



معاونت اکتشاف

مدیریت پشتیبانی اکتشاف

گروه ژئوفیزیک

بررسی رسوبات دریاچه تار با استفاده

از روش رادار نفوذی به زمین (GPR)

مهدی محمدی ویژه

پاییز ۱۳۸۸

فهرست مطالب

فصل اول

کلیات

- ۱-۱- مقدمه ۴
- ۱-۲- موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه ۵
- ۱-۳- مختصری از زمین شناسی منطقه ۶

فصل دوم

روش GPR

- ۲-۱- کلیات ۹
- ۲-۲- کاربردهای روش GPR ۱۰
- ۲-۳- تئوری روش ۱۱
- ۲-۴- نحوه برداشت داده ها ۱۵
- ۲-۶- نحوه پردازش داده ها ۱۸
- ۲-۷- تجهیزات مورد استفاده ۱۸

فصل سوم

بررسی نتایج

- ۳-۱- بررسی نتایج بر روی پروفیل ۱ ۲۲
- ۳-۱-۱- آنتن ۵۰ مگاهرتز بدون پوشش ۲۲
- ۳-۱-۲- آنتن ۲۵ مگاهرتز بدون پوشش ۲۶
- ۳-۲- بررسی نتایج بر روی پروفیل ۲ ۲۹
- ۳-۳- بررسی نتایج بر روی پروفیل ۳ ۳۲
- ۳-۴- بررسی نتایج بر روی پروفیل ۴ ۳۷
- ۳-۴- بررسی نتایج بر روی پروفیل ۵ ۴۲
- ۳-۵- بررسی نتایج بر روی پروفیل ۶ ۴۵
- ۴- نتیجه گیری و پیشنهادات ۴۸
- ۵- تشکر و قدردانی ۴۹

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

در پی درخواست مدیریت محترم زمین شناسی مهندسی سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، جهت بررسی وضعیت رسوبات کف دریاچه تار واقع در شهرستان دماوند با استفاده از روش GPR، اکیپ ژئوفیزیک سازمان طی حکم شماره ۶۳۲۶ در تاریخ ۸۸/۷/۶ به منطقه عزیمت نمود. افرادی که با اکیپ همکاری داشته اند، عبارتند از خانم مهندس صمیمی به عنوان کارشناس و آقایان عباس باقری اسفند آبادی و حسین ایرانشاهی به عنوان تکنسین گروه که نگارنده از آنها کمال تشکر و سپاسگزاری را دارد.

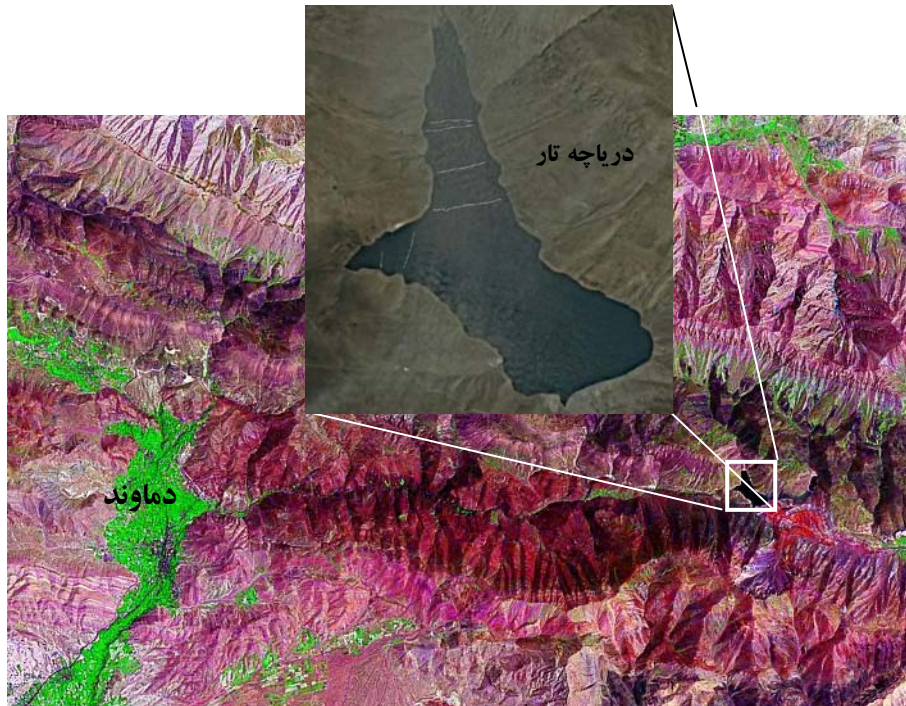
منطقه مورد مطالعه با ۶ پروفیل خطی با طول های تقریبی ۵۰ الی ۲۰۰ متر و با استفاده از آنتن های ۲۵ و ۵۰ مگاهرتز بدون پوشش، مورد بررسی قرار گرفت. در مجموع در حدود ۱ کیلومتر خطی از دریاچه تار توسط این پروفیل ها تحت پوشش قرار گرفت.

۲-۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در فاصله تقریبی ۶۵ کیلومتری از شهر تهران و در ۱۴/۵ کیلومتری شرق شهر دماوند واقع است. برای دسترسی به محدوده مورد مطالعه (تصویر ۱-۱) توسط یک جاده خاکی پس از طی مسافت تقریبی ۱۴/۵ کیلومتر از شهرستان دماوند به دریاچه می رسیم. محدوده مورد مطالعه نسبت به شهر دماوند در عکس ماهواره ای در تصویر ۱-۲ آورده شده است.



تصویر ۱-۱: موقعیت جغرافیایی و راه دسترسی به دریاچه تار



تصویر ۱-۲: محدوده مورد مطالعه بر روی عکس ماهواره‌ای

۱-۳- مختصری از زمین شناسی منطقه

محدوده مورد مطالعه در ورقه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ دماوند و ۱/۲۵۰۰۰ آینه ورزان واقع شده است.

مهمترین واحدهای سنگ شناسی این محدوده به شرح ذیل می باشد.

سازند جیرود با سن دونین-پالئوزوئیک که در باختر دریاچه تار به صورت سنگ آهک های ضخیم لایه دارای بافت متوسط تا درشت دانه فسیل دار دیده می شود. بر روی این واحد سنگ ماسه آهکی نخودی تا قهوه‌ای رنگ دیده می شود.

سازند مبارک با سن دونین-پالئوزوئیک که هم در بلوک شمالی و هم در بلوک جنوبی گسل مشا وجود دارد. در پیرامون دریاچه تار، این سازند از سنگ های آهکی خاکستری تیره و سنگ آهک مارنی با لایه بندی

متوسط تا ضخیم لایه، رگچه‌های کلسیتی و بافت درشت‌دانه تشکیل شده است. این واحدها دارای فسیل‌های کرینوتید، براکیوپود و مرجان می‌باشد.

سازند روته با سن پرمین-پالئوزوئیک که به طور عمده شامل سنگ آهک خاکستری تیره می‌باشد. این واحد در شمال دریاچه تار حاوی خرده‌هایی از خارپوستان، صدف‌ها، مرجان‌ها و براکیوپود می‌باشد. سنگ نهشته‌های این سازند اغلب با ناپیوستگی بر روی سنگ آهک سازند مبارک قرار گرفته است.

سازند الیکا با سن تریاس-مزوزوئیک در فرا دیواره گسل مشا، شمال دریاچه تار، به صورت سنگ آهک‌های ضخیم لایه خاکستری تا کرم رنگ دیده می‌شود.

توده‌هایی که از ارتفاعات جنوبی دریاچه تار بواسطه لغزش توف و سیلتستون‌های سازند کرج به سمت پایین جریان یافته‌اند، در جنوب شرقی دریاچه تار انباشته شده‌اند. این زمین لغزش باعث حرکت توده عظیمی از سنگ نهشته‌های سازند کرج به سمت شمال به فاصله حدودی ۳ کیلومتر شده است. به نظر می‌رسد حرکات جوان گسل مشا در ایجاد این پدیده بی‌تاثیر نبوده است (برگرفته از گزارش زمین شناسی نقشه ۱/۲۵۰۰۰ آینه ورزان، مهندس جوادی، چاپ نشده). این مسأله سبب ایجاد یک سد طبیعی در مسیر آبراه‌ای گشته که در گذشته از این منطقه عبور می‌کرده است. آب‌های جاری که از ارتفاعات اطراف به سمت پایین جاری شده‌اند، در دو طرف این سد تجمع یافته و دریاچه‌های تار و هویر را در دو طرف توده‌های لغزیده ایجاد کرده‌اند. در عکس هوایی منطقه برداشت (تصویر ۱-۳)، امتداد تقریبی گسل مشا، سطح لغزش و دریاچه‌های تار و هویر به نمایش در آمده است.



تصویر ۱-۳: عکس هوایی منطقه برداشت (برگرفته از سایت Google Earth).

فصل دوم

روش GPR

۲-۱- کلیات

رادار نفوذی به زمین (GPR)^۱ یکی از روش‌های نوین ژئوفیزیک نزدیک سطح می‌باشد. در این روش از امواج الکترومغناطیس فرکانس بالا (در محدوده مگاهرتز) برای آشکارسازی ساختارهای زیرسطحی بهره برده می‌شود. دستگاه‌های GPR با تولید و انتشار پالس‌های ناپیوسته الکترومغناطیس، ناپیوستگی‌های زیرسطحی را با قدرت تفکیک بالایی آشکارسازی می‌کنند. این پالس‌ها توسط مولد سیگنال دستگاه تولید و توسط آنتن‌های مختلف به درون زمین ارسال می‌شوند. شکل و مشخصات پالس‌های تولید شده تابعی از مشخصات آنتن‌هایی است که برای برداشت مورد استفاده قرار گرفته‌اند و عموماً این آنتن‌ها را با توجه به فرکانس مرکزی پالس تولید شده، نام‌گذاری می‌کنند.

دستگاه‌های GPR از دهه ۱۹۸۰ به صورت تجاری در دسترس بوده و میل به کاربرد آن، از اواسط دهه ۱۹۹۰ به شدت رو به فزونی است. افزایش تعداد مطالعاتی که در سال‌های اخیر با استفاده از این روش در زمینه‌های مختلف کاربردی و تحقیقاتی دیده می‌شود، دلیلی بر این مدعی است.

^۱ Ground penetrating radar

۲-۲- کاربردهای روش GPR

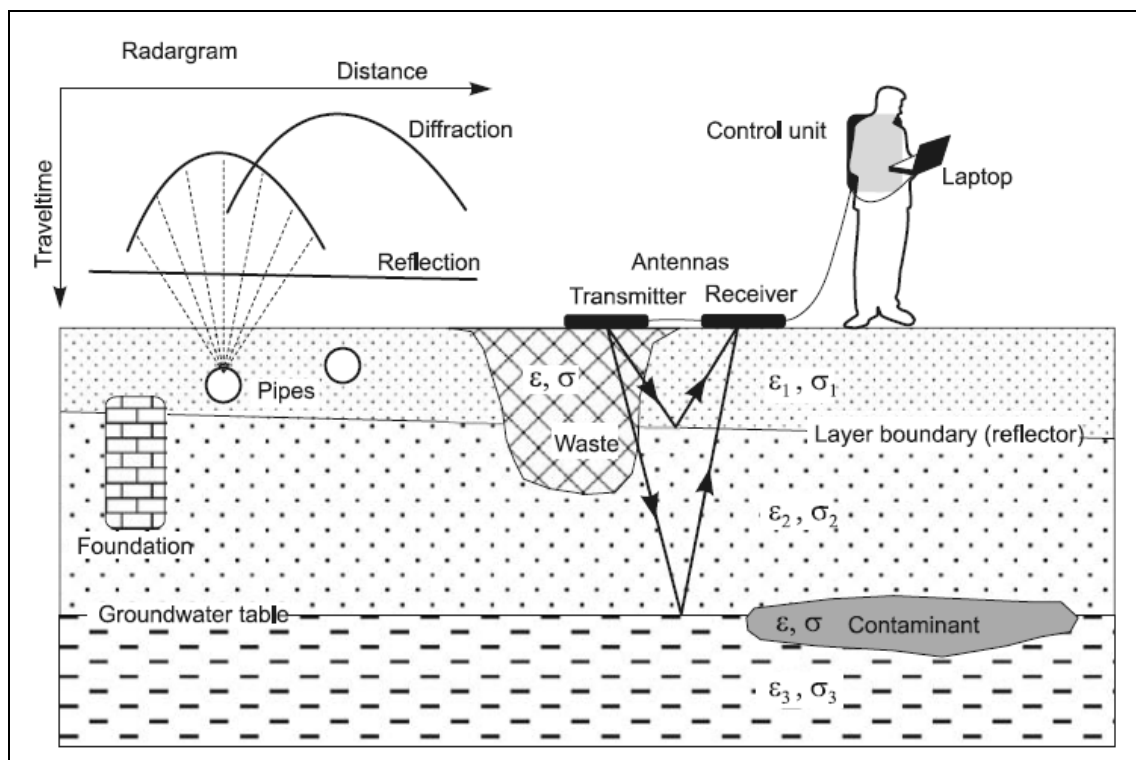
به طور کلی موفقیت روش‌های ژئوفیزیک وابسته به وجود تباین^۱ در مشخصه‌های فیزیکی اهداف زیرسطحی با محیط دربرگیرنده آنها است. پارامتری که سبب می‌شود اهداف زیرسطحی توسط روش GPR قابل آشکارسازی باشند، تباین در مشخصات الکترومغناطیس مواد (گذردهی دی‌الکتریک، رسانندگی الکتریکی و تراوایی مغناطیس) می‌باشد. در اکثر شرایط زمین شناسی که رسانندگی و تراوایی مغناطیس محیط زیرسطحی قابل صرف نظر است، تباین در گذردهی دی‌الکتریک دارای بیشترین سهم در آشکارسازی اهداف زیرسطحی می‌باشد. از این رو در استفاده از این روش بسیاری از بی‌هنجاری‌های زیرسطحی قابل آشکارسازی می‌باشند. این مسأله کاربردهای چند منظوره GPR و گسترش روز افزون کاربری از آن را سبب شده است.

