

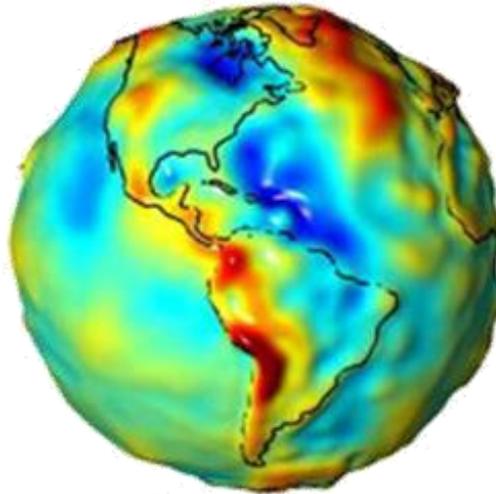
بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



۱۳۷۱

دانشگاه خيام
وزارت علوم تحقيقات و فناوري

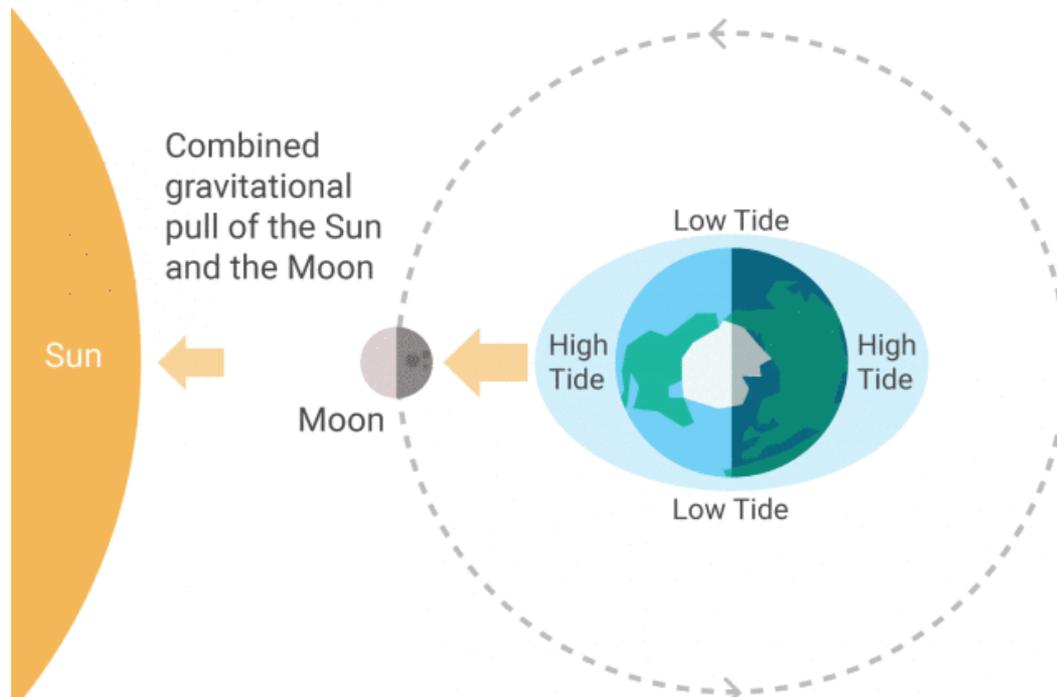
مبانی ژئودزی

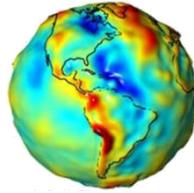


مهندس محمد امیدوار

فصل پنجم

زمین و تغییرات زمانی آن





❖ مقدمه

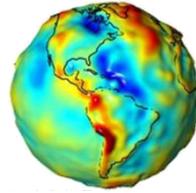
شکل زمین در اثر وارد آمدن نیروهای مختلف بر آن دائماً در حال تغییر است این تغییرات از لحاظ زمانی به سه گروه تقسیم بندی می شوند:

(1) تغییرات دائمی

(2) تغییرات پریودیک

(3) تغییرات ناگهانی

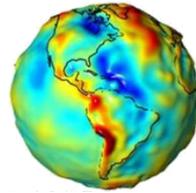
پاسخ زمین در مقابل نیروهای مختلف چیزی ما بین حالت زمین مایع و زمین جامد است. به این صورت که اگر پریود اعمال نیرو کم باشد (فرکانس بالا) زمین همانند یک جسم الاستیک رفتار می کند و اگر پریود نیرو زیاد باشد (نیروهای با فرکانس کم) ، زمین همانند یک جسم ویسکوز (غلیظ و چسبناک) رفتار خواهد کرد. در حالت ویسکوز پس از برداشته شدن نیرو، بازگشت جسم به حالت اولیه بسیار آرام خواهد بود.



❖ پدیده جزر و مد

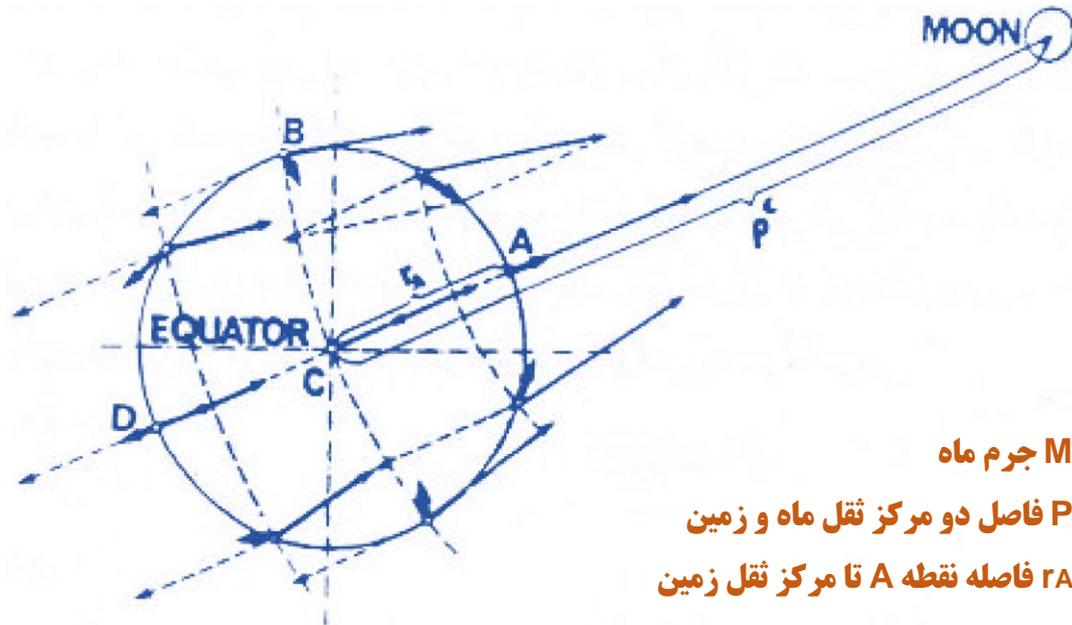
تغییرات بوجود آمده در میدان ثقل زمین در اثر تاثیر اجرام سماوی، باعث بروز پدیده ای بنام جزر و مد می شود. تغییر شکل حاصل از جزر و مد را تغییر شکل جزر و مدی و نیروی متناظر آن را نیروی جزر و مدی نامند.

