

## Research Paper



## Analysis of The Impact Of Tectono-karst Activities On The Formation of the Transverse Valleys Of Zagros(In The Range Of Avaz To Karmostaj In Fars Province)



Davoud Mokhtari\*<sup>1</sup>, Mohammad Hossein Rezaei Moghaddam<sup>2</sup>, Diana dortaj<sup>3</sup>



This paper is an open access and licenced under the CC BY NC licence.



DOI: 10.22034/HYD.2024.59070.1711

**Reference to this article:** Mokhtari, D; Rezaei Moghaddam , M.H; Dortaj, D. (2023). Analysis of the impact of tectonokarst activities on the formation of Zagros transverse valleys (from Avaz range to Karmostaj in Fars province). *Hydrogeomorphology*, 11(38): 80 – 97

### Keywords

**Tectonics, Karst, Transverse Valleys, SBAS Time Series, Zagros**

Receive Date: 2023/11/03

Accept Date: 2024/02/07

Available: 2024/04/17

### ABSTRACT

Tectono-karst processes play an important role in the formation and change of landforms. Some areas, such as Zagros in Fars province, are affected by tectono-karst activities due to being in a tectonically active area and also having karstic formations. Due to the importance of studying landform changes in different planning, in this research, the analysis of tectono-karst processes in the formation and expansion of the transverse valleys of Zagros, Fars, from the range of Avaz to Karmostaj has been done. In this research, Sentinel 1 radar images, SRTM 12.5m high digital model, 1:100000 geological map of the region and hydroclimatic information of the region are used as the most important research data. The most important tools used in the research were ArcGIS and GMT. This research has been carried out in two stages according to the desired goals, in the first stage, the tectonic status of the region has been evaluated using the SBAS time series method, and in the second stage, using the Fuzzy Logic-AHP integrated model, to the potential The measurement of areas prone to the development of karstic processes has been discussed. The results obtained from the SBAS time series method have shown that some of the transverse valleys of the region are subsiding in comparison to their downstream regions, and this problem has caused a decrease in the height difference, a decrease in the speed of runoff, creating the necessary opportunity for erosion and dissolution, and in The result is the transverse development of these valleys. Also, based on the results, all the transverse valleys are located in the category with high or very high potential for the development of karstic processes, which indicates the role of karstic processes in the formation of transverse valleys in the region. The total results of this research have shown that the formation and development of transverse valleys in the studied area were affected by tectokarst factors.

\* Corresponding Author: Davoud Mokhtari

E-mail: d\_mokhtari@tabrizu.ac.ir

1. Professor of geomorphology, Faculty of Planning Environmental Sciences, Tabriz University, Tabriz, Iran

2. Professor of geomorphology, Faculty of Planning Environmental Sciences, Tabriz University, Tabriz, Iran

3. PhD Student of geomorphology, Faculty of Environmental Sciences Planning, Tabriz University, Tabriz, Iran

**Extended Abstract****Introduction**

The amount of new land construction activities is different in different regions of the Iranian plateau, among which, the Zagros zone, especially Zagros Fars, is active in terms of new land construction activities and is associated with many movements. Considering that the southern regions of Fars province are tectonically active, this region can be considered as a suitable region for studying the effects of tectonic activities on drainage network anomalies. Also, considering that the studied area is also considered as part of the karst areas, therefore, by choosing this area, we have tried to understand the role of tectono-karst processes in the formation of anomalies in the drainage pattern of the area. The tectonic activities of the study area are considered as the most important factors affecting the geomorphic territories, including drainage networks. The tectonic activity of the studied area has caused this area to be accompanied by uplift and subsidence, which can affect the changes in geomorphological territories, including drainage networks, rivers and cones. And the plains should be effective. According to the mentioned cases, considering the large movements of new earth-building activities in the study area and also the location of the area in karstic formations, it is necessary to comprehensively evaluate the geomorphological changes caused by tectonokarst activities in the study area. It is necessary to monitor the continuous changes of the earth's surface using different methods. Considering the importance of the topic, in this research, the analysis of tectono-karst processes in the formation and expansion of the transverse valleys of Zagros, Fars, from the range of Avaz to Karmostaj has been discussed.

**Methodology**

In this research, Sentinel 1 radar images, SRTM 12.5m high digital model, 1:100000 geological map of the region and hydroclimatic information of the region are used as the most important research data. The most important tools used in the research were ArcGIS (to prepare the desired maps) and GMT (to implement the radar interferometry process). Also, in this research, the SBAS time series model (in order to prepare a map of the vertical displacement of the area) and the integrated model of fuzzy logic-AHP (in order to prepare a map of the developed karst areas) had used. This research has been done in two stages according to the desired goals. In the first step, using Sentinel 1 radar images and the radar interferometry method and SBAS time series, the amount of vertical displacement in the study area has been evaluated. In the second stage, by using 8 parameters including height, slope, slope direction, distance from the river, lithology, distance from the fault, temperature and precipitation, as well as the integrated model of fuzzy logic-AHP, the areas prone to the development of karstic processes have been identified.

**Results and Discussion**

In this research, in order to investigate the tectonic situation of the region, radar images have been used. Radar images have high accuracy and are considered as one of the new methods to investigate the tectonic status of regions. Based on the obtained results, the study area during the studied time period (from 01/12/2020 to 01/01/2022) had 127 mm rise and 109 mm subsidence. Examining the spatial situation of the vertical movement that has occurred indicates that a large part of the southern anticlines of Lar and Gerash cities has faced subsidence and a large part of the plains of this region has faced uplift. According to these changes, it can be said that the tectonic factor played the main role in the displacement that occurred in the region. Based on this, it can be said that the studied area is tectonically active. Also, the results of Identifying areas prone to the development of karstic processes have shown that the middle areas of the study area have more potential for the development of karstic processes due to the type of lithology, high altitude, high rainfall, low average temperature and density of fault lines.

**Conclusions**

The results of this research have shown that the formation of the transverse valleys of the region has been affected by various factors such as the vertical displacement of the region, the type of lithology, fault activities and also karstic processes. Examining the situation of vertical displacement in some of the transverse valleys of the region has shown that these valleys are subsiding in comparison to their downstream areas, and this problem causes the reduction of the height difference, the reduction of the runoff speed, creating the necessary opportunity for erosion and The dissolution and as a result the transverse development of these valleys. According to the results obtained in this section, it can be said that the tectonic activities and the vertical movement of the region have played an important role in the development of the transverse valleys of the region. Also, the results of this research have shown that all the transverse valleys of the region were formed in the calcareous lithology unit, based on this, it can be said that calcareous lithology played an important role in the formation of the transverse valleys of the region. Also, in this research, after identifying the areas prone to the development of karstic processes, the map of the location of the transverse valleys of the region is shown on the potential map of the development of karstic processes. According to the prepared map, all the transverse valleys are located in the strata with high or very high potential for the development of karstic processes, which indicates the role of karstic processes in the formation of transverse valleys in the region. The total results of this research have shown that the formation and development of transverse valleys in the studied area were affected by tectonokarst factors.

مقاله پژوهشی



تحلیل تاثیر فعالیتهای تکتونو-کارست در شکل‌گیری دره‌های عرضی زاگرس  
: در محدوده آوز تا گرمسُتج استان فارس



داود مختاری\*<sup>۱</sup>، محمد حسین رضایی مقدم<sup>۲</sup>، دینا درتاج<sup>۳</sup>



این مقاله به صورت دسترسی باز و با لایسنس CC BY NC کرییتیو کامنز قابل استفاده است.



**ارجاع به این مقاله:** مختاری، داود؛ رضایی مقدم، محمد حسین؛ درتاج، دینا (۱۴۰۲). تحلیل تاثیر فعالیتهای تکتونو-کارست در شکل‌گیری دره‌های عرضی زاگرس (در محدوده آوز تا گرمسُتج استان فارس). هیدروژئومورفولوژی، ۱۱ (۳۸): ۹۷ - ۸۰.

