مروری بر نقش تکتونیک نمک در تحول کمربندهای کوهزایی

روش همانندسازی آزمایشگاهی

عباس بحرودی*

مقدمه

سنگ نمک یکی از کانه‌های استثنایی در کرهٔ زمین است، زیرا در بسیاری از فرآیندهای حیاتی و غیرحیاتی نقش تعیین‌کننده‌ای بازی می‌کند. این کانه، اگرچه غالباً در دنیای پزشکی و تغذیه بیش‌تر مورد توجه قرار گرفته است، اما در قرن گذشته، تحولات بسیار با ارزشی در ارتباط با شناخت انسان از تأثیر آن بر فرایندهای زمین‌شناسی و صنعتی حاصل شده است.

زمین‌شناسی مربوط به نمک و تأثیر آن بر شکل‌گیری کمربندهای کوهزایی که حاصل دگرریختی پوشش رسوبی پوستهٔ زمین، با یا بدون درگیرشدن بخش کریستالین آن (که در قاعدهٔ پوشش رسوبی قرار دارد و بدان پی سنگ گفته می‌شود) است، از موضوعات جدید در علم زمین‌شناسی محسوب می‌شود. مهم‌ترین تحولات از دیدگاه زمین‌شناسان دربارهٔ نقش نمک در دگرریختی پوستهٔ زمین، به اوایل دههٔ ۱۹۸۰ میلادی برمی‌گردد.

تاکنون بیش از ۱۲ کمربندکوهزایی در جهان شناسایی شده که در آن‌ها، نمک و لایه‌های نمکی در میان و یا قاعدهٔ رسوبات در حال دگرریختی حضور داشته و درگیر بوده‌اند. این در حالی است که کمربندهای کوهزایی دیگری نیز وجود دارند که در آن‌ها، لایه‌های نمک درگیر نیستند و یا گسترش و ضخامت چندانی ندارند. بررسی‌های زمین‌شناختی انجام شده روی کمربندهای کوهزایی دارای لایه‌های نمکی و انواع بدون لایه‌های نمکی نشان داده است که آن‌ها دارای خصوصیات کاملاً متمایزی هستند. این تفاوت‌ها نه تنها از نظر زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیکی اهمیت دارند، بلکه با توجه به نقش کنترل کنندهٔ نمک در شکل‌گیری ساخت‌های زمین‌شناسی که به‌عنوان مخازن نفت و گاز تلقی می‌شوند، در بررسی‌های مربوط به اکتشافات نفتی نقش مهمی دارند.

ایران زمین، با توجه به داشتن کمربندهای کوهزایی متعدد و نیز منابع هیدروکربنی فراوان موجود در آن‌ها، از اهمیت فراوانی در زمین‌شناسی ساختمانی و نفت برخوردار است. براساس آخرین اطلاعات موجود، کشورمان برای حدود یک قرن دارای ذخیرهٔ نفتی است. از سوی دیگر، ایران در ناحیه‌ای از جهان قرار دارد (خاورمیانه) که در آن، ۷۰ درصد منابع نفتی و ۴۰ درصد منابع گازی جهان نهفته است. کشورمان بعد از عربستان دارای بیش‌ترین ذخیرهٔ هیدروکربنی خاورمیانه است. این واقعیت‌ها نشان می‌دهند که ایران از جایگاه بسیار استثنایی در جهان برخوردار است. اما از نظر زمین‌شناسی این نکته اهمیت دارد که

بسیاری از این منابع هیدروکربنی در ارتباط مستقیم و یا غیرمستقیم با لایه‌های نمکی درگیر با دگرریختی پوستهٔ زمین هستند. نقش نمک در دگرریختی و پوشش رسوبی پوسته که از آن تحت عنوان تکتونیک نمک یاد می‌شود، در ایران‌زمین از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. در بسیاری از موارد، پی‌جویی و اکتشافات نفتی در کشور، بدون آگاهی از تکتونیک نمک، کاری ناممکن و بسیار پرهزینه و احتمالاً ناموفق خواهد بود.

