

دوفصلنامه کواترنری ایران (علمی-پژوهشی)، دوره ۷، شماره ۲ و ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۰

ص ۲۲۴ تا ۲۴۱

مدلسازی تخریب اراضی در حوضه آبخیز طالقان

پریسا خرازی؛ دانشجوی دکتری مدیریت محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد

اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

جمال قدوسی*؛ دانشیار و عضو هیئت علمی گروه آموزش و تحقیقات کشاورزی، مرکز حفاظت آب و خاک، ایران

حسن کریم زادگان؛ دانشیار گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، ایران

میرمسعود خیرخواه زرکش؛ دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، سازمان تحقیقات آموزش و

ترویج کشاورزی، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۰۱

چکیده

تخریب اراضی از پدیده‌های منفی اثرگذار بر محیط‌زیست است و سبب کاهش تدریجی عملکردهای اکوسیستم می‌شود. با در نظر گرفتن این که بیش از نیمی از مساحت حوضه‌های آبخیز ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند، تخریب اراضی مسئله بسیار مهمی تلقی می‌شود. تحقیق حاضر با هدف ارائه مدلی جهت برآورد تخریب اراضی در حوضه آبخیز طالقان صورت گرفته است. از نقشه‌های کاربری اراضی در ۴ چهار دوره زمانی ۱۹۷۰، ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۶، مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافیایی جهت برآورد تخریب اراضی بهره‌گیری شده است. شدت تخریب اراضی نیز با استفاده از مدل سازمان خواربار و کشاورزی برای برآورد فرسایش خاک برآورد شد. در نهایت مدلی کاربردی برای بررسی وضعیت فعلی تخریب اراضی در مقیاس حوضه آبخیز ارائه شده است. این مدل دارای ۶ معیار و ۴۳ شاخص است که مجموع نمرات آنها در شش کلاس، وضعیت تخریب اراضی را مشخص می‌کند. نتیجه بررسی وضعیت تخریب اراضی با استفاده از مدل در حوضه آبخیز طالقان به عنوان منطقه تحقیق نشان داد که شدت تخریب اراضی در ۹/۵ درصد از وسعت آبخیز کم، و به ترتیب در ۷۱، ۱۹ و ۰/۵ درصد از وسعت آبخیز متوسط، نسبتاً زیاد و زیاد است.

کلمات کلیدی: تخریب اراضی، حوضه آبخیز طالقان، سنجش از دور، مدلسازی.

مقدمه

بطور کلی تخریب سرزمین به عنوان یک چالش مهم جهانی است که در نهایت منجر به بیابانی شدن و گسترش پهنه بیابان‌ها به ویژه در مناطق با شرایط اقلیمی خشک، نیمه خشک و نیمه مرطوب، می‌شود (اسمیراگلیا^۱ و همکاران ۲۰۱۶؛ ونگ^۲ و همکاران ۲۰۲۰). در تخریب سرزمین، انواع تخریب خاک، تنوع زیستی و کمیابی آب، به عنوان پیامدهای ناشی از تخریب اراضی بیشتر از سایر پیامدها ذکر شده‌اند (بای^۳ و همکاران ۲۰۰۸). تخریب اراضی منجر به پسرقت ظرفیت پایداری اراضی می‌شود، به طوری که نهایتاً باعث کاهش حاصل‌خیزی اراضی، توان تولید و تأمین مواد مغذی گیاهان و کاهش تدریجی و نابودی پوشش گیاهی در مراتع و عدم امکان تولید محصولات زراعی در اراضی کشاورزی نیز می‌گردد (گیسلادوتیر و استوکینگ^۴ ۲۰۰۵). بطور کلی مهم‌ترین پیامدهای مربوط به تخریب اراضی عبارتند از تخریب پوشش گیاهی، کاهش تنوع زیستی، کاهش تولیدات گیاهی در اثر کاهش زیست توده، تخریب خاک در اثر شکل‌گیری و تشدید فرسایش، افزایش مخاطرات ناشی از فرسایش خاک توسط آب (فرسایش آبی)، کاهش کیفیت خاک (از نظر فیزیکی و شیمیایی مانند شور و اسیدی شدن)، کاهش خصوصیات بیولوژیکی خاک، هدررفت مواد آلی و افت حاصل‌خیزی خاک، افزایش هزرها (رواناب‌های سطحی و سیل‌خیزی)، تخریب جنگل‌ها، مراتع، منابع آب و اراضی زراعی، تشدید و گسترش بیابانزایی (بیابانی شدن مناطق) به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک، تخریب ساختار اکولوژیکی و عملکردهای اکوسیستم‌ها (مانند حوضه‌های آبخیز) (رزانو^۵ و همکاران ۱۹۹۰؛ دیوف و لامبین^۶ ۲۰۰۱؛ فائو^۷ ۲۰۰۳؛ کاپالانگا^۸ ۲۰۰۸؛ سوران^۹ و همکاران ۲۰۱۹). از آن جا که نوع استفاده از زمین (کاربری اراضی) عامل مؤثر بر فرسایش خاک و تخریب اراضی و در نهایت بیابانی شدن سرزمین به شمار می‌آید (کاسموس^{۱۰} و همکاران ۲۰۰۳؛ روبیو و رکاتالا^{۱۱} ۲۰۰۶؛ باجوکو و صلواتی^{۱۲} ۲۰۱۱) از این رو، ضرورت دارد نقش، میزان تأثیر و سهم مشارکت هریک از انواع مختلف کاربری اراضی در شدت فرسایش و میزان تولید رسوب به عنوان شاخص تخریب خاک و اراضی مدنظر قرار گیرد. به طور کلی فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک مانند سله‌بستن، فشرده شدن خاک، فرسایش، کاهش معدنی (مواد مغذی خاک)، شور و قلیائی اسیدی شدن خاک و اراضی، کاهش مواد آلی در خاک توأم با رخداد پدیده‌های مانند خشکسالی، تغییرات آب و هوایی و غیره روند تخریب و هدر رفت خاک و در نتیجه تخریب اراضی را تشدید می‌کنند (سون^{۱۳} و همکاران ۲۰۱۴). کاهش کیفیت فعلی اراضی و توان تولید آنها در اثر دینامیک‌های طبیعی و انسانی را می‌توان تخریب

- 1- Smiraglia
- 2 - Wang
- 3- Bai
- 4- Gisladottir & Stocking
- 5- Rozanov
- 6- Diouf & Lambin
- 7- Fao
- 8- Kapalanga
- 9- Eswaran
- 10- Kosmas
- 11- Rubio & Recatala
- 12- Bajocoo & Salavati
- 13- Son

اراضی تعریف نمود که در رخداد و شکل مجموعه‌ای از عوامل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی هستند که مکانیزم‌های این پدیده را تسریع می‌کنند (سوران و همکاران ۲۰۱۹). چگونگی مدیریت منابع آب و خاک نیز به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع زیستی با اتخاذ همه تمهیدات لازم، همچنان نیازمند شناسایی مولفه‌های مؤثر در تخریب سرزمین است، زیرا تنها در این صورت است که می‌توان اقدام به برنامه‌ریزی و اعمال مدیریت مقتضی نمود (هارگیوین^۱ و همکاران ۲۰۱۲). در نقاط مختلف دنیا، مسائل مربوط با آب همچون کاهش منابع آب، آلودگی آب و افزایش خسارات ناشی از سیل وجود دارد و مسائل تخریب خاک، کمبود مواد غذایی و به دنبال آن گسترش بیماری‌ها را در پی خواهد داشت (ترنر^۲ و همکاران ۲۰۱۶؛ کیانی هرچگانی^۳ و صادقی ۲۰۲۰). علل اصلی تخریب اراضی، استفاده نامناسب از آنها است که ساختار و عملکردهای اکوسیستم‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (رزانو و همکاران ۱۹۹۰). در حال حاضر در مناطق خشک و نیمه خشک جهان نزدیک به ۱۵۰ میلیون هکتار اراضی آبی، ۱۷۰ میلیون هکتار اراضی دیم و ۳/۶ میلیارد هکتار اراضی مرتعی جای گرفته است که به دلیل تخریب اراضی و نیز کاربرد نادرست از آن، سالانه ۲۵ میلیارد تن خاک حاصل‌خیز در این مناطق از چرخه تولید خارج می‌گردد. این در حالی است که معیشت بیش از ۲۰ درصد از جمعیت جهان به این مناطق وابسته است. منابع مختلف، تخمین زده‌اند که بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹، سالانه بیش از ۱۰ میلیون هکتار از اراضی دچار تخریب شده‌اند (زرافشار و همکاران ۲۰۲۰).

