Shahid Beheshti University

Researches in Earth Sciences

Journal homepage: https://esrj.sbu.ac.ir

Research Article

Neotectonic influence on geomorphology of gallies on plains of western Alborz mountains (from Garmsar to Semnan)

Mojtaba Yamani[1] *, Abolghasem Gooraby[1], Mehran Maghsoudi[1], Sedigheh Mahboobi[1]

1-Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 13 Jul 2020 Accepted: 07 Jan 2021

Extended Abstract

Introduction

Landforms in the areas of tectonic activities are resulted from a complicated combination of vertical and horizontal movements related to crustal blocks, erosion, and surface sedimentation. Considering these facts, there is a great diversity of land at the Hillside of the Eastern Alborz Mountains and in the Garmsar to Semnan Range. Initially, it is impossible to provide a reason for these sudden changes, except for the tectonic factor. Because across the Garmsar fault, the gullies are concentrated only in a limited section of the fault line and have a different morphometry. On the other hand, the existence of a cone-shaped sequence along the Garmsar fault shows a clear dynamic difference in terms of the exploration process and the density between these two landforms, which has been addressed in this study. Since gullies are important landforms for identifying landform changes and sequences of landforms in geomorphology, they are important. Therefore, due to the apparent similarities of the surface of the earth, this cannot be considered effective as a single factor in different parts of gullies; this is the main issue of this research.

Materials and Methods

In this research, we have investigated gullies on southern slopes of eastern Alborz, from Garmsar to Semnan. The gully landforms have different morphological properties from west to east. To find out the factors creating the differences, we have gathered data and processed satellite images. By the way, we have divided the region into four sites or subsections for further analysis. The samples have been taken from the walls and bottoms of the gullies for geochemical and granulometric analyses. We have also measured morphometric properties of the gullies of each site in given cross-sections and equal distances. Vegetation density and taxonomy have also been obtained through the field survey. Morpho-tectonic evidence has been examined by field observations and satellite images. Then, we have applied Analytical Network Process (ANP) and Fuzzy analysis to examine the influences of morphometry, sediment characteristics, and neo-tectonic properties on gully development in the area.

Results and Discussion

Considering that various factors are involved in the creation and development of gullies, each of the factors considered in the region were first studied in order to determine the effect of each of them and the most important factor in this regard. The factors involved are physics and sediment chemistry, tectonic effects in the area, vegetation and land use. The results have indicated that physical characteristics of the sediments in size and type could not have similar impacts in all the subsections.

Citation: Karami, E. et al, 2021. Neotectonic influence on geomorphology of gallies on plains of western Alborz mountains (from Garmsar to Semnan), *Res. Earth. Sci:* 12(1), (131-151) DOI: 10.52547/esrj.12.1.131

* Corresponding author E-mail address: myamani@ut.ac.ir

Copyright: © 2021 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY). license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Researches in Earth Sciences

Journal homepage: https://esrj.sbu.ac.ir

In site 4, more developed landforms are related to the fine-grain textures. On the contrary, in site 2 less developed gullies are resulted from coarse grain texture. In the other two sites, the development of gullies cannot be attributed to texture and diameter of the sediments. However, the development of the landforms is more affected by it position over the walls of the fault. There are no considerable differences in vegetation, land use, and geochemical properties among the four sites. The measurements showed that the fault wall at a height of 10.5 meters at the end of site 1 and the uplift of the middle portion of the cone at site 3, at 14 meters, are the main reasons for the expansion and deepening of the gullies in these two sites. However, these conditions do not exist on the other two sites. On site 2, gullies do not develop at all, and on site 4, there is a typical development of gullies because of the type and texture of the region's sedimentation.

Conclusion

The results have indicated that physical characteristics of the sediments in size and type could not have similar impacts in all the subsections. In site 4, more developed landforms are related to the fine-grain textures. On the contrary, in site 2 less developed gullies are resulted from coarse grain texture.

Keywords: Eastern Alborz, Plains, Geomorphology, Gully, Neotectonic.

Copyright: © 2021 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY). license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

تأثیر نوزمین‌ساخت بر ژئومورفولوژی گالی‌ها در دشت‌سرهای جنوب البرز شرقی (محدوده گرمسار- سمنان)

مجتبی یمانی*[۱]، ابوالقاسم گورابی[۱]، مهران مقصودی[۱]، صدیقه محبوبی[۱]

۱-گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

(علمی - پژوهشی)

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۴/۲۳ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۱۸

چکیده

لندفرم‌ها در نواحی دارای فعالیت‌های تکتونیکی، حاصل ترکیب پیچیده‌ای از تاثیرات حرکات عمودی و افقی مربوط به بلوک‌های پوسته‌ای و فرسایش یا رسوب‌گذاری توسط فرایندهای سطحی است. در این پژوهش، گالی‌های سطح دشت‌سرهای موجود در دامنه‌های جنوبی البرز شرقی (منطقه گرمسار- سمنان) مورد بررسی قرار گرفته‌اند. گالی‌های موجود از مغرب به مشرق خصوصیات مورفومتری متفاوتی را نشان می‌دهند، برای پی بردن به علل این تفاوت‌ها، پس از گردآوری داده‌ها و تحلیل رقومی تصاویر و نقشه‌ها، قلمرو تحقیق به ۴ بازه و سایت مطالعاتی تقسیم شد. در مجموع این سایت‌ها ۳۵ گالی را پوشش دادند. در مرحله بعد پس از نمونه‌برداری از دیواره تا کف گالی‌ها کارهای ژئوشیمی و دانه‌سنجی بر روی آنها انجام گرفت. همچنین مورفومتری گالی‌های هر سایت در مقاطع مشخص و فواصل مساوی انجام شد، علاوه بر این، تراکم پوشش‌گیاهی و نوع آن برداشت گردید. در مرحله بعد شواهد مورفوتکتونیک با بررسی تصاویر ماهواره‌ای و شواهد زمینی بررسی شد. سرانجام ارتباط مورفومتری، داده‌های رسوبی و تاثیر نوزمین‌ساخت و چگونگی تأثیر آن بر گالی‌های منطقه تحلیل گردید. یافته‌ها نشان می‌دهند که داده‌های فیزیکی رسوبات از نظر نوع و اندازه در مقیاس سطحی و عمقی نتوانسته در همه سایت‌ها به‌طور کامل در توسعه‌یافتگی گالی‌ها موثر باشد. شاید در سایت ۴، توسعه‌یافتگی را فقط به عامل قطر رسوب منطقه و در سایت ۲، عدم توسعه‌یافتگی گالی‌ها را به این عامل بتوان نسبت داد ولی در دو سایت دیگر یعنی سایت ۱ و ۳، نمی‌توان توسعه‌یافتگی گالی‌ها را تنها به بافت و قطر رسوب منطقه نسبت داد، بلکه باید عامل مهم‌تر تکتونیک را مدنظر قرار داد. تفاوت شیمی رسوب در ۴ سایت جزئی بود، نوع و تراکم پوشش گیاهی و کاربری اراضی نیز در همه سایت‌ها تقریبا یکسان است. بنابراین نتایج حاصل از تحلیل عوامل تأثیرگذار و نقشه پهنه‌بندی نهایی حاصل از ANP و فازی، همه نشانگر آن است که در بین عوامل بررسی شده، نوزمین-ساخت فعال نقش اصلی را در توسعه‌یافتگی گالی‌ها به عهده داشته است و شیمی رسوبات نقش ثانوی را دارا بوده‌است.

واژه‌های کلیدی: البرز شرقی، دشت‌سر، ژئومورفولوژی، گالی، نو زمین‌ساخت.

*- نویسنده مسئول: Email: myamani@ut.ac.ir

مقدمه

در علوم زمین واژه تکتونیک به فرایندها، ساختمان ها و لندفرم‌های مرتبط با تغییر شکل پوسته زمین و تکامل آن‌ها در طی زمان می‌پردازد. تکتونیک فعال یا نوزمین‌ساخت، بخشی از تکتونیک است که در مقیاس زمانی فعالیت‌های انسانی و جوامع بشری، قابل کاربرد می‌باشد و مقیاس آن محدود به کواترنری است (گورابی، ۱۳۹۵). با توجه به اینکه در پای‌کوه‌های البرز شرقی و در محدوده گرمسار تا سمنان تنوع لندفرمی زیادی وجود دارد. در نگاه اول شاید نتوان به جز عامل تکتونیک دلیل کافی دیگری برای این تغییرات ناگهانی ارائه نمود. زیرا در طول گسل گرمسار، گالی‌ها صرفاً در بخش محدودی از خط گسل متمرکز شده‌اند و مورفومتری متفاوتی در این امتداد دارند، از سویی وجود توالی مخروط‌افکنه‌ای در امتداد گسل گرمسار تفاوت دینامیکی آشکاری را از نظر فرایند کاوش و تراکم بین این دو لندفرم نشان می‌دهد. در واقع گالی‌ها تنها در طول کوتاهی از امتداد گسل تمرکز یافته‌اند ولی در همین بازه نیز از نظر مورفومتری تفاوت‌های مشخصی وجود دارد که در این پژوهش به آن پرداخته شده است. از آنجا که گالی‌ها به عنوان شواهد لندفرمی برای شناخت تغییر سطح اساس و توالی لندفرم‌ها در زمینه ژئومورفولوژی اهمیت بسیاری دارند. بنابراین نمی-توان با وجود تشابهات ظاهری سطح زمین، در عین حال توسعه یافتگی متفاوت گالی‌ها در قسمت‌های مختلف تنها یک عامل را موثر دانست و این موضوع مسئله اصلی این پژوهش است. تکتونیک ژئومورفولوژی یا مورفوتکتونیک به بررسی نقش و تأثیر متقابل فرایندهای درونی و بیرونی در تشکیل و تکامل فرم‌ها یا لندفرم‌ها می‌پردازد. هسته اصلی تکتونیک ژئومورفولوژی کنش و واکنش (فرم-فرایند) است. مطالعه فرم‌ها و چشم‌اندازهای قابل اندازه‌گیری که به وسیله سیگنال‌های تکتونیکی به وجود آمده، موضوع علم تکتونیک ژئومورفولوژی است (Burbank and Anderson, 2001). از بین روش‌های زمین‌شناختی برای مطالعه حرکات تکتونیکی فعال، بررسی‌های ژئومورفولوژی و ژئومورفولوژی زمین‌ساختی نقش حساس و مهمی را ایفاد می‌نماید. چرا که بسیاری از عوارض ژئومورفیک در برابر حرکات تکتونیکی فعال از حساسیت بالایی برخوردار هستند (مجیدزاده و همکاران،۱۳۹۰). لندفرم‌ها در نواحی دارای فعالیت‌های تکتونیکی، حاصل ترکیب پیچیده‌ای از تأثیرات حرکات عمودی و افقی مربوط به بلوک‌های پوسته‌ای و فرسایش یا رسوب‌گذاری توسط فرایندهای سطحی است (Ioannis et al, 2006). شواهد ژئومورفولوژیکی همچون آبراهه‌های جابه‌جا شده، پرتگاه‌های گسلی جوان، مخروط‌افکنه تقطیع شده، آبراهه‌های جوان شکل گرفته در رسوبات کواترنری، سطوح مثلثی شکل، دره‌های V شکل عمیق، پادگانه‌های ارتفاع‌یافته و عدم شکل‌گیری کوه‌پایه، حاکی از ادامه فعالیت‌های نئوتکتونیکی در منطقه می‌باشد. تقریبا هیچ ناحیه‌ای را در جهان نمی‌توان یافت که در طول چند هزار سال اخیر تحت‌تاثیر تغییرات تکتونیکی قرار نگرفته باشد. به همین لحاظ ارزیابی و بررسی فرایندهای تکتونیکی فعال و اثرات ناشی از آن همچون زمین لرزه‌ها برای بسیاری از فعالیت‌های بشری همچون طراحی و احداث شهرها و نیروگاه‌ها و سدها، تأسیسات صنعتی و ... از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد تا بواسطه آن بتوان خطرات و خسارات ناشی از این گونه فرایندهای فعال را به حداقل ممکن رساند (حبیب اللهیان و رامشت، ۱۳۹۱). پیکرینگ (Pickering, 2010) به بررسی پاسخ رودخانه‌های گنگ[1] و یامونا[2] به تکتونیک فعال در منطقه دهرادون[3] در شمال غرب هند با روش‌های سنجش

