEDEM

داده‌های پایه استفاده شده برای این پژوهش شامل تصاویر ماهواره‌ای لندست، داده‌های ویژگی‌های خاک، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ برای تهیه مدل رقومی ارتفاع (DEM<sup>۱</sup>) و داده‌های بارندگی سالانه و همچنین اطلاعاتی در مورد روش‌ها و اقدامات انجام شده برای مدیریت اراضی (حفاظت خاک و آب) در حوزه آبخیز می‌باشند.

به‌منظور برآورد مقدار فرسایش آبی در مدل WaTEM/SEDEM، هدررفت خاک براساس مدل



شکل ۱. موقعیت حوزه آبخیز درکش در استان خراسان شمالی

<sup>1</sup> Digital Elevation Model

می‌دهد که با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد (Renard & Freimund, 1994).

$$R = 0.0483 * Pa^{1.610}, \text{for } Pa \leq 850 \text{ mm} \quad (2)$$

$$R = 587.8 - 1.249 * Pa + 0.004105 * Pa^2, \text{for } Pa > 850 \text{ mm}$$

که در آن R عامل فرساینده‌گی باران (مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت سال) و Pa میانگین بارندگی سالانه (میلی‌متر) است. ابتدا نقشه هم‌باران سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۱۵ تهیه شد و سپس از طریق رابطه (۲) نقشه عامل فرساینده‌گی باران R محاسبه گردید.

#### عامل فرسایش پذیری خاک (K)

تخمین عامل فرسایش‌پذیری K با استفاده از روش ترسیمی صورت می‌گیرد (Parysow et al., 2003). در این روش فرسایش‌پذیری به عوامل زیر بستگی دارد: مجموع درصد سیلت و شن خیلی ریز، درصد شن، درصد مواد آلی خاک، ساختمان خاک و نفوذپذیری خاک. در شکل (۲) نمودار تعیین K بر اساس ۵ عامل فوق‌الذکر نشان داده شده است. بعد از محاسبه مقادیر عامل فرسایش‌پذیری خاک، نقشه این عامل در محیط نرم‌افزار ArcGIS به‌روش درون‌یابی تهیه شد و در مدل مذکور مورد استفاده قرار گرفت.

#### عامل توپوگرافی (LS)

این عامل بیانگر تغییرپذیری مکانی فرسایش خاک به‌وسیله توپوگرافی است. عامل L طول شیب و عامل S درجه شیب است. چندین الگوریتم به‌منظور محاسبه LS در مدل WaTEM/SEDEM در نظر گرفته شده است. در پژوهش حاضر از الگوریتم Wischmeier و Smith (۱۹۷۸) برای محاسبه LS استفاده شد (رابطه ۳)

$$S(i, j) = 65.41. \sin^2 \theta_{i, j} + 4.56. \sin \theta_{i, j} + 0.065 \quad (3)$$

که در آن  $\theta$  زاویه شیب مفروض (درجه شیب هر پیکسل) می‌باشد.

مدل WaTEM/SEDEM علاوه بر محاسبه مقدار فرسایش آبی، مقدار ته‌نشست و فرسایش از سطح پیکسل‌ها یا به‌عبارتی مسیریابی و نسبت تحویل رسوب را به‌عنوان مقداری از رسوب که با آب سطحی منتقل می‌شود از طریق محاسبه ظرفیت انتقال برای هر پیکسل محاسبه می‌کند و لذا نیاز به ورودی‌های مختلف شامل مدل رقمی ارتفاع، عامل فرساینده‌گی باران، عامل فرسایش‌پذیری خاک، عامل توپوگرافی و عامل مدیریت زراعی در سامانه اطلاعات جغرافیایی دارد و از داده‌های رستری Idrisi32 استفاده می‌کند (توسعه یافته توسط آزمایشگاه‌های کلارک).

#### نقشه‌های مورد نیاز مدل WaTEM/SEDEM

##### مدل رقمی ارتفاع (DEM)

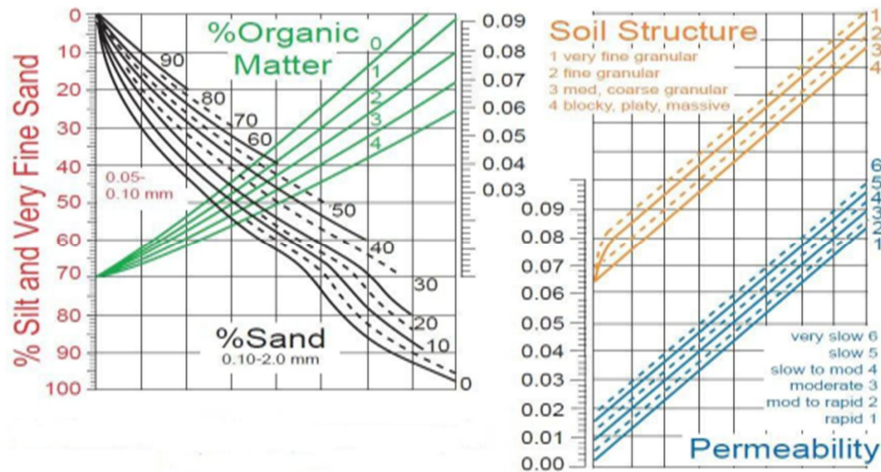
به‌منظور تهیه نقشه‌های درجه شیب و سطح مشارکت‌کننده بالادست هر پیکسل، مدل رقمی ارتفاع ناحیه مورد مطالعه مورد نیاز است. از آنجایی که مدل مذکور مدلی بر پایه توپوگرافی است، نتایج مدل تا حد زیادی از کیفیت مدل رقمی ارتفاع تأثیر می‌پذیرند. بنابراین با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ مدل رقمی ارتفاع با پیکسل سایز ۱۰ متری استخراج شد و در مدل مورد استفاده قرار گرفت.

