استفاده از رسید های ثانویه انکساری و مدل سازی در اکتشاف ذخایر منگنز لایه ای با شیب کم

لطیف صمدی[۱]-بهزاد مهرابی[۲]

[۱ و ۲] استادیار گروه زمین شناسی دانشگاه تربیت معلم

samadi@saba.tmu.ac.ir[1] e-mail:
mehrabi@saba.tmu.ac.ir[2] e-mail:

چکیده:

اکتشاف منگنز به دلیل ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی عنصر منگنز و کانه های حاوی آن مشکل است. از نظر ژئوشیمیایی منگنز عنصری متحرک تا نسبتا متحرک بسته به شرایط محیطی محسوب می شود. به همین دلیل روش های ژئو شیمیایی با محدودیت های بسیاری در زمینه اکتشافات منگنز مواجه هستند. معمولا از روش لیتوژئو شیمیایی و میزان منگنز و یا نسبت منگنز به آهن در اکتشافات ژئو شیمیایی استفاده شده است. در منابع علمی عنوان می شود که روش های ژئو فیزیکی در اکتشاف منگنز موثر نیستند.کانسار های منگنز عکس العمل خوبی نسبت به میدان های فیزیکی نظیر الکتریکی و مغناطیسی دارند و در شرایط مساعد در مواردی که سطح آب های زیر زمینی در منطقه بالاست میدان های الکتریکی طبیعی (SP) و خود پذیری مغناطیسی بالایی را نسبت به سنگ های میز بان نشان می دهند. با این وجود اکتشاف کانسار های منگنز با روش های ژئوفیزیکی مذکور نیز در اکثر موارد عملا با توجه به وضعیت زمین شناسی و ساختاری مشکل است. کانسار های رسوبی منگنز عموما بصورت لایه ای و با شیب کم در میان تشکیلات دیگر نظیر مارن، ماسه سنگ و آهک قرار داشته و آنومالی دریافت شده از این کانسارها در سطح زمین در تمام جهات محسوس و یکنواخت است ومبنای مقایسه برای تشخیص وجود ندارد. روش لرزه نگاری انکساری روشی است که در صورت همراه بودن با مدل فیزیکی-زمین شناسی می تواند نتیجه خوبی را در ردیابی کانسارهای رسوبی منگنز که با لایه کم سرعت پوشیده شده اند داشته باشد. در مطالعه اخیر از روش لرزه نگاری انکساری بر اساس رسید های ثانویه انکساری (امواج انکساری ایجاد شده در مرز لایه کم سرعت دوم و لایه سوم که در محدوده بین فاصله حدی و فاصله همپوشانی ثبت شده اند) همراه با مدل تحلیلی جهت اکتشاف منگنز در محدوده جنوب غربی استان قم استفاده شده است. نتایج بدست آمده نشان می دهد که در صورت تهیه مدل فیزیکی-زمین شناسی دقیق سازند و محاسبات تحلیلی سینماتیک امواج، همراه با مطالعات لرزه ای صحرایی و تفسیر هم زمان لرزه نگاشت ها با مدل می توان بخوبی از این روش در اکتشاف ذخایر منگنز لایه ای کم شیب با وجود لایه کم سرعت دربین طبقات استفاده کرد.

واژهای کلیدی: **اکتشاف منگنز، لرزه نگاری انکساری، لایه کم سرعت، رسیدهای انکساری ثانویه، مدل فیزیکی-زمین شناسی**

بهزاد مهرابی، گروه زمین شناسی دانشگاه تربیت معلم، خیابان مفتح شماره ۴۹، تهران ۱۵۶۱۴، تلفکس: ۸۳۰۹۲۹۳

e-mail: mehrabi@saba.tmu.ac.ir

مقدمه

اکتشاف منگنز به ویژه کانسارهای تیپ رسوبی آن با مشکلات بسیاری همراه است[۱]. استفاده از روشهای ژئوشیمیایی به دلیل رفتار های متفاوت منگنز در محیط های ژئوشیمیایی مختلف با محدودیت همراه است [۲]. در میان روش های مختلف اکتشافی، روش های ژئو فیزیکی کمتر در اکتشاف منگنز مورد استفاده قرار می گیرند [۳]. مطالعات ژئو فیزیکی محدودی در مورد کانسار های منگنز انجام شده و تنها روش (SP) در محیط و شرایط مناسب موفقیت آمیز بوده است [۴ و ۵].روش مغناطیسی هوابردی نیز در موارد همراهی آهن با منگنز قابل استفاده است [۶]. در کانسار های منگنز رسو بی همراه با کربنات ها به دلیل بافت متخلخل، تحکیم ضعیف و نازک لایه بودن امکان استفاده از روش های ثقلی وجود ندارد [۷]. در مواردی که لایه ها دچار تغییر شکل های شدید نشده باشند می توان از روش های لرزه ای انعکاسی و انکساری استفاده کرد [۸]. در اکتشاف اندیس معدنی منگنز جنوب غرب قم از روش لرزه ای انکساری و تهیه مدل فیزیکی-زمین شناسی به عنوان مبنای مدل تحلیلی، استفاده شده است. این روش می- تواند به عنوان الگویی در اکتشاف ذخایر مشابه به صورت موفقیت آمیز مورد استفاده قرار گیرد.