از دور و بررسی‌های میدانی پرداخت و به این نتیجه دست‌یافت که یکنواختی سنگ‌های بستر رودخانه از لحاظ مورفومتری و جورشدگی نشان-دهنده میزان بالای نیروی جریان جهت جابجایی رسوبات است و افزایش اندازه ذرات در بالادست رودخانه و بالعکس کاهش اندازه ذرات در پایین-دست و جورشدگی آن‌ها نشان دهنده نیروی کم جریان ناشی از حجم پایین رواناب و شیب کم کانال است. دمولین (Demoulin, 2011) به تحلیل تغییرات نیمرخ رودخانه بر اثر بالاآمدگی زمین-ساختی در غرب دره رود راین پرداخت. فالکنر و همکاران (Faulkner et al , 2013) در مطالعه‌ای به بررسی مناطق بدلندی و گالی در زمین‌هایی با جنس مارن پرداخت، ایشان علت ایجاد مناطق بدلندی در زمین‌هایی مارنی و با آب و هوای مدیترانه‌ای را عدم نفوذپذیری توسط کانی‌های رسی و تبادل سدیمی این خاک‌ها که موجب رواناب سطحی و کنش عمقی آبراهه‌ها می‌شود، دانست. آمبیلی و نارایانا (Ambili and Narayana, 2014) به بررسی تأثیر تکتونیک بر نیمرخ طولی رودخانه چالیار[۴] در جنوب غرب هند توسط شاخص‌های مختلف پرداخته‌است. کوک و همکاران (Cook et al, 2014) با استفاده از عکس‌های هوایی و داده-های لیدار به بررسی اثر بالاآمدگی تکتونیک بر اثر زمین لرزه ۱۹۹۹ بر الگوی ۵ کانال رودخانه‌ای در تایوان پرداختند. نتایج نشان داد که فرسایش کانال در تنگه رودخانه می‌تواند توپوگرافی بالا آمده، شواهد فعالیت زمین‌ساختی و نهشته‌گذاری رودخانه را در زمان 50 سال از بین ببرد و در نتیجه نسبت دادن تغییرات مورفولوژی رودخانه به تکتونیک یا عوامل اقلیم پیچیده و دشوار خواهد شد. مورفوتکتونیک حوضه رودخانه ماکیونی[۵] در تانزانیا نیز توسط فلورس پریتو و همکاران (Flores-Prieto et al, 2015) بررسی گردید. در ایران نیز درباره تکتونیک و شاخص‌های ژئومورفیک، کارهای زیادی انجام گرفته است. از جمله: فتوحی (۱۳۹۲) به بررسی تاثیر تکتونیک فعال بر تشکیل مخروط‌افکنه‌ی دوقلوی وزیره در شرق حوضه زاگرس پرداخت. همچنین در پژوهشی از امیراحمدی و همکاران (۱۳۹۴) وضعیت نو زمین‌ساخت منطقه گرمسار را با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی برای برآورد وضعیت تکتونیکی حوضه حبله‌رود بررسی کرده است. در پژوهشی محمدابراهیمی و همکاران (۱۳۹۴) ارتباط عوامل مؤثر خاکی و غیرخاکی در ایجاد فرسایش خندقی خطی در حوضه آبخیز آق امام (۲) را بررسی و فاکتورهای مؤثر آن را دسته‌بندی و کاوش نمودند. یمانی و عرب عامری (۱۳۹۷) کاربرد آنالیز کمی پارامترهای ژئومورفومتریک حوضه آبخیز منج را در شناسایی مناطق حساس به فرسایش و نیز فرسایش گالی بررسی نمودند. با توجه به اینکه ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی جوان و شناسایی شواهد آن در مناطق کوهستانی می‌تواند به‌عنوان روشی در تحلیل و شناخت ویژگی‌های منطقه و نحوه تغییر و تحول آن‌ها به شمار رود، بنابراین شناسایی این عوامل و آگاهی از تأثیرات آن‌ها می‌تواند برای انسان در کنترل و مدیریت محیطی مناطق فوق بسیار مؤثر باشد. بنابراین در این پژوهش که در دامنه‌های جنوبی البرز شرقی در منطقه گرمسار- سمنان انجام گرفت، با توجه به اینکه لندفرم‌های مختلف در منطقه تغییرات محسوسی را متحمل شده و گالی‌های عمیقی در منطقه ایجاد شده‌اند، هدف آن است که ضمن تحلیل تأثیر نوزمین‌ساخت بر ژئومورفولوژی گالی های دشت‌سرهای جنوب البرز شرقی علت تغییرات مکانی موجود نیز مورد بررسی قرار گیرد. همچنین عوامل مختلف در تشکیل گالی‌ها تحلیل شده و با به‌کارگیری شواهد رسوبی، پوشش‌گیاهی، عوامل

انسانی و تکتونیک و همچنین پهنه‌بندی فرسایش گالی‌ها به روش فازی و ANP، ژنز و ارتباط آنها با عوامل تاثیرگذار تحلیل و تبیین گردد.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه دشت‌سرهای البرز شرقی در محدوده گرمسار تا سمنان را شامل می‌شود (شکل ۱). رشته کوه‌های البرز ساختار زمین‌شناسی و چینه‌شناسی پیچیده‌ای دارد. دامنه‌های جنوبی البرز در بیشتر طول مسیر به واحد ساختمانی ایران مرکزی شباهت بیشتری دارد. به نظر می‌رسد تمامی تحولات زمین‌شناسی که باعث جدایی دو واحد ساختمانی ایران مرکزی و البرز شده است در اثر عملکرد گسل‌های موازی در حد واسط دو واحد فوق می‌باشد. این محدوده در حدفاصل واحدهای البرز و ایران مرکزی واقع شده است.

شکل ۱: محدوده مورد مطالعه در دامنه‌های جنوبی البرز شرقی، در این شکل موقعیت سایت‌های مورد بررسی نشان داده شده است.

مواد و روش‌ها

با توجه به گستره مورد مطالعه و روش پژوهش، قلمرو تحقیق به ۴ سایت مطالعاتی تقسیم شده است و سپس داده‌ها طی چند مرحله گردآوری شده‌اند. این داده‌ها ۴ گروه اصلی را شامل شده‌اند. داده‌های کتابخانه‌ای و اسنادی، داده‌های حاصل از تحلیل رقومی تصاویر و نقشه‌های مختلف، داده‌های حاصل از تحلیل فیزیکی و شیمیایی رسوب گالی-های موجود در سایت‌های مورد بررسی مهم‌ترین آنها هستند. در این میان ۲۴ نمونه رسوب که سه نمونه از ابتدا، میانه و انتهای طول گالی‌ها و سه نمونه نیز از دیواره گالی‌ها از ۲۵٪ ابتدای دیواره، ۵۰٪ میانه دیواره و ۷۵٪ بخش انتهایی دیواره گالی-های هر سایت برداشت شد (شکل ۲).

- **برای آنالیز شیمیایی نمونه‌ها:** ابتدا نمونه‌ها از الک ۶۲/۵ میکرون عبور داده شده و سپس عناصر موردنظر شامل کربنات، بی‌کربنات، کلر، کلسیم، منیزیم، پتاسیم، سدیم، فسفر و ازت (نیتروژن) مشخص شد، همچنین مقادیر آهک، pH و شوری نیز محاسبه گردید.

- **برای تحلیل مورفومتری قطعات سطحی:** تعداد ۸۰۰ نمونه به روش شبکه‌ای انتخاب و مورفومتری گردید و سپس شاخص گردشدگی و پهن‌شدگی برای آنها محاسبه و نمودارهای آنها در نرم‌افزار اکسل رسم و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته اند. (رابطه ۱).

رابطه ۱)

شاخص پهن‌شدگی

$$AP= L+I/2E$$

AP = شاخص پهن شدگی، l= قطر کوچک و L = قطر بزرگ قلوه سنگ، E=ضخامت آن می باشد.

- **داده‌های حاصل از تحلیل مورفومتری گالی‌ها:** شامل طول، عرض، عمق و شیب گالی‌ها در هر چهار سایت در مقطع‌های ۱۰۰ متری، اندازه‌گیری و مقایسه شد.

شکل ۲: نمونه‌برداری از رسوب منطقه

- **برای کارهای آزمایشگاهی:** نمونه‌های برداشت‌شده در آزمایشگاه ژئومورفولوژی توزین شده و توسط شیکر الک، دانه‌سنجی و توسط نرم‌افزار GRADISTAT v811مورد تحلیل واقع شدند.

