حفاری بدون حفر کردن

بررسی محوطه های باستانی با استفاده از تکنیک های ژئوفیزیکی

جان.وی.ماوث

کوروش روستایی

در باره نویسنده

جان.دبلیو.وی‌ماوث، استاد ممتاز دانشگاه نبراسکا، بیش از ۲۰ سال است که از ژئوفیزیک برای بررسی محل‌های باستانی استفاده می‌کند. منشأ علاقه‌ی وی از زمانی بود که او به دانشجویان رشته‌ی انسان‌شناسی واحدی درسی به نام کاربرد فیزیک در باستان‌شناسی تدریس می‌کرد. دکتر وی ماوث برای مؤسسه‌های باستان‌شناسی خصوصی، ایالتی و فدرال در ۱۰ ایالت آمریکا و در کشورهای ژاپن، ایتالیا و یونان بررسی‌های ژئوفیزیکی انجام داده است.

* * *

تا مدتها، بررسی‌های باستان‌شناسی مترادف بود با حفاری. بنابراین مردم عادی با شنیدن «باستان‌شناسی»، عملیات حفاری برایشان تداعی می‌شد. ولی باستان‌شناسان همواره از این موضوع آگاهند که حفاری یک محوطه به منزله‌ی نابودی همیشگی آن محوطه است. به همین خاطر آنها درباره‌ی مساحتی از یک محوطه‌ی باستانی که قصد کاوش آن را دارند محتاطانه‌تر برخورد می‌کنند و گرایش آنها بیشتر به کاوش‌های دوره‌ای است.

این خواسته متناسب با رشد زندگی شهرنشینی و تهدید فزاینده‌ی توسعه کشاورزی علیه میراث‌های فرهنگی ما، افزایش یافته است. زمانی که تخمین و ارزیابی سریع ارزش‌های بالقوه‌ی باستان‌شناختی یک محوطه مورد توجه قرار گرفت آنگاه اهمیت روش‌های سریع بدست آوردن اطلاعات از محتویات زیرزمینی روشن شد. امروزه بیشتر باستان‌شناسان از سودمندی برخی از تکنیک‌های اکتشافات ژئوفیزیکی درباره‌ی به دست آوردن اطلاعات زیرزمینی بدون انجام حفاری، به خوبی آگاهند؛ بویژه وقتی که حفظ و نگهداری محوطه باستانی محل خطر باشد.

