



شناسایی ساختارهای تکتونیکی ایران با استفاده از داده‌های گرادیان گرانی ماهواره‌ای

پروین صیادی^۱، سیدهانی متولی عنبران^۲، مصطفی موسی پور یاسوری^۳

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، تهران، parvin.sayadi@ut.ac.ir

^۲دانشیار، گروه فیزیک زمین، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، motavalli@ut.ac.ir

^۳دانشجوی دکتری موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، تهران، mousapour@ut.ac.ir

چکیده

در این پژوهش به بررسی گسل‌ها و ساختارهای تکتونیکی ایران با استفاده از داده‌های گرادیان گرانی ماهواره‌ای پرداخته شده است. داده‌های گرادیان گرانی G_{xx} ، G_{xy} ، G_{xz} ، G_{yy} ، G_{yz} و G_{zz} مورد بررسی قرار گرفته و از G_{xy} و G_{xx} برای تفسیر استفاده شده است. محدوده مورد مطالعه در عرض جغرافیایی ۲۹ تا ۳۵ درجه و طول جغرافیایی ۴۹ تا ۶۰ درجه قرار دارد. به منظور درک بیشتر ماهیت داده گرادیان گرانی مدل مصنوعی شبیه به ساختارهای منطقه مورد مطالعه ساخته شد. نتایج مدل مصنوعی نشان داد که ساختارهای با راستای شمالی-جنوبی قرار دارند در نقشه گرادیان گرانی G_{xx} و G_{xz} خود را نشان می‌دهند و همچنین ساختارهای با راستای شمال غرب-جنوب شرق و شمال شرق-جنوب غرب در نقشه گرادیان گرانی G_{xy} قابل مشاهده هستند. برای شناسایی ساختارها تکتونیکی در داده‌های گرادیان گرانی ماهواره‌ای ابتدا با استفاده از تحلیل چگالی طیف توان طول موجها بررسی سپس با استفاده از فیلتر پروانه‌ای طول موجهای کوچکتر از ۰/۶ از داده‌ها حذف شدند. در نهایت نقشه‌های گرادیان گرانی به کمک اطلاعات زمین‌شناسی تفسیر شد. برای این منظور نقشه زون بندی ساختاری ایران با هر یک از نقشه‌های گرادیان گرانی به صورت یک به یک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله باعث مشخص شدن ناپیوستگی‌ها و گسل‌های کلیدی و اصلی زاگرس، سیستان، درونه، قم زفره، کازرون شد.

واژه‌های کلیدی

گرانی سنجی ماهواره‌ای، تانسور گرادیان گرانی، ساختارهای تکتونیکی ایران، شناسایی گسل.



۱. مقدمه

از داده‌های گرانی ماهواره‌ای به دلیل پوشش جهانی که دارد، برای آشکار سازی اثرات منطقه‌ای استفاده می‌شود. در داده‌های گرانی آنومالی‌ها با دامنه کوچک تحت تاثیر آنومالی با دامنه بزرگ قرار می‌گیرند و پنهان می‌مانند. برای آشکار سازی این آنومالی فیلترهای تعیین لبه مختلفی تعریف شده است. این فیلترها معمولا بر پایه گرادیان‌های گرانی قرار دارند. داده‌ها گرادیان تغییرات اثر گرانی را در جهات مختلف نشان می‌دهند این تغییرات می‌تواند ناشی از ناپیوستگی‌های زمین‌شناسی یا ساختارهای تکتونیکی باشد که در اینصورت مرز ساختارها به شکل خطواره در داده‌ها قابل مشاهده هستند. داده‌های گرادیان گرانی با برداشت مستقیم (ماهواره و هواپرد) و یا تبدیل داده‌های زمینی تولید می‌شوند. داده‌های گرادیان گرانی که با برداشت مستقیم بدست می‌آیند حاوی اطلاعات بیشتری از گرادیانی است که با تبدیل داده زمینی محاسبه می‌شود. در این پژوهش برای شناسایی گسل‌ها و مرز ساختارهای تکتونیکی به داده‌های گرادیان گرانی بسنده شده است چرا که اطلاعات لازم با همین نقشه‌ها بدست آمده است.

۲. روش تحقیق

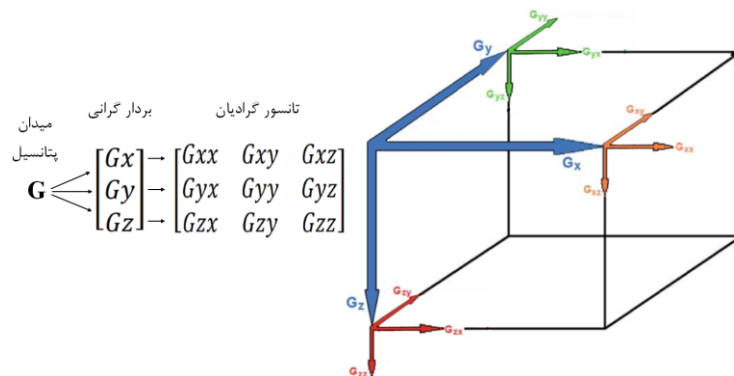
تانسورهای گرادیان گرانی (Gravity Gradient Tensors (GGT)) یک ماتریس مرتبه دوم است که مولفه‌های آن گرادیان دوم پتانسیل گرانشی در سیستم مختصات دکارتی و در جهات x، y و z است؛ و به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$G = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y} & \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z} \\ \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial x} & \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} & \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z} \\ \frac{\partial^2 U}{\partial z \partial x} & \frac{\partial^2 U}{\partial z \partial y} & \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{xx} & G_{xy} & G_{xz} \\ G_{yx} & G_{yy} & G_{yz} \\ G_{zx} & G_{zy} & G_{zz} \end{bmatrix} \quad (1)$$

در این معادله U پتانسیل گرانش است که در خارج از جسم، U در معادله لاپلاس صدق ($\nabla^2 U(r) = 0$) می‌کند. ماتریس G متقارن است و شامل پنج مولفه مستقل $G_{xx}, G_{yy}, G_{zz}, G_{xy}, G_{xz}, G_{yz}$ است. همچنین در تانسور گرادیان گرانی روابط زیر (معادله (۲)) برقرار است.

$$\begin{aligned} G_{xz} &= G_{zx}. \\ G_{yz} &= G_{zy}. \\ G_{xy} &= G_{yz}. \\ G_{xx} + G_{yy} + G_{zz} &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

در شکل ۱ به صورت شماتیک مولفه‌ها بردار گرانی (G_x, G_y, G_z) و تانسور گرادیان گرانی و همچنین روابط بین آن‌ها نشان داده شده است. مولفه تانسور گرادیان را می‌توان مستقیما از داده میدان پتانسیل محاسبه کرد اما در این پژوهش از داده گرادیان گرانی اندازه‌گیری شده توسط ماهواره استفاده می‌شود [4].

