تنوره‌های گوشته‌ای و نقاط داغ

بابک مستوفی‌زاده
دبیر منطقهٔ ۲ شهر تهران

چکیده
در بررسی ماگماتیسم درون ورقه‌ای با مناطقی روبه‌رو می‌شویم که مواد مذاب در آنها در حد وسیعی در سطح زمین گسترده شده‌اند. بررسی‌های لرزه‌شناسی نشان می‌دهند که این مناطق از مجاری یا تنوره‌هایی تغذیه می‌شوند که از سطح زمین تا ناحیهٔ «مرز هسته – گوشته[۱]» کشیده شده‌اند. این ناحیه که آن را ریشهٔ «تنوره‌ها[۲]» در نظر گرفته‌اند، پایین‌ترین محدودهٔ گوشته، یعنی لایهٔ "D را تشکیل می‌دهد و احتمالاً نفوذ شار حرارتی از هستهٔ خارجی به پایین گوشته باعث ایجاد ناپایداری در این قسمت می‌شود. حاصل این ناپایداری با توجه به بالا بودن فشار، تغییر فاز کانی «پروووسکیت[۳]» به «پست پروووسکیت[۴]» در بخش فوقانی و تشکیل مناطق ذوب‌شده (ULVZ[۵]) در بخش زیرین لایهٔ "D است. این دو ناحیه مشخص‌کنندهٔ دو ناپیوستگی لرزه‌ای ایجاد شده به ویژه در امواج برشی هستند. مناطق ذوب شده به علت داشتن چگالی کمتر امکان صعود به طرف بالا به تصویر تنوره‌های حرارتی را خواهند داشت. استقرار تنوره‌ها در بالای گوشته باعث بالاآمدگی، ریفتی شدن لیتوسفر و در نهایت، پدیدار شدن «نقاط داغ[۶]» در سطح و خروج «بازالت‌های طغیانی[۷]» خواهد شد.

کلیدواژه‌ها: تنوره‌های گوشته‌ای، نقاط داغ[۶]، مرز هسته–گوشته، لایهٔ "D، پست پروووسکیت، بازالت‌های طغیانی[۷]

مقدمه

نظریهٔ اشتقاق قاره‌ها که برای اولین بار آلفرد وگنر آن را در سال ۱۹۱۵

در کتاب «منشأ قاره‌ها و اقیانوس‌ها» منتشر کرد پایهٔ ایده‌های نوینی شد که بعدها آثار آن در نظریات تکتونیک صفحه‌ای به چشم می‌خورد. همان‌طور که می‌دانیم تکتونیک صفحه‌ای ماهیت پدیده‌های زمین‌شناسی، مانند کوهزایی، زمین‌لرزه‌ها و فعالیت‌های آتش‌فشانی را به خوبی توجیه کرده است.

در حال حاضر در داخل صفحات اقیانوسی، مناطق ریفتی درون قاره‌ها و مناطقی از حاشیهٔ قاره‌ها سنگ‌های آذرینی تشکیل شده یا در حال تصویرگیری هستند که منشأ عمیقی داشته و از طریق ساختاری به نام تنورهٔ گوشته‌ای تشکیل شده‌اند. به هر حال آنچه مسلم است اطلاعات ما از اعماق گوشته اغلب جنبهٔ ژئوفیزیکی دارد. بنابراین به نظر می‌رسد که تنوره‌های گوشته‌ای، پنجره‌ای به اعماق گوشته باشند. فوران‌های آتش‌فشانی در مناطق نقاط داغ منطبق بر موقعیت‌های تنوره‌های گوشته‌ای هستند. از آنجا که نقاط داغ از طریق پلام‌ها یا تنوره‌ها به اعماق گوشته، یعنی ناحیهٔ «مرز گوشته – هسته» مربوط می‌شوند و از این طریق، زمین بخشی از گرمای درونی خود را از دست می‌دهد، مورد توجه زمین‌شناسان واقع شده است. همچنین ماگماتیسم «بازالت طغیانی» که در اغلب موقعیت‌های نقاط داغ زمین به وقوع پیوسته است به جذابیت موضوع نقاط داغ افزوده است.

فرضیات تنوره‌های گوشته‌ای

هرچند ویلسون[8] (۱۹۶۵) تشکیل خطوط آتش‌فشانی درون اقیانوسی، مانند جزایر هاوایی را نتیجهٔ حرکت لیتوسفر اقیانوسی روی یک نقطهٔ داغ می‌دانست، این نقاط وضعیت ثابتی نسبت به یکدیگر دارند و از طریق ساختاری به نام تنوره به ناحیهٔ منشأ خود که در مرز هسته – گوشته قرار دارد، مربوط می‌شوند و استقرار طولانی مدت آنها ممکن است باعث اشتقاق قاره‌ها شود». همچنین او معتقد بود که مواد تشکیل‌دهندهٔ تنوره‌ها تقریباً اولیه‌اند.

نظریهٔ نقاط داغ در اوایل دههٔ ۱۹۹۰ از دو جهت ثبات بیشتری یافت.

معیار اول نتیجه‌گیری از کارهای تجربی رمبرگ[9] (۱۹۶۷، ۱۹۸۱) و بلوسوو[10] (۱۹۵۴، ۱۹۶۲) است. در این بررسی‌ها یک سیال با چگالی پایین به کف مخزنی که از سیال چگال‌تری پر شده بود تزریق شد و به دنبال آن تشکیل چندین تودهٔ قارچی‌تصویر در حال صعود مشاهده شد. اگرچه این آزمایش‌ها با به کارگیری سیالاتی با اختلاف دانسیتهٔ ترکیبی اجرا شده بودند، با این حال، صعود تنوره‌ها از ناحیهٔ منشأ با ماهیت حرارتی (یک لایهٔ مرزی حرارتی کم‌ضخامت که افزایش بزرگ دما در فاصلهٔ اندکی از آن رخ می‌دهد) بیشتر پذیرفته شد.