انجام مطالعات موردی جهت دستیابی به علل و شدت تخریب اراضی توأم با راهکارهای کاربردی جهت مهار تخریب اراضی نه تنها اهمیت دارد بلکه اقدامی آمرانه و ضروری نیز به شمار می‌آید (شائو و همکاران ۲۰۲۰). جهت ارزیابی وضعیت تخریب اراضی در گذشته از روش‌های سنتی معروف به روش‌های دستکاپ که مبتنی بر جستجوی‌های کتابخانه‌ای بررسی سوابق علمی، مصاحبه و کسب نظر از متخصصین است، استفاده می‌گردید (دویرن و همکاران ۲۰۱۰). اما امروزه می‌توان از توانمندی‌ها و قابلیت‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) از یک سو و سامانه‌های پشتیبانی تصمیم (DDS^۴) بویژه سامانه پشتیبانی تصمیم مکانی (SDSS) در مدیریت اراضی بهره‌گیری کرد (فائو ۲۰۰۳). در سال‌های اخیر از روش‌های ریاضی محاسباتی همچون شبکه عصبی و منطق فازی نیز در مدلسازی تخریب اراضی استفاده شده است. عظیمی و همکاران (۱۳۹۹) از شبکه عصبی مصنوعی و زنجیره مارکوف برای مدلسازی تغییرات کاربری اراضی در حوضه آبخیز سد استقلال استفاده کردند. تمسگان و همکاران (۲۰۲۱) نیز از یک مدل ترکیبی تحت عنوان Markov.CA که یک مدل رگرسیونی پیشرفته است برای پیش‌بینی تخریب اراضی اکوسیستم جنگلی طی سال‌های ۲۰۲۵ تا ۲۰۳۵ در نپال استفاده کردند. در ایران نتایج تحقیقاتی نشان دهنده‌ی این است که با توجه به تأمین حدود ۵۵ درصد آب کشاورزی از آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه خشک ایران با مساحتی حدود ۹۰ درصد گستره‌ی کشور، شور و قلیایی بودن آب‌های زیرزمینی در این مناطق به عنوان یکی از عوامل تخریب اراضی محسوب می‌گردد (حسینی علیزاده و همکاران

1- Haregeweyn

2- Turner

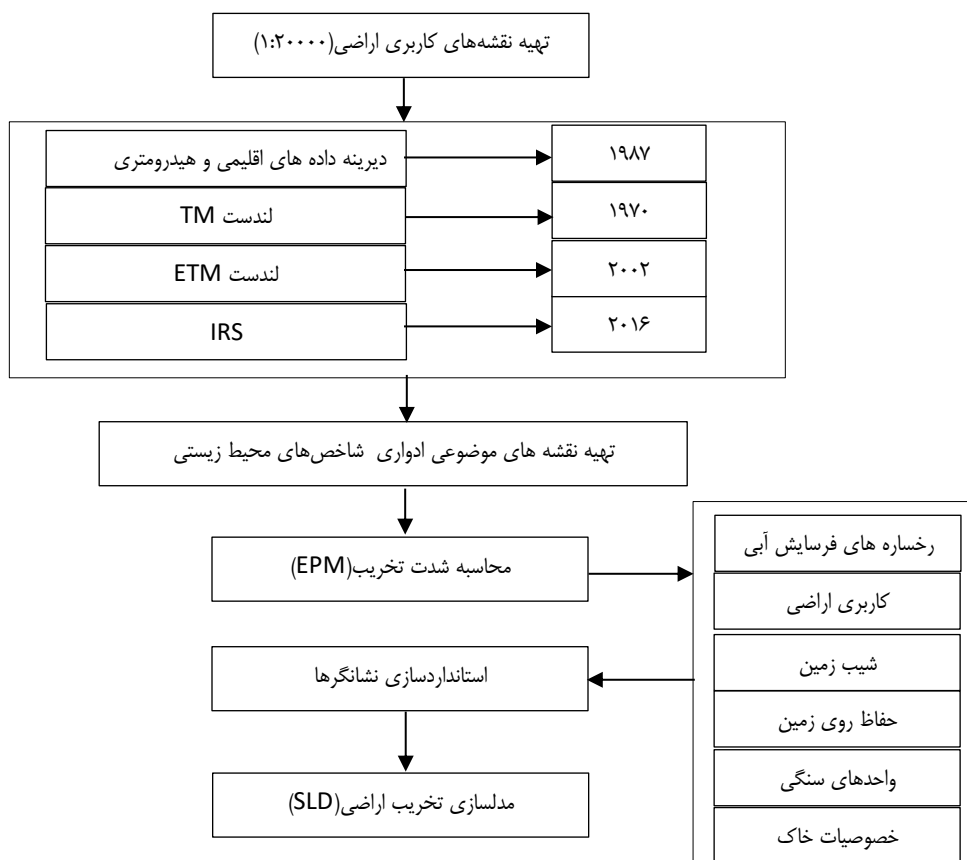
3- Kiani-Harchegani

5- Decision Support System

۲۰۲۰). آمار و اطلاعات موجود نشان می‌دهد که حدود ۷۶/۲ درصد از اراضی ایران معادل ۱۲۵ میلیون هکتار تحت تاثیر انواع فرسایش آبی و در معرض آن قرار دارند. این در حالی است که فرسایش بادی نیز حدود ۱۱/۹ درصد از مساحت کشور را تحت پوشش دارد که معادل حدود ۱/۸۱ درصد میزان جهانی است (شاکریان و همکاران ۲۰۱۷). از کل استان های ایران، ۱۴ استان که در مناطق خشک و نیمه خشک واقع شده اند با معضل فرسایش بادی روبرو هستند (رضایی و همکاران ۲۰۱۸). بررسی انجام شده در زمینه رسوب ناشی از فرسایش های آبی در کشور بیانگر این است که حدود ۲۵۰ میلیون متر مکعب رسوب در مخازن سدها ته نشین شده و تاکنون نیز حدود ۴۰۰ میلیون متر مکعب به زیر دست آنها هدایت شده است (امین و تقی زاده مهرجردی ۱۳۹۷). تخریب اراضی بالادست سدها ناشی از انواع فرسایش آبی می‌باشد که نه تنها دارای پیامدهای مخرب زیست محیطی در آنها است بلکه اثرات ناشی از تخلیه و هدایت رسوبات انباشت شده از مخازن سدها (شاس یا Flashing)، نیز عامل مهمی در تخریب اکوسیستم رودخانه‌ها و پسرفت محیط زیست مناطق واقع در پایین دست سدها مناطق پایین دست آنها می‌باشد (یغماییان و همکاران ۲۰۱۷). با توجه به شرایط مذکور، ارائه مدلی جهت بررسی وضعیت تخریب اراضی در ایران ضروری است. در این تحقیق از حوضه آبخیز طالقان به عنوان مطالعه موردی بهره گیری شده است.

