

## تنوره‌های گوشته‌ای (mantle plumes)

تنوره گوشته‌ای، بالا آمدن غیرطبیعی سنگ‌های داغ در داخل گوشته زمین است؛ به طوری که قلّه تنوره‌های گوشته‌ای هنگامی که به زرفای کم می‌رسند، به طور پختی ذوب می‌شوند و مراکز آتشفشانی شناخته شده‌ای به نام نقاط داغ (hotspot) به همراه روانه‌های بازالتی (flood basalts) ایجاد می‌کنند که ممکن است دور از مرز صفحات باشند.

۲ بخش است، ارائه کرد: یک مجرای باریک طولی که بالای تنوره را به انتهای آن وصل می‌کند و یک سر پیازی شکل که بالا آمدن تنوره در گوشته وسعت می‌یابد و در نتیجه تنوره شبیه یک قارچ با یک پایه و یک سر بزرگ به نظر می‌رسد. سر پیازی شکل به دلیل حرکت سریع‌تر مواد داغ به سمت بالا در داخل کانال تنوره نسبت به بالا آمدن خود تنوره در استتوسفر اطراف ایجاد می‌شود و ممکن است با توجه به وسعتش مقداری از استتوسفر همچوار را نیز با خود به سمت بالا بکشاند. وقتی سر تنوره به قاعده لیتوسفر می‌رسد متوقف می‌شود و به صورت بخشی ذوب شده و ماگمای بازالتی را می‌سازد.

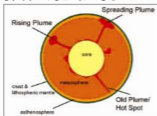
این بازالتها ممکن است در یک مقیاس زمانی کوتاه (کمتر از یک میلیون سال) فوران کنند. یک روانه بازالتی قارچ (اگر در پوسته قارچ‌های فوران کند) یا یک فلات اقیانوسی را (اگر در پوسته اقیانوسی فوران کند) شکل دهند.

دنباله تنوره تنوره ممکن است به انتقال مواد از داخل زمین ادامه دهد و موجب تغذیه ماگما در یک جای ثابت به صورت نقاط داغ شود. هنگامی که لیتوسفر روی این نقاط داغ با توجه به نکتونیک صفحه‌ای حرکت می‌کند، فوران ماگما از نقاط داغ ثابت به سطح یک رشته کوه وولکانیکی را که موازی حرکت صفحه است، شکل می‌دهد. نمونه بارز آن، رشته جزایر هاوایی

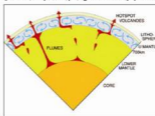
تنوره گوشته‌ای روشی برای کاهش دمای درونی زمین است. برخی دانشمندان تصور می‌کنند نکتونیک صفحه‌ای گوشته را و تنوره‌های گوشته‌ای، هسته را خنک می‌کنند.

هندسه رشته کوه‌های دریایی هاوایی - لهیرویر (Hawaiian Emperor seamount chain) و پیشرفت سن وولکانیسوم‌های آن در طول رشته کوه شاهدهی مهم در حمایت از تئوری تنوره گوشته است.

سال ۱۹۷۱ یک ژئوفیزیکان به نام مورگان (W. Jason Morgan) تئوری تنوره‌های گوشته‌ای را پیشنهاد داد. در این نظریه، همرفت در گوشته به آرامی گرما را از هسته به سطح زمین منتقل می‌کند. امروزه پیشنهاد شده که ۲ فرآیند تبادل حرارت را در زمین هدایت می‌کنند: نکتونیک صفحه‌ای توسط فرورفتن صفحات سرد لیتوسفر به استتوسفر و تنوره‌های گوشته‌ای که گرما را از مرز گوشته و هسته در ستون‌هایی از مواد داغ در حال صعود به بالا حمل می‌کنند. با فرورفتن ورقه‌های وسیع لیتوسفر اقیانوسی به داخل گوشته، بالا آمدن استتوسفر در طول پشته‌های میان اقیانوسی لغزان را در پوسته ایجاد می‌کند. در مقابل، تنوره‌های گوشته ستون‌های باریکی از مواد هستند که کم و بیش مستقل از حرکت صفحات صعود می‌کنند. دیتامیک سیالات لویال دهه ۱۹۷۰ مدلی از تنوره‌های گوشته را که شامل



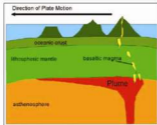
شکل ۲- مراحل رسیدن تنوره‌های گوشته‌ای به سطح



شکل ۱- تنوره‌های گوشته‌ای و منشأ آنها



شکل ۳- مراحل شکل‌گیری توره‌گوشته‌ای و شکل‌فازچ مانند لپه‌ای آن



شکل ۴- نقطه داغ ثابت در زیر رشته کوه‌های اقیانوسی

### نقش هسته

مهم‌ترین ترکیب متفاوت شناخته شده در ژرفای بیش از ۴۰۰ کیلومتری گوشته، در مرز گوشته و هسته موجود است. برای صعود توره‌های از این قسمت معمولاً ۲ دلیل ذکر می‌شود: اول، وجود ناپوستگی دمایی مرز گوشته و هسته، دوم، وجود لایه D در قاعده گوشته که از لحاظ انرژی از لایه‌های بالاتر گوشته مجزا است. لایه D از لحاظ ترکیبی با لایه‌های بالایی گوشته متفاوت است و توپوگرافی انرژی لیتوسفر فرورفته در استوسفر پیشنهاد می‌دهد که لایه D ممکن است در واقع تجمع این ورقه‌های فرورفته در قاعده گوشته باشد.

