# تکتونیک صفحه‌ای

عبدالرضا قدس
aghods@iasbs.ac.ir

دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم‌پایه زنجان

نسخه ۱.۲، دی ۱۳۹۳

عبدالرضا قدس

# پیش درآمد

- امروزه فهم هر رشته‌ای از علوم‌زمین بدون یک درک ابتدایی از نظریه تکتونیک صفحه‌ای تقریبا غیرممکن است. برای همین مطالعه و فهم تکتونیک صفحه‌ای برای تمام علاقه‌مندان به این رشته بسیار لازم است. درک تحول ژرفی که نظریه تکتونیک صفحه‌ای در علوم زمین ایجاد کرد تنها با دانستن وضعیت زمینه‌های فکری موجود در مورد زمین قبل از ارایه این نظریه میسر است. ما در چند اسلاید بعدی با زمینه‌های فکری قبل از نظریه تکتونیک صفحه‌ای آشنا خواهیم شد.

# سن زمین چقدر است؟

۲۰۰ سال پیش بیشتر مردم بر این اعتقاد بودند که زمین و همه موجودات آن همگی در مدت بسیار کوتاهی بوجود آمده‌اند. بر اساس این باور سن زمین بسیار کم است (حدود ۵۷۰۰ سال) و همه پدیده‌های زمین‌شناسی بسیار سریع‌اند. به عنوان مثال سرعت رسوبگذاری به قدری سریع بوده که توانسته لایه‌های رسوبی به ضخامت بیش از ۱۰ کیلومتر را در طی ۵۷۰۰ سال پیش تشکیل بدهد!

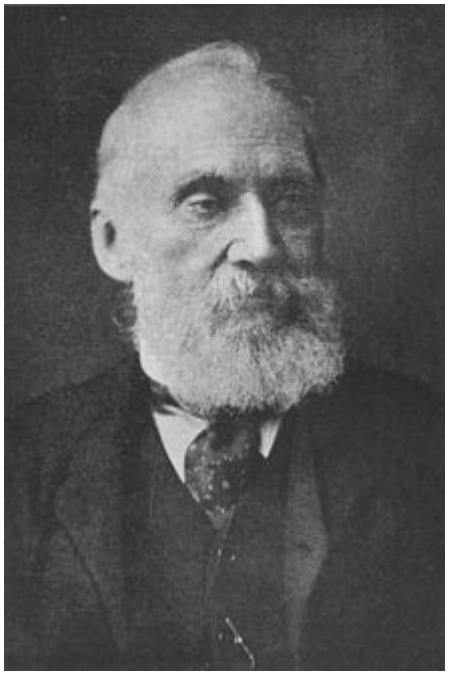
# لایه‌های رسوبی و ارتباط آن با زمان

زمین‌شناسان لایه‌های رسوبی را به زمان تشکیل آنها مرتبط می‌دانند. لایه‌های زیرین قدیمی‌تر از لایه‌های بالاتر هستند و هر چه ضخامت لایه‌های رسوبی بیشتر باشد یعنی زمان بیشتری می‌برد که آنها تشکیل بشوند. تصویر بالا لایه‌های رسوبی تقریبا افقی در ۶۰ کیلومتری جاده اتوبان زنجان-تبریز را نشان می‌دهد.

# سن زمین خیلی زیاد است!

- در قرن ۱۸ بر اساس عقاید مذهبی–مسیحی سن زمین را برابر با قدمت تمدن که بر اساس نوشته‌های انجیل مسیحیان ۵۷۰۰ سال محاسبه شده بود می‌دانستند.
- هاتون زمین‌شناس معروف قرن ۱۸ بر این عقیده بود که با مطالعه لایه‌های رسوبی هیچ آغاز یا پایانی قابل تشخیص نیست و تنها تکرار بی‌نهایت فرآیندهای فرسایش و رسوبگذاری را می‌توان مشاهده کرد. بنابراین نمی‌توان سنی برای زمین در این حالت متصور بود بجز اینکه بگوییم تا بوده همین بوده! یا سن زمین بی‌نهایت است!
- لایل زمین‌شناس معروف قرن ۱۹ بر این عقیده بود که با در نظر گرفتن سرعت بسیار کم رسوبگذاری و ثابت بودن نسبی آن در طول زمان، زمان بسیار بیشتری از ۵۷۰۰ سال برای تشکیل لایه‌های رسوبی که گاهاً ضخامتشان به بیش از ۱۵ کیلومتر می‌رسد نیاز است.

# لرد کلوین: سن زمین ۱۰۰ میلیون سال است!



لرد کلوین

- لرد کلوین دانشمند معروف انگلیسی بر اساس اصل افزایش آنتروپی بی‌نهایت بودن سن زمین را مردود دانست. بی‌نهایت بودن سن زمین بر اساس پایستاری فرآیندهای زمین‌شناسی توسط هاتون مطرح شده بود. در سال ۱۸۶۲ لرد کلوین سن زمین را تقریبا ۱۰۰ میلیون سال تعیین کرد. او سن زمین را با فرض اینکه زمین در ابتدای آفرینش کاملا ذوب بوده (درجه حرارت اولیه چند هزار درجه داشته است) و فقط توانسته از طریق هدایت گرمایی به سطح سرد شود محاسبه کرد. محاسبه او بر مبنای حل معادله هدایت گرمایی در جامدات و با فرض معلوم بودن درجه حرارت اولیه زمین و مقدار کنونی سرعت خنک شدن زمین در سطح (شار گرمایی در سطح) بود. سرعت خنک شدن زمین در سطح با اندازه‌گیری شیب گرمایی در چاه‌ها و یا معادن و ضرب آن در ضریب هدایت گرمایی بدست می‌آید.
- از آنجائیکه لرد کلوین مرد مذهبی بود سعی کرد که با وارد کردن عدم قطعیت‌ها در پارامترهای هدایت گرمایی و دمای اولیه زمین، سن زمین را کمتر کند، ولی هر چه کرد حتی بر اساس خوش‌بینانه‌ترین محاسباتش سن زمین کمتر از ۲۰ میلیون سال نشد!
- در زمان لرد کلوین زمین‌شناسان سن زمین را حداقل ۵۰۰ میلیون سال می‌دانستند. سن محاسبه شده بر اساس حداکثر ضخامت مشاهده شده لایه‌های رسوبی و سرعت متوسط رسوب‌گذاری بود. سن کم زمین در تناقض با نظریه تکامل داروین است. نظریه انتخاب طبیعی داروین نمی‌تواند در زمان کم تنوع و تحول گونه‌های جانوری و گیاهی را توضیح بدهد.

# سن زمین ۴/۵ میلیارد سال است !

- در ابتدای قرن بیستم با استفاده از تکنیک جدید سن‌سنجی رادیواکتیو، سن زمین ۴/۵ میلیارد سال تعیین شد. این سن بسیار بیشتر از سن مذهبی ۵۷۰۰ ساله و یا ۱۰۰ میلیون ساله لرد کلوین است، ولی هنوز مقداری محدودی دارد.
- سن زمین، سن قدیمی‌ترین سنگی است که تا بحال پیدا شده است. سن‌سنجی رادیواکتیو یک سنگ میسر است چون سرعت تخریب مواد رادیواکتیو در همه شرایط محیطی ثابت است و عناصر رادیواکتیو دارای نیمه عمر ثابتی هستند. نیمه عمر یک عنصر رادیواکتیو زمانی است که غلظت اولیه عنصر رادیواکتیو به نصف مقدار اولیه خود برسد. برای محاسبه سن یک سنگ یک کانی مقاوم در سنگ مورد نظر (معمولا کانی زیرکون) پیدا می‌کنند که از زمان تشکیل تا به‌حال با محیط اطراف خود به هیچ عنوان تبادل ماده نداشته باشد. بعد از استخراج کانی‌های مقاوم غلظت عناصر رادیواکتیو مادر و عناصری که از تجزیه آنها حاصل شده‌اند(عناصر دختر) اندازه‌گیری می‌شود. با در دست داشتن غلظت عناصر مادر و دختر و نیمه عمر عناصر رادیواکتیو مادر، محاسبه سن سنگ مورد نظر به راحتی قابل انجام است.

# چرا لرد کلوین اینقدر اشتباه کرد؟

- لرد کلوین در محاسبات خود به اشتباه فرض کرده بود که تنها منبع گرمایی زمین، گرمای درونی آن است که از زمان تشکیل زمین در درون زمین ذخیره شده است. چندی بعد از ارایه نظریه‌اش، عناصر رادیواکتیو کشف شدند و مشخص شد که از تجزیه این عناصر گرما تولید می‌شود. بعدها مشخص شد که پوسته زمین دارای مقادیر قابل‌توجهی عناصر رادیواکتیو است بطوریکه نیمی از شار گرمایی در سطح زمین ناشی از تخریب عناصر رادیواکتیو است!
- لرد کلوین در محاسبات خود فرض کرده بود که انتقال گرما تنها از طریق هدایت گرمایی است. به عبارتی او فرض کرده بود که زمین کاملا یک جسم جامد و یا بی‌تحرک است که انتقال حرارت در آن مشابه انتقال حرارت در جامدات است. بعدها مشخص شد که جبه زمین دارای یک جریان همرفتی است که انتقال گرمایی به مراتب موثرتر از هدایت گرمایی را فراهم می‌کند.
- دو اشتباه بالا باعث شد شار گرمایی اندازه‌گیری شده در سطح بسیار بیشتر از مقداری که زمین فرضی کلوین دارد باشد و لاجرم باعث محاسبه اشتباه سن زمین گردد. به عبارتی اگر زمین بدون عناصر رادیواکتیو و بدون هیچ جریان همرفتی بودِ، شار گرمایی در سطح آن بسیار کمتر از آنچه ما امروز مشاهده می‌کنیم بود.

# اقیانوس‌ها مسن‌تر و پوسته آنها سردتر هستند!

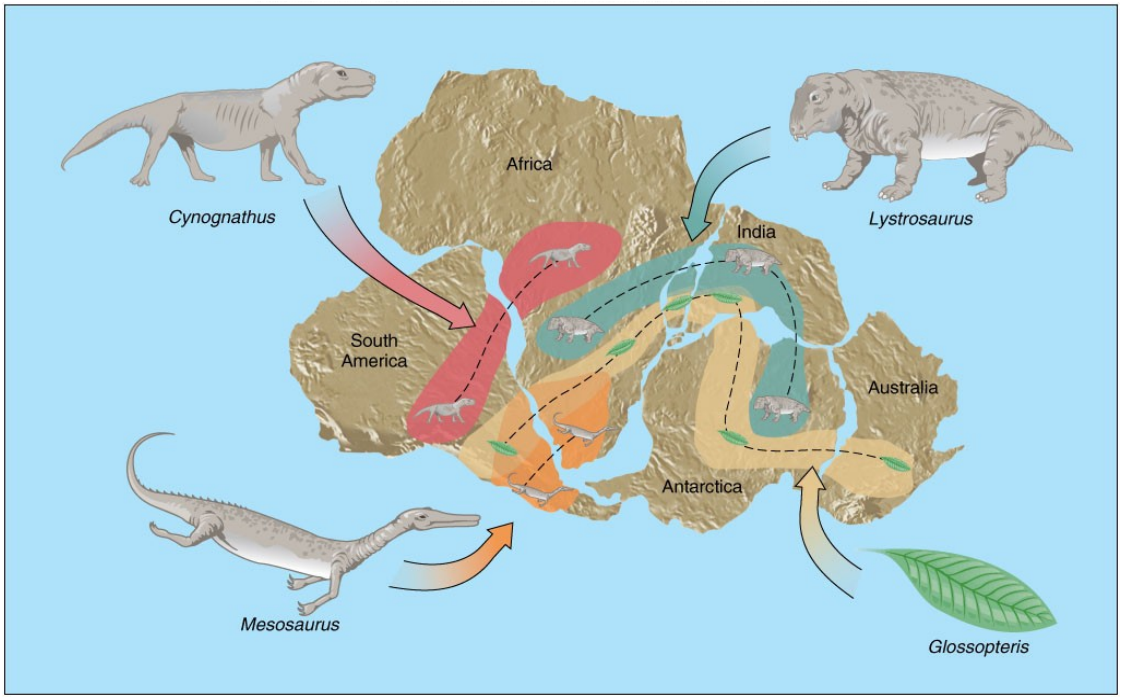
- پیش از اینکه وگنر نظریه اشتقاق قاره‌های خود را بیان کند، زمین‌شناسان به یک توافق عمومی در مورد سن زمین رسیده بودند و همه قبول داشتند که سن زمین بسیار زیاد است و اکثر پدیده‌های زمین‌شناسی با سرعت بسیار کمی در حال انجام شدن هستند. هرچندکه هنوز چرایی وجود قاره‌ها، اقیانوس‌ها و کوه‌ها مشخص نبود. تعداد زیادی از زمین‌شناسان بر اساس تئوری انقباض اقیانوس ها را مسن‌تر از قاره‌ها می‌دانستند. بر مبنای تئوری انقباض، زمین در حال سرد شدن و انقباض است. انقباض زمین منجر به چین‌خوردن پوسته و بوجود آمدن کوه‌ها می‌گردد. اقیانوس‌ها به علت عمق بیشترشان باید بیشتر از قاره‌ها خنک شده باشند و لاجرم دارای سن بیشتری هستند. عده کمتری از زمین‌شناسان پیرو نظریه انبساط زمین بودند و می‌گفتند زمین در حال گرم شدن و انبساط است. بر اساس این نظریه کوه‌ها در اثر گرم‌شدن زمین و انبساط آن بوجود آمده‌اند و لاجرم اقیانوس ها مناطق بسیار سرد زمین هستند. هر دو نظریه انقباض و انبساط زمین، اقیانوس‌ها را داری یک پوسته سرد می‌دانستند!

# آلفرد وگنر: تئوری اشتقاق قاره‌ها

آلفرد وگنر هواشناس آلمانی در سال ۱۹۱۲ میلادی تئوری اشتقاق قاره‌ها را ارایه داد. او مشاهده کرد که لبه قاره‌ها به خوبی به مانند قطعات یک پازل به هم جفت می‌شوند (شکل اسلاید بعد) و این تصور را ارایه داد که قاره‌های کنونی از اشتقاق یک قاره بزرگتر (پانجه آ) منتج شده‌اند. وگنر برای اثبات نظریه خود شواهد زیادی را ارایه داد. او نشان داد که لبه قاره‌هایی که به هم جفت می‌شوند دارای زمین‌شناسی مشابه‌ای هستند، بطوریکه دنباله فراوانی مکانی گونه‌های فسیل‌های گیاهی و جانوری، لایه‌های ذغال‌سنگ و رسوبات زمین‌شناسی در یک قاره را می‌توان در قاره‌های جفت شونده دنبال کرد (اسلاید بعد).

آلفرد وگنر مبدع نظریه اشتقاق قاره‌ها (۱۸۸۰–۱۹۳۰ میلادی).

# پراکندگی مکانی فسیل‌ها و نظریه اشتقاق قاره‌ها




شکل بالا جفت‌شدگی لبه‌های قاره‌ها را نشان می‌دهد. باندهای رنگی در شکل بالا معرف محدوده‌های جغرافیایی است که یک فسیل خاص تا بحال مشاهده شده است. به عنوان مثال محدوده جغرافیایی که فسیل لیست روساروس (Lystrosaurus) در آن پیدا شده شامل قسمت‌هایی از قاره‌های آفریقا، هند و قطب جنوب می‌شود. وجود دایناسور لیست روساروس در قطب جنوب قابل توجیه نیست چون این جانور در مناطق گرم می‌زیسته است. بنابر این قطب جنوب در گذشته باید درمدارهای جغرافیایی کمتر جایی که هوا گرم‌تر است بوده باشد. همچنین دایناسور مذکور قدرت شنا کردن نداشته و لاجرم در دورانی که گونه این جانور در حال زندگی کردن بوده است قاره‌های آفریقا، هند و قطب جنوب باید به هم متصل بوده باشند.

عبدالرضا قدس

# ضعف کشنده تئوری اشتقاق قاره‌ها !

- تئوری اشتقاق قاره‌ها نه تنها مورد استقبال جامعه علمی زمان وگنر قرار نگرفت بلکه به شدت مورد انتقاد هم قرار گرفت. دامنه این انتقادها بقدری بالا بود که وگنر با مشکلات جدی در پیدا کردن کار مواجه شد.
- انتقاد اصلی منتقدان نظریه اشتقاق قاره‌ها این بود که منشاء نیروی اشتقاق قاره‌ها چیست؟ آقای وگنر نتوانست جواب قانع‌کننده‌ای به سئوال منتقدان بدهد و نظریه او با مرگش در سال ۱۹۳۰ و وقوع جنگ جهانی دوم برای مدتی به فراموشی سپرده شد.
- وگنر منشاء نیروهای محرک اشتقاق قاره‌ها را نیروهای ناشی از جذر و مد می‌دانست. آقای هارولد جفری، ژئوفیزیکدان معروف انگلیسی، با محاسبات خود بدرستی نشان داد که نیروهای ناشی از جزر و مد بسیار کمتر از آن است که بتواند قاره‌ها را از جایش تکان دهد. او همچنین ثابت کرد که اصولا نمی‌توان توده‌های بزرگ جرم به اندازه قاره‌ها را بدون اینکه شکسته شوند بر روی کف اقیانوس‌ها کشاند!