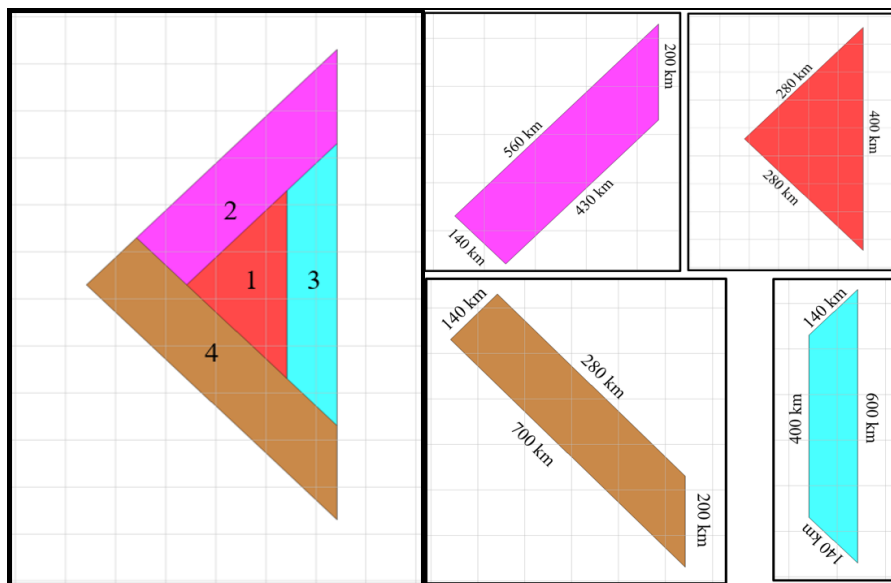


شکل ۱. نمایش بردار گرانی و تانسور گرادیان گرانی و روابط بین آنها.



۳. مدل مصنوعی

مدل مصنوعی با استفاده از نرم افزار مدل ویژن ساخته شده است. مشخصات و ابعاد مدل در شکل ۲ و جدول ۲ آمده است. جدول ۳ مشخصات برداشت داده بر روی مدل مصنوعی را نشان می‌دهد. ابعاد مدل مصنوعی حدوداً در ابعاد ساختار زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه است. تباین چگالی بلوک شماره ۲ و ۳ برابر با ۰/۰۳ (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، تباین چگالی بلوک شماره ۳ و ۴ برابر با ۰/۱۷ (گرم بر سانتی‌متر مکعب) و تباین چگالی بلوک شماره ۲ و ۴ برابر با ۰/۲ (گرم بر سانتی‌متر مکعب) است. تباین چگالی بلوک شماره ۲، ۳ و ۴ با بلوک شماره ۱ به ترتیب صفر، ۰/۰۳ و ۰/۲ (گرم بر سانتی‌متر مکعب) است. بلوک شماره ۲، ۳ و ۴ در عمق مشترک ۲ کیلومتر و بلوک شماره یک در عمق ۴ کیلومتر قرار دارد.



شکل ۲. ابعاد مدل مصنوعی.

جدول ۱. مشخصات مدل.

شماره مدل	عمق بالایی مدل (km)	ضخامت مدل (km)	چگالی (g/cm ³)
۱	۴	۶	۲/۶۷
۲	۲	۸	۲/۶۷
۳	۲	۸	۲/۷
۴	۲	۸	۲/۸۷

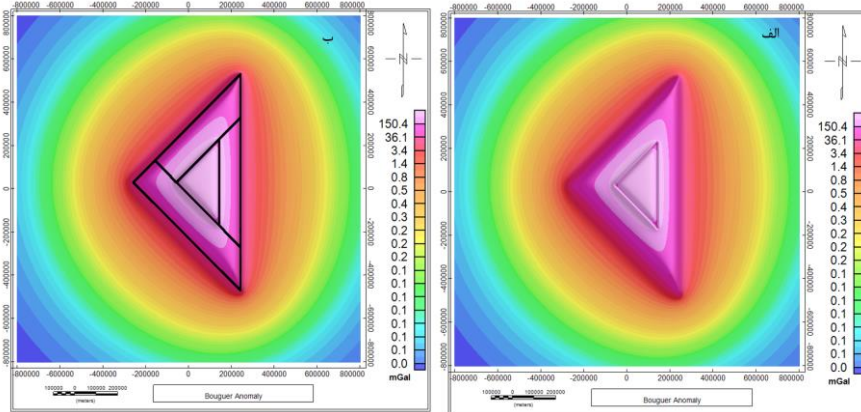
جدول ۲. مشخصات برداشت داده بر روی مدل مصنوعی.

