وزارت
صنایع و معادن
سازمان زمین شناسی و
اکتشافات معدنی کشور

معاونت اکتشاف
مدیریت خدمات اکتشاف
گروه ژئوفیزیک

گزارش اکتشافات ژئوفیزیکی با روش رادار نفوذی زمین (GPR)
در محوطه باستانی خواجه خضر- قبه سبز
شهر کرمان

توسط :

سپیده صمیمی نمین

بهمن ۱۳۸۷

فهرست مطالب

فصل اول ٤

کلیات ٤

۱-۱- مقدمه ٤

۱-۲- هدف از انجام مطالعات..... ٥

۱-۳- موقعیت جغرافیایی ٥

۱-٤- تاریخچه مطالعات تاریخی..... ۸

فصل دوم ۱۰

شرح مختصر از تئوری روش GPR ۱۰

۲-۱- معرفی روش رادار نفوذی زمین ۱۰

۲-۲- تجهیزات GPR..... ۱۳

آنتنها (*Antena*) ۱٤

برد اصلی *(Main Unit)*..... ۱۷

نمایشگر (*Monitor*) ۱۸

۲-۳- نحوه اجرای برداشتها ۱۹

الف- محدوده شماره یک(منزل آقای زکی زاده) ۱۹

شبکه شماره یک : ۱۹

شبکه شماره دو : ۲۲

ب - محدوده شماره دو(منزل آقای رنگاور) ۲٤

۲-٤- نحوه انجام پردازش داده ها..... ۲٦

فصل سوم..... ۲۸

بررسی نتایج ۲۸

۳-۱- بررسی نتایج محدوده شماره یک ۲۸

۳-۱-۱- بررسی نتایج شبکه بندی شماره یک با آنتن 500 MHz Shielded..۲۸

۳-۱-۲- بررسی نتایج شبکه بندی شماره دو با آنتن 500 MHz Shielded ...۳۱

۳-۲- بررسی نتایج محدوده شماره دو ۳٦

۳-۲-۱- بررسی نتایج شبکه بندی با آنتن 500 MHz Shielded ۳٦

۳-۲-۲- بررسی نتایج پروفیلهای دو بعدی با آنتن 500 MHz Shielded.....۳۹

۳-۳- نتیجه گیری و پیشنهادات.....٤۸

تشکر و قدردانی.....٤۹

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

اکتشافات در زمینه آثار باستانی از مسایلی است که سازمان میراث فرهنگی به آن توجه و رسیدگی دارد. امروزه روشهای گسترده ژئوفیزیکی کمک زیادی به اکتشافات در این مقوله دارد، با مطالعه تاریخچه ای درمورد کاربرد روشهای ژئوفیزیکی در اکتشافات آثار باستانی میتوان به این مهم رسید.

یکی از جدیدترن روشهای ژئوفیزیکی که امروزه مورد توجه باستان شناسان دنیا قرار گرفته روش مطالعه رادار نفوذی زمین (GPR) میباشد، علت توجه باستان شناسان به این روش ژئوفیزیکی به خاطر غیر مخرب بودن آن در زمینه اکتشافات بوده و دوم اینکه نمایی از زیر سطح زمین را بصورت مونیتورینگ میدهد. در این زمینه گروه ژئوفیزیک سازمان زمین شناسی برای اولین بار با استفاده از دستگاه GPR اقدام به مطالعات باستانی واقع در شهر کرمان نموده است.

در پی درخواست گروه مطالعات باستان شناسی دانشگاه تهران در تاریخ ۸۷/۹/۱۱ اکیپ ژئوفیزیک سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور شامل نگارنده و آقایان مهندس علیرضا عامری سرپرست محترم گروه ژئوفیزیک، عباس باقری اسفندآبادی و حسین ایرانشاهی به شهر کرمان عزیمت کردند.پس از معرفی محوطه باستانی خواجه خضر- قبه سبز توسط اساتید گروه باستان شناسی دانشگاه تهران و کارشناسان باستانی مرکز کرمان و بازدید آن با توجه به شرایط امکان برداشت، مقرر گردید دو محدوده یکی در منزل آقای زکی زاده و دومی در منزل آقای رنگاور مورد پیمایشGPR قرارگیرد.

۱-۲- هدف از انجام مطالعات

هدف از انجام مطالعات ژئوفیزیک، بررسی وجود بی هنجاری های باستانی و تعیین محل ، اندازه و عمق آثار مدفون و بجا مانده از بقایای سازه های باستانی همچون دیوار و پی های سنگی وآجری ، سنگ فرش ها و همچنین فضای خالی مقبره ها و گورها میباشد،که با استفاده از روش رادار نفوذی زمین GPR در این دو محدوده برداشت صورت گرفت.

۱-۳- موقعیت جغرافیایی

محدوده های مورد مطالعه از سوی شمال به خیابان ابوحامد محدود میشود که قبل از احداث خیابان قسمتی از برج و باروها و خندق شهر به عمق ۴ و عرض ۱۰ متر در محل آن قرار داشته است. محله از سوی جنوب به خیابان شریعتی، از طرف مشرق به کوی قبه سبز و در قسمتهایی به خیابان شمالی جنوبی(چمران فعلی) و از طرف مغرب تا کوچه مویدی (خیابان عباس صباحی فعلی) امتداد دارد.

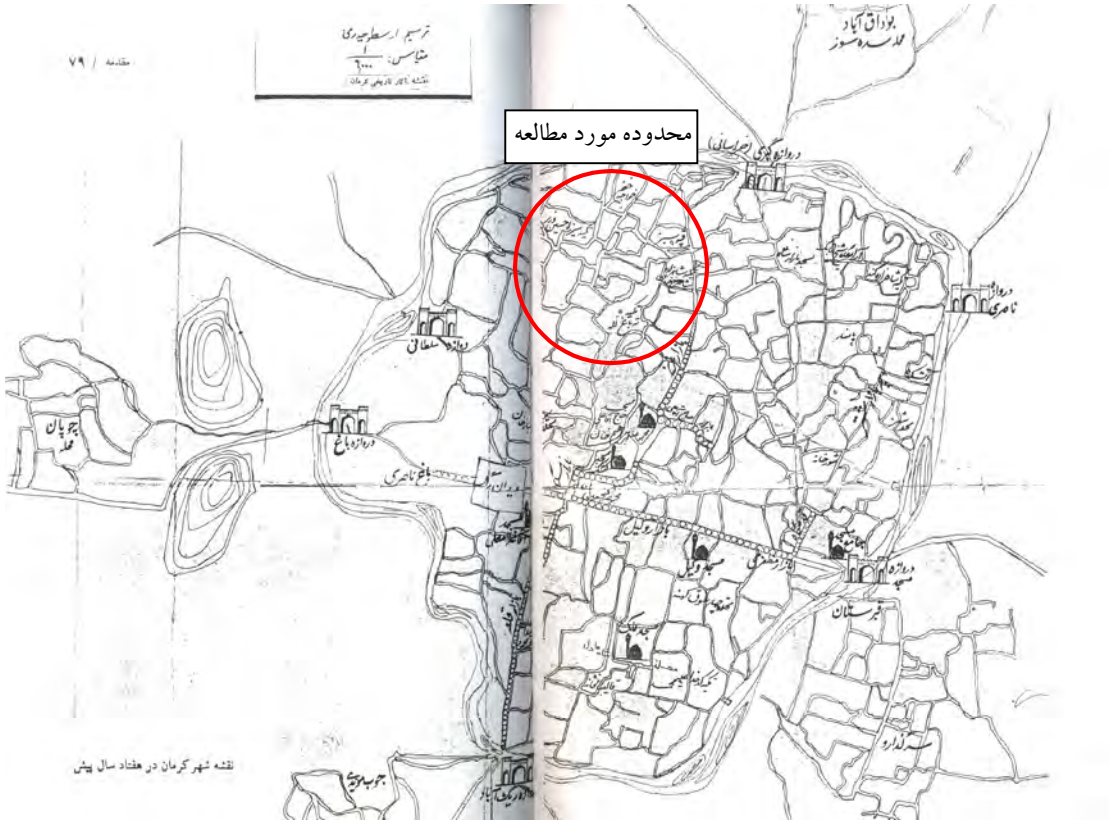
مختصات محدوده های مورد مطالعه در سیستم مختصات UTM با استاندارد WGS84 عبارت است از :

محدوده شماره یک(منزل آقای زکی زاده):

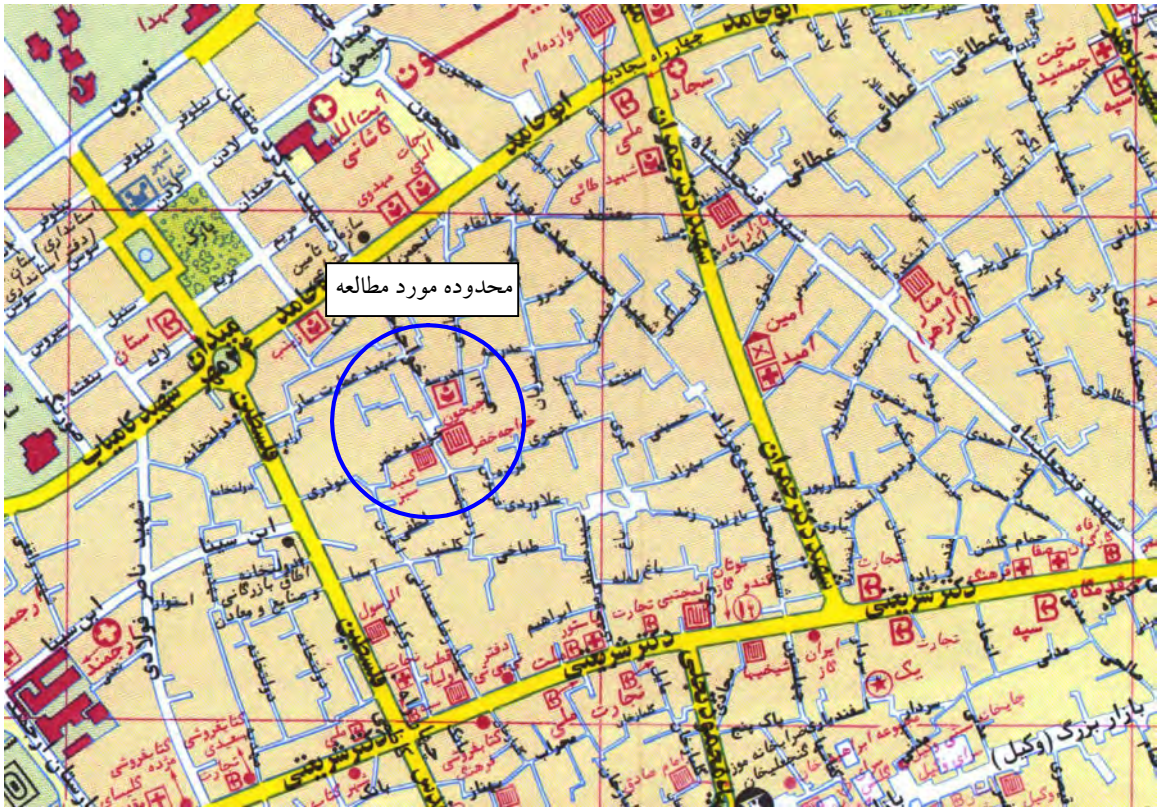
X=570433.5E Y=3017495N

محدوده شماره دو(منزل آقای رنگاور):

X=570 434.9E Y=3017501.1N



نقشه شماره ۱- نقشه محدوده مورد مطالعه بر روی نقشه آثار تاریخی کرمان مربوط به هفتاد سال پیش



نقشه شماره ۲- موقعیت محدوده مورد مطالعه بر روی نقشه شهری کرمان

تصویر زیر نمای جلویی قبه سبز را که منازل مسکونی روبروی آن قرار دارد نشان میدهد.

تصویر شماره ۱- نمای روبرویی قبه سبز و موقعیت منازلی که برداشت GPR در آن صورت گرفته

۱-٤- تاریخچه مطالعات تاریخی

سلسله قراختائیان از سال ۶۱۹ تا ۷۰۴ هجری قمری برابر با ۱۲۲۲ تا ۱۳۰۵ میلادی در حدود ۸۵ سال در محدوده کرمان امروزی حکومت کردند. براق حاجب بنیانگذار این سلسله پس از حدود ۱۳ سال حکومت در ۶۳۲ هجری قمری (۱۲۳۵ میلادی) در کرمان درگذشت. او در مدرسه خودکه خارج از شهر کرمان و در محله ترک آباد ساخته بود دفن گردید. امروزه باقی مانده های مدرسه با نام قبه سبز نامیده میشود.محله ترک آباد نیز شامل محله های "قبه سبز" ،"خواجه خضر" و "ته باغ لله" میشود.

آنچه تا قرن ۱۹ و ۲۰ میلادی از بنا باقی مانده شامل گنبدی دو پوش با ساقه ای مرتفع و دو گلدسته بلند بوده که به مرور زمان از بین رفته و در اثر وقوع زلزله ۱۸۹۶ میلادی و ۱۳۶۱ خورشیدی ویران میگردد،گنبد قبه سبز با ۱۷ متر ارتفاع کاملاً تخریب میشود. در حال حاضر جز قسمتی از یک ایوان چیزی از این مجموعه باقی نمانده است. به گفته افراد محلی سطح کف جلوی این ایوان به مقدار ۳ متر پایین تر از سطح فعلی بوده است ، در حفاری سال ۱۳۵۲ خورشیدی جلوی ایوان حدود ۱/۵ متر گودبرداری و چندین کف نمایان شد.به نظر حفار امکان دارد که در لایه های پایین تر نیز کف های دیگری به دست آید.

احداث فضای سبز در پشت بنای قبه سبز در سال ۱۳۴۷ خورشیدی انجام گرفت. محل این فضا قبلاً گودالی به عمق ۴ متر و مساحت ۱۰۰۰ متر مربع بود. در سال ۱۳۸۴ خورشیدی شهرداری اقدام به حفر ۴ چاه در محوطه پارک نمود که توسط سازمان میراث متوقف ماند.

در نزدیکی بنای قبه سبز مسجدی بنام خواجه خضر وجود دارد. به گفته یکی از مطلعین محل این مسجد نیز قسمتی از بنای مدرسه معروف ترکان خاتون را تشکیل داده است. وسعت مدرسه به حدی بوده است که قسمتی از محله خواجه خضر مسجد خواجه خضر و خانه های مجاور آن و قسمتی

از محله قبه سبز تا محل فعلی مقبره آقای خوشرو و کلیه مستغلات واقع در حد فاصل این دو محل را شامل شده است.

(دانشور- م،تاریخ مسجد و محله خواجه خضر- مرکز کرمان شناسی- کرمان ۱۳۵۷)

(TEN THOUSAND MILES IN PERSIA OR EIGHT YEARS IN IRAN . LONDON.1902)

فصل دوم

شرح مختصر از تئوری روش GPR

۲-۱- معرفی روش رادار نفوذی زمین

یکی از جدیدترین روشهای ژئوفیزیکی که امروزه کاربرد وسیعی در بسیاری از زمینه‌های کاوشهای زیر سطحی دارد، روش " رادار نفوذی زمین" میباشد. اصطلاح رایج بین المللی این روش به GPR معروف است که مخفف عبارت Ground Penetration Radar میباشد.

کلمه رادار نیز مخفف عبارت Radio Detection And Ranging می باشد. رادار دارای انواع مختلفی است.

مهمترین کاربرد GPR در موارد زیر است:

۱- مهندسی زمین شناسی و اکتشاف معادن

شناخت موقعیت حفره ها، قناتها، معادن، گسلها، تونلها و .....

۲- مطالعات باستانشناسی

شناخت موقعیت اجسام و بی هنجاری های مدفون.....

۳- محیط زیست

مخاطرات زمین شناسی مانند فرونشست در مناطق مسکونی و خطوط راه آهن، تعیین موقعیت زباله های خطر آفرین، تعیین سطح مخازن آبهای زیر زمینی

٤- مهندسی عمران

مکان یابی استقرار لوله ها، کابلهای زیر زمینی، رو سازی راههای آسفالتی وبتنی

در این روش امواج الکترو مغناطیسی با فرکانسهای مختلف به داخل زمین ارسال و بازتاب این امواج دریافت و مورد تحلیل قرار میگیرد.