روش لرزه نگاری ا نکساری معمول در اکتشاف بر رسیدهای اول استوار است. اگر لایه بندی به صورتی باشد که از بالا به پایین سرعت امواج در لایه ها افزایش یابند رسید های اول در تریس های لرزه ای از تمام لایه ها، جز در مواردی که زون پنهان در بین لایه ها وجود داشته باشد، دریافت می شوند. در چنین شرایطی ضخامت ها و میزان سرعت های انتشار امواج لایه های مختلف زمین شناسی با دقت خوبی محاسبه می شوند. در صورتی که در بین طبقات، یک لایه کم سرعت نسبت به لایه بالایی قرار گرفته باشد، تشخیص وجود آن بر اساس رسید های اول عملی نبوده و عمق محاسبه شده نیز بیشتر از عمق واقعی خواهد بود.

در محدوده اندیس منگنز جنوب غرب شهرستان قم، در نیمرخ گسلی، توالی لایه ها از سطح به عمق به ترتیب سنگ آهک تخریبی(لایه اول)، مارن ضخیم کم سرعت(لایه دوم) و ماسه سنگ در بر گیرنده منگنز(لایه سوم) رخنمون دارند. محدودیت در اجرای نیمرخ های لرزه ای بلند به دلیل شرایط زمین شناسی حاکم و وجود لایه ضخیم مارن کم سرعت در بین لایه ها ردیابی گسترش احتمالی لایه منگنز به روش لرزه ای انکساری متداول را غیرممکن ساخته بود. در این مطالعه سعی شد با تهیه مدل فیزیکی-زمین شناسی سازند و مدلسازی سینماتیک امواج و انتخاب فاصله بهینه چشمه و دریافت، از رسید های ثانویه برای تعیین گسترش منگنز استفاده شود.

زمین شناسی محدوده اکتشافی

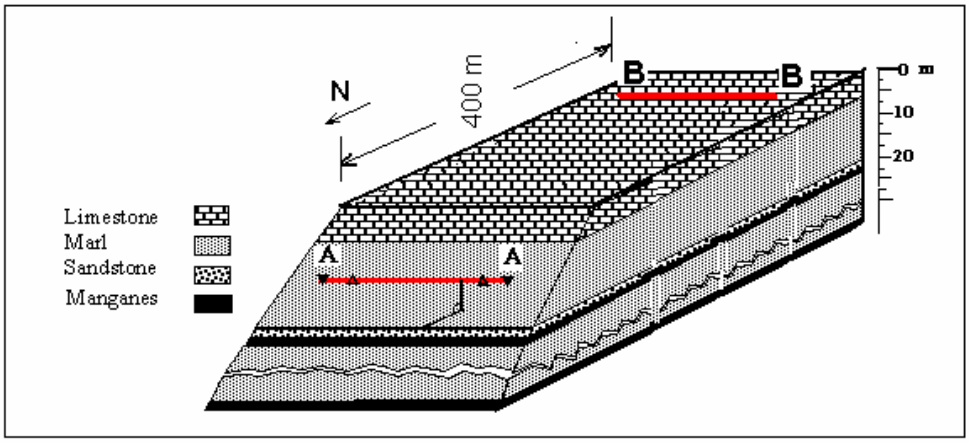
منطقه مورد مطالعه در ۲۵ کیلومتری جنوب غربی شهرستان قم واقع شده است. در این محدوده کانی سازی منگنز در قسمت فوقانی سازند قرمز زیرین صورت گرفته که از نظر لیتولوژیکی شامل مارن ودر قسمتهای فوقانی دارای میان لایه های ماسه سنگی است. بر روی این سازند آهک تخریبی فسیل دار قم واقع شده است. مرز بین دو سازند کاملا هم شیب است.

افق منگنز دار به ضخامت حداکثر ۲۵ سانتی متر شامل کانی سازی از نوع پیرولوزیت بوده که کمر بالای آن یک افق ماسه سنگی به ضخامت تقریبی ۱ متر است. آثار کانی سازی منگنز در یک افق پائین تر نیز مشاهده می شود.

از نظر زمین شناسی ساختمانی لایه ها با امتداد تقریبی شرقی غربی و شیب ۲۰ درجه به سمت جنوب قرار داشته و بنظر می رسد که رخنمون منگنزدر یک تک شیب واقع شده است.