توره‌های بسیار بزرگ و پهن‌پو که یک سری توره‌های کوچک‌تر را در گوشته بالایی به وجود می‌آورند گاهی «توره» نامیده می‌شوند که معمولاً زمانی که قله توره به گوشته بالایی می‌رسد و شخامتی حداقل ۳۰۰۰-۱۵۰۰ کیلومتر دارند. یک رویکرد آبر توره روینداری کوتاه مدت گوشته‌ای (حدود ۱۰۰ میلیون سال) است.

### شواهد نظریه

توره‌های گوشته شرحی را برای واکتایسم درون صفحه‌ای به نام «تقارن داغ» مطرح می‌کند. از جمله شواهد استفاده شده

در قیاسوس آرام است.

فوران روانه‌های بازتابی قارای که اغلب با کفتها و شکستن قاره‌ها همراه هستند، فرضیه نقش مهم توره‌های گوشته‌ای را در کفت‌های قارای و تشکیل حوزهای اقیانوسی نشان می‌دهد.

### مدلی از تشکیلات توره‌ای

ترکیب شیمیایی و ایزوتوپی بازتاب‌های یافت شده در تقارن داغ و پیشنهاد تشکیل بر اثر ذوب بخشی بخشی بالایی توره‌های گوشته‌ای اجزای آن را نشان می‌دهد که شامل عناصر گوشته با گازهای نجیب شکسته شده، عناصر پوسته اقیانوسی فروبرنده شده و لیتوسفر گوشته‌ای و رسوبات فروبرنده شده هستند. بر اثر فرورانش لیتوسفر و رسوبات روی آن در زون فرورانش باعث جدایی آب و عناصر کمیاب محلول در آب از عناصر کمیاب غیرمحلول می‌شود.

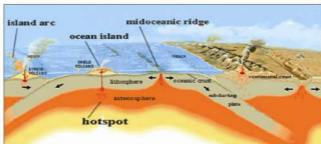
توموگرافی انرژی نشان می‌دهد که پوسته اقیانوسی ممکن است بر اثر فرورانش به طور مستقیم تا مرز گوشته و هسته فرو برود یا برای دوره‌هایی طولانی در منطقه انتقالی گوشته (۶۶۰-۴۰۰ کیلومتری) قبل از فرو رفتن به مرز گوشته و هسته متوقف شود. ورقه‌های فرورفته در مرز گوشته و هسته جمع می‌شوند و یک لایه مشخص انرژی را که D نامیده می‌شود، شکل می‌دهند.

به دلیل کمبود حامل های حرارتی در مرز گوشته و هسته، انتقال حرارت به وسیله رسانش صورت می‌گیرد. در نتیجه، مرز گوشته و هسته با ناپوستگی دمایی مهم با اختلاف دمایی در حدود چند صد درجه را نشان می‌دهد. حرارت طی این مرز به وسیله رسانش منتقل می‌شود و در نتیجه مواد در لایه D گرم‌تر شده، بنابراین کم چگال‌تر و سبک می‌شوند. هنگامی که مواد به اندازه کافی سبک شدند شروع به صعود می‌کنند و یک توره گوشته‌ای را شکل می‌دهند. توره ایجاد شده در گوشته بالا می‌آیند و به محض رسیدن به ژرفاهای کمتر در استوسفر، بر اثر کاهش فشار در بالای توره ذوب شدگی روی می‌دهد و یک حجم بزرگی از ماگما را می‌سازد. ماگما طی استوسفر تا رسیدن به پوسته زمین جایی که تقارن داغ را ایجاد می‌کند، بالا می‌آیند.

گاهی اوقات توره گوشته‌ای با نقطه داغ اشتباه گرفته می‌شود! در حالی که توره، یک ساختار گوشته‌ای است و نقطه داغ یک منطقه از ماگمایسم به همراه بالآمدگی سطحی است و در واقع نقطه داغ، جلوه سطحی توره گوشته است و به طور کلی یکی معلول است و دیگری علت.

توره‌های کوچک‌تری که در قسمت بالاتر نسبت به توره‌های گوشته‌ای ژرف معمول سرچشمه می‌گیرند «توره‌های کوچک» (Miniplumes) نامیده می‌شوند. یک مثال احتمالی از آنها توره Anahim در نقطه داغی به همین نام در آمریکا و کاناداست.





