

## شناسایی ساختار گسلی و تحول چشمه‌های کارستی با استفاده از رادار نفوذی

### (مطالعه موردی: استان کرمانشاه)

امجد ملکی\* - دانشیار ژئومورفولوژی گروه جغرافیا، دانشگاه رازی کرمانشاه

محسن اویسی - استادیار ژئوفیزیک گروه فیزیک، دانشگاه رازی کرمانشاه

پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۱۱/۲۳      تأیید نهایی: ۱۳۹۱/۰۳/۲۸

#### چکیده

در مناطق کارستی، هدف اساسی، روش ژئوفیزیکی بررسی قسمت‌هایی از سنگ‌های کربناته است که مشاهده مستقیم آن‌ها امکان ندارد. با روش ژئوفیزیکی، می‌توان در مورد حجم سنگ و تشریح افق‌های حاوی ناپیوستگی‌هایی که در مطالعات کارست، بسیار اهمیت دارد، اطلاعات بالارزشی به دست آورد. منطقه مورد تحقیق در زون‌های زاگرس رورانده و چین خورده، قرار دارد و از سازندهای سخت (کربناته) تشکیل شده است. چشمه‌های کارستی استان کرمانشاه، نقش مهمی در تأمین و تغذیه آب استان دارد، به همین دلیل با عملیات ژئوفیزیکی، اقدام به شناسایی و تعیین نقش زمین‌ساخت (گسل و شکست‌ها) در ایجاد و تحول چشمه‌های کارستی شده است. روش الکترومغناطیسی رادار (GPR) یکی از روش‌های مهم برای آشکارسازی ساختارهای سطحی و نزدیک به سطح زمین می‌باشد. در تحقیق حاضر، عملیات ژئوفیزیک با استفاده از دستگاه رادار در محدود دو چشمه، سراب یاوری (زون زاگرس مرتفع منطبق بر روراندگی) و سراب نیلوفر (زون زاگرس چین خورده) انجام گرفت. با استفاده از آنتن ۱۰۰ مگاهرتز غیر پوششی و نگاشت‌های حاصله، سرعت موج در لایه به دست آمد، شکستگی سطحی، ساختار چین خورده و میزان تحول این مناطق مورد مطالعه قرار گرفته. با بررسی نیمرخ‌های به دست آمده، مشخص شد که چشمه سراب یاوری که در زون زاگرس شکسته واقع شده، تعداد گسل و بهم ریختگی لایه و پدیده انحلال بیشتر است، در صورتی که تعداد گسل و میزان انحلال در چشمه سراب نیلوفر که دورتر از زون شکسته و نزدیک به زون زاگرس چین خورده واقع شده به مراتب کمتر از چشمه سراب یاوری است. این امر نشان می‌دهد که به کمک رادار، می‌توان به مطالعه دقیق ساختار و تحول چشمه‌های کارستی پرداخت و نتایج قابل قبولی به دست آورد.

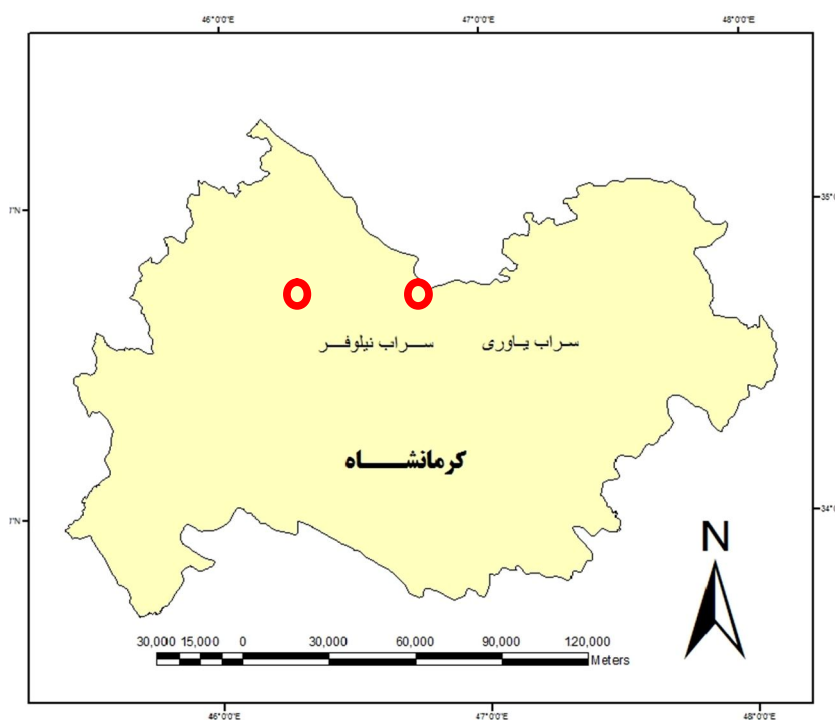
کلیدواژه‌ها: چشمه‌های کارستی، رادار، ژئوفیزیک، زاگرس، کرمانشاه.