با وجود اهمیت بالای آگاهی از تکتونیک نمک و نقش آن در اکتشافات نفتی در کشورمان و نیز حضور زمین‌شناسان فراوان که در بخش‌های گوناگون کشور فعالیت دارند و گروه قابل توجهی که هرسال از دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزش عالی فارغ‌التحصیل می‌شوند، متأسفانه زمین‌شناسان متخصص که با آخرین یافته‌های زمین‌شناسی و تکتونیک نمک آشنا باشند وجود ندارند و یا انگشت شمارند. علاوه بر این، کمبود منابع فارسی و حتی انگلیسی قابل دسترسی برای علاقه‌مندان به زمین‌شناسی کشور و یافته‌های جدید در ارتباط با زمین‌شناسی نمک باعث شده که وضعیت فوق حادتر شود.

در این مقاله کوشیده‌ام تا ضمن ارائهٔ دیدگاه‌های نوین در زمینهٔ نمک و تکتونیک آن در دگرریختی و تحول کمربندهای کوهزایی (همانند زاگرس) در جهان که مبتنی بر جدیدترین مطالعات انجام شده است، منبع فارسی خلاصه شده‌ای در دسترسی زمین‌شناسان کشور قرار دهم. این مقاله از سوی دیگر آدرس موضوع مورد علاقهٔ نگارنده را در اختیار سایر زمین‌شناسان کشور که به تکتونیک نمک و تأثیر آن بر تشکیل منابع هیدروکربنی کشور علاقه‌مند هستند، قرار می‌دهد. تصور نگارنده آن است که سرمایه‌گذاری روی نیروهای متخصص زمین‌شناسی مورد نیاز کشور را باید در گرایش‌های متفاوت و از هنگامی که دانش‌آموزان با مفاهیم اولیهٔ علوم زمین آشنا می‌شوند، آغاز کرد. برای این منظور لازم است، منابع فارسی مناسبی که حاوی جدیدترین یافته‌های زمین‌شناسی به زبان ساده و قابل درک برای دانش‌آموزان و آموزگاران غیرزمین‌شناس باشد، تهیه شود. این مقاله را می‌توان مقدمه‌ای بر نیاز فوق تلقی کرد.

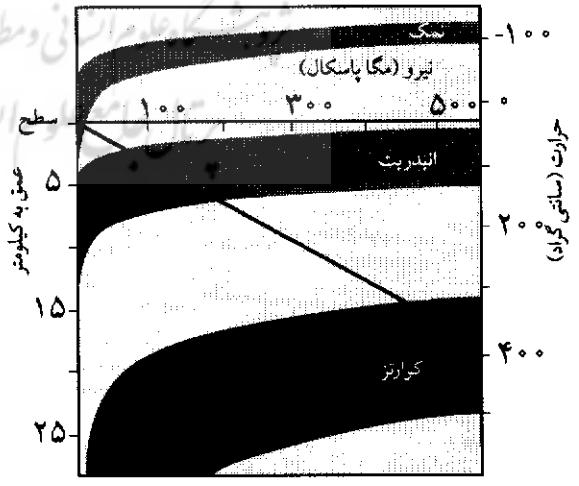
برای آگاهی از نقش نمک در تحول کمربندهای کوهزایی لازم است تا خصوصیات سنگ نمک و رفتار آن تحت شرایط فیزیکی و شیمیایی دانسته شود. به این منظور در آغاز، بخش کوتاهی حاوی خصوصیات مکانیکی نمک ارائه شده است و سپس تأثیر آن در دگرریختی پوشش رسوبی در شرایط کششی و فشارشی ارائه خواهد شد.

خصوصیات بنیادی سنگ نمک

برای آشنایی با خصوصیات استثنایی نمک، بهتر است ابتدا خصوصیات آن را با سایر سنگ‌های رسوبی مهم مقایسه کرد.