- **داده‌های حاصل از محاسبه و تحلیل تراکم و نوع پوشش گیاهی:** نیز از طریق جمع‌آوری نمونه‌های گیاهی با هدف تعیین نوع و درصد تراکم گونه‌های گیاهی انجام شد. در هر سایت، در یک باکس یک هکتاری، تعداد گونه‌های گیاهی شمارش و در فرمول مورد نظر محاسبه شد (رابطه ۲).

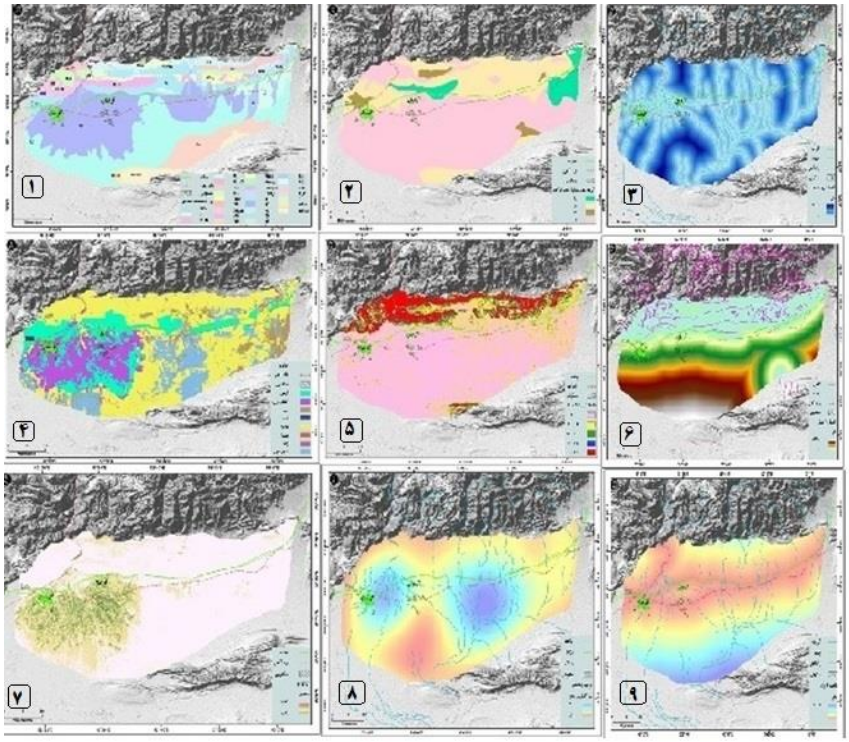
رابطه ۲)

درصد تراکم گونه‌ها

$$\text{درصد تراکم گونه‌های گیاهی} = \frac{\text{تعداد گونه های گیاهی}}{\text{مساحت}} * 100$$

علاوه بر این، داده‌های حاصل از محاسبه شاخص‌های تکتونیک فعال منطقه، داده‌های مورفومتری گسل‌ها و نیز داده‌های میدانی و بررسی و تشخیص شواهد و نیز لندفرم‌های حاصل از فعالیت تکتونیکی منطقه در مقیاس کلی مورد بررسی قرار گرفت. این داده‌ها در مجموع برای پهنه‌بندی و تهیه معیارهای سازند زمین‌شناسی و خطوط گسل، (نقشه گرمسار با مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰) مورد استفاده قرار گرفت. معیار کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای Landsat OLI & ETM سال ۲۰۱۸ به‌دست آمد. معیار بافت خاک نیز از داده‌های اداره منابع طبیعی و آبخیزداری استان سمنان تهیه شد. از مدل رقومی ارتفاع[۶] ۳۰ متری ASTER برای تهیه معیارهای ارتفاع، شیب و جهت دامنه استفاده شد. شاخص

تراکم پوشش گیاهی از تصویر ماهواره‌ای Sentinel-2 سال ۲۰۱۹ استخراج شد و لایه‌های آبراهه و جاده نیز از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵,۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه شدند. برای پهنه‌بندی، در ابتدا، متغیرهای ۱۰ گانه مؤثر در وقوع فرسایش گالی با استفاده از AHP و براساس نظرات کارشناسی، استانداردسازی شده، سپس از طریق دو مدل ANP و Fuzzy هم‌پوشانی آن‌ها صورت گرفته است تا نقشه‌های پهنه‌بندی توسعه گالی‌ها به‌دست آیند. مراحل اصلی تحلیل سلسله مراتبی شامل ساخت ماتریس مقایسه زوجی، مقایسه زوجی گزینه‌ها، تعیین وزن گزینه‌ها و در نهایت محاسبه نرخ ناسازگاری است (قدسی‌پور، ۱۳۹۰). در مقایسه زوجی بر حسب هر معیاری میزان ارجحیت گزینه‌ها به‌صورت دوتایی مقایسه شده و ارجحیت آن‌ها به‌صورت عبارتی مشخص شده است. سپس به ازای هر عبارت عددی به ارجحیت گزینه‌ها تخصیص و تعیین شده است. مقادیر ارجحیت گزینه‌ها طبق جدول ۱ تعیین شده است. از نظر سنگ‌شناسی و به‌منظور استانداردسازی واحدهای سنگ‌شناسی در سطح منطقه مورد بررسی می‌توان ۹ واحد را شناسایی نمود. ژیپس و مارن حساس‌ترین واحد به فرسایش گالی بوده و بیش‌ترین وزن (۰/۳۱۲) را در پهنه‌بندی فرسایش گالی نسبت به سایر واحدهای سنگ‌شناسی دارد. از نظر خاک، خاک‌های با بافت سیلتی و سیلتی لومی بیش‌ترین وزن نسبی حاصل از AHP و به بافت شنی کمترین وزن نسبی اختصاص داده شد. همچنین پارامتر فاصله از آبراهه از روی نقشه توپوگرافی در محیط ArcGIS ترسیم و با استفاده از تابع فاصله اقلیدوسی[۷] بر مبنای شعاع حداکثر فاصله[۸] و با اندازه سلول‌های ۳۰ متری به لایه رستری فاصله از آبراهه تبدیل شدند. در مورد کاربری اراضی، از تصاویر ماهواره‌ای Landsat OLI و با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی نظارت شده[۹] استفاده شده است. اراضی کشاورزی، بایر، شهری، مرتع، مسیل، شوره‌زار و آیش مهم‌ترین کاربری‌ها و پوشش‌های اراضی منطقه مورد بررسی را شامل می‌شوند که با توجه به نقشه کاربری اراضی استخراج شد. برای شیب منطقه، درصد و جهت دامنه بررسی شده است. از مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری ASTER برای تهیه نقشه شیب استفاده شد که نقشه طبقات شیب در شکل ۸ آورده شده است. پس از تشکیل ماتریس AHP و وزن‌دهی نقشه شیب تهیه شده است (شکل ۳). برای فاصله از گسل نیز ابتدا گسل‌های منطقه از روی نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ استخراج گردید؛ سپس به‌منظور تبدیل نمودن آن‌ها به لایه رستری، از تابع فاصله بر مبنای حداکثر فاصله با اندازه سلول‌های ۳۰ متری استفاده شد. همچنین جهت دامنه براساس مدل رقومی ارتفاع ASTER و به‌منظور تعیین وزن نسبی هرکدام از جهات دامنه که بیانگر میزان تأثیر آن‌ها در احتمال وقوع فرسایش گالی است، ماتریسی به ابعاد ۸×۸ در محیط Expert Choice تشکیل و مقایسه زوجی آن‌ها که بیش‌ترین وزن نسبی برای دامنه‌های شمال غربی (۰/۳۱۲)، شمالی (۰/۲۲۲) و دامنه غربی (۰/۱۵۵) به‌دست آمد. برای تراکم پوشش گیاهی از شاخص تراکم پوشش گیاهی (NDVI)[۱۰] و تصویر ماهواره‌ای Sentinel-2 تاریخ ۲۰ ژانویه ۲۰۱۹ استفاده شد. برای تراکم زهکشی هم، وزن نسبی طبقات تراکم زهکشی که بیانگر میزان تأثیر آن‌ها در احتمال وقوع فرسایش گالی است، ماتریسی به ابعاد ۵×۵ در محیط Expert Choice تشکیل و مقایسه زوجی آن‌ها براساس میانگین نظرات کارشناسی انجام شد. در نهایت فاصله از جاده با استفاده از تابع فاصله براساس حداکثر فاصله و اندازه سلول‌های ۳۰ متری تهیه شده است (شکل ۳).



شکل ۳: ۱) واحدهای سنگ‌شناسی، ۲) گروه‌های هیدرولوژیک خاک، ۳) فاصله از آبراهه، ۴) کاربری اراضی، ۵) طبقات شیب، ۶) فاصله از گسل، ۷) تراکم پوشش گیاهی، ۸) تراکم زهکشی، ۹) فاصله از جاده.

تجزیه و تحلیل: برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و مقایسه آنها و بررسی ارتباط تغییرات لندفرمی و تأثیر تکتونیک بر آنها و همچنین تشخیص صحت و کارآمدی شاخص‌های ژئومورفیک منطقه از سه مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP)[11]، فرآیند تحلیل شبکه (ANP)[12] و فازی (Fuzzy) برای پهنه‌بندی میزان خطر فرسایش گالی در دشت-سرهای جنوب البرز شرقی استفاده گردید و با مقایسه عوامل تأثیرگذار در چهار سایت موردنظر، توسعه یافتگی گالی‌ها با این عوامل ارتباط داده شد.

جدول ۱: مقادیر ترجیحات برای مقایسه‌های زوجی (Tang and et al, 2017)

ترجیحات (قضاوت شفاهی)	مقدار عددی
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان	۱
کمی مرجع یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر	۳
ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت قوی	۵
ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی	۷
کاملاً مرجع یا کاملاً مهم‌تر یا کاملاً مطلوب‌تر	۹
ترجیحات بین فواصل قوی	۸-۶-۴-۲

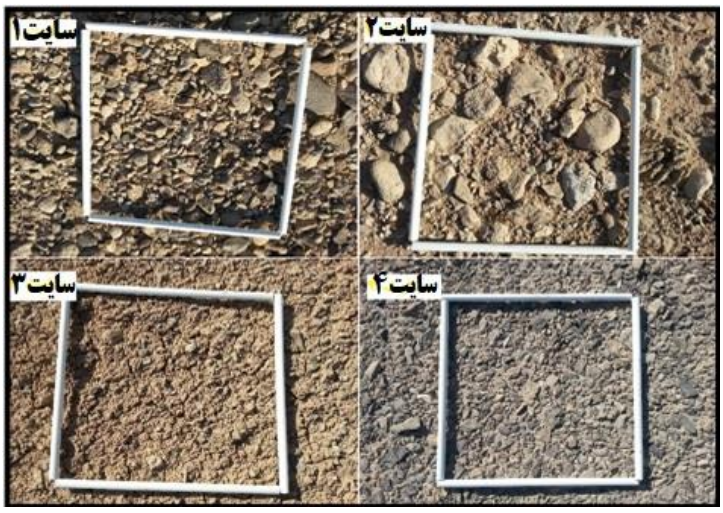
بحث و نتایج

با توجه به اینکه در ایجاد و توسعه گالی‌ها، فاکتورهای مختلف دخالت دارند، و به‌دلیل وجود گالی‌های عمیق در منطقه و مخصوصا برخی‌سایت-ها، ابتدا هرکدام از فاکتورهای موردنظر در منطقه بررسی شدند تا میزان تأثیرپذیری هرکدام روشن و

مهم‌ترین عامل در این بین مشخص گردد. فاکتورهای مورد بررسی عبارتند از فیزیک و شیمی رسوب در هرکدام از سایت‌ها، تأثیر تکتونیک در منطقه، پوشش گیاهی، کاربری اراضی.