## مقدمه

در ایران، مطالعات ژئوفیزیکی مناطق کارست، به منظور شناسایی تحول کارست و منابع آب بسیار محدود (حوضه مهارلو در استان فارس) انجام گرفته است (آغاسی و افراسیابیان، ۱۳۷۸: ۸۴). حدود ۸۰ درصد از منابع آب مناطق غرب کشور از منابع آب کارست، تأمین می‌شود (افراسیابیان، ۱۳۷۲). وجود سراب‌های فراوان در استان کرمانشاه، به دلیل وجود سازندهای سخت بوده که در اثر سالیان دراز انحلال ترکیبات آهکی موجود، در این تشکیلات، شرایط راهیابی آب‌های زیرزمینی را به سطح زمین فراهم نموده، منجر به تشکیل سراب‌های کارستی شده است. پهنه‌های کارستی، نقش مهمی در تأمین و تغذیه آبخوان‌ها دارند. منطقه مورد مطالعه با بیش از ۵۵۰ سراب و چشمه‌های کارستی یکی از استان‌هایی است که عمده منابع تأمین آب سکونت‌گاه‌های آن را همین سراب‌ها، چشمه‌ها و آبخوان‌های کارستی تشکیل می‌دهند. در این پژوهش، جهت شناسایی و بررسی اثر تکتونیک بر تحول ساختارهای آهکی، دو منطقه سراب یآوری و سراب نیلوفر در استان کرمانشاه در دو زون با دو ساختار متفاوت به منظور شناسایی درز و شکاف و گسل‌ها و نیز میزان تحول کارست، توسط روش رادار نفوذی زیرزمینی با فرکانس ۱۰۰ مگاهرتز، مورد بررسی قرار گرفته است.

## مشخصات کلی منطقه

در زیر به شرح مختصری از کلیات منطقه می‌پردازیم (شکل شماره ۱)



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه (چشمه‌های کارستی) در استان کرمانشاه

### اقلیم منطقه

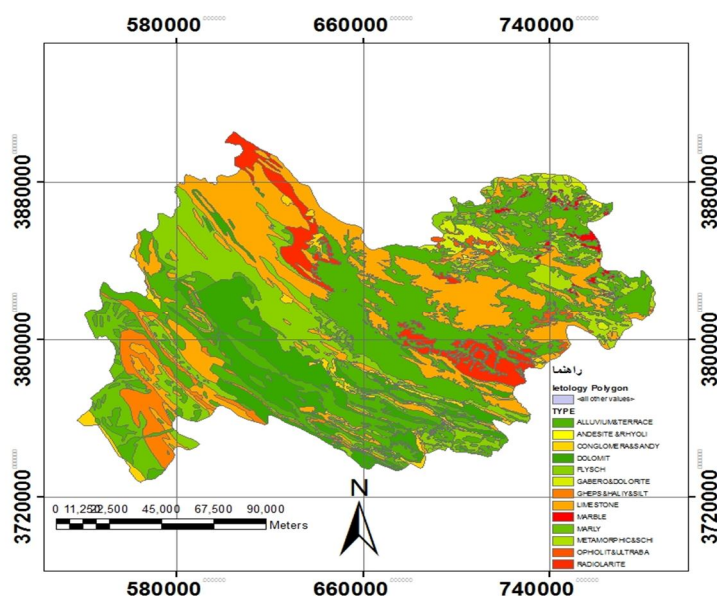
شروع بارندگی در منطقه، تقریباً با پیدایش شرایط جبهه‌زایی و سیکلون‌زایی از مهرماه و در تمام فصل سرد سال و بهار هم‌زمان است. پر باران‌ترین ماه سال، اسفند است و میانگین بارش آن حدود ۸۶/۴ میلی‌متر است و کم باران‌ترین، ماه تیر با بارش معدل ۰/۴ میلی‌متر است. به همین دلیل، تیر ماه جهت انجام عملیات میدانی در منطقه مورد تحقیق انتخاب گردید (جلیلیان، ۱۳۸۴).