DOI: 10.22034/HYD.2024.59070.1711



چکیده

فرایندهای تکتونو-کارست نقش مهمی در شکل‌گیری و تغییر لندفرم‌ها دارند. بعضی از مناطق مانند زاگرس استان فارس، به دلیل قرار گرفتن در منطقه فعال تکتونیکی و همچنین داشتن سازندهای کارستیک، متأثر از فعالیتهای تکتونو-کارست هستند. با توجه به اهمیت بررسی تغییرات لندفرمی در برنامه‌ریزی‌های مختلف، در این پژوهش نقش فرایندهای تکتونو-کارست در شکل‌گیری و گسترش دره‌های عرضی زاگرس فارس از محدوده آوز تا گرمسُتج تحلیل شده است. در این تحقیق از تصاویر راداری سنتینل ۱، مدل رقومی ارتفاعی ۱۲/۵ متر SRTM، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰ منطقه و اطلاعات هیدرواقليمی منطقه به‌عنوان مهم‌ترین داده‌های تحقیق استفاده شده است. مهم‌ترین ابزارهای مورد استفاده در تحقیق، ArcGIS و GMT بوده است. این تحقیق با توجه به اهداف مورد نظر در دو مرحله انجام شده است که در مرحله اول با استفاده از روش سری زمانی SBAS به ارزیابی وضعیت تکتونیکی منطقه و در مرحله دوم با استفاده از مدل تلفیقی منطق فازی-AHP، به پتانسیل‌سنجی مناطق مستعد توسعه فرایندهای کارستیک پرداخته شده است. نتایج حاصله از روش سری زمانی SBAS نشان داده است که برخی از دره‌های عرضی منطقه نسبت به مناطق پایین‌دست خود در حال فرونشینی هستند و همین مسئله سبب کاهش اختلاف ارتفاع، کاهش سرعت رواناب، ایجاد فرصت لازم برای فرسایش و انحلال و در نتیجه توسعه عرضی این دره‌ها شده است. همچنین بر اساس نتایج حاصله، تمامی دره‌های عرضی در طبقه با پتانسیل زیاد یا خیلی زیاد توسعه فرایندهای کارستیک قرار دارند که این مسئله بیانگر نقش فرایندهای کارستیک در شکل‌گیری دره‌های عرضی منطقه است. مجموع نتایج حاصله از این پژوهش نشان داده است که شکل‌گیری و توسعه دره‌های عرضی در منطقه مورد مطالعه متأثر از عوامل تکتونو-کارست بوده است.

کلیدواژه‌ها

تکتونیک، کارست، دره‌های عرضی، سری زمانی SBAS، محدوده آوز تا گرمسُتج، زاگرس

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۱/۲۹

\* نویسنده مسئول: داود مختاری

رایانامه: d\_mokhtari@tabrizu.ac.ir

۱- استاد گروه ژئومورفولوژی - دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی - دانشگاه تبریز - تبریز - ایران

۲- استاد گروه ژئومورفولوژی - دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی - دانشگاه تبریز - تبریز - ایران

۳- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی - دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی - دانشگاه تبریز - تبریز - ایران

فرایندهای تکتونیکی به طور مستقیم و غیرمستقیم بر اشکال سطح زمین تأثیر می‌گذارد (تران<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۰: ۲) و علاوه بر ایجاد اشکال و فرم‌های مختلف، شکل و موقعیت آن‌ها را کنترل می‌کنند (نویکو و پوسپووا<sup>۲</sup>، ۲۰۱۷: ۷۰۷۰). با توجه به تأثیری که عوامل تکتونیکی در شکل‌گیری اشکال سطح زمین دارند (مولر<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۰: ۱۸۱۲)، در طی سال‌های اخیر، به‌عنوان یکی از ابزارهای مهم جهت بررسی تحولات لندفرمی مناطق مورد استفاده قرار گرفته شده است (کلر و پینتر<sup>۴</sup>، ۲۰۰۲: ۳۳؛ شهماری، ۱۳۹۶: ۱۴۹). میزان فعالیت‌های نفوتکتونیکی در مناطق مختلف فلات ایران متفاوت است (آقانباتی، ۱۳۸۳: ۶۸؛ محمدنژاد آروق و خدمت‌زاده: ۱۳۷) که در این میان، زون زاگرس خصوصاً زاگرس فارس از نظر فعالیت‌های نفوتکتونیکی فعال بوده و با جنبش‌های زیادی همراه است (پاینده و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۰۵؛ نگهبان و درتاج، ۱۳۹۸: ۱۸۸). با توجه به اینکه نواحی جنوبی استان فارس از نظر تکتونیکی در وضعیت فعالی قرار دارد و دارای سازندهای کارستیک است، این مناطق برای مطالعه تأثیرات فعالیت‌های تکتونیکی بر ناهنجاری‌های شبکه زهکشی و توسعه فعالیت‌های کارستیک مناسب هستند. کارستی شدن نتیجه نفوذ و حرکت آب از داخل توده‌های سنگی نفوذپذیر می‌باشد، بنابراین مشابه انحلال‌پذیری، نفوذپذیری نیز در فرآیند کارستی شدن یک فاکتور مهم محسوب می‌گردد (گودی<sup>۵</sup>، ۲۰۰۴: ۵۸۶). فاکتور اصلی و تعیین کننده نفوذپذیری، توده‌های سنگی کربناته درزه و شکاف‌ها و توسعه آن‌ها در توده سنگ می‌باشد. سنگ آهک و دولومیت اگر ضخیم لایه و یا توده‌ای باشند بسیار شکننده هستند. بنابراین فرآیند تکتونیک باعث توسعه درزه و شکاف‌ها در آن‌ها می‌گردد و زمینه برای نفوذ آب به داخل آن‌ها مهیا می‌کند و یک سیستم گردش آب در توده سنگ شکل می‌گیرد که به فرآیند کارستی شدن و توسعه کارست کمک شایانی می‌کند. مهم‌ترین سیستم‌های درزه که به توسعه کارست کمک می‌کنند، درزه‌های کششی می‌باشند، زیرا این درزه‌ها دارای بازشدگی مناسبی هستند و اجازه عبور آب از داخل خود را می‌دهند، این در حالی است که درزه‌هایی که از بازشدگی کمی برخوردارند به مرور زمان توسط مواد پرکننده پر شده و آب دیگر نمی‌تواند از آن‌ها عبور کند (قبادی، ۱۳۸۹: ۱۲). با توجه به اینکه محدوده مطالعاتی جزء مناطق کارستیک نیز محسوب می‌شود، بنابراین با انتخاب آن سعی شده است تا نقش فرایندهای تکتونو-کارست در شکل‌گیری ناهنجاری‌های الگوی زهکشی منطقه بررسی شود. فعالیت‌های تکتونیکی در این محدوده، به‌عنوان مهم‌ترین عامل اثرگذار بر قلمروهای ژئومورفیک از جمله شبکه‌های زهکشی محسوب می‌شود. فعال بودن منطقه به لحاظ تکتونیکی سبب شده است تا این منطقه با بالا آمدگی و فرورفتگی همراه باشد که این مسئله می‌تواند بر تغییرات قلمروهای ژئومورفولوژیک از جمله شبکه‌های زهکشی، رودخانه‌ها، طاق‌دیس‌ها، مخروطه‌افکنه‌ها و دشت‌ها موثر باشد (گنجائیان، ۱۴۰۰: ۷۶). مطابق موارد مذکور، با توجه به حرکات زیاد فعالیت‌های نفوتکتونیک در محدوده مورد مطالعه و همچنین قرار گرفتن منطقه در سازندهای کارستیک، ضروری است تا به صورت جامع تغییرات ژئومورفولوژیک ناشی از فعالیت‌های تکتونو-کارست در محدوده مطالعاتی مورد ارزیابی قرار گیرد. نظارت بر تغییرات مداوم سطح زمین با استفاده از روش‌های مختلف، ضروری است. با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش به تحلیل نقش فرایندهای تکتونو-کارست در شکل‌گیری و گسترش دره‌های عرضی زاگرس فارس از محدوده آوز تا گرمسُنج پرداخته شده است.

در ارتباط با موضوع مورد مطالعه تحقیقات مختلفی صورت گرفته است. نتایج حاصله از روش PS-InSAR در منطقه فوجیان<sup>۶</sup> چین، بیانگر فعال بودن این منطقه از نظر نفوتکتونیکی است (جیو<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۷). نتایج بررسی مدل رقومی ارتفاعی ALOS PALSAR و پارامترهای ژئومورفیک (SL، Af، Vf، Smf، Hi) و TTSF) در حوضه آبخیز ایپونان<sup>۸</sup> فیلیپین بیانگر کاربرد این روش‌ها جهت ارزیابی وضعیت تکتونیکی مناطق است (تالامپاس و کاباهاگ<sup>۹</sup>، ۲۰۱۸). بررسی وضعیت جابجایی عمودی سطح زمین در حوضه فوکسانی<sup>۱۰</sup> در

6 . Fujian  
7 . Guo  
8 . Iponan  
9 . Talampas & Cabahug  
10 . Focsani

1 . Tran  
2 . Novikov & Pospeeva  
3 . Mueller  
4 . Keller & Pinter  
5 . Goudie

