

برداشت، پردازش و تفسیر داده‌های GPR برای شناسایی رسوبات زیرسطحی در سواحل جنوب شرقی دریای خزر

حبیب‌اله عشقی^۱ و ابوالقاسم کامکار روحانی^{۲*}

^۱ کارشناس ارشد ژئوفیزیک، سازمان مدیریت بحران کشور، تهران، ایران
^۲ دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۳/۰۹/۱۲، تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۰۱)

چکیده

در این مطالعه که بر روی رسوبات حاشیه جنوب شرقی دریاچه خزر انجام شده، سعی بر آن بوده که با اعمال پردازش‌های مختلف بر روی داده‌های رادار نفوذی به زمین (GPR)، اثر هر یک از پردازش‌ها بر روی داده‌های مذکور مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به تعداد بالای پروفیل‌های GPR برداشتی در این تحقیق و امکان استفاده از هر یک از پردازش‌ها در جای مناسب خود، امکان درک شهودی نحوه پردازش داده‌ها برای شرایط و اهداف متفاوت فراهم شده است. به‌علاوه در این مطالعه ضمن بررسی نحوه اثر هر یک از پردازش‌ها و سازوکار عمل هر یک از عملگرها بر روی داده‌های GPR، با انتخاب پارامترها و روندهای پردازش مناسب سعی بر بازسازی و ترسیم بهترین مقطع ممکن بوده است؛ ضمن این که با بررسی مقاطع GPR، ردهای جداگانه، میانگین طیف بسامد و میانگین دامنه بر حسب زمان، به درک صحیحی از موفقیت و یا عدم موفقیت یک روند پردازشی می‌توان رسید.

واژه‌های کلیدی: رادار نفوذی به زمین (GPR)، رسوبات زیرسطحی، پردازش و تفسیر داده‌ها، گذردهی نسبی الکتریکی، دریاچه خزر

۱ مقدمه

مورد توجه قرار گرفته است. از دلایل دیگر استقبال از این روش می‌توان به ویژگی غیرتجمعی این روش اشاره کرد، ضمن این که با استفاده از این روش می‌توان نمایی از محیط زیرسطحی را به صورت سب‌بعدی ارائه و مشاهده کرد.

تپ‌های الکترومغناطیسی در حین انتشار در محیط زیرسطحی با ناپیوستگی‌های الکتریکی برخورد کرده و در این برخورد بخشی از آنها از فصل مشترک یا ناپیوستگی-ها عبور کرده و بخشی از آنها نیز بازتاب می‌یابند. در واقع این امر به دلیل تغییر رهنبدی (امپدانس) امواج الکترومغناطیسی در فصل مشترک دو محیط می‌باشد.

یکی از جدیدترین روش‌های ژئوفیزیکی که امروزه برای بررسی رسوبات مورد استفاده قرار می‌گیرد، روش رادار نفوذی به زمین (GPR) است. در این روش، امواج الکترومغناطیسی با بسامدی در محدوده ۱۲/۵ مگاهرتز تا ۱ گیگاهرتز از طریق آنتن فرستنده به داخل زمین ارسال شده و بازتاب این امواج از فصل مشترک لایه‌ها، توسط گیرنده GPR دریافت می‌شود. به‌عنوان یک روش با توان تفکیک بالا، GPR در مطالعه اهداف کم‌عمق بسیار موفق است. این روش، با توجه به توان تفکیک بالا و همچنین به دلیل سرعت بالای برداشت داده‌ها در سال‌های اخیر بسیار

مقدار انرژی عبوری و بازتابی و همچنین میزان انرژی اتلافی بستگی به خواص الکتریکی مواد در دو طرف فصل مشترک دارد.

تپ‌های بازتابی از طریق دستگاه رادار (GPR) دریافت شده و به ترتیب زمان رویدادشان در طول محور زمان ثبت شده و دامنه آنها نیز بر حسب میلی‌ولت و یا دسی‌بل نمایش داده می‌شود. در واقع دستگاه‌های GPR زمان رسید امواج به گیرنده را اندازه‌گیری می‌کنند. لذا برای تعیین موقعیت مکانی بازتاب‌ها، مقاطع زمانی می‌بایست به مقاطع عمقی تبدیل شوند. برای این منظور باید از میزان سرعت امواج رادار در مواد زیرسطحی آگاهی داشته باشیم. در این مطالعه، مقاطع عمقی با استفاده از سرعت ۰/۱ متر بر نانوثانیه به دست آمده‌اند. سرعت میانگین به دست آمده با استفاده از برازش هذلولی مدل با هذلولی ناشی از اهداف زیرسطحی در منطقه برداشت حاصل شده است؛ به این ترتیب که ضمن پروفیل‌زنی، دستگاه را از روی یک بازتاب‌کننده قوی (لوله فلزی) عبور دادیم تا بازتاب حاصل از این جسم که به شکل هذلولی بود بر روی مقطع زمانی رادار ایجاد شود. سپس با انتخاب گزینه CALIB در صفحه نمایش ویدئویی رقمی (Digital Video Logger) یا DVL یک هذلولی بر روی این صفحه نمایش داده شد که با جابجایی این هذلولی و انطباق آن با هذلولی ناشی از جسم بازتاب‌کننده، سرعت متوسط ۰/۱ متر بر نانوثانیه برای منطقه برداشت به دست آمد.

۲ مروری بر مطالعات انجام شده

مطالعات و تحقیقات به وسیله GPR در دهه‌های اخیر در نقاط مختلف دنیا گسترش یافته است. از جمله مطالعات انجام شده در این زمینه می‌توان به مطالعات دیویس و آنان در زمینه چینه‌شناسی (دیویس و آنان، ۱۹۸۹) اشاره کرد. همچنین از اولین مقاله‌ها در زمینه پردازش داده‌های GPR

می‌توان به مقاله فیشر، مک مکان و آنان در زمینه مهاجرت داده‌های GPR (فیشر و همکاران، ۱۹۹۲) اشاره کرد. مطالعات آزمایشگاهی کافمن و همکارانش با استفاده از مشخصه‌های امواج GPR در حفره‌های زیرسطحی (کافمن و همکاران، ۲۰۰۶) یکی از مطالعات برجسته در آشکارسازی حفره‌های زیرسطحی است. از محدود مطالعات انجام شده در کشور ما می‌توان به آشکار سازی شکستگی‌ها و تاقدیس‌های نزدیک سطح در منطقه سراب قبر در جنوب کرمانشاه (اویسی موخر، ۱۳۸۶) و مطالعات GPR در کنار روش مغناطیس‌سنجی برای آشکارسازی طاق‌های باستانی مدفون در خاک‌های نزدیک سطح در قصر شیرین (اویسی موخر و همکاران، ۱۳۸۴) و آشکارسازی قنات و لوله‌های مدفون زیرسطحی (محمدی ویژه، ۱۳۸۷؛ حسینی، ۱۳۸۸) و همچنین مطالعات تعیین ضخامت آسفالت (مزینانی، ۱۳۸۹) اشاره کرد. قابل ذکر است که مطالعات مذکور بیشتر بر مبنای آشکارسازی اهدافی خاص با استفاده از روش رادار استوارند، حال آن‌که هدف ما در این مطالعه بررسی عملکرد انواع پردازش‌ها و روندهای پردازشی بر داده‌های رادار با اعمال پردازش‌های مختلف بر روی داده‌ها و سعی بر بررسی جداگانه اثر هر یک از پردازش‌ها بوده است. خواهیم دید که با توجه به تعداد بالای پروفیل‌های برداشتی، امکان استفاده از هر یک از پردازش‌ها در جای مناسب خود و درک شهودی نحوه پردازش داده‌ها برای شرایط و اهداف متفاوت تا حد زیادی فراهم شده است. از طرف دیگر، در این مطالعه برآنیم که ضمن بررسی نحوه اثر هر یک از پردازش‌ها و سازوکار عمل هر یک از عملگرها بر روی داده‌های GPR، با انتخاب پارامترها و روندهای پردازشی مناسب به بازسازی و ترسیم بهترین مقطع ممکن پردازشی در ادامه خواهیم دید که بررسی مقاطع GPR، ردهای جداگانه، میانگین طیف بسامد و میانگین دامنه بر حسب

است که با توجه به تک‌بسامد بودن دستگاه مورد استفاده در این مطالعه، امکان استفاده از بسامدهای پایین‌تر برای دستیابی به عمق نفوذ بیشتر فراهم نبوده است. البته در این مطالعه دستیابی به اعماق بیشتر چندان مورد نظر نبوده، بلکه هدف بیشتر بررسی اثر پردازش‌ها و روندهای پردازشی بر روی داده‌ها است. این اهداف با عمق بررسی در دسترس در این مطالعه کاملاً تامین شده‌اند.

در برداشت پروفیل‌ها دستگاه باید با سرعتی ثابت و آرام (در حد قدم زدن آهسته) حرکت داده شود. بهتر است نقطه شروع و نقطه پایان به کمک یک شاخص ثابت، مشخص شود. برای این منظور ما از میخ چوبی استفاده کردیم. بدیهی است که نقاط شروع و پایان به کمک GPS موقعیت‌سنجی شدند. در پروفیل‌های طولانی بهتر است از تعدادی نقاط کنترلی نیز در میان مسیر استفاده شود تا انحراف‌های احتمالی از خط مستقیم و تخمین فواصل به شکل بهتری انجام گیرد. به‌علاوه در هر نقطه‌ای که به علت وجود موانع یا به هر دلیل دیگر ناچار به تغییر جهت مسیر هستیم باید از نقاط کنترلی استفاده و یا این که این مسیرها را به صورت پروفیل جدید تعریف کرد.

