



Qualitative Assessment and Risk Zoning of Soil Erosion with a Risk Index Approach in Alvand Karstic Basin, Kermanshah Province

Somayeh Karimi¹, Masoumeh Rajabi^{1*}, Mohammad Hosein Rezaei Moghaddam¹

¹Department of Geomorphology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

ARTICLE INFO

Article Type: Research article

Article history:

Received 18 May 2019

Accepted 7 August 2019

Available online 21 October 2019

Keywords:

Soil Erosion, Zoning, Karst, Erosion Risk Index, Alvand Basin.

Citation: Karimi, S., Rajabi, M., Rezaei Moghaddam, M. H. (2019). Qualitative Assessment and Risk Zoning of Soil Erosion with a Risk Index Approach in Alvand Karstic Basin, Kermanshah Province. *Geography and Sustainability of Environment*, 9 (3), 1-18. doi: [10.22126/GES.2019.3886.1996](https://doi.org/10.22126/GES.2019.3886.1996)

ABSTRACT

Soil erosion is one of the main threats to water and soil resources in the world, as well as arid and semi-arid country of Iran. Soil erosion has a strong relationship with vegetation type and land use. Soil erosion especially in the karst areas led to the phenomenon of Rock desertification and to block the channels of karst. The present paper aims at studying the karstic basin of Alvand River in the west of Kermanshah province for three years 1990, 2005 and 2018 by applying Erosion risk index model and satellite images Thematic Mapper (TM) and Operational Land Imager. The findings reveal that the vegetation of Alvand basin has had a decreasing rate in which 30% of the area has decreased from 1990 to 2018. The number of land use classes and their area during this time period have had significant changes. In the selected years, there was no very low erosion zone in any final maps of erosion in the basin. The medium erosion zone has the largest area in all three final maps of the soil erosion. The high and the low erosion zones have been the second and the third wide erosion zones in all the three final maps of the soil erosion, respectively. The very high erosion zone has been consistent with the karst area of the basin. Slope, heavy rainfall, and low-thickness soil have been the most important reasons for high soil erosion in the karst areas of the basin.



ارزیابی کیفی و پهنه‌بندی فرسایش خاک با رویکرد شاخص خطر در حوضه کارستی الوند، استان کرمانشاه

سمیه کریمی^۱، معصومه رجبی^{۱*}، محمدحسین رضایی مقدم^۱

^۱گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

چکیده

فرسایش خاک از تهدیدکننده‌های اصلی منابع آب‌و خاک در جهان و از جمله کشور خشک و نیمه‌خشک ایران است که ارتباطی قوی به‌ویژه با نوع پوشش و کاربری زمین دارد. این مسئله به‌خصوص در مناطق کارستی منجر به رخداد پدیده بیابان‌زایی سنگی و گرفتگی مجاری کارستی می‌شود. در نوشتار پیش رو با استفاده از مدل شاخص ریسک فرسایش و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست تی.ام. و آل.آی. در بازه زمانی ۲۸ ساله، سطح حوضه کارستی رودخانه الوند در غرب استان کرمانشاه برای سه سال ۱۹۹۰، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۸ به‌منظور ارزیابی کیفی و پهنه‌بندی فرسایش خاک با تأکید بر نوع پوشش و کاربری زمین بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد در بازه زمانی ۲۸ ساله، میزان تراکم پوشش گیاهی در سطح حوضه الوند از روند نزولی برخوردار بوده و از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ مساحت آن بیش از ۳۰٪ کاهش یافته است. تعداد طبقات کاربری اراضی و میزان مساحت آن‌ها در این بازه زمانی تغییرات قابل توجهی داشته است. پهنه فرسایش بسیار کم در هیچ‌کدام از نقشه‌های نهایی فرسایش خاک در سال‌های انتخابی در حوضه وجود نداشته است. پهنه فرسایش متوسط در هر سه نقشه نهایی فرسایش خاک، بیشترین مساحت و پهنه‌های فرسایش زیاد و کم، به ترتیب دومین و سومین پهنه فرسایشی وسیع در هر سه نقشه نهایی فرسایش خاک بوده‌اند. پهنه فرسایش بسیار زیاد منطبق بر مناطق کارستی حوضه است. شیب و بارش زیاد و خاک کم‌ضخامت، مهم‌ترین دلایل فرسایش زیاد خاک در مناطق کارستی حوضه بوده است.

مشخصات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچه مقاله:

دریافت ۲۸ اردیبهشت ۱۳۹۸

پذیرش ۱۶ مرداد ۱۳۹۸

دسترسی آنلاین ۲۹ مهر ۱۳۹۸

کلیدواژه‌ها:

فرسایش خاک، پهنه‌بندی، کارستی، شاخص ریسک فرسایش، حوضه الوند.

استناد: کریمی، سیمیه؛ رجبی، معصومه؛ رضایی مقدم، محمدحسین (۱۳۹۸). ارزیابی کیفی و پهنه‌بندی فرسایش خاک با رویکرد شاخص خطر در حوضه کارستی الوند، استان کرمانشاه. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۹ (۳)، ۱-۱۸.

doi: [10.22126/GES.2019.3886.1996](https://doi.org/10.22126/GES.2019.3886.1996)

مقدمه

فرسایش خاک یکی از مخاطرات جدی و معضل‌های انسان متمدن امروزی به‌شمار می‌رود (مقصودی و همکاران، ۱۳۸۷؛ وارن، ۲۰۰۲؛ ورای لاینگ، ۲۰۰۶). این فرایند باعث تغییر در خاک و ازدست‌رفتن مواد مغذی و کاهش ظرفیت آبیگری آن می‌شود (اسواران^۱ و همکاران، ۲۰۰۱). فرسایش خاک ساختار و توزیع کاربری اراضی را محدود کرده (لی^۲، ۲۰۱۱) و این امر باعث ایجاد تنش میان بشر و منابع زمین می‌شود (کینگ و همکاران، ۱۹۹۳). در واقع قرارگرفتن خاک، در معرض تخریب، قابلیت تولیدی خاک را کاهش داده و تأثیرات زیان‌باری بر محیط‌زیست و جوامع انسانی دارد (یانگ^۳، ۱۹۹۵؛ یعقوب‌نژاد اصل و همکاران، ۱۳۹۴). فرسایش خاک پس‌خوراندی است که به کاربری اراضی، پوشش گیاهی، اقلیم، توپوگرافی و خصوصیات فیزیکی خاک بستگی دارد (ژو^۴ و همکاران، ۲۰۱۷). دو پارامتر کاربری اراضی و پوشش گیاهی به‌علت تأثیرپذیری بسیار از دخالت‌های انسانی و نوسانات اقلیمی در بین عوامل ذکرشده، دارای تغییرپذیری بسیار بالایی هستند (نوری و همکاران، ۱۳۹۷) و عوامل مهم و تأثیرگذاری بر ایجاد و شدت رواناب و فرسایش خاک نیز هستند (سردان^۵ و همکاران، ۲۰۰۲؛ نیک‌پور و همکاران، ۱۳۹۶، گارسیا-رویز، ۲۰۱۰؛ پاچکو و همکاران، ۲۰۱۴؛ ویجیت کاسوم، ۲۰۱۲). پوشش گیاهی می‌تواند برخی از خواص فیزیکی - شیمیایی خاک را با محافظت فیزیکی سطح خاک، ایجاد تاج‌پوشش و سیستم ریشه بهبود بخشیده (برونیک و لال^۶، ۲۰۰۵) و با افزایش و تجمع مواد آلی، پایداری خاک را افزایش دهد (سیکس^۷ و همکاران، ۱۹۹۸).

تغییرات در این دو پارامتر می‌تواند منجر به تشدید فرسایش خاک شود (جباری و طالب‌پور، ۱۳۸۵؛ برزو و همکاران، ۱۳۸۷؛ رستمی، ۱۳۸۷: ۵۴)؛ از طرفی پدیده مخرب فرسایش خاک پیامدهای زیان‌باری همچون بیابان‌زایی، کاهش حاصل‌خیزی خاک، کاهش پوشش گیاهی و تولیدات زراعی، افزایش سیلاب‌ها، افزایش بار رسوب و تأثیرگذاری بر تأسیسات و سازه‌های هیدرولیکی را به‌دنبال دارد و به‌ویژه در مناطق حساس کارستی منجر به بیابان‌زایی سنگی می‌شود که طی آن خاک، به‌طور کامل فرسایش یافته (کیوهاو و یانلونگ^۸، ۲۰۰۶) و منطقه را که از پیش تحت پوشش گیاهان و خاک بوده، به چشم‌اندازی سنگی تبدیل می‌کند (یوان^۹، ۱۹۹۷)؛ همچنین این امر باعث گرفتگی شبکه کارست با رسوبات خاک شده و در سیستم هیدرولوژی کارست اختلال ایجاد کرده و آن‌ها را متروک و در نهایت کل اکوسیستم مناطق کارستی را متضرر می‌کند.

در این زمینه مطالعات محدودی در دنیا صورت گرفته است که نتایج آن‌ها بیانگر تأثیر حذف پوشش جنگلی، بهره‌برداری‌های شدید، شدت بارش، شیب توپوگرافی، میزان نفوذ و اقدامات حفاظتی بر فرسایش خاک مناطق کارستی بوده است (درو^{۱۰}، ۱۹۸۳؛ کیوهاو و یانلونگ، ۲۰۰۶؛ خیر^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۸؛ یوکیونگ^{۱۲} و همکاران، ۲۰۰۹؛ ژو و همکاران، ۲۰۱۷؛ دای و همکاران، ۲۰۱۵؛ ژو^{۱۳} و همکاران، ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹).

1- Eswaran

2- Li

3- Yang

4- Zhou

5- Cerdan

6- Bronick & Lal

7- Six

8- Qiu-Hao & Yun-Long

9- Yuan

10- Drew

11- Kheir

12- Yue-qing

13- Xu

بخش وسیعی از سطح حوضه رودخانه الوند در غرب استان کرمانشاه دارای ژئومورفولوژی کارست توسعه‌یافته است. شرایط ژئومورفولوژیکی حاکم بر حوضه الوند و زندگی طبیعت‌محور (دامداری و کشاورزی) بیشتر مردم ساکن حوضه، سبب مساعد شدن شرایط برای تسریع فرسایش خاک در این حوضه می‌شود. این امر افزون بر تخریب خاک و ایجاد بیابان سنگی، سازه‌های هیدرولیکی (سدها) سطح حوضه را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد و خسارات جدی را به بار خواهد آورد؛ بنابراین پهنه‌بندی فرسایش خاک و درک رابطه بین عوامل ایجادکننده آن و اثرات ثانوی آن‌ها بر فرسایش خاک، اطلاعات ضروری برای برنامه‌ریزی استفاده از زمین و مدیریت پایدار منابع طبیعی را فراهم می‌کند و تا حد بسیار زیادی از خسارات وارده جلوگیری به عمل خواهد آورد. در پژوهش حاضر محدوده سازندهای کربناته حوضه به‌مثابه منطقه کارستی در نظر گرفته شده است و با توجه به نبود داده‌های کمی لازم، به ارزیابی کیفی فرسایش خاک پرداخته شده است. براساس مدل به‌کارگرفته‌شده، فاکتورهای بارش، تیپ خاک و شیب، سه عامل ثابت و دو فاکتور کاربری اراضی و پوشش گیاهی به‌طور متغیر در طی ۲۸ سال بررسی و تغییرات آن‌ها مطالعه شده است؛ زیرا این دو پارامتر در روند فرسایش خاک بسیار تأثیرگذار هستند؛ بنابراین هدف نوشتار پیش رو ارزیابی و پهنه‌بندی کیفی فرسایش خاک در حوضه الوند با در نظر گرفتن تغییرات پارامترهای تأثیرگذار پوشش گیاهی و کاربری اراضی در بازه زمانی ۲۸ ساله است.

