

زمین ساخت در هسته زمین

دبیر زمین‌شناسی شهرستان قوچان
ترجمه: مجید کوهستانیان
پنیر اولسون

درونی (مرز بین هسته درونی و بیرونی) را آشکار ساخته است. در حالی که درونی‌ترین بخش‌ها به ظاهر باید ایزوتروپ^۵ باشند، منطقه بلا فصل زیر مرز هسته درونی، بافت ایزوتروپ را نشان می‌دهد و در ضمن تفاوت‌هایی را بین دو نیم‌کره شرقی و غربی به نمایش می‌گذارد [انیو و ون، ۲۰۰۱].

هسته درونی متبلور و منجمد شده و به علت آزاد شدن گرمای نهان تبلور از آن شیب حرارتی شعاعی در آن ایجاد می‌شود؛ یعنی در بخش مرکزی، بیش‌ترین حرارت را دارد. این شیب با وارونه کردن همرفت، هسته درونی را ناپایدار می‌سازد، اما مقدار عناصر سبکی همچون اکسیژن، گوگرد و سیلیسیم نیز در هسته درونی، دارای شیب شعاعی است و در حین فرایند انجماد، در بخش‌های بیرونی هسته درونی متمرکز می‌شوند. این شیب باعث پایدارسازی توزیع چگالی در سرتاسر هسته درونی شده و لذا از ناپایداری‌های همرفتی جلوگیری می‌کند. این دو فرایند با یکدیگر در رقابت‌اند و اهمیت نسبی آنها به مرحله خاص رشد هسته درونی بستگی دارد.

پیچیدگی دیگر در فرایند رشد هسته، به سرعت نایکنواخت انجماد در مرز هسته درونی مربوط می‌شود. به علت تأثیر حرکات سیال بر هسته بیرونی، انتظار می‌رود که فرار گرما از مرز هسته درونی در نزدیکی استوای هسته درونی، بیش‌تر از عرض‌های دیگر باشد. بنابراین هسته درونی به‌طور ترجیحی از

هسته درونی جامد زمین با میانگین شعاع ۱۲۲۰ کیلومتر، عمیق‌ترین بخش زمین است و به نظر می‌رسد مکانی نامحتمل برای یافتن آثار ضبط‌شده تحول سیاره ما باشد. با این وجود، در میان همه زیر تقسیم‌های اولیه زمین، هسته درونی به ظاهر باید جوان‌ترین بخش باشد و احتمالاً باید بیش‌ترین سرعت رشد را داشته باشد. هسته درونی در مدت‌زمانی کمتر از ۲ میلیارد سال [بارفت^۱، ۱۹۹۶] و احتمالاً طی ۶۰۰ میلیون سال [انیمو^۲، ۲۰۰۷] به اندازه کنونی خود رسیده است. محاسبات انجام شده توسط دیگوئن و کاردین نشان می‌دهد که ساختمان هسته درونی، سرنخ‌هایی درباره مراحل پایانی تفریق شیمیایی زمین در اختیار ما قرار می‌دهد. عجیب‌تر آن است که هسته، شواهد زمین‌ساخت فعال حاصل از گرانش را نیز در خود ثبت و حفظ می‌کند. [دیگوئن و کاردین، ۲۰۰۹].

ملاحظات مربوط به سرعت فرار گرما از اعماق زمین، حاکی از آن است که هسته درونی با سرعتی برابر با ۴ تا ۵ میلیون کیلوگرم در ثانیه، از هسته بیرونی سیال غنی از آهن متبلور می‌شود [انیمو، ۲۰۰۷]. این رشد سریع باعث حبس شدن گرما و ناهمگنی شیمیایی شده و هسته درونی، به ساختمان کاملاً پیچیده خود می‌رسد. برای مثال، تصویربرداری لرزه‌ای جدید، تفاوت‌های میان عمیق‌ترین بخش‌های هسته درونی [کائو و رومانویچ^۳، ۲۰۰۷، و سان و سانگ^۴] و مناطق نزدیک به هسته

دوره هجدهم
شماره ۳ • بهار ۱۳۹۱

آموزش رشد ۲۲
زمین‌شناسی

- بی‌نوشت
1. Buffett
 2. Nimmo
 3. Cao & Romanowicz
 4. Sun & Song
 5. unisotrope
 6. Niu & Wen
 7. Youshida
 8. Tromp

- منابع
1. Buffett, B. A., Huppert, H. E., Lister, J. R., & Woods, A. W. (1996). On the thermal evolution of the Earth's core. *Journal of Geophysical Research*, 101, 7989-8006.
 2. Nimmo, F. (2007) Energetics of the Core. In: *Treatise on Geophysics*, Vol 8 (ed. Schubert, G.), 31-65.
 3. Deguen, R. & Cardin, P. (2009) Tectonic history of the Earth's inner core preserved in its seismic structure. *Nature Geoscience*, Vol 2, 419-422.
 4. Cao, A. & Romanowicz, B. (2007) Test of the innermost core models using broadband PKIKP travel time residuals. *Geophys Res Lett*, 34, L08303 L08308.

Olson, P. (2009) Tectonics in the Earth's core. *Nature Geoscience*, Vol 2, 379-380.

5. Sun, X. & Song, X. The inner inner core of the Earth: Texturing of iron crystals from three-dimensional seismic anisotropy. *Earth and Planetary Science Letters*, 269, 56-65.

6. Niu, F. L. & Wen, L. X. (2001) Hemispherical variations in seismic velocity at the top of the Earth's inner core. *Nature* 410, 1081-1084.