معیار دوم براساس کارهای انجام‌گرفته روی گاز هلیم است. (واسربورگ[11] و کلوگ[12]، ۱۹۹۰). پیش‌تر از این، لاپتون[13] و کریگ[14] (۱۹۷۶-۱۹۸۱) این کار را برای توصیف نسبت‌های غیرعادی و بالای ^4He / ^3He که در بازالت‌های نواحی هاوایی و ایسلند مشاهده شده بودند، معرفی کردند. نسبت‌های بالا حاصل تجمع بیش از حد ^3He در گوشتهٔ تحتانی است. بنابراین مشاهدهٔ نسبت‌های بالا در سنگ‌های سطحی حاکی از منشأ آنها در گوشتهٔ زیرین است. ^3He ایزوتوپ اولیهٔ هلیم است و تقریباً همهٔ این ایزوتوپ به زمان تشکیل سیارهٔ زمین مربوط می‌شود، در حالی که ^4He ذرات آلفایی هستند که در اثر تخریب ^{232}Th, ^{238}U,^{235}U به وجود می‌آیند. بنابراین مقدار آن به مرور زمان در سنگ‌ها افزایش می‌یابد. ماگمای در حال صعود به طرف سطح زمین، هر دو نوع ایزوتوپ ^4He و ^3He را با خود به همراه دارد و در طی فوران وارد اتمسفر می‌شود. بنابراین وقایع آتش‌فشانی به مرور زمان باعث کاهش ^3He در زمین می‌شوند [۴].

مرز هسته – گوشته و لایهٔ "D گوشته

پایین‌ترین ناپیوستگی در گوشته، مرز هستهٔ خارجی با گوشته است که در عمق ۲۹۰۰ کیلومتری قرار دارد و به ناپیوستگی گوتنبرگ معروف است. این مرز با کاهش چهل درصدی در سرعت امواج لرزه‌ای P و محو امواج S مشخص می‌شود که حاصل تغییر حالت جامد گوشته به حالت مایع در هستهٔ خارجی است. هرچند که این عمل حاصل تغییر در حالت فیزیکی است، در این گذر شاهد تغییر از ترکیب سیلیکاتهٔ گوشته به آلیاژ آهن و نیکل در هستهٔ خارجی نیز هستیم. تحول گوشته با هستهٔ زمین با محدوده‌ای به ضخامت تقریبی ۲۰۰ تا ۳۰۰ کیلومتر مشخص می‌شود. (فاصلهٔ تقریبی ۲۶۰۰ تا ۲۹۰۰ کیلومتری) که خواص متفاوتی را با گوشتهٔ واقع بر روی آن دارد. این ناحیه را که بالن[15] (۱۹۴۲) در تقسیم‌بندی ساختار درونی زمین به صورت لایهٔ "D معرفی کرد از نقطه‌نظر ژئودینامیکی لایهٔ مرزی مهمی را در بالای هسته تشکیل می‌دهد و به نحوی با جریان‌های همرفتی گوشته نیز درگیر است. دما در این لایه با افزایشی در حدود ۱۰۰۰ C، اوریژینال مقایسه شود همراه است. اهمیت این لایه از آنجاست که این ناحیه سرمنشأ تنوره‌های داغی است که آثار آن را می‌توان در ماگماتیسم سطح زمین، بازالت‌های طغیانی در قاره‌ها و خطوط آتش‌فشانی اقیانوسی، مشاهده کرد. بررسی‌های لرزه‌شناسی از نوع «توموگرافی»[16] لرزه‌ای، ناهمگونی دوبعدی (در دو جهت عمودی و افقی) را در سرعت انتشار امواج لرزه‌ای P و S در این لایه نشان می‌دهند که ممکن است مربوط به تغییرات فاز و حضور پراکندهٔ مذاب‌های بخشی در این ناحیه باشد.

اندرسون[17] (۱۹۸۹، ۱۹۹۲) عقیده داشت که چون لایهٔ "D بزرگ‌ترین

در حال حاضر در داخل صفحات اقیانوسی، مناطق ریفتی درون قاره‌ها و مناطقی از حاشیهٔ قاره‌ها سنگ‌های آذرینی تشکیل شده یا در حال تصویرگیری هستند که منشأ عمیقی داشته و از طریق ساختاری به نام تنورهٔ گوشته‌ای تشکیل شده‌اند

مکانیسم مناسبی که ممکن است در بالا آمدن نقش داشته باشد، کاهش چسبندگی در اثر گرم شدن است که در آن اصطکاک حاصل از مالش تودهٔ در حال صعود با کناره‌ها با افزایش دمای ۱۰۰ تا ۳۰۰ درجه‌ای درون تنوره نسبت به گوشتهٔ دربرگیرنده همراه است

اختلاف چگالی را در زمین نشان می‌دهد ممکن است مکانی برای جمع شدن مواد سبکی باشد که هسته را ترک کرده‌اند یا مواد سنگینی که از سمت بالای گوشته در آن ته‌نشین شده‌اند. بنابراین اگر قرار بر این باشد که ناپیوستگی واقع در عمیق‌ترین ناحیهٔ گوشته حاصل یک تغییر شیمیایی باشد، این ناحیه ممکن است شدیداً غنی در اکسیدها و سیلیکات‌های آهن و منیزیم نسبت به بقیهٔ گوشته باشد. این امر از آنجا ناشی شده است که ناحیهٔ "D گوشته محل دفن لیتوسفرهای اقیانوسی به زیر رانده شده‌ای در نظر گرفته شده است که توانسته‌اند از ناپیوستگی واقع در عمق ۶۶۰ کیلومتری عبور کنند [۱].

