

تعیین سرعت انتشار امواج لرزه ای در پوسته و جبه بالائی ناحیه مشترک ایران ، عراق و کویت

مصطفی قاسمی^۱ و دکتر غلام جوان دولویی^۲

چکیده

بررسی ساختمان پوسته و جبه بالائی بر اساس انتشار امواج لرزه ای در سالهای اخیر در مناطق مختلف ایران انجام گرفته است که به نتایج موثری برای تحلیل زون های لرزه زا و تعیین موقعیت زمینلرزه ها با دقت مناسب منجر شده است. در این پژوهش علاوه بر مرور لرزه زمین ساخت و پیشینه لرزه خیزی منطقه مشترک ایران، عراق و کویت، براساس داده زمینلرزه های ۱۳ ایستگاه لرزه نگاری باند پهن ایران، عراق و کویت (ژانویه ۲۰۰۰ - ژانویه ۲۰۰۸) سرعت انتشار امواج لرزه ای P_n ، P_g ، S_n و S_g در پوسته و جبه بالائی محاسبه شده است. در این راستا براساس زمان رسید ۱۱۴۷۲ فاز پیکری و ترسیم منحنی های زمان سیر آنها، مقدار سرعت امواج پیکری و عمق مرز ناپیوستگی موهو در هر ایستگاه تعیین شده است. متوسط سرعت امواج تراکمی و برشی در پوسته به ترتیب برابر $V_{P_g}=6.39$ (km/s) و $V_{S_g}=3.87$ (km/s) و متوسط سرعت امواج تراکمی و برشی در مرز مشترک پوسته و جبه بالائی به ترتیب $V_{P_n}=7.89$ (km/s) و $V_{S_n}=4.53$ (km/s) محاسبه شده است.

کلید واژه ها: ایران، عراق، کویت، شبکه های لرزه نگاری، سرعت موج، مرز ناپیوستگی موهو.

Seismic Wave Velocity in the Crust and upper mantel of Iran-Iraq-Kuwait Common Region

M. Ghasemi and Dr. G. Javan-Doloei

Abstract

Seismic wave velocity study of crust and upper mantel is a significant key to understand earth's structure. At some stage of past two decades, the seismic velocity of Zagros area has been studied. Results of previous studies are very important for identifying the seismic structure and authentic recent earthquake location in this active area. Based on 11472 seismic phases which were recorded in 13 seismic stations of Iran, Iraq and Kuwait, the average velocities are determined as follow: $V_{P_g}=6.39$ (km/s), $V_{S_g}=3.87$ (km/s), $V_{P_n}=7.89$ (km/s) and $V_{S_n}=4.53$ (km/s).

Keywords: Iran-Iraq-Kuwait, Seismic networks, Seismic Velocity, Moho.

^۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد زلزله شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران - شمال. olumzamin@yahoo.com

^۲ - استادیار زلزله شناسی، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، javandoloei@iiees.ac.ir

مقدمه:

بررسی ساختمان پوسته و جبه فوقانی ایران در سالهای اخیر براساس زمین لرزه های ثبت شده در شبکه های داخلی آغاز شده است و از آن جهت که نتایج بررسی های حاصله نقش مهمی در تحلیل و شناسائی ساختارهای لرزه زا و مدل سرعتی پوسته دارد بنابراین برای تکمیل این مطالعات و ایجاد پوشش مناسب از مسیرهای انتشار امواج در مناطق مرزی از داده های ایستگاه های شبکه های لرزه نگاری باند پهن ایران، کویت و عراق استفاده شده است تا وضعیت ساختاری پوسته و جبه فوقانی در منطقه حائل بین ایران، کویت و عراق که منطقه برخوردی صفحه عربی با پوسته ایران زمین است مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد. منطقه مورد مطالعه دارای سرچشمه های لرزه ای متفاوتی است که همگی خطی می باشند، لیکن برای تحلیل ویژگی های منطقه ای باید ایالتهای زمین ساختی متفاوتی را مشخص نمود. وجه تمایز ایالتهای زمین ساختی در وضعیت لرزه خیزی، ساز و کار گسلش و وضعیت تکتونیکی منطقه می باشد. در بخش ایران ایالت ساختاری مورد مطالعه زاگرس است که مهمترین گسلهای آن عبارتند از گسل راندگی اصلی زاگرس، گسل دنا (دینار) و گسل کازرون- قطر و در بخش صفحه عربی گسلهایی که تقریباً عمود بر گسل اصلی زاگرس هستند قاره مزبور را به ایالتهای ساختاری عمان و توروس تقسیم بندی می کنند. زون گسلی دیبا و خط عمان و منطقه خرد شده پالمیرا را می توان در این ایالتها نام برد. در طرفین خطوط اجرا کننده فوق نیز ساختارهای متعددی به صورت خمیدگی های کمائی شکل دیده می شوند.

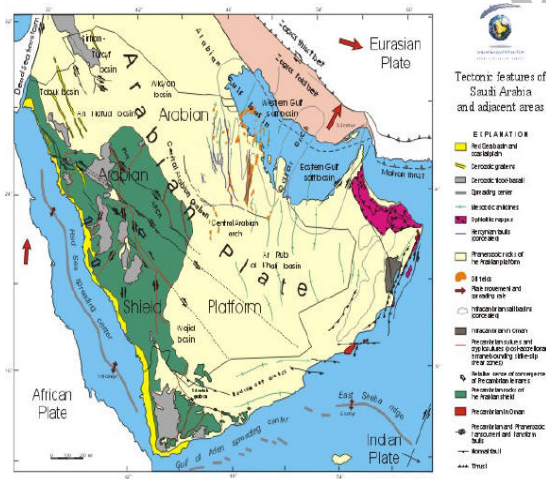
منطقه مورد مطالعه از نظر جغرافیائی در محدوده غرب- جنوب غرب ایران و شرق عراق و شمال شرق عربستان قرار دارد. این منطقه از نظر ژئوپلیتیک یکی از مهمترین مناطق در عرصه خاورمیانه می باشد چراکه بخش عظیمی از منابع نفت و گاز خاورمیانه از حوضه های نفتی این منطقه که در سه کشور ایران، عراق

و کویت استخراج می شود. این منطقه از شمال به حوضه آنتولی ترکیه و از جنوب به خلیج فارس و از غرب به بحرالمتیت و از شرق به ایران مرکزی محدود شده است.

