تکتونیک هیمالیا

لیلا قاسمی دوست*

مقدمه

رشته کوه هیمالیا، بزرگ‌ترین برآمدگی سطح زمین، بعد از گذشت میلیون‌ها سال، هم‌چنان فعال و جوان است. مرتفع‌ترین قله‌ی جهان، یعنی اورست نیز به هیمالیا تعلق دارد. این رشته کوه، به دلیل آن‌که واحدهای سنگ‌شناسی متفاوتی دارد، همواره مورد توجه دانشمندان علوم زمین بوده است. تاکنون مقالات فراوانی درباره‌ی سازوکارهای حاکم بر آن، نحوه‌ی تشکیل و شکل‌گیری آن، زمین‌ساخت و شناخت واحدهای لیتولوژیکی موجود در این ابرکوه به نگارش درآمده‌اند. در این مقاله سعی شده است با جمع‌آوری مقالات متفاوت پیرامون هیمالیا، درخصوص این رشته کوه اطلاعات مفیدی در اختیار خوانندگان عزیز قرار گیرد.

امروزه زمین‌شناسان می‌کوشند، با شبیه‌سازی پدیده‌هایی که در گذشته‌ی زمین اتفاق افتاده‌اند، راهی برای درک بهتر آن‌ها فراهم آورند. اغلب این مدل‌سازی‌ها توسط نرم‌افزارهای رایانه‌ای و ابزارهای مکانیکی در آزمایشگاه‌های زمین‌شناسی انجام می‌گیرند. دانشمندان در این روش، فرضیه‌های متفاوتی را که در ارتباط با نحوه‌ی شکل‌گیری و به‌وجود آمدن ساختارهای متفاوت و سازوکارهای حاکم بر آن‌ها، طی زمان‌های متمادی هستند، به معرض آزمایش می‌گذارند و نزدیک‌ترین فرضیه را به عنوان فرایند غالب بر آن سیستم معرفی می‌کنند. معمولاً استفاده از نرم‌افزارهای پیشرفته و در اختیار داشتن آزمایشگاه‌های زمین‌شناسی، برای همگان میسر نیست. در حالی که ابزارهای مکانیکی که ساخته‌ی دست بشر هستند، با استفاده از مواد موجود در طبیعت و نیروی تفکر هر فرد به راحتی قابل تهیه و بهره‌برداری‌اند. در این مقاله سعی کرده‌ایم با استفاده از ساده‌ترین و قابل دست‌رس‌ترین مواد، نحوه‌ی تشکیل هیمالیا و ساختارهای موجود در آن را مدل‌سازی کنیم و به تصویر بکشیم.

هیمالیا از تولد تاکنون

دانشمندان که از قرن نوزدهم با تئوری‌های مختلفی در ارتباط با هیمالیا درگیر بودند، از سال ۱۹۸۸ شروع به آنالیز دقیق نیروهای حاکمی پرداختند که سبب دندانه‌دار شدن و نقش و نگارهای موجود در آن شده‌اند.

«۲۵۰۰ میلیون سال پیش در قسمت جنوبی کره‌ی زمین، قاره‌ی عظیم‌الجثه‌ای به نام **پانگه‌آ**[1] وجود داشت. بعد از گذشت چند میلیون سال، این قاره‌ی غول‌پیکر شکسته شد و به صفحات کوچک‌تری به نام‌های هند، آفریقا، استرالیا و آمریکای جنوبی تبدیل گشت» [Bilham:1]. قاره‌های کوچک‌تر مذکور نیز شروع

به حرکت کردند و حرکت آن‌که هنوز هم ادامه دارد، در حقیقت شبیه حرکت مردمی است که به‌وسیله‌ی پله‌برقی جابه‌جا می‌شوند. دانشمندان تخمین زده‌اند که نرخ حرکت آن‌ها حدود ۱ تا ۲ سانتی‌متر در سال است. این ورقه‌ها متحرک، توسط نیروی «کنوکسیون»[۲] و یا چرخشی که در قسمت‌های داغ و حرارت بالای درون زمین وجود دارد، جابه‌جا می‌شوند.

