



## Research Article

### Analysis of hydrogeomorphic characteristics of sub-basins in terms of erosion sensitivity (Case study: Aland Chai basin, northwest of Iran)

Tohid Rahimpour<sup>\*1</sup> , Mohammad Hossein Rezaei Moghaddam<sup>1</sup>, Asadolah Hejazi<sup>1</sup>, Khalil Valizadeh Kamran<sup>2</sup>

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

2-Department of RS and GIS, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Received: 09 Jan 2023 Accepted: 08 Aug 2023

## Extended Abstract

**Introduction:** Aland Chai basin which is located in Khoy County and North West of Iran is one of the high erodibility susceptibility basins due to its unique topographic location and receiving appropriate rainfall throughout the year, especially in spring. The primary purpose of the present study is to investigate and analyze the role of hydrogeomorphic indicators in the sensitivity to erodibility of the sub-basins of the Aland Chai basin located in Khoy County.

**Study Area:** Aland Chai basin with an area of 1147.30 km<sup>2</sup> is located in the Northwest of Iran and the Western Azerbaijan province. This basin is located between 38°- 30'-14" and 38°- 48'-22" N and between 44°- 15'- 13" and 45°- 01'-02" E. Basin elevation variations are from 1093m in the Aland Chai River bed to 3638m above sea level in the Avrin Mountain. This basin is one of the sub-basins of the Aras River basin.

**Materials and methods:** In the current study, a geomorphometric ranking method was used considering two groups of hydrogeomorphic parameters to rank the parameters. The first groups are the parameters that have a direct relationship with the erodibility of the sub-basins. These parameters include Drainage density, Stream frequency, Bifurcation ratio, Drainage texture, Infiltration number, Relief, and Gradient. The second group includes 4 parameters of Compactness coefficient, Elongation ratio, Circulatory ratio, and Form factor, which have an inverse relationship with erodibility sensitivity.

**Results and Discussion:** In this study, 12 hydrogeomorphic parameters were analyzed from three aspects of drainage network characteristics, shape parameters, and relief characteristics of the basin in order to investigate the role of these parameters in the sensitivity of the Aland Chai basin to erosion. In the next step, the information of each sub-basin based on 12 hydrogeomorphic parameters were prepared using the geomorphological laws of Horton, Schumm, and Strahler in ArcGIS software. In the following, the final map prioritizing the sub-basins in terms of sensitivity to erosion in 5 classes of very high (<43), high (39-42), medium (33-38), low (30-33) and very low (>30) sensitivity was prepared.

**Conclusion:** The results of erosion susceptibility of sub-basins using hydrogeomorphic parameters also showed that 5 sub-basins (sub-basins 1, 2, 3, 4, and 11) have high susceptibility. The results of this part of the study showed that the area of the Rangeland had a decreasing trend between 1985 and 2020. In contrast, with the physical development of Khoy and Firouzaq cities, we are witnessing an increasing trend in the area of built-up areas. Agricultural and garden classes have also increased in 2000, 2010, and 2020 compared to 1985, but the largest increase in agricultural land and garden area is related to 2000. The study of the relationship between land use changes in each sub-basin and their erodibility showed that in the sub-basins upstream of Aland Chai basin, land use change (an increase of agricultural lands) or inappropriate and excessive use of area capacity, it is effective in intensifying erodibility of sub-basins.

**Keywords:** Aland Chai basin, Ranking, Erodibility, Land use, GIS.

**Citation:** Tohid Rahimpour, Mohammad Hossein Rezaei Moghaddam et al. (2023). Analysis of hydrogeomorphic characteristics of sub-basins in terms, *Res. Earth. Sci.* 14(3), (94-110) DOI: 10.48308/ESRJ.2023.103507

\* Corresponding author E-mail address: [t.rahimpour@tabrizu.ac.ir](mailto:t.rahimpour@tabrizu.ac.ir)



## تحلیل خصوصیات هیدروژئومورفیک زیرحوضه‌ها در حساسیت فرسایش‌پذیری خاک (مطالعه موردی: حوضه آبریز الندچای، شمال غرب ایران)

توحید رحیم پور<sup>۱\*</sup>، محمدحسین رضائی مقدم<sup>۱</sup>، اسداله حجازی<sup>۱</sup>، خلیل ولیزاده کامران<sup>۲</sup>

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

۲- گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

(پژوهشی) دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۱۹ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۲/۰۴/۱۷

### چکیده گسترده

**مقدمه:** حوضه آبریز الندچای واقع در شهرستان خوی و شمال غرب کشور نیز به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی و دریافت بارش مناسب در طول سال و به خصوص در فصل بهار، از حوضه‌های با حساسیت فرسایش‌پذیری بالا محسوب می‌شود. هدف اصلی از تحقیق حاضر بررسی و تحلیل نقش شاخص‌های هیدروژئومورفیک در حساسیت فرسایش‌پذیری زیرحوضه‌های حوضه آبریز الندچای می‌باشد.

**منطقه مورد مطالعه:** حوضه آبریز الندچای با مساحت ۱۱۴۷/۳۰ کیلومترمربع در شمال غرب ایران و در استان آذربایجان غربی قرار گرفته است. این حوضه بین مختصات "۱۴' ۳۰" تا "۲۲' ۴۸" عرض شمالی و "۱۳' ۱۵" تا "۰۲' ۰۱" طول شرقی قرار دارد. حداقل ارتفاع منطقه ۱۰۹۳ متر و حداکثر ارتفاع آن ۳۶۳۸ متر می‌باشد. این حوضه یکی از زیرحوضه‌های حوضه آبریز ارس محسوب می‌شود.

**مواد و روش‌ها:** در پژوهش حاضر از یک روش رتبه‌بندی ژئومورفومتریکی با در نظر گرفتن دو گروه از پارامترهای هیدروژئومورفیک جهت رتبه‌بندی پارامترها استفاده شده است. گروه اول پارامترهایی هستند که رابطه مستقیم با فرسایش‌پذیری زیرحوضه‌ها دارند. این پارامترها شامل تراکم زهکشی، فراوانی آبراهه، نسبت انشعاب، بافت زهکشی، شماره نفوذ، برجستگی و نسبت شیب می‌باشند. گروه دوم شامل ۴ پارامتر ضریب فشردگی، ضریب شکل، نسبت کشیدگی و نسبت دایره‌ای هستند که رابطه معکوس با حساسیت فرسایش‌پذیری دارند.

**بحث و نتایج:** در تحقیق حاضر ۱۲ پارامتر هیدروژئومورفیک از سه جنبه خصوصیات شبکه زهکشی، پارامترهای شکلی و خصوصیات برجستگی حوضه آبریز به منظور بررسی نقش این پارامترها در حساسیت فرسایش‌پذیری حوضه آبریز الندچای مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در گام نخست منطقه مورد مطالعه براساس خصوصیات توپوگرافی و زهکشی به ۱۵ زیرحوضه تقسیم شد. در مرحله بعد، اطلاعات هر زیرحوضه براساس ۱۲ پارامتر هیدروژئومورفیک با استفاده از قوانین ژئومورفولوژیکی هورتن، شوم و استرالر در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شدند. در ادامه نقشه نهایی اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر حساسیت فرسایش‌پذیری در ۵ کلاس از حساسیت خیلی زیاد (۴۳ >)، زیاد (۳۹-۴۲)، متوسط (۳۳-۳۸)، کم (۳۰-۳۳) و خیلی کم (۳۰ <) تهیه شد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج بررسی فرسایش‌پذیری زیرحوضه‌ها با استفاده از پارامترهای هیدروژئومورفیک نشان داد که ۵ زیرحوضه (زیرحوضه‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۱۱) از حساسیت بالایی برخوردار هستند. نتایج این بخش از تحقیق نشان داد که مساحت مراتع حوضه بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰ روند کاهشی داشته است. در مقابل با توسعه فیزیکی شهر خوی و فیرورق شاهد روند افزایشی در مساحت مناطق ساخته شده هستیم. کلاس کاربری کشاورزی و باغ هم در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ نسبت به سال ۱۹۸۵ روند افزایشی داشته است، اما بیشترین افزایش مساحت زمین‌های کشاورزی و باغ مربوط به سال ۲۰۰۰ می‌باشد. بررسی ارتباط تغییرات کاربری اراضی هر یک از زیرحوضه‌ها با فرسایش‌پذیری آن‌ها نیز نشان داد که در زیرحوضه‌های بالادست حوضه آبریز الندچای تغییر کاربری اراضی (افزایش زمین‌های کشاورزی) و یا استفاده نامناسب و بیش از اندازه از ظرفیت مراتع منطقه، در تشدید فرسایش‌پذیری زیرحوضه‌ها مؤثر می‌باشد.