مطالعات تجربی که در سال‌های اخیر مطابق با شرایط فشار و حرارت‌های بالای گوشته انجام شده‌اند، ناپیوستگی لایهٔ "D را حاصل تغییر فاز در ترکیب Mgsio3 گوشته با ساختار پروسکیت به ساختار «پُست پروسکیت» می‌دانند. (میوراکامی[۱۸] و همکاران، ۲۰۰۴). بررسی‌های تجربی نشان داده‌اند که این تغییر فاز در شرایط فشار ۱۲۵ گیگا پاسکال و دمای ۲۵۰۰ درجهٔ کلوین رخ می‌دهد که این شرایط با عمق ۲۷۰۰ کیلومتری زمین مطابقت دارد. انطباق نتایج تجربی با بررسی‌های لرزه‌شناسی که وجود یک ناپیوستگی لرزه‌ای را در این عمق نشان می‌دهند، مؤید این امر است که منشأ این ناپیوستگی ممکن است نتیجهٔ این تغییر فاز باشد [۱۵, ۹, ۸, ۶].

مشخصات لرزه‌ای لایهٔ "D

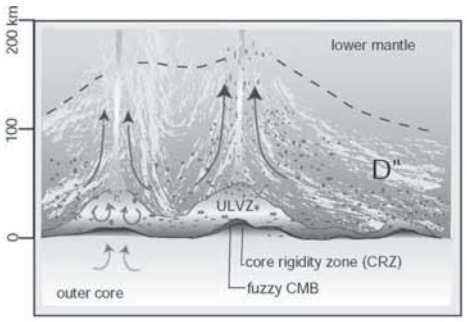
مطالعات لرزه‌شناسی و کانی‌شناسی پروسکیت مشخص کرده‌اند که:

۱. ناپیوستگی "D مرز تغییر فاز بین پروسکیت و فاز جدید پُست پروسکیت است.

۲. تغییرات جانبی و عمودی در مقیاس وسیعی در سرعت موج برشی و نیز چگالی در این ناحیه وجود دارند.

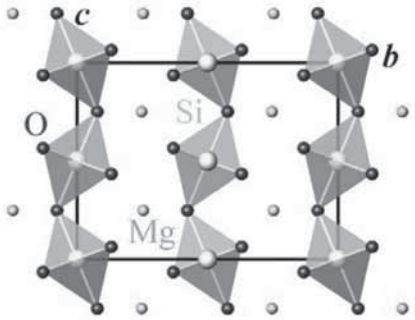
۳. وجود ناهمگونی لرزه‌ای در سرعت موج برشی در دو راستای افقی و عمودی، حاکی از جریان جانبی و عمودی مواد در این ناحیه است.

ناهمگونی لرزه‌ای در قاعدهٔ گوشته در راستای عمودی به صورت یک جفت ناپیوستگی در لایهٔ "D نمایان می‌شود. به طوری که در محدودهٔ فوقانی (فاصلهٔ ۲۰۶ تا ۳۱۲ کیلومتری) به علت تبدیل فاز پرووسکیت به پُست پرووسکیت افزایش نسبتاً سریعی در سرعت امواج لرزه‌ای (به ویژه در موج S) و به دنبال آن کاهش سریعی در فاصلهٔ ۵۵ تا ۸۵ کیلومتری بالای مرز هسته – گوشته مشاهده می‌شود. محدودهٔ اخیر در جهت افقی به صورت مناطق با ضخامت کم (به طور متوسط تا ۴۰ کیلومتر) و ناپیوسته‌ای است که در آن سرعت امواج S و P به ترتیب کاهش ۳۰ و ۱۰ درصدی را دارند. این محدوده مشخص‌کنندهٔ ناحیهٔ با سرعت لرزه‌ای بسیار پایین (ULVZ) است (تصویر ۱). این ناحیه که سرمنشأ ریشهٔ تنوره‌های گوشته‌ای است به عنوان حوزهٔ سرعت پایین موج برشی در نظر گرفته می‌شود. در مجموع مکانیسم‌های مختلفی، از جمله ذوب بخشی از گوشتهٔ تحتانی، نفوذ و تراوش مواد هسته، تفریق فرم‌های غنی از آهن پست پرووسکیت ممکن است در کاهش سرعت موج برشی در بخش پایینی لایهٔ "D نقش داشته باشند. همچنین جهت‌یافتگی ترجیحی در شبکهٔ بلوری فاز جدید پست پرووسکیت در اثر خزش که طی آن صفحات متتصویر از اکتاهدرهای Sio۶ در راستای عمودی (محور b) قرار می‌گیرند ممکن است در افزایش سرعت موج برشی در بخش فوقانی لایه نقش داشته باشد. البته این تغییر با افزایش دما نیز همراه است (تصویر ۲) [۱۱و۱۰].



تصویر ۱

تصویر ۱. موقعیت ناحیهٔ ULVZ در پایین گوشته، درست در بالای مرز هسته – گوشته



تصویر ۲

تصویر ۲. ساختار کانی پرووسکیت که در آن لایه‌های متتصویر از واحدهای Sio6 به موازات یکدیگرند و اتم‌های Mg بین لایه‌ها قرار می‌گیرند.

شواهدی از ناهمگونی لرزه‌ای در لایهٔ "D

همان‌گونه که در مبحث قبل اشاره شد، محدودهٔ بالای CMB با ناهمگونی در سرعت امواج برشی در دو راستای عمودی و افقی مشخص می‌شود. مطالعات لرزه‌شناسی بر پایهٔ توموگرافی لرزه‌ای نشان می‌دهند که:

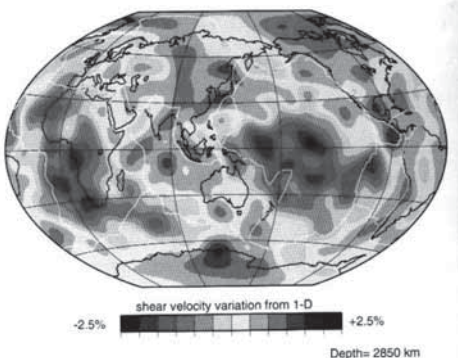
۱. میان اقیانوس آرام، شمال اقیانوس هند و آفریقا از جمله مناطقی هستند که این ناهمگونی را نشان می‌دهند. جنوب اقیانوس آرام و مرکز اقیانوس اطلس نیز آثاری از این ناهمگونی را نشان می‌دهند. در بیشتر نواحی، سرعت انتشار امواج در راستای افقی ۱ تا ۳ درصد بیشتر از راستای عمودی است [۱۳, ۸, ۵].