۴ موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی ناحیه مورد مطالعه ناحیه مورد برداشت مشتمل بر مناطقی از برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی بهشهر و برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی گرگان می‌باشد. مناطق مورد برداشت در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ بهشهر از لحاظ زمین‌شناختی شامل نهشته‌های تالابی، نهشته‌های تلماسه‌ای و نهشته‌های کرانه‌ای است. مناطق مورد برداشت در وره گرگان نیز شامل نهشته‌های رودخانه‌ای عهد حاضر که جوان‌ترین واحد ردیف‌های کواترنری می‌باشند، کفه گل نمکی (نمک و رس سیلتی) که در پیرامون دریاچه خزر رخنمون دارد و همچنین کفه رسی (عمدتاً رس، سیلت و ماسه) است. در شکل ۱ عکس هوایی ناحیه‌ای که در آن عملیات برداشت داده انجام شده

زمان، چگونه به درک صحیح ما از موفقیت و یا عدم موفقیت یک روند پردازشی کمک خواهند کرد.

۳ برداشت داده‌ها

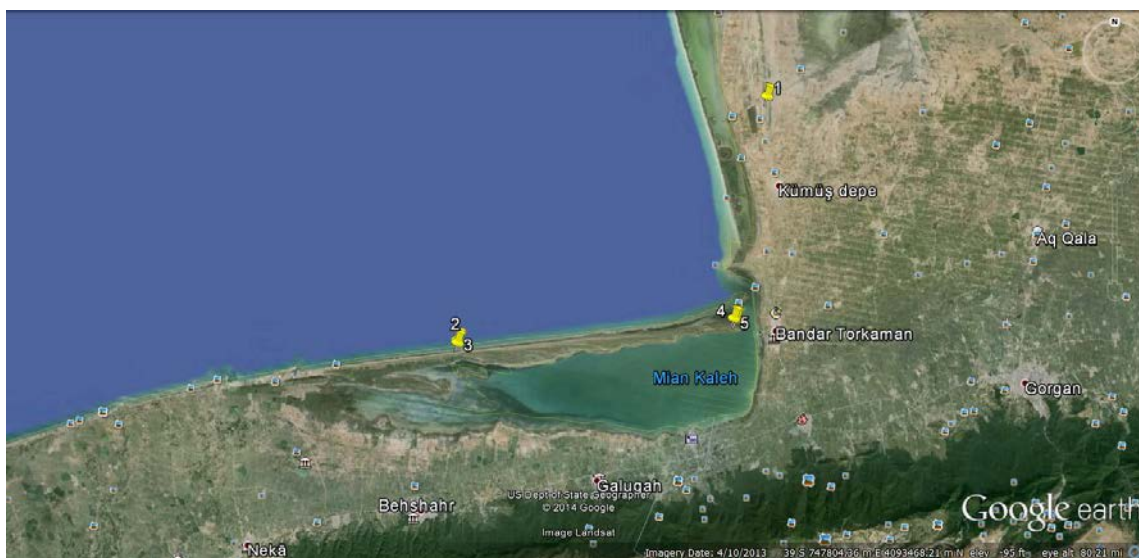
داده‌ها در این مطالعه با دستگاه Noggin Plus ساخت شرکت کانادایی Sensors & Software برداشت شده‌اند. این دستگاه از آنتن پوششی ۲۵۰ مگاهرتز برای ارسال تپ‌های الکترومغناطیسی استفاده می‌کند. فاصله بین آنتن‌های فرستنده و گیرنده در این دستگاه ۰/۲۷۹۴ متر می‌باشد. این فاصله ثابت است و همین مسئله عمق نفوذ دستگاه را محدود می‌کند. یکی از ویژگی‌های این دستگاه فاصله بسیار کم آنتن‌ها با سطح زمین است که این مسئله میزان نوفه دریافتی از محیط اطراف را بسیار کاهش می‌دهد؛ لذا با توجه به ویژگی‌های فوق، استفاده از این دستگاه در محیط‌های با نوفه بالا همچون محیط‌های شهری مفید به نظر می‌رسد.

فاصله ایستگاهی در این مطالعه در حدود ۵ cm می‌باشد؛ این فاصله که در واقع فاصله افقی بین دو رد مجاور هم در یک خط برداشت می‌باشد، عامل کلیدی در توصیف ترکیبات زیرسطحی است. هنگامی که فاصله بین نقاط برداشت افزایش پیدا می‌کند، احتمال نمونه‌گیری نامناسب از تغییرات فضایی بازتابنده‌های با شیب تند، افزایش یافته و در نتیجه بدنمایی (Aliasing) در تصاویر ایجاد می‌شود.

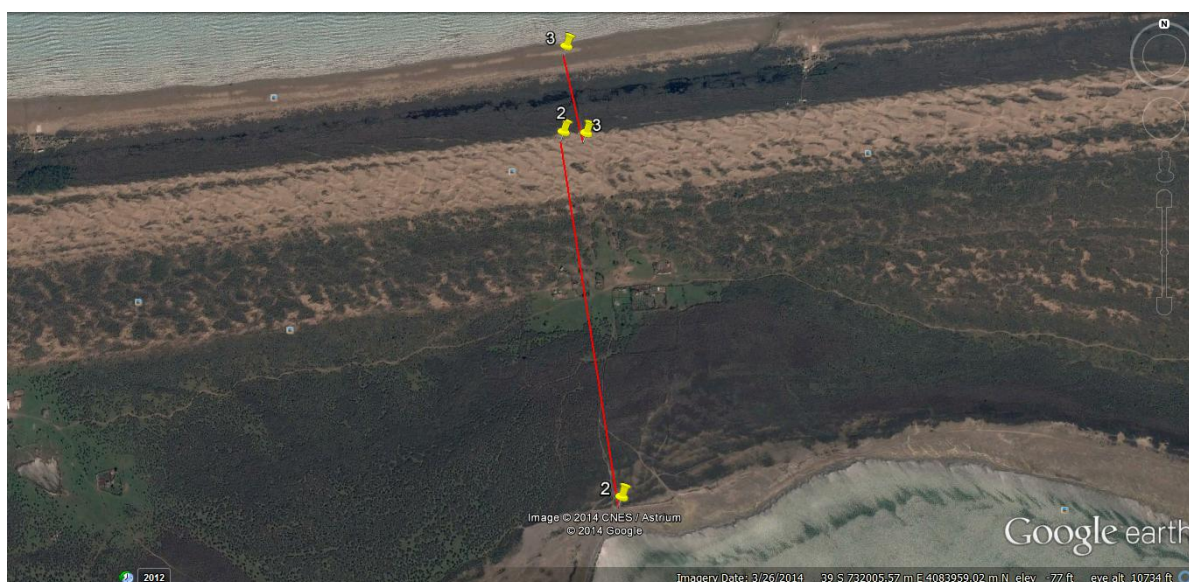
با توجه به ویژگی‌های دستگاه، از جمله بسامد مرکزی و فاصله آنتن‌های فرستنده و گیرنده و همچنین به دلیل ویژگی‌های زمین‌شناختی منطقه مورد مطالعه، عمق نفوذ مورد انتظار بیش از ۲/۵ متر نبود؛ به همین دلیل پنجره زمانی را در این برداشت ۱۲۴ns در نظر گرفتیم. همچنین برای حذف نوفه‌های محیطی و به دست آوردن یک رد باکیفیت ضمن حفظ سرعت برداشت داده‌ها، از برهم‌انباشت (Stack) به تعداد ۸ استفاده شده است. قابل ذکر

در شکل شماره ۲ موقعیت دقیق پروفیل‌های شماره ۲ و ۳ با مشخص نمودن نقاط ابتدا و انتها و راستای این پروفیل‌ها آورده شده است. در شکل شماره ۳ نیز موقعیت دقیق پروفیل‌های شماره ۴ و ۵ با مشخص کردن نقاط ابتدا و انتها و راستای این پروفیل‌ها آورده شده است.

است دیده می‌شود. این ناحیه شامل بخشی از سواحل جنوب شرقی دریاچه خزر است. موقعیت تقریبی پنج پروفیل مورد استفاده در این مطالعه در این شکل آورده شده است. چون در نمایش موقعیت این پروفیل‌ها تنها از موقعیت ابتدای پروفیل‌ها استفاده شده، لذا موقعیت نمایش داده در این شکل تقریبی است.



شکل ۱. عکس هوایی ناحیه مورد مطالعه (گوگل ارث).



شکل ۲. عکس هوایی محل برداشت داده‌های مربوط به پروفیل‌های شماره ۲ و ۳.



شکل ۳. عکس هوایی محل برداشت داده‌های مربوط به پروفیل‌های شماره ۴ و ۵.

۵ پردازش داده‌ها

به‌طور کلی هدف از پردازش داده‌های ژئوفیزیکی، غلبه بر محدودیت‌های ذاتی داده‌های برداشت‌شده برای دست-یابی به اطلاعات واقعی‌تر از اهداف زیرسطحی می‌باشد. بی‌شک پردازش داده‌ها اطلاعات دقیق‌تری در اختیارمان قرار خواهد داد که در نهایت به تفسیری منطقی و مطمئن منجر خواهد شد. گستره پردازش‌هایی که بر روی داده-های ژئوفیزیکی (در این مطالعه داده‌های رادار) اعمال می‌شوند بسیار متنوع بوده و بسته به نوع هدف و ویژگی-های آن این پردازش‌ها انتخاب می‌شوند. نوع و دامنه پردازش‌های به کار رفته به مشخصات مکان (سایت)، دستگاه رادار مورد استفاده، نرم‌افزارهای به کار گرفته شده و همچنین هدف مورد مطالعه بستگی دارد (نیل، ۲۰۰۴). لذا نیازی به اعمال کلیه پردازش‌ها بر روی داده‌ها وجود نداشته و چه بسا در پاره‌ای از موارد اعمال برخی پردازش-ها منجر به وارد شدن مشکلات ناخواسته در داده‌ها شود. در این مطالعه برخی از پردازش‌های اصلی که می‌توانند بر داده‌های رادار به کار روند، مورد بررسی قرار می‌گیرند.

با توجه به هدف مورد مطالعه، دامنه پردازش‌های مورد استفاده بر روی داده‌ها می‌تواند متفاوت باشد. برای مثال، درحالی که کاربست صافی بر داده‌ها برای حذف نوفه‌های محیطی که از پردازش‌های ابتدایی مورد استفاده در روش GPR است، برای برجسته کردن بازتاب‌های زیرسطحی در برخی از کاربردها می‌تواند کافی باشد، در برخی دیگر از مطالعات، دامنه گسترده‌تری از پردازش‌ها مورد نیاز است.