راستای x (km)	راستای y (km)	مختصات
-۸۰۰	-۸۰۰	مختصات ابتدا پروفیل
۸۰۰	۸۰۰	مختصات انتهای پروفیل
۵	۵	فاصله نمونه برداری

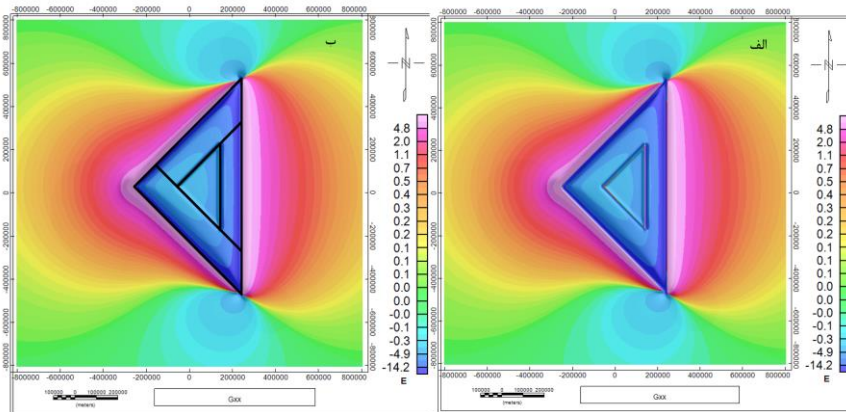
هدف از این مدل‌سازی بررسی گرادیان گرانی بر روی مدل مصنوعی است. در نرم افزار مدل‌ویژن علاوه بر اثر گرانی مدل، می‌توان گرادیان‌های گرانی را نیز محاسبه کرد. در شکل ۳ نقشه بوگه آمده که در آن مرز بلوک شماره یک به وضوح دیده می‌شود. در شکل ۴ تا ۹ به ترتیب نقشه گرادیان Gzz، Gyz، Gyy، Gxz، Gxy، Gxx آمده است. در قسمت الف این شکل‌ها نقشه گرادیان و در قسمت ب



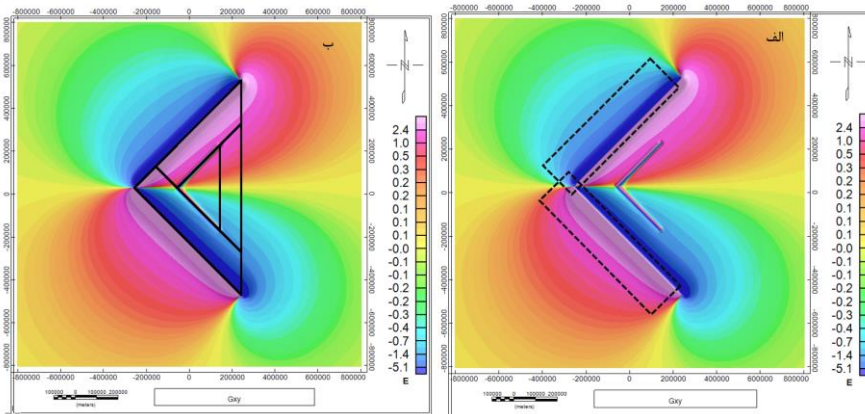
بر روی نقشه گرادیان مرز بلوک‌های مدل مصنوعی مشخص شده است. در گرادیان G_{XX} مرز بلوک شماره یک و در خارج از مرز بلوک ۲، ۳ و ۴ آنومالی مثبت مشاهده می‌شود. در گرادیان G_{XY} از بلوک شماره ۳ که در راستای شمالی-جنوبی قرار دارد اثری مشاهده نمی‌شود. مرز شمال غربی بلوک شماره ۲ و مرز جنوب غربی بلوک شماره ۴ در مرکز آنومالی مثبت و منفی قرار دارند. به نوعی به صورت دوقطبی آشکار شده است. این مرز با خط چین در شکل مشخص شده است.



شکل ۳. الف) نقشه بوگه مدل مصنوعی (ب) مرز آنومالی مشخص شده بر روی نقشه بوگه.



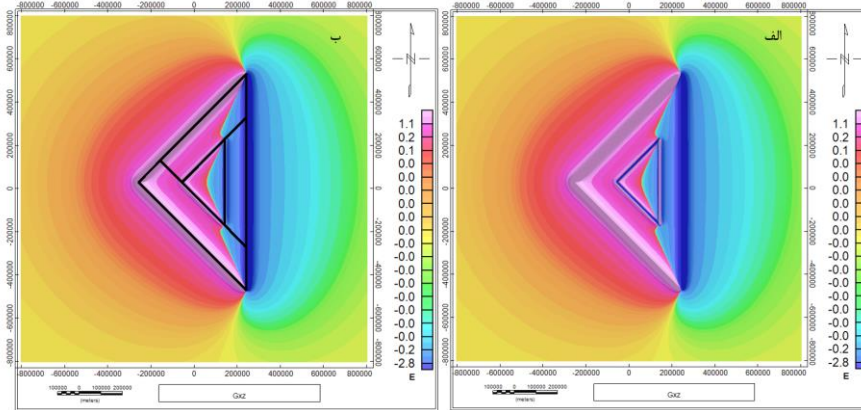
شکل ۴. الف) نقشه G_{XX} مدل مصنوعی (ب) مرز آنومالی مشخص شده بر روی نقشه G_{XX} .



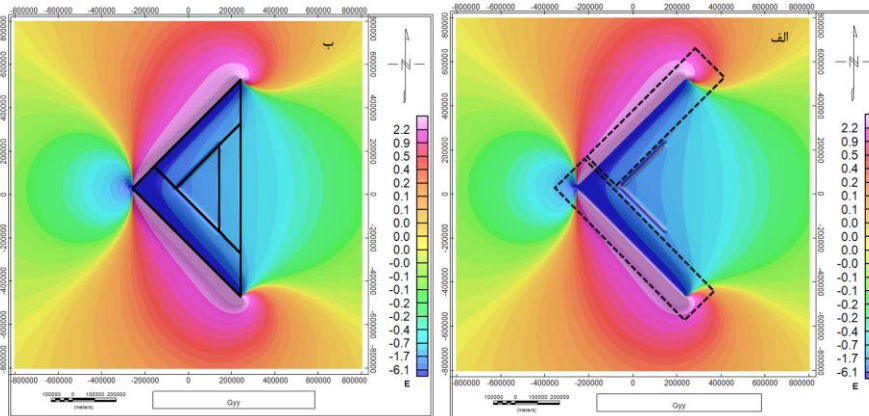
شکل ۵. الف) نقشه G_{XY} مدل مصنوعی (ب) مرز آنومالی مشخص شده بر روی نقشه G_{XY} .