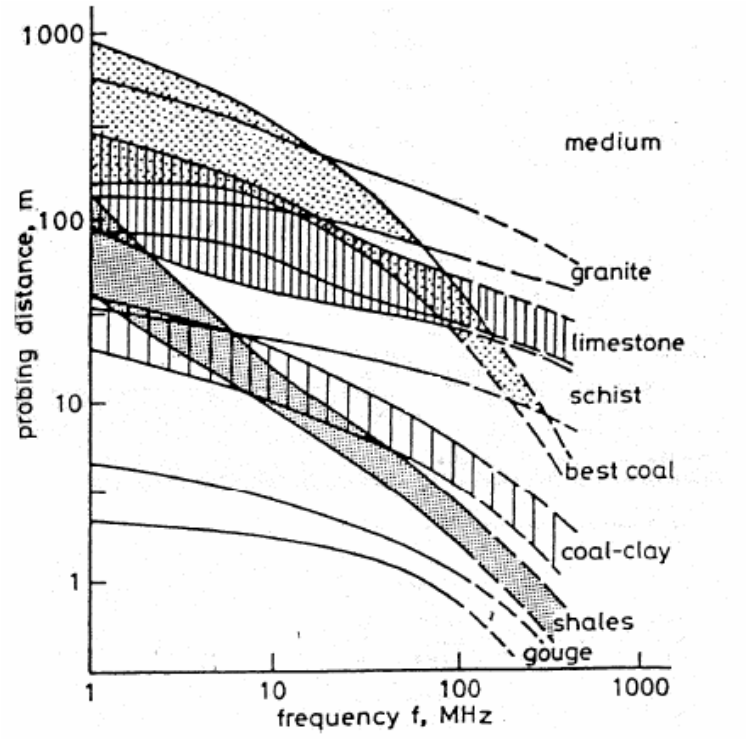
فرکانسهای مختلف توسط آنتنهای با فرکانس مرکزی مختلف تولید ، منتشر و دریافت میگردد. عمق نفوذ این امواج کم و بستگی به هدایت الکتریکی زمین و مقدار فرکانس مورد استفاده دارد. در حالت کلی هرچه هدایت الکتریکی زمین بیشتر باشد (مانند محیطهای شیلی و رسی) عمق نفوذ کمتر و هرچه هدایت الکتریکی زمین کمتر باشد، (مانند محیطهای آهکی و خشک) عمق نفوذ بیشتر میشود.همچنین هرچه فرکانس بالاتر باشد عمق نفوذ کمتر و هرچه فرکانس پایینتر باشد عمق نفوذ بیشتر است.

جدول شماره ۱ ماکزیمم عمق نفوذ امواج الکترومغناطیسی را بر حسب فرکانس آنتن مرکزی و ابعاد قابل شناسایی(رزولوشن) را برای محیطی که سرعت انتشار امواج الکترو مغناطیسی در آن حدود ۱۰۰ سانتیمتر بر نانوثانیه میباشد نشان میدهد.

Antenna centre frequency f_c [MHz]	Radial resolution @ c= 100 [m/μs] , $\lambda_c/4$ [cm]	Maximum penetration depth [m]
25	100	50
50	50	40
100	25	25
200	12.5	12
250	10	8
500	5	6
800	3	2.5
1000	2.5	1.5
1200	2.1	1
1600	1.6	0.5
2000	1.3	0.4

جدول شماره ۱

نمودار شماره ۱ نیز ارتباط عمق نفوذ امواج الکترومغناطیسی را با جنس ونوع سنگ نشان میدهد.



نمودار شماره ۱

زمانیکه پالس الکترومغناطیسی ساطع شده از آنتن ، به یک ناپیوستگی الکتریکی برخورد میکند بخشی از آن از فصل مشترک عبورکرده و بخشی بازتاب میشود ، این امر ناشی از تغییر امپدانس امواج الکترومغناطیس در فصل مشترک میباشد. مقدار انرژی بازتابی و عبوری و همچنین مقدار انرژی اتلافی بستگی به خواص الکتریکی مواد در دو طرف فصل مشترک دارد.اگر زمان رفت و برگشت موج الکترو مغناطیسی که ازآنتن فرستنده ساطع شده و بعد از انعکاس از توده بازتاب کننده به آنتن گیرنده باز میگردد را اندازه گیری کنیم میتوان عمق توده مورد نظر را تعیین کنیم. این امر در صورتی امکان پذیر است که سرعت پالس (موج الکترو مغناطیس) در محیط مشخص باشد.

آنتنهای GPR تنها یک پالس منفرد ساطع نمیکنند، بلکه آنها تعدادی پالس مشخص را در فواصل زمانی معین که معمولا بین ۲ تا ۵۰ میکرو ثانیه میباشد را ساطع میکنند.

نمونه برداری در روش GPR به فاصله زمانی بین دو پالس متوالی که به آن(Sample) گفته میشود مربوط است. به این فاصله زمانی (Sampling interval) اطلاق میشود.

از دیگر پارامترهای مهم در طراحی برداشتهای رادار علاوه بر فرکانس آنتن، پنجرهٔ زمانی، فواصل ایستگاهها، موقعیت پروفیلهای برداشتی، انتخاب فرکانس نمونه برداری(Sampling frequency) روی شکل موج ثبت شده است، این پارامتر توسط نظریه نایکویست (Nyquist) کنترل میشود.طبق این نظریه فرکانس نمونه برداری باید حداقل ۱۰ برابر فرکانس مرکزی آنتن مورد استفاده باشد.

$$f_s \geq 10 * f_c$$

۲-۲- تجهیزات GPR

شرکتهای گوناگونی مبادرت به ساخت اینگونه تجهیزات نموده اند. تجهیزات استفاده شده در این مطالعات از شرکت سوئدی MALA GEOSCIENCE AB خریداری شده است.

در این گزارش سعی شده علاوه بر توضیح کلی سیستم رادار نفوذی زمین ، از تجهیزات این شرکت که در انجام این مطالعات از آن استفاده شده است شرح داده شود.

سیستم رادار از سه بخش اصلی تشکیل شده است.

۱- مولد و دریافت کننده سیگنال که از یک فرستنده و یک گیرنده(آنتن) تشکیل شده است.

۲- بخش اصلی که به واحد کنترل (Control Unit) معروف است. این بخش اطلاعات دریافت شده از آنتنها را به نمایشگر انتقال میدهد.

۳- نمایشگر (Monitor) که میتواند یک دستگاه رایانه قابل حمل نیز باشد.

آنتنها (*Antena*)

بیشتر سیستمهای GPR از دو آنتن برای ارسال و دریافت امواج استفاده میکنند.ساده ترین آنتنها یک دوقطبی الکتریکی میباشد که از یک میله فلزی به قطر چند میلیمتر تا دو سانتیمتر ساخته شده است. معمولا این میله ها از جنس آلومینیوم بوده و دارای روکشی از جنس نیکل میباشند.طول آنتن به مشخصات پالس فرستنده و از همه مهمتر به دوره پالس یا پهنای پالس بستگی دارد.

آنتنها به دو دستهٔ اصلی تقسیم میشوند:

- آنتنهای پوشش دار که به Shielded معروفند.(تصویر شماره ۲)

-آنتنهای بدون پوشش که به Unshielded معروفند.(تصویر شماره ۳)

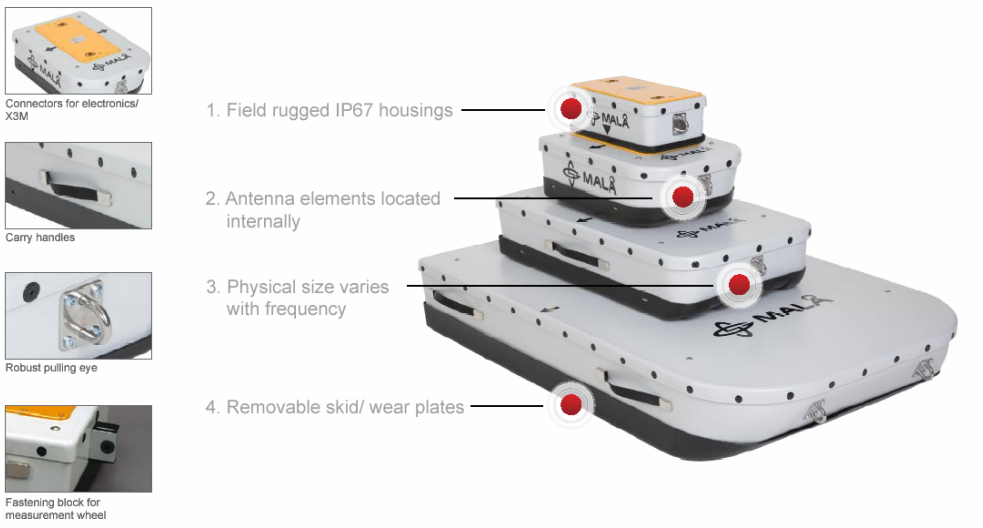
آنتنهای پوشش دار نسبت به آنتنهای بدون پوشش هم فرکانس از عمق نفوذ کمتری برخوردارند. اما اثر نویزهای اطراف بر روی آنها هنگام اندازه‌گیری،کمتر از آنتنهای بدون پوشش است.

استفاده ازآنتنهای بدون پوشش در محیطهای غیر شهری مناسبتر است و برعکس در محیطهای شهری استفاده از آنتنهای پوششدار توصیه میشود.در نتیجه ما برای نیل به اهداف خود در مطالعات باستان شناسی از آنتنهای پوشش دار استفاده کردیم.

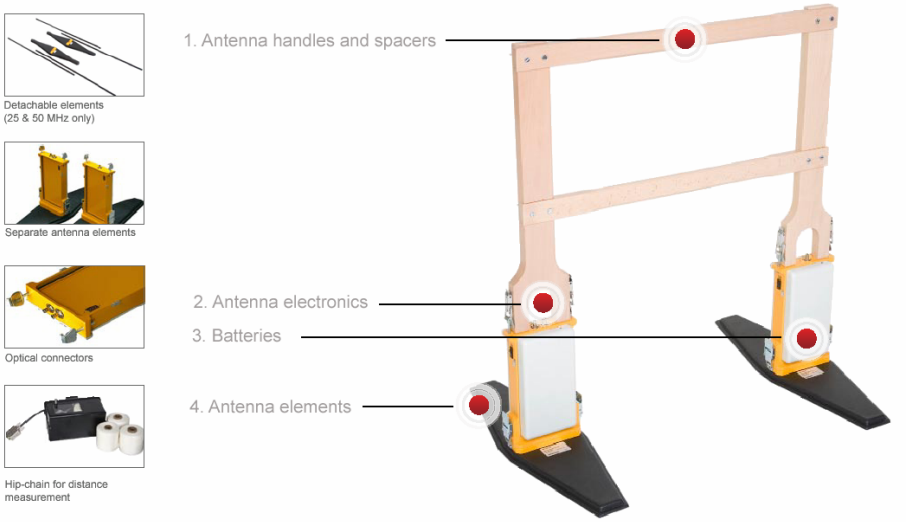
آنتنهایی که فرکانس بالا تولید میکنند ابعاد کوچکتری دارند و هرچه فرکانس تولیدی توسط آنتن کمتر میشود ابعاد بزرگتری پیدا میکنند. لذا معمولاً نمیتوان آنتنهای با فرکانس پایین را پوششدار کرد زیرا حمل و نقل و اندازه گیری با آن بسیار دشوار و گاه غیر ممکن میشود.

بازه فرکانسی آنتنهای پوشش دار معمولاً از ۲۴۰۰ مگاهرتز شروع و تا ۱۰۰ مگاهرتز ادامه دارد.

آنتنهای بدون پوشش از ۲۰۰ مگاهرتز شروع و تا ۲۵ مگاهرتز ادامه دارد.

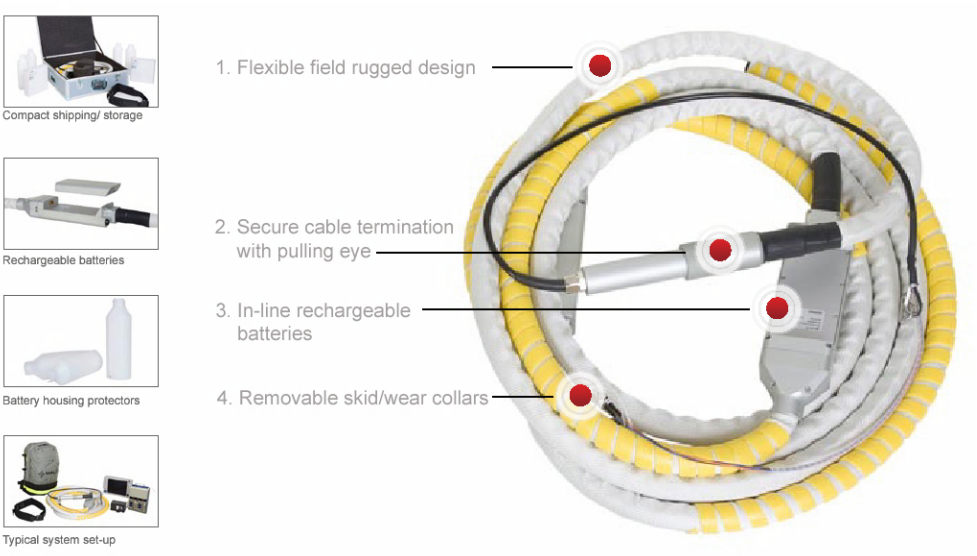


تصویر شماره ۲ : آنتنهای پوشش دار *Shielded*



تصویر شماره ۳ : آنتنهای بدون پوشش *Unshielded*

برای شرایط غیر هموار و به منظور مطالعات معدنی نوعی دیگر از آنتن طراحی و ساخته شده است که RTA نامیده میشود،(تصویر شماره ۴). در این آنتن بخش فرستنده و گیرنده با فاصله مشخص و توسط کابل نوری به هم متصل شده اند.



تصویر شماره ۴ :آنتنRTA

برد اصلی *(Main Unit)*

این بخش از GPR به عنوان جمع آوری کننده داده ها از آنتنها و انتقال آن به نمایشگر محسوب میشود. شرکت MALA GEOSCIENCE AB ابتدا سیستم اصلی به نامهای CUII را تولید نمود و اخیراً در سال ۲۰۰۸ میلادی ProEX را تولید نموده است . سیستم ProEX دارای برخی مزیتها از جمله سبکی و قابلیت اتصال چند آنتن بطور همزمان میباشد.(تصویر شماره ۶)

تصویر شماره ۵ : دستگاه اصلی مدل CUII

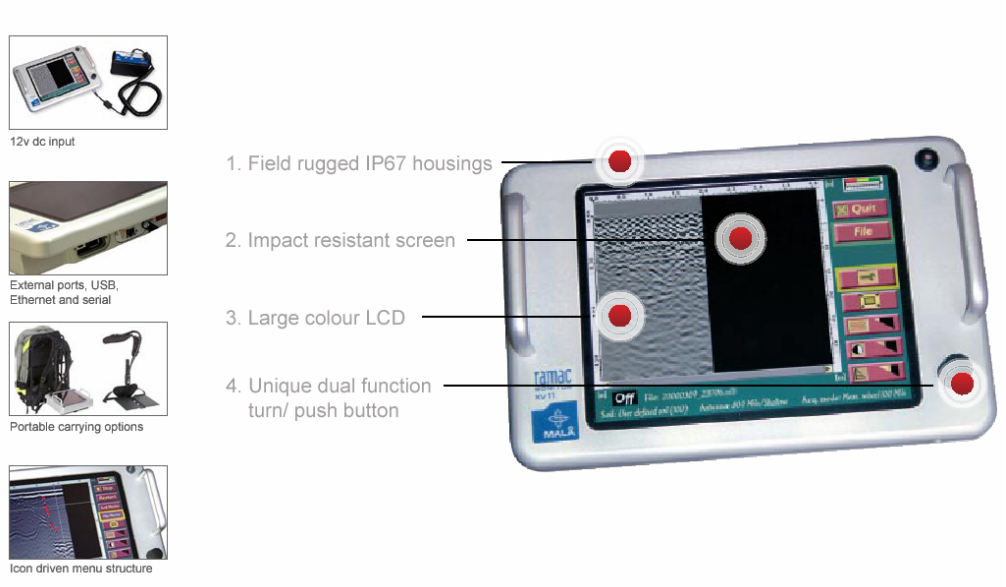
تصویر شماره ۶ : دستگاه اصلی مدل ProEX

نمایشگر (*Monitor*)

نمایشگر برای نمایش رادارگرامهای بدست آمده از بازتاب امواج الکترومغناطیسی بکار میرود. نمایشگر میتواند بصورت خاص برای این منظور طراحی شده باشد و یا از رایانه قابل حمل و نرم افزار مربوطه استفاده شود.

نمایشگر خاصی که برای این منظور طراحی و ساخته شده است RAMAC MONITOR XV (تصویر شماره ۷) ساخت شرکت سوئدی MALAGEOSCIENCE AB میباشد.کار با این نمایشگر به مراتب راحتتر و سبکتر از رایانه قابل حمل میباشد.

از برخی امکانات این نمایشگر میتوان به اتصال به GPS ، دارای ۲۵۶ مگابایت حافظه داخلی برای ضبط اطلاعات ، قابلیت اتصال کارت حافظه برای انتقال اطلاعات ذخیره شده و انجام برخی پردازشهای اولیه هنگام برداشتهای صحرائی اشاره نمود.



تصویر شماره ۷ : نمایشی از نمایشگر Ramac Monitor XV

۲-۳- نحوه اجرای برداشتها

بطورکلی برداشت های GPR از طریق پروفیل زنی پیوسته بصورت تهیه مقاطع دو بعدی از رادارگرام و شبکه بندی(گرید بندی) انجام گرفت.در این برداشتها آنتنها روی زمین و بر روی پروفیلهای خطی یا شبکه مورد نظر عبور داده میشوند.

