

مقدمه‌ای بر ژئوفیزیک در باستان‌شناسی

مؤلفان:

احمد قربانی^۱

فاطمه رضوی‌راد^۲

کاظم ملک‌پور دهکردی^۳

۱۳۹۴

^۱ استادیار ژئوفیزیک اکتشافی، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد، aghorbani@yazd.ac.ir

^۲ دانشجوی دکتری مهندسی اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد

سرشناسه	قربانی، احمد، ۱۳۵۰ -
عنوان و نام پدیدآور	مقدمه‌ای بر ژئوفیزیک در باستان‌شناسی / نویسندگان احمد قربانی، فاطمه رضوی‌راد، کاظم ملک پور.
مشخصات نشر	یزد: دانشگاه یزد، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری	۳۲۷ص.
شابک	978-600-6309-48-4
وضعیت فهرست نویسی	فیبا
موضوع	اکتشاف‌های زیرزمینی - روش‌های ژئوفیزیکی
شناسه افزوده	رضوی‌راد، فاطمه، ۱۳۶۳ -
شناسه افزوده	ملک پور، کاظم، ۱۳۶۸ -
شناسه افزوده	دانشگاه یزد
رده بندی کنگره	۱۳۹۳ م ۴ق/ ۲۶۹ TN
رده بندی دیویی	۱۵/۶۲۲
شماره کتابشناسی ملی	۳۴۸۰۴۹۱
کد پیگیری	۳۴۷۹۲۲۳

مرکز انتشارات دانشگاه یزد

یزد، صفائیه، بلوار دانشگاه، صندوق پستی ۷۴۱-۸۹۱۹۵ تلفن: ۰۳۵۱-۸۲۱۱۶۷۰-۹

دورنگار ۰۳۵۱-۸۲۰۰۱۲۶

عنوان کتاب:	مقدمه‌ای بر ژئوفیزیک در باستان‌شناسی
تألیف:	احمد قربانی، فاطمه رضوی‌راد، کاظم ملک پور
ویراستار:	زهرا آقابیکی
ناشر:	انتشارات دانشگاه یزد
لینتوگرافی، چاپ و صحافی:	قم، چاپ زیتون
نوبت چاپ:	اول
سال چاپ:	۱۳۹۴
شمارگان:	۱۰۰۰ نسخه
قیمت پشت جلد:	۱۷۰،۰۰۰ ریال
شابک:	978-600-6309-48-4
مرکز بخش: موسسه کتابیران	
تهران، میدان انقلاب، کارگر شمالی، خیابان نصرت، خیابان دکتر قریب، نرسیده به فرصت، پلاک ۷.	
تلفن: ۰۲۱-۶۶۵۶۶۵۱۰-۱۵	

پیش‌گفتار

پیمایش‌های ژئوفیزیکی در محوطه‌های باستانی که می‌توان از آن با عنوان باستان‌شناسی ژئوفیزیک یاد کرد با وجود سابقه‌ی طولانی، تنها در سال‌های اخیر گسترش یافته و با نتایج چشم‌گیری همراه بوده است. هم‌زمان با پایان جنگ جهانی اول، باستان‌شناسان استفاده از ابزارهای نو را در پژوهش‌های خود با به‌کارگیری عکس‌برداری هوایی در بررسی‌های باستان‌شناسی شروع کرده بودند. هم‌چنین از چند دهه‌ی پیش، استفاده از روش‌های الکتریکی و مغناطیسی آغاز شده است؛ ولی با وجود این سابقه‌ی طولانی در استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی، فراگیر شدن این روش‌ها و به‌دست آمدن نتایج پربار به سال‌های اخیر برمی‌گردد که پیشرفت‌های چشم‌گیر در دانش الکترونیک و کامپیوتر، سبب رشد توانایی‌های این روش‌ها در بررسی محوطه‌های باستانی شده است. بالا رفتن حساسیت بسیار زیاد دستگاه‌های الکترونیکی مورد استفاده، افزایش چشم‌گیر سرعت اندازه‌گیری دستگاه‌های ژئوفیزیکی و رشد پرشتاب توانایی کامپیوترها در هر دو زمینه‌ی سخت‌افزاری و

نرم‌افزاری، از جمله‌ی این موارد می‌باشد. این عوامل سبب گشته تا داده‌های بیش‌تری را بتوان در مدت کوتاه‌تری پردازش کرد. به هر حال افزایش سرعت برداشت داده‌های ژئوفیزیکی، سبب شده تا محوطه‌های وسیع‌تری را در مدت زمان کوتاه‌تری بررسی کرده و محوطه‌های باستانی در خطر را تشخیص داد.