ارتباط رسوب و توسعه یافتگی گالی‌ها

در سایت ۱ و ۲ رسوبات قلوه‌سنگی، در سطح منطقه به‌صورت سنگفرش قرار گرفته است (شکل ۴). در دیواره این گالی‌ها نیز رسوبات تقریبا درشت هستند که با مقدار اندکی رسوبات ریزتر همراهند. این شرایط در این دو سایت، شرایط مساعدی را برای تشکیل گالی‌ها فراهم نکرده است. در سایت ۱ با توجه به اندازه‌گیری و مورفومتری عمق و طول گالی‌ها در مقطع‌های مختلف، مشاهده گردید که در ابتدای سایت تا میانه آن، گالی‌ها بسیار کم‌عمق و کم‌عرض هستند، ولی در انتهای سایت، به‌طور ناگهانی گالی‌ها عمیق و عریض گشته‌اند و وجود دیواره قائم در انتهای این گالی‌ها که رسوبات را به صورت عمودی بریده است، فعالیت گسل در منطقه را تأیید می‌کند. پس در این سایت توسعه‌یافتگی گالی‌ها با قطر رسوبات منطقه ارتباط خاصی ندارد. زیرا اگر ارتباط داشت باید در ابتدا تا میانه سایت نیز تغییری در عمق و عرض گالی‌ها مشاهده می‌شد. ولی در سایت ۲، به دلیل پوشش درشت رسوبات سطحی، رسوبات ریزدانه زیرین در گسترش گالی‌ها تأثیری نداشته‌اند و گالی‌ها بسیار کم‌عمق و کم‌عرض باقی مانده‌اند. بیشترین عمق آنها ۱متر و بیشترین عرض آنها ۳/۵ متر اندازه‌گیری شد.



شکل ۴: مورفومتری رسوب سطحی در ۴ سایت مورد مطالعه (ابعاد شبکه نمونه‌گیری نیم متر است)

در سایت ۳، پوشش سنگفرش وجود ندارد بلکه رسوبات سطحی بسیار ریزدانه به همراه مقدار اندکی قلوه‌سنگ هستند. در اندازه‌گیری‌های میدانی، بیشترین عرض و عمق در چهار سایت مربوط به گالی‌های این سایت است (عمق ۲۴ و عرض ۹۵/۵ متر). در این سایت علاوه بر تأثیر رسوب، به نظر می‌رسد عوامل تکتونیکی در توسعه‌یافتگی گالی‌ها بسیار موثر بوده است، زیرا در سایت ۳، گالی‌ها به طرز عجیبی عمیق و عریض گشته‌اند و وجود دیواره گسلی در قسمت پایین‌دست سایت موردنظر نیز موید همین امر می‌باشد. در سایت ۴، رسوبات سطحی کاملا پوشیده از سنگفرش قلوه‌سنگی است (شکل ۴).

در زیر این پوشش سطحی، رسوبات بسیار ریزدانه پلایای گذشته وجود دارد که هر جا به خاطر هرزآبها یا عوامل انسانی، سنگفرش قلوه‌سنگی از

بین رفته است، به راحتی رسوبات ریزدانه زیرین فرسایش داده شده و گالی‌ها گسترش یافته‌اند. در این سایت نیز توسعه یافتگی گالی‌ها با رسوب منطقه ارتباط نزدیکی دارد (شکل ۵).

شکل ۵: اندازه ذرات تشکیل دهنده گالی‌ها

مورفومتری گالی‌ها

عرض و عمق گالی‌ها در هر ۴ سایت در مقطع‌های ۱۰۰ متری، اندازه‌گیری شد، تا تفاوت‌های عرض و عمق گالی‌ها در ۴ سایت مشخص گردد (جدول ۲).

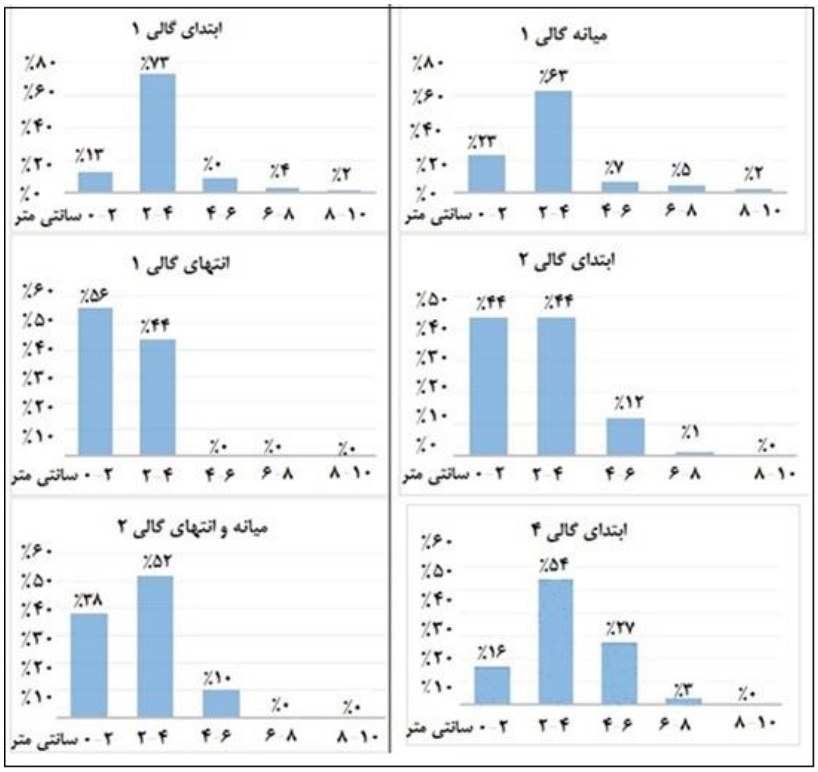
جدول ۲: عرض و عمق گالی‌ها در ۴ سایت در مقطع‌های ۱۰۰ متری

سایت	مقطع	5 متر	100	200 متر	300	400 متر	500	600 متر	700	800 متر	900
سایت ۱	عرض	۲	۳/۵	۶	۷	۱۰	۱۱	۱۴	۱۴	۱۵	۲۸
	عمق	۰/۸	۱	۱/۵	۲	۲	۲/۵	۳/۵	۶	۷	۱۳
سایت ۲	عرض	۱/۵	۲	۲	۲	۳/۵	۴	۴	۴	۴	۵
	عمق	۰/۵	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۱	۱	۱	۱	۱
سایت ۳	عرض	۲۷	۳۵	۴۹	۶۰	۸۰	۹۲	۹۵/۵	۷۴	۷۵	۶۵
	عمق	۴	۶/۵	۹	۱۲	۱۵	۲۰	۲۳	۱۸	۱۹	۱۶
سایت ۴	عرض	۳۵	۳۰	۳۴	۳۵	۴۰	۲۸	۲۵	۳۲	۳۶	۳۰
	عمق	۱/۵	۲/۵	۳	۳/۵	۳/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۳/۵	۳

مورفومتری قلوه‌سنگ‌ها و محاسبه ضریب پهن-شدگی

در سایت یک و دو، به دلیل درشت‌بودن رسوب سطحی، در چند باکس ۵ در ۵ متری، تعداد ۸۰۰ نمونه به روش شبکه‌ای انتخاب و مورفومتری گردید. علاوه برآن دانه‌های درشت‌تر از ۲ سانتی‌متر در رسوبات نمونه‌برداری شده نیز مورفومتری شد و شاخص پهن‌شدگی در آنها محاسبه شد. همان‌گونه که در جدول مشاهده می‌شود: در ابتدا و میانه سطحی سایت یک، سایش و پهن‌شدگی کمتری در رسوبات گالی نسبت به انتهای همان گالی وجود دارد. بدیهی است، هر چه شاخص پهن‌شدگی به یک نزدیکتر باشد، پهن‌شدگی و سایش در رسوب بیشتر است. در انتهای گالی سایت یک، ۵۶٪

رسوبات دارای سایش و پهن‌شدگی هستند که نسبت به همه سایت‌ها بیشتر است و شاید دلیل آن وجود رسوبات درشت مخروط‌افکنه گرمسار باشد که توسط تکتونیک در راستای گسل گرمسار بالا آمده‌اند. پس از آن ابتدای گالی سایت دو با ۴۴٪، پهن شدگی و سایش بیشتری را تجربه کرده است (شکل ۶).



شکل ۶: شاخص پهن‌شدگی در رسوب سطحی گالی‌های مطالعه شده

بیشترین پهن‌شدگی و سایش در دیواره گالی‌ها، مربوط به دیواره گالی ۲ با ۵۷٪ است که آن هم به دلیل این است که رسوبات سایت دو از دو حوضه مجزا نشأت می‌گیرند. یک حوضه بزرگ و یک حوضه کوچک. رسوباتی که از حوضه بزرگ نشأت گرفته‌اند و فاصله بیشتری حمل شده‌اند، سایش و پهن‌شدگی بیشتری را متحمل گشته‌اند و این مورد کاملا در مورفومتری و تحلیل رسوبات قابل مشاهده است. پس از آن رسوبات انتهای دیواره گالی ۳ با ۴۷٪، سایش بیشتری داشته است و پهن پهن شدگی بیشتری دارند. در ابتدا و میانه دیواره گالی ۳، همان‌گونه که در مشاهدات میدانی نیز بررسی شد، رسوبات کاملا گلی و ریزدانه بودند. در بقیه سایت‌ها، رسوبات تقریبا پهن‌شدگی و سایش کمتری را متحمل شده‌اند که نشان از جریان‌های پر انرژی و پر رسوب در منطقه دارند.