**واژگان کلیدی:** حوضه آبریز الندچای، رتبه‌بندی، فرسایش‌پذیری، کاربری اراضی، GIS.

**استناد:** توحید رحیم پور، محمدحسین رضائی مقدم و همکاران (۱۴۰۲). تحلیل خصوصیات هیدروژئومورفیک زیرحوضه‌ها در حساسیت فرسایش‌پذیری خاک، پژوهشهای دانش زمین: ۱۴ (۳)، (۹۴-۱۱۰). DOI: 10.48308/ESRJ.2023.103507

## مقدمه

شناخت منابع رسوبی استفاده کرد (Feng et al, 2010). در یک تقسیم‌بندی، مدل‌های فرسایشی از نظر ساختار فرمولی به دو نوع مدل‌های تجربی و فرآیندی (فیزیکی) طبقه‌بندی می‌شوند (رفاهی، ۱۳۸۵). از نظر ساختار مکانی، مدل‌های فرسایشی به دو گروه مدل‌های تجمعی یا میانگینی و مدل‌های پخشی و از نظر ساختار زمانی نیز به دو دسته مدل‌های تک رخدادی و مدل‌های شبیه‌ساز پیوسته تقسیم‌بندی شده‌اند (Doe and Jones, 1999). توی و همکاران (Toy et al, 2002) مدل‌های فرسایش خاک را به ۴ نوع مدل‌های رگرسیونی، مدل‌های شاخصی، مدل‌های فرآیندی و مدل‌های پخشی مکانی طبقه‌بندی کرده‌اند. تحقیقات خوبی در زمینه اولویت‌بندی فرسایش‌پذیری زیرحوضه‌ها در داخل و خارج از کشور انجام گرفته است که از جمله تازه‌ترین آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: فلاح و همکاران (۱۳۹۴)، در پژوهشی به اولویت‌بندی زیرحوضه‌های حوضه آبریز تالار استان مازندران از نظر حساسیت فرسایش با استفاده از آنالیز مورفومتری و تغییرات کاربری اراضی پرداختند. در این پژوهش از تکنیک‌های RS و GIS استفاده شد. پارامترهای مورد استفاده در این تحقیق عبارت بودند از: تراکم زهکشی، نسبت انشعاب، طول جریان روی سطح زمین، فراوانی آبراهه، بافت زهکشی، نسبت کشیدگی، ضریب فشردگی، ضریب گردی، شاخص شکل و فاکتور شکل. نتایج تحقیق نشان داد که از ۲۱ زیرحوضه مورد بررسی ۹ زیرحوضه در اولویت خیلی زیاد، ۶ زیرحوضه در اولویت زیاد، ۵ زیرحوضه در اولویت متوسط و یک زیرحوضه در اولویت کم از نظر حساسیت به فرسایش خاک قرار دارند. مکرم و همکاران (۱۳۹۶)، به بررسی ارتباط ویژگی‌های مورفومتری حوضه‌های آبریز و فرسایش‌پذیری در سطوح مختلف ارتفاعی با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) در حوضه آبریز نازلوچای پرداختند. در این تحقیق از پارامترهای تعداد آبراهه‌ها، رتبه آبراهه، مجموع طول آبراهه، ضریب بیفرکاسیون، پستی و بلندی، چگالی زهکشی، فراوانی آبراهه، فاکتور شکل، ضریب گردی و ضریب مستطیل معادل به منظور بررسی فرسایش‌پذیری حوضه استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که لندفرم‌های کلاس ۴ (دره‌های U شکل) و لندفرم‌های کلاس ۳ (زهکش‌های مرتفع) دارای بیشترین فرسایش‌پذیری هستند. الطاف و

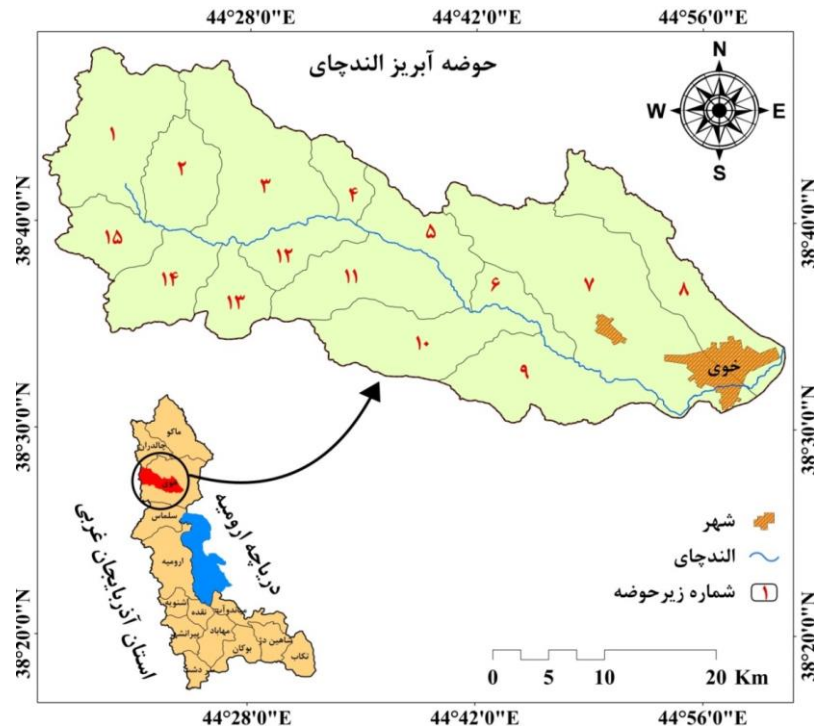
فرسایش‌پذیری اصطلاحی است که به میزان مستعد بودن سطح خاک در برابر فرسایش اشاره دارد و به خصوصیات خود خاک از قبیل بافت (میزان نسبی ذرات ماسه، سیلت و ذرات چسبنده رسی به یکدیگر) وابسته است (ثقفی و رضائی‌مقدم، ۱۳۹۶). فرسایش خاک که به دلیل خاصیت تشدید شونده‌گی و اثرات چندجانبه آشکار و پنهان زیست‌محیطی آن، به سرطان زمین شهرت یافته (CSIRO, 2003) یک فرآیند پیچیده و خطر بالقوه ژئومورفولوژیکی است و مقدار آن بازتابی از نحوه بهره‌برداری از زمین و شاخص توسعه‌یافتگی کشورها به شمار می‌رود (روستایی و همکاران، ۱۳۸۹). فرسایش خاک به‌عنوان خطری جدی برای سلامت انسان و سایر موجودات زنده محسوب شده و در مناطقی که کنترل نمی‌شود نه تنها باعث خسارت‌های جبران‌ناپذیر به اراضی منابع طبیعی و کشاورزی می‌شود، بلکه با رسوب مواد در آبراهه‌ها، مخازن، دریاچه سدها و بندرها باعث کاهش ظرفیت آبرگیری آن‌ها و در نتیجه خسارت‌های فراوان می‌شود (Morgan and Nearing, 2011). در واقع فرسایش تسریع یافته خاک به دلیل اثرگذاری قابل توجه آن در اقتصاد و محیط‌زیست به‌عنوان یک مشکل جهانی قلمداد می‌شود (Lim et al, 2005). توپوگرافی، پوشش گیاهی، شدت باران و رواناب، فرسایش‌پذیری خاک و پوشش زمین از جمله عواملی هستند که در فرسایش خاک نقش دارند (Wang et al, 2013). تغییرات در کاربری اراضی از قبیل جنگل‌زدایی، شخم زدن، کشت محصول و تبدیل اراضی به مراتع یا چراگاه‌ها فرسایش‌پذیری خاک را افزایش می‌دهند (ثقفی و رضائی‌مقدم، ۱۳۹۶). تلاش‌های زیادی به منظور برآورد تلفات خاک در اراضی شیب‌دار و شناسایی پهنه‌های فرسایشی توسط محققان و دانشمندان علوم زمین به‌ویژه ژئومورفولوژیست‌ها در سراسر جهان صورت گرفته است که نتیجه آن ارائه مدل‌های مختلف کمی و کیفی جهت برآورد فرسایش خاک و تهیه نقشه‌های فرسایش‌پذیری بوده است. با مدل‌سازی فرسایش خاک، فرآیندهای دخیل در آن (از قبیل جداسازی ذرات خاک، انتقال و ته‌نشست آن‌ها) در قالب روابط ریاضی بیان می‌شوند. از مدل‌های فرسایش خاک می‌توان برای مطالعه و بررسی روش‌های فرسایش در ارتباط با تغییرات زمین و نحوه استفاده از آن و همچنین

معیاره MACBETH به اولویت‌بندی زیرحوضه‌های حوضه آبریز ال‌ندچای از نظر حساسیت سیل‌خیزی پرداخته‌اند. در این تحقیق از ۲۲ پارامتر هیدروژئومورفیک از سه جنبه خصوصیات شبکه زهکشی، ویژگی‌های شکلی و خصوصیات برجستگی جهت اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که زیرحوضه‌های ۱، ۲ و ۳ در طبقه خیلی زیاد از نظر حساسیت سیل‌خیزی قرار دارند (رضائی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۹). بنابراین در تحقیق حاضر نیز تلاش شده است تا در گام اول زیرحوضه‌های حوضه آبریز ال‌ندچای با استفاده از شاخص‌های هیدروژئومورفیک از نظر حساسیت فرسایش‌پذیری و با استفاده از روش رتبه‌بندی ژئومورفومتریک اولویت‌بندی گردند. در گام بعدی نیز تغییرات کاربری اراضی منطقه و ارتباط آن با فرسایش‌پذیری زیرحوضه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها در مدیریت زیرحوضه‌هایی که حساسیت بالایی را نشان می‌دهند حائز اهمیت می‌باشد.

#### منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز ال‌ندچای با مساحتی بالغ بر ۱۱۴۷ کیلومترمربع در استان آذربایجان غربی و شمال‌غرب ایران قرار گرفته است. این حوضه از نظر موقعیت جغرافیایی بین مختصات  $38^{\circ} 30' 14''$  تا  $38^{\circ} 48' 22''$  عرض شمالی و  $44^{\circ} 15' 13''$  تا  $45^{\circ} 01' 02''$  طول واقع شده است (شکل ۱). حوضه آبریز ال‌ندچای ساختاری کوهستانی دارد، به‌طوری که بیش از ۶۰ درصد مساحت آن را نواحی کوهستانی و مرتفع تشکیل می‌دهد. دامنه تغییرات ارتفاعی حوضه از ۱۰۹۳ متر در بستر رودخانه ال‌ندچای تا ۳۶۳۸ متر ارتفاع از سطح دریا در کوه اورین می‌باشد. این حوضه از نظر آب‌وهوایی معمولاً دارای زمستان‌های سرد و برفی و تابستان‌های معتدل بوده که میانگین دمای سالانه آن براساس آمار بلند مدت ایستگاه سینوپتیک خوی (۱۹۶۱-۲۰۱۹) که در پایین‌دست حوضه و در ارتفاع ۱۱۰۳ متری از سطح دریا قرار دارد، حدود ۱۲/۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (رحیم‌پور و همکاران، ۱۴۰۰). میانگین بارندگی سالانه (۲۰۲۰-۱۹۸۵) نیز حدود ۲۷۱ میلی‌متر می‌باشد.