گستره کاربردهای GPR بسیار وسیع بوده و برای مقاصد گوناگون از قبیل تعیین ضخامت خاک و همچنین چینه‌شناسی رسوبات، تعیین سطح ایستابی، آشکارسازی حفره‌ها، کانال‌ها و تونل‌های مدفون، آشکارسازی درز و شکاف در سنگ‌های متراکم، به نقشه درآوردن مناطق آلوده در مطالعات زیست محیطی، بررسی شرایط محل ساخت سازه‌های عظیم، بررسی غیر تخریبی^۲ مصالح ساختمانی، ستون پل‌ها و دیواره سدها، آشکارسازی اجسام مدفون در بررسی‌های باستان‌شناسی، آشکارسازی تأسیسات ساختمانی نظیر کابل‌ها و لوله‌های مدفون، تعیین ضخامت یخچال‌ها، بررسی لایه‌های آسفالت در جاده‌ها و همچنین کاربردهای گوناگون دیگر استفاده می‌گردد. از ویژگی‌های مثبت این روش علاوه بر قدرت تفکیک بالای آن، می‌توان به سرعت برداشت داده‌ها و همچنین خاصیت غیر تهاجمی^۳ آن اشاره کرد. به این ترتیب که در محیط‌های شهری بدون داشتن اثرات مخرب در محیط برداشت، داده‌ها اکتساب می‌گردند.

¹ Contrast
² Nondestructive
³ Noninvasive

۲-۳- تئوری روش

اجزاء دستگاه GPR در شکل ۱-۲ نشان داده شده است. دستگاه GPR از یک مولد سیگنال، یک فرستنده و یک گیرنده تشکیل شده است. دستگاه‌های مدرن امروزی علاوه بر نمایشگر دستگاه قابلیت اتصال به کامپیوترهای همراه را نیز دارا می‌باشند. از این رو پردازش ابتدایی داده‌ها به هنگام برداشت نیز به راحتی امکان پذیر است.



شکل ۱-۲: اجزاء دستگاه و اصول روش GPR

برداشت‌های GPR هم از طریق پروفیل زنی پیوسته و هم از طریق برداشت در نقاط ثابت انجام می‌پذیرد. در پروفیل زنی پیوسته^۱ آنتن‌ها روی زمین در روی پروفیل مورد نظر کشیده می‌شوند و داده‌ها در فواصل مکانی و یا زمانی معین اکتساب می‌شوند. در مواقعی که به سرعت بیشتری برای اکتساب داده‌ها نیاز باشد، می‌توان آنتن‌ها را توسط یک وسیله نقلیه یدک کرد.

زمانی که پالس الکترومغناطیس ساطع شده از آنتن فرستنده به یک ناپیوستگی الکتریکی برخورد می‌کند، بخشی از آن از فصل مشترک عبور کرده و بخشی بازتاب می‌شود. این امر ناشی از تغییر امپدانس^۲ امواج الکترومغناطیس در فصل مشترک دو محیط می‌باشد. مقدار انرژی بازتابی و عبوری و همچنین مقدار انرژی اتلافی (مستهلك شده) تابعی از خواص الکتریکی مواد در دو طرف فصل مشترک می‌باشد. اگر زمان رفت و برگشت موج الکترومغناطیس که از آنتن فرستنده ساطع و بعد از انعکاس از اهداف زیرسطحی به آنتن گیرنده باز می‌گردد را اندازه‌گیری کنیم، می‌توان عمق هدف مورد نظر را توسط رابطه زیر تعیین کرد.

$$D = \frac{Vt}{2} \quad (1-2)$$

در این رابطه، D عمق هدف، t زمان متناظر با آن در مقطع زمانی GPR و V سرعت امواج الکترومغناطیسی GPR تا هدف زیرسطحی است. در صورتی که فاصله بین آنتن‌ها در مقایسه با عمق هدف کوچک باشد، این رابطه با دقت خوبی عمق هدف زیرسطحی را نشان می‌دهد.

سرعت امواج GPR در محیط‌های زیرسطحی توسط رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$V = \frac{C_0}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r \frac{1 + \sqrt{1 + (\sigma / \epsilon \omega)}}{2}}} \quad (2-2)$$

¹ Continuous profiling

² Impedance

در رابطه بالا C_0 سرعت موج الکترومغناطیس در هوا، μ_r نشان دهنده تراوایی مغناطیس نسبی و ϵ_r گذردهی نسبی محیط نسبت به هوا و ω فرکانس زاویه‌ای پالس GPR می‌باشند. عبارت $\sigma/\epsilon\omega$ که به فاکتور اتلاف^۱ معروف است، در محیط‌های کم‌اتلاف مانند شن و ماسه‌های خالص نزدیک به صفر بوده و قابل صرف نظر می‌باشد (جدول ۲-۱). همچنین اثر μ_r در محیط‌های غیرمغناطیس و در محدوده فرکانس‌های GPR کوچک بوده و می‌توان آن را مطابق با محیط‌های غیر مغناطیس برابر ۱ در نظر گرفت. به این ترتیب رابطه (۲-۲) به صورت زیر خلاصه می‌شود.

$$V = \frac{C_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (۲-۳)$$

در عمل سرعت متوسط امواج GPR در محیط‌های زیرسطحی توسط راه‌های مختلفی قابل محاسبه است. این روش‌ها شامل، اندازه‌گیری زمان پیمایش موج از هدفی مدفون در عمق معین، اندازه‌گیری‌های مستقیم آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های صحرایی، اندازه‌گیری زمان پیمایش موج بین گمانه‌ها با استفاده از آنتن‌های درون گمانه‌ای، برداشت‌های توموگرافی و برداشت CMP^۲ می‌باشند. در برخی از دستگاه‌ها و نرم افزارهای امروزی با تعیین برون‌راند^۳ هذلولی‌های پراش، سرعت متوسط محیط زیرسطحی تعیین می‌گردد. در صورتی که هیچ یک از روش‌های فوق در یک محیط قابل استفاده نباشد، با توجه به جنس محیط زیرسطحی سرعت متوسط را تعیین می‌کنند.

در صورتی که رسانندگی ساختارهای مورد بررسی پایین باشد و در غیاب مواد با تراوایی مغناطیس بالا، ضریب بازتاب توسط رابطه زیر بیان می‌شود.

$$R = \frac{\sqrt{\epsilon_{1r}} - \sqrt{\epsilon_{2r}}}{\sqrt{\epsilon_{1r}} + \sqrt{\epsilon_{2r}}} \quad (۲-۴)$$

^۱ Loss factor

^۲ Common midpoint

^۳ Move out

رابطه بالا در اکثر شرایط زمین شناسی با دقت خوبی، ضریب بازتاب را نشان می دهد.

برای ارائه یک مقیاس کمی از پارامترهایی که در این بخش مطرح شد، مشخصات الکترومغناطیس برخی از

ساختارهای زمین شناسی در جدول ۱-۲ آورده شده است.

جدول ۱-۲: مشخصات الکترومغناطیس مواد

مواد معمول	گذردهی نسبی (ϵ_r)	رسانندگی (mS/M)	سرعت (M/nS)	میرایی (dB/M)
هوا	۱	۰	۰/۳۰	۰
آب مقطر	۸۰	۰/۰۱	۰/۰۳۳	۲×10^{-3}
آب شیرین	۸۰	۰/۵	۰/۰۳۳	۰/۱
آب دریا	۸۰	3×10^3	۰/۰۱	10^3
ماسه خشک	۳-۵	۰/۰۱	۰/۱۵	۰/۰۱
ماسه اشباع	۲۰-۳۰	۰/۱-۱	۰/۰۶	۰/۰۳-۰/۳
سنگ آهک	۴-۸	۰/۵-۲	۰/۱۲	۰/۴-۱
شیل	۵-۱۵	۱-۱۰۰	۰/۰۹	۱-۱۰۰
لای ها	۵-۳۰	۱-۱۰۰	۰/۰۷	۱-۱۰۰
رس ها	۵-۴۰	۲-۱۰۰۰	۰/۰۶	۱-۳۰۰
گرانیت	۴-۶	۰/۰۱-۱	۰/۱۳	۰/۰۱-۱
نمک خشک	۵-۶	۰/۰۱-۱	۰/۱۳	۰/۰۱-۱
یخ	۳-۴	۰/۰۱	۰/۱۶	۰/۰۱

۲-۵- نحوه برداشت داده ها

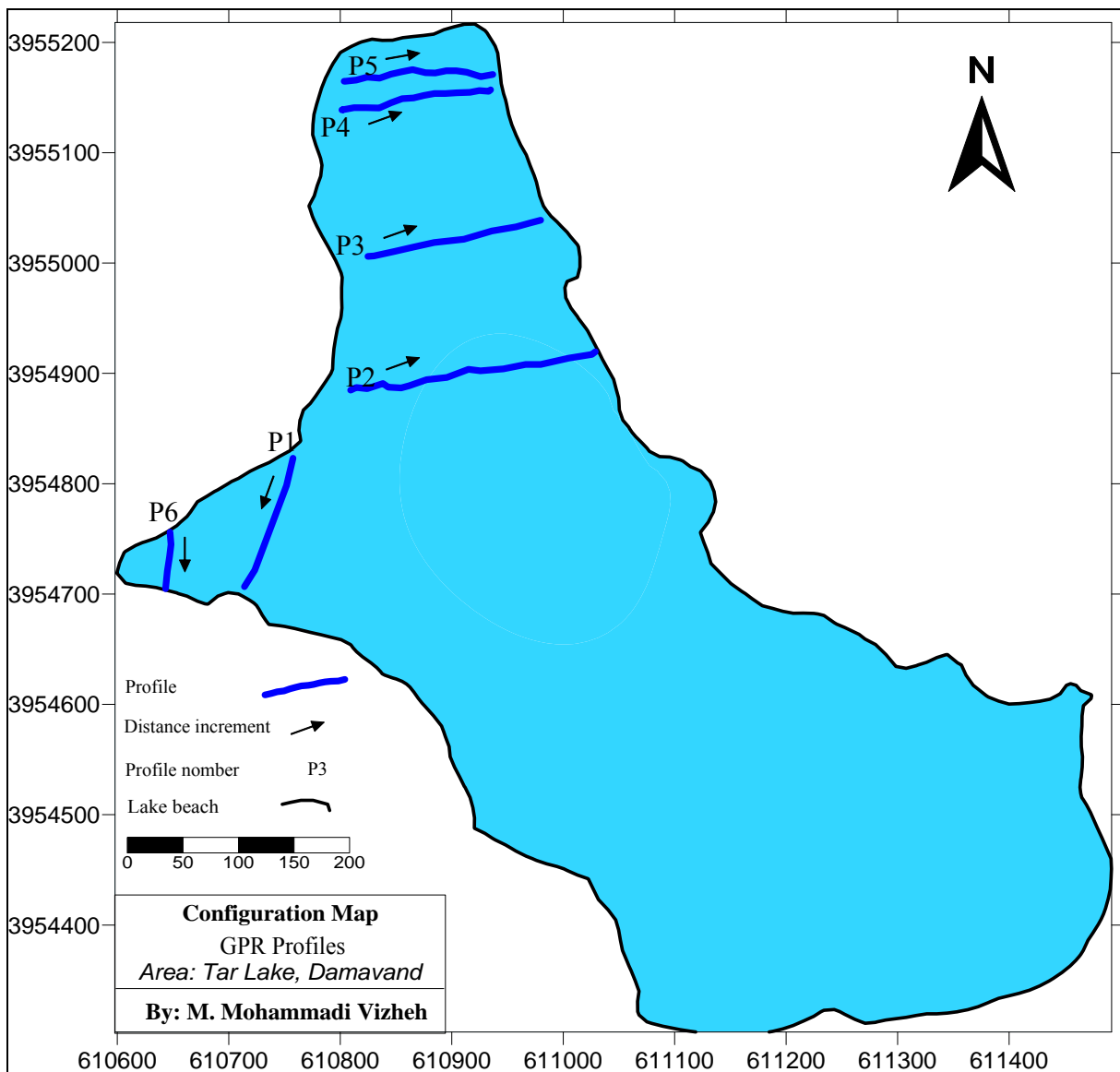
همانطور که قبلاً اشاره شد، هدف از پیمایش GPR در محدوده دریاچه تار، بررسی وضعیت رسوبات کف دریاچه بوده است. از آنجا که عمق دریاچه در محل برخی از پروفیل های برداشت از ۲۰ و حتی ۳۰ متر نیز متجاوز بوده است، از آنتن های با بیشترین عمق نفوذ استفاده شده است. از این رو در این مطالعه، داده ها با استفاده از آنتن های ۲۵ و ۵۰ مگاهرتز بدون پوشش^۱ شرکت MALA برداشت شده اند. برای جابه جایی این آنتن ها بر روی سطح آب از یک قایق پلاستیکی دو جداره استفاده شده است. همچنین به منظور افزایش سرعت اندازه گیری، داده ها به صورت پروفیل زنی با سرعت ثابت برداشت شده اند. به این ترتیب قایق با سرعتی یکنواخت (حدوداً ۰/۶ متر بر ثانیه) در طول پروفیل مورد نظر جابه جا شده و داده ها با فواصل زمانی ۰/۲ ثانیه برداشت شده اند. از این رو فواصل تقریبی ایستگاه های برداشت، در حدود ۰/۱۲ متر می باشد. برای جلوگیری از جابه جایی های ناخواسته قایق بر روی سطح آب و همچنین مهار قایق در طول پروفیل، مسیر برداشت بوسیله طنابی که در دو سر پروفیل ثابت شده، مشخص شده است. به این ترتیب داده ها در طول خطی که نقاط ابتدا و انتهای آن با طناب به یکدیگر متصل است، برداشت شده اند. همچنین برای تعیین موقعیت مکانی رد های برداشتی، هر ۵ متر از طناب علامت گذاری شده و در حین برداشت به محض رسیدن قایق به نقطه علامت گذاری شده، نقطه برداشت Mark شده است. به این ترتیب به هنگام پردازش داده ها در صورتی که سرعت قایق تغییر کرده باشد، امکان ویرایش آنها وجود دارد. علاوه بر این همزمان با برداشت های GPR برداشت های GPS نیز صورت پذیرفته است و به منظور لحاظ کردن انحرافات جزئی در طول خط برداشت، موقعیت پروفیل توسط دستگاه GPS مسیریابی^۳ شده است. این مسیرها که منطبق بر طول پروفیل های برداشتی است، در نقشه ۲-

^۱ Unshielded

^۲ Trace

^۳ Track

۱ به نمایش درآمده‌اند. علاوه بر این موقعیت ساحل دریاچه با فاصله تقریبی ۵ متر از آن توسط GPS مسیر یابی شده و در این نقشه به نمایش درآمده است. نحوه برداشت داده ها و تجهیزات مورد استفاده در تصویر ۱-۲ به نمایش درآمده است.