تاریخچه‌ای کوتاه

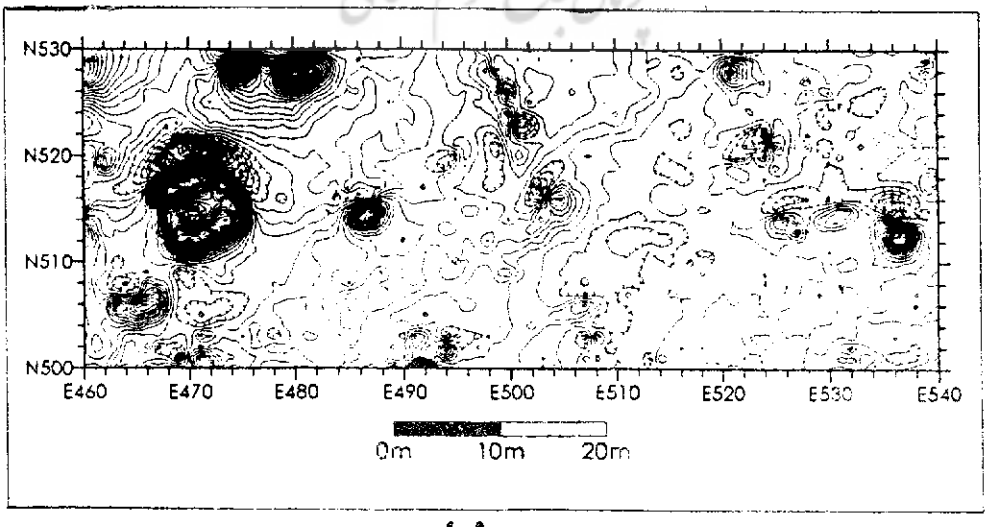
نخستین کاربرد تکنیک اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی زمین در مورد محوطه‌های باستانی را به «ریچارد اتکینسون» در ۱۹۴۶ و در انگلیس نسبت داده‌اند. «مارتین پاکارد» و «راسل واریان» در سال ۱۹۵۴ دَوَران محور پروتون آزاد *proton free precession* را به اثبات رساندند. این کشف راه استفاده از تکنیک‌های اندازه‌گیری مغناطیسی برای انجام عملیات صحرایی را نشان داد. «جان بلشه» فیزیکدان انگلیسی، در سال ۱۹۵۶ نشان داد که یک کوره‌ی قدیمی، تولید گشتاور مغناطیسی می‌کند و این کمیت را می‌توان با یک دستگاه مغناطیس سنج پروتونی *proton magnetometen* ثبت کرد. در سال ۱۹۵۸، «مارتین آیتکن» و «تدی هال» در آزمایشگاهی در دانشگاه آکسفورد که به تازگی برای مطالعات باستان‌شناختی و تاریخ هنر تاسیس شده بود، یک دستگاه مغناطیس‌سنج پروتونی ابتدایی و قابل حمل ساختند. آنها با این دستگاه، نخستین بررسی مغناطیسیِ یک محوطه‌ی باستان‌شناختی را انجام دادند و محل یک کوره متعلق به دوره‌ی اشغال بریتانیا توسط رُمی‌ها را مشخص کردند. در اواسط دهه‌ی ۱۹۶۰ گروهی از پژوهشگران در شهر بُن آلمان با استفاده از دو مغناطیس سنجِ پروتونی، یک سیستم خودکارِ جمع‌آوری داده‌ها ساختند و برای پردازش حجم عظیمی از داده‌ها، برنامه‌ای کامپیوتری طراحی کردند. در ۱۹۶۸ یک گروه از پژوهشگران بنیاد لریچی در شهر رم ایتالیا با استفاده از کامپیوتر مقادیر زیادی مجموعه داده‌ها را پردازش کردند و با دو مغناطیس سنج و ثبت داده‌ها توسط دست، یک محوطه‌ی یونانی ۱۸ هکتاری در جنوب ایتالیا به نام «متاپونتوم» را بررسی کردند.

امروزه بسیاری از مراکز پژوهشی در سراسر دنیا برای بررسی محوطه‌های باستانی از روش‌های ژئوفیزیکی استفاده می‌کنند. برخی از این مناطق عبارتند از انگلیس (که بسیاری از کارهای پیشرو در آنجا انجام شده)،