نیروی جاذبه وارد شده از جسم سماوی بر هر نقطه را می توان به دو نیرو تجزیه کرد. یکی برابر و هم جهت نیروی جاذبه وارد شده بر مرکز جرم زمین و دیگری برابر **اختلاف نیروی جاذبه وارده بر آن نقطه با نیروی جاذبه وارده بر مرکز جرم زمین** است. مؤلفه دوم نیروی جاذبه که به صورت فوق تجزیه شد بنام **نیروی جزر و مدی** معروف است. نخست به مطالعه ماه می پردازیم که بیشترین تاثیر را روی زمین دارد.



❖ پدیده جزر و مد

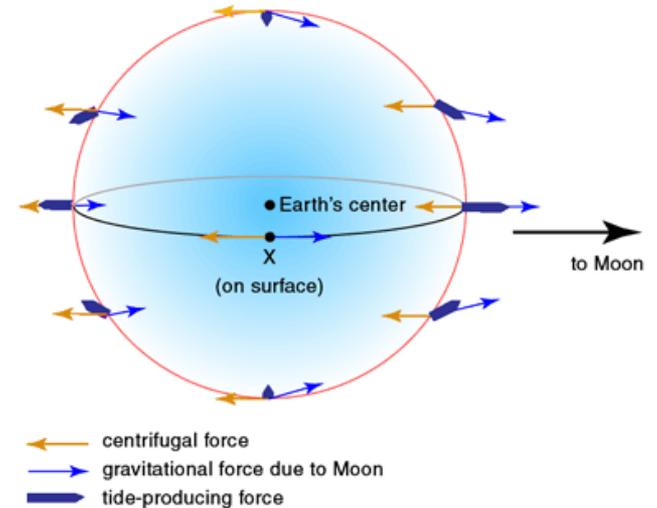
مطابق شکل در دو نقطه A و D جهت نیروهای جزر و مدی خلاف همدیگر است. قدر مطلق شتاب جزر و مدی در نقطه A در سطح زمین واقع در خط واصل مرکز ثقل ماه و زمین از رابطه زیر محاسبه می شود:



M جرم ماه

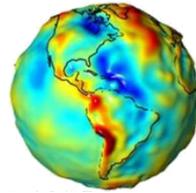
P فاصل دو مرکز ثقل ماه و زمین

r_A فاصله نقطه A تا مرکز ثقل زمین



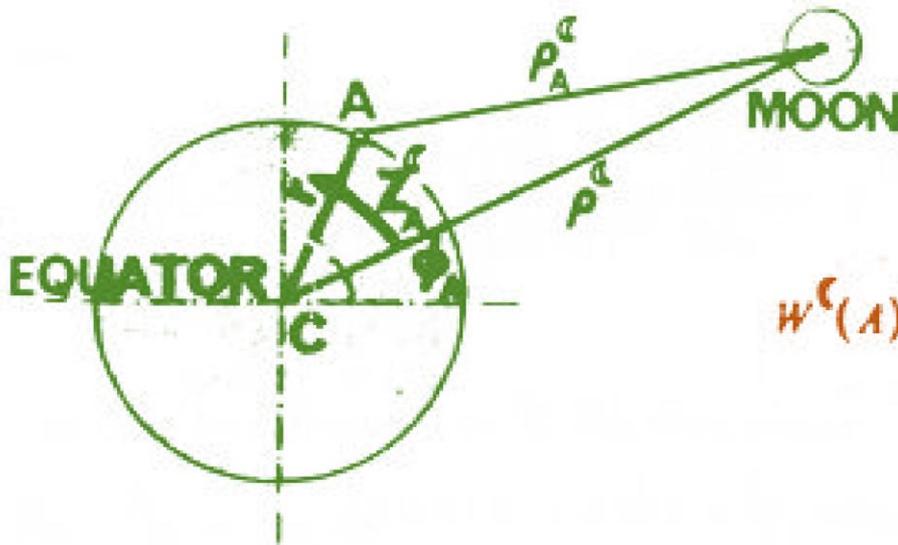
← centrifugal force
 → gravitational force due to Moon
 → tide-producing force

$$a_i(A) = \frac{GM}{(\rho - r_A)^2} - \frac{GM}{(\rho)^2} = \frac{GM}{(\rho)^2} \left[\left(1 - \frac{r_A}{\rho}\right)^{-2} - 1 \right]$$



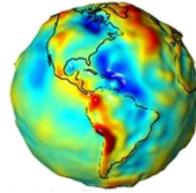
❖ پدیده جزر و مد

مشابه نیروی جاذبه زمین، در مورد نیروی جزر و مدی نیز می توان شتاب جزر و مدی و پتانسیل جزر و مدی را تعریف کرد. پتانسیل جاذبه حاصل از ماه در نقطه دلخواه A در سطح زمین از رابطه زیر محاسبه می شود:



$$W^C(A) = \frac{GM^C}{\rho_A^C} = \frac{GM^C}{((\rho^C)^2 + r_A^2 - 2r_A\rho^C \cos Z_A^C)^{1/2}}$$

محاسبات و اندازه گیری ها نشان می دهند که پتانسیل جزر و مدی ناشی از خورشید حدود ۰,۴۶ پتانسیل جزر و مدی ناشی از ماه است.



❖ پدیده جزر و مد

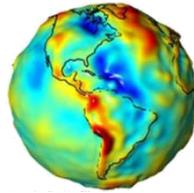
پتانسیل جزر و مدی باعث بوجود آمدن سه نوع تغییر عمده در خصوصیات میدان ثقل زمین شود:



۱- مؤلفه قائم شتاب جزر و مدی (\vec{a}_t) با نشانه g_t .