نقشه ۱-۲: موقعیت دریاچه تار و پروفیل های برداشت



تصویر ۱-۲: نحوه برداشت داده ها با آنتن ۲۵ مگاهرتز به همراه پروفیل برداشت (الف)، آنتن ۵۰ مگاهرتز درون قایق (ب).

۶-۲- نحوه پردازش داده‌ها

به‌طور کلی هدف از پردازش داده‌های ژئوفیزیک، غلبه بر محدودیت‌های ذاتی داده‌های برداشت شده، برای دستیابی به اطلاعات واقعی‌تر از اهداف زیرسطحی می‌باشد. در صورتی که پردازش بر روی داده‌ها اطلاعات دقیق‌تری در اختیارمان قرار دهد، در نهایت منجر به تفسیر منطقی و مطمئن‌تری خواهد شد. برای پردازش داده‌های خام این مطالعه از نرم افزار RadExplorer نسخه ۱/۴۱ استفاده شده است. ضمن اینکه برای نمایش مقاطع پردازش یافته پروفیل‌های GPR نرم افزار Reflex2DQuick مورد استفاده قرار گرفته است.

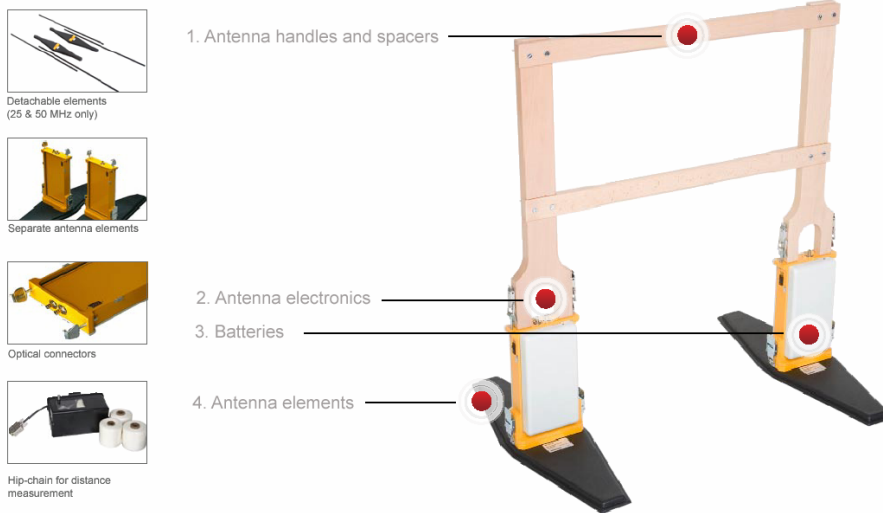
۷-۲- تجهیزات مورد استفاده

دستگاه GPR مورد استفاده در این اندازه‌گیری ساخت شرکت سوئدی MALA می‌باشد. برای انجام این برداشت از تجهیزات زیر استفاده شده است.

• آنتن‌های ۲۵ و ۵۰ مگاهرتز بدون پوشش به همراه واحدهای الکترونیکی و باتری‌ها و

همچنین کابل‌های فیبر نوری به منظور اتصال آن به واحد کنترل. در تصویر ۲-۲ اجزاء آنتن‌های بدون

پوشش آورده شده است.



تصویر ۲-۲: اجزاء مختلف آنتن های بدون پوشش

• واحد کنترل^۱ (CUII)، که وظیفه برداشت داده ها و همچنین هماهنگی و تنظیم فواصل زمانی^۲

بین آنتن ها را دارا می باشد. از آنجا که زمان ارسال و دریافت پالس های GPR بسیار کوچک است

(در حدود نانوثانیه)، برای ثبت رویدادها در چنین فواصل زمانی به دستگاه های با دقت بسیار بالا احتیاج

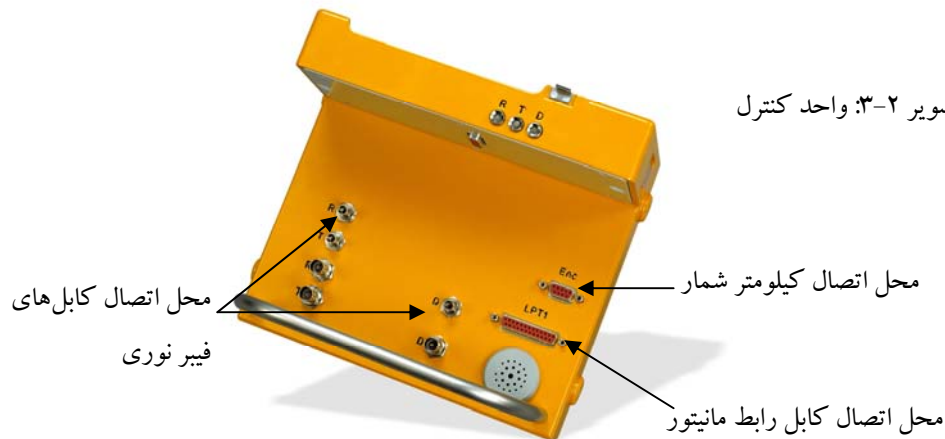
است. تنظیم فواصل زمانی و هماهنگی بین آنتن های فرستنده و گیرنده برای ارسال و دریافت این امواج

توسط این واحد کنترل می شود. در تصویر ۲-۳ قسمت های مختلف این واحد به نمایش در آمده

است.

¹ Control unit

² Timing



تصویر ۲-۳: واحد کنترل

- نمایشگر XV11، که تمامی پارامترهای برداشت از طریق این واحد و توسط کاربر تعیین می-گردد. داده های اندازه گیری شده توسط واحد کنترل به صورت همزمان به نمایشگر دستگاه منتقل می-شوند. از این رو داده های اندازه گیری شده توسط کاربر به صورت همزمان قابل کنترل است. از طرفی توسط این دستگاه امکان پردازش های ابتدایی داده ها بلافاصله بعد از برداشت آنها ممکن است. علاوه بر این داده های ذخیره شده در حافظه این نمایشگر قابل انتقال به کامپیوترهای دیگر و پردازش و تفسیر توسط نرم افزارهای پیشرفته GPR می باشد. قسمت های مختلف و تجهیزات همراه این نمایشگر در تصویر ۲-۴ به نمایش در آمده است.



12v dc input



External ports, USB,
Ethernet and serial



Portable carrying options



Icon driven menu structure

1. Field rugged IP67 housings
2. Impact resistant screen
3. Large colour LCD
4. Unique dual function turn/ push button



تصویر ۲-۴: نمایشگر XV و تجهیزات همراه

فصل سوم

بررسی نتایج

۳-۱-۱- بررسی نتایج بر روی پروفیل ۱

این پروفیل به طول ۱۲۵ متر و با امتداد تقریبی شمالی - جنوبی بر روی دریاچه و در حوالی دلتای غربی آن، با استفاده از دو آنتن ۵۰ و ۲۵ مگاهرتز بدون پوشش مورد پیمایش قرار گرفت. موقعیت این پروفیل بر روی نقشه ۱-۲ با حرف PI نشان داده شده و نتایج حاصل از برداشت با استفاده از این آنتن ها به صورت جداگانه در ادامه آورده شده است.

۳-۱-۱-۱- آنتن ۵۰ مگاهرتز بدون پوشش

مقطع پردازش یافته این پروفیل در مقطع ۱-۳ به نمایش در آمده است. برای تبدیل مقطع زمانی به مقطع عمقی، از سرعت امواج در آب (۰/۰۳۳ متر بر نانوثانیه) استفاده شده است. همانطور که در این مقطع دیده می-شود، شیب دامنه شمالی دریاچه تا عمق تقریبی ۱۴ متری به خوبی قابل تشخیص است. از این رو عمق نفوذ با استفاده از آنتن ۵۰ مگاهرتز در این محیط (آب دریاچه)، در این حدود می باشد. علاوه بر بی هنجاری اصلی که در هر دو سمت پروفیل به چشم می خورد، چند بی هنجاری دیگر نیز در این مقطع دیده می شود که در ادامه به آنها پرداخته خواهد شد. همانطور که در این مقطع دیده می شود، شدت بازتاب و یا به عبارتی وضوح شیب دامنه ها در قسمت شمالی پروفیل بیشتر است. این تضاد بالاخص در اعماق بیش از ۵ متر به خوبی قابل تشخیص

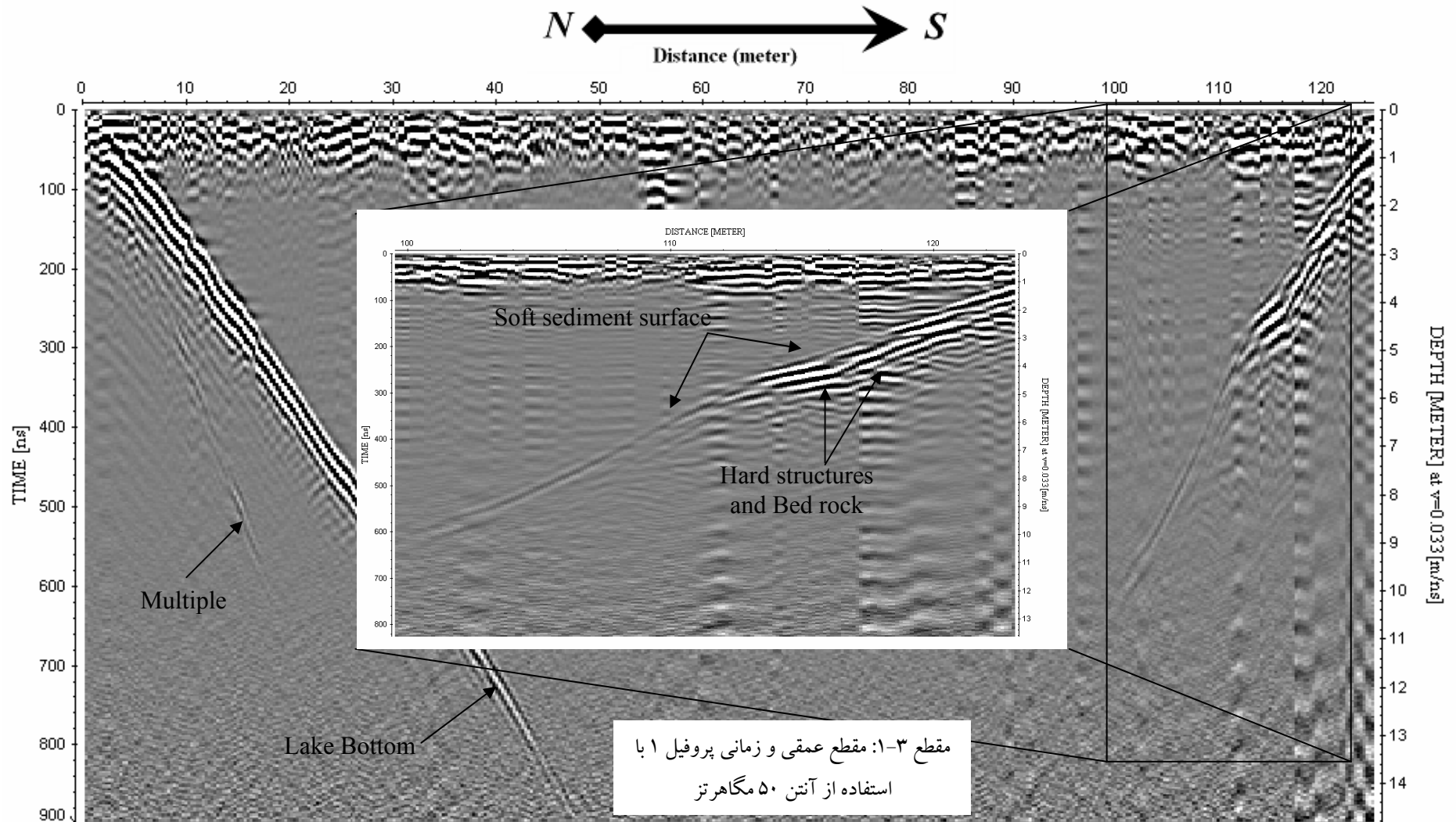
است. این مسأله از حضور رسوبات نرم ریز دانه و تمرکز آنها در قسمت جنوبی پروفیل ناشی شده است. این رسوبات که حاوی رسوبات ریزدانه (عمدتاً رسی و سیلتی) و مواد ارگانیک می باشند و کاملاً از آب اشباع شده‌اند، در تمام نقاط دریاچه به چشم می‌خورند. حضور این رسوبات در نهشته های کف دریاچه در نمونه-گیری های انجام شده از کف دریاچه به اثبات رسیده است (مشاهده نگارنده به هنگام نمونه گیری همزمان از کف دریاچه). این رسوبات در بعضی نقاط از تمرکز بالا و ضخامت قابل توجهی برخوردار می باشند. برای نمایش این رسوبات در مقاطع مورد بررسی از واژه Soft sediment استفاده شده است. همانطور که در مقطع ۳-۱ دیده می شود، ضخامت این رسوبات توسط توپوگرافی کف دریاچه کنترل می شود. در فاصله ۱۱۵ متری پروفیل و در عمق ۴ الی ۵ متری پروفیل که یک برآمدگی در توپوگرافی دامنه دریاچه به وجود آمده است، این رسوبات از ضخامت نسبی بالاتری برخوردارند. به این ترتیب پاسخ آنها از رسوبات سخت تر و واریزه های سنگی قابل تفکیک می باشد. این واریزه ها که در اندازه های شنی تا تخته سنگ های بزرگ در دامنه های اطراف دریاچه نیز به چشم می‌خورند، به واسطه فرسایش فیزیکی و شیب قابل توجه دامنه های اطراف به درون دریاچه غلطیده و تا عمق قابل توجهی از دریاچه فرو رفته اند. به نظر می رسد که این واریزه ها با ضخامت کم (حدوداً ۱ متر) بر روی سنگ کف آهکی قرار گرفته باشند.