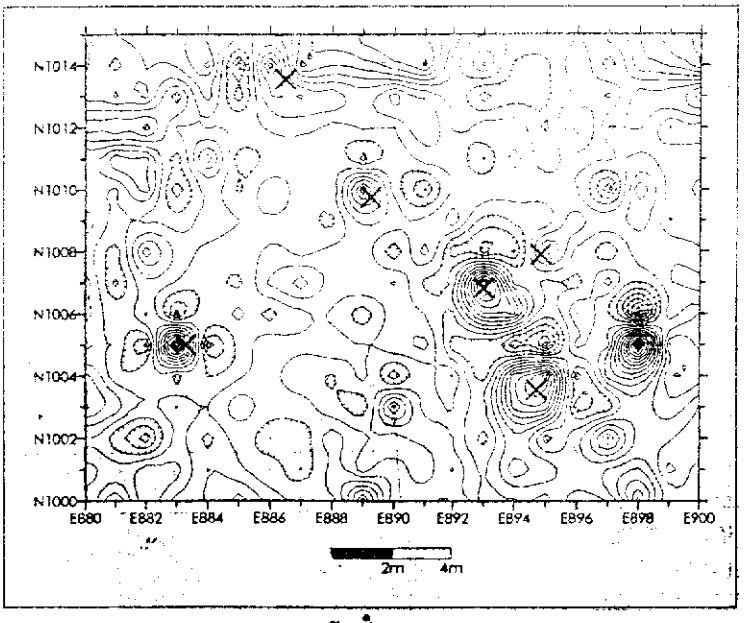
یونان، فرانسه، بلغارستان، هلند، روسیه، مکزیک و ژاپن.
از سال ۱۹۶۱ تا ۱۹۶۵ یک گروه از پژوهشگران آمریکایی از موزه‌ی دانشگاه پنسیلوانیا با همکاری بنیاد لریچی، یک محوطه‌ی متعلق به کولونی‌های یونانی در شهر «سیباریس» ایتالیا را مورد بررسی‌های مغناطیسی قرار دادند. در خودِ ایالات متحده، نخستین و گسترده‌ترین بررسی‌های مغناطیسی در محوطه‌ی باستانی «تپه‌های فرشته» در ایالت ایندیانا و به سال ۱۹۶۱ انجام شد.
به رغم این کارهای اولیه‌ای که در ایالات متحده انجام شد، باستان‌شناسان آمریکایی با تأمل روش‌های ژئوفیزیکی را پذیرفتند. با این حال، در دهه‌ی اخیر آگاهی از ارزش و اهمیت این تکنیک‌ها افزایش یافته است. این آگاهی بخشی، تا حدی بخاطر انتشار نتایجی بود که چند مرکز پژوهشی در آمریکا با بکارگیری وسیع روش‌های ژئوفیزیکی در بررسی‌های باستان‌شناسی به دست آورده بودند. عامل مهم دیگری که در آگاه‌کردن مجامع علمی از کاربرد روش‌های ژئوفیزیکی در باستان‌شناسی موثر بود، راه‌اندازی تعدادی کارگاه سالانه در مورد تکنیک‌های از راه دور و ژئوفیزیکی برای مدیریت منابع فرهنگی بود که با حمایت اداره‌ی منطقه‌ای کوهستان راکی متعلق به سرویس پارک ملی از سال ۱۹۹۱ شروع شد.
دانش باستان‌شناسی تعدادی از روش‌های تجسمی را از ژئوفیزیک اکتشافی وام گرفته است. با این حال یکی از تفاوت‌های عمده، مقیاس است. مسایل باستان‌شناختی در عوض پیمایش‌های کیلومتری و قرارگیری «سنجنده‌ها» *sensors* در چندمتری عمق زمین، با فواصلی در حد چند متر و قرارگیری سنجنده‌ها در چند سانتیمتری عمق زمین درگیر است. متداول‌ترین روش‌هایی که امروزه مورد استفاده هستند عبارتند از بررسی مغناطیسی زمین، محاسبه‌ی مقاومت خاک، و روش‌های راداری نافذ در زمین.