همانطورکه در فصل اول گفته شد برداشتها در دو محدوده صورت گرفت. محـــدوده شماره یک (منزل آقای زکی زاده) پیمایش با اجرای دو شبکه(گرید بندی) و یک برداشت دو بعدی بر روی یکی از خطها و در محدوده شماره دو(منزل آقای رنگاور) پیمایش با اجرای یک شبکه و چندین برداشت دو بعدی انجام گرفت. حال نحوه برداشت هریک از آنها را بطور جداگانه توضیح میدهیم.

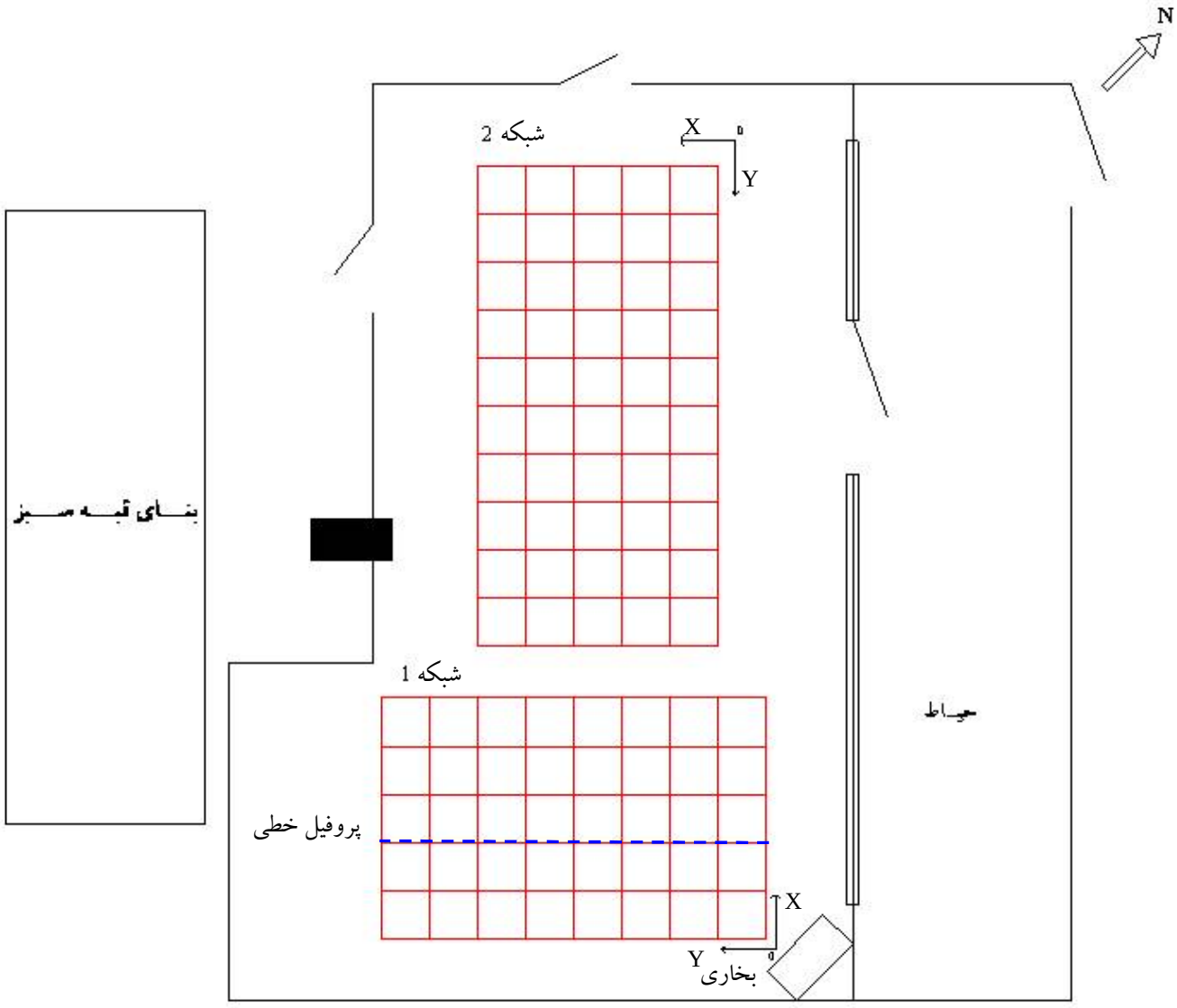
الف- محدوده شماره یک(منزل آقای زکی زاده)

همانطورکه در پلان شماره۱ مشخص است این محدوده با دو شبکه مورد پیمایش قرار گرفت.

شبکه شماره یک :

محور y آن در راستای دیوار،جنوب شرقی اتاق نشیمن و عمود بر سردر بنـای قبه سبز و محور x آن موازی با سردر قبه سبز در ابعاد ۲/۵× ۴ متر، فاصله خطوط نیم متر جمعاً با ۱۵ پروفیل اجرا گردید. محل ابتدای برداشت (صفر شبکه) در شرق اتاق نشیمن نزدیک بخاری که نمای آن در گوشه پلان نشان داده شده است، میباشد.تمام برداشتها با آنتن پوشش دار ۵۰۰ مگا هرتز و با توجه به جنس زمین عمق نفوذ تا حدود ۴/۵ متری خواهد بود.

علاوه برآن بر روی یکی از خطوط هم جهت با محور y که موقعیت آن با خط چین آبی رنگ در شبکه شماره یک(پلان شماره یک) نشان داده شده است، بطور جداگانه پیمایش خطی دو بعدی با آنتن ۵۰۰ مگا هرتز انجام شد.



پلان شماره ۱ – موقعیت شبکه بندی در محدوده شماره یک

لازم به ذکراست که شبکه بندی با متر،توسط طناب و چسب روی فرش صورت گرفت.

تصویر شماره ۸ – اندازه گیری بین خطوط شبکه شماره یک به فاصله نیم متر

تصویر شماره ۹- اندازه گیری در شبکه شماره یک از روی صفر شبکه

تصویر شماره ۱۰- برداشت شبکه با آنتن ۵۰۰ مگا هرتز پوشش دار در شبکه شماره یک

استفاده از پروفیلهای خطی بصورت دو بعدی نیز میتواند علاوه بر تائید نتایج حاصل از شبکه بندی بر دقت مطالعات افزوده و تفسیر را دقیقتر نماید.

شبکه شماره دو :

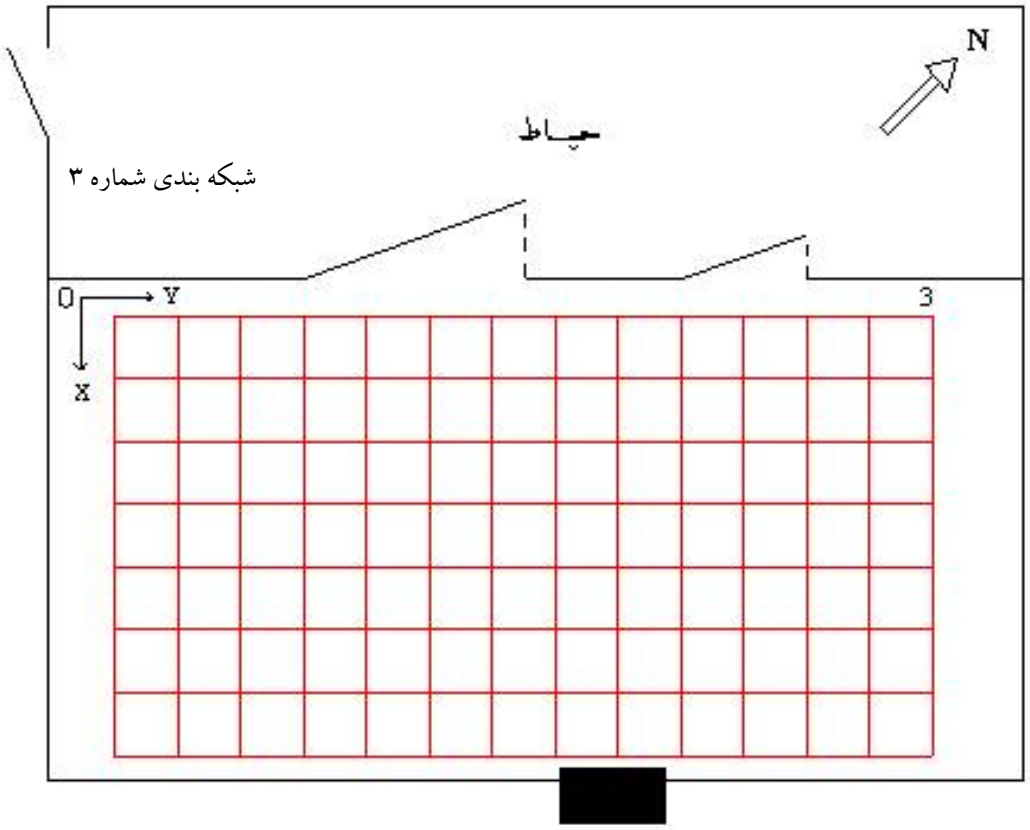
همانطور که در پلان شماره یک دیده میشود محور Y این شبکه موازی با سردر بنای قبه سبز و محور X آن عمود با دیوار غربی اتاق در ابعادی به وسعت ۵×۲/۵ متر با فاصله خطوط نیم متر جمعاً با ۱۷ پروفیل اجرا گردید. برداشت ها با آنتن پوشش دار ۵۰۰ مگا هرتز صورت گرفته است.

تصویر شماره ۱۱- تصویر شبکه شماره ۲

تصویر شماره ۱۲- تصویر اندازه گیری با آنتن ۵۰۰ مگا هرتز روی شبکه شماره ۲

ب - محدوده شماره دو(منزل آقای رنگاور)

همانطورکه در پلان شماره ۲ مشاهده میشود این شبکه بندی در ابعادی به وسعت ۳/۵× ۶/۵ متر و با فاصله بین خطوط شبکه ای نیم متر جمعاً با ۲۲ پروفیل مورد پیمایش قرار گرفت. برداشت با آنتن پوشش دار ۵۰۰ مگا هرتز صورت گرفته است.



پلان شماره ۲ – موقعیت شبکه بندی در محدوده شماره ۲

مستطیل سیاه رنگ نمای شماتیک از یک درب چوبی در دیوار است که تقریباً یک متر طول آن و تقریباًدر ۲ متری از انتهای شبکه قرار دارد.

تصویر شماره ۱۳- برداشت در جهت y در محدوده شماره ۱ با آنتن ۵۰۰ مگا هرتز

تصویر شماره ۱۴- برداشت در جهت x در محدوده شماره ۲ با آنتن ۵۰۰ مگا هرتز

۲-٤- نحوه انجام پردازش داده ها

یکی از بزرگترین محاسن استفاده از روش GPR سرعت عمل بالای آن در برداشت داده هاست. همزمان با حرکت اپراتورداده ها جمع آوری شده بر روی نمایشگر نمایش داده میشود. به عبارت دیگر میتوان تصور نمودکه در حال تصویر برداری از لایه های زیر سطحی هستیم. برخی پدیده‌ها مانند اجسام هادی موجب ظهور نوع خاصی از امواج برگشتی میشوند که معمولاً بصورت هذلولی بر روی نمایشگر قابل تشخیص است.

در این بین تجربه اپراتور میتواند نقش به سزائی در تفسیر اولیه داشته باشد. باید توجه داشت اثرات جانبی نظیر سیمهای برق، در و پنجره آهنی و حتی وجود بخاری و اثر تلفن همراه و بطور کلی پدیده های مصنوعی اطراف میتواند باعث برهم خوردی غیر عادی امواج دریافتی گرددکه به نویز معروف هستند.

از مزیتهای استفاده از آنتنهای پوششدار جلوگیری از نویزهای جانبی است. آنتنهای بدون پوشش از قدرت تفکیک و قدرت ارسال موج و درنتیجه عمق نفوذ بیشتری برخوردارند اما نسبت به نویزهای محیط بسیار حساستر از آنتنهای پوششدار هستند.

در برداشتهای پروفیلی حذف نویزها در مرحله اول میتواند بر روی نمایشگر انجام شود و یا اگر از رایانه قابل حمل بجای نمایشگر استفاده میشود از نرم افزار Ground vision برای این منظور استفاده میشود.

تمامی داده ها پس از انتقال به رایانه توسط یکی دیگر از نرم‌افزارهای اصلی GPR به نام Rad Explorer مورد پردازش قرار میگیرد. توسط این نرم افزار ابتدا رادارگرامها با استفاده از انواع فیلترها ازجمله فیلترهای بالاگذر ، پایین گذر ، و میان گذر و تعداد زیادی از سایر فیلترها متناسب با

اهداف مورد نظر مورد پردازش قرار میگیرند. بسیاری از رادارگرامها بدون اعمال اینگونه فیلترها بسیار نامشخص و غیر قابل تفسیر هستند.

پس از اعمال فیلترهای لازم بر روی رادارگرامها میتوان اقدام به مدل سازی و تعیین عمق نمود.

در این گزارش از نرم افزارEASY3D جهت پردازش و مدل سازی شبکه ها ونرم افزار Rad Explorer برای پردازش و تفسیر پروفیل های دوبعدی جهت تهیه مقاطع رادارگرام استفاده شده است. نرم افزار EASY3D قابلیت این را دارد که نمای زیر زمین را در ۴ مدل بدهد،که Front View, Side View, Top View, MainView است،که Main View در واقع دید اصلی در حالت سه بعدی مکعبی است.

فصل سوم

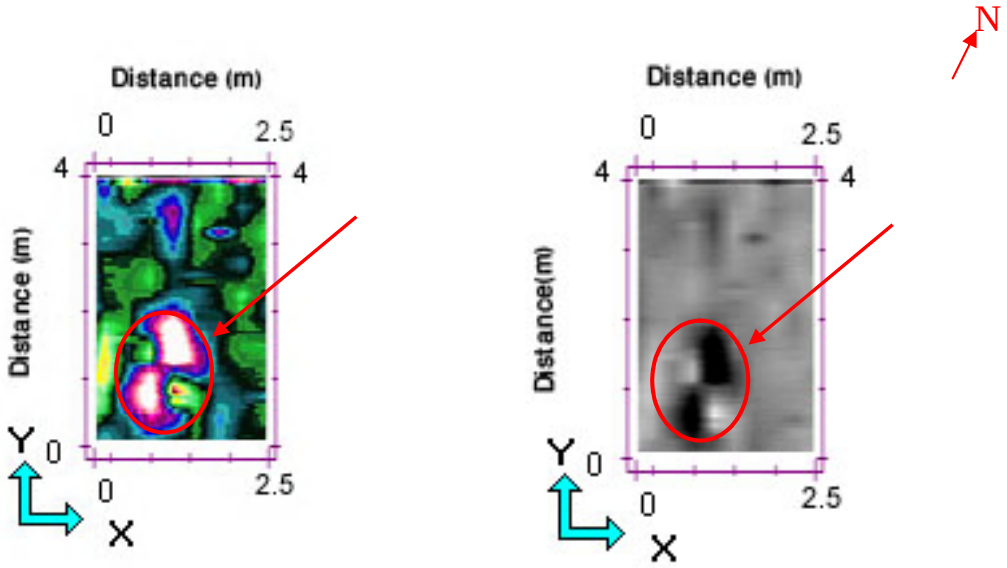
بررسی نتایج

۳-۱- بررسی نتایج محدوده شماره یک

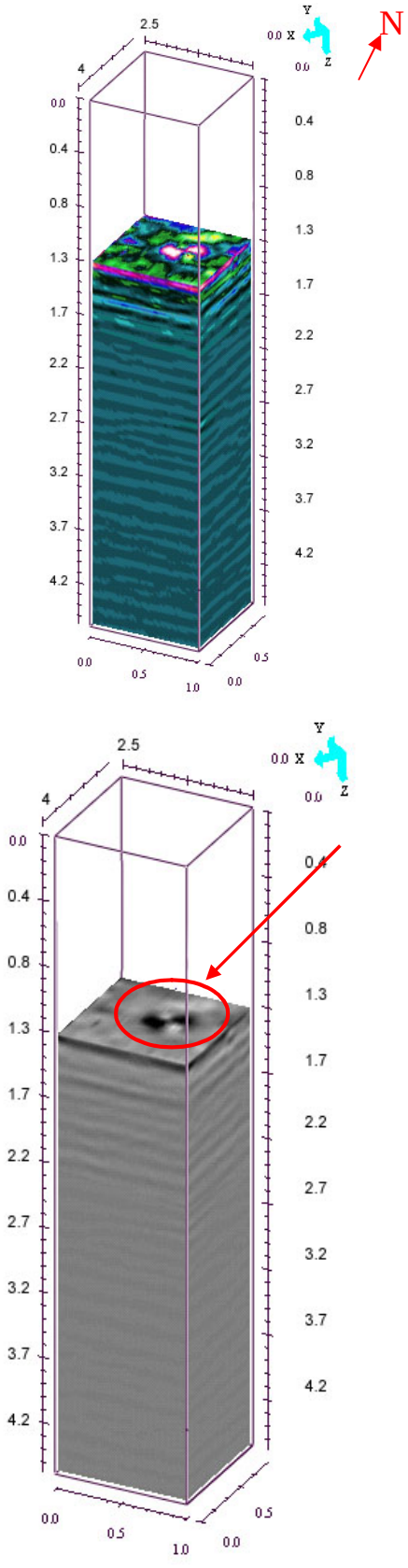
۳-۱-۱- بررسی نتایج شبکه بندی شماره یک با آنتن 500 MHz Shielded

همانطور که گفته شد این شبکه بطول ۲/۵ متر وعرض۴ متر است .