ژئو شیمی نمونه‌ها

عناصر کربنات، بی‌کربنات، کلر، کلسیم، منزیم، پتا سیم، سدیم، فسفر و ازت (نیتروژن)، همچنین مقادیر آهک، pH و شوری طی کارهای آزمایشگاهی اندازه‌گیری و محاسبه شد. از آنجا که میزان کلسیم رابطه مستقیمی با کاهش فرسایش پذیری رسوبات دارد. لیکن بررسی‌ها نشان داد که در سایت ۱ میزان کلسیم بیشتر از سه سایت دیگر

بوده است با این وجود گسترش گالی‌ها در این سایت، مخصوصا انتهای سایت ۱ بسیار بیشتر بود. این اختلاف را می‌توان به غلبه عامل تکتونیک و تغییر سطح اساس ناگهانی ارتباط داد. در سایت ۳ نیز با اینکه میزان کلسیم در دیواره آن بیشتر از سایر سایت‌ها است باز هم گسترش عرضی و عمقی شدید گالی‌ها مشهود است. بنابراین در این سایت نیز گسترش گالی‌ها با عاملی غیر از ژئوشیمی رسوب ارتباط دارد. همان‌گونه که در جدول نیز مشاهده می‌شود میزان سدیم در رسوبات سطحی گالی‌ها تفاوت کمتری را نشان می‌دهد. ولی در رسوب دیواره گالی‌ها، یعنی در دیواره گالی ۳ و دیواره گالی ۴، افزایش بسیاری را نشان می‌دهد، که نسبت به همه گالی‌های دیگر بسیار زیادتر است. این موضوع می‌تواند دلیل افزایش عمق و عرض گالی‌های این دو سایت باشد. در دیواره گالی ۱ و در دیواره گالی ۲ میزان سدیم مقدار کمتری را نشان می‌دهد که می‌توان توسعه نیافتگی آنها را در سایت ۲ به کم بودن میزان سدیم در دیواره آن ارتباط داد. اما توسعه عمیق در انتهای گالی‌های سایت ۱ قطعاً عامل دیگری مانند تکتونیک و تغییر سطح اساس نسبتاً سریع است. مقدار پتاسیم نیز در ۴ سایت نسبتاً بالا است. با این وجود در صد کربن آلی و در صد ماده آلی نیز بسیار جزئی است (جدول ۳). به‌طور معمول در خاک‌های حساس به فرسایش مقادیر PH با مقدار فرسایش همبستگی مستقیم دارد. میزان PH در همه سایت‌ها و دیواره گالی‌ها تقریباً در یک حدود است و تفاوت‌های جزئی در ۴ سایت نمی‌تواند عامل تأثیرگذار عمده‌ای به حساب آید. افزایش میزان EC یا میزان هدایت الکتریکی خاک نشانگر افزایش مواد قابل انحلال و دیسپرسه شدن آن می‌شود. میزان EC در دیواره گالی‌ها مقادیر بیشتری را نشان می‌دهد. اما براساس گسترش و توسعه عمق و عرض گالی‌ها به نظر می‌رسد روند EC آنچنان تعیین کننده نبوده است و باید گسترش گالی‌ها را علاوه بر عوامل شیمیائی به عامل تکتونیک مرتبط دانست. زیرا در سایت ۱ که میزان EC هم در رسوب سطح و هم در دیواره گالی‌ها ناچیز است، اما گالی‌های موجود به‌طور عمیقی حفر شده‌اند که دلیلی بر وجود تکتونیک فعال در منطقه است (جدول ۳).

جدول ۳: خصوصیات شیمیایی رسوبات

	نام	EC (میلی‌موس)	PH	سدیم (پی‌پی‌ام)	کلسیم	منیزیم	درصد کربن آلی	درصد ماده آلی	درصد ازت	فسفر	پتاسیم
1	میانه و دیواره G2	4	/۷۵ ۷	۳۲۹/۵۶۱	۴۴	۲۶	۰/۱۷۵۵	۰/۳۰	۰/۰۳۵	۳	۴۷۴/۵۹
2	مرکزی دیواره G4	۱۰۴/۶	۶	۴۵۸/۵۷۲ ۳	۸۰	۲۳۰	۰/۱۵۶	۰/۲۷	۰/۰۴۶	۵/۴	۸۲۸/۲۲
3	سطحی پایینی G4	۷/۴۵	۷/۵	۵۵۷/۲۷۶	۵۰	۳۰	۰/۰۹۷۵	۰/۱۷	۰/۰۴۹	۲/۴	۴۹۴/۲۴
4	دیواره G1	۶/۰۴	۷/۷	۴۸۹/۴۴۶	۵۴	۲۶	۰/۲۵۳۵	۰/۴۴	۰/۰۴۲	۳/۰۶	۵۵۳/۱۷
5	میانه سطحی G3	۲/۷۷	۷/۹	۱۷۴/۵۲۱	۴۰	۳۰	۰/۱۱۷	۰/۲۰	۰/۰۵۱	۰/۶	۳۹۶
6	میانی سطحی G1	۴/۰۵	۸	۳۱۵/۰۲۶	۶۰	۶۰	۰/۲۹۲۵	۰/۵۰	۰/۰۵۸	۷/۵	۵۳۳/۵۳
7	وسط دیواره G3	۵۵/۱	/۷۱ ۶	۳۲۹/۸۰۲ ۴	۹۰	۷۰	۰/۰۹۷۵	۰/۱۷	۰/۰۲۸	۴	۵۳۳/۵۳

پوشش‌گیاهی و کاربری اراضی در توسعه گالی‌ها

پوشش گیاهی منطقه تقریبا یکنواخت بوده و از نظر درصد پوشش گیاهی تغییرات کمی در آن ملاحظه می‌شود که علت آن، اقلیم منطقه، نوع خاک سطحی و شوری بی‌اندازه اراضی است. لیست فلورستیک پوشش گیاهی منطقه فقیر و دارای تنوع گونه‌ای کم می‌باشد (جدول ۴).

جدول ۴: تیپ گیاهی منطقه مطالعاتی

تیپ گیاهی	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
گونه	جغجغه، خارشتر	اشنیان، خارشتر	اشنیان، درمنه	گز، نی	درمنه، شور	اسکمبیل، قیچ	تاغزار	اراضی لخت	اراضی زراعی

برای محاسبه درصد تراکم گونه‌های گیاهی در هر سایت، در یک باکس یک هکتاری، تعداد گونه‌های گیاهی شمارش شد و بر مساحت تقسیم گردید و در صد ضرب شد. در سایت ۱، تعداد ۴۰۳۸ گیاه در یک هکتار شمارش شد که با توجه به محاسبه در فرمول ۴۰٪ درصد تراکم گونه‌های گیاهی در سایت ۱ وجود دارد. در سایت ۲ تعداد ۴۵۷۱ گیاه در یک هکتار شمارش گردید که با توجه به فرمول ۴۵٪ درصد تراکم گونه‌های گیاهی را در سایت ۲ داریم. در سایت ۳ تعداد ۸۸۸ بوته گیاه در یک هکتار شمارش شد که ۹٪ درصد تراکم گونه‌های گیاهی را داریم. در سایت ۴ تعداد ۵۱۰ بوته دریک هکتار شمارش گردید و درصد تراکم گونه‌های گیاهی در این سایت ۵٪ درصد محاسبه گردید. با توجه به درصد تراکم گونه‌ها همچنین درصد تاج پوشش گیاهی در ۴ سایت و مقایسه آن با توسعه و تراکم گالی‌ها، ارتباط خاصی بین توسعه‌یافتگی گالی‌ها و پوشش‌گیاهی منطقه مشاهده نمی‌شود. همان‌طور که می‌دانیم با افزایش پوشش گیاهی در هر منطقه، استحکام خاک نیز بیشتر شده و در نتیجه گالی‌ها امکان کمتری برای توسعه می‌یابند ولی با وجود اینکه درصد تراکم پوشش گیاهی در سایت ۱ و ۲ بیشتر از سایر سایت‌ها است، ولی در سایت ۱ گالی‌ها توسعه شدیدتری دارند. در صورتی که در سایت ۲ گالی‌ها توسعه نیافته‌اند. در سایت ۳ و ۴ به ترتیب ۹ و ۵ درصد تراکم پوشش گیاهی وجود دارد. در سایت ۳ گالی‌ها به شدت توسعه یافته و عمیق و عریض گشته‌اند اما در سایت ۴ گالی‌ها توسعه یافتگی متوسط را تجربه کرده‌اند (جدول ۵).

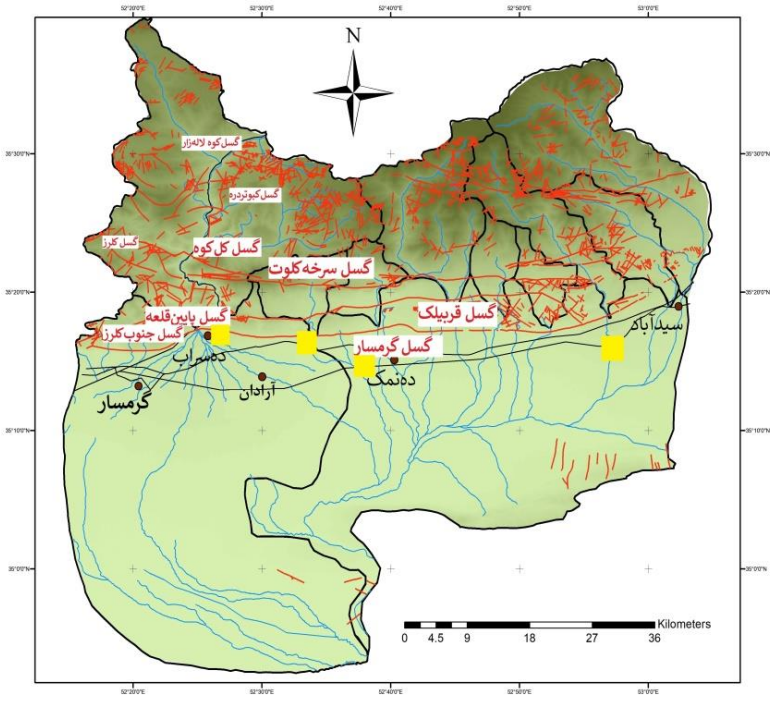
جدول ۵: ارتفاع و درصد تاج پوشش گیاهی

ارتفاع تاج پوشش گیاهی cm	درصد تاج پوشش گیاهی سایت ۱	درصد تاج پوشش گیاهی سایت ۲	درصد تاج پوشش گیاهی سایت ۳	درصد تاج پوشش گیاهی سایت ۴
20-0	%50	%35	%15	%20
40-20	%30	%45	%25	%60
60-40	%10	%10	%40	%15
بالاتر از ۶۰	%10	%10	%10	%5

در مورد کاربری اراضی منطقه کاربری‌های مختلف مسکونی، زراعی، مرتعی و صنعتی در منطقه وجود دارد که تفاوت زیادی در کاربری سایت‌ها مشاهده نگردید، بنابراین این عامل نیز در تغییرات گالی‌ها نقش چندانی ندارد.