زمین شناسی منطقه

از نقطه نظر زمین شناسی منطقه مورد مطالعه در محل برخورد صفحه عربی و صفحه ایران قرار دارد که به حوضه ها یا زونهای مختلفی تقسیم بندی گردیده است. وضعیت زمین- شناسی این محل کاملاً متأثر از برخورد صفحات فوق می باشد. در منطقه فوق زونهای زاگرس چین خورده، زاگرس رورانده، دشت خوزستان و هوخف-دوفار در قطعه عمان، یئوف قرا- موصل و قطر وجود دارند. از لحاظ تکتونیکی دشت خوزستان قسمتی از دشت وسیع بین النهرین است که از نظر ساختمان زمین شناسی جزئی از صفحه عربی محسوب می شود و به لحاظ ساختمانی ساده بوده و منحصر به چین خوردگی بسیار ملایم با محور شمالی- جنوبی است (کازمین و همکاران، ۱۹۸۶). در بخش زاگرس چین خورده که واحدی ساختمانی در جنوب غرب ایران است و پهنائی در حدود ۱۵۰ تا ۲۰۰ کیلومتر دارد روند عمومی تقریباً شمال غربی- جنوب شرقی است و در آن رسوبات پالئوزوئیک، مزوزوئیک و تریاس به طور هم شیب روی هم قرار گرفته اند. وجود رسوبات تبخیری و برخی از نبوده های چینه شناسی کوتاه مدت، بیانگر حرکات قائم (خشکی زائی) در این حوضه رسوبی است. در این بخش یک ساختار تکتونیکی به نام راندگی اصلی زاگرس وجود دارد که از شمال بندرعباس تا ناحیه مریوان به طول ۱۳۵۰ کیلومتر امتداد دارد. این مسیر گسلی در اواخر پراکامبرین و در اثر کوهزائی کاتانگائی شکل گرفته و از آن به بعد در شکل گیری حوضه زاگرس و در تغییرات ساختاری و رخساره ای طرفین خود پوسته این منطقه موثر و کنترل کننده بوده است. این گسل در لرزه خیزی ایران به ویژه در بخش شمال باختری آن اثر چشم گیری داشته است. زون دیگری که در منطقه به لحاظ

روند شمال شرقی جبهه جنوبی چین خوردگی پالمیرا، حد جداکننده زاگرس از توروس ترکیه است. از نظر پیشینه تاریخی شکل گیری صفحه عربی باید به حدود ۸۷۰ تا ۵۵۰ میلیون سال قبل بازگردیم که پی سنگ این صفحه از پوسته قاره ای پرکامبرین با ضخامت ۴۰ تا ۴۵ کیلومتر شکل گرفته است، توالی لایه های بالائی از سنگهای رسوبی پالئوزوئیک که سنی در حدود ۵۴۰ میلیون سال قبل (کامبرین) دارند و تا پلیوستوسن ادامه یافته اند و ضخامت آنها تا ۱۰ کیلومتر بوده و از روانه های بازالتی سطحی و رسوبات درون قاره ای پالئوژن - هولوسن، رسوبات عهد حاضر و رسوبات حوضه اقیانوسی در طول دریای سرخ و خلیج عدن متغیر هستند. پیش از بازشدگی و بالا آمدگی لبه های دریای سرخ و خلیج عدن، سنگهای پالئوزوئیک، پی سنگ را در برگرفته و پوشانده بودند، اما فرسایش و عدم پوشش آنها سبب در معرض دید قرار گرفتن آنها بر روی سپر عربی در غرب و در مقیاس کوچکتر بیرون زدگی آنها در جاهای دیگری گردید. (شکل ۲)

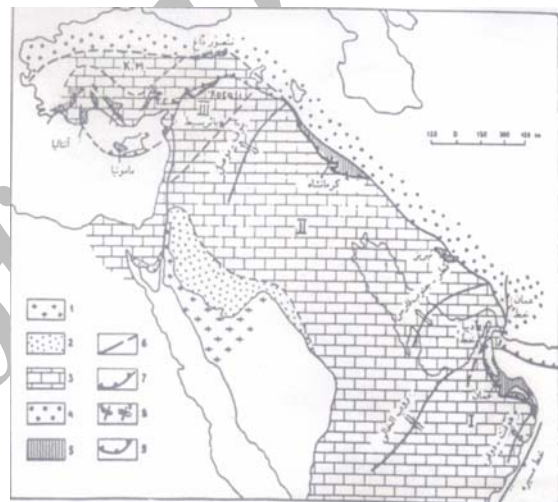


شکل (۲): نقشه زمین شناسی صفحه عربی (سازمان زمین شناسی عربستان سعودی)

گسل های مهم منطقه

مهمترین گسل های منطقه که در شکل گیری ساختار پوسته منطقه نقش اساسی دارند عبارتند از: گسل راندگی

زمین شناسی وجود دارد زون زاگرس رورانده است که بعد از نوار چین خورده زاگرس و به سوی شمال شرق به تدریج منطقه ای رورانده بوجود می آید که نتیجه آن زونی خرد شده و گسلی است که پهنای کمی در حدود ۱۰ تا ۷۰ کیلومتر دارد و منطقه تراستی یا زاگرس رورانده نامیده می شود. وضعیت قرار گیری رسوبات و رسوب گذاری در حوضه های منطقه یاد شده از ابتدای مزوزوئیک تا تورونین اساساً توسط ساختارهای تکتونیکی که جهت آنها شمال شرق - جنوب غرب بوده است کنترل می گردیده است (شکل ۱).



شکل (۱): واحدهای اصلی ساختمانی حاشیه غیر فعال عربستان (کازمین و همکاران، ۱۹۸۶)

چنان که در امتداد دو خط اصلی، که تقریباً عمود بر گسل اصلی زاگرس بود قاره مزبور به قطعات عمان (I)، زاگرس (II) و توروس (III) تقسیم بندی شد که حداکثر فرونشینی آن در منطقه زاگرس بوده به نحوی که ضخامت رسوبات بعد از کامبرین در زاگرس به بیش از ۸ کیلومتر و در برخی مناطق به ۱۸ کیلومتر می رسد (کازمین و همکاران، ۱۹۸۶) در حالی که ضخامت رسوبات در توروس و عمان به $\frac{1}{2}$ تا $\frac{1}{3}$ مقدار فوق کاهش نشان می دهد. حد مرز بین قطعات بوسیله گسلهای پی سنگی تعیین می شود به طوری که زون گسلی دیا و خط عمان (شکل ۱) جداکننده قطعه زاگرس از عمان (لیپارد و همکاران، ۱۹۸۲) و منطقه خرد شده با

برزگر (۱۳۵۸).

نبود داده های ریزلرزه ای و کمبود کانون زلزله نشانگر عدم فعالیت جدید در این گسل است، اما وجود زمین لرزه های بزرگ در ژانویه ۱۹۶۷ و اکتبر ۱۹۷۱ در بخش جنوبی گسل فوق نشانگر فعالیت بخشی از گسل در دوره کوتاهتری است (بربریان، ۱۹۷۶).

- گسل دینار (دنا)

گسل دینار با راستای شمال شمال باختری و شیبی به سمت خاور شمال خاوری یکی از گسل های اصلی زاگرس می باشد که بیش از یکصد کیلومتر طول دارد و طرفین خود را به دو بخش با ویژگی های زمین ساختی، لرزه زمین ساختی و ریخت شناسی متفاوت تقسیم کرده است. گسل دینار یکی از شکستگی های اصلی در پی سنگ پرکامبرین زاگرس است که با فعالیت بعدی خود، در مواردی بر رسوبات زاگرس تاثیر گذاشته است و رسوبات زاگرس را در مناطقی قطع و در مناطقی باعث پیچش و تغییر راستای این رسوبات و ساختارهای آنها شده است. با بررسی نقشه های زمین شناسی، عکس های هوایی و تصاویر ماهواره ای به نظر می رسد که گسل دینار افزون بر جنبش فشاری، دارای جنبش راستالغز از گونه راستگرد مهمی نیز هست.

