

## مدل سازی مخروط افکنه کواترنری با استفاده از داده‌های رسوب‌شناسی و ژئوفیزیک (ژئوالکتریک) در جنوب شرق شهر یزد، ایران مرکزی

بهنام پاشازاده؛ دانشجوی دکترای تخصصی زمین‌شناسی، شاخه رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، گروه زمین‌شناسی دانشگاه آزاد

اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران

داود جهانی\*؛ دانشیار، گروه زمین‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران

راضیه لک؛ دانشیار، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران، ایران

حمید نظری؛ دانشیار، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران، ایران

مهدی محمدی‌ویژه؛ کارشناس ارشد سازمان زمین‌شناسی کشور، ایران

میشائلا براسمایر؛ کارشناس ارشد دیرینه‌شناسی دانشگاه وین، اتریش

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۲۵

### چکیده

مخروط افکنه‌ها یکی از لندفرم‌های پویای کواترنری در نواحی خشک‌اند. به همین منظور جهت شناسایی دقیق مخروط افکنه جنوب شرق شهر یزد، پس از بررسی تصاویر ماهواره‌ای، شبکه نمونه‌برداری متناسب با محدوده مورد مطالعه تعیین شد و تعداد ۲۰ عدد نمونه سطحی و تعداد ۶ عدد نمونه زیرسطحی رسوب از ترانشه حفر شده برداشت شد. سپس، مطالعات آزمایشگاهی بر رسوبات سطحی و زیرسطحی مخروط افکنه مورد مطالعه انجام پذیرفت. طبق مطالعات رسوب‌شناسی، سه نوع تیپ رسوبی گراول گلی، گراول ماسه‌ای، گراول ماسه‌ای-گلی شناسایی شد و سه رخساره رسوبی در قسمت‌های مختلف مخروط افکنه شناسایی شد. طبق بررسی‌های رسوب‌شناسی نحوه توزیع ذرات رسوب و علل این تغییرات تفسیر شد. جهت مطالعات زیرسطحی مخروط افکنه، علاوه بر حفر ترانشه، از روش ژئوفیزیک (ژئوالکتریک) نیز استفاده شده است. مطالعات ژئوفیزیک به روش ژئوالکتریک بر اساس مقاومت ویژه ذرات رسوبات و در ۲ پروفیل طولی و عرضی در مخروط افکنه مورد مطالعه صورت پذیرفت. در پروفیل طولی و در بخش‌های آغازین مخروط افکنه مقاومت ویژه بالایی نسبت به قسمت‌های پایانی مخروط افکنه مشاهده شد. همچنین، طبق نتایج به‌دست‌آمده از مطالعات رسوب‌شناسی، انرژی محیط رسوبی در زمان نهشته شدن رسوبات بالاست و رسوبات این مخروط افکنه گرانروی بالایی دارند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه رسوبات و نتایج داده‌های ژئوالکتریک یک مدل رسوبی ترسیم شد.

کلیدواژگان: رسوب‌شناسی، ژئوالکتریک، مخروط افکنه، مدل رسوبی، یزد.

### مقدمه

کواترنری شامل دو دوره به نام‌های پلیستوسن، از ۲/۶ میلیون سال پیش تا ۱۱/۷۰۰ هزار پیش، و هولوسن، از ۱۱/۷۰۰ هزار

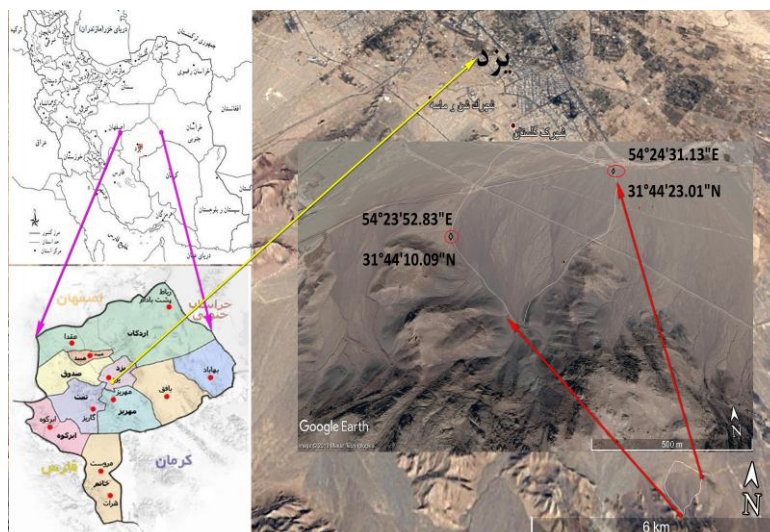
سال پیش تا امروز، است (انجمن بین‌المللی دانش زمین‌شناسی، ۲۰۱۵: چارت زمین‌شناسی). در گذشته‌های نه چندان دور، از دیدگاه بسیاری از پژوهشگران علوم زمین، سیستم کواترنر نسبت به دوره‌های پیش از آن از اهمیت چندانی برخوردار نبود. یکی از محیط‌های رسوبی کواترنری که برای بشر بسیار حائز اهمیت است مخروط‌افکنه‌ها هستند که عامل اصلی در تشکیل آن‌ها رواناب‌های سطحی و محل تشکیل آن‌ها حواشی کوهستان‌هاست. در دوره کواترنری بارش باران‌های سنگین و فاجعه‌بار و گرم شدن سریع نقش قابل توجهی در توسعه مخروط‌افکنه‌ها داشته است. رواناب‌ها پس از گذر از دره‌ها و تنگ‌دره‌های پُرشیب کوهستانی و ورود به زمین‌های هموار پای کوه، به تدریج، انرژی و سرعت خود را از دست می‌دهند و ناگزیر بخش قابل توجهی از بار جامد خود را بر زمین می‌گذارند (خان‌ناظر ۱۳۹۴: ۱۸۷). شایان ذکر است به طور کلی از کوهستان به سوی دشت از ضخامت مخروط‌افکنه کاسته و بر وسعت آن افزوده می‌شود. در بخش آغازین هر مخروط‌افکنه یک کانال وجود دارد که رسوبات آواری را از مرتفع‌ترین نقطه کوهستان به طرف دشت می‌آورد. این رسوبات در مقطع طولی به فرم مقعر و در مقطع عرضی به شکل محدب است که در سطح آن بریدگی‌های رودخانه‌ای دیده می‌شود (سوپرسون<sup>۱</sup> و همکاران ۲۰۱۶). مخروط‌افکنه‌ها از نظر وسعت و همچنین گسترش به سه گروه کوچک‌مقیاس (چند کیلومتر مربع)، متوسط‌مقیاس (چندده کیلومتر مربع) و بزرگ‌مقیاس (چندصد تا چندهزار کیلومتر مربع) تقسیم می‌شوند. در این زمینه می‌توان به مطالعات (هاروی<sup>۲</sup> و همکاران ۱۹۹۹ و ۲۰۰۵؛ هاروی<sup>۳</sup>؛ بلایر<sup>۳</sup> و مکفرسون ۱۹۹۴) اشاره کرد. شرایط آب‌وهوایی در دوره گذار از پلیوسن به پلیستوسن پسین نسبتاً مرطوب‌تر از شرایط حاضر بوده است (بوبک<sup>۴</sup> ۱۹۶۳). انتقال فضای رسوب‌گذاری روی سطح بادبزنها نشان‌دهنده تغییرات قابل توجه محیطی در پلیستوسن بالایی و هولوسن است (مختاری ۱۳۹۲). جهت اعتبارسنجی تغییرات اقلیم کواترنری در اطراف شهر یزد می‌توان به شناسایی یک دریاچه کواترنری در ناحیه مورد مطالعه اشاره کرد که بر اساس مطالعات رسوب‌شناسی و فسیل‌شناسی (استراکودها) صورت پذیرفته است و میزان بالای نزولات جوئی در ابتدای کواترنری را نشان می‌دهد (پاشازاده و همکاران ۱۳۹۸). با توجه به اینکه در حال حاضر ناحیه مورد مطالعه در بخشی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک قرار دارد، شناسایی منابع آب زیرزمینی بسیار مهم است. مخروط‌افکنه‌ها به دلیل امکان نفوذ آب در اثر نزولات جوئی مکان‌های مناسبی جهت پی‌جویی آب‌اند. اولین قدم در شناسایی چینه‌ها و ساختارهای تحت الارضی داشتن درک درست از وضعیت سطح زمین است. زیرا توانایی شناسایی و تحلیل چینه‌ها و ساختارها در عمق، بدون شناسایی و تحلیل در سطح، امکان‌پذیر نخواهد بود. در سطح رخنمون‌ها قابل مشاهده و پیگیری‌اند؛ در صورتی که اطلاعات عمقی به تفاسیر حاصل از اطلاعات غیرمستقیم نیاز دارند (صفری و امیری بختیار ۱۳۹۲: ۶۷). از لحاظ بررسی‌های ژئوتکنیکی می‌توان به مطالعات پدرامی (۱۳۵۳)، بربریان و همکارانش (۱۳۶۴)، امینی (۱۳۷۳)، نقیبیان (۱۳۷۵)، اسپهبد (۱۳۷۱)، و قنبری (۱۳۸۸) اشاره کرد. در رابطه با مطالعات ژئوالکترونیک بر رسوبات کواترنر، می‌توان به مطالعات کمپانی ژنرال ژئوفیزیک بر دشت تهران - کرج در سال ۱۳۴۳ تا ۱۳۴۶، مطالعات واحد مهندسی آب و خاک جهاد سازندگی در دشت تهران در سال ۱۳۶۴، و مطالعات روی رسوبات رودخانه‌های کرج و شور ورامین توسط صدوق و همکارانش در سال ۱۳۹۶ اشاره کرد. جهت شناسایی دقیق مخروط‌افکنه ناحیه