۲. مناطق با سرعت لرزه‌ای پایین در مناطق میانی و جنوبی اقیانوس آرام

منطبق بر تنوره‌های گوشته‌ای هستند. این مناطق بـا ناهمواری‌هایی با ارتفاع بیش از یک کیلومتر و نقاط داغ در سطح مشـخص می‌شـوند، در حالی که یک ناحیهٔ با سـرعت لرزه‌ای بالا در مقیاس بـزرگ و در زیر ناحیهٔ آسـیا منطبق با بزرگ‌ترین فرورانش‌های قدیمی در طی ۳۰۰ میلیون سـال اخیر تشخیص داده شده است [۸, ۵].

۳. در اطـراف اقیانوس آرام، الگوهای کاملی از فرورانش صفحات وجود دارند که بر نواحی سرعت لرزه‌ای بالا واقع در ناحیهٔ تحتانی گوشـته منطبق‌انـد و این امر به فروراندگی صفحات سرد تا اعماق گوشته نسبت داده شده است. مناطق لرزه‌ای فوق (نواحی روشـن‌تر در تصویر ۳) در ناحیهٔ عمقی گوشـته، مناطق با سرعت لرزه‌ای پایین واقع در زیر ناحیهٔ میانی اقیانوس آرام و جنـوب آفریقا را در بر گرفته‌اند (نواحی تیره در تصویر ۳) [۴].

۴. ضخامت لایـهٔ "D در زیر نقاط داغ منطقـهٔ آفریقا و اقیانوس آرام کمتر (حدود ۱۲۰ کیلومتـر) و در زیر ناحیهٔ آمریکا و آسـیا ضخیم‌تر (حـدود ۳۰۰ کیلومتر) است [۸].



تصویر ۳

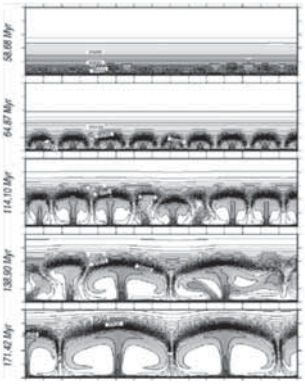
تصویـر ۳. تصویـری از مناطق با سـرعت لرزه‌ای پایین (مناطق تیره‌تر) بـه خصوص در ناحیهٔ میانـی و جنوب اقیانـوس آرام و آفریقا و مناطق با سرعت لرزه‌ای بالا (مناطق روشن‌تر) در پایین‌ترین ناحیهٔ گوشته

تولید یک تنورهٔ حرارتی

همان‌طـور که بیان شـد، تغییرات سرعت امواج لرزه‌ای در لایهٔ "D حاکی از این ناپایداری در بالای هسـتهٔ زمین اسـت و احتمـال دارد ایـن امر حاصل تغییر فاز و تشکیل مناطق نسبتاً مذاب (ULVZ) در این لایه باشـد. بنابراین گوشتهٔ زمین بین دو لایهٔ حرارتی، یکی سرد در بالا به نام لیتوسفر و دیگری لایهٔ گرم "D در پایین، محصور شده است. به هر حال، ناپایداری حرارتی فوق می‌تواند شـرایط مناسـبی را برای تولیـد تنورهٔ حرارتی ایجاد کند.

از آنجا که انتشـار حرارت از هسته به گوشـته نقش مهمـی را در پیدایش ناپایـداری در ناحیهٔ مرزی دارد، گرمای راه‌یافته به گوشته باعث کاهش چگالی ایـن ناحیه و امکان صعود مواد به طرف بالا خواهد شـد. با این حال برای صعود هر چه بیشتر، مواد موجود در تنوره باید نیروی شـناوری کافی را بـرای غلبه بر چسبندگی گوشتهٔ دربرگیرنده به دست آورند. مکانیسم مناسبی که ممکن است در بالا آمدن نقش داشـته باشد، کاهش چسبندگی در اثر گرم شدن است که در آن اصطکاک حاصـل از مالش تودهٔ در حال صعود با کناره‌هـا با افزایش دمای ۱۰۰ تا ۳۰۰ درجه‌ای درون تنوره نسبت به گوشـتهٔ دربرگیرنده همراه است. این مقدار اضافی گرما برای ذوب شدن بخش در حـال صعود کافی اسـت [۱۲ , ۲]. زمانی که تنـورهٔ حرارتی در حال صعود از میان گوشته است، اندازهٔ سر تنوره به دو دلیل بزرگ‌تر می‌شود: ۱) چون مواد موجود در دنباله، دمای بالا و چسبندگی کمتری را نسـبت به ناحیهٔ سـر دارند سـریع‌تر به طرف بالا صعود می‌کنند و جریـان ثابت و متمرکزی از مواد داغ به درون سـر تنوره هدایت می‌شود. زمانی کـه تنوره بـه موقعیت ثابتی می‌رسـد این مواد گوشته‌ای مجاور باعث کاهش چگالی آنها و جابه‌جا کردن و هدایت این مواد به درون و قاعدهٔ سـر تنوره خواهد شد. بنابراین سر تنورهٔ حرارتی مخلوطی از مواد ناحیهٔ سرچشمه و مواد گوشته‌ای داخل شدهٔ سردتر است.