### هیدرولوژی

استان کرمانشاه با توجه به میزان بارش سالیانه آن، دارای منابع آب زیرزمینی و سطحی غنی می‌باشد. بر اساس بررسی‌های به عمل آمده در طرح شناسنامه حوضه‌های آبخیز استان کرمانشاه، حوضه‌های این استان به سه دسته، شامل دو دسته اصلی؛ یعنی حوضه‌های آبخیز داخلی و حوضه‌های آبخیز خارجی و یک دسته فرعی که در برگرفته حوضه‌های بسته کارستیک می‌باشد، تقسیم شدند (شوهانی، ۱۳۸۵).

### زمین‌شناسی منطقه

قسمت عمده استان در سمت غرب و جنوب غربی رورانگی اصلی زاگرس، قرار دارد. با توجه به واحدهای مهم ساختمانی ایران، دو زون مهم ساختمانی یعنی زاگرس و سنندج - سیرجان، ساختار کلی زمین‌شناسی استان را تشکیل می‌دهند. زون زاگرس، شامل زاگرس رورانده و زاگرس چین خورده و زاگرس چین نخورده می‌باشد، شکل شماره ۲.



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی موقعیت منطقه مورد مطالعه

## مواد و روش‌ها

برای دستیابی به اهداف مورد نظر مراحل زیر در تحقیق انجام گرفته است:

- بررسی مبانی تئوری موضوع و روش کار
- انتخاب محل‌ها جهت انجام عملیات میدانی
- برداشت داده‌ها با دستگاه رادار
- تحلیل داده‌ها
- نتیجه‌گیری

## رادار و چگونگی استفاده از آن

روش رادار بر اساس پاسخ زمین به فرکانس‌های بالا (۲۰ تا ۱۰۰۰ مگا هرتز) امواج الکترو مغناطیسی بنا شده است. وقتی ضریب گذردهی الکتریکی مواد، تغییر می‌کند، آن‌گاه امواج الکترو مغناطیسی ممکن است، بازتاب یا شکسته شوند. تغییرات در گذردهی الکتریکی بر اثر تغییر ساختار یا تغییر جنس سنگ است (Rossetti, D.F., 2003).

انرژی انعکاس داده شده یا بازتاب شده، توسط دستگاه، در سطح زمین دریافت می‌شود. همچنین انرژی الکترو مغناطیسی ممکن است به صورت مستقیم در هوا یا زمین انتشار یابد. موفقیت روش رادار به فاکتورهای مهمی بستگی دارد که از آن جمله می‌توان وجود تباین در زیر زمین و رسانایی الکتریکی را نام برد. با افزایش رسانش تضعیف انرژی افزایش می‌یابد، (شاه نظری، ۱۳۸۴).

## برداشت داده‌ها

روش برداشت داده‌های بازتابی رادار شامل ۴ روش است که عبارتند از (Slater, L., (Niemi, T.M., 2003)

- الف) روش دور افت مشترک
- ب) روش نقطه عمقی مشترک
- ج) روش چشمه مشترک
- د) روش گیرنده مشترک

## تخمین سرعت

از رادار در بررسی‌های گوناگونی، مانند اکتشافات باستانی، جاده و راهسازی، پیدا کردن عمق پی سنگ، بررسی‌های رسوبی، آشکارسازی نشتی آب و غیره استفاده می‌شود (Mahdi and Eyuboglu, 2004). با دانستن زمان رفت و برگشت موج و نیز سرعت موج راداری در محیط‌های زیر سطحی، می‌توان تخمین