مواد و روش ها

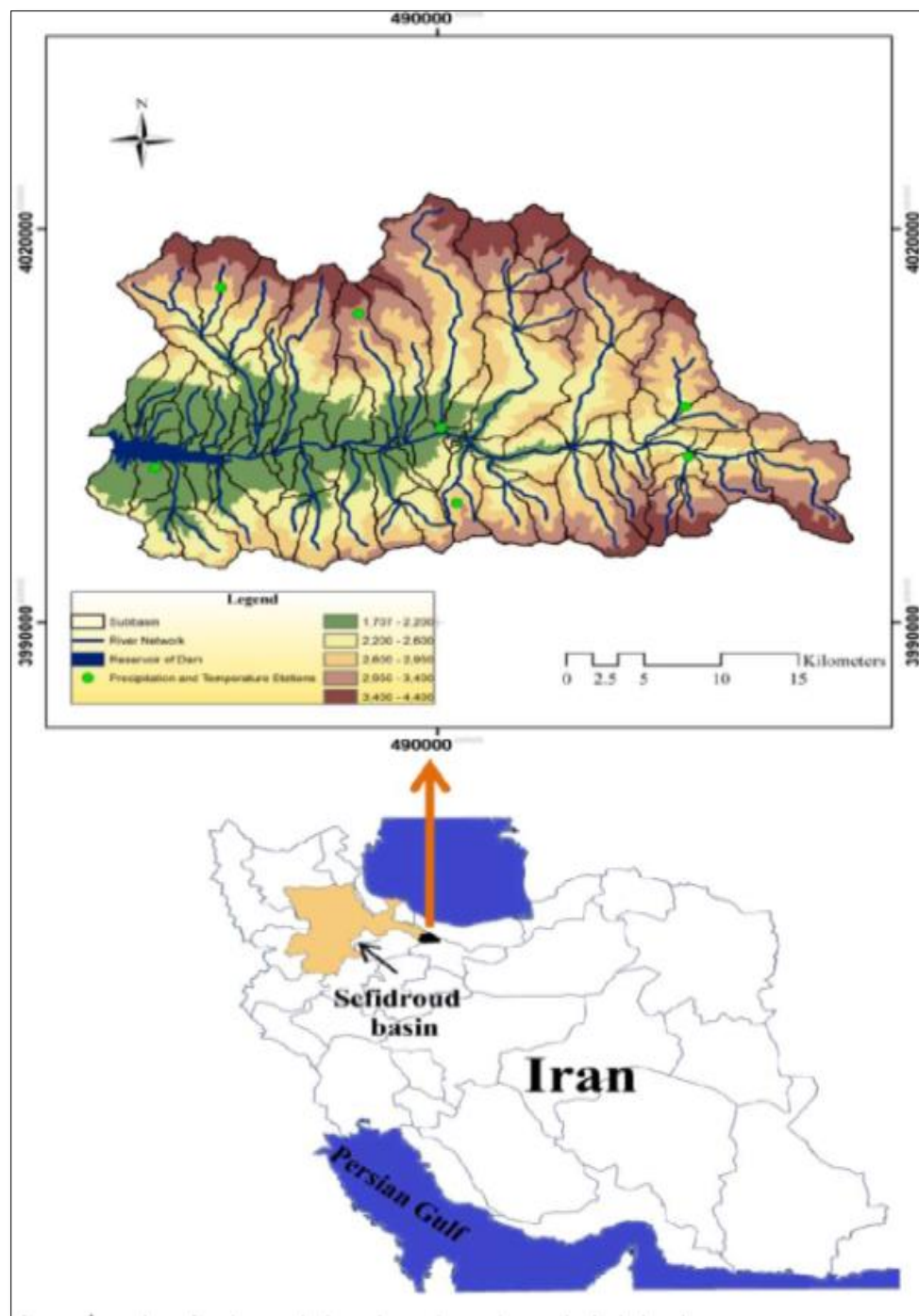
این مطالعه از نوع توصیفی-کاربردی است که بر روی حوضه آبخیز طالقان انجام گرفته و جمع آوری اطلاعات بصورت کتابخانه ای و میدانی بوده است. نقشه کاربری اراضی سال ۱۹۷۰ حوضه آبخیز مورد مطالعه در تطبیق با دیرینه داده‌های هواشناسی و هیدرومتری در منطقه تحقیق با استفاده از عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ و بهره‌گیری از فن و دانش تفسیر عکس‌های هوایی و بکارگیری استریوسکوپ رومیزی، بعد از تلفیق با نقشه محدوده منطقه تحقیق در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) صورت گرفت. همچنین تهیه نقشه‌های ادواری کاربری اراضی با استفاده تصاویر ماهواره‌ای لندست TM (۱۹۸۷)، ETM (۲۰۰۲) و IRS (۲۰۱۶) انجام شد. برای تهیه نقشه‌های ادواری کاربری اراضی در حوضه آبخیز مورد مطالعه (به صورت نقشه‌های نظارت نشده) ابتدا اقدام به از پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای شامل تصحیح اتمسفری به دلیل لزوم انجام مقایسه سری‌های زمانی تصاویری به منظور بررسی تغییرات ادواری کاربری اراضی گردید. با بکارگیری عکسهای هوایی و تصاویر ماهواره‌ای لندست TM و ETM (سال‌های ۱۹۸ و ۲۰۰۲) و IRS سال ۲۰۱۶، سپس با استفاده از روش‌های بصری و DN (جهت تدقیق بیشتر) بررسی و تجزیه و تحلیل ادواری وضعیت و مشخصات ویژگی‌های مرتبط با کاربری اراضی در محیط GIS با استفاده از نرم افزار IDRIS، شد. مراحل اجرای مطالعه در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱: فلوجارت روش تحقیق

محدوده مورد مطالعه

حوضه آبخیز طالقان در استان البرز و در ۱۲۰ کیلومتری شمال غربی تهران واقع شده است. این حوضه آبخیز یکی از زیرحوضه های رودخانه سفیدرود می باشد. منطقه مورد مطالعه در برگیرنده بخش های فرادست و میانی آبخیز طالقان بوده و منتهی به نقطه خروجی رودخانه در محل ایستگاه آب می شود. این منطقه در بین مختصات جغرافیایی $36^{\circ} 5'$ و $36^{\circ} 23'$ عرض شمالی و $50^{\circ} 20'$ و $51^{\circ} 10'$ طول شرقی قرار گرفته است (مقدم و همکاران ۲۰۱۵) (شکل ۲).



شکل ۲: نقشه موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه

مراحل و روش های انجام تحقیق:

تهیه نقشه های ادواری پوشش گیاهی (نوع و تراکم گیاهی)

الف) تیپ گیاهی

بررسی تیپ های گیاهی با بهره گیری از جدیدترین مطالعه انجام شده توسط شفیع زاده و همکاران (۲۰۲۰) در منطقه تحقیق و کنترل میدانی آنها در نقاط تعلیمی در ۶۶ نقطه با استفاده از کوادرات ۱*۱ متر استاندارد مطالعات پوشش گیاهی و مشخص نمودن حداقل دو گونه غالب گیاهی با استفاده از نقاط تعلیمی انجام گرفت.

ب) تراکم گیاهی

بررسی و تدقیق تراکم پوشش گیاهی با به کارگیری نتیجه حاصل از جدیدترین مطالعه انجام شده توسط شفیع زاده و همکاران (۲۰۲۰)، تراکم پوشش گیاهی در منطقه با استفاده از داده های سنجش از دور (تفسیر تصاویر ماهواره ای لندست TM سال ۱۹۸۷، ETM+ سال ۲۰۰۲ و IRS سال ۲۰۱۶ و شاخص NDVI انجام شد.

بررسی و تجزیه و تحلیل رخساره های فرسایش آبی

بررسی ادواری رخساره های فرسایش آبی از طریق تفسیر عکس های هوایی سال ۱۹۷۰ و تصاویر ماهواره ای لندست TM سال ۱۹۸۷، ETM+ سال ۲۰۰۲ و IRS سال ۲۰۱۶ همراه با پیمایش میدانی مبتنی بر بررسی مکانی در نقاط تعلیمی توأم با مستند سازی تیپ های فرسایش آبی (رخساره های فرسایش آبی) انجام شد.

تجزیه و تحلیل شدت و وضعیت فرسایش خاک

محاسبه شدت ادواری فرسایش خاک با استفاده از شاخص های ضریب شدت فرسایش (Z) و فرسایش ویژه با استفاده از مدل EPM استفاده شده است.

$$Z = xa \cdot y(\varphi + I)^{0.5} \quad \text{(معادله ۱)}$$

در این مدل E برای محاسبه ضریب شدت فرسایش به کار می رود، (Z) از چهار مشخصه تشکیل شده که شامل ضریب فرسایش حوضه آبخیز φ ، ضریب استفاده از زمین xa ، ضریب حساسیت خاک به فرسایش y و شیب متوسط حوضه آبخیز I می باشد.

Z: ضریب شدت فرسایش

Xa: ضریب استفاده از زمین (کاربری ارضی)

Y: ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش

φ : ضریب رخساره های (تیپ) فرسایش آبی

I: متوسط شیب حوضه آبخیز

جدول ۱. طبقه‌بندی شدت فرسایش (Z) در مدل EPM (باقرزاده و دانشور ۲۰۱۱).

