توموگرافی زلزله‌های محلی در شمال‌غرب ایران

فرزام فیض آقایی
دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، زنجان، ایران
farzam.feiz@yahoo.com

سید خلیل متقی
استادیار دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، زنجان، ایران
kmotaghi@iasbs.ac.ir

محمد تاتار
دانشیار پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران
mtatar@iiees.ac.ir

علی مرادی
دانشیار پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران
asmoradi@ut.ac.ir

کلید واژه‌ها: *ساختار سرعتی، توموگرافی محلی،گسل شمال تبریز، Simulps14*

چکیده

در این مطالعه با استفاده از زمان رسید امواج حجمی فشارشی ثبت شده از زمین‌لرزه‌های محلی، ساختار سرعتی پوسته درشمال‌غرب ایران را به صورت دوبعدی تعیین کردیم. برای این منظور از چندین مجموعه از داده‌ها که شامل ایستگاههای دائمی شبکه تبریز وابسته به مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران (۱۹۹۶ تا ۲۰۱۳ میلادی)، ایستگاه‌های موقت نصب شده توسط پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله (آوریل تا جولای ۲۰۰۴ میلادی) و همچنین ایستگاه‌های موقت نصب شده توسط دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان (۲۰۰۹ تا ۲۰۱۱ میلادی) استفاده کردیم. در این کار برای وارون سازی غیر خطی از برنامه Simulps14 بهره جسته‌ایم. نتایج این پژوهش، آنومالی‌های کم سرعت و پر سرعتی را به صورت جانبی در اطراف گسل شمال تبریز نشان می‌دهد و علاوه بر آن یک آنومالی کم سرعت در غرب دریای خزر به خوبی نشان می‌دهد.

مقدمه

منطقه مورد مطالعه، منطقه شمال‌غرب ایران است که از چندین ایالات زمین ساختی تشکیل شده است و بخشی از مرز برخوردی صفحات اوراسیا و عربی را شامل می‌شود و گسل‌های فعالی چون گسل تبریز را در خود جای داده است. این منطقه به لحاظ لرزه‌خیزی بسیار مستعد است. علاوه بر آن، این منطقه قسمت مهمی از کمربند آتشفشانی ایران را شامل می‌شود که شامل چین‌خوردگی‌ها و آتشفشان‌های فعال است که از جمله آن‌ها کوه‌های آتشفشانی سهند و سبلان را می‌توان اشاره نمود. چشمه‌های آب گرم در منطقه و به دنبال آن منابع ماگمایی در نزدیکی سطح زمین نشان می‌دهد که این منطقه به لحاظ زمین‌شناسی نیز بسیار فعال است و این در حالی است که مطالعات بسیار کمی روی این منطقه صورت گرفته و اطلاعات بسیار کمی از ساختارهای درونی زمین در این منطقه وجود دارد. از این جهت لازم است که یک مطالعه دقیق بویژه روی ساختار سرعتی آن صورت بگیرد تا به درک بهتری از ساختارهای زمین‌شناسی این منطقه برسیم. مطالعه روی ساختار سرعنی از این جهت حائز اهمیت است که در توموگرافی سرعت برای زمین‌لرزه‌های محلی تصویری مطلوب از ساختارهای زمین شناسی در پوسته‌ی فوقانی منطقه بدست

می‌آید. در توموگرافی زلزله‌های محلی علاوه بر تعیین ساختار سرعت، توزیع دقیق رویدادهای لرزه‌ای نیز به طور همزمان بدست می‌آید. در واقع، به دست آوردن تغییرات جانبی و عمقی سرعت و توزیع دقیق لرزه‌خیزی با هم برای درک فرآیندهای زمین‌شناسی کمک شایانی می‌کند. از این رو توموگرافی زلزله‌های محلی تکنیک قدرتمندی برای بدست آوردن دیدگاه‌های جدید در فرایند تکتونیکی پوسته است (جدی، ۱۳۸۹).