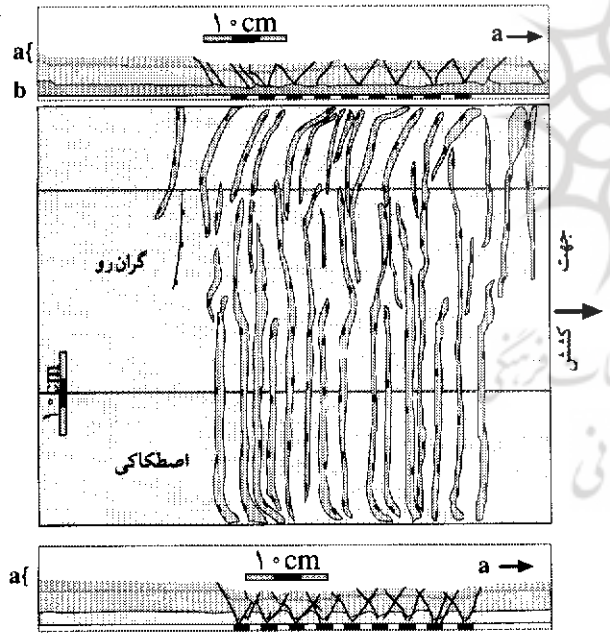
دیاگرام تنش قائم به عمق دفن نمک (شکل ۱) نشان می دهد که نمک دارای مقاومت بسیار کمی در مقایسه با سایر سنگ‌ها است. این دیاگرام به این نکته اشاره دارد که سنگ نمک در اعماق کم در حدود ۵ تا ۱۰ کیلومتر که معادل ضخامت متوسط رسوبات در نواحی رسوبی است، دیگر مقاومتی ندارد و به راحتی با کم‌ترین تنش، همانند خمیرنان و یا عسل دگرشکلی پیدا می‌کند و می‌تواند روان شود. اما این شیوه رفتار مختص به اعماق نیست و مطالعات انجام شده بر گنبدهای نمکی ایران که توسط **پروفسور تالبوت** صورت گرفته است، نشان می‌دهد که سنگ نمک در سطح زمین نیز در حضور شورآب (در فصل بارندگی) می‌تواند به‌راحتی روان شود و روزی چند متر نیز حرکت کند.
(Talbot,1979; Talbot & Rogers , 1980; Talbot & Jarvis, 1984; Talbot, 1998; Talbot et al., 2000).

همان‌طور که اشاره شد، سنگ نمک دارای چگالی کم‌تری در مقایسه با بسیاری از سنگ‌ها است. از سوی دیگر، نمک در بسیاری از موارد در قاعدهٔ مجموعه‌های رسوبی قرار دارد. در این شرایط، نمک معمولاً توسط چند صد تا چندین هزار متر از



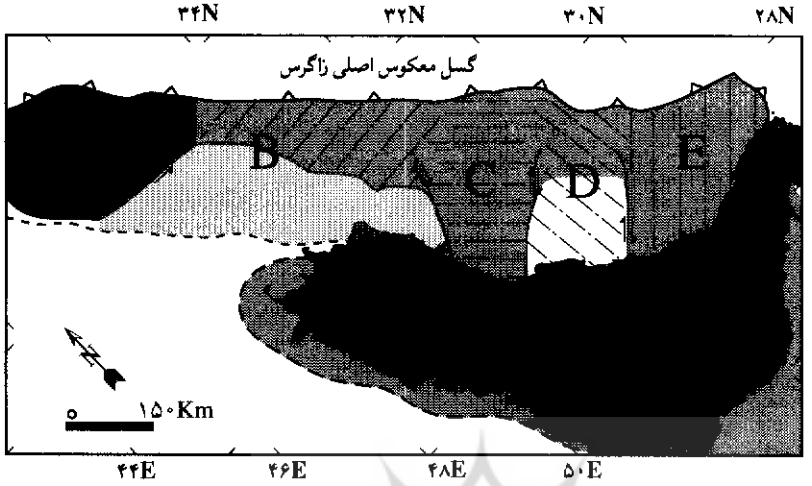
شکل ۱. دیاگرام خصوصیات مکانیکی نمک و سایر کانه‌ها. محور افقی نمایانگر مقاومت فشاری کانه‌ها (برحسب میلیون پاسکال) و محور قائم، در سمت چپ، عمق دفن (برحسب کیلومتر) و در سمت راست، حرارت (برحسب درجهٔ سانتی گراد) را نشان می‌دهد. در این دیاگرام، نمک از تمامی کانه‌ها مقاومت کم‌تری دارد و در اعماق حدود ۵ کیلومتری، به صورت عسل روان می‌شود و مقاومتی ندارد (به نقل از: **(Davis & Engelder, 1987**