طبقه‌بندی فرسایش	ارزش حد شدت فرسایش (Ze)	متوسط ارزش شدت فرسایش (Zmean)	شدت فرسایش
۱	$Z > 1$	۱/۲۵	خیلی شدید
۲	$1 > Z > 0.71$	۰/۸۵	شدید
۳	$0.7 > Z > 0.41$	۰/۵۵	متوسط
۴	$0.4 > Z > 0.3$	۰/۲	کم
۵	$Z < 0.19$	۰/۱	خیلی کم

مدلسازی تخریب اراضی

در مدل پیشنهادی، تخریب اراضی در مقیاس حوضه آبخیز تابعی از شش عامل شامل: شیب زمین، خصوصیات زمین شناسی سطحی (واحد‌های سنگی)، خصوصیات خاک، رخساره‌های فرسایش خاک توسط آب، حفاظ روی زمین و کاربری اراضی است (معادله ۲):

$$SLD = F(SL, Li, SP, EF, LC, LU) \quad \text{(معادله ۲)}$$

SLD: شدت تخریب اراضی، SL: شیب زمین، Li: سنگ شناسی (خصوصیات واحد‌های سنگی)، SP: خصوصیات خاک، WEF: رخساره فرسایش آبی، LC: حفاظ روی زمین (خاک) و LU: کاربری اراضی است.

برآورد شدت (وضعیت) تخریب اراضی در مقیاس حوضه آبخیز از طریق بررسی و تجزیه و تحلیل اسکالوگراف‌ها به شرح زیر صورت گرفته است. دامنه تغییرات نمرات جهت طبقه‌بندی شدت (وضعیت) تخریب اراضی به شرح زیر (نتیجه تجمعی وزن و نمرات مشخصه‌های تخریب اراضی) صورت گرفته است:

* حداقل نمرات (۱).

* مجموع حداقل نمرات (۴۲).

* $1/2$ مجموع حداکثر نمرات ($105 = 211 \times 1/2$).

* $1/3$ مجموع حداکثر نمرات ($70 = 211 \times 1/3$).

* $1/4$ مجموع حداکثر نمرات ($53 = 211 \times 1/4$).

* $3/4$ مجموع حداکثر نمرات ($158 = 211 \times 3/4$).

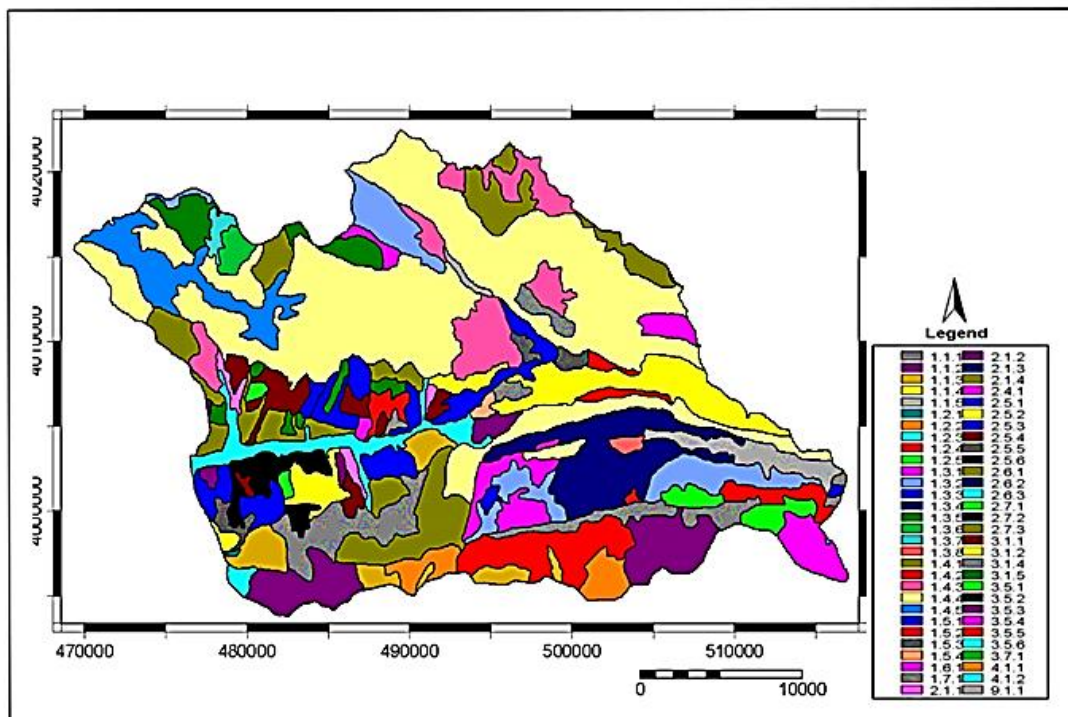
طبقه بندی شدت تخریب اراضی در این روش در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲: طبقه‌بندی شدت تخریب اراضی

VI	V	IV	III	II	I	کلاس شدت تخریب اراضی
خیلی زیاد	زیاد	نسبتاً زیاد	متوسط	کم	خیلی کم	شرح کلامی شدت تخریب اراضی
۱۵۸ >	۱۵۸-۱۰۵	۷۰-۱۰۴	۵۳-۶۹	۵۲-۴۲	۴۱-۱	دامنه تغییر نمره

بحث و نتایج

نتیجه بررسی و تجزیه و تحلیل مشخصات عمومی واحدهای اراضی نیز حاکی از وجود ۵ تیپ اراضی شامل: کوه، تپه، فلات‌ها و تراس‌ها فوقانی، دشت دامنه‌ای و تراس‌ها و بادبزنهاى سنگریزه دار رودخانه‌ای که جمعاً مشتمل بر ۱۸ واحد اراضی (به تفکیک: کوهستان ۷ واحد (دارای ۲۳ اجزاء واحد اراضی)؛ تپه ۵ واحد (دارای ۱۶ اجزاء واحد اراضی)؛ فلات و تراس فوقانی ۳ واحد (دارای ۱۱ اجزاء واحد اراضی)؛ دشت دامنه‌ای و تراس‌ها و بادبزنهاى سنگریزه دار رودخانه‌ای هر یک دارای ۱ اجزاء واحد اراضی) است. نقشه واحدها و اجزاء واحد اراضی در حوضه آبخیز سد طالقان در شکل ۳ نشان داده شده است. لازم به توضیح است که در نقشه واحدها و اجزاء واحد اراضی از کدهای استاندارد بر اساس روش مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور استفاده شده است.