شرق رومانی، نشان‌دهنده فعال بودن این منطقه از نظر وضعیت تکتونیکی است (نیکولا<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). نتایج حاصله از تکنیک SBAS-InSAR در لس آنجلس<sup>۲</sup> آمریکا، بیانگر تغییرات سطح زمین ناشی از عوامل تکتونیکی در این منطقه بوده است (هیو<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۹). نتایج حاصله از روش سری زمانی SBAS، نشان‌دهنده جابجایی سطح زمین ناشی از فعالیت‌های تکتونیکی در شهر گوآدار و حوضه پیشاور پاکستان بوده است (بوخاری<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۲۳؛ خان<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۲۳). بررسی فعالیت‌های تکتونیکی در بخش شرقی دامنه شمالی میشو داغ، بر نقش مهم این فعالیت‌ها بر شبکه زهکشی منطقه تاکید دارد (مختاری، ۱۳۸۳؛ مختاری، ۱۳۸۴). بررسی عوامل تکتونیکی در منطقه تخت سلیمان، تاثیر این عوامل بر شکل‌گیری و تحول دولین‌ها به‌ویژه دولین‌های گسلی و هلالی را تایید کرده است (رضایی‌مقدم و همکاران، ۱۳۸۹). بررسی نقش مورفوتکتونیک بر ناهنجاری الگوی زهکشی رود در البرز شمالی، نشان‌دهنده فعال بودن منطقه از نظر تکتونیکی بوده است (اسماعیلی، ۱۳۹۱). نتایج تحلیل آنومالی‌های مورفوتکتونیک در پهنه زاگرس مرتفع و کمربند سندانج-سیرجان، بیانگر کاربرد استفاده از این روش‌ها در بررسی وضعیت تکتونیکی مناطق است (شیران و همکاران، ۱۳۹۷). بررسی وضعیت مورفوتکتونیکی تاق‌دیس قلاجه، فعال بودن این منطقه از نظر تکتونیکی را تایید کرده است (علی‌پور و جهانگیری، ۱۳۹۹). همچنین نتایج استفاده از تصاویر راداری سنتینل ۱ و روش سری زمانی SBAS در دشت کبودرآهنگ-فامنین، نشان‌دهنده جابجایی عمودی قابل توجه این منطقه و کاربردی بودن این روش جهت ارزیابی تغییرات سطح زمین است (گنجائیان و همکاران، ۱۴۰۱). در راستای تحقیقات پیشین، هدف از این پژوهش تحلیل تاثیر فعالیت‌های تکتونو-کارست در شکل‌گیری دره‌های عرضی زاگرس با استفاده از روش سری زمانی SBAS و مدل تلفیقی منطق فازی-AHP بوده است.

**موقعیت منطقه مورد مطالعه:** محدوده تحقیق حاضر از نظر تقسیمات سیاسی در جنوب استان فارس، غرب شهرستان لارستان و شرق شهرستان گراش واقع شده است (شکل ۱). این محدوده در بین عرض جغرافیایی ۳۰' ۲۷° تا ۴۷' ۲۷° شمالی و طول جغرافیایی ۰۰' ۵۴° تا ۳۰' ۵۴° شرقی قرار دارد و از نظر تقسیمات مورفوتکتونیکی جزء واحد زاگرس چین‌خورده است و همین مسئله سبب شده تا بخش زیادی از آن را واحد کوهستان، دامنه‌های پرشیب و دره‌های عرضی دربرگیرد. از نظر وضعیت ارتفاعی، در بین ارتفاع ۶۲۳ تا ۲۰۹۵ متری از سطح دریا قرار دارد. همچنین از نظر تقسیمات حوضه‌ای نیز، محدوده مطالعاتی در بین دو حوضه کل-مهران و مند قرار گرفته است.

4 . Bokhari  
5 . Khan

1 . Necula  
2 . Los Angeles  
3 . Hu





شکل (۱): نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه (محدوده آوز تا گرمسُتج استان فارس)

Fig (1): location map of the studied area (Avaz to Karmustaj, Fars province)

## ۲- روش تحقیق

در این تحقیق از تصاویر راداری سنتینل ۱، مدل رقومی ارتفاعی ۱۲/۵ متر SRTM، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه و اطلاعات هیدرواقليمی منطقه به‌عنوان مهم‌ترین داده‌های تحقیق استفاده شده است. مهم‌ترین ابزارهای مورد استفاده در تحقیق، ArcGIS (به‌منظور تهیه نقشه‌های مورد نظر) و GMT (به‌منظور اجرای فرایند تداخل‌سنجی راداری) بوده است. همچنین در این تحقیق از مدل سری زمانی SBAS (به‌منظور تهیه نقشه میزان جابجایی عمودی منطقه) و مدل تلفیقی منطق فازی-AHP (به‌منظور تهیه نقشه مناطق کارستیک توسعه یافته) استفاده شده است. این تحقیق با توجه به اهداف مورد نظر در دو مرحله انجام شده است که در ادامه به تشریح آن‌ها پرداخته شده است:

**مرحله اول (شناسایی مناطق کارستیک توسعه یافته):** در این مرحله ابتدا بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای و تحقیقات پیشین، ۸ پارامتر شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از رودخانه، لیتولوژی، فاصله از گسل، دما و بارش انتخاب شده است. پس از انتخاب پارامترها، لایه‌های اطلاعاتی آن‌ها با استفاده از منطق فازی، استانداردسازی شده است (بر مبنای تحقیقات پیشین صورت گرفته و مطالعات کتابخانه‌ای) و در ادامه با استفاده از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) به لایه‌های اطلاعاتی وزن داده شده است (با استفاده از نظرات ۵ کارشناس ژئومورفولوژی). در مرحله بعد، وزن بدست آمده بر روی لایه‌های اطلاعاتی اعمال شده است و در نهایت لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از عملگر گامای فازی با هم ترکیب شده و نقشه نهایی مناطق مستعد توسعه فرایندهای کارستیک تهیه شده است. پس از تهیه نقشه مورد نظر، ارتباط بین مناطق کارستیک توسعه یافته با شبکه زهکشی و دره‌های عرضی منطقه تحلیل شده است.

مرحله اول (ارزیابی وضعیت تکتونیکی منطقه با استفاده از روش سری زمانی SBAS): در این مرحله با استفاده از تصاویر راداری سنتینل ۱ و روش تداخل‌سنجی راداری و سری زمانی SBAS، به ارزیابی میزان جابجایی عمودی در منطقه مورد مطالعه پرداخته شده است. به منظور اجرای مدل سری زمانی SBAS، ابتدا ۲۱ تصویر راداری سنتینل ۱ مربوط به دوره زمانی ۲ ساله (از تاریخ ۲۰۲۰/۰۱/۱۲ تا ۲۰۲۲/۰۱/۱۰) تهیه شده است (جدول ۱). ماهواره‌های سنتینل شامل دو ماهواره هستند که دارای مدار قطبی بوده و عملیات تصویربرداری را در روز و شب و بدون تأثیرپذیری از شرایط جوی در محدوده باند C با طول موج ۵/۶ سانتی‌متر انجام می‌دهند (ژائو، ۲۰۱۳؛ ژانگ، ۲۰۱۹). پس از تهیه تصاویر، با استفاده از نرم‌افزار GMTSAR، پیش‌پردازش‌های لازم بر روی تصاویر شامل تصحیحات مداری، حذف خطای توپوگرافی و فیلتر تصاویر انجام شده است و در ادامه، بر مبنای بیس‌لاین زمانی تصاویر، نقشه‌های اینترفروگرام منطقه تهیه شده است. در مرحله پایانی، به منظور تهیه نقشه نهایی میزان جابجایی عمودی منطقه، از روش سری زمانی SBAS استفاده شده است.

جدول (۱): تاریخ، نوع و حالت مداری تصاویر مورد استفاده  
Table (1): date, type and orbital mode of the images used

ردیف	ماهواره	تاریخ	Beam	نوع تصویر	حالت مداری	Polarization
۱	سنتینل ۱	۲۰۲۰/۰۱/۱۲	IW	SLC	صعودی	VV
۲	سنتینل ۱	۲۰۲۰/۰۲/۱۷	IW	SLC	صعودی	VV
۳	سنتینل ۱	۲۰۲۰/۰۳/۲۴	IW	SLC	صعودی	VV
۴	سنتینل ۱	۲۰۲۰/۰۴/۲۹	IW	SLC	صعودی	VV
۵	سنتینل ۱	۲۰۲۰/۰۶/۰۴	IW	SLC	صعودی	VV
۶	سنتینل ۱	۲۰۲۰/۰۷/۱۰	IW	SLC	صعودی	VV
۷	سنتینل ۱	۲۰۲۰/۰۸/۱۵	IW	SLC	صعودی	VV
۸	سنتینل ۱	۲۰۲۰/۰۹/۲۰	IW	SLC	صعودی	VV
۹	سنتینل ۱	۲۰۲۰/۱۰/۲۶	IW	SLC	صعودی	VV
۱۰	سنتینل ۱	۲۰۲۰/۱۲/۰۱	IW	SLC	صعودی	VV
۱۱	سنتینل ۱	۲۰۲۱/۰۱/۰۶	IW	SLC	صعودی	VV
۱۲	سنتینل ۱	۲۰۲۱/۰۲/۱۱	IW	SLC	صعودی	VV
۱۳	سنتینل ۱	۲۰۲۱/۰۳/۱۹	IW	SLC	صعودی	VV
۱۴	سنتینل ۱	۲۰۲۱/۰۴/۲۵	IW	SLC	صعودی	VV
۱۵	سنتینل ۱	۲۰۲۱/۰۵/۳۰	IW	SLC	صعودی	VV
۱۶	سنتینل ۱	۲۰۲۱/۰۷/۰۵	IW	SLC	صعودی	VV
۱۷	سنتینل ۱	۲۰۲۱/۰۸/۱۰	IW	SLC	صعودی	VV
۱۸	سنتینل ۱	۲۰۲۱/۰۹/۱۵	IW	SLC	صعودی	VV
۱۹	سنتینل ۱	۲۰۲۱/۱۰/۲۱	IW	SLC	صعودی	VV
۲۰	سنتینل ۱	۲۰۲۱/۱۱/۲۶	IW	SLC	صعودی	VV
۲۱	سنتینل ۱	۲۰۲۲/۰۱/۰۱	IW	SLC	صعودی	VV