۲- انحراف (Tilt) سطوح هم پتانسیل با نشانه θ_t .

۳- جابجایی سطوح هم پتانسیل (Tidal Uplift) با نشانه U_t

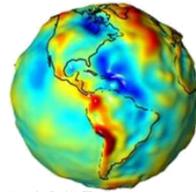


❖ پدیده جزر و مد

بدلیل حرکات زمین ، ماه خورشید و دیگر اجرام سماوی نسبت به همدیگر تابع جزر و مد متشکل از یک سری مؤلفه های پریودیک است، که فرکانس آنها معلوم است. به عنوان مثال دوران زمین باعث می شود تا مؤلفه جزر و مدی ناشی از خورشید دارای پریود ۱۲ ساعت خورشیدی باشد. این مؤلفه را بنام S_2 می شناسند، که S اول کلمه SUN و ۲ نشان دهنده ۲ نوسان کامل در شبانه روز (نیم روزانه) است. مشابه همین نامگذاری مؤلفه جزر و مدی نیم روزانه ماه M_2 نامیده می شود. اندیس ۱ نیز نشان دهند پریود روزانه است.

عمده ترین مؤلفه های پریودیک (مؤلفه های دارای بیشترین دامنه) مؤلفه های با پریود روزانه و نیم روزانه می باشن؛ و عمده ترین جزء آن مؤلفه نصف روزانه ماه M_2 می باشد.

نکته: مؤلفه جزر و مدی با فرکانس صفر (جزر و مد دائمی) باعث افزایش فشردگی سطوح هم پتانسیل ثقل زمین می شود؛ که باعث فرورفتگی در قطبین به اندازه ۲۸ سانتی متر و در استوا ۱۴ سانتی متر می باشد.

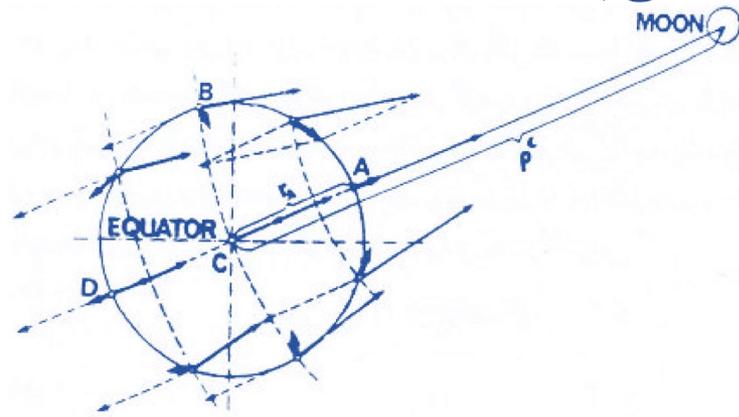


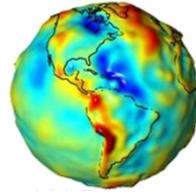
❖ پدیده جزر و مد

پتانسیل جزر و مدی علاوه بر زمان تابع مکان نیز می باشد.

دامنه مولفه های روزانه بیشترین مقدار را در عرض جغرافیایی ۴۵ درجه داشته و در استوا و قطبین صفر می باشد. در صورتی که مولفه های نصف روزانه بیشترین مقدار را در عرض جغرافیایی صفر درجه (استوا) داشته و در قطبین محو می شوند.

نکته: پتانسیل جزر و مدی در یک لحظه برای دو نقطه مقابل A و D (بالای سر و زیرپا) برابر است که خود نشان دهنده وجود پریود های نیم روزانه می باشد.

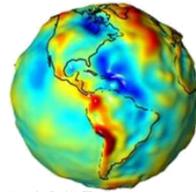




❖ پدیده جزر و مد

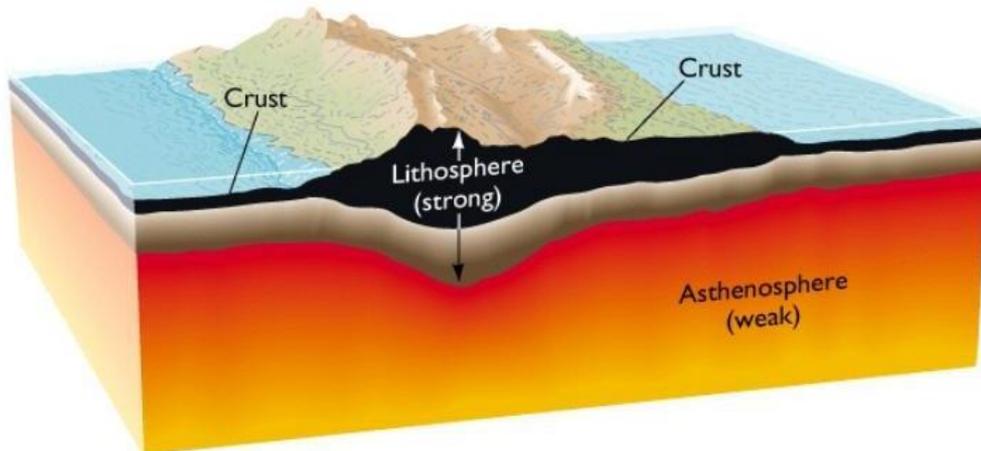
بدلیل جابجایی سطوح هم پتانسیل ثقل زمین، سطوح آبهای آزاد اقیانوسها در اثر جزر و مد بالا و پائین می شود. هزاران ایستگاه اندازه گیری جزر و مد در جهان وجود دارد که بر اساس اطلاعات جزرو مدی نقشه های مربوط به هر مؤلفه جزر و مدی را محاسبه و ترسیم می کنند و به آن ها چارتهای **Corange** می گویند همچنین نقشه هایی که نشان دهنده زمان مربوط به وقوع ماکزیمم ارتفاع هر مؤلفه جزر و مدی باشند را چارتهای **Cotidal** می نامند.

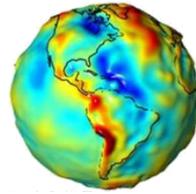
پدیده جزر و مد علاوه بر تأثیراتی که در میدان ثقل زمین می گذارد، شکل زمین را نیز بدلیل صلب نبودن آن تحت تأثیر قرار می دهد.



