



دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی

گروه ژئودزی و هیدروگرافی

علی اکبر زرکوب

۸۱۰۳۰۲۰۶۵

ژئودینامیک

گزارش پروژه اول

استاد درس: دکتر سمیع سمیعی اصفهانی

نیمسال اول تحصیلی ۱۴۰۳ - ۱۴۰۲

۱.۱. محاسبه تانسور نرخ کرنش

الف) معادلات و مدل مورد استفاده برای برآورد مولفه‌های تانسور نرخ کرنش

ابتدا شبکه‌ای از نقاط را از طول جغرافیایی ۴۰ تا ۶۴ درجه و عرض جغرافیایی ۲۴ تا ۴۳ درجه ایجاد کرده بگونه‌ای که فاصله نقاط از هم ۰/۵ درجه باشد. حال برای هر یک از نقاط این شبکه تانسور نرخ کرنش محاسبه می‌شود. معادلات برای هر یک از نقاط شبکه به صورت رابطه‌ی ۱.۱ می‌باشد.

$$\begin{cases} \dot{u}_{i,x} = \Delta x_i \dot{\epsilon}_{xx} + \Delta y_i \dot{\epsilon}_{xy} + \Delta y_i \dot{\omega} + \dot{d}_x \\ \dot{u}_{i,y} = \Delta x_i \dot{\epsilon}_{xy} + \Delta y_i \dot{\epsilon}_{yy} - \Delta x_i \dot{\omega} + \dot{d}_y \end{cases} ; i=1,2,\dots,m \quad \text{رابطه‌ی ۱.۱}$$

برای هر نقطه از شبکه‌ی ایجاد شده شش مجهول وجود دارد. در میان این مجهولات، تنها مولفه‌های تانسور نرخ کرنش موردنظر می‌باشند. پارامترهای نرخ دوران و انتقال نیز برآورد می‌شوند، اما خواسته‌ی این پروژه نمی‌باشند.

در رابطه‌ی بالا Δx_i و Δy_i تفاضل مختصات نقطه‌ی مورد نظر از ایستگاه‌های GPS مورد استفاده برای برآورد تانسور نرخ کرنش می‌باشند، که در رابطه‌ی ۲.۱ قابل مشاهده است.

$$\begin{cases} \Delta x_i = x_i - x_A \\ \Delta y_i = y_i - y_A \end{cases} \quad \text{رابطه‌ی ۲.۱}$$

در نتیجه، مدل پارامتریک برای برآورد مجهولات مطابق رابطه‌ی ۳.۱ خواهد بود.

$$\begin{matrix} \begin{bmatrix} u_{1,x} \\ u_{1,y} \\ \vdots \\ u_{m,x} \\ u_{m,y} \end{bmatrix} & = & \begin{bmatrix} \Delta x_1 & 0 & \Delta y_1 & \Delta y_1 & 1 & 0 \\ 0 & \Delta y_1 & \Delta x_1 & -\Delta x_1 & 0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \Delta x_m & 0 & \Delta y_m & \Delta y_m & 1 & 0 \\ 0 & \Delta y_m & \Delta x_m & -\Delta x_m & 0 & 1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} \dot{\epsilon}_{xx} \\ \dot{\epsilon}_{yy} \\ \dot{\epsilon}_{xy} \\ \dot{\omega} \\ \dot{d}_x \\ \dot{d}_y \end{bmatrix} \end{matrix} \quad \text{رابطه‌ی ۳.۱}$$

y
 A
 x

نکته‌ای که باید به آن توجه داشت این است که ایستگاه‌های GPS که فاصله آن‌ها از نقطه مورد بررسی بسیار زیاد است نباید در محاسبات استفاده شوند. در این پروژه حد آستانه، میانگین فواصل ایستگاه‌های GPS از نقطه مورد بررسی بعلاوه ۲/۵ برابر انحراف معیار آن‌ها در نظر گرفته شده است.