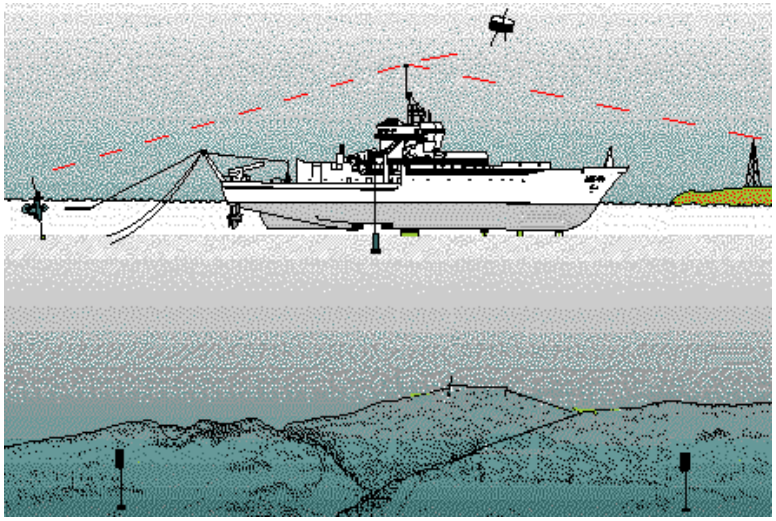
# یافته‌های جدید علمی و دوباره مطرح شدن نظریه اشتقاق قاره‌ها

- جنگ جهانی دوم منجر به پیشرفت‌های مهمی در نقشه‌برداری گسترده و دقیق عمق کف اقیانوس‌ها گردید. نقشه‌برداری دقیق کف دریاها منجر به کشف رشته‌کوه‌های میان‌اقیانوسی و گودال‌های اقیانوسی گردید. این یافته‌های جدید به طور کامل در تناقض با نظریه‌های مطرح انقباض و انبساط زمین بود. بر اساس این نظریه‌های قدیمی اقیانوس‌ها دارای پوسته سردی هستند و هر چه به وسط آنها برویم باید قدیمی‌تر، سردتر و عمیق‌تر شوند.
- در حین جنگ جهانی دوم جهت کشف زیردریایی‌ها، عملکرد دستگاه‌های مغناطیس‌سنجی بسیار بهبود یافت. دستگاه‌های جدید تماما الکترونیکی بودند و هیچ قطعه مکانیکی نداشتند بطوریکه براحتی بر روی زمین، آب و هوا قابل استفاده بودند. این پیشرفت عمده باعث شد که مغناطیس‌سنجی کف اقیانوس‌ها بعد از جنگ‌جهانی دوم میسر شود. نقشه‌های جدید مغناطیس‌سنجی منجر به ارایه نظریه گسترش کف اقیانوس‌ها گردید. اثبات گسترش کف اقیانوس‌ها نیروی محرکه‌ی لازم برای جابجایی قاره‌ها را توضیح داد و منجر به اثبات نظریه اشتقاق قاره‌های وگنر گردید.

# یافته‌های جدید علمی و اشتقاق قاره‌ها (ادامه)

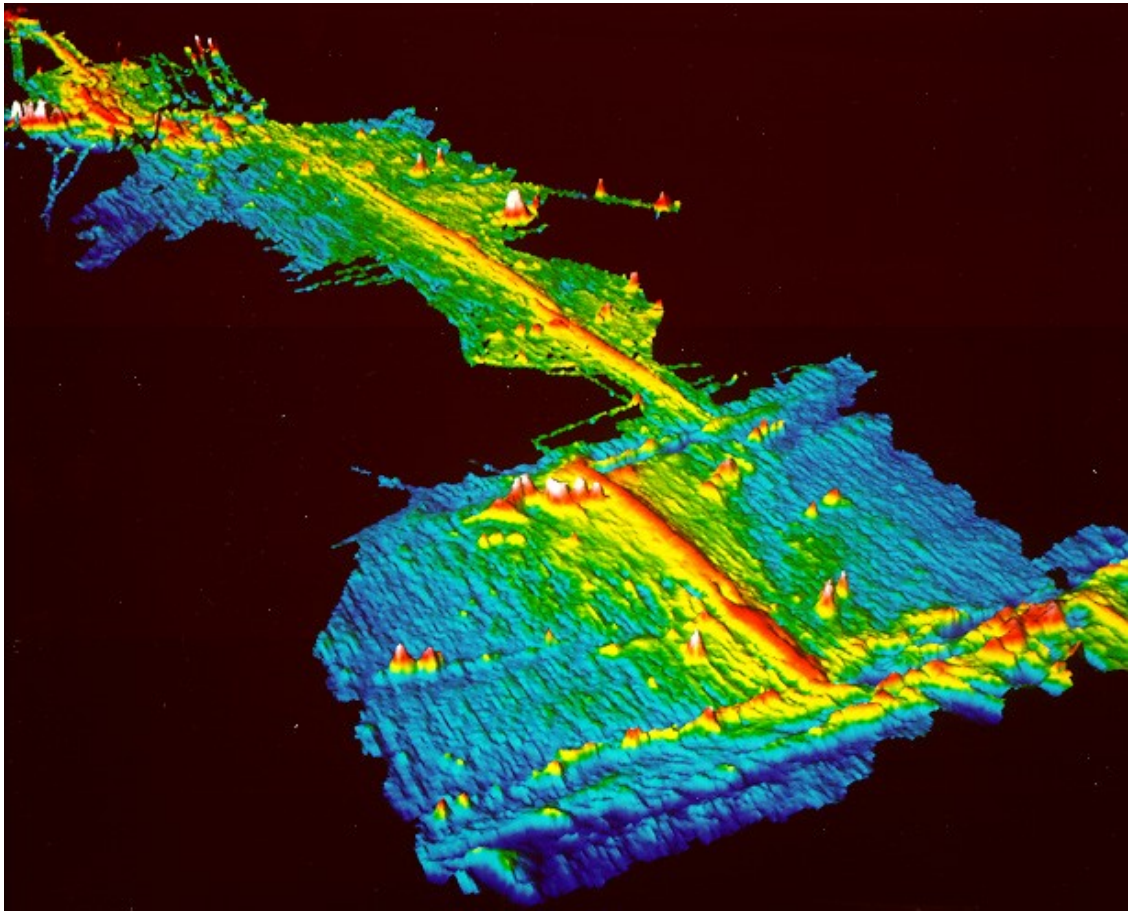
- اختراع بمب اتم در پایان جنگ‌جهانی دوم منجر به آغاز مسابقه تسلیحات اتمی بین دو ابرقدرت آمریکا و اتحاد جماهیر شوروی شد. ابرقدرت‌ها شبکه‌های زلزله‌شناسی را در سطح جهان بطور قابل ملاحظه‌ای گسترش و بهبود دادند تا فعالیت‌های هسته‌ای رقبای خود را زیر نظر بگیرند. البته این شبکه‌های زلزله‌شناسی جهانی، زلزله‌های طبیعی را هم رصد کردند و برای اولین بار نقشه دقیقی از پراکندگی زلزله‌ها در سطح کره زمین فراهم کردند. نقشه پراکندگی سطحی زلزله‌ها نشان داد که زلزله‌ها تنها در امتداد کمربندهای نسبتا باریکی اتفاق می‌افتند. این مشاهده به همراه دیگر مشاهدات زمین‌شناسی منجر به ارایه نظریه تکتونیک صفحه‌ای گردید. نقشه پراکندگی زلزله‌ها در تعیین مرزهای صفحات زمین مورد استفاده قرار گرفت و به این ترتیب نقش بسیار مهمی در تکمیل نظریه تکتونیک صفحه‌ای ایفا کرد.

# نقشه‌برداری کف اقیانوس‌ها با روش‌های جدید



در جریان جنگ جهانی دوم تکنولوژی سونار اختراع شد. سونار جهت خنثی کردن حملات موثر زیردریایی‌های آلمانی به ناوها و کشتی‌ها ابداع شد. برای عمق‌سنجی با سونار یک فرستنده امواج صوتی را به صورت منقطع و با زاویه خاصی به درون آب می‌فرستد. امواج بعد از برخورد به کف دریا به سطح رسیده و توسط یک گیرنده امواج صوتی ثبت می‌شوند. با اندازه‌گیری زمان رفت و برگشت امواج صوتی و با دانستن سرعت تقریبی امواج صوتی در آب دریا، می‌توان به سادگی عمق کف دریا را محاسبه کرد. با تکنولوژی سونار می‌توان سطح وسیعی از کف دریا را با سرعت نسبتا زیادی نقشه‌برداری کرد.

# رشته‌کوه‌های میان اقیانوسی

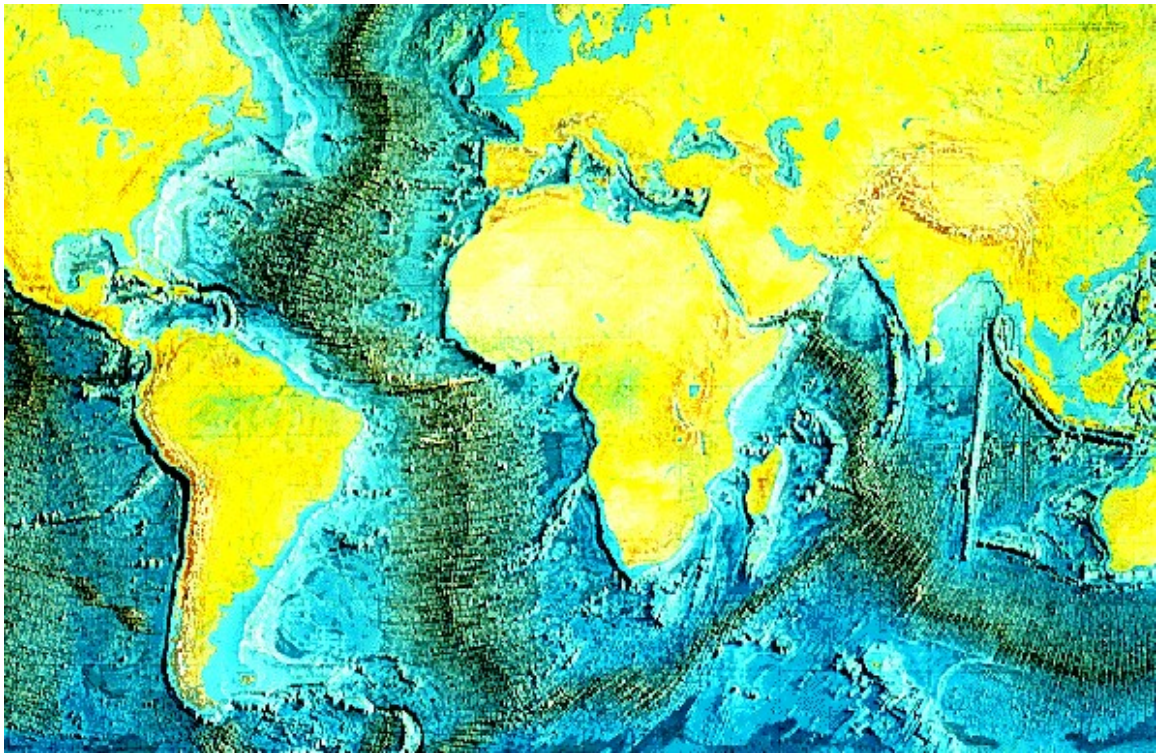


شکل مقابل قطعه‌ای ۱۰۰۰ کیلومتری از رشته‌کوه‌های اقیانوسی در شرق اقیانوس اطلس را نشان می‌دهد. مناطق کم عمق‌تر با رنگ قرمز مشخص شده است. بطور متوسط عمق رشته‌کوه‌های میان‌اقیانوسی دوکیلومتر است. این در حالی است که عمق متوسط اقیانوس‌ها ۵ کیلومتر است. رشته‌کوه‌های میان‌اقیانوسی در بعضی از نقاط مانند جزیره ایسلند به سطح هم می‌رسند.

در شکل مقابل رشته‌کوه‌های میان اقیانوسی بصورت رشته‌کوه‌های کاملا خطی که دارای عرض تقریبا ده کیلومتری هستند دیده می‌شود. عرض رشته‌کوه‌های میان‌اقیانوسی بسیار کمتر از عرض رشته‌کوه‌های قاره‌ای که گاها به بیش از چندصد کیلومتر می‌رسد است.

کشف رشته‌کوه‌های میان‌اقیانوسی منجر به باطل شدن نظریه‌های قدیمی انقباض و انبساط زمین شد. قبل از کشف رشته‌کوه‌های میان‌اقیانوسی ۶۵۰۰۰ کیلومتری، نظریه‌های قدیمی اقیانوس ها را دارای پوسته بسیار قدیمی می‌دانستند. وجود رشته‌کوه‌های نسبتا مرتفع میان‌اقیانوسی، منشاء آتشفشانی و فعالیت آتشفشانی اخیر آنها و همچنین ضخامت بسیار کم رسوبات آنها دلایل محکمی برای اثبات جوان بودن پوسته اقیانوسی هستند.

# نقشه عمق کف دریا با استفاده از ماهواره‌ها

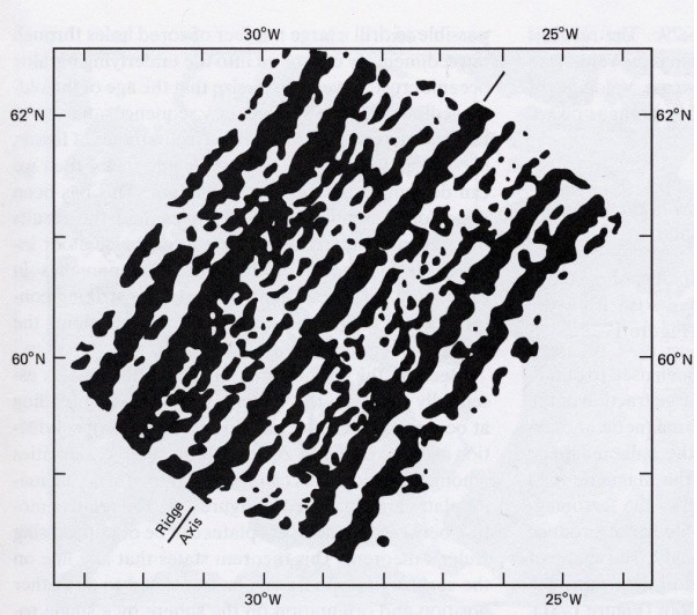


ماهواره‌های آلتی‌متری (ارتفاع‌سنجی) امکان سنجش ارتفاع سطح ژئویید یا همان ارتفاع سطح آب دریاهای آزاد را در سطح وسیعی بوجود آورد. با استفاده از نقشه تغییرات مشاهده شده سطح ژئویید و اعمال یک سری مدل‌سازی‌های فیزیکی عمق کف دریا با یک دقت قابل قبول برای تمام اقیانوس‌ها محاسبه شد (شکل بالا). ماهواره‌های آلتی‌متری با ارسال امواج رادار به سطح آب دریا و محاسبه زمان رفت و برگشت این امواج، ارتفاع سطح دریا را محاسبه می‌کنند. شکل بالا به روشنی رشته‌کوه‌های میان اقیانوسی را در اقیانوس اطلس و هند نشان می‌دهد.

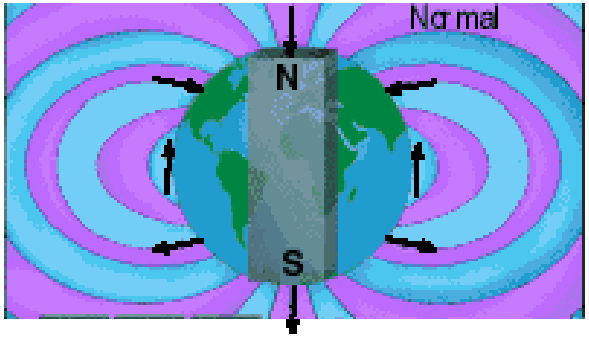
# سئوالات (۱)

- ماهواره‌های آلتی‌متری چگونه عمق دریا را اندازه‌گیری می‌کنند؟
- طول رشته‌کوه‌های میان اقیانوسی در اقیانوس اطلس چندهزار کیلومتر است؟
- آیا رشته‌کوه‌های میان اقیانوسی همواره در میان اقیانوس‌ها قرار دارند؟ اقیانوس‌ها را از این دیدگاه بررسی کنید.
- در شکل اسلاید قبلی بجز رشته‌کوه‌های میان اقیانوسی چه عوارض دیگری در کف اقیانوس‌ها قابل مشاهده است؟
- با استفاده از نرم افزار گوگل‌مپ پنج جزیره که توسط فعالیت‌های آتشفشانی رشته‌کوه‌های میان‌اقیانوسی ایجاد شده‌اند را پیدا کنید.
- با استفاده از نرم‌افزار گوگل‌مپ طول گودال‌های اقیانوسی را محاسبه کنید.

