FANPAYA
Knowledge Based Company
(PUBLISHERS)

Journal of Environmental Sciences Studies (JESS)
Volume 10, Number 2, Summer, (2025)

Journal Homepage: www.jess.ir
Print ISSN: 2588-6851 Online ISSN: 2645-520X

Evaluation of hydrogeomorphological and physiographic features of Kabir Rood watershed using RS and GIS techniques

Mahtab Ahmadi[1*]

[*]1. M.A, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
[*]Email Address: Ahmadi.mahtab221170@gmail.com

Article Info

Article Type:
Research Paper

Article History:

Received Date:
2024/07/18
Revised Date:
2024/07/27
Accepted Date:
2024/08/03
Published Date:
2025/07/26

Keywords:
Hydrogeomorphology,
physiography,
vegetation,
slope curvature,
Kabir River watershed.

ABSTRACT

Knowing the physical characteristics of the watershed is one of the first steps that is necessary in morphological and hydrological investigations. Therefore, the purpose of this research is to evaluate the hydrogeomorphological and physiographic characteristics of Kabir Rood watershed using RS and GIS techniques. In this regard, by using Landsat 8 satellite images, the topographic map of the area and the use of the digital elevation model of the land to prepare slope factors, slope direction, DEM, land use and vegetation. In the next step, using the tail of the region, maps of domain curvature, surface curvature, and cross-section curvature were prepared. The results of the factors showed that the highest point of the study area with a height of 3364 meters is located in the northeast and parts of the south of the study basin and the lowest point of the study area with a height of about 851 meters is located in the central parts of the basin. In the studied basin, 50% of the total area of the study area is in the 25 to 40 slope class, which is the same and evident in most parts of the region. The slope above 120% in the northern and southern halves is due to the processes of the river trough and the unevenness of this part. Examining and interpreting the directions obtained from the map shows that the watershed area of Kabir River is mostly on slopes with the northwest direction with an area of 25682400 square meters (17.20%), the west with an area of 25492500 square meters (17.08), the north with an area of 20329200 square meters (13.62 percent) are located. On the other hand, in order to prepare and classify the land use map of the studied basin, the support vector machine method was used.

Cite this article: Mahtab Ahmadi (2025). Evaluation of hydrogeomorphological and physiographic features of Kabir Rood watershed using RS and GIS techniques , Journal of Environmental Sciences Studies , 10(2) , Pages 10098-10109.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Physiography and topography of basins, including height and slope, can be used for many weather factors such as temperature and its changes, the type of investigation and recognition of physiographic and hydrogeomorphic characteristics of basins in the field of various issues such as watershed estimation, basins, flood forecasting, watershed management In order to reduce the damage caused by the flood event, it is important to manage water resources, plan for dam utilization, build bridges and crossing structures and other water resources and watershed management projects. Among natural hazards, floods are more threatening than other hazards in the world . In addition to human factors, geology and the type of formations, soil, vegetation, amount and type of precipitation, the shape of the basin, the slope of the basin, the state of drainage networks and river characteristics, are among the most important factors and physiographic and morphometric parameters that play a role in the flooding of basins. The watershed as a framework and geomorphological unit includes river morphosystems, which Shum (1985) defines as a wide area including divided drains in the place of water and sediment accumulation, channel path and valleys of the drainage basin and the sediment deposition area of the same oceans.

Materials and methods

This area is a part of the watershed of the Kabir River and geologically it is located in the heights of North Alborz and Central Alborz. The foothills not only comprise the majority of the natural landscape, but also provide a complete part of the drainage system, providing water and sediment for the river. Curvature is defined as a three-dimensional property of a two-dimensional surface and indicates the degree of surface deviation from flatness, or in other words, the convexity and concavity of the domain. As the curvature increases, the tensile force increases along the surface and causes fractures. By using numerical values and derivatives obtained from DEM such as slope, profile curvature, plan curvature, transverse curvature and general curvature of the domain, physiographic features and hydrogeomorphology are extracted.

Results and discussion

Analysis of hydrogeomorphological and physiographic factors of the studied area: Geological formations: The geological layer of the area is created from the 1:250,000 geological layer by creating a polygon (UTM system) and completing the information table in Arc Map. After classifying the geological layer, the area and the percentage of the area of each of the layers obtained, which can be seen according to table (1), most of the area is shale and sandstone with an area of 78206036.76 square meters (86.94%), massif limestone with orbitulin. (Tizkoh Formation) with an area of 4205469.20 square meters (0.17 percent). Most of the study area of the basin is located in Mesozoic and Cambrian-Jurassic geological periods. The north and south-west parts are made up of different rocks, the most important of which, after the mentioned ones, is limestone.

Conclusion

Among the most important physical characteristics of a watershed, we can mention the area, height, slope, direction of slope, land use, vegetation, slope curvature indices, surface curvature, and cross-sectional curvature. On the other hand, it is very important to investigate and understand hydrogeomorphological factors and characteristics and how they affect watershed management in order to reduce damage caused by hazards. Therefore, the aim of this research is to evaluate the hydrogeomorphological and physiographic features of the Kabir River watershed using RS and GIS techniques. In this regard, topographic, geological and Landsat 8 satellite images from 1403 were used to extract and produce operational maps. Therefore, the slope map of the area was produced using DEM (30 meters) slope map. Most of the limited area of the studied case is located between 25 and 75 percent. More than 42,000,000 square meters, which is equivalent to 50% of the total area of the study area in the 25 to 40 slope class, which is the same and evident in most parts of the region. The slope above 120% in the northern and southern halves is due to the processes of the trough of the river and the unevenness of this part. In the present study, the slope direction was determined using Arc GIS software and divided into eight groups of main and sub-geographical directions.

مجله مطالعات علوم محیط زیست
جلد ۱۰، شماره ۲
Journal Homepage:www.jess.ir
شاپای چاپی: 2588-6851 شاپای الکترونیکی: 2645-520X

FANPAYA
Knowledge Based Company
(PUBLISHERS)

ارزیابی ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژی و فیزیوگرافی حوضه آبخیز کبیر رود با استفاده از تکنیک‌های RS و GIS

مهتاب احمدی[*۱]

*۱-کارشناس ارشد، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
*ایمیل نویسنده مسئول: Ahmadi.mahtab221170@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله علمی پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۳/۰۴/۲۸
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۳/۰۵/۰۶
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۳/۰۵/۱۳
تاریخ انتشار:
۱۴۰۴/۰۵/۰۴

کلید واژه ها:
هیدروژئومورفولوژی،
فیزیوگرافی،
پوشش گیاهی،
انحناء دامنه،
حوضه آبخیز کبیر رود.

چکیده

شناخت خصوصیات فیزیکی حوضه آبخیز از اولین گام‌هایی است که در بررسی‌های مورفولوژیکی و هیدرولوژیکی ضرورت دارد. بنابراین هدف از این پژوهش ارزیابی ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژی و فیزیوگرافی حوضه آبخیز کبیر رود با استفاده از تکنیک‌های RS و GIS می‌باشد. در این راستا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، نقشه توپوگرافی منطقه و استفاده از مدل رقومی ارتفاعی زمین نسبت به تهیه عوامل شیب، جهت شیب، DEM، کاربری اراضی و پوشش گیاهی گردید. در گام بعد نیز با استفاده از دم منطقه اقدام به تهیه نقشه‌های شاخص انحناء دامنه، انحناء سطح، انحناء مقطع گردید. نتایج عوامل نشان داد که بلندترین نقطه منطقه مورد مطالعه با ارتفاع ۳۳۶۴ متر در شمال شرقی و قسمت‌های از جنوب حوضه مطالعه و پست‌ترین نقطه منطقه مورد مطالعه با ارتفاع حدودا ۸۵۱ متر در قسمت‌های مرکزی حوضه واقع شده است. در حوضه مورد مطالعه ۵۰ درصد از کل مساحت محدوده مطالعاتی در طبقه شیب ۲۵ تا ۴۰ تشکیل داده که این روند در اکثر نقاط منطقه یکسان و مشهود است. شیب بالای ۱۲۰ درصد در نیمه های شمالی و جنوبی، در اثر فرآیندهای خط القعر رودخانه و ناهمواری های این قسمت است. بررسی و تفسیر جهات حاصله از نقشه بیانگر آن است که حوزه آبخیز کبیر رود بیشتر بر روی دامنه هایی با جهت شمال غرب با مساحت ۲۵۶۸۲۴۰۰ مترمربع (۱۷/۲۰ درصد)، غرب با مساحت ۲۵۴۹۲۵۰۰ مترمربع (۱۷/۰۸)، شمال با مساحت ۲۰۳۲۹۲۰۰ مترمربع (۱۳/۶۲ درصد) واقع شده‌اند. از طرفی به منظور تهیه و طبقه‌بندی نقشه کاربری اراضی حوضه مورد مطالعه از روش ماشین بردار پشتیبان استفاده شد.