ب) وزن دهی مشاهدات مورد استفاده

برای وزن دهی مشاهدات باید به سه مورد توجه داشت. فاصله ایستگاه‌های مورد استفاده تا نقطه موردنظر، تراکم مکانی ایستگاه‌ها و ماتریس واریانس-کوواریانس مشاهدات. وزن دهی بر اساس فاصله مطابق رابطه‌ی ۴.۱ صورت می‌گیرد.

$$L_i = \exp \left\{ \frac{-\Delta R_i^2}{D^2} \right\} \quad \text{رابطه‌ی ۴.۱}$$

در این رابطه ΔR_i فاصله نقطه مورد نظر از ایستگاه‌های GPS و D پارامتری است که توسط آن وزن دهی بر اساس فاصله کنترل می‌شود. برای تعیین این پارامتر، در هر نقطه از شبکه مقادیر مختلف برای آن در نظر گرفته شده و وزن مشاهدات محاسبه شد. اگر مقدار این پارامتر کوچک باشد وزن تمام مشاهدات صفر یا نزدیک به صفر محاسبه خواهد شد. در این پروژه مقدار پارامتر D میانگین فواصل ایستگاه‌های GPS (پس از حذف ایستگاه‌های بسیار دور) بعلاوه ۱/۵ انحراف معیار آن‌ها در نظر گرفته شده است.

وزن دهی بر اساس تراکم مکانی، با استفاده از دیاگرام ورونوی و مساحت هر یک از پلیگون‌های ایجاد شده، انجام شده است. برای محاسبه‌ی وزن هر یک از ایستگاه‌های مورد استفاده، مطابق رابطه‌ی ۵.۱ عمل می‌شود.

$$Z_i = \frac{nS_i}{\sum S_k} \quad \text{رابطه‌ی ۵.۱}$$

ماتریس واریانس-کوواریانس مشاهدات نیز با استفاده از واریانس‌ها و کوواریانس‌های هر ایستگاه ایجاد می‌شود. در داده‌های موجود ضریب همبستگی داده شده است که مطابق رابطه‌ی ۶.۱ کوواریانس قابل محاسبه است.

$$\sigma_{EN} = \rho_{EN} \sigma_E \sigma_N \quad \text{رابطه‌ی ۶.۱}$$

در نهایت ماتریس وزن مطابق رابطه‌ی ۷.۱ تشکیل می‌شود.

$$W_i = C_i^{-1} \times L_i \times Z_i \quad \text{رابطه‌ی ۷.۱}$$

ج) محاسبات پس از سرشکنی

پس از برآورد مجهولات، نوبت به محاسبه ناوردهای اول و دوم و همچنین کرنش‌های اصلی برای ترسیم بیضی کرنش می‌رسد. ناوردهای اول و دوم مطابق رابطه‌ی ۸.۱ قابل محاسبه می‌باشند.

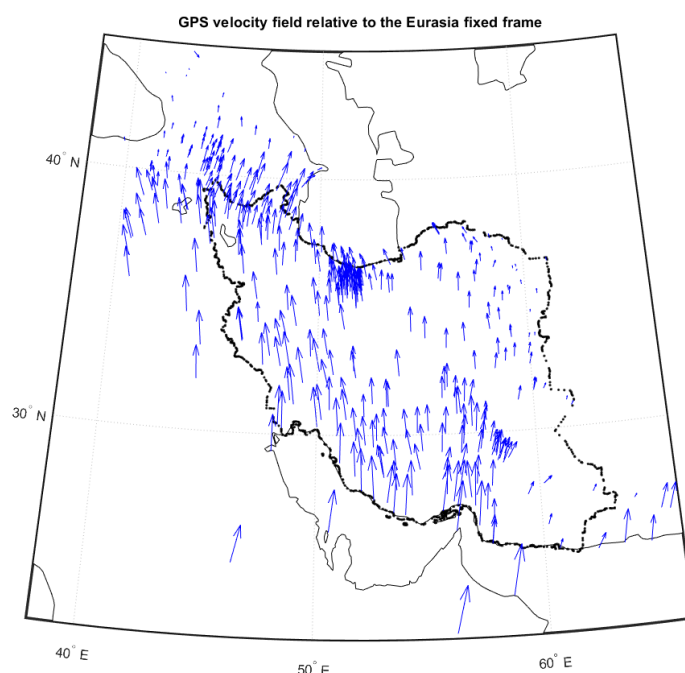
$$\begin{cases} I_1 = \varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} \\ I_2 = \varepsilon_{xx}\varepsilon_{yy} - \varepsilon_{xy}^2 \end{cases} \quad \text{رابطه‌ی ۸.۱}$$

کرنش‌های اصلی نیز که همان مقادیر ویژه ماتریس کرنش می‌باشند، توسط دستور eig متلب، با استفاده از ماتریس کرنش هر یک از نقاط شبکه قابل محاسبه است. زاویه θ نیز که برای ترسیم بیضی‌های کرنش نیاز است، با استفاده از رابطه‌ی ۹.۱ محاسبه می‌شود.

