

# مطالعات باستان‌شناسی به روش مقاومت ویژه و قطبش القایی در شادمهرک نیشابور

هاشم رنجی رودپشتی<sup>۱</sup> و محمد کاظم حفیظی<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران

<sup>۲</sup> استاد، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۸/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۴/۲۱

## چکیده

نوشتر حاضر نتایج حاصل از مطالعات اخیر باستان‌شناسی در نیشابور با استفاده از مقاومت ویژه الکتریکی و قطبش القایی برای اکتشاف بخشی از شهر مدفون نیشابور کهن را ارائه می‌نماید. هدف از این پژوهش‌ها، اثبات کارآمدی و مؤثر بودن این روش‌ها در شناسایی ساختارها و بقایای باستان‌شناسی مدفون در ایران و مکان‌های مشابه بوده است که به طور معمول از خشت و آجر پخته شده ساخته شده‌اند. افزون بر چندین نیمرخ (پروفیل) اجرا شده در منطقه، از یک نیمرخ شاهد و نتایج آزمایشگاهی مقاومت ویژه و قطبش القایی بر روی نمونه‌ها نیز استفاده شد. نیمرخ شاهد بر روی بیرون‌زدگی یک دیوار خشتی انجام شده است. مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که این روش‌ها در شناسایی ساختارهایی مانند دیوار، کوره‌های کهن و سنگ کف که مصالح آنها مقدار زیادی رس دارند، بسیار مؤثر و ارزشمند هستند.

**کلیدواژه‌ها:** باستان‌شناسی، ژئوالکتریک، مقاومت ویژه، قطبش القایی، نیشابور.

\*نویسنده مسئول: محمد کاظم حفیظی

E-mail: hafizi@ut.ac.ir

## ۱- مقدمه

کامل عوامل به وجود آورنده این پدیده دانست. روش قطبش القایی در حوزه زمان، مقدار قطبش‌پذیری مواد زیرسطحی را در حوزه زمان اندازه‌گیری می‌کند که عمدتاً در اثر حضور کانی‌های رسی و کانی‌های فلزی افزاینده (Disseminated Ores) ایجاد می‌گردد. این روش به دلیل اینکه قادر است اطلاعاتی در مورد اجسام و سازه‌های غنی از رس، پیریت و مکان‌هایی که توسط بشر دست‌خوش تغییر گردیده‌اند، به دست دهد، در باستان‌شناسی بسیار مفید می‌باشد (De Domenico et al., 2006).

دلیل دیگر کاربرد کمتر روش قطبش القایی در باستان‌شناسی سرعت کم و هزینه بالای برداشت داده‌ها در مقایسه با روش‌های دیگر ژئوفیزیکی مانند مغناطیس‌سنجی و مقاومت‌ویژه بوده است. اما در سال‌های اخیر با ورود فناوری‌های جدید مانند گیرنده‌های چندکاناله، ذخیره مقدار حجیمی از داده‌ها در رایانه، پردازش و وارون‌سازی دوبعدی و سه بعدی داده‌ها، استفاده از این روش به صورت گسترده‌ای افزایش یافته است. در نتیجه، داده‌ها با سرعت بیشتری دریافت شده، پردازش داده‌ها نیز بهتر و سریع‌تر انجام گرفته و هزینه عملیات نیز به مقدار زیادی کاهش یافته است. در این مطالعه سعی شده است تا کارآمدی و مؤثر بودن این روش‌ها در شناسایی ساختارهایی که در آنها مقدار زیادی کانی رسی به کار رفته است، اثبات شود. در این بررسی‌ها نشان داده شده است که قطبش القایی بر روی اجسام و سازه‌های مدفون دیوارها، سنگ‌فرش و غیره در سایت‌های باستان‌شناسی که از خشت و آجر ساخته شده‌اند، وجود دارد.

## ۲- شرح سایت

نیشابور یکی از شهرهای بسیار کهن ایران با دیرینه چند هزار ساله می‌باشد و همیشه از نظر تاریخی با اهمیت بوده است. برپاداشتن شهر نیشابور کهن را به شاپور اول ساسانی (۲۷۲-۲۴۱ م) نسبت داده‌اند که بازساخت آن توسط شاپور دوم ساسانی صورت گرفته است. اگرچه نخستین اقوامی که در این منطقه ساکن شده‌اند، سیمایی غبارآلود دارند و ناشناخته مانده‌اند، اما به دلیل حاصل‌خیز بودن دشت نیشابور و قرارگیری آن در دامنه رشته کوه‌های بینالود، این منطقه از نخستین دوران پیدایش بشر پایگاه مناسبی برای زندگی بوده است. با یافتن آثاری با ارزش که دیرینه‌ای بیش از ۵۰۰۰ سال دارند، می‌توان وجود زندگی پیش از سلسله ساسانی را در این دیار ثابت نمود (گرابلی، ۱۳۷۳).

منطقه باستانی و تاریخی شادمهرک در سه کیلومتری جنوب خاور شهر نیشابور قرار گرفته است. در سال‌های اخیر به علت بی‌توجهی به آثار کهن موجود در

روش‌های ژئوفیزیکی از ابزارهای بسیار قابل اعتماد در طول کاوش‌های باستان‌شناسی هستند. دامنه وسیعی از روش‌های ژئوفیزیکی در بررسی‌های باستان‌شناسی برای دستیابی به تصویر مناسب با تفکیک‌پذیری خوب به کار برده می‌شود. موفقیت هر روش ژئوفیزیکی وابسته به میزان تباین ویژگی‌های فیزیکی میان بناها و اجسام مدفون و محیط پیرامون و همچنین انتخاب بهترین روش برای شناسایی آنها می‌باشد.

روش‌های ژئوالکتریکی کاربرد گسترده‌ای در شناسایی و بررسی هدف‌های کم‌ژرفا دارند. در این میان، روش مقاومت‌ویژه الکتریکی یک روش متداول در مطالعات ژئوفیزیکی برای تشخیص تباین در مقاومت‌ویژه زیر سطح به شمار می‌آید که با اجرای اندازه‌گیری بر روی زمین یا درون چاه صورت می‌گیرد. روش مقاومت‌ویژه الکتریکی موفقیت زیادی در حل مشکلات آب‌زمین‌شناسی (Mitrofan et al., 2008)، مطالعات زمین‌شناسی (Kneisel, 2006)، مطالعات مهندسی عمران (Sudha et al., 2009) و مطالعات زیست‌محیطی (Grellier et al., 2007) داشته است. به دلیل سرعت بالای برداشت داده‌ها و توانایی در برداشت انبوه نمونه و همچنین مناسب بودن روش مقاومت‌ویژه در شناسایی دیوارها، حفره‌ها و دیگر ساختارها در ژرفاهای مختلف، این روش به عنوان یکی از موفق‌ترین روش‌ها در اکتشافات باستان‌شناسی به کار گرفته شده و معرفی شده است (Pellerin, 2002; Papadopoulos et al., 2006; Tonkov & Loke, 2006; Compare et al., 2009).