ناشر: انتشارات فن پایا

DOI: 10.22034/JESS.2024.468459.2276

۱-مقدمه

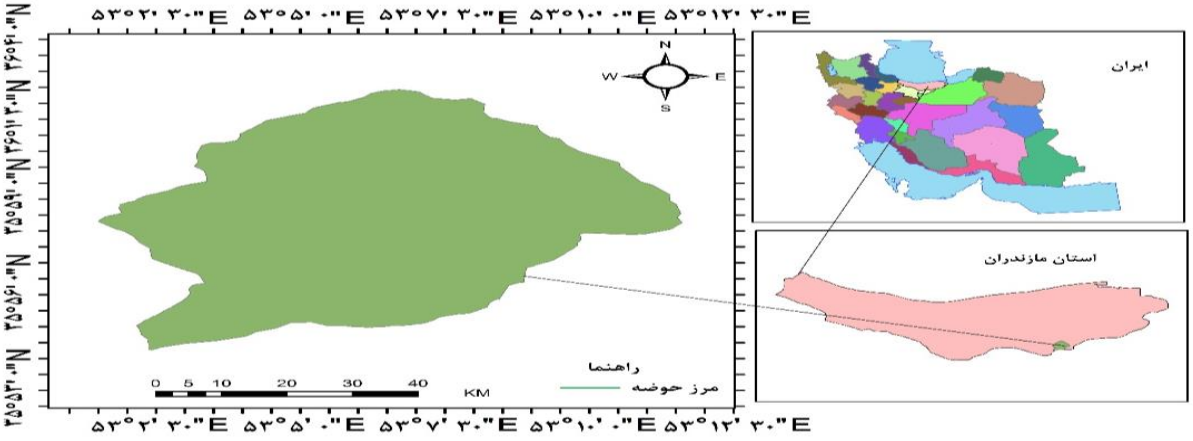
فیزیوگرافی و توپوگرافی حوضه‌ها از جمله ارتفاع و شیب می‌تواند بسیاری از عوامل آب و هوایی همچون درجه حرارت و تغییرات آن، نوع بررسی و شناخت ویژگی‌های فیزیوگرافی و هیدروژئومورفیک حوضه‌ها در زمینه مسایل مختلفی از جمله تخمین آبدهی، حوضه‌ها، پیش‌بینی روند سیلاب، مدیریت حوضه‌های آبریز در جهت کاهش خسارت ناشی از رخداد سیل، مدیریت منابع آب، برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری از سده، احداث پل‌ها و سازه‌های تقاطعی و سایر پروژه‌های منابع آب و آبخیزداری حائز اهمیت می‌باشد. در بین مخاطرات طبیعی سیلاب‌ها تهدیدآمیزتر از سایر مخاطرات در جهان هستند. علاوه بر عوامل انسانی، زمین شناسی و نوع سازندها، خاک، پوشش گیاهی، میزان و نوع بارش، شکل حوضه، شیب حوضه، وضعیت شبکه‌های زهکشی و ویژگی‌های رودخانه‌ای، از مهمترین عوامل و پارامترهای فیزیوگرافی و مورفومتری هستند که در سیل‌خیزی حوضه‌ها نقش دارند. حوضه آبخیز به عنوان یک چارچوب و واحد ژئومورفولوژیک دربرگیرنده مورفو سیستم‌های رودخانه‌ای است که شوم (۱۹۸۵) آن را منطقه و سیعی شامل زهکش‌های تقسیم شده در محل تجمع آب و رسوبات، مسیر کانال و دره‌های حوضه زهکش و منطقه نهشته گذاری رسوبات همون اقیانوس‌ها تعریف می‌کند. به دلیل تبادلات انرژی و ماده‌ای که این حوضه‌ها در قلمرو خود دارند می‌تواند به عنوان یک سیستم باز قلمداد گردند. از طرفی ماده و اطلاعات در یک حوضه آبریز با محیط پیرامونش الگو و وضعیت آرایش زهکش‌ها در یک حوضه نیز می‌تواند حاکی از حاکمیت قواعد و اصول سیستمی در آن‌ها باشد . با توجه به این که خصوصیات و میزان ریزش جوی سالانه و میزان تبخیر و تعرق را تشدید و یا تبدیل کنند و به‌طور کلی موجب پیدایش انواع آب و هوای موضعی یا منطقه‌ای شوند. خصوصیات فیزیکی حوضه‌های آبریز نه فقط به‌طور مستقیم بر روی رژیم هیدرولیک و میزان تولید آبی سالیانه، حجم سیلاب‌ها، شدت فرسایش خاک و میزان رسوب تولیدی اثر می گذارد بلکه غیر مستقیم نیز با تاثیر بر آب و هوا و پوشش گیاهی به میزان زیادی رژیم آبی حوضه آبریز را تحت تاثیر قرار می‌دهد. تاکنون مطالعات زیادی در خصوص خصوصیات هیدروژئومورفولوژی و مورفومتری حوضه‌های آبخیز در خارج و داخل کشور انجام شده است برای مثال، Weiss (۲۰۰۶)، با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی طبقه‌بندی لندفرم‌ها را انجام داد و به این نتیجه رسید که این روش بسیار آسان و دقیق‌تر از روش‌های معمولی برای طبقه‌بندی لندفرم‌هاست. Melesse (۲۰۰۷)، در پژوهشی به بررسی خصوصیات شبکه زهکشی و هیدرولوژیکی با استفاده از GIS و RS پرداخته و نهایتا پس از بررسی رابطه بین خصوصیات مورفومتری و هیدرولوژیکی اقدام به انتخاب مهم‌ترین خصوصیاتی مورفومتری حوضه نمود که بیش‌ترین تاثیر را بر روی هیدرولوژی حوضه دارد. Barenhard (۲۰۰۸)، در پژوهشی دیگر با استفاده از تکنیک سامانه اطلاعات جغرافیایی به استخراج عناصر شکل زمین براساس خصوصیات توپوگرافی استخراج شده از DEM پرداخت و در این طبقه‌بندی خصوصیات سطح زمین را به عوارضی مانند کوهستان، پلایا، دره‌ها تقسیم نمود. Singh و همکاران (۲۰۰۹)، با استفاده از ۱۳ پارامتر فیزیوگرافی ۱۶ حوضه آبخیز را در منطقه چامبال در کشور هند را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که آن‌ها آنالیز مولفه اصلی را به‌منظور استخراج مهم‌ترین پارامترهای فیزیوگرافی به‌کار بردند، و نتیجه گرفتند که فاکتورهای فیزیوگرافی مهم در داخل گروه‌های یکسانی دسته‌بندی شده‌اند. Chartin و همکاران (۲۰۱۱)، نسب به طبقه‌بندی عوامل فیزیوگرافی و لندفرم‌ها با استفاده از مدل رقومی ارتفاع و ضخامت خاک در جنوب پاریس در فرانسه انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که با استفاده از علم مورفومتری می‌توان لندفرم‌ها را طبقه‌بندی و خاک‌های منطقه را براساس ضخامت از یکدیگر متمایز نمود. عزتیان و دانشور (۱۳۹۱) با هدف بررسی خصوصیات هیدروژئومورفولوژی حوضه آبخیز خیرآباد پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که بررسی عوامل فیزیوگرافی، هیدرولوژی، ژئومورفولوژی، زمین شناسی، آب و هواشناسی، خاک و پوشش گیاهی و بررسی‌های میدانی در حوضه نقش بارز آب‌های جاری در تکوین و توسعه اشکال ژئومورفولوژی موجود در حوضه را نمایان می سازد. احمدی‌فرد (۱۳۹۴)، ویژگی‌های فیزیوگرافی حوضه آبریز ماروسک را با استفاده از GIS مورد بررسی قرار داد. یافته آن‌ها نشان داد که طبقات با شیب ۲۰-۱۶ درصد مساحتی برابر با ۳۲/۰۴ کیلومتر مربع در بر می‌گیرند دارای بیش‌ترین درصد فراوانی می‌باشند. از طرفی بیش‌ترین جهت شیب لایه‌ها در این حوضه به سمت غرب و تراکم زهکشی در این نیز ۴/۶۵ کیلومتر مربع به دست آمد. قادری و همکاران (۱۳۹۵)، به منظور تجزیه و تحلیل خصوصیات هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی حوزه آبخیز کن در تهران مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن ها حاکی از این بود که، هر تغییری در ورودی‌های حوضه باعث تغییر در خروجی سیستم می شود و بواکنش‌های متفاوتی را ایجاد می‌کند. همچنین در صورت رعایت اصول و مدیریت جامع آبخیزداری و حفاظت از آب و خاک هر چند ممکن است بازخورد منفی از قبیل تولید محصول کمتر ایجاد کند اما این بازخورد منفی در دراز مدت باعث پایداری و تعادل حوضه می‌شود. قنواتی و همکاران (۱۳۹۵)، به منور بررسی ویژگی های هیدروژئومورفولوژیک حوضه‌های آبریز کلان‌شهر تهران پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که به علت تاثیرات خصوصیات فیزیوگرافیک حوضه‌های آبریز مسلط بر کلان‌شهر تهران، از جمله شکل حوضه، مساحت و طول کم آبراهه‌های اصلی، وجود اختلاف ارتفاع و شیب زیاد شمالی-جنوبی، فاصله کم بین حوضه دریافت و بخش خروجی حوضه‌ها و رواناب‌های حاصل از بارندگی در مدت زمان اندک وارد پیکره

