

جغرافیا و توسعه شماره ۳۱ تابستان ۱۳۹۲

وصول مقاله : ۱۳۹۰/۲/۲۰

تأیید نهایی : ۱۳۹۱/۹/۱۴

صفحات : ۹۳-۱۰۶

## اولویت‌بندی نواحی کنترل فرسایش خاک با استفاده از تکنیک‌های ارزیابی چندمعیاره و GIS

جلال زندی<sup>۱</sup>، کریم سلیمانی<sup>۲</sup>، محمود حبیب نژاد روشن<sup>۳</sup>

### چکیده

اولویت‌بندی، در اجرای پروژه‌های منابع طبیعی امر بسیار مهم و ضروری می‌باشد و به تصمیم‌گیران اجازه خواهد داد تا مناسب‌ترین استراتژی‌های مدیریتی و پایدار را در درازمدت اجرا نمایند. وضعیت کنونی فرسایش با یک شاخص نسبی نمی‌تواند بطور دقیق اولویت نواحی جهت کنترل فرسایش خاک را شناسایی نماید. هدف از این تحقیق شناسایی اولویت‌های حفاظت با استفاده از یک روش ارزیابی چندمعیاره در حوضه آبخیز وازرود مازندران می‌باشد. روند تغییرات خطر فرسایش نشان‌دهنده‌ی مناطقی است که خطر فرسایش در آن‌ها در حال ازدیاد بوده و همچنین به عنوان یکی از معیارهای شناسایی اولویت‌ها می‌باشد. پهنه‌بندی خطر فرسایش در قالب معادله تلفات خاک اصلاح شده جهانی (RUSLE) در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ انجام گرفت و به شش ناحیه‌ی خطر خیلی کم، کم، متوسط، شدید، خیلی شدید و فوق‌العاده شدید تقسیم گردید. روند تغییرات فرسایش خاک با مقایسه نتایج خطر فرسایش بین ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ و ارزیابی‌های چند معیاره محقق گردید. دو سطح با بالاترین اولویت، مناطق با درجه فرسایش شدید و با افزایش قابل توجه در فرسایش که در این ۱۰ سال اخیر به وقوع پیوسته را شامل می‌شود (۱۵۸۸/۳۲ هکتار و ۱۱/۳۱٪ از کل منطقه مورد مطالعه) و به عنوان مناطق کنترل فرسایش خاک و اختصاص استراتژی‌های مدیریتی مناسب در آن پیشنهاد می‌گردد. دو سطح میانی مناطق با وضعیت فرسایشی پایدار در طول زمان یا تغییرات جزئی را شامل می‌شوند و به اقدامات کنترلی کمتری نیازمندند.

کلیدواژه‌ها: فرسایش خاک، اولویت‌بندی حفاظت، روند تغییرات فرسایش، GIS، RS.

jalal.zandi2010@gmail.com  
solaimani2001@yahoo.co.uk  
roshanbah@yahoo.com

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (نویسنده مسؤل)  
۲- استاد مرکز RS و GIS، دانشکده منابع طبیعی ساری، عضو هیأت علمی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری  
۳- دانشیار آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی ساری، عضو هیأت علمی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

## مقدمه

فرسایش آبی خاک بیشترین مشکلات تخریب را در سرتاسر جهان ایجاد می‌کند (Eswaran & Deng, 2009: 21). فرسایش خاک تأثیرات محیطی و ضررهای اقتصادی بسیار زیادی بر روی محصولات کشاورزی و ظرفیت مخازن سدها می‌گذارد که این خود به طور مستقیم و غیرمستقیم بر کیفیت و آلودگی آب اثر می‌گذارد (Park at all, 2011: 264) (Pimentel at all, 1995: 1118). بعلاوه، نتایج فرسایش به صورت تجزیه کربن خاک آلی و گسیل آن به اتمسفر به صورت  $CO_2$  و  $CH_4$  موجب پدیده‌ی گرمایش جهانی می‌گردد (Podmanicky at all, 2011: 4).

حوضه‌ی آبخیز وازرود واقع در استان مازندران به دلیل اهمیت ویژه آن در تأمین آب شهری، دارا بودن ویژگی‌های توریستی و گردشگری، از سوی دیگر به دلیل تبدیل کاربری اراضی جنگلی به کاربری‌های مسکونی و شرایط بهره‌برداری نادرست از زمین‌های کشاورزی و مرتعی مانند: ساختمان‌سازی، تأسیسات و جاده‌ها، و احداث معادن بررسی وضعیت فرسایش را در آن، امری اجتناب‌ناپذیر ساخته است. تهیه‌ی نقشه‌ی شدت فرسایش، بررسی عوامل خطر فرسایش و ارائه راهکارهای مدیریتی با توجه به روند فزاینده فرسایش خاک و مساحت وسیع اراضی و گاهی صعب‌العبور بودن مناطق، با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی امری ضروری به نظر می‌رسد (تاجگردان، ۱۳۸۷: ۳۸). همچنین استفاده از این تکنیک‌ها از لحاظ اقتصادی به صرفه بوده و صحت قابل قبولی در نواحی وسیع ایجاد می‌کند (Park at all, 2011: 264). اگرچه مدل‌های فرسایش مقادیر هدررفت خاک را به صورت مطلق بیان می‌کنند، غالباً خروجی آن‌ها به صورت کیفی نشان داده می‌شود (Vrieling, 2008: 279).

معمولاً خطر فرسایش نشان‌دهنده‌ی احتمال نسبی وقوع فرسایش در یک ناحیه نسبت به سایر نواحی

است. یک جنبه مهم از طرح‌های حفاظتی در نظر گرفتن توزیع مکانی فرسایش و شناسایی نواحی با خطر فرسایش بحرانی، جهت اجرای اقدامات حفاظتی است (Phua & Minowa, 2005: 208). ژانگ و همکاران<sup>۱</sup>، (2010: 85) با هدف شناسایی اولویت‌های حفاظتی با روش ارزیابی چندمعیاره و استفاده از تکنیک‌های RS و GIS مناطق دارای اولویت به منظور کنترل فرسایش خاک را شناسایی کرده و نتیجه گرفتند که شناسایی کیفی نواحی فرسایشی و به دست آوردن روند تغییرات فرسایش با استفاده از داده‌های سنجش از دور در تلفیق با GIS به خوبی می‌تواند مناطق فرسایشی را پایش کند. پارک و همکاران (2011: 272)، مقدار هدررفت خاک را در طی یک دوره‌ی ۲۰ ساله در کره‌ی جنوبی با استفاده از تکنیک‌های RS و GIS نقشه‌های موضوعی مختلف بر اساس معادله اصلاح شده جهانی فرسایش خاک (RUSLE) تهیه نموده و با استفاده از تحلیل‌های سلسله مراتبی (AHP) و رگرسیون لجستیک<sup>۲</sup>، نقشه‌های شاخص قابلیت اراضی (LSI) را تهیه و تغییرات روند فرسایش و مقدار هدررفت خاک را تا سال ۲۰۲۰ پیش‌بینی نموده و نتیجه گرفتند که استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) تخمین و توزیع مکانی فرسایش را به خوبی امکان‌پذیر می‌نماید و اقدامات حفاظتی جهت کاهش فرسایش در اثر اجرای طرح‌های توسعه‌ی شهری در آینده الزامیست.