اصول تئوری قطبش القایی به عنوان یک پدیده الکتروشمیایی در بسیاری از اثرها و مطالعات شرح داده شده است (Seigel, 1959; Sumner, 1976). روش قطبش القایی یکی از روش‌های قدرتمند در اکتشاف نهشته‌های معدنی (Yuval & Oldenburg, 1996) و مطالعات زیست‌محیطی مانند بررسی ویژگی‌های محل دفن زباله (Aristodemou and Thomas Betts, 2000)، اکتشاف آلودگی‌ها (Martinhoetal., 2006)، مطالعات مهندسی عمران (Kemna et al., 2004) و غیره می‌باشد. از دهه ۱۹۶۰ که روش قطبش القایی در ابتدا در کاوش‌های باستان‌شناسی به کار گرفته شد (Aspinall and Lynam, 1968)، این روش به صورت محدودی در این حوزه به کار رفته است. بقایای چوبی (Finzi-Contini, 2001) و همچنین کوره‌ها و توده‌های سرباره معدن‌های قدیمی (Weller et al., 2000) از مهم‌ترین هدف‌های باستان‌شناسی بوده‌اند. با این وجود در بعضی از مطالعات (Meyer et al., 2007) این روش در شناسایی سازه‌ها (دیوارها، سنگ‌فرش و غیره) موفق بوده است. یکی از دلایل محدودیت استفاده از این روش در باستان‌شناسی را می‌توان ناشی از نبود درک

مختلف، تفکیک‌پذیری بسیار بهتر آرایه دوقطبی- دوقطبی را نسبت به آرایه‌های متداول دیگر در این نوع از مطالعات مشخص ساخته است.

با استفاده از نقشه میدان مغناطیس کل که توسط بخش مغناطیس مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران از منطقه تهیه گردیده بود (اسکوئی، ۱۳۸۹) بهترین محل برای اجرای نیمرخ‌ها و نیز جهت آنها تعیین گردید (شکل ۶). محل عملیات الکتریک بر روی نقشه مغناطیس شکل ۶ نشان داده شده است.

مطالعه تمام شواهد و بررسی‌های یاد شده، این نتیجه را حاصل ساخت که در این پروژه از آرایه دوقطبی-دوقطبی با فاصله الکترودی ۳ متر با طول نیمرخ ۶۰ متر و در راستای خاوری-باختری استفاده شود.

در این مطالعه از دستگاه Syscal R2، ساخت شرکت IRIS استفاده شد. این دستگاه قادر است همزمان مقدار مقاومت ویژه و IP را اندازه‌گیری و ثبت نماید. دستگاه شامل یک منبع انرژی (باتری ماشین)، مبدل، قسمت فرستنده و گیرنده است. در نقاط تزریق جریان از الکترودهای فلزی و در نقاط پتانسیل از الکترودهای قطبش‌ناپذیر (با محلول کات‌کبود) استفاده شد.

#### ۴- نیمرخ شاهد

اجرای نیمرخ شاهد بر روی دیواره خشتی در اطراف منطقه عملیات (شادباخ) که دارای بیرون‌زدگی بوده است (شکل ۲) این امکان را به‌وجود آورد که شکل بی‌هنجاری‌ها و مقدار مقاومت ویژه و قطبش القایی آنها با این آرایه تعیین گردد. به دلیل محدودیت‌های موجود در اجرای نیمرخ در این منطقه باستانی، نیمرخ شاهد بر روی دیوار خشتی، به صورتی که در شکل ۲ نشان داده شده است، اجرا گردید.

شکل ۷ وارون‌سازی داده‌های مربوط به نیمرخ شاهد با طول ۱۵ متر بر روی دیوار با ارتفاع حدود ۲ متر را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، مقاومت ویژه و قطبش القایی دیوار خشتی تقریباً خشک (رطوبت آن در اثر قرارگیری در هوای آزاد سطح زمین بسیار کم بوده است) به ترتیب در حدود ۱۹۰ اهم متر و ۰/۵ میلی‌ولت‌برولت و نیز مقاومت ویژه و قطبش القایی خاک زمینه به ترتیب ۳۰ اهم متر و ۱/۵ میلی‌ولت‌برولت برآورد می‌شود. بر روی شکل ۷ تباین بین دیوار خشتی و محیط پیرامون که به خوبی ایجاد گردیده، توسط خطوطی نشان داده شده است.

بررسی نتایج آزمایشگاهی بر روی نمونه‌ها و نیمرخ شاهد نشان می‌دهد که با توجه به مقدار رطوبت خاک مقاومت ویژه خشت در حدود ۱۹۰-۹۰ اهم متر و قطبش القایی آن در محدوده ۱۰-۰/۵ میلی‌ولت‌برولت قرار می‌گیرد. بنابراین انتظار می‌رود که ویژگی‌های الکتریکی خشت در زیر سطح در محدوده بین حالت اشباع در آزمایشگاه (۹۰ اهم متر و حدود ۹ میلی‌ولت‌برولت) و نیمه خشک در نیمرخ شاهد (۱۹۰ اهم متر و حدود ۰/۵ میلی‌ولت‌برولت) باشد. در مورد آجر و خاک زمینه نیز می‌توان ویژگی‌های مشابهی را ذکر کرد (یکی از عوامل افزایش مقاومت ویژه و کاهش قطبش القایی، کاهش رطوبت است).

#### ۵- تفسیر نیمرخ اصلی

شکل ۸، مقاطع مقاومت ویژه (مقطع بالا) و قطبش القایی (مقطع پایین) مربوط به وارون‌سازی داده‌های صحرائی نیمرخ یک را نشان می‌دهد. دو سری بی‌هنجاری در مقاطع، یکی در ژرفاهای سطحی تا حدود دو متر و دیگری در حدود هفت متر، آشکار هستند. بی‌هنجاری‌های سطحی که از ابتدای نیمرخ تا فاصله ۱۵ متری طول نیمرخ (از سمت چپ) وجود دارد احتمالاً مربوط به سازه‌هایی هستند که آثار فراوانی از آنها در سطح موجود است. علت قطبش القایی کم آنها، مانند آنچه که در نیمرخ شاهد دیده شده است، نزدیک بودن به سطح و در نتیجه رطوبت کم است.