در فرایند کنوکسیون، جریانات داغ گاز یا مایع، به دلیل چگالی کمتر به سمت بالا حرکت می‌کنند و در عوض، جریانات سرد از مایعات به دلیل چگالی بیشتر، به سمت پایین جابه‌جا می‌شوند. چنین تغییر مکانی نیرویی پدید می‌آورد که به موجب آن، ورقه‌ها به حرکت درمی‌آیند. در اثر این جابه‌جایی، مرزهای بلوک‌ها با یکدیگر برخورد می‌کنند. به مرزهایی که به هم نزدیک می‌شوند، مرزهای «هم‌گرا»[۳]، و به مرزهایی که از یکدیگر دور می‌شوند، مرزهای «واگرا»[۴] می‌گویند. به مرزهایی نیز که به موازات یکدیگر جابه‌جا می‌شوند، مرزهای «کم‌اثر»[۵] یا خنثا اطلاق می‌شود.

هر جا که ورقه‌ها از هم جدا شوند، حاشیه‌ها یا برآمدگی‌های میان‌اقیانوسی به‌وجود می‌آیند. از این قسمت‌ها، ماگما که در گوشته‌ی بالایی ایجاد شده است، از میان شکاف‌های موجود در پوسته‌ی اقیانوسی بیرون می‌زند و در همان جا سرد می‌شود. این عمل بر پوسته‌ی اقیانوسی می‌افزاید. از طرف دیگر، تشکیل پوسته‌ی جدید در بستر اقیانوس‌ها ورقه‌های جدا از هم را به اطراف می‌راند؛ مانند حاشیه‌ی میان‌اقیانوسی اقیانوس اطلس که سبب به حرکت درآمدن ورقه‌ها آمریکای شمالی و اروپا می‌شود. حاشیه‌های میان‌اقیانوسی، رشته‌کوه‌های پهناور و بلندی در اقیانوس هستند که البته بلندی آن‌ها از رشته‌کوه‌های موجود در سطح زمین کوتاه‌تر است.

طی جریان کنوکسیون، مواد مذاب در حاشیه‌ی میان‌اقیانوسی به سمت بالا حرکت می‌کنند و از شکاف‌های موجود بیرون می‌ریزند. حاشیه‌ی میان‌اقیانوسی نقش مهمی در گسترش تئوری ورقه‌ها متحرک ایفا می‌کند که این امر به دلیل کیفیت منحصر به‌فرد کانی‌های موجود در «بازالت‌ها»[۶]ی ناحیه است. این بازالت‌ها به میزان قابل توجهی دارای کانی‌های مغناطیسی هستند که بنابر میدان مغناطیسی کره‌ی زمین به صف درآمده‌اند و تبلور پیدا کرده‌اند. در گذشته، قطبش میدان مغناطیسی زمین تغییر یافته است که این تغییر زمانی که کانی‌ها تبلور پیدا کرده‌اند، در آن‌ها حفظ شده است. از کانی‌های مغناطیسی می‌توان برای تعیین جزئیات مربوط به پوسته و تعیین سن آن استفاده کرد. «قدیمی‌ترین پوسته‌ی اقیانوسی مربوط به زمان کرتاسه (۶۵ تا ۱۰۰ میلیون سال پیش) است» [Glasscoe, 1998:2].

نوع دیگری از مرز ورقه‌ها، مرزهای هم‌گرا یا زون فرورانش است. در این‌گونه مرزها، یکی از ورقه‌ها روی ورقه‌ی دیگر رانده می‌شود و درنتیجه، ورقه‌ی مقابل به داخل گوشته‌ی ورقه‌ی رونده فرو می‌رود. به این ترتیب، گودال‌ها و یا سیستم‌های جزایر کمانی به‌وجود می‌آید. از بررسی مرزهای هم‌گرا می‌توان دریافت که چرا پوسته‌ی قدیمی در بستر اقیانوس‌ها دیگر وجود ندارد و در مناطق فرورانش تخریب می‌شود و از بین می‌رود. مناطق فرورانش معمولاً محل‌هایی هستند که در آن‌ها، زمین‌لرزه‌هایی با قدرت بالا رخ می‌دهند. دلیل این امر، اثر متقابل بین ورقه‌ی فرو رفته و ورقه‌ی رونده است. در اقیانوس آرام، مکانی به نام حلقه‌ی آتشین وجود دارد که ناشی از زون فرورانش در اطراف حاشیه‌ی اقیانوس آرام است.