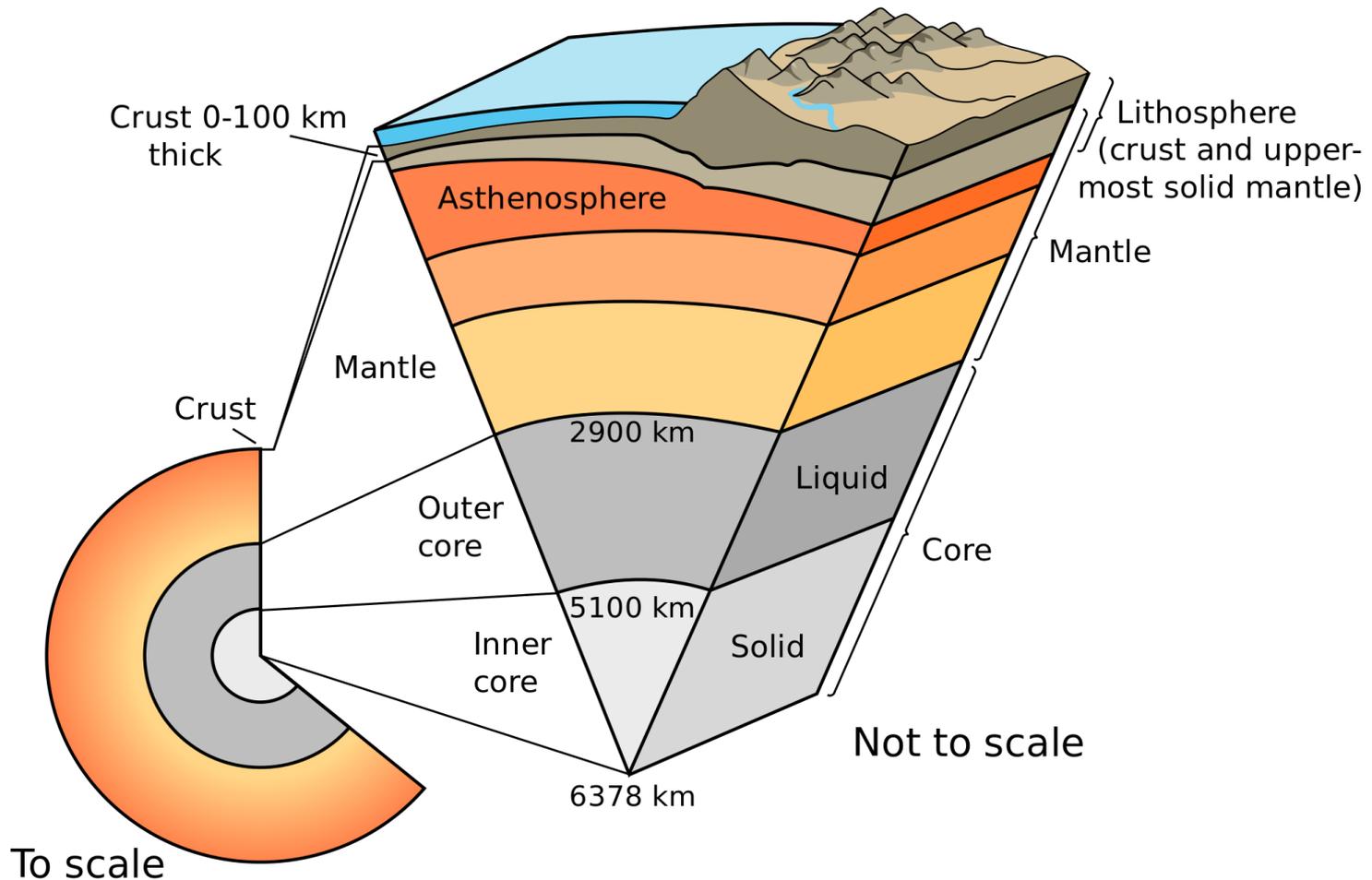
❖ تغییر شکل پوسته زمین در اثر بارهای وارده بر آن

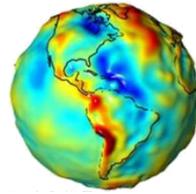
پوسته زمین متشکل از موادی با دانسیته متوسط 2.67 گرم بر سانتی متر مکعب است که بر روی ماده ای با دانسیته متوسط 3.27 گرم بر سانتی متر مکعب شناور است. بالاترین لایه پوسته زمین تا عمق 10 الی 30 کیلومتری را بنام crust می شناسند. معمولاً لایه جامد بالایی زمین را به نام لیتوسفر (Lithosphere) می خوانند که ضخامتی بین 10 تا 80 کیلو متر دارد. تشخیص اینکه دقیقاً کجا پوسته جامد زمین به قسمت میانی تضعیف شده (گوشته) ختم می شود مشکل است.