روش‌های مغناطیسی

بررسی مغناطیسی در باستان‌شناسی عبارت است از محاسبه‌ی میدان مغناطیسیِ کلی زمین (یا در برخی موارد گرادیان عمودی آن) در چند سانتیمتری عمق سطح یک محوطه‌ی باستانی. این محاسبات بر روی شبکه‌ای از نقاط انجام می‌شود که از ۲۵ سانتیمتر تا یک متر از یکدیگر فاصله دارند. با استفاده از داده‌ها، نقشه‌هایی با خطوط هم‌تراز از نظر مغناطیسی تهیه می‌شوند و از روی آنها مناطقی که دارای ناهمخوانی مغناطیسی هستند شناسایی می‌شوند. دستگاههای جدید دارای حساسیتی برابر با $\frac{1}{5000}$ (یا بیشتر) قدرت میدان مغناطیسی زمین هستند. سیگنال‌های ناهمخوانی مغناطیسی *Magnetic Anomalous Signals* که مورد علاقه‌ی باستان‌شناس هستند می‌تواند به کوچکی چند ده برابر حساسیت دستگاه باشند.
یکی از نکاتی که در بررسی مغناطیسی زمین باید در نظر داشت این است که میدان مغناطیسی زمین در طولِ روز تغییر می‌کند. هر چند که تغییرات میدان مغناطیسی زمین کوچک هستند ولی آنها در مقایسه با سیگنالهای مورد نظر باستاشناس قابل توجه‌اند. بنابراین برای برطرف کردن این تغییرات مغناطیسی که در طول روز اتفاق می‌افتد وجود یک مغناطیس‌سنج دوم یا ایستگاه مبنا *Base Station* لازم است.
برای بررسی‌های باستان‌شناختی با مقیاس کوچک، برداشتِ همزمان داده‌ها توسط یک ایستگاه مبنا (مغناطیس‌سنج دوم) ضروری است. در بررسی‌های مغناطیسی بزرگ مقیاس‌تر، نظیر مطالعات معدنی و جهانی، می‌توان از برداشت‌های دوره‌ای و متناوب توسط ایستگاه مبنا استفاده کرد و برای تصحیح داده‌ها می‌توان از «مقادیر درون‌یابی شده» *Interpolated Volues* سودجست.
از آنجا که در خاک، کانی‌های آهن‌دار مختلفی وجود دارند که برخی از آنها اندکی مغناطیس هستند، پس اندازه‌گیری میدان مغناطیسی کلی زمین می‌تواند اطلاعاتی در مورد عوارضِ زیرزمین در اختیار بگذارد. فعالیت‌های انسانی و فرآیندهای طبیعی برخی از این کانی‌های آهن‌دار را دگرگون می‌کنند و به این ترتیب وضعیت مغناطیسی آنها را تغییر می‌دهد.
مثلاً خاکهای سطحی مرطوب، بخاطر واکنش‌های شیمیایی که در محیطهای مرطوب انجام می‌شود، تمایل بیشتری به مغناطیسی شدن نشان می‌دهند تا خاکهای مناطقی با آب و هوای خشک. یکی از این واکنش‌های شیمیایی عبارتست از احیای کانی هماتیت به کانی مگنتیت؛ مگنتیت یک کانی آهن‌دار و خاصیت مغناطیسی آن از هماتیت بیشتر است.
میدان مغناطیسی زمین، خاصیتِ مغناطیسی شدن را به کانی‌های آهن‌دارِ موجود در خاک القاء می‌کند. وجود تجمعی موضعی از چنین کانی‌هایی که



ش ۱



ش ۲

خاصیت مغناطیس شدن آنها از خاکهای اطرافشان بیشتر است باعث ایجاد یک میدان مغناطیسی ضعیف موضعی می‌شود. این میدان مغناطیسیِ ضعیف به میدان مغناطیسیِ بیرونی زمین اضافه می‌شود.

عوارضِ نمونه‌ی «ساخته‌ی انسان» که در محوطه‌های باستانی باعث ایجاد ناهمخوانی‌های مغناطیسی می‌شوند گودال‌هایی‌اند که در خاک زیرین کنده شده‌اند و با خاکهای سطحی، جوی‌ها، توده‌های مزبله (کپه‌هایی از دورریزی‌های پیش از تاریخ) پر شده‌اند. همچنین «تباینِ مغناطیسی» *Magnetic cantrait* بین پی‌های کنده شده و خاکهای اطراف آنها ایجاد ناهمخوانی مغناطیسی می‌کند. اشیاء آهنی در محوطه‌های تاریخی می‌تواند ناهمخوانی‌های قوی مغناطیسی نشان دهند. خاکی که در اجاق‌ها حرارت دیده و سفال‌های پخته، مایلند خاصیتِ مغناطیسی القا شده در طی حرارت دیدن را پس از سرد شدن در خود نگاهدارند. پس، خانه‌های سوخته در آتش و اجاق‌ها در محل‌های استقراری پیش از تاریخ و کوره‌های پخت در محوطه‌های تاریخی از دیگر منابع ایجاد ناهمخوانی‌های مغناطیسی هستند.