## مواد و روش‌ها

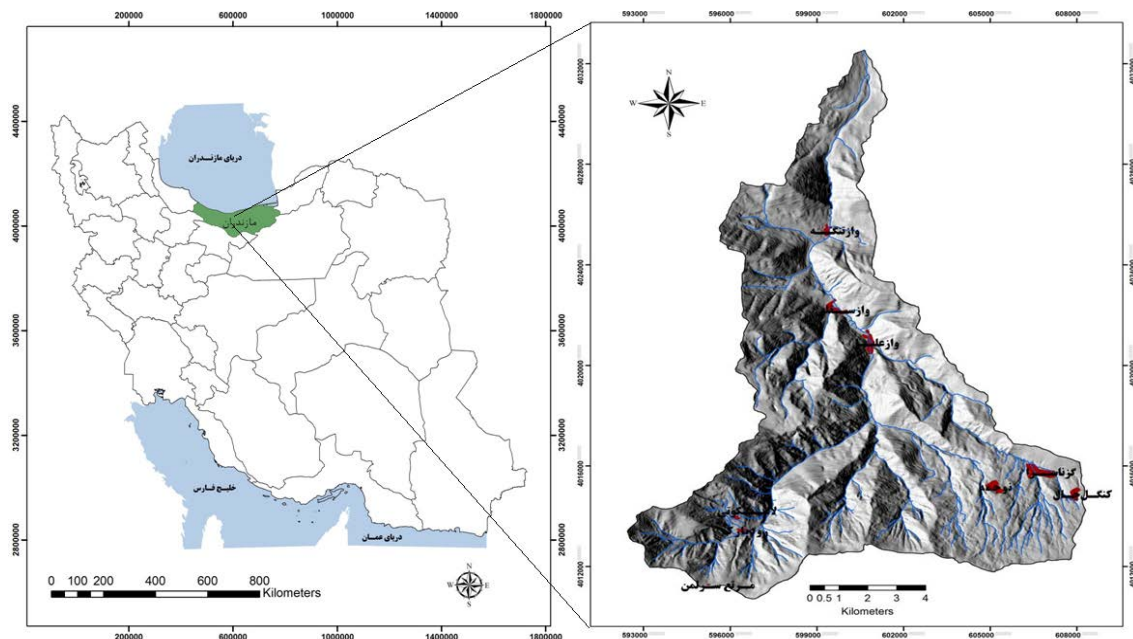
## مشخصات جغرافیایی حوضه‌ی مورد مطالعه

محدوده‌ی حوضه‌ی آبخیز وازرود در عرض شمالی  $36^{\circ} 14' 26''$  تا  $36^{\circ} 25' 54''$  درجه و طول شرقی  $52^{\circ} 01' 46''$  تا  $52^{\circ} 12' 30''$  درجه قرار گرفته است.

- 1- Zhang at all
- 2- Analytic Hierarchy Process
- 3- Logistic Regression
- 4- Land Suitability Index

حوضه‌ی آبخیز وازرود از نظر تقسیمات کشوری در شهرستان نور استان مازندران و در بخش میانی استان مازندران واقع گردیده است. (شکل ۱) موقعیت استان مازندران و حوضه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

مساحت این حوضه ۱۴۱۲۳ هکتار، میانگین دمای سالیانه هوا ۱۰/۶ درجه سانتیگراد و متوسط حداکثرهای آن ۱۶/۳۰ درجه و متوسط حداقل‌های آن ۴/۹ درجه می‌باشد میزان بارندگی سالیانه بطور متوسط ۸۰۰ میلی‌متر می‌باشد.



شکل ۱: موقعیت استان مازندران و حوضه‌ی مورد مطالعه

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰

### روش تحقیق

هدف اصلی تحقیق حاضر تعیین مناطق حساس به فرسایش با ارزیابی روند تغییرات فرسایش با بهره‌گیری از تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در حوضه‌ی آبخیز وازرود می‌باشد. بدین منظور، مراحل و روش انجام تحقیق عبارتند از:

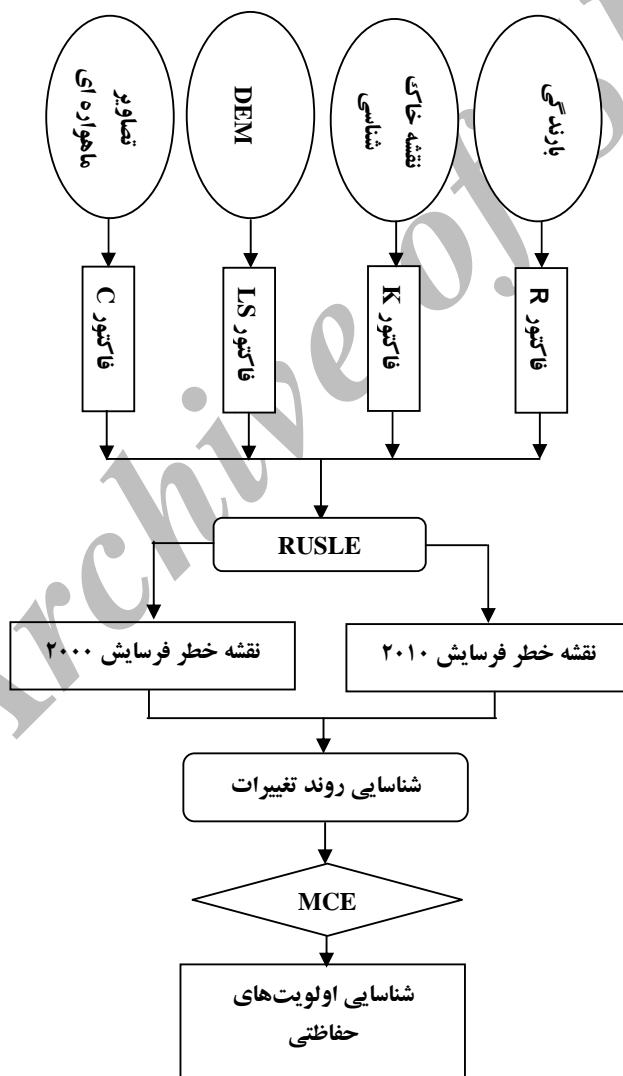
الف- شناسایی منطقه، بازدیدهای میدانی و جمع‌آوری داده‌ها، ذخیره‌ی نقشه‌ها و داده‌های مختلف به صورت طبقه‌بندی شده در قالب بانک داده‌ها با بهره‌گیری از سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی؛

### مواد و روش تحقیق

در مطالعه‌ی حاضر با توجه به اهداف تحقیق و مدل RUSLE، تصاویر سنجنده‌های ETM<sup>+</sup> و TM ماهواره Landsat به ترتیب مربوط به تاریخ‌های چهارم ژوئن ۲۰۰۰ و ششم ژوئن ۲۰۱۰، جهت به دست آوردن شاخص NDVI و مدیریت پوشش گیاهی، نقشه توپوگرافی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ جهت تهیه‌ی مدل رقومی ارتفاع (DEM)، نقشه خاک‌شناسی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، که توسط شرکت مهندسی مشاور طبرستان فضا تهیه شده است، جهت تعیین بافت و فرسایش‌پذیری خاک، داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و یک دستگاه سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) مورد استفاده قرار گرفتند.

د- هم‌پوشانی نقشه خطر سال ۲۰۰۰ و نقشه‌ی خطر سال ۲۰۱۰ و شناسایی تغییرات و روند خطر فرسایش؛  
 ر- ارزیابی چندمعیاره و شناسایی اولویت‌های حفاظتی در کنترل نواحی فرسایشی.  
 خلاصه مراحل روند انجام پژوهش به صورت دیاگرام نشان داده شده است (شکل ۲).