تأثیر تکتونیک

براساس مطالعات صورت گرفته در سایت ۱، وجود گالی‌های عمیق و عریض در پایین دست مخروط افکنه‌ها و نیز وجود دیواره گسلی به ارتفاع ۱۰/۵ متر در انتهای این سایت این نتیجه را تداعی می-کند که تنها تکتونیک و تغییر سطح اساس در ایجاد گالی‌های این سایت نقش اصلی را داشته است. در سایت ۳ نیز، علاوه بر اینکه رسوبات ریزدانه‌تر بوده و گالی‌های بسیار عمیق و عریض و مآندری شکل در آن تشکیل شده است، تکتونیک نیز نقش بسیار فعالی در توسعه و ایجاد گالی‌ها ایفا نموده است. در مقابل، در سایت ۲ هیچ اثری از تغییرات سطح اساس و توسعه یافتگی گالی‌ها وجود ندارد و تنها در حد هرزآب‌های اولیه در سطح، باقی مانده‌اند. در سایت ۴ نیز گالی‌ها توسعه‌یافتگی مشخصی ندارند و به نظر می‌رسد بافت رسوبات و اثر عوامل انسانی از جمله ایجاد جاده، برداشت‌معدنی مواد رسوبی و تخریب ناشی از مواد کارخانه‌های گچ در بالادست در ایجاد گالی‌های این‌سایت موثر است. از سویی هیچ اثری از تغییرات سطح اساس و تکتونیک در این محدوده دیده نمی‌شود. برای شناخت تأثیر تکتونیک، نتایج به کارگیری شاخص‌های تکتونیک فعال، داده‌های لرزه‌نگاری و نیز سایر شواهد تکتونیکی از جمله لندفرم‌های حاصل از برخاستگی تکتونیکی و نقش آن در توسعه‌یافتگی گالی‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۷).

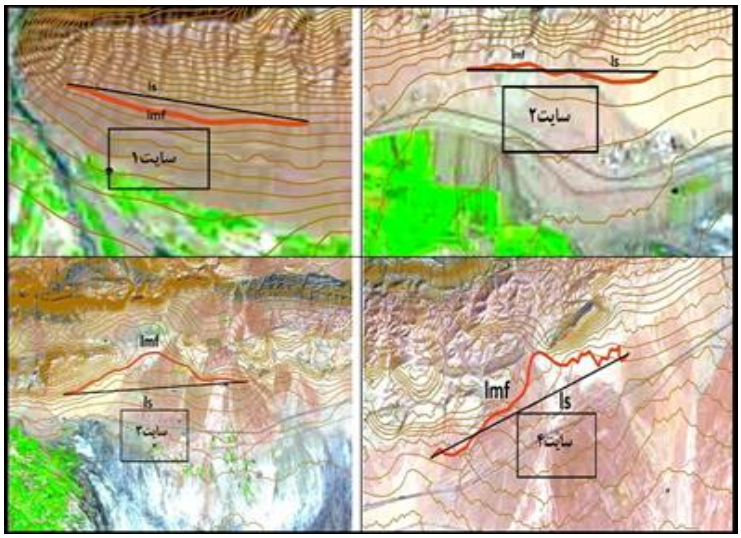


شکل ۷: نقشه گسل‌های منطقه

شاخص‌های مورفوتکتونیکی متعددی برای بررسی فعالیت‌های زمین‌ساختی وجود دارد. در این پژوهش تعدادی از آنها که ارتباط بیشتری داشتند در تحلیل داده‌ها به کار گرفته شد ولی به دلیل محدودیت فضای متن، خلاصه و تنها به نتایج آنها اکتفا شده است. در این میان شاخص سینوسی جبهه کوهستان (smf) در سایت یک، ۱/۰۱ در سایت دو، ۱/۲ در سایت سه، ۱/۰۶ در سایت چهارم

برابر با ۱/۳ محاسبه شد (شکل ۷). با توجه به یافته-ها، سایت‌های مذکور از لحاظ فعالیت زمین ساختی از نظر (keller and pinter, 1996) در گروه مناطق بسیار فعال قرار دارند و از نظر (Hamduni et al, 2008) سایت ۱ و سایت ۳ بسیار فعال و سایت ۲ و سایت ۴ در گروه با فعالیت متوسط قرار می‌گیرند.

بررسی‌های میدانی نیز این موضوع را تایید می‌کند. زیرا انتهای سایت‌های ۱ و ۳ کاملا گسلی بوده و دیواره گسلی به ارتفاع چندین متر امتداد دارد و این گسل، مخروط‌افکنه‌های این بخش را به صورت عمودی برش داده است (شکل ۸).



شکل ۸: محاسبه شاخص smf در گستره مخروط‌افکنه‌های شمال گرمسار

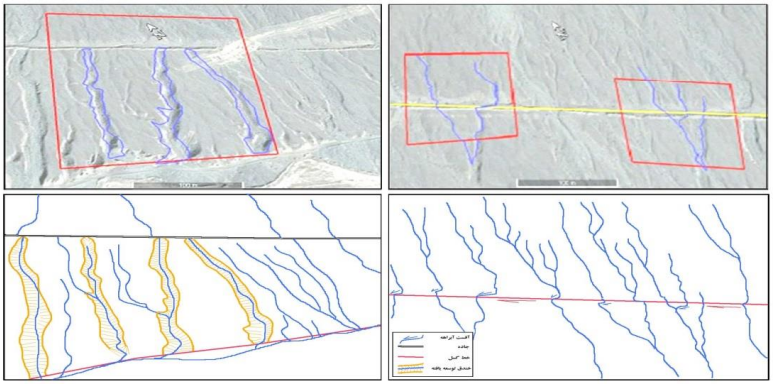
ارتباط تکتونیک با شواهد لندفرم‌های کاوشی – جریانی منطقه

الف) ارتباط تکتونیک و ایجاد پرتگاه‌ها و سطوح مثلثی و پله‌ها و سکوهای افقی: سایت ۱ و ۳ از فعالیت‌های تکتونیک بیشتر تاثیر پذیرفته‌اند. ارتفاع پرتگاه گسل در سایت ۱، ۱۰/۵ متر و در سایت ۳، ۱۴ متر اندازه‌گیری شد (شکل ۹).

شکل ۹: پرتگاه گسل و سطوح مثلثی در سایت۱

ب) ارتباط تکتونیک و انحراف در شبکه هیدروگرافی و ایجاد مخروط‌افکنه‌های تقطیع شده: در سایت‌های ۱ و ۳، هرزآب‌ها تا قسمت‌های میانی سایت، بسیار منظم و کم‌عمق و کم‌عرض هستند، ولی از آن مسیر

به بعد به‌طور ناگهانی عمیق شده و گالی‌های عمیق و عریضی را تشکیل می‌دهند. در هر دو سایت، شبکه‌های زهکشی به دلیل گسل‌خوردگی، بسیار نامنظم جلوه کرده و جابجا شده‌اند و در بسیاری موارد نمی‌توان مسیر اصلی جریان‌ها را مشخص نمود (شکل ۱۰).

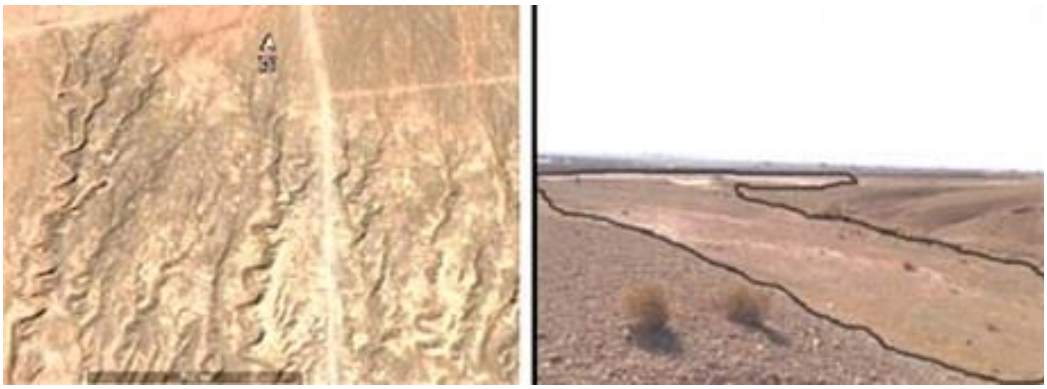


شکل ۱۰: تغییر شکل و مسیر رودخانه در امتداد گسل در سایت ۱

تاثیر گسل‌های اصلی (قربیلک و سرخه کلوت) و نیز گسل‌های جدید در نزدیک روستای ده‌نمک بر مخروط افکنه‌های سایت ۳ و نیز در انتهای سایت ۱ در مجاورت روستای ده‌سراب، باعث برخاستگی رسوبات مخروط‌های مذکور و حفر شدید این رسوبات توسط جریان‌های سطحی به صورت گالی شده است. میزان حفر بستر اصلی به میزان بالا آمدگی زمین‌ساختی بستگی دارد. برخاستگی بخش‌های بالادست مخروط‌افکنه‌ها موجب تغییراتی در پایین‌دست آنها شده است (تغییر مسیرجریان، تغییر موقعیت رسوب‌گذاری، تغییر در بافت رسوبی و تغییر بخش‌های فعال و غیرفعال مخروط‌افکنه‌ها) (محمدنژاد آروق، ۱۳۹۰). بنابراین رسوبگذاری در سطح مخروط قبلی متوقف شده است و با گذشت زمان، بخش‌هایی از مخروط‌افکنه که فعالیت‌های رسوبگذاری در آنها متوقف شده، متروک مانده و تحت‌تاثیر فرایندهای فرسایشی قرار می‌گیرند. متروک شدن بخش‌های بالادست مخروط‌افکنه‌ها موجب گسترش فرایندهای فرسایشی ثانویه در سطح آنها می‌شود و در نتیجه اغلب گالی‌های عمیقی در بخش‌های متروک مخروط‌افکنه‌ها حفر گردیده‌اند. در اغلب مخروط-های این منطقه ۳ سطح مشخص و مجزا تشخیص داده می‌شود (شکل ۱۱).