وضعیت ساختاری محدوده اکتشافی

توالی معدنی به صورت یک تک شیب منتهی به دشت است که در بخش شمالی توسط یک گسل شرقی غربی قطع شده است. شیب لایه ها در توالی در بر گیرنده لایه منگنز در منطقه مورد مطالعه حدود ۲۰ درجه بوده و رخنمون آن در برش طولی دارای شیب حدود ۶۰ درجه است(شکل۱). بر اساس مشاهدات صحرایی این توالی بترتیب از بالا به پائین شامل لایه هایی از سنگ آهک به ضخامت متوسط ۵ متر ، مارن با ضخامت ظاهری ۱۸ متر ، ماسه سنگ با ضخامتی متغیر حدود ۱ متر، منگنز با ضخامتی حدود ۲۵ سانتی مترو مجددا توالی از مارن و ماسه سنگ و لایه نازک ۲۵ سانتی متری دوم منگنز است. رخنمون مورد مطالعه به روش متر و کمپاس توسط نگارندگان با دقت برداشت و بر اساس آن نیمرخی به عنوان مبنای الگوی زمین شناسی تهیه شده است.



شکل شماره(۱): مدل سه بعدی نمایش وضعیت رخنمون ماده معدنی نسبت به سنگ های میزبان(AA - موقعیت نیمرخ لرزه ای در مارن، BB موقعیت نیمرخ اکتشافی).

روش مطالعه

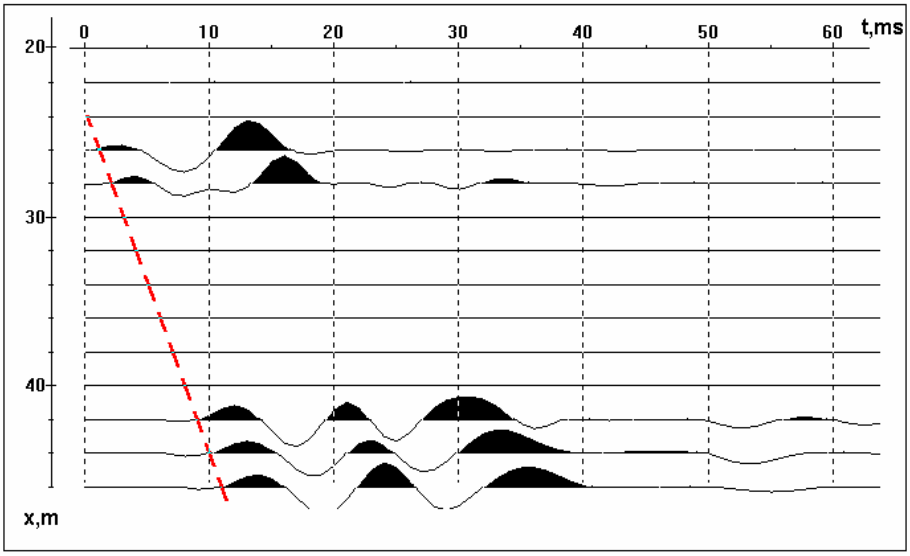
مطالعات اکتشافی در دو مرحله انجام گرفته است. مرحله اول شامل جمع آوری اطلاعات مربوط به شواهد زمین شناسی سطحی از وضعیت لایه بندی و اجرای لرزه نگاری مقدماتی در سازند ها جهت تعیین میزان سرعت انتشار امواج طولی(P) در لایه های مختلف رخنمون سنگ میزبان و افق کانه دار است. مرحله دوم، مطالعه اکتشافی برای ردیابی گسترش احتمالی جانبی لایه منگنز در ضلع جنوبی منتهی به دشت و تعیین محدوده گسترش افق منگنز دار است.

در مرحله اول بعد از برداشت زمین شناسی با متر و کمپاس، روش لرزه نگاری انکساری برای تعیین میزان سرعت انتشار موج طولی لایه ها در محل رخنمون که شامل توالی از آهک تخریبی، مارن (لایه کم سرعت)و منگنز است بکار گرفته شده است. برای این منظور سه نیمرخ لرزه ای بترتیب در سطح آهک تخریبی سطحی، درمیان لایه مارنی (لایه کم سرعت)و در زون منگنز، بصورت طولی اجرا شده است. لازم به ذکر است اندازه گیری سرعت انتشار موج P درافق منگنز غیر هوازده انجام شده است.