## ۳- بحث و نتایج

## ۳-۱- پتانسیل سنجی توسعه فرایندهای کارستیک در منطقه

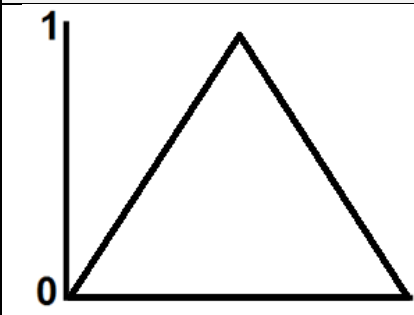
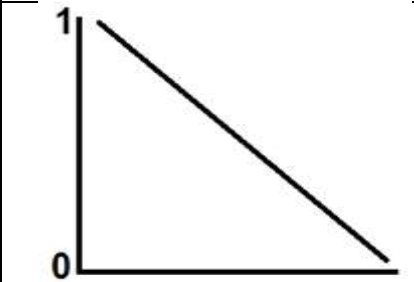
یکی از اهداف این پژوهش، ارزیابی تاثیر فرایندهای کارستیک بر دره‌های عرضی است. بر این اساس، در این بخش ابتدا به پتانسیل سنجی توسعه فرایندهای کارستیک منطقه پرداخته شده و سپس ارتباط وضعیت دره‌های عرضی با مناطق کارستیک توسعه یافته ارزیابی شده است.

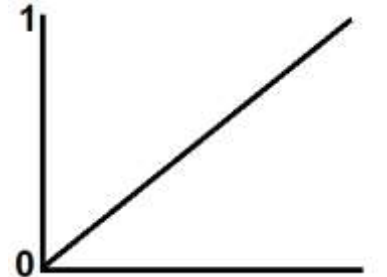
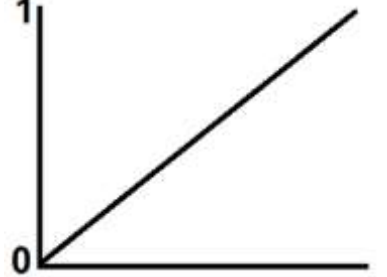
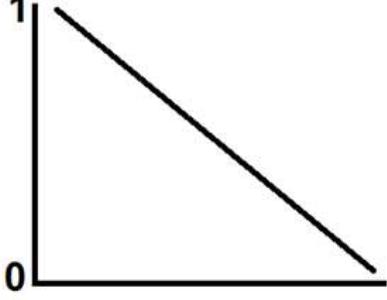
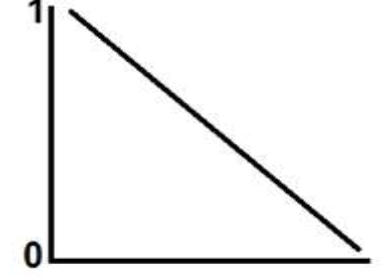
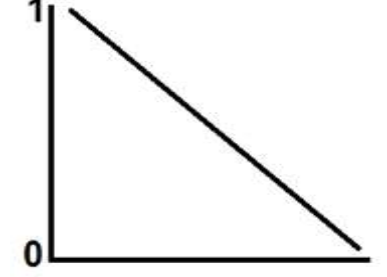
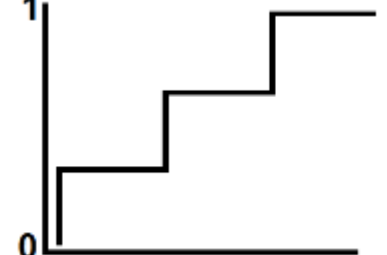
## الف) تشریح پارامترهای مورد استفاده

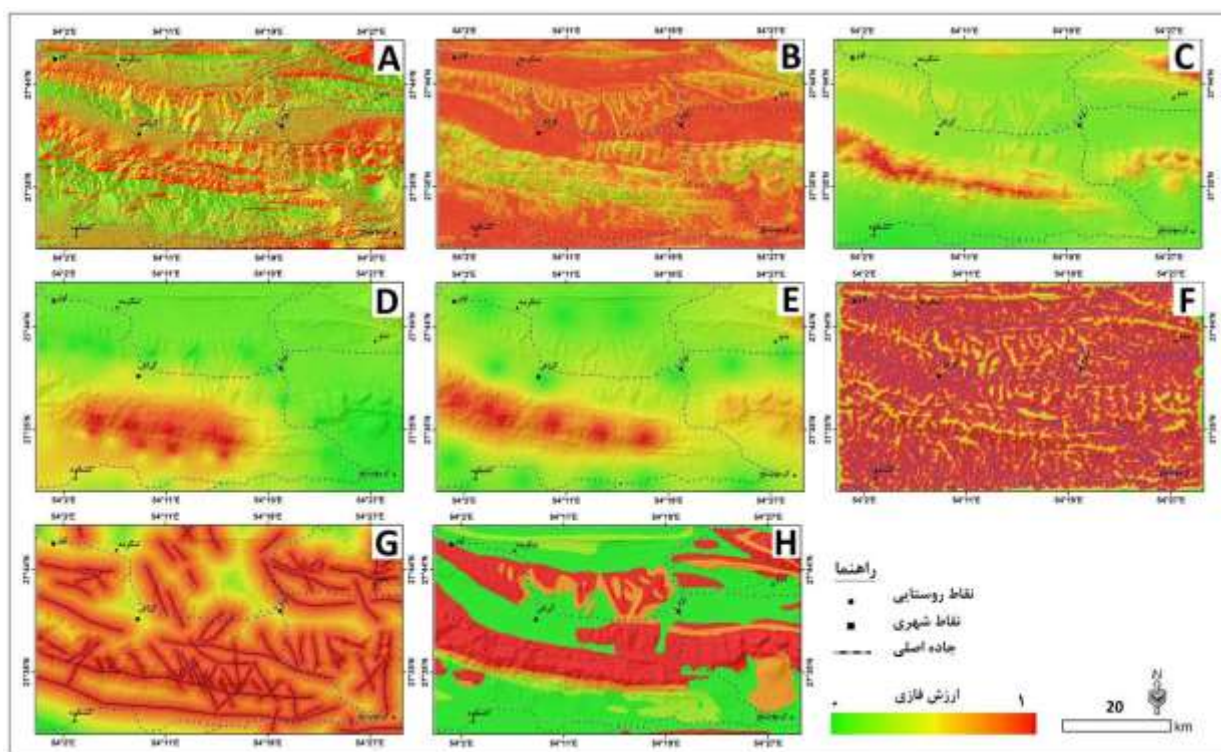
به منظور پتانسیل سنجی توسعه فرایندهای کارستیک از ۸ پارامتر ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از رودخانه، لیتولوژی، فاصله از گسل، بارش و دما استفاده شده است. پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی، به منظور انجام پهنه بندی نهایی، لایه‌های تهیه شده فازی سازی شده است. فازی سازی هر لایه بر مبنای پتانسیل توسعه فرایندهای کارستیک صورت گرفته است. بر این اساس، برای لایه جهت شیب، به مناطق دارای جهت شیب شمالی ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق با جهت شیب جنوبی ارزش نزدیک به صفر داده شده است. برای لایه شیب، به مناطق با شیب کم تر ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق با شیب بیش تر ارزش نزدیک به صفر داده شده است. برای لایه ارتفاع، به مناطق دارای ارتفاع زیاد ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق با ارتفاع کم ارزش نزدیک به صفر داده شده است. برای لایه بارش، به مناطق دارای بارش بیش تر ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق با بارش کم تر ارزش نزدیک به صفر داده شده است. برای لایه میانگین دمای کم تر، ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق با میانگین دمای بیش تر، ارزش نزدیک به صفر داده شده است. برای لایه فاصله از رودخانه، به مناطق دور از رودخانه ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق نزدیک به رودخانه ارزش نزدیک به صفر داده شده است. برای لایه فاصله از گسل، به مناطق نزدیک به خطوط گسلی ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق دور تر ارزش نزدیک به صفر داده شده است. همچنین برای لایه لیتولوژی، به مناطق دارای سنگ‌های آهکی ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق دارای سنگ‌های بازالتی، ارزش نزدیک به صفر داده شده است. (جدول ۲ و شکل ۲).