- سیستم گسلی نجد

سیستم گسلی راستالغز نجد در راستای شمال شرقی در زونی به طول ۱۲۰۰ کیلومتر و به پهنای حدود ۳۰۰ کیلومتر سپر عربی را پوشانده است. گسل ها در این سیستم دارای روند شمال غربی - جنوب شرقی با راستایی به طول حدود ۵۰۰ کیلومتر هستند اما جابجایی در راستای متمایل به چپگرد به طول حدود ۲۵ کیلومتر را دارد. بیشترین جابجایی در زونی به طول ۲۴۰ کیلومتر دیده می شود. سیستم گسل های نجد در پرتوزوئیک پسین دارای فعالیت بوده و در زمان پس از شکل گیری سپر اولیه به وجود آمده است. ساختارهای ثانویه همراه شامل گرابن ها، گسل های تراستی، چین ها و توده های دایکی می باشند (پرینک و همکاران، ۲۰۰۶). در جنوب

اصلی زاگرس، گسل قطر - کازرون، گسل دینار و سیستم گسلی نجد در شمال شرق صفحه عربی.

- گسل راندگی اصلی زاگرس

راندگی اصلی زاگرس از شمال بندرعباس تا ناحیه مریوان به طول ۱۳۵۰ کیلومتر امتداد دارد. در ناحیه مریوان این گسل وارد خاک عراق شده و سپس از ناحیه سردشت وارد خاک ترکیه می گردد. این مسیر گسلی در اواخر پرکامبرین و در اثر کوهزایی کاتانگایی شکل گرفته و از آن به بعد در شکل گیری حوضه زاگرس و در تغییرات ساختاری و رخساره ای طرفین خود موثر و کنترل کننده بوده است. سازوکار این گسل از نوع راندگی - فشاری است. شیب این گسل در بخشی که راستای N130E دارد به سمت شمال خاوری و در بخشی که راستای N170E دارد به سمت شرق شمال شرقی است.

مطالعات تکمیلی نشان از این است که راندگی اصلی زاگرس یک شکستگی تنها نیست بلکه در حقیقت دو گسل راندگی است که گاهی با هم موازی بوده و گاهی بر هم منطبق هستند.

- گسل قطر - کازرون

گسل فوق دارای امتدادی شمالی - جنوبی است و در ۱۵ کیلومتری غرب شهرستان کازرون قرار دارد. طول این گسل حدود ۴۵۰ کیلومتر است و گسلی است پی سنگی و قدیمی که ضمن کنترل مرز باختری حوضه نمکی هرمز، بر رسوبات زاگرس نیز تاثیرگذار بوده بگونه ای که ساختارهای زاگرس را با جهت راستگرد خمیده و جابجا کرده است. شواهد نشان می دهند که گسل قطر - کازرون با روندی تقریباً شمالی - جنوبی و یا شمال باختری - جنوب جنوب خاوری دارای حرکت راستگرد جزئی است. برای نمونه روندهای زمین ساختی در شمال خلیج فارس نشان از آن دارد که خط مرزی سکوی عربستان و واحد زاگرس بوسیله این گسل در جهت راستگرد جابجا شده است. ظاهراً این گسل مرز باختری حوضه تبخیری پرکامبرین پسین - کامبرین ایران را تشکیل می دهد و در طول آن دو گنبد نمکی رخنمون دارد (اسفندیاری و

– زمین لرزه های سده بیستم تاکنون

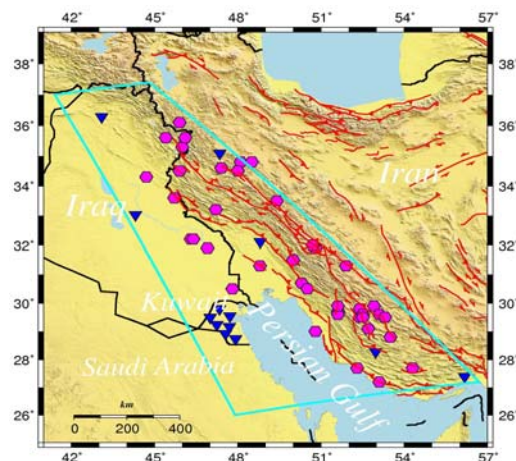
در طی سال هایی که از ابداع دستگاه های لرزه نگاری می گذرد، ثبت رویدادهای لرزه ای در منطقه مورد مطالعه انجام گرفته است چرا که این منطقه بواسطه دارا بودن منابع غنی هیدروکربوری از اهمیت بالایی برخوردار است و به صورت دقیق مورد مطالعه زمین شناسی قرار گرفته است.

رویدادهای لرزه ای که از ابتدای قرن بیستم به صورت دستگاهی در منطقه ثبت شده و بزرگای بیش از ۴ ریشتر داشته اند به تعداد ۱۳۰۵ رویداد می باشد که این تعداد رویداد زمین لرزه ای نشانه فعالیت بالای منطقه از لحاظ لرزه خیزی می باشد و بزرگترین آنها با بزرگای $M_s = 7.4$ در سال ۱۹۰۹ میلادی در منطقه درود روی داده است. شکل (۴) وضعیت لرزه خیزی منطقه مورد مطالعه را با استفاده از داده های دستگاهی نشان می دهد. با بررسی نقشه پراکندگی لرزه خیزی در منطقه متوجه می شویم که تراکم بیشتر لرزه خیزی بر روی نواری منطبق بر گستره زاگرس قابل پیگیری می باشد. به عنوان مثال در آبان ماه سال ۱۳۸۳ در منطقه جنوب زاگرس در پهنه غرب و شمال غرب بندرعباس و ناحیه بندر خمیر و همچنین ناحیه خورموج در استان بوشهر یک فوج زمین لرزه رخ داد. این نوع رخداد زلزله ها شاخص لرزه خیزی رشته کوه های زاگرس است که با توجه به مشخصات پوسته زمین و وجود لایه های نامقاوم و آزاد شدن تدریجی انرژی در هنگام زمین لرزه ها، با وقوع زلزله های متعدد و پی در پی و با بزرگای متوسط در این ناحیه مشخص می شود. براساس چنین مشخصاتی و بزرگای محاسبه شده ۳/۱ تا ۴/۸ بوده و تمرکز آنها در ناحیه حاشیه جنوبی زاگرس، فعالیت بخش های مختلف مرز لرزه زمین ساختی حاشیه جنوبی زاگرس را مشخص می کند.

غرب سیستم گسلی نجد، نزدیک منطقه زالم، عقیده بر این است که گسل های اولیه در ابتدا به صورت راستگرد شکل گرفته اند. شکل گیری محل مجموعه آتشفشانی بوسیله شکستگی های نجد با هندسه راستگرد و جابجایی ها کنترل شده است. بعضی از شکستگی ها قبل و بعد از رسوبگذاری یک گروه از سنگ های رسوبی آتشفشانی در گرابهای جهت یافته در رژیم امتداد لغز راستگرد سازگار شده و فعالیت داشته اند (آگور، ۱۹۸۴).

زمین لرزه های تاریخی منطقه

منطقه مورد مطالعه در طول تاریخ شاهد رویدادهای زیادی از زمین لرزه های ویرانگر بوده است که این پیشینه تاریخی از سده هفدهم پیش از میلاد نیز تاریخ نگاری گردیده است. زلزله های رویداده در این منطقه با توجه به وضعیت زمین شناسی و تکتونیکی منطقه بیشتر دارای ساختاری فشاری بوده و محدوده بزرگی آنها میان $M=5.3$ تا $M=7$ در نوسان بوده البته بیشتر این رویدادهای تاریخی به سبب وسعت ویرانی هایی که در پی داشته اند و نشانه بزرگی زیاد آنها است در تاریخ ثبت شده اند و می توان چنین نتیجه گرفت که تعداد بشمار دیگری زلزله های کوچک و متوسط نیز در منطقه فوق رخ داده اند که در تاریخ ثبت نشده است. در این بررسی تعداد ۵۶ زلزله بزرگ تاریخی منطقه مورد بررسی قرار گرفته است که محل آنها در شکل (۳) نمایش داده شده است (امبرسیز و ملویل، ۱۹۸۲).