همکاران (Altaf et al, 2014) در تحقیقی به ارزیابی حساسیت فرسایش خاک در حوضه آبریز رمبیارا واقع در کشور هند پرداختند. در این تحقیق ابتدا حوضه مورد مطالعه به ۱۰ زیرحوضه تقسیم شده و پارامترهای مورفومتریک و کاربری اراضی هر یک از زیرحوضه‌ها با استفاده از تکنیک‌های GIS و سنجش از دور تهیه شد. در مرحله بعد به‌منظور تهیه نقشه حساسیت فرسایش خاک و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از تحلیل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده گردید. نتایج اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها بر پایه تحلیل مورفومتریک نشان داد که از بین ۱۰ زیرحوضه مورد بررسی ۳ زیرحوضه (زیرحوضه‌های ۴، ۵ و ۹) از حساسیت بالایی از نظر فرسایش خاک برخوردار می‌باشند. همچنین تحلیل نتایج بر پایه کاربری اراضی نیز نشان داد که ۴ زیرحوضه (زیرحوضه‌های ۶، ۸، ۹ و ۱۰) حساسیت بالایی نسبت به فرسایش خاک دارند. راسر و همکاران (Rather et al, 2017)، در پژوهشی به ارزیابی تأثیر خصوصیات حوضه آبریز در فرسایش خاک در حوضه آبریز جلوم واقع در کشور هند پرداختند. ایشان ۸ زیرحوضه در بالادست حوضه اصلی را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق پارامترهای مورفومتریک، کاربری اراضی و شیب منطقه برای بررسی حساسیت فرسایش خاک تهیه شد. در ادامه با استفاده از کاربرد تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره، تکنیک‌های GIS و سنجش از دور، نقشه حساسیت فرسایش خاک برای حوضه آبریز تهیه گردید. نتایج نشان داد که سه زیرحوضه از حساسیت بالایی برای فرسایش خاک برخوردار می‌باشند. پانت و همکاران (Pant et al, 2020) در پژوهشی با استفاده از پارامترهای مورفومتریک و مورفوتکتونیک نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیل و فرسایش خاک را در حوضه آبریز آلاک ناندا واقع در کشور هندوستان تهیه نمودند. در این تحقیق حوضه آبریز به ۱۰ زیرحوضه تقسیم شده و تعداد ۵۰ پارامتر مورفومتریک و ۶ پارامتر مورفوتکتونیک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحلیل آماری پارامترهای مورفومتریک و مورفوتکتونیک نشان داد که منطقه از نظر تکتونیک فعال بوده و بسیار مستعد وقوع سیل و متعاقب آن فرسایش خاک می‌باشد. نویسندگان مقاله حاضر قبلاً در تحقیقی با استفاده از مدل تصمیم‌گیری چند



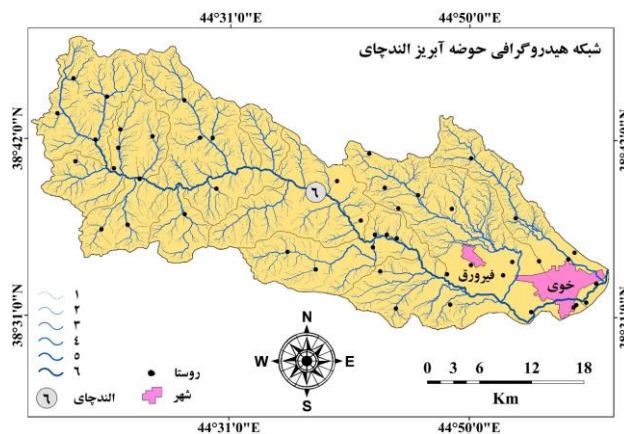
شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

### مواد و روش‌ها

#### شبکه زهکشی حوضه آبریز الندچای

رودخانه اصلی منطقه، الندچای می‌باشد. الندچای رودخانه‌ای پر آب و دائمی است که از کوه‌های مرزی ایران و ترکیه به نام حاجی بیگ، نظر بیگ و کانی زیارت سرچشمه می‌گیرد. آب حاصل از ذوب برف‌های این کوه‌ها و همچنین کوه اورین در فصل بهار، باعث ایجاد جریان‌های سیلابی خروشان در الندچای می‌شود که خسارات زیادی به زمین‌های کشاورزی اطراف آن وارد می‌سازد. طول این رودخانه از روستای بله سور پایین در ارتفاع حدود ۲۳۰۰

متری از سطح دریا تا خروجی حوضه (اطراف روستای شوراب) حدود ۸۵ کیلومتر می‌باشد. شاخه‌های اولیه این رودخانه در روستای بله سور پایین به هم می‌پیوندند و الندچای را تشکیل می‌دهند. در روستای بدلان، رودخانه حصارچای وارد این رودخانه شده و باعث می‌شود که الندچای قوسی به سمت شمال داشته باشد و در ادامه مسیر در روستای پسک پایین وارد دشت خوی می‌شود. آب این رودخانه توسط اهالی منطقه برای مصارف کشاورزی استفاده می‌شود (رحیم‌پور، ۱۴۰۰).



شکل ۲: شبکه زهکشی منطقه مورد مطالعه

## رتبه‌بندی ژئومورفومتریک

در پژوهش حاضر از یک روش رتبه‌بندی ژئومورفومتریک با در نظر گرفتن دو گروه از پارامترهای هیدروژئومورفیک جهت رتبه‌بندی پارامترها استفاده شده است. گروه اول پارامترهایی هستند که رابطه مستقیم با فرسایش‌پذیری زیرحوضه‌ها دارند. این پارامترها شامل تراکم زهکشی، فراوانی آبراهه، نسبت انشعاب، بافت زهکشی، شماره نفوذ، برجستگی و نسبت شیب می‌باشند. گروه دوم شامل ۴ پارامتر ضریب فشردگی، ضریب شکل، نسبت کشیدگی و نسبت دایره‌ای هستند که رابطه معکوس با حساسیت فرسایش‌پذیری دارند (Kadam et al, 2019). در ادامه جهت استانداردسازی رتبه‌بندی ژئومورفومتریک هر یک از پارامترها از رابطه ۱ برای گروه اول و رابطه ۲ برای گروه دوم استفاده شده است (Youssef et al, 2011; Farhan and Anaba, 2016).

رابطه ۱)

$$\text{Ranking score} = 4 \left( \frac{X' - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \right) + 1$$

رابطه ۲)

$$\text{Ranking score} = 4 \left( \frac{X' - X_{\max}}{X_{\min} - X_{\max}} \right) + 1$$

که در آن  $X'$  مقدار پارامتر انتخاب شده زیرحوضه،  $X_{\min}$  و  $X_{\max}$  مقادیر حداقل و حداکثر همان پارامتر در میان همه زیرحوضه‌ها می‌باشد. در ادامه براساس رابطه هر پارامتر با درجه حساسیت فرسایش‌پذیری، رتبه‌بندی ژئومورفومتریک برای هر پارامتر بین ۱ تا ۵ انجام شده است. در نهایت رتبه ژئومورفومتریک برای هر زیرحوضه با اضافه کردن رتبه نرمال شده همه پارامترها برای هر زیرحوضه که نشان‌دهنده درجه حساسیت فرسایش‌پذیری زیرحوضه‌ها می‌باشد، مشخص گردید. در جدول ۱ نحوه محاسبه هر یک از پارامترهای هیدروژئومورفیک ارائه شده است.

جدول ۱: پارامترهای هیدروژئومورفیک مورد استفاده و فرمول محاسبه آن‌ها

منبع	فرمول	پارامتر
Horton (1945)	$F_s = Nu/A$ تعداد کل آبراهه‌های حوضه آبریز مساحت حوضه آبریز	فراوانی آبراهه <sup>۱</sup>
Schumm (1956)	$R_b = Nu/Nu + 1$	نسبت انشعاب <sup>۲</sup>
Horton (1945)	$D_d = Lu/A$ طول کل آبراهه‌های حوضه آبریز	تراکم زهکشی <sup>۳</sup>
Horton (1945)	$D_t = Nu/P$ محیط حوضه آبریز	بافت زهکشی <sup>۴</sup>
Schumm (1956)	$R_t = N1/P$	نسبت بافت <sup>۵</sup>
Faniran (1968)	$I_f = D_d \times F_s$	شماره نفوذ <sup>۶</sup>
Horton (1945)	$C_c = 0.2812 \times P/A^{0.5}$	ضریب فشردگی <sup>۷</sup>
Singh and Singh (2017)	$R_c = 4 \times 3.14 A/P^2$	نسبت مدور بودن <sup>۸</sup>
Schumm (1956)	$E_r = 1.128 \sqrt{A/L}$ طول حوضه آبریز به کیلومتر	نسبت کشیدگی <sup>۹</sup>
Horton (1945)	$F_f = A/Lb^2$ $B_h = h_{\max} - h_{\min}$	ضریب شکل <sup>۱۰</sup>
Schumm (1956)	$h_{\max} =$ حداکثر ارتفاع حوضه آبریز $h_{\min} =$ حداقل ارتفاع حوضه آبریز	برجستگی حوضه <sup>۱۱</sup>
Singh and Singh (2017)	$G = B_h/Lb \times 60$	نسبت شیب <sup>۱۲</sup>