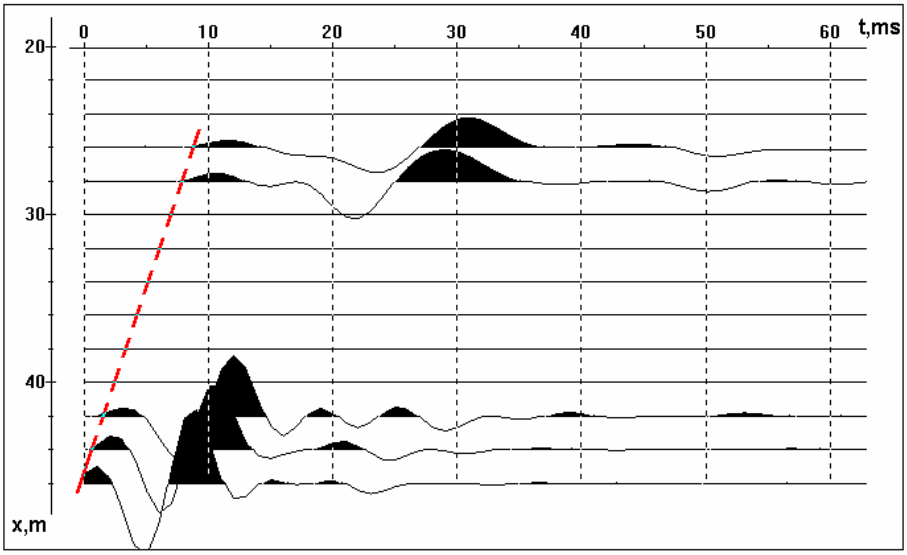
نیمرخ لرزه ای AA در میان لایه مارنی با ضخامت ظاهری ۱۸ متر در امتداد شیب توپوگرافی می باشد در امتداد افق اجرا شده است(شکل۱). این لایه در حد واسط بین لایه آهک و افق منگنز دار قرار دارد. هدف از اجرای این نیمرخ لرزه ای علاوه بر تعیین سرعت موج P در لایه مارن، دریافت نشانه گسترش افق منگنز دار در زیر افق اجرای این پروفیل در رخنمون لایه ها و تعیین سرعت انتشار موج طولی در سطح مارن و منگنز است. موقیت این پروفیل در شکل (۱) ارائه شده است.

افق منگنز دار دارای رخنمون محدود بوده و عملیات اکتشافی شامل حفر ترانشه بر روی آن انجام گرفته است. برداشت لرزه ای با۲۴ ژئو فون در این افق بدلیل محدودیت های موجود میسر نبوده وبرداشت لرزه ای برای تعیین میزان سرعت موج P در زون منگنز با کاشت ۵ ژئو فون در نقاطی که برونزد منگنز وجود دارد اجرا شده است. این نیمرخ لرزه ای نیزبه صورت طولی برداشت و فاصله بین ژئو فون های نزدیک دو متر و ژئو فون های دور در برون زد های مجزای منگنز ۱۴ متر در نظر گرفته شده است. برای تعیین دقیق سرعت لایه ای افق منگنز دار در این نیمرخ دولرزه نگاشت از چپ و راست برداشت شده است (شکل های۲و۳). سرعت انتشار موج طولی در لایه منگنز از روی داده های رقومی محاسبه شده است.

تعیین سرعت انتشار موج طولی در آهک تخریبی در ضلع شمالی رخنمون به روش لرزه نگاری انکساری طولی با ۲۴ ژئو فون با فاصله متوالی ۲ متر اجرا شده است.



شکل شماره(۲): لرزه نگاشت لایه منگنز از تحریک سمت چپ نیمرخ.



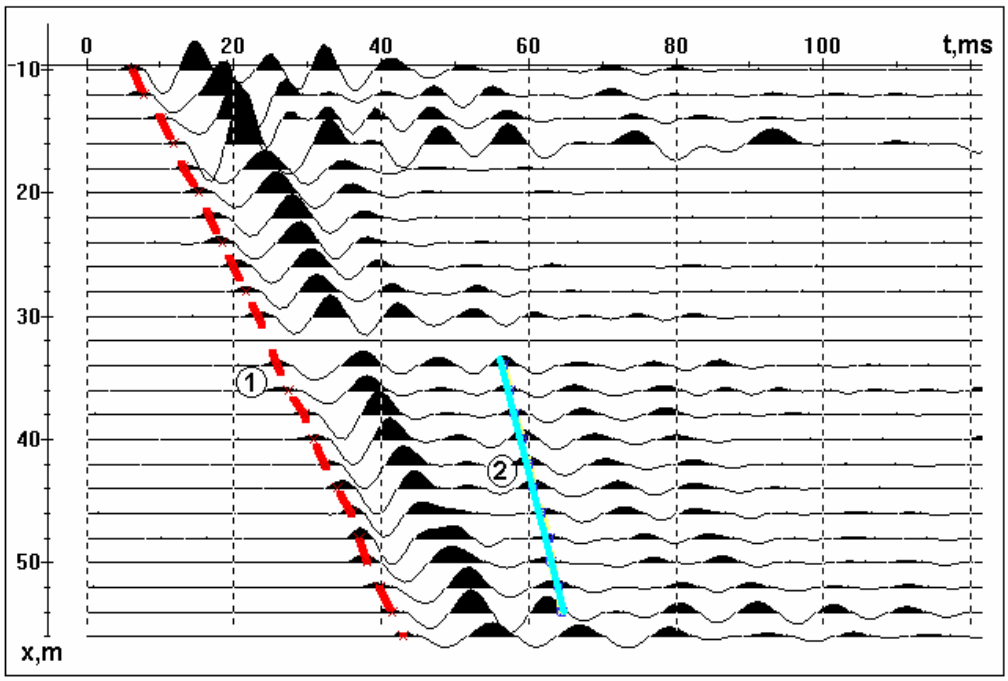
شکل شماره(۳): لرزه نگاشت لایه منگنز از تحریک سمت راست نیمرخ.