شکل (۳): وضعیت زمین لرزه های تاریخی منطقه.

Sg: موج برشی که در مسیر لایه گرانیتی پوسته زمین به صورت موج مستقیم انتشار می یابد.

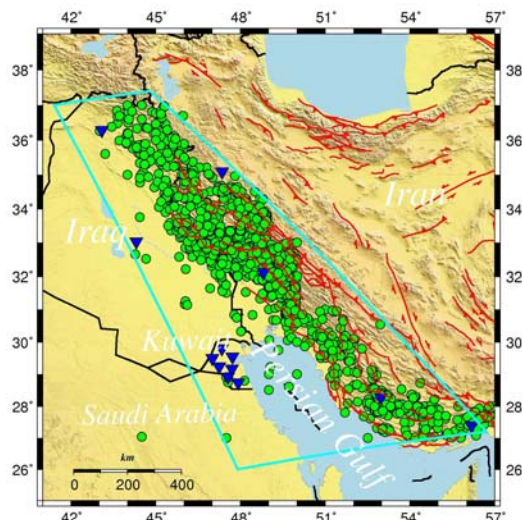
Sn: موج برشی که در مرز مشترک پوسته و جبه بالایی زمین به صورت شکست مرزی انتشار می یابد.

برای استفاده از فازهای لرزه ای چهارگانه فوق از داده های لرزه ای ثبت شده در چهار ایستگاه لرزه نگاری باندپهن شبکه ملی ایران که در منطقه واقع است و ۷ ایستگاه لرزه نگاری باندپهن شبکه کویت و ۲ ایستگاه فعال لرزه نگاری کشور عراق استفاده شده است که مشخصات این ایستگاه ها در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول(۱): مشخصات ایستگاه های لرزه نگاری

STATION NAME	CODE	LAT (°)	LONG (°)	ALT (m)
AL Kabd	KBD	29.175	47.693	124
AL Qurain	QRN	28.744	47.917	135
AL Redifah	RDF	28.925	47.549	180
AL Naaiem	NAY	29.248	47.242	218
Umm Al Ruwaisat	RST	29.5	46.997	218
Muribah	MIB	29.803	47.338	125
Umm AL Rimmam	UMR	29.551	47.715	82
Bandar Abbas	BNDS	27.399	56.171	1500
Sanandaj	SNGE	35.093	47.347	1940
Shooshtar	SHGR	32.108	48.801	150
Ghir	GHIR	28.286	52.967	1200
Baghdad	BHD	32.27	44.38	56
Mosul	MSL	36.29	43.09	283

داده های مورد استفاده طی سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ میلادی در شبکه های فوق به ثبت رسیده اند. بر این اساس با قرائت زمان رسید فازهای زمین لرزه های رویداده در ایستگاه های مورد اشاره، منحنی های زمان عبور برای هر یک از فازها بطور جداگانه در منطقه رسم و سرعت امواج برای هر ایستگاه محاسبه گردید. مرز مشترک پوسته و جبه بالایی توسط یک ناپیوستگی عمده موسوم به موهو از یکدیگر جدا می گردد که در آن امواج تراکمی **Pn** در مسیر مرز مشترک موهو و جبه بالایی و با سرعت سیر در جبه بالایی زمین به صورت شکست مرزی انتشار می یابند. با



شکل (۴): وضعیت لرزه خیزی سده بیستم تاکنون منطقه

محاسبه سرعت انتشار امواج لرزه ای

برای تعیین محل وقوع رویدادهای لرزه ای با دقت بالا، نیاز به تعیین مدل مناسب برای سرعت انتشار امواج لرزه ای در محیط پوسته و جبه بالایی می باشد. بر همین اساس باید از روی فازهای پیکری زمین لرزه های رویداده در منطقه سرعت انتشار امواج لرزه ای را در محیط پوسته منطقه و جبه بالایی به دست آورد. با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه چنین بررسی تاکنون انجام نگرفته است لذا ضرورت ارائه یک مدل سرعتی پوسته در منطقه احساس می گردد چرا که با استفاده از این مدل سرعتی می توان حتی زمان های رسید فازهای لرزه ای را در بازخوانی مجدد مورد بازنگری قرار داد. بر همین اساس در مقاله حاضر با استفاده از فازهای **Pg, Pn, Sg, Sn**، زمین لرزه هایی که در ایستگاه های شبکه های لرزه نگاری باند پهن ایران، عراق و کویت به ثبت رسیده است، یک مدل سرعتی برای منطقه ارائه شده است. براساس نوشتار آکی و ریچارد (۲۰۰۲) تعریف فازهای لرزه ای مورد استفاده به شرح زیر می باشد:

Pg: موج تراکمی که در مسیر لایه گرانیتی پوسته زمین به صورت موج مستقیم انتشار می یابد.

Pn: موج تراکمی که در مرز مشترک پوسته و جبه بالایی زمین به صورت شکست مرزی انتشار می یابد.

۱۷۶۲ فاز پیکری قرائت گردید که بیشترین فاز مربوط به فاز تراکمی موج مستقیم Pg می باشد (شکل ۱۸). منحنی مقادیر زمان رسید برحسب فاصله رو مرکز زمین لرزه-های ثبت شده در ایستگاه بندرعباس در شکل (۵) نمایش داده شده است. همچنین نتایج محاسبات سرعت فازهای لرزه ای و مقدار عمق مرز ناپیوستگی موهو در جدول (۲) ارائه شده است. دومین ایستگاه مورد بررسی، ایستگاه قیر به مختصات ۲۸/۲۸۶ درجه عرض شمالی و ۵۲/۹۶۷ درجه طول شرقی و ارتفاع ۱۲۰۰ متری از سطح دریا می باشد. در این ایستگاه در مدت مشابه تعداد ۱۸۰۷ فاز پیکری قرائت گردید که بیشترین فاز مربوط به موج تراکمی شکست مرزی Pn می باشد (شکل ۱۸). منحنی مقادیر زمان رسید برحسب فاصله رو مرکز زمین لرزه های ثبت شده در ایستگاه قیر در شکل (۶) و محاسبات سرعت فازهای لرزه ای و مقدار عمق مرز ناپیوستگی موهو در جدول (۲) نمایش داده شده است. سومین ایستگاه مورد بررسی، ایستگاه شوشتر به مختصات ۳۲/۱۰۸ درجه عرض شمالی و ۴۸/۸۰۱ درجه طول شرقی و ارتفاع ۱۵۰ متری از سطح دریا می باشد. در این ایستگاه در مدت مذکور تعداد ۱۲۱۸ فاز پیکری ثبت گردید که بیشترین فاز مربوط به فاز تراکمی موج مستقیم Pg می باشد. فازهای تراکمی و برشی پوسته ای و شکست مرزی موهو، قرائت شده در این ایستگاه در شکل (۱۸) آورده شده است. منحنی مقادیر زمان رسید برحسب فاصله رو مرکز زمین لرزه های ثبت شده در ایستگاه شوشتر در شکل (۷) و نتایج حاصل از محاسبات سرعت-فازهای لرزه ای و مقدار عمق ناپیوستگی موهو در جدول (۲) ارائه شده است. چهارمین و آخرین ایستگاه مورد بررسی در شبکه ملی لرزه نگاری باند پهن ایران مربوط به ایستگاه سنندج به مختصات ۳۵/۰۹۳ درجه عرض شمالی و ۴۷/۳۴۷ درجه طول شرقی در ارتفاع ۱۹۴۰ متری از سطح دریا می باشد. در این ایستگاه در مدت مشابه با ایستگاه های دیگر طی سالهای ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۸ تعداد ۱۳۲۷ فاز پیکری ثبت و قرائت گردید که بیشترین فاز