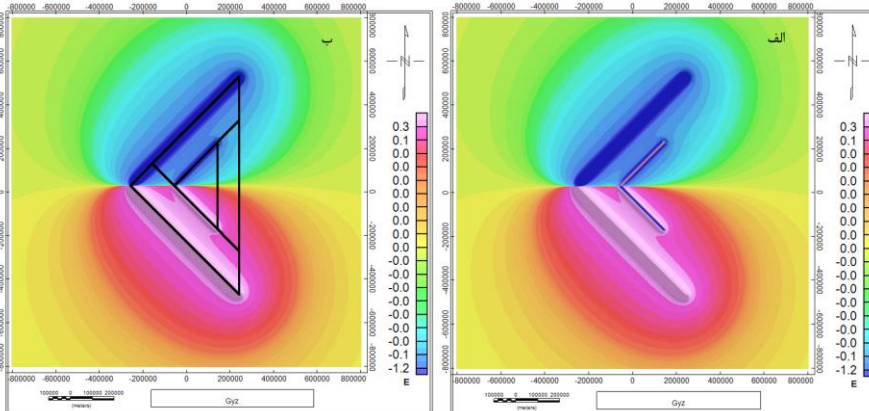
در گرادیان GXZ مرز بلوک شماره ۱ و مرز شرقی بلوک شماره ۲، ۳ و ۴ به صورت آنومالی منفی دیده می‌شود. سایر مرزها با آنومالی مثبت مشخص شده است. در گرادیان Gyy مانند نقشه گرادیان GXy، از بلوک شماره ۳ که در راستای شمالی-جنوبی قرار دارد اثری مشاهده نمی‌شود. مرز شمال غربی بلوک شماره ۲ و مرز جنوب غربی بلوک شماره ۴ در مرکز آنومالی مثبت و منفی قرار دارند این مرز با خط چین در شکل ۶ مشخص شده است.



شکل ۶. الف) نقشه GXZ مدل مصنوعی ب) مرز آنومالی مشخص شده بر روی نقشه GXZ.



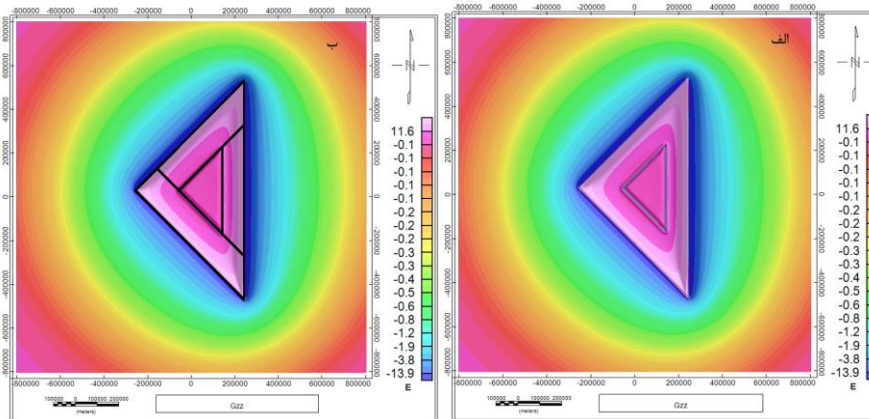
شکل ۷. الف) نقشه Gyy مدل مصنوعی ب) مرز آنومالی مشخص شده بر روی نقشه Gyy.



شکل ۸. الف) نقشه Gyz مدل مصنوعی ب) مرز آنومالی مشخص شده بر روی نقشه Gyz.



در گرادیان Gyz از بلوک شماره ۳ که در راستای شمالی-جنوبی قرار دارد اثری مشاهده نمی‌شود. سایر مرزها به صورت ترکیبی از آنومالی مثبت و منفی مشخص شده است. در گرادیان Gzz مرز بلوک شماره ۱ به صورت آنومالی منفی و مرز بیرونی بلوک شماره ۲، ۳ و ۴ به صورت آنومالی مثبت و منفی مشاهده می‌شود. در هیچ کدام از گرادیان‌ها مرز بین بلوک شماره ۲ و ۴ و مرز بین بلوک ۳ و ۴ که با یکدیگر تباین چگالی دارند مشخص نیست.

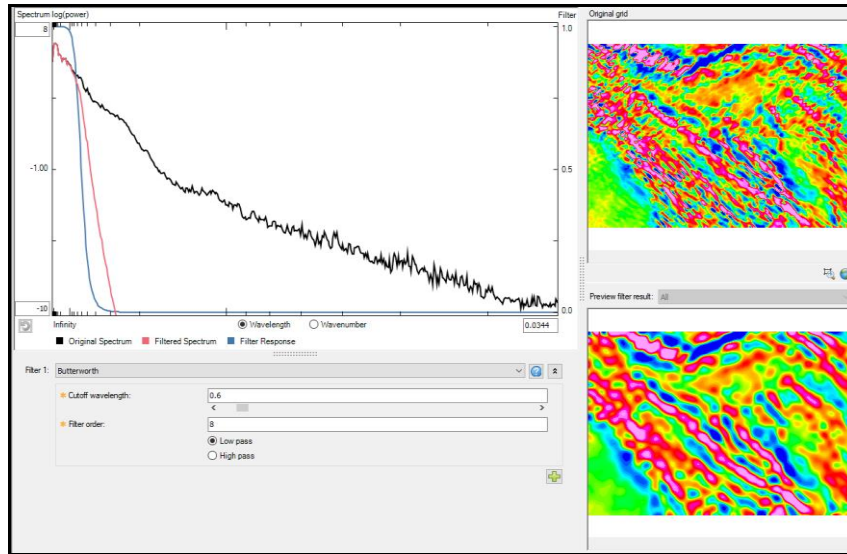
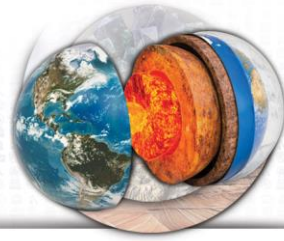


شکل ۹. الف) نقشه GZZ مدل مصنوعی (ب) مرز آنومالی مشخص شده بر روی نقشه GZZ.