مرحله دوم مطالعات که هدف اصلی این تحقیق است اجرای برداشت های لرزه ای برای ردیابی گسترش احتمالی جانبی افق منگنز دار در ضلع جنوبی منتهی به دشت است. در این راستا به طور سیستماتیک تعدادی نیمرخ لرزه ای با امتداد شرقی- غربی برداشت شد. در گستره مورد مطالعه، کم و کیف نگاشت ها در مجموعه نیمرخ های لرزه ای، از یک روند کلی کم و بیش مشابهی تبعیت می کنند و نشان می دهد مولفه های فیزیکی افق منگنزدار در محدوده گسترش نیمرخ ها از نظر کیفی تغییرات چندانی ندارد. برای بررسی کمی وضعیت لایه بندی در این محدوده، نگاشت لرزه ای مستقیم که با دور افت (Offset) ۱۰ متری از یکی از نیمرخ های مطالعاتی ثبت شده است مورد تحلیل قرار می گیرد.

بررسی نگاشت لرزه ای اکتشافی

نیمرخ لرزه ای اکتشافی(BB) در بخش جنوبی منطقه مورد مطالعه بصورت طولی با ۲۴ ژئوفون با فواصل ۲ متر و طول ۴۶ متر بصورت پروفیل مستقیم و وارون برداشت شده است. برای کسب وضعیت سازند ها در این محدوده محل چشمه ها در ابتدا، انتها، وسط، و با دورافت های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متری انتخاب شده است. بررسی اولیه منحنی های زمان- مسافت نشان از وجود لایه بندی افقی در محل نیمرخ دارد. در رسید های اولیه در هیچ یک از ۹ نگاشت آثاری از منگنز(سرعت ۲۲۰۰ متر بر ثانیه) دیده نمی شود. بنابر این به دلیل وجود فاصله بهینه در نگاشت لرزه ای با دور افت ۱۰ متری جهت دریافت رسید های ثانویه که موضوع این مقاله نیز است این نگاشت مورد بحث و بررسی قرار می گیرد.

بررسی تریس های لرزه ای در نگاشت (شکل ۴) نشان می دهد اولین ثبت امواج در رسید های اول بعد از۷ الی ۸ میلی ثانیه در تریس مربوط به نزدیک ترین ژئوفون نسبت به چشمه ثبت شده است. دیرترین زمان نیز در رسید های اول مربوط به تریس دورترین ژئو فون(۲۴ ام) است که بعد از ۴۳ میلی ثانیه ثبت شده است. خط۱ (شکل ۴) همبستگی اولین رسید ها در تریس های مجاور را نشان می دهد. در امتداد این خط سرعت انتشار موج طولی بطور متوسط ۱۳۰۰ متر بر ثانیه است.

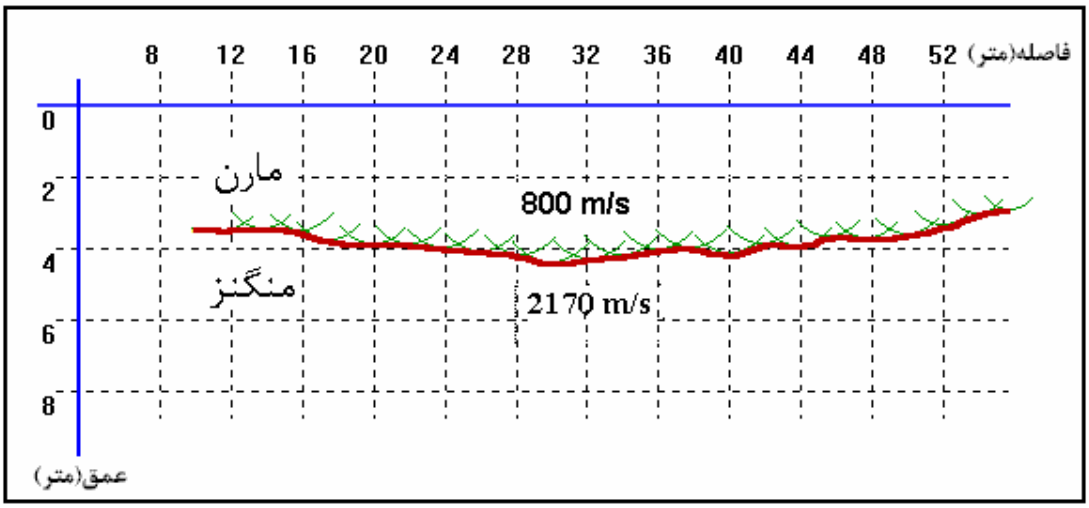


شکل شماره(۴): نگاشت حاصل از لرزه نگاری اکتشافی در ضلع جنوبی محدوده مورد مطالعه
با دور افت ۱۰ متردر امتداد پروفیل BB (1: رسیدهای اول، 2: رسیدهای ثانویه انکساری)