بی‌هنجاری‌های موجود در ژرفای پایین‌تر احتمالاً مربوط به بقایای با دیرینه بیشتر و از جنس خشت هستند که مقاومت ویژه حدود ۱۳۰ اهم متر و قطبش القایی

این منطقه، بسیاری از آثار و بقایای موجود که نشان‌دهنده فرهنگ و تمدن ایرانی می‌باشند، بر اثر گسترش ساخت و ساز و کشاورزی در معرض تخریب قرار گرفته و آثار با ارزش آن به غارت رفته است. به‌طور کلی شهر نیشابور بر روی جلگه آبرفتی قرار دارد که از شمال به رشته کوه بینالود منتهی می‌شود. منطقه مورد مطالعه در شادمهرک نیز بر روی این رسوبات آبرفتی قرار داشته و عملیات ژئوفیزیکی انجام گرفته بر روی زمین‌های کشاورزی اجرا شده است.

به چند دلیل منطقه شادمهرک برای کاوش‌های ژئوفیزیکی انتخاب شد. از جمله این دلایل می‌توان به پراکنده بودن آثار کهن فراوان در سطح (آجر، خشت، ظروف سفالی و...)، وجود دو بنای آجری متعلق به قرن ششم، برآورد میزان گسترش حد باختری شهر نیشابور کهن و اشاره‌های موجود به گسترش شهر تا این محدوده در منابع مکتوب، اشاره نمود. در شکل ۱ محدوده عملیات ژئوالکتریک مشخص شده است.

#### ۳- طراحی عملیات

برای طراحی مناسب عملیات به منظور تعیین دقیق محل، ژرفا و گسترش بی‌هنجاری‌ها از چندین شاخص استفاده شد تا ضمن انتخاب بهترین محل اجرای عملیات و کاربرد آرایه مناسب، بتوان تعداد نیمرخ‌ها و طول هر یک را نیز به دقت تعیین کرد. نوع آرایه و فاصله الکترودی که برای اجرای عملیات به کار برده می‌شود، تأثیر زیادی از نظر تفکیک‌پذیری و ژرفای نفوذ بر تصویر زیر سطح دارد. تشخیص نوع و شکل سازه‌ها و بقایای باستانی با استفاده از بررسی مناطق کاوش شده پیشین (شکل ۲)، آزمایش بر روی نمونه‌های تهیه شده از مصالح احتمالی به کار رفته در سازه‌ها، استفاده از نرم‌افزار RES2DMOD برای مدل‌سازی پیشرو و به کارگیری نقشه مغناطیسی منطقه از جمله عواملی هستند که در طراحی عملیات نقش مهمی داشته‌اند.

آزمایش انجام شده بر روی نمونه‌های تهیه شده از سازه‌ها (خشت و آجر) و خاک منطقه، مقدار تباین مقاومت ویژه و قطبش القایی میان خاک زمینه و ساختارهای مورد جستجو را مشخص کرد و این امکان را به‌وجود آورد که طراحی عملیات و تفسیر داده‌ها با دقت بهتری صورت گیرد. جدول ۱ نتایج آزمایشگاهی مقاومت ویژه و قطبش القایی انجام شده بر روی نمونه‌های خشت، آجر (دو نوع آجر با جنس متفاوت) و خاک را در حالت اشباع از آب نشان می‌دهد.

استفاده از نرم‌افزار RES2DMOD و مدل‌سازی پیشرو این امکان را به‌وجود آورد تا پیش از اجرای عملیات نوع آرایه و فاصله الکترودی مناسب جهت تشخیص دیوارها و دیگر ساختارها برای دریافت بهترین نتیجه مشخص گردد. در شکل ۳ و ۴ نمونه‌ای از مدل‌سازی پیشرو و وارون‌سازی انجام شده بر روی آن برای آرایه دوقطبی- دوقطبی با فاصله الکترودی ۳ متر نشان داده شده است. ارتفاع دیوارها در مدل پیشرو ۲/۵ متر و عرض آن حدود ۱/۵ متر بوده است که در شکل به علت تفاوت در مقیاس عمودی و افقی، به شکل مربعی دیده می‌شوند. افزون بر این، فاصله بین دیوارها در این مدل‌ها حدود ۶ متر در نظر گرفته شده است. در این مدل‌سازی‌های پیشرو از مقدار آزمایشگاهی مقاومت ویژه و قطبش القایی خشت (۹۰ اهم متر و ۹ میلی‌ولت‌برولت) و آجر (۱۹۰ اهم متر و ۱۹ میلی‌ولت‌برولت) در طراحی دیوارها برای بررسی دقیق‌تر اثر آنها در شرایط صحرائی استفاده شد.

بررسی‌های انجام شده نشان داد که در این عملیات بهترین آرایه، دوقطبی- دوقطبی با فاصله الکترودی ۳ متر است. زیرا ضمن دارا بودن تفکیک‌پذیری افقی خوب نسبت به آرایه‌های دیگر در تشخیص دیوارها، ژرفای نفوذ مورد نظر را نیز ایجاد می‌کند. شکل ۵ آرایه دوقطبی-دوقطبی با فاصله الکترودی ۵ متر برای همان مدل را نشان می‌دهد. از مقایسه شکل ۴ و ۵ این نتیجه حاصل می‌شود که اگرچه ژرفای نفوذ آرایه دوقطبی-دوقطبی با فاصله الکترودی ۵ متر نسبت به فاصله الکترودی ۳ متر، حدود ۵ متر افزایش یافته ولی تفکیک‌پذیری افقی آن به مقدار زیادی کاهش یافته است. گفتنی است که مدل‌های طراحی و اجرا شده با آرایه‌های

## ۶- نتیجه گیری

این مطالعات وجود چندین ساختار را به صورت عمودی با ویژگی دیوار مدفون نشان داده است. همه مطالعات انجام شده همچون آزمایش بر روی نمونه‌ها، اجرای نیمرخ شاهد، مقاطع مقاومت ویژه و قطبش القایی در نیمرخ اصلی بسیار نزدیک هستند و همخوانی بسیار خوبی را با یکدیگر نشان می‌دهند. بنابراین تعبیر و تفسیرها به‌طور دقیق ارائه شده است.

این دو روش (مقاومت ویژه و قطبش القایی) را می‌توان به عنوان روش‌های مناسب برای یافتن سازه‌های خشتی و آجری مدفون معرفی کرد. در محیط‌هایی که خاک زمینه، مقاومت ویژه بالایی دارد قطبش القایی در شناسایی بی‌هنجاری‌ها کمک زیادی می‌کند. زیرا در این محیط‌ها مقاومت ویژه زمین به مقاومت ویژه خشت نزدیک شده و در نتیجه تفکیک آنها در مقطع مقاومت ویژه کم می‌شود. همچنین در این کار نشان داده شد که روش قطبش القایی همراه با مقاومت ویژه می‌تواند روش بسیار مؤثر و مفیدی در شناسایی سازه‌هایی باشد که در ساختار آنها مقدار زیادی رس وجود دارد. افزون بر این، تفکیک پذیری قطبش القایی در برابر مقاومت ویژه در شناسایی این نوع از بی‌هنجاری‌ها بهتر است.