1. Superson
2. Harvey
3. Blair
4. Bobek

مورد مطالعه، پس از مطالعات دقیق سطحی، جهت درک بهتر ارتباط لایه‌های زیرین مخروط‌افکنه، از روش ژئوالکترونیک استفاده شد و به کمک نرم‌افزار مدل‌سازی، داده‌های برداشت شده پردازش شد. هدف از این پژوهش بررسی رسوب‌شناسی مخروط‌افکنه‌ها، شناسایی واحدهای زیرسطحی، و ارائه مدل رسوبی مناسب برای مخروط‌افکنه مورد مطالعه است.

## مواد و روش‌ها

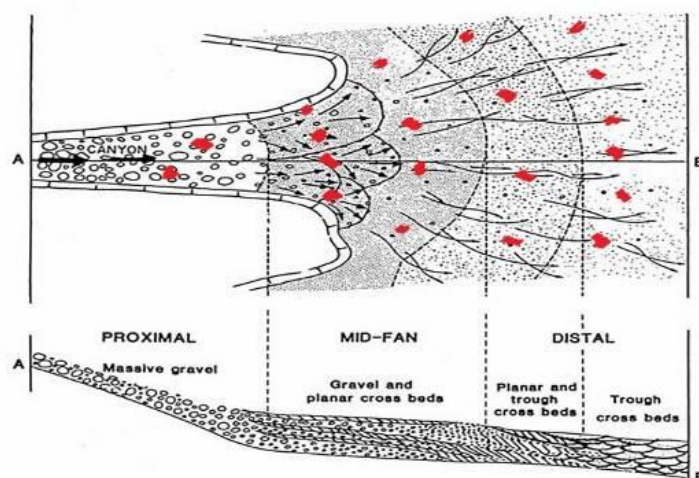
مخروط‌افکنه مورد مطالعه بین عرض‌های جغرافیایی  $31^{\circ}43'56''$  تا  $31^{\circ}44'17''$  شمالی و طول جغرافیایی  $54^{\circ}23'58''$  تا  $54^{\circ}24'11''$  در جنوب شرقی شهر یزد در مرکز ایران واقع شده است. این شهرستان از سوی شمال به شهرستان‌های میبد و اردکان، از خاور به شهرستان بافق، از باختر به خضرآباد، و از جنوب به شهرستان‌های تفت و ابرکوه و مهریز محدود می‌شود (شکل ۱). از دیدگاه زمین‌شناسی یزد در خرده‌قاره ایران مرکزی قرار دارد و بخشی از ایران میانی است که با زمین‌درزهای افیولیتی سیستان، ناین، بافت، گسل درونه، افیولیت‌های کاشمر- سیزوار و همچنین توسط گسل‌های طویلی که به سمت باختر خمیدگی دارند و از نوع امتدادلغز راست‌گرد می‌باشند احاطه شده است. این ناحیه قابل تقسیم به بلوک لوت، فرازمین شتری، فرونشست طبس، فرازمین کلمرد، بلوک پشت‌بادام، فروافتادگی بیاضه- بردسیر، و بلوک یزد است (آقاباتی ۱۳۸۳: ۶۵). ناحیه مورد بررسی بخشی از نقشه یک‌صد هزارم یزد (۶۸۵۳) است. بخش بزرگی از تشکیلات زمین‌شناسی منطقه یزد مربوط به رسوبات کواترنری و واحدهای سنگی آهکی کرتاسه است. در محدوده مورد مطالعه، بیشتر رسوبات کواترنری در اثر فرسایش واحدهای کرتاسه و آئوسن موجود در منطقه و جابه‌جایی آن‌ها توسط آب و باد به وجود آمده است. این مخروط‌افکنه دارای عرض ۴۱۵ متر و طول ۲۰۵۰ متر است. گفنتی است از نقطه ۱۵۵۰ متر به بعد این مخروط‌افکنه توسط رودخانه‌های فصلی، که از ارتفاعات واحدهای سنگی مربوط به دوره کرتاسه منشأ گرفته‌اند، شسته شده است. مخروط‌افکنه مورد مطالعه در قسمت بالادست دارای نقطه ارتفاعی ۱۴۰۰ متر و در پایین دست دارای نقطه ارتفاعی ۱۳۱۵ متر است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی مخروط‌افکنه مورد مطالعه

## یافته‌های پژوهش

جهت شناسایی دقیق مخروط‌افکنه کواترنری در جنوب شرق شهر یزد، ابتدا مطالعات کتابخانه‌ای صورت پذیرفت و سپس مطالعات دقیقی روی عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای در بازه زمانی ۲۰ ساله انجام شد و ساختار کلی زمین‌شناسی ناحیه و تأثیر واحدهای زمین‌شناسی در مخروط‌افکنه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. پس از شناسایی کامل یک مخروط‌افکنه از نظر جایگاه و موقعیت زمین‌شناسی، در دومین مرحله، بخش‌های مختلف مخروط‌افکنه (آغازین، میانی، پایانی) تفکیک و بر اساس جایگاه رسوبات مخروط‌افکنه و نوع رسوبات تشکیل‌دهنده اقدام به برداشت نمونه شد. تعداد ۲۰ عدد نمونه سطحی از قسمت‌های مختلف یک مخروط‌افکنه (ابتدا تا انتها) برداشت شد (شکل ۲). برداشت نمونه‌های سطحی ابتدا بر اساس جایگاه (آغازین، میانی، پایانی) و سپس در هر بخش بر اساس تغییرات در اندازه، شکل، طول، و عرض مخروط‌افکنه صورت پذیرفت و برداشت نمونه‌های زیرسطحی بر اساس وجود ترانشه‌های طبیعی یا مصنوعی (ترانشه لوله گاز) یا حفر یک ترانشه ۳ متری جهت مطالعات دقیق رسوب‌شناسی انجام شد. گفتنی است ترانشه ایجاد شده در میان بخش آغازین و میانی و در محل ترانشه طبیعی موجود حفر شد و تعداد ۶ عدد نمونه از دیواره ترانشه برداشت شد و سپس، بر اساس نتایج آنالیز دانه‌سنجی، رسوبات بر مبنای طبقه‌بندی فولک (۱۹۷۴) نام‌گذاری شد. جهت مطالعات دقیق زیرسطحی واحدهای کواترنری در اعماق بیش از ۳ متر و ارتباط آن‌ها با سنگ بستر و همچنین بررسی میزان شیب مخروط‌افکنه، مطالعات ژئوفیزیک به روش ژئوالکتریک بر این مخروط‌افکنه صورت پذیرفت. جهت برداشت‌های مقاومت ویژه در ناحیه مورد مطالعه از دستگاه TRRAMETER SAS 300 ساخت شرکت ABEM کشور سوئد استفاده شد. این دستگاه قابلیت ارسال جریان تا ۲۰ میلی‌آمپر با ولتاژ ۱۶۰ ولت را دارد که با اضافه کردن بوستر این مقدار تا ۴۰۰ ولت قابل افزایش است. مقادیر خروجی روی این دستگاه به صورت  $V/I$  است که با دقت ۰/۰۵ میلی‌اهم قابل اندازه‌گیری است. این دستگاه با یک باتری ۱۲ ولتی کار می‌کند و وزن کلی دستگاه با باتری ۵/۶ کیلوگرم است که در نوع خود بسیار سبک است. در انتها همه اطلاعات به‌دست‌آمده در نرم‌افزار Arcgis آماده و نیم‌رخ زمین‌شناسی و مدل رسوبی مخروط‌افکنه طراحی و ترسیم شد.