قرائت زمان رسید فازهای Sn و Sg, Pn, Pg در هر ایستگاه و ترسیم منحنی های زمان عبور، سرعت هر فاز لرزه ای در زیرهر ایستگاه با استفاده از مقدار عکس شیب آن منحنی محاسبه شده است که نتایج در شکلهای (۵ تا ۱۷) آمده است. علاوه برآن، نتایج حاصل از محاسبات میزان سرعت انتشار امواج لرزه ای در هر ایستگاه در جداول (۲ و ۳ و ۴) ارائه گردیده است. در شکل (۱۸) تعداد فازهای لرزه ای در ایستگاه های مورد مطالعه به صورت هیستوگرام نمایش داده شده است. از بررسی هیستوگرام فازهای لرزه ای ایستگاه های مورد مطالعه در شبکه های ایران، عراق و کویت می توان به این نتیجه رسید که در ایستگاه های شبکه باند پهن ملی ایران فازهای لرزه ای Sg و Pg در ایستگاه بندرعباس و فاز لرزه ای Pn در ایستگاه قیر به مراتب از سایر فازهای لرزه ای بهتر قابل تشخیص هستند پس مقدار سرعت محاسبه شده براساس این فازهای لرزه ای قابل اعتمادتر و پایدارتر می باشند. در ایستگاه های مورد مطالعه در شبکه کویت هم فازهای لرزه ای چهارگانه Sn و Sg, Pn, Pg مربوط به ایستگاه النعیم (NAY) بهتر قابل تشخیص بوده و سرعت محاسبه شده براساس این فازها پایدارتر می باشد. اما درخصوص شبکه لرزه نگاری عراق با توجه به اینکه فقط از دو ایستگاه در حال کار این شبکه استفاده شده و تعداد فازهای قرائت شده از این ایستگاه ها هم نسبت به سایر ایستگاه ها کمتر بوده ولی فاز لرزه ای Pn در ایستگاه بغداد بهتر قابل تشخیص است و سرعت محاسبه شده براساس این فاز لرزه ای نسبت به ایستگاه موصل از خطای کمتری برخوردار است.

- ایستگاه های مورد مطالعه شبکه ملی باند

پهن ایران

اولین ایستگاه مورد مطالعه، ایستگاه بندرعباس به مختصات ۲۷/۳۹۹ درجه عرض شمالی و ۵۶/۱۷۱ درجه طول شرقی و ارتفاع ۱۵۰۰ متری از سطح دریا می باشد. در این ایستگاه از ژانویه ۲۰۰۵ تا ژانویه ۲۰۰۸ تعداد

سومین ایستگاه، ایستگاه-الردیفه (AR-) REDIFAH) به مختصات ۲۸/۹۲۵ درجه عرض شمالی و ۴۷/۵۴۹ درجه طول شرقی و در ارتفاع ۱۸۰ متر از سطح دریا می باشد. در این ایستگاه تعداد ۱۰۳۱ فاز لرزه ای قرائت گردیده است. منحنی مقادیر زمان رسید بر حسب فاصله رو مرکز زلزله های ثبت شده در ایستگاه الردیفه در شکل (۱۱) و نتایج محاسبات سرعت فازهای لرزه ای و مقدار عمق مرز ناپیوستگی موهو در جدول (۳) ارائه شده است.

ایستگاه بعدی، ایستگاه النعیم (An-Na'ayim) به مختصات ۲۹/۲۴۸ درجه عرض شمالی و ۴۷/۲۴۲ درجه طول شرقی به ارتفاع ۲۱۸ متر از سطح دریا می باشد. در این ایستگاه بیشترین فاز لرزه ای در شبکه لرزه نگاری کویت به تعداد ۱۰۵۲ فاز قرائت و ثبت گردیده است. بیشترین فاز مربوط به فاز تراکمی شکست مرزی Pn می باشد و نسبت به سایر ایستگاه ها بیشترین فازهای تراکمی و برشی پوسته ای Pg و Sg را دارد (شکل ۱۸). منحنی مقادیر زمان رسید بر حسب فاصله رو مرکز زمین لرزه های ثبت شده در ایستگاه النعیم در شکل (۱۲) و نتایج حاصله از محاسبات سرعت فازهای لرزه ای و مقدار عمق مرز ناپیوستگی موهو در جدول (۳) ارائه گردیده است.

در سه ایستگاه دیگر به نامهای عمر رو ویست (Ummar Ruway Sat)، مطربه (Mutribah) و عمر ریمام (Ummar Rimam) به ترتیب تعداد ۲۹۵، ۹۲۸ و ۱۹۲ فاز ثبت شده است. که وضعیت فازهای لرزه ای ثبت شده در این ایستگاه ها را در شکل (۱۸) می توان مشاهده کرد. منحنی مقادیر زمان رسید بر حسب فاصله رو مرکز زمین لرزه های ثبت شده در این ایستگاه ها در شکلهای (۱۴، ۱۳ و ۱۵) و نتایج حاصله از محاسبات سرعت فازهای لرزه ای و مقدار عمق مرز ناپیوستگی موهو در جدول (۳) ارائه شده است.

ایستگاه های مورد مطالعه شبکه ملی لرزه نگاری عراق

با توجه به وضعیت سیاسی و منطقه ای عراق در طی

مربوط به موج تراکمی شکست مرزی Pn به تعداد ۶۶۸ فاز می باشد (شکل ۱۸). منحنی مقادیر زمان رسید بر حسب فاصله رو مرکز رویداد زمین لرزه- های ثبت شده در این ایستگاه در شکل (۸) نمایش داده شده است و نتایج محاسبات سرعت فازهای لرزه ای و مقدار عمق مرز ناپیوستگی موهو در جدول (۲) ارائه گردیده است.

ایستگاه های مورد مطالعه شبکه ملی لرزه نگاری کویت

در این مطالعه از ۷ ایستگاه شبکه ملی لرزه نگاری کویت استفاده شده است که با توجه به کیفیت بالای تجهیزات فازهای لرزه ای ثبت شده دارای دقت بالائی می باشند. فازهای لرزه ای از ژانویه سال ۲۰۰۰ تا ژانویه سال ۲۰۰۸ داده های ثبت شده در این شبکه، قرائت گردیده اند. اولین ایستگاه مورد مطالعه، ایستگاه الکبد (ALKABD) به مختصات ۲۹/۱۷۵ درجه عرض شمالی و ۴۷/۶۹۳ درجه طول شرقی و به ارتفاع ۱۲۴ متر از سطح دریا می باشد. در این ایستگاه در طول زمان مورد بررسی تعداد ۶۸۰ فاز لرزه ای مربوط به زلزله های منطقه مورد مطالعه قرائت گردید که بیشترین فاز مربوط به فاز تراکمی شکست مرزی Pn می باشد (شکل ۱۸). منحنی مقادیر زمان رسید بر حسب فاصله رو مرکز زمین لرزه های ثبت شده در ایستگاه الکبد در شکل (۹) و نتایج محاسبات سرعت فازهای لرزه ای و مقدار عمق مرز ناپیوستگی موهو در جدول (۳) ارائه شده است.