جدول (۲): نحوه استانداردسازی لایه‌های اطلاعاتی

Table (2): How to standardize information layers

شکل	تابع عضویت	نحوه استانداردسازی	معیار
A		جهت شیب شمالی پتانسیل بالایی جهت توسعه کارست دارند.	جهت شیب
B		مناطق کم شیب پتانسیل بالایی جهت توسعه کارست دارند.	شیب

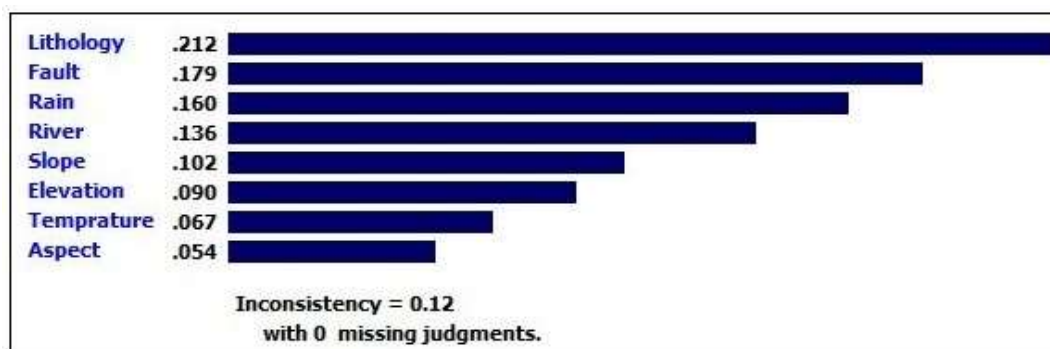
C		<p>مناطق مرتفع پتانسیل بالایی جهت توسعه کارست دارند.</p>	<p>ارتفاع</p>
D		<p>مناطق دارای بارش بیش تر پتانسیل بالایی جهت توسعه کارست دارند.</p>	<p>بارش</p>
E		<p>مناطق دارای کم تر پتانسیل بالایی جهت توسعه کارست دارند.</p>	<p>دما</p>
F		<p>مناطق نزدیک به رودخانه پتانسیل بالایی جهت توسعه کارست دارند.</p>	<p>فاصله از رودخانه</p>
G		<p>مناطق نزدیک به خطوط گسل پتانسیل بالایی جهت توسعه کارست دارند.</p>	<p>فاصله از گسل</p>
H		<p>-آهک دارای ارزش ۹/۸ -آهک و شیل دارای ارزش ۸/۸ -آهک، مارن، شیل دارای ارزش ۶/۶ -سنگ نمک دارای ارزش ۵/۵ -مواد آبرفتی دارای ارزش ۴/۴ -کنگومرا و ماسه سنگ دارای ارزش ۳/۳</p>	<p>لیتولوژی</p>



شکل (۲): نقشه فازی سازی شده لایه های اطلاعاتی  
 Fig (2): Fuzzified map of information layers

(ب) وزن دهی به پارامترها

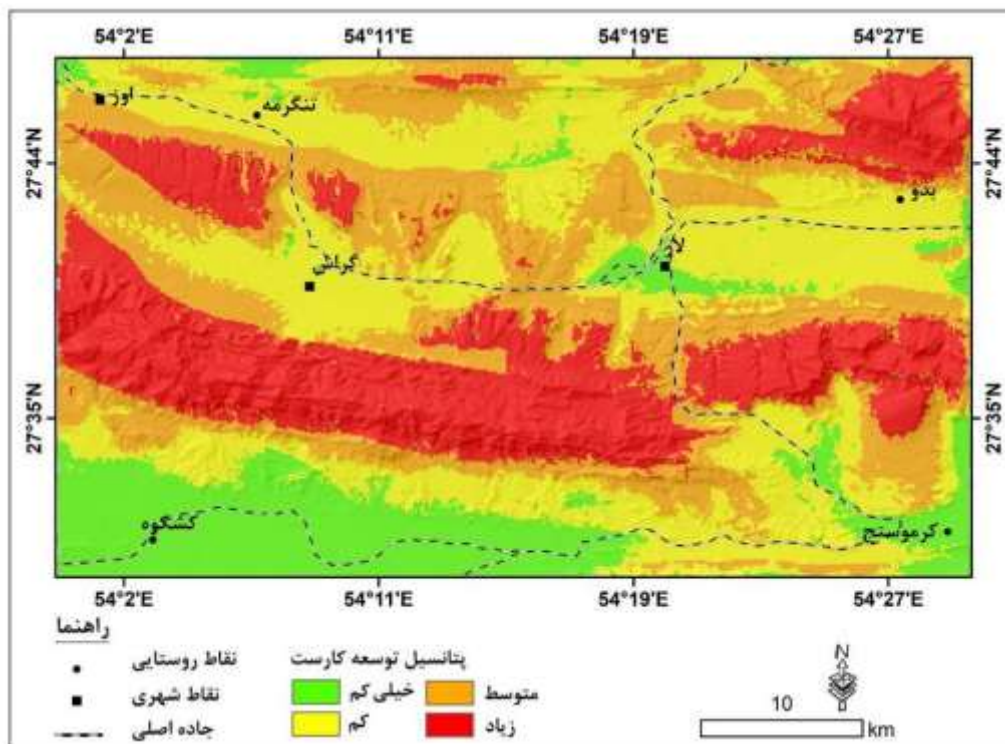
با توجه به اینکه ارزش و اهمیت لایه های اطلاعاتی یکسان نیست، در این پژوهش با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و همچنین بر اساس نظرات کارشناسان، به لایه های اطلاعاتی وزن داده شده است. به منظور وزن دهی به لایه از نظرات ۵ کارشناس ژئومورفولوژی و نرم افزار Expert Choice استفاده شده است و در نهایت وزن نهایی هر لایه بدست آمده است (شکل ۳).



شکل (۳): وزن نهایی لایه های اطلاعاتی بر اساس مدل AHP  
 Fig (3): The final weight of the information layers based on the AHP model

(ج) تلفیق لایه های اطلاعاتی

پس از فازی سازی لایه های اطلاعاتی، وزن بدست آمده از طریق مدل AHP، بر روی لایه های اطلاعاتی اعمال شده است. پس از اعمال وزن هر لایه، لایه های اطلاعاتی با استفاده از عملگر گامای فازی با هم ترکیب شده و در نهایت مناطق مستعد توسعه فرایندهای کارستیک شناسایی شده است (شکل ۴). بر اساس نقشه تهیه شده، مناطق میانی محدوده مطالعاتی به دلیل نوع لیتولوژی، ارتفاع زیاد، بارش زیاد، میانگین دمای کم و تراکم خطوط گسلی، پتانسیل بیش تری جهت توسعه فرایندهای کارستیک دارند.



شکل (۴): نقشه پتانسیل توسعه فرایندهای کارستیک (محدوده آوز تا گرمسَج استان فارس)

Fig (4): Map of the development potential of karstic processes (Avez to Karmostaj, Fars province)

### ۳-۲- ارزیابی وضعیت تکتونیکی منطقه با استفاده از تصاویر راداری

در این پژوهش به منظور بررسی وضعیت تکتونیکی منطقه، از تصاویر راداری استفاده شده است. تصاویر راداری دارای دقت بالایی هستند و از روش‌های نوین جهت بررسی وضعیت تکتونیکی مناطق محسوب می‌شوند. بر این اساس، در این مرحله با استفاده از روش تداخل سنجی راداری میزان جابجایی عمودی منطقه ارزیابی و سپس ارتباط میزان جابجایی رخ داده با وضعیت تکتونیکی منطقه تحلیل شده است. در ادامه به تشریح میزان جابجایی عمودی منطقه بر اساس روش تداخل سنجی راداری پرداخته شده است:

#### الف) تهیه نقشه‌های اینترفروگرام

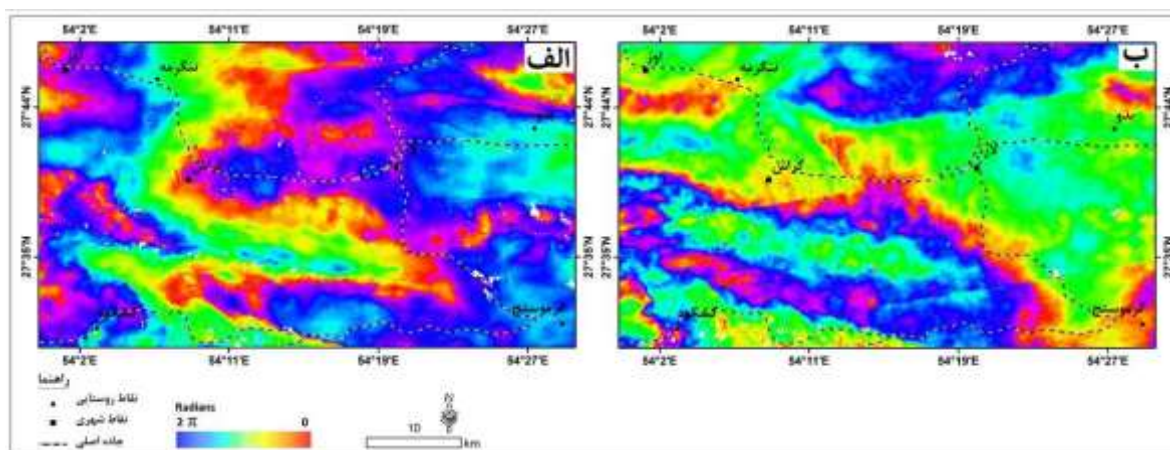
پس از تهیه تصاویر مورد نظر، پیش پردازش‌های لازم از جمله تصحیحات هندسی و توپوگرافی بر روی تصاویر انجام شده و سپس به منظور ارزیابی میزان جابجایی منطقه با استفاده از روش سری زمانی SBAS، ابتدا به بررسی وضعیت بیس لاین زمانی و مکانی تصاویر پرداخته شده و بر اساس آن زوج تصاویر برای تشکیل اینترفروگرام انتخاب شده است (جدول ۳).

جدول (۳): زوج تصاویر انتخابی برای تشکیل اینترفروگرام

Table (3): Pairs of selected images to form the interferogram

ردیف	زوج تصاویر	ردیف	زوج تصاویر
۱	۲۰۲۰/۰۱/۲۰۲۰-۱۲/۰۲/۱۷	۱۱	۲۰۲۱/۰۱/۲۰۲۱-۰۶/۰۲/۱۱
۲	۲۰۲۰/۰۲/۲۰۲۰-۱۷/۰۳/۲۴	۱۲	۲۰۲۱/۰۲/۲۰۲۱-۱۱/۰۳/۱۹
۳	۲۰۲۰/۰۳/۲۰۲۰-۲۴/۰۴/۲۹	۱۳	۲۰۲۱/۰۳/۲۰۲۱-۱۹/۰۴/۲۵
۴	۲۰۲۰/۰۴/۲۰۲۰-۲۹/۰۶/۰۴	۱۴	۲۰۲۱/۰۴/۲۰۲۱-۲۵/۰۵/۳۰
۵	۲۰۲۰/۰۶/۲۰۲۰-۰۴/۰۷/۱۰	۱۵	۲۰۲۱/۰۵/۲۰۲۱-۳۰/۰۷/۰۵
۶	۲۰۲۰/۰۷/۲۰۲۰-۱۰/۰۸/۱۵	۱۶	۲۰۲۱/۰۷/۲۰۲۱-۰۵/۰۸/۱۰
۷	۲۰۲۰/۰۸/۲۰۲۰-۱۵/۰۹/۲۰	۱۷	۲۰۲۱/۰۸/۲۰۲۱-۱۰/۰۹/۱۵
۸	۲۰۲۰/۰۹/۲۰۲۰-۲۰/۱۰/۲۶	۱۸	۲۰۲۱/۰۹/۲۰۲۱-۱۵/۱۰/۲۱
۹	۲۰۲۰/۱۰/۲۰۲۰-۲۶/۱۲/۰۱	۱۹	۲۰۲۱/۱۰/۲۰۲۱-۲۱/۱۱/۲۶
۱۰	۲۰۲۰/۱۲/۲۰۲۱-۰۱/۰۱/۰۶	۲۰	۲۰۲۱/۱۱/۲۰۲۲-۲۶/۰۱/۰۱

پس از انتخاب زوج تصاویر مورد نظر، از طریق نرم افزار GMT در سیستم عامل LINUX، نقشه های اینترفروگرام مورد نظر تهیه شده است که در شکل ۵ نمونه ای از آنها نشان داده شده است.



شکل (۵): نقشه های اینترفروگرام (الف) ۲۰۲۱/۱۱/۲۶-۲۰۲۲/۰۱/۰۱ (ب) ۲۰۲۱/۱۰/۲۱-۲۰۲۱/۱۱/۲۶

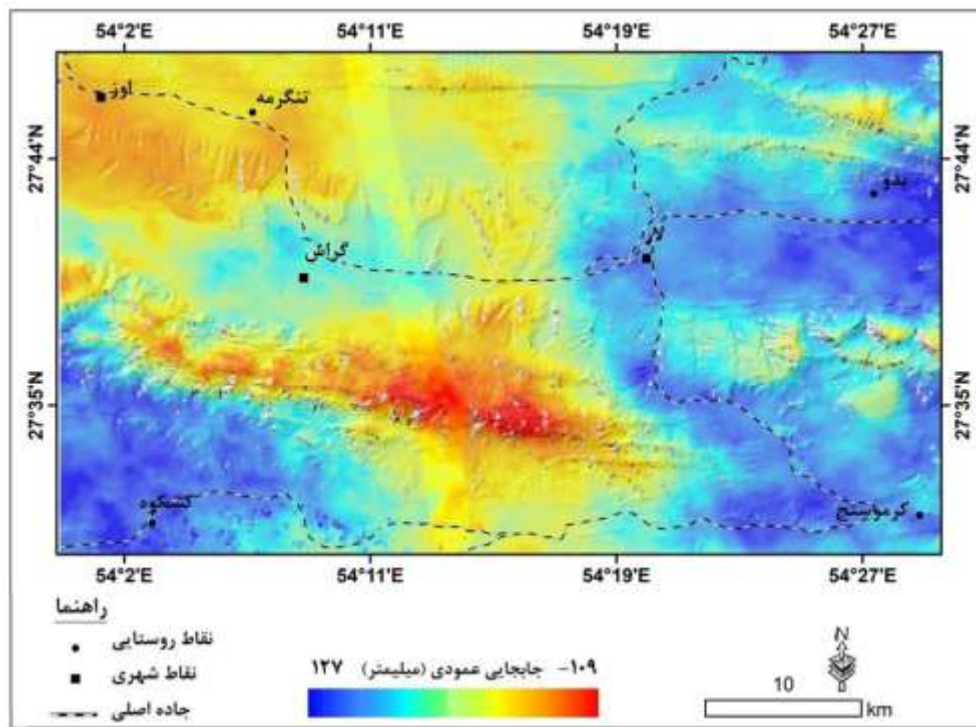
Fig (5): Interferogram maps A) 2021/10/21-2021/11/26 B) 2021/11/26-2022/01/01

(ب) تهیه نقشه نهایی میزان جابجایی عمودی منطقه

پس از تهیه نقشه های اینترفروگرام، با استفاده از روش سری زمانی SBAS نقشه میزان جابجایی عمودی منطقه تهیه شده است که بر اساس نتایج بدست آمده، محدوده مطالعاتی در طی دوره زمانی مورد مطالعه (از تاریخ ۲۰۲۰/۰۱/۱۲ تا ۲۰۲۲/۰۱/۰۱) دارای ۱۲۷ میلی متر بالا آمدگی و ۱۰۹ میلی متر فرونشست بوده است (شکل ۶). بررسی وضعیت مکانی جابجایی عمودی رخ داده بیانگر این است که بخش زیادی از تاقدیس های جنوبی شهر لار و گراش با پایین رفتگی و بخش زیادی از دشت های این منطقه با بالا آمدگی مواجه شده



است. با توجه به این تغییرات می توان گفت که عامل تکتونیک، نقش اصلی را در جابجایی رخ داده در منطقه داشته است. بر این اساس می توان گفت که محدوده مطالعاتی از نظر تکتونیکی دارای وضعیت فعالی است.