# نوارهای مغناطیسی کف دریا و معکوس شدن قطبین



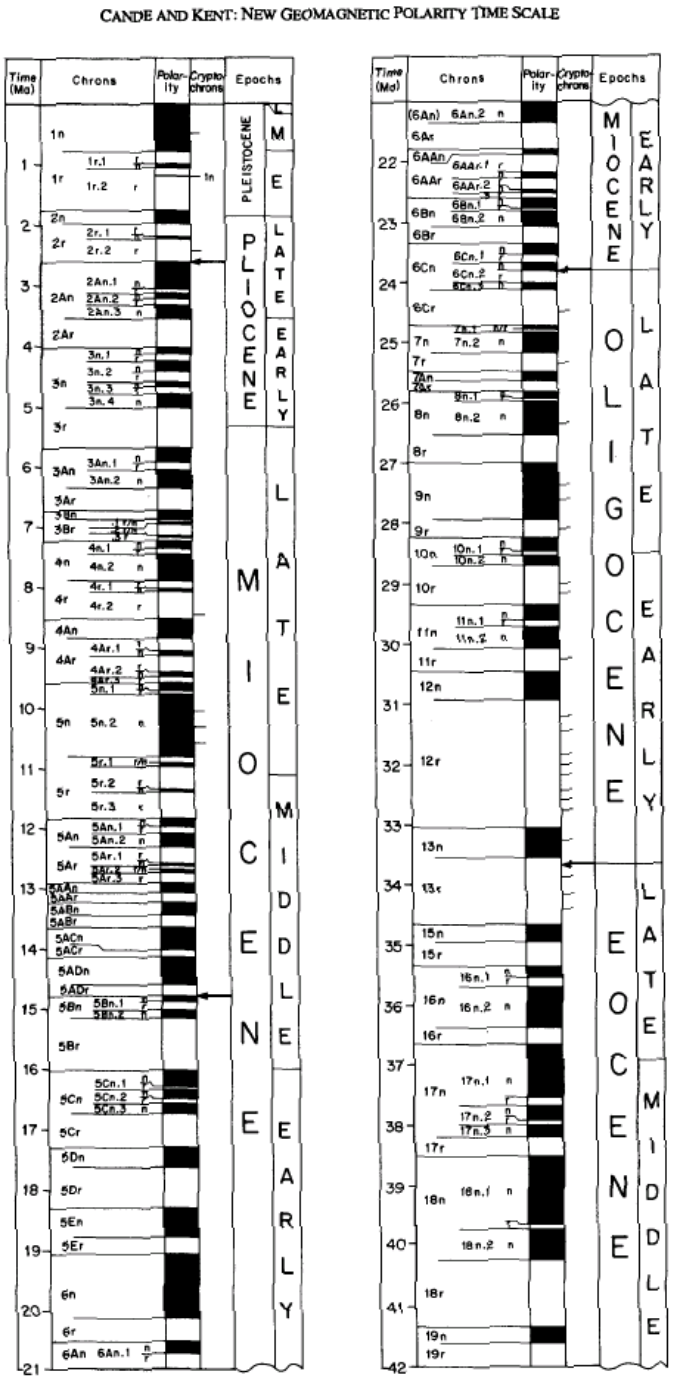

شکل بالا نقشه مغناطیسی قسمتی از رشته‌کوه‌های میان اقیانوسی اقیانوس اطلس را نشان می‌دهد. نقشه تعدادی باند مغناطیسی که حول محور رشته‌کوه میان‌اقیانوسی متقارن هستند را نشان می‌دهد. باندهای سیاه و سفید مناطقی هستند که به ترتیب دارای میدان مغناطیسی موافق و مخالف میدان کنونی زمین هستند. باند مرکزی که در راستای محور رشته کوه است، همواره دارای میدان موافق میدان کنونی زمین است چون این باند توسط فعالیت‌های آتشفشانی بسیار اخیر تشکیل شده است.




میدان مغناطیسی زمین به مانند میدان مغناطیسی یک آهن‌ربای میله‌ای است که در راستای تقریبی خطی که قطب شمال و جنوب جغرافیایی زمین را به هم وصل می‌کند قرار گرفته است (شکل بالا). راستای میدان مغناطیسی زمین به کرات در طول تاریخ زمین‌شناسی معکوس شده است و این وارونگی‌های متواتر توسط پوسته اقیانوسی در حال تشکیل بصورت نوارهای مغناطیسی ثبت گردیده است (شکل مقابل).

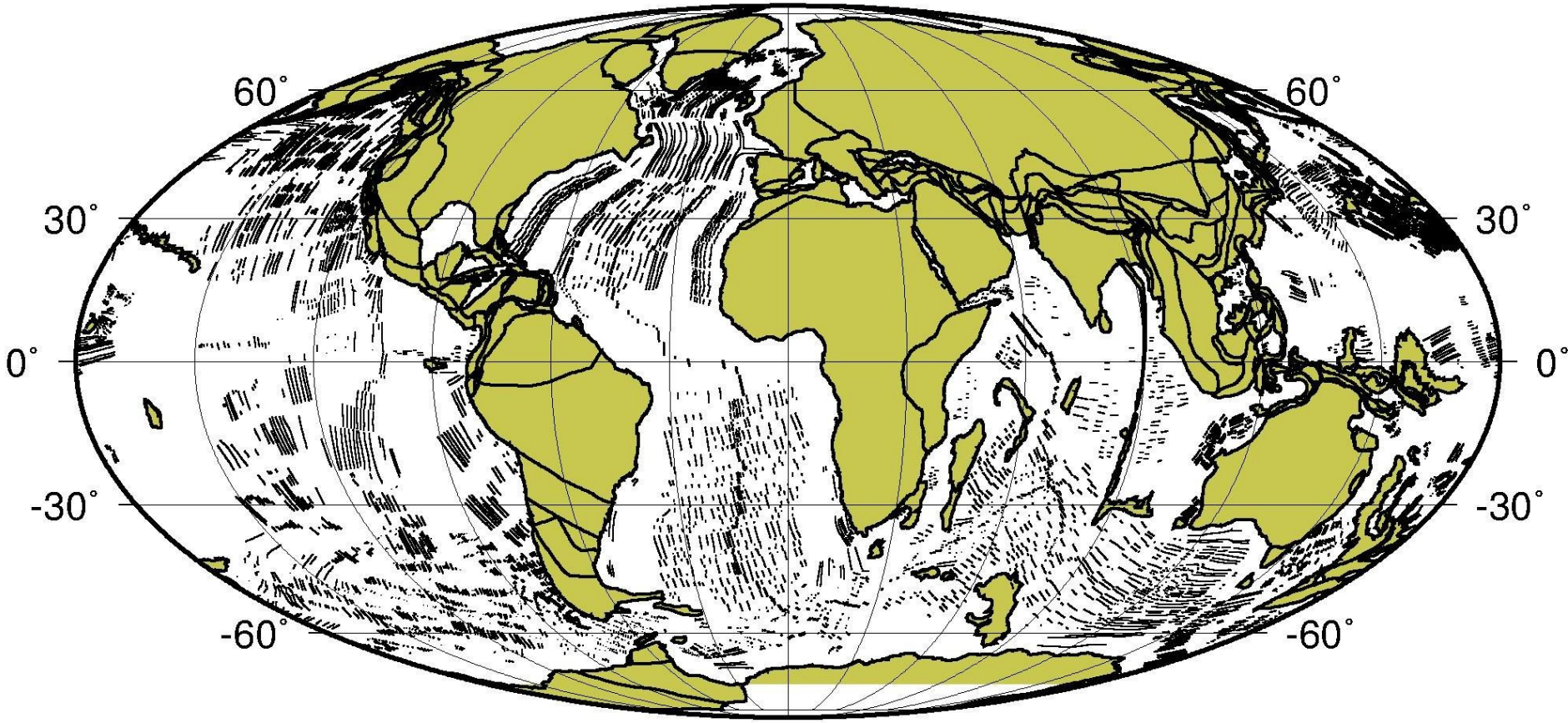
عبدالرضا قدس

# جدول زمانی وارونگی قطبین زمین




- شکل مقابل جدول زمانی وارونگی میدان مغناطیسی زمین را نشان می‌دهد. جهت تهیه جدول مذکور سن و جهت میدان مغناطیسی تعداد زیادی سنگ آتشفشانی از سرتاسر جهان مورد سنجش قرار گرفته است. جدول زمانی نشان می‌دهد که میدان کنونی زمین در ۸۰۰ هزار سال گذشته ثابت بوده است.
- جدول زمانی وارونگی قطبین زمین نشان می‌دهد که تواتر وارونگی میدان مغناطیسی زمین با زمان کاملا متغییر است. علت وارونگی میدان مغناطیسی و عواملی که تواتر وارونگی آنرا کنترل می‌کنند معمای چالش‌انگیزی است که ذهن تعداد زیادی از ژئوفیزیکدانان را به خود مشغول کرده است.
- هر بار که میدان مغناطیسی زمین وارون می‌شود میدان مغناطیسی برای مدت نسبتا کوتاهی صفر می‌شود. از بین رفتن میدان مغناطیسی باعث از بین رفتن سپر مغناطیسی که زمین را در مقابل ذرات باردار مضر خورشید مصون می‌دارد می‌شود. از بین رفتن سپر مغناطیسی زمین می‌تواند باعث از بین رفتن بعضی از گونه‌های گیاهی–جانوری و یا جهش ژنی در موجودات گردد.