در سمت شمالی پروفیل احتمالاً به دلیل ضخامت پایین رسوبات نرم، این رسوبات از نهشته های زیرین قابل تفکیک نمی باشند و تنها یک پاسخ قابل تشخیص می باشد. علاوه بر این، یک بی هنجاری ضعیف با شیب بیشتر از دامنه دریاچه در سمت شمالی این پروفیل قابل تشخیص می باشد. این بی هنجاری از سطح شروع شده و تا عمق تقریبی ۹ متری قابل تشخیص می باشد. برای نمایش این بی هنجاری از واژه Multiple استفاده شده است. در نگاه اول ممکن است این بی هنجاری را ناشی از یک فصل مشترک زیرسطحی تفسیر کنیم، در

صورتی که این بی هنجاری اولین بازتاب پیاپی (چندگانه^۱) از کف دریاچه می باشد. همانطور که در این شکل دیده می شود، بازتاب کف دریاچه در این ناحیه بسیار بارز است و از طرفی بر خلاف سمت مخالف از توپوگرافی هموار و شیب یکنواختی برخوردار است. در چنین شرایطی امواج پس از بازتاب از کف دریاچه و بازگشت به سمت بالا، در سطح آب و در فصل مشترک آب و هوا قسمتی از امواج دوباره بازتاب می شوند و به سمت پایین انتشار می یابند. موج منتشر شده به سمت پایین پس از بازتاب از کف دریاچه، برای دومین بار این فصل مشترک را آشکارسازی می کند. با توجه به تباین در مشخصات الکترومغناطیس آب و نهشته های سخت دامنه دریاچه و همچنین کم اتلاف^۲ بودن آب شیرین نسبت به امواج GPR، بروز چنین رویدادهایی در نقاط دیگر نیز بسیار محتمل است. اما با توجه به مشخصات خاص دامنه دریاچه در این ناحیه، این پاسخ در این ناحیه به خوبی قابل آشکارسازی می باشد. در صورتی که در سمت مخالف و حتی دیگر نقاط دریاچه علی رغم وجود چنین پاسخی، به دلیل ضعیف بودن آن به خوبی آشکارسازی نمی شود.

¹ Multiple

² Low loss



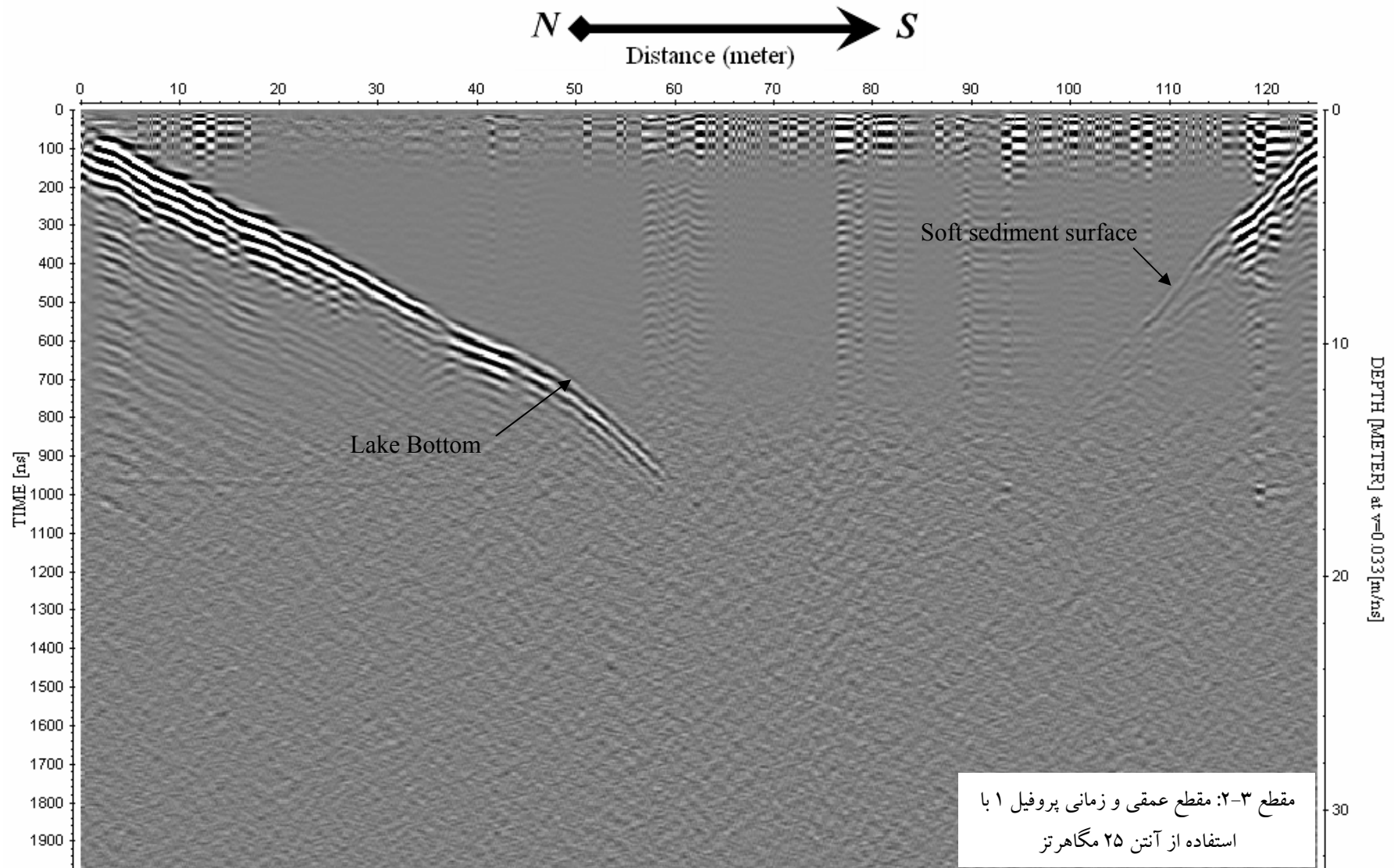
۳-۱-۲- آنتن ۲۵ مگاهرتز بدون پوشش

مقطع پردازش یافته این پروفیل در مقطع ۲-۳ به نمایش درآمده است. همانطور که در این مقطع دیده می شود، عمق نفوذ با استفاده از این آنتن در حدود ۱۷ الی ۱۸ متر می باشد و اطلاعاتی از اعماق بیشتر با استفاده از این آنتن در دسترس نیست. با استفاده از آنتن ۲۵ مگاهرتز عمق نفوذ ۳ الی ۴ متر بیشتر از آنتن ۵۰ مگاهرتز می باشد. این افزایش عمق نسبی، کاهش نامطلوب قدرت تفکیک را در پی داشته است. در صورتی که در استفاده از این آنتن عمق نفوذ بیشتری مورد انتظار بوده است. این امر را می توان به خصوصیات محیط مورد مطالعه (آب دریاچه) نسبت داد. همچنین از عوامل دیگری که می تواند سبب افزایش اندک عمق نفوذ در استفاده از آنتن ۲۵ مگاهرتز نسبت به آنتن ۵۰ مگاهرتز باشد، وضعیت قرار گیری آنتن ها بر روی قایق مورد استفاده است (تصویر ۱-۲). به دلیل ابعاد کوچک قایق نسبت به آنتن ۲۵ مگاهرتز، وضعیت قرار گیری این آنتن بر روی قایق در مقایسه با آنتن ۵۰ مگاهرتز، متفاوت بوده است. آنتن ۵۰ مگاهرتز درون قایق قرار گرفته و فاصله آن با سطح آب قابل چشم پوشی بوده است. در صورتی که آنتن ۲۵ مگاهرتز به هنگام برداشت در حدود ۴۰ الی ۵۰ سانتیمتر بالاتر از سطح آب قرار داشته است. این امر می تواند گسترش و پخش قسمت قابل توجهی از سیگنال های ارسالی در هوا را سبب شده و عمق نفوذ را تا اندازه ای کاهش دهد.

همانطور که در مقطع ۲-۳ دیده می شود، در قسمت جنوبی این پروفیل رسوبات نرمی که در مقطع ۱-۳ قابل تشخیص بوده است، در این مقطع به راحتی قابل آشکارسازی نیست. این مسأله تأکیدی بر کنترل قدرت تفکیک^۱ توسط طول موج آنتن مورد استفاده است. قدرت تفکیک قائم توسط طول موج امواج GPR کنترل می شود. از آنجا که طول موج با فرکانس رابطه معکوس دارد، در استفاده از آنتن های با فرکانس پایین، قدرت تفکیک کاهش می یابد. در صورتی که این پروفیل را به صورت مجزا در نظر بگیریم، تشخیص ضخامت

^۱ Resolution

رسوبات نرم (که در فاصله ۱۱۵ متری و در عمق ۴ متری مقطع ۱-۳ در حدود ۰/۵ متر ضخامت دارند) غیر
ممکن به نظر می رسد.



۲-۳- بررسی نتایج بر روی پروفیل ۲

این پروفیل با امتداد تقریبی غربی- شرقی به طول ۲۱۵ متر بر روی دریاچه و با استفاده از آنتن ۵۰ مگاهرتز غیر پوششی مورد پیمایش قرار گرفت. همانطور که در نقشه ۱-۲ دیده می شود، این پروفیل به فاصله تقریبی ۳۰۰ متر از حاشیه دلتای شمالی این دریاچه در نظر گرفته شد. مقطع پردازش یافته این پروفیل در مقطع ۳-۳ به نمایش درآمده است. برای نمایش جزئیات تنها دامنه شرقی این پروفیل به صورت جزئی تر به نمایش درآمده است. همانطور که در این مقطع دیده می شود، در قسمت شرقی این پروفیل، یک رویداد شیب دار ضعیف بر روی یک رویداد با بازتاب بارزتر قرار گرفته است. در عمق تقریبی ۹ متری، دیگر اثری از این بازتاب ضعیف، قابل تشخیص نمی باشد. این در صورتی است که بازتاب از سطح ساختارهای سخت تر (سنگ کف آهکی که احتمالاً ضخامت کمی از واریزه ها و رسوبات سخت تر بر روی آن قرار گرفته است) تا اعماق ۱۴ متری به خوبی قابل تشخیص است. این مسأله از توان بازتاب متفاوت این دو ساختار ناشی می شود. دو دلیل عمده می توانند چنین پاسخی را سبب شوند. اول اینکه در مرز بین آب و رسوبات نرم کف دریاچه، مشخصات الکترومغناطیس (عمدتاً گذردهی دی الکتریک) به صورت تدریجی از آب به رسوبات نرم تغییر یابد و این تغییر ناگهانی^۱ نباشد. دوم اینکه مشخصات الکترومغناطیس رسوبات نرم بسیار به آب نزدیک باشد. هر چند هر دو این عوامل می توانند در تفسیر چنین رویدادی لحاظ شوند و از نظر منطقی تفسیری نزدیک به واقع قلمداد شوند ولی دلیل دوم می تواند از سهم بسیار بیشتری برخوردار باشد. رسوبات نرمی که فوقانی ترین لایه رسوبات دریاچه ای و به عبارتی جوانترین آنها را تشکیل می دهند، کاملاً اشباع از آب بوده و از نظر خواص الکترومغناطیس در مقابل امواج GPR رفتاری نزدیک به آب از خود نشان می دهند. دلیل نزدیک بودن