ب- بهره‌گیری از معادله اصلاح شده جهانی فرسایش خاک جهت استخراج نقشه شدت فرسایش در سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰؛  
 ج- طبقه‌بندی نقشه خطر فرسایش به دست آمده به محدوده‌های خطر؛  
 د- ارزیابی صحت و اعتبارسنجی نقشه خطر فرسایش به دست آمده توسط بازدیدهای میدانی و استفاده از داده‌های سنجش از دور و تأیید مدل؛



شکل ۲: مدل مفهومی مراحل روند انجام تحقیق

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰

## نتایج

## نقشه خطر فرسایش

مدل RUSLE (Renard et al., 1997: 50-178) در محیط GIS می‌تواند پتانسیل فرسایش خاک از نوع دامنه‌ای (فرسایش‌های سطحی، شیبی و بین شیبی) را سلول به سلول برآورد نماید، که در محاسبه‌ی الگوی توزیع مکانی و زمانی فرسایش در سطح اراضی وسیع حوضه‌های آبخیز اهمیت بسزایی دارد (زند، ۱۳۹۰: ۶۶). (Qing et al., 2008: 285), (Oliveria et al., 2011: 1029) از این مدل در محیط GIS جهت توزیع هدررفت ناشی از فرسایش‌های بارانی، سطحی، شیبی و بین شیبی در منطقه‌ی مورد مطالعه بهره‌گیری شد. معادله RUSLE (رابطه ۱) هدر رفت خاک را توسط ۶ فاکتور که مقادیر آن در نواحی مشخص می‌تواند به صورت عددی بیان شود، برآورد می‌کند (لی، ۲۰۰۴: ۴۶۰). در مدل RUSLE، نرخ هدررفت خاک توسط رابطه‌ی ذیل محاسبه می‌شود. (رابطه ۱).

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

که در آن، R فاکتور فرساینده‌ی باران، K فرسایش‌پذیری خاک، LS فاکتورهای توپوگرافی طول شیب و درجه شیب، C فاکتور مدیریت پوشش گیاهی و P فاکتور عملیات حفاظتی است. جهت محاسبه‌ی فرساینده‌ی باران، به دلیل عدم وجود ایستگاه‌های باران‌سنج ثابت، از معادله رگرسیونی به دست آمده (رابطه ۲)، بین ایستگاه‌های ثابت موجود در مازندران و پارامتر میانگین سالانه بارندگی استفاده گردید (زند، ۱۳۹۰: ۶۶). داده‌های بارش میانگین سالانه شش ایستگاه موجود در حوضه و اطراف آن و روش درون‌یابی Spline جهت تعمیم داده‌های بارش نقطه‌ای به سطح مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۳ الف).

$$R = -8.12 + 0.562p \quad (2)$$

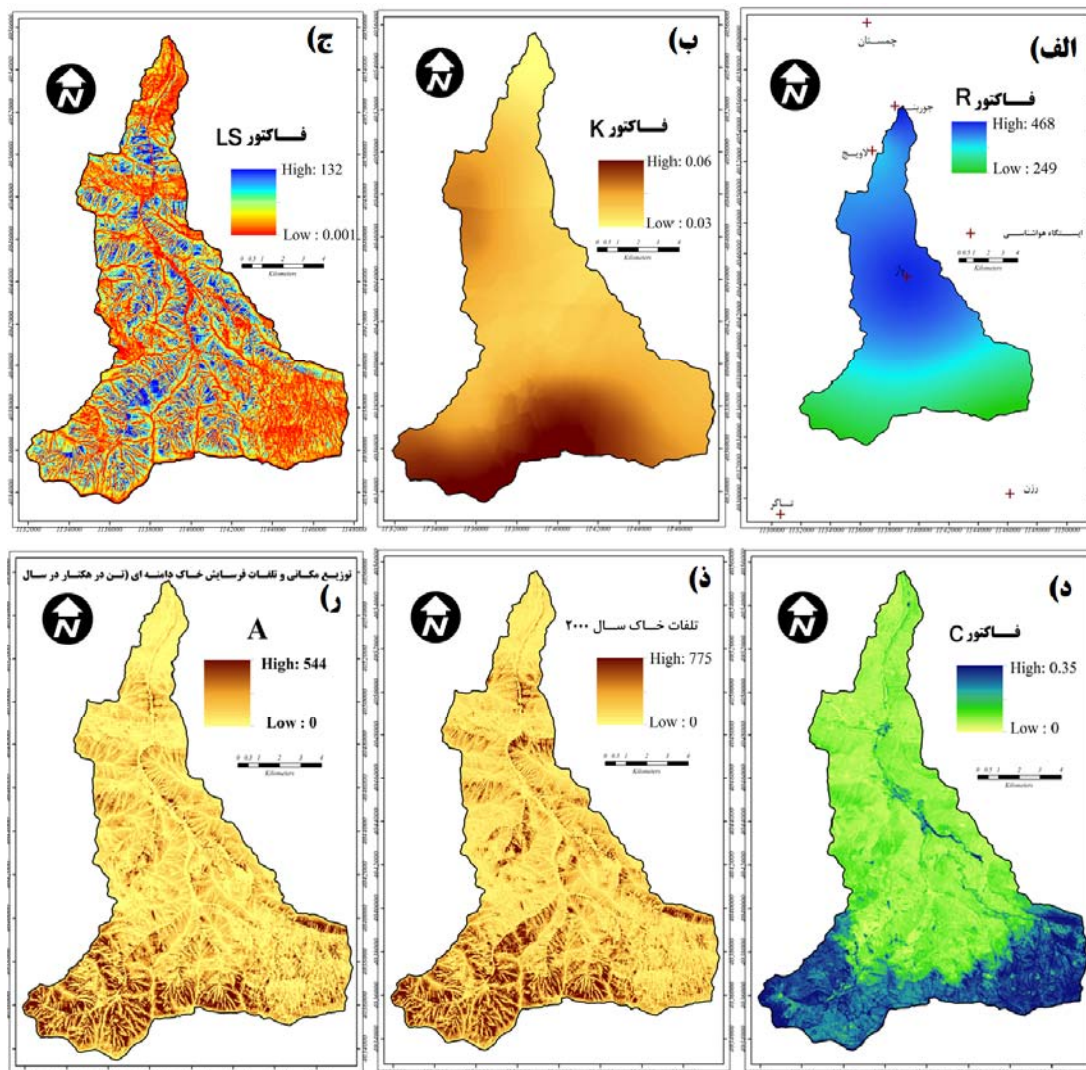
که در آن P میانگین سالانه بارندگی برحسب میلی‌متر و R فرساینده‌ی باران می‌باشد. فاکتور فرسایش‌پذیری خاک از مطالعات خاک‌شناسی حوضه‌ی وازرود (مطالعات تفصیلی - اجرایی حوضه‌ی وازرود، ۱۳۸۸) تهیه گردید (شکل ۳ ب).