دومین ایستگاه شبکه کویت، ایستگاه القرین (AL-QURAYN) به مختصات ۲۸/۷۷۴ درجه عرض شمالی و ۴۷/۹۱۷ درجه طول شرقی در ارتفاع ۱۳۵ متر از سطح دریا می باشد. در این ایستگاه تعداد ۶۸۲ فاز لرزه ای ثبت شده است که بیشترین فاز مربوط به فاز تراکمی شکست مرزی Pn می باشد (شکل ۱۸). منحنی مقادیر زمان رسید بر حسب فاصله رو مرکز زمین لرزه های ثبت شده در ایستگاه القرین در شکل (۱۰) و نتایج محاسبات سرعت فازهای لرزه ای و مقدار عمق مرز ناپیوستگی موهو در جدول (۳) ارائه شده است.

های بخش شرقی منطقه که مربوط به شبکه ملی لرزه نگاری باند پهن ایران هستند به واسطه نزدیکی بیشتر به مکان اکثر رویدادهای زمین لرزه های به وقوع پیوسته در منطقه، فاز برشی شکست مرزی Sn را به صورت مناسب دریافت نمی کنند چرا که فاصله اکثر رویدادهای زمین لرزه ای در منطقه کمتر از ۴۰۰ کیلومتر تا این ایستگاه ها می باشد و کمبود تعداد قرائت فاز برشی شکست مرزی Sn نیز به همین دلیل می باشد. اما در عوض در ایستگاه های لرزه نگاری باند پهن کشور کویت به واسطه فاصله مناسب قرار گیری از رومرکز رویدادها، اکثر زلزله های رویداده در منطقه مورد مطالعه فاز Sn را به خوبی نشان می دهند. از مجموع ۱۱۴۷۲ فاز پیکری که در ۱۳ ایستگاه مورد مطالعه قرائت شده. بیشترین فاز تراکمی موج مستقیم Pg مربوط به ایستگاه بندرعباس با ۸۴۱ فاز و بیشترین فاز تراکمی شکست مرزی Pn در ایستگاه قیر با ۹۵۳ فاز است. فازهای برشی موج مستقیم پوسته و شکست مرزی Sn, Sg به واسطه موقعیت ایستگاه های لرزه نگاری باند پهن کشور کویت نسبت به مکان رومرکز زلزله های ثبت شده در منطقه مورد مطالعه به ترتیب بیشترین قرائت را در ایستگاه های الردیفه و النعیم با ۲۳۷ فاز Sg و ۱۸۹ فاز Sn داشته اند. از بررسی داده های ثبت شده در ایستگاه های شبکه لرزه نگاری عراق با توجه به مقدار داده های موجود که مربوط به سالهای ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ می باشند فقط می توان به ۸۶ فاز تراکمی شکست مرزی Pn در ایستگاه موصل و ۸۶ فاز برشی شکست مرزی Sn در ایستگاه بغداد اشاره نمود که دقت قابل قبولی را در نتایج حاصل از محاسبات سرعت فازهای لرزه ای فوق ارائه می نمایند (شکل ۱۸). با توجه به کیفیت نامناسب سیگنال های لرزه ای ثبت شده در ایستگاه لرزه نگاری بغداد، امکان محاسبه مقدار عمق مرز ناپیوستگی موهو در زیر این ایستگاه میسر نگردید. برای سایر ایستگاه-های لرزه نگاری مورد استفاده این مقدار با دقت ± 4 کیلومتر محاسبه گردید. جدول (۲، ۳، ۴).

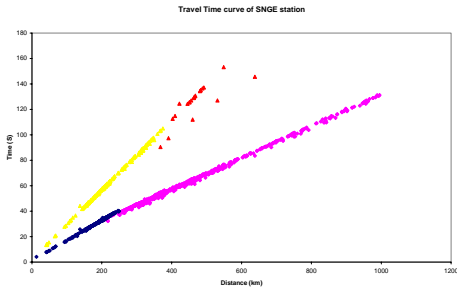
مطالعات انجام شده قبلی در این منطقه در مقایسه با مطالعه حاضر دارای چنین گستردگی وسیعی نبوده است و بیشتر محدود به دو منطقه زاگرس در ایران و بخشهای

سالهای اخیر و عدم دسترسی مناسب به داده های لرزه ای از شبکه کشور عراق، مقدار داده های موجود مربوط به سالهای ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ می باشد که فقط توسط دو ایستگاه در حال کار این شبکه جمع آوری گردیده است. ایستگاه اول، ایستگاه بغداد به مختصات $33/3$ درجه عرض شمالی و $44/38$ درجه طول شرقی به ارتفاع ۵۶ متر از سطح دریا می باشد که در این ایستگاه تعداد ۲۲۸ فاز لرزه ای قرائت شده است که بیشترین فاز مربوط به فاز تراکمی شکست مرزی Pn می باشد (شکل ۱۸). منحنی مقادیر زمان رسید بر حسب فاصله رو مرکز زمین لرزه های ثبت شده در ایستگاه بغداد در شکل (۱۶) و نتایج محاسبات سرعت فازهای لرزه ای و مقدار عمق مرز ناپیوستگی موهو در جدول (۴) ارائه گردیده است. ایستگاه بعدی، ایستگاه موصل به مختصات $36/30$ درجه عرض شمالی و $43/09$ درجه طول شرقی به ارتفاع ۲۴۲ متر از سطح دریا می باشد که در این ایستگاه تعداد ۲۷۱ فاز لرزه ای ثبت گردیده است که بیشترین فاز مربوط به فاز تراکمی شکست مرزی Pn است اما فازهای برشی پوسته ای Sg و Sn که در این ایستگاه قرائت شده اند نیز از دقت مناسبی برخوردار می باشند (شکل ۱۸). منحنی زمان رسید بر حسب فاصله رو مرکز زمین لرزه های ثبت شده در ایستگاه موصل در شکل (۱۷) و نتایج حاصل از محاسبات سرعت فازهای لرزه ای و مقدار عمق مرز ناپیوستگی موهو در جدول (۴) ارائه گردیده است.

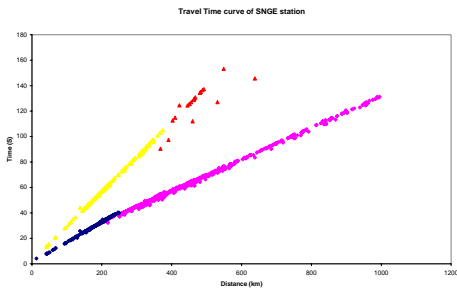
بحث و بررسی

ایستگاه های لرزه نگاری باند پهن که در پژوهش حاضر از داده های آنها استفاده شده است بگونه ای انتخاب گردیده اند که در منطقه مورد مطالعه پوشش مناسبی را داشته باشند تا بتوان رویدادهای لرزه ای منطقه را به خوبی ثبت نمود. تعداد مناسب این ایستگاه ها این امکان را در دسترس گذاشته است تا بتوان فازهای لرزه ای زمین لرزه های روی داده در منطقه را به خوبی قرائت نمود. البته ناگفته نماند که وضعیت قرائت فازهای مختلف در ایستگاه ها متفاوت است چرا که ایستگاه

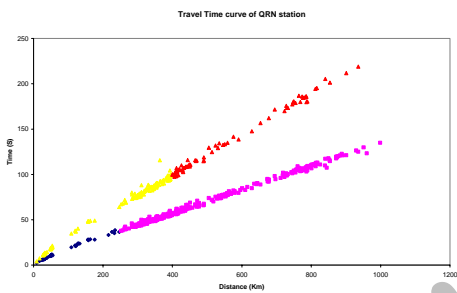
شمال شرقی عربستان سعودی به صورت مجزا بوده است. یکی از موارد بارز مطالعه حاضر بررسی مناطق وسیع ایران-عراق و کویت به صورت همزمان می باشد. در سالهای گذشته به جهت بررسی هایی که برای کشف منابع هیدروکربوری در مناطق مختلف صفحه عربی انجام شده است مدل های سرعتی اولیه به دست آمده است (رابرت و جیمز، ۲۰۰۸). همچنین نتایج حاصل از داده های گراویتی نیز عمق به دست آمده برای مرز ناپیوستگی موهو از روش مطالعاتی حاضر را تأیید می نماید که این خود نمونه بارزی برای تأیید درستی نتایج حاصل از بررسی ما می باشد (شکل ۱۹).