از بررسـی مدل‌های آزمایشگاهی می‌تـوان به نتایـج مهمی رسـید. اول اینکه وقتی سـر تنوره از میان گوشـتهٔ تحتانی با چسـبندگی بالا وارد گوشتهٔ فوقانی با چسـبندگی پایین‌تر می‌شود سر تنوره سریع‌تر از بخش‌های پایین‌تر به طرف بالا صعود می‌کند. این امر باعث می‌شود که سـر تنوره در حین عبور از ناپیوستگی ۶۷۰ کیلومتری باریک شود. دوم اینکه مدل‌های تنوره نشان می‌دهند تنوره‌هایـی که از نظر ترکیبی چگال‌اند (به علت پایین‌تر بودن دما) ممکن است در ناپیوسـتگی ۶۷۰ کیلومتری متوقف شـوند به اسـتثنای قسـمت رأسی که بخش سبک‌تر تنوره است و می‌تواند به گوشتهٔ فوقانی راه پیدا کند [۷, ۴, ۱].



تصویر ۴

تصویر ۴. از بالا به پایین مراحل رشد تنوره‌ها با گذشت زمان. جریان‌های همرفتی تولیدشده در گوشـتهٔ مذاب به مرور زمان در بخش‌های مجاور با همدیگر ترکیب می‌شوند و تنورهٔ بزرگ‌تری را به وجود می‌آورند.

شبیه‌سـازی‌های عددی نیز نشان می‌دهند که رشـد تنوره‌ها ممکن است حاصل ترکیـب جریان‌هـای همرفتی کوچک مقیاسـی باشـد که در مناطق ناپایدار قاعدهٔ گوشـته تشکیل شده‌اند. (تصویر ۴) تکامل ناپایداری حرارتی را با گذشت زمان در پایین‌ترین ناحیهٔ گوشته که در آن پایین گوشته با افزایش دمایی در حـدود C ۱۵۰۰ مواجـه می‌شـود، نشـان می‌دهد [۱۱]. این تکامل از لایهٔ مرزی در کف از طریق انتشـار حرارتی آغاز می‌شـود و تقریباً ۶۰ میلیون سال طول می‌کشـد تا جریان‌های همرفتی

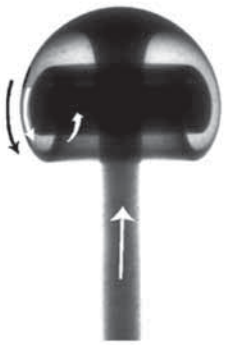
باز شدن اقیانوس اطلس حاصل فرایند اشتقاق قاره‌ای است و نقطهٔ آغاز این جدایی در اطلس شمالی و در بالای نقطهٔ داغ ایسلند قرار داشت

در مقیاس کوچک در مناطق ذوب‌شده تشکیل شوند. در این زمان ضخامت لایهٔ حرارتی مرزی به ۸۰ کیلومتر خواهد رسید. جریان‌های همرفتی متعدد تشکیل لایه‌ای را می‌دهند که می‌توان آن را لایهٔ "D در نظر گرفت. با بزرگ‌تر شدن ابعاد جریان‌های همرفتی، برآمدگی‌های کوچک و مجاور به یکدیگر ملحق می‌شوند و مناطق ناپایدار بزرگ‌تری را تشکیل می‌دهند. رسیدن تنوره‌های ایجاد شده به قاعدهٔ لیتوسفر بستگی به اختلاف دمای تنوره با محیط خود دارد و در مواردی تنوره بیش از C ۲۰۰ باشد، در طی ۵۰ تا ۱۰۰ میلیون سال می‌تواند خود را به لیتوسفر برساند [۳].

تنوره‌های داغ گوشته‌ای و فوران‌های بازالت طغیانی

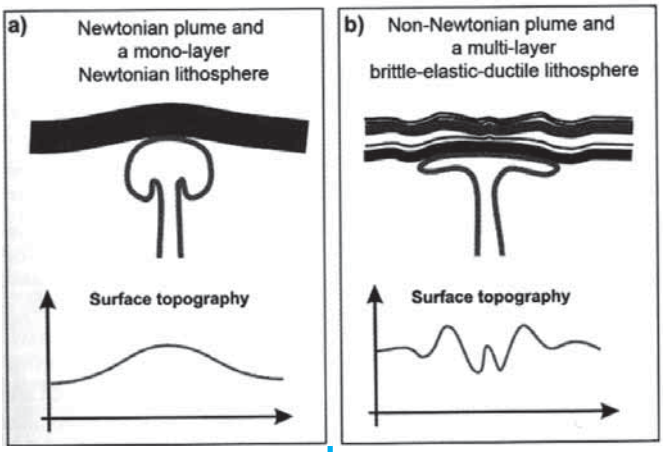
در نگاه کلی یک تنورهٔ حرارتی کامل از دو بخش رأس[19] یا سر و دنباله[20] تشکیل یافته است (تصویر ۵). با رسیدن رأس یک تنورهٔ گوشته‌ای به زیر یک لیتوسفر قاره‌ای و اقیانوسی، و هدایت شار حرارتی آن، انتظار فوران‌های گسترده از نوع بازالت طغیانی می‌رود [۲]. طرح‌هایی که از برخورد تنوره به لیتوسفر ایجاد می‌شوند نشان می‌دهند که اگر لیتوسفر به صورت یک لایهٔ منفرد و یکنواخت در نظر گرفته شود یک برآمدگی منفرد ایجاد خواهد شد (تصویر ۶-الف). ولی اگر لیتوسفر به صورت اجتماعی از لایه‌های با خواص مختلف در نظر گرفته شود (که این حالت به ویژه برای لیتوسفر قاره‌ای نگرش واقع‌بینانه‌تری خواهد بود) در این صورت سر تنوره در زیر لیتوسفر به تصویر یک دیسک پهن می‌شود و در اثر حرکت جانبی لایه‌های مجاور به هم برآمدگی‌های متعددی در سطح ظاهر خواهند شد (تصویر ۶- ب) [۴].