نهشته‌های رسوبی غیرتبخیری که در طول زمان در حوضه گذاشته شده‌اند، دفن می‌شود. نمونهٔ بسیار مشخص و شناخته شدهٔ آن را می‌توان در کمربند کوهزایی زاگرس در جنوب کشور مشاهده کرد. در این ناحیه، سری نمکی هرمز با سن حدود ۵۵۰ میلیون سال و ضخامت ۳۰۰۰ - ۲۰۰۰ متر، در زیر مجموعهٔ ضخیمی از سنگ‌های رسوبی با ضخامت متوسط ۱۰ کیلومتر دفن شده است. از آن‌جا که چگالی نمک از چگالی رسوبات رویی کم‌تر است، همانند سیستم روغن و آب (در داخل یک ظرف) که در آن روغن تمایل به قرار گرفتن روی سطح آب را دارد، در سیستم زمین‌شناسی



شکل ۲. نمایی از سطح یک مدل (شکل میانی) که به اندازهٔ ۲۰ درصد کشیده شده است. سطح مدل به‌وسیلهٔ نوار خاکستری به دو بخش تقسیم شده است: در نیمهٔ بالایی مدل در قاعده پلیمر سیلیکون وجود دارد که نقش نمک را در مدل بازی می‌کند. در نیمهٔ پائینی، هیچ گونه پلیمری نیست. مقایسهٔ دو نیمهٔ مدل که دارای قاعدهٔ اصطکاکی و بدون اصطکاک هستند نشان می‌دهد که در هر دو نیمه، گسله‌های نرمال یا ثقلی تشکیل شده‌اند، اما در بالای ناحیهٔ سیلیکون‌دار گسله‌ها ناپیوسته‌اند و پهنای ناحیهٔ دگرریختی بیش‌تر است. در حالی که در بالای ناحیه با قاعدهٔ اصطکاکی منطقه دگرریختی باریک‌تر است و گسله‌ها کاملاً صاف و مستقیم هستند. مقطعی از مدل که در آن سیلیکون وجود دارد (در امتداد خط a)، در بالای شکل نشان داده شده است. سیلیکون در مقطع با حرف **b** مشخص شده است. در مقطع بدون قاعدهٔ اصطکاک، گسله‌ها همدیگر را قطع نمی‌کنند، در حالی که در مقطع مربوط به ناحیه با قاعدهٔ اصطکاکی، گسله‌ها یکدیگر را قطع می‌کنند.

مورد اشاره نمک نیز به علت سبکی تمایل دارد، به‌جای آن‌که زیر رسوبات باشد، به‌خاطر ناپایداری ثقلی به هر نحوه که شده خود را به بالای سطح رسوبات برساند تا سیستم از نظر فیزیکی به تعادل برسد. در حقیقت این ناپایداری ناشی از واژگونی ثقلی در سیستم آب/روغن و نیز رسوبات غیرنمکی/نمک محرک و موتور اصلی تحرک مواد است. این تمایل مکانیکی باعث می‌شود تا با فراهم شدن سایر شرایط مورد نیاز برای صعود، نمک به‌صورت یک فواره در میان ردیف سنگ‌های رسوبی که روی آن قرار دارند، به‌طرف بالا حرکت کند. این صعود باعث تشکیل ساخت‌های متنوعی می‌شود که در ادامه به برخی از آن‌ها که در زاگرس شناسایی شده‌اند، می‌پردازیم.