مهم‌ترین هدف در اجرای روش‌های ژئوفیزیکی را می‌توان شامل: تعیین محل و گستره‌ی ساختارهای مدفون بدون هیچ‌گونه آسیب‌رسانی به آن، برنامه‌ریزی دقیق عملیات حفاری و اجرای هدفمند ترانشه‌ها در محوطه، صرفه‌جویی در زمان و هزینه، جلوگیری از زیان‌های ناشی از تخریب‌های طبیعی و حفاری‌های غیر مجاز از راه تعیین وضعیت محوطه‌های وسیع در زمان بسیار کوتاه دانست.

بررسی‌های باستان‌شناسی ژئوفیزیکی شامل مجموعه‌ای از تکنیک‌ها و روش‌هایی است که در راستای ثبت ویژگی‌های فیزیکی بخش‌های نزدیک به سطح زمین گسترش یافته است. در این روش‌ها با اندازه‌گیری در نقاطی بر روی سطح زمین می‌توان به بخشی از ویژگی‌ها و تغییرات در شرایط فیزیکی زیرین زمین و تفاوت‌هایی که در نقاط مختلف وجود دارد، پی برد. با اندازه‌گیری و تعیین این تفاوت در بخش‌های مختلف که از آن با عنوان بی‌هنجاری یا آنومالی یاد می‌شود، تغییر در مقادیر مورد اندازه‌گیری که در یک محل به نسبت محیط اطراف آن به‌دست می‌آید، انجام پردازش‌های ویژه بر روی داده‌ها و در نهایت تهیه‌ی نقشه‌های مربوطه، می‌توان یک توده که نسبت به اطرافش دارای تفاوت‌های فیزیکی محسوس باشد، را در زیر سطح زمین آشکار کرد. به این ترتیب می‌توان نتایجی، همچون آشکارسازی ساختارهای معماری مدفون و دیواره‌های سنگی، آجری، خشتی و حتی چینه و بقایای راه‌های سنگ‌فرش و آجرفرش، کانال‌های مدفون و همچنین مشخص کردن محوطه و فضا‌های میان تهی در زیر سطح زمین، مقبره‌ها، گورها و خاک‌هایی که تحت تأثیراتی با منشأ انسانی قرار داشته، همچنین تعیین موقعیت خندق‌ها و چاله‌های مدفون و محل‌هایی که در گذشته حفاری و سپس به مرور زمان با رسوبات

جدید پر شده‌اند، همین‌طور تعیین محل کوره‌های مدفون مربوط به پخت سفال و ذوب فلز و مشخص کردن محل خاک‌های سوخته و تعیین محل توده‌های سفال و خمره‌های بزرگ مربوط به تدفین و انباشت مواد خوراکی، نیز مشخص نمودن گستره و حریم محوطه‌های باستانی و تفکیک قسمت‌های دارای لایه‌های فرهنگی از دیگر قسمت‌ها که فاقد لایه‌های فرهنگی هستند را برشمرد.

روش‌های ژئوفیزیکی که در باستان‌شناسی استفاده می‌شود، شامل: تصویربرداری‌های فضایی و هوایی، روش‌های سنجش از راه دور، روش‌های حرارتی و تصویر برداری با استفاده از پرتوهای فروسرخ، روش‌های مغناطیس‌سنجی، الکتریکی، رادار زمینی، الکترومغناطیسی، چگالی سنجی، لرزه‌نگاری و رادبومتری است؛ اما در این میان کاربرد روش مغناطیس‌سنجی بسیار گسترده‌تر از دیگر روش‌ها می‌باشد، به‌طوری که شاید بتوان گفت بیش از هشتاد درصد بررسی‌های باستان‌شناسی ژئوفیزیکی را به خود اختصاص می‌دهد. در این روش، تفاوت در ویژگی مغناطیسی در نقاط مختلف یک محوطه که ناشی از تغییر در مقادیر ذرات کانی‌های مغناطیسی همچون مگنتیت می‌باشد، بررسی می‌شود. با این روش می‌توان شکل و امتداد و گسترش ساختار معماری مدفون و دیگر پدیده‌های باستانی را آشکار کرد.