معرفی منطقه مورد بررسی

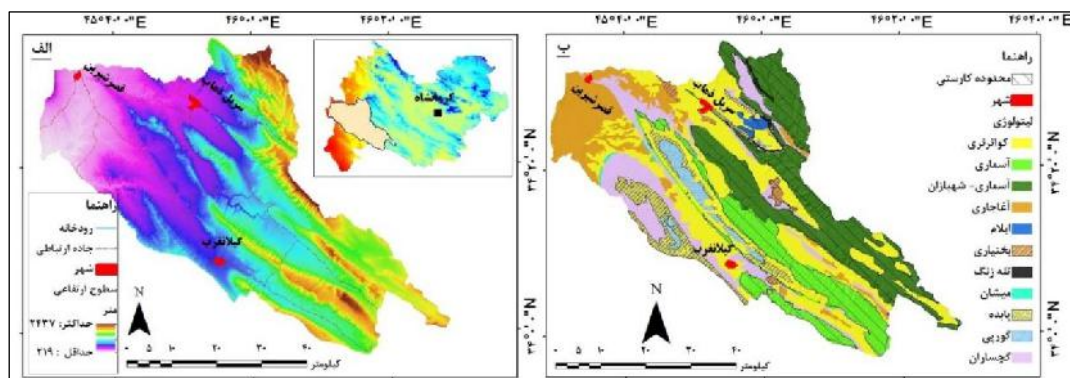
حوضه مورد مطالعه با مساحت ۲۸۱۰ کیلومتر مربع منطبق بر محدوده سیاسی شهرستان‌های گیلان‌غرب، سرپل ذهاب، قصرشیرین و دالاهو در غرب و جنوب غربی استان کرمانشاه بین عرض‌های جغرافیایی ۳۳° ۵۷' تا ۳۴° ۳۳' و طول‌های جغرافیایی ۳۲° ۴۵' تا ۲۸' ۴۶° قرار دارد. حداکثر ارتفاع حوضه الوند ۲۴۳۷ متر در ارتفاعات دالاهو و حداقل ارتفاع آن ۲۱۹ متر در خروجی حوضه است (شکل ۱ الف). از نظر ژئومورفولوژی این حوضه مشتمل بر تاقدیس‌ها و ناودیس‌های موازی با روند شمال غربی - جنوب شرقی بوده و تاقدیس‌های حوضه به‌طور عمده از سازندهای کربناته شکل گرفته‌اند. حوضه الوند در زون چین‌های برگشته زاگرس چین‌خورده واقع شده و به‌شدت تکتونیزه است. در سطح این حوضه سازندهای کربناته آسماری - شهبازان، آسماری، ایلام و تله‌زنگ، سازندهای شیلی - مارنی گورپی و پابده، سازندهای مارنی گچساران، آغاچاری، کنگلومرای بختیاری و نهشته‌های کواترنری رخنمون دارند. حدود ۳۸٪ از مساحت حوضه الوند از سازندهای کربناته تشکیل شده است (باقری سیدشکری و همکاران، ۱۳۹۴). با توجه به مهیابودن شرایط زمین‌شناسی و جغرافیایی برای کارست‌زایی، این حوضه ژئومورفولوژی کارست توسعه‌یافته دارد. جریان مجرای سینک‌هول، جاما، پولیه، غار، چشمه، کارن، دره کارستی، کانیون مهم‌ترین لندفرم‌های کارستی حوضه رودخانه الوند هستند (کریمی، ۱۳۸۲). در پژوهش حاضر محدوده سازندهای کربناته به‌منزله مناطق کارستی در نظر گرفته شده است (شکل ۱ ب).

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر از مدل شاخص ریسک فرسایش که هوانگ^۱ و همکاران (۲۰۱۶) ارائه کرده‌اند، برای پهنه‌بندی کیفی فرسایش خاک در حوضه کارستی الوند استفاده شده است. این مدل از عوامل شیب توپوگرافی، بارش سالانه، تیپ خاک، پوشش گیاهی و کاربری اراضی بهره می‌گیرد. شیب توپوگرافی با استفاده از مدل رقومی^۲ - ارتفاعی^۲ و با دقت ده متر منطقه استخراج شده است.

1- Huang

2- Digital Elevation Model (DEM)



شکل ۱. الف: نقشه موقعیت حوضه الوند؛ ب: نقشه سنگ‌شناسی و محدوده کارستی حوضه الوند

جدول ۱. اندکس زمانی تصاویر مورد استفاده برای تهیه شاخص پوشش گیاهی و نقشه کاربری اراضی در سال‌های انتخابی

ردیف	مسیر	تاریخ برداشت	سنجنده	ماهواره
۳۶	۱۶۸	۱۳۹۷/۲/۱۱	OLI	لندست ۸
۳۶	۱۶۸	۱۳۸۴/۲/۱۶	TM	لندست ۵
۳۶	۱۶۸	۱۳۶۹/۲/۱۹	TM	لندست ۴

عوامل پوشش گیاهی و کاربری اراضی برای سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۸ از تصاویر ماهواره‌ای لندست برداشت شده‌اند (جدول ۱). مبنای انتخاب تاریخ تصاویر مورد استفاده براساس دسترسی به اطلاعات بدون خطا و حداکثر میزان سبزی‌نگی است که منطبق بر اردیبهشت‌ماه است. عامل پوشش گیاهی براساس محاسبه شاخص نرمال‌شده پوشش گیاهی^۱ به‌مثابه شاخص مستقیمی برای استخراج پوشش گیاهی و براساس رابطه ۱ محاسبه شد.

$$\text{رابطه ۱} \quad \text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{IR}}{\text{NIR} + \text{IR}}$$

در این رابطه، NIR: باند مادون قرمز نزدیک و IR: باند قرمز است.

نقشه کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای و براساس روش طبقه‌بندی نظارت‌شده حداکثر احتمال و انتخاب نمونه‌های تعلیمی و میدانی استخراج شده است. هشتاد نمونه میدانی برای ارزیابی دقت نقشه استخراج‌شده، برداشت شده (شکل ۶ الف) و میزان صحت کلی و شاخص کاپا برای سال‌های انتخابی محاسبه شد. بارش سالانه منطقه براساس داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی محدوده حوضه در بازه زمانی ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۶ محاسبه شد. تیپ خاک حوضه نیز از نقشه خاک استان کرمانشاه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ استخراج شده است. نرم‌افزارهای جی.آی.اس. و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای ابزار اصلی پژوهش هستند. برای اجرای مدل، هریک از پارامترهای پنج‌گانه به پنج طبقه (جدول ۲) تقسیم شده و به هریک از این طبقات براساس نقش آن‌ها در فرسایش خاک امتیاز ۱ تا ۵ اختصاص داده شده است (هوانگ^۲ و همکاران، ۲۰۱۶).

جدول ۲. ارزش تعیین‌شده برای عوامل کنترل فرسایش خاک (هوانگ و همکاران، ۲۰۱۶)

امتیاز	تیپ خاک	کاربری اراضی	شیب (درجه)	پوشش گیاهی (درصد)	بارش سالانه (میلی‌متر)
۱	ورتی سول	جنگل	۸-۰	>۶۰	>۳۰۰
۲	انسپتی سول	زمین درختچه مرتع	۱۵-۸	۶۰-۴۵	۶۰۰-۳۰۰
۳	اریدی سول	کشاورزی	۲۵-۱۵	۴۵-۳۰	۹۰۰-۶۰۰
۴	رگوسول-انسپتی سول	زمین بایر	۳۵-۲۵	۳۰-۱۰	۱۲۰۰-۹۰۰
۵	رگوسول	رخمون‌های سنگی	۵۵-۳۵	<۱۰	>۱۲۰۰

1- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

2- Huang

در ادامه خطر فرسایش برای هر یک از عوامل در حوضه مورد مطالعه با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

$$W_j = \sum_{j=1}^n W_j * E_{ij} \quad \text{رابطه ۲}$$

در این رابطه، E_i : شاخص ریسک فرسایش یک مکان در منطقه مورد مطالعه؛ W_j : وزن عامل j ؛ E_{ij} : ارزش خطر فرسایش در عامل j و n : تعداد کل عوامل است. برای تعیین وزن هر عامل مؤثر در فرسایش خاک، از روش رتبه‌بندی (استیل‌وال^۱ و همکاران، ۱۹۸۱) استفاده شده و وزن عوامل براساس رابطه ۳ محاسبه شده است:

$$W_j = \frac{n-r_j+1}{\sum_{i=1}^n (n-r_j+1)} \quad \text{رابطه ۳}$$

W_j : وزن نرمال عامل j است؛ r_j : رتبه موقعیت (مکان) عامل (پارامتر) است. j : مجموع کل وزن نرمال شده و n : تعداد کل عوامل است. وزن نرمال شده از نسبت وزن هر پارامتر به مجموع تمام وزن‌ها محاسبه می‌شود. عوامل فرسایش براساس اهمیت نسبی خود در تأثیر بر وقوع فرسایش موضعی رتبه‌بندی می‌شوند. وزن محاسبه‌شده براساس روابط بالا برای پارامترهای پنج‌گانه (جدول ۳) نشان داده شده است (هوانگ و همکاران، ۲۰۱۶).
در نهایت براساس شاخص خطر کیفی فرسایش خاک (رابطه ۴) نقشه خطر فرسایش حوضه الوند در محیط نرم‌افزار جی.آی.اس. تهیه شده است. پس از محاسبه میزان فرسایش، نقشه نهایی فرسایش خاک، به پنج طبقه فرسایشی تقسیم می‌شود (جدول ۴).

$$\text{رابطه ۴: شاخص ریسک فرسایش} = (\text{بارش} * 0/33) + (\text{پوشش گیاهی} * 0/27) + (\text{شیب} * 0/2) + (\text{کاربری اراضی} * 0/13) + (\text{تیپ خاک} * 0/07)$$

در ادامه براساس رابطه بالا، نقشه پهنه‌بندی فرسایش خاک حوضه الوند برای سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۸ تهیه شد. دو پارامتر کاربری اراضی و پوشش گیاهی به‌منزله پارامترهای متغیر در سال‌های انتخابی، انتخاب و نقشه آن‌ها تهیه و با سه پارامتر ثابت دیگر در محیط نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی^۲ تلفیق شدند؛ زیرا دو پارامتر کاربری و پوشش گیاهی امکان تغییر در بازه زمانی کوتاه‌مدت ناشی از فعالیت‌های انسانی و نوسانات اقلیمی را دارند.