دقیقی از عمق را به دست آورد. روش استاندارد برای تشخیص سرعت در بسیاری از مطالعات استفاده از روش CMP است. این یک روش غیرتخریبی است. سرعت‌ها در بازتاب لرزه‌ای با استفاده از اصول برونراند نرمال، به دست می‌آیند. یک رخداد بازتابی مشخص، می‌تواند به صورت دستی برداشت شده و میانگین سرعت را می‌توان با استفاده از رابطه زیر به دست آورد (Liberty, Hemphil, Madin, 2003).

$$v_1 = \sqrt{\frac{(x_2^2 - x_1^2)}{(t_{x_2}^2 - t_{x_1}^2)}} \quad \text{رابطه ۱}$$

که  $x$ ها بیانگر فواصل افقی و  $t$ ها بیانگر زمان رفت و برگشت موج رادار است.

## یافته‌های پژوهش

### تفسیر و تحلیل داده‌های رادار در مناطق مورد مطالعه

به منظور دستیابی به نتایج دقیق‌تر از روش فوق، باید مناطقی انتخاب می‌گردید که از نظر ساختمانی از هم متفاوت می‌بودند، تا صحت روش رادار بهتر، ارزیابی می‌گردید. به همین دلیل ۲ چشمه در سطح استان، برای عملیات میدانی و بررسی درز و شکاف‌ها، گسل‌ها و میزان تحول کارست زیرزمینی بشرح زیر انتخاب گردید:

۱. سراب نیلوفر در زون زاگرس چین‌خورده

۲. سراب یآوری در زون زاگرس شکسته (منطبق بر محل روراندگی)

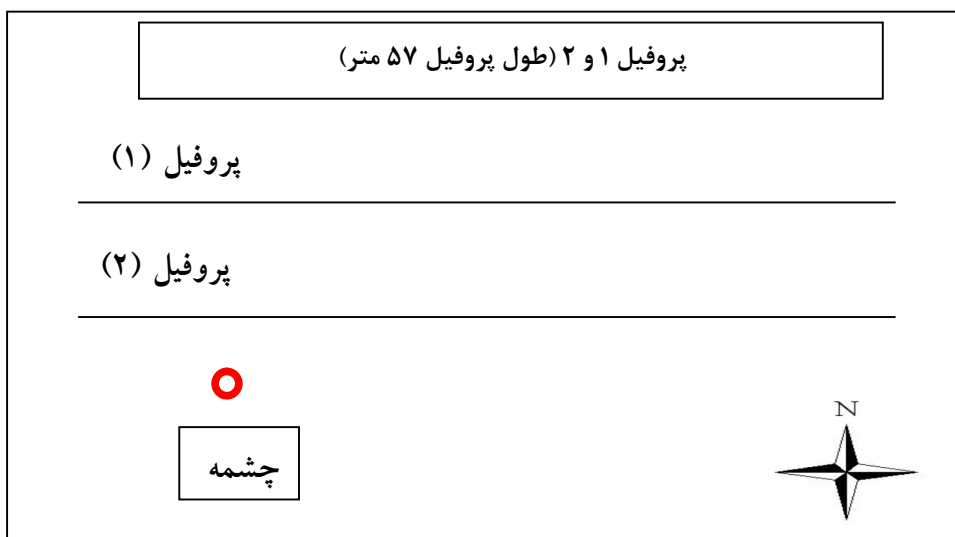
برای هر سراب تعداد ۲ پروفیل به طول‌ها و فواصل متفاوت از یکدیگر انتخاب شدند. در این پروفیل‌ها علاوه بر برداشت داده‌های رادار، سرعت نفوذ موج رادار نیز برداشت شد. علاوه بر این با استفاده از دستگاه GPS موقعیت ریاضی (ارتفاع از سطح دریا، طول و عرض جغرافیایی) هر نقطه، تعیین شد (شکل‌های شماره ۳ و ۴). در هر دو موقعیت، نیمرخ‌های اندازه‌گیری شده به صورت شرقی- غربی انتخاب شدند.