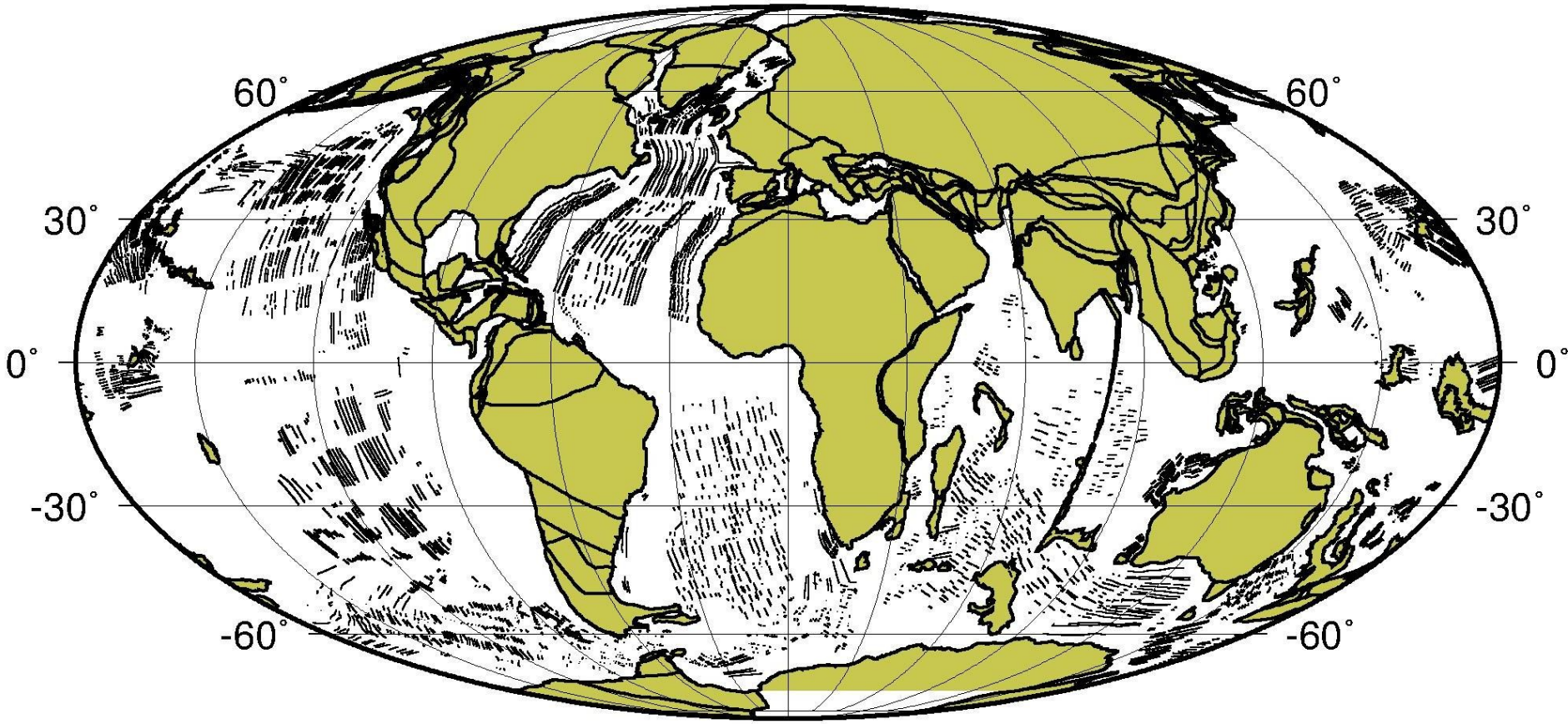
# موقعیت امروزی قاره‌ها




0 Ma Reconstruction

عبدالرضا قدس

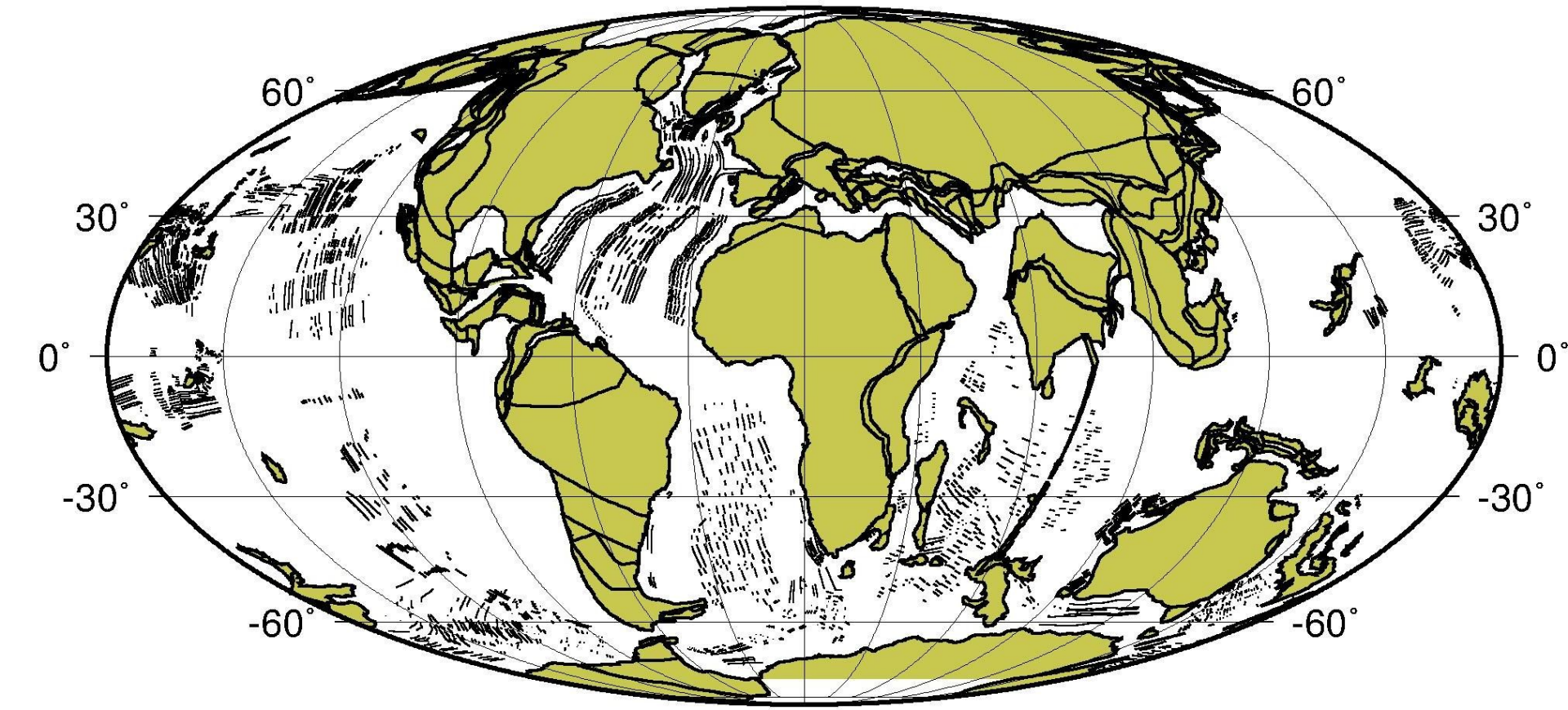
# موقعیت قاره‌ها در ۲۰ میلیون سال گذشته




20 Ma Reconstruction

عبدالرضا قدس

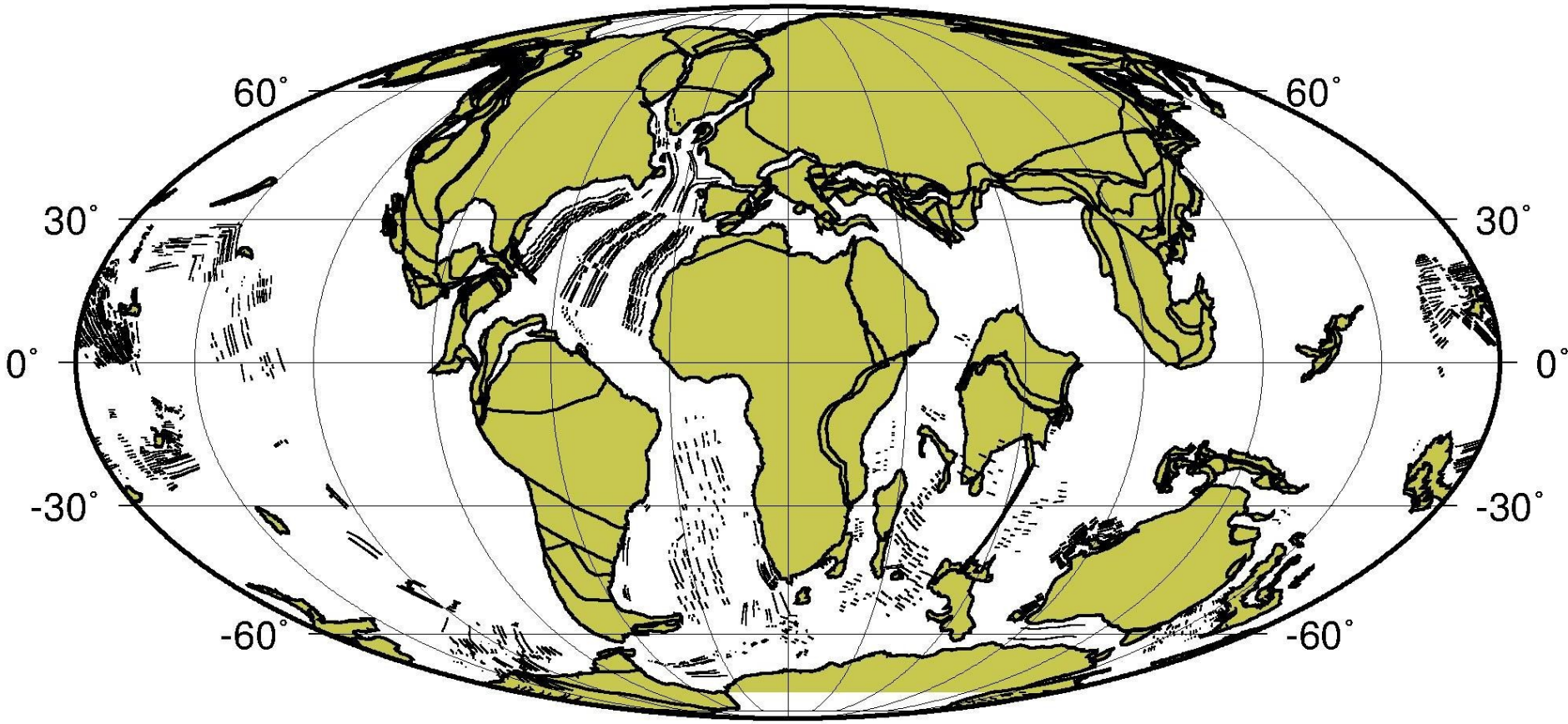
# موقعیت قاره‌ها در ۴۰ میلیون سال گذشته




40 Ma Reconstruction

عبدالرضا قدس

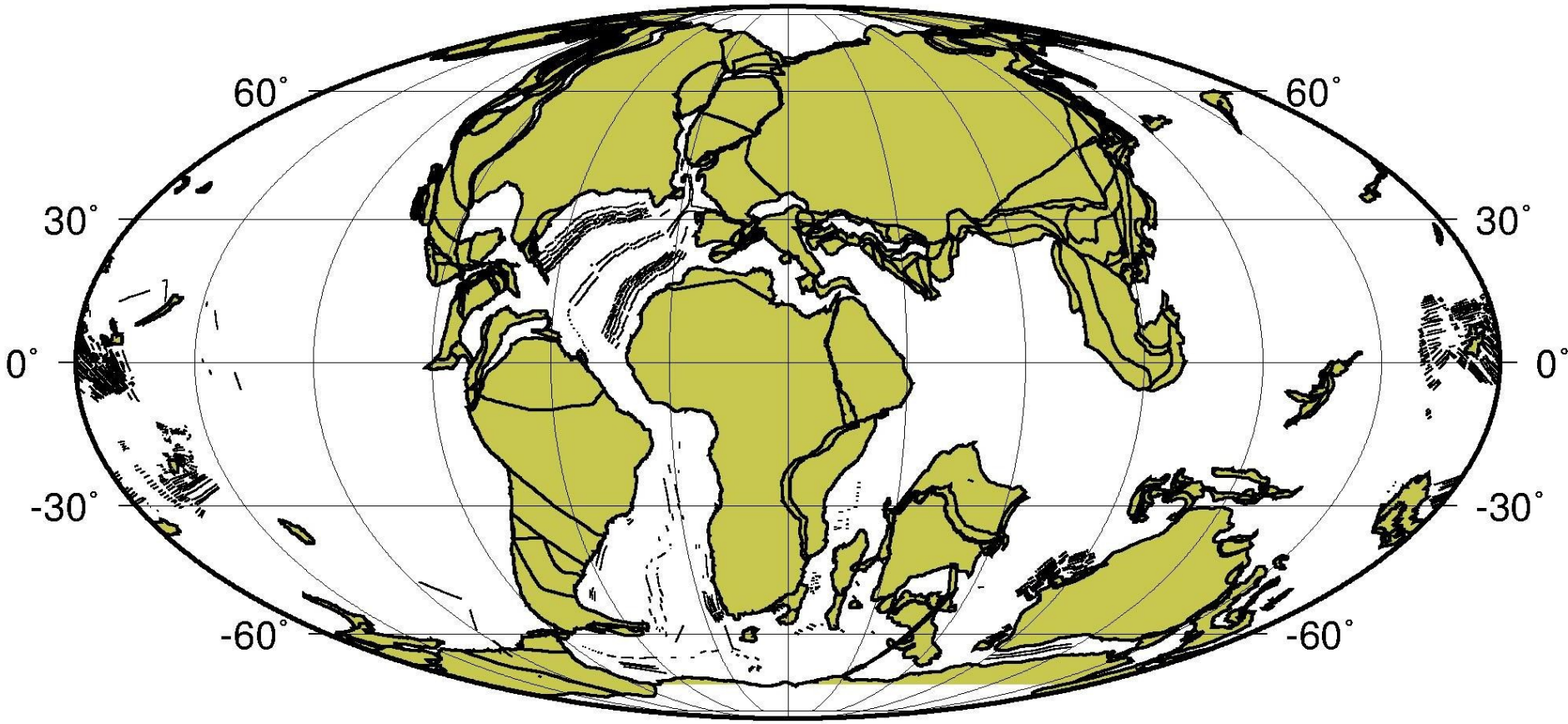
# موقعیت قاره‌ها در ۶۰ میلیون سال گذشته




60 Ma Reconstruction

عبدالرضا قدس

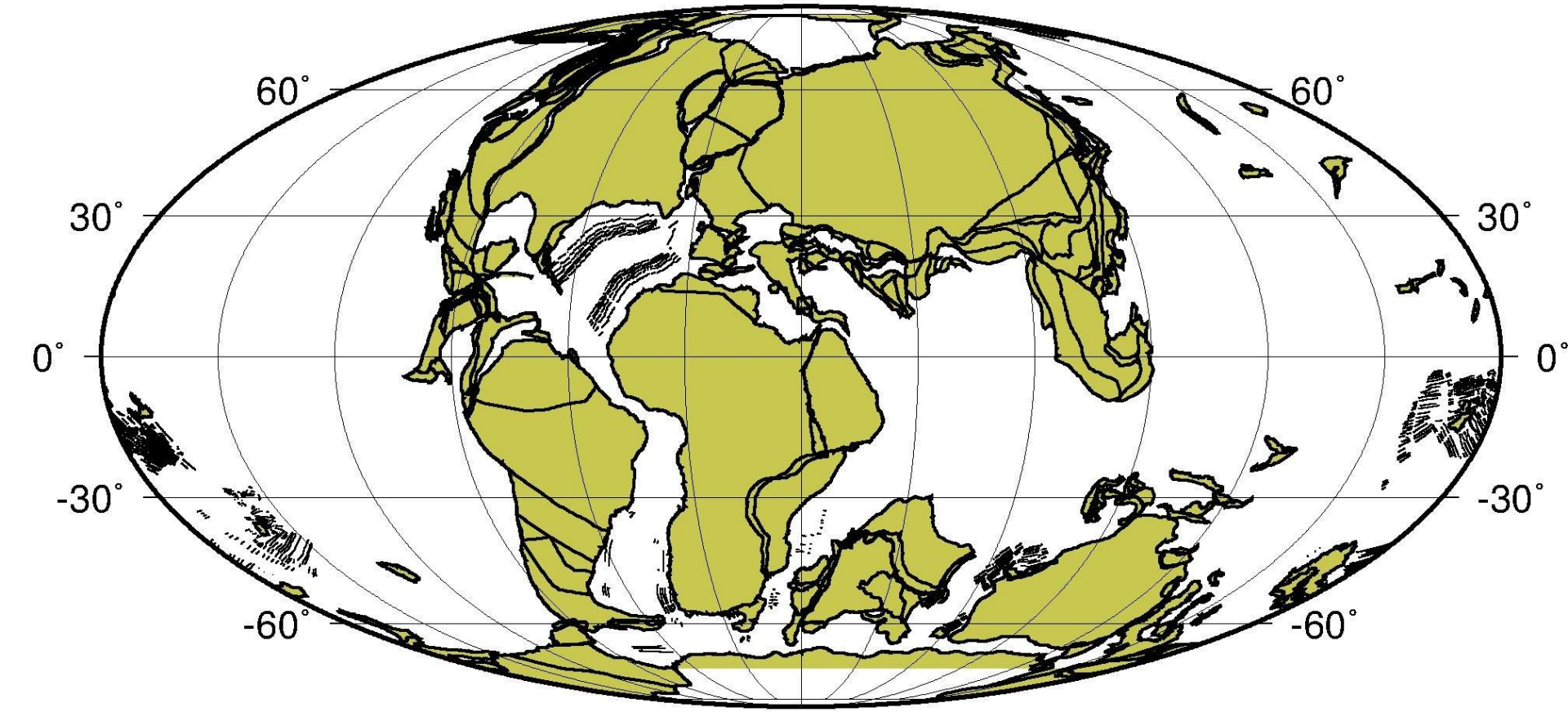
# موقعیت قاره‌ها در ۸۰ میلیون سال گذشته




80 Ma Reconstruction

عبدالرضا قدس

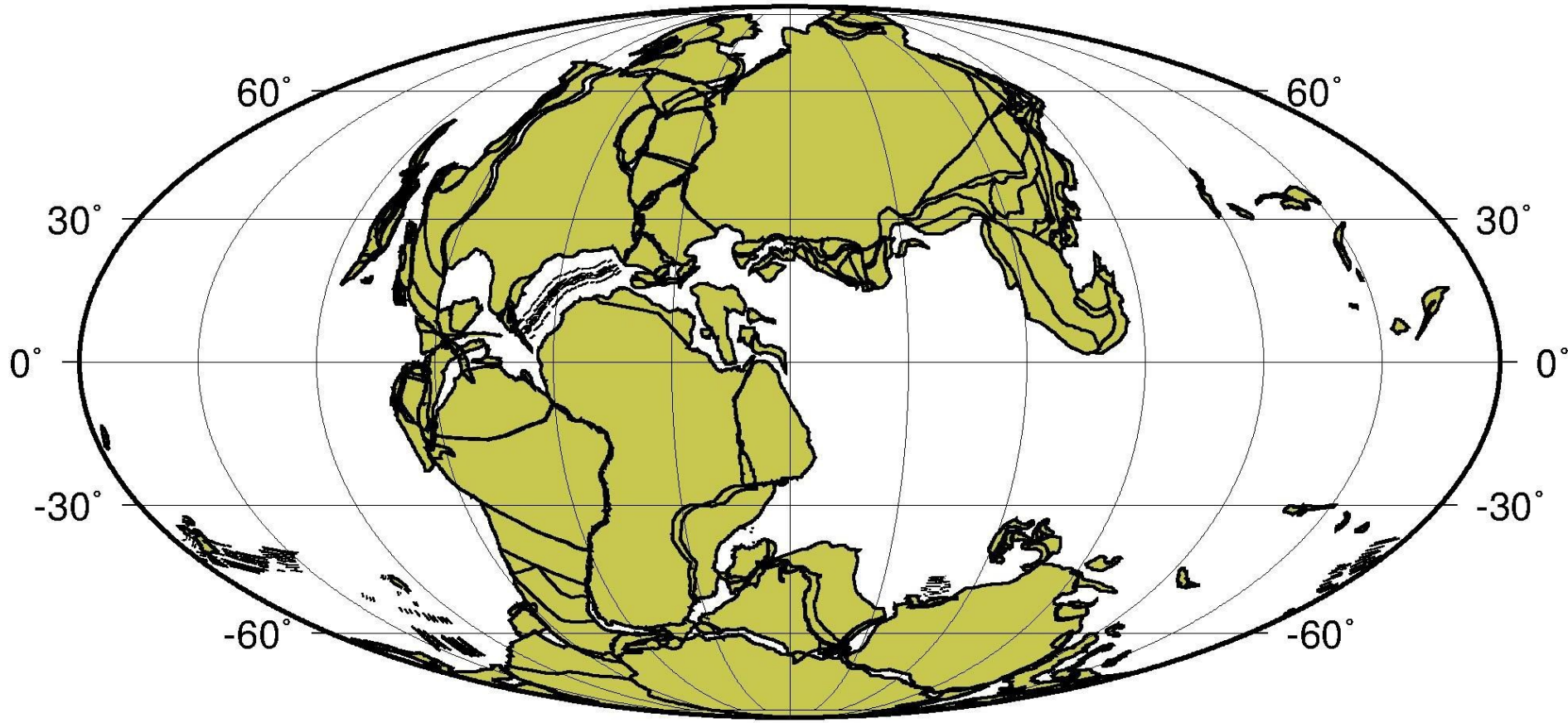
# موقعیت قاره‌ها در ۱۰۰ میلیون سال گذشته