شکل ۲. تعیین شبکه نمونه‌برداری روی نمودار گرفته‌شده از گلپین و استیل (۱۹۹۹)

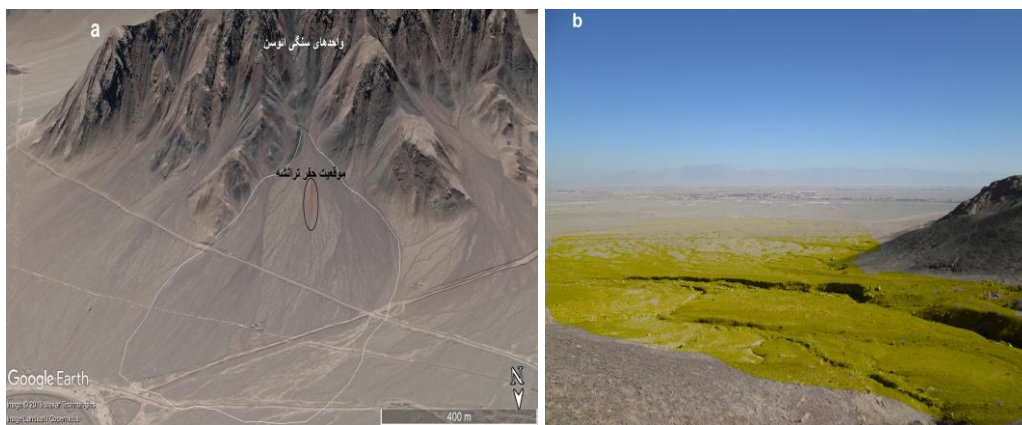
## مطالعات سطحی

مطالعات سطحی شامل شناسایی واحدهای سنگی و واحدهای کواترنری و نمونه‌برداری از آنهاست. علت اصلی مطالعه واحدهای سنگی ارتباط این واحدها با هوازگی و فرسایش و تأثیر مستقیم این عوامل در تشکیل واحدهای کواترنری است. از این رو، جهت شناخت دقیق واحدهای کواترنری باید منشأ تشکیل آنها شناسایی و بررسی شود. در ناحیه مورد مطالعه سه واحد سنگی وجود دارد: ۱. واحد سنگی آهکی دولومیتی دوره تریاس مربوط به سازند نای‌بند؛ ۲. واحد سنگی آهکی دوره کرتاسه مربوط به سازند غیررسمی تفت؛ ۳. واحدهای سنگی شیلی و ماسه‌سنگی مربوط به دوره پالئوژن و سری ائوسن. واحد سنگی ای که روی مخروط‌افکنه ناحیه مورد مطالعه تأثیر مستقیم دارد واحد سنگی دوره پالئوژن و سری ائوسن است. طبق مطالعات صحرائی انجام‌شده در ناحیه مورد مطالعه، شکل هندسی این مخروط‌افکنه از نوع فرم تیغه‌ای است. زیرا بیشترین ضخامت در حاشیه کوهستان است و قسمت پایین دست مخروط‌افکنه ضخامت کمتری دارد. چون از ضخامت رسوبات کاسته می‌شود که نشان‌دهنده بالآمدگی واحدهای سنگی ائوسن قبل از تشکیل مخروط‌افکنه است. با توجه به مطالعات دقیق واحدهای سنگی ناحیه مورد مطالعه مشخص شد هر واحد سنگی بر اساس جنس لیتولوژی و تغییرات به‌وجودآمده در اثر هوازگی می‌تواند ماهیت و نوع مخروط‌افکنه منطقه را تحت تأثیر قرار دهد و باعث پدید آمدن مخروط‌افکنه‌هایی با طول و عرض و جنس رسوبات مختلف شود. به همین منظور با توجه به نوع منشأ می‌توان مخروط‌افکنه‌های منطقه را تفکیک کرد. نتایج دانه‌سنجی بیانگر پارامترهای آماری و سه تیپ رسوبی متفاوت است. با جانمایی هر یک از تیپ‌های رسوبی روی مخروط‌افکنه مورد مطالعه در نرم‌افزار Arcgis بخش‌های مختلف مخروط‌افکنه شناسایی و تفکیک شد (جدول ۱). پارامترهای آماری، از جمله میانگین جورشدگی و کج‌شدگی و کشیدگی، نسبت به تغییرات انرژی جریان بسیار حساس‌اند و تحت تأثیر فاکتورهای فرسایش و حمل‌ونقل و سرعت ته‌نشست کنترل می‌شوند (لاورنس و همکاران ۲۰۱۵). بنابراین مطالعه پراکندگی اندازه ذرات یکی از اصول اولیه مطالعه شرایط محیط نهشته شدن و حمل‌ونقل رسوبات است (مک منوس ۱۹۸۸). با در نظر گرفتن پارامترهای آماری و تیپ رسوبی رسوبات می‌توان درباره انرژی حاکم و فرسایش مخروط‌افکنه ناحیه مورد مطالعه بحث کرد.

جدول ۱. مشخصات رسوبات بخش‌های مختلف یک مخروط‌افکنه

بخش‌های مختلف مخروط‌افکنه	نام‌گذاری رسوب و فاسیس	میانگین	کور توسز	انحراف معیار	کج‌شدگی
آغازین	گراول ماسه‌ای	-1.1	کشیده 1.18	جورشدگی بد 1.3	کشیدگی زیاد مثبت به سمت ذرات دانه‌ریز 0.6
میانی	گراول ماسه‌ای گلی	0.64	متوسط 0.96	جورشدگی بسیار بد 2.3	کشیدگی مثبت به سمت ذرات دانه‌ریز -0.2
پایانی	گراول گلی	3.2	بسیار پهن 0.5	جورشدگی بی‌نهایت بد 4	کشیدگی منفی به سمت ذرات دانه‌درشت -0.2

علت کج‌شدگی مثبت وجود مقادیر زیادی مواد معلق، از قبیل سیلت و رس، در رودخانه است که پس از رسوب‌گذاری مقداری از این ذرات داخل رسوبات باقی می‌ماند (لاریو و همکاران ۲۰۰۲). در این مطالعه نیز همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود میزان کج‌شدگی مثبت است. این کج‌شدگی مثبت به دلیل وجود رس در بالادست مخروط‌افکنه است. در این مطالعه نیز همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود میزان کج‌شدگی در قسمت پروکسیمال مثبت است. این نوع مخروط‌افکنه در قسمت پروکسیمال و مدیال دارای فرم تیغه‌ای و دیسکی، کشیدگی متوسط، و گردشگی زاویه‌دار تا نیمه‌زاویه‌دار است (شکل ۳). نکته قابل توجه جورشدگی این نوع مخروط‌افکنه است. با مقایسه رسوبات قسمت پروکسیمال با قسمت مدیال و دیستال مخروط‌افکنه می‌توان مشاهده کرد که رسوبات دارای جورشدگی بدتری هستند. زیرا ذرات گراول هم در قسمت پروکسیمال هم در قسمت دیستال قابل شناسایی‌اند. در ناحیه مورد مطالعه پس از بررسی دقیق نتایج آنالیز دانه‌بندی و مطالعات صحرائی مشخص شد رسوبات مخروط‌افکنه ویسکوزیته بالایی دارند و از نوع جریان خرده‌دارند و به شکل زبانه‌ای و بادبزی از بالادست (واحد‌های سنگی ائوسن) به طرف پایین حرکت کرده‌اند. عوامل متعددی باعث شکل‌گیری این نوع مخروط‌ها می‌شود. یکی از عوامل اصلی مؤثر سنگ منشأ با رس فراوان است. در ناحیه مورد مطالعه به دلیل نوع واحد سنگی و هوازدگی و فرسایش شرایط برای تشکیل رس زیاد فراهم است. با توجه به شیب بالا و نبود پوشش گیاهی و باران شدید در مدت کوتاه در پلیستوسن، شرایط جهت تشکیل مخروط‌افکنه با رسوباتی با ویسکوزیته بالا فراهم آمده است.