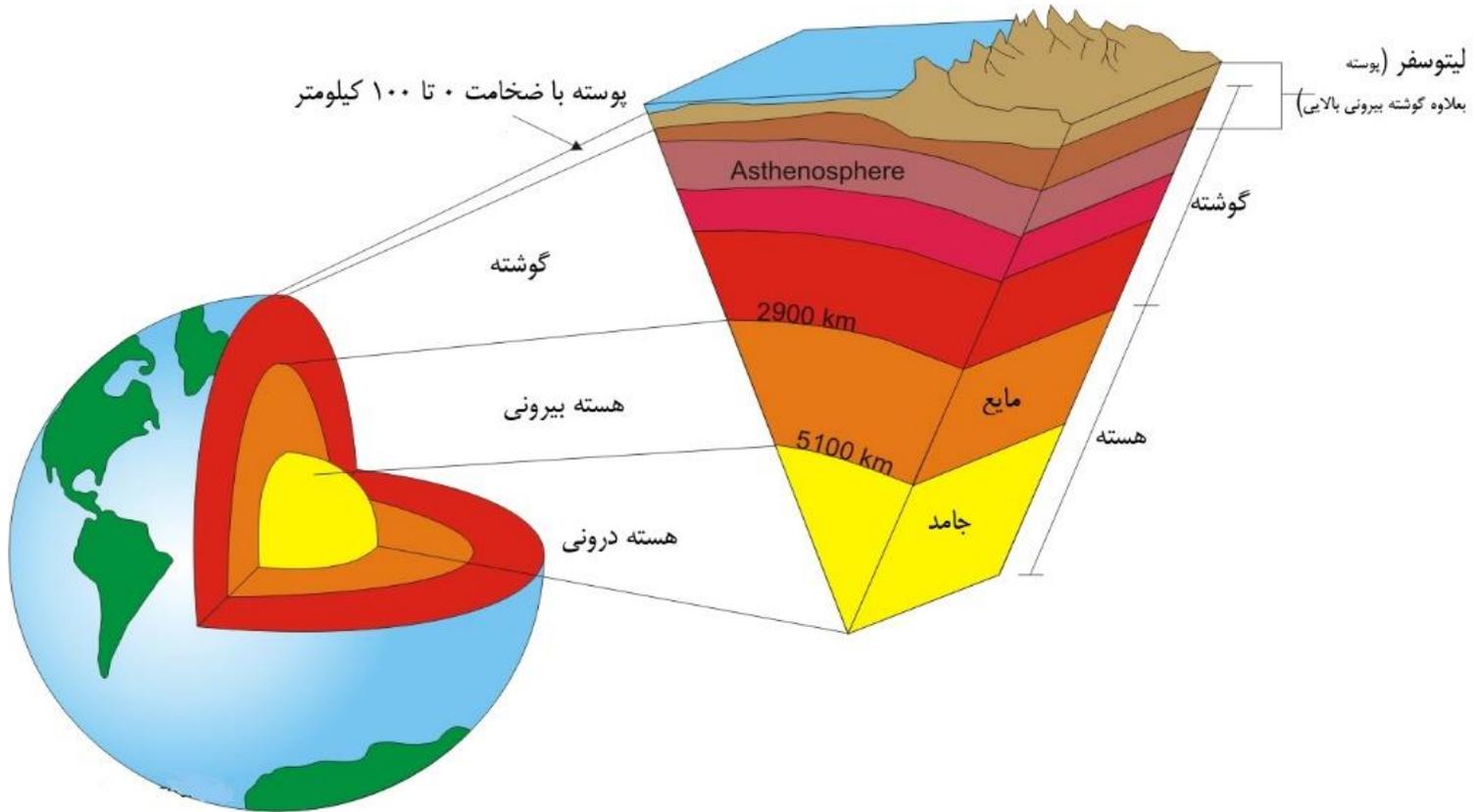


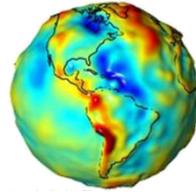
❖ تغییر شکل پوسته زمین در اثر بارهای وارده بر آن





❖ تغییر شکل پوسته زمین در اثر بارهای وارده بر آن

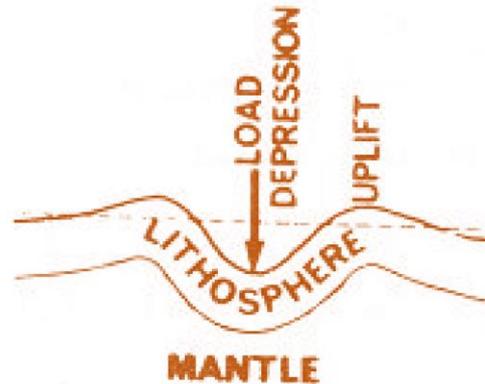


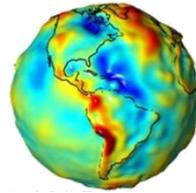


❖ تغییر شکل پوسته زمین در اثر بارهای وارده بر آن

بالاترین قسمت گوشته (جبه) (Mantle) تا عمق حدود ۳۰۰ الی ۴۰۰ کیلومتری را استنوسفر (Asthenosphere) می نامند. این لایه ها در اثر فشارهایی که بر آنها وارد می آید دچار تغییر شکلهایی می شوند که بسته به مدت زمان و اندازه نیروی وارد شده متغیر است.

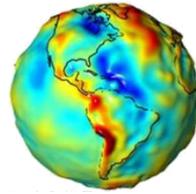
رفتار پوسته در نقاط مختلف آن در برابر نیروهای اعمال شده بستگی به فاصله نقطه از محل اعمال فشار دارد. مقدار فرورفتگی در آن نقطه ماکزیمم و در اطراف متناسب با فاصله از بار به تدریج کم می شود.





❖ مهمترین عوامل فشار بر پوسته زمین

- یخهای موجود و یخهای ذوب شده در دوران یخبندان گذشته (مهمترین عامل)
- آب ناشی از ذوب شدن یخها که البته این آب در ناحیه ای بس وسیعتر از محل تجمع یخها پخش می گردد.
- رسوبات بر جای مانده از رودخانه های بزرگ
- جابجایی آب ناشی از نیروهای جزر و مدی (فرکانس اعمال نیروی مربوط به جزر و مد اقیانوسها بسیار بیشتر از نیروهای دیگر است به همین دلیل عکس العمل پوسته زمین نیز مانند عکس العمل یک جسم الاستیک خواهد بود).
- از دیگر عوامل جابجایی ارتفاعی پوسته زمین، سدها و بار شهرهای بزرگ و... هستند.



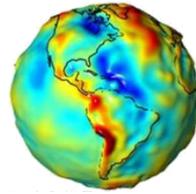
❖ تغییر شکل پوسته زمین در اثر بارهای وارده بر آن

برای درک مفهوم بازگشت زمین به حالت اولیه خود پس از برداشته شدن یک بار از روی پوسته آن ، لازم است در مورد تئوری **تعادل استاتیکی** زمین بحث شود.

لایه لیتوسفر بر روی لایه استنوسفر زمین شناور است. بنا به اصل تعادل استاتیکی لیتوسفر زمین (**اصل ایزوستازی**) هر نوع **تغییری در عمق لیتوسفر** باید توسط تغییر در **دانسیته و ضخامت لیتوسفر** جبران می شود. در غیر اینصورت اصل ایزوستازی بر قرار نخواهد ماند.

برای این منظور نظریه های مختلفی بیان شده است.