100 Ma Reconstruction

عبدالرضا قدس

# موقعیت قاره‌ها در ۱۴۰ میلیون سال گذشته




140 Ma Reconstruction

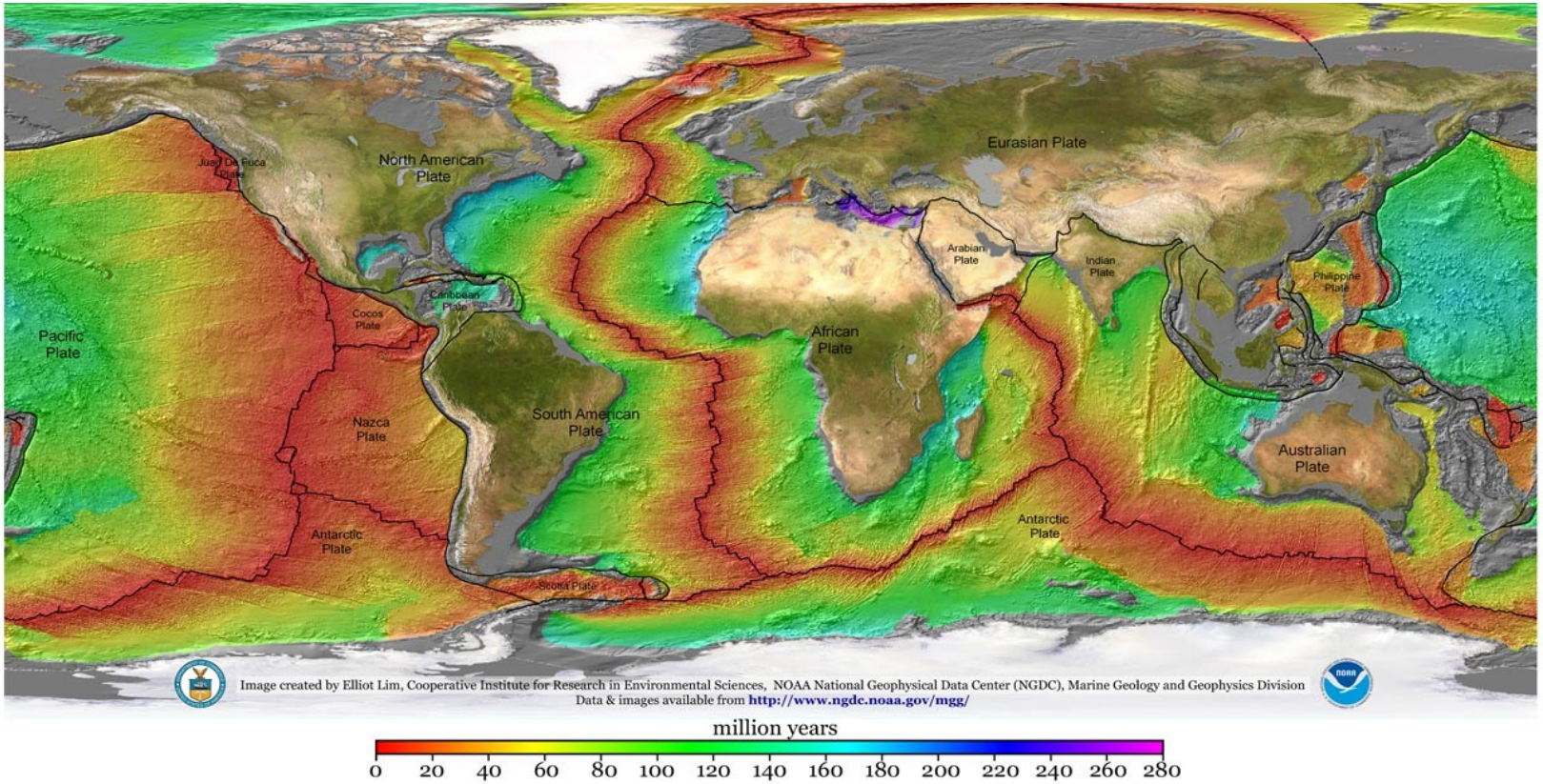
عبدالرضا قدس

# بازسازی موقعیت قاره‌ها در ۱۴۰ میلیون سال گذشته

- در چند اسلاید قبلی موقعیت قاره‌ها را در ۱۴۰ میلیون سال گذشته بازسازی شده است. خطوط درون اقیانوس‌ها نشان‌دهنده مرز باندهای مغناطیسی هستند. اولین نقشه مربوط به زمان صفر یا وضعیت باندهای مغناطیسی در زمان حال است. با استفاده از نقشه باندهای مغناطیسی در زمان حال و با دانستن سن هر باند مغناطیسی می‌توان به سادگی وضعیت قاره‌ها را در زمان‌های قبل بازسازی کرد. به عنوان مثال اگر ما بخواهیم وضعیت قاره‌ها را در بیست میلیون سال قبل بازسازی کنیم ابتدا همه باندهای مغناطیسی که دارای سن بیست میلیون سال و کمتر هستند را از نقشه حذف می‌کنیم. سپس قاره‌ها را طوری جابجا می‌کنیم که فضای خالی بوجود آمده پر بشود.
- سن مسن‌ترین باند مغناطیسی شناخته شده حدود ۱۸۰ میلیون سال است. بنابراین با استفاده از روش بالا بازسازی وضعیت قاره‌ها تا ۱۸۰ میلیون سال پیش به سادگی میسر است. بازسازی موقعیت قاره‌ها در ۱۸۰ میلیون سال گذشته نشان می‌دهد که تمام قاره‌ها به هم وصل بوده‌اند و یک قاره بزرگ به نام پانجه‌آ را تشکیل می‌داده‌اند.
- بازسازی وضعیت قاره‌ها برای زمان‌های قدیمی‌تر از ۱۸۰ میلیون سال قبل باید با روش‌های دیگری به مانند مطالعات مغناطیس‌سنجی دیرینه سنگ‌های خشکی انجام بگیرد. این مطالعات نشان داده است که قاره‌ها در طول دوران‌های قدیمی‌تر از ۱۸۰ میلیون سال قبل ساکن نبوده‌اند و بارها از هم دور و به هم چسبیده‌اند!

عبدالرضا قدس

# سن پوسته اقیانوسی




شکل بالا نقشه سن پوسته اقیانوسی را نشان می‌دهد. رنگ‌ها نشانگر سن پوسته هستند بطوریکه پوسته خیلی جوان با رنگ قرمز نشان داده شده است. خطوط ممتد سیاه داخل اقیانوس‌ها نشان دهنده محور رشته کوه‌های میان اقیانوسی هستند. سن پوسته اقیانوسی در محور رشته کوه میان اقیانوسی صفر است. برای مشخص کردن سن کف اقیانوس‌ها، نوارهای مغناطیسی با جدول زمانی وارونگی قطبین مغناطیسی زمین انطباق داده شده‌اند. شکل بالا به وضوح نشان می‌دهد که سن متوسط میدان مغناطیسی زمین کمتر از ۱۰۰ میلیون سال است. بنابر این سن اقیانوس‌ها که دو سوم کل مساحت زمین را تشکیل می‌دهند به مراتب کمتر از سن قاره‌ها است!

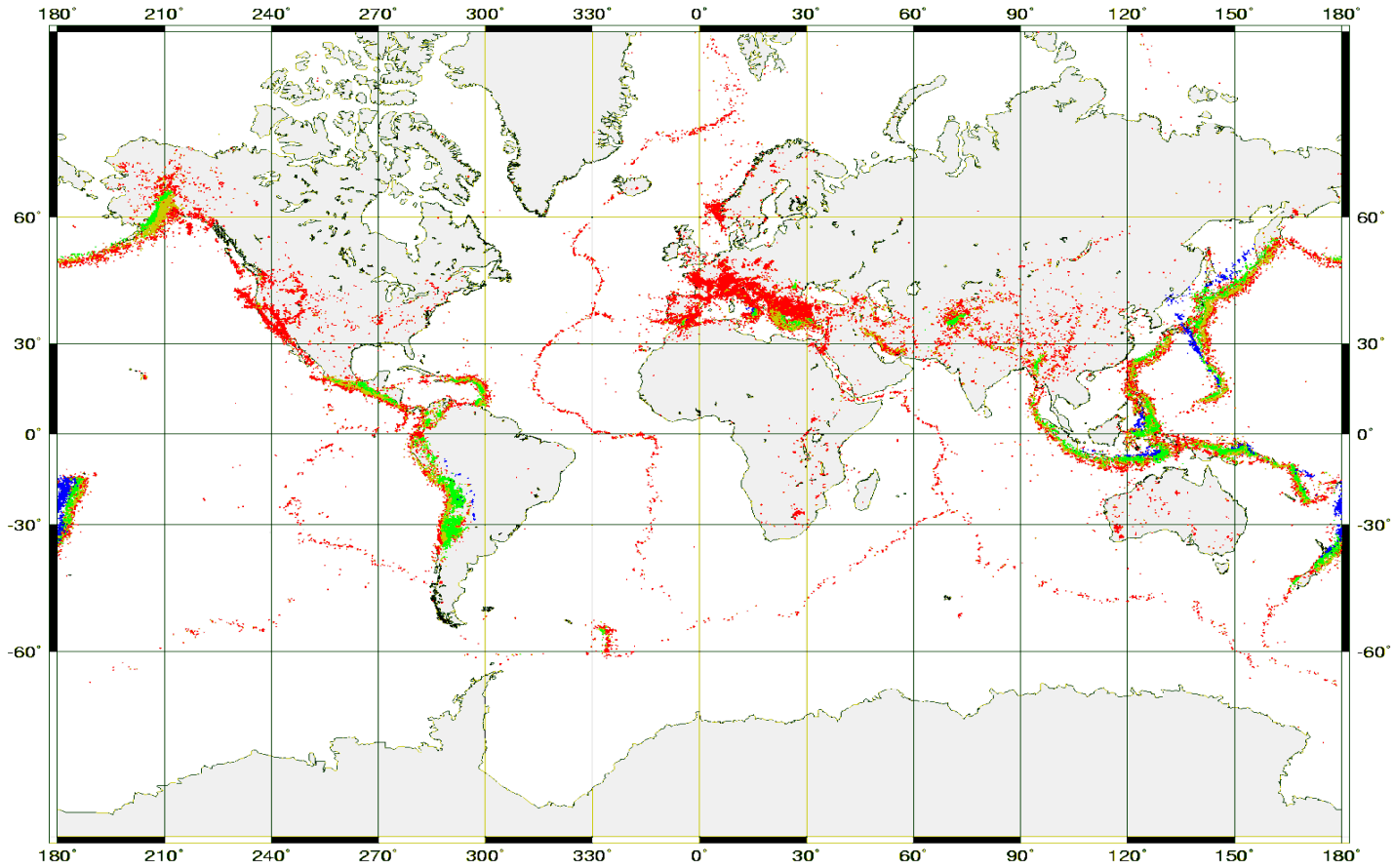
# سرعت گسترش کف اقیانوس‌ها

- برای بدست آوردن سرعت کف اقیانوس‌ها در یک منطقه خاص ما باید بدانیم که یک عرض خاص از پوسته اقیانوسی در چه زمانی تشکیل شده است. به عنوان مثال اگر بخواهیم سرعت متوسط گسترش کف اقیانوس‌ها را در دو میلیون سال گذشته پیدا کنیم باید نوارهای مغناطیسی که دارای سن دو میلیون سال و کمتر هستند را در منطقه مورد مطالعه پیدا کنیم و عرض آنها را اندازه‌گیری کنیم. عرض پوسته اقیانوسی تولید شده باید در جهتی عمود بر رشته‌کوه‌های میان‌اقیانوسی اندازه‌گیری شود. حال با تقسیم عرض بدست آمده بر زمان دو میلیون سال، سرعت متوسط گسترش کف اقیانوس‌ها در دو میلیون سال گذشته بدست می‌آید.
- سرعت گسترش کف اقیانوس‌ها بین ۱۰ الی ۱۰۰ کیلومتر بر میلیون سال و یا ۱ الی ۱۰ سانتیمتر بر سال است. اقیانوس اطلس و آرام به ترتیب دارای کمترین و بیشترین سرعت گسترش کف اقیانوس‌ها هستند.

# سئوالات (۲)

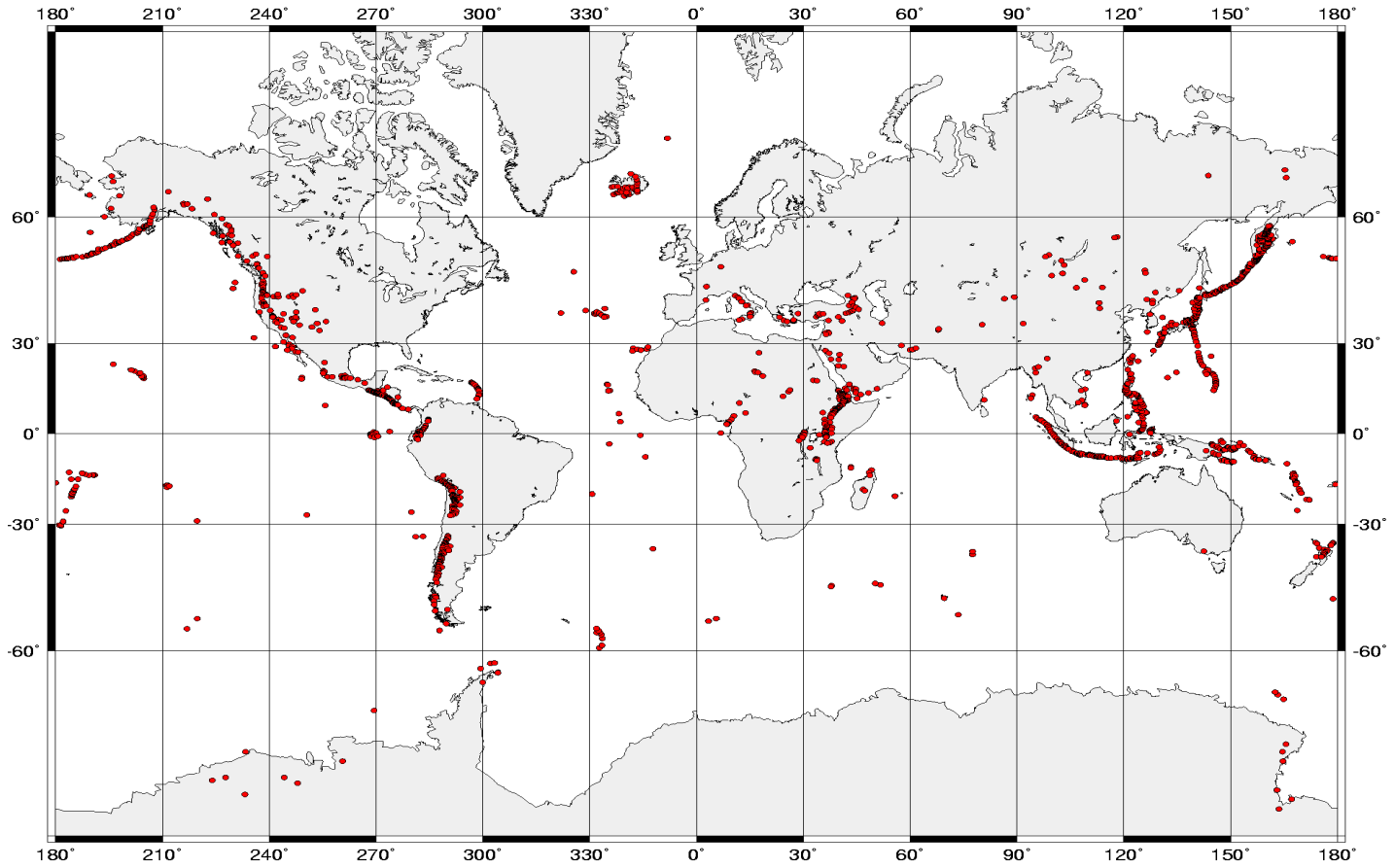
- سرعت متوسط وارونگی قطبین زمین در یک و ۱۰ میلیون سال گذشته چقدر بوده است؟
- چرا مناطق هم‌سن کف‌اقیانوس‌ها در بعضی مناطق عریض‌تر هستند؟
- چگونه می‌توان سرعت گسترش کف اقیانوس‌ها را محاسبه کرد؟
- چرا سن پوسته اقیانوسی بیش از ۱۸۰ میلیون سال نیست و به مراتب کمتر از سن ۴.۵ میلیارد سالی زمین است؟
- چگونه می‌توان وضعیت قاره‌ها را در یک میلیون سال آینده پیش‌بینی کرد؟
- اگر سرعت گسترش کف اقیانوس‌ها به همین ترتیب ادامه پیدا کند، در یک میلیون سال آینده مساحت کدام کشورها کوچکتر و کدام کشورها بزرگتر می‌شوند؟