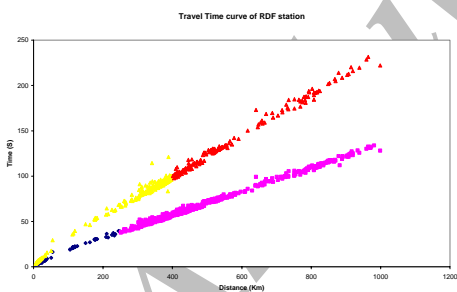
شکل (۸): منحنی زمان سیر فازهای حجمی در ایستگاه سنجد



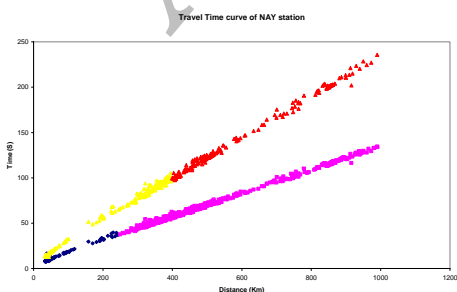
شکل (۹): منحنی زمان سیر فازهای حجمی در ایستگاه الکبد



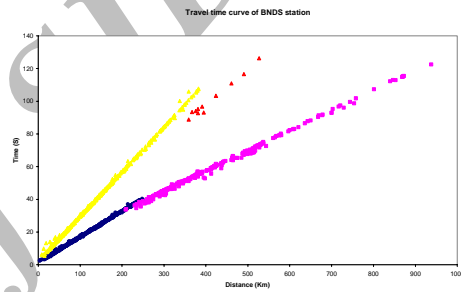
شکل (۱۰): منحنی زمان سیر فازهای حجمی در ایستگاه القرین



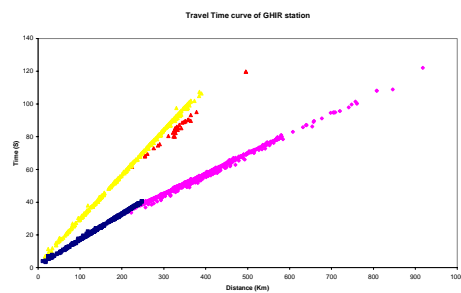
شکل (۱۱): منحنی زمان سیر فازهای حجمی در ایستگاه الردیفه



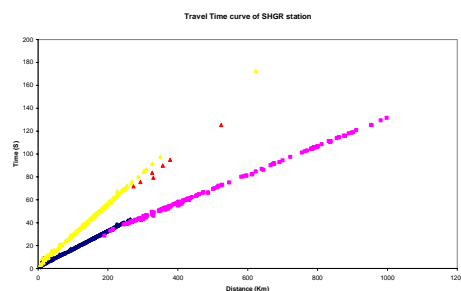
شکل (۱۲): منحنی زمان سیر فازهای حجمی در ایستگاه النعیم



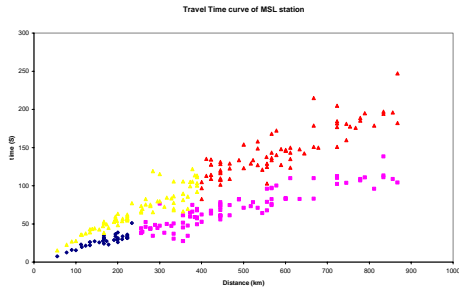
شکل (۵): منحنی زمان سیر فازهای حجمی در ایستگاه بندر عباس



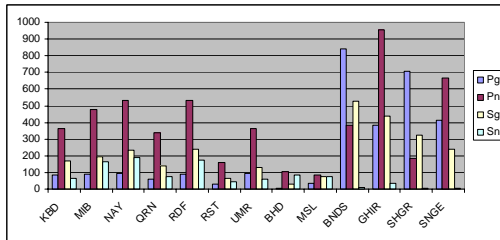
شکل (۶): منحنی زمان سیر فازهای حجمی در ایستگاه قیر



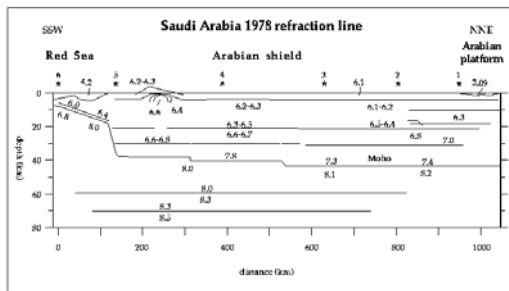
شکل (۷): منحنی زمان سیر فازهای حجمی در ایستگاه شوشتر



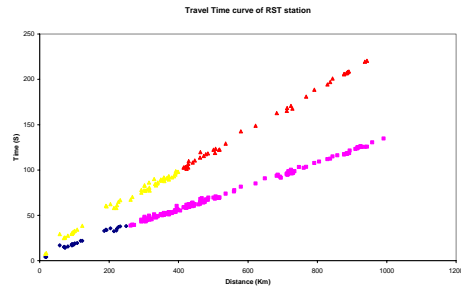
شکل (۱۷): منحنی زمان سیر فازهای حجمی در ایستگاه موصل



شکل (۱۸): آمار فازهای لرزه ای زمین لرزه های ثبت شده در ایستگاههای لرزه نگاری باندپهن ایران، عراق و کویت.