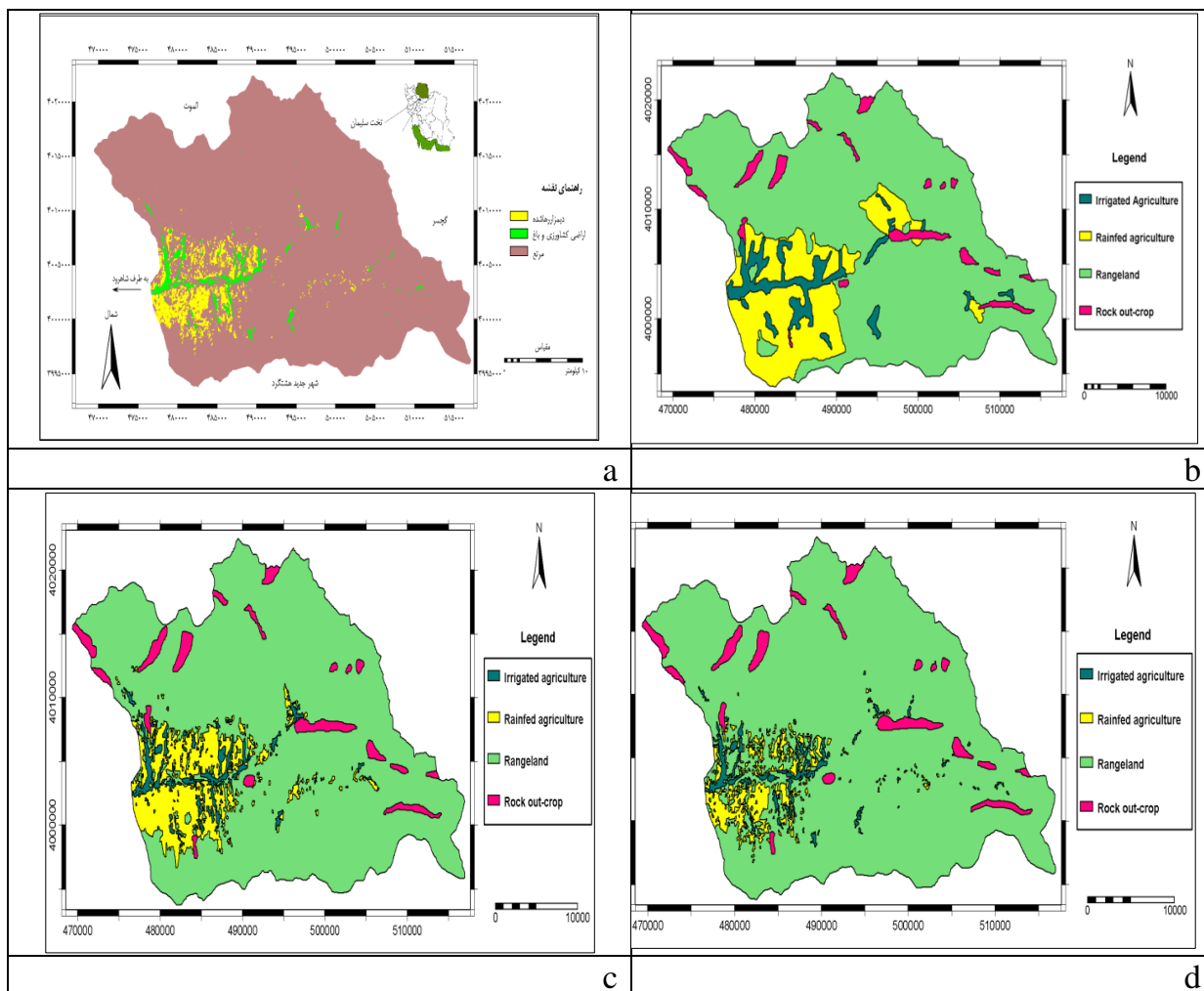
شکل ۳: نقشه واحدها و اجزاء واحد اراضی در حوضه آبخیز سد طالقان

نتیجه بررسی صورت گرفته مبین این است که استفاده فعلی از اراضی در منطقه مورد بررسی مشتمل بر مرتع، زراعت دیم، زراعت آبی و باغات و مناطق فاقد کاربری (بیرون زدگی سنگی) است. بر این اساس بخش اعظم اراضی منطقه تحت پوشش مراتع با شرایط فقیر تا خوب است که ۸۹/۳۷ درصد از مساحت آبخیز را تحت پوشش دارند. این در حالی است که اراضی زراعی آبی به ویژه باغات متمرکز در مناطق کم شیب در حاشیه رودخانه‌های فرعی و رودخانه اصلی بوده و اراضی دیم نیز در اراضی با شیب ۲۰ تا ۸۰ درصد گسترش دارند. علاوه بر این دیم زارهای رها شده که به طور عمده در نتیجه کم بازده شدن (کاهش توان تولید) به صورت اراضی مرتعی با وضعیت ضعیف از نظر تولید علوفه در حوضه آبخیز طالقان قابل مشاهده هستند و پهنه‌های تحت پوشش مناطق شهر و روستا، بدلنداها و رخنمون‌های سنگی سایر کاربری‌ها را تشکیل داده‌اند. مشخصات کاربری اراضی در حوضه آبخیز طالقان در شکل های ۴، ۵، ۶ و ۷ و جدول ۳ ارائه شده است.

نقشه کاربری اراضی در حوضه آبخیز طالقان در سال‌های مختلف با استفاده از تصاویر ماهواره ای در شکل ۴ ارائه شده است. با توجه به مندرجات شکل ۴، بیشترین و کمترین تغییر کاربری طی دوره‌های زمانی مورد مطالعه به ترتیب مربوط به اراضی مرتع و پهنه‌های فاقد پتانسیل (بیرون زدگی‌های سنگی و هزار دره‌ها) می‌باشد. همچنین این نتایج مبین وجود سه واحد ژئومرفولوژی شامل کوه، تپه، پادگانه‌های آبرفتی (دشت دامنه‌ای و مخروطی افکنه‌های سنگریزه‌دار رودخانه‌ای) در حوضه آبخیز سد طالقان می‌باشد.

جدول ۳: مشخصات کاربری اراضی در حوضه آبخیز سد طالقان (۱۹۷۰، ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۶)

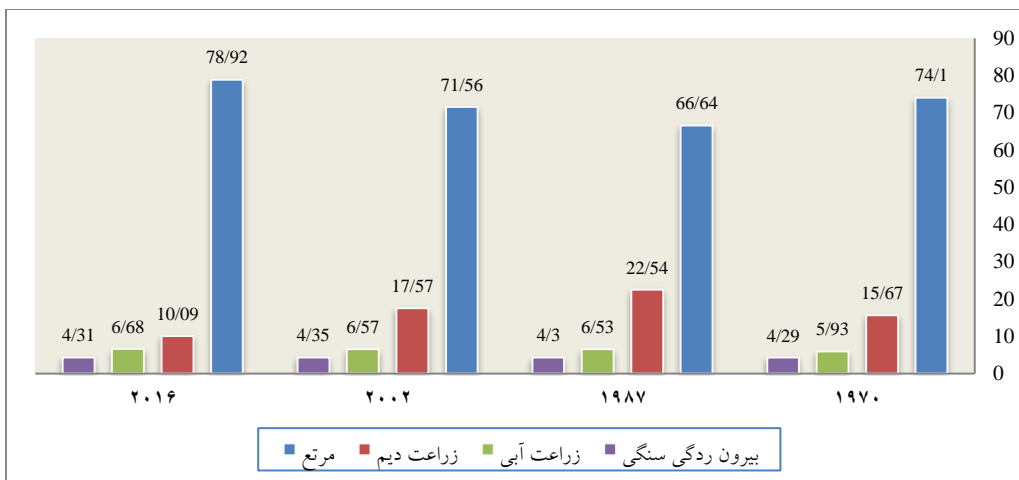
نوع کاربری	مرتع	زراعت دیم	زراعت آبی و باغ	بیرون زدگی سنگی
۱۹۷۰ مساحت (هکتار)	۵۹۵۹۵/۱۰	۱۲۶۱۰/۴۰	۴۷۷۳/۰۲	۳۴۵۰/۳۰
مساحت (درصد)	۷۴/۱۰	۱۵/۶۷	۵/۹۳	۴/۳۰
۱۹۸۷ مساحت (هکتار)	۵۳۵۹۷/۳۸	۱۸۱۳۰/۰۲	۵۲۵۰/۳۲	۳۴۵۱/۱۰
مساحت (درصد)	۶۶/۶۴	۲۲/۵۴	۶/۵۳	۴/۲۹
۲۰۰۲ مساحت (هکتار)	۵۷۵۵۶/۳۶	۱۴۱۳۰/۸۳	۵۲۹۰/۵۳	۳۴۶۲/۱۰
مساحت (درصد)	۷۱/۵۶	۱۷/۵۷	۶/۵۷	۴/۳۰
۲۰۱۶ مساحت (هکتار)	۶۳۴۷۷/۲۵	۸۱۱۲/۸۳	۵۳۷۵/۵۹	۳۴۶۳/۱۵
مساحت (درصد)	۷۸/۹۲	۱۰/۰۹	۶/۶۸	۴/۳۱