در این پژوهش‌ها سعی شده است تا پتانسیل این روش‌ها در کاوش‌های باستان‌شناسی در این منطقه و سایت‌های مشابه دیگر به تصویر کشیده شود. با توجه به ویژگی‌های ذکر شده این روش‌ها می‌تواند برای کاوش‌های باستان‌شناسی در ایران بسیار مناسب باشد.

## سپاسگزاری

بخشی از هزینه این پروژه توسط پایگاه باستان‌شناسی نیشابور تأمین گردید که بدین وسیله مراتب تشکر اعلام می‌شود. از سرکار خانم دکتر لاله ریاست محترم مؤسسه باستان‌شناسی دانشگاه تهران برای کمک به تهیه نمونه‌های آزمایشگاهی و عکس‌های منطقه تشکر و قدردانی می‌نماید. از جناب دکتر بهروز اسکوتی به دلیل در اختیار قرار دادن نقشه مغناطیسی منطقه قدردانی می‌شود. همچنین از کمک‌های بی‌دریغ مهندس حسین ثنائی در طول اجرای عملیات نهایت تشکر را دارد. در نهایت از آقای مهندس قهرمانی برای آماده‌سازی نمونه‌ها قدردانی می‌گردد.

حدود ۸ میلی‌ولت بر ولت دارند. دیوارها در مقطع قطبش القایی نسبت به مقطع مقاومت ویژه بهتر تفکیک یافته‌اند. در فاصله ۱۸-۲۱، ۳۰-۳۶ و ۳۹-۴۵ متری طول مقطع در ژرفای حدود ۷ متر، سه سری از بی‌هنجاری‌ها دیده می‌شوند که در مقطع مقاومت ویژه تقریباً به‌صورت پیوسته دیده می‌شوند. این نشان دهنده تفکیک پذیری بهتر قطبش القایی در برابر مقاومت ویژه در شناسایی این نوع از بی‌هنجاری‌ها است.

آنچه که مسلم است بی‌هنجاری‌های دیده شده در نیمرخ اصلی با نتایج حاصل از نیمرخ شاهد و نیز آزمایش‌های انجام گرفته بر روی نمونه‌ها بسیار نزدیک بوده و در حقیقت یکدیگر را تأیید کرده‌اند. بی‌هنجاری‌های موجود در ژرفا که احتمالاً از جنس خشت هستند (حدود ۱۳۰ اهم متر و حدود ۸ میلی‌ولت برولت)، در محدوده مقاومت ویژه ۹۰-۱۹۰ اهم متر و قطبش القایی ۱۰-۵/۵ میلی‌ولت برولت که بین حالت اشباع در آزمایشگاه (مقاومت ویژه ۹۰ اهم متر و قطبش القایی ۹ میلی‌ولت برولت) و حالت نیمه خشک در نیمرخ شاهد (مقاومت ویژه ۱۹۰ اهم متر و قطبش القایی ۵/۵ میلی‌ولت برولت) قرار گرفته‌اند. همچنین همخوانی خوبی بین مقاطع مقاومت ویژه و قطبش القایی این بی‌هنجاری‌ها در شکل ۸ وجود دارد.

در شکل ۹، به ترتیب از بالا به پایین مقاطع مقاومت ویژه و قطبش القایی نیمرخ دوم مشاهده می‌شود. این نیمرخ در قسمت راست نیمرخ یک و در فاصله ۱۲/۵ متری آن قرار گرفته است. در تصویر وارون‌سازی مقاومت ویژه و قطبش القایی، دو سری بی‌هنجاری یکی در ژرفاهای سطحی کمتر از دو متر در فاصله ۶-۳۰ و ۵۷-۶۳ متری و دیگری در ژرفای پایین تر از ۶ متر (مانند نیمرخ یک) دیده می‌شوند. بی‌هنجاری‌های سطحی احتمالاً مربوط به سازه‌ها و بقایایی هستند که آثار فراوانی از آنها در سطح پراکنده بوده (تکه‌های خشت، آجر، سفال و...) و به‌طور قطع جدیدتر از بی‌هنجاری‌های زیرین هستند.

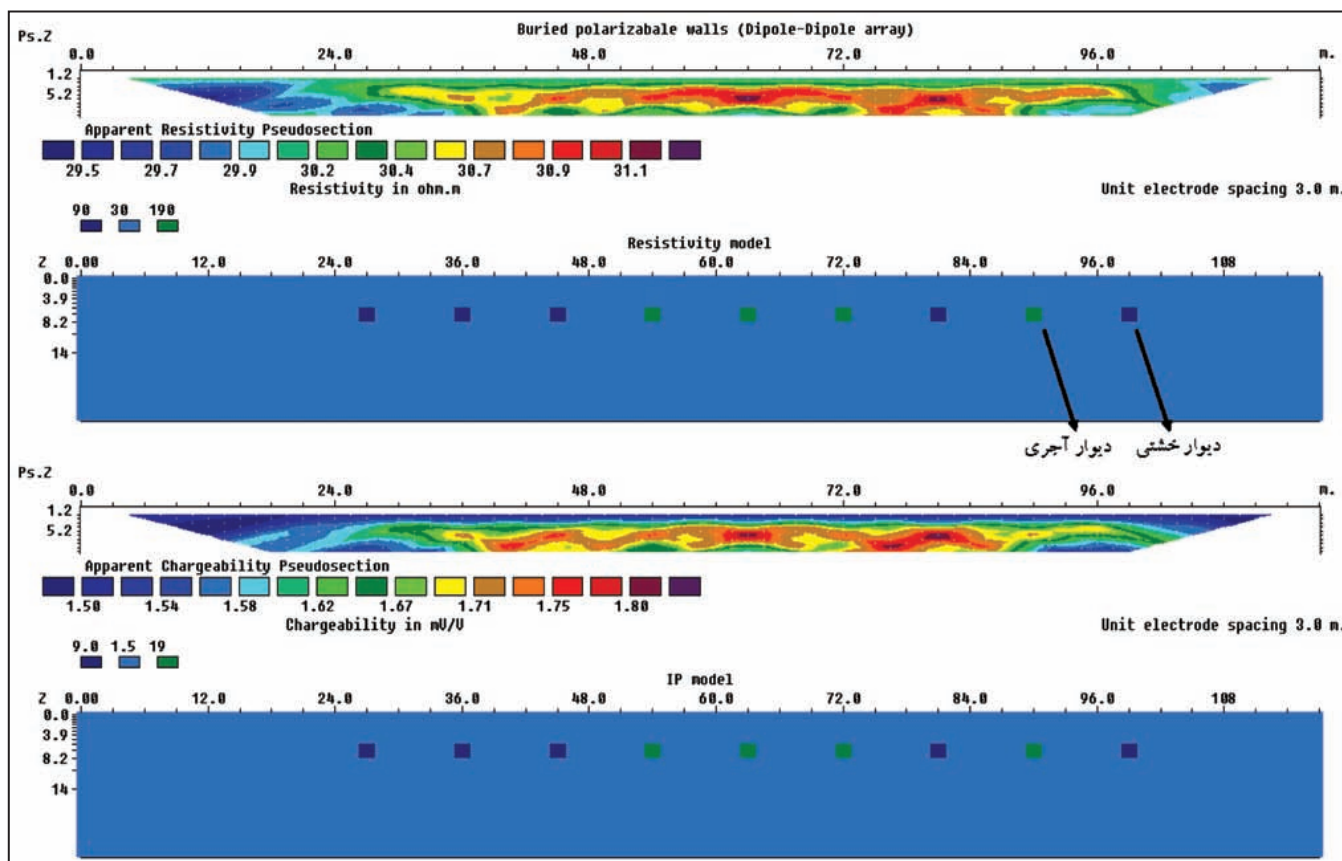
بی‌هنجاری‌های موجود در ژرفا، در تصویر قطبش القایی بسیار بهتر از مقاومت ویژه تفکیک یافته‌اند. احتمالاً دلیل به هم پیوستگی بی‌هنجاری‌ها در ژرفا، نزدیک بودن آنها به همدیگر بوده است. با در نظر گرفتن مقادیری که این بی‌هنجاری‌ها نشان می‌دهند (در محدوده مقاومت ویژه ۱۶۰-۹۰ اهم متر و قطبش القایی ۱۳-۷ میلی‌ولت برولت) می‌توان این نتیجه را گرفت که احتمالاً مربوط به سازه‌های خشتی و یا حتی آجری باشند. این استنباط با مقایسه نتایج آزمایشگاهی و نیمرخ شاهد به راحتی حاصل می‌گردد.