جدول ۳. محاسبه وزن هر یک از عوامل پنج‌گانه (هوانگ و همکاران، ۲۰۱۶)

پارامتر	رتبه (r_j)	وزن ($n-r_j+1$)	وزن نرمال	وزن (درصد)
بارش سالانه	۱	۵	۰/۳۳	۳۳
پوشش گیاهی	۲	۴	۰/۲۷	۲۷
شیب	۳	۳	۰/۲	۲۰
کاربری اراضی	۴	۲	۰/۱۳	۱۳
تیپ خاک	۵	۱	۰/۰۷	۷
جمع	-	۱۵	۱	۱۰۰

جدول ۴. طبقه بندی خطر فرسایش (هوانگ و همکاران، ۲۰۱۶)

طبقات فرسایش	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
میزان فرسایش نهایی	۱	۲-۱	۳-۲	۴-۳	۵-۴

1- Stillwell

2- Geographic Information System (GIS)

برای صحت‌سنجی نقشه‌ها ماتریس خطا و درصد مشابهت نقشه‌های نهایی فرسایش سال ۱۹۹۰ و ۲۰۰۵ در مقایسه با سال ۲۰۱۸ محاسبه شد؛ زیرا سال ۲۰۱۸ آخرین سال مطالعه بوده و امکان بررسی پارامترهای متغیر فراهم بوده است. برای تهیه ماتریس خطا در ردیف جدول، پهنه‌های فرسایشی نقشه سال ۲۰۱۸ و در ستون نیز پهنه‌های فرسایشی سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۵ به نوبت قرار می‌گیرند؛ سپس در محیط نرم‌افزار جی.آی.اس. تعداد پیکسل‌های مشترک هر پهنه در هر دو نقشه محاسبه می‌شود. در نهایت حاصل جمع قطر نقشه بر مجموع کل جدول تقسیم شده و درجه مشابهت نقشه محاسبه می‌شود. درجه مشابهت بیانگر تغییرات نقشه‌ها نسبت به یکدیگر است.

نتایج

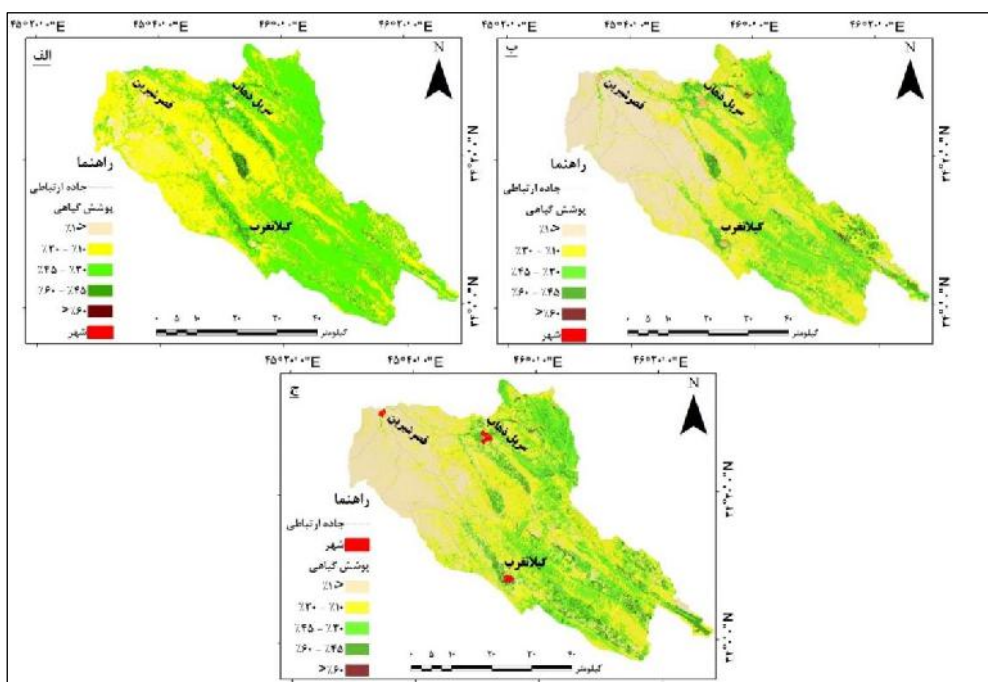
فرسایش خاک مخاطره جدی محیطی است و در مناطق کارستی به‌علت حساسیت محیط منجر به پدیده مخرب بیابان‌زایی سنگی می‌شود. حوضه رودخانه الوند در غرب استان کرمانشاه، حوضه کارستی است و بیشتر ساکنان آن زندگی طبیعت‌محور دارند و این امر در کنار رخداد خشکسالی می‌تواند سبب تشدید فرسایش خاک شود. هدف این پژوهش نیز مطالعه روند فرسایش خاک در بازه زمانی ۲۸ ساله و در نهایت پهنه‌بندی کیفی فرسایش خاک حوضه است و این امر مستلزم مطالعه و بررسی پارامترهای پنج‌گانه مورد استفاده در مدل شاخص ریسک فرسایش است. عامل پوشش گیاهی حوضه الوند براساس شاخص نرمال‌شده پوشش گیاهی در سه بازه زمانی ۲۰۱۸، ۲۰۰۵ و ۱۹۹۰ براساس تصاویر سنجده‌های ماهواره‌ای لندست محاسبه شده و سپس مقادیر این پارامتر در سال‌های انتخابی براساس جدول استاندارد (جدول ۵) بررسی شده و درصد پوشش گیاهی هر یک از سال‌ها در حوضه مورد مطالعه مشخص شد. مقادیر بالاتر شاخص نرمال‌شده پوشش گیاهی نشان‌دهنده تراکم پوشش گیاهی بیشتر است. میزان مساحت طبقات پوشش گیاهی در طی سال‌های انتخابی متأثر از شرایط بارش و دمای آن سال و ماه اردیبهشت و همچنین سایر شرایط محیطی، متفاوت است. پوشش گیاهی در سال ۲۰۱۸ بیشترین میزان و در سال ۲۰۰۵ کمترین میزان را دارد (شکل ۳ الف و ۳ ب). بیشتر مساحت حوضه در هر سه سال انتخابی در طبقه پوشش گیاهی ۱۰٪ تا ۳۰٪ قرار دارد. طبقات پوشش گیاهی کمتر از ۱۰٪ و ۳۰٪ تا ۴۵٪ به ترتیب در رده‌های بعد قرار دارند. طبقات پوشش گیاهی ۴۵٪ تا ۶۰٪ و بیش از ۶۰٪ نیز مساحت بسیار کمی از حوضه الوند را در طی سال انتخابی به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۶). رابطه‌ای قوی بین مقادیر شاخص نرمال‌شده پوشش گیاهی و پوشش گیاهی وجود دارد (استوا^۱ و همکاران، ۲۰۰۴).

جدول ۵. طبقه‌بندی پوشش گیاهی بر اساس شاخص نرمال‌شده پوشش گیاهی (هانگ و همکاران، ۲۰۱۶)

درصد پوشش گیاهی	<۱۰٪	۱۰٪-۳۰٪	۳۰٪-۴۵٪	۴۵٪-۶۰٪	>۶۰٪
NDVI	۰/۱۰۲۹	۰/۱۰۲۹-۰/۳۱۲۳	۰/۳۱۲۳-۰/۵۵۱۳	۰/۵۵۱۳-۰/۷۳۷۱	۰/۷۳۷۱

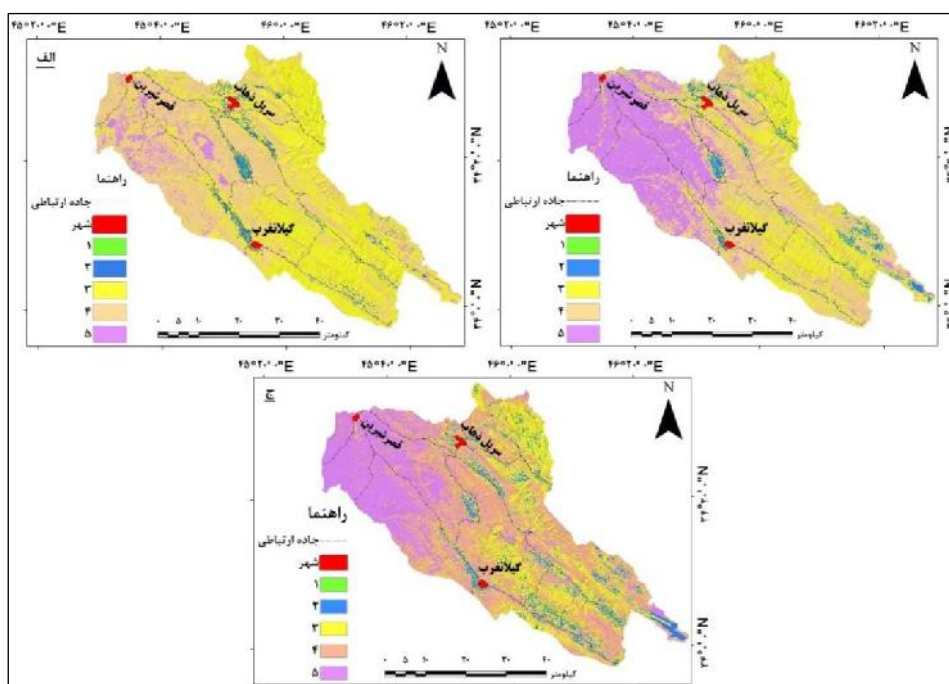
جدول ۶. مساحت پوشش گیاهی در سال‌های انتخابی در حوضه الوند

درصد پوشش گیاهی	۲۰۱۸		۲۰۰۵		۱۹۹۰	
	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد
<۱۰٪	۱۴۹/۳۳۸	۵/۳۱	۸۲۴/۳۸۱	۲۹/۳۳	۷۰۹/۲۹	۲۵/۲۳
۱۰٪-۳۰٪	۲۳۲۱/۹۹۲	۸۲/۶۲	۱۱۷۴/۷۸۱	۴۱/۸۰	۱۲۰۰/۵۱	۴۲/۷۱
۳۰٪-۴۵٪	۳۳۸/۹۴۷	۱۲/۰۶	۷۰۴/۳۳۶	۲۵/۰۶	۶۹۶/۶۹	۲۴/۷۹
۴۵٪-۶۰٪	۰/۰۹۶۹	۰/۰۰۰۳	۹۵/۴۳۴	۳/۳۹	۱۸۵/۳۵	۶/۵۹
>۶۰٪	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۰۰۶	۱۱/۴۷۶	۰/۴۰	۱۸/۵۰	۰/۶۵



شکل ۳. نقشه پوشش گیاهی حوضه الوند: الف: سال ۲۰۱۸؛ ب: ۲۰۰۵؛ ج: ۱۹۹۰

مناطق با پوشش گیاهی زیاد به‌علت ایجاد چتر حفاظتی بر سطح خاک و کاهش میزان فرسایش، کمترین امتیاز و مناطق با پوشش گیاهی کم به‌علت کم‌شدن پوشش حفاظتی و فرسایش بیشتر خاک دارای امتیاز بیشتر هستند (جدول ۲). براساس این، دشت‌های آبرفتی حوضه که به‌طور عمده دارای کاربری زمین‌های زراعی و باغات هستند و بیشترین میزان پوشش گیاهی دارند، کمترین امتیاز را دارند. نواحی کوهستانی حوضه که دارای کاربری جنگلی - مرتعی بوده، امتیاز متوسط دارند. مراتع کم‌تراکم که به‌طور عمده در مناطق کم‌ارتفاع غرب حوضه قرار دارند، به‌علت پوشش گیاهی تنک بیشترین امتیاز را دارند (شکل ۴ الف، ب و ج).