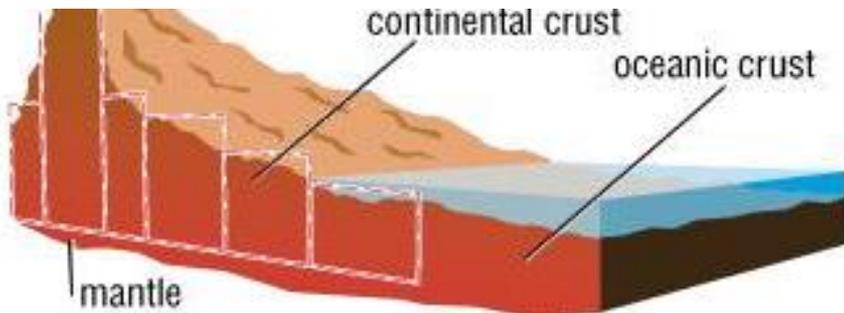
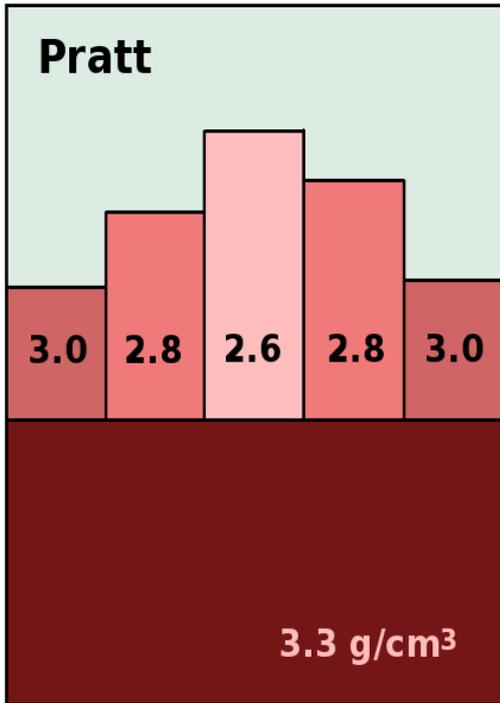


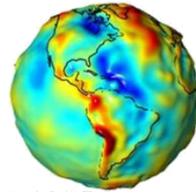


❖ تغییر شکل پوسته زمین در اثر بارهای وارده بر آن

مدل Pratt:

این مدل مرز بین لیتوسفر و استنوسفر را هموار (مسطح) فرض می کند. در این صورت برای برقراری اصل ایزوستازی، دانسیته لیتوسفر در نقاط مختلف آن (که به صورت بلوکهای جداگانه فرض شده است) با هم متفاوت خواهد بود؛ به این صورت که بلوک های اقیانوسی نسبت به بلوکهای قاره ای دانسیته بیشتری خواهند داشت.

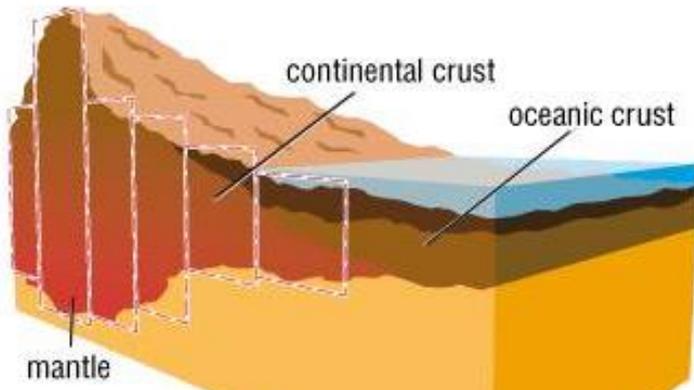
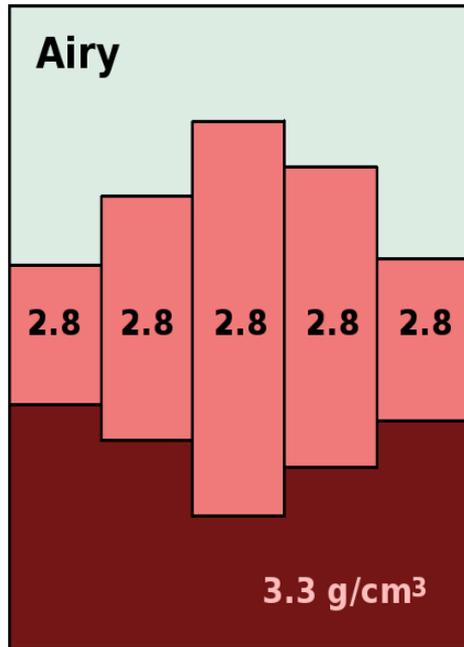


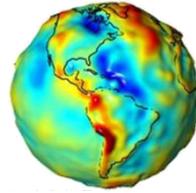


❖ تغییر شکل پوسته زمین در اثر بارهای وارده بر آن

مدل Airy :

این مدل دانسیته بلوکهای مختلف لیتوسفر را برابر فرض می کند که در این صورت برای برقراری اصل ایزوستازی بلوکهای مختلف باید عمقهای متفاوت داشته باشند. یعنی هر چه ارتفاع یک بلوک بیشتر باشد میزان فرو رفتگی آن در استنوسفر بیشتر خواهد بود و بالعکس.

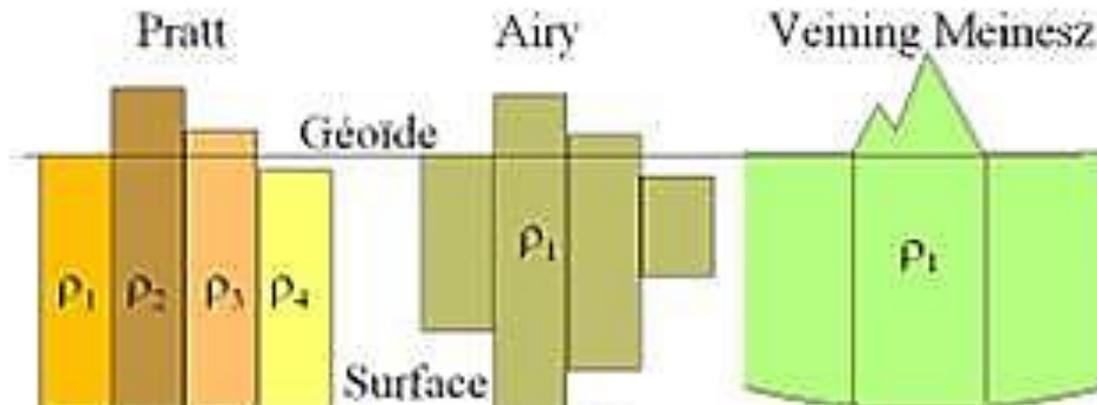


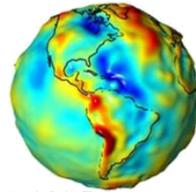


❖ تغییر شکل پوسته زمین در اثر بارهای وارده بر آن

مدل Vening Meinesz:

این مدل نظریه airy را بدین صورت تصحیح می کند که پوسته زمین از بلوک های متصل به هم تشکیل شده است و مثل یک لایه الاستیک در برابر بار عکس العمل نشان می دهد. بنابراین در این مدل فرض بر این است که دانسیته هر قطعه در نقاط مختلف با هم برابر است که البته این امر نیز در واقع نمی تواند درست باشد.