شکل ۱۱: مخروط‌افکنه‌های تقطیع و متروک مانده (سمت راست) و سطوح مثلثی و ارتفاع بالاآمدگی در مخروط‌افکنه در اثر تکتونیک(سمت چپ)

پ) ارتباط تکتونیک و ایجاد رودخانه‌های تقطیع شده و حوضه‌های بسیار کوچک زهکشی: یکی دیگر از لندفرم‌های جالب ناشی از گسل‌خوردگی، ایجاد رودخانه‌های بی‌سر در محل اثر گسل می‌باشد. در سایت ۱ و سایت ۳ به دلیل بالا آمدن منطقه در اثر گسل، شبکه‌هایی بر روی مخروط‌افکنه شکل گرفته‌اند که ابتدای آنها مشخص نیست و به صورت گالی‌های عمیق و بی‌سر در وسط دشت نمایان شده‌اند و حوضه‌های کوچک زهکشی را در منطقه تشکیل داده‌اند (شکل ۱۲). گسل باعث مسدود شدن مسیر برخی از جریان‌ها و ایجاد آبگیرها و برکه‌های خطی و کم‌عمق در راستای آن شده است. در سایت ۳ این آبگیرها که در انتهای سایت وجود دارند در زمان بارندگی‌های رگباری به صورت حوضچه‌های آب مشخص می‌شوند ولی در فصول خشک به صورت حوضه‌های دق مانند که کف آنها از رسوبات سفیدرنگ رس و نمک پوشیده شده‌اند، قابل مشاهده است (شکل ۱۲).



شکل ۱۲: نمونه‌ای از انشعابات بی‌سر که به خط گسل ختم می‌شوند(چپ) و آبگیرها و برکه‌های کوچک و کم-عمق(راست)

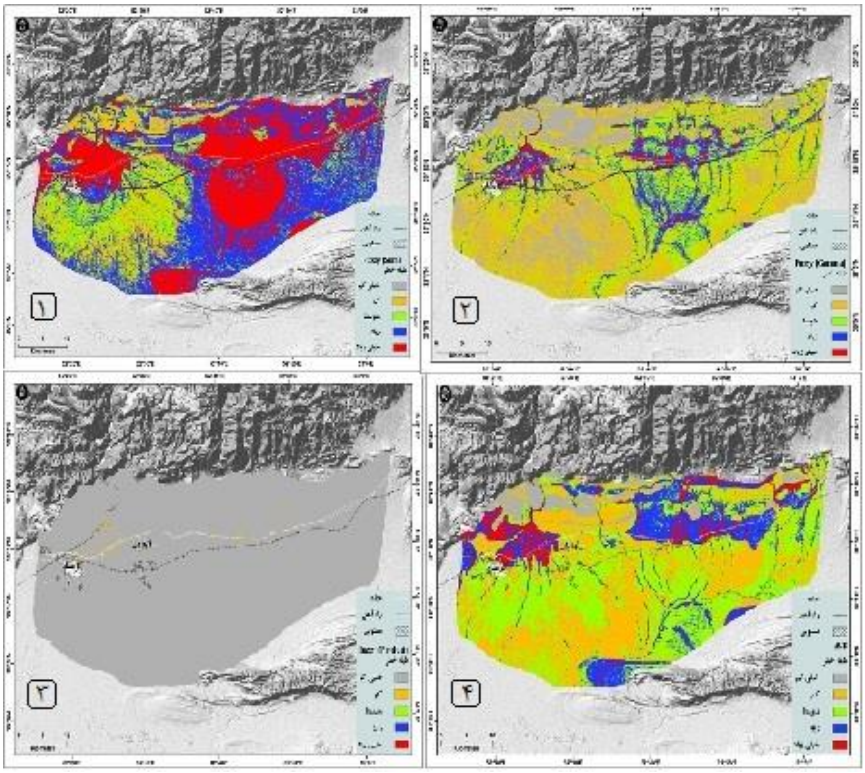
پهنه‌بندی فرسایش گالی با استفاده از مدل‌های Fuzzy و ANP

این بخش با هدف بررسی و شبیه‌سازی احتمال وقوع عوامل مؤثر بر ایجاد فرسایش گالی‌ها در منطقه انجام شده است. برای رسیدن به این هدف، ۱۰ متغیر تأثیرگذار در وقوع فرسایش گالی مورد استفاده قرار گرفته است که شامل سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، خاک، تراکم پوشش گیاهی، شیب، جهت دامنه، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، فاصله از گسل و تراکم زهکشی می‌باشند و سپس نقشه پهنه‌بندی نهایی تهیه گردید (شکل ۱۳).

رابطه ۳)

نقشه پهنه‌بندی = (سنگ شناسی×۰/۲۹۶)+(کاربری اراضی×۰/۲۱۵)+(شبکه زهکشی ×۰/۱۵۳)+(خاک×۰/۱۰۹)+(فاصله از رودخانه×۰/۰۷۶)+(شیب×۰/۰۵۳)+(تراکم پوشش گیاهی×۰/۰۳۷)+(جهت دامنه×۰/۰۲۷)+(فاصله از جاده×۰/۰۱۹)+ (فاصله از گسل×۰/۰۱۵)

با توجه به نقشه پهنه‌بندی نهایی حاصل از ANP، طبقات فرسایش گالی کم و متوسط، بیش‌ترین مساحت دشت‌سرهای جنوب البرز شرقی را به خود اختصاص داده‌اند و این نتیجه حاصل می‌شود که ایجاد گالی‌های عمیق تنها در قسمت‌هایی از منطقه و سایت‌ها، دلیلی غیر از عوامل مذکور داشته و با توجه به شواهدی که مطرح گردید، عامل تکتونیک فعال منطقه مهم‌ترین عامل در ایجاد و توسعه گالی‌های منطقه محسوب می‌شود.



شکل ۱۳: ۱) نقشه پهنه‌بندی احتمال وقوع فرسایش گالی در دشت‌سرهای جنوب البرز شرقی (منطقه گرمسار) با استفاده از تابع جمع فازی، ۲) نقشه پهنه‌بندی با استفاده از تابع ضرب فازی، ۳) نقشه پهنه‌بندی با استفاده از تابع گامای فازی، ۴) نقشه پهنه‌بندی با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه (ANP).

جدول ۶: مساحت طبقات خطر وقوع فرسایش گالی دشت‌سرهای جنوب البرز شرقی (منطقه گرمسار) با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه (ANP).

طبقه دامنه توسعه گالی	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت
خیلی کم	۱۰۴	۵/۴
کم	۶۳۷	۳۲/۷
متوسط	۷۴۸	۳۸/۵
زیاد	۳۳۳	۱۷/۱
خیلی زیاد	۱۲۱	۶/۲

جدول ۷: ضریب نهایی متغیرهای ۱۰ گانه مورد بررسی در وقوع فرسایش گالی دشت‌سرهای جنوب البرز شرقی (منطقه گرمسار) با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه

متغیر	ضریب نهایی
سنگ‌شناسی	۰/۲۹۶
کاربری اراضی	۰/۲۱۵
شبکه زهشکی	۰/۱۵۳

خاک	۰/۱۰۹
فاصله از رودخانه	۰/۰۷۶
شیب	۰/۰۵۳
تراکم پوشش گیاهی	۰/۰۳۷
جهت دامنه	۰/۰۲۷
فاصله از جاده	۰/۰۱۹
فاصله از گسل	۰/۰۱۵

نتیجه‌گیری

در این پژوهش که در دامنه‌های جنوبی البرز شرقی در منطقه گرمسار- سمنان انجام گرفت، ارتباط تغییرات گالی‌های منطقه و تأثیر تکتونیک بر آنها تحلیل شد. با توجه به اینکه در طول گسل گرمسار، گالی‌ها صرفاً در بخش محدودی از خط گسل متمرکز شده‌اند و مورفومتری متفاوتی در این امتداد دارند، بدین منظور به بررسی علت این تغییرات پرداخته شد. با توجه به بررسی‌های رسوبی در سایت‌ها، می‌توان گفت که نوع و اندازه رسوب سطحی و عمقی گالی‌ها نتوانسته در همه سایت‌ها به‌طور کامل در توسعه‌یافتگی گالی‌ها موثر باشد. شاید در سایت ۴، توسعه‌یافتگی را فقط به عامل قطر رسوب منطقه و در سایت ۲، عدم توسعه‌یافتگی گالی‌ها را به این عامل بتوان نسبت داد ولی در دو سایت دیگر یعنی سایت ۱ و ۳، نمی‌توان توسعه-یافتگی گالی‌ها را تنها به بافت و قطر رسوب منطقه نسبت داد. با بررسی رسوب سطحی و دیواره گالی-های سایت ۱، که به هیچ وجه ریز دانه نیستند و برعکس، از رسوبات مخروط‌افکنه‌ای سخت‌شده تشکیل شده‌اند و همچنین وجود گالی‌های عمیق و عریض، فقط در قسمتی از این مخروط‌افکنه به سمت پایین دست سایت ۱ و همچنین وجود دیواره گسلی به ارتفاع ۱۰/۵ متر در انتهای سایت می‌توان به این نتیجه دست یافت که عامل اصل که در ایجاد گالی‌های این سایت موثر بوده است عامل تکتونیک فعال و تغییر سطح اساس در این سایت است. در سایت ۳ نیز، با اینکه رسوبات ریز دانه‌اند، ولی ایجاد گالی‌های بسیار عمیق و عریض و مآندری شکل، فقط در قسمتی از مخروط‌افکنه باز نشان از وجود تکتوتیک فعال در توسعه و ایجاد این گالی‌ها دارد. در سایت ۲ که به هیچ وجه اثر تغییرات سطح اساس در منطقه وجود ندارد، توسعه یافتگی گالی‌ها را نیز شاهد نیستیم و فقط در حد هرزآبهایی باقی مانده‌اند. در سایت ۴ نیز گالی‌ها وجود دارند ولی باز توسعه‌یافتگی خاصی را در آنها شاهد نیستم و بیشتر می‌توان وجود رسوب ریزدانه و اثر عوامل انسانی از جمله ایجاد جاده، برداشت‌های بی‌رویه از رسوب و تخریب کارخانجات گچ در بالادست منطقه را در ایجاد گالی‌های این‌سایت موثر دانست. ولی هیچ اثری از تغییرات سطح اساس و تکتونیک را در منطقه شاهد نیستیم. از نظر فاکتورهای شیمیایی رسوب، کربنات، بی‌کربنات، کلر، کلسیم، منزیم، پتاسیم، سدیم، فسفر و ازت (نیتروژن)، همچنین مقادیر آهک، pH و شوری در رسوب سطحی و رسوب دیواره گالی‌ها محاسبه گردید و در نهایت می‌توان عنوان کرد که تفاوت‌ها آنچنان ناچیز بودند که نتوان این فاکتور را عامل تعیین‌کننده‌ای برای رشد و توسعه گالی‌ها در ۴ سایت دانست. از نظر پوشش گیاهی، نیز در ۴ سایت، تفاوت شدیدی وجود ندارد، بنابراین عامل پوشش‌گیاهی نیز نمی-تواند عامل تعیین‌کننده‌ای برای توسعه گالی‌های