در این مطالعه داده‌های GPR با استفاده از نرم‌افزار Win_EKKO Pro پردازش شده‌اند. در این نرم‌افزار اعمال روند پردازش و پارامترهای هر عملگر پردازش به-صورت تام در اختیار کاربر می‌باشد. به این ترتیب که در هر مرحله از پردازش با مشاهده مقاطع، ردهای جداگانه، میانگین طیف بسامد و میانگین دامنه بر حسب زمان، درک موفقیت و یا عدم موفقیت در یک روند پردازش برای کاربر امکان‌پذیر است. در نهایت، نتایج حاصل از پردازش توسط نرم‌افزار گرافیکی Transform به نمایش در آمده-اند.

۱-۵ تصحیح جابه‌جایی صفر زمانی

امواج در بازتاب و عبور از ساختارهای زیرسطحی، به صورت رویدادهای مجزا و تابعی از زمان در گیرنده دریافت می‌شوند. اولین رویدادی که در گیرنده دریافت می‌شود، موج مستقیمی است که از طریق هوا از آنتن فرستنده به گیرنده می‌رسد (آنان، ۲۰۰۱؛ رینولدز، ۱۹۹۷). جابه‌جایی زمانی اولین رویداد و به واسطه آن جابه‌جایی در رویدادهایی ثانویه که در بین آنها پاسخ از اهداف زیرسطحی نیز موجودند، باعث ایجاد خطا در اندازه‌گیری می‌شود. این خطا پیوستگی بازتاب‌های ناشی از اهداف زیرسطحی را از بین برده و در صورت لحاظ نشدن، تفسیر داده‌ها را با مشکلاتی همراه می‌سازد. این خطا زمانی که نمایشگر الکترونیکی به شدت سردتر و یا گرم‌تر از دمای محیط اطراف می‌شود، رخ می‌دهد. سیم‌های آسیب‌دیده نیز می‌توانند باعث به وجود آمدن این خطا باشند، که البته در این صورت این خطا نامنظم است. به منظور قرارگیری اولین رویداد در نقطه ابتدایی پروفیل و در نتیجه قرارگیری سایر سیگنال‌های دریافتی در محل واقعی آنها، مجموعه نرم‌افزارهای GPR معمولاً به‌طور خودکار با جابه‌جایی هر رد، جداگانه این تصحیح را انجام می‌دهند (سنسورز و سافتور، ۱۹۹۹a؛ سنسورز و سافتور، ۱۹۹۹b). برای این منظور یک مقدار زمینه برای دامنه نوفه‌های محیطی بر حسب میلی‌ولت در نرم‌افزار در نظر گرفته می‌شود و تشخیص اولین رویداد در این نرم‌افزارها با دریافت اولین سیگنالی که دامنه‌ای بیش از دامنه نوفه‌های زمینه داشته باشد، صورت می‌پذیرد و به این ترتیب اولین رویداد (موج مستقیم هوا) تشخیص داده می‌شود. مشکلی که در استفاده از این مقدار زمینه وجود دارد، استفاده از آن در مناطق با نوفه بالا می‌باشد. ممکن است تشخیص اولین رویداد به علت وجود نوفه موفق نباشد. قرارگیری موفقیت‌آمیز اولین رویداد در محل خود باعث می‌شود که بازتاب‌ها در مکان واقعی خود به نمایش درآیند. از این رو

اولین پردازش مورد استفاده بر روی داده‌ها، تصحیح جابه‌جایی صفر زمانی می‌باشد (محمدی ویژه، ۱۳۸۷).

۲-۵ تصحیح اشباع سیگنال (Dewow)

به علت فواصل زمانی کوتاه بین تپ‌های ارسالی توسط فرستنده و تپ‌هایی که به‌طور مستقیم از طریق هوا و زمین به گیرنده می‌رسند و همچنین وجود بازتاب‌هایی که از توده‌های کم‌عمق نشات می‌گیرند، گیرنده از سیگنال اشباع می‌شود (نیل، ۲۰۰۴). این مسئله موجب بوجود آمدن یک زوال آهسته با بسامد پایین موسوم به WOW بر روی ردها می‌شود. این زوال بسامد پایین بر روی بسامد-های بالا قرار گرفته و آنها را مغشوش می‌کند. اندازه و شدت این زوال بسامد پایین به فاصله آنتن‌ها و همچنین مشخصات الکتریکی زمین وابسته است (سنسورز و سافتور، ۱۹۹۹b).

برای حذف نوفه‌های بسامد پایین WOW معمولاً یک پایین‌بالاگذر بر داده‌ها اعمال می‌شود. در نرم‌افزار استفاده شده برای این مطالعه، برای حذف این اثر تا حد امکان، از صافی‌ای موسوم به Dewow استفاده می‌شود.

شکل ۴ مقطع عمقی پروفیل شماره ۱ را به ترتیب قبل و بعد از کاربست صافی Dewow نمایش می‌دهد. مقایسه دو مقطع عمقی ارائه شده در شکل ۴ نشان می‌دهد که اثر WOW تا حد زیادی در مقطع دومی از بین رفته است، هر چند که هنوز آثاری از WOW بر روی مقطع دوم باقی است که برای حذف این آثار می‌توان از صافی‌های بالاگذر با اعمال بسامد قطع مناسب بهره جست.

۳-۵ پردازش بهره (Gain)

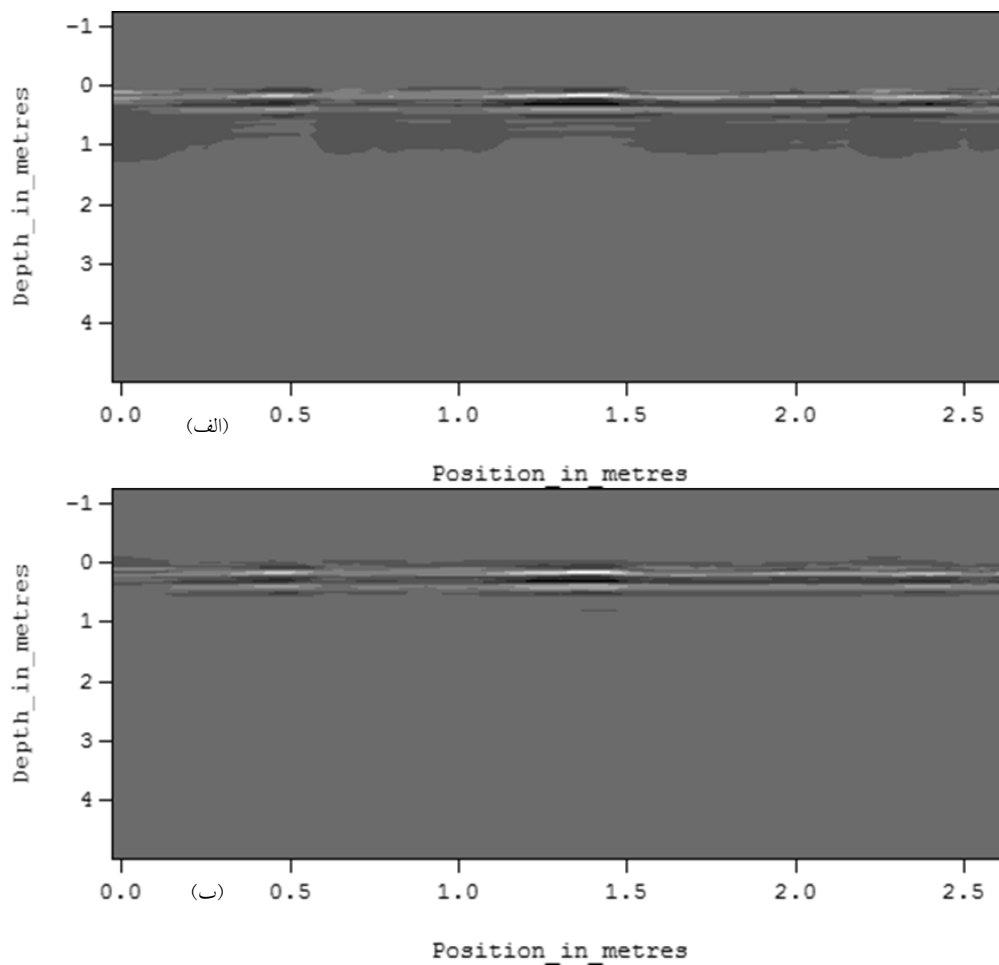
توان سیگنال انتشاری در توده‌های زیرسطحی با افزایش زمان پیمایش به‌طور تصاعدی کاهش می‌یابد. بنابراین پاسخ دریافت شده از توده‌های عمیق ضعیف‌تر می‌باشد. برای حل این مسئله با اعمال بهره بر روی داده‌ها، توان

مطالعات رسوب‌شناختی از کنترل خودکار بهره (AGC) استفاده می‌شود. این بهره با عکس توان سیگنال رابطه دارد متناسب است و در حدودی که کاربر تعریف می‌کند بر داده‌ها اعمال می‌شود. از این رو سعی در یکسان‌سازی تمام سیگنال‌ها دارد (سنسورز و سافتور، ۱۹۹۹a). بنابراین در صورت استفاده از این بهره، اطلاعات به دست آمده از دامنه نسبی سیگنال‌ها از بین خواهد رفت. این اطلاعات در برخی از مطالعات بسیار ارزشمند بوده و برای حفظ آنها از انواع مختلف بهره‌ها مانند بهره جبران گسترش هندسی و نمایی ((Spreading and Exponential (SEC) استفاده می‌شود.