شکل ۴. نقشه امتیازدهی پارامتر پوشش گیاهی حوضه الوند: الف: سال ۲۰۱۸؛ ب: ۲۰۰۵؛ ج: ۱۹۹۰

بررسی نقشه‌های کاربری اراضی استخراج‌شده حوضه الوند در سال‌های انتخابی نشان می‌دهد که فعالیت‌های انسانی در سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ سبب ایجاد تغییرات در کاربری اراضی حوضه الوند شده است. مساحت کاربری‌های مرتع، کشاورزی و جنگل در سال‌های مورد مطالعه در حوضه الوند روند کاهشی داشته است (جدول ۷). مساحت کاربری رخنمون سنگی به‌علت شرایط خاص تغییرات چندانی نداشته و مساحت کاربری باغات نیز روند جزئی افزایشی داشته است. مساحت کاربری‌های مناطق مسکونی و دریاچه سد روند افزایشی داشته و در سال ۲۰۱۸ به بیشترین میزان رسیده‌اند (شکل ۵ الف). در سال ۲۰۰۵ مساحت دریاچه سد ناچیز بوده (شکل ۵ ب) و در سال ۱۹۹۰ این کاربری در حوضه وجود نداشته است (۵ ج).

بیشترین نمونه‌های تعلیمی استخراج‌شده در کاربری‌های کشاورزی، مرتع و جنگل است (جدول ۸). ۶۵ نمونه تعلیمی در کاربری‌های ذکرشده استخراج شده، زیرا این کاربری‌ها در حدود ۹۷٪ مساحت حوضه الوند را دربر گرفته‌اند. نقاط تعلیمی با استفاده از نقشه کاربری اراضی ۱:۲۵۰۰۰۰ استان کرمانشاه و همچنین به‌صورت میدانی و با استفاده از جی.پی.اس. برداشت شده‌اند. براساس نقاط تعلیمی دقت نقشه‌های کاربری اراضی استخراج‌شده در سال‌های انتخابی محاسبه شد. میزان صحت کلی و شاخص کاپا در سال‌های انتخابی نشان‌دهنده دقت قابل قبول نقشه‌های استخراجی بوده و میزان این شاخص‌ها به‌ترتیب در سال ۲۰۱۸، ۲۰۰۵ و ۱۹۹۰ بیشترین میزان را دارند (جدول ۹). درواقع میزان این شاخص‌ها از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ افزایش داشته است.

جدول ۷. مساحت طبقات کاربری اراضی حوضه الوند در سال‌های انتخابی (مساحت به کیلومتر مربع)

سال	مرتع	کشاورزی	جنگل	باغ	مناطق مسکونی	رخنمون سنگی	دریاچه سد
۱۹۹۰	۱۴۱۴/۶۵	۵۵۷/۷۷	۷۸۲/۱۱	۲۳/۲۵	۲۳	۵/۵۵	۰
۲۰۰۵	۱۴۰۵/۵	۵۷۴/۶۹	۷۶۷/۷۹	۲۵/۹۷	۲۶/۴۶	۵/۵۷	۰/۳۵
۲۰۱۸	۱۴۰۰/۵۲	۵۷۰/۵۵	۷۶۵/۲۴	۲۵/۵۸	۳۰/۸۹	۵/۵۸	۷/۹۷

جدول ۸. تعداد نمونه‌های تعلیمی استخراج‌شده برای هر کلاس کاربری اراضی

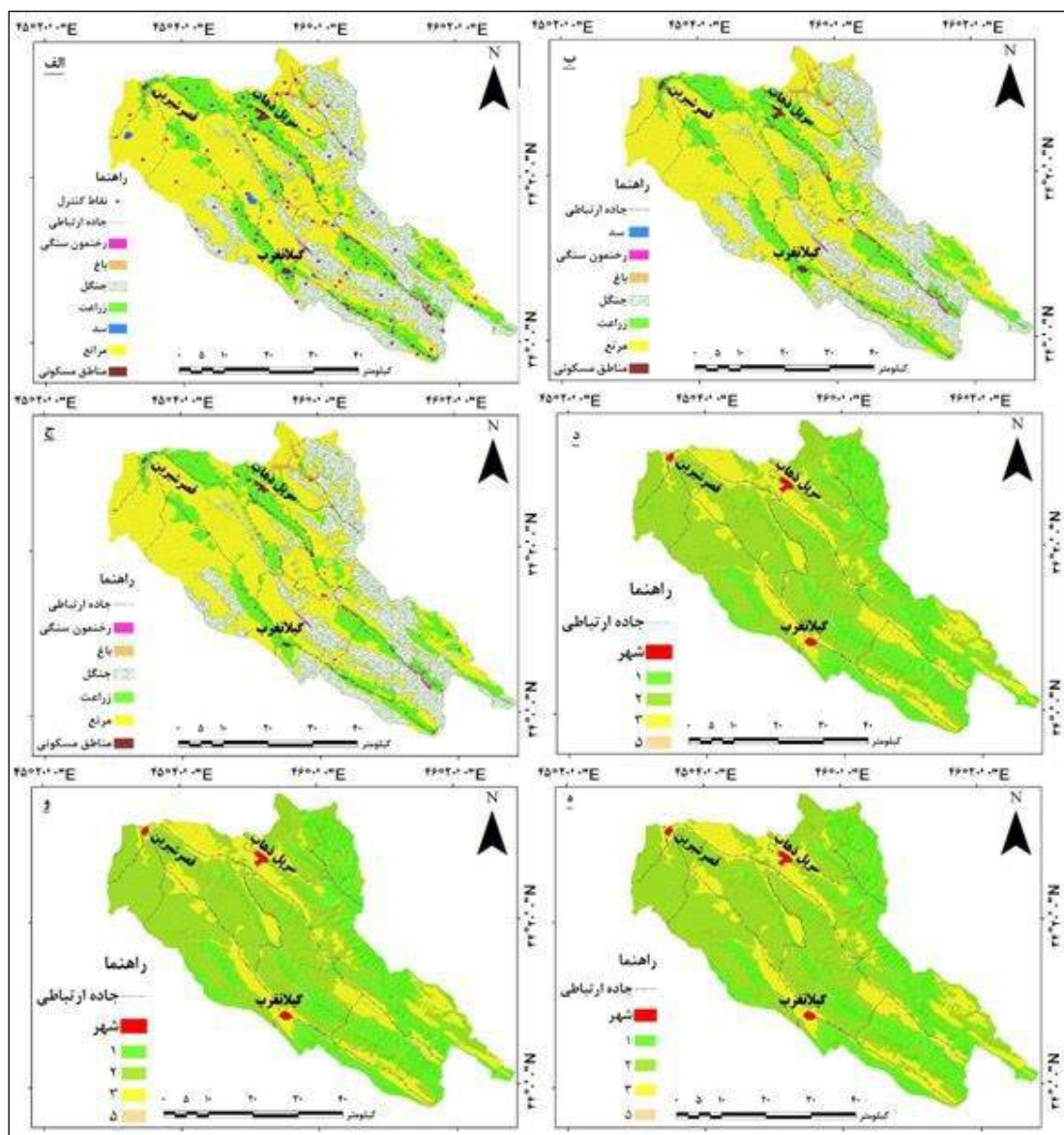
کلاس کاربری	مرتع	کشاورزی	جنگل	باغ	مناطق مسکونی	رخنمون سنگی	دریاچه سد
تعداد نمونه	۲۱	۲۵	۱۹	۶	۵	۱	۳

جدول ۹. نتایج برآورد شاخص صحت کلی و ضریب کاپا برای ارزیابی عملکرد طبقه‌بندی طی سال‌های انتخابی

سال	کلاس نقشه	خطای لحاظ‌شدن	خطای حذف	دقت تولیدکننده	دقت کاربر	صحت کلی	کاپا
۱۹۹۰	مرتع	۱۴/۱	۴/۴۵	۹۵/۵۵	۸۵/۹	۰/۷۱	۰/۷۳
	کشاورزی	۱۸/۶	۱۲/۳۱	۸۷/۶۹	۸۱/۴		
	جنگل	۱۴	۹/۱۱	۹۰/۸۹	۸۶		
	باغات	۱۸/۲	۸/۲۴	۹۱/۷۶	۸۱/۸		
	مناطق مسکونی	۹	۱۷/۱۵	۸۲/۸۵	۹۱		
	رخنمون سنگی	۷/۳	۱۱/۵۸	۸۸/۴۲	۹۲/۷		
	دریاچه سد	۶	۱/۲۸	۹۸/۷۲	۹۴		
۲۰۰۵	مرتع	۹/۸	۳/۲۱	۹۶/۷۹	۹۰/۲	۰/۷۸	۰/۸۳
	کشاورزی	۳/۶	۹/۴	۹۰/۶	۹۶/۴		
	جنگل	۱۱	۶/۵۴	۹۳/۴۶	۸۹		
	باغات	۶	۷/۹	۹۲/۱	۹۴		
	مناطق مسکونی	۱۴	۱۱/۸	۸۸/۲	۸۶		
	رخنمون سنگی	۷	۶/۹	۹۳/۱	۹۳		
	دریاچه سد	۲	۲/۲	۹۷/۸	۹۸		
۲۰۱۸	مرتع	۵/۳	۲/۳	۹۷/۷	۹۴/۷	۰/۸۸	۰/۹۱
	کشاورزی	۶/۸	۴/۲	۹۵/۸	۹۳/۲		
	جنگل	۷/۴	۳/۶	۹۶/۴	۹۲/۶		
	باغات	۹/۳	۵/۸	۹۴/۲	۹۰/۷		
	مناطق مسکونی	۵	۲/۴	۹۷/۶	۹۵		
	رخنمون سنگی	۶/۷	۱/۳	۹۸/۷	۹۳/۳		
	دریاچه سد	۰/۸	۰/۲	۹۹/۸	۹۹/۲		

پس از استخراج نقشه‌های کاربری اراضی و دقت‌سنجی آن‌ها در سال‌های انتخابی، به هر کلاس براساس نقش آن‌ها در فرسایش خاک امتیاز ۱ تا ۵ اختصاص داده شد. براساس این، جنگل‌ها و مناطق مسکونی کمترین امتیاز و زمین‌های با رخنمون سنگی بیشترین امتیاز را به خود اختصاص داده‌اند؛ زیرا این کاربری به‌علت نبود حفاظت مستقیم با عوامل فرسایشی در ارتباط بوده و میزان فرسایش خاک در آن‌ها زیاد است. نقشه امتیازدهی پارامتر کاربری اراضی در سال‌های ۲۰۱۸، ۲۰۰۵ و ۱۹۹۰ نشان می‌دهد که مناطق جنگلی، نواحی مسکونی و دریاچه سدها کمترین امتیاز و مناطق رخنمون سنگی بیشترین امتیاز را دارند (شکل ۵، ۵ و ۵ه).