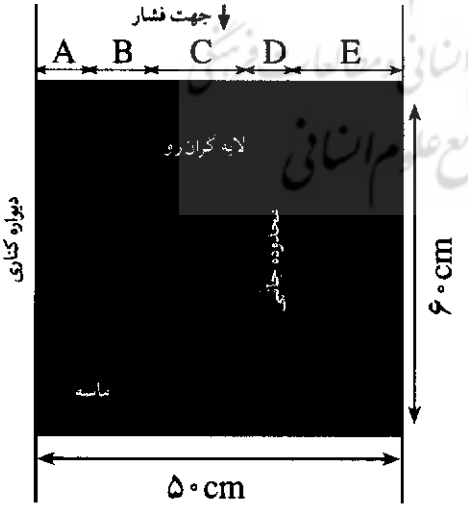


شکل ۳. نمایی ساده شده از گسترش نمک هرمز (خاکستری B,C,...) در کمربند زاگرس، به همراه مناطق ساختاری که در این کمربند شناسایی شده‌اند. نواحی با حروف A-E از غرب به شرق مشخص شده‌اند. در ناحیهٔ A نمک هرمز وجود ندارد، در حالی که در سایر نواحی، به‌طور کامل یا قسمتی از منطقهٔ قاعده به‌وسیلهٔ نمک هرمز پوشیده می‌شود. توجه کنید که مرز بین نواحی مختلف از طریق گسله‌ها امتداد لغز مشخص می‌شود.

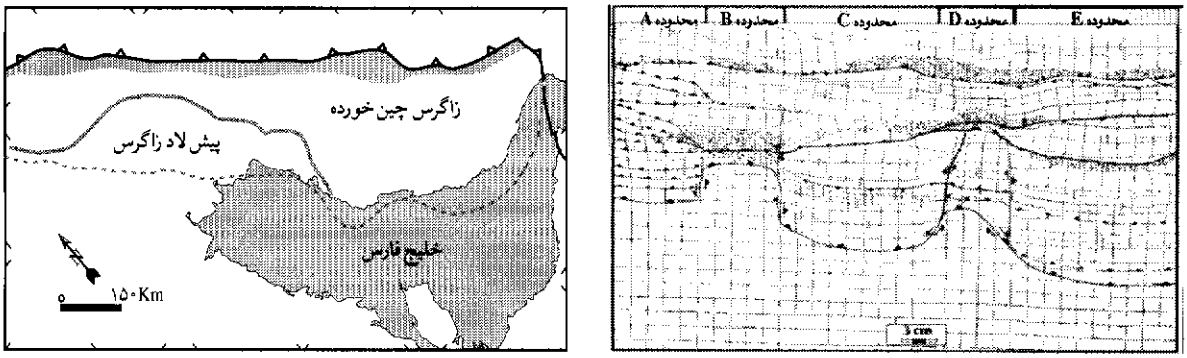
نقش نمک در تکامل کمربندهای کوهزایی

نهشته‌های نمکی تنها به‌خاطر تشکیل ساخت‌های نمکی مورد توجه زمین‌شناسان نیستند، چرا که نمک به‌خاطر ویژگی‌های مکانیکی استثنایی که در مقایسه با سایر رسوبات دارد، می‌تواند طی دگرریختی مجموعه‌های رسوبی در برگیرنده‌اش، چه در طی کشش و چه در طی فشارش، به گونه‌ای تعیین کننده روی سبک دگرریختی (برای مثال تعداد گسله‌ها یا گسترش و سرعت دگرریختی) اثر بگذارد.

مطالعات زمین‌شناسی و مدل‌سازی نشان می‌دهد، حضور و عدم حضور نمک در قاعدهٔ رسوبات هنگام دگرریختی به دو گونهٔ متفاوت از سبک و شیوهٔ دگرریختی در رسوبات منجر می‌شود که تأثیر آن در پستی و بلندی و مقطع عرضی منطقهٔ دگرریخت شده، به‌خوبی منعکس می‌گردد. به‌طور ساده، هنگامی که نمک در قاعدهٔ رسوبات قرار دارد، وجود فشار همه جانبهٔ سنگ‌های رویی[1] و حرارت ناشی از گرادیان زمین گرمایی باعث می‌شود، با توجه به خصوصیات مکانیکی استثنایی نمک، این ماده کاملاً نرم شود و حالت خمیری[2] پیدا کند. در این شرایط، نمک همانند لایه ای از گریس یا روغن در میان سطح تماس بین دو جامد صلب (رسوبات رویی و پی سنگ) عمل می‌کند. یعنی