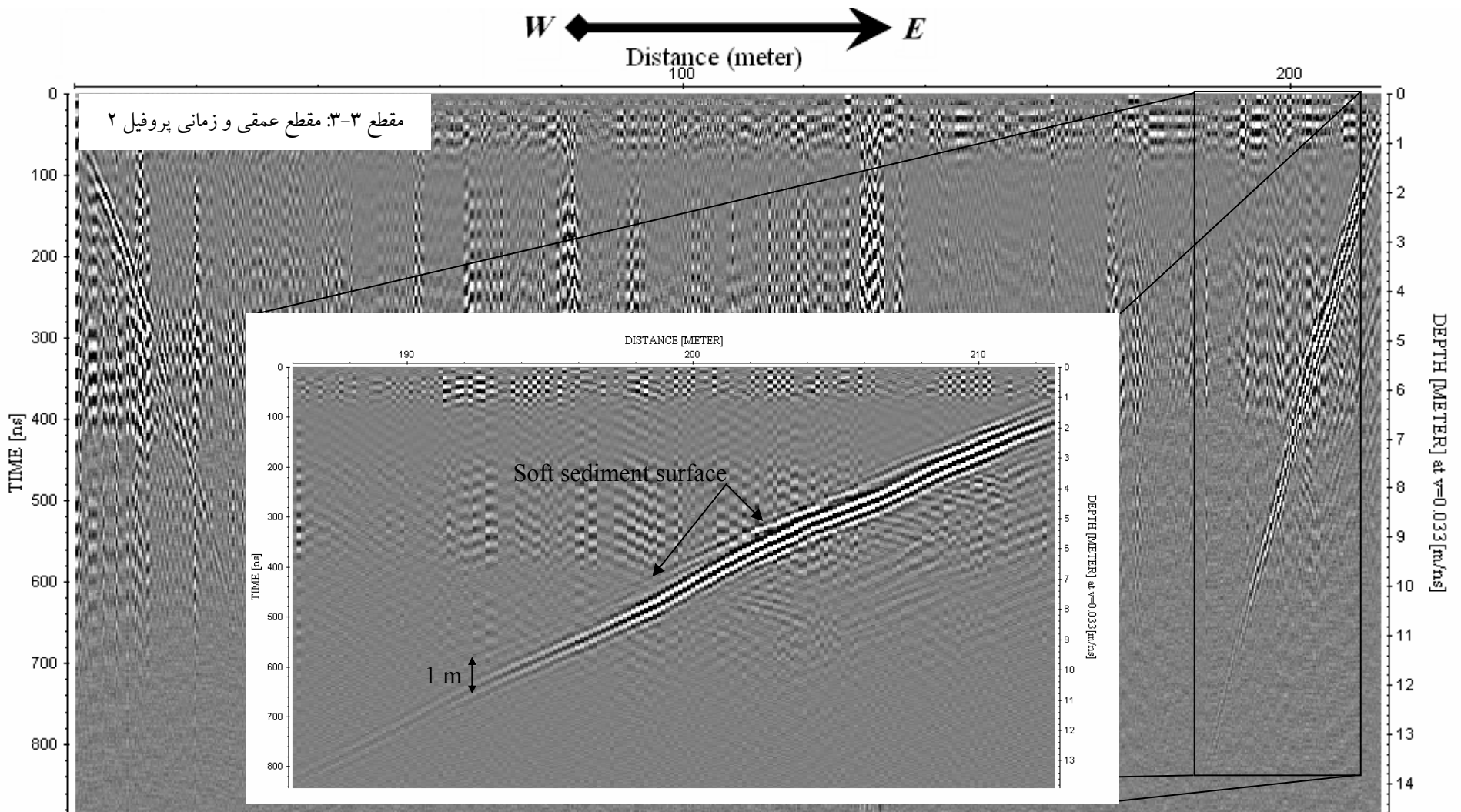
^۱ Sharp

مشخصات الکترومغناطیس این رسوبات به آب را می توان ناشی از متراکم نبودن آنها و میزان بالای آب موجود در آنها دانست. در فاصله ۱۹۲ متری از طول پروفیل و در عمق ۱۰ متری که بازتاب ناشی از این رسوبات بسیار ضعیف گشته و تقریباً محو می شود، ضخامت این رسوبات به کمتر از یک متر می رسد. همانطور که در این شکل دیده می شود، ضخامت این رسوبات با افزایش عمق افزایش می یابد و احتمالاً در خط القعر دریاچه به بالاترین میزان خود می رسد. همچنین با نزدیک شدن به کف دریاچه احتمال حضور رسوبات دانه درشت تر نیز افزایش می یابد.

در فاصله ۸۰ و ۱۱۰ متری پروفیل و به صورت محلی در اقصی نقاط طول پروفیل، یک سری بازتاب های با دامنه بالا از سطح به عمق دیده می شود. این بازتاب ها که بعضاً پاسخ های مربوط به ساختارهای درون دریاچه را مغشوش می کنند، نوفه^۱ های مربوط به رینگی شدن امواج و استفاده از آنتن های بدون پوشش می باشد. این نوفه ها که قبل از پردازش به صورت بازتاب های کاملاً افقی بر روی مقاطع وجود داشته است، بعد از اعمال فیلتر حذف مقدار زمینه^۲ به مقدار قابل توجهی کاهش یافته اند. در هنگام برداشت داده ها، اپراتورها، آنتن و تجهیزات مورد استفاده در یک قایق قرار گرفته اند. از این رو بواسطه جابه جایی های ناخواسته اپراتورها و تجهیزات درون قایق، این نوفه ها بعد از پردازش بر روی داده ها نیز کم و بیش قابل مشاهده اند. چنین نوفه هایی در تمامی پروفیل های مورد بررسی قابل تشخیص می باشد ولی اندازه آنها در بعضی پروفیل ها بیشتر است.

¹ Noise

² Background removal



۳-۳- بررسی نتایج بر روی پروفیل ۳

پروفیل ۳ به طول ۱۵۸ متر و با امتداد تقریبی غربی- شرقی و موازی با پروفیل ۲ و به فاصله تقریبی ۱۴۰ متر از آن بر روی دریاچه در نظر گرفته شد. این پروفیل با استفاده از آنتن ۵۰ مگاهرتز غیر پوششی مورد پیمایش قرار گرفت. مقطع پردازش یافته این پروفیل همراه با جزئیات بی هنجاری ها در مقطع ۳-۴ به نمایش در آمده است. همانطور که در این مقطع دیده می شود، همانند پروفیل هایی که تاکنون مورد بررسی قرار گرفت، عمق دریاچه در طول این پروفیل نیز عمیق تر از عمق نفوذ آنتن مورد استفاده است. از این رو از کف دریاچه و رسوبات آن به طور مستقیم اطلاعاتی قابل دسترس نیست. همانطور که در مقطع ۳-۴ قابل مشاهده است، رسوبات نرمی که در بخش های قبل مورد بررسی قرار گرفت، در هر دو دامنه دریاچه قابل تشخیص است. علاوه بر این در این پروفیل بی هنجاری های دیگری قابل تشخیص است که از جمله مهمترین این بی هنجاری ها بازتاب های پراشیده ای هستند که با دامنه بازتاب نسبتاً بالا در زیر رسوبات نرم به چشم می خورند. همانطور که در قسمت غربی این پروفیل دیده می شود، برونراند^۱ یکی از این هذلولی ها، با هذلولی مدلی که بر روی آن قرار گرفته است، انطباق خوبی دارد. برونراند (شیب دامنه های هذلولی) متناسب با سرعت امواج الکترومغناطیس در ساختارهای مورد بررسی است. از این رو از این ویژگی می توان در تعیین سرعت متوسط ساختارهای زیرسطحی استفاده کرد. این امکان در برخی از دستگاه ها و نرم افزارهای GPR موجود می باشد.

آنتن های GPR امواج الکترومغناطیس را به صورت یک مخروط سه بعدی به درون زمین ارسال می کنند. در نتیجه یک بازتاب بر روی ردهای ثبت شده می تواند از هر کجای این جبهه موج نشأت گرفته باشد. این بازتاب ها از هر کجای جبهه موج که نشأت گرفته باشند، در مقاطع GPR در محل برداشت داده ها نمایش داده

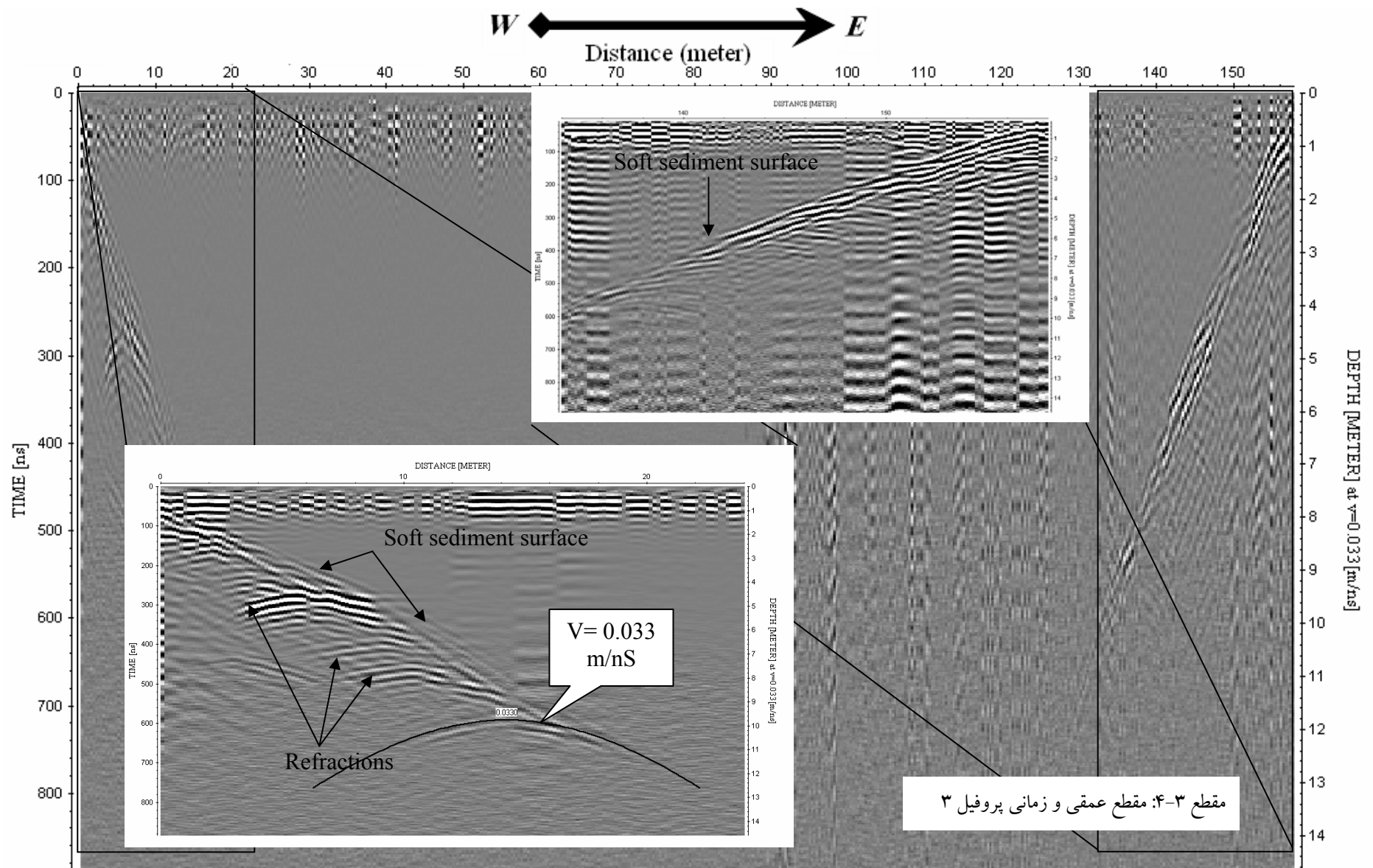
^۱ Move out

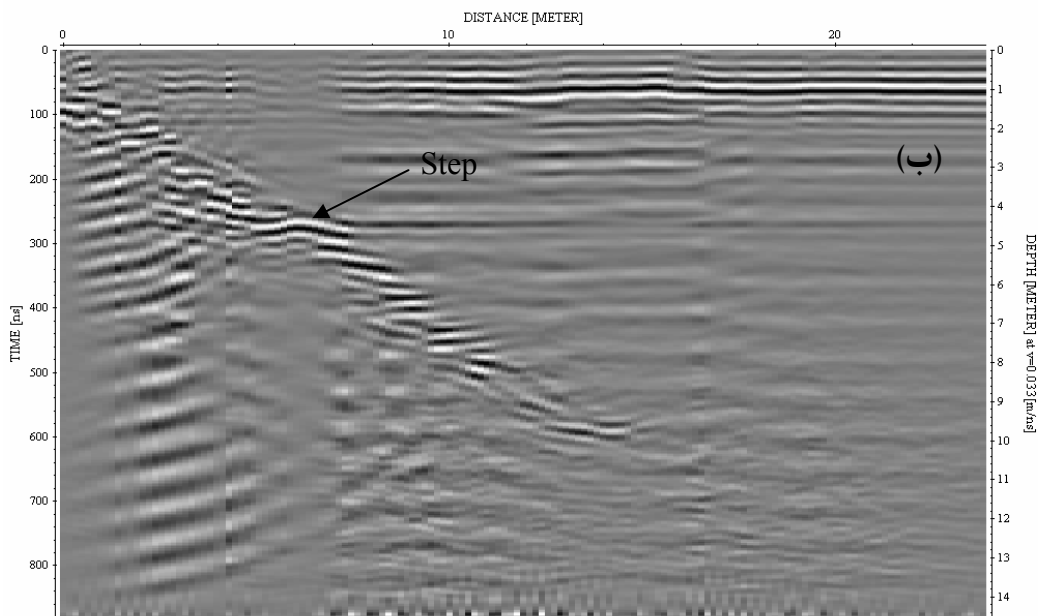
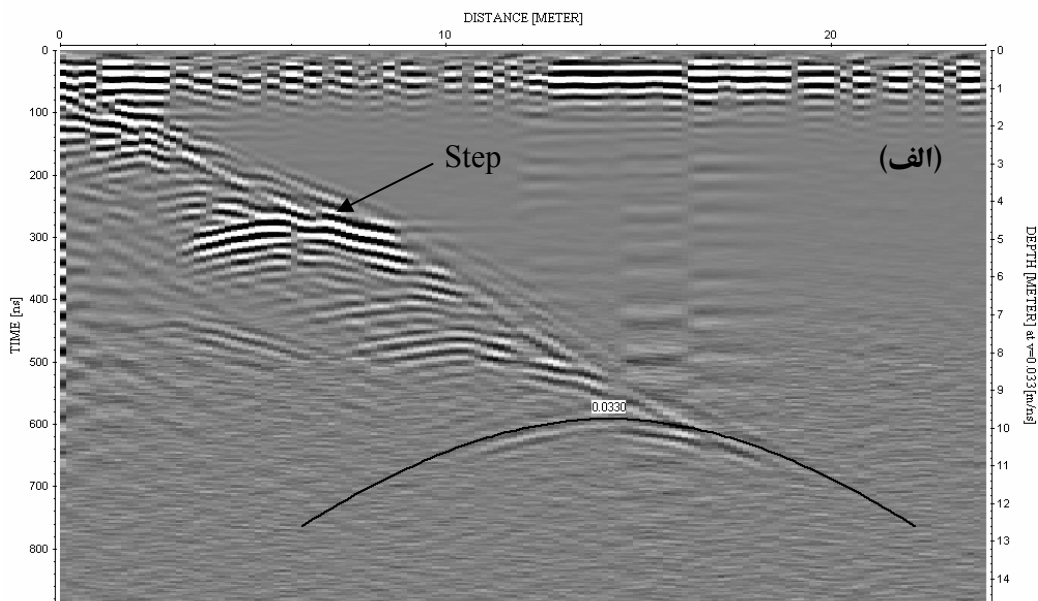
می شوند. به این ترتیب، اهداف نقطه‌ای به دلیل پراش امواج در برخورد با آنها به صورت بازتاب‌های هذلولی شکل در مقاطع GPR، دیده می‌شوند. برای حذف و کاهش این اثرات در مقاطع GPR از پردازش مهاجرت^۱ استفاده می‌شود. توسط این پردازش، رویداد های انکساری به مکانی که از آنجا پراشیده شده اند، بازگردانده می‌شوند.