##### نقشه پارسل Parcel

نقشه پارسل یک نقشه طبقه‌بندی شده است که مبنای آن همان نقشه کاربری اراضی است. این نقشه در حقیقت یک نقشه کاربری اراضی دوباره طبقه‌بندی شده است که براساس مشخصه‌ای که به هر عرصه داده می‌شود تفاوتی بین زمین‌های زراعی، جنگل، مرتع، جاده و اراضی مسکونی ایجاد می‌کند. بنابراین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸ و با استفاده از طبقه‌بندی نظارت‌شده، نقشه کاربری اراضی برای واحدهای جنگل، مرتع و کشاورزی استخراج گردید.

##### عامل فرساینده‌گی باران (R)

عامل R مقدار بلندمدت فرساینده‌گی باران را نشان



شکل ۲. نمودار تعیین ضریب فرسایش‌پذیری خاک (K) در سیستم متریک

### عامل مدیریت زراعی (C)

یکی از مهم‌ترین پارامترها در مدل WaTEM/SEDEM عامل C است که اثرات پوشش گیاهی و پوشش‌های دیگر زمین را نشان می‌دهد. به این منظور از تصاویر ماهواره‌ای لندست که تغییرات پوشش‌های مختلف سطح زمین علی‌الخصوص پوشش گیاهی را به خوبی نشان می‌دهند استفاده شد. مقدار عامل مدیریت زراعی از صفر (نشان‌دهنده عدم فرسایش و تحت کشت) تا یک (فرسایش مقایسه شده با شرایط آیش) متغیر است. با توجه به مطالعاتی که در زمینه ارتباط بین عامل پوشش گیاهی و  $NDVI^1$  انجام شده، یکی از روش‌های محاسبه عامل C استفاده از شاخص  $NDVI$  می‌باشد. در این پژوهش ابتدا نقشه‌های  $NDVI$  از طریق تصاویر ماهواره لندست ۷ و ۸ (باتدهای ۴ و ۵ در لندست ۸ و باندهای ۳ و ۴ در لندست ۷) تهیه شده و سپس از طریق رابطه (۴)، نقشه عامل مدیریت زراعی در محیط نرم افزار ArcGis10.2 تهیه شد (Van Der Knijff *et al.*, 2000).

$$C = \exp \left[ -2 * \frac{NDVI}{1 - NDVI} \right] \quad (4)$$

که در آن C عامل مدیریت زراعی و  $NDVI$  شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی می‌باشد.

### عامل مدیریت اراضی (P)

عامل P نسبت خاک فرسایش‌یافته در شرایط انجام عملیات حفاظتی به فرسایش ایجاد شده در شرایط استاندارد یعنی شخم در جهت شیب را نشان می‌دهد (Renard *et al.*, 1997). با توجه به این‌که در منطقه مورد پژوهش هیچ‌گونه اقدامی جهت کنترل رواناب، فرسایش و رسوب گزارش نشده است، به همین دلیل مقدار این عامل در تمام سطح حوزه آبخیز درکش یک در نظر گرفته شد.

### الگوریتم تلفیق تصاویر با استفاده از تبدیل GS (Gram-Schmidt) بر روی نتایج مدل WaTEM/SEDEM

یکی از عملیات پیش پردازش تصاویر، تلفیق داده‌هاست تا با استفاده از این فن بتوان از مزایای تمامی تصاویر استفاده کرد و بتوان تفسیر و نتیجه‌گیری بهتری از تصاویر داشت (جوئیاری و همکاران، ۱۳۸۶). ترکیب یک تصویر چندطیفی رنگی با قدرت تفکیک پایین با یک تصویر سیاه و سفید با قدرت تفکیک بالا به طوری که تصویر رنگی خصوصیات اولیه خود را حفظ کند و قدرت تفکیک تصویر دومی را داشته باشد به عنوان فیوژن اطلاق می‌گردد (فاضلی فارسانی و قضاوی، ۱۳۹۴). به طور کلی تاکنون الگوریتم‌های متفاوتی برای ادغام تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا ارائه شده است و تحقیقات بسیاری در

<sup>1</sup> Normalized Difference Vegetation Index

چندطیفی با قدرت تفکیک مکانی کم را در تصویر حاصل از ادغام آن با داده پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی زیاد حفظ کند. در این تحقیق از الگوریتم گرام اشمیت در نرم‌افزار ENVI 5.1 با استفاده از تصاویر ماهواره لندست 8 برای سال ۲۰۱۵ و لندست ۷ برای سال ۲۰۰۳ استفاده شد تا تأثیر روش‌های بازسازی تصاویر بر روی شاخص پوشش گیاهی بررسی شود.

### نتایج و بحث

بررسی تأثیر اعمال الگوریتم تلفیق تصاویر بر روی نتایج مدل WaTEM/SEDEM برای حوزه آبخیز درکش

در سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۱۵

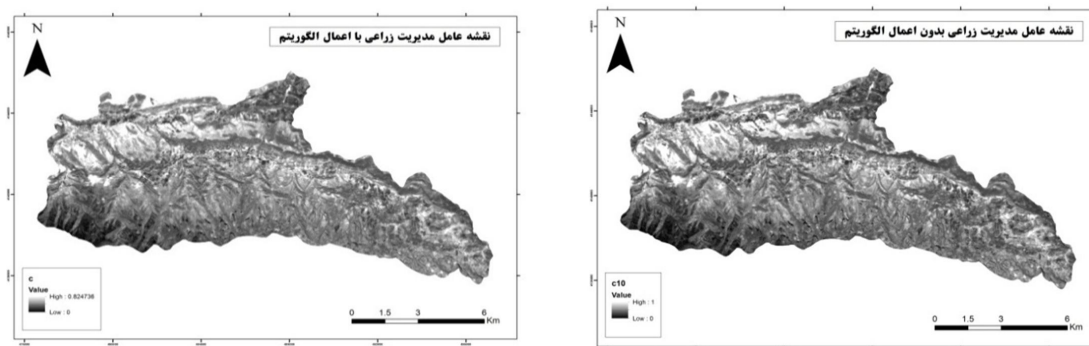
الف: بررسی فرسایش خاک و تولید رسوب حوزه آبخیز درکش با استفاده از مدل WaTEM/SEDEM در سال ۲۰۰۳

مطابق جدول ۱، میزان فرسایش، کل ته‌نشست مجدد رسوب، کل رسوب خروجی، کل رسوب خروجی از طریق رودخانه‌ها و کل ته‌نشست در رودخانه به ترتیب برابر با ۱۴۰۵۶۳، ۸۵۳۲۵، ۶۰۳۲۵، ۴۰۵۲۰ و ۱۰۱۲۹ تن در سال و با استفاده از روش تلفیق تصاویر این مقادیر به ترتیب برابر با ۱۳۳۸۷۶، ۸۲۳۵۹، ۵۱۵۱۷، ۴۱۶۴۱ و ۹۸۷۶ تن در سال بدست آمد. در شکل‌های ۳ و ۴ به ترتیب نقشه‌های عامل مدیریت زراعی و فرسایش خاک با اعمال و بدون اعمال الگوریتم تلفیق تصاویر برای سال ۲۰۰۳ آورده شده است.

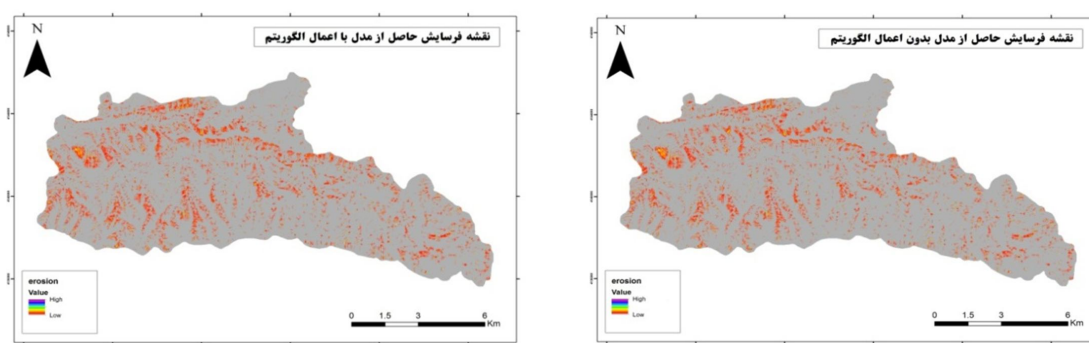
زمینه ادغام داده‌ها صورت گرفته است و نتیجه آن به وجود آمدن طیف گسترده‌ای از روش‌ها و عملگرهای ادغام می‌باشد که انتخاب روش بهینه بستگی به نوع کاربرد و نوع داده‌های اولیه مورد استفاده در فرآیند ادغام دارد. هدف از ادغام داده‌ها این است که کیفیت و محتوای اطلاعات موجود در هر یک از داده‌های اولیه افزایش یابد تا به این وسیله بتوان به استنتاج‌های ویژه‌ای دست یافت که با استفاده از داده‌های اولیه به تنهایی امکان دست‌یابی به آن میسر نیست. ادغام داده‌های سنجش از دوری که از منابع مختلف بدست آمده‌اند به افزایش قابلیت اطمینان، تفسیر بهتر نتایج، کاهش ابهام و بهبود نتایج طبقه‌بندی عوارض منجر می‌شود، ادغام داده‌ها در سطح پیکسل که تلفیق تصاویر نیز خوانده می‌شود تنوع بسیار زیادی در روش‌ها و الگوریتم‌های تعریف شده در زمینه سنجش از دور دارد (فاضل فارسانی و قضاوی، ۱۳۹۴). در این مطالعه تأثیر این الگوریتم‌ها (تلفیق تصاویر) بر روی شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) و مقدار آن و در نهایت بر روی فاکتور مدیریت زراعی و مقدار فرسایش و رسوب مورد سنجش قرار داده شد. در این پژوهش از الگوریتم گرام اشمیت استفاده شد، این الگوریتم یکی از تکنیک‌های ادغام تصاویر است که هدف کلی آن افزایش وضوح تصاویر چندطیفی است و به‌طور موفقیت آمیزی استفاده شده است، این روش قادر است خصوصیات تصویر

جدول ۱. نتایج خروجی‌های مدل WaTEM/SEDEM برای سال ۲۰۰۳ (تن در سال)

متغیر	عدم اعمال الگوریتم	با اعمال الگوریتم
کل فرسایش در سطح حوزه	۱۴۰۵۶۳	۱۳۳۸۷۶
کل ته‌نشست مجدد رسوب در سطح حوزه	۸۵۳۲۵	۸۲۳۵۹
کل رسوب خروجی (رسوب‌دهی) حوزه	۶۰۳۲۵	۵۱۵۱۷
کل رسوب خروجی از طریق رودخانه	۴۰۵۲۰	۴۱۶۴۱
کل ته‌نشست در چاله‌ها و سیستم رودخانه	۱۰۱۲۹	۹۸۷۶