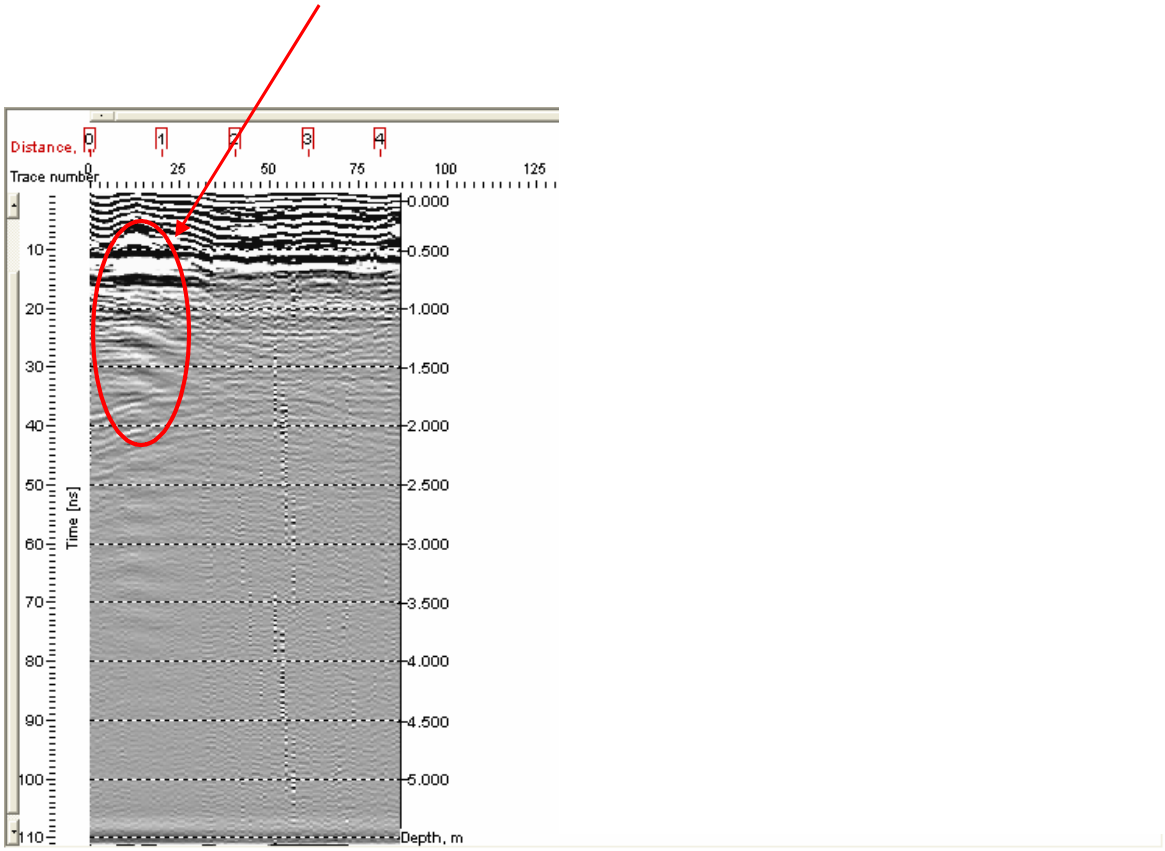
با توجه به نقشه های شماره ۳ و ۴ و مقطع رادارگرام شماره یک، بی هنجاری درعمق حدود ۱/۵ متری در نزدیکی صفر شبکه مشاهد میشود، بی هنجاری در نقشه ها با دایره قرمز نشان داده شده است. موقعیت بی هنجاری تقریباً در یک متری از طول و عرض شبکه وجود دارد.وجود هذلولی در مقطع رادارگرام شماره یک که بر روی خط شماره دو برداشت شده تائیدی است بر صحت وجود بی هنجاری در طول تقریباً یک و عمق تقریبی ۱/۵ متری.



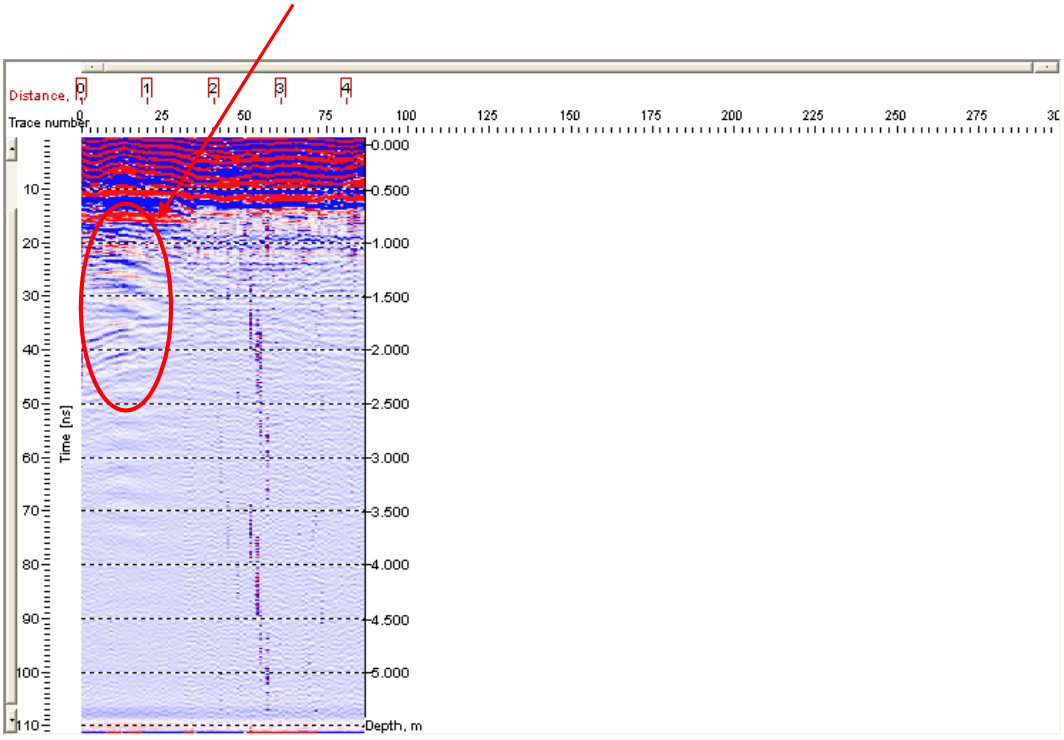
نقشه شماره ۳- تصویر Top View از محدوده شماره یک در نرم افزار EASY 3D به صورت رنگی و سیاه و سفید



نقشه شماره ۴- تصویر Main View از محدوده شماره یک در نرم افزار EASY 3D به صورت رنگی و سیاه و سفید



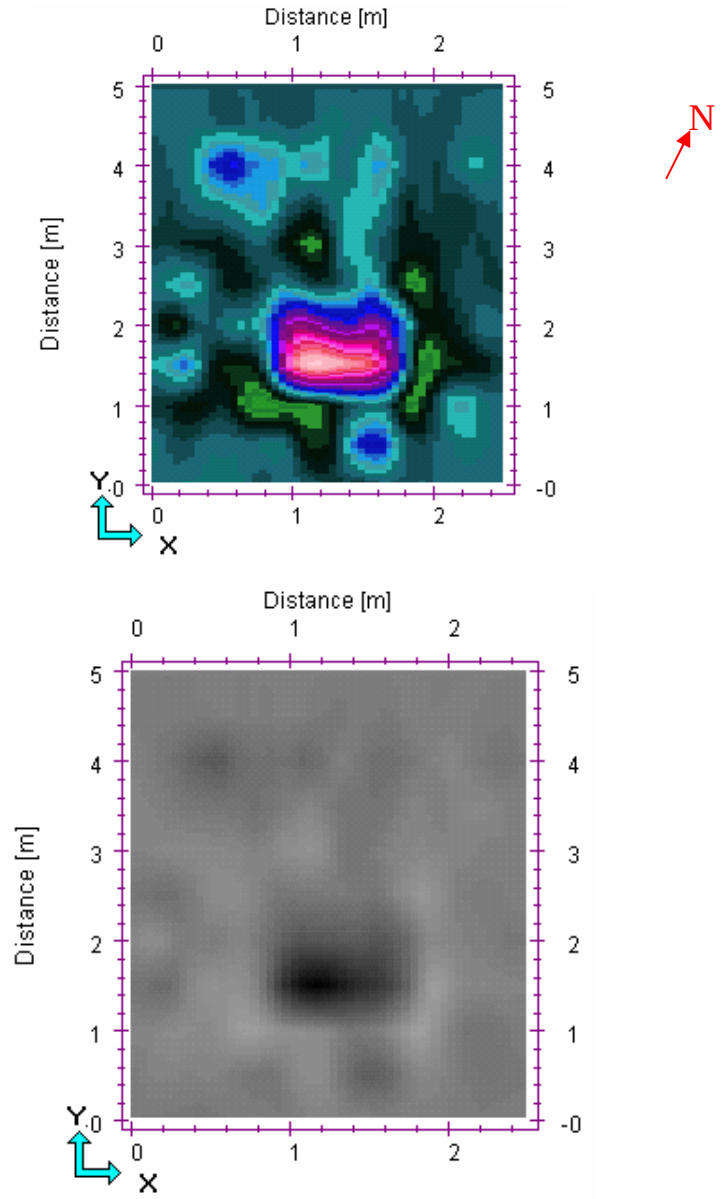
مقطع رادارگرام شماره ۱- نمایی از پیمایش دوبعدی بر روی خط شماره دو مربوط به شبکه شماره یک در نرم افزار Rad Explorer که عمود بر بنای قبه سبز و موازی با دیوار با آنتن ۵۰۰ مگا هرتز پوششدار برداشت شده



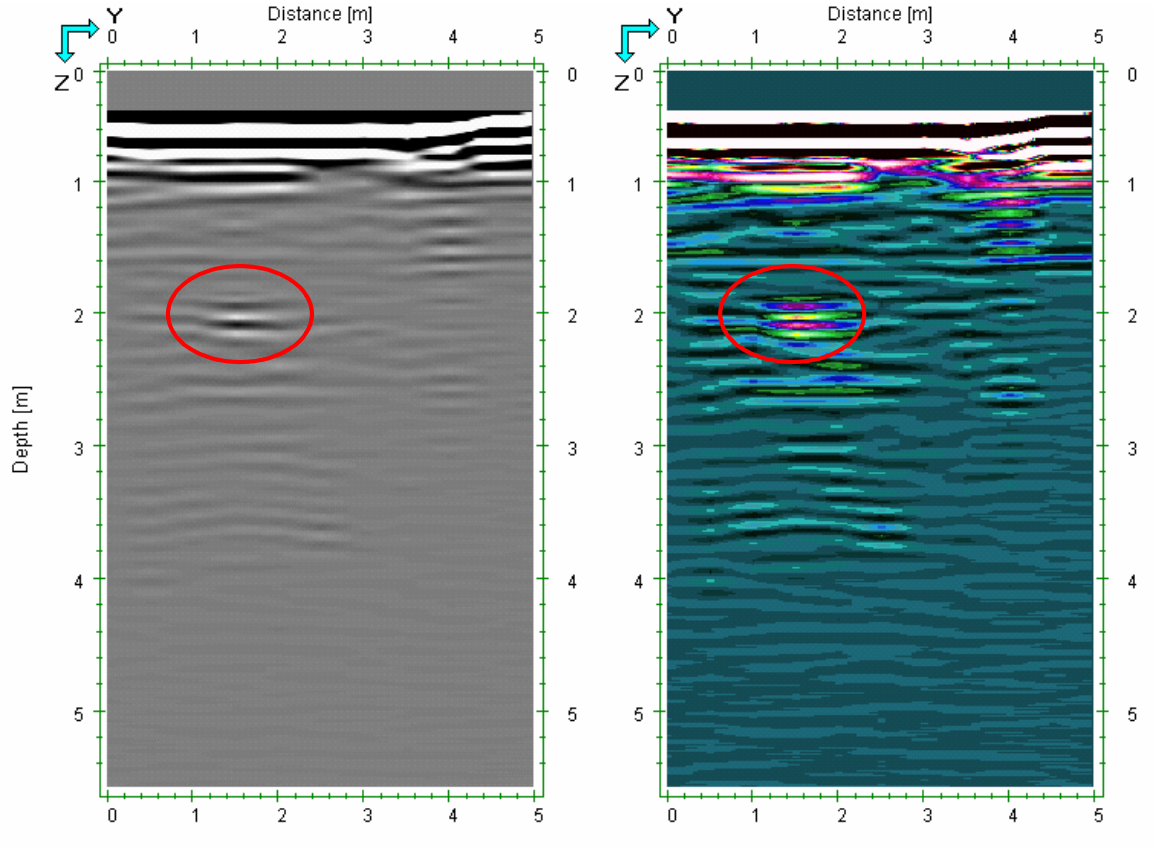
۳-۱-۲- بررسی نتایج شبکه بندی شماره دو با آنتن 500 MHz Shielded

همانطورکه گفته شد طول این شبکه ۵ متر و عرض آن ۲/۵ متر است.

با توجه به نقشه های شماره ۵ تا ۸ که در حالت های مختلف در نرم افزار EASY3D تهیه شده است یک بی هنجاری که با دایره قرمز نشان داده شده است. در حد فاصل یک متری نسبت به صفر شبکه در ابعادی به وسعت ۱/۲۰×۱/۲۰ متر مشاهده می شود.

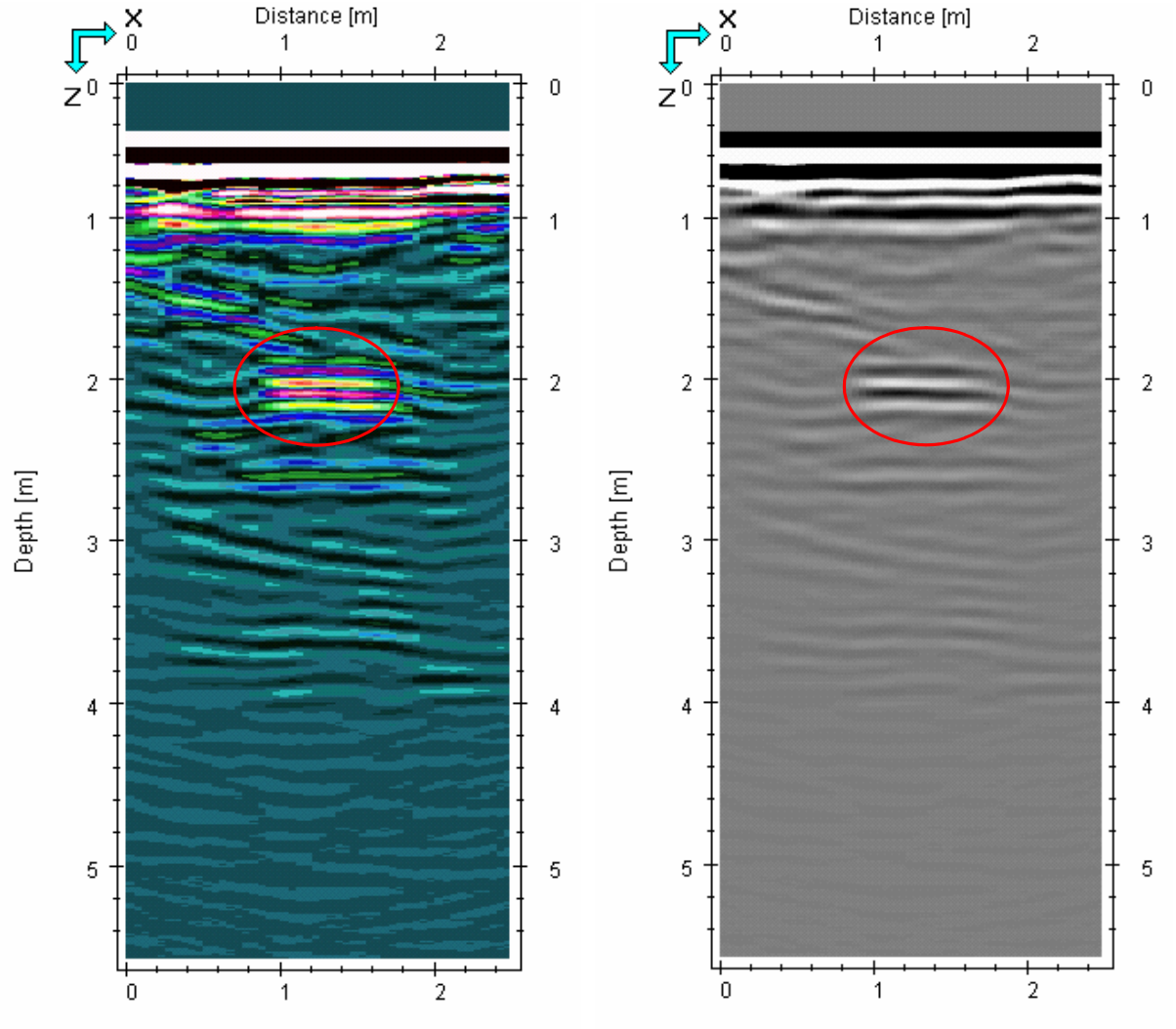


نقشه شماره ۵- تصویر Top View از شبکه بندی شماره دو در نرم افزار EASY 3D به صورت رنگی و سیاه و سفید