روش‌های مقاومت الکتریکی

در روش‌های مقاومت الکتریکی، توانایی خاک‌ها برای هدایت یک جریان الکتریکی با ولتاژ خاصی محاسبه می‌شود. هر چه جریان عبوری بیشتر باشد، مقاومت الکتریکی خاک کمتر است. مقاومت الکتریکی زمین به آب، اجزاء یونیِ خاک و خلل و فرج موجود در خاک بستگی دارد. گاهی عامل تغییر در مقاومت الکتریکی خاک، ساختارهایی نفوذی است که توسط انسان ایجاد شده‌اند؛ نظیر: پی بناها، چاهها، و مستراح‌ها. توده‌های مزبله، چاله‌های ذخیره‌ای آذوقه و جوی‌ها باعث دگرگونیِ ساختار خاک و مقاومت الکتریکی آن می‌شوند.

مقاومت الکتریکی با فروکردنِ ۴ سوندِ دستگاه مقاومت‌سنج به درون زمین اندازه‌گیری می‌شود. دو تا از سوندها جریان الکتریسته را وارد زمین کرده و دو تای دیگر اختلاف ولتاژ حاصله را اندازه‌گیری می‌کنند. با مقادیر اندازه‌گیری شده‌ی جریان و ولتاژ، مقاومت الکتریکی زمین محاسبه می‌شود. در این روش نیز، همانند روش مغناطیس، اندازه‌گیریهای انجام شده بر روی شبکه‌ای از نقاط پیاده می‌شوند. با استفاده از مقادیر حاصله می‌توان نقشه‌ی هم‌تراز مقاومت الکتریکی زمین را رسم کرد.

چون مقاومت الکتریکی خاک تا حد زیادی بستگی به میزان آب درون آن دارد، پس بارش باران پیش از انجام این بررسی تاثیر زیادی در نتایج حاصله خواهد داشت. اگر بلافاصله پیش از انجام عملیات باران شدیدی باریده باشد آنگاه خاکهای نزدیک به سطح که از آب اشباع شده‌اند جریان الکتریسته را تسهیل کرده و نتایج ضعیفی به دست می‌آید. اگر آب به اعماق خاک نفوذ کرده باشد آنگاه اختلاف مقاومت الکتریکی برخی از عوارض نظیر گودال‌ها را کاهش می‌دهد ولی می‌تواند برخی از میخچه‌ها نظیر دیوارها اختلاف مقاومت الکتریکی را افزایش دهد. بعد از یک دوره‌ی تبخیر، اختلاف مقاومت الکتریکی ممکن است افزایش یابد ولی یک دوره‌ی طولانی خشکی آن را دوباره کاهش می‌دهد. بنابراین در این روش، تاثیر بارندگی به طور قابل توجهی متفاوت است؛ با این حال به طور کلی بهترین زمان برای انجام این روش هنگامی است که خاک نه زیاد خشک باشد و نه زیاد مرطوب. دستگاه دیگری که اساساً همان اطلاعاتی که دستگاه مقاومت‌سنج به ما می‌دهد را در اختیار می‌گذارد، دستگاه هدایت‌سنج الکترومغناطیسی *Electromagnetic conductivity meter* است. هنگام استفاده از این دستگاه، به جای سوندها، دو سیم‌پیچ را درون زمین فرو می‌کنیم. یکی از سیم‌پیچ‌ها، سیگنال‌های الکترومغناطیسی منتشر می‌کند، که باعث ایجاد جریانهای گردابی در خاک می‌شود. این جریان‌ها یک میدان مغناطیسی ثانویه‌ای ایجاد می‌کنند که توسط سیم‌پیچ دوم قابل جمع‌آوری است. سیگنال‌های گرفته شده بستگی به مقاومت متوسط توده خاک جانبی و عمودی بین سیم‌پیچ‌ها دارد. هر چه فضای بین سیم‌پیچ‌ها کمتر باشد، اندازه‌گیری‌ها به واقعیت نزدیک‌تر است.

رادار نافذ در زمین *Ground-Penetrating Radar*

مهندسین ژئوفیزیست سالها از این روش برای اکتشافات زیرزمینی استفاده می‌کردند. امروزه این روش در جامعه‌ی باستان‌شناسی مقبولیت زیادی پیدا کرده است.