شکل ۳. رسوبات مخروط‌افکنه با ویسکوزیته زیاد با منشأ واحدهای سنگی ائوسن در جنوب شرقی شهر یزد: (a) موقعیت حفر ترانشه در تصویر ماهواره‌ای گوگل ارث؛ (b) دید به سمت شمال

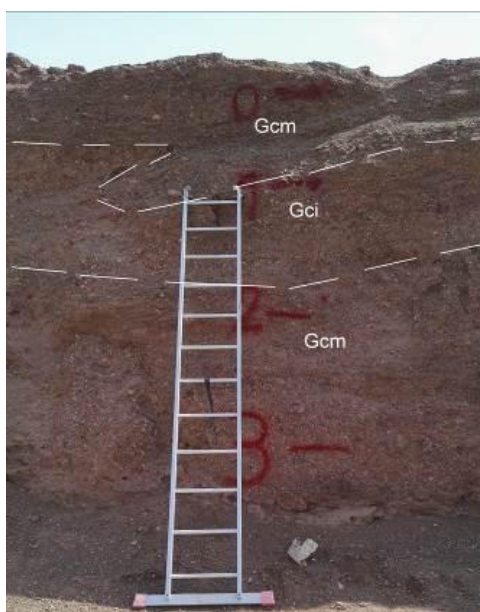
### مطالعه زیرسطحی توسط حفر ترانشه

در این مطالعه، جهت مطالعات مستقیم زیرسطحی، یک ترانشه به عمق ۳ متر در مخروط‌افکنه حفر شد (شکل ۳a). تعداد ۶ عدد نمونه رسوب منفصل از دیواره ترانشه برای شناسایی دقیق رخساره‌های رسوبی مخروط‌افکنه برداشت شد (شکل ۴). طبق نتایج دانه‌بندی سه نوع رخساره تفکیک و شناسایی شد؛ شامل Gmm, Gci, Gcm. رخساره‌های شناسایی‌شده از پایین به بالا بدین ترتیب است:

رخساره Gmm (گراول با طبقه‌بندی توده‌ای و چهارچوب ماتریکسی). یکی از ویژگی‌های مهم این رخساره نبود یک



چهارچوب از دانه‌هاست و رسوبات دانه‌ریز ماسه‌ای و گلی فضای بین دانه‌های درشت را پر کرده است. این رسوبات به صورت توده‌ای با جورشدگی ضعیف و فاقد لایه‌بندی است و جابه‌جایی کوتاه و نزدیک به منشأ را نشان می‌دهد. رخساره Gci (گراول با طبقه‌بندی تدریجی معکوس و دانه‌افزون). این رخساره به شکل جریان واریزه‌ای با قدرت نسبتاً کم غنی از خرده‌سنگ آواری قابل شناسایی است. رخساره Gcm (گراول با طبقه توده‌ای و زمینه کلاستی). در این رخساره بخش عمده ذرات از گراول تشکیل شده و فضای بین آن‌ها توسط ذرات خرده‌دار پر شده است. ذرات دارای جورشدگی ضعیف و نیمه‌زاویه‌دارند. این نوع رخساره نشان‌دهنده انرژی بالایی محیط هنگام رسوب‌گذاری است.



شکل ۴. ترانشه حفرشده در ناحیه مورد مطالعه و تفکیک رخساره‌های رسوبی

### مطالعات زیرسطحی به روش ژئوالکتریک

هدف از بررسی الکتریکی مشخص کردن توزیع مقاومت در زیر زمین با استفاده از اندازه‌گیری‌هایی در سطح زمین است. با استفاده از این اندازه‌گیری‌ها، می‌توان مقاومت واقعی زیر زمین را تخمین زد. مقاومت زمین به پارامترهای زمین‌شناسی مختلف، مانند کانی‌ها و محتوای سیال و چگالی و میزان اشباع آب در سنگ، بستگی دارد (رضایی و صادقی ۱۳۹۵).

#### پروفیل شماره ۱

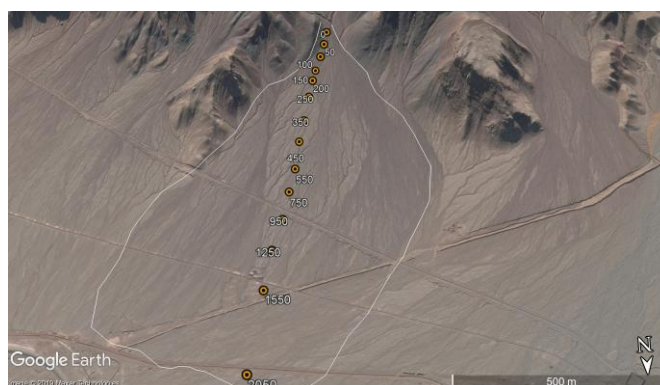
جهت شناسایی دقیق مخروط‌افکنه در یک مقطع طولی مناسب، برداشت‌های مقاومت ویژه الکتریکی از ایستگاه صفر روی پروفیل شماره ۱ شروع شد و تا ایستگاه ۲۰۵۰ از این پروفیل در فاصله ۲۰۵۰ متری ادامه یافت. به دلیل اهمیت تغییرات مخروط‌افکنه از بالادست به سمت پایین‌دست، روی این پروفیل ۱۴ ایستگاه سونداژ اندازه‌گیری شد (شکل ۵).

فاصله ایستگاه‌های سونداژ بر اساس قرارگیری هر سونداژ در قسمت‌های مختلف مخروط افکنه تغییر یافته است. مثلاً، در قسمت آغازین تا اواسط قسمت میانی مخروط افکنه به دلیل اهمیت تعیین مرز قسمت آغازین و میانی فاصله ایستگاه‌های سونداژ ۵۰ متر است و هر چه به قسمت‌های پایانی مخروط افکنه نزدیک می‌شود فاصله ایستگاه‌های سونداژ افزایش می‌یابد. تغییرات مختصات این ایستگاه‌ها در سیستم مختصات UTM و با استاندارد WGS84 در جدول ۲ آمده است. موقعیت مکانی ایستگاه‌های این پروفیل را در شکل ۲ می‌توان دید.

جدول ۲. مشخصات سونداژهای پروفیل شماره ۱

Sondaj- No	AB/1=	Location		Sondaj- No	AB/1=	Location	
0	200	253786	3513636	450	500	253991	3514023
50	200	253809	3513678	550	500	254036	3514113
100	300	253831	3513722	750	500	254129	3514295
150	300	253854	3513759	950	500	254221	3514472
200	300	253876	3513805	1250	700	254350	3514740
250	300	253900	3513853	1550	700	254471	3515009
350	500	253946	3513942	2050	500	254720	3515450

همان‌طور که مشاهده می‌شود و با توجه به شکل ۵ کمترین فاصله بین سونداژهای این پروفیل ۵۰ متر و بیشترین فاصله ۵۰۰ متر است. بیشترین مقدار مقاومت ویژه برای سونداژ شماره ۰ (صفر) است که ۵۸۴ اهم‌متر بوده و کمترین مقدار مربوط به سونداژ شماره ۹۵۰ است که ۱۰ اهم‌متر برداشت شده است. این مقادیر هنگام اندازه‌گیری ثبت شده‌اند و مقادیر به‌دست‌آمده از نتایج مدل‌سازی با این مقادیر متفاوت است.