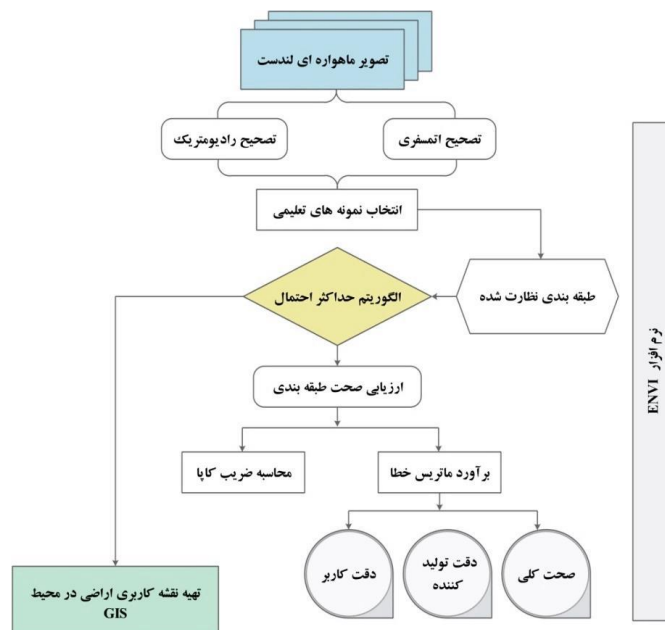
## تهیه نقشه کاربری اراضی

در پژوهش حاضر جهت تهیه نقشه‌های کاربری اراضی حوضه آبریز الوندچای از روش طبقه‌بندی نظارت شده همراه با تصاویر ماهواره‌ای لندست استفاده شده است. روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده روش‌های قوی‌تر و کامل‌تری نسبت به نوع نظارت نشده خود می‌باشند و معمولاً به تنهایی قابل استفاده بوده و روش‌های پیشرفته آن به صورت مستقل

به‌منظور آنالیز تصاویر ماهواره‌ای به کار می‌روند (فاطمی و رضائی، ۱۳۹۱). در این نوع طبقه‌بندی، پدیده‌های طیفی موجود در تصویر براساس انواع پوشش زمین شناخته شده قابل استخراج است (Mausel et al, 1990). در روش طبقه‌بندی نظارت شده می‌توان از انواع الگوریتم‌ها، به روش‌هایی نظیر حداقل فاصله، متوازی‌السطوح و حداکثر احتمال اشاره نمود (رسولی، ۱۳۸۷). از میان روش‌های

به درستی طبقه‌بندی شده‌اند (بر روی قطر اصلی) بر تعداد پیکسل‌هایی که به‌عنوان حقایق زمینی (نمونه‌های آموزشی) برای آن طبقه (جمع ستون) مورد استفاده قرار گرفته‌اند، به دست می‌آید. دقت کاربر از تقسیم تعداد پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده (بر روی قطر اصلی) بر تعداد کل پیکسل‌های آن طبقه (جمع ردیف) به دست می‌آید. ضریب کاپا تکنیک چند متغیره گسسته‌ای است که اگر یک ماتریس خطا تفاوت معنی‌داری با دیگری داشته باشد، در ارزیابی صحت برای تصمیم‌گیری‌های آماری مورد استفاده قرار می‌گیرد. شاخص کاپا مقداری بین صفر و یک دارد، اگر مقدار کاپا صفر باشد نشان‌گر یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی است و اگر مقدار شاخص کاپا یک باشد نشان‌دهنده یک طبقه‌بندی کاملاً صحیح است و مقدار منفی نیز به معنی وجود خطا در طبقه‌بندی است (رسولی، ۱۳۸۷). شکل ۳ مراحل تهیه نقشه‌های کاربری اراضی با استفاده از تصاویر لندست را به صورت شماتیک نشان می‌دهد.

طبقه‌بندی نظارت شده، روش حداکثر احتمال تاکنون به عنوان دقیق‌ترین و پر استفاده‌ترین روش‌ها ذکر شده است (Bolstad and Lillesand, 1991). در طبقه‌بندی حداکثر احتمال، کلاسی به پیکسل مورد نظر نسبت داده می‌شود که بیشترین احتمال تعلق پیکسل به آن کلاس وجود دارد (فاطمی و رضائی، ۱۳۹۱). در تحقیق حاضر نیز از این الگوریتم استفاده شده است. برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی از دو روش برآورد ماتریس خطا و محاسبه ضریب کاپا استفاده شده است. ماتریس خطا رابطه بین داده‌های مرجع شناخته‌شده (حقایق زمینی) و نتایج ذی‌ربط یک طبقه‌بندی خودکار را به صورت رده به رده مقایسه می‌کند (Lillesand and Kiefer, 1994). در یک ماتریس خطا باید پارامترهای صحت کلی، دقت تولیدکننده و دقت کاربر محاسبه شود. صحت کلی عبارت از نسبت پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده بر تعداد کل پیکسل‌های طبقه‌بندی شده است. دقت تولیدکننده نسبت تعداد پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده است، که از تقسیم تعداد پیکسل‌هایی که در هر طبقه



شکل ۳: فلوچارت تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

اولویت‌های بالاتر بیشتر مد نظر و تحت مدیریت قرار گیرند (آمانی و نجفی‌نژاد، ۱۳۹۳). پارامترهایی از قبیل تراکم زهکشی، فراوانی آبراهه، نسبت انشعاب، بافت زهکشی و نسبت بافت رابطه مستقیمی با فرسایش‌پذیری دارند (Kiran and Srivastava, 2012). یعنی مقادیر بالاتر پارامترهای خطی باعث افزایش پتانسیل رواناب و در نتیجه

## بحث و نتایج

### تحلیل نقش پارامترهای هیدروژئومورفیک در

### فرسایش‌پذیری زیرحوضه‌ها

شرط اول کنترل عوامل فرسایشی شناسایی ویژگی‌های مورفومتری حوضه‌های آبریز و اولویت‌بندی آن‌ها می‌باشد تا در صورت اجرای عملیات کنترلی، حوضه‌های دارای

در منطقه مورد مطالعه، زیرحوضه ۳ با ۴/۸۷ بیشترین مقدار بافت زهکشی را دارد که نشان‌دهنده فرسایش‌پذیری بالای این زیرحوضه می‌باشد.

نسبت بافت: نسبت بافت یک پارامتر مهم در تحلیل مورفومتریک شبکه زهکشی است که به لیتولوژی زیرین، ظرفیت نفوذپذیری و جنبه‌های برجستگی زمین وابسته است (Singh and Singh, 2017). بیشترین مقدار نسبت بافت در منطقه مورد مطالعه با مقدار ۳/۷۱ مربوط به زیرحوضه ۳ بوده است که نشان‌دهنده فرسایش‌پذیری بالای این زیرحوضه می‌باشد.

شماره نفوذ: شماره نفوذ نقش مهمی در مشاهده خصوصیات نفوذپذیری حوضه آبریز دارد. این پارامتر ارتباط مستقیمی با ظرفیت رواناب حوضه دارد (Rather et al, 2017). در منطقه مورد مطالعه کم‌ترین مقدار شماره نفوذ با ۱/۷۴ مربوط به زیرحوضه ۱۰ و بیشترین مقدار نیز با ۴/۵۱ مربوط به زیرحوضه‌های ۴ و ۳ می‌باشد که نشان‌دهنده حساسیت بالای این زیرحوضه در فرسایش‌پذیری می‌باشد.

ضریب فشردگی: ضریب فشردگی یک حوضه رابطه مستقیمی با ظرفیت نفوذپذیری آن دارد (Altat et al, 2014). مقادیر ضریب فشردگی زیرحوضه‌های منطقه مورد مطالعه بین ۱/۲۴ تا ۱/۹۶ محاسبه شده است که زیرحوضه ۲ دارای کمترین مقدار و زیرحوضه ۸ نیز بیشترین مقدار را داشته است. بنابراین زیرحوضه ۲ به دلیل داشتن ظرفیت نفوذپذیری پایین حساسیت بیشتری برای فرسایش دارد.

نسبت کشیدگی: نسبت کشیدگی یک فاکتور مهم برای تحلیل شکل حوضه آبریز است. مقادیر نزدیک به ۱ معمولاً برای مناطق با برجستگی بسیار کم است در حالی که مقادیر ۰/۶ تا ۰/۸ با برجستگی زیاد و شیب تند زمین مرتبط است (Dar et al, 2013). مقادیر این پارامتر برای زیرحوضه‌های منطقه مورد مطالعه بین ۰/۴۱ تا ۰/۹۹ محاسبه شده است. زیرحوضه ۸ کمترین مقدار را داشته که بیانگر فرسایش-پذیری بالای این زیرحوضه می‌باشد.

نسبت مدور بودن: نسبت مدور بودن از فاکتورهای تراکم زهکشی، تناوب زهکشی، ساختار زمین‌شناسی، برجستگی، شیب، پوشش گیاهی و پوشش زمین حوضه آبریز تأثیر می‌پذیرد (Bisht et al, 2018). مقادیر پایین‌تر این پارامتر نشان‌دهنده کشیدگی حوضه، برجستگی کم و سطوح غیرقابل نفوذ می‌باشد (Altat et al, 2014). هر چه مقادیر این پارامتر کمتر باشد حساسیت فرسایش‌پذیری حوضه

فرسایش‌پذیری حوضه آبریز می‌شوند (Kadam et al, 2019). در مقابل پارامترهای شکلی از قبیل نسبت کشیدگی، نسبت مدور بودن و ضریب فشردگی رابطه معکوسی با فرسایش‌پذیری دارند. یعنی هر چه مقادیر این پارامترها بیشتر باشد، فرسایش‌پذیری حوضه کمتر خواهد بود و برعکس (Kadam et al, 2019). پارامترهای برجستگی و شیب حوضه نیز رابطه مستقیمی با فرسایش‌پذیری حوضه آبریز داشته و مقادیر بالاتر این پارامترها نشان‌دهنده پتانسیل بالای فرسایش در یک زیرحوضه می‌باشد. شکل ۴ نقشه پارامترهای هیدروژئومورفیک را نشان می‌دهد.