شکل ۳. نقشه‌های عامل مدیریت زراعی با اعمال و بدون اعمال الگوریتم برای سال ۲۰۰۳



شکل ۴. نقشه‌های فرسایش خاک حاصل از مدل با اعمال و بدون اعمال الگوریتم برای سال ۲۰۰۳

رسوب، کل رسوب خروجی، کل رسوب خروجی از طریق رودخانه‌ها و کل ته‌نشست در رودخانه به‌ترتیب برابر با ۱۳۶۵۲۰، ۸۰۵۵۰، ۳۹۵۲۶، ۵۵۴۲۹ و ۱۰۵۴۶ تن در سال و با استفاده از روش تلفیق تصاویر این مقادیر به‌ترتیب برابر با ۱۲۸۴۱۲، ۸۰۱۰۵، ۴۸۳۰۷، ۳۸۱۵۹ و ۱۰۱۴۸ تن در سال بدست آمد. در شکل‌های ۵ و ۶ به ترتیب نقشه‌های عامل مدیریت زراعی و فرسایش خاک با اعمال و بدون اعمال الگوریتم تلفیق تصاویر برای سال ۲۰۱۵ آورده شده است. مقدار فاکتور پوشش گیاهی که یک شاخص کمی از میزان حفاظت در برابر فرسایش توسط پوشش گیاهی است، به نوع پوشش گیاهی، مرحله رشد و درصد پوشش بستگی دارد و تغییرات آن بین صفر و یک است. با توجه به تصویر ۵ مقدار عامل مدیریت زراعی برای سال ۲۰۱۵ در منطقه مورد مطالعه قبل و بعد از اعمال الگوریتم تلفیق تصاویر بین صفر و یک به دست آمد، در واقع در سال‌های اخیر هیچ‌کار حفاظتی در منطقه مورد مطالعه انجام نشده و بیشتر پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه به‌دلیل

همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار عامل مدیریت حفاظت خاک در منطقه مورد مطالعه قبل از اعمال الگوریتم تلفیق تصاویر بین صفر و یک و بعد از اعمال الگوریتم تلفیق تصاویر بین صفر و  $0/8$  به‌دست آمد، در واقع با توجه به آنکه کار حفاظتی آنچنانی در منطقه مورد مطالعه صورت نگرفته است، مقدار عامل مدیریت زراعی نزدیک به عدد یک به دست آمده است. همچنین با توجه به انجام کار کم حفاظتی در منطقه مورد بررسی، مشاهده شد که مقدار عامل حفاظتی در تصاویر ادغام شده مقدار کم‌تری به‌دست آمد. همچنین نقشه فرسایش خاک برای سال ۲۰۰۳ حاکی از این است که میزان فرسایش خاک در منطقه مورد مطالعه قبل و بعد از اعمال الگوریتم تلفیق تصاویر به‌ترتیب برابر با  $(0 تا 2986/96)$  و  $(0 تا 2016/46)$  به‌دست آمد.

ب: بررسی فرسایش خاک و تولید رسوب حوزه آبخیز درکش با استفاده از مدل WaTEM/SEDEM در سال

۲۰۱۵

مطابق جدول ۲، میزان فرسایش، کل ته‌نشست مجدد



رسوب‌دهی کل حوزه<sup>۱</sup> (کل رسوب خروجی) به کل فرسایش (یا کل رسوب تولید شده) در سطح حوزه<sup>۲</sup>، استفاده شد. در واقع یکی از تعاریف اصطلاح SDR تحویل رسوب به سیستم کانالی است اما در بیش‌تر منابع برای تعریف نسبت تحویل رسوب این‌گونه ذکر شده که رسوب از نقطه اندازه‌گیری یعنی خروجی حوزه آبخیز عبور کند که بیان‌گر در نظر گرفتن کل خروجی رودخانه است.

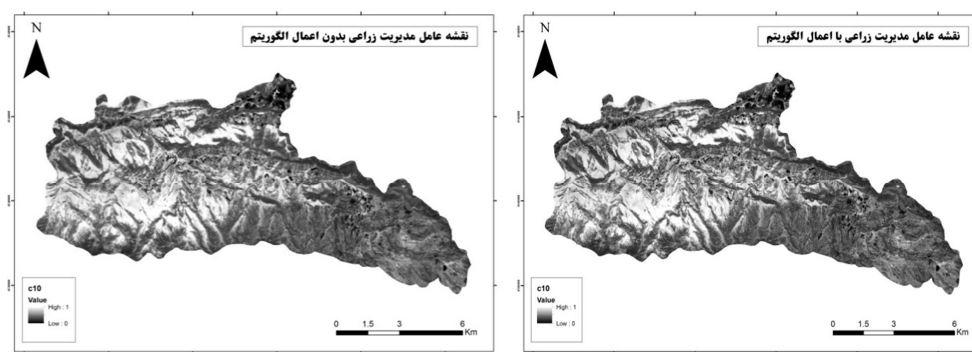
خشکسالی‌های اخیر و کاربری‌های نادرست از بین رفته است. نقشه فرسایش خاک برای سال ۲۰۱۵ حاکی از این بود که میزان فرسایش خاک در منطقه مورد مطالعه قبل و بعد از اعمال الگوریتم تلفیق تصاویر به ترتیب برابر با (۰ تا ۲۰۴۵/۶۶) تن در سال به دست آمد.