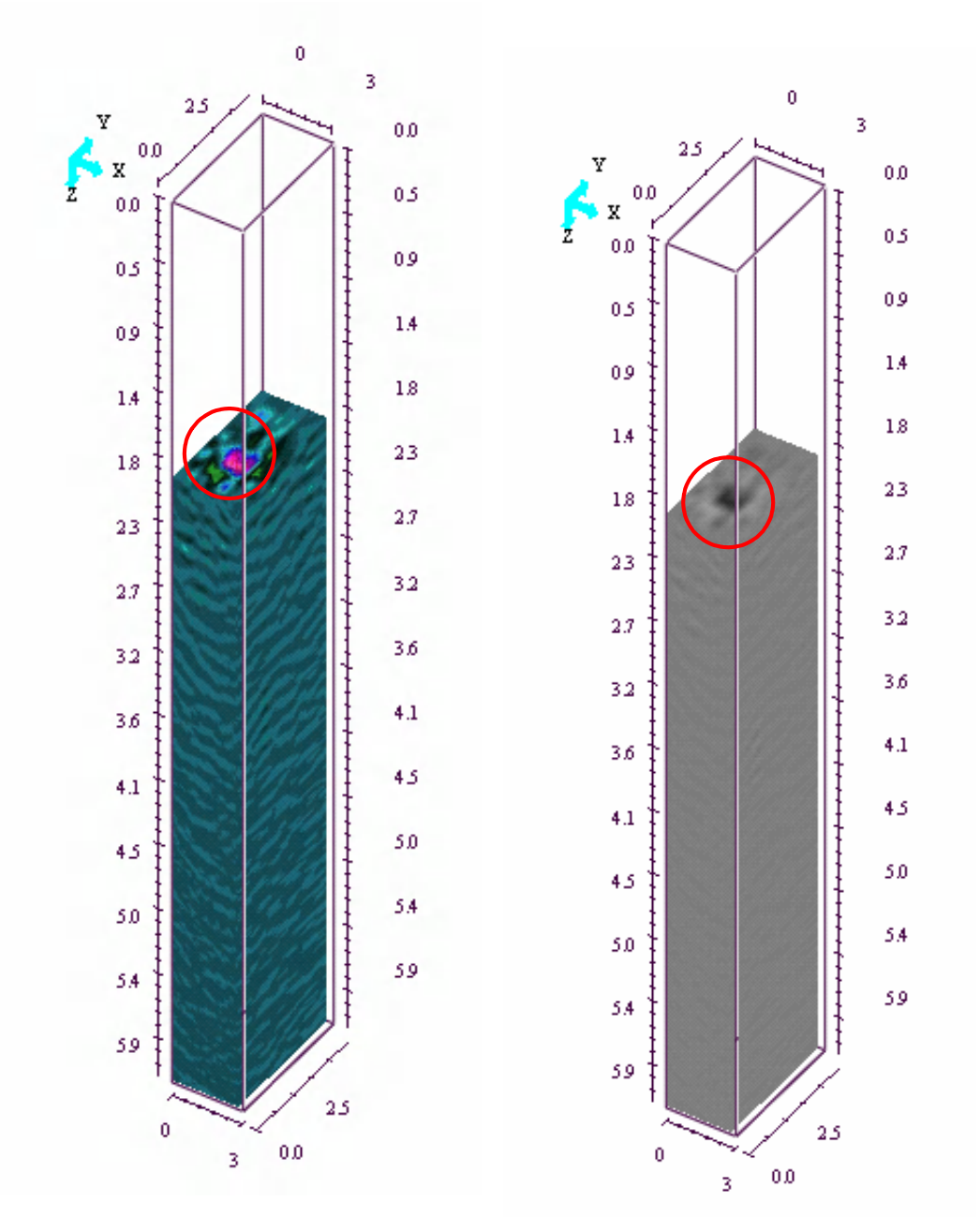


نقشه شماره ۶- تصویر Side View از شبکه بندی شماره دو در نرم افزار EASY 3D به صورت رنگی و سیاه و سفید

نقشه شماره ۶ نمایی از مقطع کناری میباشد که وجود بی هنجاری را در عمق تقریباً ۲ متری نشان میدهد.



نقشه شماره ۷- تصویر Front View از شبکه بندی شماره دو در نرم افزار EASY 3D به صورت رنگی و سیاه و سفید



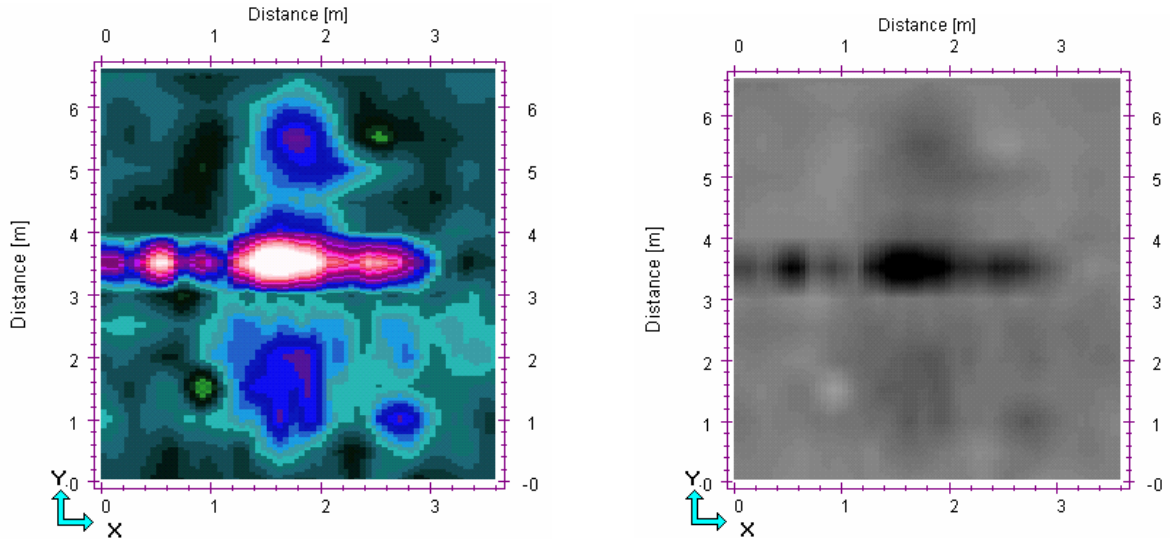
نقشه شماره ۸- تصویر Main View ازشبکه بندی شماره دو در نرم افزار EASY 3D به صورت رنگی و سیاه و سفید

تصویر شماره ۱۵- نمایی از وجود بی هنجاری در عمق ۱/۸۸ متری در شبکه بندی شماره ۲ در صفحه نمایشگر(مونیتور)

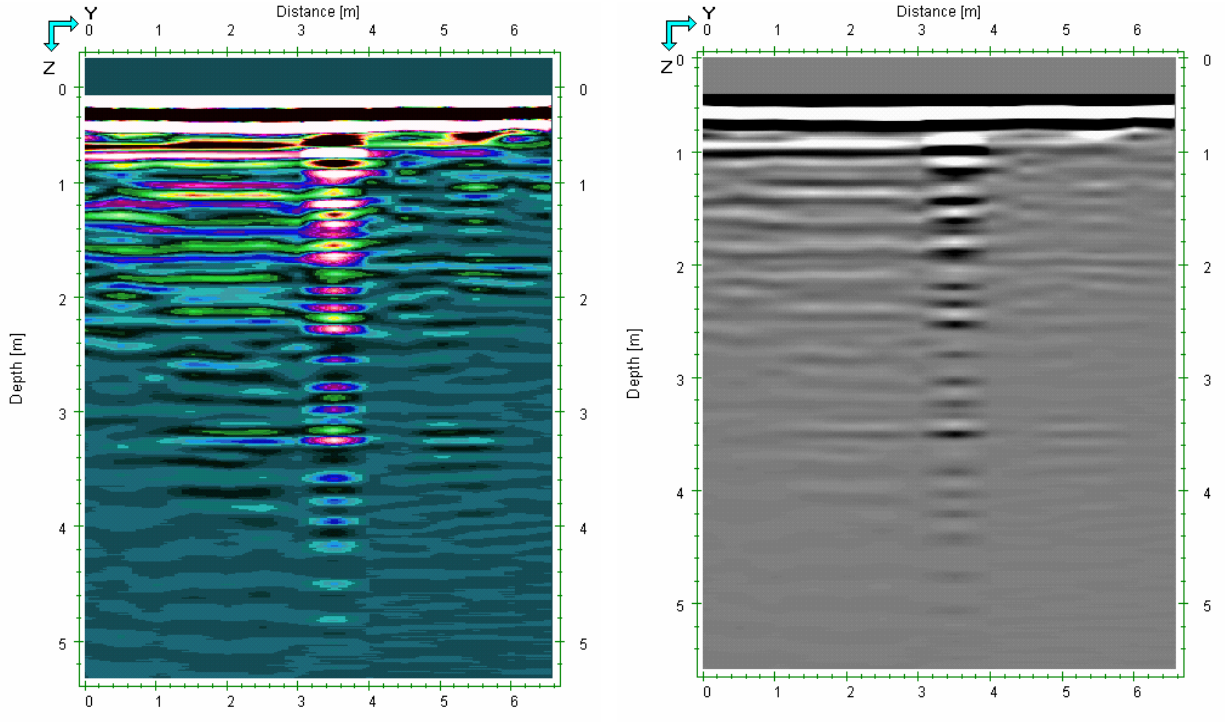
۳-۲- بررسی نتایج محدوده شماره دو

۳-۲-۱- بررسی نتایج شبکه بندی با آنتن 500 MHz Shielded

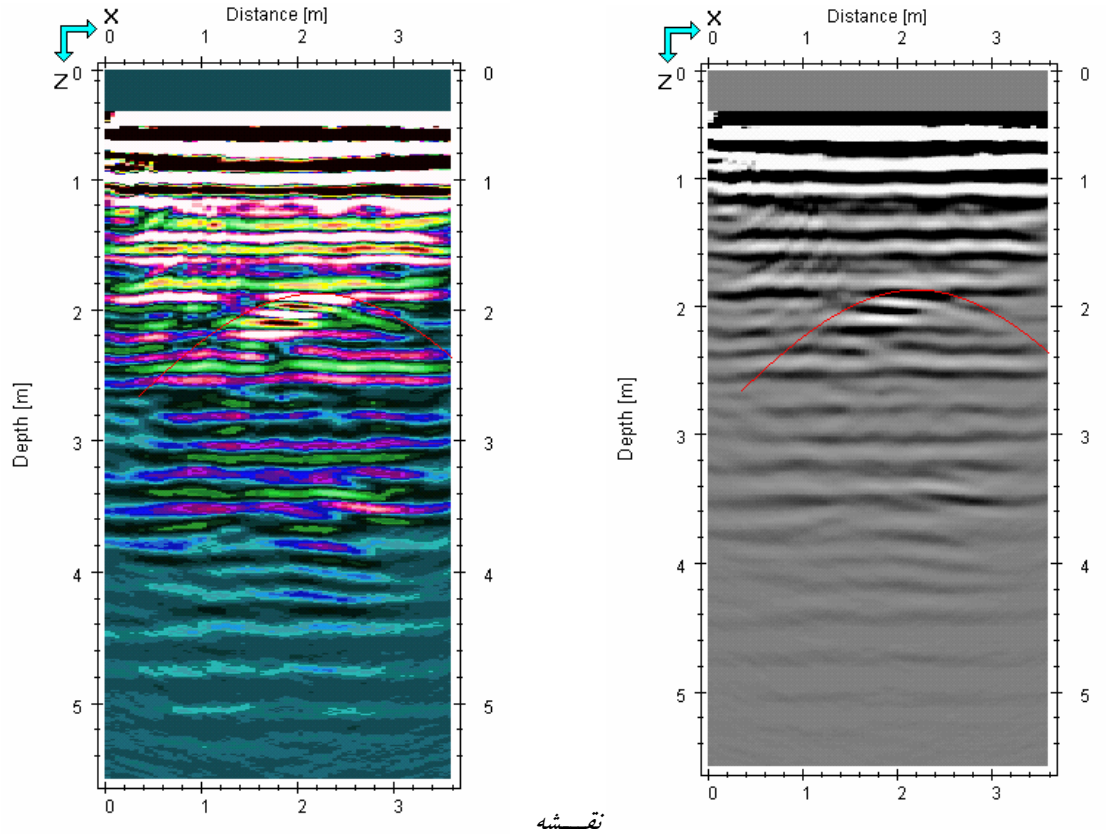
همانطورکه گفته شد این شبکه بطول ۳/۵ و عرض ۶/۵ متر است، با توجه به نقشه های شماره ۹ تا ۱۲ که تصویر آنها در حالتهای مختلف تهیه شده است بر روی محور y=0 بی هنجاری بین ایستگاه ۳ و۴ شروع و موازی با محور x ها تا ایستگاه ۳ محور x ادامه دارد،که شدت آن در مرکز بیشتر می شود و عمق آن از ۲ تا ۳/۵ متری گسترش دارد. البته در دو طرف این بی هنجاری ما شاهد بی هنجاری با شدت ضعیفتر هستیم.



نقشه شماره ۹- تصویر Top View از شبکه بندی شماره سه در نرم افزار EASY 3D به صورت رنگی و سیاه و سفید

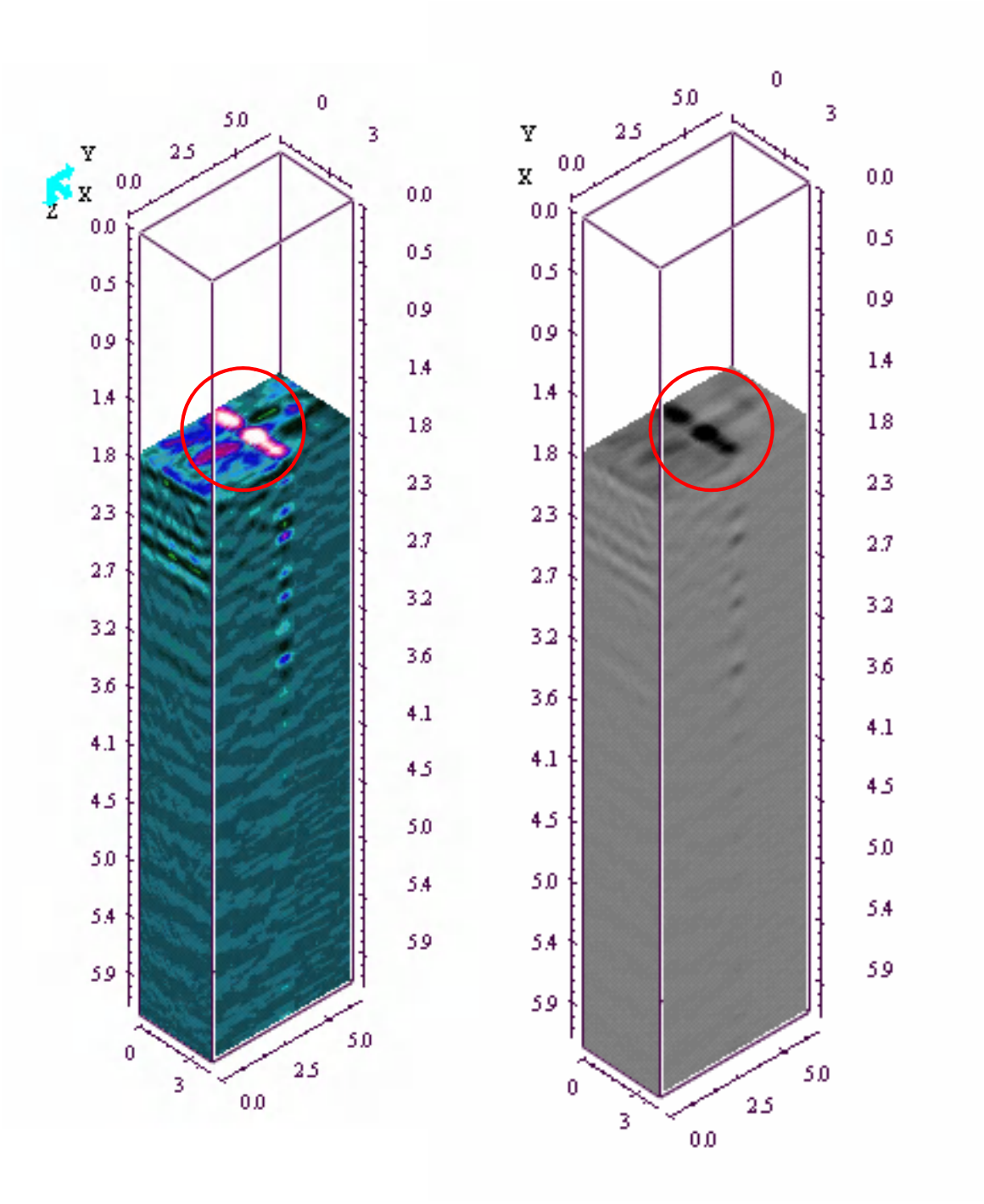


نقشه شماره ۱۰- تصویر Side View از شبکه بندی شماره سه در نرم افزار EASY 3D به صورت رنگی و سیاه و سفید