با توجه به مطالبی که ذکر شد هذلولی واقع در ۱۵ متری پروفیل، برونراندی متناسب با سرعت ۰/۰۳۳ متر بر ثانیه از خود نشان می‌دهد. این سرعت که معادل سرعت امواج الکترومغناطیس در آب می‌باشد، نشان دهنده این مطلب است که سرعت متوسط ساختارهایی که بر روی این هدف قرار گرفته اند، معادل سرعت مزبور می‌باشد. تنها ساختاری هایی که بر روی این هدف واقع شده اند، آب و مقدار کمی رسوبات نرم می‌باشند. با علم به این موضوع چنین برونراندی مورد انتظار بوده و نشان دهنده صحت اندازه گیری ها می‌باشد. علاوه بر این، بی‌هنجاری های دیگری در این پروفیل به چشم می‌خورند که از واژه Refractions برای نمایش آنها استفاده شده است. برای نمایش بهتر جزئیات در مقاطع GPR مورد بررسی از اعمال پردازش مهاجرت بر روی آنها خودداری شده است. از این رو وجود هذلولی ها و بازتاب های ناشی از انکسار امواج در مقاطع مورد بررسی دور از انتظار نیست. چنین بازتاب هایی می‌توانند ناشی از اهداف نقطه‌ای نظیر تخته سنگ ها و یا فصل مشترک های کوچک رسوبی باشند. با توجه به نزدیک بودن این پروفیل به دلتای اصلی این دریاچه و بار رسوبی که از این محل وارد دریاچه می‌شود و همچنین حضور تخته سنگ های ناشی از فرسایش فیزیکی دامنه های اطراف درون دریاچه، هر دو این عوامل می‌توانند مسبب چنین رویدادهایی شوند. علاوه بر این حالت های پلکانی در توپوگرافی دامنه دریاچه، نظیر بی‌هنجاری نشان داده شده با واژه Step در مقطع ۳-۵، در فاصله ۷ متری پروفیل می‌توانند چنین رویدادهایی را سبب شوند. بی‌هنجاری هایی که به واسطه انکسار امواج گسترده تر

¹ Migration

از اندازه واقعی شان در مقاطع GPR دیده می شوند، با اعمال پردازش مهاجرت به نقاطی که از آن انکسار (پراش) یافته اند، بازگردانیده می شوند. از این رو با اعمال پردازش مهاجرت شکل دقیق تری از ساختارهای مورد بررسی، حاصل می شود. در مقطع ۳-۵-ب، مقطع مهاجرت یافته این پروفیل به نمایش درآمده است. برای نمایش جزئیات، تنها دامنه غربی دریاچه در این مقطع به نمایش درآمده است. علاوه بر این برای نمایش تأثیر پردازش مهاجرت بر روی این پروفیل، این مقطع قبل از اعمال پردازش مهاجرت در مقطع ۳-۵-الف به نمایش درآمده است. همانطور که در مقطع ۳-۵-ب دیده می شود، با اعمال پردازش مهاجرت بازتاب های ناشی از انکسار امواج حذف شده و به نقاطی که از آنها پراش یافته اند، بازگردانیده شده اند.





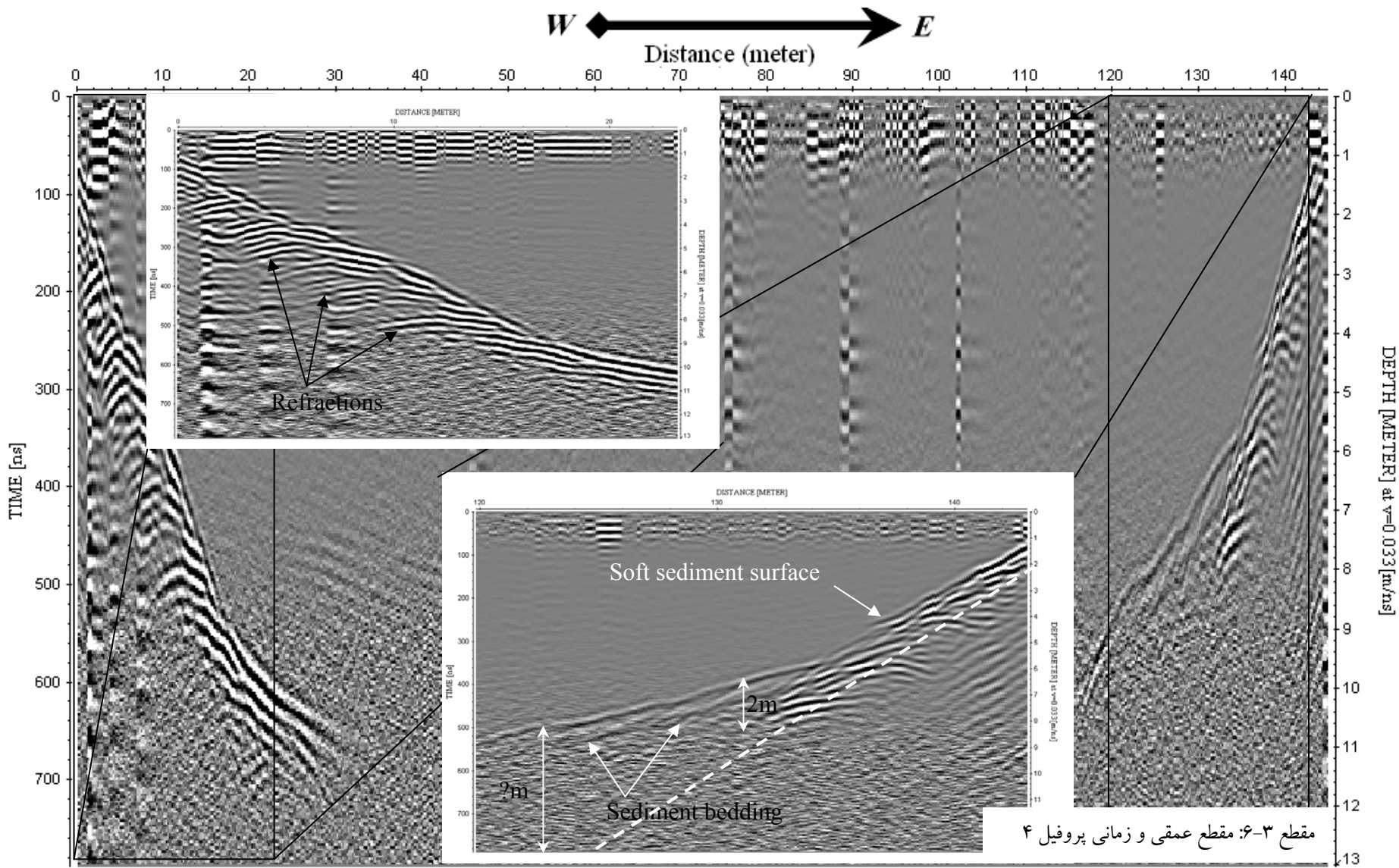
مقطع ۳-۵: دامنه غربی دریاچه در محل پروفیل ۳ قبل از اعمال پردازش مهاجرت (الف) و بعد از اعمال پردازش مهاجرت (ب).

۳-۴- بررسی نتایج بر روی پروفیل ۴

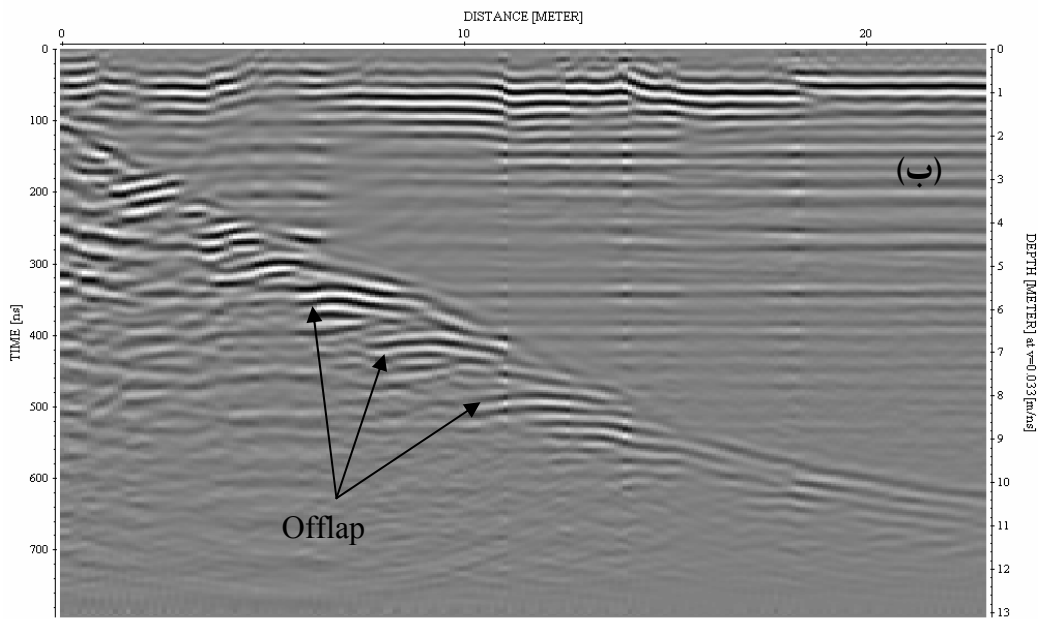
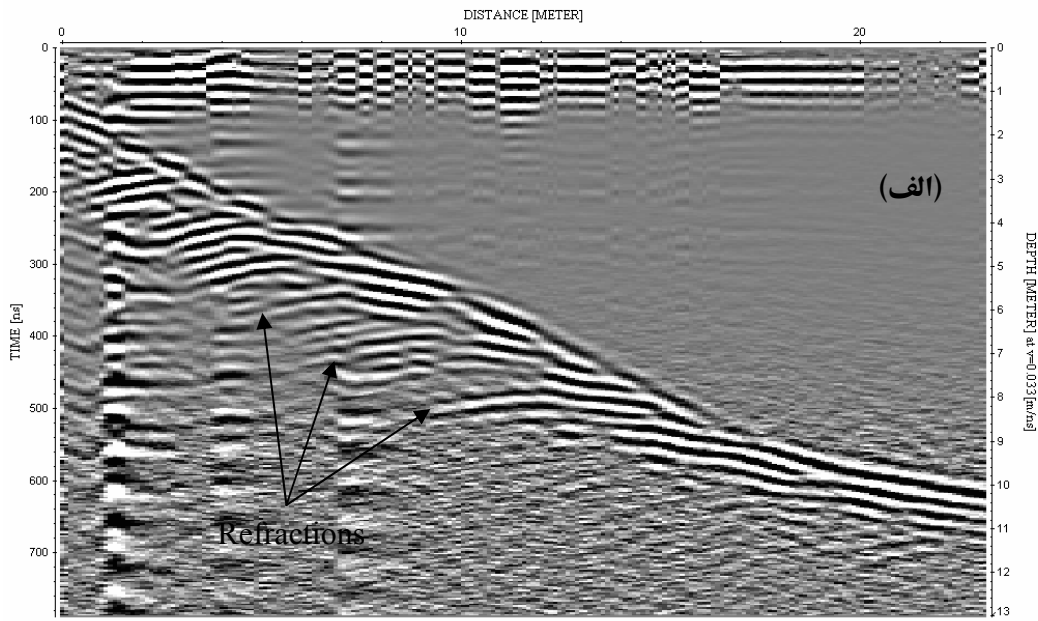
این پروفیل به طول ۱۴۵ متر و موازی با پروفیل های ۲ و ۳، به فاصله تقریبی ۵۰ متر از حاشیه دلتای شمالی و با استفاده از آنتن ۵۰ مگاهرتز، مورد پیمایش قرار گرفت. موقعیت این پروفیل نیز همانند تمام پروفیل های مورد بررسی در نقشه ۱-۲ به نمایش درآمده است. مقطع پردازش یافته این پروفیل در مقطع ۳-۶ آورده شده است. همانطور که در قسمت شرقی این پروفیل دیده می شود، تمرکز رسوبات در این ناحیه بسیار قابل توجه است. در فاصله ۱۳۱ متری از طول پروفیل حداقل ضخامت رسوبات در این ناحیه بالغ بر ۲ متر می باشد. با افزایش ضخامت این رسوبات در نواحی عمیق تر دریاچه، به دلیل رسانندگی بالای رسوبات اشباع از آب نسبت به آب خالص، نفوذ امواج محدود شده است. از این رو با درون یابی شیب سنگ کف آهکی، تخمینی از میزان رسوبات در نواحی مذکور به دست می آید. به نظر می رسد که سنگ کف آهکی در دامنه های دریاچه که میزان رسوبات به حداقل میزان خود می رسد، در زیر واریزه ها و رسوبات سخت تر قرار گرفته باشد. ضخامت این واریزه ها و رسوبات متراکم در دامنه های پرفیل دریاچه احتمالاً از ۱ الی ۲ متر تجاوز نمی کند. در نواحی نزدیک به دلتای شمالی دریاچه نظیر همین پروفیل، رسوبات در دامنه دریاچه هم به مقدار قابل توجهی دیده می شوند. از این رو رسوباتی که بر روی سنگ کف قرار گرفته اند، در این نواحی می توانند از ضخامت بیشتری برخوردار باشند. علاوه بر این یک سری بازتاب های با دامنه ضعیف تر در رسوبات سمت شرقی دریاچه قابل تشخیص است. این فصل مشترک های رسوبی که از واژه Sediment bedding برای نمایش آنها استفاده شده است، نمایانگر لایه بندی رسوبی در این ناحیه بوده و هر کدام از آنها مربوط به دوران مختلف رسوب گذاری می باشند. ضعیف بودن پاسخ آنها ناشی از نزدیک بودن مشخصات الکترومغناطیس این رسوبات به یکدیگر می باشد. این مطلب احتمالاً ناشی از جوان بودن و عدم تراکم مناسب این رسوبات می باشد.