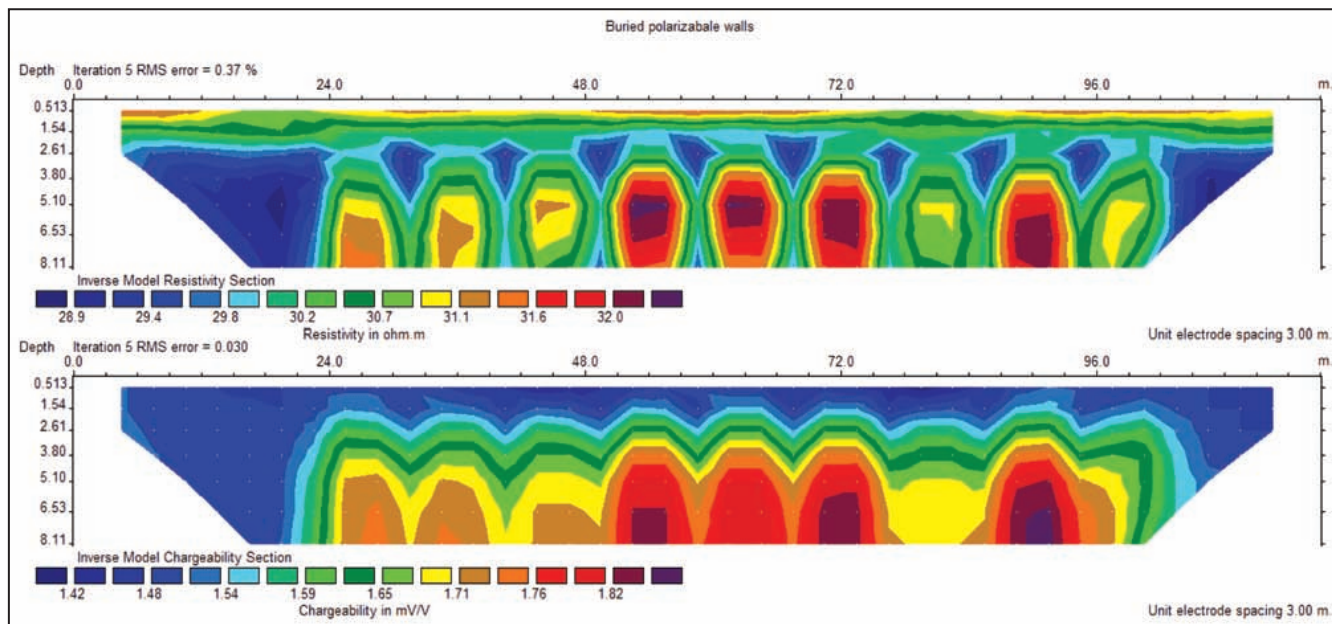
شکل ۱- منطقه مورد مطالعه در شادمهرک نیشابور و مختصات جغرافیایی محل اجرای عملیات ژئوالکترونیک.



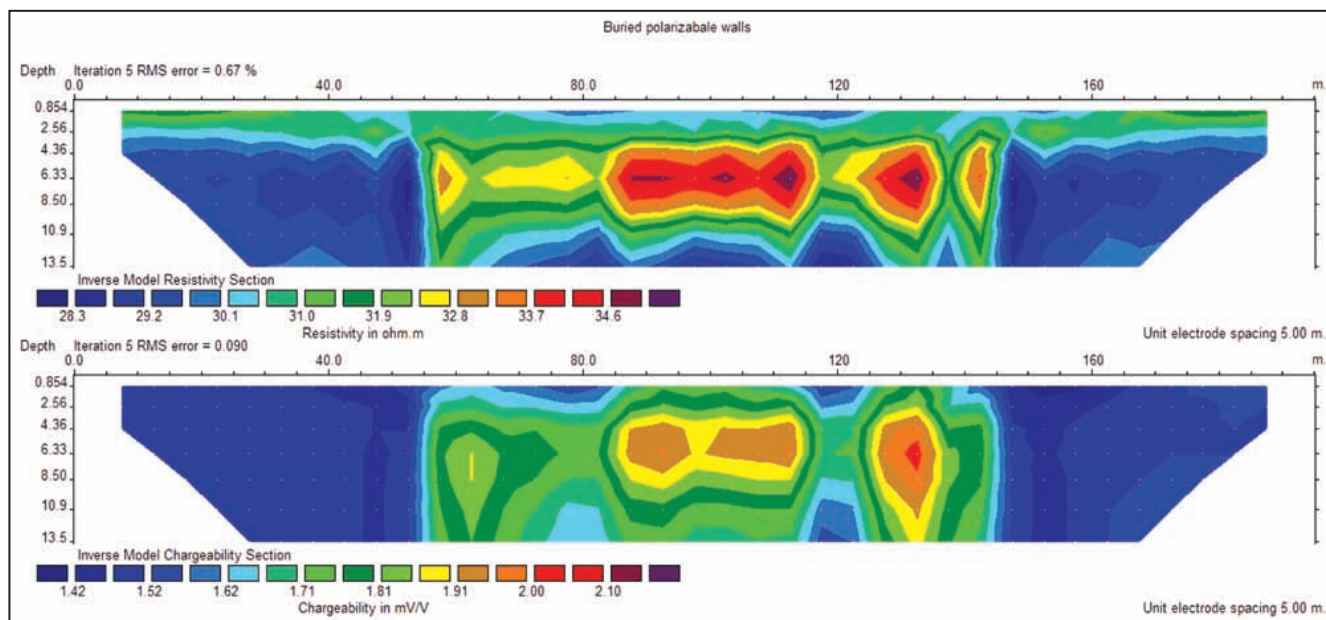
شکل ۲- محل اجرای نیمرخ (پروفیل) شاهد بر روی یک دیوار خشتی باستانی دارای بیرون زدگی. E ۱۹' ۴۸' ۵۸، N ۱۶' ۱۰' ۳۶.