در گذشته از روش مغناطیس‌سنجی بیش‌تر برای آشکار نمودن ساختارهای حرارت دیده‌ی مدفون همچون کوره‌ها، خاک‌های سوخته و لایه‌های خاکستر استفاده می‌شد؛ ولی امروزه با پیشرفت تجهیزات و روش‌های پردازش، پهنه‌ی کاربرد این روش در بررسی ساختارهای مدفون، افزایش یافته است و در بسیاری از پیمایش‌ها در صورت اجرای صحیح، می‌توان با وجود کم‌ترین تفاوت بین ساختار مدفون و محیط پیرامونش، آن را آشکار کرد.

دو روش رادار نفوذی زمین و الکتریکی به نسبت دارای کاربرد بیش‌تری هستند. در روش رادار نفوذی زمین، امواج الکترومغناطیس توسط آنتن‌هایی به داخل زمین فرستاده می‌شود و بازتاب‌های به‌وجود آمده از ناپیوستگی‌هایی که ناشی از

تغییرات ناگهانی در ویژگی الکتریکی و رسانایی هستند، دریافت گردیده و پس از پردازش‌ها به نقشه در می‌آیند. محدودیت اساسی در روش رادار زمینی این است که به‌طور معمول قابل انتشار به زیر لایه‌های رسی نیست و رسانا بودن لایه‌های سطحی، سبب کاهش کارایی آن می‌گردد. بررسی‌های ماهواره‌ای با روش رادار نیز به خاطر قدرت نفوذ بسیار کم در زمین که در حد چند سانتی‌متر است، چندان مورد توجه قرار نگرفته است.

در روش ژئوالکتریک، ویژگی‌های الکتریکی گوناگونی قابل سنجش است که در بیش‌تر موارد به شکل بررسی و اندازه‌گیری مقدار مقاومت زمین در برابر گذر جریان الکتریکی می‌باشد. در این روش معمولاً در دو نقطه، جریان الکتریکی به داخل زمین فرستاده می‌شود و در دو نقطه‌ی دیگر اختلاف پتانسیل اندازه‌گیری می‌گردد. کاربرد موثر آن در باستان‌شناسی، بیش‌تر در مواردی همچون آشکارسازی ساختارهای سنگی با اندازه‌های بزرگی است که در خاک بکر مدفون شده است.

هم‌چنین در باستان‌شناسی ژئوفیزیکی می‌توان از روش‌های لرزه‌نگاری و ریزگرانی‌سنجی که به ندرت مورد استفاده قرار می‌گیرند، یاد کرد. روش ریزگرانی‌سنجی که بر اساس اندازه‌گیری تغییرات شتاب جاذبه‌ی زمین، پی‌ریزی شده، طی سال‌های ۱۹۶۵ تا ۱۹۸۲ در باستان‌شناسی مورد تجربه قرار گرفته است. از این روش نیز به سبب کوچک بودن آنومالی‌های سازه‌های باستانی و نزدیک بودن آن به حد پارازیت و نوفه‌ی دستگاه که به‌طور معمول قابل ثبت نمی‌باشند، استقبال چندان صورت نگرفته است. عملیات صحرایی وقت‌گیر و پردازش‌های فراوان و پیچیده و در نهایت نتایجی که از درجه‌ی صحت کافی برخوردار نیستند، موجب عدم رغبت باستان‌شناسان به کاربرد این روش شده است.

روش لرزه‌نگاری که به دو شکل بازتابی و شکست مرزی قابل اجرا است، نیز در باستان‌شناسی کاربرد محدودی دارد. روش لرزه‌نگاری شکست مرزی در محیط‌هایی با لایه‌های آشفته نشده که ویژگی افزایش سرعت امواج الاستیک با عمق را دارا

هستند، به کار گرفته می‌شود. البته در اینجا منظور از لایه، لایه‌های زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی است و نه لایه‌های باستانی. بنابراین از این تکنیک فقط در موارد ویژه می‌توان استفاده کرد. روش لرزه‌نگاری بازتابی نیز در عمق‌های کم، ناتوان بوده و به علت محدوده‌ی فرکانسی، به‌طور معمول نمی‌توان ساختارهای باستانی بازتابی را دریافت کرد. با وجود این، لرزه‌نگاری بازتابی و روش‌های سونار در باستان‌شناسی زیر آب قابلیت خوبی برای بررسی سطح توپوگرافی کف دریا و لایه‌های زیرین آن دارا بوده و در آشکارسازی محل کشتی‌های غرق شده و محوطه‌های زیر آب به همراه دیگر روش‌ها همچون مغناطیس‌سنجی دریایی سودمند هستند.