سیگنال در اعماق بیشتر را افزایش می‌دهیم. بهره یک تابع متغیر با زمان است و در مطالعات GPR از انواع مختلف بهره با توجه به ویژگی‌های هدف مورد مطالعه استفاده می‌شود. در نرم‌افزار مورد استفاده برای این مطالعه، بهره‌های مختلفی ارائه شده که قابلیت اعمال هم‌زمان بر روی یک داده را دارند. البته لزومی به استفاده هم‌زمان از چند بهره برای یک داده وجود ندارد. در زیر به معرفی بهره‌هایی که در این مطالعه از آنها استفاده شده، می‌پردازیم:

۱-۳-۵ کنترل خودکار بهره (Automatic Gain Control (AGC)

در بررسی‌های رسوب‌شناختی به نقشه درآوردن تمام فصل مشترک‌ها حائز اهمیت است. به همین دلیل در بیشتر



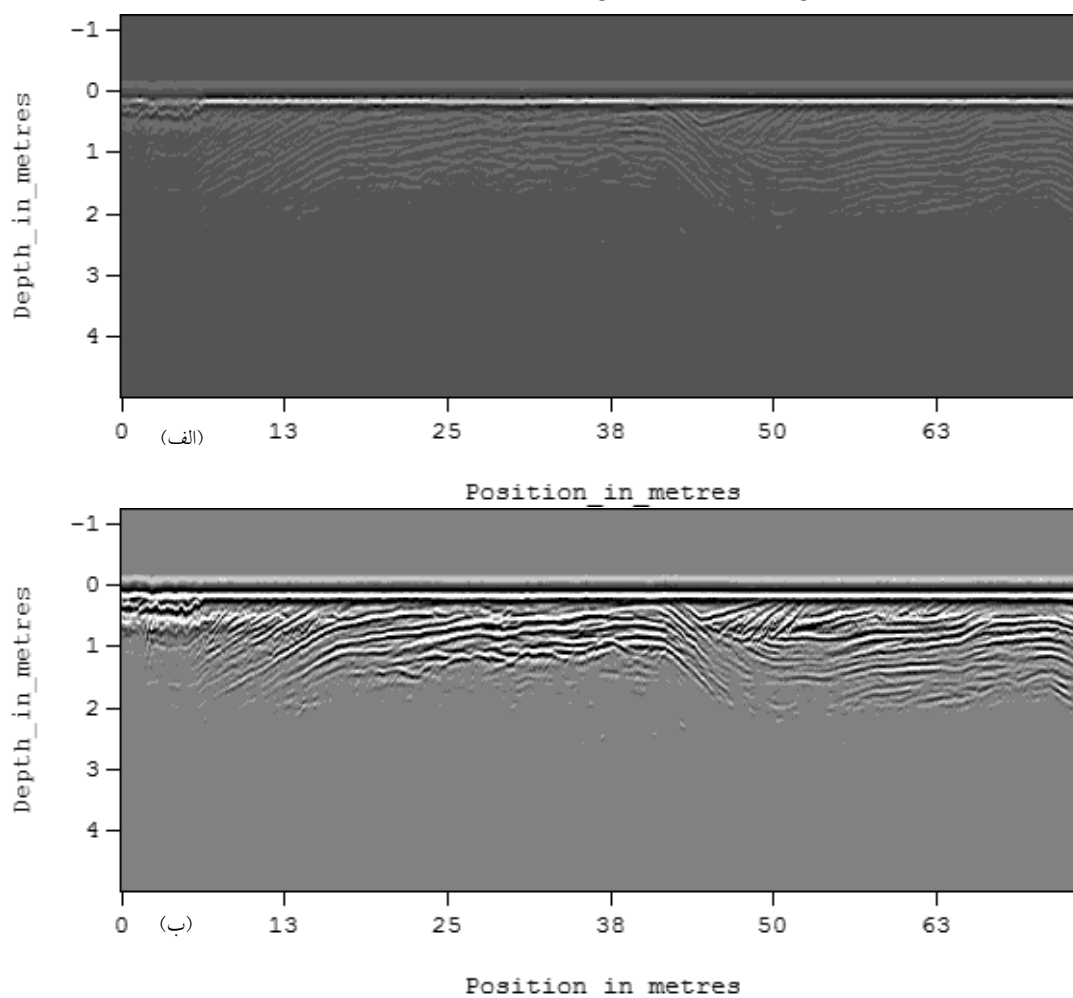
شکل ۴. مقطع عمقی پروفیل شماره ۱. (الف) پیش از و (ب) پس از کاربست صافی Dewow.

نحوه تأثیر بهره بر داده‌ها صورت پذیرفته است. بدیهی است استفاده از بیشینه بهره بالاتر موجب تقویت بیشتر سیگنال‌ها خواهد شد؛ اما مسئله مهمی که نباید از آن غافل شد، تقویت دامنه نوفه‌های موجود، هم‌زمان با تقویت سیگنال‌هاست که در صورت استفاده از بیشینه بهره بالاتر با این گونه مشکلات مواجه خواهیم شد و لازم است با توجه به میزان و نوع نوفه‌ها، از انواع مختلف صافی استفاده شود. لذا به دلیل این که در اینجا صرفاً به دنبال نمایش آثار هر یک از پردازش‌ها به صورت مجزا بر روی یک داده خاص هستیم از اعمال پردازش‌های زیاد بر روی مقاطع GPR خودداری شده است.

این بهره از اطلاعات مربوط به اتلاف سیگنال در محیط استفاده می‌کند.

در نرم‌افزار مورد استفاده در این مطالعه، بیشینه بهره AGC قابل اعمال بر داده‌ها، با عدد صحیحی بین ۱ تا ۵۰۰ تعیین می‌شود. هرچند انتخاب این عدد کاملاً در اختیار کاربر است، اما عموماً از عددی بین ۵۰ تا ۵۰۰ استفاده می‌شود.

شکل ۵ مقطع عمقی پروفیل شماره ۲ را به ترتیب پیش و پس از کاربست بهره AGC نمایش می‌دهد. همان‌طور که مقایسه این دو مقطع نشان می‌دهد، تقویت سیگنال‌های دریافتی در مقطع دوم به وضوح مشهود است. انتخاب مقدار بیشینه بهره با توجه به تأمین هدف ما در نمایش



شکل ۵. مقطع عمقی پروفیل شماره ۲. (الف) با اعمال صافی Dewow. (ب) با اعمال صافی Dewow و بهره AGC با بیشینه بهره ۷۰.

۵-۳-۲ جبران گسترش هندسی و نمایی (SEC)

هدف از استفاده از این بهره جبران افت انرژی ناشی از گسترش کروی موج در محیط و اتلاف نمایی انرژی ناشی از رسانایی است. تپ‌های رادار به‌طور نمایی تضعیف می‌شوند و SEC نیز یک بهره نمایی است. برخلاف AGC در این بهره می‌توان دامنه یا شدت سیگنال‌ها را به‌طور نسبی با یکدیگر مقایسه کرد.

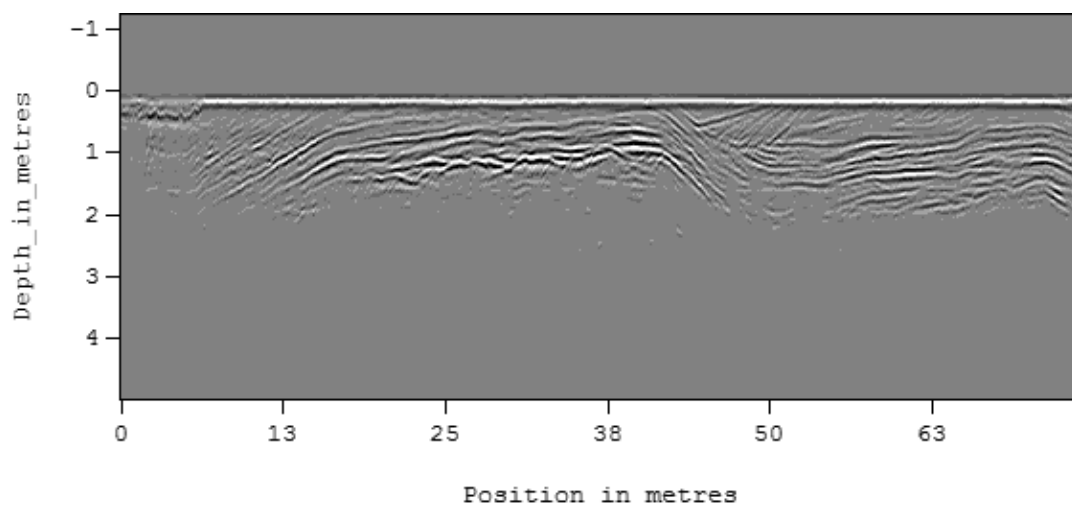
بهره SEC ترکیبی از بهره خطی و نمایی است. این بهره با توجه به محدودیت‌هایی که کاربر تعریف می‌کند و با استفاده از اطلاعات مربوط به اتلاف سیگنال ناشی از پخش هندسی و اتلاف نمایی امواج GPR در محیط مورد مطالعه سعی در بازسازی شکل سیگنال و پاسخ‌های بازتابی دارد (سنسورز و سافتور، ۱۹۹۹b). در استفاده از این بهره پارامترهایی که کاربر برای استفاده از آن در نظر می‌گیرد بسیار حائز اهمیت است.

این پارامترها از جمله بیشینه مقدار بهره که روی داده‌ها اعمال می‌شود و همچنین اتلاف امواج GPR در محیط، برای بازسازی شکل بازتاب‌ها بسیار با اهمیت هستند.

در این مورد نیز بیشینه بهره قابل اعمال بر داده‌ها، با عدد صحیحی بین ۱ تا ۵۰۰ تعیین و عموماً از عددی بین ۵۰ تا

۵۰۰ استفاده می‌شود. در استفاده از این بهره، انتخاب ثابت اتلاف در بازسازی مقاطع نقش مهمی ایفا می‌کند؛ این ضریب که کمیتی بی‌بعد بوده و در نرم‌افزار مورد استفاده در این مطالعه عددی مابین صفر تا ۵ می‌باشد، با توجه به میزان اتلاف امواج رادار در محیط برداشت تعیین می‌شود. به این ترتیب که هر چه محیط مورد بررسی امواج رادار را بیشتر میرا کند، لازم است برای بازسازی مقاطع از عدد بزرگ‌تری استفاده شود. البته این انتخاب‌ها می‌بایست با دقت و در نظر داشتن شرط افزایش نسبت سیگنال به نوفه صورت پذیرد. شکل ۶ مقطع عمقی پروفیل شماره ۲ را بعد از اعمال بهره SEC نمایش می‌دهد.