در بعضی موارد، بر اثر برخورد میان دو ورقه‌ی قاره‌ای، زون‌های فرورانش تشکیل نمی‌شوند و یک ورقه نمی‌تواند به زیر ورقه‌ی دیگر فرو رود. در عوض، ورقه‌ها مچاله می‌شوند و داخل یکدیگر پیش می‌روند. درنتیجه، رشته‌کوه‌های بلندی خلق می‌شوند. این نوع مرزها نمونه‌ی خاصی از مرزهای هم‌گرا هستند که به آن‌ها «مرزهای تصادفی» هم گفته می‌شود. هیمالیا مثال بارز این نوع رشته‌کوه‌هاست.

۶۰ میلیون سال پیش، ورقه‌ی هند از پانگه‌آ جدا شد و با حرکتی نسبتاً سریع به سمت شمال به طرف قاره‌ی آسیا و فلات تبت حرکت کرد. تبت به صورت یک ورقه‌ی کوچک یا تکه‌ای از یک ورقه است که در مزوزوئیک و پالئوزوئیک به صورت یک زائده به زیر قاره‌ی آسیا فرورانش پیدا کرد و به آن متصل شد. «اولین برخورد میان ورقه‌ی هند و ورقه‌ی آسیا ـ تبت، در «پالئوژن»[۷] رخ داد. در اثر این برخورد، بستر سنگین اقیانوس هند به صورت یک لنگر بزرگ در داخل گوشته‌ی آسیا به دام افتاد و در قسمت‌های جنوبی تبت، سنگ‌های ولکانیکی به‌وجود آمد» [Wittke, 2007:1].

معمولاً، زیر قسمت‌های فرورفته، وجود اصطکاک و فشار زیاد باعث به‌وجود آمدن گرما و درنتیجه ذوب نواحی فرورفته می‌شود. حرکت سریع ورقه‌ی هند سبب بسته شدن کامل اقیانوس تتیس شد که در آن زمان بین دو قاره‌ی بزرگ، یکی در نیم‌کره‌ی شمالی و دیگری در نیم‌کره‌ی جنوبی قرار داشت. در این زمان، رسوبات بستر اقیانوس تحت تأثیر فشردگی شدید قرار گرفتند. این رسوبات سبک وزن بودند و با حرکت رو به جلوی ورقه‌ی هند، انباشته و مچاله شدند و رشته‌کوه هیمالیا را تشکیل دادند. «کوه‌های هیمالیا جوان و بیقرار هستند و رشد آن‌ها هنوز پایان نپذیرفته است. این رشته‌کوه به میزان ۱۸۰۰ مایل (حدود ۲۹۰۰ کیلومتر) از ارتفاعات هندوکش از شرق افغانستان تا میانمار کشیده شده است» [Angier, 1990:1].

جالب است که بدانید، زمین‌شناسان کشف کرده‌اند که رشته‌کوه هیمالیا با منشأ پوسته‌ی قاره‌ای، خیلی سریع‌تر از آن‌چه که تصور می‌کردند، تشکیل شده است. آن‌ها دریافتند، هیمالیا

به میزان یک سانتی‌متر در سال به سوی آسمان در حال حرکت است. این کوه‌ها تا ارتفاع ۳۰ هزار پایی رشد کرده‌اند. بلندی قله‌ی اورست نیز از طریق ماهواره، ۲۸ ۲۳۸ پا تخمین زده شده است. یکی از ویژگی‌های مهم هیمالیا آن است که سراشیب‌ترین ناحیه‌ی زمین در آن قرار دارد. این قسمت که «نانگاپاربات»[۸] نامیده می‌شود، بین مرز دو ورقه قرار گرفته است.

یکی از مشخصات بارز این ابرکوه آن است که از واحدهای لیتولوژیکی و تکتونیکی ویژه‌ای به موازات این کمربند چین‌خورده تشکیل شده و این مشخصه را تا مسافت‌های طولانی حفظ کرده است. برخی صاحب‌نظران معتقد هستند، هیمالیا ترکیب گرانیتی دارد و از کوارتز و فلدسپات تشکیل شده است. از آن‌جا که رخدادهای تکتونیکی هم‌چنان در این رشته‌کوه فعال هستند، در آن‌جا ما همیشه با خطرات طبیعی فراوانی، از جمله «زمین‌لرزه» و «زمین‌لغزه»[۹] مواجه خواهیم بود.