از تریس ژئوفون واقع در موقعیت ۳۴متری مطابق شکل ۴ و در لحظه زمان ۵۳ میلی ثانیه، تا تریس ژئوفون واقع در موقعیت ۵۶ متری و در لحظه زمانی ۶۳ میلی ثانیه، رسید های ثانویه مشاهده می شود. در شکل (۴) رسید های ثانویه با خط ۲ نشان داده شده است. میزان سرعت در امتداد این خط ۲۲۰۰ متر بر ثانیه است بدیهی که رسید های ثانویه از افق زیرین پر سرعت آمده است. در برداشت های انکساری در دهه های گذشته نشانه هایی از زمان های رسید از مرزهای انکساری که دیر تر از رسید های اولیه ثبت می شدند بندرت قابل تفکیک بود و تکنیک های تفسیری عمدتا بر رسید های اولیه بنا شده است. با به کار گیری سیستم لرزه نگاری دیجیتال در این مطالعه و با انتخاب فاصله نمونه -گیری زمانی برابر۵/. میلی ثانیه و انتخاب بهینه فاصله بین چشمه و ژئو فون ها که در ادامه مقاله آمده است، قدرت تفکیک امواج در تریس ها افزایش یافته و امکان جدایش رسیدهای ثانویه را ممکن ساخته است. این منطقه از معدود مناطقی است که با توجه به توزیع مناسب سرعت امواج و ضخامت لایه ها می توان رسید های ثانویه با کیفیت خوب در یا فت کرد. این موضوع در داده های لرزه ای انکساری دامنه کوه های روکی (Rocki Mountain) در کانادا نیز دیده می شود[۹].

مدل فیزیکی- زمین شناسی محدوده مطالعاتی

هر چند در نگاشت (شکل۴) وجود افق پر سرعت در مقطع لرزه ای در رسید های ثانویه دیده می شود اما تعیین ماهیت و افق زمین شناسی مربوط به آن بدون بررسی مدل فیزیکی–زمین شناسی محدوده که بر شواهد صحرایی و مطالعات تکمیلی استوار است میسر نیست. نتایج مطالعات لرزه ای مرحله اول که در قسمت های قبل بیان شد نشان می دهد میزان متوسط سرعت انتشار امواج طولی در لایه منگنز حدود ۲۲۰۰ متر بر ثانیه و در آهک تخریبی ۱۳۰۰ متر برثانیه است. ضخامت لایه آهکی نیز ۵ متراست. تفسیر نیمرخ لرزه ای در افق مارنی (در مقطع گسلیAA) نشان می دهد سرعت انتشار موج طولی در مارن ۸۰۰ متر بر ثانیه است. در عمق ۴ متری از افق این نیمرخ، لایه منگنز با سرعت ۲۱۷۰ متر بر ثانیه قابل تشخیص است و موید آن است که لایه منگنز تا فواصل زیرین نیمرخ گسترش دارد و هم خوانی خوبی با میزان سرعت بدست آمده در لایه منگنز دارد. مقطع لرزه ای این نیمرخ در شکل (۵) آمده است. این مقطع از تفسیر منحنی های زمان- مسافت رسید های اول مجموعه نگاشت های لرزه ای در نیمرخ AA ،به روش بعلاوه و منها [۱۰]حاصل شده است.



شکل شماره (۵): نیمرخ لرزه ای AA در سطح مارن (بین آهک و اولین افق منگنز)

نتایج بدست آمده از تحلیل نیمرخ های برداشت شده در جدول شماره ۱ خلاصه شده است. در این جدول مقادیر سرعت های محاسبه شده برای لایه های موجود در رخنمون همراه با ضخامت های واقعی ارائه شده است.

جدول شماره(۱): پارامتر های مدل فیزیکی-زمین شناسی.