در این کتاب سعی شده است که مبانی ژئوفیزیک برای کاربردهای نزدیک سطح زمین برای دانشجویان رشته‌ی باستان‌شناسی و دانشجویان رشته‌ی ژئوفیزیک، به زبان ساده و قابل فهم نوشته شود. این کتاب مشتمل بر سه بخش است. در بخش اول، مبانی روش‌های ژئوفیزیکی (ریزگرانی‌سنجی، مغناطیس‌سنجی، روش‌های الکتریکی و رادار زمین‌شناسی) به زبان ساده با تأکید بر اکتشافات نزدیک سطح زمین ارائه شده است. در بخش دوم، به کاربرد روش‌های ژئوفیزیکی در اکتشافات باستان‌شناسی پرداخته شده و در نهایت، در بخش سوم، مثال‌های موردی انجام شده در سایت‌های باستان‌شناسی مختلف در سراسر دنیا، شرح داده شده‌اند.

در اینجا بر خود لازم می‌دانیم از جناب آقای دکتر انصاری، عضو محترم هیأت علمی دانشکده معدن و متالورژی و ریاست محترم انتشارات دانشگاه یزد که با علاقه بسیار در ارتقاء علمی کتاب نقش موثری داشته‌اند و نظرات سازنده و سودمند ایشان در مراحل مختلف چاپ، ما را یاری نمود، تشکر و قدردانی وافر داشته باشیم. از سرکارخانم آقابییگی، کارشناس محترم انتشارات دانشگاه یزد که ویراستاری کتاب را نیز به عهده داشته‌اند، قدردانی می‌گردد. همچنین از سرکارخانم لیلی رضایی که صفحه‌آرایی کتاب را انجام داده‌اند تشکر می‌شود.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
بخش اول اصول روش های ژئوفیزیکی در کاوش های نزدیک سطح زمین.....	۲۱
۱ فصل اول روش گرانی سنجی و ریزگرانی سنجی.....	۲۳
۱-۱ مقدمه.....	۲۵
۲-۱ مبانی روش.....	۲۶
۳-۱ پارامترهای اندازه گیری شونده و واحدهای آن.....	۲۷
۴-۱ عملیات صحرایی.....	۳۰
۵-۱ پردازش و تصحیحات داده های برداشت شده.....	۳۴
۱-۶ تعبیر و تفسیر داده ها (جداسازی بی هنجاری های منطقه ای و محلی).....	۴۱
۲ فصل دوم روش مغناطیس سنجی زمینی.....	۵۳
۱-۲ مقدمه.....	۴۹
۲-۲ مبانی روش.....	۵۲
۳-۲ پارامترهای اندازه گیری شونده و واحدهای آن.....	۵۶
۴-۲ روش اندازه گیری و تجهیزات در باستان شناسی.....	۶۰
۵-۲ عملیات صحرایی برداشت های مغناطیس سنجی.....	۷۳
۶-۲ تصحیحات روزانه ی داده های برداشت شده.....	۸۰
۷-۲ تعبیر و تفسیر داده های مغناطیس سنجی.....	۸۱