# کمربندهای زلزله‌خیزی



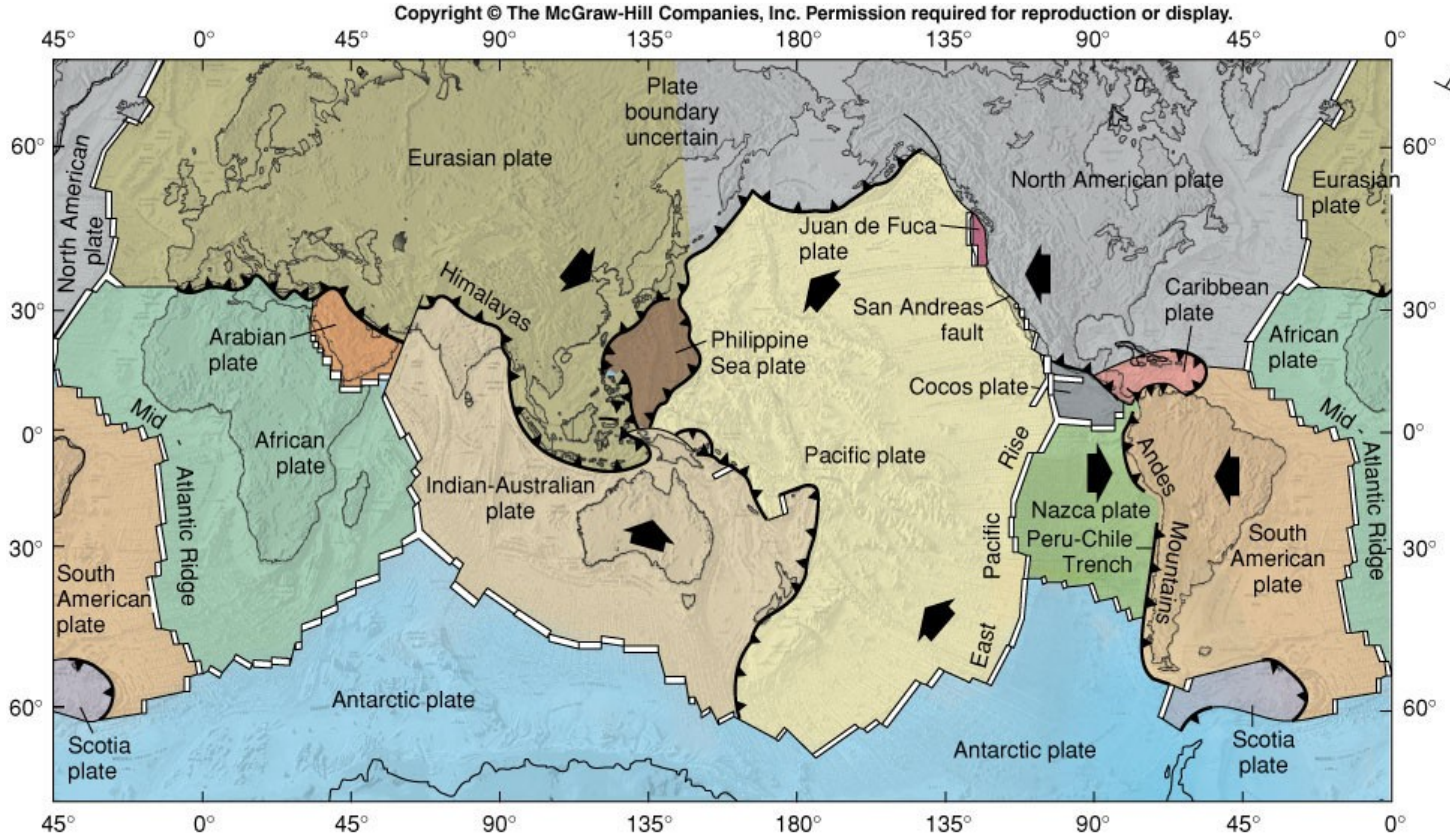

شکل بالا رومرکز زلزله‌ها با بزرگای ۴ و بیشتر که در بازه زمانی ۱۹۹۰ الی ۱۹۹۶ رویداده‌اند را نشان می‌دهد. رومرکز زلزله‌ها با بازه‌های عمقی ۰-۳۳، ۳۳-۷۰، ۷۰-۳۰۰ و ۳۰۰-۷۰۰ کیلومتربه‌ترتیب به صورت نقاط قرمز، نارنجی، سبز و آبی نشان داده شده‌اند. نقشه بالا نشان می‌دهد که زلزله‌ها در امتداد نوارهای باریک یا کمربندهایی اتفاق می‌افتند. قسمتی از کمربندهای زلزله‌خیزی که دارای کمترین عرض هستند و تماما شامل زلزله‌های کم‌عمق هستند کاملا منطبق با موقعیت جغرافیایی رشته‌کوه های میان‌اقیانوسی هستند. قسمتی دیگر از کمربندهای زلزله‌خیزی که کمی‌عریض‌تر هستند و شامل زلزله‌های عمیق هم می‌شوند منطبق بر چاله‌های اقیانوسی هستند. قسمتی دیگر از نوارهای زلزله که دارای بیش‌ترین عرض هستند منطبق بر رشته‌کوه‌های هیمالیا-البرز-زاگرس-آلپ هستند.

# آتشفشان‌ها در امتداد کمربندهای زلزله‌خیزی




شکل بالا پراکندگی آتشفشان‌های فعال را نشان می‌دهد. مقایسه نقشه پراکندگی آتشفشان‌های فعال با نقشه پراکندگی رومرکز زلزله‌ها (اسلاید قبل) نشان می‌دهد که اکثر قریب به اتفاق آتشفشان‌ها در حاشیه اقیانوس آرام و در نزدیکی کمربندهای زلزله‌خیزی قرار دارند. به علت فراوانی بسیار زیاد زلزله‌های مهیب و آتشفشان‌های بزرگ، حاشیه‌های اقیانوس آرام به نام حلقه آتش نامیده شده است. تعدادی از آتشفشان‌های فعال بر روی رشته‌کوه‌های میان‌اقیانوسی(به عنوان مثال آتشفشان‌های جزیره ایسلند) قرار دارند. تعداد معدودی از آتشفشان‌ها (به عنوان مثال دماوند، سبلان و سهند) هم درون قاره‌ها و در درون کمربندهای زلزله‌خیزی قاره‌ای آلپ–هیمالیا قرار دارند.

# تکتونیک صفحه‌ای چه می‌گوید؟



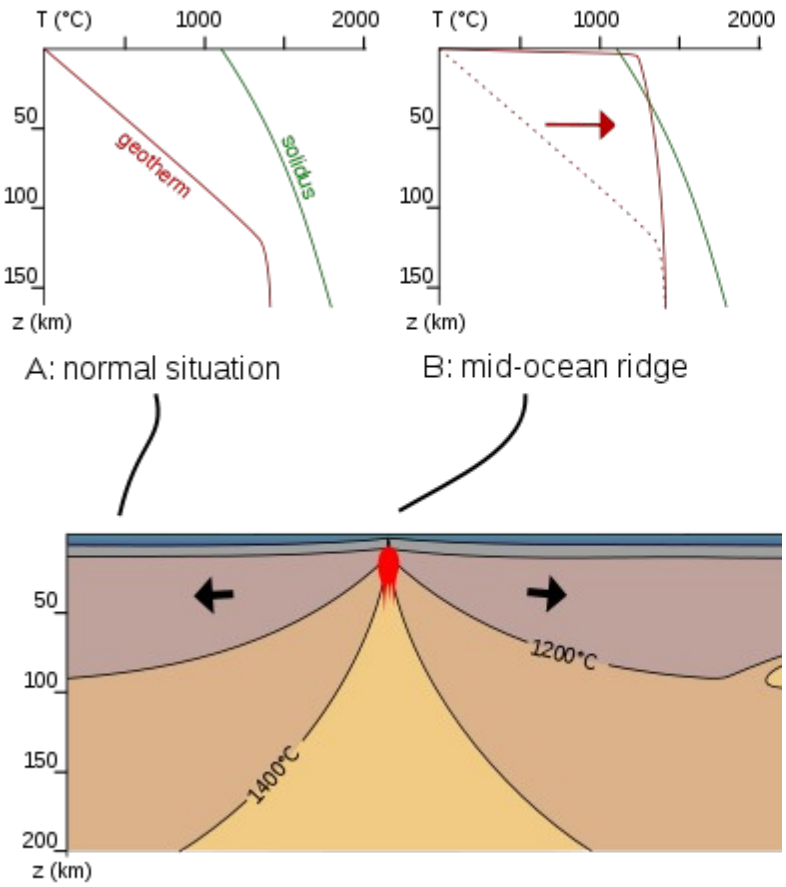

تکتونیک صفحه‌ای یا همان زمین‌ساخت صفحه‌ای می‌گوید که لایه شکننده خارجی زمین که ما بر روی آن زندگی می‌کنیم به تعدادی صفحه صلب (۱۲ صفحه بزرگ و اصلی) شکسته شده که این صفحات نسبت به هم در حال حرکت هستند و زلزله‌ها، آتشفشانها و کوه‌ها همگی در امتداد مرز این صفحات قرار دارند. صفحات دارای ضخامت تقریبی ۱۰۰ کیلومتر هستند و شامل پوسته و قسمت فوقانی سرد جبه زمین می‌شوند. در شکل بالا صفحات اصلی و نوع مرزهای آنها مشخص شده است. فلش‌های سیاه جهت حرکت هر صفحه را نشان می‌دهد. مرز صفحات توسط نقشه پراکندگی زلزله‌ها و آتشفشان‌ها مشخص گردیده است. مرز صفحات تکتونیکی به سه نوع سازنده، تخریبی و تبدیلی تقسیم‌بندی می‌شود که در اسلاید بعدی به توضیح آنها می‌پردازیم.

عبدالرضا قدس

# مرزهای سازنده

- مرزهای سازنده منطبق بر رشته‌کوه‌های میان اقیانوسی هستند. در این مرزها پوسته جدید اقیانوسی در اثر بازشدن صفحات تولید می‌شود. پوسته اقیانوسی دارای ضخامت تقریبا ثابت ۶ الی ۷ کیلومتری است و قشر خارجی آن از سنگ‌های بازالتی تشکیل شده که دارای خاصیت مغناطیدگی بالایی هستند.
- در امتداد مرزهای سازنده زلزله‌های زیادی اتفاق می‌افتند که همگی دارای عمق کم هستند. قریب به اتفاق زلزله‌های مرزهای سازنده داری بزرگای کم تا متوسط هستند.
- عمق کف اقیانوس در امتداد مرزهای سازنده کمتر از نواحی مجاورش است. عمق کف دریا با دور شدن از مرز سازنده بصورت یک تابع نمایی زیاد می‌شود.
- مرزهای سازنده در اقیانوس اطلس دارای یک دره در وسط بلندای خود هستند. مرزهای سازنده در اقیانوس آرام فقط دارای یک بلندی هستند.

# ذوب بخشی جبه بالایی



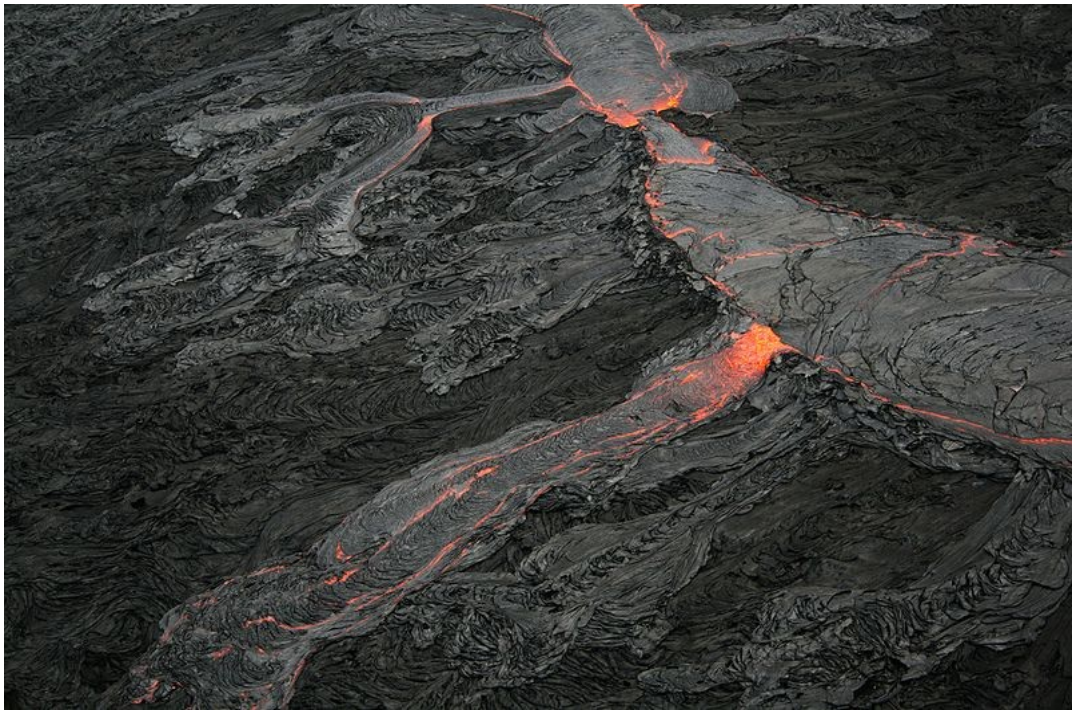

- در مرزهای سازنده دو صفحه در حال دور شدن از هم هستند. دور شدن صفحات از همدیگر باعث می‌شود که سنگ‌هایی که در عمق زمین هستند به سطح بیایند و فضای خالی را پر کنند. این تا اندازه‌ای شبیه حالتی است که شما از درون یک شیشه عسل یک قاشق عسل بردارید. به محض برداشتن عسل، عسل با یک تاخیر که وابسته به چسبندگی آن است از جاهای دیگر حرکت می‌کند و چاله ایجاد شده را پر می‌کند. تحقیقات نشان داده است که سنگ‌های گوشته زمین در دراز مدت بصورت سیال عمل می‌کنند و می‌توانند به جای اینکه بشکنند تغییر شکل سیال مانند داشته باشند و جریان پیدا کنند. توجه کنید که سرعت حرکت صفحات حداکثر ۱۰ سانتیمتر در سال است و به طبع حرکت سیال گونه سنگ‌های زیر کوه‌های میان‌اقیانوسی هم نمی‌تواند بیشتر از ۱۰ سانتیمتر گردد.
- بالا آمدن سنگ‌ها باعث ذوب شدن بخشی آنها و در نهایت تولید پوسته جدید در سطح می‌گردد. ذوب سنگ‌ها در زیر پوسته اقیانوسی به مانند ذوب سنگ‌ها در یک کوره نیست. آنچه در یک کوره باعث ذوب سنگ می‌شود دمای زیاد است ولی با بالا آمدن سنگ‌ها و نزدیک شدن سنگ‌ها به سطح (ادامه در اسلاید بعدی)

عبدالرضا قدس

# .. ذوب بخشی جبه بالایی

نه تنها دمای آنها زیاد نمی‌شود، بلکه تا اندازه‌ای هم در اثر خنک شدن دمایشان کاهش می‌یابد.

ذوب بخشی سنگ‌ها در زیر رشته‌کوه‌های میان اقیانوسی در اثر کاهش فشار در حین صعود سنگ‌ها به سطح ممکن می‌شود. یک سنگ بر خلاف آب در یک محدوده دمایی بین نقطه جامدی و مایع‌گونی ذوب می‌شود. دمایی که در آن سنگ شروع به ذوب می‌کند دمای جامدی و دمایی که در آن سنگ کاملا ذوب می‌گردد دمای مایع‌گونی گفته می‌شود. دمای جامدی و مایع‌گونی در سطح برای سنگ‌های زیر رشته‌کوه‌های میان اقیانوسی در حدود ۱۲۰۰ و ۱۸۰۰ درجه سانتی‌گراد است. دمای جامدی و مایع‌گونی هر دو با عمق افزایش می‌یابند. در نمودار بالا سمت چپ در اسلاید قبل نحوه تغییرات دمای جامدی با عمق بصورت خط سبز نشان داده شده است. بر روی نمودار فوق نمودار تغییرات درجه حرارت گوشته با عمق برای نقاط دور از رشته‌کوه‌های میان اقیانوسی به صورت یک خط قرمز نشان داده شده است.



آتشفشانی در هاوایی در حال سرریز کردن لاوای بازالتی

عبدالرضا قدس

# .. ذوب بخشی جبه بالایی

حال اگر تکه‌ای سنگ از اعماق زیاد جایی که درجه حرارت بالاتر از دمای جامدی در سطح است با سرعت نسبتا زیادی به سطح بیاید به طوری که هنوز دمای آن زیادتر از دمای جامدی سنگ در سطح باشد،، سنگ ذوب می‌شود. این موضوع در نمودار گوشه راست در اسلاید قبل نشان داده شده است. ذوب بصورت بخشی انجام می‌گیرد چون دمای سنگ تنها کمی از دمای جامدی زیادتر است. برای اینکه سنگ کاملا ذوب شود باید دمای آن به دمای مایع‌گونی برسد که بسیار بالاتر از دمایی است که سنگ‌ها بطور معمول در زیر کوه‌های میان اقیانوسی دارند. معمولا تنها پنج درصد از حجم اولیه سنگ ذوب می‌شود. ذوب بعد از تشکیل سبک‌تر از سنگ اولیه است و لذا نیروی شناوری آن باعث شکستن سنگ‌های اطراف و در نهایت روان‌شدن آن بصورت یک سیال کاملا روان در سطح می‌گردد. فعالیت آتشفشانی در رشته‌کوه‌های میان‌اقیانوسی بصورت غیرانفجاری است و تشکیل یک مخروط آتشفشانی با یال‌های کم شیب را می‌دهد.

فرآیند ذوب بخشی سنگ‌ها از بعضی جهات شبیه قلیان یک نوشابه گازدار گرم در هنگام بازکردن ناگهانی درب آن است. باز شدن ناگهانی درب نوشابه گازدار باعث کاهش فشار بر روی مایع شده و در نتیجه حلالیت گاز درون نوشابه گازدار به ناگهان کم می‌گردد و منجر به قلیان نوشابه می‌گردد.

یک هواپیما گردشگری در حال پرواز بر فراز یک آتشفشان فعال در ایسلند!

عبدالرضا قدس

# سئوالات (۳)

- چرا در شرق آمریکای شمالی زلزله و فعالیت آتشفشانی اتفاق نمی‌افتد؟
- نقشه پراکندگی زلزله‌ها و آتشفشان‌ها در شمال–شرق آفریقا تعداد زیادی زلزله کم عمق و آتشفشان فعال را نشان می‌دهد. چه اتفاقی در این منطقه در حال انجام است. چرا این منطقه به عنوان مرز تکتونیکی معرفی نشده است؟
- دو صفحه تکتونیکی که به ترتیب دارای فقط پوسته اقیانوسی و فقط پوسته قاره‌ای هستند را نام ببرید.
- کوه‌های زاگرس در مرز کدامین جفت صفحه قرار گرفته و حرکت صفحات نسبت به هم چگونه است؟
- مرزهای سازنده در اقیانوس اطلس دارای یک دره در وسط بلندای خود هستند. مرزهای سازنده در اقیانوس آرام فقط دارای یک بلندی هستند. چرا ؟
- زلزله‌خیزی در مرزهای سازنده اقیانوس اطلس شمالی به مراتب بیشتر از زلزله‌خیزی در مرزهای سازنده اقیانوس آرام است. چرا؟
- مکانیزم ذوب سنگ‌ها در یک کوره را با مکانیزم ذوب سنگ‌ها در زیر رشته‌کوه‌های میان‌اقیانوسی مقایسه کنید.