قطر ناحیهٔ پهن شدهٔ سر تنوره در زیر لیتوسفر ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ کیلومتر است. این مقدار به اختلاف دمای سر تنوره با گوشتهٔ مجاور بستگی دارد. در صورتی که این اختلاف دما C ۳۰۰ باشد قطر محاسبه‌شده برای سر تنوره‌ها در پایین گوشته ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ کیلومتر است که وقتی به بالای گوشته می‌رسد این مقدار تا ۲۵۰۰ کیلومتر افزایش می‌یابد. قطر دنباله ۵۰ تا ۱۰۰ کیلومتر است. برخورد تنوره‌های حرارتی به لیتوسفر همراه با بالازدگی، کشیدگی و در نهایت، ریفتی‌شدن پوستهٔ خارجی زمین است.



تصویر ۵

تصویر ۵. مدل آزمایشگاهی یک تنورهٔ حرارتی در مراحل آغازین تشکیل. مناطق با دمای بیشتر با رنگ تیره‌تر مشخص شده‌اند. پیکان‌های سفیدرنگ، جهت حرکت سیال را در داخل و سیاه‌رنگ، ترتیب جهت حرکت سیال را در لایهٔ بیرونی تنوره نشان می‌دهند.



تصویر ۶

تصویر ۶. تصویر ناهمواری به وجود آمده در ارتباط با برخورد تنوره با لیتوسفر:

A) لیتوسفر با ترکیب یکنواخت که با ایجاد یک برآمدگی همراه است.

B) لیتوسفر متتصویر از لایه‌هایی با خواص گوناگون که با ایجاد برآمدگی‌های متعدد همراه است.

در طی مراحل آغازین تشکیل ریفت، مواد داغ گوشته‌ای موجود در سر تنوره به داخل مرکز جداشدگی رانده می‌شوند تا به این وسیله، اولین پوستهٔ ضخیم اقیانوسی که درواقع همان ضخامت سر پهن شدهٔ تنوره است تولید شود. همان‌طور که قبلاً در بیان تئوری تنوره‌ها اشاره شد، تنوره‌ها ممکن است در فرایند اشتقاق قاره‌ها نقش داشته باشند. باز شدن اقیانوس اطلس حاصل فرایند اشتقاق قاره‌ای است و نقطهٔ آغاز این جدایی در اطلس شمالی و در بالای نقطهٔ داغ ایسلند قرار داشت. اگر خطی که در امتداد آن قاره جدا می‌شود در نزدیکی یا در مسیر مرکز رأس تنوره قرار داشته باشد، در این صورت طول ناحیهٔ ضخیم پوستهٔ اقیانوسی باید برابر پهنای سر تنورهٔ حرارتی، یعنی ۲۰۰۰ تا ۲۴۰۰ کیلومتر باشد. (تصویر ۷) ناحیهٔ ضخیم پوستهٔ اقیانوسی را در طول ساحل شرقی گرینلند نشان می‌دهد. بنابراین اندازهٔ سر پهن شدهٔ تنوره را می‌توان از اندازه‌گیری طول پوستهٔ اقیانوسی واقع در طول ساحل شرقی گرینلند به دست آورد [۱۸, ۲].

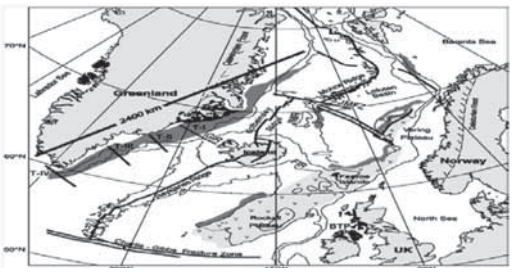
اولین پوستهٔ اقیانوسی که روی رأس تنوره تشکیل می‌شود به طور غیرعادی ضخامت زیادی دارد و ادامهٔ ذوب رأس تنوره تا جایی پیش می‌رود که مواد سر

تنوره به درون ناحیهٔ ریفت کشیده شوند.

بازالت‌هـای طغیانـی (تصویر ۸) فوران‌های آتش‌فشـانی هسـتند که وسـعت آنها از ۲۰۰۰۰۰ کیلومتر مربع در کارو تا ۱۵۰۰/۰۰۰ کیلومتر مربع در بازالت‌های سیبری[۲۱] و ضخامت آنهـا از ۲ کیلومتـر در بازالت‌های دکن[۲۲] (مرکـز هند) تا ۱۲ کیلومتر در دریاچهٔ سوپریور تغییر می‌کند. این فوران‌ها حاصل ذوب‌شـدگی ناحیهٔ رأسی تنوره در حجم گسـترده‌اند و اغلب فوران‌های اولیه ترکیب پیکریتی دارند. گدازهٔ تشـکیل‌دهندهٔ آنها چسـبندگی پایینی دارند و از این جهت سـطح وسیعی را می‌پوشانند. ضخامت این فوران‌ها در ناحیهٔ مرکزی رأس تنوره بیشترین مقدار را دراد به طرف حاشیه‌ها برود کاهش می‌یابد. از آنجا که اولین محصولات حاصل از ذوب‌شدگی با جریان‌های بعدی پوشـیده شـده‌اند، بنابراین واحدهای اولیهٔ فورانی را به ندرت می‌توان مشاهده کرد [۲].