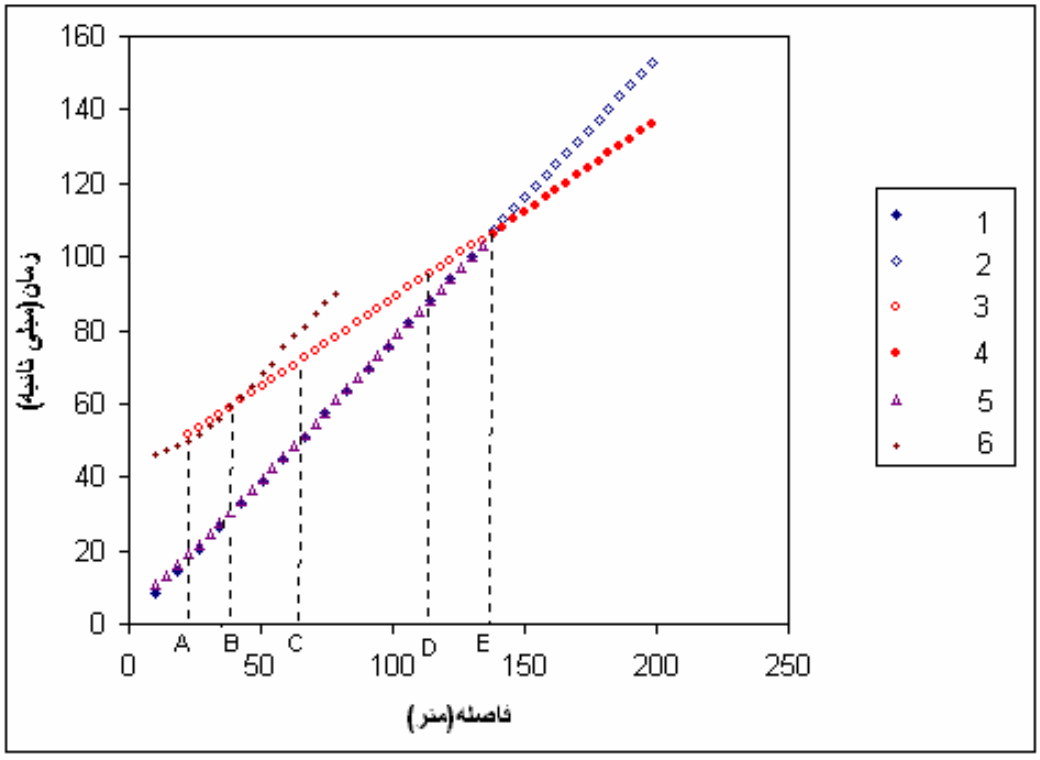
ضخامت (متر)	سرعت(V_p) متر بر ثانیه	نوع تشکیلات
۵	۱۳۰۰	آهک(تخریبی)
۱۵	۸۰۰	مارن
۱	۲۲۰۰	منگنز- ماسه سنگ

با توجه به شواهد صحرایی به نظر می رسد توالی لایه ها درمحدوده مورد مطالعه، درامتداد جنوب حالت شبه موازی داشته باشند. برای بررسی این مسئله منحنی های زمان - مسافت امواج طولی انکساری و بازتابی برای مدل فیزیکی-زمین شناسی (جدول۱) در فرترن محاسبه شده است (شکل ۶). محاسبه زمان های رسید امواج برای مدل، مانند نگاشت شکل ۴ با دور افت ۱۰ متری انجام شده است.

بحث و نتیجه گیری

در شکل(۶) منحنی ۱ و ۲ مربوط به موج مستقیم در لایه آهکی تخریبی، منحنی های ۳و ۴ امواج شکست مرزی از لایه منگنز، منحنی ۵ موج باز تابی از مرز بین آهک و مارن و منحنی ۶ موج بازتابی ازمرز بین لایه مارنی و منگنز هستند. بدلیل ضخامت کم لایه آهکی و با در نظر گرفتن دور افت ۱۰ متری منحنی اموج مستقیم و انعکاسی از سطح مارن (۱و۵) با تفاضل زمان کم نسبت به هم ثبت می شوند که در مقیاس شکل (۶) زیاد قابل تفکیک نیستند و همین عامل باعث افزایش دامنه امواج در رسید های اولیه در نگاشت شکل (۴) شده است. ازنقطه ۱۳۸ متری (نقطه E) موج شکست مرزی لایه منگنز در رسید های اول از موج مستقیم پیشی می گیرد. برای دریافت اثر لایه منگنز در رسید های اول، لازم است طول نیمرخ لرزه ای فواصل بیشتر از ۱۳۸ متر را بپو شاند. توزیع پارامتر های لایه بندی مقطع مورد مطالعه در مدل فیزیکی-زمین شناسی، شرایطی را ایجاد کرده است که امواج بازتابی ازمرز بین مارن و آهک، با اختلاف زمان بسیار کمی (بعد از ۱۰ متر) نسبت به موج مستقیم به ژئو فون ها برسند. این امر موجب تشدید دامنه امواج در رسید های اول شده است (شکل۴). با انتخاب موقعیت ژئوفون ها و چشمه در حد فاصل نقاط B و D شرایط مساعدی برای در یافت امواج انکساری ثانویه از لایه منگنز وجود دارد. در این مطالعه برای دریافت رسید های ثانویه، فاصله بین چشمه و ژئوفون ها در محدوده (BC) انتخاب شد. در تحلیل نتایج به دست آمده، نگاشت لرزه ای (شکل ۴) را که با دور افت ۱۰ متری، فواصل ۱۰ تا ۵۶ متر را در طول نیمرخ می پو شاند، با شکل (۶) که نتیجه محاسبه تحلیلی مدل است مورد مقایسه قرار می دهیم. در هر دو شکل، زمان های رسید های اول به موج مستقیم لایه آهک تعلق

دارد. در فاصله AB (شکل ۶) موج انعکاسی از مرز مشترک مارن و منگنز، با موج شکست مرزی از افق منگنز دار، دررسید های ثانویه تداخل می کنند. در نگاشت لرزه ای (شکل۴) نیز در فاصله ۲۰ تا ۳۴ متر به دلیل این تداخل، رسید های ثانویه قابل تشخیص نیست. فاصله BC در (شکل ۶) برای دریافت رسید های ثانویه مساعد بوده به طوری که در نگاشت (شکل ۴) در فاصله ۳۴ تا ۵۶ متری رسید های ثانویه (خط ۲) به وضوح دیده می شوند.