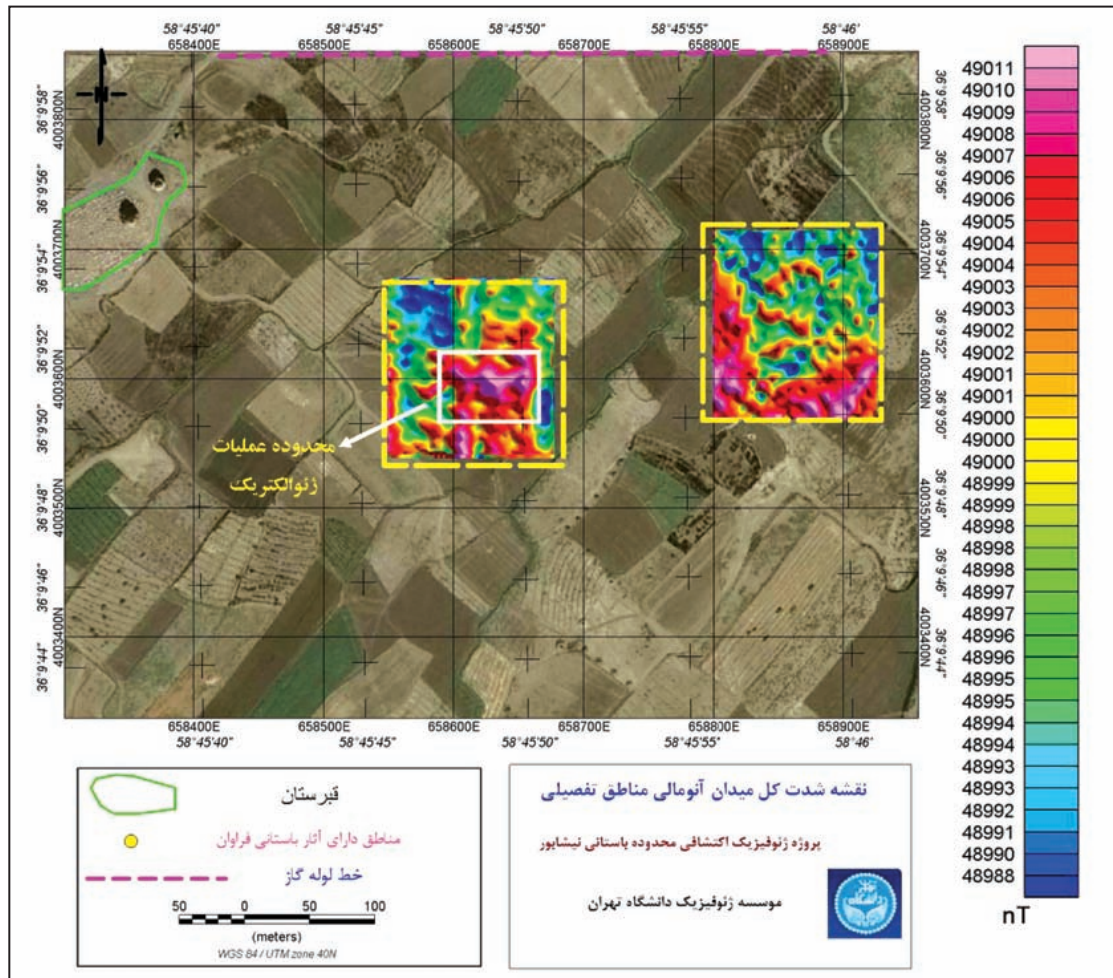
شکل ۳- مدل طراحی شده دیوارها و تصویر مقاومت ویژه و قطبش القایی ظاهری آرایه دو قطبی-دو قطبی با فاصله الکترودی ۳ متر.



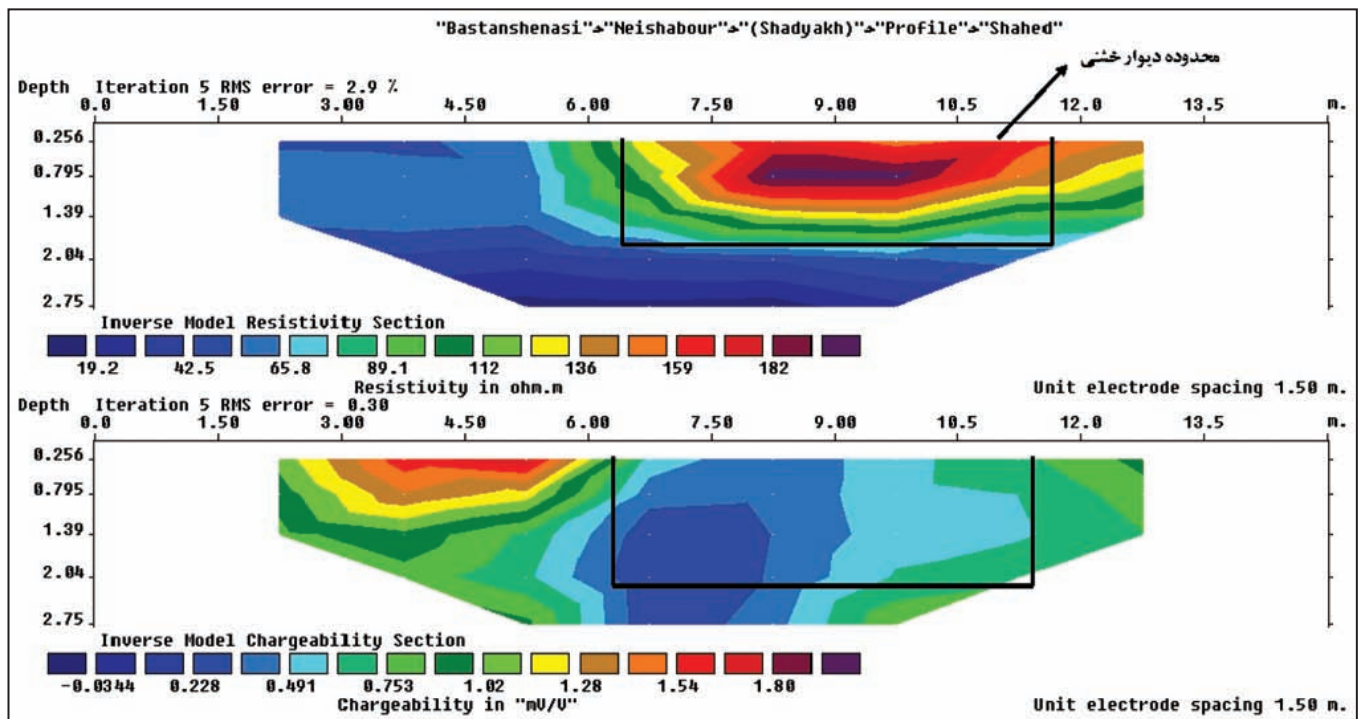
شکل ۴- وارون سازی داده های مقاومت ویژه و قطبش القایی ظاهری شکل ۳ ( آرایه دو قطبی-دو قطبی با فاصله الکترودی ۳ متر).