در این روش سیگنال‌های الکترومغناطیسی با فرکانس بالا به درون زمین فرستاده می‌شود. برخی از این سیگنال‌های فرستاده شده با برخورد به سطوح جداکننده‌ی لایه‌هایی که خواص الکتریکی خاک در آنها بطور ناگهانی تغییر می‌کند، منعکس شده و دوباره برمی‌گردند. با اندازه‌گیری زمان برگشتِ سیگنال‌ها، عمقِ سطح جداکننده‌ی خاکهایی با خواص الکتریکی متفاوت، محاسبه می‌شود. این تکنیک می‌تواند به باستان‌شناس نشان دهد که آیا مواد «غیرخاکی» در خاک وجود دارند واگر

هست در چه عمقی از سطح زمین قرار دارند.
عوارض ساخته‌ی انسان که در زیر زمین واقع شده‌اند به راحتی شناسایی می‌شوند عبارتند از: پی دیوارها، کف اتاق‌ها، و جاده‌ها. به کف سنگی یا خاک کوبیده شده. همچنین این تکنیک می‌تواند تغییرات خاکی تغییر ریشه‌ی تپه‌های باستانی، پی خانه‌ها و مناطق مسکونی را شناسایی کند.

نگاهی به آینده

روش‌های ژئوفیزیکی می‌توانند تنها اطلاعاتی کلی از محوطه‌ی باستانی در اختیار باستان‌شناسان قرار دهند. حتی اگر در آینده پیشرفت‌هایی در این روش رخ دهد، نباید انتظار داشته باشیم که آنها همچون «جعبه‌ی سیاه اشعه‌ی X» تمام جزییات یک محل باستانی را آشکار کنند.
روش‌های ژئوفیزیکی گاهی پس از مدت‌ها، یک ناهمخوانی را شناسایی می‌کنند که مشخص کننده‌ی یک عارضه‌ی قابل تشخیص باستان‌شناختی است. گاهی به خاطرِ کم بودن تضاد در ویژگیهای خاک، نتایج حاصل از بررسی‌های ژئوفیزیکی ناامید کننده به نظر می‌رسند. غالباً، نتایج دو پهلو و نامشخص هستند.
زمانی که در مورد یک محوطه‌ی باستانی، نتایج ژئوفیزیکی را با دانسته‌های باستان‌شناسان تلفیق کنیم آنگاه از تعداد برداشت‌های محتمل کاسته خواهد شد. پسخوراند *Feedback* حاصل از چند گمانه‌ی آزمایشی و تطابق این یافته‌ها با ناهمخوانی‌های خاصی که توسط بررسی‌های ژئوفیزیکی ثبت شده‌اند، به باستان‌شناسان کمک می‌کند که در مسیر مشخص‌تری پیش روند.
روند رایج امروزه بهبودِ ابزارها و تکنیک‌های تفسیری در ژئوفیزیک است؛ بویژه آن ابزارها و تکنیک‌هایی که برای مقاصد باستان‌شناسی کاربرد دارند. امروزه تاکید بیشتر بر روی سرعت بخشیدن به روند جمع‌آوری داده‌هاست بطوریکه بتوان محل‌های باستانی بیشتری را در کمترین زمان ممکن مورد بررسی قرار داد. باستان‌شناسانی که با روش‌های ژئوفیزیکی کار می‌کنند همچنین برای افزایش توانایی خود در کسب مهارت‌های توصیفی می‌کوشند تا با این رویکرد زمان کمتری برای محلهای باستانی بدون بهره سپری کنند.