شکل شماره(۶) مجموعه منحنی های زمان- مسافت برای مدل فیزیکی-زمین شناسی سازند. (۱و ۲) موج مستقیم، (۳و ۴) موج شکست مرزی از سطح مارن و منگنز، (۵) موج انعکاسی از سطح آهک و مارن، (۶) موج انعکاسی از سطح مارن و منگنز

نتایج مطالعه اخیر نشان می دهد که علیرغم ۱) محدود بودن ابعاد محدو ده اکتشافی برای اجرای نیمرخ های لرزه ای بلند، ۲) وجود لایه ضخیم کم سرعت (مارن) در بین طبقات که مانع از تعیین عمق دقیق منگنز پر سرعت در رسید های اولیه می شود ۳) ضخامت نسبتا زیاد لایه پوششی منگنز در محدوده معدنی برای اکتشاف لرزه ای غیر انفجاری با چشمه ضربه ای(پتک) بدلیل ضعیف بودن چشمه انرژی برای

دریافت رسید های اول از افق منگنز۴) با لا بودن هزینه های اجرایی نیمرخ های بلند لرزه ای و تامین مواد ناریه۵) عدم توانایی روش انکساری در رسید های اول برای تعیین عمق دقیق لایه پرسرعت منگنز با وجود لایه کم سرعت مارن پوششی، می توان با مطالعات زمین شناسی مقدماتی و اجرای نیمرخ های لرزه ای در مولفه های سازند مدل لرزه ای - زمین شناسی سازند و انجام مدل سازی نتیجه مطلوب به دست آورد. بررسی همزمان نتایج مدلسازی و رسید های ثانویه در نگاشت های لرزه ای که در فاصله بهینه چشمه و دریافت ثبت شده اند تفکیک افق منگنز دار را در سازند جنوب غرب قم امکانپذیر ساخت. بنابر این در اکتشاف کانسارهای رسوبی منگنز لایه ای کم شیب و در شرایط زمین شناسی مشابه استفاده از این روش می تواند به صورت موفقیت آمیز مورد استفاده قرار گیرد. برای اجرای موفقیت آمیز این روش مراحل کار به شرح زیر پیشنهاد می شود:

۱- مطالعه زمین شناسی دقیق محدوده اکتشافی و تعیین مولفه های فیزیکی واحدهای چینه شناسی موجود.
۲- تعیین سرعت های لایه های مختلف سازند در رخنمون ها.
۳- تهیه مدل لرزه ای- زمین شناسی و مدل سازی سینماتیک امواج انعکاسی و انکساری.
۴- تعیین فاصله بهینه برای دریافت امواج انکساری ثانویه از مدل تهیه شده.
۵- استفاده از چشمه های لرزه ای با طیف فرکانسی وسیع برای بالا بردن تفکیک پذیری امواج در نگاشت های لرزه ای.
۶- برداشت و ثبت دیجیتالی داده ها.
۷- بررسی همزمان نتایج مدلسازی و رسید های ثانویه در نگاشت های لرزه ای.

بنابر این در اکتشاف کانسارهای رسوبی از جمله منگنز لایه ای کم شیب در صورتی که لایه کم سرعت نیز در بین طبقات وجود دارد می توان از رسید های ثانویه انکساری استفاده کرد.

References:

[1] Hood, P.J., (1979), "*Geophysics and Geochemistry in the search for metallic ore*", Geological Survey of Canada, Rep.13.

[2] Levinson, A.A., (1980), "*Introduction to exploration geochemistry*", Applied Publishing Ltd.

[3] Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. and Keys, D.A., (1991), "*Applied Geophysics*", Cambridge Univ. Press.

[4] Force, E.R. and Maynard, B., (1991), "*Manganese: Syngenetic deposits on the margin of anoxic basin*", In: Reviews in Economic Geology, pp147-156.

[5] Force, E. R., Paradis, S. and Simandl, G. J., (1999), "*Sedimentary Manganese; In: Selected British Colombia Mineral Deposit Profiles, V.3*", British Colombia Ministry of Energy and Mines.

[6] U.S. Geological Survey and Corporation Venezolana de Guayana, Tecnica Minera, C.A., (1993), "*Geology and mineral resource assessment of the Venezuelan Guayna Shield*", USGS Bulletin 2062, 121p.

[7] Dorr, J.V.N., Crittenden, M.D. and Worl, R.G., (1973) "*Manganese, In: United States Mineral Resources*", USGS Professional Paper 820, p. 885-898.

[8] Force, E.R. and Cannon, W.R., (1988),"*Depositional model for shallow-marine manganese deposits around black-shale basins*", Economic Geology, v. 83, pp 93-117.

[9] Dobrin M. B. and Savit, C. H., (1988), "*Introduction to Geophysical Prospecting*", (4 ed.). McGraw Hill .

[10] Hagedoorrn J.S. (1959) The plus-minus method of interpreting seismic refraction section, Geophysical prospecting, 7 , 154-182,.