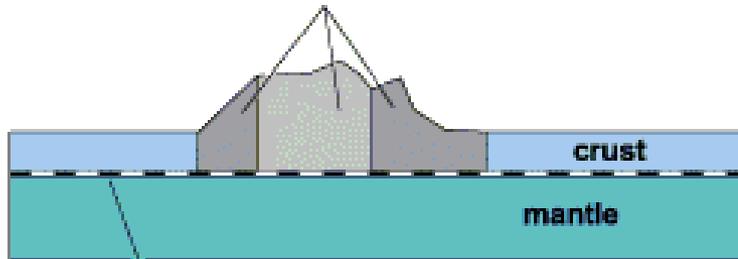


❖ تغییر شکل پوسته زمین در اثر بارهای وارده بر آن

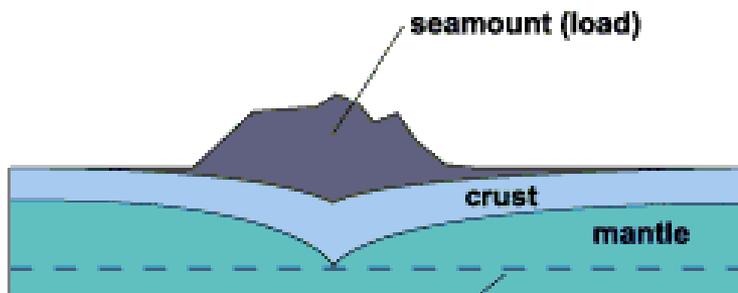


depth of compensation

lower-density blocks



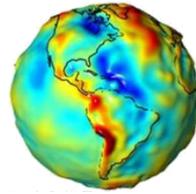
depth of compensation



depth of compensation

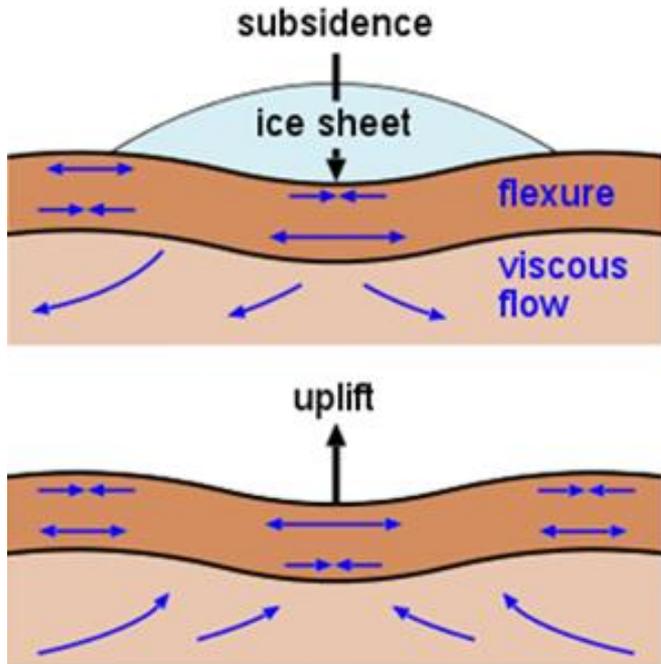
در عمل هیچ کدام از این نظریه ها کاملاً منطبق بر واقعیت نیستند. طبق مشاهدات لیتوسفر هم در ضخامت و هم در دانسیته متغیر می باشد. در بعضی مناطق رفتار الاستیک و در برخی جاها شکسته می باشد.

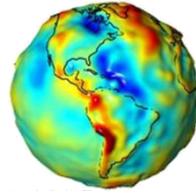
در این مورد می توان به نظریه های مدرن ویسکو الاستیک مراجعه نمود.



❖ تغییر شکل پوسته زمین در اثر بارهای وارده بر آن

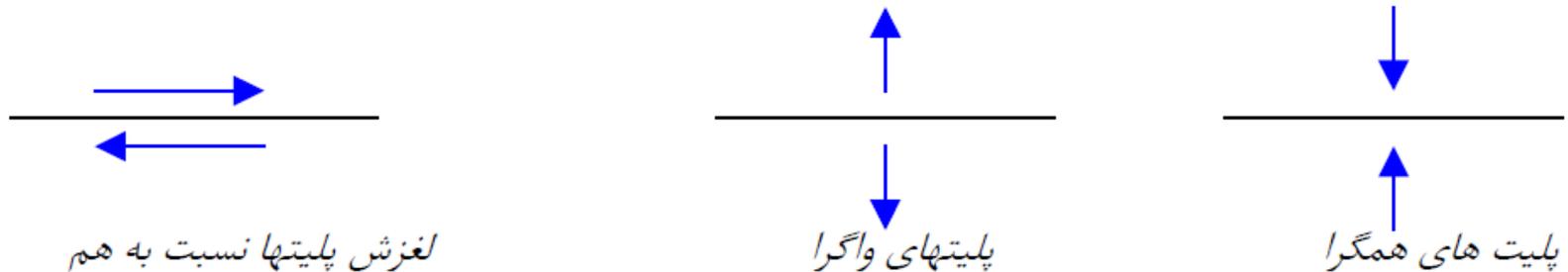
بر اساس اصل ایزوستاری می توان به عکس العمل زمین در مقابل ذوب شدن یخها پس از دوران یخبندان پرداخت. به محض ذوب شدن یخها، عکس العمل زمین همانند یک جسم الاستیک بود اما یک تغییر شکل غیر الاستیک نیز به دلیل اینکه زمین از حالت تعادل خارج شده بود، وجود داشت. به همین دلیل زمین شروع به پاسخ تدریجی (بالا آمدن تدریجی) نمود. پر واضح است که تغییر شکلهای ایجاد شده در لیتوسفر زمین ، میدان ثقل آنرا نیز تحت تأثیر قرار خواهد داد.



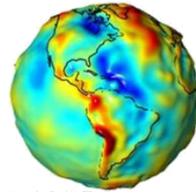


❖ تغییر شکلهای تکتونیکی

لیتوسفر زمین از قطعات بزرگی تشکیل شده است که به آنها plate گفته می شود در اثر جابجایی توده های اجرام درون زمین ، این قطعات که روی این توده ها سوارند ، حرکت خواهند کرد. این حرکت می تواند به چند صورت زیر صورت بگیرد:



این حرکات بنوبه خود باعث پیدایش پدیده هایی همچون زمین لرزه ، آتشفشان و کوهزایی می شوند.