۳	فصل سوم روش مقاومت ویژه الکتریکی.....	۸۳
۱-۳	مقدمه.....	۸۵
۲-۳	مبانی روش.....	۸۷
۳-۳	پارامتر اندازه‌گیری شونده و واحدهای آن.....	۹۳
۴-۳	روش اندازه‌گیری و تجهیزات.....	۱۰۳
۵-۳	عملیات صحرائی.....	۱۰۷
۳-۶	تعبیر و تفسیر داده‌ها.....	۱۱۵
۴	فصل چهارم روش قطبش القایی.....	۱۲۳
۱-۴	مقدمه.....	۱۲۵
۲-۴	مبانی روش.....	۱۲۶
۳-۴	پارامتر اندازه‌گیری شونده و واحدهای آن.....	۱۲۷
۴-۴	روش اندازه‌گیری قطبش القایی.....	۱۳۰
۵-۴	عملیات صحرائی قطبش القایی.....	۱۳۳
۶-۴	نحوه ارائه‌ی نتایج.....	۱۳۴
۵	فصل پنجم روش الکترومغناطیس.....	۱۳۷
۱-۵	مقدمه.....	۱۳۹
۲-۵	پارامترهای اندازه‌گیری شونده و واحدهای آن.....	۱۴۱
۳-۵	روش اندازه‌گیری و تجهیزات.....	۱۵۱
۴-۵	پردازش داده‌ها و ارائه‌ی نتایج.....	۱۶۱
۶	فصل ششم روش رادار نفوذی به زمین (GPR).....	۱۶۵
۱-۶	مقدمه.....	۱۶۷
۲-۶	مبانی روش.....	۱۶۹
۳-۶	روش اندازه‌گیری و تجهیزات.....	۱۸۱
۴-۶	عملیات صحرائی.....	۱۸۷

بخش دوم کاربرد روش های کاوش ژئوفیزیکی در باستان شناسی.....	۲۰۱
۱ فصل اول مراحل اجرای یک پروژه ژئوفیزیک باستان شناسی.....	۲۰۳
۱-۱ مقدمه.....	۲۰۵
۲-۱ خلاصه ای از تاریخچه ژئوفیزیک در باستان شناسی.....	۲۰۶
۳-۱ مفاهیم اساسی در ژئوفیزیک باستان شناسی.....	۲۰۷
۴-۱ روش های ژئوفیزیکی.....	۲۱۰
۵-۱ برآورد قابلیت پاسخگویی یک سایت باستان شناسی به روش های ژئوفیزیکی.....	۲۱۱
۲ فصل دوم انتخاب روش ژئوفیزیکی مناسب در کاوش های باستان شناسی.....	۲۳۳
۱-۲ مقدمه.....	۲۳۵
۲-۲ چاله ها و تراشه های اکتشافی.....	۲۳۵
۲-۳ دیواره ها.....	۲۳۷
۲-۴ ستون های سنگی یکپارچه.....	۲۳۸
۲-۵ کف ساختمان ها و طبقات، سنگ فرش ها و پیاده روهای سنگی و سطوح.....	۲۳۸
۲-۶ وسایل دست ساز.....	۲۳۹
۷-۲ پدیده های سوخته شده.....	۲۴۰
۲-۸ توده ها.....	۲۴۱
۳ فصل سوم طراحی برداشت های صحرائی.....	۲۴۷
۱-۳ مقدمه.....	۲۴۹
۲-۳ محوطه ی مورد برداشت و ابعاد آن.....	۲۴۹
۳-۳ اجرای شبکه ی برداشت.....	۲۵۱
۴-۳ ابعاد بلوک ها.....	۲۵۳
۵-۳ تراکم و حجم داده ها.....	۲۵۴
۶-۳ آماده سازی سطح زمین.....	۲۵۶
۷-۳ ابزار و تجهیزات لازم برای برداشت.....	۲۵۷

۲۶۲.....	۸-۳ مقایسه‌ی روش‌ها و دستگاه‌ها.....
۲۶۵.....	بخش سوم مطالعات موردی
۲۶۷.....	۱ فصل اول مطالعات موردی از روش‌های گرانی و مغناطیس.....
۲۶۹.....	۱-۱ اکتشاف فضای خالی مدفون در کلیسای سنت نیکلاس.....
۲۷۷.....	۲-۱ کاوش‌های باستان‌ژئوفیزیک در منطقه‌ی راسل - آبالی ایتالیا.....
۲۸۳.....	۳-۱ بررسی باستان‌ژئوفیزیک در محوطه‌ی باستانی دشت حلقه.....
۲۸۹.....	۲ فصل دوم مطالعات موردی از روش‌های الکتریکی (قطبش القایی).....
۲۹۱.....	۱-۲ کاوش‌های باستان‌ژئوفیزیک در محدوده‌ی معدن باستانی کستل فرانسه.....
۳۰۱.....	۳ فصل سوم مطالعات موردی از روش رادار نفوذی در زمین.....
۳۰۳.....	۱-۳ برداشت‌های ژئوفیزیکی مختلف بر روی سد تاریخی منطقه‌ی هیتایت.....
۳۱۳.....	مراجع.....