آنتن‌های فرستنده و گیرنده از نوع غیر پوششی با بسامد (۵۰، ۱۰۰ مگاهرتز) مورد استفاده قرار گرفت. عمق نفوذ آنتن‌ها بسته به نوع آنتن، متفاوت است. حال به تفکیک اطلاعات به دست آمده از رادار در مورد هر سراب ارائه می‌شود.

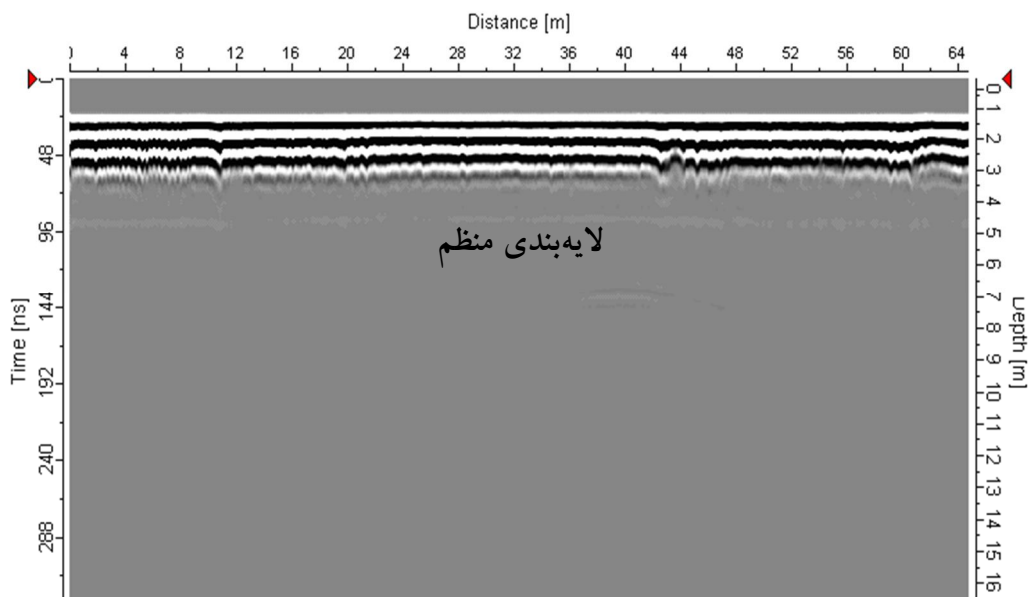
### داده برداری سراب نیلوفر با روش رادار

منطقه مورد مطالعه در ۲۰ کیلومتری شمال غربی کرمانشاه در ناحیه‌ای به نام سراب نیلوفر قرار دارد (شکل شماره ۱). عملیات داده برداری روی این ناحیه با دستگاه رادار Ramac ساخت کشور سوئد انجام گرفت. ۲ پروفیل رادار با طول تقریبی ۵۷ متر و به فواصل ۱۰۰ متر از یکدیگر روی این ناحیه زده شد تا ادامه‌دار بودن این شکستگی، بررسی شود. با توجه به فرکانس مورد استفاده (۱۰۰ مگاهرتز) و رسانش زمین، عمق نفوذ مؤثر

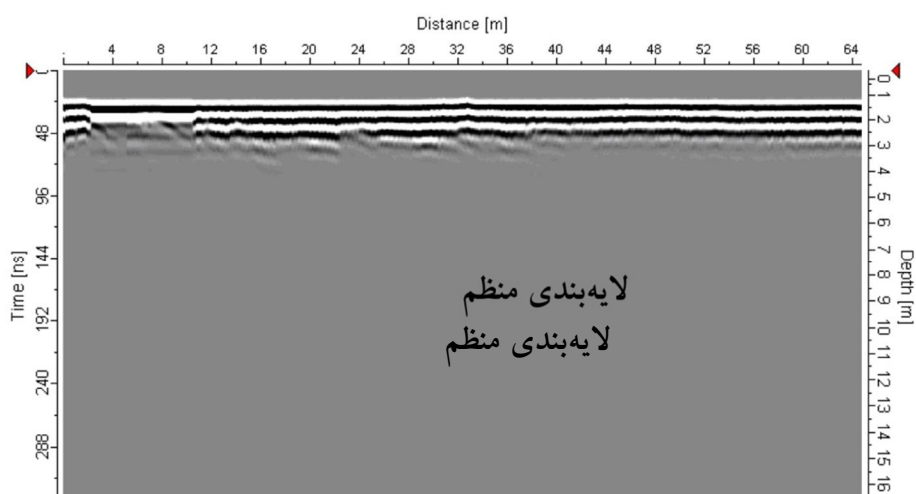
بیشتر از ۳ متر بوده است. اطلاعات مربوط به داده‌های GPS و شکل‌های ۳ و ۴ و ۵ نگاشت‌های رادار را نشان می‌دهد.