تراکم زهکشی: مقادیر تراکم زهکشی برای مناطقی که دارای مواد بسیار نفوذپذیر، پوشش گیاهی خوب و برجستگی کم هستند، پایین است، در حالی که برای مناطق با مواد زیرسطحی نفوذناپذیر، پوشش گیاهی کم و کوهستانی، بالا می‌باشد (Luo, 1900; Harlin and Wijeyawickrema, 1985). مقادیر تراکم زهکشی زیرحوضه‌های منطقه مورد مطالعه بین ۱/۲۵ تا ۱/۹۱ محاسبه شده است، که زیرحوضه شماره ۱ بیشترین مقدار تراکم زهکشی را دارا می‌باشد. این امر بیانگر نفوذپذیری پایین این زیرحوضه و در نتیجه حساسیت بالای فرسایش‌پذیری آن نسبت به سایر زیرحوضه‌ها می‌باشد.

فراوانی آبراهه: فراوانی آبراهه به‌طور مستقیم با برجستگی حوضه آبریز ارتباط دارد (Montgomery and Dietrich, 1989). مقادیر بالاتر فراوانی آبراهه نشان‌دهنده برجستگی بالا و ظرفیت نفوذپذیری کم بوده که به فرسایش بیشتر کمک می‌کند (Rather et al, 2017). در پژوهش حاضر زیرحوضه ۴ با مقدار ۲/۴۲۹ بالاترین فراوانی آبراهه را داشته که نشان‌دهنده حساسیت بالای این زیرحوضه از نظر فرسایش‌پذیری می‌باشد.

نسبت انشعاب: مقادیر بالاتر نسبت انشعاب نشان‌دهنده اوج اولیه هیدروگراف با پتانسیل سیل ناگهانی در طول حوادث طوفانی می‌باشد که منجر به تخریب و از دست رفتن خاک بالایی می‌شود (Kadam et al, 2019). در منطقه مورد مطالعه مقادیر نسبت انشعاب بین ۲/۸۸ تا ۴/۸ متغیر بوده است که زیرحوضه‌های ۱ و ۱۱ به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار را داشته‌اند.

بافت زهکشی: مناطقی که از ظرفیت نفوذپذیری پایینی برخوردار هستند باعث افزایش مقادیر بافت زهکشی شده که منجر به فرسایش بیشتر می‌شود (Rather et al, 2017).



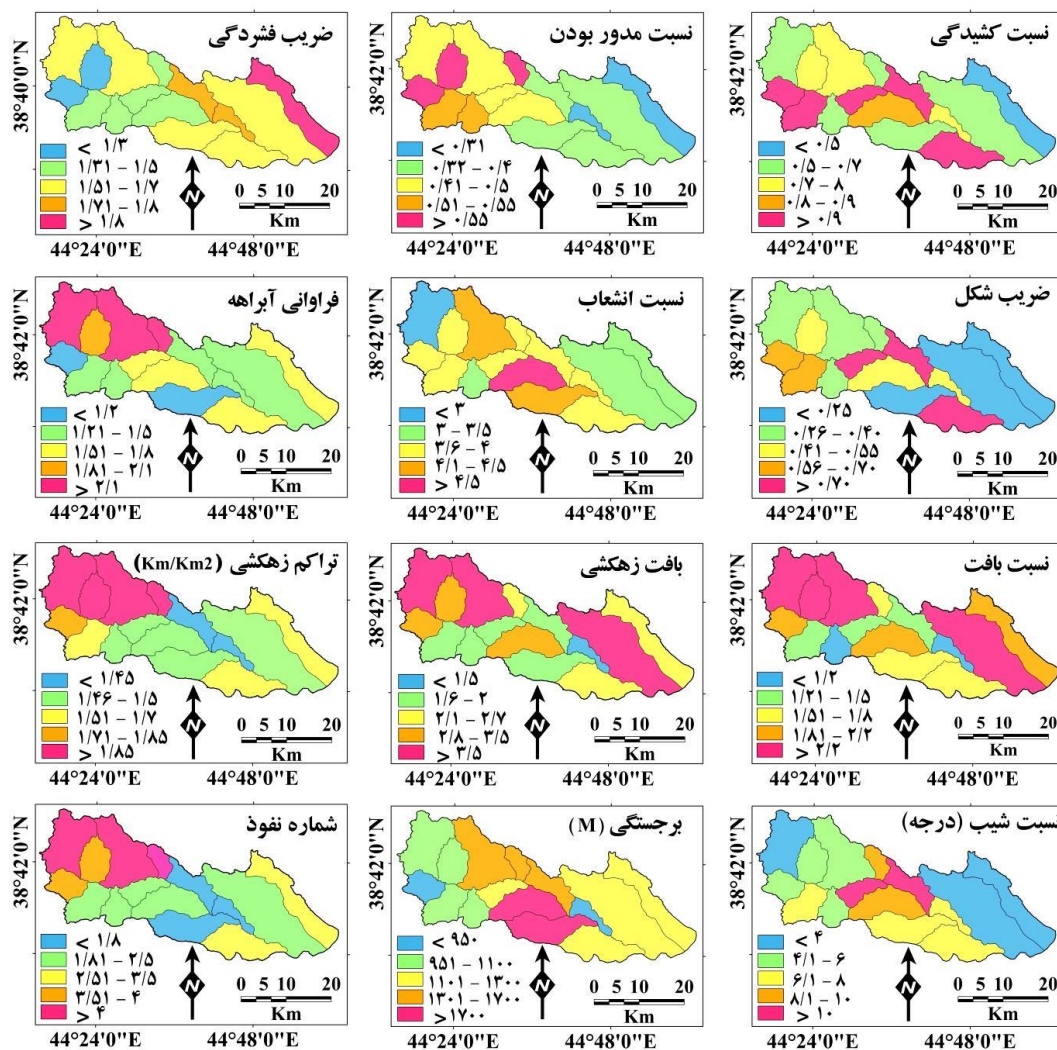
وجود دارد (Schumm, 1956). در منطقه مورد مطالعه کمترین میزان برجستگی با مقدار ۵۵۰ متر مربوط به زیرحوضه ۱۵ و بیشترین مقدار نیز با ۲۱۹۱ متر مربوط به زیر حوضه ۱۰ می‌باشد.

نسبت شیب: شیب حوضه یک پارامتر مورفومتریک از رابطه هیدرولوژیکی است که نشان‌دهنده شتاب جریان رواناب و زمان تمرکز آن می‌باشد (Mesa, 2006). شیب‌های تند از رواناب سطحی بالاتر و میزان نفوذپذیری کمی برخوردار هستند (Verstappen, 1983). زیرحوضه‌های ۵ و ۱۲ به ترتیب با ۱۲/۳ و ۱۱/۰۴ بیشترین مقادیر نسبت شیب را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهند. جدول ۲ مقادیر هر یک از کلاس‌های پارامترهای هیدروژئومورفیک و رتبه هر یک از کلاس‌ها را در ارزیابی فرسایش‌پذیری نشان می‌دهد.

بیشتر خواهد بود. مقادیر این پارامتر برای زیرحوضه‌های منطقه مورد مطالعه از ۰/۲۵ تا ۰/۶۳ متغیر بوده است که زیرحوضه ۸ کمترین مقدار و زیرحوضه ۲ نیز بیشترین مقدار را داشته‌اند.

ضریب شکل: این پارامتر رابطه معکوسی با فرسایش خاک دارد. به عبارت دیگر هر چه مقادیر این پارامتر کمتر باشد، خطر فرسایش خاک بیشتر خواهد بود (Kadam et al, 2019). در منطقه مورد مطالعه، زیرحوضه ۸ با مقدار ۰/۱۳ و زیرحوضه ۱۲ با مقدار ۰/۷۸ به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار ضریب شکل را داشته‌اند.

برجستگی: این پارامتر شیب آبراهه را کنترل می‌کند، در نتیجه بر مقدار حمل رسوب و الگوهای سیل تأثیر می‌گذارد (Hadely and Schumm, 1961). در واقع همبستگی قوی بین خصوصیات هیدرولوژیکی و برجستگی حوضه زهکشی



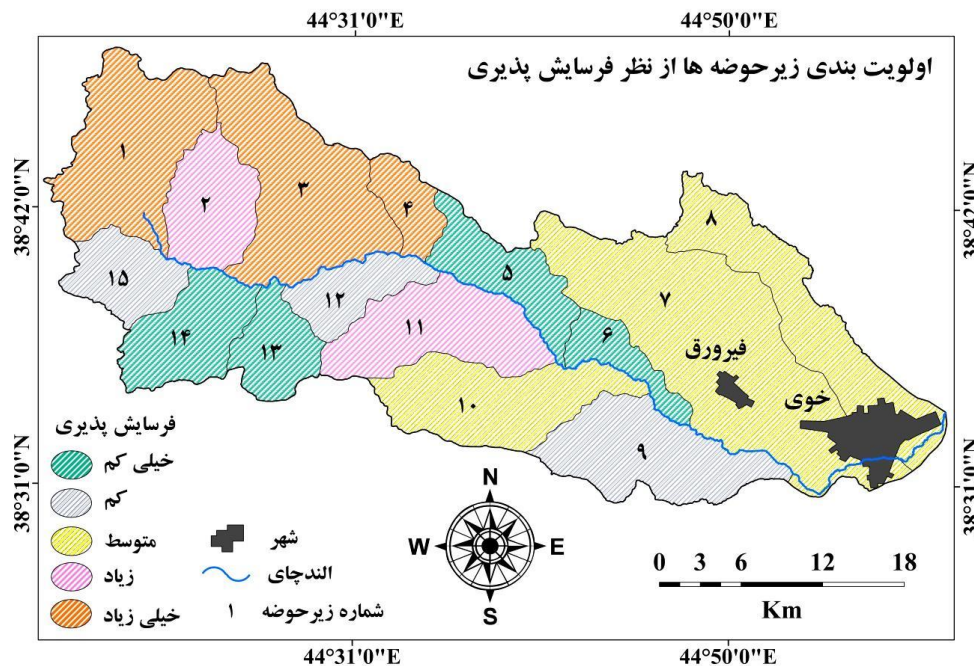
شکل ۴: لایه‌های اطلاعاتی پارامترهای هیدروژئومورفیک