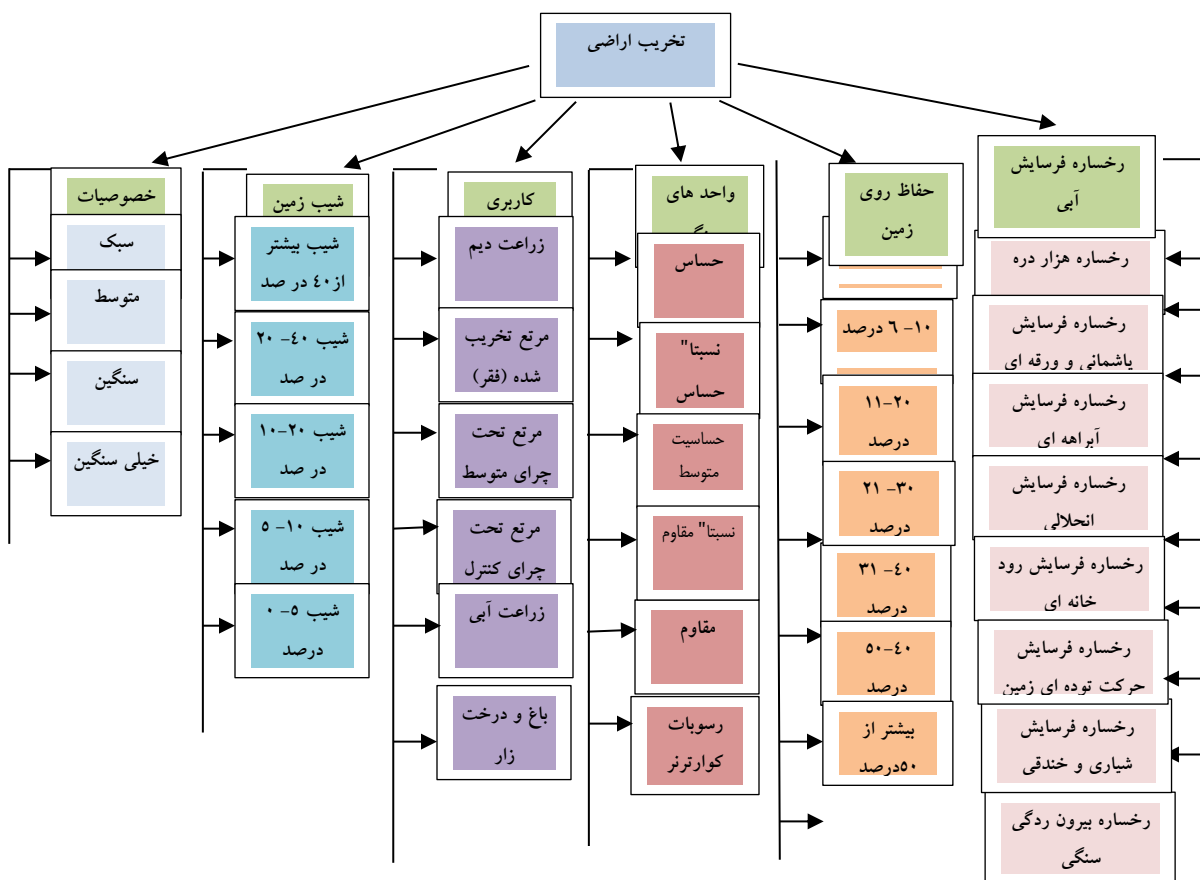
شکل ۴. نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز سد طالقان - (a) ۱۹۷۰، (b) ۱۹۸۷، (c) ۲۰۰۲ و (d) ۲۰۱۶.

تعیین مؤلفه‌ها، شاخص‌ها و مشخصه‌های تعیین وضعیت تخریب اراضی

مؤلفه‌ها و زیرمعیارهای تخریب اراضی بر اساس روش اسنادی شناسایی گردید. این مؤلفه‌ها عبارتند از: حفاظ روی زمین (پوشش زنده و غیر زنده در سطح خاک)، سنگ شناسی (زمین شناسی سطح زمین)، خصوصیات خاک، شیب زمین، کاربری اراضی و رخساره فرسایش آبی، که براساس نتایج حاصل از معادله ۱، اثر آنها بر تخریب اراضی تعیین شد، به طوری که وزن هر یک از عوامل و مشخصه‌های هر یک آنها محاسبه شده است. نتیجه رسم نمودار تحلیل سلسله مراتبی مبتنی بر شناسایی عوامل و مشخصه‌های تخریب اراضی در شکل ۶ نمایش داده شده است.



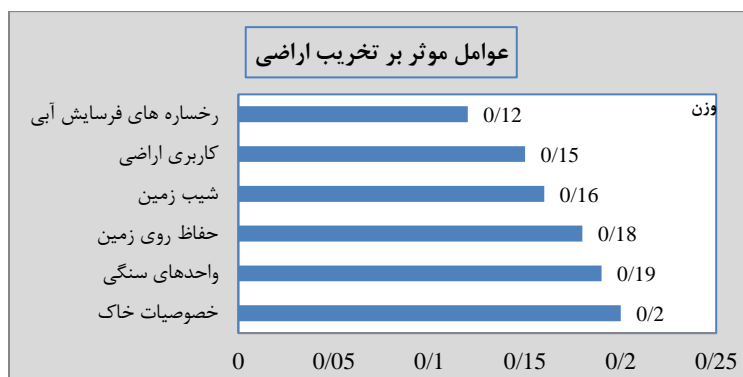
شکل ۵: نمودار تغییرات ادواری کاربری اراضی در حوضه آبخیز سد طالقان



شکل ۶: ساختار تحلیل سلسله مراتبی عوامل و مشخصه‌های تخریب اراضی

نتیجه استانداردسازی مؤلفه‌ها (عوامل)

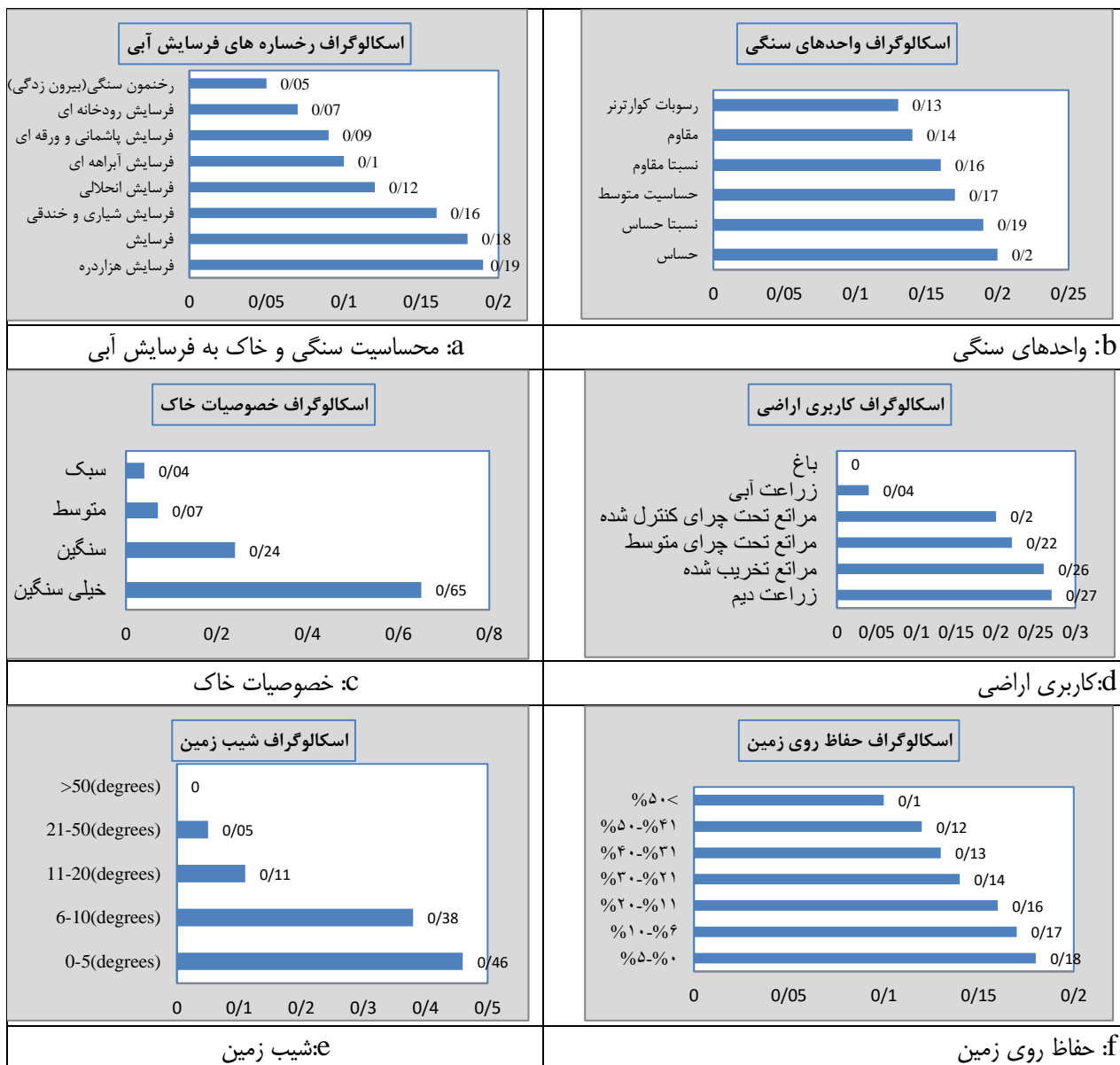
با توجه به نتایج حاصل از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی، پنج عامل یا مؤلفه در تخریب اراضی به ترتیب وزن‌های نسبی تعیین شده، می‌باشند (شکل ۷).