شکل ۳. موقعیت و مشخصات نیمرخ‌های برداشت شده در سراب یاوری (زون ساختمانی شکسته)



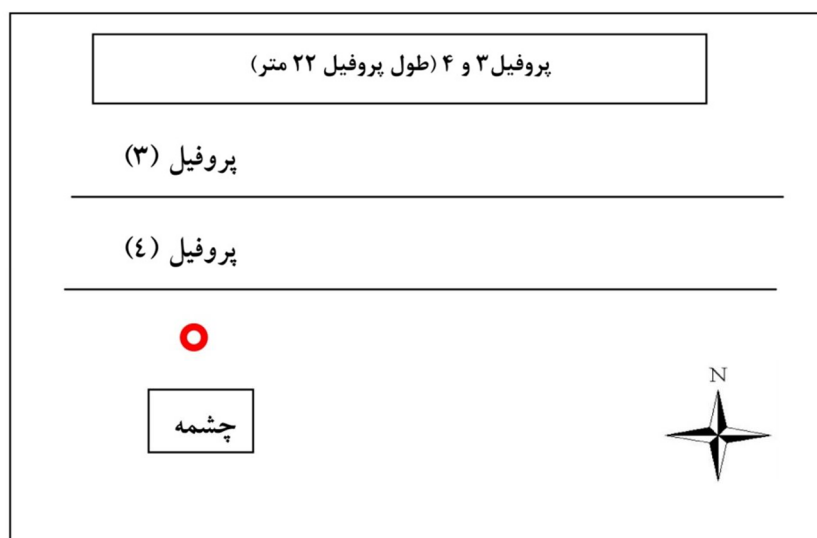
شکل ۴. نیمرخ دوم رادار سراب نیلوفر (تفسیرها بر اساس تغییرات موج و شکل آنها صورت گرفته است)



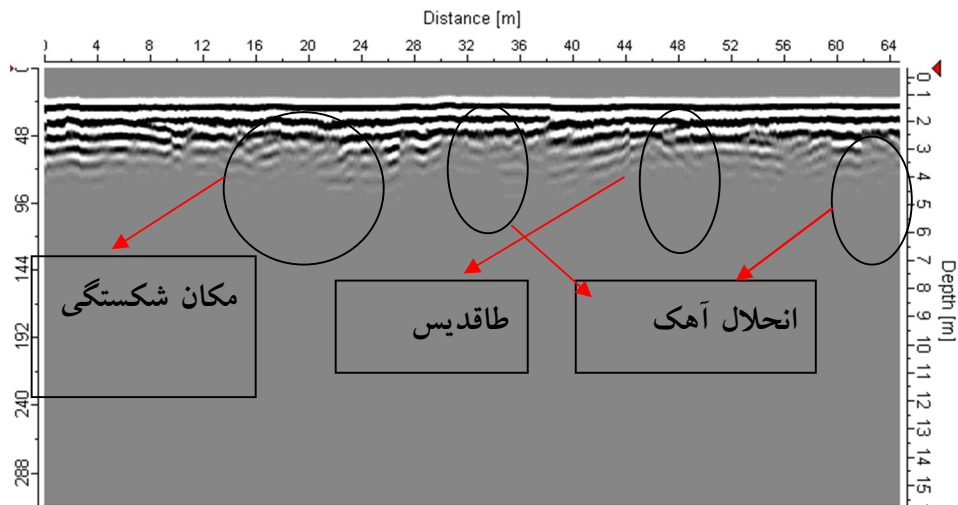
شکل ۵. نیمرخ دوم رادار سراب نیلوفر (تفسیرها بر اساس تغییرات موج و شکل آنها صورت گرفته است)