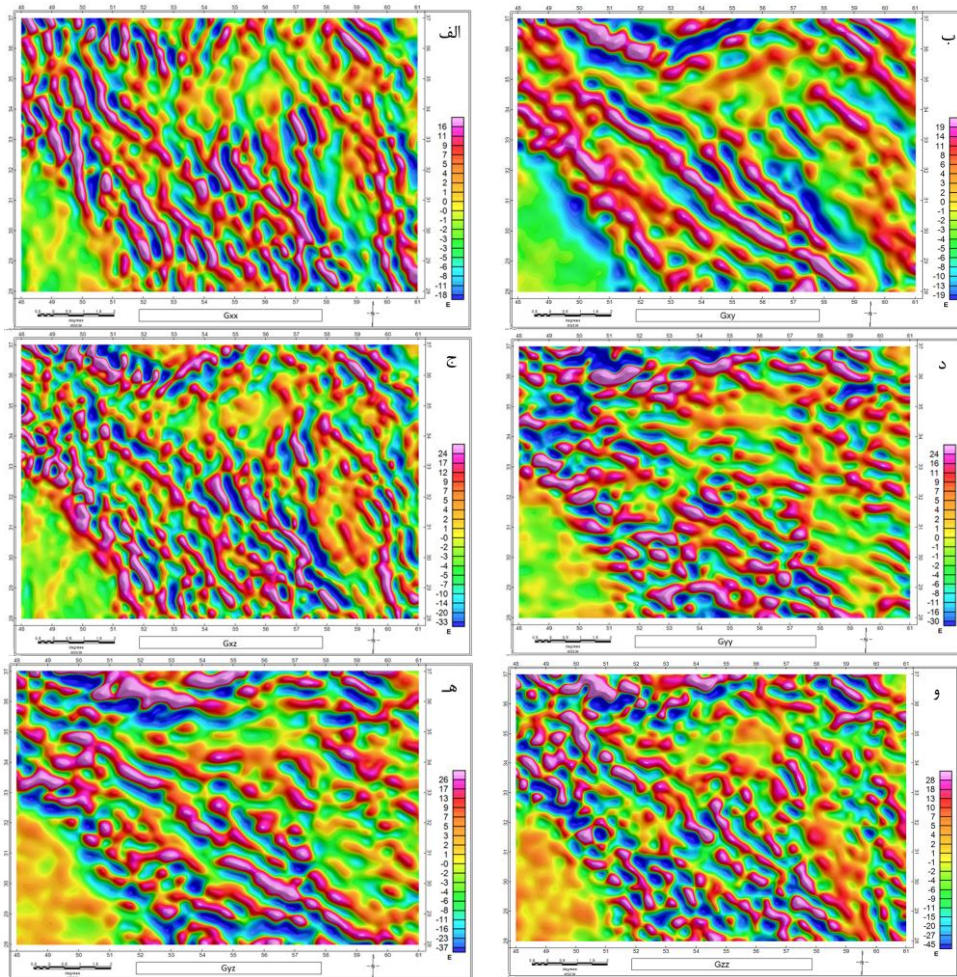
با بررسی مدل مصنوعی مشخص شد که می‌توان از گرادیان‌های گرانی برای تعیین مرز ساختارها استفاده کرد و بعضی از مرزهای ساختاری در گرادیان‌ها به صورت آنومالی منفی دیده می‌شود. گرادیان Gxy مرزساختارهای شمال‌شرق-جنوب‌غرب و شمال‌غرب-جنوب‌شرق را به خوبی نشان می‌دهد اما مرز ساختارهای شمالی-جنوبی را نشان نمی‌دهد. ساختارهای شمالی-جنوبی در گرادیان Gxx مشخص است.

۴. داده واقعی

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش داده‌های گرادیان گرانی ماهواره است. داده‌های گرادیان گرانی Gyz، Gyy، Gxz، Gxy، Gxx و Gzz مورد بررسی قرار گرفته و از Gxx و Gxy برای تفسیر استفاده شده است. داده‌ها عرض جغرافیایی ۴۸ تا ۶۱ درجه و طول جغرافیایی ۲۸ تا ۳۷ درجه را پوشش می‌دهند. به منظور حذف نوفه‌های فرکانس بالا از داده‌ها، از فیلتر پروانه‌ای استفاده شده است. چگالی طیف توان داده گرادیان Gxy به عنوان نمونه در شکل ۱۰ نشان داده شده است. محور افقی این نمودار طول موج است که از بی‌نهایت تا نزدیک صفر است. محور قائم آن چگالی طیف توان بر حسب لگاریتم را نشان می‌دهد. طول موج کوتاه یا فرکانس بالا با استفاده از فیلتر پروانه‌ای با طول موج قطع (cutoff) ۰/۶ فیلتر شده است. در این فیلتر طول موج‌های کوچکتر از ۰/۶ حذف و بزرگتر از آن حفظ شده است. هرچه مقدار طول موج قطع آن بزرگتر باشد طول موج کوتاه بیشتری حذف می‌شود و هر چه مقدار آن به صفر نزدیک شود اطلاعات طول موج کوتاه بیشتر حفظ می‌شود. در اینجا مقدار طول موج قطع با سعی و خطا بدست آمده است. سایر داده‌های گرادیان نیز به همین صورت فیلتر شده و طول موج‌های کوچکتر از ۰/۶ از نقشه‌ها حذف شده است. نقشه داده‌های گرادیان گرانی ماهواره‌ای فیلتر شده در شکل ۱۱ آمده است. در این شکل گرادیان Gxx، Gxy، Gxz، Gyy، Gyz و Gzz به ترتیب در قسمت الف، ب، ج، د، ه، د نشان داده شده است. با توجه به نقشه‌ها گرادیان Gxy و Gxx برای تفسیر مناسب تشخیص داده شد.



شکل ۱۰. چگالی طیف توان گرادیان Gxy، و اعمال فیلتر پروانه‌ای بر روی آن با طول موج قطع ۰/۶.