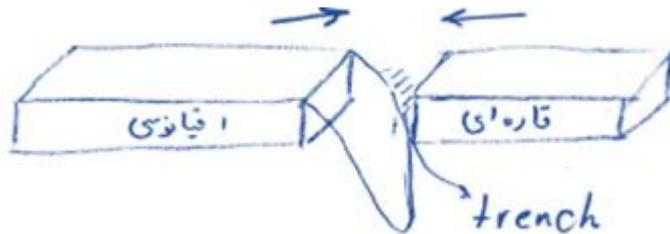
❖ حرکت های مختلف تکتونیکی و عوارض حاصله



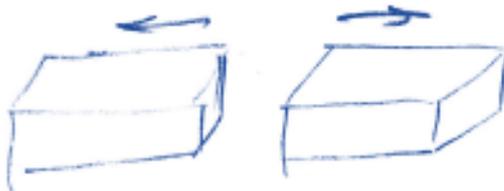
۱- حرکت مخالف در امتداد مرز مشترک (گسل)

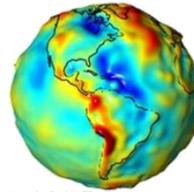
۲- حرکت متقابل در امتداد عمود بر مرز مشترک

اگر دو صفحه هم جنس باشند، چین خوردگی و کوه زایی رخ می دهد، اگر هم جنس نباشند trench ایجاد می شود.

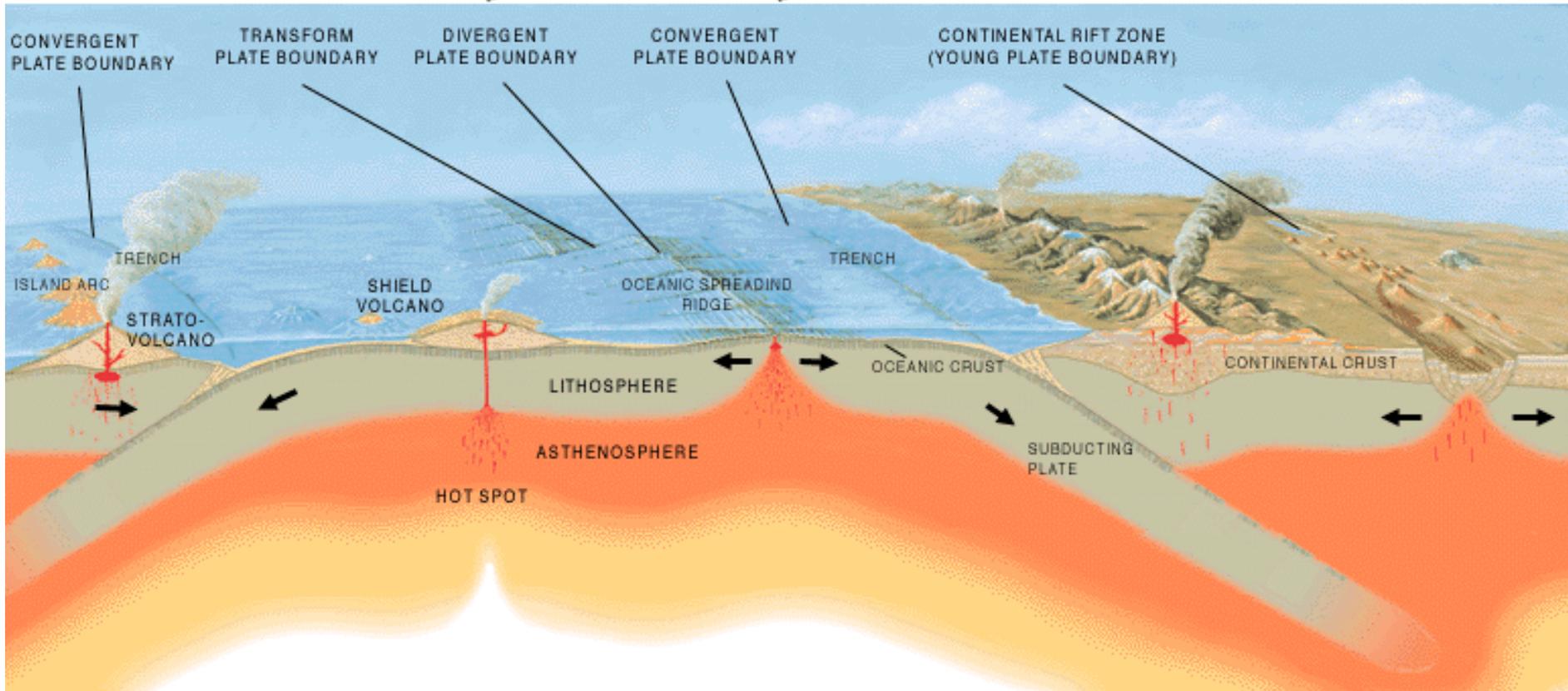
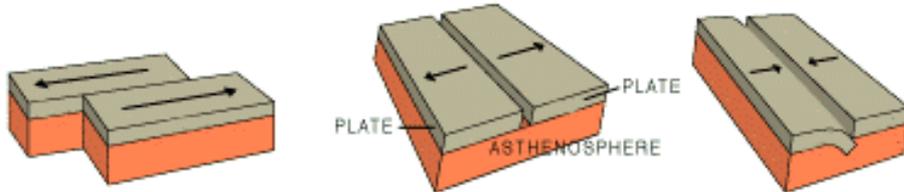


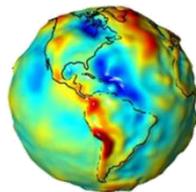
۳- حرکت مخالف در امتداد عمود بر مرز مشترک که با فعالیت آتش فشانی همراه است.





❖ تغییر شکلهای تکتونیکی





❖ تغییر شکل ساخت بشر و دیگر تغییر شکل ها

نشست زمین ناشی از دخالت بشر بصورت منطقه ای یا بصورت ناحیه ای خود نوعی تغییر شکل محسوب می شود. فشرده شدن زمین در شهرهای بزرگ، نشستهای ناشی از استخراج منابع زیر زمینی و ... همگی در ردیف تغییر شکلهای ایجاد شده توسط بشر می باشند.