شکل (۶): نقشه میزان جابجایی منطقه از تاریخ (۲۰۲۲/۰۱/۰۱ تا ۲۰۲۰/۰۱/۱۲)

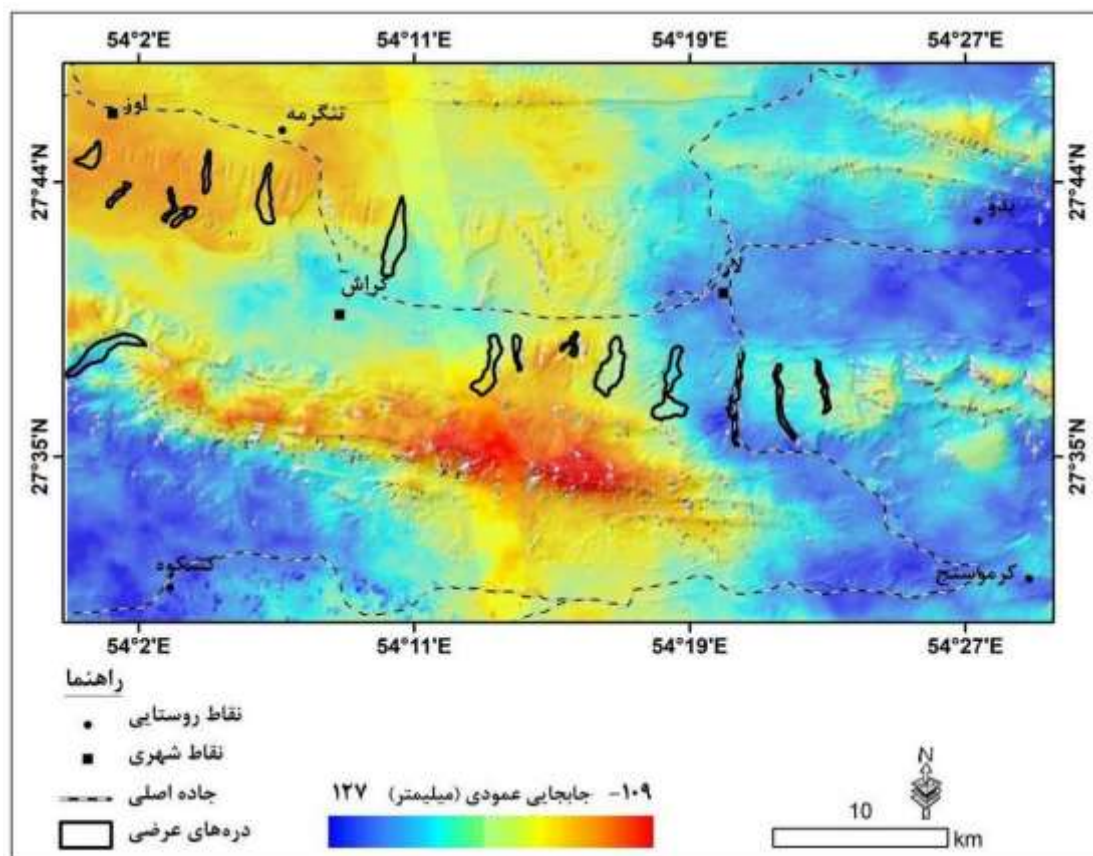
Fig (6): Map of the amount of movement in the area from date (2020/01/12 to 2022/01/01)

### ۳-۳- تحلیل ارتباط دره های عرضی با فعالیت های تکتونو-کارست

الف) تحلیل ارتباط دره های عرضی با میزان جابجایی عمودی منطقه

نتایج بررسی جابجایی عمودی منطقه مورد مطالعه نشان داده است که این منطقه از نظر تکتونیکی دارای وضعیت فعالی است چرا که واحد کوهستانی آن در حال فرونشینی و واحد دشت های آن در حال بالآمدگی است. بررسی وضعیت جابجایی عمودی در محدوده برخی از دره های عرضی منطقه نشان داده است (شکل ۷) که این دره ها نسبت به مناطق پایین دست خود در حال فرونشینی است و همین مسئله سبب کاهش اختلاف ارتفاع، کاهش سرعت رواناب، ایجاد فرصت لازم برای فرسایش و انحلال و در نتیجه توسعه عرضی این دره ها شده است. با توجه به نتایج بدست آمده در این بخش می توان گفت که فعالیت های تکتونیکی و وضعیت جابجایی عمودی منطقه، نقش مهمی در توسعه دره های عرضی منطقه داشته است. در شکل ۸ نمایی از دره های عرضی و همچنین میکرواشکال کارستیک منطقه در ارتفاعات جنوبی شهر لار نشان داده شده است که بیانگر پتانسیل توسعه فرایندهای کارستیک در منطقه و همچنین نقش فرایندهای کارستیک در شکل گیری های عرضی است.





شکل (۷): نقشه موقعیت دره‌های عرضی بر روی نقشه جابجایی عمودی محدوده آوز تا گرمسُتج استان فارس

Fig (7): Map of the location of the transverse valleys on the vertical displacement map of Avez to Karmustaj, Fars province



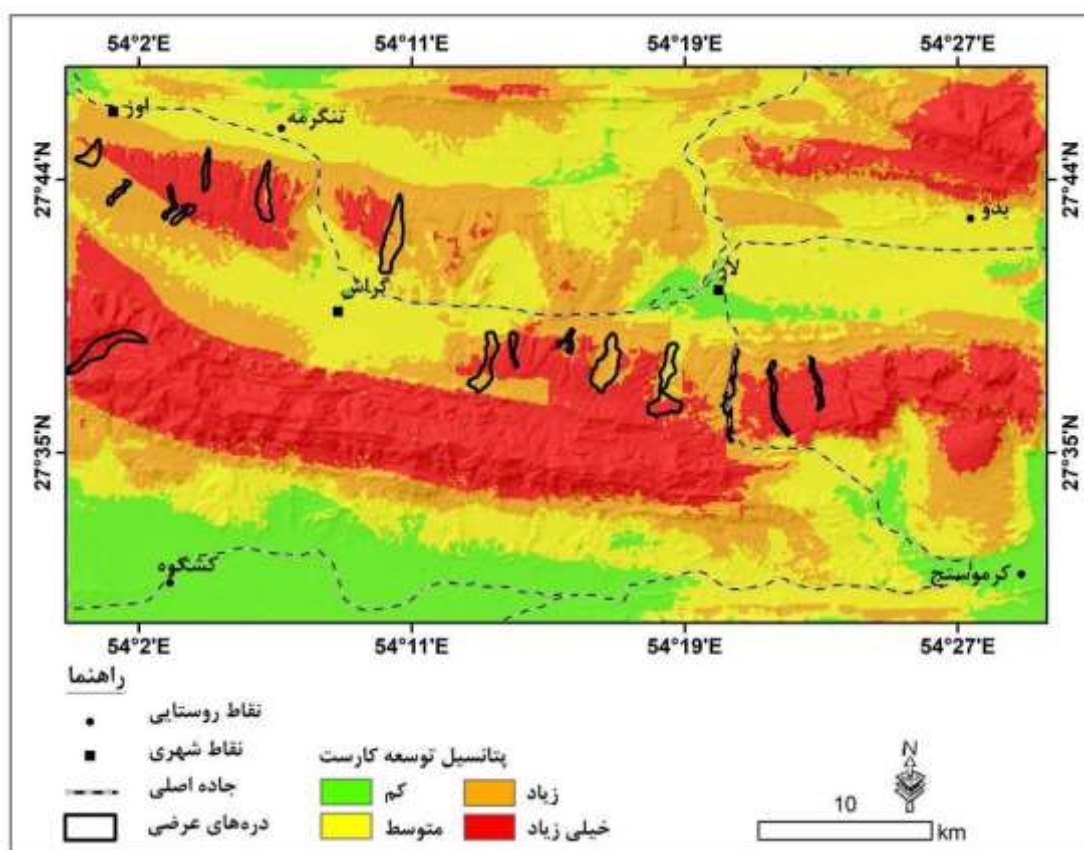
شکل (۸): نمایی از دره‌های عرضی و اشکال میکروکارستیک منطقه مورد مطالعه

Fig (8): A view of the transverse valleys and microkarst shapes of the studied area

(ب) تحلیل ارتباط دره‌های عرضی با فرایندهای کارستیک منطقه

توان کارستیک منطقه نیز نقش مهمی در ایجاد لندفرم‌های مختلف از جمله دره‌های عرضی دارد. در این پژوهش به منظور بررسی نقش فرایندهای کارستیک در شکل‌گیری دره‌های عرضی منطقه، ابتدا مناطق مستعد توسعه فرایندهای کارستیک شناسایی شده است. پس از شناسایی مناطق مستعد توسعه فرایندهای کارستیک، نقشه موقعیت دره‌های عرضی منطقه بر نقشه پتانسیل توسعه فرایندهای

کارستیک نشان داده شده است (شکل ۹). بر اساس نقشه تهیه شده، تمامی دره‌های عرضی در طبقه با پتانسیل زیاد یا خیلی زیاد توسعه فرایندهای کارستیک قرار دارند که این مسئله بیانگر نقش فرایندهای کارستیک در شکل‌گیری دره‌های عرضی منطقه است.