مقایسه مقطع عمقی نشان داده شده در شکل ۶ با مقطع عمقی ارائه شده در شکل ۵-الف نیز به‌وضوح تأثیر این بهره بر روی داده‌ها در تقویت سیگنال را نشان می‌دهد. به دلیل بالا بودن سطح ایستابی آب در منطقه برداشت این پروفیل و همچنین ریزدانه بودن رسوبات و اثر شوری (با توجه به ساحلی بودن منطقه)، در پردازش SEC از بیشترین ثابت اتلاف استفاده شده است. برای برآورد هدف ما در مقایسه اثر بهره AGC و SEC، مشابه قبل، در اینجا نیز از بیشینه بهره برابر با ۷۰ استفاده شده است.



شکل ۶. مقطع عمقی پروفیل شماره ۲ با اعمال صافی Dewow و بهره SEC با بیشینه بهره ۷۰ و ثابت اتلاف ۵.

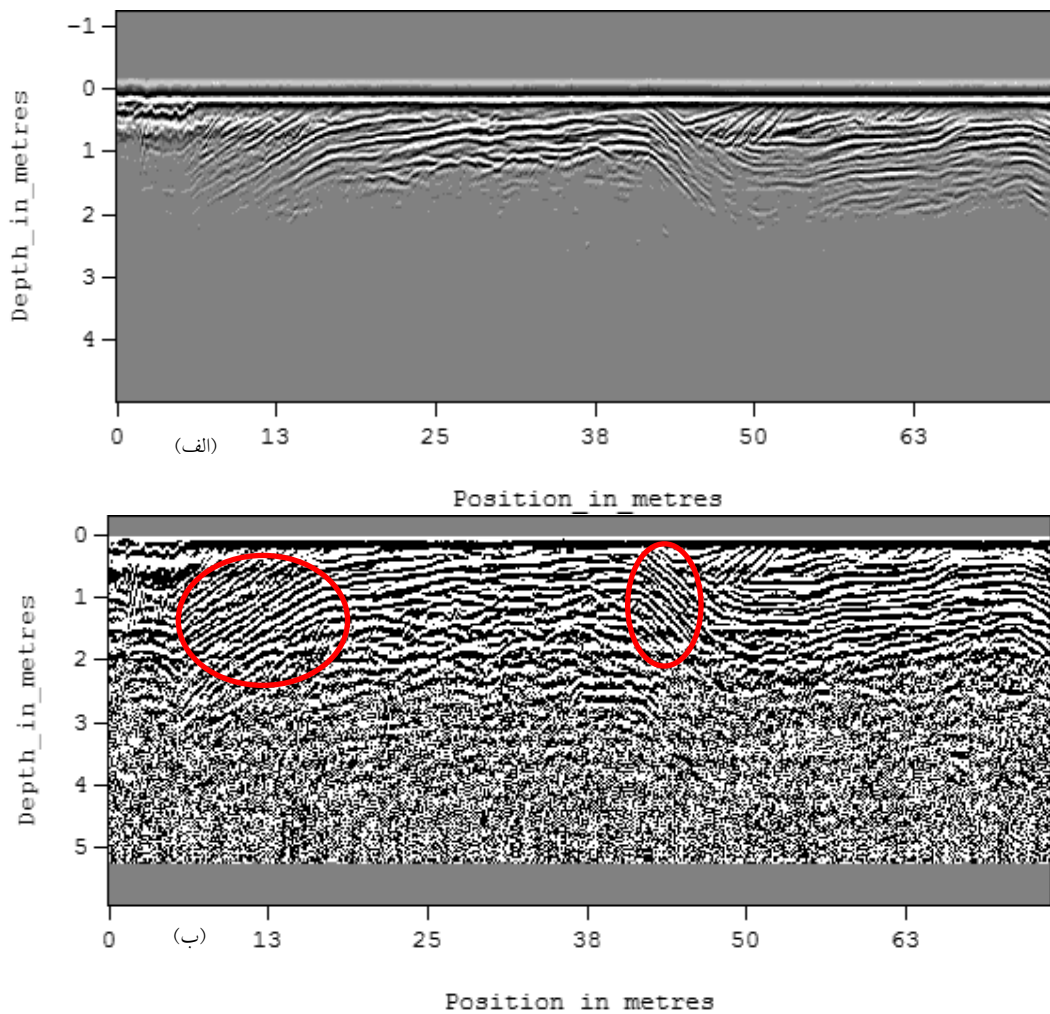
بهره باید با دقت انجام گیرد تا اطلاعات مربوطه که ساختارهای زیرسطحی را نمایش می‌دهند بدون به وجود آمدن مشکلات مذکور به دست آیند.

۴-۵ پردازش واهمامیخت (Deconvolution)

این پردازش از قوانین پردازش لرزه‌ای استاندارد پیروی می‌کند و با استفاده از بسامد مرکزی GPR، موج کشیده رادار را فشرده کرده و اصطلاحاً آن را به اسپایک (Spike) تبدیل می‌کند. این امر می‌تواند در بهبود توان تفکیک قائم داده‌ها مؤثر باشد. شکل ۷ مقطع عمقی پروفیل شماره ۲ را به ترتیب پیش و پس از اعمال پردازش واهمامیخت نمایش می‌دهد.

بررسی مقاطع عمقی GPR به دست آمده با استفاده از بهره‌های AGC و SEC که در شکل‌های ۵-ب و ۶ ارائه شده‌اند، نشان می‌دهد که در برخی از نقاط پروفیل، بهره AGC سیگنال‌های قوی‌تری را در مقایسه با بهره SEC ارائه می‌دهد. همان‌طور که قبلاً گفته شد این مسئله به دلیل تلاش بهره AGC در یکسان‌سازی کلیه سیگنال‌های دریافتی است؛ لذا می‌توان نتیجه گرفت در نقاطی که بهره SEC سیگنال‌های ضعیف‌تری در مقایسه با AGC ارائه می‌دهد میزان اتلاف امواج بسیار بالاست.

استفاده از بهره راهی مناسب برای نمایش داده‌هاست ولی نباید تأثیرات نامطلوب آن در برجسته کردن انواع نوفه‌های محیطی و سامان‌مند را نادیده گرفت. استفاده از



شکل ۷. مقطع عمقی پروفیل شماره ۲. (الف) با اعمال صافی Dewow و بهره AGC با بیشینه بهره ۷۰. (ب) مانند الف همراه با پردازش واهمامیخت.

و اهداف نقطه‌ای به صورت بازتاب هذلولی شکل که ناشی از پراش امواج رادار از این گونه اهداف است، دیده می‌شوند. منظور از اهداف نقطه‌ای، اشیایی با ابعاد تقریبی طول موج بسامد مرکزی آنتن به کار رفته و یا کوچک‌تر از آن می‌باشد.

هدف از پردازش کوچ، شبیه‌ساختن پروفیل‌های بازتابی به ساختارهای زمین‌شناختی در خط برداشت می‌باشد. این پردازش سعی در تعیین محل دقیق رویدادهای بازتابی زیرسطحی دارد. هرچند به دلیل عدم قطعیت‌های گوناگون در عمل معمولاً تصویری بهبودیافته ولی هنوز ناکامل به دست می‌آید. چنین بهبود تصاویر در مطالعات رسوب-شناختی بسیار مفید است، چراکه طبیعت و شکل واحدهای چینه‌شناختی و ساختارهای رسوبی اولیه اهمیت اساسی و غایت‌نهایی چنین مطالعاتی است. شکل ۸ مقطع عمقی پروفیل شماره ۲ را به ترتیب پیش و پس از اعمال پردازش کوچ نشان می‌دهد.

مقایسه دو مقطع عمقی ارائه شده در این شکل نیز تأثیر این پردازش بر نمایش بهتر بازتاب‌کننده‌های شیب‌دار را نمایش می‌دهد. مناطقی از پروفیل که این مسئله نمود بیشتری پیدا می‌کند با رسم منحنی‌هایی در شکل ۸-ب مشخص شده است.

با استفاده از شکل و دامنه ردهای برداشتی، میانگین دامنه سیگنال و همچنین طیف بسامد بازگشتی سیگنال‌ها می‌توان به اطلاعات ارزشمندی از جمله میزان تقریبی عمق بررسی، میزان تقریبی نوفه زمینه، گذار از منطقه با رهنبدی بالا به منطقه با رهنبدی پایین (یا برعکس) و همچنین تخمینی از میزان اتلاف امواج در بسامدهای بالا دست یافت. این اطلاعات مطمئناً در انتخاب پارامترهای لازم در الگوریتم پردازش بسیار سودمند و راه‌گشا خواهند بود. در ضمن، استفاده از این اطلاعات به کاربر امکان می‌دهد که تفسیر دقیق‌تری از بی‌هنجاری‌های احتمالی مشاهده شده در مقاطع GPR ارائه کند.

همان‌طور که مقایسه دو مقطع عمقی ارائه شده در شکل ۷ نشان می‌دهد، افزایش توان تفکیک قائم در نمایش توالی لایه‌ها و همچنین پیوستگی لایه‌ها در افق‌های مختلف در سراسر پروفیل دوم کاملاً مشهود است. دو منطقه از پروفیل که این موضوع در آنها نمود بیشتری پیدا می‌کند با رسم منحنی‌هایی بر روی پروفیل ۲ در شکل ۷-ب مشخص شده‌اند.