شکل ۴. نمایی از سطح مدل که براساس توزیع نمک هرمز در زاگرس تهیه شده است. در این شکل رنگ خاکستری پررنگ نشان‌دهندهٔ توزیع پلیمر سیلیکون در مدل است که مشابه توزیع نمک هرمز در زاگرس است. رنگ خاکستری کم‌رنگ ناحیه‌ای را نشان می‌دهد که در آن‌جا قاعدهٔ رسوبات اصطکاکی است. نواحی A-E همانند آنچه که در شکل قبل عنوان شد، معادل نواحی همنام خود در زاگرس هستند. این مدل تحت فشارش قرار گرفت (پیکان جهت فشار را نشان می‌دهد).

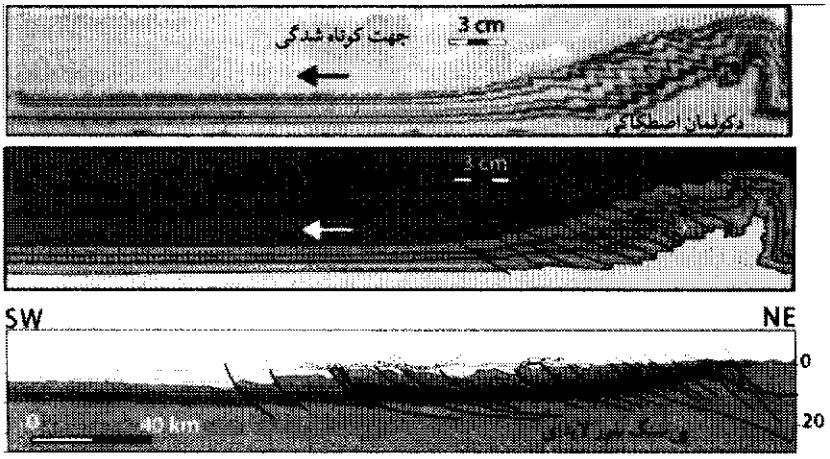


شکل۵ . در سمت راست، نمایی از سطح مدل بعد از ۳۰ درصد کوتاه‌شدگی . نمای سمت چپ، زاگرس و جبههٔ دگرریختی (نشان داده شده با خط چین قرمز) و گسلهٔ جبههٔ کوهستان (خط قرمز پیوسته) .

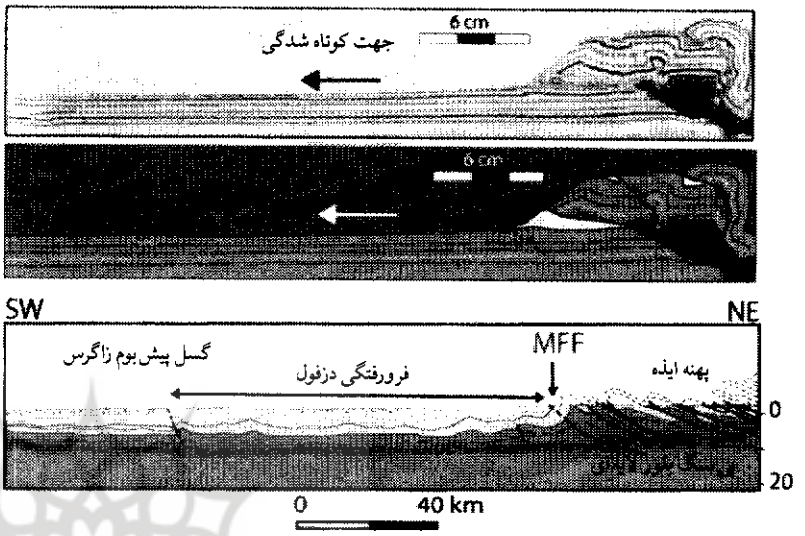
باعث می‌شود، اصطکاک میان آن‌ها به حداقل ممکن برسد. به‌علاوه، میزان اصطکاک موجود در سطح تماس بین دو جامد (به عنوان مثال) توسط ضخامت لایه گریس یا روغن و ترکیب آن (کیفیت ماده صیقل دهنده) کنترل می‌شود. هرچه لایهٔ نمک ضخیم‌تر و یا ناخالصی آن کم‌تر باشد، اصطکاک بین طبقات رویی و زیرین نهشته نمکی کاهش بیش‌تری می‌یابد. بدین ترتیب، با توجه به حضور و عدم حضور نمک در قاعدهٔ رسوبات، می‌توان دو نوع منطقهٔ دگرریختی تعریف کرد: «مناطق با اصطکاک قاعده‌ای»[3] و «مناطق بدون اصطکاک قاعده‌ای»[4].