پیش‌بینی می‌شود که جاگیری رأس تنوره در زیر لیتوسفر با بالازدگی آن به تصویر گنبد مدوری همراه باشـد. این پدیده قبل از آغاز ماگماتیسـم خروجی اسـت و به طـور یکنواخت ادامه می‌یابـد. فاصلهٔ زمانی بین شـروع دو رخداد بالازدگی و آتش‌فشانی بستگی به چسبندگی مواد گوشتهٔ فوقانی، گوشتهٔ زیرین و مواد موجود در تنوره دارد. این زمان ممکن است ۱۰ تا ۲۰ میلیون سال قبل از شروع فعالیت خروجی بازالت طغیانی باشد. مقدار بالازدگی بسـتگی به اختلاف دمای رأس تنوره با گوشتهٔ دربرگیرنده دارد. تنوره‌هایی که به طور مستقیم از لایهٔ مرزی گوشته – هسته منشأ گرفته‌اند تقریباً C ۳۰۰۰ گرم‌تر از گوشتهٔ دربرگیرنده‌اند. میزان ارتفاع بالازدگی سطح زمین تقریباً از ۵۰۰ متر تا ۴ کیلومتر است و شعاع محدودهٔ اصلی بالازدگی ممکن است تا ۲۰۰ کیلومتر هم برسد. بالازدگی سطح زمین تا زمان شروع فوران آتش‌فشانی ادامه می‌یابد.

البته در تعدادی از فوران‌های بازالت طغیانی پدیدهٔ بالازدگی دیده نشـده اسـت. در این مورد، بررسـی‌های آزمایشگاهی و مدل‌های عددی نشان می‌دهند که اگر یک تنورهٔ در حال صعود چسبندگی بیشتری نسبت به گوشتهٔ اطراف داشته باشد، در این صورت سربرآمدهٔ تنوره به وضوح تشکیل نخواهد شد.



تصویر ۷

تصویر ۷. نقشـهٔ ناحیهٔ شمال اقیانوس اطلس، حدفاصل لبهٔ غربی قارهٔ اروپا و لبهٔ شرقی گرینلند. خط میان اقیانوسی که از نقطهٔ داغ ایسلند می‌گذرد به طور قرینه اولین بازالت‌های فوران‌یافته از سـر تنورهٔ حرارتی را از یکدیگر

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
دفتر انتشارات و تکنولوژی آموزشی

با مجله‌های رشد آشنا شوید

مجله‌های رشد توسط دفتر انتشارات و تکنولوژی آموزشی سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وابسته به وزارت آموزش و پرورش تهیه و منتشر می‌شوند:

مجله‌های دانش‌آموزی

(به صورت ماه‌نامه و هشت شماره در هر سال تحصیلی منتشر می‌شوند):

- رشد کودک (برای دانش‌آموزان آمادگی و پایهٔ اول دورهٔ دبستان)
- رشد نوآموز (برای دانش‌آموزان پایه‌های دوم و سوم دورهٔ دبستان)
- رشد دانش‌آموز (برای دانش‌آموزان پایه‌های چهارم، پنجم و ششم دورهٔ دبستان)
- رشد نوجوان (برای دانش‌آموزان دورهٔ راهنمایی تحصیلی)
- رشد جوان (برای دانش‌آموزان دورهٔ متوسطه و پیش‌دانشگاهی)

مجله‌های بزرگسال عمومی

(به صورت ماه‌نامه و هشت شماره در هر سال تحصیلی منتشر می‌شوند):

◆ رشد آموزش ابتدایی ◆ رشد آموزش راهنمایی تحصیلی ◆ رشد تکنولوژی آموزشی ◆ رشد مدرسه فردا ◆ رشد مدیریت مدرسه ◆ رشد معلم

مجله‌های بزرگسال و دانش‌آموزی تخصصی

(به صورت فصل‌نامه و چهار شماره در هر سال تحصیلی منتشر می‌شوند):

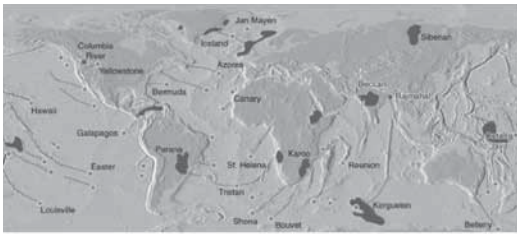
◆ رشد برهان راهنمایی (مجله ریاضی برای دانش‌آموزان دورهٔ راهنمایی تحصیلی) ◆ رشد برهان متوسطه (مجله ریاضی برای دانش‌آموزان دورهٔ متوسطه) ◆ رشد آموزش قرآن ◆ رشد آموزش معارف اسلامی ◆ رشد آموزش زبان و ادب فارسی ◆ رشد آموزش هنر ◆ رشد آموزش مشاور مدرسه ◆ رشد آموزش تربیت‌بدنی ◆ رشد آموزش علوم اجتماعی ◆ رشد آموزش تاریخ ◆ رشد آموزش جغرافیا ◆ رشد آموزش زبان ◆ رشد آموزش ریاضی ◆ رشد آموزش فیزیک ◆ رشد آموزش شیمی ◆ رشد آموزش زیست‌شناسی ◆ رشد آموزش زمین‌شناسی ◆ رشد آموزش فنی و حرفه‌ای ◆ رشد آموزش پیش دبستانی

مجله‌های رشد عمومی و تخصصی، برای معلمان، مدیران، مربیان، مشاوران و کارکنان اجرایی مدارس، دانش‌جویان مراکز تربیت‌معلم و رشته‌های دبیری دانشگاه‌ها و کارشناسان تعلیم و تربیت تهیه و منتشر می‌شوند.

◆ **نشانی:** تهران، خیابان ایرانشهر شمالی، ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش‌وپرورش، پلاک ۲۶۶، دفتر انتشارات و تکنولوژی آموزشی.

◆ **تلفن و نمابر:** ۸۸۳۰۱۴۷۸ ـ ۰۲۱

جدا می‌سازد. این سنگ‌ها به تصویر نواری به طول ۲۴۰۰ کیلومتر در ساحل شرقی گرینلند و جلگهٔ اقیانوسی واقع در سمت اروپا تشکیل شده‌اند (نوارهای به رنگ خاکستری تیره و نیز در (تصویر ۸).