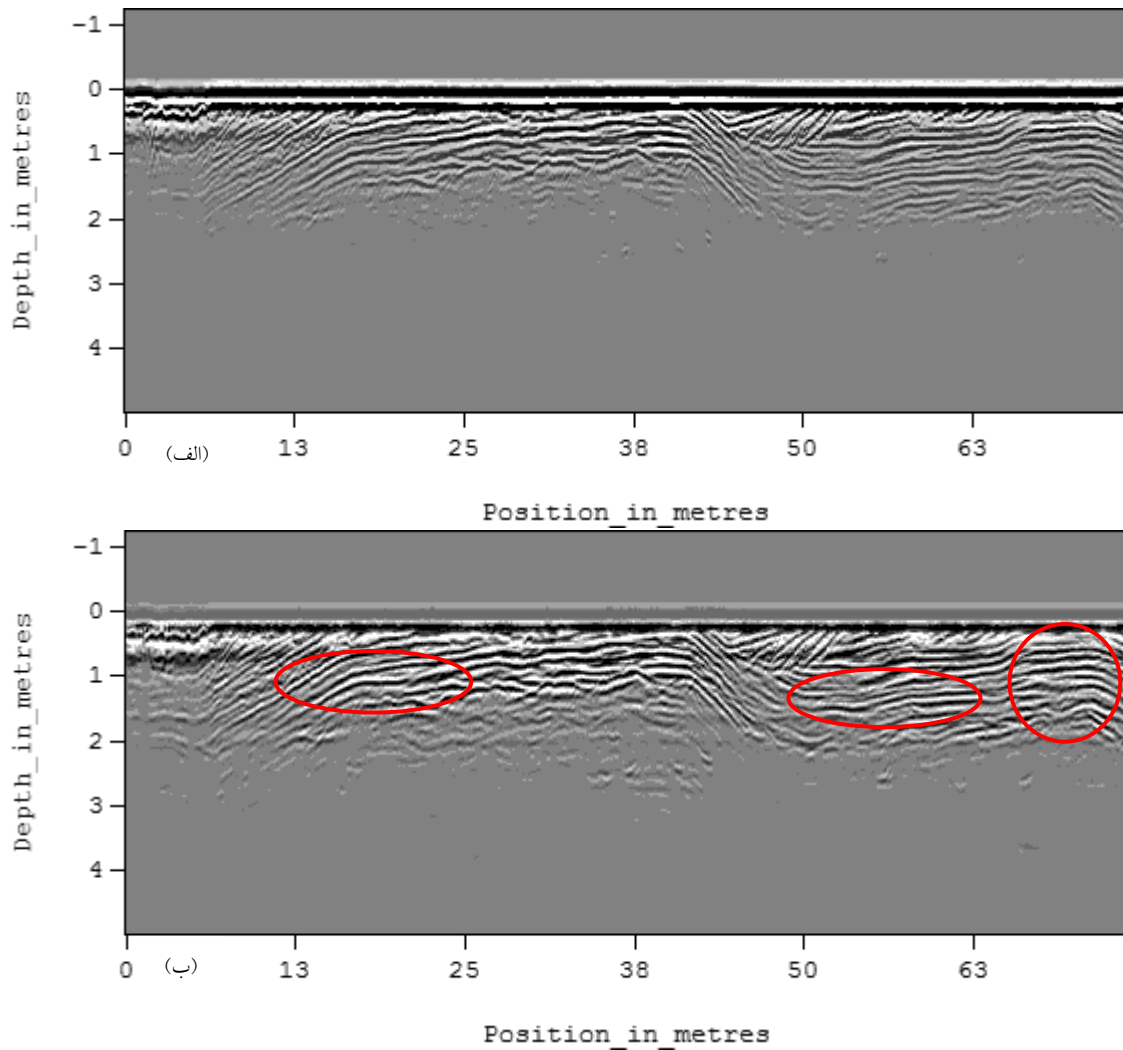
مسئله‌ای که در اینجا باید به آن اشاره شود، وجود اعوجاجات گنگ و نامفهومی است که در شکل ۷-ب و در اعماق بیشتر از ۲/۵ متر دیده می‌شوند. با بررسی ردهای برداشتی این پروفیل و همچنین بررسی میانگین دامنه سیگنال برای این پروفیل به این نتیجه می‌رسیم که حداکثر عمق بررسی در این پروفیل در حدود ۲/۵ متر می‌باشد. لذا تمامی سیگنال‌های دریافتی از اعماق بیشتر از ۲/۵ متر به نوعی نوفه‌هایی هستند که به واسطه استفاده از پردازش واهمامیخت، تقویت شده و خود را بر روی مقطع نشان می‌دهند.

۵-۵ کوچ (Migration)

پردازش کوچ سعی در حذف پراش، واپیچش (Distortion)، جابه‌جایی شیب و بازتاب خارج از خط دارد. این پردازش از جمله پردازش‌های پیشرفته‌ای است که بر روی داده‌های رادار اعمال می‌شود.

این پردازش را می‌توان به عنوان یک نمونه از پردازش‌های واپیچش تلقی کرد (ایلماز، ۱۹۸۷). فرض اینکه بازتاب‌های مشاهده شده بر روی مقاطع رادار مستقیماً زیر نقاط برداشت واقعند، خطاهای بارزی را سبب می‌شود.

آنتن‌های رادار امواج الکترومغناطیس را به شکل یک مخروط پیچیده سه‌بعدی به درون زمین ارسال می‌کنند. در نتیجه، بازتاب بر روی ردهای ثبت شده می‌تواند از هر کجای جبهه موج نشأت گرفته باشد، یعنی ماهیت انتشار سه‌بعدی امواج موجب به وجود آمدن این مشکل می‌شود



شکل ۸. مقطع عمقی پروفیل شماره ۲. (الف) با اعمال صافی Dewow و بهره Autogain. (ب): با اعمال صافی Dewow، بهره Autogain و پردازش مهاجرت.

شود این است که در این منحنی، دامنه سیگنال‌های دریافتی به‌طور میانگین پس از ۴۵ نانوثانیه تقریباً معادل دامنه نوفه‌ها پیش از زمان صفر است. بنابراین می‌توان با استفاده از سرعت ۰/۱ متر بر نانوثانیه عمق بررسی ۲/۲۵ متری را در این پروفیل تخمین زد.

شکل ۱۰-الف طیف بسامد بازگشتی پروفیل ۴ را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل پیداست، قله طیف بسامد کمتر از ۲۵۰ مگاهرتز می‌باشد که نشان‌دهنده اتلاف بیشتر در بسامدهای بالاست. بنابراین توان تفکیک افقی حاصل

شکل ۹ منحنی میانگین دامنه پروفیل شماره ۳ را برحسب زمان نمایش می‌دهد. صفر نبودن مقدار منحنی پیش از زمان صفر نشان‌دهنده وجود نوفه در محیط برداشت است. یکی از روش‌های حذف این گونه نوفه‌ها استفاده از برهم‌انباشت بیشتر در هنگام برداشت داده-هاست. البته این افزایش برهم‌انباشت باید با دقت انجام پذیرد به‌طوری که سرعت برداشت داده‌ها که یکی از عوامل مهم در استفاده از روش GPR است را تحت تأثیر قرار ندهد. مسئله دیگری که در اینجا باید به آن توجه

هنگام برداشت به اشتباه پاسخ توده‌های زیرسطحی تفسیر نشوند.

۵-۶ روال پردازش داده‌ها

مسئله مهمی که باید مورد توجه قرار گیرد توالی پردازش داده‌هاست، به این مفهوم که پردازش‌ها با چه ترتیبی بر روی داده‌ها به کار می‌روند. یک پردازشگر در حین پردازش داده‌ها با سه مسئله اساسی روبروست:

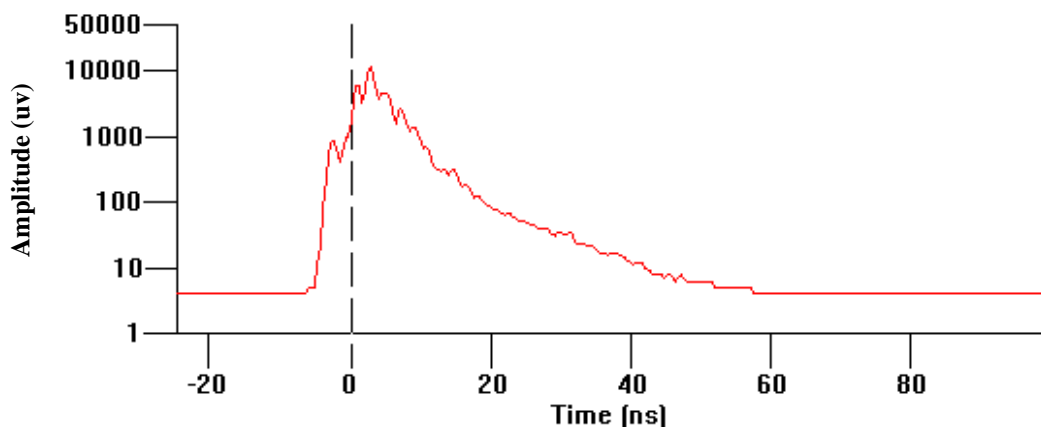
- ۱- انتخاب یک ترتیب مناسب برای مراحل پردازش،
 - ۲- انتخاب پارامترهای مناسب مورد نیاز در هر مرحله از پردازش،
 - ۳- ارزیابی خروجی ناشی از هر مرحله پردازش و تشخیص مشکلات ناشی از انتخاب ناصحیح پارامترها.
- با توجه به مطالبی که ذکر شد، با انتخاب متفاوت روال پردازش و پارامترهای مورد نیاز هر مرحله پردازش، ممکن است از یک سری داده اولیه به پاسخ‌های متفاوتی برسیم. توانایی پردازشگر در انتخاب پارامترها و انتخاب‌های مناسب، معمولاً به اندازه تاثیر یک الگوریتم پردازش مناسب، برای رسیدن به تصویر باکیفیت نهایی، حائز اهمیت است.

کمتر از توان تفکیک مورد انتظار برای آنتن ۲۵۰ مگاهرتزی می‌باشد.