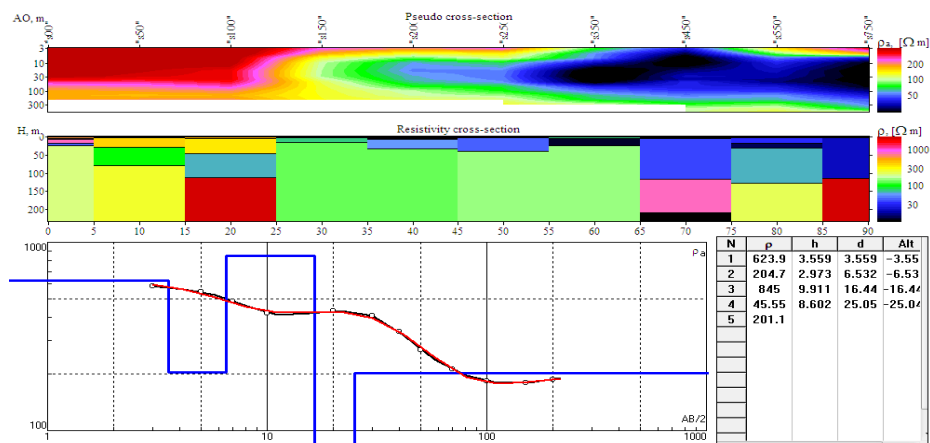


شکل ۵. موقعیت مکانی سونداژهای پروفیل شماره ۱ و محل ترانشه (عکس از Google earth) دید به سمت جنوب

در شکل ۶ تصویری از خروجی نرم‌افزار Ipi2win شامل شبه‌مقطع و مقطع مقاومت ویژه پروفیل شماره ۱ از سونداژ ۰ تا



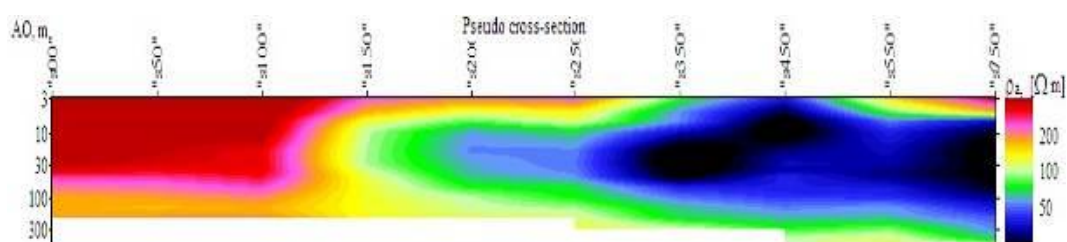
۷۵۰ همراه با جدول لایه‌ها و منحنی تغییرات سونداژ شماره ۰ (صفر) این پروفیل به نمایش درآمده است. در پنجره منحنی تغییرات، خط قرمز مدل برازش شده و خط مشکی نتایج حاصل از اندازه‌گیری را همراه با نقاط اندازه‌گیری نمایش می‌دهد.



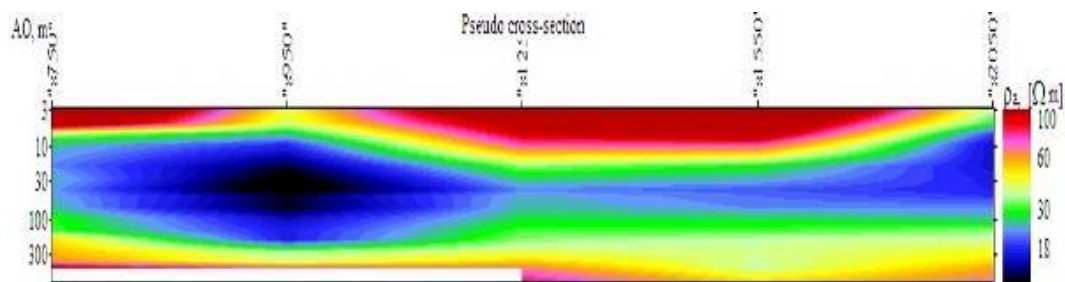
شکل ۶. مدل‌سازی پروفیل شماره ۲ در نرم‌افزار Ipi2win از سونداژ ۰ تا ۷۵۰ (جدول لایه‌ها و منحنی تغییرات سونداژ ۰)

همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود مدل وارون بر اساس مقاومت ویژه و حاصل از پردازش بر روی داده‌های سونداژ پروفیل شماره ۱ از ایستگاه ۰ تا ۷۵۰ قرار داده شده است و در شکل ۸ مدل وارون بر اساس مقاومت ویژه و حاصل از پردازش بر روی داده‌های سونداژ در ادامه پروفیل شماره ۲، یعنی از ایستگاه ۷۵۰ تا ۲۰۵۰، را در نرم‌افزار Ipi2win نشان داده است. در این مدل لایه‌هایی که با رنگ آبی تیره مشخص شده‌اند کمترین مقدار مقاومت ویژه (کمتر از ۱۰ اهم‌متر) و لایه‌هایی که با رنگ قرمز تیره مشخص شده‌اند بیشترین مقدار مقاومت ویژه (بیش از ۲۰۰ اهم‌متر) را دارند. همچنین، عمق بررسی‌ها در این مدل حدود ۳۰۰ متر است.

با مشاهده شبه‌مقطع و مقطع حاصل از مدل‌سازی این پروفیل (شکل ۶) می‌توان دریافت که تغییرات مقاومت ویژه در محل این پروفیل یک‌بعدی نیست و باید مدل‌سازی آن به صورت دوبعدی صورت گیرد. بنابراین، تغییر نوع رسوبات و وجود ناپیوستگی در این پروفیل در مقطع حاصل از مدل‌سازی در نرم‌افزار Res2Dinv به صورت دقیق‌تر قابل بررسی است. از آنجا که مدل‌سازی این پروفیل در نرم‌افزار Res2Dinv نیز با اعمال تصحیحات توپوگرافی انجام شده است، تفسیر نهایی در ادامه روی مدل Res2Dinv، که از دقت بیشتری برخوردار است، صورت می‌پذیرد. مدل وارون مقاومت ویژه در نرم‌افزار Ipi2win فقط جهت مقایسه و نمایش یک مدل کلی ارائه شده است.