ج: بررسی وضعیت نسبت تحویل رسوب (SDR) برای سال آبی ۲۰۰۳ و ۲۰۱۵ با استفاده از مدل WaTEM/SEDEM

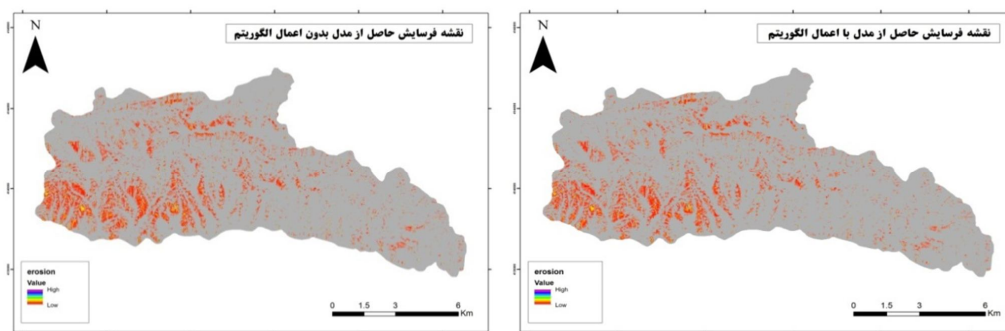
جهت محاسبه نسبت تحویل رسوب از نسبت

جدول ۲. نتایج خروجی‌های مدل WaTEM/SEDEM برای سال ۲۰۱۵ (تن در سال)

متغیر	عدم اعمال الگوریتم	با اعمال الگوریتم
کل فرسایش در سطح حوزه	۱۳۶۵۲۰	۱۲۸۴۱۲
کل ته‌نشست مجدد رسوب در سطح حوزه	۸۰۵۵۰	۸۰۱۰۵
کل رسوب خروجی (رسوب‌دهی) حوزه	۵۵۴۲۹	۴۸۳۰۷
کل رسوب خروجی از طریق رودخانه	۳۹۵۳۶	۳۸۱۵۹
کل ته‌نشست در چاله‌ها و سیستم رودخانه	۱۰۵۴۶	۱۰۱۴۸



شکل ۵. نقشه‌های عامل مدیریت زراعی با اعمال و بدون اعمال الگوریتم برای سال ۲۰۱۵



شکل ۶. نقشه‌های فرسایش خاک حاصل از مدل با اعمال و بدون اعمال الگوریتم برای سال ۲۰۱۵

<sup>1</sup> Total sediment export

<sup>2</sup> Total sediment production

جدول ۳. نتایج خروجی مدل WaTEM/SEDEM برای برآورد میزان رسوب آبخیز درکش برای سال ۲۰۰۳

متغیر	عدم اعمال الگوریتم	با اعمال الگوریتم
کل فرسایش در سطح حوزه (تن در سال)	۱۴۰۵۶۳	۱۳۳۸۷۶
میانگین فرسایش در سطح حوزه (تن در هکتار درسال)	۱۲/۲۲۸	۱۱/۶۴۶
کل رسوب خروجی (رسوب‌دهی) حوزه (تن در سال)	۶۰۳۲۵	۵۱۵۱۷
نسبت تحویل رسوب حاصل از بخش SEDEM	۰/۴۲۹	۰/۳۸۴
رسوب خروجی (رسوب‌دهی) حوزه (تن در هکتار درسال)	۵/۲۴۵	۴/۴۷۲

به‌ترتیب ۱۳۳۸۷۶ و ۱۲۸۴۱۲ تن درسال بدست آمد که با توجه به مساحت منطقه مورد مطالعه (۱۱۴۹۵/۱۴ هکتار) میانگین فرسایش در شرایط عدم اعمال و با اعمال الگوریتم تلفیق تصاویر به ترتیب برابر ۱۱/۸۷۶ و ۱۱/۱۷ تن در هکتار در سال محاسبه شد، که اگر این مقادیر در نسبت تحویل رسوب ضرب شوند عددی که بدست می‌آید میزان رسوب دهی حوزه خواهد بود که این مقدار به ترتیب ۴/۸۲۱ و ۴/۱۹۹ بدست آمد. از مقایسه این مقادیر با مقدار رسوب مشاهداتی برای این سال (۴/۱۹) تن در هکتار در سال)، می‌توان نتیجه گرفت مقدار مربوط به اعمال الگوریتم تلفیق تصاویر به رسوب مشاهداتی نزدیک‌تر است.

نتایج این تحقیق نشان داد که مناطق واقع در جنوب و جنوب‌شرقی حوزه آبخیز درکش دارای توان فرسایشی و فرسایشی بیشتری در مقایسه با مناطق شمال و شمال‌شرقی هستند، که دلیل آن می‌تواند ارتفاع زیاد و به‌تبع آن میزان بارش بیشتر باشد. همچنین نتایج برآورد فرسایش خاک و نسبت تحویل رسوب با مدل WaTEM/SEDEM در دو حالت عدم اعمال الگوریتم تلفیق تصاویر و اعمال الگوریتم تلفیق تصاویر نشان داد که مقادیر مربوط به اعمال الگوریتم تلفیق تصاویر به رسوب مشاهداتی نزدیک‌تر است.

بنابراین با در نظر گرفتن کل رسوب خروجی، مطابق جدول ۱ و ۲، مقدار نسبت تحویل رسوب برای سال ۲۰۰۳ بدون اعمال الگوریتم ۰/۴۲۹ و با اعمال الگوریتم ۰/۳۸۴ می‌باشد. هم‌چنین برای سال ۲۰۱۵ نسبت تحویل رسوب بدون اعمال الگوریتم ۰/۴۰۶ و با اعمال الگوریتم ۰/۳۷۶ می‌باشد.