از مدل رقومی ارتفاع (DEM)، جهت به‌دست آوردن فاکتورهای طول شیب و درجه شیب استفاده گردید (شکل ۳ ج). برخی از فاکتورهای مدل مانند فاکتورهای مدیریت پوشش گیاهی و عملیات حفاظتی دینامیک بوده و در طی زمان تغییرپذیرند، سایر فاکتورها نسبتاً استاتیک بوده و در کوتاه‌مدت تغییرپذیری ندارند. برای محاسبه‌ی فاکتور مدیریت پوشش گیاهی از شاخص NDVI به دست آمده از باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک (۴ و ۳) تصاویر ماهواره‌ی ETM<sup>+</sup> و TM استفاده گردید. معادله‌ی تبدیل حاصل از این شاخص (رابطه ۳)، فاکتور مدیریت پوشش گیاهی را در سطح حوضه نشان می‌دهد (زند، ۱۳۹۰: ۷۲)، (شکل ۳ د).

$$NDVI = (b4 - b3) / (b4 + b3) \quad (3)$$

$$C \text{ Factor} = 0.407 - 0.5953 \times NDVI$$

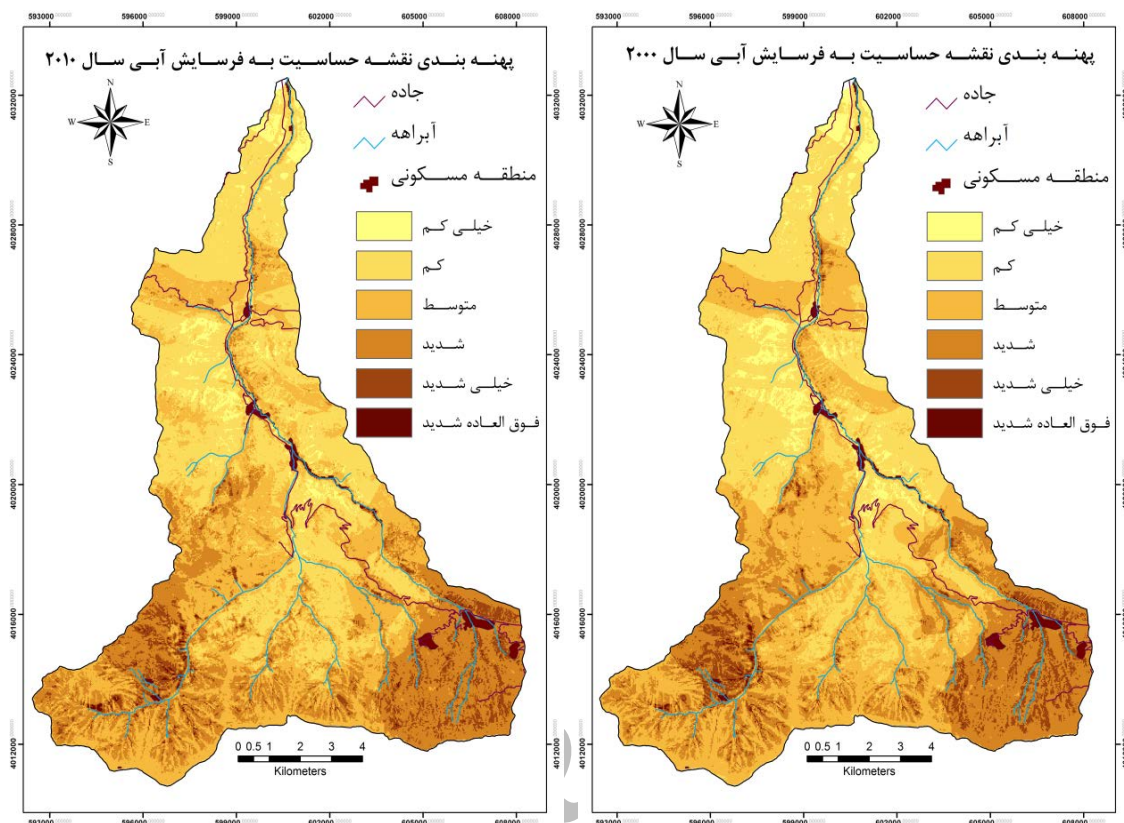
با توجه به اینکه تاکنون هیچ‌گونه عملیات حفاظتی در سطح حوضه انجام نگرفته بود به نقشه رستری این فاکتور مقدار ۱ اختصاص یافت. با عنایت به عوامل استاتیک و دینامیک، فاکتورهای مختلف مدل به فرمت رستری و اندازه‌ی سلول ۳۰×۳۰ متر و سیستم مختصات یکسان تبدیل گردید. سپس لایه‌ها به کمک الحاقیه Spatial Analyst برنامه ArcGIS 10 در همدیگر ضرب شده (رابطه ۱) و مقادیر هدر رفت سالانه خاک (A) (تن در هکتار در سال) و توزیع مکانی آن بر اساس سلول به سلول به دست آمد (شکل‌های ۳ د و ۳ ر).



شکل ۳: توزیع مکانی فاکتورهای الف) فرساینده‌گی باران (R - ب) فاکتور فرسایش پذیری خاک (K - ج) فاکتورهای توپوگرافی (LS - د) فاکتور پوشش گیاهی (C - ذ) شدت و تلفات فرسایش خاک سال ۲۰۰۰ - ر) شدت و تلفات فرسایش خاک سال ۲۰۱۰ حوضه مورد مطالعه مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰

مقادیر حساسیت نقشه‌های خطر فرسایش آبی به دست آمده در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ توزیع نرمالی داشتند بنابراین بر اساس انحراف معیار داده‌ها نقشه حساسیت به خطر فرسایش سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ به ۶ طبقه حساسیت به فرسایش خیلی کم (ناچیز)، کم، شدید، خیلی شدید و فوق‌العاده شدید تقسیم گردید (شکل ۴).

پهنه‌بندی نقشه‌ی فرسایش به مناطق خطر نقشه‌ی حساسیت به فرسایش مقیاسی از مقادیر پیوسته را داشته و لازم است که این مقادیر به طبقاتی از خطر تقسیم گردد. هنگامی که هیستوگرام مقادیر داده‌ها از توزیع نرمال تبعیت نمایند، طبقه‌بندی بر اساس انحراف معیار مناسب می‌باشد (Suzen&Doyuran,2004: 318)



شکل ۴: نقشه‌ی خطر فرسایش خاک سال ۲۰۱۰ و ۲۰۰۰ منطقه‌ی مورد مطالعه  
 مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰

### روند تغییرات خطر فرسایش

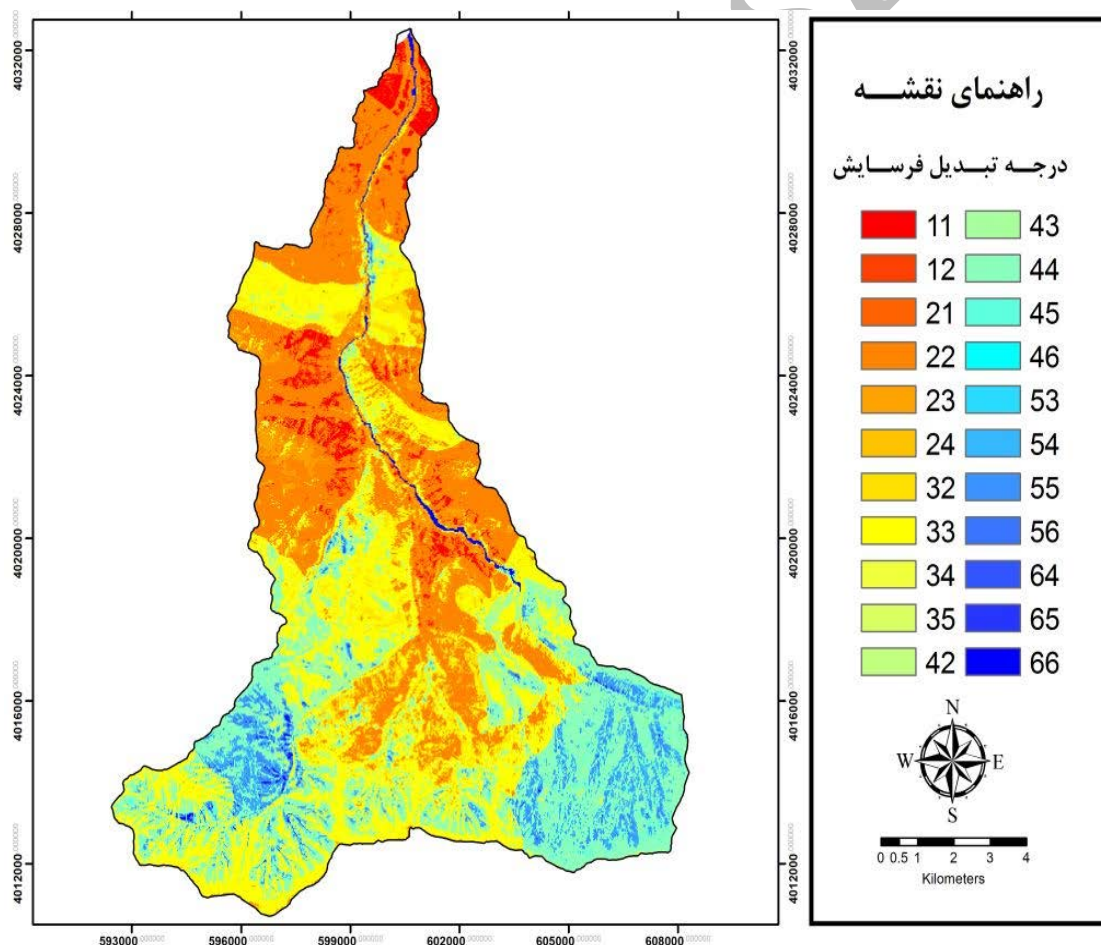
روند خطر فرسایش خاک توسط مقایسه بین خطر فرسایش به‌دست آمده سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۰۰ تعیین شده است. هدف از این فرآیند شناسایی تغییرات مکانی و زمانی و به‌دست آوردن اولویت نواحی کنترل فرسایش می‌باشد. در این مطالعه، دو نقشه‌ی خطر فرسایش آبی به‌دست آمده از سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۰۰ با همدیگر هم‌پوشانی شده و تفاوت‌های آن‌ها پیکسل به پیکسل محاسبه شده است. مقدار پیکسل خروجی با کدهای دوتایی بیان می‌شود؛ رقم اول بیان‌کننده‌ی درجه فرسایش در سال ۲۰۰۰ و رقم دوم درجه فرسایش را در سال ۲۰۱۰ بیان می‌کند.

### ارزیابی صحت و اعتبارسنجی نقشه‌ی خطر فرسایش خاک

صحت نقشه‌ی خطر فرسایش از طریق نمونه‌های برداشت شده از مشاهدات میدانی منطقه‌ی مورد مطالعه و تقسیم تعداد نمونه‌های صحیح برداشت شده بر کل نمونه‌ها به‌دست می‌آید (Zhang at all, 2010: 79) در مجموع، ۱۰۰ موقعیت زمینی خطر فرسایش از کل حوضه که انواع پوشش/کاربری اراضی‌های مختلف را پوشش می‌داد، به وسیله‌ی GPS برداشت گردید با مقایسه‌ی داده‌های میدانی با نقشه‌ی حساسیت به خطر فرسایش سال ۲۰۱۰، صحت کلی ۸۸ درصد نقشه در منطقه‌ی مورد مطالعه به دست آمد.

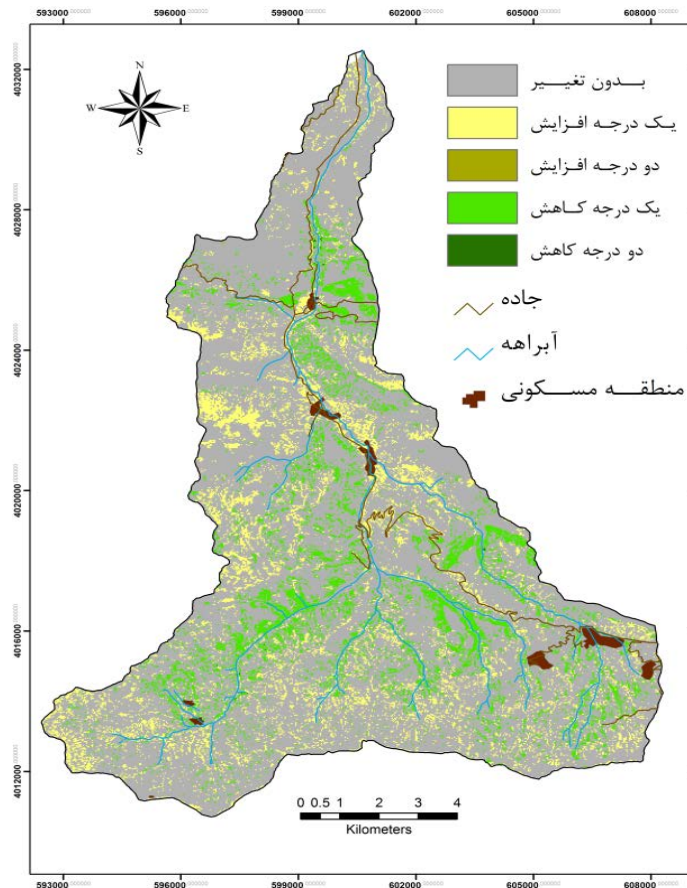
شد، که هر کدام نشان‌دهنده‌ی یک درجه تغییر می‌باشد. ۵ کلاس شامل ۲ درجه افزایش خطر فرسایش، ۲ درجه کاهش و یکی بدون تغییر می‌باشد (شکل ۶). این نتایج با آنالیز تغییرات میان آن‌ها به اجرای نواحی کنترل فرسایش در پروژه‌های آینده کمک خواهد کرد. روند تغییرات کلی فرسایش خاک می‌تواند با تحلیل تغییر سطح فرسایش یافته به دست آید. نواحی هر درجه تغییر در خطر فرسایش در طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ با همدیگر مقایسه شده است (شکل ۷).

برای مثال، اگر درجه فرسایش در سال ۲۰۰۰ "۲" و در سال ۲۰۱۰ "۴" باشد، مقدار پیکسل خروجی "۲۴" خواهد شد. در این روش، کد خروجی نشان‌دهنده‌ی درجه‌ی تبدیل فرسایش هر پیکسل بوده و توزیع مکانی خطر فرسایش خاک را نیز نشان می‌دهد (شکل ۵). بر اساس روش ذکر شده، یک مدل با نام (مدل روند تغییرات) به منظور به دست آوردن روند خطر فرسایش خاک ارائه گردید. نقشه تغییرات خطر فرسایش خاک به ۵ کلاس از روند تغییرات گروه‌بندی

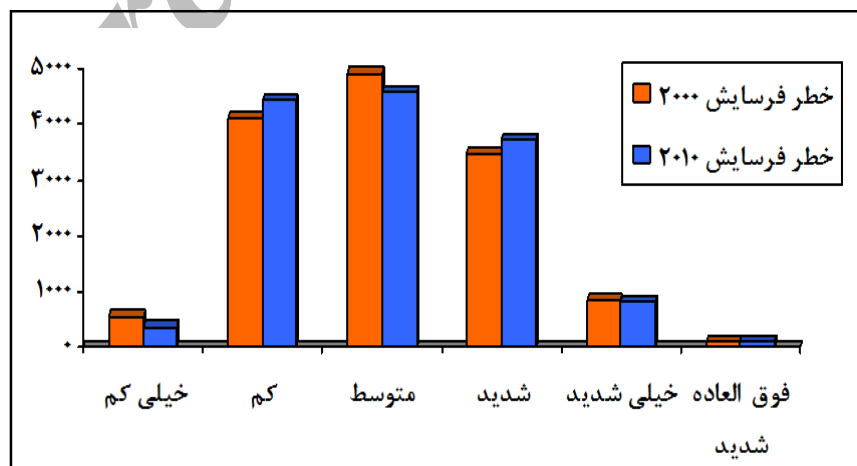


شکل ۵: نقشه درجه تغییر خطر فرسایش با کدهای ۲ تایی (کد اول: خطر فرسایش ۲۰۰۰ و کد دوم: خطر فرسایش ۲۰۱۰ منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد) مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰





شکل ۶: نقشه‌ی درجات تغییر فرسایش و نواحی مهم کنترل فرسایش بین سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۰۰  
 مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰



شکل ۷: مقایسه‌ی بین سطح فرسایش یافته با هر درجه خطر فرسایش در سال ۲۰۱۰ و ۲۰۰۰  
 مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰

نشان داده شده است. نواحی بدون تغییر با ۷۶/۹۳٪ از سطح منطقه، در منطقه‌ی مورد مطالعه غالب است. این نواحی عمدتاً در شیب‌های کم و دامنه‌های منظم و جنگل‌های متراکم منطقه قرار گرفته‌اند. علیرغم کاهش کلی فرسایش در منطقه‌ی مورد مطالعه، مجموع مساحت نواحی با افزایش خطر فرسایش بیشتر از مجموع مساحت نواحی با کاهش خطر فرسایش است، که نشان‌دهنده‌ی افزایش خطر فرسایش در منطقه‌ی مورد مطالعه است. مناطق با افزایش خطر فرسایش عمدتاً در مناطق مرتعی نزدیک به مناطق مسکونی و جاده‌های جدیدالاحداث واقع شده است که فعالیت‌های انسانی و چرای بیش از حد از مراتع در این مناطق صورت می‌گیرد، درحالی‌که مناطقی که خطر فرسایش کاهش یافته است عمدتاً در جنگل‌های دوردست قرار گرفته‌اند که فعالیت‌های انسانی در آنجا کمتر است.

با هم‌پوشانی نتایج خطر فرسایش خاک سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰، درصد هر درجه تغییر فرسایش به دست آمد (جدول ۱). درصد مناطق بدون تغییر در درجات فرسایش پایین بیشتر است، که بیان‌گر ثبات بیشتر نواحی با خطر فرسایش کم می‌باشد. درصد سطح مناطقی که درجه فرسایش در آن‌ها از "۱" به "۲" و از "۲" به "۳" افزایش پیدا کرده است به ترتیب برابر ۱/۳۳۸٪ و ۳/۹۴۸٪ می‌باشد، درحالی‌که مناطقی که درجه فرسایش آن‌ها از "۲" به "۱" و از "۳" به "۲" کاهش پیدا کرده‌اند به ترتیب برابر ۰/۰۷۰٪ و ۴/۹۰۵٪ می‌باشد؛ که بیانگر اهمیت احتساب تغییرات زمانی خطر فرسایش در محاسبات ارزیابی اولویت‌های حفاظتی می‌باشد. نقشه‌ی روند تغییرات فرسایش با استفاده از مدل روند (Zhang at all, 2010: 79) تهیه گردید (شکل ۶). مساحت نواحی تغییر یافته در (جدول ۲)

جدول ۱: درصد تغییر در خطر فرسایش بین سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ در منطقه‌ی مورد مطالعه؛ به عنوان مثال: ۰/۰۰۳٪ تغییر در درجه خطر فرسایش از ۲ به ۴ دیده می‌شود.

		درجه فرسایش در سال ۲۰۱۰					
		1 ST	2 LT	3 MT	4 SR	5 MS	6 ES
درجه فرسایش در سال ۲۰۰۰	1 ST	۲/۵۷۸	۱/۳۳۸	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
	2 LT	۰/۰۷۰	۲۵/۳۵۹	۳/۹۴۸	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
	3 MT	۰/۰۰۰	۴/۹۰۵	۲۵/۲۷۰	۴/۸۱۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰
	4 SR	۰/۰۰۰	۰/۰۰۴	۳/۳۵۴	۱۹/۳۹۱	۲/۰۰۹	۰/۰۰۱
	5 MS	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۱۵	۲/۳۱۶	۳/۶۶۶	۰/۱۴۰
	6 ES	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۵	۰/۱۳۷	۰/۶۷۲

1 ST: خیلی کم؛ 2 LT: کم؛ 3 MT: متوسط؛ 4 SR: شدید؛ 5 MS: خیلی شدید؛ 6 ES: فوق‌العاده شدید

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۰

جدول ۲: مساحت و بیان افزایش و کاهش در درجه خطر فرسایش بین سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰

افزایش - کاهش	درصد کاهش نسبت به کل منطقه	مساحت (هکتار)	کاهش خطر	درصد افزایش نسبت به کل منطقه	مساحت (هکتار)	افزایش خطر
۲۰۶/۶۴	۱۰/۷۸	۱۵۱۴/۰۷	یک درجه	۱۲/۲۵	۱۷۲۰/۷۱	یک درجه
-۲/۷۰	۰/۰۲	۳/۴۲	دو درجه	۰/۰۱	۰/۷۲	دو درجه
۲۰۳/۹۴	۱۰/۸۱	۱۵۱۷/۴۹	مجموع	۱۲/۲۶	۱۷۲۱/۴۳	مجموع

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۰

### تصمیم‌گیری چندمعیاره و شناسایی اولویت‌های حفاظتی

احتساب تغییرات خطر فرسایش خاک به این منظور انجام می‌گیرد که مناطقی که درجه فرسایش حال حاضر آن‌ها با فرسایش در زمان قبلی یکسان می‌باشد لزومی ندارد که اولویت حفاظتی مشابهی به آن‌ها تعلق گیرد. در جاهایی که وضعیت فرسایش پایدار است، اولویت‌های حفاظتی براساس خطر فرسایش حال حاضر

اختصاص می‌یابد، اما در مناطقی که خطر فرسایش افزایش و یا کاهش می‌یابد، اولویت‌های حفاظت در ترکیب با روند تغییرات مشاهده شده اختصاص خواهد یافت؛ برای مثال اگر خطر فرسایش کاهش یابد اولویت‌دهی کمتر می‌شود و برعکس با افزایش درجه‌ی خطر فرسایش اولویت‌دهی بیشتر خواهد شد. به طوری که قواعد تصمیم‌گیری چندمعیاره با توجه به (جدول ۳) اجرا گردید.

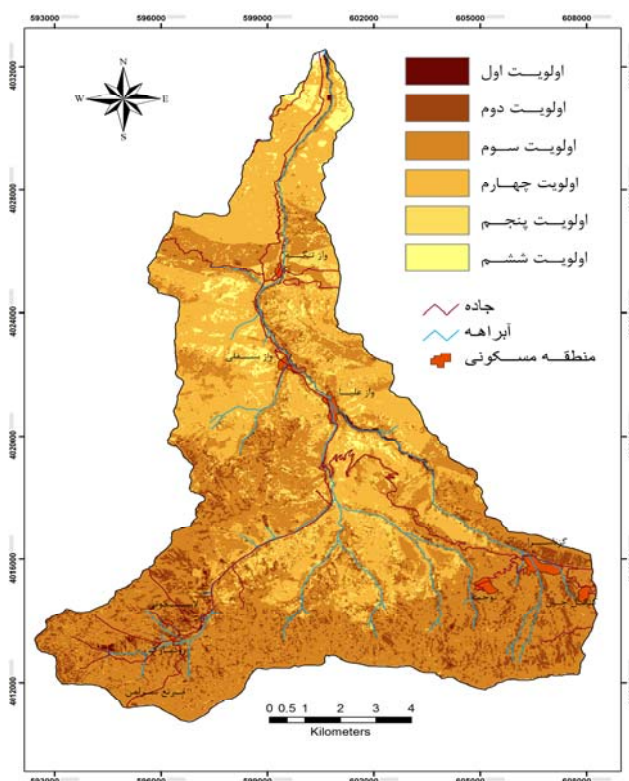
جدول ۳: قواعد تصمیم‌گیری چندمعیاره جهت شناسایی اولویت‌های حفاظتی