۳۷	۳	۵	۵	۴	۴	۳	۱	۳	۲	۴	۱	۲	۱۰
۴۱	۴	۵	۳	۳	۲	۴	۲	۴	۴	۵	۳	۲	۱۱
۳۱	۵	۳	۱	۳	۱	۴	۲	۲	۲	۳	۳	۲	۱۲
۲۹	۲	۲	۴	۲	۴	۴	۲	۱	۲	۲	۲	۲	۱۳
۲۸	۳	۲	۲	۲	۱	۴	۲	۲	۲	۳	۲	۳	۱۴
۳۲	۲	۱	۲	۱	۱	۵	۴	۴	۴	۳	۱	۴	۱۵

در ادامه، نقشه نهایی اولویت بندی زیرحوضه‌ها از نظر حساسیت فرسایش پذیری در ۵ کلاس از حساسیت خیلی زیاد (۴۳ >)، زیاد (۳۹-۴۲)، متوسط (۳۳-۳۸)، کم (۳۳-۳۲) و خیلی کم (۳۰ <) تهیه شد (شکل ۵). نقشه نهایی براساس تحلیل خصوصیات هیدروژئومورفیک نشان می‌دهد که زیرحوضه‌های ۱، ۳ و ۴ بالاترین رتبه را دارا بوده که بیانگر فرسایش پذیری بالای این زیرحوضه‌ها نسبت به سایر زیرحوضه‌ها می‌باشد. این زیرحوضه‌ها از نظر تراکم زهکشی، فراوانی آبراهه، بافت زهکشی و شماره نفوذ بالاترین مقادیر را نشان می‌دهند که نشان‌دهنده تأثیر زیاد این پارامترها در فرسایش پذیر بودن آن‌ها می‌باشد. به عنوان مثال این زیرحوضه‌ها بالاترین مقادیر را از نظر شماره نفوذ نسبت به

سایر زیرحوضه‌ها دارا می‌باشند. از آنجا که شماره نفوذ پتانسیل ظرفیت نفوذ و همچنین ویژگی رواناب حوضه را نشان می‌دهد، نقش مهمی در شکل‌گیری آبراهه‌ها در سطح زیرحوضه‌ها دارد. بدین صورت که هر چه شماره نفوذ زیرحوضه‌ای بیشتر باشد، میزان نفوذپذیری آن کمتر بوده و در مقابل میزان تولید رواناب آن بیشتر خواهد بود. بنابراین می‌توان گفت که زیرحوضه‌های ۱، ۳ و ۴ به دلیل داشتن مقادیر بالاتر شماره نفوذ از ظرفیت نفوذپذیری خیلی پایینی برخوردار بوده و متعاقب آن ظرفیت تولید رواناب بالایی را دارا هستند که نقش مهمی در فرسایش پذیری این زیرحوضه‌ها دارند.



شکل ۵: نقشه اولویت بندی زیرحوضه‌ها از نظر حساسیت فرسایش پذیری

ENVI تهیه شد (جدول ۴). تفکیک مکانی ۳۰ متری تصاویر سنجنده نقشه بردار موضوعی ماهواره لندست برای بسیاری از کاربردهای رده بندی پوشش زمین مناسب است؛ زیرا این تفکیک باعث ایجاد یک اثر میانگین شده، ناهمگنی بسیاری از پوشش‌های زمین را کاهش داده، در عین حال،

#### بررسی تغییرات کاربری اراضی منطقه

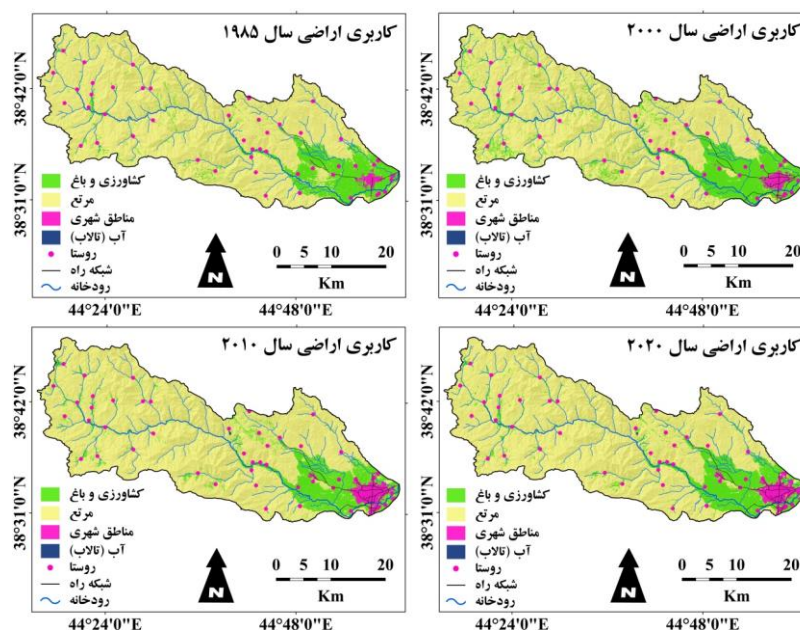
به منظور بررسی تغییرات کاربری اراضی منطقه، نقشه کاربری اراضی حوضه آبریز اندچای برای سال‌های ۱۹۸۵، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ و ۸ سنجنده‌های TM و OLI در محیط نرم‌افزار

کاربری اراضی حوضه آبریز الندچای در ۶ کلاس اصلی شامل زمین‌های کشاورزی و باغ، مراتع، مناطق ساخته شده (شهر- روستا)، پهنه‌های آبی (برکه‌ها و تالاب‌های موجود در سطح منطقه)، شبکه راه و رودخانه تهیه شده است (شکل ۶).

توصیف نسبتاً دقیق قطعه‌های زمین (مزارع، جنگل‌ها، مناطق شهری) و سیمای خطی مانند جاده‌ها را امکان‌پذیر می‌کند (فرهت‌جاه، ۱۳۸۱). پس از تعیین نمونه‌های تعلیمی و انتخاب مجموعه باندهای مناسب، با اعمال الگوریتم حداکثر احتمال بر روی تصاویر ماهواره‌ای، نقشه

جدول ۴: مشخصات تصاویر مورد استفاده در تحقیق

تاریخ تصویر	ماهواره	سنجنده	ردیف	گذر
۱۹۸۵/۰۸/۰۵	لندست ۵	TM	۳۳	۱۶۹
۲۰۰۰/۰۶/۰۵	لندست ۵	TM	۳۳	۱۶۹
۲۰۱۰/۰۷/۰۹	لندست ۵	TM	۳۳	۱۶۹
۲۰۲۰/۰۸/۲۱	لندست ۸	OLI-TIRS	۳۳	۱۶۹



شکل ۶: نقشه کاربری اراضی منطقه بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰

۲۰۰۰ و با گسترش روزافزون شهر خوی (توسعه شهرک-سازي و ساخت تأسیسات) و روستاهای اطراف آن و ادغام برخی روستاها با شهر خوی (مثل گسترش روستای بدل‌آباد) و تبدیل زمین‌های کشاورزی به مناطق شهری، شاهد روند نزولی در مساحت کاربری‌های کشاورزی و باغ هستیم. همچنین مساحت پهنه‌های آبی حوضه نیز تابع شرایط اقلیمی منطقه بوده و در سال‌هایی که بارندگی خوبی صورت گرفته، شاهد افزایش مساحت این مناطق بوده‌ایم. این پهنه‌های آبی به صورت تالاب یا برکه در زیرحوضه (بالادست روستای طوره) و زیرحوضه ۵ (نزدیکی روستای قریس) قرار دارند. مساحت و درصد مساحت هر یک از کاربری‌ها برای دوره آماری مورد مطالعه در جدول ۵ ارائه شده است.