### داده برداری سراب یآوری با روش رادار

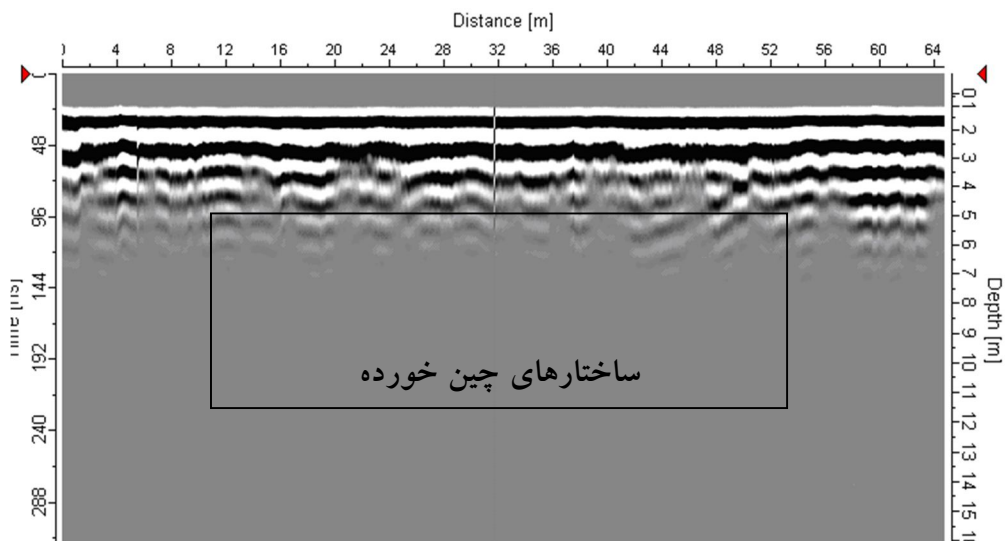
منطقه مورد مطالعه در ضلع شمال غربی شهر کرمانشاه در مسیر جاده کرمانشاه-روانسر در نزدیکی روستای چشمه کبود قرار دارد. بررسی سنگ‌های این ناحیه، مؤید آن است که سنگ‌های رسوبی این منطقه، چین خورده و در اکثر نواحی، لایه‌های رسوبی به علت فشارهای تکتونیکی شکسته و گسل خورده‌اند و نظم لایه‌ها به هم خورده است. ۲ پروفیل رادار با طول تقریبی ۲۲ متر و به فواصل ۴ متر از یکدیگر روی این ناحیه زده شد تا ادامه دار بودن این شکستگی بررسی شود. با توجه به فرکانس مورد استفاده (۱۰۰ مگاهرتز) و رسانش زمین، عمق نفوذ مؤثر ۶-۵ متر بوده است. شکل‌های ۶ و ۷ و ۸ موقعیت و نگاشت‌های رادار را نشان می‌دهد.



شکل ۶. موقعیت و مشخصات نیمرخ‌های برداشت شده در سراب یآوری (زون ساختمانی چین خورده)



شکل ۷. نیمرخ اول رادارسراب یاوری (تفسیرها بر اساس تغییرات موج و شکل آنها صورت گرفته است)



شکل شماره ۸. نیمرخ اول رادارسراب یاوری (تفسیرها بر اساس تغییرات موج و شکل آنها صورت گرفته است)

### بحث و نتیجه گیری

روش الکترومغناطیسی رادار (GPR) یکی از روش‌های مهم برای آشکارسازی ساختارهای سطحی و نزدیک به سطح زمین می‌باشد. در این تحقیق دو ناحیه رسوبی شکسته شده و چین خورده با دو ساختار متفاوت با استفاده از آنتن ۱۰۰ مگاهرتز غیر پوششی مطالعه و با استفاده از نگاشت‌های به‌دست آمده، سرعت موج در لایه به‌دست آمد.