	درجه فرسایش در سال ۲۰۱۰						
	فوق‌العاده شدید	خیلی شدید	شدید	متوسط	کم	خیلی کم	
درجه فرسایش در سال ۲۰۰۰	اول	اول	اول	دوم	چهارم	ششم	خیلی کم
	اول	اول	دوم	سوم	چهارم	ششم	کم
	اول	دوم	دوم	سوم	پنجم	ششم	متوسط
	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم	شدید
	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم	خیلی شدید
	اول	سوم	چهارم	پنجم	ششم	ششم	فوق‌العاده شدید

مأخذ: Zhang et al., 2010

می‌گردد که این دو سطح اولویتی در برنامه‌ها و طرح‌های حفاظت خاک که در آینده اجرا خواهد شد، مدیریت شود. سطوح سوم و چهارم اولویتی مناطق با فرسایش خاک پایدار و با تغییرات جزئی را شامل می‌شوند، که ۱۱۳۹۳/۱ هکتار و ۸۱/۱۳٪ از منطقه را شامل می‌شود. این نواحی به اختصاص اعتبارات کمتری جهت کنترل فرسایش خاک در طرح‌های آینده نیاز دارند. دو سطح باقیمانده که درجه‌ی فرسایش بسیار پایین و روند خطر فرسایش خاک در آن‌ها کاهش یافته است، سطحی معادل ۱۰۶۱/۱۹ هکتار و ۷/۵۶٪ از منطقه‌ی مورد مطالعه را شامل می‌شوند. این نواحی تازمانی که مورد تجاوز فعالیت‌های انسانی قرار نگرفته‌اند و شدت توسعه منطقی باشد، به اقدامات حفاظتی احتیاجی ندارند.

بر اساس قواعد تصمیم‌گیری چند معیاره (جدول ۳)، نقشه‌ی اولویت‌بندی نواحی کنترل و حفاظت فرسایش خاک تهیه گردید (شکل ۸). نواحی با اولویت بالاتر تنها به نواحی با خطر فرسایش شدید اختصاص ندارد، بلکه مناطقی که افزایش در خطر فرسایش خاک در آن‌ها رخ داده است نیز اولویت بیشتری پیدا کرده‌اند. این نتایج جهت تعیین موقعیت نواحی کنترل فرسایش در پروژه‌های کنترل فرسایش و اختصاص اعتبارات مورد نیاز طرح‌ها و برنامه‌هایی که در آینده جهت کاهش وضعیت فرسایش در منطقه صورت خواهد گرفت، کمک شایانی خواهد کرد. مساحت و درصد هر سطح اولویتی در (جدول ۴) نشان داده شده است. دو سطح با اولویت بالا تقریباً تمام مناطق با فرسایش شدید و افزایش در خطر فرسایش را در سطح ۱۵۸۸/۳۲ هکتار و ۱۱/۳۱٪ از کل منطقه‌ی مورد مطالعه پوشش می‌دهد. پیشنهاد



شکل ۸: نقشه اولویت‌بندی نواحی کنترل فرسایش خاک منطقه مورد مطالعه؛ اولین سطح بالاترین اولویت را در حفاظت خاک داشته و اولویت کنترل با افزایش سطوح، کاهش می‌یابد. مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰

جدول ۴: مساحت، درصد سطح و درصد تجمعی هر یک از سطوح اولویتی در اولویت‌بندی نواحی کنترل فرسایش خاک

سطح اولویتی	مساحت (هکتار)	درصد مساحت	درصد تجمعی
اول	۱۱۴/۰۳	۰/۸۱	۰/۸۱
دوم	۱۴۷۴/۲۹	۱۰/۵۰	۱۱/۳۱
سوم	۷۱۷۰/۳	۵۱/۰۶	۶۲/۳۷
چهارم	۴۲۲۲/۸	۳۰/۰۷	۹۲/۴۴
پنجم	۶۸۹/۴	۴/۹۱	۹۷/۳۵
ششم	۳۷۱/۷۹	۲/۶۵	۱۰۰

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰

### بحث و نتیجه

با فصل رشد گیاهان و زمان جمع‌آوری داده‌های میدانی می‌باشد. همچنین، هر دو نقشه خطر فرسایش آبی سال ۲۰۰۰ و سال ۲۰۱۰ با یک روش یکسان به دست آمده‌اند و بنابراین نتایج این دو نقشه‌ی خطر می‌تواند با همدیگر مقایسه شود. در مطالعات فرسایش

دقت مکانی سنجنده ETM+ (۳۰ متر) مشابه سنجنده TM (۳۰ متر) بوده، و دامنه‌ی طیفی ۳ باند مورد استفاده در این مطالعه یکسان می‌باشد. تاریخ اخذ هر دو تصویر ماهواره‌ای در ماه ژوئن (خردادماه) و مطابق

تحلیل تغییر سطح فرسایش یافته به دست آید. نواحی هر درجه تغییر در خطر فرسایش در طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ با همدیگر مقایسه شد. نواحی با فرسایش شدید از ۳۴۷۶٫۷ هکتار (۲۴/۷۵٪ کل منطقه) در سال ۲۰۰۰ به ۳۷۲۶/۱۸ هکتار (۲۶/۵۳٪ از منطقه) در سال ۲۰۱۰ افزایش پیدا کرده‌اند. نواحی با فرسایش خیلی شدید از ۸۶۱/۸۴ هکتار (۶/۱۳٪ از کل منطقه) در سال ۲۰۰۰ به ۸۱۶/۳ هکتار (۵/۸۱٪ از کل منطقه) کاهش پیدا کرده‌اند؛ و نواحی با فرسایش فوق‌العاده شدید از ۱۱۲/۸۵ هکتار (۰/۸۰٪ منطقه) به ۱۱۴/۰۳ هکتار (۰/۸۱٪ منطقه) تغییر پیدا کرده‌اند. فرسایش‌های شدید و فوق‌العاده شدید افزایش پیدا کرده‌اند و موقعیت آن‌ها در مقایسه با سال ۲۰۰۰ عوض شده است (شکل ۷)؛ این نتایج نشان می‌دهد که علیرغم کاهش نواحی با فرسایش شدید، وضعیت تخریب خاک در بعضی نواحی به صورت موضعی بدتر شده است. این نتایج با یافته‌های ژانگ و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد. اولویت‌بندی نواحی کنترل فرسایش خاک نشان‌دهنده‌ی موقعیت مکانی نقاطی از حوضه است که به اقدامات حفاظتی بیشتری نیاز دارند و برنامه‌ریزی‌های آینده در خصوص کنترل فرسایش خاک را تسهیل می‌نماید. نواحی کنترل فرسایش خاک بایستی شناسایی شوند تا طرح‌های آینده بر اساس اولویت حفاظت اجرا گردد. در این تحقیق، تغییرات فرسایش در هر ناحیه خطر در محدوده‌ی زمانی ۱۰ ساله بین سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ مورد تحلیل و بحث قرار گرفت. بر اساس اولویت‌های حفاظتی به‌دست آمده، دو سطح با بالاترین سطح اولیتهی به عنوان مناطق کنترل فرسایش خاک و اختصاص راهبردهای حفاظتی مورد نیاز توصیه می‌گردد. در این روش، موقعیت و توزیع مکانی مناطق کنترل فرسایش بیشتر مدنظر بوده است، با توجه به محدودیت مالی طرح‌ها و پروژه‌ها، مقدار قابل توجهی از وجوه اختصاص یافته، به پروژه‌های دیگر رسیده و به‌طور مناسبی