روش کار

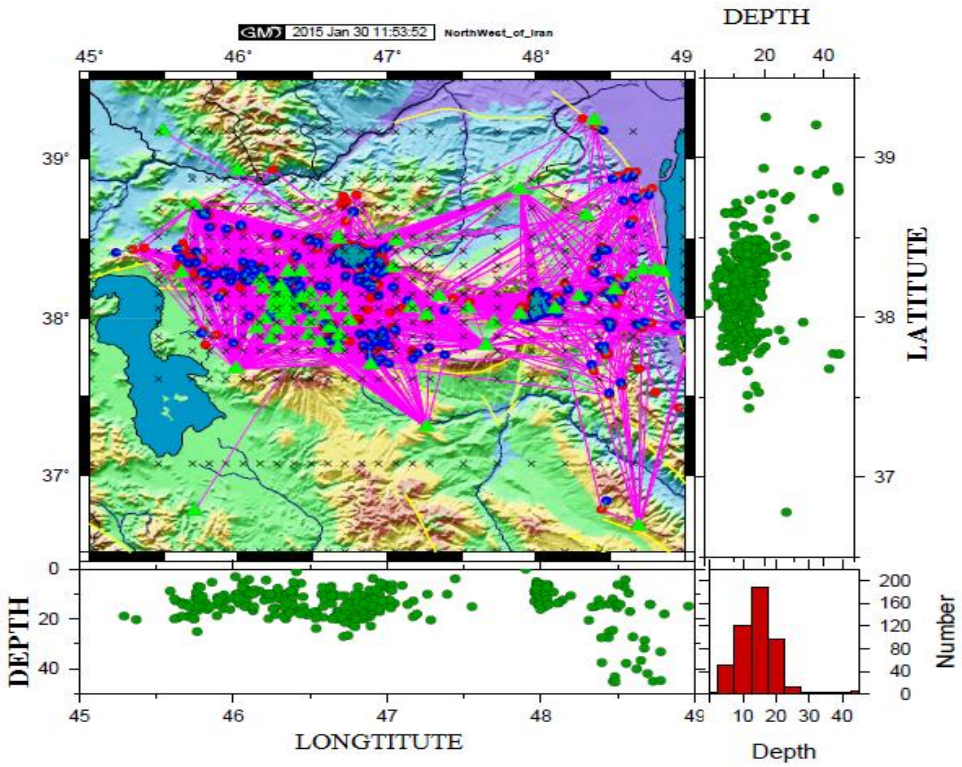
در این مطالعه برای بررسی ساختار سرعتی پوسته فوقانی از توموگرافی زمان‌سیر فاز P و S استفاده شده که شامل ۳۱۷۲ فاز P و ۱۸۲۴ فاز S است. زمان سیر فاز S به صورت مستقیم استفاده نشده است بلکه از تفاضل زمان سیر فاز S و فاز P استفاده کرده‌ایم. برای این منظور از چندین مجموعه از داده‌ها که شامل ایستگاههای دائمی شبکه تبریز وابسته به مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران (۱۹۹۶ تا ۲۰۱۳ میلادی)، ایستگاههای موقت نصب شده توسط پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله (آوریل تا جولای ۲۰۰۴ میلادی) و همچنین ایستگاههای موقت نصب شده توسط دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان(۲۰۰۹ تا ۲۰۱۱ میلادی) استفاده کردیم. مجموعه این بانک اطلاعاتی بالغ بر ۲۰۰۰۰ زمین لرزه را شامل می‌شد که در این تحقیق فقط ۴۷۸ زلزله را انتخاب کردیم که در مجموع توسط ۷۲ ایستگاه ثبت شده‌اند و دارای ویژگی‌های زیر هستند:

۱- گپ آزیموتی زیر ۱۸۰ درجه
۲- حد اقل توسط ۴ ایستگاه ثبت شدند
۳- دارای خطای رومرکزی کمتر از ۳ کیلومتر
۴- دارای خطای عمقی کمتر از ۵ کیلومتر
۵- دارای حداقل ۵ قرائت فاز
۶- rms کمتر از نیم ثانیه