نقشه

شماره ۱۱- تصویر Front View از شبکه بندی شماره سه در نرم افزار EASY 3D به صورت رنگی و سیاه و سفید

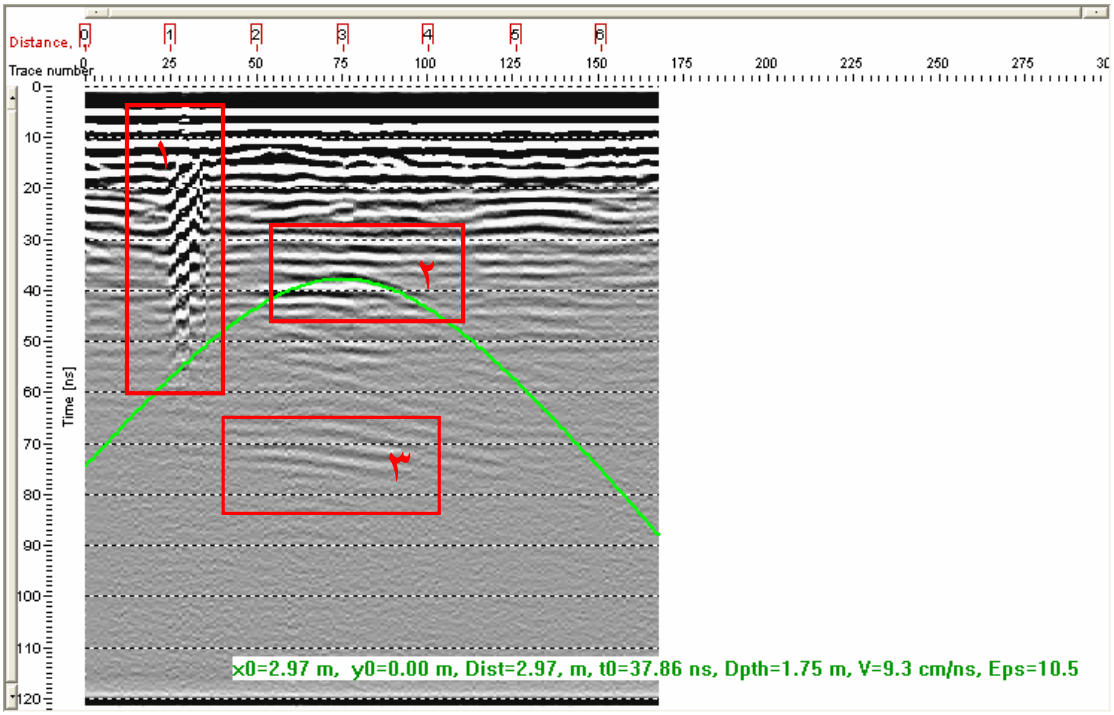


نقشه شماره ۱۲- تصویر Main View از شبکه بندی شماره سه در نرم افزار EASY 3D به صورت رنگی و سیاه و سفید

همانطورکه در کلیه مدل ها ملاحظه می نمایید بیهنجاری در عمق حدوداً دو متری دیده میشود که در مدل سازی سه بعدی اثر آن تا ۳/۵ متری هم ادامه دارد.

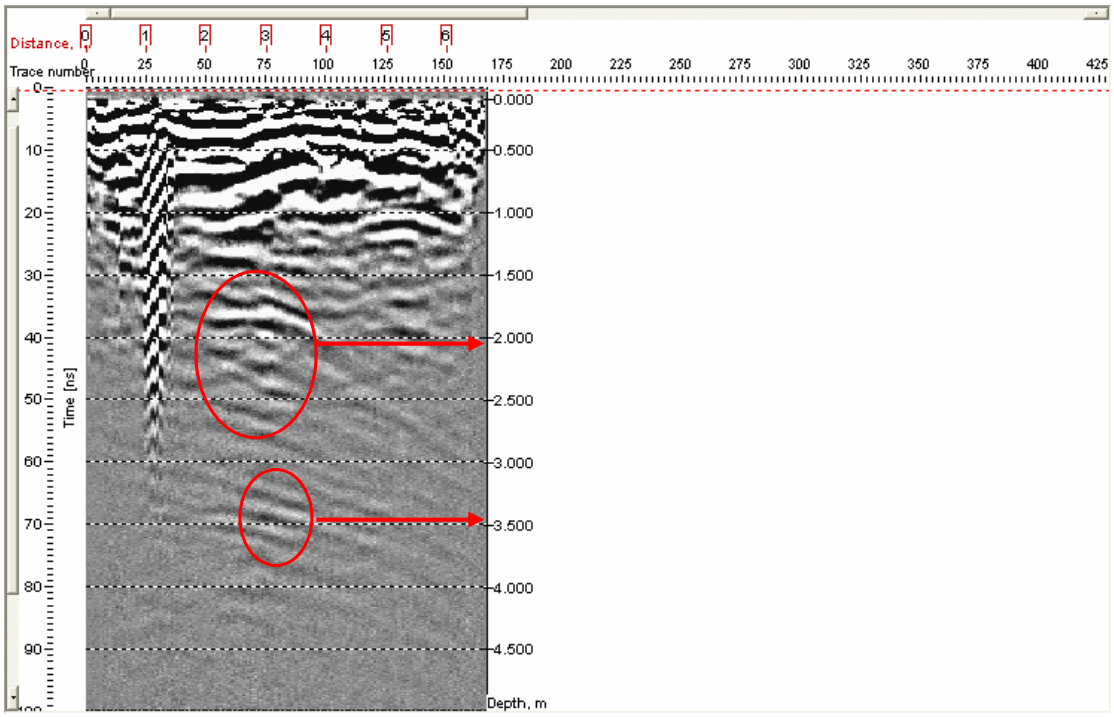
۳-۲-۲- بررسی نتایج پروفیلهای دو بعدی با آنتن 500 MHz Shielded

در محدوده شماره دو چندین برداشت نیز بصورت خطی انجام شد که مقاطع رادارگرام آن را که در نرم افزار Rad Explorer رسم شده ملاحظه میفرمایید.

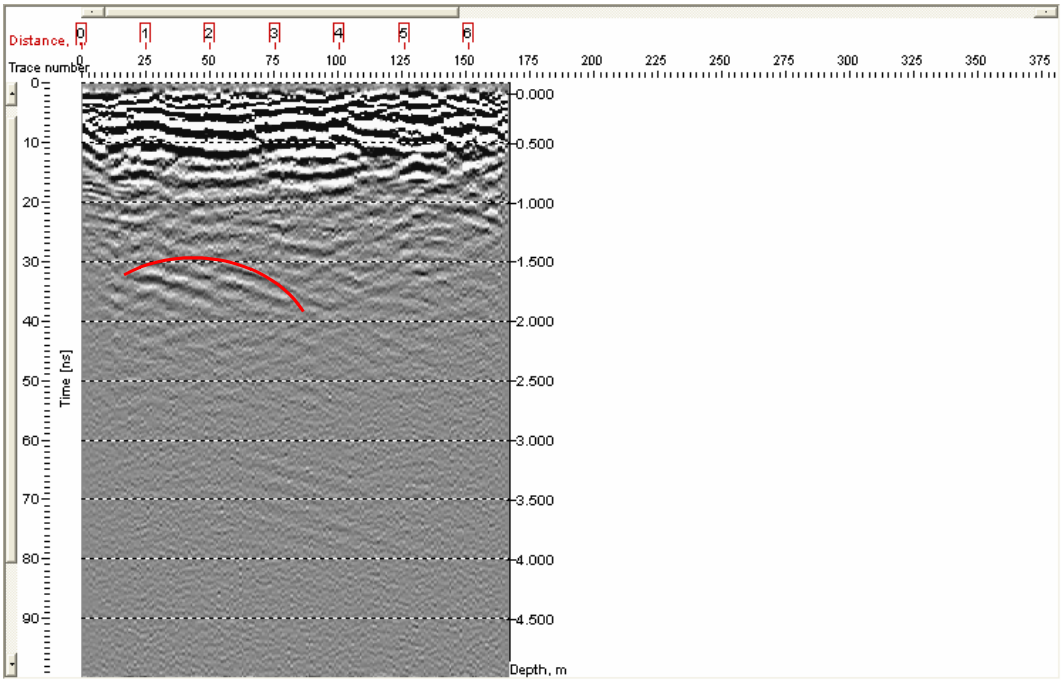


مقطع رادارگرام شماره ۲- پیمایش خطی بر روی خط شماره یک در جهت y با بزرگنمایی ۲/۵ برابر

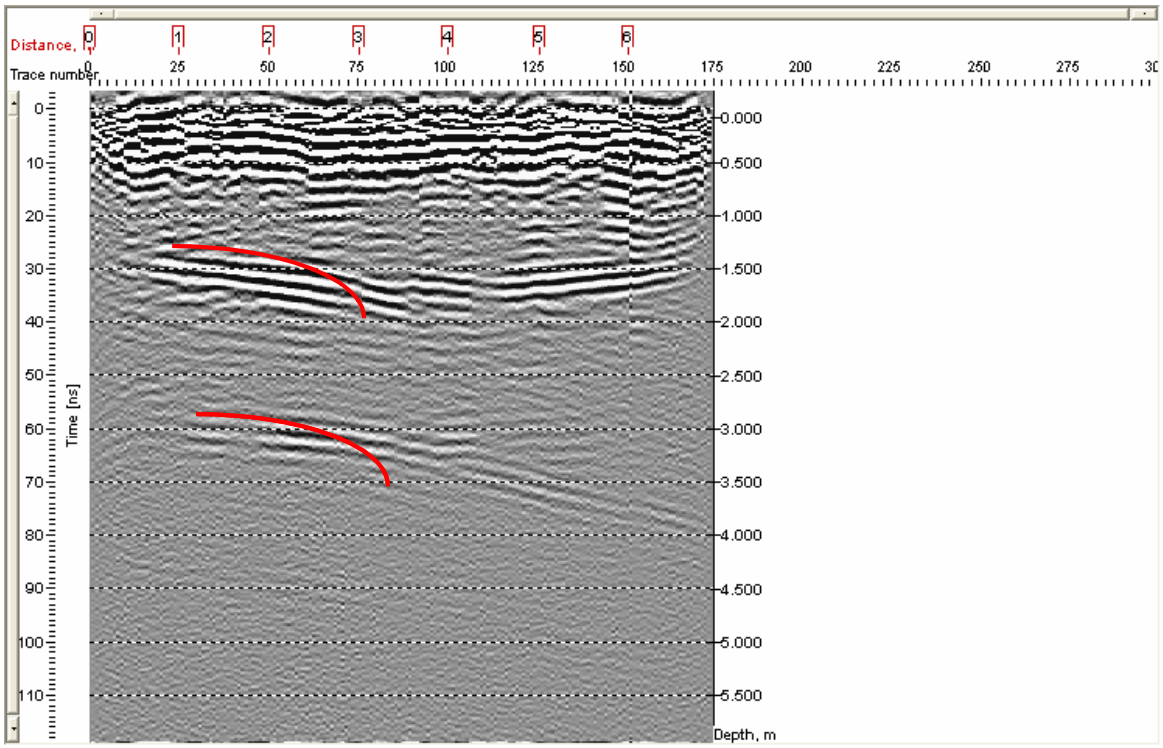
در مقطع رادارگرام شماره ۲ که بر روی خط شماره یک محور y تهیه شده است سه بی هنجاری مشاهده می شود، بی هنجاری شماره یک در فاصله ۱/۵ متری نسبت به صفر واقع شده است، این بی هنجاری می تواند اثر نویز سطحی حاصل از درب آهنی باشد، بطوریکه در مقاطع رادارگرامی که در پروفیلهای بعدی تهیه شده با دور شدن از درب آهنی دیگر اثری از بی هنجاری مشاهده نمی شود. اما بی هنجاریهای شماره ۲و ۳ که در همه مقاطع رادارگرام که تقریباً تا عمق ۲ و ۳/۵ متر وجود دارد، می تواند حائز اهمیت باشد.



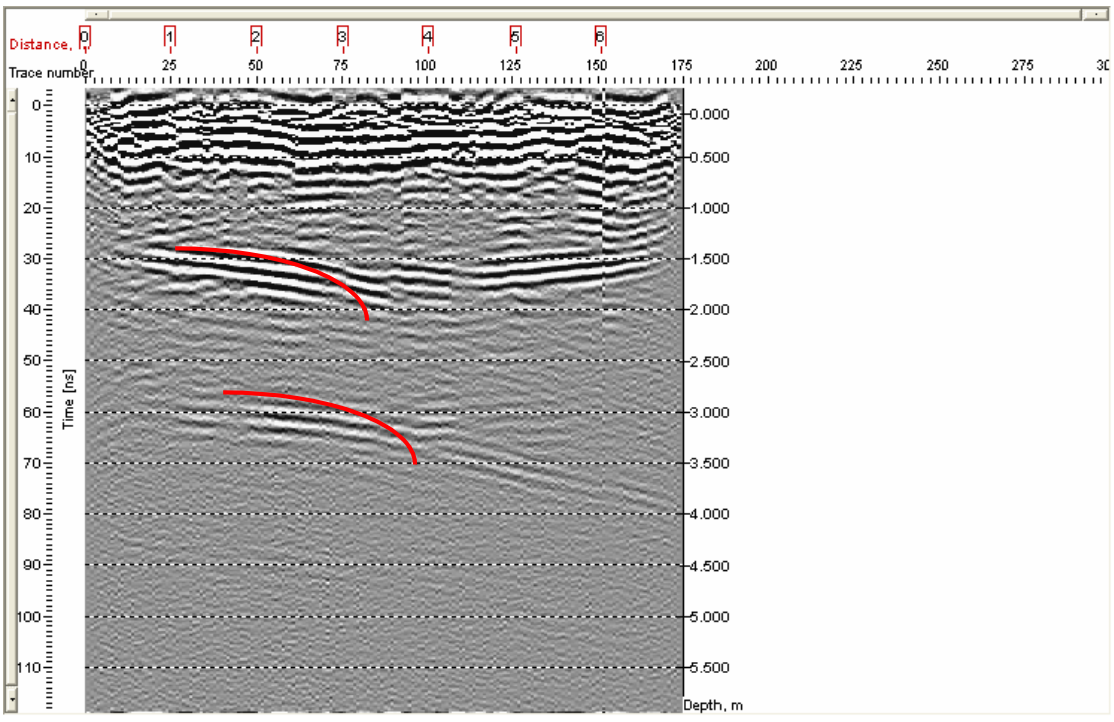
مقطع رادارگرام شماره ۳- پیمایش بر روی خط شماره یک در جهت y با بزرگنمایی ۲ برابر با نمایش عمق



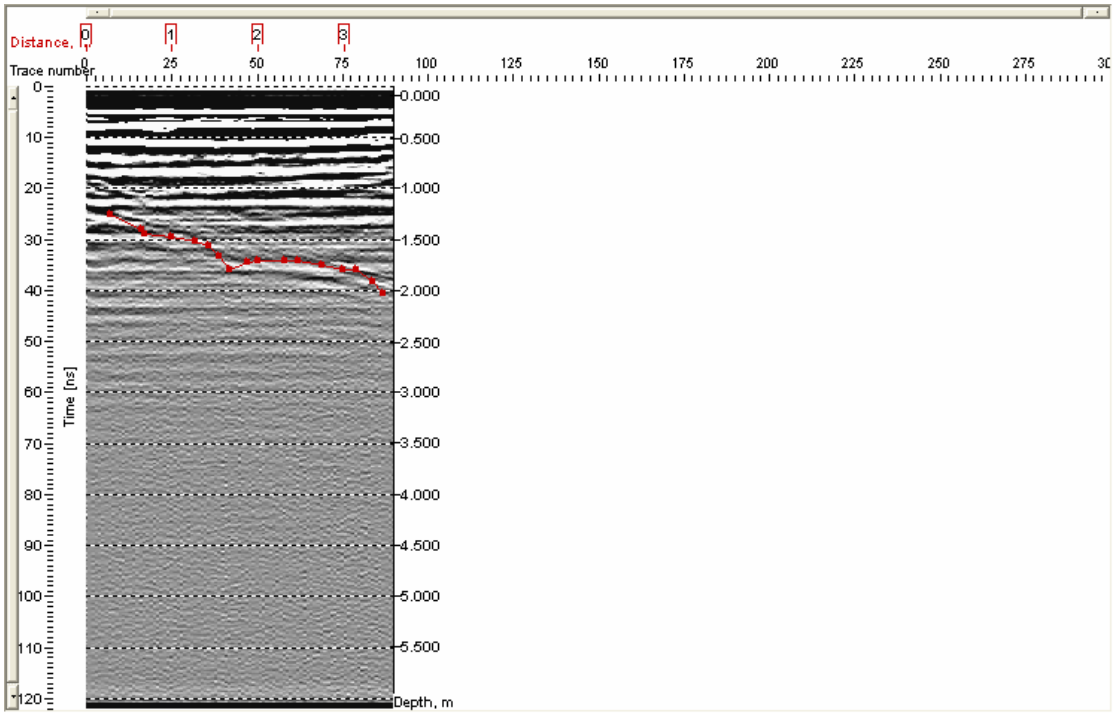
مقطع رادارگرام شماره ۴- پیمایش بر روی خط شماره دو در جهت y با بزرگنمایی ۲ برابر با نمایش عمق