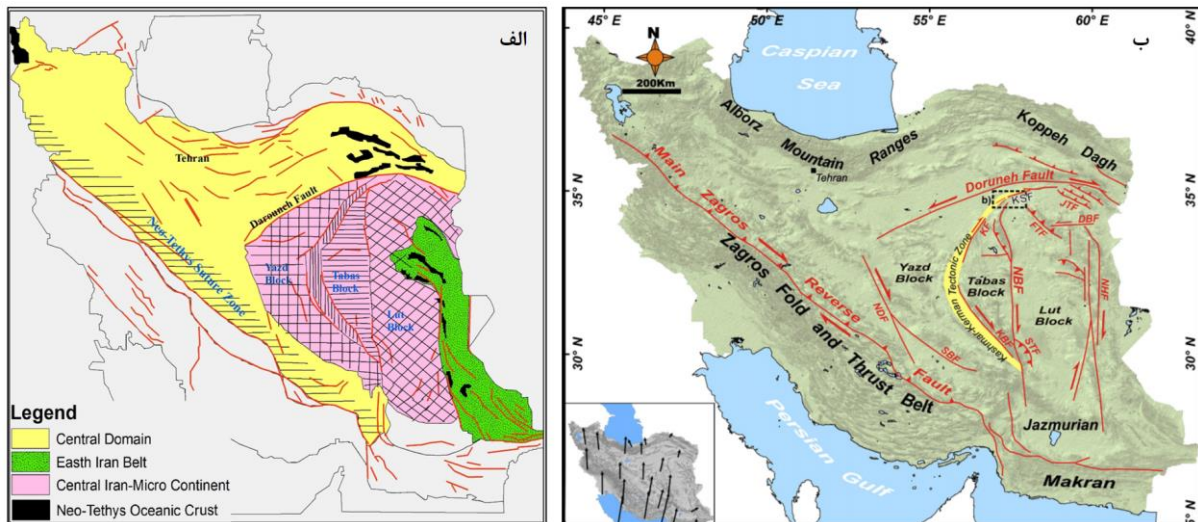


شکل ۱۱. نقشه داده‌های گرادیان گرانی ماهواره‌ای فیلتر شده با طول موج قطع ۰/۶، (الف) Gxx (ب) Gxy (ج) Gxz (د) Gyy (ه) Gyz (و) Gzz.

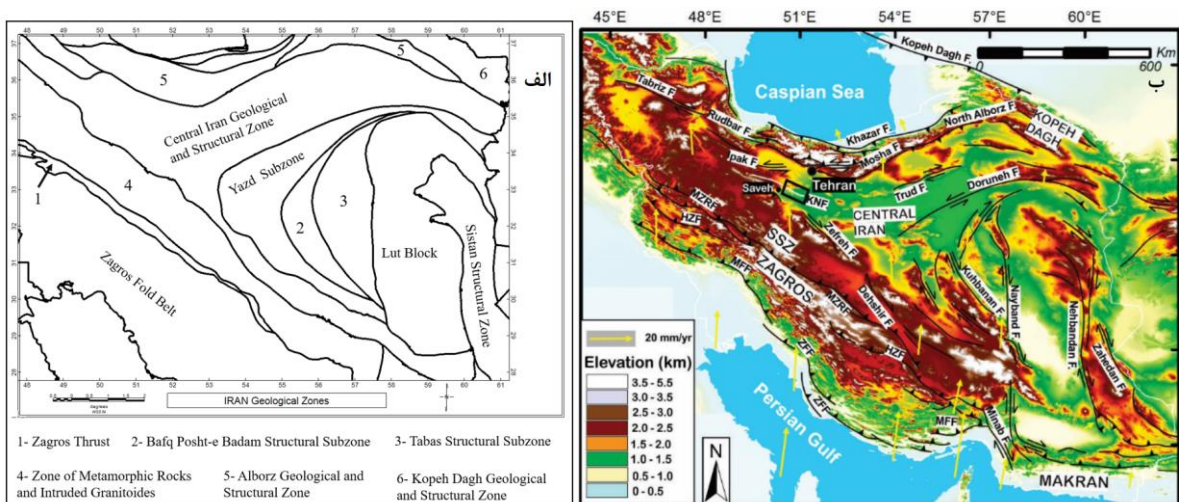


۴.۱. تفسیر نقشه‌های تانسور گرادیان گرانی با استفاده از اطلاعات زمین شناسی

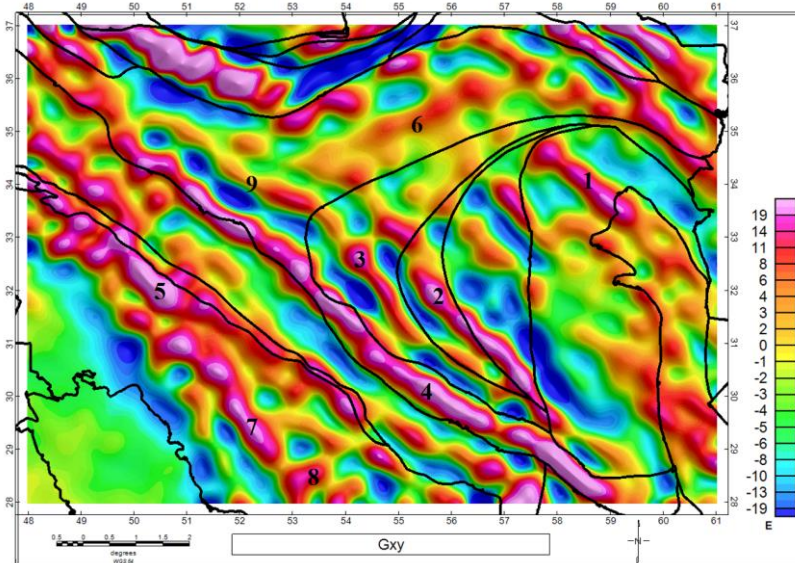
با استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی نقشه گرادیان‌های گرانی تفسیر شده است در قدم اول نقشه تفکیک پهنه‌های ساختاری مورد نیاز تهیه (شکل ۱۲ و ۱۳) و سپس با ترکیب این نقشه‌ها با هر یک از نقشه‌های گرادیان ماهواره‌ای به صورت یک به یک مورد بررسی قرار گرفت. ناپیوستگی‌های شمال‌غرب-جنوب‌شرق و شمال‌شرق-جنوب‌غرب در نقشه GXY و ناپیوستگی‌های شمالی- جنوبی در نقشه گرادیان ماهواره‌ای GXX تفسیر شده است.