شـــهری می‌گردد. گورابی و همکاران (۱۳۹۷)، با هدف ارزیابی تاثیر تغییرات هیدروژئومورفولوژی و کاربری زمین در پایداری آبراهه زنجان‌رود انجام دادند. نتایج پژوهش نشـــان داد که برایند کنش – واکنش عوامل موثر بر تغییرات زنجان‌رود در محدوده مورد مطالعه طی ۵۶ سال گذشته روند نسبتا پایداری داشته است. مهم‌ترین عوامل دخیل در این روند توسعه کشاورزی، گسترش اقدامات مدیریتی جهت تثبیت آبراهه با مقاصـد کشـاورزی و زیر سـاختی و احداث سـد بوده اسـت. از طرفی تاثیر عامل شـیب و شـرایط زمین‌شـناختی نیز قابل چشم‌پوشی نیست. جعفری و ناصری (۱۳۹۸)، تاثیر ارتفاع بر خصوصیات فیزیوگرافی زیرحوضه‌های آهکی در ارتفاعات زاگرس ایران مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان‌دهنده این بود که بررسی خصوصیات فیزیوگرافی حوضه‌ها در زمینه ارتفاع نشان می‌دهد که کشیدگی و طول زیرحوضه‌ها با افزایش ارتفاع در کل زاگرس با ضریب تبیین ۰/۵ بیش‌تر می شود. نتایج حاصل شده نشان می‌دهد که افزایش ضـــریب کشـــیدگی و طول حوضـــه در مناطق آهکی دال بر انحلال بیش‌تر اســـت. مددی و همکاران (۱۳۹۹)، ارتباط بین ویژگی‌های ژئومورفیک و میزان تولید رسوب در حوضه آبخیز نیرای پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که از بین ۲۵ متغیر موثر بر تولید رسوب هار عامل مساحت، ضریب فرم حوضه، محیط و دبی به ترتیب با مقدار ۳۷/۷۸، ۲۵/۴۷، ۱۸/۵۰ و ۱۱/۲۲ درصد از واریانس تمامی متغیرهای پژوهش را تبیین کند. جعفری و ناصری (۱۴۰۰)، خصوصیات فیزیوگرافی حوضه‌های زاگرس را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که شرایط اقلیمی مختلف باعث تییر عملکرد انحلال و در نتیجه تغییر شکل فیزیوگرافی زیرحوضه‌های کارستی شده است؛ به این صورت که در مناطق مرتفع‌تر به دلیل دمای پایین‌تر عمل انحلال بیشتر در عمق متمرکز شده تا در سطح و اشکال کارستی – یخچالی ایجاد کرده است. بابلی موخر و نگهبان (۱۴۰۰)، جهت بررسی ویژگی‌های فرمی سطح زمین براساس شاخص‌های مورفومتری و با استفاده از GIS در حوضه آبخیز فهلیان را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاصل از محاسبه انحنا کل نشان می‌دهد که بیش از نیمی از سطح حوضه (۵۰/۸۰) دارای انحناء مقعر و ۴۷/۲۰ درصـد آن از انحناء محدب برخوردار می‌باشـد. حوضـه آبخیز رودخانه کبیر رود یکی از مهمترین حوضـه‌های آبخیز استان مازندران است که نقش حیاتی در تامین آب شرب، کشاورزی و صنعت منطقه دارد. بنابراین این حوضه در معرض تهدیدات مختلفی از قبیل فرسایش خاک، سیل، آلودگی و تغییر کاربری اراضی قرار دارد. لذا آگاهی از ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژی و فیزیوگرافی حوضه آبخیز برای مدیریت پایدار منابع آب ضروری است. این اطلاعات می‌تواند برای درک فرایندهای هیدرولوژیکی، شناسایی مناطق در معرض خطر و توســـعه برنامه‌های مدیریت منابع آب اســـتفاده شـــود. بنابراین با توجه به مطالب ذکرشـــده هدف از این پژوهش ارزیابی ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژی و فیزیوگرافی حوضه آبخیز رودخانه کبیر رود با استفاده از تکنیک‌های GIS و RS می‌باشد.