منطقه محسوب شود. با بررسی شاخص‌های تکتونیک در منطقه و بررسی شواهد لندفرمی و تکتونیکی دیگر، به بررسی نقش تکتونیک در توسعه‌یافتگی گالی‌ها در ۴ سایت پرداخته شد. و همان‌طور که نتیجه بررسی تکتونیک و شاخص سینوسی جبهه کوهستان که شاخص مناسب‌تر برای منطقه موردنظر محسوب می‌شود، مشاهده گردید که سایت ۱ و ۳ در رده فعالیت تکتونیکی بسیار بالا و سایت ۲ و ۴، در رده فعالیت تکتونیکی متوسط قرار گرفته‌اند و با توجه به ارتباط شواهد تکتونیکی با شواهد لندفرم‌های کاوشی- جریانی، فعالیت بالای تکتونیکی در سایت ۱ و ۲، قابل نتیجه‌گیری است. در سایت ۱ و ۳، وجود گالی‌های عمیق و ایجاد دیواره مرتفع در انتهای سایت‌ها، نشان از وجود گسل فعال در منطقه دارد، شواهد کاوشی - جریانی و لندفرم‌های دیگر از جمله: سطوح مثلثی و سکوهای افقی، تغییر مسیر و شکل آبراهه‌ها و شبکه‌های زهکشی منحرف و جابجا شده، رودخانه‌های بی‌سر و حوضه‌های بسیار کوچک زهکشی، برکه‌ها و آبگیرهای خطی و کم‌عمق، دره-های خطی، مخروط‌افکنه‌های تقطیع شده و متروک مانده، همه نشان از وجود تکتونیک فعال مخصوصا در سایت ۱ و ۳ دارند. در سایت ۱، بالاآمدگی تکتونیکی باعث بالاآمدن رسوبات مخروط‌افکنه‌ای شده است که در اثر افزایش شیب، هرزآب‌ها توانسته‌اند رسوبات مذکور را بریده و گالی‌های عمیقی را در این سایت ایجاد کنند، که هرچه به دیواره گسلی انتهای سایت، نزدیک‌تر می‌شود بر عمق و عرض گالی‌ها افزوده می‌گردد. در سایت ۳، بالاآمدگی بلوک میانی مخروط‌افکنه باعث افزایش شیب و ایجاد گالی‌های بسیار عمیق و عریضی در این سایت شده است ولی در سایت ۲ و ۴ چنین شرایطی وجود ندارد و بیشتر نقش رسوب منطقه نمایان است. در بیشتر پژوهش‌های انجام شده، اغلب به بررسی تکتونیک کفایت شده است و ارتباط تکتونیک با پدیده‌های لندفرمی حاصل نشده است. مثلا در پژوهشی (امیر احمدی و همکاران، ۱۳۹۴) وضعیت نو زمین‌ساخت منطقه گرمسار را با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی برای برآورد وضعیت تکتونیکی حوضه حبله‌رود بررسی کرده است. ولی در پژوهش پیش رو علاوه بر بررسی عوامل دیگر از جمله فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی رسوب سطحی و رسوب دیواره گالی‌ها و همچنین بررسی نوع و گونه‌های پوشش گیاهی منطقه، اثر تکتونیک و تمام شواهد لندفرمی تکتونیک در منطقه بررسی گشته و ارتباط بین تکتونیک با گسترش گالی‌ها در منطقه مطالعه گردیده است. و با توجه به نقشه پهنه‌بندی نهایی حاصل از ANP، بیش‌ترین مساحت دشت‌سرهای جنوب البرز شرقی را، طبقات خطر فرسایش کم و متوسط گالی‌ها، به خود اختصاص داده‌اند. بنابراین با بررسی نتایج حاصل از تحلیل عوامل تأثیرگذار و نقشه پهنه‌بندی نهایی حاصل از ANP و فازی، این نتیجه حاصل گشت در بین عوامل بررسی شده، نوزمین‌ساخت فعال نقش بسیار اساسی در توسعه‌یافتگی گالی‌ها به عهده داشته و پس از آن بافت نهشته‌ها تا حدودی در برخی سایت‌ها نقش داشته است.

پانوشت

1-Ganga
2-Yamuna
3-Dehradun
4-Chaliyar
5-Makuyuni
6-Digital Elevation Model
7-Euclidean Distance
8-Maximum Distance

9-Supervised Classification
10-Normalized Difference Vegetation Index
11-Analytical Hierarchical Process
12-Analytical Network Process

منابع

-امیراحمدی، ا.، ابراهیمی، م. و پورهاشمی، س.، ۱۳۹۴. شـــاخص های ارزیابی تکتونیک فعال در برآورد وضعیت تکتونیکی در حوضه آبخیز حبله‌رود، جغرافیا و توسعه، شماره ۴۱، ص ۲۳-۴۲.

-حبیب اللهیان، م. و رامشت، م.ح.، ۱۳۹۱. کاربرد شاخص‌های ارزیابی تکتونیک جنبا در برآورد وضعیت تکتونیکی بخش علیای زاینده‌رود، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۶، ص ۹۹-۱۱۲.

-فتوحی، ص.، ۱۳۹۲. تأثیر تکتونیک فعال در شرق حوضه زاگرس بر تشکیل مخروط‌افکنه‌ی دوقلوی وزیره، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۲، ص ۱۶۳ - ۱۷۶.

-قدسی پور، ح.، ۱۳۹۰. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، چاپ هشتم، تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۲۸۹ ص.

-کلر، ا. و پینتر، ن.، ۱۳۹۵. تکتونیک فعال زمین‌لرزه‌ها، بالاآمدگی و چشم‌انداز، ترجمه ابوالقاسم گورابی، نشر انتخاب، ۳۴۵ ص.

-مجیدزاده، ر.، حسین زاده، م.ح. و اسماعیلی، ر.، ۱۳۹۰. ارزیابی کمی مورفوتکتونیک فعال در حوضه‌های البرز شمالی (حدفاصل شهرهای بهشهر تا نکاء)، مجموعه مقالات سی‌امین گردهمایی علوم زمین، وزارت صنعت معدن تجارت، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی.

-محمدابراهیمی، م.، جوادی، م. و وفاخواه، م.، ۱۳۹۴. بررسی ارتباط عوامل مؤثر خاکی و غیرخاکی در ایجاد فرسایش خندقی خطی در حوزه آبخیز آق امام (۲)، نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، جلد ۲۹، شماره ۴، ص ۹۲-۱۱۲.

-محمدنژاد آروق، و.، ۱۳۹۰. تحلیل مقایســـه‌ای تحول مخروط‌افکنه‌های دامنه جنوبی البرز شـــرقی (دامغان تا گرمســـار)، رســـاله دکتری، رشـــته ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران.

- مددی، ع.، رضـــائی م.قدّم، م.ح. و ر جایی، ع.، ۱۳۸۳. تحلیل فعالیت‌های نئوتکتونیک با اســـتفاده از روش‌های ژئومورفولوژی در دامنه‌های شمال‌غربی تالش (باغروداغ)، پژوهش‌های جغرافیایی- شـــماره ۴۸، ص ۱۲۳- ۱۳۸.

-یمانی، م. و عرب عامری، ع.، ۱۳۹۷. کاربرد آنالیز کمی پارامترهای ژئومورفومتریک حوضه آبخیز در شناسایی مناطق حساس به فرسایش (مطالعه موردی: حوضه منج)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال ۷، شماره ۲۶، ص ۴۵-۶۲.

-Ambili, V. and Narayana, A.C., 2014. Tectonic effects on the longitudinal profiles of the Chaliyar River and its tributaries, southwest India, Geomorphology, v. 217, p. 37-47.

-Burbank, D.W. and Anderson, R.S., 2001. "Tectonic Geomorphology", Blackwell Science, doi:10.1016/j.geomorph.2010.10.033London, 274 p.

-Cook, K., Jens, L., Turowski, M. and Niels, H., 2014. River gorge eradication by downstream sweep erosion, NATURE GEOSIENCE, v. 7.

-Demoulin, A., 2011. Basin and river profile morphometry: A new index with a high potential for relative dating of tectonic uplift, Geomorphology, v. 126, p. 97-107.

-Flores-Prieto, E., Queneherve, G., Bachofer, F., Shahzad, F. and Maerker,

M., 2015. Morphotectonic interpretation of the Makuyuni catchment in Northern Tanzania using DEM and SAR data, Geomorphology, v. 248, p. 427-439.
-Hamdouni, R.El., Iriggaray, C., Fernandez, T., Chacon, J. and Keller, E.A., 2008. Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada Southern Spain, Geomorphology, doi: 10.1016/j.geomorph.2007.08.004.
-Ioannis, M.T., Ioannis, K.K. and Pavlides, S., 2006. Tectonic geomorphology of the easternmost extension of the Gulf Corinth (Beotia, cnteral Greece). Tectonophysics, https://doi.org/10.1016/j.tecto.2007.06.015. v. 453, p. 211-232.
-Keller, E.A. and Pinter, N., 1996. Active tectonic: Earthqukes, Uplift. And Landscape. Prentice Hall, Pub, 345 p.
-Pickering, J., 2010. Aluvial river response to active tectonics in the Dehradun region, Northwest India: A case study of the Ganga and Yamuna rivers, Durham theses, Durham University.
-Tang, Y., Wen, L.L. and Wei, G.W., 2017. Approaches to multiple attribute group decision making based on the generalized dice similarity measures with intuitionistic fuzzy information. International Journal of Knowledge-based and Intelligent Engineering Systems, v. 21, p. 85-95.