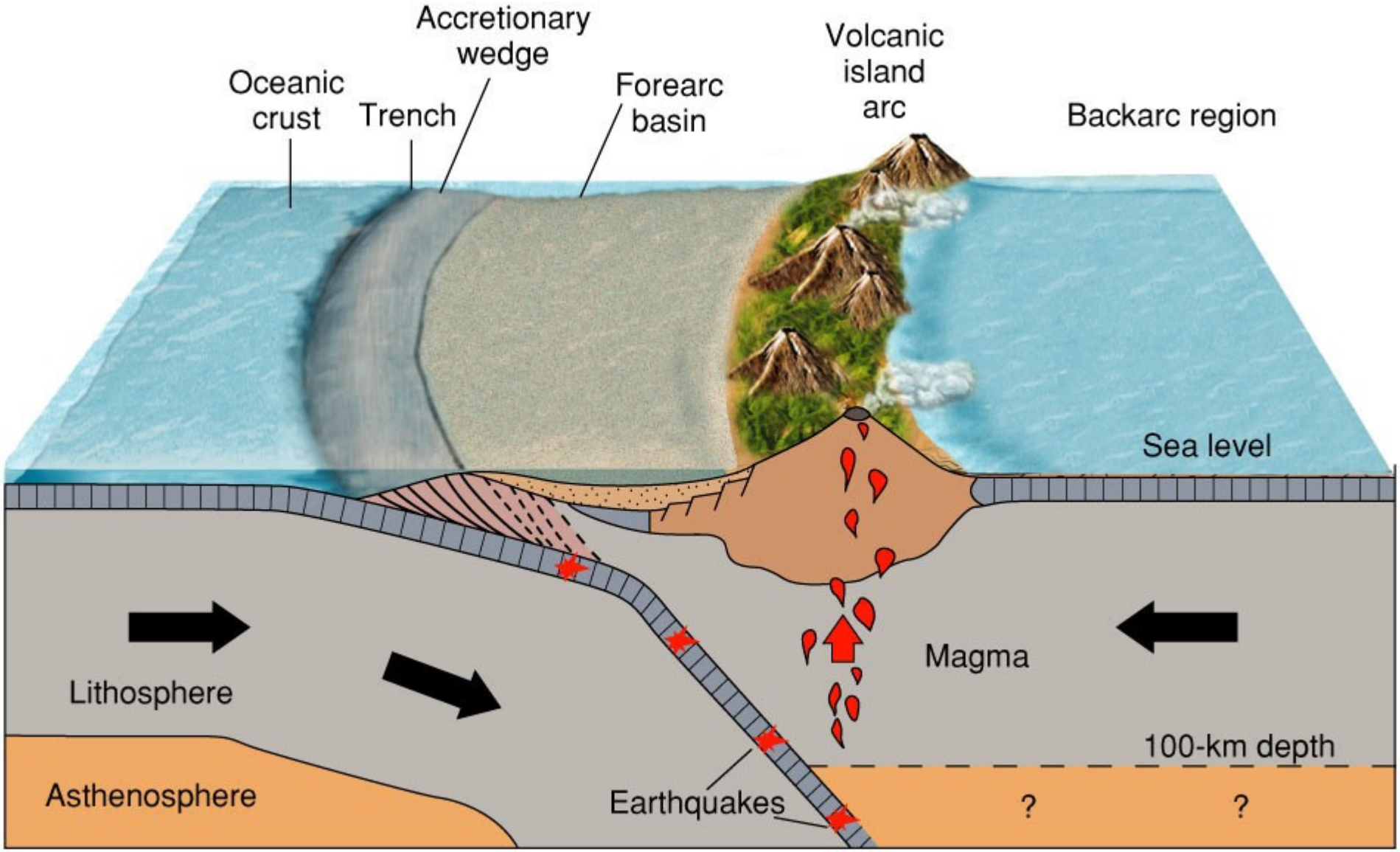
# فرورانش

- در مرزهای تخریبی یک صفحه به زیر یک صفحه دیگر می‌رود. همواره این صفحه‌ای اقیانوسی است که می‌تواند به زیر یک صفحه‌ی دیگر، قاره‌ای یا اقیانوسی، برود. تا بحال مشاهده نشده که یک صفحه‌ی قاره‌ای به زیر صفحه‌ای دیگری فرورانده شود. سبک‌تر بودن سنگ‌های پوسته قاره‌ای نسبت به پوسته اقیانوسی فرورانده شدن آن را غیرممکن می‌کند. فرآیند فرورانش ازدیاد سطح ناشی از فرآیند گسترش کف اقیانوس‌ها را با فروراندن پوسته اقیانوسی خنثی می‌کند.
- در امتداد یک مرز تخریبی صفحه فرورونده خم می‌شود و گودال‌های اقیانوسی را بوجود می‌آورد. این گودال‌ها که دارای عرض کمی هستند بسیار عمیق‌تر (بطور متوسط ۷ کیلومتر) از عمق متوسط اقیانوس‌ها (۵ کیلومتر) هستند و حتی عمقشان به ۱۱ کیلومتر هم می‌رسد.
- در اثر خم شدن پوسته و فشرده‌شدن آن به درون زمین قسمت بالایی صفحه فرورانده می‌شکند و باعث بوجود آمدن زلزله در محدوده عمقی ۱۰ الی ۷۰۰ کیلومتری می‌گردد. بزرگترین و عمیق‌ترین زلزله‌ها در مناطق فرورانش اتفاق می‌افتند.

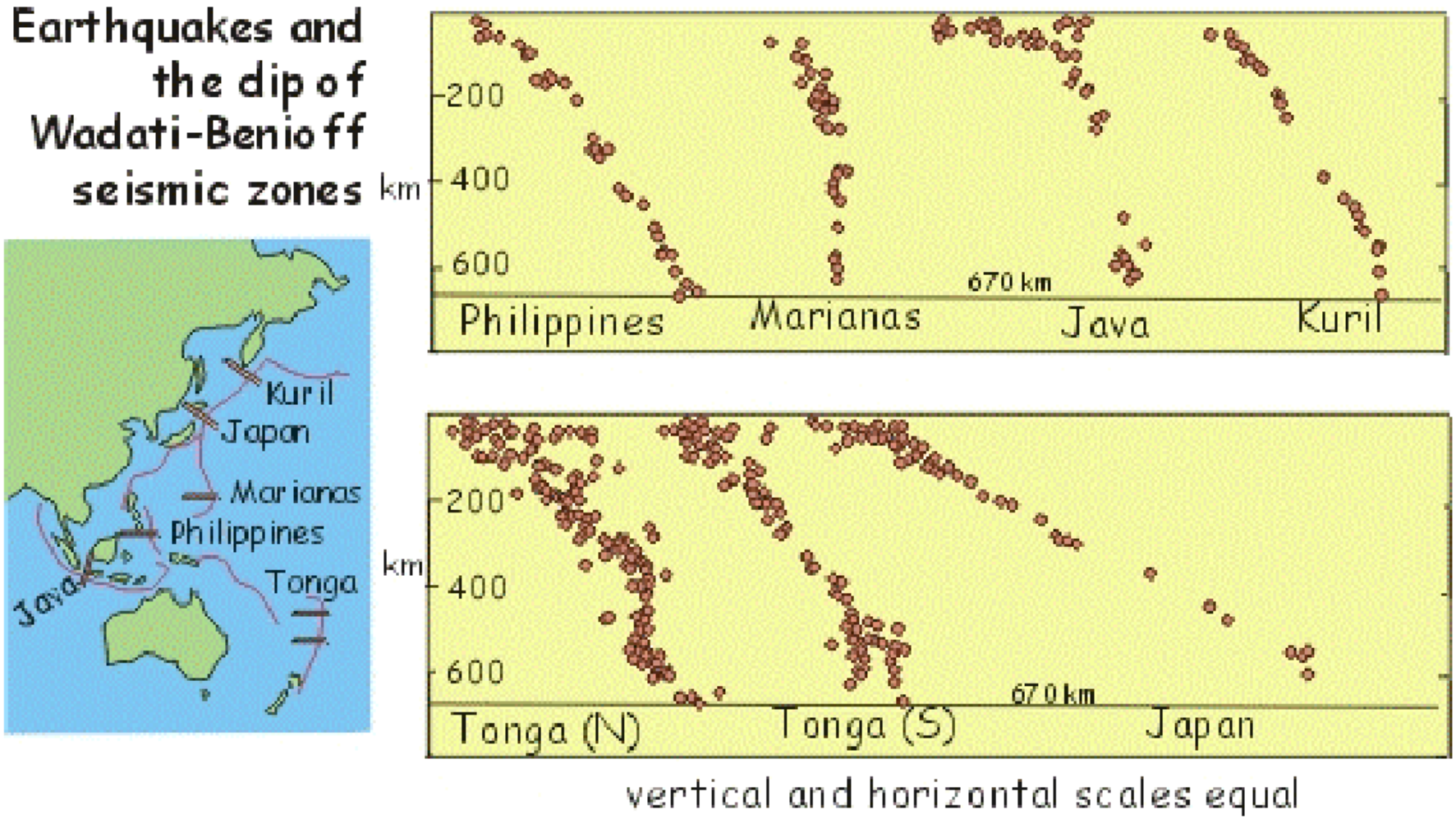
# فرورانش (ادامه)

- عمق زلزله‌ها به دور از مرزهای مخرب به ندرت بیشتر از ۳۵ کیلومتر می‌شود. رسم مقطعی از پراکندگی زلزله‌ها در امتداد عمود بر یک مرز تخریبی نشان می‌دهد که زلزله‌ها در امتداد تقریبی یک خط با یک شیب معین به نام منطقه وداتی–بنیوف اتفاق می‌افتند. شیب منطقه وداتی–بنیوف می‌تواند در مرزهای تخریبی متفاوت مقادیر متفاوتی باشد. تحقیقات نشان داده است که منطقه وداتی–بنیوف منطبق بر قسمت سرد و شکننده صفحه‌ی فرورانده شده است.
- فرورانش پوسته اقیانوسی باعث تجمع رسوبات جمع‌شده بر روی پوسته اقیانوسی و چین‌خوردگی آنها و ایجاد یک سری رشته‌کوه رسوبی می‌گردد. رسوبات دارای وزن حجمی کمی هستند و نمی‌توانند به همراه پوسته اقیانوسی فرورانده شوند.
- فرورانش صفحه اقیانوسی باعث بوجود آمدن یک کمان آتشفشانی درجلوی صفحه فرورونده می‌گردد. بزرگترین آتشفشان‌های دنیا در ارتباط با فرورانش هستند. سنگ‌های آتشفشان‌های مناطق آتشفشانی بیشتر از جنس آندزیت هستند. آندزیت دارای سیلس ($SiO_2$) بیشتری نسبت به بازالت، سنگ اصلی آتشفشان‌های میان‌اقیانوسی، است.

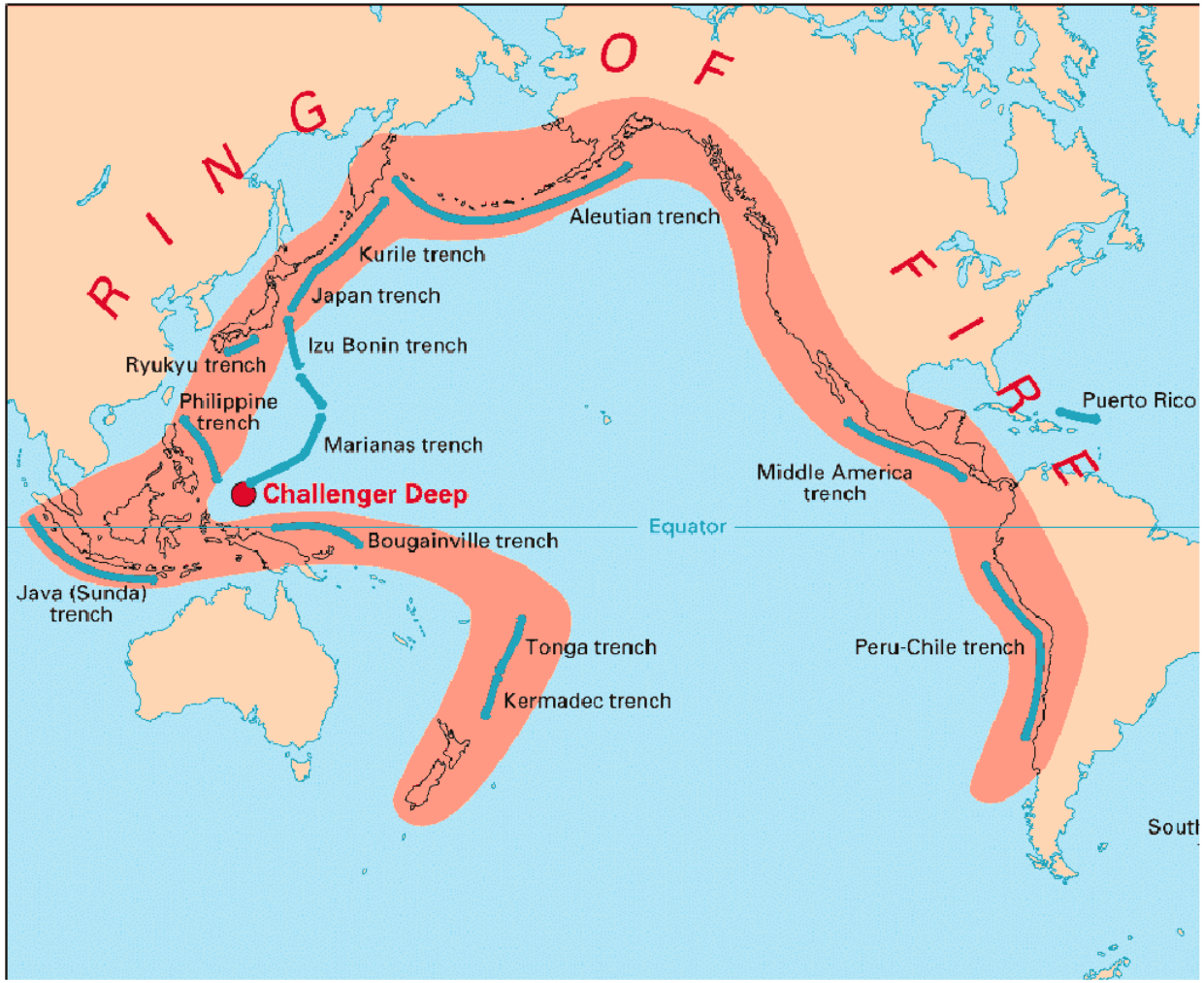
# ساختار عمومی یک منطقه فرورانش



# منطقه بنیوف–وداتی



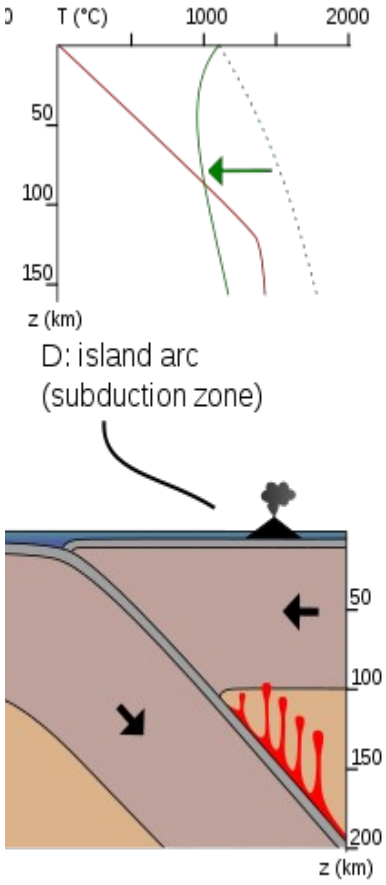
# حلقه آتش




حلقه آتش به حاشیه‌های اقیانوس آرام می‌گویند، جایی که بزرگترین مناطق فورانش الیوتن، کوریل، ژاپن، ایزو بونین، فیلیپین، ماریانا، تونگا، جاوا و پرو و شیلی در آن قرار دارند و بزرگترین زلزله‌ها و مهیب‌ترین فعالیت‌های آتشفشانی دنیا در آن اتفاق افتاده و می‌افتد. دو زلزله اخیر بزرگتر از بزرگای ۹ (زلزله ۲۰۰۴ سونامی و زلزله ۲۰۱۱ ژاپن) در حلقه آتش اتفاق افتاده است. بزرگترین فعالیت آتشفشانی که تا بحال ثبت شده است در کراکاتوا (Krakatoa) در منطقه فورانش جاوای اندونزی در سال ۱۸۸۳ اتفاق افتاده است.