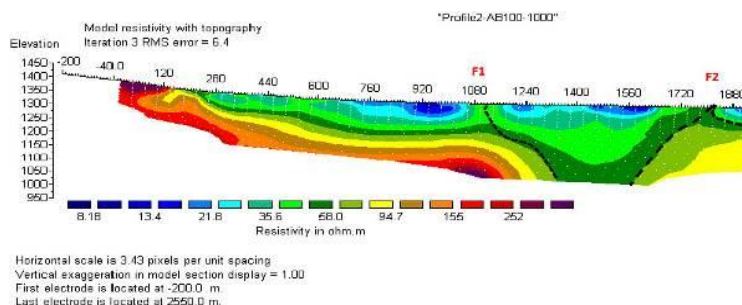


شکل ۷. نتیجه مدل‌سازی پروفیل شماره ۱ در نرم‌افزار Ipi2win از سونداژ ۰ تا ۷۵۰



شکل ۸. نتیجه مدل سازی پروفیل شماره ۱ در نرم افزار Ipi2win از سونداژ ۷۵۰ تا ۲۰۵۰

در شکل ۹ مدل وارون مقاومت ویژه در پروفیل شماره ۱ که در نرم افزار Res2Dinv مدل سازی شده، با اعمال تصحیح توپوگرافی، نمایش داده شده است. در این مدل رسوبات بر حسب مقاومتشان از عمق حدودی ۱۵ تا ۲۰ متر به پایین جداسازی شده اند و مرزهای نواحی کم مقاومت و نواحی با مقاومت بالا به عنوان مرزهای همبری یا گسل احتمالی قابل رؤیت است. در ابتدای پروفیل بین سونداژهای ۰ تا ۱۰۰، که به دامنه کوه نزدیک ترند، مقاومت بالاتر از ۲۵۰ اهم متر دیده می شود که میزان مقاومت آن تفاوت قابل ملاحظه ای با مقاومت سایر سونداژها دارد. بعد از سونداژ ۱۵۰ این بخش مقاوم با شیب ملایم وارد اعماق بیشتر می شود. بخش مقاوم تا سونداژ ۱۲۵۰ با ضخامت های متفاوت ادامه پیدا می کند و بیشترین ضخامت آن در محل سونداژ ۹۵۰ با ضخامتی بیش از ۱۰۰ متر است. قسمت بالایی این بخش تا سونداژ ۶۵۰ از رسوباتی با مقاومت ۱۰ تا ۵۰ اهم متر تشکیل شده است. این ناحیه می تواند شامل رسوباتی با دانه های متوسط و تا حدودی خشک باشد. گفتمی است بیشتر تغییرات مقاومتی در این پروفیل مربوط به اندازه دانه ها و میزان رطوبت رسوبات تشکیل دهنده است. تغییر ناگهانی مقاومت ویژه و چگونگی این تغییر بین دو سونداژ ۹۵۰ و ۱۲۵۰ نشان دهنده همبری یا گسل احتمالی در این ناحیه است. این همبری یا گسل احتمالی، که بیشتر به سونداژ ۱۲۵۰ نزدیک است، با F1 نمایش داده شده است. رسوباتی با مقاومت ویژه ۱۵ تا ۳۰ اهم متر در نزدیکی سطح کمی قبل از سونداژ ۱۲۵۰ تا کمی بعد از سونداژ ۱۵۵۰ را پوشش می دهند که ضخامتی بین ۱ تا ۵۰ متر دارند و به نظر می رسد از رسوبات دانه ریز تشکیل شده و حاوی رس قابل توجهی باشند. در زیر این رسوبات، مقدار مقاومت ویژه تا حدود ۶۰ اهم متر می رسد. در محل سونداژ ۲۰۵۰ نیز مقاومت ویژه رسوبات تا حدود نصف کاهش می یابد و ظاهراً تغییر محسوسی در جنس رسوبات از دانه درشت به دانه ریز ایجاد می شود و F2 بیشتر از اینکه یک گسل باشد یک همبری و تغییر جنس تدریجی رسوبات است.



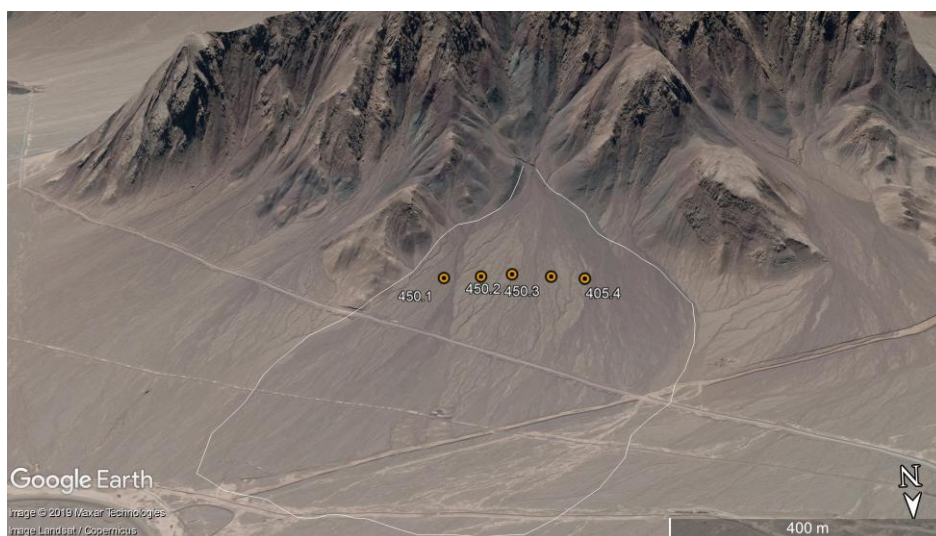
شکل ۹. نتیجه مدل سازی پروفیل شماره ۱ در نرم افزار Res2Dinv از سونداژ ۰ تا ۲۰۵۰

پروفیل شماره ۲

به منظور بررسی عمقی و جانبی پروفیل شماره ۱، پروفیلی عمود بر این پروفیل و در راستای سونداژ شماره ۴۵۰ به طول ۲۷۰ متر شامل ۵ سونداژ مورد پیمایش قرار گرفت. برداشت‌های مقاومت ویژه الکتریکی از ایستگاه ۱-۴۵۰ روی این پروفیل شروع شد و تا ایستگاه ۴-۴۵۰ از این پروفیل در فاصله ۲۷۰ متری ادامه یافت. مختصات این ایستگاه‌ها در سیستم مختصات UTM و با استاندارد WGS84 در جدول ۳ و موقعیت مکانی ایستگاه‌های این پروفیل در شکل ۱۰ آمده است.

جدول ۳. مشخصات سونداژهای پروفیل شماره ۲

S- No	AB/2=	X=	Location		S- No	AB/2=	X=	Location	
450- 1	400	50	254039	3514008	450- 3	400	120	253880	3514058
450	500	0	253991	3514023	450- 4	400	220	253773	3514086
450- 2	400	70	253928	3514045					

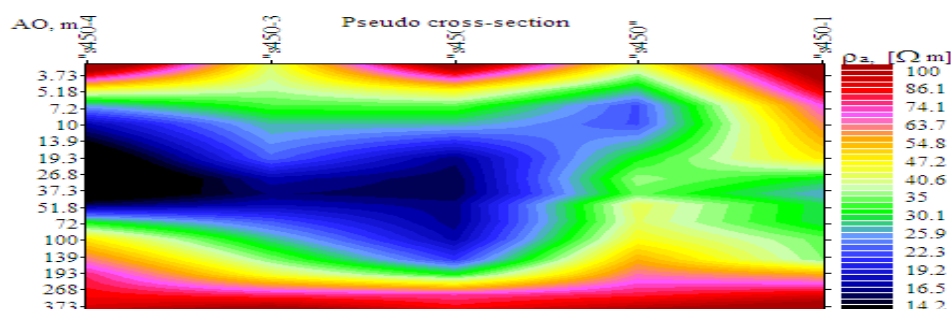


شکل ۱۰. موقعیت مکانی سونداژهای پروفیل شماره ۲ (عکس از Google earth)

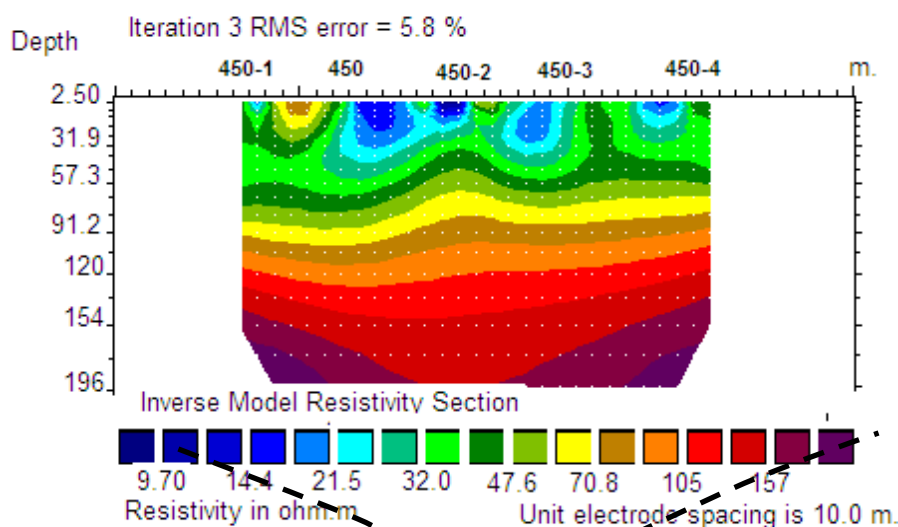
همان‌طور که در شکل ۱۰ دیده می‌شود کمترین فاصله بین سونداژهای این پروفیل ۵۰ متر و بیشترین فاصله ۷۰ متر است. بیشترین مقدار مقاومت ویژه برای سونداژ ۴-۴۵۰ و ۱۴۸ اهم‌متر و کمترین مقدار مربوط به همین سونداژ ۹ اهم‌متر برداشت شده است. این مقادیر هنگام اندازه‌گیری ثبت شده‌اند و مقادیر به‌دست‌آمده از نتایج مدل‌سازی با این مقادیر متفاوت است.