به دلیل توپوگرافی خاص حوضه آبریز الندچای که به‌طور مشخص دو واحد کوهستان و دشت را شامل می‌شود، نقشه‌های تهیه شده نشان می‌دهد که مراتع و زمین‌های کشاورزی عمده‌ترین کاربری‌های منطقه را تشکیل می‌دهند. بررسی مساحت کلاس‌های هر یک از کاربری‌ها نشان می‌دهد که مساحت مراتع حوضه بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰ روند کاهشی داشته است. در مقابل با توسعه فیزیکی شهر خوی و فیرورق در طول دوره آماری مورد مطالعه شاهد روند افزایشی مساحت مناطق ساخته شده هستیم. کلاس کاربری کشاورزی و باغ هم در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ نسبت به سال ۱۹۸۵ روند افزایشی داشته است، اما بیشترین افزایش مساحت زمین‌های کشاورزی و باغ مربوط به سال ۲۰۰۰ می‌باشد. بعد از سال

جدول ۵: مساحت و درصد مساحت کاربری‌ها بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰

سال	کاربری		
	کشاورزی و باغ	مرتع	مناطق ساخته شده
۱۹۸۵	۱۵۷۱۳/۷	۹۷۹۷۶/۲	۱۰۲۸
	مساحت (هکتار)	درصد مساحت	آب (تالاب)
۲۰۰۰	۱۳/۷	۸۵/۳	۰/۰۰۹
	۱۸۷۷۵/۲	۹۴۲۱۵	۱۵/۶
۲۰۱۰	۱۶/۴	۸۲/۱	۰/۰۱۳
	۱۷۲۲۰/۲	۹۴۲۳۴/۷	۳۱۶۵/۲
۲۰۲۰	۱۵	۸۲/۲	۲/۷
	۱۷۲۱۶/۶	۹۴۱۰۶/۴	۳۳۹۳
	درصد مساحت	۸۲	۲/۹

### بررسی ارتباط تغییرات کاربری اراضی با فرسایش‌پذیری زیرحوضه‌ها

با تهیه نقشه حساسیت فرسایش‌پذیری زیرحوضه‌ها براساس پارامترهای هیدروژئومورفیک و همچنین استخراج کاربری‌های اراضی موجود در سطح منطقه، به منظور بررسی رابطه تغییرات کاربری اراضی با فرسایش‌پذیری منطقه اقدام به بررسی تغییرات کاربری اراضی در هر یک از زیرحوضه‌ها گردید. نتایج بررسی تغییرات هر یک از کاربری‌ها در دوره آماری مورد مطالعه برای زیرحوضه‌های ۱۵ گانه حوضه آبریز الوندچای در جدول ۶ ارائه شده است. این جدول روند تغییرات هر یک از کاربری‌ها را در سال ۲۰۲۰ نسبت سال ۱۹۸۵ به صورت روند افزایشی یا کاهش‌ی نشان می‌دهد. نتایج این بررسی نشان می‌دهد زیرحوضه‌هایی که روستاهای زیادی را در خود جای داده‌اند شاهد بیشترین تغییرات در کاربری اراضی هستند. این تغییرات در طول دوره آماری مورد مطالعه کاهش اراضی مرتعی را به نفع اراضی کشاورزی و باغات نشان می‌دهد. به عنوان مثال زیرحوضه شماره ۱ چنین وضعیتی را نشان می‌دهد. در این زیرحوضه هر کجا که توپوگرافی زمین شرایط شکل‌گیری زمین‌های پست و جلگه‌ای را در پایکوه‌ها فراهم آورده است در طول چند دهه اخیر توسط اهالی منطقه به زمین‌های کشاورزی تبدیل شده است. به طوری که افزایش مساحت زمین‌های کشاورزی در سال ۲۰۲۰ نسبت به سال ۱۹۸۵ بیش از دو برابر بوده است. از آنجا که این زیرحوضه از نظر پارامترهای هیدروژئومورفیک از حساسیت فرسایش‌پذیری بالایی برخوردار است این تغییر کاربری می‌تواند به تشدید فرسایش در سطح این زیرحوضه منجر گردد. در زیرحوضه‌هایی که شرایط توپوگرافی خشن و کوهستانی منطقه اجازه شکل‌گیری سکونتگاه‌های انسانی را

نداده و یا تعداد کمی از روستاها را در آن‌ها شاهد هستیم، تغییرات زیادی در کاربری اراضی این زیرحوضه‌ها صورت نگرفته است. به عنوان مثال زیرحوضه‌های شماره ۴ و ۱۱ فاقد روستا بوده و عمده کاربری آن‌ها مراتع می‌باشد و فقط در قسمت‌های پایین دست این زیرحوضه‌ها در اطراف رودخانه الوندچای زمین‌های کشاورزی به صورت خیلی محدود شکل گرفته است. این زیرحوضه‌ها نیز از نظر خصوصیات هیدروژئومورفیک از فرسایش‌پذیری بالایی برخوردار هستند. بنابراین می‌توان گفت که در صورت بهره‌برداری بیش از حد از ظرفیت مراتع این زیرحوضه‌ها جهت چرای دام‌ها در صورت وقوع بارندگی‌های شدید و سیل‌آسا، هدر رفت زیاد خاک را در اثر فرسایش آبی شاهد خواهیم بود. در زیرحوضه‌های ۷ و ۸ نیز تغییرات زیادی در کاربری این زیرحوضه‌ها در طول این سه دهه صورت گرفته است. اما این تغییرات برعکس زیرحوضه‌های بالادست بیشتر به کاهش سطح اراضی کشاورزی به نفع مناطق شهری بوده است. زیرحوضه ۸ بیشترین تغییر را از این نظر نشان می‌دهد. طی چند سال اخیر زمین‌های کشاورزی اطراف شهرهای خوی و فیروزق مورد دست‌اندازی انسان قرار گرفته و تبدیل به شهرک‌های مسکونی و مراکز تولیدی و صنعتی و همچنین توسعه خطوط ارتباطی شده است. از آنجا که در این نوع تغییر کاربری لایه سطحی خاک منطقه با مواد بتنی و آسفالت پوشیده می‌شود، امکان فرسایش خاک در این قسمت‌ها به مراتب کم‌تر شده است. بنابراین می‌توان گفت که در زیرحوضه‌های بالادست حوضه آبریز الوندچای تغییر کاربری اراضی (افزایش زمین‌های کشاورزی و باغات) و یا استفاده نامناسب و بیش از اندازه از ظرفیت منطقه، در تشدید فرسایش‌پذیری زیرحوضه‌ها می‌تواند نقش مؤثری داشته باشد.

جدول ۶: روند تغییرات کاربری اراضی زیرحوضه‌ها در سال ۲۰۲۰ نسبت به سال ۱۹۸۵

زیرحوضه	کلیتوزی و باغ	درصد تغییر	ر	درصد تغییر	آب (تالاب)	درصد تغییر	مناطق ساخته شده	درصد تغییر
۱	افزایشی	۱۰۴	کاهشی	-۳/۱۵	افزایشی	۱۵۴	-	-
۲	افزایشی	۳۱	کاهشی	-۱/۹	-	-	-	-
۳	افزایشی	۳۴/۳	کاهشی	-۰/۴۵	-	-	-	-
۴	بدون تغییر	-	بدون تغییر	-	-	-	-	-
۵	افزایشی	۶۲/۷	کاهشی	-۳/۲۸	افزایشی	۲۱/۵	-	-
۶	افزایشی	۲۷/۹	کاهشی	-۵/۱۵	-	-	-	-
۷	افزایشی	۳/۵۴	کاهشی	-۸/۶	-	-	افزایشی	۲۵۷
۸	کاهشی	-۱۹	کاهشی	-۳/۸۶	-	-	افزایشی	۲۰۸
۹	افزایشی	۳۰	کاهشی	-۵/۴	-	-	-	-
۱۰	افزایشی	۸/۸	کاهشی	-۰/۷۴	-	-	-	-
۱۱	کاهشی	-۳/۳	افزایشی	۰/۰۴	-	-	-	-
۱۲	افزایشی	۴۱/۸	کاهشی	-۰/۸۲	-	-	-	-
۱۳	افزایشی	۴۶/۵	کاهشی	-۱/۱	-	-	-	-
۱۴	افزایشی	۱۵	کاهشی	-۱	-	-	-	-
۱۵	افزایشی	۴/۸	کاهشی	-۰/۱۴	-	-	-	-

### نتیجه‌گیری

حوضه آبریز الندچای به دلیل موقعیت توپوگرافی خاص خود و دریافت بارش مناسب در طول سال و به خصوص در فصل بهار و همچنین داشتن خصوصیات ویژه هیدروژئومورفیک، از نظر پتانسیل فرسایش‌پذیری خاک جزو حوضه‌های با حساسیت بالا محسوب می‌شود. پژوهش حاضر تلاشی به منظور بررسی حساسیت فرسایش‌پذیری خاک در این حوضه بوده است. به همین منظور حساسیت فرسایش‌پذیری زیرحوضه‌ها با استفاده از پارامترهای هیدروژئومورفیک و روش رتبه‌بندی ژئومورفومتریک مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای مورد بررسی عبارت بودند از: تراکم هکشی، تناوب آبراهه، نسبت انشعاب، بافت زهکشی، نسبت بافت، شماره نفوذ، ضریب فشردگی، نسبت کشیدگی، نسبت مدور بودن، ضریب شکل، برجستگی و نسبت شیب. نتایج تحقیق نشان داد که ۵ زیرحوضه (زیرحوضه‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۱۱) از حساسیت فرسایش‌پذیری بالایی برخوردار هستند. این زیرحوضه‌ها ۳۹۵ کیلومتر مربع از مساحت حوضه را شامل می‌شوند که ۳۴ درصد از کل مساحت منطقه می‌باشد. در ادامه تحقیق جهت بررسی ارتباط تغییرات کاربری اراضی منطقه با فرسایش‌پذیری زیرحوضه‌ها، نقشه‌های کاربری اراضی

حوضه آبریز بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و در نرم‌افزار ENVI استخراج گردید. تغییرات کاربری هر یک از کلاس‌ها در طول این دوره مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان‌دهنده یک روند کاهشی در مساحت مراتع حوضه بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰ بوده است. در مقابل با توسعه فیزیکی شهر خوی و فیرورق در طول دوره‌ی آماری مورد مطالعه شاهد یک روند افزایشی در مساحت مناطق ساخته‌شده بودیم. به‌طور کلی می‌توان گفت با توجه به فرسایش‌پذیری بالای زیرحوضه‌ها از نظر پارامترهای هیدروژئومورفیک، تغییرات کاربری اراضی منطقه به صورت غیراصولی و بدون توجه به پتانسیل منطقه باعث تشدید فرسایش خاک منطقه خواهد شد. بنابراین احیای مراتع و پوشش گیاهی منطقه و جلوگیری از استفاده بیش از حد از ظرفیت مراتع جهت افزایش میزان نفوذپذیری دامنه‌ها به منظور کاهش سرعت شکل‌گیری رواناب‌های سطحی و در نتیجه کاهش فرسایش خاک ضروری به نظر می‌رسد.