$$\theta = \frac{1}{2} a \tan \left(\frac{2\varepsilon_{xy}}{\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy}} \right) \quad \text{رابطه‌ی ۹.۱}$$

۲.۱. نقشه‌های ترسیم شده

الف) سرعت جابجایی ایستگاه‌های GPS

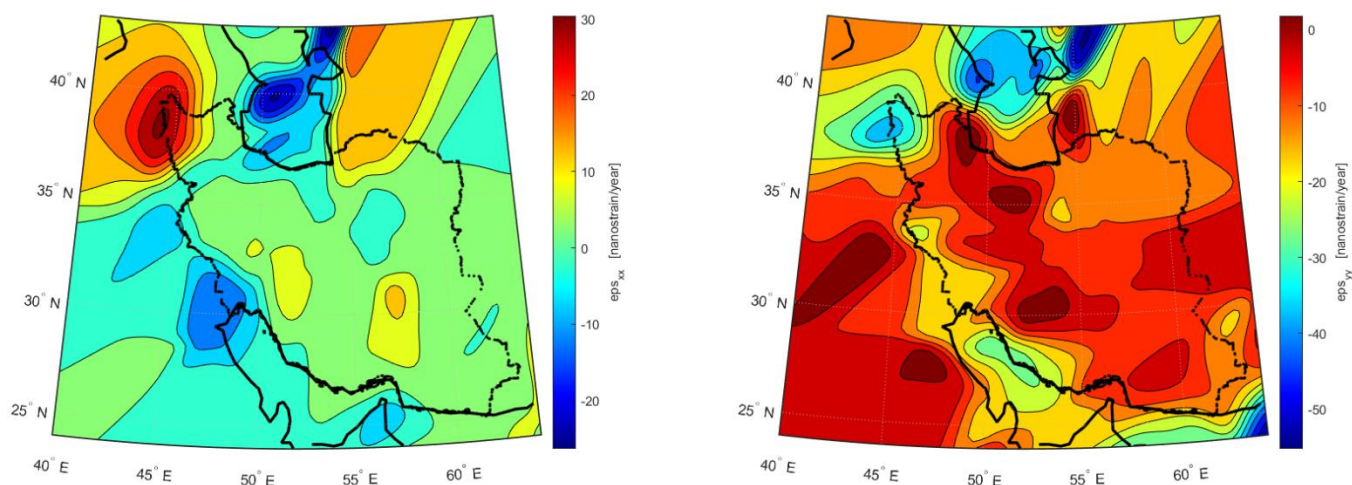


شکل ۱.۱. نقشه‌ی سرعت جابجایی ایستگاه‌های GPS مورد استفاده در پروژه.

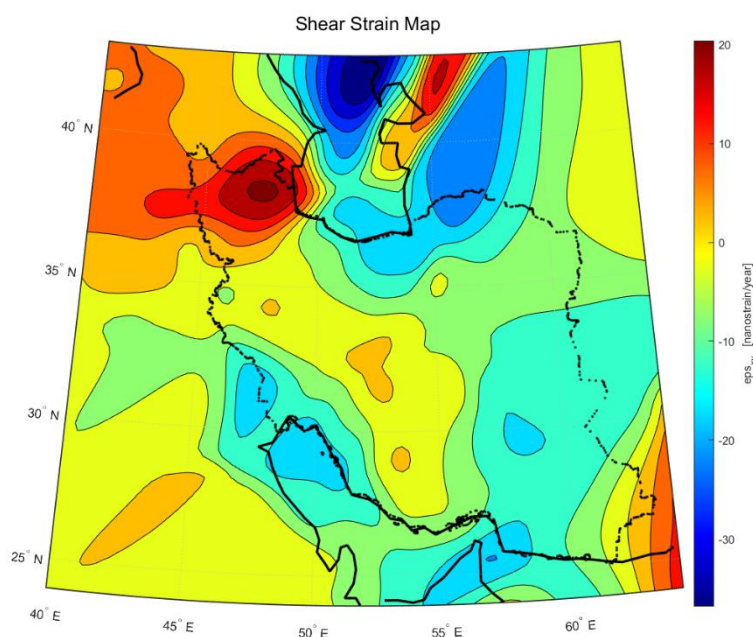
ب) مولفه‌های نرمال و برشی تانسور نرخ کرنش

نقشه‌ی مولفه‌های نرمال و برشی تانسور نرخ کرنش در شکل‌های ۲.۱ و ۳.۱ قابل مشاهده هستند. همانطور که مشاهده می‌شود در این نقشه‌ها واحد نرخ کرنش $\frac{\text{nanostRAIN}}{\text{year}}$ می‌باشد.