با توجه به جدول ۳، کل فرسایش در سطح حوزه برای سال ۲۰۰۳ و در شرایط عدم اعمال و با اعمال الگوریتم تلفیق تصاویر به‌ترتیب ۱۴۰۵۶۳ و ۱۳۳۸۷۶ تن درسال بدست آمد که با توجه به مساحت منطقه مورد مطالعه (۱۱۴۹۵/۱۴ هکتار) میانگین فرسایش در شرایط عدم اعمال و با اعمال الگوریتم تلفیق تصاویر به‌ترتیب برابر ۱۲/۲۲۸ و ۱۱/۶۴۶ تن در هکتار در سال محاسبه شد، که اگر این مقادیر در نسبت تحویل رسوب ضرب شوند عددی که بدست می‌آید میزان رسوب دهی حوزه خواهد بود که به‌ترتیب برابر ۵/۲۴۵ و ۴/۴۷۲ تن در هکتار در سال بدست آمد. از مقایسه این مقادیر با مقدار رسوب مشاهداتی برای این سال (۴/۲۲) تن در هکتار در سال)، می‌توان نتیجه گرفت مقدار مربوط به اعمال الگوریتم تلفیق تصاویر به رسوب مشاهداتی نزدیک‌تر است. با توجه به جدول ۵، کل فرسایش در سطح حوزه برای سال ۲۰۱۵ و در شرایط عدم اعمال و اعمال الگوریتم تلفیق تصاویر

جدول ۴. مقادیر رسوب مشاهداتی برای سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۱۵

متغیر	سال ۲۰۰۳	سال ۲۰۱۵
رسوب مشاهداتی (تن در سال)	۴۸۵۷۵/۰۶	۴۸۲۰۳/۸۴
رسوب مشاهداتی (تن در هکتار درسال)	۴/۲۲	۴/۱۹

جدول ۵. نتایج خروجی مدل WaTEM/SEDEM برای برآورد میزان رسوب آبخیز درکش برای سال ۲۰۱۵

متغیر	عدم اعمال الگوریتم	با اعمال الگوریتم
کل فرسایش در سطح حوزه (تن در سال)	۱۳۶۵۲۰	۱۲۸۴۱۲
میانگین فرسایش در سطح حوزه (تن در هکتار درسال)	۱۱/۸۷۶	۱۱/۱۷
کل رسوب خروجی (رسوب‌دهی) حوزه (تن در سال)	۵۵۴۲۹	۴۸۳۰۷
نسبت تحویل رسوب حاصل از بخش SEDEM	۰/۴۰۶	۰/۳۷۶
رسوب خروجی (رسوب‌دهی) حوزه (تن در هکتار درسال)	۴/۸۲۱	۴/۱۹۹

نمی‌توانند در بررسی وضعیت فرسایش و رسوب مفید واقع شوند. همچنین Verstraeten و همکاران (۲۰۰۶) در پژوهشی تحت عنوان پیش‌بینی الگوهای مکانی رسوب دامنه‌ها در هنگام ورود به کانال‌های رودخانه در حوزه آبخیز موارمیدج استرالیا به این نتیجه رسیدند که مدل WaTEM/SEDEM به‌خوبی میزان فرسایش را برآورد می‌کند در واقع چون این مدل اکثر فاکتورهای مؤثر در پدیده فرسایش را تحت پوشش قرار می‌دهد بنابراین می‌تواند برآورد دقیقی از میزان فرسایش در منطقه داشته باشد. همچنین نتایج پژوهش حاضر با نتایج پژوهش‌های Feng و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت داشت. این محققان در بررسی مدل‌سازی تغییرات فرسایش و رسوب با استفاده از مدل WaTEM/SEDEM در پاسخ به تغییرات کاربری اراضی در یکی از حوزه‌های آبخیز پر از تپه (پستی و بلندی) چین به این نتیجه رسیدند که مدل مذکور در پیش‌بینی مقدار فرسایش برای هر سلول رستر (سلول شطرنجی) ضعیف عمل می‌کند، اما در پیش‌بین الگوی مکانی فرسایش نتایج قابل اطمینانی را بدست می‌دهد. همچنین در کل حوزه آبخیز مورد مطالعه مقدار فرسایش برای اراضی حفاظت شده نسبت به اراضی حفاظت نشده در سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۵ کاهش یافته است.

با توجه به نتایج بدست آمده از مدل WaTEM/SEDEM برای بررسی وضعیت فرسایش و رسوب سال آبی ۲۰۰۳ و ۲۰۱۵ می‌توان نتیجه گرفت که میزان فرسایش و رسوب در سال آبی ۲۰۰۳ به‌مقدار کمی بیشتر از میزان فرسایش و رسوب برای سال آبی ۲۰۱۵

پس می‌توان گفت با اعمال الگوریتم تلفیق تصاویر برآورد دقیق‌تری از میزان رسوب حاصل شده است و مدل مورد استفاده از قابلیت و کارایی خوبی برای برآورد فرسایش و رسوب برخوردار است. نتایج این پژوهش با نتایج محققان دیگر در این زمینه مطابقت داشت، از جمله راشکی (۱۳۸۵) برآورد توزیعی فرسایش و رسوب سالانه را با مدل‌های RUSLE و SWAT2000 و با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای حوزه آبخیز کهنوک خاش انجام داد و به این نتیجه رسید که میزان رسوب برآوردی با مقدار واقعی رسوب هم‌خوانی دارد و می‌توان این مدل‌ها را برای حوزه‌های مشابه بکار برد. همچنین نتایج این پژوهش با نتایج Palsson و همکاران (۲۰۱۰) که به بررسی طبقه‌بندی کاربری اراضی بر روی تصاویر تلفیق شده پرداختند، مطابقت داشت. نتایج آن‌ها نشان داد که تصاویر تلفیق شده دقت بیشتری از لحاظ تفکیک مکانی و طیفی نسبت به تصاویر اولیه دارند در واقع تصویر پانکروماتیک با افزایش دقت مکانی توانست جهت طبقه‌بندی نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه مؤثر واقع شود. Gillana و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی پایش فرسایش با داده‌های هوایی با دقت بالا به این نتیجه رسیدند که استفاده از مدل رقومی ارتفاع با پیکسل سازه‌های مختلف به همراه تلفیق تصاویر در بررسی وضعیت فرسایش باعث برآورد دقیق‌تر و اطلاعات کامل‌تری در مقایسه با استفاده از تصاویر تک بانندی می‌شود. در واقع یک تصویر صرفاً چند طیفی یا یک تصویر صرفاً پانکروماتیک به دلیل فقدان اطلاعات کافی