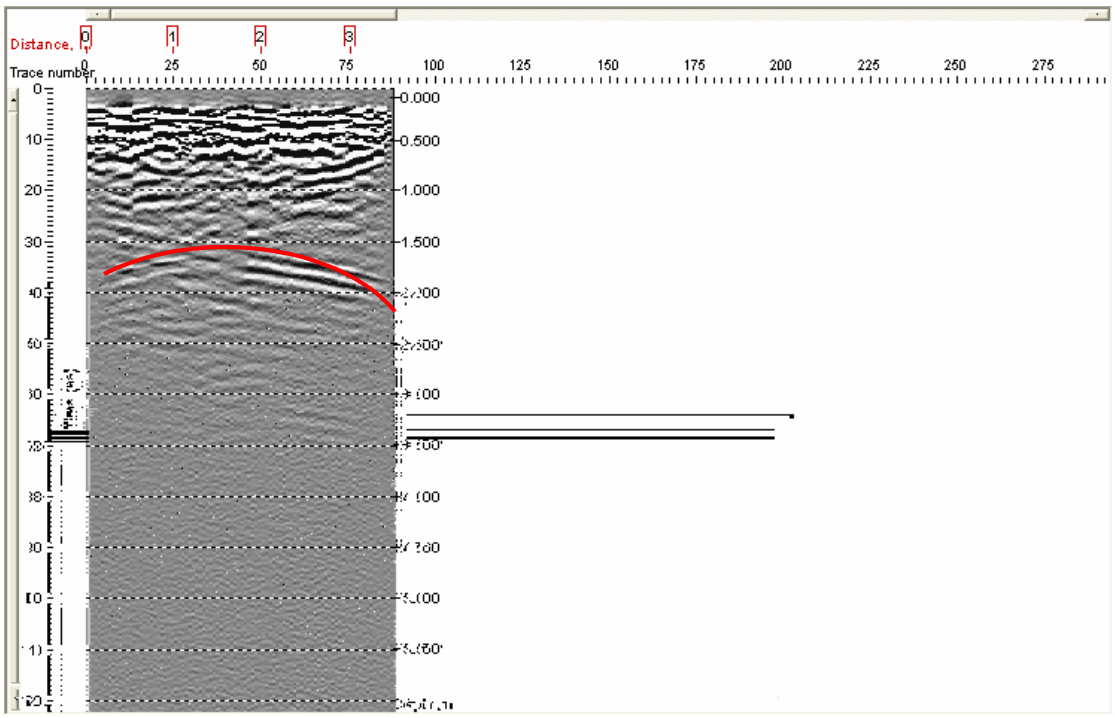
مقطع رادارگرام شماره ۵- پیمایش بر روی خط شماره ۴ در جهت y با بزرگنمایی ۲/۵ برابر با نمایش عمق



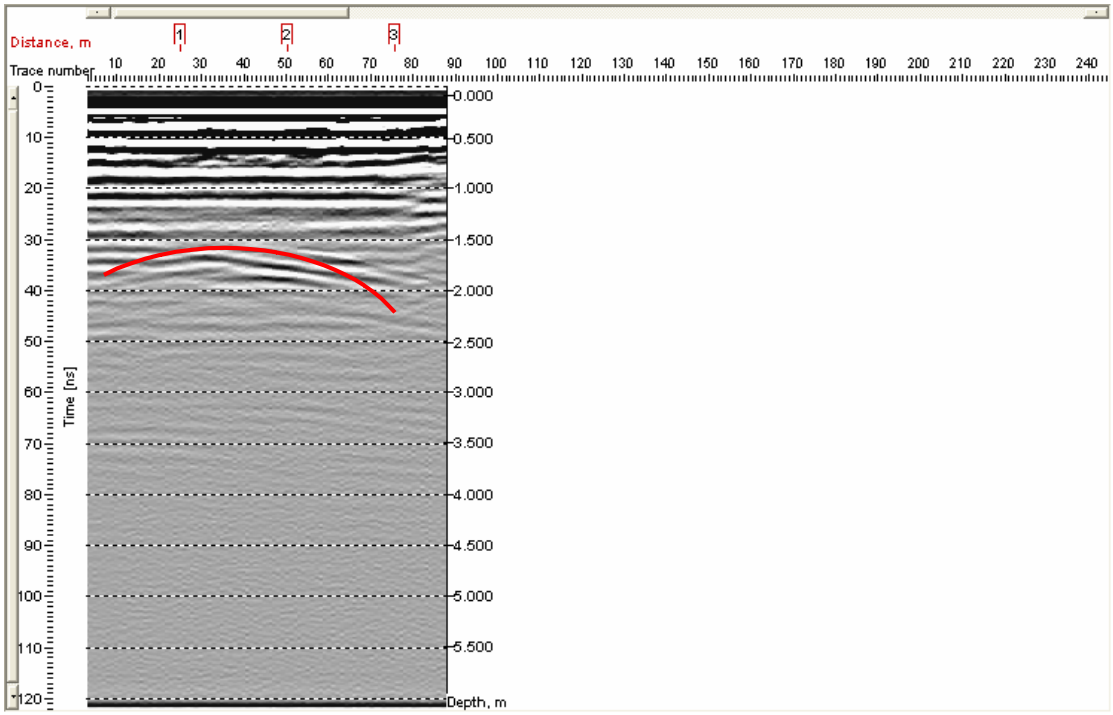
مقطع رادارگرام شماره ۶- پیمایش بر روی خط شماره ۵ در جهت y با بزرگنمایی ۲/۵ برابر با نمایش عمق



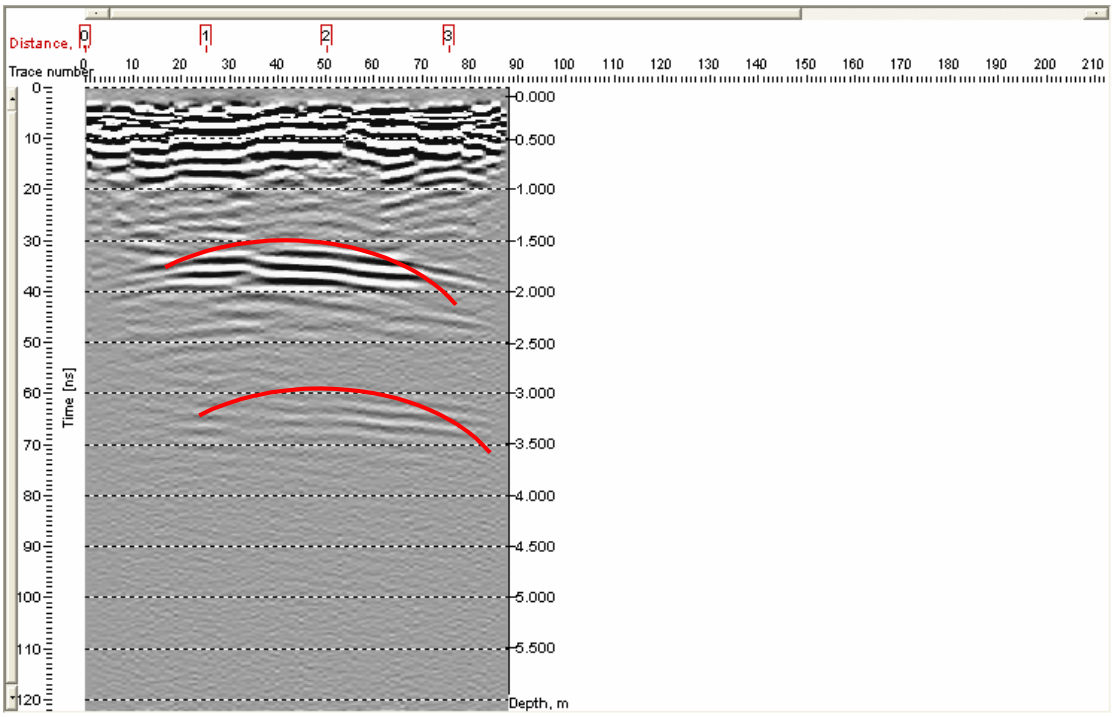
مقطع رادارگرام شماره ۷- پیمایش بر روی خط شماره صفر شماره صفر در جهت x با بزرگنمایی ۲ برابر با نمایش عمق



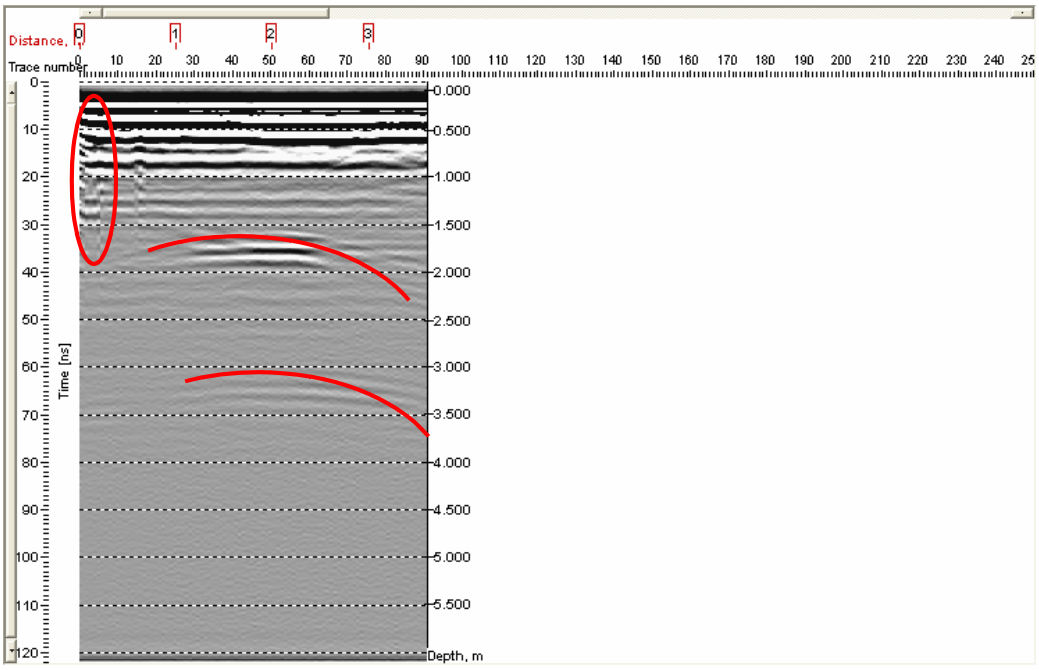
مقطع رادارگرام شماره ۸- پیمایش بر روی خط شماره ۲ در جهت x با بزرگنمایی ۲ برابر با نمایش عمق



مقطع رادارگرام شماره ۹-پیمایش بر روی خط شماره ۳ در جهت x با بزرگنمایی ۲ برابر با نمایش عمق



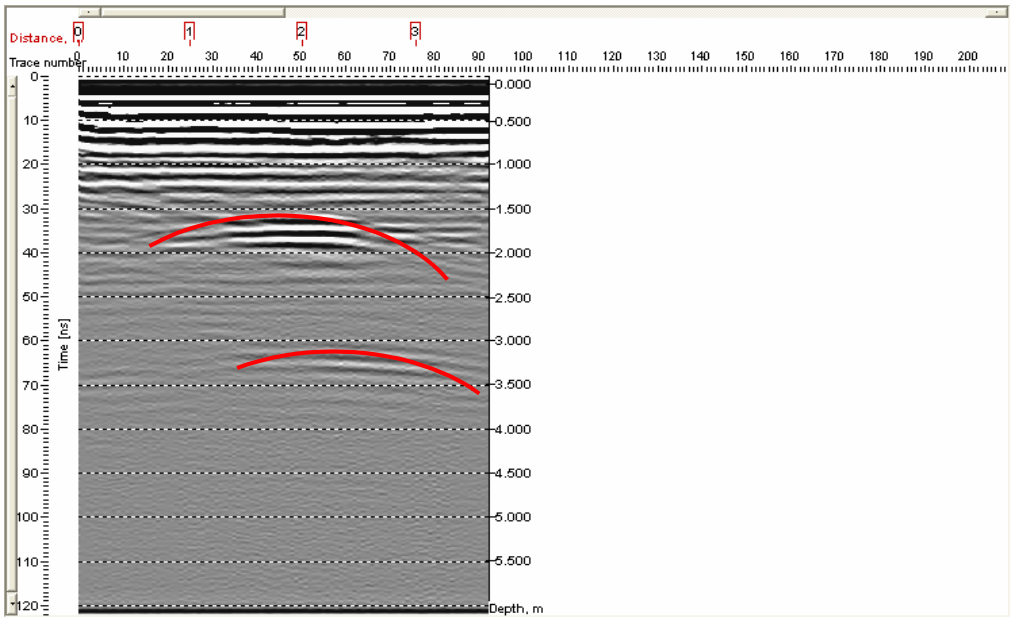
مقطع رادارگرام شماره ۱۰- پیمایش بر روی خط شماره ۴ در جهت x با بزرگنمایی ۲/۵ برابر با نمایش عمق



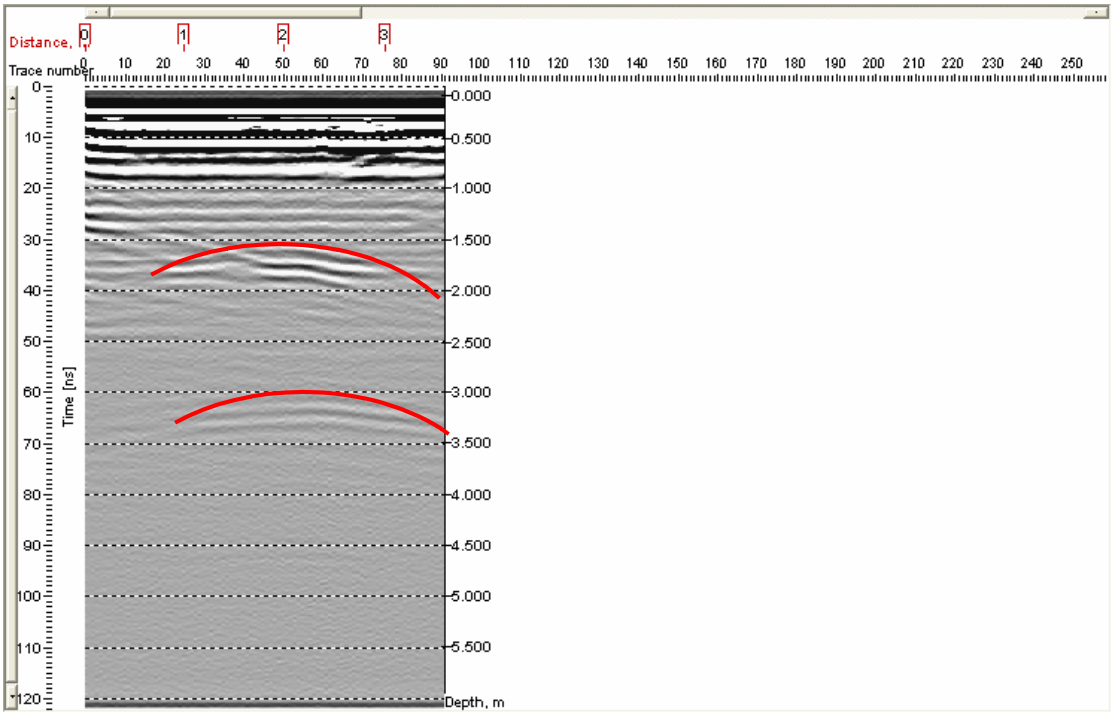
مقطع رادارگرام شماره ۱۱- پیمایش بر روی خط شماره ۵ در جهت X با بزرگنمایی ۲ برابر با نمایش عمق

با توجه به پلان شماره ۲ خط شماره ۵ درجهت محور X از روبروی درب آهنی که نویز آن را در مقطع رادارگرام بالا دیده دیده میشود، وجود نویز را در بیضی نشان داده شده است.