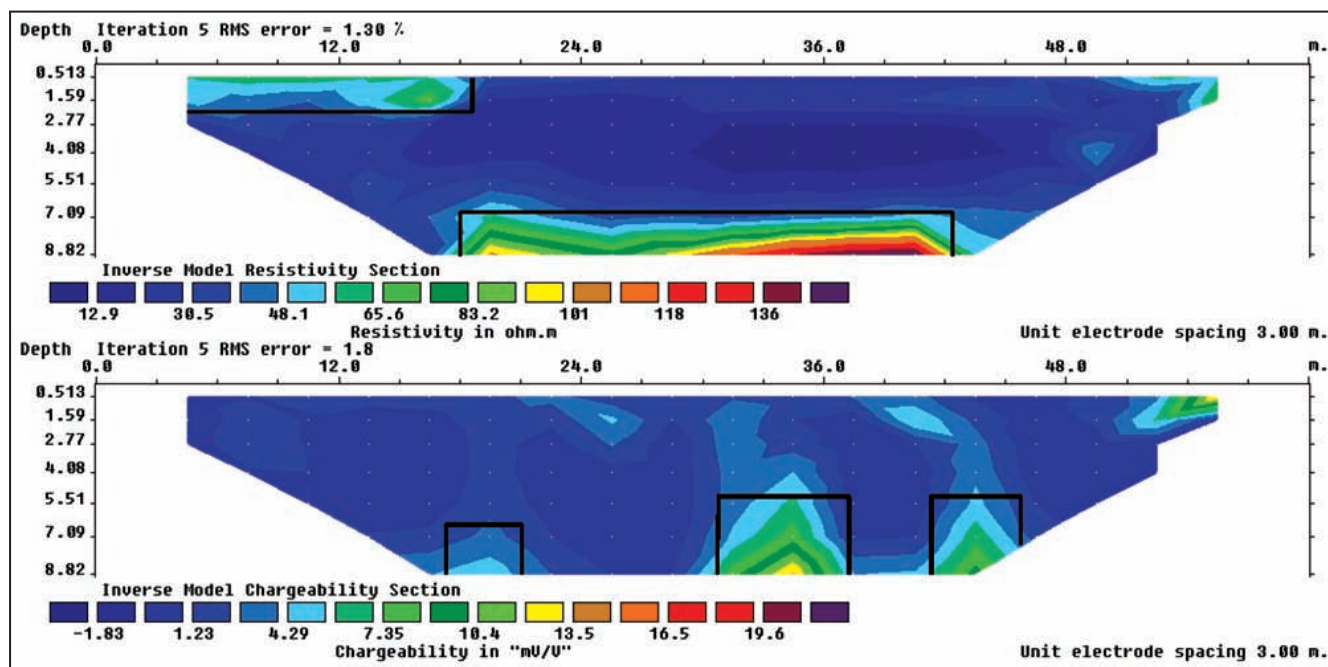
شکل ۵- وارون سازی داده های مقاومت ویژه و قطبش القایی برای آرایه دو قطبی-دو قطبی با فاصله الکترودی ۵ متر.



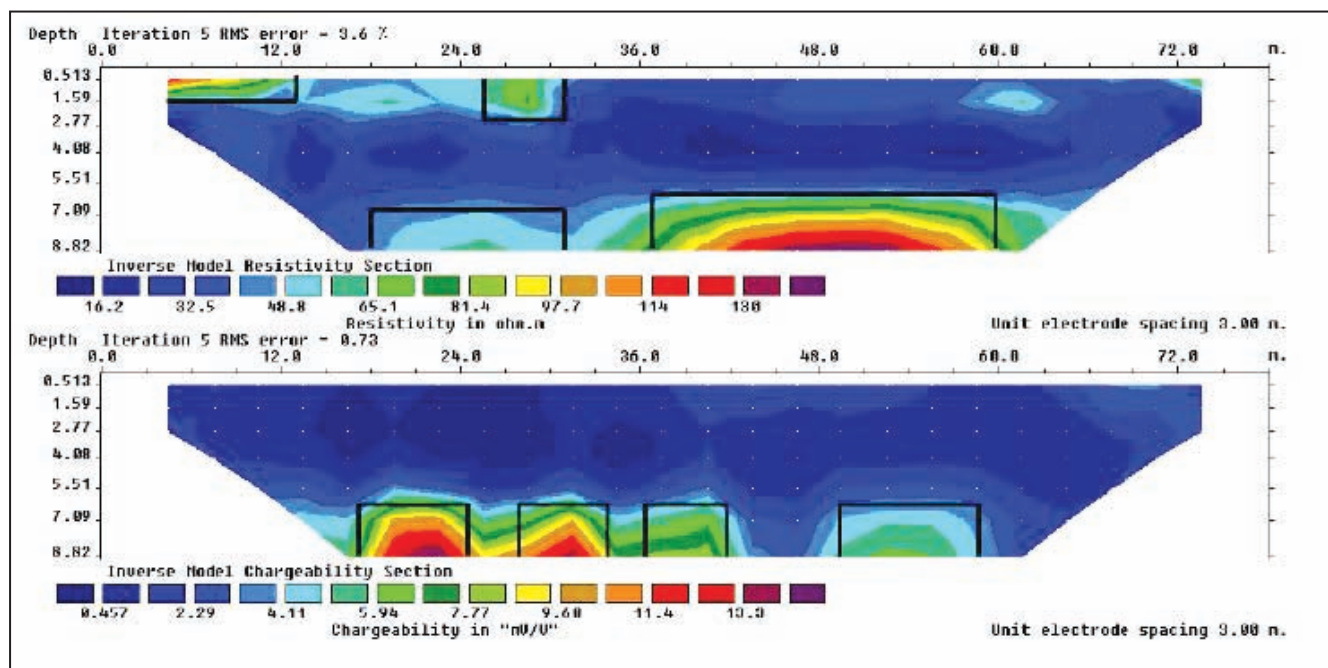
شکل ۶ - تصویر مغناطیس کل منطقه (اسکوئی و نمکی، ۱۳۸۹).