۲-روش انجام تحقیق

- **محدوده مورد مطالعه**

حوضه آبخیز کبیر رود، در استان مازندران واقع می‌باشد. این منطقه دارای مساحت ۳۸۸۰ کیلومتر مربع وسعت دارد و حدود ۱۰ درصد از مساحت استان مازندران را به خود اختصاص داده است. این حوضه از نظر توپوگرافی کوهستانی و نیمه کوهستانی است که در طول ۵۳ درجه و عرض ۳۵ درجه واقع گردیده. حداقل و حداکثر ارتفاع منطقه به ترتیب ۳۵۱۳ متر و ۱۲۲۸ متر است و این امر اختلاف ۲۲۸۵ متر را نشان می‌دهد. این منطقه جزء حوزه آبخیز رودخانه کبیر است و از لحاظ زمین شناسی در ارتفاعات البرز شمالی و البرز مرکزی واقع شده است. حوزه کبیر رود از مناطق مسکونی و تقریبا پرجمعیت استان مازندران محسوب می‌شود. در شکل (۱)، موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ارائه شده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه مورد مطالعه در سطح ایران و استان مازندران (منبع: نویسنده، ۱۴۰۳)

- **تهیه عوامل هیدروژئومورفولوژی و فیزیوگرافی منطقه مورد مطالعه**

دامنه‌ها نه تنها بخش اعظم مناظر طبیعی را شامل می‌شوند، بلکه قسمت کاملی از سیستم زهکشی، آب و رسوبات را برای رودخانه تأمین می‌کنند. انحنا به‌منزله یک خاصیت سه بعدی از سطح دوبعدی تعریف می شود و نشان دهنده میزان انحراف سطح از صاف بودن و یا به عبارت دیگر محدب و مقعربودن دامنه را نشـان می‌دهد. با افزایش انحناء، نیروی کشـشـی در طول سـطح افزایش می‌یابد و باعث تولید شکستگی‌ها می‌شود. بااستفاده از مقادیر عددی و مشتقات حاصل از DEM از قبیل شیب، انحنای پروفیل، انحنای پلان، انحنای عرضی و انحنای کلی دامنه، ویژگی‌های فیزیوگرافی، هیدروژئومورفولوژی اسـتخراج می‌گردد. مشـتقات درجه دوم در ارتباط با تحدب و تقعر و بطورکلی شکل سطح هستند که با نام انحناء شناخته میشوند و می‌توان از انحناء برای اندازهگیری میزان ناهمواری سطح زمین استفاده نمود. انحنای دامنه تأثیر زیادی برروی سرعت جریان و حالت تقعر و تحدب دامنه‌ها دارد و با افزایش آن حالت مقعر شده و سرعت جریان کاهش مییابد و سرعت نفوذ بیشتر می شود. بنابراین در دامنه های مقعر و همگرا احتمال نفوذ آب بیشتر است که منجر به ایجاد منابع آب زیرزمینی میشود. محاسبه انواع انحناء در مدل رقومی ارتفاع رستری بهصورت پیکسل به پیکسل محاسبه و برای هر سلول از یک معادله چندجمله‌ای درجه چهار اسـتفاده می‌شـود که با اسـتفاده از روابط (۱ تا ۲) محاسـبه می‌شـود. از این‌رو شـاخص انحناء دامنه با اسـتفاده از DEM با ابعاد ۲۰*۲۰ در محیط Arc Map تهیه گردید و درنهایت سه لایه شامل curvature, profile Curvatur, Plan curvature ایجاد گردید.

$$n \times g(a \times d^2 + b \times e^2 + c + d \times e) \,/\, (d^2 + e^2)(1 + (d^2 e^2)^{1.5} \quad (۱)$$

$$n \times g(b \times d^2 + a \times e^2 - c \times d \times e)/(d^2 + e^2)^{1.5} \quad (۲)$$

در پژوهش حاضر از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ به منظور طبقه‌بندی و تهیه نقشه کاربری اراضی استفاده شد. در این راستا ابتدا تصاویر ماهواره‌ای سال ۲۰۲۲ با فرمت GeoTiff از سایت سازمان زمین شناسی ایالات متحده (USGS) استخراج و سپس تصحیحات اتمسفری روی این تصاویر اعمال شد. این تصحیحات با استفاده از ابزار رادیومتریک در محیط نرم‌افزار انوی انجام می‌گیرد. نکته‌ای که حائز اهمیت است این است که تصحیحات رادیومتریک بر اساس بازتابش تعریف و اعمال می‌شود. در گام بعد برای کلاس‌بندی تصاویر از روش طبقه‌بندی ماشین‌بردار پشتیبان استفاده و نقشه کاربری اراضی حوضه مورد مطالعه تهیه گردید. در وهله آخر با توجه به این‌که لازمه هر نتیجه‌ای ارزیابی صحت و قابل بودن آن است بنابراین در علم سنجش از دور، ارزیابی دقت نقشه‌های کاربری اراضی نقشی حیاتی در سنجش اعتبار و اتکاپذیری اطلاعات استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای ایفا می‌کند. این امر به طور سنتی با مقایسه پیکسل به پیکسل نقشه طبقه‌بندی شده با داده‌های مرجع زمینی انجام می شود. نتایج این مقایسه در قالب ماتریس خطا یا ماتریس در ستی طبقه‌بندی ارائه می شود. ماتریس خطا، به عنوان ابزاری قدرتمند، اطلاعات ارز شمندی را در مورد دقت طبقه‌بندی هر کلاس به تفکیک ارائه می‌دهد. این ماتریس شامل دو محور اصلی، سطرها و ستون‌ها، است. سطرها به طبقات مرجع زمینی و ستون‌ها به طبقات نقشه طبقه‌بندی شده اختصاص دارند. هر سلول ماتریس تقاطع بین یک کلاس مرجع و یک کلاس طبقه‌بندی شده را نشان می‌دهد و تعداد پیکسل‌هایی را که به اشتباه یا به درستی در آن کلاس طبقه‌بندی شده‌اند، نمایش می‌دهد. بر اساس ماتریس خطا، می‌توان شاخص‌های آماری متعددی را برای ارزیابی صحت کلی نقشه محاسبه کرد. این شاخص‌ها شامل موارد زیر هستند:

– دقت کاربر: این معیار نشان می‌دهد که چه درصدی از پیکسل‌های طبقه‌بندی‌شده در هر کلاس، در واقع به آن کلاس تعلق دارند.

– صحت تولیدکننده: این معیار نشان می‌دهد که چه درصدی از پیکسل‌های هر کلاس مرجع، به درستی در نقشه طبقه‌بندی‌شده به آن کلاس اختصاص یافته‌اند.

–دقت کلی: این معیار، که به عنوان ساده‌ترین شاخص شناخته می‌شود، نشان می‌دهد که چه درصدی از کل پیکسل‌های طبقه‌بندی‌شده به درستی طبقه‌بندی شده‌اند.

–ضریب کاپا: این شاخص، با در نظر گرفتن تصادف در طبقه‌بندی، دقت کلی را به طور دقیق‌تری ارزیابی می‌کند.

$$OA = \frac{\sum_{K}^{N} = 1 \, N_{k\,k}}{n} \times 100 \quad (۳)$$

در این رابطه OA صحت کلی، $N_{(k\,k)}$ مجموع پیکسل‌های در ست طبقه‌بندی شده و n کل پیکسل‌های طبقه‌بندی شده می‌باشد. با توجه به این‌که برای نهایی نمودن نقشه کاربری اراضی، باید همه شاخص‌های دقت طبقه‌بندی با یک و یا چند شاخص آماری معتبر برازش داده شود. شاخص کاپا از جمله روش‌های آماری می‌باشد که با رابطه (۴) قابل بیان است .

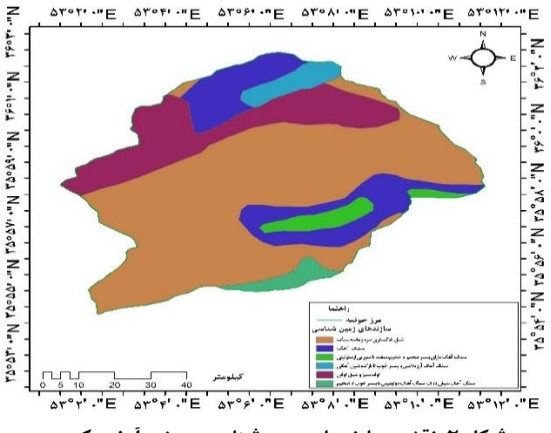
$$K = \frac{N\sum_{i=1}^{r} Xii - \sum_{i=1}^{r}(Xio \times Xoi)}{N^2 - \sum_{i=1}^{r}(Xio \times Xoi)} \qquad (۴)$$

در این رابطه K شاخص کاپا، r تعداد ردیف ماتریس طبقه‌بندی، Xii تعداد مشاهدات در ردیف و ستون (محور اصلی ماتریس)، Xio مجموع مشاهدات در ردیف (مجموع ردیف برای هر کاربری)، Xoi مجموع مشاهدات در ستون (مجموع ستون برای هر کاربری) و N مجموع کل مشاهدات ماتریس طبقه‌بندی می‌باشد. در پژوهش حاضر جهت دستیابی به اهداف پژوهش از دیگر عوامل فیزیوگرافی حوضه آبخیز کبیر رود شامل شیب، جهت شیب، مدل رقومی ارتفاع، پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه، و سازندهای زمین شناسی استفاده و نقشه‌های عامل از طریق نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ و نیز استفاده از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ مربوط به سال ۲۰۲۲ استفاده گردید. در مرحله بعد با فرخوانی و تجزیه و تحلیل این پارامترها در محیط نرم افزار Arc Map و Envi 5.6 اقدام به تولید و تهیه نقشه‌های مذکور گردید.