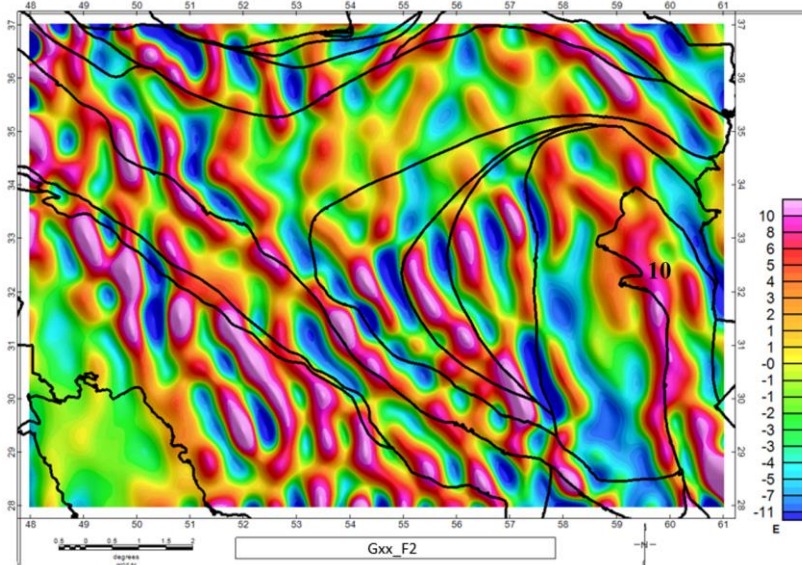
شکل ۱۲. الف) نقشه محدوده خرد قاره ایران مرکزی و زیر پهنه‌های آن (آقائباتی، ۱۳۸۳ [2]، ب) نقشه گسل‌ها



شکل ۱۳. الف) نقشه زون بندی و زیر زون‌های ساختاری ایران، ب) تصویر توپوگرافی به همراه گسل‌های امتداد لغز ایران. گسل‌های اصلی از [2] گرفته شده است. گسل کوشک نصرت، MZRF گسل رانده اصلی زاگرس، MFF گسل پیشانی اصلی زاگرس، HZF گسل زاگرس مرتفع است.



شکل ۱۴. نقشه گرادیان گرانی Gxy ماهواره‌ای فیلتر شده با فرکانس قطع ۰/۶ که به صورت ۱ به ۱ بر روی نقشه زون بندی زمین شناسی ایران قرار گرفته است.



شکل ۱۵. نقشه گرادیان گرانی Gxx ماهواره‌ای فیلتر شده با فرکانس قطع ۰/۶ که به صورت ۱ به ۱ بر روی نقشه زون بندی زمین شناسی ایران قرار گرفته است.

نقشه گرادیان گرانی ماهواره‌ای Gxy و Gxx فیلتر شده با فرکانس قطع ۰/۶ و نقشه ناپیوستگی‌ها و مرز ساختارهای ایران مرکزی (شکل ۱۲ الف) به صورت ۱ به ۱ رو هم قرار گرفتند (شکل ۱۴ و ۱۵). با استفاده از نقشه زمین‌شناسی شکل ۱۲ و ۱۳ و نقشه گسل‌های زاگرس (شکل ۱۶) نوع ناپیوستگی‌های در شکل ۱۴ و ۱۵ مشخص شد. در زیر به شرح این ناپیوستگی‌های ساختاری پرداخته شده است.

ناپیوستگی ۱: گسل رانده فردوس که با نام (FTF: Ferdows Thrust Fault) سازو کار معکوس و با امتداد شمال باختری جنوب خاوری و شیب شمال خاوری در بخشی از بلوک لوت و سیستان قرار دارد (شکل ۱۲ ب) [7].

ناپیوستگی ۲: گسل کوهبنان که با نام (KBF: Kuhbana Fault) با ساختار راستالغز راست‌بر و در امتداد شمال باختر جنوب خاوری در بلوک بافق پشت بادام قرار دارد (شکل ۱۲ ب) [7].



ناپیوستگی ۳: گسل شهربابک که با نام (SBF: Shahre babak Fault) و یا گسل دهشیر با ساختار راستالغز راست‌بر در امتداد شمال باختری جنوب خاوری و شیب نزدیک به قائم دارد و در منطقه و در بلوک یزد قرار دارد. بریده شدن رسوبات کواترنری به وسیله این گسل گویای فعالیت جوان این گسل است (شکل ۱۲ ب) [7].

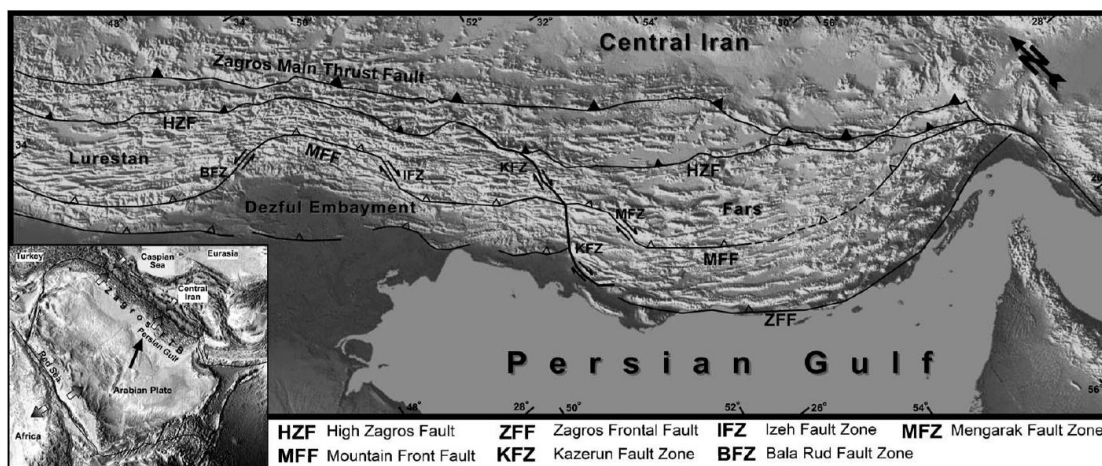
ناپیوستگی ۴: به نظر این ناپیوستگی گسل نباشد و نوار ماگمایی ارومیه دختر باشد که جدا کننده پهنه سنندج سیرجان از ایران مرکزی می‌باشد. این ناپیوستگی در امتداد شمال باختر جنوب خاور قرار دارد. این ناپیوستگی حاصل فعالیت آتشفشانی اسیدی فروانش زاگرس به زیر ایران مرکزی می‌باشد که به صورت غیر فعال در این ناحیه قرار دارد (شکل ۱۲ ب) [7].