Normal Strain Map



شکل ۲.۱. نقشه‌ی مولفه‌های نرمال تانسور نرخ کرنش.

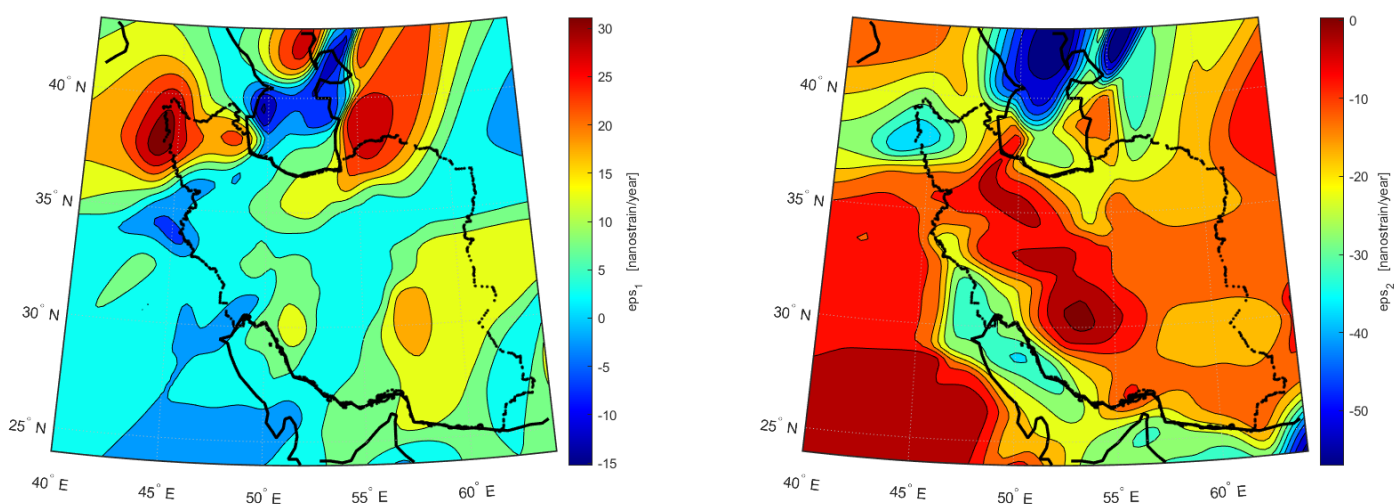


شکل ۳.۱. نقشه‌ی مولفه برشی تانسور نرخ کرنش.