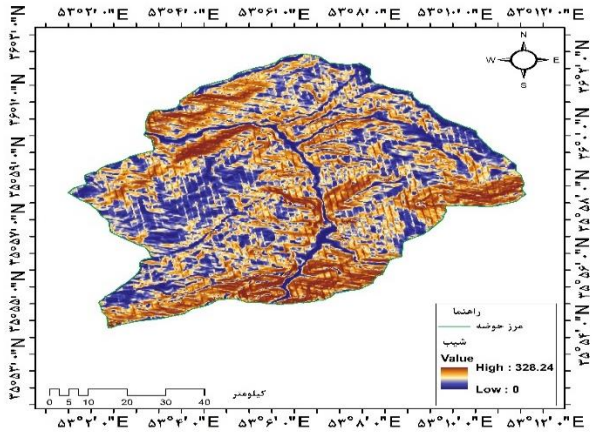
۳- نتایج

تحلیل عوامل هیدروژئومورفولوژی و فیزیوگرافی منطقه مورد مطالعه: سازندهای زمین شناسی: لایه زمین‌شناسی منطقه از لایه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ با استفاده از ایجاد پلیگون (سیستم UTM) و تکمیل جدول اطلاعاتی در Arc Map ایجاد شده است. بعد از طبقه‌بندی لایه زمین شناسی، مساحت و درصد مساحت هرکدام از طبقات به‌دست‌آمده که با توجه به جدول (۱) مشاهده می شود بیشتر مساحت محدوده را شیل و ماسه سنگ با مساحت ۷۸۲۰۶۰۳۶/۷۶ مترمربع (۸۶/۹۴در صد)، سنگ آهک توده ای اوربیتولین دار (سازند تیزکوه) با مساحت ۴۲۰۵۴۶۹/۲۰ مترمربع (۰/۱۷ درصد) تشکیل می‌دهد. بیش‌تر محدوده مطالعاتی حوضه در دوران زمین شناسی مزوزوئیک و کامبرین–ژوراسیک قرار گرفته است. قسمت‌های شمال و جنوب غرب از ینگ های مختلفی تشکیل شده که مهم‌ترین آن‌ها بعد از موارد ذکر شده، سنگ‌آهک بوده است. (شکل ۲). شیب یک امتداد به نسبت اختلاف ارتفاع دو نقطه به مسافت افقی آن نقاط در طبیعت اطلاق می شود. شیب از عوامل ضروری موثر در پیدایش حرکات ناپایداری دامنه‌ای است. حرکت آب و مواد خاک در جهت شیب دامنه رخ می‌دهد، در نتیجه عامل شیب در مکان‌های مختلف ویژگی‌های متفاوتی را ایجاد می‌کند. به طوری که با افزایش شیب، به تنش‌های بر شی در دامنه افزوده شده و موجب ناپایداری و عدم تعادل مواد سازنده سطحی دامنه می‌گردد. جهت محاسبه شیب محدوده مورد مطالعه از نقشه توپوگرافی منطقه، با استفاده از ابزار Spatial Analyst در نرم افزار Arc GIS استفاده شد. با توجه به شکل (۳) و جدول (۲) شیب می‌توان بیان کرد اکثر مساحت محدود مورد مطالعاتی ۲۵ تا ۷۵ درصد واقع شده است. بیش از ۴۲۰۰۰۰۰۰ مترمربع که معادل ۵۰ در صد از کل مساحت محدوده مطالعاتی در طبقه شیب ۲۵ تا ۴۰ تشکیل داده که این روند در اکثر نقاط منطقه یکسان و مشهود است. شیب بالای ۱۲۰ در صد در نیمه های شمالی و جنوبی ، در اثر فرآیندهای خط القعر رودخانه و ناهمواری های این قسمت است. جهت شیب از عوامل اصلی موثر در وقوع لغزش است و در اکثر مدل‌ها و روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش کابرد دارد. جهت شیب در واقع جهت حداکثر تغییرات شیب است که اغلب به صورت درجه ای از شمال و یا به صورت زاویه در جهات هشت گانه توصیف می شود. جهت شیب در نقشه توسط سلول‌های رستری و به جهات هشت گانه محاسبه می‌گردد. نقشه‌های جهت شیب، در تجزیه و تحلیل‌های مهندسی که جهت شیب زمین در آن‌ها مؤثر است مورداستفاده قرار می‌گیرند. مهم‌ترین اثرات جهت شیب زمین بر میزان دریافت نور خورشید و تأثیرات ناشی از آن مانند پیدایش اقلیم های محلی و شدت ذوب برف است. در جهات جنوب و جنوب غربی بعلت دریافت گرمای بیشتر میزان و سرعت ذوب برف شدیدتر است. در این مناطق برف مدت کمتری روی سطح زمین می‌ماند، در نتیجه جریان رودها در فصل زمستان در این مناطق بیشتر و عمق و تراکم آن یکنواخت‌تر است.در مناطق دارای جهت شیب شمالی دامنه اکثرا جریان رودها در فصل بهار از جریان آن در فصل زمستان بیشتر و احتمال وقوع سیلاب‌های بزرگ به علت انباشتگی برف زمستانی و بروز گرمای ناگهانی در بهار ، بسیار زیاد است. همچنین جهت شیب دامنه‌ها در رشد و تنوع پوشش گیاهی منطقه، میزان نگهداری رطوبت توسط خاک و تفکیک تیپ خاک نقش موثری دارد. در پژوهش حاضر تعیین جهت شیب با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS و در هشت گروه جهات اصلی و فرعی جغرافیایی، تقسیم بندی شد. بررسی و تفسیر جهات حاصله از نقشه بیانگر آن است که حوزه آبخیز کبیر رود بیشتر بر روی دامنه‌هایی با جهت شمال غرب با مساحت ۲۵۶۸۲۴۰۰ مترمربع (۱۷/۲۰ درصد)، غرب با مساحت ۲۵۴۹۲۵۰۰ مترمربع (۱۷/۰۸)، شمال با مساحت ۲۰۳۲۹۲۰۰ مترمربع (۱۳/۶۲ در صد) واقع شده اند (شکل ۴). پوشش گیاهی حوضه نشان می‌دهد که۲۵۵۹۸۰۷۰۰۰۰ (۵۰/۹۰