در هیمالیا، سکانس‌های سنگی متفاوتی وجود دارند و این توالی‌های متفاوت سنگی به وسیله‌ی زون‌های گسله‌ای که به سمت شمال تمایل دارند و عمیق هستند، از ورقه‌ی هند جدا می‌شوند. از شمال به جنوب، این سکانس‌ها عبارت‌اند از: فلات تبت، زون جداشده‌ی تبت، سکانس هیمالیای بزرگ، گسل مرکزی اصلی[۱۰] (MCT)، گسل مهابهارات[۱۱] (MT)، هیمالیای کوچک، گسل مرزی اصلی[۱۲] (MBT) و گسل پیشانی اصلی[۱۳] (MFT) و بستر فرورانده‌شده‌ی هند. دانشمندان با استفاده از تحلیل ساختاری، چینه‌نگاری و اطلاعات رادیواکتیویته میزان جنبش را در گسل‌های ذکر شده مشخص کرده‌اند. جدیدترین میزان جابه‌جایی و لغزش در امتداد MBT در نزدیکی پالئوسن میانی رخ داده است.

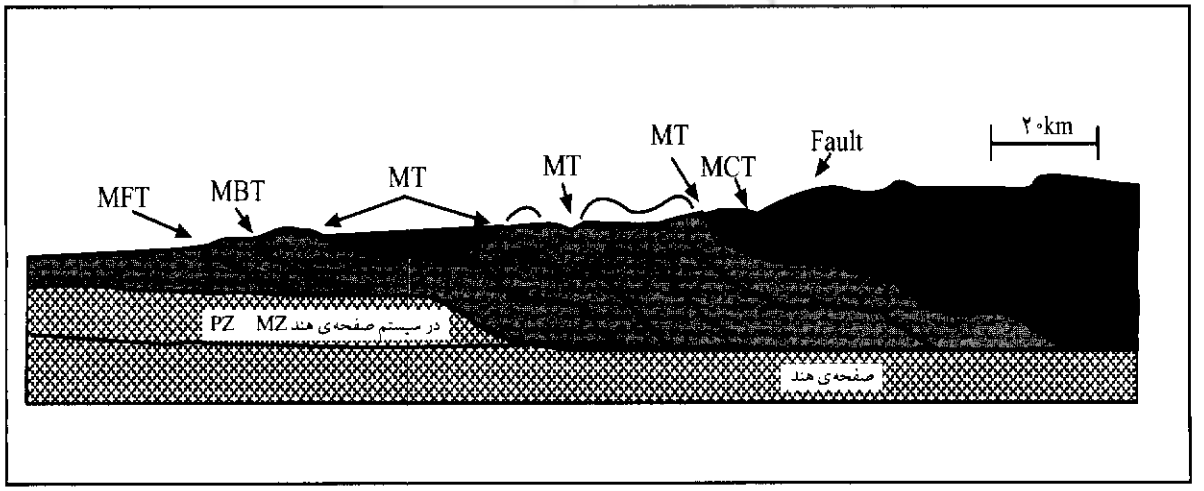
مدل‌سازی

اکثر پدیده‌هایی که در زمین رخ می‌دهند، قابل بازگشت نیستند. به این معنا که تنها یک بار اتفاق می‌افتند و امید نمی‌رود که بار دیگر بتوان آن‌ها را مشاهده کرد. زمین‌شناسان برای حل این مشکل راه‌هایی را پیشنهاد کرده‌اند. یکی از آن‌ها بازسازی این پدیده‌ها به صورت مدل‌هایی برگشت‌پذیر است. این گونه مدل‌ها با استفاده از موادی که در طبیعت وجود دارند یا ساخته‌ی دست بشر هستند، ساخته می‌شوند. در اصطلاح به این عمل «تکتونیک تجربی» نام داده‌اند. در این شاخه‌ی علمی، زمین‌شناسان فعالیت‌هایی را که در گذشته‌ی زمین رخ داده‌اند، مدل‌سازی می‌کنند. مدل‌سازی از آن جهت مفید است که به کمک آن می‌توان، ساختارهای برافراشته و یا فرورفته در سطح پوسته‌ی زمین را به راحتی توجیه و علل به‌وجود آمدن آن‌ها را توصیف کرد.