شکل (۹): نقشه موقعیت دره‌های عرضی و نوع لیتولوژی (محدوده آوز تا کرمستج استان فارس)

Fig (9): Location map of transverse valleys and type of lithology (range of Avez to Karmustaj, Fars province)

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به منظور دستیابی به اهداف مورد نظر، ابتدا وضعیت تکتونیکی و کارستیک منطقه ارزیابی شده است. نتایج ارزیابی وضعیت تکتونیکی منطقه با استفاده از روش سری زمانی SBAS نشان داده است که بخش‌هایی از این منطقه در طی دوره زمانی ۲ ساله (۲۰۲۰ تا ۲۰۲۲) بیش از ۱۰۰ میلی‌متر بالآمدگی داشته‌اند که این مسئله بیانگر فعالیت‌های تکتونیکی منطقه است. همچنین نتایج پهنه‌بندی پتانسیل توسعه فرایندهای کارستیک نشان داده است که بخش زیادی از منطقه دارای پتانسیل زیاد و خیلی زیاد است. در این پژوهش، پس از انجام مراحل فوق، به تحلیل ارتباط شکل‌گیری و گسترش دره‌های عرضی منطقه با فعالیت‌های تکتونو-کارست پرداخته شده است. نتایج حاصله از این پژوهش نشان داده است که شکل‌گیری دره‌های عرضی منطقه متأثر از عوامل مختلفی مانند جابجایی عمودی منطقه، نوع لیتولوژی، فعالیت‌های گسلی و همچنین فرایندهای کارستیک بوده است. بررسی وضعیت جابجایی عمودی در محدوده برخی از دره‌های عرضی منطقه نشان داده است که این دره‌ها نسبت به مناطق پایین دست خود در حال فرونشینی است و همین مسئله سبب کاهش اختلاف ارتفاع، کاهش سرعت رواناب، ایجاد فرصت لازم برای فرسایش و انحلال و در نتیجه توسعه عرضی این دره‌ها شده است. با توجه به نتایج بدست آمده در این بخش می‌توان گفت که فعالیت‌های تکتونیکی و وضعیت جابجایی عمودی منطقه، نقش مهمی در توسعه دره‌های عرضی منطقه داشته است. همچنین نتایج بررسی‌های این پژوهش نشان داده است که تمامی دره‌های عرضی منطقه در واحد لیتولوژی آهکی شکل گرفته‌اند، بر این اساس می‌توان گفت که لیتولوژی آهکی نقش مهمی در شکل‌گیری دره‌های عرضی منطقه

داشته است. همچنین در این پژوهش پس از شناسایی مناطق مستعد توسعه فرایندهای کارستیک، نقشه موقعیت دره‌های عرضی منطقه بر نقشه پتانسیل توسعه فرایندهای کارستیک نشان داده شده است. بر اساس نقشه تهیه شده، تمامی دره‌های عرضی در طبقه با پتانسیل زیاد یا خیلی زیاد توسعه فرایندهای کارستیک قرار دارند که این مسئله بیانگر نقش فرایندهای کارستیک در شکل‌گیری دره‌های عرضی منطقه است. مجموع نتایج حاصله از این تحقیق بیانگر تغییرات سریع لندفرمی منطقه ناشی از فعالیت‌های تکتونوکارستیک است که این مسئله باید در برنامه‌ریزی‌های مختلف خصوصاً برنامه‌ریزی‌های عمرانی و توسعه‌ای مورد توجه قرار گیرد.

#### ۵-منابع

- Aganabati, A. 2004. Geology of Iran. Publications of the Geology and Mineral Exploration Organization of the country. 709. (In Persian).
- Alipour, R & Jahangiri, A. 2021. Evaluation of active tectonics related to Qalajah anticline using hierarchical anomaly of waterway network, western Iran. *Iran Quaternary Quarterly*, 6(4), 527-546. (In Persian).
- Bokhari, R., Shu, H., Tariq, A., Al-Ansari, N., Guluzade, R., Chen, T., Jamil, A & Aslam, M. 2023. Land subsidence analysis using synthetic aperture radar data, *Heliyon*, 9 (3).
- Esmaili, R., Motavali, & Hosseinzadeh, M. M. 2012. Investigating morphotectonic effects in the longitudinal profile of Vaz River; Northern Alborz of Mazandaran province. *Quantitative Geomorphology Research*, 1(3), 101-114. (In Persian).
- Ganjaian, H. 2021. Analysis of new land construction activities in geomorphic territories for the purpose of environmental management (case study: Zagros Northwest, Sarvabad to Kermanshah range). PhD Thesis. University of Tehran, Faculty of Geography. (In Persian).
- Ganjaian, H., Manbari, F., Ghasemi, A & Nosrati, M. 2022. Assessment and analysis of subsidence risk in Kobodar Ahang-Faminin plain. *Sepehr Journal*, 31 (124), 75-86. (In Persian).
- Goudie, A. 2004. *Encyclopedia of Geomorphology*. International Association of Geomorphologists.
- Guo, j., Xu, SH & Fan, H. 2017. Neotectonic interpretations and PS-InSAR monitoring of crustal deformations in the Fujian area of China, *Open Geosci*; 9, 126–132.
- Hu, B., Chen, X., Zhang, X. 2019. Using Multisensor SAR Datasets to Monitor Land Subsidence in Los Angeles from 2003 to 2017, *Sensors*, 3, 1-15.
- Keller, E. A & Pinter, N. 2002. *Active tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape* (second edition): Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall, 362.
- Khan, S. D., Faiz, M. I., Gadea, C. A & Ahmad, A. 2023. Study of land subsidence by radar interferometry and hot spot analysis techniques in the Peshawar Basin, Pakista, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*.
- Mohammadnejad Arooq, V & Ali khedmatzadeh, V. 2021. DEM and GIS Base Mapping of Stream – Length Gradient Index (SL) For Active Tectonic Assessment Case Study: North of Damghan. *Hydrogeomorphology*, 2(23), 137-157. (In Persian).
- Mokhtari, D. 2004. Discordant river networks in the eastern part of the northern slope of Mishu Dagh and the role of tectonic activities in its formation. *Geography and Planning*, 17, 155-175. (In Persian).
- Mokhtari, D. 2005. The role of neotectonics in the evolution of river systems in the Quaternary, the example of the rivers of the northern basin of Mishodagh. *Earth Sciences*, 57(15), 77-64. (In Persian).
- Muller, K. Polom, U. Winsemann, J. Steffen, H. Tsukamoto, S. Günther, T. Igel, J. Spies, T. Lege, T. Frechen, M. Franzke, H.J & Brandes, C. 2020. Structural style and neotectonic activity along the Harz Boundary Fault, northern Germany: a multimethod approach integrating geophysics, outcrop data and numerical simulations. *International Journal of Earth Sciences*. 109, 1811–1835.
- Necula, N., Niculita, M & Floris, M. 2018. Using Sentinel-1 SAR data to detect earth surface changes related to neotectonics in the Focșani basin (Eastern Romania), *PeerJ Preprints*.

- Negahban, S & Dortaj, D. 2020. The Evaluation of the Active Tectonics of the Sirvan River Basin Using Geomorphic Indices. *Hydrogeomorphology*, 19(19), 187-209. (In Persian).
- Novikov, I. S & Pospeeva, E. V., 2017. Neotectonics of Eastern Gorny Altai: Evidence from Magnetotelluric Data. *Russian Geology and Geophysics*, 58 (7), 769-777.
- Payandeh, Z., Servati, M.R & Shafiei, F. 2016. Evaluation of neotectonic activities using geomorphic indicators (case study: northwest Kabirkoh anticline). *Quantitative Geomorphology Research*, 4(2), 104-118. (In Persian).
- Qobadi, M. H. 2010. Karst engineering geology. Bu Ali Sina University, P: 320. (In Persian).
- Rezai Moghadam, M. H., Ghadri, M.R & Moayed, M. 2010 investigating the dolines of Takht Suleiman region by cluster analysis method. *Space planning and preparation*, 14 (4), 191-214. (In Persian).
- Shahmari, R. 2017. Evaluation of new land construction activities in watersheds in the west of Gilan province. *Quantitative. Geomorphology Research*, 6 (2), 148-165. (In Persian).
- Shiran, M., Zanganeh Asadi, A., Adab, M. A & Amir Ahmadi, A. 2018. An analysis of morphotectonic anomalies and its relationship with the change of the tectonic structures of the high Zagros and the Sanandaj-Sirjan belt in the sample area of Shahrokh Castle. *Geography and development*, 16(52), 43-68. (In Persian).
- Talampas, W & Cabahug, R. 2018. Morphotectonic Characteristics of the Iponan River Watershed in Cagayan de Oro City, Philippines. *Mindanao Journal of Science and Technology*, 16, 115-131.
- Tran, H. T., Thi Ngo, C. K., Bui, H. V., Nguyen, B. V., Hoang, H. T., Nguyen. N. X & Hoang, T. D. N. 2020. Neotectonic Activities and Its Significance to River-Course Evolution: Implication for the Cai River Catchment, Ninh Thuan Province, South-Central Vietnam. *Proceedings of the International Conference on Innovations for Sustainable and Responsible Mining*, 108, 1-17.
- Zhang, Y., Liu, Y., Jin, M., Jing, Y., Liu, Y., Liu, Y., Sun, W., Wei, J., Chen, Y. 2019. Monitoring Land Subsidence in Wuhan City (China) using the SBAS-InSAR Method with Radarsat-2 Imagery Data, *Sensors*, 19. 743.
- Zhou, Z. 2013. The applications of InSAR time series analysis for monitoring long-term surface change in peatlands. University of Glasgow