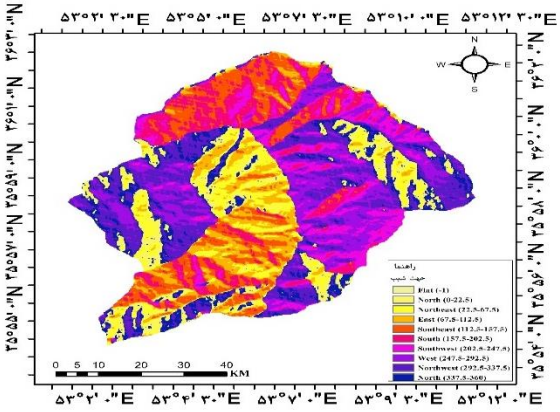
درصد) از مساحت کل حوضه به مرتع مرغوب و استپی گاه با درخت های پرا اختصاص داده شده است و اراضی کشاورزی آبی را در حوضه با مساحت ۹۳۶۴۴۲۳۰۰۰ (۲۸/۶۲ درصد) شامل می‌گردد. در حدود ۱۵۳۲۴۰۲۹۰۰۰ (۳۰/۴۷ درصد) مساحت استان نیز به زراعت و باغداری اختصاص دارد (شکل ۵). نقشه کاربری اراضی منطقه نیز با توجه به نقشه، بیشتر مساحت محدوده مطالعاتی مرتع خوب و غیره با مساحت ۵۴۱۸۹۸۶۱/۶۲ (۴۰ درصد) از کل حوضه را به خود اختصاص داده است که شیب آن معمولا بین ۴۰ تا ۳۲ درصد بوده است. پس از آن جنگل متوسط با ۱۹/۷۱درصد، جنگل متراکم با ۹/۸۵ درصد، جنگل تنک و غیره با ۴/۸۵ درصد، مرتع متوسط با ۳/۴ و در نهایت باغ ها با ۰/۵۱ درصد از مساحت کل حوزه را دربرگرفته اند (شکل ۶). در نرم افزار Arc Map بر روی لایه‌های وکتوری، مدل رقومی ارتفاع تهیه نمودیم. استان مازندارن و حوضه مورد مطالعه در یک ناحیه کوهستانی واقع شده است. حضور ارتفاعات در بخش شرق و غرب حوضه باعث گردیده که بخش میانی حوضه به صورت دشت در منطقه رخنمون نماید. ارتفاعات متوسط حوضه در حدود ۳۰۲۴۷۲۰۰ مترمربع می باشد. مرتفع ترین نقاط را می توان در بخش شرق و جنوب غربی حوضه می توان مشاهده نمود. نقشه ارتفاعی منطقه مورد مطالعه در (شکل ۷) ارائه شده است.



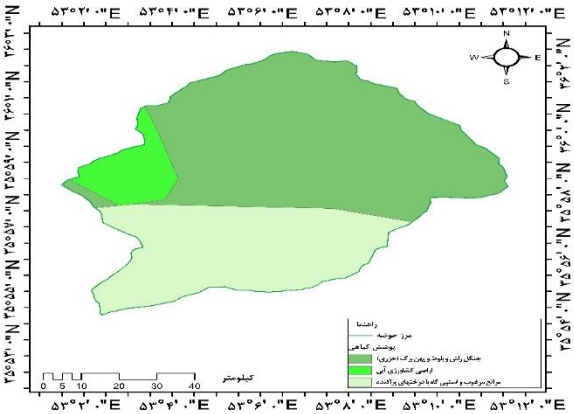
شکل ۲. نقشه سازندهای زمین‌شناسی حوضه آبخیز کبیر رود



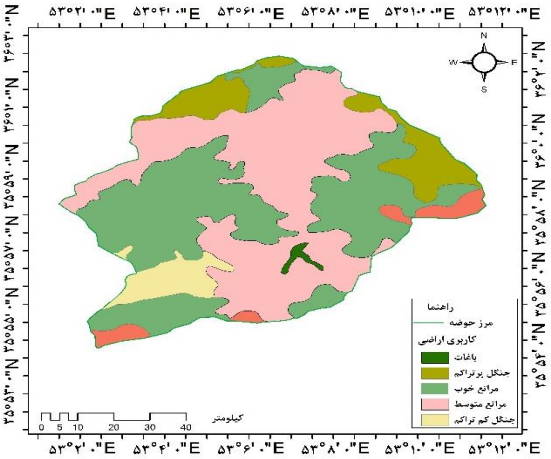
شکل ۳. نقشه شیب حوضه آبخیز کبیر رود



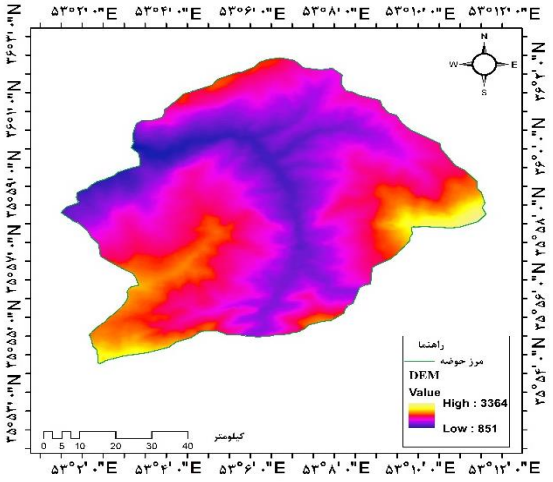
شکل ۴. نقشه جهت شیب حوضه آبخیز کبیر رود



شکل ۵. نقشه پوشش گیاهی حوضه آبخیز کبیر رود



شکل ۶. نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز کبیر رود



شکل ۷. نقشه مدل رقومی ارتفاعی حوضه آبخیز کبیر رود

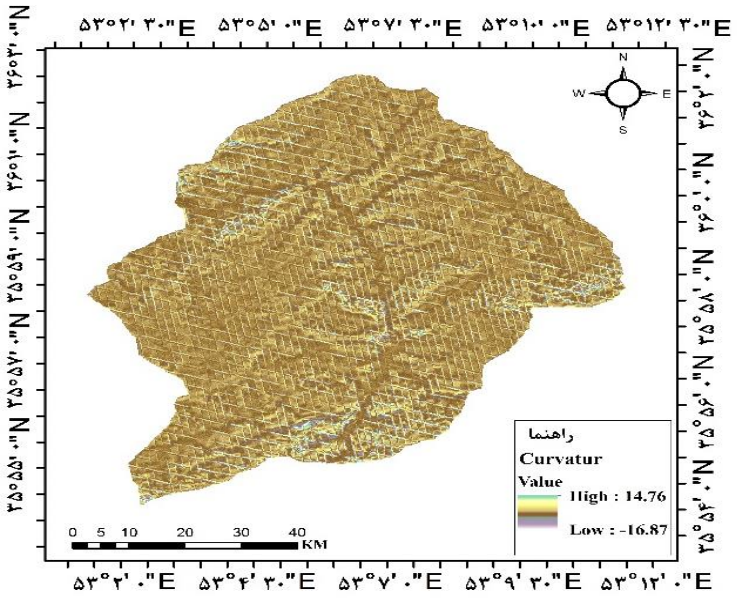
جدول ۱. درصد و مساحت سازندهای مختلف زمین‌شناسی حوضه آبخیز کبیر رود

ردیف	نوع سازند	درصد مساحت	مساحت (مترمربع)
۱	شیل و ماسه سنگ	۸۶/۹۴	۷۸۲۰۶۰۳۶/۷۶
۲	آهک مارنی تا ماسه ای	۰/۱۸	۴۰۷۳۸۹۸/۱۳
۳	سنگ‌آهک	۰/۲۵	۲۰۹۵۹۲۱۴/۹۶
۴	توف سبز، شیل توف دار کرج	۱۱/۹۴	۲۳۱۹۳۴۴۹/۸۸
۵	سنگ آهک توده ای اوربیتولین دار (سازند تیزکوه)	۰/۱۷	۴۲۰۵۴۶۹/۲۰
۶	شیل خاکستری	۰/۴۷	۲۹۳۶۲۲۲/۴۶