تصویر ۸

تصویر ۸. نقشهٔ توزیع بازالت‌های طغیانی (مناطق تیره‌رنگ)، نقاط داغ (نقاط مشخص روی نقشه) و خطوط آتش‌فشانی مرتبط با نقاط داغ. نقاط داغ در ابتدای خطوط آتش‌فشانی واقع شده‌اند. برخی از بازالت‌های طغیانی قدیمی در انتهای دیگر خطوط آتش‌فشانی بیرون‌زدگی پیدا کرده‌اند.

پی‌نوشت

1. Core-Mantle Boundary 2. plumes 3. perovskite
4. postperovskite 5. Ultra Low Velocity Zone
6. hotspots 7. flood basalts 8. Wilson
9. Ramberg 10. Belousov 11. Wasserburg
12. Kellogg 13. Lupton 14. Craig 15. Bullen
16. tomography 17. Anderson 18. Murakami
19. head 20. tail 21. Siberian traps 22. Deccen

منابع

1. Brown, G.c and Musset, A.E. (1993). THE INACCESSIBLE EARTH.CHAPMAN & HALL PRESS. P.276.
2. Campbell, I. H and Davies, G.F. Do mantle plumes exist? Episodes, Vol.29, no. 3(2006).
3. Condie,K.C..(1989). PLATE TECTONICES & CRUSTAL EVOLUTION. pergamon Press.p.476.
4. Foulger, G.R.(2010). PLATES vs PLUMES.A Geological Controversy. WILEY-BLACKWELL PRESS. P.328.
5. Helmberger , D and Gurnis , M. Deep mantle structure and the postperovskite phase transition PNAS. November 29, 2005, vol. 102, no. 48, 17257-17263.
6. Hernlund,J.W and Labrosse , S. GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 34, L05309, doiL 10.1029/2006 GL028961, 2007.
7. Ishida, M., Maruyama, S., Suetsugu D., Mastsuzaka, S and Eguchi1, T. Superplume Project: Towards a new view of whole Earth dynamics. Earth Planets Space, 51 (1), i-v, 1999.
8. Manglik , A. New insights into core-mantle boundary region and implications for Earth's internal processes. CURRENT SCIENCE, VOL. 99, NO. 12, 25 DECEMBER 2010.
9. Murakami , M. et al.: Phase transition of MgSiO3 Perovskite in the deep lower mantle Science 304 (2004) 855.
10. Nakagawa, T and Tackle, P.J. Effects of a perovskite-post perovskite phase change near core-mantle boundary in compressible mantle convection. GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 31, L16611, doi: 10.1029/2004GL020648,2004.
11. Okamoto T., Sumita I., Nakakuki T., Yoshida S. Deformation of a partially molten D__ layer by small-scale convection and the resulting seismic anisotropy and ultralow velocity zone. Physics of the Earth and Planetary Interiors 153 (2005) 32-48.
12. Steinbach , V and Yuen, D. A. Viscous heating: a potential mechanism for the formation of the ultralow velocity zone. Earth and Planetary Science Letters 172 (1999) 213-220.
13. Thompson, G. A. Deep Mantle Plumes and Geoscience Vision. PRESIDENTIAL ADDRESS.
14. http://bowfell.geol.ucl.ac.uk
15.http://eaps.mit.edu/faculty/shim/imagegallery/mantle_minerals.html
16. http: www.atmosp. physics. utoronto.ca/~peltier.pubs_books
17. http://www.ccsf.edu/Departments/History_of_Time_and_Life/PDFs/FloodBasaltExtinctions
18. http://www.mantleplumes.org/Plumes.htm
19. http://www.spring8.or.jp/pdf/en/res_fro/06/117-118.pdf

دورهٔ دهم
شمارهٔ ۱ • پاییز ۱۳۹۱
آموزش رشد ۶۴
زمین‌شناسی

تولیدملی،حمایت ازکار و سرمایه ایرانی

برگ اشتراک مجله‌های رشد

نحوهٔ اشتراک:

شما می‌توانید پس از واریز مبلغ اشتراک به شماره حساب ۳۹۶۶۲۰۰۰ بانک تجارت، شعبهٔ سه‌راه آزمایش کد ۳۹۵، در وجه شرکت افست از دو روش زیر، مشترک مجله شوید:

۱. مراجعه به وبگاه مجلات رشد؛ نشانی: www.roshdmag.ir و تکمیل برگهٔ اشتراک به همراه ثبت مشخصات فیش واریزی.

۲. ارسال اصل فیش بانکی به همراه برگ تکمیل شدهٔ اشتراک با پست سفارشی (کپی فیش را نزد خود نگه‌دارید).

◆ نام مجلات درخواستی:

.....

.....

.....

◆ نام و نام خانوادگی: .....

◆ تاریخ تولد: ..... ◆ میزان تحصیلات: .....

◆ تلفن: .....

◆ نشانی کامل پستی: .....

استان: ..... شهرستان: ..... خیابان: .....

شمارهٔ فیش: ..... مبلغ پرداختی: .....

پلاک: ..... شمارهٔ پستی: .....

.....

◆ در صورتی که قبلاً مشترک مجله بوده‌اید، شمارهٔ اشتراک خود را ذکر کنید:

.....

امضا:

● نشانی: تهران، صندوق پستی امورمشترکین: ۱۶۵۹۵/۱۱۱
● وبگاه مجلات رشد: www.roshdmag.ir
● اشتراک مجله: ۰۲۱-۷۷۳۳۶۶۵۶/۷۷۳۳۵۱۱۰/۷۷۳۳۹۷۱۳-۱۴

◆ هزینهٔ اشتراک یکساله مجلات عمومی (هشت شماره): ۱۲۰۰۰۰ ریال
◆ هزینهٔ اشتراک یکساله مجلات تخصصی (چهار شماره): ۸۰۰۰۰ ریال