عامل شیب تأثیر شرایط توپوگرافی و ژئومورفولوژیکی را در فرسایش خاک نشان می‌دهد. حوضه الوند از نظر ژئومورفولوژی دارای واحدهای دشت، تپه‌ماهور و کوهستان بوده و این امر سبب تنوع میزان شیب در نواحی مختلف حوضه شده و شیب حوضه بین ۰ تا ۸۲ درجه در نوسان است (شکل ۶ الف). پارامتر شیب رابطه مستقیمی با فرایند فرسایش خاک دارد.



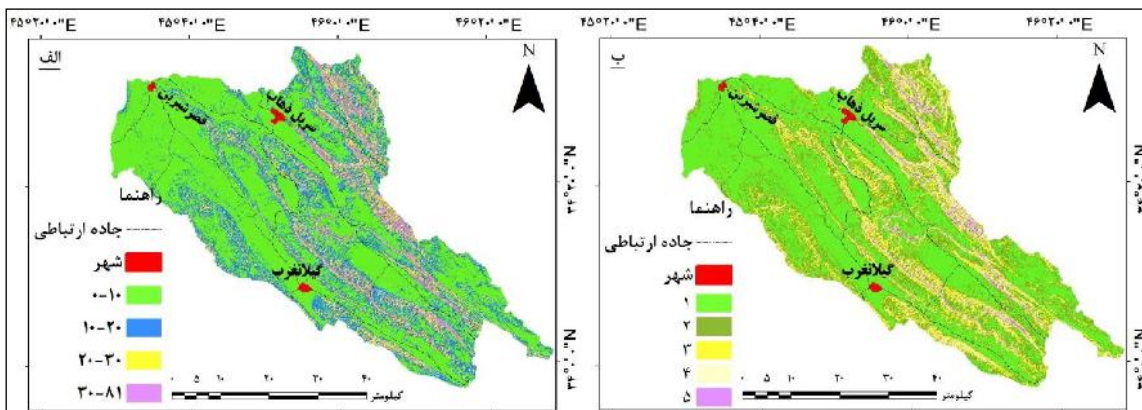
شکل ۵. الف: نقشه کاربری سال ۲۰۱۸؛ ب: نقشه کاربری سال ۲۰۰۵؛ ج: نقشه کاربری سال ۱۹۹۰؛ د: نقشه امتیازدهی پارامتر کاربری اراضی سال ۲۰۱۸؛ و: نقشه امتیازدهی پارامتر کاربری اراضی سال ۲۰۰۵؛ ه: نقشه امتیازدهی پارامتر کاربری اراضی سال ۱۹۹۰

با افزایش میزان شیب، میزان نفوذ آب کاهش یافته و سرعت رواناب افزایش می‌یابد در نتیجه قدرت فرساینده‌گی آب بیشتر بوده و فرسایش خاک بیشتر رخ می‌دهد. براساس این، مناطق کوهستانی و پرشیب بیشترین امتیاز، مناطق تپه‌ماهوری دارای امتیاز متوسط و دشت‌های هموار حوضه، کمترین امتیاز را دارند (شکل ۶ ب).

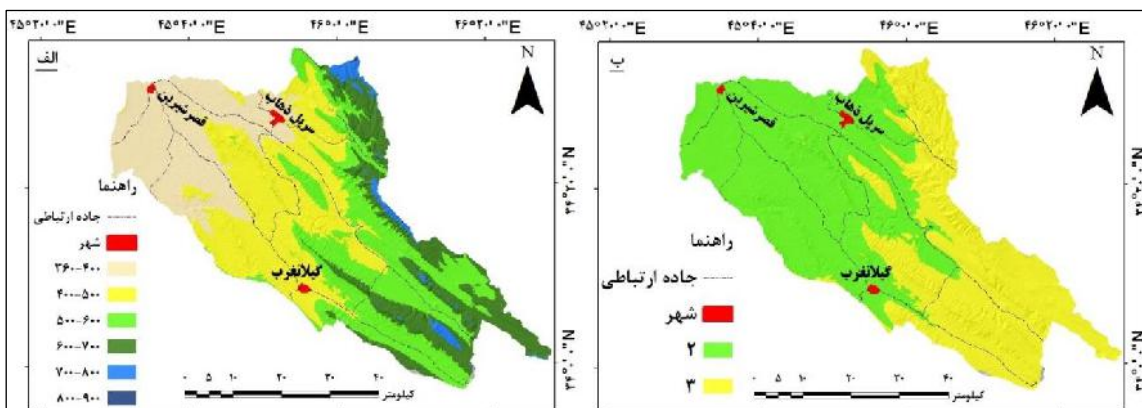
عامل بارش تامین کننده جریان آب به عنوان عامل فرساینده خاک است. حوضه الوند در جهت بادگیر زاگرس شمال غربی واقع شده و دارای اقلیم مدیترانه‌ای است. بارش سالانه در مناطق مختلف حوضه تابع پارامتر ارتفاع بوده و نواحی کوهستانی شمال و شرق حوضه دارای بارش بیشتری نسبت به نواحی کم ارتفاع غرب حوضه می‌باشند. برای محاسبه پارامتر بارش معادله گرادیان بارش حوضه (رابطه ۵) بر اساس داده‌های ایستگاه‌های اقلیمی داخل حوضه و مجاور آن محاسبه شد و سپس بر اساس آن نقشه بارش سالانه حوضه تهیه گردید (شکل ۷ الف). حوضه الوند دارای بارش میانگین سالانه بین ۳۶۰ تا ۹۰۰ میلیمتر در سال است.

$$y = 0.224 x + 271.2 \quad R^2 = 0.80 \quad \text{رابطه ۵}$$

میزان بارش با فرسایش خاک رابطه مستقیمی دارد و با افزایش آن میزان فرسایش نیز زیاد می‌شود. عامل بارش در حوضه الوند به دو طبقه ۳۰۰ تا ۶۰۰ و ۶۰۰ تا ۹۰۰ میلی متری تقسیم شده و به ترتیب امتیاز ۲ و ۳ به آن‌ها اختصاص داده شده است. در واقع با افزایش بارش، وزن و تأثیرگذاری آن در فرسایش خاک افزایش یافته و نواحی کوهستانی شرق حوضه به علت بارش بیشتر امتیاز ۳ و نواحی کم ارتفاع و کم بارش غرب حوضه امتیاز ۲ دارند (شکل ۷ ب).



شکل ۶. الف: نقشه شیب؛ ب: نقشه امتیازدهی پارامتر شیب در حوضه الوند



شکل ۷. الف: نقشه بارش؛ ب: نقشه امتیازدهی پارامتر بارش در حوضه الوند

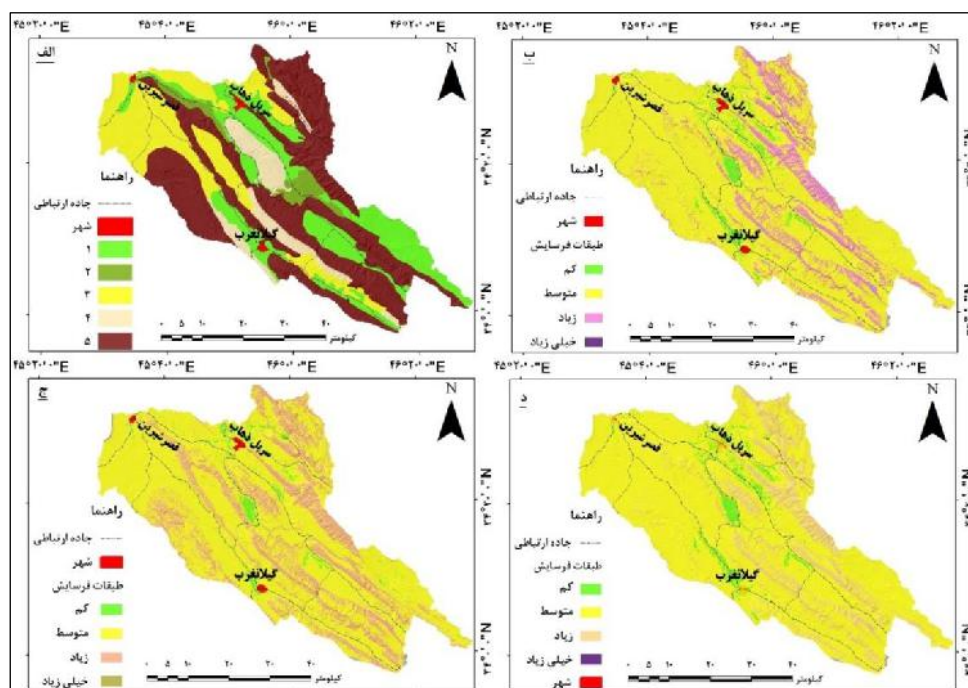
تیپ خاک با تحت تأثیر قراردادن رژیم حرارتی و رطوبتی، ساختمان، مواد آلی، عمق و ضخامت خاک نقش زیادی در فرایند فرسایش خاک دارد. خاک‌های ورتی‌سول سطح دشت‌های گیلان‌غرب، چله، کفرآور، دیره، قلعه‌شاهین، پاتاق و سرپل‌ذهاب به‌علت تکامل‌یافتگی، دارای فرسایش‌پذیری کم بوده و امتیاز ۱ دارند. خاک‌های انسپتی‌سول که دارای تکامل‌یافتگی کمتری بوده و به‌طور عمده در نواحی کوهپایه‌ای و تپه‌ماهوری قرار دارند، امتیاز ۲ را به خود اختصاص داده‌اند. خاک اریدی‌سول در نواحی گرمسیری و کم‌ارتفاع حوضه در مرز ایران - عراق که داراری رژیم حرارتی بالا و رژیم رطوبتی خشک و مواد آلی کم و تجمع کانی‌ها است، امتیاز ۳ را به خود اختصاص داده است. خاک‌های انتی‌سول، به‌منزله خاک‌های کم‌ضخامت عصر حاضر نیز، امتیاز ۳ را دارد و به‌طور عمده در مناطق فرسایش‌یافته و تپه‌ماهوری غرب و شمال حوضه رخنمون دارند. خاک‌های نواحی کوهستانی و ارتفاعات منطقه به‌طور عمده از نوع رگوسول - انسپتی‌سول هستند. در نواحی پرشیب منطقه خاک، رگوسول و به‌طور عمده منفصل است و در سایر نواحی انسپتی‌سول با آبشویی زیاد و ذرات درشت‌دانه است. این نوع خاک‌ها با توجه به فرسایش‌پذیری زیاد امتیاز ۵ را به خود اختصاص داده‌اند؛ بنابراین خاک‌های تکامل‌یافته نواحی هموار، کمترین امتیاز و خاک‌های عهد حاضر نواحی کوهستانی بیشترین امتیاز را از جنبه فرسایش‌پذیری به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۸ الف).