شکل ۷: اسکالوگراف وزن عوامل محیط زیستی مؤثر در وضعیت تخریب اراضی

نتیجه استانداردسازی مشخصه‌ها (نشانگرها)

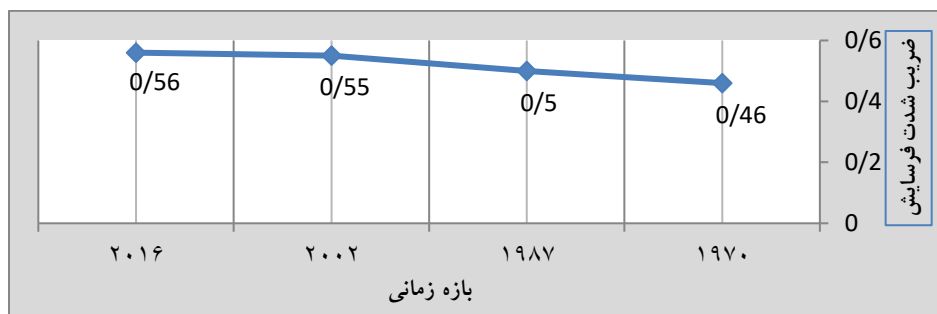
نتایج حاصل از خروجی‌های تجربه و تحلیل سلسله مراتبی AHP به شرح شکل ۸، مشتمل بر مشخصه‌ها (نشانگرهای) پنج عامل یا مؤلفه تخریب اراضی است.



شکل ۸: اسکالوگراف وزن زیر مولفه های محیط زیستی مؤثر در وضعیت تخریب اراضی

نتیجه مدل سازی

با توجه به مجموع نتایج ارائه شده در راستای فرایند مدل سازی وضعیت تخریب اراضی و پهنه بندی آن مبتنی بر روش ترکیبی و تلفیقی روش های مشاهداتی، داده های اندازه گیری و ثبت شده، سنجش از دور و نظرات کارشناسی و استفاده از سامانه های اطلاعات جغرافیائی، کارت امتیاز متوازن (روش نمره یا امتیاز دهی متوازن) و الگوبرداری از روش بررسی، ارزیابی و برآورد شدت فرسایش خاک توسط آب (فرسایش آبی) ارائه شده توسط FAO در ترکیب با تکنیک FAHP، نتیجه مدل سازی به شرح شکل ۹ می باشد.



شکل ۹. نمودار روند تغییر شدت فرسایش در بازه‌های زمانی مورد مطالعه (۱۹۷۰-۲۰۱۶)

با استناد به نتیجه رابطه بین شدت فرسایش خاک با مشخصه ضریب شدت فرسایش آبی در مدل که عامل مکانی شیب زمین در آن از جمله عوامل مورد بررسی است بین مقادیر ادواری این ضریب با مشخصه تخریب اراضی همبستگی مثبت معنی دار با ضریب همبستگی $0/989$ در سطح اعتماد 99% ($P\text{-value}=0/005$) وجود دارد به طوری که روند تغییرات آن در بازه‌های زمانی مورد مطالعه افزایشی می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در مدل ارائه شده در این تحقیق از شیوه مدل‌های کمی- کیفی در چارچوب بررسی سیستم‌ها در مقیاس حوضه آبخیز به عنوان اکوسیستم مستقل در سطح منطقه ای استفاده شد به طوری که در این مدل افزون بر بررسی و مشخص نمودن شدت تخریب اراضی، نقشه مکانی شدت تخریب اراضی (از طریق پهنه‌بندی شدت تخریب اراضی) نیز تهیه گردید. نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر نشان دهنده این است که پیامدهای زیست محیطی ناشی از تخریب اراضی به عنوان یک پدیده پرمخاطره -بیشتر تحت تأثیر اقدامات انسان- به رغم عدم شناخت کاملاً روشن و شفاف در حدی است که اگر پاسخگوی رفع تمامی چالش‌های ناشی از آن نیست اما می‌تواند در لزوم و ضرورت کاهش مخاطرات مربوط به پدیده تخریب اراضی در حد کفایت و توجیه پذیر حتی از نظر اجتماعی و اقتصادی علاوه بر محیط زیستی باشد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که بیشترین تغییر کاربری اراضی مربوط به مراتع با شرایط خوب بوده که در بازه زمانی ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۷، به میزان 2.44% از مساحت آن کاسته شده است. کمپالنا و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه خود روند تخریب پوشش گیاهی بوته ای در بازه زمانی ۲۰ ساله در منطقه ای در شمال شرقی آرژانتین را 7.1% بیان کردند. گوکبولاک و همکاران (۲۰۱۸) نیز در مطالعه خود به تخریب 650 هزار هکتاری اراضی جنگلی و مرتعی کشور ترکیه در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵ اشاره کردند. این نتایج نشان می‌دهد که تخریب مراتع و پوشش گیاهی از مهم ترین مشخصه‌های تخریب اراضی در دنیا می‌باشد.

از دیگر نتایج تحقیق حاضر، کاهش $5/5$ درصدی مساحت زراعت دیم در حوضه آبخیز طالقان در بازه زمانی تحقیق بود. هر چند مساحت کاربری زراعت آبی و باغ $602/57$ هکتار ($0/75\%$) افزایش داشته است. کیانی هارچگانی و صادقی (۲۰۲۰) نیز بیان کردند که در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶، اراضی دیم در حوضه آبخیز شازند با مساحت 44170 هکتار در وضعیت زیان خالص قرار داشته اند. فعالیت های کشاورزی خود از عوامل موثر در تخریب اراضی

در حوضه های آبخیز می باشد که این عامل در تخریب اراضی حوضه آبخیز طالقان نیز موثر بوده است. در تحقیق حاضر، بر اساس محاسبه ضریب تخریب اراضی در حوضه آبخیز طالقان، در بازه زمانی ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۶، مقادیر شاخص از ۰/۵۶ به ۰/۴۶۴۶ کاهش پیدا کرده است که بیانگر تخریب ۱۷/۸۶ درصدی محدوده می باشد. بطور کلی نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر نشان دهنده این است که پیامدهای زیست محیطی ناشی از تخریب اراضی به عنوان یک پدیده پرمخاطره (بیشتر تحت تأثیر اقدامات انسان) به رغم عدم شناخت کاملاً روشن و شفاف در حدی است که اگر پاسخگوی رفع تمامی چالش های ناشی از آن نیست اما می تواند در لزوم و ضرورت کاهش مخاطرات مربوط به پدیده تخریب اراضیدر حد کفایت و توجیه پذیر حتی از نظر اجتماعی و اقتصادی علاوه بر محیط زیستی باشد. اجرای برنامه های مدیریتی در زمینه افزایش حفاظ زنده و بقای گیاهی در اراضی با مشارکت بهره برداران و تبدیل اراضی کم بازده و رها شده در نواحی جنوب غربی منطقه، از پیشنهادهای احیای اراضی در این حوضه آبخیز می باشد.