7. Yoshida, S., Sumita, I. & Kumazawa, M. (1996) Growth model of the inner core coupled with the outer core dynamics and the resulting elastic anisotropy. *Journal of Geophysical Research*, 101, 28085-28104.

8. Tromp, J. (2001). Inner-core anisotropy and rotation. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 29, 47-69.

دوره هجدهم
شماره ۳ بهار ۱۳۹۱

را در تحول هسته درونی ایفا می‌کند. به جای آشفته‌گی‌های همرفتی سرتاسری در مراحل آغازی، صفحات نازک از بلندی‌های توپوگرافی استوایی لغزیده و دور شده و درست در زیر مرز هسته درونی، بر روی یکدیگر رانده می‌شوند (شکل ۱). این دگرشکلی تا حد کمی شبیه به الگوی زمین‌ساختی در کمربندهای کوهزایی است که در آن‌جا، قطعات پوسته قاره‌ای بالایی بر روی یکدیگر انباشته می‌شوند.

مرز هسته درونی



شکل ۱. زمین‌ساخت هسته درونی. این تصویر ساده، وارونه‌شدن ناشی از گرانش را در یک لایه کم‌عمق در زیر مرز هسته درونی نشان می‌دهد. دیگوتن و کاردین [۳] اظهار می‌دارند که در مراحل پایانی سرگذشت رشد هسته درونی، این فعالیت به علت چینه‌بندی ترکیبی پایدار ناشی از توزیع عناصر سبک (با سایه نشان داده شده است)، از بخش‌های عمیق‌تر جدا می‌گردد. منحنی سفید، به استوای برآمده هسته درونی اشاره می‌کند.

مدل تحولی پیشنهاد شده توسط دیگوتن و کاردین می‌تواند به توضیح تغییرات ساختمانی در فابریک هسته درونی کمک کند. برای مثال، برشی شدن در اثر فعالیت زمین‌ساختی در بالاترین بخش‌های هسته درونی طی ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلیون سال گذشته، می‌تواند به همگن‌شدگی مواد، درست در زیر مرز هسته درونی، کمک کند و بنابراین مکانیسمی احتمالی برای ایزوتروپی ناشی از داده‌های لرزه‌ای را در اختیار ما بگذارد. همچنین این مدل به ما می‌گوید که درونی‌ترین بخش‌ها، از دگرشکلی در حین مراحل پایانی رشد هسته درونی تأثیر نمی‌پذیرند. لذا این امکان وجود دارد که فابریک در عمیق‌ترین بخش‌های هسته درونی، فابریکی قدیمی باشد و بنابراین اطلاعاتی درباره فرایندهای قدیمی به ما می‌دهد.

البته این شبیه‌سازی‌ها، زمین‌ساخت فعال در رأس هسته درونی را دربر نمی‌گیرد. توضیح محققان جالب است، اما عوامل پیچیده‌کننده هنوز هم وجود دارند. برای مثال، کاوش‌های لرزه‌ای در هسته درونی هنوز ناقص است و مدل ارائه‌شده را در حال حاضر نمی‌توان به‌طور کامل آزمایش کرد. البته دگرشکلی زمین‌ساختی، تنها فرایندی نیست که بر ساختمان و فابریک هسته درونی تأثیر می‌گذارد [ترومپ، ۲۰۰۱].

تفسیر ساختمان سه‌بعدی هسته درونی زمین و تحول آن، مسئله‌ای دشوار است، بخصوص این‌که فرایندهای فیزیکی چندگانه (مثلاً همرفت، انجماد و دگرشکلی دانه‌ای) به‌طور همزمان عمل می‌کنند. مدل‌سازی دیگوتن و کاردین نه تنها نگرش‌های جدیدی درباره سرگذشت اعماق زمین به ما می‌دهد بلکه می‌تواند اولین گام در راه درک و شناخت اعماق سایر سیارات منظومه شمسی نیز باشد.

در مناطق استوایی سرد و متبلور می‌شود؛ در نتیجه، این مناطق به لحاظ توپوگرافی، بلندتر هستند [یوشیدا، ۱۹۹۶]. فرار ترجیحی گرما از مناطق استوایی، به صف‌آرایی شمالی-جنوبی دوقطبی زمین مغناطیسی مربوط می‌شود. به هر حال، توپوگرافی بلندتر در استوای هسته درونی، که به تبلور سریع ناشی از این فرار گرما مربوط می‌شود، تاکنون به‌طور مستقیم مشاهده نشده است.

دیگوتن و کاردین از شبیه‌سازی‌های عددی استفاده کردند تا تعیین کنند که چگونه این فرایندهای گوناگون (شامل شیب‌های حرارتی و توزیع عناصر سبک و نیز تبلور ترجیحی در استوا) در ایجاد ناهمگنی‌های آشکار شده بالرز ه‌شناسی در هسته درونی، دخالت دارند. آنها تحول هسته درونی از مرحله جنینی تا وضعیت کنونی‌اش را مدل‌سازی کرده‌اند. این محاسبات حاکی از آن است که وقتی هسته درونی بسیار کوچک بوده، انجماد ترجیحی در استوا و وارونه‌شدن همرفت حرارتی، بافت تقریباً یکنواختی را در جامد ایجاد کرده است. در این مرحله، هیچ چینه‌بندی ترکیبی چشمگیری در اثر غنی‌شدگی عناصر سبک در بالاترین مناطق، به‌وجود نیامده است.

اما با رسیدن هسته درونی به اندازه امروزی خود، وضعیت فوق به ظاهر تغییر یافته است. محققان بر این باورند که با کاهش سرعت رشد، زمان کافی برای ایجاد شیب در غلظت عناصر سبک وجود دارد؛ و اثرات این مسئله، اکنون نقش غالب