شکل ۷- چگونگی شکل‌گیری جزایر اقیانوسی در بالای نقاط داغ، پشته میان اقیانوسی و جزایر کمانی

همراه با عناصر شیمیایی قابل حل در آب خارج می‌شود. این منابع غنی شده برای متاسوماتیسم گوشته بالایی بالا می‌آید و در بازالت‌های جزایر کمانی دیده می‌شود. بر اثر این فرآیند در ورقه در حای فرورانش عناصر حمل شده با آب (مانند K,Rb,Th,Pb) کاهش یافته بنابراین نسبتا از عناصری که با آب حمل نمی‌شوند (مانند Ti,Nb,Ta) غنی می‌شوند. بازالت‌های جزایر اقیانوسی که آتشفشان تولید شده از تنوره‌های گوشته‌ای هستند، نسبتا از عناصر غیرقابل حل در آب نسبت به عناصر قابل حل توسط آب غنی هستند. از این رو می‌توان نتیجه گرفت پوسته اقیانوسی فرورفته یک نقش اصلی را در تولید آنها بازی می‌کند.

#### ■ مناطق پیشنهادی

از جمله مناطق پیشنهاد شده برای تنوره‌های گوشته‌ای می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

شناخته شده‌ترین مکان‌هایی که مناسب نظریه تنوره گوشته‌ای هستند، هاوایی و ایسلند هستند که هر دو فعالیت آتشفشانی دارند. دیگر رشته جزایری که مواری حرکت صفحات هستند شامل مجمع‌الجزایر هلن- استشن- گواخ و پشته -Ninety-East در اقیانوس هند است. با بررسی امواج p و s می‌توان دیگر مکان‌ها را که با مدل تنوره گوشته سازگارند را بررسی کرد. جزایر استشن و سنت‌کلن به نظر می‌رسند از یک تنوره سرچشمه گرفته‌اند. به همین نحو فعالیت آتشفشانی در آیزورس و جزایر قدری بخش‌هایی از یک کانال واحدند. جنوب چاول و در دریای کورال، بررسی‌ها امکان شکل‌گیری تنوره‌هایی را در آینده نشان می‌دهند که در حال حاضر تنها نیمه راه تا سطح طی کرده‌اند.

از جمله کانی‌های همراه با این پدیده می‌توان به نهشته‌های نیکل، مس و طلا اشاره کرد.

تنوره و گوشته اطراف نیز سرچشمه گیرد. با آنالیز پاش‌شماره فشاری (یا امواج p) یک گروه از دانشمندان در پرینستون ۳۲ منطقه در سراسر جهان را شناسایی کردند که امواج p آرام‌تر از حد معمول عبور می‌کنند و نتیجه گرفتند که این نواحی تنوره‌های گوشته‌ای هستند. این گروه از آنالیزهای امواج s نیز برای تعیین گسترش این تنوره‌های پیشنهادی تا مرز گوشته و هسته استفاده کردند.

نافع‌جاری‌های سطحی با برآمدگی‌های نوپورگرفی روی مکان تنوره و با نافع‌جاری‌های هندسی مثبت مشخص می‌شوند. نافع‌جاری‌های مثبت هندسی منمکس کننده توده اضافی مرتبط با برخاستگی و گنبدی شدن بالای یک تنوره گرمایی هستند.

۴- **ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی:** بازالت‌های مرتبط با نقاط داغ یا تنوره‌های گوشته‌ای از نظر ژئوشیمیایی با بازالت‌های پشته میان اقیانوسی و گدازه‌های مرتبط با آتشفشان‌های جزایر کمانی متفاوتند.

در عناصر اصلی، بازالت‌های نقاط داغ به طور نمونه میزان آهن و تیتانیوم بالاتری نسبت به بازالت‌های پشته میان اقیانوسی در محیط‌های منیزیم مشابه دارند. در عناصر کمیاب، بازالت‌های نقاط داغ به طور نمونه از لحاظ خاک‌های نادر سبک نسبت به بازالت‌های پشته میان اقیانوسی غنی‌ترند. در مقایسه بازالت‌های جزایر کمانی، بازالت‌های نقاط داغ آلومینوم کمتری دارند و دارای عناصر کمیاب ثابت (تام‌حلول در آب) (مانند Ti,Nb,Ta) بیشتری هستند. معنای این تفاوت‌ها در میان بازالت‌های جزایر اقیانوسی (نقاط داغ) پشته میان اقیانوسی و بازالت‌های جزایر کمانی در فرآیندهایی است که طی فرورانش پوسته اقیانوسی و لیٹوسفر گوشته‌ای رخ می‌دهند. لیٹوسفر اقیانوسی با درجات متفاوت روی بستر دریا به دلیل عوامل جوی یا چرخه هیدروترمال نزدیک نوک پشته آبدار می‌شود. در فرورانش لیٹوسفر اقیانوسی، آب بر اثر واکنش‌های آب‌زدایی