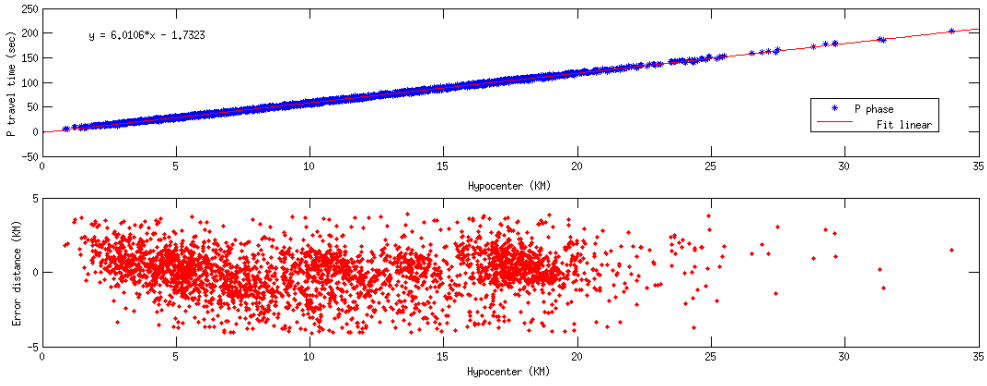
از ویژگی‌های این زلزله‌ها، مکان یابی خوب، توزیع مناسب و پوشش پرتویی خوب است (شکل ۱). علاوه بر این‌ها با روش‌های دیگری مثل ترسیم زمان سیر فاز P بر حسب Hypocenter داده‌های پرت را حذف کرده (شکل ۲) و در نهایت مجموعه‌ای از داده‌های با کیفیت را به عنوان ورودی برای معکوس سازی آماده کردیم. انجام معکوس سازی با استفاده از برنامه SIMULPS14 صورت گرفته و برای اجرای آن یک گرید در عمق ۵ کیلومتری قرار دادیم که فاصله بین گریدها حداقل ۱۰ و حداکثر ۲۰ کیلومتر است (شکل ۱).

نتایج

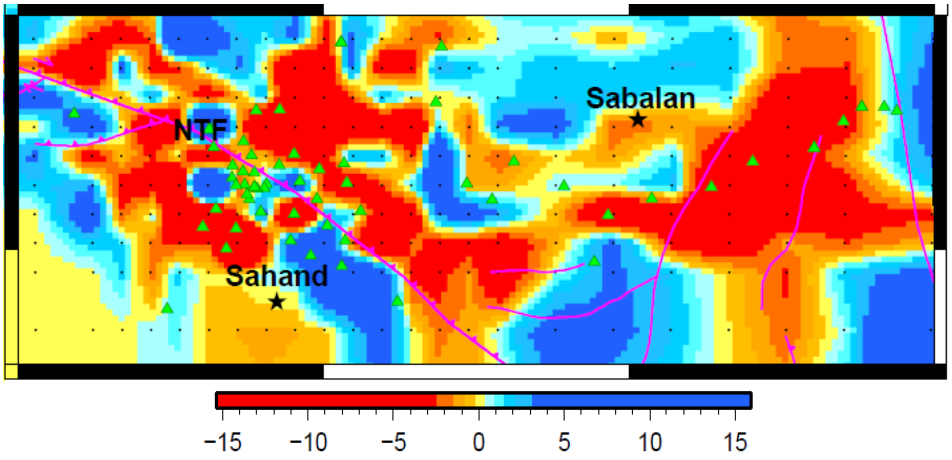
شکل ۳ نتیجه حاصل از توموگرافی دو بعدی سرعت دوبعدی در منطقه شمال‌غرب ایران را نشان می‌دهد. یک تباین سرعتی آشکار در اطراف گسل شمال تبریز مشاهده می‌شود که می‌تواند ناشی از تفاوت ساختار زمین در اطراف این گسل باشد. یک آنومالی کم سرعت در غرب دریای خزر مشاهده می‌شود که به واسطه عمیق بودن زلزله‌ها در این قسمت (رجوع کنید به شکل ۱) احتمالا مربوط بهساختارهای عمیقتر در این قسمت است. برای اعتبار سنجی این نتیجه از آزمون مدل صفحه شطرنجی استفاده کردیم (شکل ۴). همانطور که مشاهده می‌شود نتیجه حاصل از این تست بسیار خوب است و نشان می‌دهد که توزیع و پوشش پرتویی اینقدر خوب هست که بتوانند آنومالی‌های موجود در منطقه را برگردان کنند. علاوه بر این برای بررسی وضوح و قدرت تفکیک مدل مذکور پارامترهایی نظیرچگالی نسبی پرتو (DWS) (شکل ۵) و عناصر قطری ماتریس تحلیل مدل (RDE) (شکل ۶)را مورد بررسی قرار دادیم. پارامتر DWS چگالی نسبی پرتو را در فضای تحت تاثیر اطراف هر گره شبکه محاسبه می‌کند که در محاسبه آن علاوه بر تعداد پرتو عبوری از هر بلوک، طول پرتو عبوری از حومهٔ گره بندی شبکه در نظر گرفته می‌شود. در واقع مقادیر بالای DWS در ارتباط با چگالی بالای پرتو استو همانطور که از شکل ۵ دریافت می‌شود چگالی نسبی پرتوهای عبوری بویژه در اطرا ف گسل تبریز خیلی خوب است. پارامتر بعدی RDE است که به عنوان ابزاری جهت بررسی میزان اعتماد پذیری نتایج مورد استفاده قرار می‌گیرد. هر چه این مقدار به یک نزدیک‌تر باسد وضوح بالاتری را برای مدل نشان می‌دهد، اگر چه این مقدار هرگز به یک نمی‌رسد ولی معمولا مقادیر بالای ۰/۵ را به عنوان مقدار قابل قبول در مطالعات توموگرافی در نظر می‌گیرند و همانطور که از شکل (۶) بر می آید مدل بدست آمده از این حیث هم وضعیت مطلوبی دارد.