رسوباتی که در دامنه دریاچه قرار دارند و از واژه Soft sediment برای نمایش آنها استفاده شده است، عموماً جزء بار معلق رسوبی هستند که توسط جریانهای ورودی حمل شده اند. این رسوبات از نظر دانه بندی بایستی در اندازه های کوچکتری نسبت به رسوبات کف دریاچه باشند. همانطور که در بررسی پروفیل های قبلی به آن پرداخته شد، این رسوبات کم و بیش در اقصی نقاط دریاچه به چشم می خورند. در سمت غربی این پروفیل نیز یک سری بازتاب های متوالی در دامنه دریاچه به خوبی قابل تشخیص است. این بازتاب ها که تا حدودی در دامنه شرقی پروفیل نیز دیده می شوند، در بررسی پروفیل های قبلی به میزان بسیار کمتری قابل مشاهده بوده است. این بازتاب ها به دلیل انکسار امواج تا حدی گسترده تر از اندازه واقعی خود دیده می شوند. این بازتاب های متوالی می توانند نمایانگر فصل مشترک های رسوبی در این ناحیه باشند. با توجه به نزدیک بودن محل این پروفیل به حاشیه دلتای شمالی این دریاچه، این فرضیه از قوت بیشتری برخوردار می گردد.

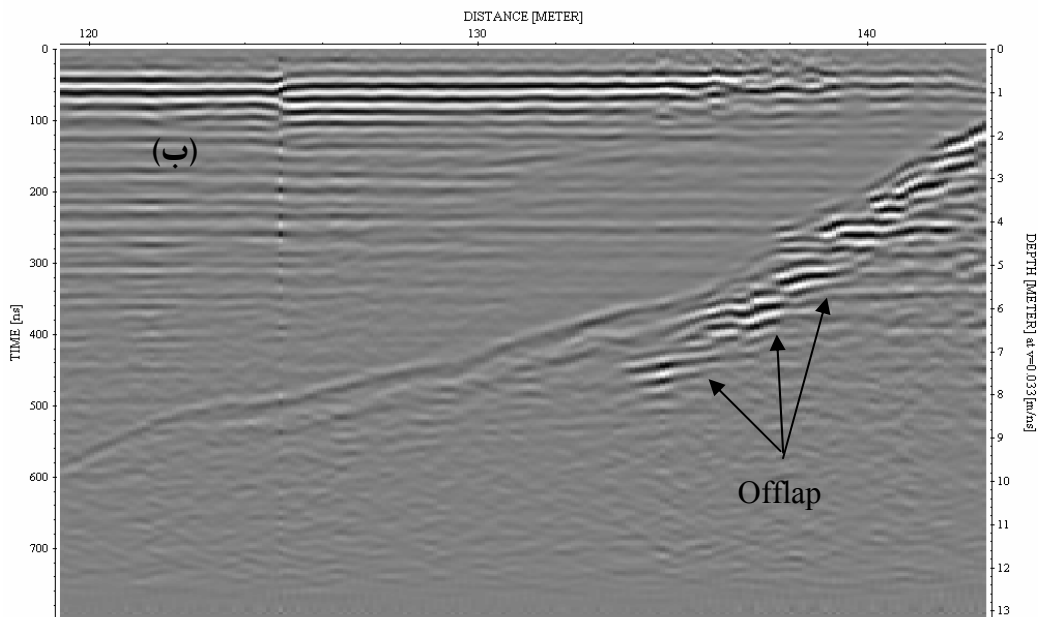
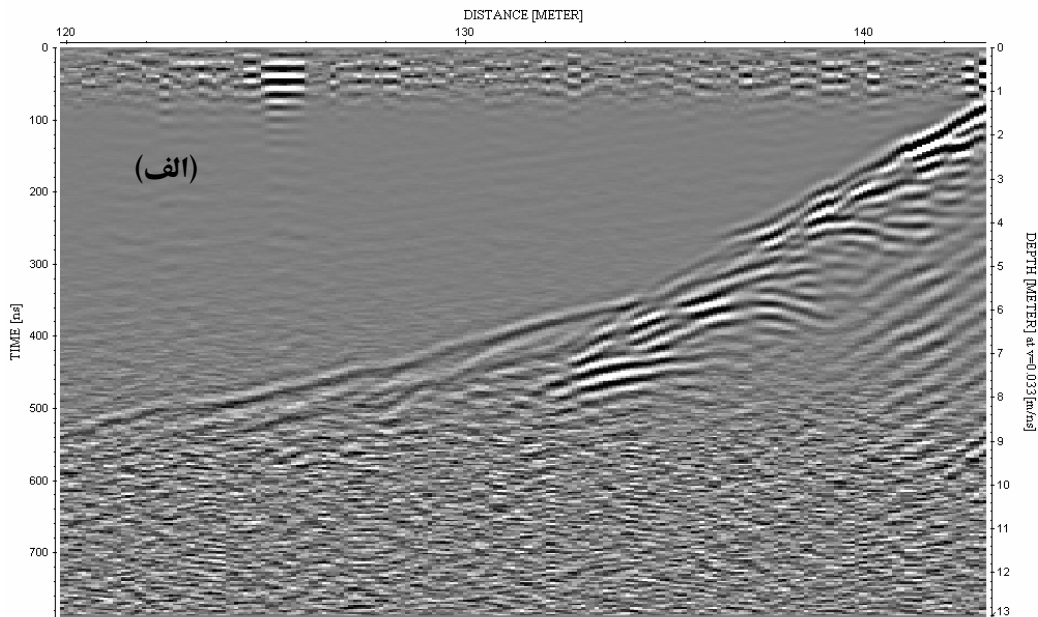
برای بررسی دقیق تر رسوبات و دستیابی به شکل دقیق تر از ساختارهای مورد بررسی، پردازش مهاجرت بر روی این پروفیل نیز اعمال شده است. برای نمایش جزئیات بیشتر در این مقطع، قسمت های غربی و شرقی این پروفیل به صورت جداگانه و به ترتیب در مقاطع ۳-۷ و ۳-۸ به نمایش در آمده اند. همانطور که در مقطع ۳-۷-ب دیده می شود، با اعمال پردازش مهاجرت و حذف امواج پراشیده، فصل مشترک های رسوبی به خوبی به نمایش در آمده اند. برای نمایش این ساختارهای رسوبی از واژه offlap در این مقاطع استفاده شده است. این فصل مشترک ها از سطح به عمق از گسترش جانبی بیشتری برخوردارند. این مسأله دارای انطباق خوبی با نحوه رسوب گذاری در این گونه محیط ها می باشد. این توالی رسوب گذاری در دامنه شرقی این پروفیل در مقطع ۳-۸-ب نیز به خوبی قابل تشخیص است.



مقطع ۳-۶: مقطع عمقی و زمانی پروفیل ۴



مقطع ۳-۷: دامنه غربی دریاچه در محل پروفیل ۴ قبل از اعمال پردازش مهاجرت (الف) و بعد از اعمال پردازش مهاجرت (ب).



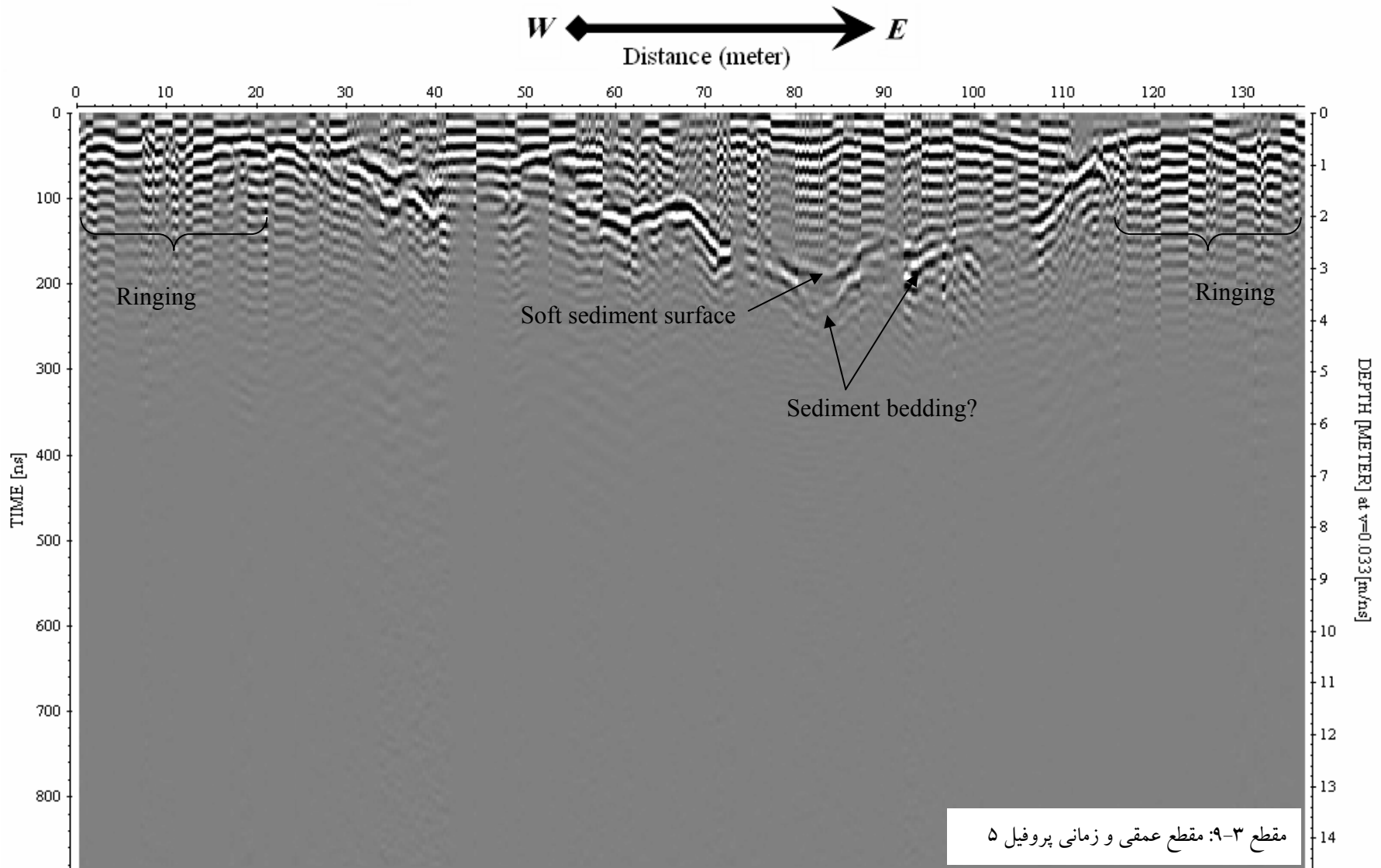
مقطع ۳-۸: دامنه شرقی دریاچه در محل پروفیل ۴ قبل از اعمال پردازش مهاجرت (الف) و بعد از اعمال پردازش مهاجرت (ب).

۳-۴- بررسی نتایج بر روی پروفیل ۵

پروفیل ۵ به طول ۱۳۷ متر در حاشیه دلتای شمالی و با امتداد تقریبی شرقی- غربی با استفاده از آنتن ۵۰ مگاهرتز غیرپوششی مورد پیمایش قرار گرفت. مقطع پردازش یافته این پروفیل در مقطع ۳-۹ به نمایش در آمده است. همانطور که در این مقطع دیده می شود، عمیق ترین قسمت دریاچه در محل این پروفیل از ۴ متر تجاوز نمی کند. در طول این پروفیل بالاخص در فاصله ۷۰ تا ۱۱۰ متری پروفیل دو فصل مشترک قابل تشخیص می- باشد. این دو فصل مشترک می تواند نشان دهنده دو لایه رسوبی مختلف در این ناحیه باشد. فصل مشترک اول را همانند پروفیل هایی که تاکنون مورد بررسی قرار گرفت، می توان ناشی از رسوبات نرم دریاچه ای قلمداد کرد. اما با توجه به نزدیک بودن این پروفیل به حاشیه دلتای شمالی و احتمال وجود تغییرات در جنس و شکل ذرات رسوبی، این لایه رسوبی می تواند از نظر مشخصات متفاوت از رسوبات نرمی باشد که در پروفیل های قبل به آن پرداخته شد. مقطع عمقی این پروفیل، با استفاده از سرعت متوسط امواج GPR در آب (۰/۰۳۳ متر بر نانوثانیه) تهیه شده است. در صورتی که بازتاب از فوقانی ترین لایه، ناشی از رسوبات نرم غیر متراکمی باشد که در پروفیل های قبل مورد بررسی قرار گرفت، ضخامت این رسوبات در مقطع ۳-۹ با دقت خوبی صحیح می باشد. در غیر این صورت با تراکم این رسوبات و کاهش میزان آب موجود در آنها، ضخامت آنها می تواند بیشتر تخمین زده شود. از این رو برای کالیبره کردن اندازه گیرها، نمونه گیری در طول پروفیل برداشت ضروری به نظر می رسد. همانطور که در این مقطع دیده می شود، پاسخی از اعماق بیش از ۴ متر قابل تشخیص نمی باشد. این مطلب احتمالاً ناشی از حضور قابل توجه رسوبات رسی و سیلتی در رسوبات کف دریاچه است. این رسوبات به دلیل اشباع بودن از آب، از رسانندگی الکتریکی قابل توجهی برخوردارند. این مسأله عمق نفوذ امواج GPR را محدود می کند. در ابتدا و انتهای این پروفیل که عمق دریاچه به کمترین مقدار خود می رسد

(کمتر از ۱ متر)، پاسخ کف دریاچه از نوفه ها به دلیل رینگی^۱ شدن امواج در این ناحیه، قابل تفکیک نمی باشد. علاوه بر این، توپوگرافی ناهموار کف دریاچه در محل این پروفیل، تأکیدی بر رسوب گذاری قابل توجه در این ناحیه است. به این ترتیب که با افزایش ضخامت رسوبات در محل رسوب گذاری، در مراحل بعدی رسوب گذاری آب و رسوبات از مسیر دیگری وارد دریاچه می شوند. با تکرار فرایند رسوب گذاری نهایتاً توپوگرافی کف دریاچه در حاشیه این دلتا، به صورت ناهموار در آمده است.