ناپیوستگی ۵: گسل رانده اصلی زاگرس که با نام (MZRF: Main Zagros Reverse Fault) که دارای امتداد شمال باختر جنوب خاوری و شیب شمال خاوری و طول ۱۳۵۰ که سازوکار معکوس راست‌بر دارد در منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است. این گسل مرز بین نوار چین خورده رانده زاگرس و پهنه سنندج سیرجان می‌باشد (شکل ۱۲ ب) [7].

ناپیوستگی ۶: گسل دورونه یا گسل کویر (Doruneh Fault) بزرگ حدود ۷۰۰ کیلومتر طول دارد که از ناین، در یک راستای شمال خاوری - جنوب باختری تا ناحیه دورونه در جنوب باختری کاشمر ادامه دارد و از دورونه، با یک روند خاوری - باختری به نظر می‌رسد. جابه جایی گسل دورونه در حدود ۱۰۰ کیلومتر است (شکل ۱۲ ب) [6]. مولفه امتداد لغزی این گسل بسیار شاخص است و احتمالا ناپیوستگی کمی که مشاهده می‌شود به این دلیل باشد (شکل ۱۲ ب) [7].

ناپیوستگی ۷: گسل پیشانی اصلی زاگرس که با نام (MFF: Mountain Front Fault) که در امتداد شمال باختر جنوب خاوری و با سازوکار فشارشی معکوس و امتدادی راستالغز چپ‌بر در منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است (شکل ۱۶) [5].

ناپیوستگی ۸: گسل کازرون که با نام (KZF:Kazerun Fault Zone) و با سازوکار راستالغز راست‌بر در امتداد شمال خاوری جنوب باختری در منطقه قرار گرفته است (شکل ۱۶) [5].



شکل ۱۶. نقشه گسل‌های زاگرس (اسپر و همکاران، ۲۰۰۶) [5].

ناپیوستگی ۹: گسل قم زفره که با نام گسل زفره (Zefreh Fault) نیز شناسایی می‌شود. سازوکار این گسل راستالغز راست‌بر ولی با مؤلفه معکوس است که در راستای شمال باختری جنوب خاوری امتداد دارد. نقشه‌های زمین‌شناسی موجود، گسل زفره را ادامه گسل تبریز نشان می‌دهند که از ۲ کیلومتری باختر شهرستان نطنز گذشته و تا جنوب زفره ادامه می‌یابد ولی تصور می‌شود که تا باتلاق گاوخونی ادامه داشته باشد. این گسل در بخش‌هایی از کویر مرکزی رخنمون ندارد. این گسل راستگرد قائم تا نزدیک به قائم است که به طرف خاور خوابیدگی دارد و در ناحیه نطنز، سنگ‌های کرتاسه را به میزان دو کیلومتر جابه جا کرده است (شکل ۱۳ ب) [7].

ناپیوستگی ۱۰: گسل سیستان یا گسل نهبندان (NHF: Nehbandan Fault) که یک زون گسلی مرکب از یکسری گسله شمالی جنوبی است که در بخش جنوبی و شمالی به دلیل تغییر در جهت راستای شاخه‌های فرعی، گسل روند شمال باختری - جنوب خاوری



می‌یابد. سازوکار اصلی این گسل راستالغز راست‌بر است. گسل نهیندان موجب بریدگی رسوبات کواترنر، پیدایش چشمه‌های گسلی و زمین لغزش‌های متعدد در عهد حاضر شده که نشانگر فعال بودن گسل می‌باشد (شکل ۱۳ ب) [3, 7].

منابع

- [1] آقائاتی، ع.، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- [2] Berberian, M., King, G.C.P., 1981. Toward a paleogeography and tectonic evolution of Iran. Canadian Journal of Earth Science, 18: 210–265.
- [3] Berberian, M., 1976d. The 1962 earthquake and earlier deformation along the Ipak earthquake fault (Iran), Geological Survey of Iran, 39: 419–428.
- [4] Oruç, B.Ü.L.E.N.T. and Keskinsezer, A.Y.H.A.N., 2008. Structural setting of the northeastern Biga Peninsula (Turkey) from tilt derivatives of gravity gradient tensors and magnitude of horizontal gravity components. Pure and applied geophysics, 165, pp.1913-1927.
- [5] Sepehr, M., Cosgrove, J.W., 2006. The Role of the Kazerun fault zones in the formation and deformation of the Zagros fold-thrust belt, Iran. Tectonics 24, TC5005.
- [6] Stocklin, J., 1973 a. Northern Iran: Alborz Mountains, in Spencer, A.M., ed., Mesozoic-Cenozoic orogenic belts; data for orogenic studies; Alpine Himalayan orogens: Geological Society [London] Special Publication 4, p. 213–234.
- [7] Vernant, P., Nilforoushan, F., Chéry, J., Bayer, R., Djamour, Y., Masson, F., Nankali, H., Ritz, J.F., Sedighi, M., Tavakoli, F., 2004b. Deciphering oblique shortening of central Alborz in Iran using geodetic data. Earth and Planetary Science Letters, 223: 177–185.