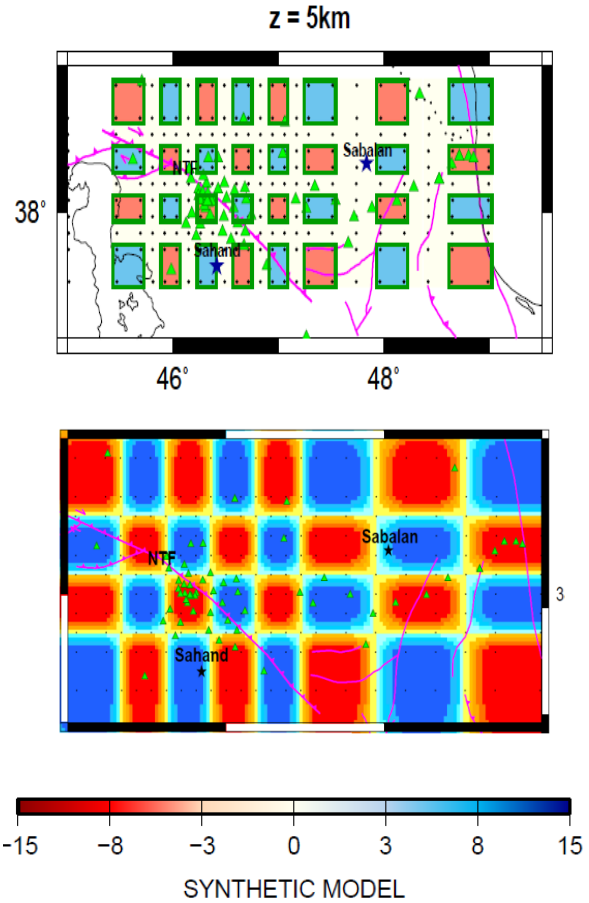
شکل۱: منطقه مطالعه به همراه پوشش رومرکزی پرتوها که در آن مثلث‌های سبز ایستگاه‌های مورد استفاده، دایره‌های قرمز مکان اولیه زلزله‌ها، دایره‌های آبی مکان جدید زلزله‌ها بعد از وارون سازی، ضربدرها موقعیت گریدها و خطوط زرد رنگ موقعیت گسل‌ها را نشان می‌دهد. دایره‌های سبز رنگ درون کادرها توزیع عمقی زلزله‌ها را قبل از وارون سازی به همراه هیستوگرام آنها نشان می‌دهد.