شکل ۱۱ مدل وارون مقاومت ویژه حاصل از پردازش داده‌های سونداژ پروفیل عرضی روی پروفیل شماره ۱ را در نرم‌افزار Ipi2win نشان می‌دهد. همچنین در شکل ۱۲ مدل وارون مقاومت ویژه این پروفیل، که در نرم‌افزار

Res2Dinv مدل سازی شده، نمایش داده شده است. تغییرات مقاومت در دو مدل به دست آمده یکسان است و به غیر از مواردی جزئی که به سبب تفاوت در نوع مدل سازی در نرم افزارهای مزبور است در موارد کلی از یکدیگر تبعیت می کنند. در مدل Res2Dinv قسمت های سطحی پروفیل لحاظ نشده است. به همین دلیل بخش مقاوم سطحی که در مدل Ipi2win دیده می شود در این مدل قابل مشاهده نیست. این بخش با مقاومت ۵۰ تا ۱۰۰ اهم متر ضخامتی بین ۳ تا ۱۰ دارد و در مدل Ipi2win (شکل ۱۱) قابل مشاهده است. این بخش عمدتاً از رسوبات دانه درشتی مانند قلوه سنگ تشکیل شده است. بعد از این بخش مقاوم تا عمق حدوداً ۱۰۰ متری لایه هایی با مقاومتی بین ۱۰ تا ۵۰ اهم متر را می توان دید که بیشترین ضخامت آن در محل سونداژ ۴۵۰ است. بعد از این لایه ها به تدریج بر مقاومت لایه ها افزوده می شود تا به سنگ بستر با حداکثر مقاومت می رسد. ضخامت این بخش در دو سوی پروفیل بیشتر از بخش میانی آن است. عمق سنگ بستر در این پروفیل همانند پروفیل شماره ۲ و بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ متری از سطح زمین قرار می گیرد. در شکل ۱۲ تفکیک لایه ها با دقت بیشتری صورت پذیرفته است و تغییرات تدریجی به خوبی قابل رؤیت است. همچنین بستر سنگی و توپوگرافی سنگ کف، که احتمالاً مسیر دره ای در گذشته بوده است، به صورت خط چین در شکل ۱۲ قابل رؤیت است.

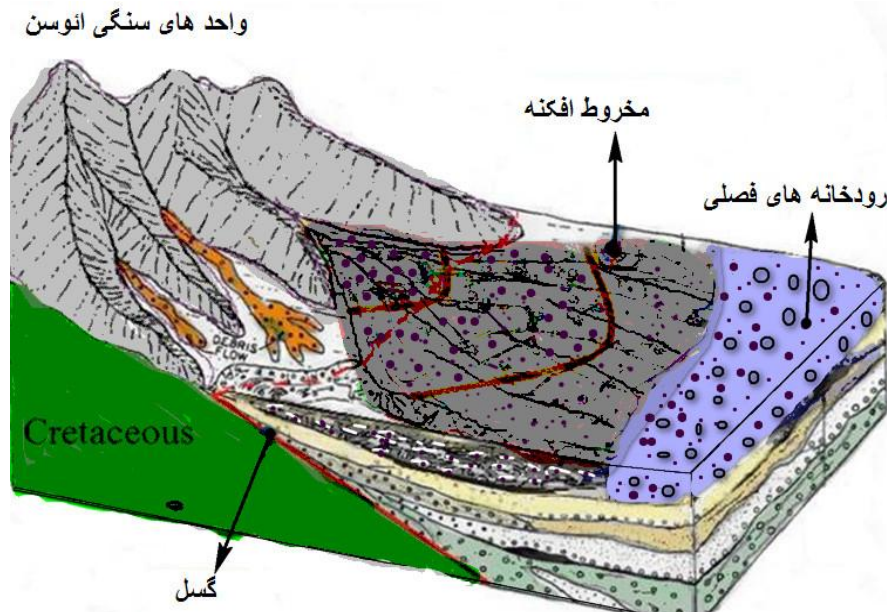


شکل ۱۱. نتیجه مدل سازی پروفیل شماره ۳ در نرم افزار Ipi2win



شکل ۱۲. نتیجه مدل سازی پروفیل شماره ۲ در نرم افزار Res2Dinv

طبق نتایج مطالعات ژئوفیزیک در ناحیه مورد مطالعه و بخشی از مطالعات سطحی، یک مدل رسوبی از مخروط‌افکنه ترسیم شد (شکل ۱۳). ابتدا نیمرخ توپوگرافی رسم شد و سپس نتایج مطالعات ژئوفیزیک و خصوصیات مقاومت ویژه نهشته‌های لایه‌های زیرین توصیف و تفسیر و در نهایت این مدل رسوبی ترسیم شد.



شکل ۱۳. مدل رسوبی از مخروط‌افکنه ناحیه مورد مطالعه

### نتیجه

بررسی‌های گسترده صحرائی و آزمایشگاهی نشان می‌دهند مدل رسوبی مخروط‌افکنه مورد مطالعه از نظر شکل هندسی از نوع تیغه‌ای و دارای ویسکوزیته بالاست و در قسمت‌های آغازین بالاترین مقاومت ویژه و در قسمت‌های پایانی کمترین مقاومت ویژه را از خود نشان داده است. با افزایش عمق مقاومت ویژه رسوبات متغیر می‌شوند. این تغییرات به دلیل وجود لایه‌های زیرسطحی رسوبی متفاوت با ذرات و منشأهای متفاوت در اندازه‌های مختلف است. بالا بودن مقاومت ویژه نشان‌دهنده وجود جریان‌های آشفته و طغیانی با انرژی بالا و پایین بودن مقاومت ویژه نشان‌دهنده جریان‌های آرام و کم شدن نزولات جوی است. طبق نتایج مطالعات ژئوفیزیک و مشاهدات صحرائی بخش پایانی این مخروط‌افکنه توسط آبرفت‌های فصلی بریده شده است. این مخروط‌افکنه دارای دو منشأ متفاوت است: واحدهای سنگی آهکی کرتاسه و واحدهای ماسه‌سنگی و شیلی مربوط به انوسن. این مطالعه، با بررسی عکس‌های هوایی و بررسی‌های میدانی در اطراف شهر یزد، شرایط مرطوب‌تر گذشته ایران مرکزی نسبت به شرایط امروزی را مطرح می‌کند. زیرا در اطراف ناحیه مورد نظر مخروط‌افکنه‌هایی به بزرگی چندین کیلومتر قابل شناسایی است؛ مانند مخروط‌افکنه‌ای که از مهریز شروع می‌شود و بخش پایانی آن در شرق شهر یزد است. در اوایل کواترنری میزان نزولات جوی در ایران مرکزی بسیار بیشتر از زمان حال بوده و این خود دلیل پدید آمدن مخروط‌افکنه‌هایی با انرژی و وسعت زیاد است. طبق



نتیجه مدل سازی سونداژ شماره ۲۰۵۰، که سونداژ پایانی پروفیل شماره ۱ است، می توان تغییرات جنس را نسبت به ایستگاه قبل مشاهده کرد. این تغییرات به دلیل وجود یک کانال رودخانه ای است و بخش پایانی مخروط افکنه را می شوید و در ناحیه مورد نظر رسوبات با مشخصات کانال رودخانه ای ایجاد می کند.