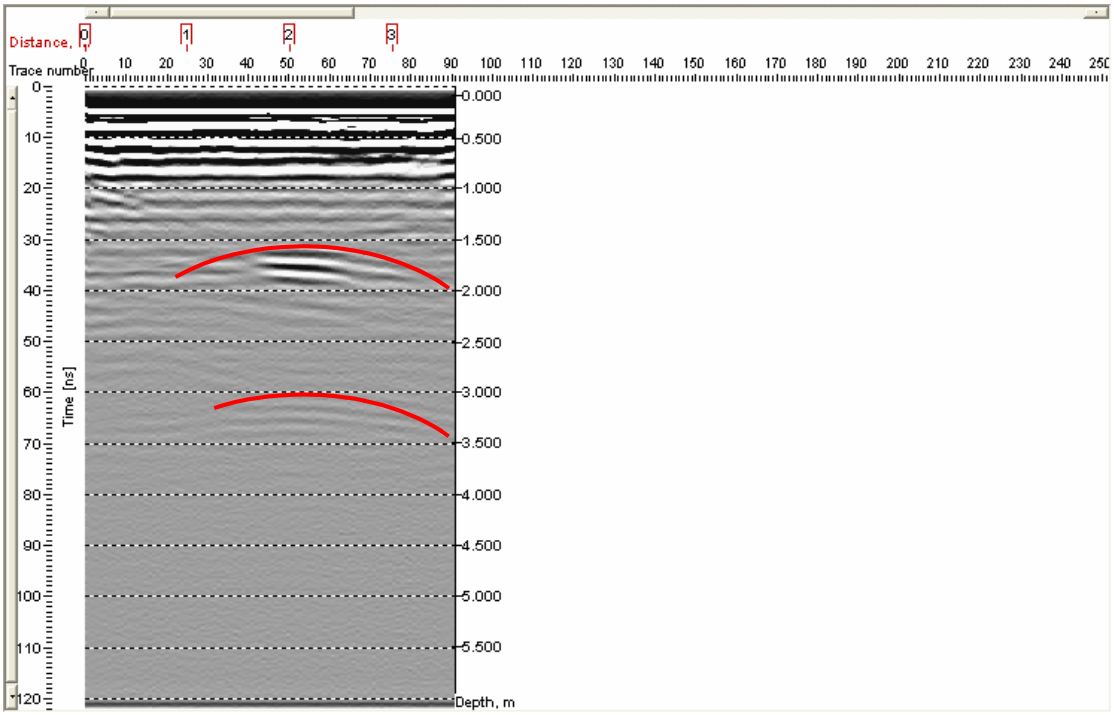
در حالیکه مقطع رادارگرام شماره ۱۲ مربوط به همان خط زمانیکه درب بسته بوده است و نـویز درب هم در مقطع رادارگرام دیده نمی شود.



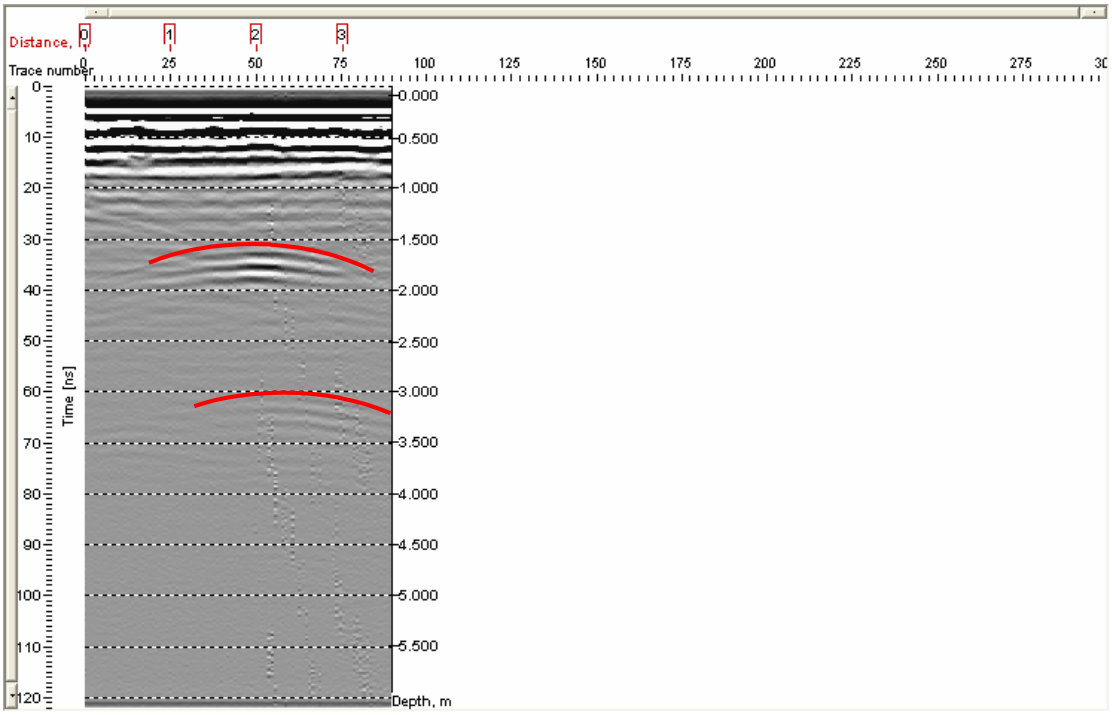
مقطع رادارگرام شماره ۱۲- پیمایش بر روی خط شماره ۵ در جهت X با بزرگنمایی ۲/۵ برابر با نمایش عمق



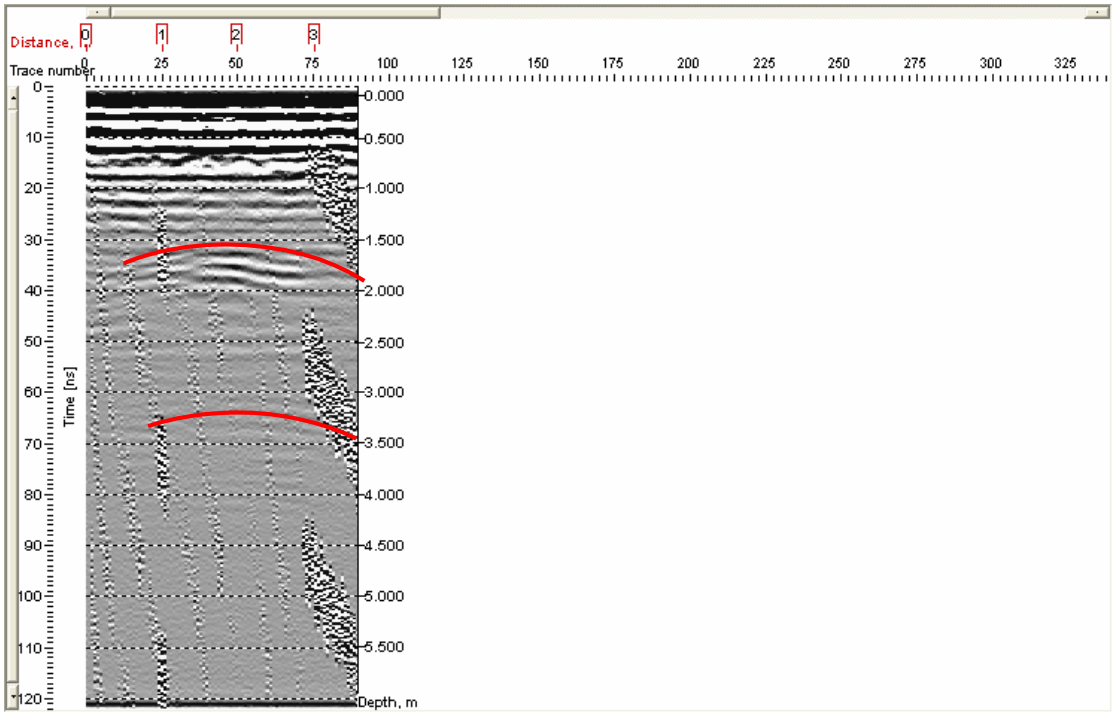
مقطع رادارگرام شماره ۱۳- پیمایش بر روی خط شماره ۶ در جهت x با بزرگنمایی ۲ برابر با نمایش عمق



مقطع رادارگرام شماره ۱۴- پیمایش بر روی خط شماره ۷ در جهت x با بزرگنمایی ۲ برابر با نمایش عمق

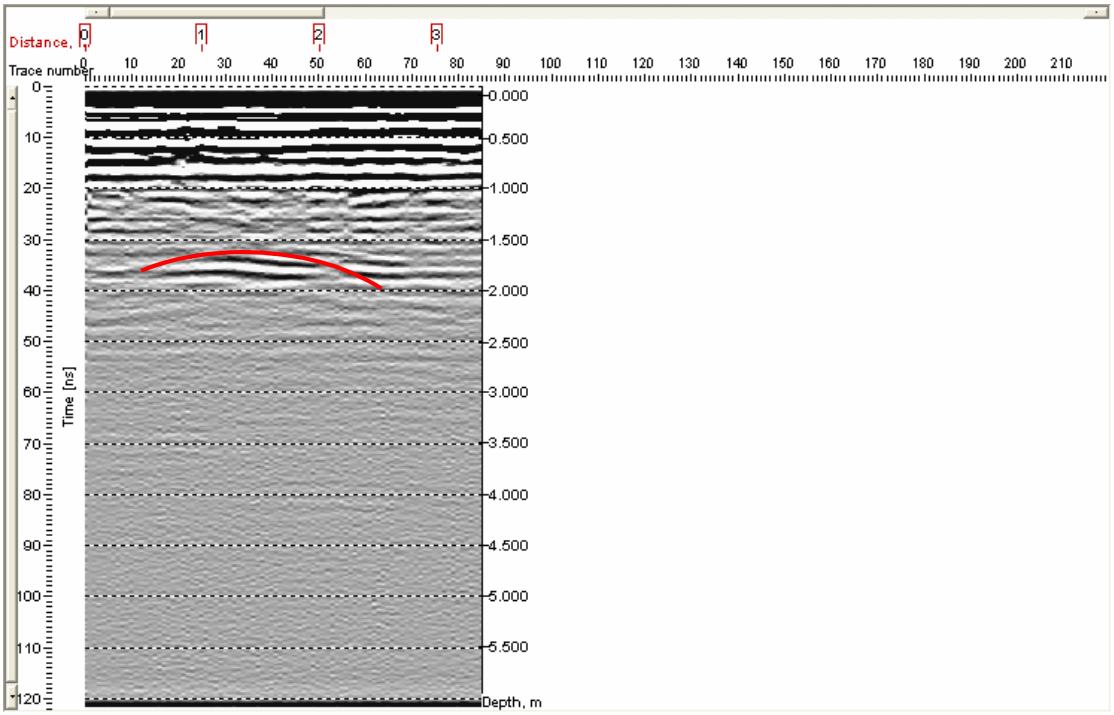


مقطع رادارگرام شماره ۱۵- پیمایش بر روی خط شماره ۱۰ در جهت x با بزرگنمایی ۱/۵ برابر با نمایش عمق

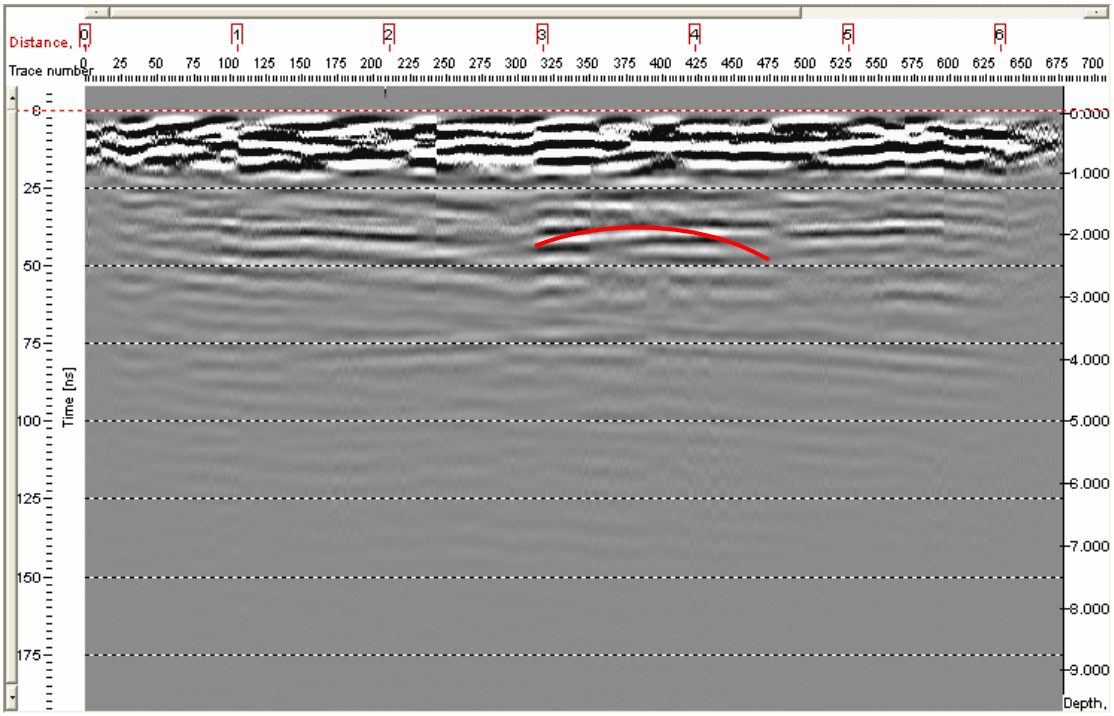


مقطع رادارگرام شماره ۱۶- پیمایش بر روی خط شماره ۱۲ در جهت x با بزرگنمایی ۱/۵ برابر با نمایش عمق

امواجی که دیده میشود مربوط به نویز موبایل است.



مقطع رادارگرام شماره ۱۷- پیمایش بر روی خط شماره ۱۳ در جهت x با بزرگنمایی ۲/۵ برابر با نمایش عمق



مقطع رادارگرام شماره ۱۸- پیمایش بر روی خط شماره ۴ در جهت y با بزرگنمایی ۲/۵ برابر با نمایش عمق با آنتن ۲۵۰ مگاهرتز

۳-۳- نتیجه گیری و پیشنهادات

همانطور که قبلاً ذکر کردیم دو محدوده در محوطه باستانی خواجه خضر- قبه سبز انتخاب و مورد پیمایش قرارگرفت، بطوریکه در محدوده شماره یک (منزل آقای زکی زاده)کار پیمایش با اجرای دو شبکه به ترتیب در ابعاد ۲/۵×۴ و ۲/۵×۵ متر و محدوده شماره دو (منزل آقای رنگاور) با اجرای یک شبکه در ابعاد ۶/۵×۳/۵ و اجرای چندین پیمایش خطی دو بعدی پیگیری شد.با توجه به نقشه های دوبعدی و سه بعدی موجود در محدوده شماره یک و در اولین شبکه بی هنجاری در عمق تقریباً ۱/۵ متری و درابعاد ۱×۱ و درموقعیت تقریبی $x=1$ تا $x=2$ و $y=1$ تا $y=2$ متر مشاهده میشود، این بی هنجاری می تواند از تنوری باشدکه به گفته مالک ساختمان ،آن را پرکرده است. بی هنجاری دیگری که درشبکه بندی دوم قابل رویت میباشد تقریباً در عمق ۲ متری در ابعاد تقریبی ۱/۲۰×۱/۲۰ متر و در موقعیت $x=1$ تا $x=2$ متر و $y=1$ تا $y=2$ متر قرار دارد که با توجه به نظر کارشناسان باستان شناسی میتواند اثر ساختاری باشد که در مسیر ورودی به قبه سبز ساخته شده است.

در محدوده شماره دو (منزل آقای رنگاور) با توجه به نقشه های دو بعدی و سه بعدی چندین بی هنجاری در عمق تقریباً ۲ متری و در بعضی جاها تا عمق ۳/۵ متری درابعاد تقریبی ۳/۵×۱ متری و در موقعیت $y=3$ تا $y=4$ متر و $x=0$ تا $x=3.5$ مشاهده میشود که می تواند از نظر وجود ساختارها و سازه های باستانی حائز اهمیت باشد.

تشکر و قدردانی

در اینجا لازم میدانم از مساعدتهای جناب آقای مهندس شاهین مدیر محترم خدمات اکتشاف، جناب آقای مهندس عامری سرپرست گروه ژئوفیزیک که هم در عملیات برداشت و هم در باز خوانی این گزارش من را همراهی نمودند کمال تشکر را دارم. همینطور از سرکار خانم دکتر لاله، جناب آقای دکتر ضیایی و آقای مهندس محمدی ویژه که در این ماموریت ما را همراهی نمودند سپاسگزارم. در نهایت از کلیه همکارانی که در برداشت و سایر مراحل اینجانب را یاری کردند تشکر مینمایم.