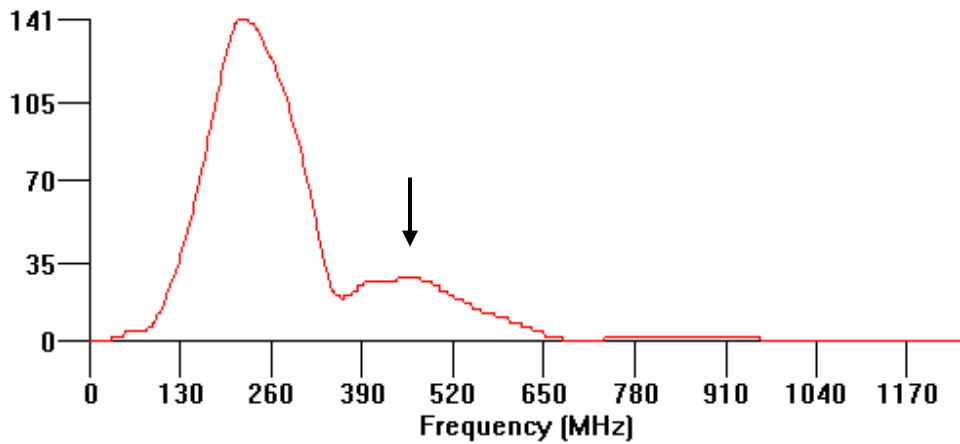
پدیده دیگری که در میانگین طیف بسامدی پروفیل ۴ دیده می‌شود، وجود یک قله فرعی در بسامد ۴۵۰ مگاهرتز است. این اثر احتمالاً ناشی از پدیده حلقه‌ای شدن (Ringing) است. این نوفه زمانی که موجک رادار بین آنتن‌ها و یک منطقه با رسانندگی الکتریکی بالا به تناوب بازتاب پیدا می‌کند، پدیدار می‌شود (کافمن و همکاران، ۲۰۰۶؛ نیل، ۲۰۰۴). از آنجا که این نوفه دارای بسامد متفاوت از بسامد سیگنال‌هاست، حذف آن با کاربست یک صافی مناسب در حوزه بسامد امکان‌پذیر است.

شکل ۱۰-ب نیز مقطع عمقی پروفیل ۴ را نمایش می‌دهد. وجود پدیده حلقه‌ای شدن در نقاط مختلف در طول پروفیل مذکور در این شکل مشهود است.

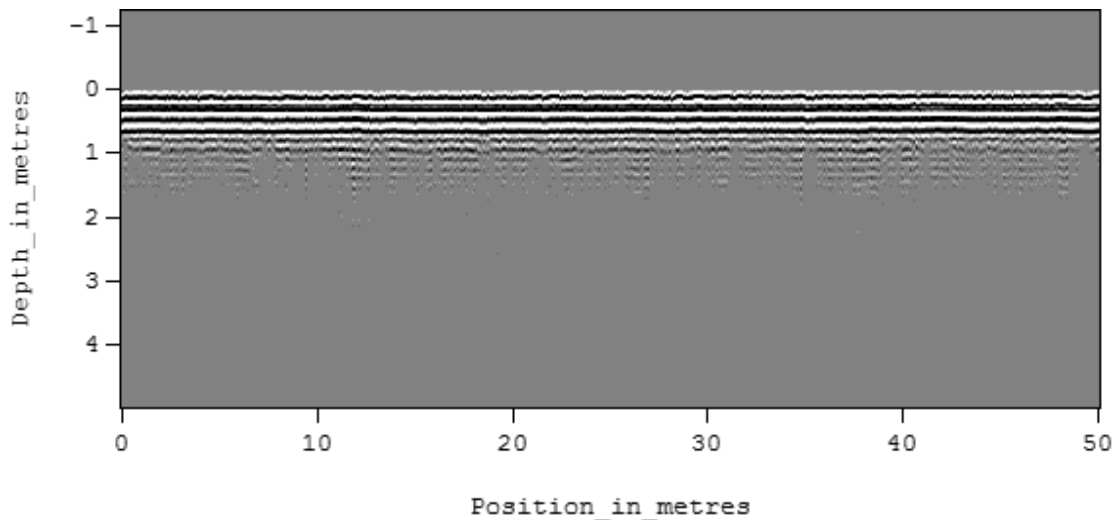
ممکن است در برخی از پروفیل‌های برداشتی بی-هنجاری‌هایی دیده شوند که مانند آنچه در شکل ۱۱ مشخص شده، از سطح تا عمق مقطع امتداد داشته باشند. این بی‌هنجاری‌ها، پاسخ از توده‌های زیرسطحی نیستند و از نبود جفت‌شدگی مناسب آنتن رادار با زمین در اثر وجود موانع طبیعی نظیر بوته‌ها در مسیر دستگاه رادار ناشی می‌شوند. بنابراین لازم است دقت شود که چنین اثراتی در



شکل ۹. منحنی میانگین دامنه بر حسب زمان پروفیل شماره ۳.



(الف)



(ب)

شکل ۱۰. (الف). بسامد طیف بسامد بازگشتی پروفیل شماره ۴. (ب). مقطع عمقی پروفیل ۴ با کاربست صافی Dewow، صافی بالاگذر با بسامد قطع ۲۵۰ مگاهرتز و بهره Autogain.

۷-۵ تفسیر داده‌های GPR

همانند روش‌های پردازش که در بخش قبل به آن اشاره شد، با توجه به هدف مورد مطالعه، هزینه‌ها، دستگاه و نرم‌افزارهای مورد استفاده، تفسیر داده‌های GPR نیز به روش‌های مختلفی انجام می‌پذیرد. به‌طور کلی، تفسیر داده‌های GPR را می‌توان به دو بخش عمده، تفسیر کمی و تفسیر کیفی، تقسیم‌بندی کرد. هدف از تفسیر داده‌ها، استخراج ویژگی‌های فیزیکی مورد نظر از روی اطلاعات

با توجه به این مطالب برای پردازش داده‌ها گستره وسیعی از انتخاب‌ها موجود است و پردازشگران با توجه به الگوریتم‌های موجود، هدف‌های مورد مطالعه، و تجربیات و توانایی‌هایشان انتخاب‌های مختلفی را در نظر می‌گیرند. هر چند در پردازش داده‌های GPR و لرزه‌ای نظرها متفاوت است، ولی ایلماز معتقد است پردازش نمی‌تواند تنها یک مقصود باشد و با کمی توجه، بیشتر یک هنر است تا یک علم (نیل، ۲۰۰۴).

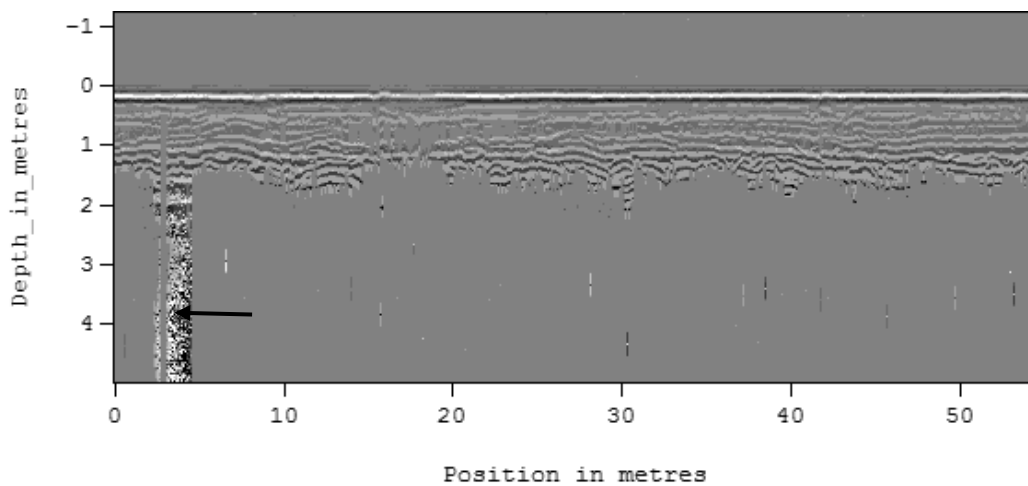
محدود شدن عمق بررسی به دلیل رسانندگی بالای محیط برداشت می‌باشد. حضور رسوبات دانه‌ریز با مقاومت ویژه پایین در سطح، به همراه عواملی چون رطوبت و شوری از جمله مهم‌ترین عواملی‌اند که با افزایش میزان رسانندگی، عمق نفوذ امواج رادار را تحت تأثیر شدید خود قرار می‌دهند.

موضوع شایان توجه دیگر توان تفکیک قائم بسیار بالا در مقاطع است، به نحوی که لایه‌های با ضخامت چند ده سانتیمتر را می‌توان به راحتی با این روش تفکیک و پیوستگی این لایه‌ها و نیز تغییر ضخامت احتمالی آنها را بر روی رخساره‌های رسوبی ردگیری کرد. نکته مهم و شایان ذکر دیگری که باید به صراحت در اینجا به آن اشاره داشت، این است که این لایه‌ها صرفاً لایه‌های ژئوفیزیکی هستند. به بیان دیگر، نمایش لایه‌بندی در این روش مطلقاً ناظر بر تغییر فاحش جنس لایه‌ها در این توالی نیست، بلکه مطابق نتایج حاصل از بررسی میدانی و تحلیل مغزه‌ها تغییر اندکی در میزان رطوبت (با توجه به ثابت دی‌الکتریک بالای آب) و همچنین تغییر ناچیز در دانه‌بندی و میزان رس موجود موجب نمایش این تغییرات در قالب لایه‌های بسیار نازک ژئوفیزیکی می‌شود.