¹ Ringing

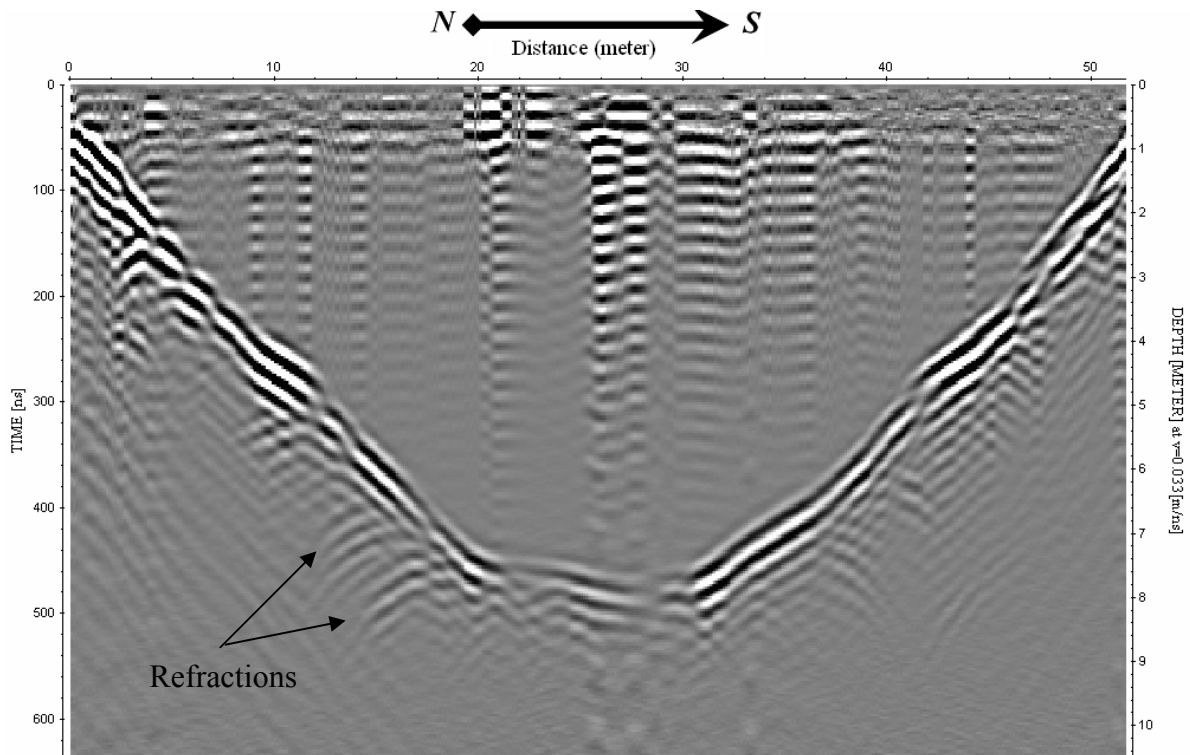


۳-۵- بررسی نتایج بر روی پروفیل ۶

پروفیل ۶ به طول ۵۳ متر و با امتداد شمالی - جنوبی بر روی دریاچه و در حاشیه دلتای غربی آن در نظر گرفته شد. همانطور که در نقشه ۱-۲ دیده می شود، این پروفیل به فاصله تقریبی ۵۰ متر از ساحل دریاچه قرار گرفته است. مقطع پردازش یافته این پروفیل در مقطع ۳-۱۰ به نمایش در آمده است. همانطور که در این مقطع دیده می شود، عمق دریاچه در محل این پروفیل به خوبی توسط آنتن ۵۰ مگاهرتز آشکارسازی شده است. بر خلاف پروفیل هایی که در حوالی دلتای شمالی دریاچه مورد بررسی قرار گرفت، در این پروفیل اثر بارزی از رسوبات نرمی که تقریباً در تمامی پروفیل های مورد بررسی به چشم می خورد، قابل مشاهده نیست. این مسأله احتمالاً از ضخامت پایین این رسوبات در این ناحیه ناشی شده است. به این ترتیب که با استفاده از آنتن ۵۰ مگاهرتز و قدرت تفکیک آن (در آب در حدود ۰/۳ متر) این رسوبات از سنگ کف قابل تفکیک نمی باشند. این مسأله از آنجا ناشی می شود که قسمت اعظم رسوبات این دریاچه از آبراهه های منتهی به دلتای شمالی وارد این دریاچه می شوند. مقدار رسوباتی که از سمت دلتای غربی این دریاچه وارد آن می شوند، احتمالاً بسیار ناچیز است. از این رو بیشترین رسوب گذاری در سمت شمالی دریاچه صورت گرفته است.

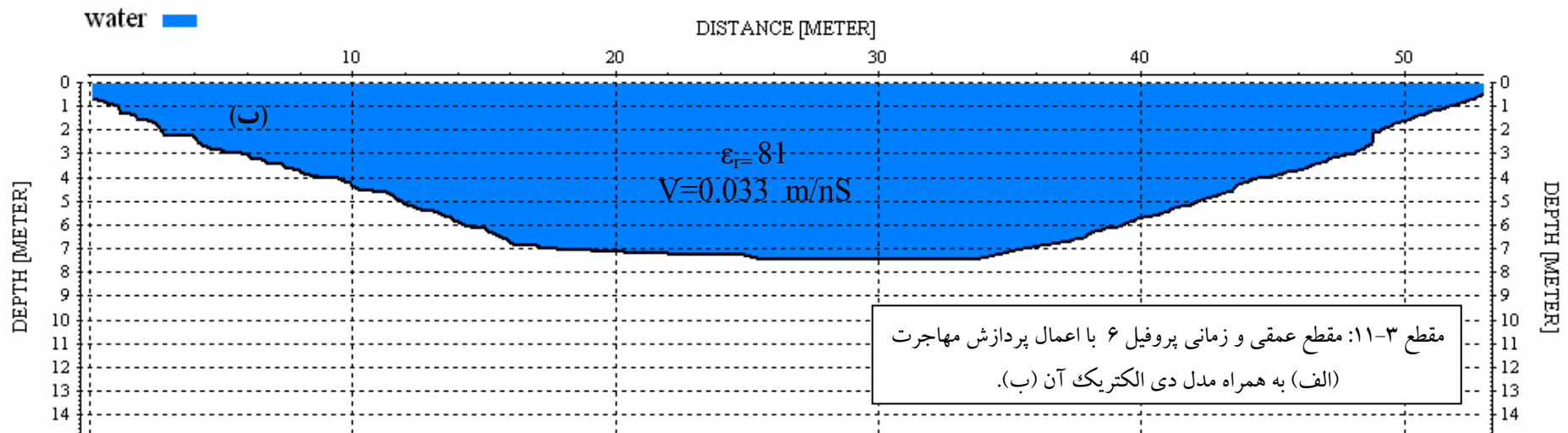
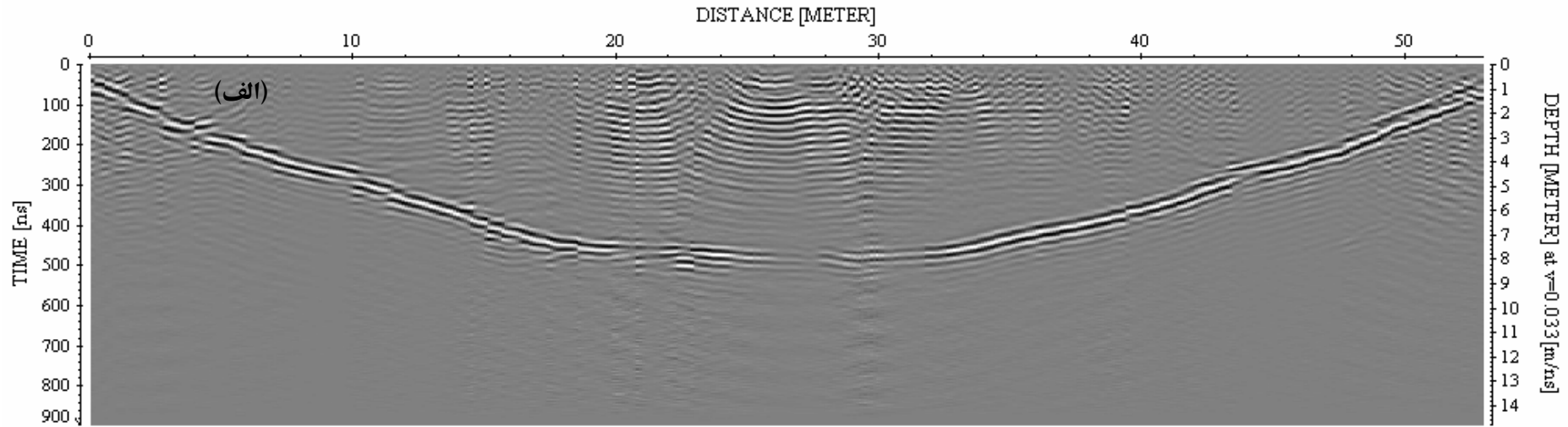
یک سری بازتاب های هذلولی شکل ضعیف (ناشی از انکسار امواج) در زیر پاسخ کف دریاچه در مقطع ۳-۱۰ قابل مشاهده است. همانطور که قبلاً نیز ذکر شد، این بازتاب ها می توانند از اهداف نقطه ای نظیر تخته سنگ ها، و یا تغییرات ناگهانی محلی در توپوگرافی کف دریاچه (داغ آب) ناشی شده باشند. این بازتاب های ضعیف پس از اعمال پردازش مهاجرت در مقطع ۳-۱۱ به نقاطی که از آن پراشیده شده اند، بازگردانده شده اند. در مقطع ۳-۱۱، مقطع عمقی این پروفیل با اعمال پردازش مهاجرت و همچنین مدل دی الکتریک آن به نمایش

درآمده است. همانطور که از این مقطع دیده می شود، روش GPR روشی مناسب و با دقت بالا در عمق یابی^۱ دریاچه های آب شیرین می باشد. ولی با توجه به عمق نفوذ محدود این روش به منظور عمق یابی دریاچه های عمیق، توصیه نمی شود.



مقطع ۳-۱۰: مقطع عمقی و زمانی پروفیل ۶

¹ Bathymetry



۴- نتیجه گیری و پیشنهادات

با بررسی پروفیل هایی که بر روی این دریاچه در نظر گرفته شد، می توان نتیجه گرفت که روش GPR ابزاری مناسب برای عمق یابی دریاچه های آب شیرین با اعماق کم می باشد. همچنین با مقایسه این پروفیل ها می توان دریافت که بخش اعظم رسوبات این دریاچه از طریق آبراهه های منتهی به دلتای شمالی دریاچه وارد آن می شوند. با توجه به قدرت حمل رسوبات دانه ریز که عموماً بار معلق جریان های ورودی را تشکیل می - دهند، این رسوبات در فاصله های دور تر از حاشیه دلتای شمالی و تقریباً در تمام نقاط دریاچه به چشم می - خورند. این رسوبات که حاوی مواد ارگانیک بوده و کاملاً اشباع از آب می باشند، به دلیل نزدیک بودن خواص الکترومغناطیس (گذردهی دی الکتریک) آنها به آب، پاسخ های ضعیفی را در مقاطع GPR از خود نشان می - دهند. از این مشخصه می توان در آشکارسازی و پیگیری آنها به خوبی بهره برد.

در نواحی عمیق تر دریاچه به دلیل عمق نفوذ محدود روش GPR، اطلاعات مستقیمی از میزان و تمرکز رسوبات در این مناطق در دسترس نیست. از این رو با توجه به میزان و نحوه رسوب گذاری در نواحی کم عمق، می توان تخمینی از میزان رسوب گذاری در نواحی عمیق تر به دست آورد. این رویکرد بالاخص در بررسی پروفیل هایی که در حوالی دلتای شمالی این دریاچه در نظر گرفته شده اند، می تواند مفید واقع شود.

با توجه به اهمیت و میزان رسوباتی که از آبراهه های منتهی به دلتای شمالی وارد این دریاچه می شوند، بررسی رسوبات این دلتا در ساحل دریاچه و در مناطق بیرون از آب، احتمالاً نتایج مناسبی را در پی خواهد داشت. برای این منظور در نواحی بالا دست دلتا، می توان از سایر روش های ژئوفیزیک در کنار روش GPR نیز بهره برد. با توجه به توانایی ها و قابلیت روش مقاومت ویژه در تفکیک ساختارهای رسوبی، استفاده از این روش می تواند نتایج مفیدی را در پی داشته باشد. از طرفی از آنجا که عمق نفوذ امواج GPR توسط مقاومت ویژه

ساختارهای زیرسطحی کنترل می شود، استفاده از این روش می تواند در کمک به تفسیر و کاهش ابهام در مقاطع GPR و بالعکس بسیار مؤثر واقع شود.

۵- تشکر و قدردانی

در اینجا بر خود لازم می دانم از جناب آقای مهندس ابراهیم شاهین مدیریت پشتیبانی اکتشاف و همچنین مهندس علیرضا عامری رئیس گروه ژئوفیزیک بخاطر بازخوانی و ارائه راهنمایی های لازم در تهیه گزارش تشکر و قدردانی نمایم. همچنین از همکاری صمیمانه مدیریت محترم زمین شناسی مهندسی جناب آقای مهندس بلورچی و جناب آقای مهندس انصاری سپاسگزاری می شود.