خاک، پوشش گیاهی، شیب، بافت خاک و کاربری اراضی از فاکتورهای بسیار مهم هستند و غالباً در ارزیابی فرسایش و اولویت‌بندی مناطق از آنها استفاده می‌شود (Le Bissonnais at all, 2001: 216; Sahin and Kurum, 2002: 242; Kheir at all, 2006: 349; Shrimali at all, 2001: 54-60). نواحی حساس به فرسایش را در حوضه‌ی دریاچه ساخنا، در شمال هند با استفاده از شاخص فرسایش تجمعی مجموع شاخص‌های منفرد (خاک، کاربری اراضی و شیب) شناسایی کرده و با گروه‌بندی شاخص‌ها به چهار کلاس اولویت‌بندی را انجام داده است. این روش‌ها اولویت‌بندی فرسایش خاک را براساس وضعیت فرسایش در حال حاضر انجام می‌دهند، اما پتانسیل مناطق اولویت‌دار آینده را معلوم نمی‌کنند. با در نظر گرفتن تغییرات وضعیت فرسایش می‌توان پتانسیل رخداد فرسایش مناطق را بررسی نمود. ژانگ و همکاران (۲۰۱۰) نیز در تحقیقات خود شناسایی و اولویت‌بندی نواحی جهت کنترل فرسایش‌های صفحه‌ای، شیاری و بین شیاری خاک را با استفاده از کاربری اراضی، شیب و پوشش گیاهی در دو سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۶ مورد بررسی قرار داده و تغییرات روند فرسایش را در طی زمان مطالعه نموده و نتیجه گرفتند که نواحی با اولویت بیشتر جهت کنترل فرسایش خاک، تنها مکان‌های با فرسایش شدید و خیلی شدید حال حاضر نیستند، بلکه نواحی با سیر صعودی فرسایش نیز در اولویت انجام عملیات کنترلی قرار می‌گیرند. روند خطر فرسایش خاک توسط مقایسه بین خطر فرسایش آبی به دست آمده سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ تعیین شد. هدف از این فرآیند شناسایی تغییرات مکانی و زمانی و به‌دست آوردن اولویت نواحی کنترل فرسایش می‌باشد. در این مطالعه، دو نقشه خطر فرسایش آبی به دست آمده از سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ با همدیگر هم‌پوشانی شده و تفاوت‌های آن‌ها پیکسل به پیکسل محاسبه شده است. روند تغییرات فرسایش خاک می‌تواند با

- Applied to Environmental Zoning. Water Resour Manage.
- 8- Park, Soyung., Jin, C., Jeon, S., Jung, H., Choi, C (2011). Soil Erosion Risk in Korean Watersheds, Assessed Using the Revised Universal Soil Loss Equation, *Journal of Hydrology* 399.
  - 9- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shpritz, L., Fitton, L., Saffouri, R., Blair, R (1995). Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science* 267.
  - 10- Podmanicky, L., Balaz, K., Belenysi, M., Centeri, C., Kristof, D., Kohlheb, D (2011). Modelling soil quality changes in Europe. An impact assessment of land use change on soil quality in Europe. *Ecological Indicators* 11.
  - 11- Qing, X, Y., Mei, S, X., Bin, K, X., Jian, P, C., Yun, L (2008). Adapting the RUSLE and GIS to model soil erosion risk in a mountains karst watershed, Guizhou Province, China *Environmental Monitoring Assessment* 141.
  - 12- Renard, K., Foster, G., Weesies, G, R., McCool, D. K., Yoder, D, C (1997). Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation. U.S. Department of Agriculture, *Agriculture Handbook* 703.
  - 13- Sahin, Ş., Kurum, E (2002). Erosion risk analysis by GIS in environmental impact assessments: a case study: Seyhan Köprü Dam construction. *Journal of Environmental Management* 66.
  - 14- Shrimali, S. S, Aggarwal, S. P., Samra, J. S (2001). Prioritizing erosion-prone areas in hills using remote sensing and GIS- a case study of the sukha Lake catchment, Northern India. *International Journal of Applied Earth observation and Geoinformation* 3 (1).
  - 15- Suzen, M.L., Doyuran, V (2004). Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using geographical information systems: a method and application to Asarsuyu catchment, Turkey. *Eng. Geol.* 71.
  - 16- Vrieling, A., De Jong, S.M., Sterk, G., Rodrigues, S. C (2008). Timing of erosion and satellite data: a multi-resolution approach to soil erosion risk mapping. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 10 (3).
- Zhang, X., Wu, B., Ling, F., Zeng, Y., Yan, N., Youan, C (2010). Identification of priority areas for controlling soil erosion. *Catena* 83.
- بودجه‌بندی شده و همه‌ی پروژه‌ها اجرایی خواهند شد. اولویت‌های بالای حفاظتی در مناطق حساس به فرسایش و فعالیت‌های انسانی دیده می‌شود، بخصوص در مراتع جنوب حوضه و اطراف سکونتگاه‌ها که شدیداً مورد چرای دام قرار می‌گیرد. جهت دستیابی به توسعه‌ی پایدار، بایستی پتانسیل تعارض بین اقدامات حفاظتی و فعالیت‌های انسانی (مانند چرای بیش از حد مراتع) را در کنترل فرسایش خاک در نظر بگیریم. در مناطقی که داده‌های بیشتری در دسترس باشند، ارزیابی‌های بیشتری از روند تغییرات خطر فرسایش خاک با آنالیز سری‌های زمانی خطر فرسایش به دست می‌آید، که اطلاعات مفصل‌تری از اولویت‌های حفاظتی فراهم می‌نماید.
- ### منابع
- ۱- تاجگردان، نکتم؛ شمس‌ا... ایوبی؛ شعبان شتابی جویباری (۱۳۸۷). برآورد فرسایش و رسوب به کمک داده‌های ماهواره‌ای و سامانه اطلاعات جغرافیایی با استفاده از مدل MPSIAC در حوضه آبخیز زیارت، مجله پژوهش و سازندگی. شماره ۷۹.
  - ۲- زندی، جلال (۱۳۹۰). اولویت‌بندی نواحی کنترل فرسایش خاک با استفاده از تکنیک‌های RS و GIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
  - 3- Eswaran, H., Lal, R., Reich, P. F (2001). Land degradation: an overview. In: Bridges, E.M., Hannam, I.D., Oldeman, L.R., Penning de Vries, F.W.T., Scherr, S.J., Sombatpanit, S. (Eds.), *Response to Land Degradation*. Science Publishers Inc, Enfield, NH, USA.
  - 4- Fernandez L.M and Margarita M (2011). An empirical approach to estimate soil erosion risk in Spain. *Science of the Total Environment* 409.
  - 5- Kheir, R.B., Cerdan, O., Abdallah, C (2006). Regional soil erosion risk mapping in Lebanon. *Geomorphology* 82 (3-4).
  - 6- Le Bissonnais, Y., Montier, C., Jamagne, M., Daroussin, J., King, D (2001). Mapping erosion risk for cultivated soil in France. *Catena* 46 (2-3).
  - 7- Oliveira, P., Alves, T., Rodrigues, D, B., Panachuki, E (2011). Erosion Risk Mapping