نقشه پهنه‌بندی کیفی فرسایش خاک حوضه الوند براساس عوامل پنج‌گانه وزن‌دهی‌شده و براساس شاخص ریسک فرسایش (رابطه ۴) تلفیق شد و نقشه فرسایش خاک حوضه الوند در سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۸ تهیه شد. هر سه نقشه پهنه‌بندی فرسایش خاک، دارای چهار طبقه با خطر کم، متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد بوده و طبقه فرسایش بسیار کم در هیچ‌یک از نقشه‌ها وجود ندارد. پهنه فرسایش متوسط در هر سه نقشه نهایی فرسایش خاک بیشترین مساحت را دارد (جدول ۱۰). پهنه‌های فرسایش زیاد و کم به‌ترتیب دومین و سومین پهنه فرسایشی وسیع در هر سه نقشه نهایی فرسایش خاک بوده و پهنه فرسایش بسیار شدید در سال‌های انتخابی، مساحت کمتر از یک کیلومترمربع از حوضه الوند را به خود اختصاص داده است. پهنه فرسایش کم در هر سه نقشه‌های فرسایش نهایی منطبق بر زمین‌های کشاورزی و باغات سطح دشت‌های گیلان‌غرب، دیره، قلعه‌شاهین - سرپل‌ذهاب، کفرآور و پاتاق است (شکل ۸ ب، ج و د).

پهنه فرسایش متوسط منطبق بر بیشتر نواحی حوضه اعم از مناطق دشتی، تپه‌ماهوری و کوهستانی است. پهنه فرسایشی زیاد منطبق بر دامنه‌های پرشیب کوهستان‌های شمال و شرق حوضه است. پهنه فرسایشی کم تحت تأثیر پارامتر شیب، بافت خاک، بارش کم، پوشش گیاهی بیش از ۴۵٪ و کاربری کشاورزی و باغات است. پهنه فرسایشی متوسط نیز بیشتر تحت تأثیر دو پارامتر کاربری زمین و پوشش گیاهی است؛ زیرا از نظر بافت خاک، میزان بارش و شیب توپوگرافی این محدوده بسیار نامتناسب است. پهنه فرسایش زیاد نیز تحت تأثیر پارامترهای شیب توپوگرافی، بافت خاک و بارش است. مناطق فرسایشی زیاد به‌طور عمده منطبق بر نواحی کارستی حوضه الوند هستند، این امر نشان می‌دهد در نواحی کارستی حوضه به‌علت شیب زیاد، کم‌عمق‌بودن خاک و بارش زیاد میزان فرسایش خاک شدیدتر از سایر نواحی حوضه است.

جدول ۱۰. مساحت و درصد پهنه‌های فرسایشی براساس مدل شاخص ریسک فرسایش در سال‌های انتخابی

طبقات فرسایش	۲۰۱۸		۲۰۰۵		۱۹۹۰	
	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد
کم	۱۱۰/۲۰	۳/۸۷	۶۳/۲۶	۲/۲۶	۱۰۳/۲۵	۳/۶۸
متوسط	۲۲۸۴/۰۲	۸۱/۸۱	۲۱۱۰/۲۹	۷۵/۴۱	۲۲۸۹/۹۸	۸۱/۷۸
زیاد	۴۰۶/۲۰	۱۴/۲۳	۶۲۵/۰۴	۲۲/۳۳	۴۰۷/۴۶	۱۴/۵۴
شدید	۰/۰۸۲	۰/۰۸۲	۰/۰۴۲	۰/۰۰۱	۰/۰۱۲	۰/۰۰۰۴



شکل ۸. الف: نقشه امتیازدهی پارامتر بافت خاک؛ ب: نقشه پهنه‌بندی نهایی فرسایش خاک در سال ۲۰۱۸؛ ج: نقشه پهنه‌بندی نهایی فرسایش خاک در سال ۲۰۰۵؛ د: نقشه پهنه‌بندی نهایی فرسایش خاک در سال ۱۹۹۰

برای ارزیابی نقشه‌های نهایی فرسایش خاک حوضه الوند در سه سال انتخابی، ماتریس خطا و درجه مشابهت آن‌ها محاسبه شد (جدول ۱۱ و ۱۲). نقشه‌های پهنه‌بندی فرسایش خاک سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۸ دارای درجه مشابهت ۶۰/۷۷٪ است که منعکس‌کننده اثر تغییرات پوشش گیاهی و کاربری اراضی در فرسایش خاک حوضه در دو سال مورد بررسی است؛ زیرا سه عامل دیگر در هر سه سال انتخابی ثابت در نظر گرفته شده‌اند. درجه مشابهت نقشه‌های فرسایش نهایی خاک حوضه در سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۱۸، ۵۹/۱۲٪ است که بیانگر تأثیر تغییرات پوشش گیاهی در سال خشک ۲۰۰۵ بر نقشه نهایی فرسایش خاک حوضه است. نتایج ماتریس خطا تأییدکننده تغییرات مساحت طبقات کلاس‌های فرسایشی بر اثر تغییرات دو عامل متغیر پوشش گیاهی و کاربری اراضی بوده و نتایج پژوهش را تأیید می‌کند.

جدول ۱۱. ماتریس خطای نقشه پهنه بندی فرسایش خاک در سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸

طبقات فرسایش	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	جمع کل
کم	۴۹۴۲۰	۵۷۴۷۱	۲۲	۰	۱۰۶۹۱۳
متوسط	۶۷۲۲۱	۲۲۳۶۳۶	۶۵۵۲۶	۰	۳۵۶۲۸۳
زیاد	۷	۲۳۸۰۹۴	۳۹۰۶۶۳	۴	۶۲۸۷۶۸
خیلی زیاد	۰	۰	۴۹	۱۳	۶۲
جمع کل	۱۱۶۶۴۸	۵۱۹۲۰۱	۴۵۶۲۶۰	۱۷	۱۰۹۲۱۲۶

جدول ۱۲. ماتریس خطای نقشه پهنه‌بندی فرسایش خاک در سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۱۸

طبقات فرسایش	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	جمع کل
کم	۱۱	۳۱۰۹۶	۲۹	۰	۷۲۳۷۸
متوسط	۷۵۶۳۱	۲۲۰۸۶۳	۵۴۹۶۷	۰	۳۵۱۴۶۱
زیاد	۲	۲۹۴۵۵۴	۴۰۱۳۳۰	۴	۶۹۵۸۹۰
خیلی زیاد	۰	۰	۴۴	۱۳	۵۷
جمع کل	۱۱۶۹۱۳	۵۴۶۴۸۶	۴۵۶۳۷۰	۱۷	۱۱۱۹۷۸۶

بحث

به این علت که تاکنون هیچ‌گونه پژوهشی در زمینه فرسایش خاک در حوضه الوند صورت نگرفته و اطلاعات صحیح و قابل قبولی از میزان کمی فرسایش در این حوضه وجود ندارد؛ بنابراین پیش از تهیه نقشه کمی فرسایش، برآورد حساسیت یا پتانسیل مناطق مختلف حوضه مورد نظر از لحاظ شدت فرسایش خاک و به عبارتی پهنه‌بندی پتانسیل فرسایش خاک در این حوضه لازم است (درزوسکی و همکاران، ۲۰۱۳)؛ از طرفی روش‌های تجربی و مشاهدات میدانی نیز زمان‌بر و پرهزینه بوده (رینارد و همکاران، ۱۹۹۷؛ ون‌رومی، ۲۰۰۲) و در مناطق با وسعت زیاد کاربرد چندانی ندارند؛ بنابراین روش‌های پهنه‌بندی کیفی براساس عوامل اصلی تأثیرگذار در فرسایش خاک برای مطالعه و ارزیابی فرسایش دارای هزینه بسیار کمتر و نتایج قابل قبولی هستند (نادری و همکاران، ۱۳۸۹)؛ بدین‌منظور در پژوهش حاضر به‌منظور پهنه‌بندی فرسایش خاک حوضه کارستی الوند، از روش کیفی شاخص ریسک فرسایش استفاده شده است. پنج پارامتر نوع خاک، شیب توپوگرافی، بارش، پوشش گیاهی و کاربری اراضی برای بررسی فرسایش خاک در قالب مدل شاخص ریسک فرسایش به کار گرفته شده‌اند که کمابیش مانند مدل معادله فرسایش جهانی خاک است.

مدل، از تحلیل تاریخی استفاده می‌کند. بر دو پارامتر متغیر کاربری اراضی و پوشش گیاهی تأکید کرده و آن‌ها را در سه سال ۱۹۹۰، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۸ بررسی کرده و سه نقشه فرسایش خاک برای این سه سال تهیه شده است که به‌روشنی تغییرات این پارامترها و نقش آن‌ها در فرسایش خاک را طی سال‌های انتخابی و بازه زمانی ۲۸ ساله و طولانی‌مدت نشان می‌دهد. عامل پوشش گیاهی حوضه الوند براساس شاخص نرمال‌شده پوشش گیاهی در سه بازه زمانی ۱۹۹۰، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۸ براساس تصاویر سنجنده‌های ماهواره‌ای لندست محاسبه شده و سپس مقادیر این پارامتر در سال‌های انتخابی مطابق با جدول استاندارد (جدول ۵) بررسی شده و درصد پوشش گیاهی و مساحت و روند کاهشی یا افزایشی آن در هریک از سال‌ها در حوضه مورد مطالعه مشخص شده است که نشان‌دهنده کاهش تدریجی مساحت مناطق با پوشش گیاهی بیش از ۳۰٪ از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ است. کاربری اراضی دیگر، پارامتر متغیر در مدل است که در سه سال انتخابی براساس تصاویر ماهواره‌ای استخراج شده است. براساس روش به‌کار گرفته‌شده، تعداد طبقات کاربری اراضی، میزان و تغییر مساحت و نوع هریک از آن‌ها در حوضه الوند در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ به‌خوبی قابل مطالعه است (جدول ۷ و ۹). نتایج نشان می‌دهد کلاس‌های کاربری اراضی و میزان مساحت آن‌ها در حوضه الوند در بازه زمانی مورد مطالعه از تغییرات زیادی برخوردار نبوده است. در سال ۱۹۹۰ کاربری دریاچه وجود نداشته، اما در سال‌های بعد این کاربری با آبیگری سدهای حوضه ایجاد شده است.