شکل ۷ - تصویر مقاومت ویژه و قطبش القایی نیمرخ شاهد اجرا شده بر روی یک دیوار دارای برون زدگی.



شکل ۸- تصویر وارون‌سازی داده‌های مقاومت ویژه و قطبش القایی نیم‌رخ اصلی اول.



شکل ۹- تصویر وارون‌سازی داده‌های مقاومت ویژه و قطبش القایی نیم‌رخ اصلی دوم.

جدول ۱- نتایج آزمایشگاهی مقاومت ویژه و قطبش القایی بر روی نمونه‌های اشباع از آب.

خاک	آجر (۲)	آجر (۱)	خشت	
۳۰	۱۴۵۰	۱۹۰	۹۰	مقاومت ویژه الکتریکی (اهم متر)
-	۷	۱۹	۱۰	قطبش القایی (میلی‌ولت برولت)

## کتابنگاری

اسکوئی، ب.، نمکی، ل.، ۱۳۸۹- گزارش مطالعات ژئوفیزیک در محدوده فرهنگی کهن شهر نیشابور (شادمهرک)، بخش اکتشافات مغناطیس، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران.  
 گرایلی، ف.، ۱۳۷۳- نیشابور شهر فیروزه، انتشارات خاوران.

## References

- Aristodemou, E. and Thomas Betts, A., 2000- DC resistivity and induced polarization investigations at a waste disposal site and its environments, *Journal of Applied Geophysics*, 44, 275-302.
- Aspinall, A. and Lynam, J.T., 1968- Induced polarization as a technique for archaeological surveying, *Prospezioni Archeologiche* 3, 91-93.
- Compare, V., Cozzolino, M., Mauriello, P. and Patella, D., 2009- Three-dimensional resistivity probability tomography at the prehistoric site of Grotta Reali (Molise, Italy), *Archaeol. Prospect.*, 16, 53-63.
- De Domenico, D., Giannino, F., Leucci, B. and G., Bottari, C., 2006- Integrated geophysical surveys at the archaeological site of Tindari (Sicily, Italy), *Journal of Archaeological Science*, 33, 961-970.
- Finzi-Contini, G., 2001- Resistivity/IP tomographies near ancient boats embedded and preserved by fluvial sediments in an undiscovered ancient harbour, Pisa (Italy). *Proceedings of the 7th Meeting, Environmental and Engineering Geophysics (EEGS-ES)*, Birmingham, England, 46-47.
- Grellier, S., Reddy, K. R., Gangathulasi, J., Adib, R. and Peters, C. C., 2007- Correlation between electrical resistivity and moisture content municipal solid waste in bioreactor land
- Kemna, A., Binley, A. and Slater, L., 2004- Cross-borehole IP imaging for engineering and environmental applications, *Geophysics*, 69, 97-107, 2004.
- Kneisel, C., 2006- Assessment of subsurface lithology in mountain environments using 2D resistivity imaging, *Geomorphology* 80, 32-44.
- Martinho, E., Almeida, F., Senos Matias, M.J., 2006- An experimental study of organic pollutant effects on time domain induced polarization measurements, *Journal of Applied Geophysics*, 60, 27-40.
- Meyer, C., Ullrich, B. and Barlieb, C.M., 2007- Archaeological questions and geophysical solutions ground penetrating radar and Induced polarization investigations in Munigua, Spain, *Archaeol. Prospect.*, 14, 202-212.
- Mitrofan, H., Povara, L., Maftciu, M., 2008- Geoelectrical investigations by means of resistivity methods in karst areas in Romania, *Environ Geol*, 55, 405-413.
- Papadopoulos, N. G., Tsourlos, P., TSOKAS, G. N. and Sarris, A., 2006- Two-dimensional and three-dimensional resistivity imaging in archaeological site investigation, *Archaeol. Prospect.*, 13, 163-181.
- Pellerin, L., 2002- Applications of electrical and electromagnetic methods for environmental and geotechnical investigations, *Surveys in Geophysics*, 23, 101-132.
- Seigel, H.O., 1959- Mathematical formulation and type curves for induced polarization, *Geophysics*, 24, 547-565.
- Sudha, K., Israil, M., Mittal, S., Rai, J., 2009- Soil-characterization-using-electrical-resistivity-tomography-and-geotechnical-investigations, *Journal of Applied Geophysics*, 67, 74-79.
- Sumner, J.S., 1976- Principles of induced polarization for geophysical exploration, Elsevier science publishers, B.V.
- Tonkov, N. and Loke, M. H., 2006- A resistivity survey of a burial mound in the 'Valley of the Thracian Kings', *Archaeol. Prospect.*, 13, 129-136.
- Weller, A., Brune, S., Hennig, T. and Kansy, A., 2000- Spectral induced polarisation at a medieval smelting site, in *Proceedings for the EEGS-ES\*\* 2000 Annual Meeting*, Bochum, Germany.
- Yuval, D. and Oldenburg, W., 1996- DC resistivity and IP methods in acid mine drainage problems results from the Copper Cliff mine tailings impoundments, *Journal of Applied Geophysics*, 34, 187-198.



# Archaeological Studies by Electrical Resistivity and Induced Polarization in Shadmehrak, Neyshabour

H. Ranjy Roodposhti <sup>1</sup> & M. K. Hafizi <sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. graduated , Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

<sup>2</sup>Professor, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

Received: 2010 November 16

Accepted: 2011 July 12

## Abstract

In this paper, the results of recent archaeological studies in Neyshabour, Iran, by the application of Electrical Resistivity (ER) and Induced polarization (IP) methods have been presented. The aim of this study was to verify the effectiveness and suitability of these techniques in detecting of the buried archaeological structures and remains in Iran and other similar sites that were mostly constructed out of adobe, mud brick. Several geoelectrical profiles were conducted in addition to IP and ER experiments on the samples and the test profile. The test profile was performed over an adobe-made wall outcrop. This work shows that these methods are so effective and useful for investigating of structures like walls, furnaces and pavements which their materials contain a large amount of clay.

**Keywords:** Archaeology, Geoelectrics, Resistivity, Induced polarization, Neyshabour

For Persian Version see pages 221 to 228

\*Corresponding author: M. K. Hafizi; E-mail: hafizi@ut.ac.ir