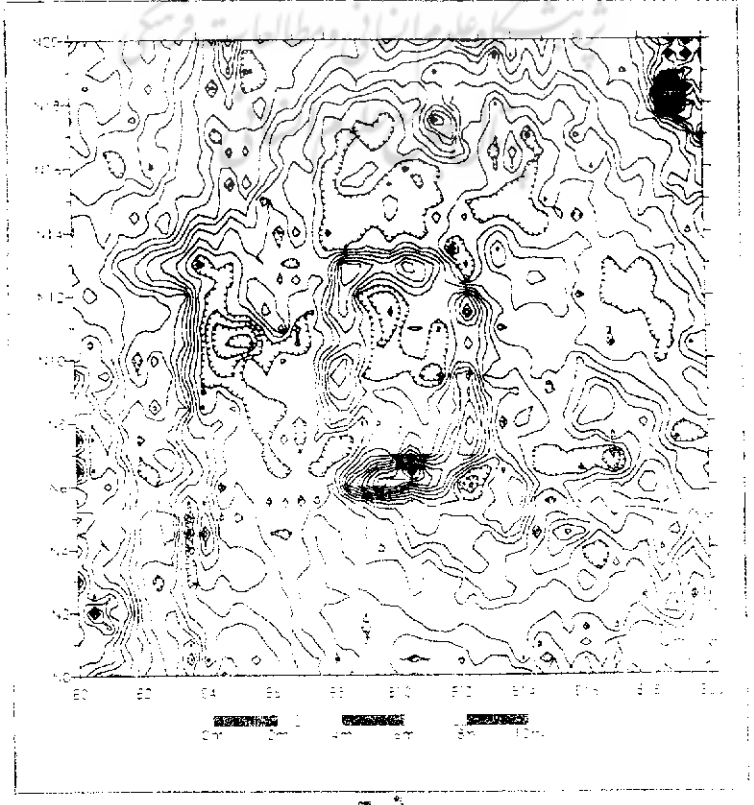
شرح تصاویر

۱- قسمتی از بررسی مغناطیسی انجام شده توسط موزه‌ی دانشگاه ایالتی مینسوتا و راکی در محوطه‌ی باستانی «فورت الیس». این محوطه یک پاسگاه نظامی متعلق به سده‌ی ۱۹ میلادی است که در نزدیکی کوههای بوزمان واقع شده است. حد فاصل شبکه یک متر است. وجود یک اتاق زیرزمینی ساخته شده از آجر، باعث ایجاد ناهمخوانی‌های بزرگی در غرب این محوطه شده است. روند خطیِ ناهمخوانی‌هایی که در جهت جنوب - جنوب شرق و بین *E500* و *E520* واقع شده‌اند نشانگر پی بناهای دژ هستند.
۲- نقشه‌ی مغناطیسی قسمتی از یک استقرار پیش از تاریخ مربوط به فرهنگ «هوپ‌ول» واقع در پارک ملی تاریخی اوهایو. برای اینکه ناهمخوانی‌های موضعی بهتر مشخص شوند، داده‌های مغناطیسی در معرضِ صافیِ فرکانس بالا قرار گرفته‌اند. اندازه‌گیری‌ها در حد فاصل‌های یک متری انجام شده‌اند. ناهمخوانی‌های مغناطیسی که با حرف *X* مشخص شده‌اند مورد حفاری قرار گرفتند. پس از حفاری مشخص شد که تمام این ناهمخوانی‌های مغناطیسی، گودال‌های ذخیره‌ی آذوقه بوده‌اند که دارای قطر ۷۰ تا ۱۵۰ و عمقِ ۲۰ تا ۷۰ سانتی‌متر هستند.
۳- نقشه‌ی مقاومت الکتریکی میدانِ مشق نظامی در دژ آتکینسون؛ یک پایگاه نظامی سده‌ی ۱۹ میلادی در شمال اُماها در ایالت نبراسکا. اندازه‌گیری‌ها با حدفاصل نیم‌متر انجام شده است. طرح چهاگوشی که از ناهمخوانی‌های الکتریکی در مرکز نقشه دیده می‌شود در اثر بقایای پی‌های یک انبار باروت ایجاد شده است. الگوی خطی با روند شمال - جنوب که در غرب نقشه دیده می‌شود حاصلِ یک جوی آب است. نقشه‌ی مغناطیسی این ناحیه چندان سودمند نخواهد بود زیرا منبع آب باعث ناهمخوانی‌های شدید مغناطیسی خواهد شد که بیشتر مساحت ناحیه‌ی مرکزی را می‌پوشاند.

پی‌نوشت:

- این مقاله ترجمه‌ای است از:

Weymouth, J.W.1996. "Digs Without Digging. Exploring Archaeological", Geotimes, November. 16-19.



شکل ۳