عبدالرضا قدس

# ذوب بخشی در مناطق فرورانش




کمان‌های آتشفشانی رشته‌کوه‌های آتشفشانی هستند که به موازات مرزهای مخرب به فاصله ۷۰ تا ۱۵۰ کیلومتری از آن قرار دارند. در اثر فرورانش یک صفحه اقیانوسی به زیر یک صفحه اقیانوسی دیگر کمان آتشفشانی مربوطه تولید یک کمان جزایر آتشفشانی را می‌دهد (مثال: جزایر الیوتان).

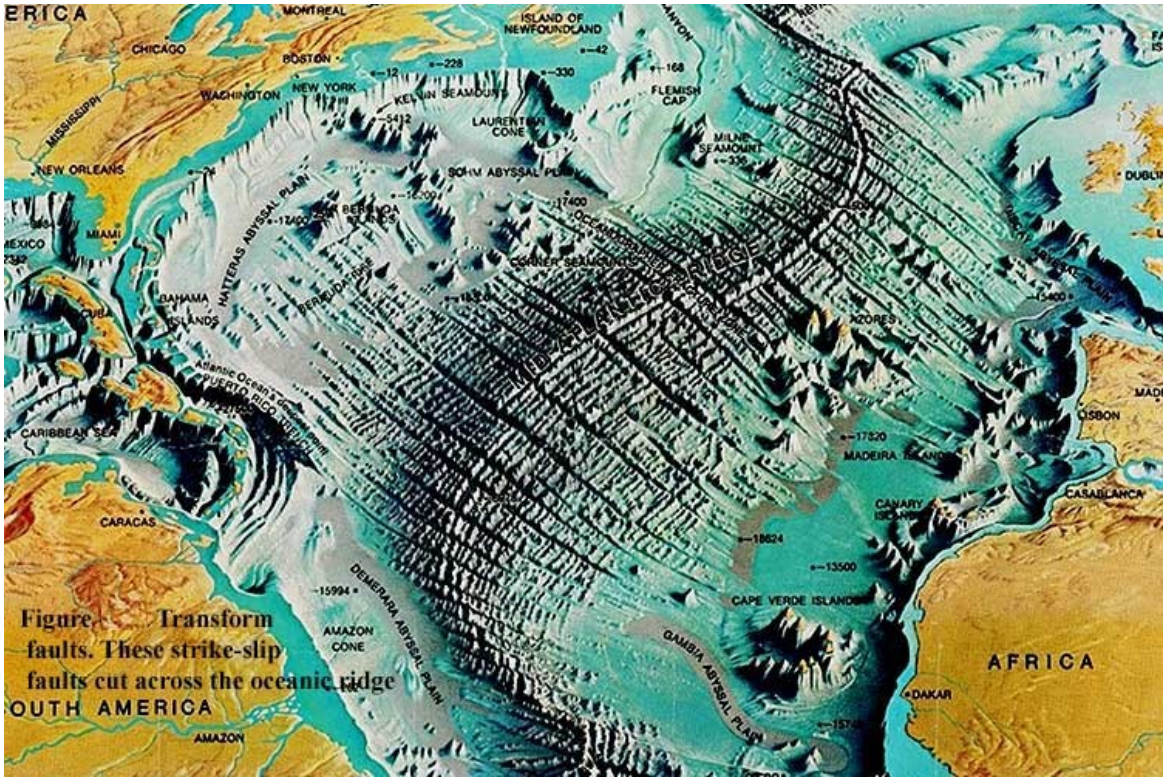
تولید ذوب در زیر مناطق فرورانش تفاوت اساسی با تولید ذوب در زیر رشته‌کوه‌های میان‌اقیانوسی دارد. شاهد تفاوت عمده این دو در محصول آنها است. سنگ‌های تولید شده در مناطق فرورانش بیشتر دارای ترکیب آندزیتی هستند که در مقایسه با ترکیب بازالتی سنگ‌های آتشفشانی کوه‌های میان‌اقیانوسی دارای سیلیس و آب بیشتری هستند. ذوب تولید شده در مناطق فرورانش دارای چسبندگی بیشتری است و لاجرم فعالیت‌های آتشفشانی در مناطق فرورانش از نوع انفجاری هستند و تولید مخروط‌های آتشفشانی پرشیب می‌کنند.

# .....ذوب بخشی در مناطق فرورانش

فرورانش پوسته اقیانوسی باعث بوجود آمدن یک جریان همرفت در جلوی پوسته فرورونده می‌شود. این جریان باعث می‌گردد که سنگ‌های عمیق و گرم به سمت بالا رانده شوند. از آنجائیکه ضخامت پوسته صفحه‌ی که به زیر آن فرورانش انجام می‌گیرد زیاد است، بالاآمدن سنگ‌های گرم به اندازه مناطق میان‌اقیانوسی انجام نمی‌گیرد و هیچ‌وقت دمای سنگ بیشتر از نقطه جامدی سنگ‌های جبه نمی‌شود. دلیل بوجود آمدن ذوب در مناطق فرورانش این است که پوسته اقیانوسی دارای مقداری آب در درون کانی‌ها خود است که بعد از عمق خاصی این آب آزاد می‌شود و با سنگ‌های جبه ترکیب می‌شود. ترکیب آب آزاد شده با سنگ‌های جبه باعث پایین آمدن نقطه ذوب سنگ‌های جبه می‌گردد. پایین آمدن نقطه ذوب و کم شدن فشار بر روی سنگ‌های که توسط جریان همرفتی ایجاد شده به اعماق کمتر رسیده‌اند باعث ذوب بخشی می‌گردد.

آتشفشان استرومبولی در جزیره سیسیل ایتالیا

# مرزهای گسل‌های تبدیل

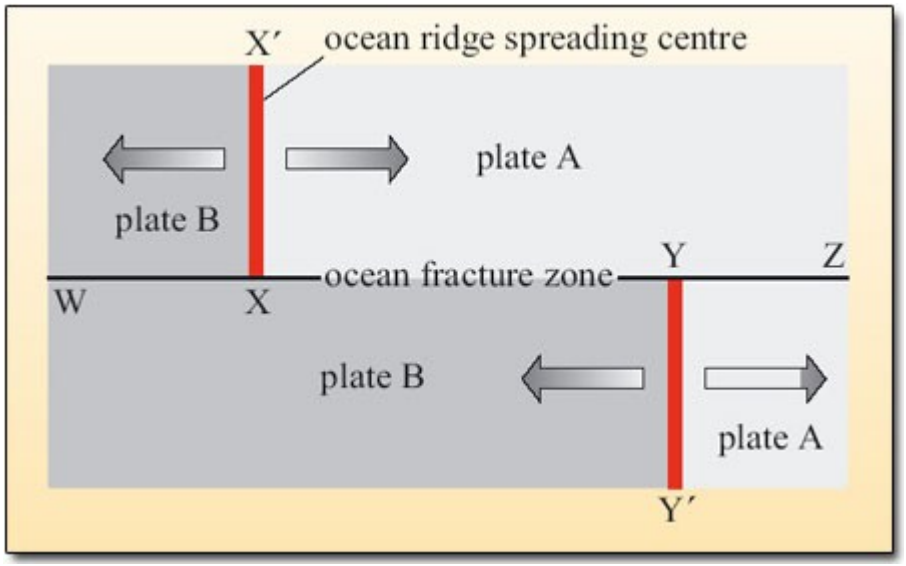


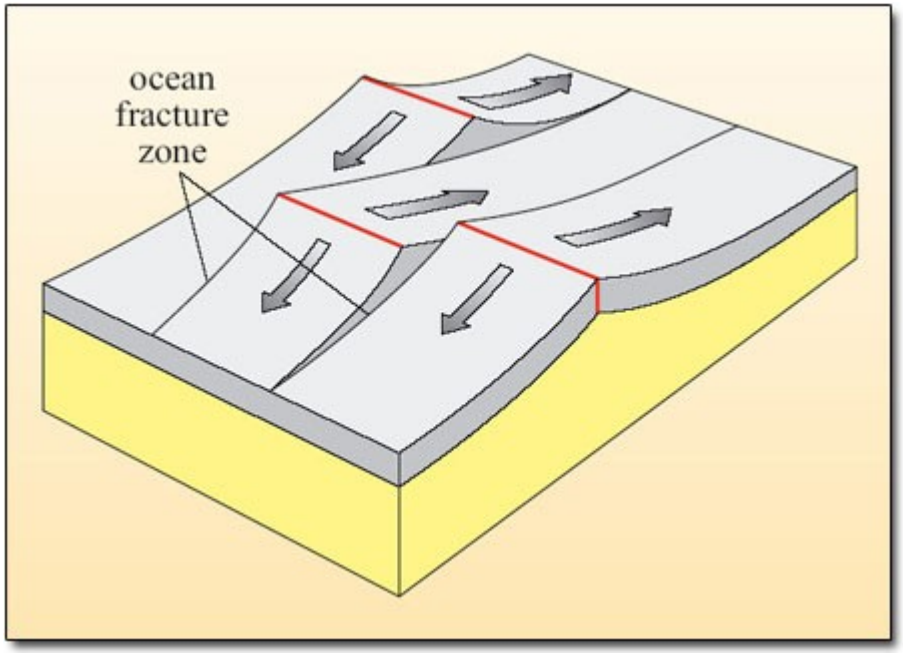

رشته کوه‌های میان‌اقیانوسی رشته‌کوه‌های ممتدی نیستند. قطعات مجزای رشته‌کوه‌های میان‌اقیانوسی توسط گسل‌های تبدیلی به هم وصل می‌شوند. در شکل بالا نقشه کف اقیانوس در اقیانوس اطلس شمالی نشان داده شده است. گسل‌های تبدیل فراوانی در شکل بالا دیده می‌شود. جهت گسل‌های تبدیل همواره عمود بر جهت مرزهای سازنده است. علت وجود گسل‌های تبدیل این است که صفحات بر روی یک کره در حال دور شدن از هم هستند و ممکن است قسمت‌های متفاوت از مرز بین دو صفحه دارای سرعت گسترش متفاوتی باشد.

عبدالرضا قدس

# زلزله‌خیزی در مرزهای گسل‌های تبدیلی

شکل مقابل به طور شماتیک دو رشته کوه میان‌اقیانوسی (خطوط قرمز) که توسط یک گسل تبدیلی (خط WZ) به هم وصل می‌شود را نشان می‌دهد. جهت سرعت گسترش کف اقیانوس در طول خط WZ تنها در قطعه XY جایی که دو صفحه A و B در کنار هم قرار می‌گیرند متفاوت است. شکل پایین بطور شماتیک تغییرات عمق کف دریا ناشی از عملکرد گسل‌های تبدیل را نشان می‌دهد.



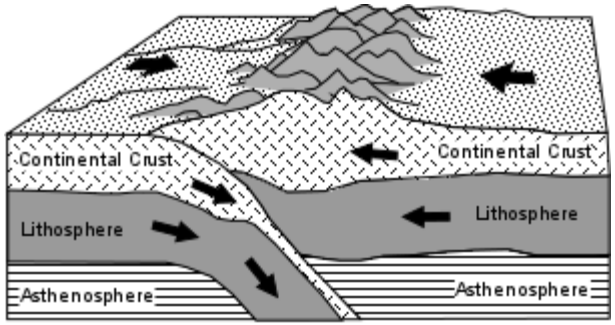




زلزله‌خیزی در مرزهای تبدیل تنها در قسمت محدودی از مرز تبدیل که حدفاصل بین دو رشته‌کوه‌های میان اقیانوسی است روی می‌دهد (در قطعه XY). در فاصله بین دو رشته کوه جهت گسترش دو صفحه کاملا در دو جهت مخالف است و لبه‌های دو صفحه با هم درگیر شده و هر از چند وقت در اثر شکسته شدن لبه‌ها زلزله‌های کم عمقی ایجاد می‌گردد. در بقیه مرز تبدیل که به دور از مرز سازنده است هیچ زلزله‌ای رخ نمی‌دهد.

عبدالرضا قدس

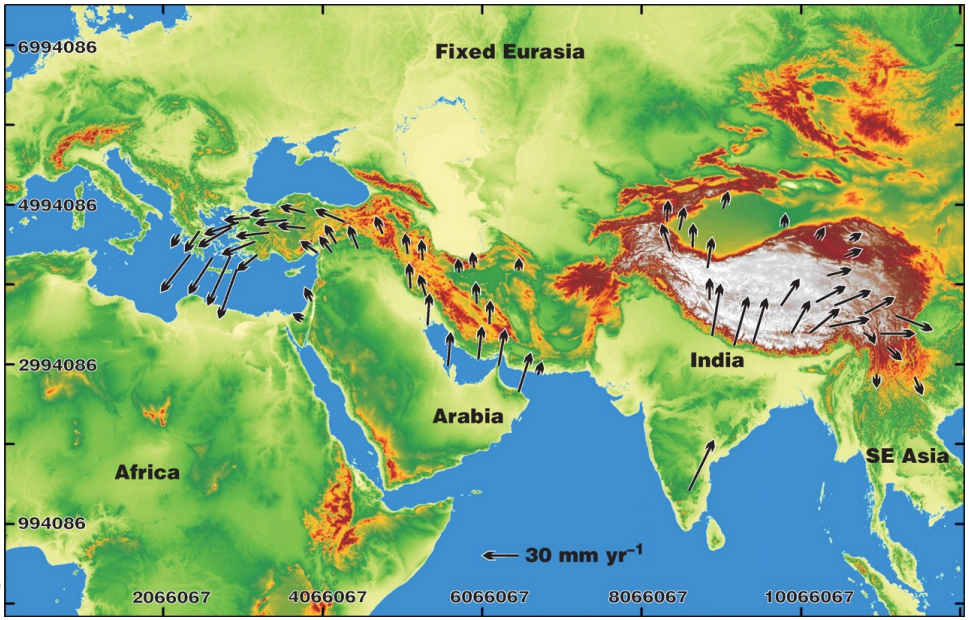
# برخورد قاره‌ای

هر گاه یک صفحه اقیانوسی تماما به زیر یک صفحه قاره‌ای فرورانده شود، دو صفحه‌ی قاره‌ای به هم برخورد می‌کنند. برخورد قاره‌ای باعث چین‌خوردگی و گسل‌خوردگی سنگ‌های لبه قاره‌ها و تشکیل رشته کوه‌های مرتفعی به مانند هیمالیا، زاگرس ، البرز و آلپ می‌گردد. برخورد قاره‌ها و چین‌خوردگی‌های ناشی از آن باعث کوتاه‌شدگی لبه قاره‌ها و ایجاد کمربندهای زلزله‌خیزی با عرض زیاد می‌گردد.



Continent- Continent Convergence

شکل مقابل مقدار بردارهای سرعت جی‌پی‌اس نسبت به صفحه نسبتا ثابت اوراسیا را در منطقه کوهزایی آلپ–هیمالیا نشان می‌دهد. برخورد صفحه هند و صفحه عربی با صفحه اوراسیا باعث ایجاد کوهزایی هیمالیا و زاگرس –البرز گردیده است. در اثر برخورد صفحه عربی با صفحه ثابت اوراسیا، کشور ایران تقریبا ۲۵ میلیمتر در سال در یک راستای تقریبی شمالی–جنوبی کوتاه می‌گردد.



# دستاوردهای تکتونیک صفحه‌ای

- تقریبا تمام زلزله‌ها و آتشفشان‌ها در ارتباط با مرزهای مختلف صفحات هستند.
- سرعت لرزه‌خیزی و تغییر شکل پوسته زمین در ارتباط مستقیم با سرعت نسبی صفحات است.
- رشته‌کوه‌ها در جاهایی تشکیل می‌شوند که دو صفحه قاره‌ای به هم برخورد می‌کنند.
- بهبود روش‌های اکتشاف منابع نفت و گاز و معادن فلزی و غیرفلزی.
- بهبود روش‌های تخمین خطر زلزله و آتشفشان

# سئوالات(۴)

- بزرگترین و عمیق‌ترین زلزله‌ها در مناطق فرورانش اتفاق می‌افتند. چرا؟
- عرض رشته‌کوه‌های زاگرس و البرز را بدست آورید و آن را با عرض رشته کوه‌های هیمالیا مقایسه کنید. چرا عرض رشته‌کوه‌های هیمالیا به مراتب بیشتر است؟
- نحوه ذوب‌شدن سنگ‌ها در آتشفشان‌های میان‌اقیانوسی و مناطق فرورانش را با هم مقایسه کنید.
- زاگرس محصول برخورد دو قاره است. قبل از برخورد دو قاره ما باید فرآیند فرورانش را داشته باشیم. با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ایران چه شواهدی دال بر وجود فرورانش در منطقه زاگرس در گذشته می‌توان ارایه داد؟

# مراجع


- Oreskes N., Plate Tectonics: An Insider's History of the Modern Theory of the Earth, Westview Press, 2003.
- This Dynamic Earth: The Story of Plate Tectonics, Online Edition, USGS.
- Turcotte D. and G. Schubert, Geodynamics, second Edition, Cambridge University Press, 2002.
- ODSN Plate Tectonic Reconstruction Service
- DIGITAL ISOCHRONS OF THE WORLD'S OCEAN FLOOR