همان گونه که شرح داده شد، ۳۶ میلیون سال پیش رشته‌کوه هیمالیا در اثر برخورد ورقه‌ی هند به ورقه‌ی آسیا به‌وجود آمد. بر آن شدیم تا با مدل‌سازی این پدیده، راهی برای درک بهتر آن فراهم آوریم. لبه‌های ورقه‌ی هند کاملاً صاف و یکدست نیستند، بلکه به صورت دندانه‌ای و یا مضرس گونه‌اند. پس از برخورد هند به ورقه‌ی مقابل، دندانه‌های آن در فرورفتگی‌های ورقه‌ی آسیا جا گرفت که در اصطلاح به آن «تکتونیک دندانه‌ای»[۱۴] گفته می‌شود.

در این مدل، ما ورقه‌ی آسیا را به صورت جسمی صلب و شکل‌پذیر درنظر گرفتیم و ورقه‌ی هند را به عنوان جسمی سخت تعریف کردیم. برای مدل‌سازی ورقه‌ی هند، از یک تکه چوب ضخیم که قبلاً آن را به صورت دندانه‌ای تراش داده‌ایم، بهره گرفتیم و برای نمایش دادن ورقه‌ی آسیا، با استفاده از مخلوط مل و آب، جسمی خمیری ساختیم که معرف حالت شکل‌پذیر درون پوسته است. برای به‌تصویر کشیدن حالت شکننده‌ی رویی پوسته نیز، از خاک اره و کمی آب استفاده کردیم.

برای به نمایش گذاشتن رخدادهایی که طی برخورد اتفاق می‌افتند، از یک اکواریوم شیشه‌ای که دارای کفه و پایه‌های چوبی (برای استقامت بیشتر) بود، کمک گرفتیم. در یک سوی این



اکواریوم، با استفاده از یک قالب مربع شکل چوبی، ورقه‌ی آسیا را مدل‌سازی کردیم. به این ترتیب که داخل قالب، مل و آب را مخلوط کردیم و روی آن، مخلوطی از خاک اره‌ی سبک و آب ریختیم. برای بهتر نمایاندن تغییرات پدید آمده، روی مواد ذکر شده را با استفاده از اسپری رنگ و یک توری که دارای حفره‌های مربع شکل می‌باشد، شبکه‌بندی کردیم و سپس قالب را برداشتیم. در سوی دیگر، ورقه‌ی چوبی هند را قرار دادیم که به یک اهرم متصل بود.

با چرخاندن اهرم، ورقه‌ی هند را به آسیا نزدیک کردیم. با اولین تماس هند با ورقه‌ی آسیا، شکستگی‌هایی روی آن به‌وجود آمد. این شکستگی‌ها معرف گسل‌های چپ‌بر و راست‌بری هستند که در دامنه‌ی کوه‌های هیمالیا و اطراف آن دیده می‌شوند. زمین‌شناسان در تحلیل این گسل‌ها به آن‌ها نام‌های α و ß را اطلاق کرده‌اند. گسل‌های α راست‌بر و گسل‌های ß چپ‌بر هستند. «گسل آلتین‌تاق» در پاکستان، نمونه‌ای از گسل‌های α است.

در این مدل به روشنی مشاهده می‌شود که نیروی فشارش به تشکیل گسل‌ها منجر شده است، در صورتی که سازوکار گسل‌ها به صورت کششی است. با ادامه یافتن این برخورد، یک رواندگی[15]، در لبه‌ی ورقه‌ی آسیا روی هند رخ داده است و در قسمت‌های زیرین این رواندگی، لایه‌ها چین خورده‌اند. به این ترتیب، بر عمق گسل‌های راستالغز افزوده شده است. زمانی که این چین‌خوردگی‌ها به بیشترین مقدار ممکن رسیدند، رشته‌کوه هیمالیا به‌وجود آمد که بزرگ‌ترین رشته‌کوه جهان است.

* دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی (تکتونیک)

زیرنویس

1. Pangea
2. Convection
3. Convergent
4. Divergent
5. Conservative
6. Basalts
7. Palogene
8. Nanga Parbat
9. Land Slide
10. Main Central Thrust
11. Maha Bharat Thrust
12. Main Boundary Thrust
13. Main Frontal Thrust
14. Indentation tectonic
15. Obduction

منابع

1. Bilham, Roger (2000). Birth of the Himalia.
2. Glasscoe, Maggi (1998). Plate Boundaries.
3. Wittke, James H. (2007). Geology of the Himalayan mountains.
4. Angier, Natalie (1990). Himalayas' Rise Overturns ideas alout Peak – luilding.