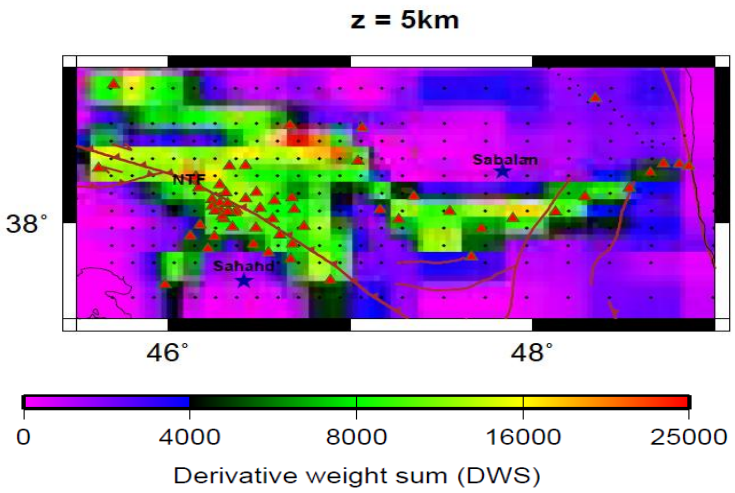
شکل۲: بالا،خط برازش شده به نقاطی که از ترسیم زمان سیر فازهای P بر حسب Hypocenter ایجاد شده‌اند. پایین:پراکندگی فازهای P بر حسب فاصله از خط برازش شده را نشان می‌دهد.



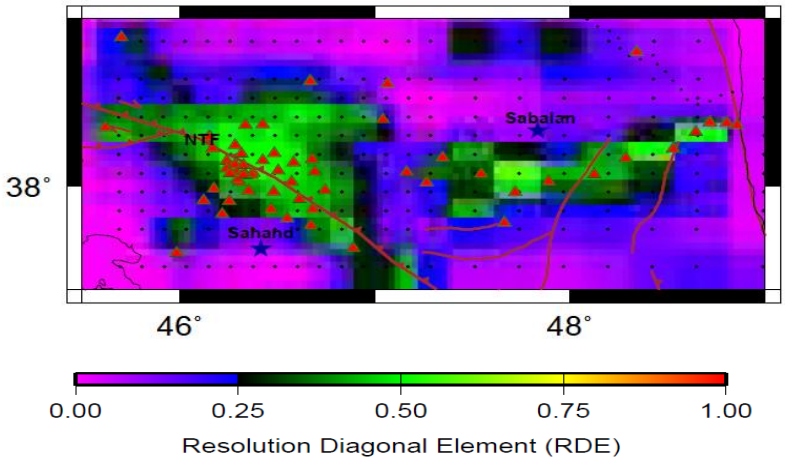
شکل ۳: توموگرام دو بعدی سرعت در عمق ۵ کیلومتری از سطح زمین



شکل ۴: سمت راست، مدل مصنوعی صفحه شطرنجی و سمت چپ، برگردان حاصل از مدل صفحه شطرنجی



شکل ۵: چگالی نسبی پرتو که در محدودهٔ گسل شمال تبریز مقدار بالایی دارد.



شکل ۶: المان‌های قطری ماتریس رزولوشن که برای نیمه غربی دریای خزر و همچنین برای محدودهٔ گسل شمال تبریز مقدار قابل قبولی دارد.

نتیجه گیری

در این مطالعه، ساختار دویعدی سرعت پوسته فوقانی در منطقه شمال غرب ایران با استفاده از توموگرافی زمان سیر موج حجمی لرزه‌ای ناشی از زلزله‌های محلی مورد مطالعه قرار گرفت. توموگرام دو بعدی سرعت، آنومالی‌های سرعتی قابل توجهی متاثر از ساختارهای مهم منطقه مانند گسله‌ها و ساختارهای ژئوترمال نشان می‌دهد که با استناد به مدل‌سازی داده‌های مصنوعی و همچنین پارامترهای DWS و RDE از اعتبار لازم برخوردار است.

فهرست مراجع

مصطفی نژاد الف و شمالی ح (۱۳۸۹) توموگرافی امواج زلزله به روش زمان سیر فاز P در مقیاس محلی در ناحیه البرز مرکزی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران مؤسسه ژئوفیزیک

جدی ز و تاتار م (۱۳۸۹) تعیین ساختار سه بعدی پوسته در منطقهٔ بم به روش توموگرافی زمین لرزه های محلی، پایان نامه کارشناسی ارشد، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

Eberhart-Phillips D, Local earthquake tomography; earthquake source region; in Seismic tomography: Theory and Practice, edited by Iyer HM and Hirahara K, 613-643, Chapman&Hall, London

Haslinger F, Kissling E and Hatzfel D et. al. (1999) 3-D structure from local earthquake tomography around the Gulf of Arta (Ionian region, NW Greece); Tectonophysics, 304