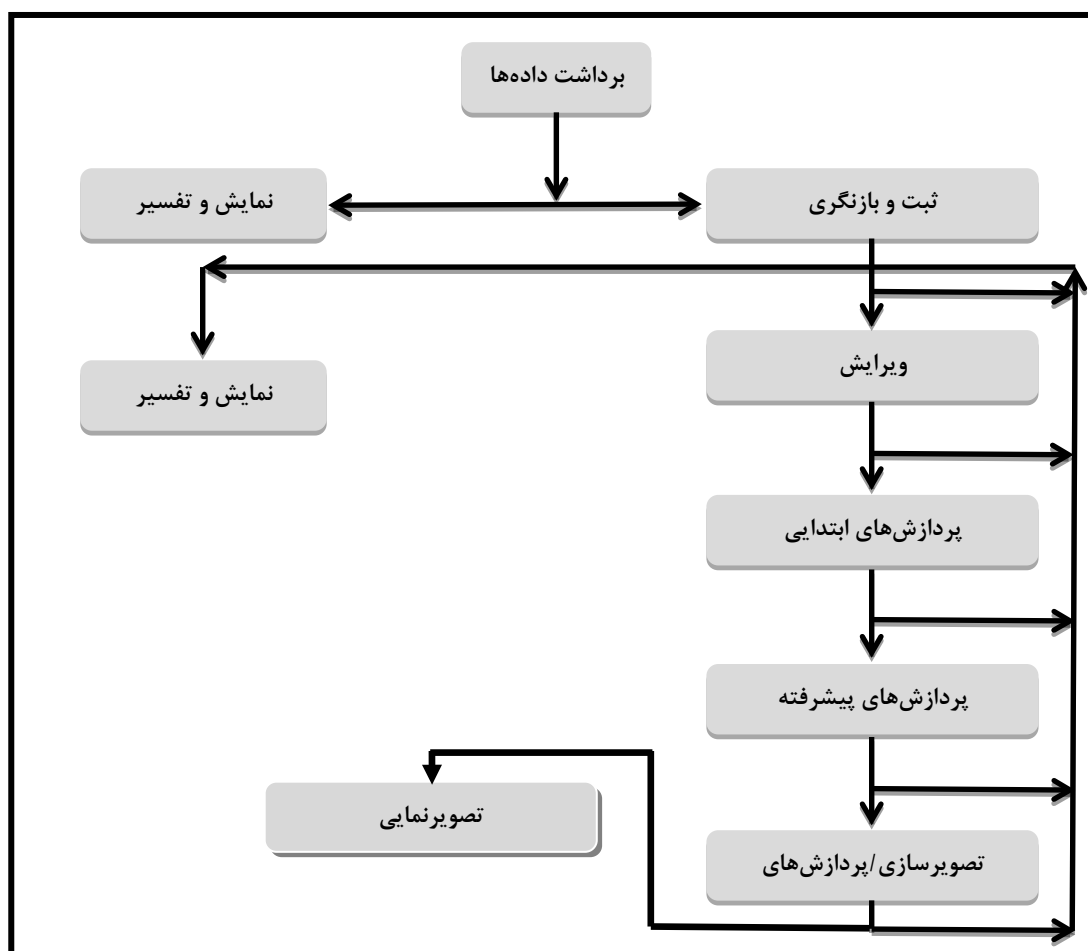
موجود در مقاطع GPR است. این گونه تفسیرها در مطالعات آلودگی آب‌های زیرزمینی، مهندسی مخازن آب و هیدروکربور و برش‌نگاری (توموگرافی) GPR بسیار مورد توجه بوده و GPR اطلاعات ارزشمندی از این گونه محیط‌ها در اختیار مفسران قرار می‌دهد (محمدی ویژه، ۱۳۸۷).

تفسیر کیفی داده‌ها که به تفسیر گرافیکی نیز معروف است، بعد از اعمال پردازش‌های مناسب بر روی داده‌ها انجام می‌پذیرد. این روش تفسیر با استفاده از مشخصات بارز روی مقاطع GPR انجام می‌گیرد، به این ترتیب که مقاطع زمانی به دست آمده ممکن است با استفاده از سرعت امواج GPR در محیط زیرسطحی به مقاطع عمقی تبدیل شده و یا این که به صورت مستقیم در دست تفسیر قرار گیرند. در این نوع تفسیر، مفسر در واقع کیفیت و شکل بازتاب‌ها را نسبت به بازتاب‌های مجاور تشخیص داده و با توجه به ویژگی این بازتاب‌ها از جمله پیوستگی، بزرگی و گسترش آنها، این رویدادها را از یکدیگر تفکیک می‌کند (محمدی ویژه، ۱۳۸۷).

در تمامی مقاطعی که در این مطالعه از آنها استفاده شده است، موضوعی که بیش از هر چیز جلب توجه می‌کند



شکل ۱۱. مقطع عمقی پروفیل ۵ با کاربست صافی Dewow و بهره SEC.



شکل ۱۲. نمودار گردش پردازش داده‌های GPR (آنان، ۲۰۰۱).

۶ بحث و نتیجه گیری

در تکمیل مطالب ارائه شده، می‌توان گفت که در پردازش داده‌های رادار بالاخص جایی که کاربست روند پردازش و پارامترهای هر عملگر پردازش به صورت تام در اختیار کاربر است، درک صحیح از نحوه اثر هر یک از پردازش‌ها و سازوکار عمل هر یک از عملگرها بر روی داده‌ها می‌تواند در انتخاب پارامترها و روندهای پردازش بسیار راه‌گشا باشد. درضمن، همان‌طور که اشاره شد بررسی مقاطع، ردهای جداگانه، میانگین طیف بسامد و میانگین دامنه بر حسب زمان، درک صحیحی از موفقیت و یا عدم موفقیت یک روند پردازشی را به کاربر خواهد

داد. بنابراین، در هر گام پردازش لازم است با بررسی مقاطع، ردها و طیف‌ها برای دستیابی به بهترین مقطع ممکن در آن مرحله از پردازش تلاش کرد و سپس وارد مرحله بعدی پردازش شد. درضمن، در هر گام باید در ذهن داشت که هدف نهایی دستیابی به مقطعی است که بیشترین تطابق را با واقعیت‌های زمین‌شناختی منطقه دارد؛ لذا استفاده از اطلاعات زمین‌شناختی و نتایج حاصل از مغزه‌گیری‌های احتمالی در حین اعمال پردازش‌ها و بررسی اثر آنها می‌تواند یکی از مهم‌ترین پارامترها در تشخیص درستی پارامترها و روندهای پردازشی باشد. در صورت تحقق چنین روندی مطمئناً در پایان پردازش،

مجله ژئوفیزیک ایران، جلد ۱، شماره ۱، صفحه ۸۱-

۸۹

حسینی، م.، ۱۳۸۸، برداشت، پردازش و تفسیر داده‌های رادار نفوذی به زمین (GPR) در منطقه شاهرود و مقایسه نتایج آن با نتایج ژئومغناطیس در منطقه مزبور: پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

محمدی ویژه، م.، ۱۳۸۷، برداشت، پردازش و تفسیر داده‌های رادار نفوذی به زمین در منطقه شاهرود و مقایسه آن با نتایج ژئوالکتریک در منطقه مزبور: پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

مزینانی، ا.، ۱۳۸۹، بررسی ضخامت آسفالت در دانشگاه صنعتی شاهرود با استفاده از روش GPR: پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

Annan, A. P., 2001, Ground penetrating radar workshop note: Sensors and software.

Davis, J. L., and Annan, A. P., 1989, Ground-penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy: Geophysical Prospecting, **37**(5), 531-551.

Fisher, E., McMechan, G. A., Annan, A. P., and Cosway, S. W., 1992, Examples of reverse-time migration of single-channel, ground penetrating radar profiles: Geophysics, **57**, 577-586.

Kofman, R., Ronen, A., and Frydman, S., 2006, Detection of model voids by identifying reverberation phenomena in GPR records: J. Appl. Geophys., **59**(4), 284-299

Neal, A., 2004, Ground penetrating radar and its use in sedimentology: Principles, problems and progress: Earth-science Reviews, **66**, 261-330.

Reynolds, J. M., 1997, An Introduction to Applied and Environmental Geophysics: John Wiley, 806 pp.

مقطعی خواهیم داشت که به راحتی می‌توان درخصوص ویژگی‌های اهداف مورد نظر موجود در آن صحبت کرد. از طرف دیگر، همان‌گونه که برداشت داده‌ها با انگیزه آشکارسازی هدف یا اهدافی خاص دنبال می‌شود، پردازش داده‌ها نیز باید با منظور هرچه برجسته‌تر کردن اهداف احتمالی انجام گیرد. چه بسا در پاره‌ای از مطالعات به دلایلی چون سطح نوفه بالا، هم‌پوشانی زیاد بسامدی نوفه‌ها و پاسخ‌ها از اهداف، پیروی نکردن نوفه‌ها از روندی خاص و پیشا بودن آنها و مسائلی از این دست، در کاربست پردازش بر روی یک مقطع به‌منظور برجسته‌کردن پاسخ‌ها در بخش خاصی از مقطع، با کاهش توان تفکیک و یا برجسته‌تر شدن نوفه‌ها در سایر نقاط پروفیل (مانند آنچه در شکل ۷-ب دیده شد) روبرو شویم. در صورت بروز چنین مشکلی به دلیل این که این فرآیند، منظور ما در برجسته کردن پاسخ دریافتی از اهداف را تأمین کرده و به ما در توصیف هرچه دقیق‌تر و قابل اعتمادتر اهداف کمک می‌کند، می‌توان از اثرات ناخواسته بر روی سایر نقاط پروفیل چشم‌پوشید.

تقدیر و تشکر

نگارندگان لازم می‌دانند از همه افرادی که در برداشت داده‌های صحرائی همکاری داشته‌اند، به‌ویژه آقایان دکتر امینی، دکتر نادری و مهندس کبیریان قدردانی و تشکر کنند.

منابع

اویسی موخر، م.، قاسمی، و.، و شاه‌نظری، ح.، ۱۳۸۴، مطالعات مغناطیسی و رادار بر روی طاق‌های عمارت تاریخی خسرو در شهر قصر شیرین: دوازدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران.
اویسی موخر، م.، ۱۳۸۶، بررسی ساختار شکستگی سراب قنبر در جنوب شهر کرمانشاه با استفاده از روش رادار:

www.Googleearth.com

Yilmaz, Ö., 1987, Siesmic Data Processing:
Vol. 1: Soc. Explor. Geophys.

Sensors and Software, 1999a, pulseEKKO
100 RUN User's Guide, Version 1.2.

Sensors and Software, 1999b, Win_EKKO
User's Guide, Version 1.0.