کاربری‌های مسکونی و دریاچه‌ای سد در طی این سال‌ها افزایش داشته و کاربری‌های کشاورزی، مرتع و جنگل از نظر مساحتی روند نزولی داشته‌اند. بررسی تغییرات مساحت پهنه‌های فرسایشی سال‌های انتخابی نشان می‌دهد که سال ۲۰۰۵ به‌علت تغییرات در درصد پوشش گیاهی، تغییرات قابل توجهی دارد؛ اما مقایسه سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۸ بیانگر تغییرات ناچیز در مساحت پهنه‌های فرسایشی است. این امر به‌دلیل آن است که در طی سی سال گذشته تغییرات کاربری حوضه محدود بوده و بخش‌هایی که به تصرف کاربری مسکونی و دریاچه‌ای سد درآمده‌اند، نقشی در تشدید فرسایش نداشته‌اند. کاهش مساحت کاربری‌های مرتع و جنگل نیز به‌نفع کاربری‌های انسان‌ساز و کشاورزی بوده که این کاربری‌ها نیز آن‌چنان تأثیرگذار نبوده‌اند. شیب، تیپ خاک و بارش به‌منزله سه پارامتری که در بازه زمانی طولانی‌مدت کمتر دست‌خوش تغییرات اقلیمی و انسانی می‌شوند، ثابت بوده و در نهایت به‌منظور ترسیم نقشه‌های نهایی فرسایش، با دو پارامتر دیگر تلفیق می‌شوند. با توجه به مبانی نظری فرسایش خاک و شرایط طبیعی حوضه الوند، به‌نظر می‌رسد که مدل شاخص ریسک فرسایش، مدل مناسبی برای پهنه‌بندی

فرسایش خاک حوضه الوند است، زیرا نه تنها با واقعیت‌های محیطی منطقه مطابقت دارد، بلکه پارامترهای مؤثر در فرسایش خاک را نیز در خود گنجانده است.

پارامتر شیب، نماینده شرایط توپوگرافی حوضه بوده و تیپ خاک ویژگی‌های آن را نشان می‌دهد. عامل بارش سالانه، فرایند فرساینده خاک را ایجاد می‌کند و کاربری اراضی و پوشش گیاهی شرایط حفاظتی خاک را در مدل دخالت می‌دهند؛ بنابراین تمامی عوامل اصلی مؤثر در تشدید فرسایش خاک در مدل لحاظ شده است. براساس مطالب پیش گفته، هدف مطالعه، شرایط کارستی حوضه الوند، معیشت طبیعت‌محور ساکنان حوضه و وسعت زیاد آن و همچنین نبود داده‌های کمی لازم، مدل شاخص ریسک فرسایش، به‌خوبی دستیابی به اهداف مد نظر در پژوهش را امکان‌پذیر می‌سازد. نقشه‌های سه‌گانه حاصل از مدل، توزیع فضایی نواحی و مکان‌های در معرض پدیده فرسایش خاک را شناسایی می‌کنند و می‌توان از آن‌ها در برنامه‌ریزی‌ها استفاده کرد (هو و همکاران، ۲۰۱۴). نتایج پهنه‌بندی حاصل از مدل نیز نشان می‌دهد که در هر سه سال، نقشه فرسایش خاک حوضه شامل چهار پهنه با خطر کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد بوده و در هیچ‌کدام از سال‌ها طبقه فرسایش بسیار کم در حوضه الوند وجود ندارد. طبقه فرسایش متوسط در هر سه سال انتخابی بیشترین مساحت حوضه الوند را دربر گرفته است. طبقه با فرسایش زیاد در رتبه بعدی و طبقه فرسایش کم نیز سومین طبقه وسیع فرسایشی در حوضه الوند بوده است. پهنه فرسایش زیاد و خیلی زیاد نیز منطبق بر مناطق کارستی حوضه بوده است (شکل ۸، ج و د). ارزیابی نتایج مدل با واقعیت‌های میدانی نشان می‌دهد که مناطق کارستی عموماً به‌علت پوشش گیاهی تنک و متغیر، شیب زیاد، بارش فراوان، آبخوبی زیاد و خاک رگوسول بیشترین میزان فرسایش را دارند (شکل ۹).

نتایج پژوهش‌های یوکیونگ و همکاران (۲۰۰۹)، فبلس^۱ و همکاران (۲۰۰۹)، هوانگ و همکاران (۲۰۱۶)، زینگ^۲ و همکاران (۲۰۱۷) و ژو و همکاران (۲۰۱۷) درباره توزیع فضایی خاک در مناطق کارستی مختلف نیز نشان می‌دهد که بیشترین مقدار فرسایش خاک منطبق بر مناطق کارستی حوضه‌ها بوده است و تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی سبب تشدید فرسایش خاک در این مناطق شده‌اند و می‌توان با احیای پوشش گیاهی، فرسایش در مناطق کارستی را کاهش داد؛ بنابراین مدل به‌کاررفته به‌علت در نظر گرفتن عوامل اصلی مؤثر در فرسایش خاک و بهره‌گیری از تحلیل تاریخی برای عوامل تغییرپذیر، کارایی لازم برای استفاده در حوضه‌های کارستی و غیر کارستی با وسعت زیاد که فاقد داده‌های کمی فرسایش خاک هستند و معیشت ساکنانش نیز طبیعت‌محور است را دارد.



شکل ۹. الف: نمایی از سطح خاک، پوشش گیاهی بسیار تنک و آبخوبی خاک در ارتفاعات قلاجه؛ ب: نمایی از فرسایش خاک و بیرون‌زدگی ریشه درخت بلوط در ارتفاعات نواکوه

1- Febles

2- Zeng

نتیجه‌گیری

نتایج پهنه‌بندی نشان می‌دهد که در هر سه سال، نقشه فرسایش خاک حوضه شامل چهار پهنه با خطر کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد بوده و در هیچ‌کدام از سال‌ها طبقه فرسایش بسیار کم در حوضه الوند وجود ندارد. طبقه فرسایش متوسط در هر سه سال انتخابی بیشترین مساحت حوضه الوند را دربر گرفته است. طبقه با فرسایش زیاد در رتبه بعدی قرار داشته و دومین طبقه فرسایشی وسیع حوضه الوند است. طبقه فرسایش کم نیز سومین طبقه وسیع فرسایشی در حوضه الوند بوده است. تغییرات درصد پوشش گیاهی در سه سال انتخابی، که همبستگی بالایی با میزان شاخص نرمال شده پوشش گیاهی نیز دارند، بیانگر کاهش تدریجی مساحت مناطق با پوشش گیاهی بیش از ۳۰٪ از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ است. کاربری اراضی و میزان مساحت آن‌ها در حوضه الوند در بازه زمانی مورد مطالعه از تغییرات زیادی برخوردار نبوده است. در سال ۱۹۹۰ کاربری دریاچه وجود نداشته، اما در سال‌های بعدی این کاربری با آبیگری سدهای حوضه ایجاد شده است. از نظر پراکنش فضایی پهنه‌های فرسایش در سه سال انتخابی روند کلی یکسانی را نشان می‌دهند. پهنه‌های فرسایشی کم و متوسط منطبق بر سطح دشت‌های آبرفتی، دشت‌های فرسایشی، نواحی تپه‌ماهوری و دامنه‌های با شیب کمتر از ۱۵ درجه و بارش کمتر از ۶۰۰ میلی‌متر، با کاربری‌های کشاورزی، مرتع، جنگل و انسان‌ساز بوده که به‌طور عمده دارای خاک عمیق تا نیمه‌عمیق هستند. پهنه فرسایش زیاد منطبق بر نواحی کارستی حوضه در ارتفاعات شمالی و شرقی حوضه است. شیب و بارش زیاد، خاک کم ضخامت و پوشش گیاهی تنک مهم‌ترین دلایل فرسایش زیاد خاک در این نواحی است؛ بنابراین براساس نقشه‌های پهنه‌بندی فرسایش خاک در سال‌های مورد مطالعه، مناطق کارستی حوضه در طی هر سه سال انتخابی در پهنه فرسایش زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته‌اند.

منابع

- باقری سیدشکری، سجاد (۱۳۹۴). تأثیر ژئومورفولوژی کارست در ویژگی‌های کمی و کیفی آبخوان‌های کارستی حوضه‌های قرسو و الوند در استان کرمانشاه. رساله دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران.
- باقری سیدشکری، سجاد؛ یمانی، مجتبی؛ جعفری‌گللو، منصور؛ کریمی، حاجی؛ مقیمی، ابراهیم (۱۳۹۴). بررسی توسعه‌یافتگی و ویژگی‌های هیدرودینامیکی سامانه‌های کارستی با استفاده از تجزیه و تحلیل منحنی فرود هیدروگراف (مورد مطالعه: آبخوان‌های کارستی حوضه رودخانه الوند). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۷(۳)، ۳۳۳-۳۴۶. شناسه دیجیتال: ۱۰.۲۲۰۵۹/JPHGR. ۲۰۱۵.۵۵۳۳۴.
- برزو، آرش؛ ممیزی، محمدرضا؛ نیک‌اندیش، عباسعلی (۱۳۸۷). مقایسه سه روش PSIAC, MPSIAC, EPM در برآورد میزان فرسایش و رسوب در حوضه چهل چشمه استان فارس. کشاورزی پویا، ۵(۱)، ۱۹-۲۹.
- جباری، ایرج؛ طالب‌پور، داود (۱۳۸۵). ارزیابی حساسیت نواحی بالادست سد مهاباد به فرسایش با استفاده از سنجش از دور و GIS. علوم زمین، ۱۶(۶۲)، ۱۷۶-۱۸۷.
- رستمی، فرض‌الله (۱۳۸۷). اصلاح مدل برآورد رسوب ام‌پسیاک با به‌کارگیری تکنیک فازی در حوضه سد زاگرس. پایان‌نامه کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی.
- کریمی، حاجی (۱۳۸۲). رفتار هیدروژئولوژیکی سفره‌های کارستی حوضه الوند کرمانشاه. رساله دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه شیراز.
- مقصودی، مهران؛ یمانی، مجتبی؛ سالاری، ممد (۱۳۸۷). برآورد فرسایش و رسوب از طریق ارزیابی متغیرهای تأثیرگذار در حوضه آبخیز وزنه با استفاده از GIS. جغرافیا و توسعه، ۷(۱۶)، ۱۱۹-۱۳۴.
- نادری، فتح‌الله؛ کریمی، حاجی؛ ناصری، بهروز (۱۳۸۹). پهنه‌بندی پتانسیل فرسایش خاک در حوزه آبخیز آسمان‌آباد ایلام