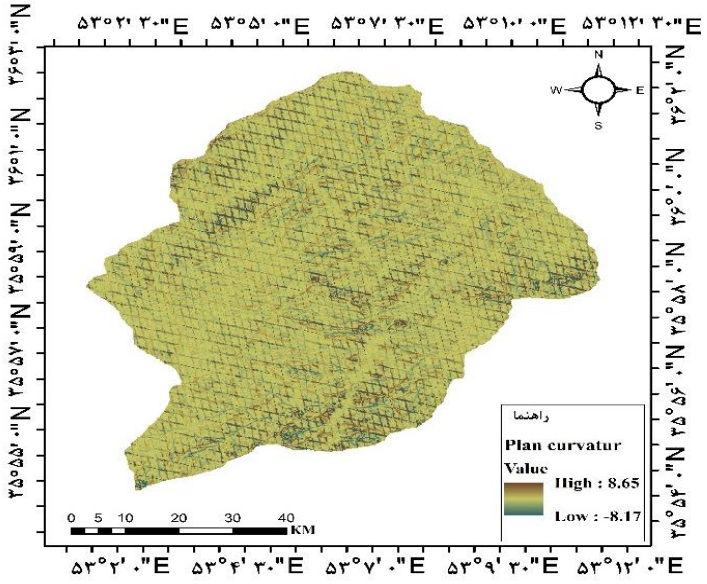
جدول ۲. درصد و مساحت طبقات شیب حوضه آبخیز کبیر رود

ردیف	طبقات شیب به درصد	درصد مساحت	مساحت (مترمربع)
۱	۰–۲۵	۱۷/۲۸۰۲۴۳	۲۲۴۶۶۳۰۴
۲	۲۵–۴۰	۳۲/۳۶۹۷۰۲	۴۲۰۸۴۳۳۶
۳	۴۰–۵۵	۲۴/۶۵۷۶۳۳	۳۲۰۵۷۷۶۰
۴	۵۵–۷۵	۱۳/۶۰۷۸۳	۱۷۶۹۱۷۴۴
۵	۷۵–۹۵	۷/۲۶۶۴۳۴	۹۴۴۷۲۰۰
۶	۹۵–۱۲۰	۳/۳۲۳۲۶۳	۴۳۲۰۶۲۴
۷	۱۲۰–۱۶۰	۱/۲۷۷۲۰۴	۱۶۶۰۵۱۲
۸	۱۶۰–۳۲۸	۰/۲۱۷۶۹۲	۲۸۳۰۲۴

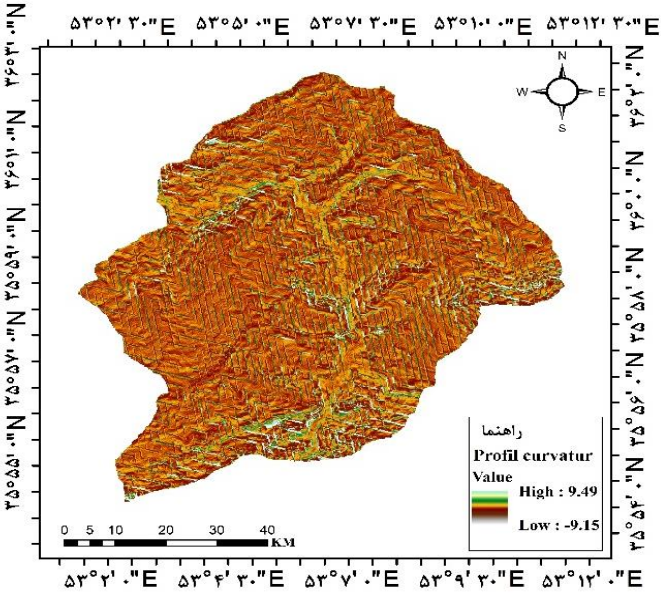
شاخص انحناء دامنه نشان‌دهنده میزان انحراف سطح از صاف بودن و یا به‌عبارتی‌دیگر محدب و مقعر بودن دامنه را نشان می‌دهد. از شاخص انحناء برای اندازه‌گیری میزان ناهمواری سطح زمین می‌توان استفاده نمود. از این‌رو شاخص انحناء برای حوضه آبخیز کبیر رود در محیط ArcMap تهیه شد که در شکل (۸) ارائه شده است. با توجه به شکل مقدار شاخص انحناء دامنه برای حوضه مورد مطالعه در دامنه بین ۱۶/۸۷- تا ۱۴/۷۶ به‌دست آمد. شاخص انحناء سطح نیز بیانگر واگرایی و هم‌گرایی توپوگرافیکی است. مقادیر مثبت انحناء سطح واگرایی جریان را نشان داده که دربرگیرنده خط الراس‌ها است و مقادیر منفی آن هم‌گرایی جریان‌ها (دره‌ها) را نشان می‌دهد. شکل (۹) شاخص انحناء سطح حوضه آبخیز مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به شکل مقدار شاخص انحناء سطح برای حوضه مورد مطالعه بین ۸/۱۷- تا ۸/۶۵ متغیر می‌باشد. همچنین با توجه به شکل قسمت‌های مرکزی و شمال حوضه و بخش‌های جنوب و جنوب‌شرقی به‌ترتیب دارای مقادیر بیش‌تر و کم‌تری را به‌خود اختصاص داده است. از طرفی شاخص انحناء مقطع انحناء مقطع معرف اندازه تغییر شیب منحنی میزان، در طول مسیر جریان است. مقدار منفی این انحنا معرف سطوح محدب (کوژ) و مقدار مثبت آن سطوح مقعر (کاو) را نشان می‌دهد. شکل (۱۰) شاخص انحناء مقطع حوضه آبخیز کبیر رود را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج شکل مقدار به‌دست آمده برای حوضه مورد مطالعه بین ۹/۱۵- تا ۹/۴۹ می‌باشد.