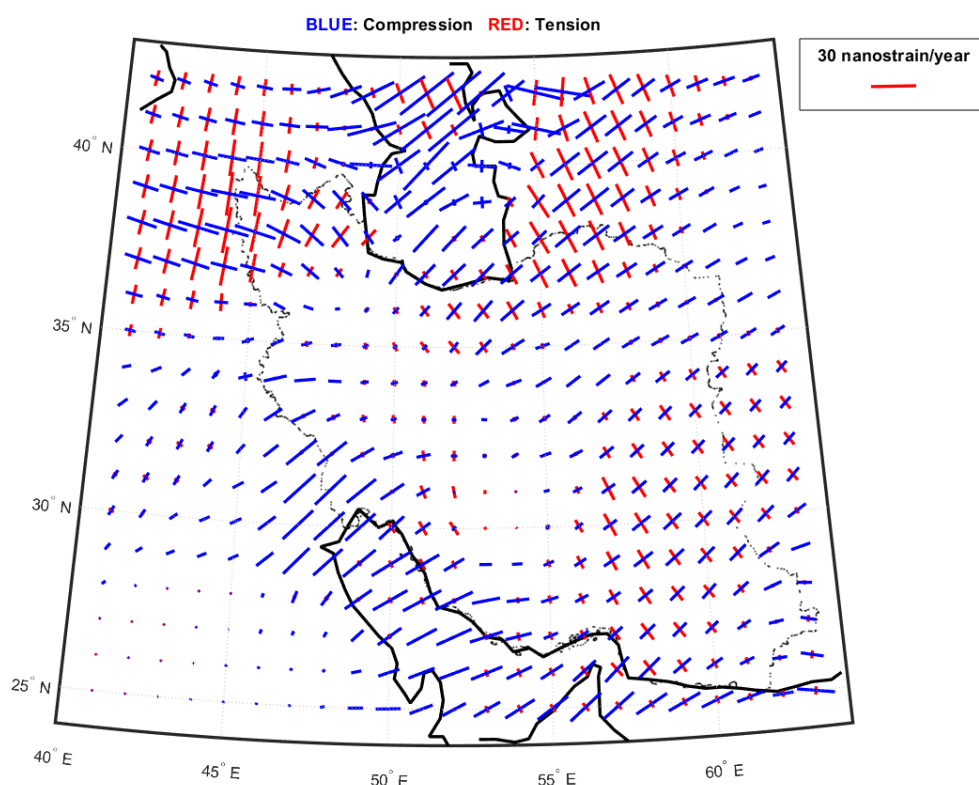
ج) کرنش‌های اصلی و بیضی‌های کرنش

نقشه‌ی کرنش‌های اصلی و بیضی‌های کرنش در شکل‌های ۴.۱ و ۵.۱ قابل مشاهده هستند. همانطور که مشاهده می‌شود، محورهای کششی با رنگ قرمز و محورهای فشاری با رنگ آبی نمایش داده شده‌اند.

Principal Strain Map



شکل ۴.۱. نقشه‌ی کرنش‌های اصلی.

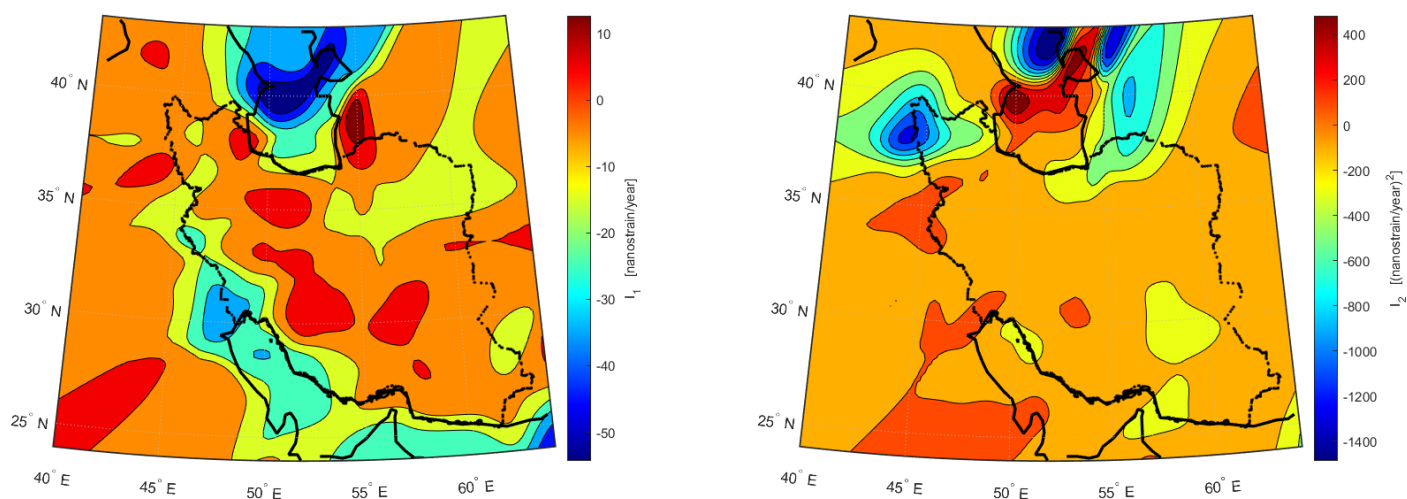


شکل ۵.۱. بیضی‌های کرنش ترسیم شده با استفاده از کرنش‌های اصلی.