### سپاسگزاری

تحقیق حاضر برگرفته از نتایج رساله دکتری در دانشگاه تبریز می‌باشد و از طرف صندوق حمایت از پژوهشگران و

بدین وسیله از آن‌ها قدردانی می‌شود.

فناوران کشور (Iran National Science Foundation: )  
با کد ۹۸۰۲۷۶۵۲ حمایت مالی شده است، که (INSF)

## پانویس

1-Stream frequency  
2-Bifurcation ratio  
3-Drainage density  
4-Drainage texture  
5-Texture ratio  
6-Infiltration Number

7-Compactness coefficient  
8-Circulatory ratio  
9-Elongation ratio  
10-Form factor  
11-Relief  
12-Gradient

## منابع (References)

- Altaf, S., Meraj, G. and Romshoo, A.A., 2014. Morphometry and land cover based multi-criteria analysis for assessing the soil erosion susceptibility of the western Himalayan watershed, *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 186(12), p. 8391-8412. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4012-2>.
- Amani, M. and Najafinejad, A., 2014. Prioritization of Sub-Watersheds based on Morphometric Analysis, GIS and RS Techniques: Lohandar Watershed, Golestan Province, *Journal of Watershed Management Research*, v. 5(9), p. 1-14 (in Persian).
- Bisht, S., Chaudhry, S., Sharma, S. and Soni, S., 2018. Assessment of flash flood vulnerability zonation through Geospatial technique in high altitude Himalayan watershed, Himachal Pradesh India, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v. 12, p. 35-47. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.09.001>.
- Bolstad, P.V. and Lillesand, T.M., 1991. Rapid maximum likelihood classification, *Photogramm. Eng. Remote Sens*, v. 57(1), p. 67-74.
- CSIRO., 2003. Australia Advances Soil Cancer, Series Eight, Internet.
- Dar, R.A., Chandra, R. and Romshoo, S.A., 2013. Morphotectonic and Lithostratigraphic analysis of Intermontane Karewa basin of Kashmir Himalayas, India. *Journal of Mountain Science*, v. 10(1), p. 1-15.
- Doe, W.W. and Jones, D., 1999. the soil erosion model guide for military land managers: analysis of erosion model foe natural and cultural resources applications. U.S. Armeey Engineer Waterways Experiment Station, Technical Report.
- Fallah, M., Mohammadi, M. and Kavian, A., 2015. Prioritization of Sub-watersheds using Morphometric and Land Use change Analysis, *Journal of EcoHydrology*, v. 2(3), p. 261-274 (in Persian).
- Faniran, A., 1968. the index of drainage intensity – a provisional new drainage factor. *Australian Journal of Science*, v. 31, p. 328-330.
- Farhan, Y. and Anaba, O., 2016. Flash flood risk estimation of Wadi Yutum (Southern Jordan) watershed using GIS based morphometric analysis and remote sensing techniques, *Open J Mod Hydrol*, v. 6(02), p. 79-100.
- Farhatjah, B., 2002. Remote sensing and geographic information systems, *Publications of the Geographical Organization*, 280 p (in Persian).
- Fatemi, S.B. and Rezaei, Y., 2012. Fundamentals of remote sensing, Azadeh publications, Third edition, 296 p (in Persian).
- Feng, X., Wang, Y., Cheng, L., Fu, B. and Bai, G., 2010. Modeling soil erosion and response to land use change in hilly catchments of the Chinese loess plateau, *Geomorphology*, v. 118(3-4), p. 239-248.
- Hadely, R.F. and Schumm, S.A., 1961. Sediment sources and drainage basin characteristics in upper Cheyenne River basin. United States Geological Survey water-supply paper, 1531-B. Washington, DC: US Government Printing Office, p. 137-196.
- Harlin, J.M. and Wijeyawickrema, C., 1985. Irrigation and groundwater depletion in Caddo County, Oklahoma. *J Am Water Resour Assoc* v. 21(1), p. 5-22.
- Horton, R.E., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins;

- hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the Geological Society of America*, v. 56(3), p. 275-370.
- Kadam, A.K., Jaweed, T.H., Kale, S.S., Umrikar, B.N. and Sankhua, R.N., 2019. Identification of erosion-prone areas using modified morphometric prioritization method and sediment production rate: a remote sensing and GIS approach. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, v. 10(1), p. 986-1006. <https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1555189>.
- Kiran, V.S.S. and Srivastava, Y.K., 2012. Check dam construction by prioritization of micro watershed, using morphometric analysis as a perspective of remote sensing and GIS for Simlapal Block, Bankura, W.B. *Bonfring Int Ind Eng Manag Sci*, v. 2(1), p. 20-31.
- Lillesand, T.M. and Kiefer, P.W., 1994. *Remote sensing and image interpretation*, John Wiley & Sons, Inc, USA.
- Lim, K.J., Sagong, M., Engel, B.A., Tang, Z., Choi, J. and Kim, K.S., 2005. GIS based sediment assessment tool. *Catena*, v. 64(1), p. 61-80.
- Luo, W., 1900. Quantifying groundwater sapping landforms with a hypsometric technique. *Journal of Geophysical Research*, v. 105, p. 1685-1694.
- Mausel, P.W., Kramber, W.J. and Lee, J.K., 1990. Optimum band selection for supervised classification of multispectral data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 56, p. 55-60.
- Mesa, L.M., 2006. Morphometric analysis of a subtropical Andean basin (Tucuman, Argentina), *Environ. Geol*, v. 50 (8), p. 1235-1242.
- Montgomery, D.R. and Dietrich, W.E., 1989. Source areas, drainage density, and channel initiation, *Water Resources Research, Geography Journal*, v. 25, p. 1907-1918.
- Morgan, R.P.C. and Nearing, M.A., 2011. The future role of information technology in erosion Modeling-Hand Book of Erosion Modeling, <http://onlinelibrary.wiley.com>, <https://doi.org/10.1002/9781444328455.ch1>.
- Pant, N., Kumar Dubey, R., Bhatt, A., Prakash Rai, S., Semwal, P. and Mishra, S., 2020. Soil erosion and food hazard zonation using morphometric and morphotectonic parameters in Upper Alaknanda river basin, *Natural Hazards*, v. 103, p. 3263-3301. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04129-y>.
- Mokarram, M., Darvishi, A. and Negahban, S., 2017. The Relation between Morphometric Characteristics of Watersheds and Erodibility at different altitude levels using Topographic Position Index (TPI) Case Study: Nazloochoaei Watershed, *Journal of Geographical Data (SEPEHR)*, v. 26(101), p. 131-142 (in Persian).
- Rahimour, T., Rezaei Moghaddam, M.H., Hejazi, S.A. and Valizadeh Kamran, K., 2022. Spatial Variations Analysis of Flood Hazard Susceptibility based on a new ensemble model (Case study: Aland Chai Basin, Khoy city). *Enviornmental Hazards management*, v. 8(4), p. 371-393 (in Persian).
- Rahimpour, T., 2022. Spatial Variations Analysis of Flood Hazard Susceptibility and Soil Erosion Based on Hydrogeomorphic Approaches (Case study: Aland Chai Basin, North West of Iran). Ph. D Thesis, Faculty of Planning and Environmental Scinces, University of Tabriz, 167 p (in Persian).
- Rasouli, A., 2008. Fundamentals of applied remote sensing. University of Tabriz, 703 p (in Persian).
- Rather, M.A., Satish Kumar, J., Farooq, M. and Rashid, H., 2017. Assessing the influence of watershed characteristics on soil erosion susceptibility of Jhelum basin in Kashmir Himalayas, v. 10(59), p. 1-25. <https://doi.org/10.1007/s12517-017-2847-x>.
- Refahi, H., 2006. *Water erosion and its control*. Tehran University Publications, 674 p (in Persian).
- Rezaei Moghaddam, M.H., Hejazi, S.A., Valizadeh Kamran, K. and Rahimpour, T., 2020. Study of Hydrogeomorphic Indices in Flood Sensitivity (Case study: Aland Chai Basin, Northwest of Iran), *Quantitative Geomorphological Research*, v. 9(2), p. 195-214 (in Persian).
- Roostaei, Sh., Nikjou, M. and Habib Zadeh, A., 2010. Investigating soil erodibility in Bejoshan Chai watershed using fuzzy theory and geographic information system, *Geography and planning*. v. 15(33), p. 147-173 (in Persian).
- Schumm, S.A., 1956. *Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey*. Geological Society of America Bulletin, v. 67(5), p. 597-646. [http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)67\[597:EODSAS\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2).
- Saghafi, M. and Rezaei Moghaddam, M.H., 2017. Fundamentals of Fluvial Geomorphology, Tehran. *Samt*, 442 p (in Persian).



- Singh, N. and Singh, K.K., 2017. Geomorphological analysis and prioritization of subwatersheds using Snyder's synthetic unit hydrograph method. *Applied Water Science*, v. 7(1), p. 275-283. <https://doi.org/10.1007/s13201-014-0243-1>.
- Toy, T.J., Foster, G.R. and Renard, K.G., 2002. *Soil erosion: processes, prediction, measurement, and control*. John Wiley and Sons, New York.
- Verstappen, H., 1983. *The applied geomorphology*. Enschede (The Netherlands). International Institute for Aerial Survey and Earth Science (ITC).
- Wang, L., Huang, J., Du, Y., Hu, Y. and Han, P., 2013. Dynamic Assessment of Soil Erosion Risk Using Landsat TM and HJ Satellite Data in Danjiangkou Reservoir Area, China. *Remote Sensing*, v. 5, p. 3826-3848.
- Youssef, A.M., Pradhan, B. and Hassan, A.M., 2011. Flash flood risk estimation along the St. Katherine Road, Southern Sinai, Egypt using GIS based morphometry and satellite imagery. *Environ Earth Sci*, v. 62, p. 611-623.