شکل ۸. نقشه شاخص انحناء دامنه حوضه آبخیز کبیر رود



شکل ۹. نقشه شاخص انحناء سطح حوضه آبخیز کبیر رود



شکل ۱۰. نقشه شاخص انحناء مقطع حوضه آبخیز کبیر رود

۴- نتیجه‌گیری

آگاهی از خصوصیات فیزیوگرافی یک حوضه، همراه با اطلاعاتی از شرایط آب و هوایی منطقه می‌تواند تصویر نسبتا دقیقی از کارکرد کمی و کیفی سیستم هیدرولوژیک آن حوضه را در اختیار ما قرار دهد. از این‌رو لازم است در مطالعات آبخیزداریِ یک حوضه، قبل از هر چیز خصوصیات فیزیوگرافی آن مورد مطالعه قرار گیرد. از جمله مهم‌ترین خصوصیات فیزیکی یک حوضه می‌توان به مساحت، ارتفاع، شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، شاخص‌های انحناء دامنه، انحناء سطح و انحناء مقطع اشاره نمود. از طرفی بررسی و شناخت عوامل و ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژیک و چگونگی تاثیر آن‌ها در مدیریت حوضه‌های آبخیز در جهت کاهش خسارت ناشی از رخداد مخاطرات از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. از این‌رو هدف از این پژوهش ارزیابی ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژی و فیزیوگرافی حوضه آبخیز کبیر رود با استفاده از تکنیک‌های RS و GIS می‌باشد. در این راستا جهت استخراج و تولید نقشه‌های عامل با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، و تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ مربوط به سال ۱۴۰۳ استفاده شد. از این‌رو نقشه شیب منطقه با استفاده از DEM (۳۰ متر استر) نقشه شیب تولید شد. اکثر مساحت محدود مورد مطالعاتی ۲۵ تا ۷۵ درصد واقع شده است. بیش از ۴۲۰۰۰۰۰۰ مترمربع که معادل ۵۰ درصد از کل مساحت محدوده مطالعاتی در طبقه شیب ۲۵ تا ۴۰ تشکیل داده که این روند در اکثر نقاط منطقه یکسان و مشهود است. شیب بالای ۱۲۰ درصد در نیمه های شمالی و جنوبی ، در اثر فرآیندهای خط القعر رودخانه و ناهمواری های این قسمت است. در پژوهش حاضر تعیین جهت شیب با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS و در هشت گروه جهات اصلی و فرعی جغرافیایی، تقسیم بندی شد. بررسی و تفسیر جهات حاصله از نقشه بیانگر آن است که حوزه آبخیز کبیر رود بیشتر بر روی دامنه هایی با جهت شمال غرب با مساحت ۲۵۶۸۲۴۰۰ مترمربع (۱۷/۲۰ درصد)، غرب با مساحت ۲۵۴۹۲۵۰۰ مترمربع (۱۷/۰۸)، شمال با مساحت ۲۰۳۲۹۲۰۰ مترمربع (۱۳/۶۲ درصد) واقع شده‌اند. پوشش گیاهی حوضه نشان می‌دهد که۲۵۵۹۸۰۷۰۰۰۰ (۵۰/۹۰ درصد) از مساحت کل حوضه به مرتع مرغوب و استپی گاه با درخت های پراکنده اختصاص داده شده است و اراضی کشاورزی آبی را در حوضه با مساحت ۹۳۶۴۴۲۳۰۰۰ (۲۸/۶۲ درصد) شامل می‌گردد. در حدود ۱۵۳۲۴۰۲۹۰۰۰ (۳۰/۴۷ درصد) مساحت استان نیز به زراعت و باغداری اختصاص دارد (شکل ۵). نقشه کاربری اراضی منطقه نیز با توجه به نقشه، بیشتر مساحت محدوده مطالعاتی مرتع خوب و غیره با مساحت ۵۴۱۸۹۸۶۱/۶۲ (۴۰ درصد) از کل حوضه را به خود اختصاص داده است که شیب آن معمولا بین ۴۰ تا ۳۲ درصد بوده است. پس از آن جنگل متوسط با ۱۹/۷۱درصد، جنگل متراکم با ۹/۸۵ درصد، جنگل تنک و غیره با ۴/۸۵ درصد، مرتع متوسط با ۳/۴ و در نهایت باغ ها با ۰/۵۱ درصد از مساحت کل حوزه را دربرگرفته‌اند. در وهله بعد اقدام به تهیه و تولید نقشه‌های شاخص انحناء دامنه با مقدار (۱۶/۸۷- الی ۱۴/۷۶)، انحناء سطح با مقدار (۸/۱۷- الی ۸/۶۵)، انحناء مقطع با مقدار (۹/۱۵- الی ۹/۴۹) گردید که شدت این عامل در قسمت‌های مرکزی و بخش‌های از شمال حوضه را در بر می‌گیرد. نقشه کاربری اراضی حوضه مورد مطالعه نیز از طریق تصویر لندست منطقه و با استفاده از روش ماشین‌بردار پشتیبان در کاربری شامل (باغات، جنگل پرتراکم، مراتع خوب، مراتع متوسط و جنگل کم تراکم) طبقه‌بندی و تولید شدند. نتایج این پژوهش می‌تواند مدیران و مسئولان ذیربط را در جهت شناسایی مناطق مستعد مخاطره و اتخاذ بهترین تصمیم‌گیری در این خصوص را یاری نماید.

منابع

- Barenhard, A. 2008. Geomorphometric landscape analysis using a semi-automated GIS-approach, Environmental Modelling & Software, Vol. 23, No. 1, P. 125-134.
- Congalton, R. G., Green, K. 1999. Assessing the accuracy of remotely sensed data principles and practices, Boca Raton: Lewis Publications. erosion risk monitoring: Aremotoe sensing study of sc Ethiopia, Geosctence fron tiers, Vol. 2, No. 2, P. 237-245.
- Fisher P, Wood J, Cheng T. 2004. Where is Helvellyn Fuzziness of Multiscal Landscape Morphometry, Transactions of the Institute of British Geograhper, Vol. 22, P. 106-128.
- Garcin, M., Poisson, B., Pouget, R. 2005. High rates of geomorphological processes in a tropical area: the Remparts River case study (Réunion Island, Indian Ocean), Geomorphology, Vol. 67, No. 3, P. 335-350.
- Henononin, J., Russo, B., Roqueta, D.S., Diezma, R.S., Domingo, N.D., Thomsen, F. and Mark, O. 2010. Urban Flood Real- Time Forecasting and Modeling: A State- of- the- Art Review, Mike by DHI Conference-Copenhagen, Vol. 14, No. 1, P. 1-21.
- Melesse, A. 2007. DEM –RS- GIS Based Strom Runoff Hydrology, journal of Environmental Hydrology, Vol. 12, No. 10, P. 204-216.

- بابلی‌موخر، ح.، نگهبان، س.، ۱۴۰۰. بررسی ویژگی‌های فرمی سطح زمین براساس شاخص‌های مورفومتری و با استفاده از GIS مطالعه موردی: حوضه آبخیز فهلیان، انجمن جغرافیایی ایران، دوره ۱۹، شماره ۶۸، ص ۱۱۷-۱۰۲.
- جعفری، غ.، ناصر، ف.، ۱۳۹۸. تاثیر ارتفاع بر خصوصیات فیزیوگرافی زیرحوضه‌های آهکی (مطالعه موردی ارتفاعات زاگرس ایران)، پژوهش‌های فرسایش محیطی، دوره ۹، شماره ۴، ص ۱۶-۱.
- جعفری، غ.، ناصر، ف.، ۱۴۰۰. بررسی خصوصیات فیزیوگرافی زیر حوضه‌های زاگرس در ارتباط با شرایط کارستی شدن، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دوره ۲، شماره ۱، ص ۴۴-۲۵.
- رامشت، م. ح.، احمدی، ع.، آرا، ه.، ۱۳۸۹. حوضه های آبریز از دیدگاه سیستمی (مطالعه موردی: حوضه آبریز رودگاماسیاب)، بوم‌شناسی شهری، دوره ۱، شماره ۱، ص ۱۴۵-۱۲۷.
- ضیایی، ح، ا.، ۱۳۷۰. اصول مهندسی آبخیزداری، چاپ اول، ص ۵۰۱، انتشارات دانشگاه امام رضا، مشهد.
- عزتیان، و.، دانش آموز، ذ.، ۱۳۹۱. بررسی خصوصیات هیدروژئومورفولوژی حوضه آبخیز خیر آباد، آمایش سرزمین، دوره ۴، شماره ۲، ص ۱۴۰-۱۳۰.
- غفاریان مالمیری، ح. ر.، عربی علی‌آبادی، ف.، ۱۳۹۹. برآورد آلبیدوی سطح زمین در کاربری‌های مختلف اراضی در دشت یزد – اردکان، مطالعات علوم محیط زیست، دوره ۵، شماره ۱، ص ۲۴۰۳-۲۳۹۴.
- قادری، ک.، فاضلی ثانی، ا.، محمودی، پ.، معتمد وزیری، ب.، ۱۳۹۵. آنالیز سیستم حوزه آبخیز براساس خصوصیات هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کن، تهران)، پنجمین کنفرانس بین المللی پژوهش در علوم و تکنولوژی، لندن-انگلستان.
- گورابی، ا.، یمانی، م.، حسینی، س. ج.، ۱۳۹۷. ارزیابی تاثیر تغییرات هیدروژئومورفولوژی و کاربری زمین در پایداری آبراهه زنجان‌رود، هیدروژئومورفولوژی، دوره ۴، شماره ۱، ص ۱۰۰-۸۱.
- مددی، ع.، قلعه، ا.، عبادی، ا.، نظافت تکله، ب.، پاسبان، ا. ح.، ۱۳۹۹. بررسی ارتباط بین ویژگی‌های ژئومورفیک و میزان تولید رسوب در حوضه آبخیز نیرچای، تحقیقات جغرافیایی، دوره ۳۶، شماره ۱، ص ۳۱-۲۴.
- مرکز تحقیقات آب وابسته به وزارت نیرو، ۱۳۸۰. ساماندهی رودخانه سفیدرود ، جمع بندی مطالعات وارئه گزینه های ساماندهی.