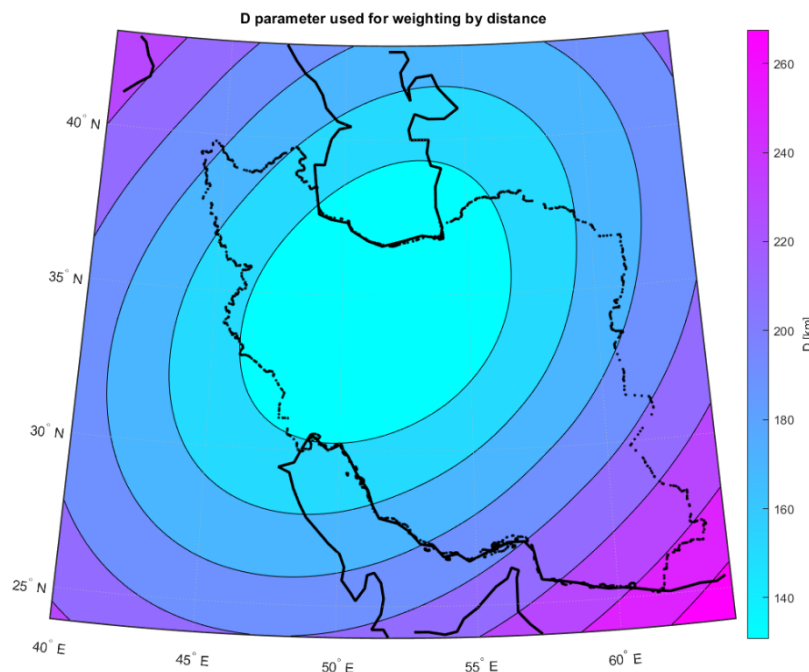
د) ناوردهای اول و دوم تانسور نرخ کرنش

نقشه‌ی ناوردهای اول و دوم تانسور نرخ کرنش نیز در شکی ۶.۱ قابل مشاهده می‌باشد. واحدهای مربوط به هر یک در شکل ذکر شده است.

Strain Invariants Map



شکل ۶.۱. نقشه‌ی ناوردهای تانسور نرخ کرنش.

ه) پارامتر D در وزن دهی بر اساس فاصلهشکل ۷.۱. پارامتر D برای وزن دهی بر اساس فاصله ایستگاه‌های GPS.

۳.۱. تفسیر و نتیجه‌گیری

سوال ۸) همانطور که از شکل ۵.۱ قابل مشاهده است، ناوردای اول که همان نشان دهنده‌ی اتساع می‌باشد، در شمال و جنوب غرب ایران بیشترین مقدار را دارد. پارامتر اتساع بیانگر فشار یا تنش هیدرواستاتیک می‌باشد، همچنین این پارامتر تغییر حجم نسبت به حجم اولیه را نیز نشان می‌دهد. در شمال و جنوب غرب ایران که به ترتیب رشته کوه‌های البرز و زاگرس واقع شده‌اند، محل برخورد صفحات همگرا می‌باشند که در طول سال‌های طولانی این رشته کوه‌ها را ایجاد کرده است، که دلیل بالا بودن نرخ اتساع در این مناطق می‌باشد.

سوال ۹) ناوردای دوم تانسور کرنش در شمال، شمال غرب، قسمت‌هایی از مرکز ایران و جنوب غرب مقادیر بیشتری دارد. ناوردای دوم تانسور کرنش نشان دهنده‌ی بخش انحراف آور (Deviatoric) تانسور کرنش می‌باشد. اجسام تحت تاثیر تنش انحراف آور تغییر شکل می‌دهند و اگر مقدار آن نزدیک به صفر باشد یعنی تغییر شکل رخ نداده و جسم تنها بزرگ‌تر یا کوچک‌تر می‌شود. رشته کوه‌های البرز و زاگرس و همچنین بخش شمال غرب که گسل‌های شرقی و شمالی آناتولی را نشان می‌دهد، بیشترین مقدار ناوردای دوم را دارند که نشان می‌دهد در این مناطق تغییر شکل پوسته زمین در حال رخ دادن است.

سوال ۱۰) همانطور که در شکل ۴.۱ قابل مشاهده است، در منطقه زاگرس نرخ کرنش فشاری بیشتر است. جهت آن عمود بر امتداد مرز صفحات عربستان و اوراسیا می‌باشد که نشان دهنده‌ی همگرایی این دو صفحه است.

سوال ۱۱) مطابق شکل ۴.۱ در منطقه البرز نرخ کرنش فشاری بیشتر است و جهت آن در راستای شمال شرق به جنوب غرب می باشد، که فعالیت های تکتونیکی صفحات باعث بیشتر شدن نرخ کرنش فشاری در این راستا است.