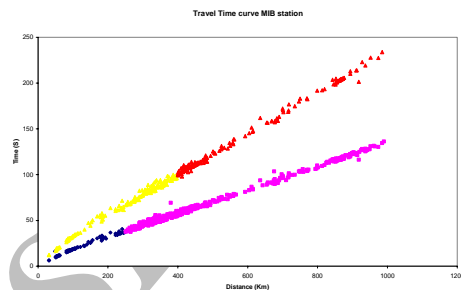


شکل (۱۹): مدل سرعتی پوسته عربستان (سازمان زمین شناسی عربستان سعودی)

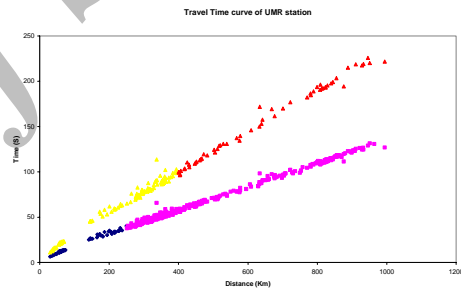


شکل (۱۳): منحنی زمان سیر فازهای حجمی در ایستگاه عمر رو

ویست

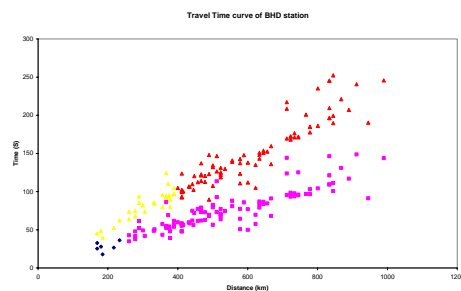


شکل (۱۴): منحنی زمان سیر فازهای حجمی در ایستگاه مطربه



شکل (۱۵): منحنی زمان سیر فازهای حجمی در ایستگاه عمر

ریمام



شکل (۱۶): منحنی زمان سیر فازهای حجمی در ایستگاه بغداد

جدول (۲): سرعت انتشار امواج لرزه ای و عمق مرز ناپیوستگی موهو در شبکه لرزه نگاری باند پهن ایران

Network	INSN(Iranian national seismic network)			
Station name	Bandar Abbas	Ghir	Shoshtar	Sanandaj
Station code	BNDS	GHIR	SHGR	SNGE
V_{Pg} (km/s)	6.34	6.36	6.39	6.33
V_{Pn} (km/s)	8.13	8.09	8.04	8.07
V_{Sg} (km/s)	3.66	3.67	3.68	3.67
V_{Sn} (km/s)	4.69	4.65	4.60	4.52
Depth (km)	40	40	38	38

جدول(۳): سرعت انتشار امواج لرزه ای و عمق ناپیوستگی موهو در شبکه های ملی باند پهن کویت

Network	KNSN(Kuwait national seismic network)						
	Alkabd	Al-qurayn	Ar Redifah	An Na'ayim	Ummar Ruwaysat	Mutribah	Ummar Rimam
Station name	KBD	QRN	RDF	NAY	RST	MIB	UMR
Station code	KBD	QRN	RDF	NAY	RST	MIB	UMR
V_{Pg} (km/s)	6.54	6.66	6.43	6.72	6.92	6.58	6.63
V_{Pn} (km/s)	7.69	7.69	7.73	7.75	7.76	7.74	7.74
V_{Sg} (km/s)	4.14	4.26	4.12	4.24	4.47	4.38	4.21
V_{Sn} (km/s)	4.44	4.42	4.42	4.45	4.48	4.50	4.47
Depth(km)	34	34	32	38	38	36	38

جدول(۴): سرعت انتشار امواج لرزه ای و عمق ناپیوستگی موهو در شبکه های باند پهن عراق

Network	ISN(Iraq seismic network)	
	Baghdad	Mousel
Station name	BHD	MSL
Station code	BHD	MSL
V_{Pg} (km/s)	6.23	6.12
V_{Pn} (km/s)	8.02	7.69
V_{Sg} (km/s)	3.39	3.99
V_{Sn} (km/s)	4.22	4.85
Depth (km)	-----	40

نتیجه گیری

مطالعه و چگونگی توزیع کانونی زمین لرزه ها بیانگر آن است که مقادیر حاصل از محاسبات برای سرعت انتشار امواج تراکمی Pn و برشی Sn در مرز مشترک پوسته و جبه بالایی (ناپیوستگی موهو) تا شعاع ۴۰۰ کیلومتری اطراف هر ایستگاه معتبر می باشد بنابراین مقادیر متوسط ارائه شده بخوبی گستره منطقه مورد مطالعه در زاگرس و شرق شبه جزیره عربستان را پوشش می دهد. کما اینکه مقادیر حاصله در مقایسه با مطالعات قبلی انجام شده به صورت مجزا برای دو منطقه زاگرس و شمال شرق عربستان سعودی همخوانی خوبی دارد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از مدیران شبکه های لرزه نگاری باند پهن ایران، عراق و کویت به خاطر در اختیار قرار دادن داده های مورد نیاز و از سازمان زمین شناسی عربستان سعودی به خاطر در اختیار قراردادن مطالب زمین شناسی مورد نیاز این پژوهش و همچنین همکاران پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله سپاسگزاری می نمایند.

از زلزله های مورد بررسی در مطالعه حاضر که از ژانویه سال ۲۰۰۰ میلادی تا ژانویه سال ۲۰۰۸ میلادی در ۱۳ ایستگاه لرزه نگاری باند پهن مستقر در سه کشور ایران، عراق و کویت ثبت شده اند، زمان رسید تعداد ۱۱۴۷۲ فاز پیکری قرائت گردید و سپس منحنی های زمان سیر و سرعت انتشار امواج پیکری در ایستگاههای لرزه نگاری مورد مطالعه به روش تک ایستگاهی (آسوده، ۱۹۸۲) محاسبه گردید. در روش تک ایستگاهی معمولاً منحنی- های زمان سیر فازهای لرزه ای Pg , Pn , Sg و Sn قرائت شده در هر ایستگاه ترسیم شده و با محاسبه میزان عکس شیب منحنی های فوق، مقدار سرعت انتشار فازهای لرزه ای به دست می آید. پس از محاسبات انجام شده متوسط سرعت موج تراکمی و برشی در پوسته در منطقه مورد مطالعه به ترتیب برابر $V_{pg}=6.39$ (km/s) و $V_{sg}=3.87$ (km/s) به دست آمده است. متوسط سرعت امواج تراکمی و برشی در مرز مشترک پوسته و جبه بالایی (ناپیوستگی موهو) در منطقه به ترتیب برابر $V_{pn}=7.89$ (km/s) و $V_{sn}=4.53$ (km/s) حاصل گردیده است. استفاده از روش تک ایستگاهی برای انجام این

منابع

- Kazmin, V. G. et al., 1986 Structure and Evolution of the passive Margine of the Eastern Tethys Teconophysis, 123pp. 153-179.
- Lippard, S.J., Seewing, J.D., Rothery, D. a. and Browning, P. 1982 The Geology of The Dibba zone. Northern Oman mountains: a Preliminary Study. Geol. Soc. London. 139, 59-66.
- Perinek, D., Saner, S. and A-Hinal, K.G., 2006 Rejuvenation of the pre-cambrian najd fault system and its importance the oil province of Saudi Arabia: Mineral Res. Exp., Bull., 132, 73-82.
- Robert, F.M. and James, N. B, 2008 Middle-East geology why the middle east fields may produce oil forever: McNeese state university (US)
- آقائباتی، س.ع، ۱۳۸۳ زمین شناسی ایران: سازمان زمین شناسی واکتشاف معدنی.
- اسفندیاری، ب. برزگر، ف. ۱۳۵۸ بررسی گنبد‌های نمکی جنوب ایران بر مبنای تفسیر ماهواره لندست: مجله دانشکده علوم. دانشگاه تهران- جلد یازدهم. شماره اول و دوم، ص ۵۱-۶۹.
- Agor, A. R., 1984 The najd fault system revisited: W.G.M. Ltd.
- Aki, K. and Richards, P. G., 2002 Quantitive seismology: university science books.
- Ambraseys, N.N. and Melville, C.P., 1982 A history of Persian Earthquakes: Cambridge university Press.
- Asudeh, I., 1982 Pn Velocities beneath Iran: J. Earth and planetary science letter 61 136-142.
- Berberian, M. 1976 Contribution to the seismotectonic of Iran (part II): Geological Survey of Iran, Rep. No. 39, 518p.

Archive of SID