منابع:

- Azimi Sardari, M., Bazrafshan, O., Panaopolus, T., Rafiee Sardoe, E. (2020). Land use Change Modeling Using Artificial Neural Network and Markov Chain (Case Study: Minab Esteqlal Dam Watershed). *Journal of Natural Environment*, 73(1), 103-114. doi: 10.22059/jne.2020.278273.1680
- Bai, Z.G. Dent, D.L. Olsson, L. & Schaepman, M.E. (2008). "Proxy global assessment of land degradation", *Soil use and management*, 24(3), pp. 223-234. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2008.00169.x>
- Bagherzadeh, A & Daneshvar, M.R.M. (2011). "Sediment yield assessment by EPM and PSIAC models using GIS data in semi-arid region. *Front*", *Earth Sci*, 5, 207 <https://doi.org/10.1007/s11707-011-0168-z>
- Campanella, M. V., Rostagno, C. M., Videla, L. S., & Bisigato, A. J. (2018). Land degradation affects shrub growth responses to precipitation in a semiarid rangeland of north-eastern Patagonia (Argentina). *Austral Ecology*, 43(3), 280-287.
- Chalise, D. Kumar, L & Kristiansen, P. (2019). "Land degradation by soil erosion in Nepal: a review", *Soil Systems*, 3(1), p. 12.
- Diouf, A. & Lambin, E.F. (2001). "Monitoring land-cover changes in semi-arid regions: remote sensing data and field observations in the Ferlo, Senegal", *Journal of Arid Environments*, 48(2), pp. 129-148.
- Eswaran, H. Lal, R. & Reich, P.F. (2019). "Land degradation: an overview", *Response to land degradation*, 20-35.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2002-2007). *Gender and Development Plan of Action Rome: FAO 2003*
- Gísladóttir, G & Stocking, M.(2005). "Land Degradation Control and Its Global Environmental Benefits", *Journal of land Degradation and Development*, 16(2), pp. 99-112.
- Gökbülak, F., Erdoğan, B. U., Yildirim, H. T., & Özgelik, M. S. (2018). Causes of land degradation and rehabilitation efforts of rangelands in Turkey. *Forestist*, 68(2), 106-113.
- Haregeweyn, N. Berhe, A. Tsunekawa, A. Tsubo, M & Meshesha, D.T. (2012). "Integrated watershed management as an effective approach to curb land degradation: a case study of the Enabered watershed in northern Ethiopia", *Environmental management*, 50(6), pp. 1219-1233.
- Hosseinalizadeh, M. Alinejad, M. Behbahani, A.M. Khormali, F. Kariminejad, N & Pourghasemi, H.R. (2020). "A review on the gully erosion and land degradation in Iran", In *Gully Erosion Studies from India and Surrounding Regions*, pp. 393-403.
- Kapalanga, T.S. (2008). "A review of land degradation assessment methods", In *Land Restoration Training Programme*, Keldnaholt 112 Reykjavík, Iceland.
- Kiani-Harchegani, M & Sadeghi, S.H. (2020). "Practicing land degradation neutrality (LDN) approach in the Shazand Watershed, Iran", *Science of the Total Environment*, 698, pp. 134319.
- Kosmas, C. Tsara, M. Moustakas, N & Karavitis, C. (2003). "Identification of indicators for desertification", *Ann Arid Zone* 42, pp. 393-416 Le Bissonnais Y,
- Moghaddam, D.D. Rezaei, M. Pourghasemi, H.R. Pourtaghie, Z.S & Pradhan, B. (2015). "Groundwater spring potential mapping using bivariate statistical model and GIS in the Taleghan watershed, Iran", *Arabian Journal of Geosciences*, 8(2), pp. 913-929.
- Nendel, C. Hu, Y & Lakes, T. (2018). "Land-use change and land degradation on the Mongolian Plateau from 1975 to 2015—A case study from Xilingol, China", *Land Degradation & Development*, 29(6), pp. 1595-1606.
- Rezaei, M. Sameni, A & Fallah Shamsi, S.R. (2018). "Advanced machine learning methods for wind erosion monitoring in southern Iran", *E.E.R*, 8 (1), pp. 39-58
- Rozanov, B.G. (1990). "Global assessment of desertification: status and methodologies", In *Desertification revisited: Proceedings of an ad hoc consultative meeting on the assessment of desertification*. UNEP-DC/PAC, Nairobi, pp. 45-122.

- Rubio, J.L. & Recatala, L. (2006). "The relevance and consequences of Mediterranean desertification including security aspects. In: Kepner WG, Rubio JL, Mouat DA, Pedrazzini F (eds) Desertification in the Mediterranean Region: a security issue. Springer, Netherlands, pp 133–165
- Salvati, L. & Bajocco, S. (2011). "Land sensitivity to desertification across Italy: past, present, and future", *Appl Geogr*, 31, pp. 223–231
- Shakerian, N. Zehtabian, G. Zareh Chahooki, M. & Khosravi, H. (2017). "Determine the most important criteria and indicators that influence land degradation and desertification", *Journal of Range and Watershed Management*, 70(2), pp. 385-398. doi: 10.22059/jrwm.2017.233496.1125
- Shao, Y. Jiang, Q.O. Wang, C. Wang, M. Xiao, L. & Qi, Y. (2020). "Analysis of critical land degradation and development processes and their driving mechanism in the Heihe River Basin", *Science of The Total Environment*, 716, p. 137082.
- Shafizadeh, M., & Zare Chahouki, M. A. (2020). Modeling Ecosystem Production Services (Water Production) in Taleghan Middel Watershed. *Iranian journal of Ecohydrology*, 7(2), 411-419.
- Sims, N.C. England, J.R. Newnham, G.J. Alexander, S. Green, C. Minelli, S. & Held, A. (2019). "Developing good practice guidance for estimating land degradation in the context of the United Nations Sustainable Development Goals", *Environmental Science & Policy*, 92, pp. 349-355.
- Smiraglia, D.T. Ceccarelli, S. Bajocco, & Salvati, L. (2016) "Linking trajectories of land change, land degradation process and ecosystem services", *Environmental Research*, 147, pp. 590-600
- Son, N.T. Hieu, T.V. Shrestha, R.P. Trieu, N.T. Kien, N.V. Anh, V.T. Kakisina, T.J. Anggoro, S. & Hartoko, A. (2014). "Analysis of The Impact of Land Use on The Degradation of Coastal Areas at Ambon Bay-Mollucas Province Indonesia", *Procedia Environmental Sciences*, 23, pp. 266-273.
- Temesgen, H. Wu, W. Legesse, A. & Yirsaw, E. (2021). "Modeling and prediction of effects of land use change in an agroforestry dominated southeastern Rift-Valley escarpment of Ethiopia", *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 21, p. 100469. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100469>
- Turner, K.G. Sharolyn, A. Mauricio, G.C., Robert, C. Courville, Sh. Tommy Dalgaard, Estelle Dominati, Ida Kubiszewski, Sue Ogilvy, Luciana Porfirio, Nazmun Ratna, Harpinder Sandhu, Paul C. Suttion, Jens-Christian Svenning, Graham Mark Turner, Yann-David Varennes, Alexey Voinov and Stephen Wratten (2016). "A review of methods, data, and models to assess changes in the value of ecosystem services from land degradation and restoration", *Ecological Modelling*, 319, pp. 190-207.
- Wang, J. Wei, H. Cheng, K. Ochir, A. Davaasuren, D. Li, P. & Nasanbat, E. (2020). "Spatio-temporal pattern of land degradation from 1990 to 2015 in Mongolia", *Environmental Development*, p. 100497.
- Warren, A. (2002). Land degradation is contextual. *Land Degradation & Development*, 13(6), pp. 449-459.
- Yaghmaian Mahabadi, N. Asadi, H. & Rezaie, S. (2017). "Mapping and Assessment of Land Degradation Risk using MEDALUS Model in Siyahpoush Watershed, Ardabil Province", *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(1), pp. 173-187. doi: 10.22069/jwfst.2017.11351.2576
- Zarafshar, M. Matinzadeh, M. Roustaei, M.J. Bordbar, S.K. Kooch, Y. & Negahdarsaber, M. (2020). "The impact of forest degradation and land use change on some soil biological indices (case study: Persian oak (*Quercus brantii* Lindl) forests in Fars province)", *PEC*, 7 (15), pp. 319-332.