با بررسی نیمرخ‌های به‌دست آمده از ردیاب، سراب نیلوفر (نزدیک به زون زاگرس چین خورده) مشخص



شد که میزان شکستگی و گسل در آن کمتر از محدوده سراب یآوری زون زاگرس شکسته (رورانده) است، به همین دلیل به تبعیت از قرارگیری سراب‌های فوق در واحدهای ساختمانی متفاوت، میزان عملکرد انحلال و ایجاد دهلیزها نیز متفاوت است. به طوری که نمودارهای حاصل از عملیات ژئوفیزیکی آثار انحلال و توسعه دهلیزهای بیشتر را در نمودار سراب یآوری نشان می‌دهند که منطبق بر درز و شکاف و محل شکستگی‌ها و گسل‌ها می‌باشند. در واقع انتظار می‌رفت که بر اساس قرارگیری چشمه‌های انتخاب شده در واحدهای زمین-شناسی زاگرس شکسته و نزدیک به زون چین خورده، تعداد و میزان تحول هر یک از آنها متناسب با واحد مربوطه، متفاوت از همدیگر باشند که عملاً همین نتیجه نیز حاصل شد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از عملیات ژئوفیزیکی یکی از روشهای معتبر جهت این منظور می‌باشد؛ چرا که در نهایت، داده‌ها و نمودارهای به‌دست آمده، نشان می‌دهند که هر جا تراکم گسل‌ها بیشتر است، دهلیزهای ایجاد شده و در نتیجه فرایند انحلال نیز از وسعت و گستره بیشتری برخوردار است. نتیجه این تحقیق، نشان می‌دهد که استفاده از رادار، می‌تواند در مطالعات ژئومورفولوژی کارست و شناسایی موقعیت درز و شکاف‌های سطحی، همچنین موقعیت و میزان تحول اشکال کارست زیرزمینی، به ویژه در ارتباط با دستیابی و مدیریت منابع آب زیرزمینی بسیار ارزشمند باشد.

## منابع

- آغاسی، عبدالوحید و احمد افراسیابیان. ۱۳۷۸، **هیدرولوژی کارست**، چاپ اول، تهران، مرکز تحقیقات کارست کشور.
- افراسیابیان، احمد. ۱۳۷۲، **مطالعات هیدرولوژی کارست در حوضه آهکی مهارلو**، دومین سمینار علمی مطالعات منابع آب، مجموعه مقالات. ص ۱۱۶.
- برون، ژان. ۱۳۶۹، **شرح نقشه زمین‌شناسی چهارگوش کرمانشاه**، ترجمه آقاناتی، سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران.
- جلیلیان، بهمن. ۱۳۸۴، **پهنه‌بندی زمین لرزه در استان کرمانشاه با استفاده از (GIS)**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، استاد راهنما: امجد ملکی، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه رازی کرمانشاه.
- شاه نظری، محسن. ۱۳۸۴، **مطالعات مغناطیسی و الکترو مغناطیسی در تشخیص گسل‌ها و کاربرد آنها روی گسل صحنه**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، استاد راهنما: محسن اوپسی، گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه رازی کرمانشاه.
- شوهانی، داود. ۱۳۸۵، **پهنه‌بندی تحول کارست در استان کرمانشاه**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، استاد راهنما: امجد ملکی، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه رازی کرمانشاه.
- Eyuboglu, H. And Mahdi, H. Al-Shukri, H., 2004, **detection of water leaks using Ground Penetrating Radar: Department of Applied Science University of Arkansas at Little Rock Little Rock, AR, 72204, USA.**

- Liberty, L.M., Hemphill-Haley, M.A., Madin, I.P., 2003, **The Port landHills Fault: uncovering a hidden fault in Portland. Oregon using high-resolution geophysical methods**, Tectonophysics 368, 89-103.
- Rossetti, D.F., 2003. **Delineating shallow Neogens deformation structures in northeastern Para State using ground penetrating radar**, An.Acad. Bras. Cienc. 75, 235-248.
- Slater, L., Niemi, T.M., 2003. **Ground-penetrating radar investigation of active faults along the Dead Sea Transform and implications for seismic hazards within the city of Aqaba, Jordan**, Tectonophysics 368, 33-50.