است و میزان فرسایش و رسوب در طی بازه زمانی مورد بررسی (از ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۵) تغییرات محسوسی نداشته و حتی به میزان کمی رو به کاهش می‌باشد. که این روند کاهشی از روی رسوب مشاهداتی (جدول ۳) و همچنین تغییرات بارندگی (تأثیری که روی عامل فرساینده‌گی در معادله جهانی فرسایش خاک می‌گذارد) طی سال‌های اخیر قابل اثبات است چرا که میزان بارندگی حوزه آبخیز درکش استان خراسان شمالی در سال ۲۰۰۳ به میزان قابل توجهی بیشتر از سال ۲۰۱۵ بوده است. به عبارت دیگر روند کاهشی در نتایج مدل، دلیلی برای صحت برآورد فرسایش خاک و رسوب توسط مدل WaTEM/SEDEM و تایید کارایی این مدل برای برآورد فرسایش خاک و رسوب‌گذاری در این حوزه آبخیز است.

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه بررسی فرسایش خاک و بار رسوب با استفاده از مدل WaTEM/SEDEM در چهارچوب سیستم اطلاعات جغرافیایی، سنجش از دور و الگوریتم تلفیق تصاویر GS انجام شد، همه نقشه‌ها در محیط GIS تهیه و سپس با هم تلفیق شدند. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش میزان فرسایش خاک در سال ۲۰۰۳ قبل و بعد از اعمال الگوریتم تلفیق تصاویر به ترتیب معادل ۱۲/۲ و ۱۱/۶ تن در هکتار در سال و برای سال آبی ۲۰۱۵ به ترتیب ۱۱/۸ و ۱۱/۲ تن در هکتار در سال بدست آمد، با توجه به نتایج حاصل از میزان فرسایش خاک در منطقه مورد مطالعه

### فهرست منابع

- آرخی، ص. و نیازی، ی. ۱۳۸۹. بررسی کاربرد GIS و RS برای تخمین فرسایش خاک و بار رسوب با استفاده از مدل RUSLE (مطالعه موردی: حوزه بالادست سد ایلام). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۱۷(۲): ۱-۲۷.
- بی‌نام. ۱۳۹۲. گزارش مطالعات تفصیلی - اجرایی طرح جنگل‌های غیرچوبی، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان شمالی. ۲۵۰ صفحه.
- جوان دوست، ه. اونیق، م. حسنعلی زاده، م و سکوتی، ر. ۱۳۹۳. برآورد فاکتور فرساینده‌گی باران با استفاده از الگوریتم‌های زمین آمار برای برآورد فرسایش در مدل WaTEM/SEDEM در حوزه روضه‌چای. پانزدهمین کنفرانس دانشجویان عمران سراسر کشور، ارومیه، ۱۳-۱۱ شهریور.

می‌توان نتیجه گرفت که میزان فرسایش حوزه آبخیز درکش استان خراسان شمالی در سال ۲۰۰۳ به میزان اندکی بیشتر از سال ۲۰۱۵ بوده است. همچنین نتایج حاکی از این است که با اعمال الگوریتم تلفیق تصاویر نتایج به واقعیت نزدیک‌تر بوده و برآورد دقیق‌تری از میزان فرسایش بدست می‌آید. میزان رسوب خروجی حوزه برای سال ۲۰۰۳ قبل و بعد از اعمال الگوریتم تلفیق تصاویر به ترتیب ۵/۲ و ۴/۵ و برای سال ۲۰۱۵ به ترتیب ۴/۸ و ۴/۱ بدست آمد که بیانگر کاهش رسوب خروجی حوزه طی سال‌های اخیر می‌باشد که از روی رسوب مشاهداتی، تغییرات بارندگی حوزه و همچنین عامل مدیریتی (C) حوزه آبخیز درکش طی این دو سال قابل اثبات می‌باشد.

در این مطالعه سعی شد از اطلاعات بدست آمده از سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و الگوریتم تلفیق تصاویر گرام اشمیت برای ایجاد داده‌های مورد نیاز مدل‌های RUSLE و WHATEM/SEDEM استفاده شود که نتیجه آن به دست آمدن اطلاعات خروجی با کیفیت بالا و قابلیت به‌روزرسانی آسان بود، بنابراین سنجش از دور و GIS به همراه مدل جدید WaTEM/SEDEM می‌توانند به صورت مؤثر، در توسعه راهکارهای مدیریتی و فراهم آوردن گزینه‌های انتخابی برای مدیران و مسئولان منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان شمالی برای حل مسائل مربوط به فرسایش خاک و رسوب حوزه به کار گرفته شوند

راشکی، ع. ۱۳۸۵. بررسی کارایی تلفیق مدل‌های RUSLE و SEDD در برآورد توزیعی فرسایش و رسوب سالانه با استفاده از تکنیک زمین‌آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کهنوک خاش). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی گیلان، ۷۸ صفحه.

جویباری، ش. نجارلو، ش. جباری، س. ارفعی، ش. و معیری، م. ۱۳۸۶. ارزیابی قابلیت تصاویر چند طیفی و تلفیق شده ماهواره‌های لندست ۷ و IRS-ID در تهیه نقشه گستره جنگل. علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۴(۵): ۱۳-۲۲.