- بهروش شاخص فرسایش. پژوهش‌های آبخیزداری، ۴ (۲۳)، ۴۳-۵۱.
- نوری، عباسعلی؛ صفاری، امیر؛ کرمی، جلال (۱۳۹۷). بررسی تأثیر تغییرات پوشش و کاربری زمین در قابلیت فرسایش خاک حوضه قره‌سو گرگانرود. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۵ (۱)، ۸۳-۹۶.
- نیک‌پور، نورالله؛ فتوحی، صمد؛ نگارش، حسین؛ سیستانی، مسعود (۱۳۹۶). مورفومتری فرسایش آبکندی و عوامل مؤثر بر ایجاد و گسترش آن (حوضه دشت چم فاضل در جنوب غرب استان ایلام). تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۴ (۱)، ۹۷-۱۱۲.
- یعقوب‌نژاد اصل، نازیلا؛ فتحی، محمدحسین (۱۳۹۴). ارزیابی خطر فرسایش خاک در دامنه‌های شمال غرب کلان‌شهر تهران. اولین کنگره بین‌المللی زمین، فضا، انرژی پاک. کد مقاله ATTITDE01-571

References

- Bagheri Seyed Shokri, S., Yamani, M., Jafar Beyglo, M., Karimi, H. & Moghimi, E. (2016). Investigation of development and hydrodynamic characteristics of karst systems using analysis of hydrograph recession curve, case study: karstic aquifers of Alvand basin. *Physical Geography Research*, 47 (3), 333-346, doi: 10.22059/JPHGR.2015.55334. (In Persian)
- Bagheri, S. (2016). *Influence of karst geomorphology on the quantitative and qualitative characteristics of karst aquifers of Ghare-Su and Alvand basins in Kermanshah province*. Phd dissertation, University of Tehran. (In Persian)
- Borzou, A., Momayezi, M. & Nickandish, A. (2009). comparison of estimating soil erosion and sediment by EPM, PSIAC and MPSIAC methods in Chehl Cheshmeh basin, Fars province. *Dynamic agriculture*, 5 (1), 19-29 (In Persian)
- Bronick, C. J. & Lal, R. (2005). Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124 (1-2), 3-22.
- Cerdan, O., Le Bissonnais, Y., Couturier, A. & Saby, N. (2002). Modelling interrill erosion in small cultivated catchments. *Hydrological Processes*, 16 (16), 3215-3226.
- Dai, Q., Liu, Z., Shao, H. & Yang, Z. (2015). Karst bare slope soil erosion and soil quality: a simulation case study. *Solid Earth*, 6 (3), 985.
- Drew, D. P. (1983). Accelerated soil erosion in a karst area: the Burren Western Ireland. *Hydrology*, 61, 113-124.
- Drzewiecki, W., Wezyk, P., Pierzchalski, M. & Szafranska, B. (2013). *Quantitative and Qualitative Assessment of Soil Erosion Risk in Matopolska (Poland), Supported by an Object Based Analysis of High-Resolution Satellite Images*. Pure and Applied Geophysics (Inpress).
- Eswaran, H., Lal, R. & Reich, P. F. (2001). *Land degradation: an overview*. Responses to Land degradation, 20-35.
- Febles, J. M., Tolón, A. & Vega, M. B. (2009). Edaphic indicators for assesment of soil erosion in karst regions, province of Havana, Cuba. *Land degradation & development*, 20 (5), 522-534.
- Garcia-Ruiz, J. M. (2010). The effects of land uses on soil erosion in Spain: A review. *Catena*, 81 (1), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2010.01.001>
- Ho, H. C., Mylorie, J. E., Infante, L. R. & Rodgers III, J. C. (2014). Fuzzy-based spatial model approach to predict island karst distribution: a conceptual model. *Environ. Earth Sci.* 71, 1377-1396.
- Huang, W., Ho, H. C., Peng, Y. & Li, L. (2016). Qualitative risk assessment of soil erosion for karst landforms in Chahe town, Southwest China: A hazard index approach. *Catena*, 144, 184-193.
- Jabbari, J. & Talebpour, D. (2007). Assessing the Vulnerability to Soil Erosion of the Mahabad Dam Drainage Basin Using Remote Sensing and GIS, *Earth Sciences*, 16 (62), 176-178 (In Persian)
- Karimi, H. (2004). *Hydrogeological behavior of karst aquifers in Alvand basin of Kermanshah, Phd dissertation*. Shiraz University. (In Persian)
- Kheir, R. B., Abdallah, C. & Khawlie, M. (2008). Assessing soil erosion in Mediterranean karst landscapes of Lebanon using remote sensing and GIS. *Engineering Geology*, 99 (3), 239-254.
- King, C. & Delpont, G. (1993). Spatial assessment of erosion: contribution of remote sensing, a

- review. *Remote Sens. Rev*, 7, 223-232.
- Li, R. (2011). The research on the process and adjustment of soil erosion in the main water eroded region of China. *Bulletin of soil and water conservation*, 31 (5), 1-6.
- Magssoodei, M., Yamanei, M. & Salarei, M. (2009). Estimation of Erosion and Sediment in Vazneh Basin via Assessment of Effective Variables with use of GIS. *Geography and Development*, 7 (16), 119-134. (in Persian)
- Naderi, F., Karimi, H. & Naseri, B. (2011). Soil erosion potential zoning in Aseman Abad Watershed by Erosion Index. *Watershed Management Research*, 4 (23), 43-51. (In Persian)
- Nikpour, N., Fotohi, S., Negaresh, H. & Sistani, M. (2017). Morphometric of gully erosion (ditch) and factors affecting the development of the basin on southern West ILAM CHAM FAZEL. *Spatial Analysis Environmental hazarts*, 4 (1), 97-112. (In Persian)
- Nori, A., Saffari, A. & Karami, J. (2019). Investigasion about the influence of land-cover and land use changes on soil erodibility potential, case study: Gharesou, Gorganrood. *Spatial Analysis Environmental hazarts*, 5 (1), 83-96. (In Persian)
- Pacheco F. A. L., Varandas S. G. P., Fernandes L. S. & Junior R. V. (2014). Soil losses in rural watersheds with environmental land use conflicts. *Sci. Total Environ*. 485: 110-120
- Qiu-Hao, H. & Yun-Long, C. (2006). Assessment of karst rocky desertification using the radial basis function network model and GIS technique: A case study of Guizhou Province, China. *Environmental geology*, 49 (8), 1173-1179.
- Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K. & Yoder, D. C. (1997). *Predicting soilerosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation*. Agricultural Handbook vol. 703 U.S. Department of Agriculture 404 pp.
- Rostami, F. (2009). *Modification of the estimation model of M.Psyc sediment by applying fuzzy technique in Zagros dam basin*. MA dissertation, Kharazmi University . (In Persian)
- Six, J., Elliott, E. T., Paustian, K. & Doran, J. W. (1998). Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Science Society of America Journal*, 62 (5), 1367-1377.
- Stillwell, W. G., Seaver, D. A. & Edwards, W. (1981). A comparison of weight approximation techniques in multiattribute utility decision making. *Organizational Behavior and Human Performance* 28 (1), 62-77.
- Stow, D. A., Hope, A., Mcguire, D., Verbyla, D., Gamon, J., Huemmrich, F., Houston, S., Racine, C., Sturm, M., Tape, K., Hinzman, L., Yoshikawa, K., Tweedie, C., Noyle, B., Silapaswan, C., Douglas, D., Griffith, B., Jia, G., Epstein, H., Walker, D., Daeschner, S., Petersen, A., Zhou, L. & Myneni, R. (2004). Remote sensing of vegetation and landcoverchange in Arctic tundra ecosystems. *Remote Sens. Environ*. 89, 281-308.
- Van Rompaey, A. J. J. & Govers, G. (2002). Data quality and model complexity for regional scale soil erosion prediction. *Geomorphology* 16 (7), 663-680.
- Vrieling, A. (2006). Satellite remote sensing for water erosion assessment: a review. *Catena*, 65, 2-18.
- Warren, A. (2002). Land degradation is contextual. *Land Degrad. Dev*. 13 (6), 449-459.
- Wijitkosum, S. (2012). Impacts of land use changes on soil erosion in Pa Deng sub-district, adjacent area of Kaeng Krachan National Park, Thailand. *Soil and Water Research*, 7 (1), 10-17.
- Xu, Y. Q., Peng, J. & Shao, X. M. (2009). Assessment of soil erosion using RUSLE and GIS: a case study of the Maotiao River watershed, Guizhou Province, China. *Environ. Geol*, 56 (8), 1643-1652.
- Xu, Y. Q., Shao, X. M., Kong, X. B., Peng, J. & Cai, Y. L. (2008). Adapting the RUSLE and GIS to model soil erosion risk in a mountains karst watershed, Guizhou Province, China. *Environ. Monit. Assess*. 141 (1-3), 275-286.
- Yaghoob Nejad Asl, N. & Fathi, M. H. (2016). Soil Erosion Risk Assessment in northwest slopes. *The 1 st International Congress on Earth, Space & Energy, August 2015*. (In Persian)
- Yang, H. (1995). Karst desertification and assessment of its disasters. *Mar Geol. Quaternary Geol* 15, 137-147.
- Yuan, D. (1997). Rock desertification in the subtropical karat of South China. *Z. Geomorphol*.

Suppl, 108, 81-90.

- Yue-Qing, X., Jian, P. & Xiao-Mei, S. (2009). RETRACTED ARTICLE: Assessment of soil erosion using RUSLE and GIS: a case study of the Maotiao River watershed, Guizhou Province, China. *Environmental Geology*, 56 (8), 1643-1652.
- Zeng, C., Wang, S., Bai, X., Li, Y., Tian, Y., Li, Y., Wu, L. & Luo, G. (2017). Soil erosion evolution and spatial correlation analysis in a typical karst geomorphology using RUSLE with GIS. *Solid Earth*, 8 (4), 721.
- Zhou, H. Y., Pan, X. Y. & Zhou, W. Z. (2017). *Assessing spatial distribution of soil erosion in a karst region in southwestern China: A case study in Jinfo Mountains*. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 52, No. 1, p. 012047). IOP Publishing.