## منابع

- آقناباتی، سید علی (۱۳۸۳). *زمین شناسی ایران*. انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- اسپهبد، محمدرضا (۱۳۷۱). «نتیجه گیری های ژئوتکنیکی آبرفت های بخش شرقی تهران از نظر جمع آوری آب های سطحی»، *سمپوزیوم کواترنر*، صص ۱۸۱-۱۹۲.
- امینی، مرتضی (۱۳۷۳). «ویژگی های ژئوتکنیکی رسوبات کواترنر دشت تهران»، *مجموعه مقالات سمپوزیوم بین المللی کواترنر*، دانشگاه، صص ۱۷۱-۱۷۵.
- بربریان، امانوئل و مجید قریشی، بهرام ارژنگ روش، ارسلان مهاجر اشجعی (۱۳۶۴). «بررسی نوزمین ساخت و لرزه زمین ساخت و خطر زمین لرزه در ناحیه تهران بزرگ و پیرامون»، سازمان زمین شناسی کشور، گزارش شماره ۵۶.
- پاشازاده، بهنام و داود جهانی، راضیه لک، مسعود زمانی پدram (۱۳۹۸). «شناسایی یک دریاچه قدیمی برای نخستین بار در واحدهای کواترنری اطراف شهر یزد»، *علوم زمین*، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ش ۱۱۱، صص ۱۰۱-۱۰۸.
- پدرامی، منوچهر (۱۳۵۳). *مطالبی مختصر در مورد رسوبات کواترنر اطراف شهر تهران*، سازمان زمین شناسی کشور.
- خان ناظر، ناصر حسین (۱۳۹۴). *زمین شناسی کواترنر آبرفت های ایران*، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- صدوق، سید حسن و محمدمهدی حسین زاده، خلیل رضایی، سمیرا چزغه (۱۳۹۶). «بررسی الگوی تجمع رسوبات کواترنر مسیر رودخانه های دیرین کرج و شور در دشت تهران و کرج با استفاده از مطالعات ژئوالکتریکی»، *کواترنری ایران*، د ۳، ش ۱، صص ۱-۱۴.
- صفری، حجت الله و حسن امیری بختیار (۱۳۹۲). *زمین شناسی تحت الارضی پایه ای*، کتاب آوا.
- قنبری، علی (۱۳۸۸). «مطالعه مدول الاستیسیته خاک در آبرفت جنوب تهران»، *علوم زمین*.
- رضایی، خلیل و سحر صادقی (۱۳۹۵). *ژئوالکتریک ۲ و ۳ بعدی در مطالعات زمین شناسی، رسوب شناسی، مهندسی، و زیست محیطی*، آراد کتاب.
- مختاری، د (۱۳۹۲). «بررسی ویژگی های زمین ریختی و تنوع سامانه های رودخانه ای دشت جلفا- هادی شهر، شمال باختری ایران: تلفیقی از آثار تغییرات جنبایی زمین ساختی، سطح اساس، و محیطی در کواترنری»، *علوم زمین*، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ش ۸۹، صص ۱۹۹-۲۱۲.
- نقیبیان، رامین (۱۳۷۵). «بررسی چینه شناسی نهشته های رسوبی کواترنری تهران و برآورد پارامترهای ژئوتکنیکی آن»، پایان نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: دکتر احمد شمیرانی، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین.
- Aghanabati, S. A. (2004). *Geology of Iran*. Geological and Mineral Exploration Organization of



- Iran.
- Amiri, M. (1994). "Geotechnical Properties of Quaternary Sediments of Tehran Plain", Proceedings of the International Quaternary Symposium, University, pp. 171-175.
- Barbarian, E., Qureshi, M., Arjangroush, B., & Mohajer Ashja'i, A. (1985). "Investigation of Neostructure and Seismicity and Earthquake Risk in Greater Tehran Area", National Geological Survey, Report No. 56
- Blair, T. & McPherson, J. (1994). Alluvial fan processes and forms. In: Parsons, A. J., Abrahams, A. D. (Eds.), *Geomorphology of Desert Environments*. Chapman & Hall, London, pp. 354-402.
- Bobek, H. (1963). Nature and implications of Quaternary climatic changes in Iran *Changes of Climate*, 20: pp. 403-413.
- Folk, R. L. (1974). *Petrology of Sedimentary Rocks*, Hemphill, Austin, TX, p. 184.
- Ghanbari, A. (2009). "Study of Modulus of Elasticity of Soil in Alluvial South of Tehran", *Earth Sciences*.
- Gloppen, T. G. & Stell, R. J. (1981). The deposits, internal structure and geometry in six alluvial fan-fan delta bodies (Devonin, Norway), A study in the significance of bedding sequence in conglomerates, in Ethridge, F. G. & Flores, R. M., *Recent and ancient non marine depositional environment Models for exploration: society of Economic paleontologists and mineralogists*, special publication 81. Pp. 49-69.
- Gloppen, T. G. & Stell, R. J. (1981). The deposits, internal structure and geometry in six alluvial fan-fan delta bodies (Devonin, Norway), A study in the significance of bedding sequence in conglomerates, in Ethridge, F. G. and Flores, R. M., *Recent and ancient non marine depositional environment Models for exploration: society of Economic paleontologists and mineralogists*, special publication 81. pp. 49-69.
- Harvey, A. M. (2012). The coupling status of alluvial fans and debris cones: a review and synthesis. *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 37, pp. 64-76.
- Harvey, A. M., Mather, A. E., & Stokes, M. (2005). Alluvial fans: geomorphology, sedimentology, dynamics – introduction. A review of alluvial-fan research; In: *Alluvial Fans: Geomorphology, Sedimentology, Dynamics* (eds): Harvey, A. M., Mather, A. E. and Stokes, M., Geological Society, London, Special Publications, Vol. 251, pp. 1-7.
- Harvey, A. M., Silva, P. G., Mather, A. E., Goy, J. L., Stokes, M., & Zazo, C. (1999). The Impact of Quaternary Sea-level and Climatic Change on Coastal Alluvial Fans in the Cabo de Gate Range, Southeast Spain, *Geomorphology*, v. 28, pp. 1-22.
- IUGS. (2015). International Commission on stratigraphy, January. Chart drafted by K. M. Cohen S. C. Finney, P. L. Gibbard, 2015. URL: <http://www.stratigraphy.org/CSchart/chronostratChart2015-01.pdf>.
- Khan Nazar, N. H. (2015). Geological Quaternary alluvium of Iran, Geological Survey of Iran.
- Lario, J., Spencer, C., Plater, A. J., Zazo, C., Goy, J. L., & Dabrio, C. J. (2002). Particle size characterisation of Holocene back-barrier sequences from North Atlantic coasts (SW Spain and SE England). *Geomorphology*, 42, pp 25-42.
- Lawrence, O., Edeme, A., Soronnadi, G., & Powedei, D. (2015). Grain Size Distribution of a Modern Tidal River: A Case Study of Calabar River, South-South Nigeria. *International Journal of Science and Research (IJSR)*. pp.13-23.

- Mcmanus, J. (1988). Grain size determination and interpretation. In: Tucker, M. (Ed.), *Techniques in Sedimentology*. Blackwell, UK, pp. 63-85.
- Mokhtari, D. (2013). "Investigating the Tectonic Properties and Diversion of River Systems in Jolfa Hadi Shahr Plain, Northwestern Iran: A Compendium of Tectonic Kinetic, Baseline, and Environmental Effects in Quaternary", *Geosciences, Geological Survey of Iran*, Vol 89, pp. 1992-212.
- Naqibian, Ramin (1996). "Stratigraphic study of Quaternary sedimentary deposits of Tehran and estimation of its geotechnical parameters", M.Sc., Supervisor: Dr. Ahmad Shemirani, Shahid Beheshti University, Faculty of Earth Sciences.
- Pashazadeh, B., Jahani D., Lak R., Zamani Pedram M., (2019). "Identification of an old lake for the first time in the quaternary units around Yazd", *Geosciences, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran*, S 111, pp. 101-110.
- Pedram, M., (1974). *Brief notes on Quaternary sediments around Tehran*, Geological Survey of Iran.
- Rezaei, Kh., & Sadeghi, S., (2016). *2D and 3D Geoelectric in Geological, Sedimentological, Engineering, and Environmental Studies*, Arad Book.
- Sadough, S. H., Hosseinzadeh M. M., Rezaei Kh., Chezgheh S. (2017). "Investigation of Quaternary Sediment Pattern Pattern in Karaj and Shore Rivers in Tehran and Karaj Plains Using Geoelectric Studies", *Quaternary Iran*, Vol.1-14.
- Safari, H. & Amiri Bakhtiar H., (2013). *Basic Geology*, Book of Ava.
- Spahbod, M. R. (1972). "Geotechnical Conclusions of East Tehran Alluviums for Surface Water Collection", *Quaternary Symposium*, pp. 192-181.
- Superson, J., Rodzik, J., Reder, J., Zglobicki, W., Klimowicz, Z., & Franczak, L. (2016). *Quaternary International*, Vol. 399, pp. 31-45 abstract.