فاضلی فارسانی، آ. و قضاوی، ر. ۱۳۹۴. بررسی عملکرد الگوریتم‌های طبقه‌بندی کاربری اراضی با استفاده از تکنیک‌های تلفیق تصاویر (مطالعه موردی: زیرحوزه بهشت آباد). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۶(۱): ۹۱-۱۰۵.

- Alatorre, L., Beguería, S., Lana-Renault, N., Navas, A. and García-Ruiz, J.M. 2012. Soil erosion and sediment delivery in a mountain catchment under scenarios of land use change using a spatially distributed numerical model. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(5): 1321-1334.
- Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S. and Williams, J.R. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model Development. *Journal of the American Water Resources Association*, 34(1): 73-89.
- Bartsch, K.P., Van Miegroet, H., Boettinger, J. and Dobrowolski J.P. 2002. Using empirical erosion models and GIS to determine erosion risk at Camp Williams, Utah. *Journal of soil and water conservation* 57(1): 29-37.
- Feng, X., Wang, Y., Chen, L., Fu, B. and Bai, G. 2010. Modeling soil erosion and its response to land-use change in hilly catchments of the Chinese Loess Plateau. *Geomorphology*, 118(3): 239-248.
- Foster, G., Flanagan, D., Nearing, M., Lane, L., Risse, L. and Finkner, S. 1995. Hillslope erosion component. WEPP: USDA-Water Erosion Prediction Project, Report 10: 11.1-11.12.
- Gillana, J.K., Kalb, J.W., Bargerc, N.N., Elaksherd, A. and Duniway, M.C. 2016. Spatially explicit rangeland erosion monitoring using high-resolution digital aerial imagery. *Rangeland Ecology & Management*, 69(2): 95-107.
- Notebaert, B., Vaes, B., Verstraeten, G. and Govers, G. 2006. WaTEM/SEDEM version 2006 Manual. KU Leuven, Physical and Regional Geography Research Group. 29 P.
- Palsson, F., Sveinsson J.R., Benediktsson, J.A., Aanæs, H. 2010. Image fusion for classification of high resolution images based on mathematical morphology. In: *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, IEEE International, 492-495.
- Parysow, P., Wang, G., Gertner, G. and Anderson, A.B. 2003. Spatial uncertainty analysis for mapping soil erodibility based on joint sequential simulation. *Catena*, 53(1): 65-78.
- Renard, K.G., and Freimund, J.R. 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *Journal of hydrology*, 157(1): 287-306.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A. and Porter, J.P. 1991. RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 46(1): 30-33.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K. and Yoder, D.C. 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Vol. 703. Washington, DC: US Government Printing Office. 384 P.
- Shi, Z., Ai, L., Fang, N. and Zhu, H. 2012. Modeling the impacts of integrated small watershed management on soil erosion and sediment delivery: A case study in the Three Gorges Area, China. *Journal of hydrology*, 438: 156-167.
- van der Knijff, J.M., Jones, R.J.A., Montanarella, L. 2000. Soil erosion risk assessment in Europe. European Soil Bureau, 36pp.
- Van Oost, K., Govers, G. and Desmet, P. 2000. Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. *Landscape Ecology*, 15(6): 577-589.
- Verstraeten, G., Prosser, I.P. and Fogarty, P. 2007. Predicting the spatial patterns of hillslope sediment delivery to river channels in the Murrumbidgee catchment, Australia. *Journal of Hydrology*, 334(3): 440-454
- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. *Agricultural Handbook (537)-US Department of Agriculture*, 59 P.



ISSN 2251-7480

## Increasing the accuracy of predicting sediment yield in watem/sedem model using image fusion algorithm (case study: Darkesh watershed)

Atefeh Behzadfar<sup>1</sup>, Abdulvahed Khaledi Darvishan<sup>2\*</sup> and Alireza Gharagozlu<sup>3</sup>

1) M.Sc. of Remote Sensing and GIS, Science and Research Branch, Islamic Azad university, Tehran, Iran

2<sup>\*)</sup> Assistant Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

\*Corresponding author email: a.khaledi@modares.ac.ir

3) Associate Professor of Institute of National Cartographic Center, Tehran, Iran

Received: 22-09-2016

Accepted: 14-06-2017

### Abstract

Nowadays, knowing the amount of soil erosion is an important part of the comprehensive management of watersheds. Due to the lack of sufficient information and data relating to water and sediment discharges in watersheds, soil erosion is estimated using user-friendly models and new technologies. The aim of this study is to predict erosion and sediment yield in the Darkesh watershed, North Khorasan province, using WaTEM/SEDEM model and RS and GIS and image fusion algorithm. At the first, the crop management factor (C) was mapped based on land use map. The Gram-Schmidt algorithm was used to combining multispectral images Landsat 7 and 8 with panchromatic images for the two satellite images with 12-year time distance (2003 and 2015) and a scale of 1:25,000. The maps of other input factors were then prepared using ArcGIS and ENVI software and the model was run and the rates of erosion and sediment yield with the scale of 1:25,000 was predicted with and without image fusion algorithm and were compared with the observed rates in the watershed. Comparing observed sediment data in Darkesh watershed with predicted amounts showed that the final map of erosion classification by applying image fusion algorithm led to better and more accurate identification of erosion sensitive areas. Based on the results of this study, high-performance of WaTEM/SEDEM model to predict of sediment yield was proved and it was found that image fusion algorithm was also led to increase the accuracy of the results.

**Keywords:** multispectral images, panchromatic images, sediment delivery ratio, soil erosion