امروزه مناطق متعددی که تحت کشش و یا فشارش قرار دارند، شناسایی شده‌اند که در قاعدهٔ رسوبات آن‌ها، نمک وجود دارد. مقایسهٔ مناطق (برای مثال تحت فشارش) دارای قاعدهٔ بدون اصطکاک[5] با نوع دارای قاعدهٔ اصطکاکی[6] نشانگر آن است که انواع اخیر دارای پهنای (در راستای جهت فشارش) کم‌تری هستند و ساخت‌های چین خورده دارای طول موج کوتاه[7]، ارتفاع زیاد[8] و محور چین‌ها بسیار طویل[9] است و چین‌ها به صورت کاملاً فشرده[10] در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند.

آزمایشات همانندسازی و مطالعات زمین‌شناسی نیز نشان می‌دهد. که در مناطق تحت کشش[11] دگرریختی در پوشش رسوبی اصولاً توسط میزان اصطکاک در قاعدهٔ آن‌ها کنترل می‌شوند. جایی که نمک زیر رسوبات وجود دارد، دگرریختی در منطقهٔ وسیع‌تری توزیع می‌شود. ساخت‌های گنبد نمکی به‌خوبی رشد می‌کنند و تعداد گسله‌ها کم‌تر و شیب و فواصل آن‌ها بیش‌تر است (Bahroudi et al.,2003).



شکل ۶ . در قسمت بالا، تصویری از مقطع مدل در عرض ناحیهٔ A، در قسمت میانی ترسیمی از همان مقطع و در قسمت زیر نیز ترسیمی از مقطع زمین‌شناسی منطقهٔ پشتکوه که معادل ناحیهٔ A در مدل است، دیده می‌شود. مدل کاملاً مشابه زمین‌شناسی ناحیه است. و در هر دو آن‌ها می‌توان تشکیل گسله‌های راندگی را به‌عنوان ساخت حاکم ملاحظه کرد.



شکل ۷ . در این جا تصویری از مقطع مدل در عرض ناحیهٔ B در قسمت بالا و ترسیمی از آن در قسمت وسط نشان داده شده است . در قسمت پائین ، شکل ترسیمی از مقطع زمین شناسی ناحیهٔ ایذه و فروافتادگی دزفول نشان داده شده است . مقایسهٔ مقطع مدل و زمین شناسی نشان دهندهٔ تشابه بسیار خوبی میان مدل و طبیعت است . در هر دو آن ها دگرریختی عمدتاً در یک بخش تمرکز یافته و آن هم در بالای ناحیه‌ای با قاعدهٔ بدون اصطکاک است و مهاجرت دگرریختی در مرز بین نواحی با قاعدهٔ اصطکاکی و بدون اصطکاک برای مدت زیادی متوقف شده است .

در ارتباط با اثر نمک در پیکربندی و هندسهٔ کمربندهای کوهزایی احتمالاً زاگرس یکی از بهترین مثال های شناخته شده در دنیاست . (Davis & Engelder, 1985, 1987; Talbot & Alavi, 1996; Koyi et al., 2000; Cotton & Koyi, 2001; Bahroudi & Koyi, 2003)

در ادامه ، نتایج آخرین تحقیقات منتشره توسط نگارنده و همکاران ، پیرامون تأثیر نمک هرمز به روی تکامل کمربند چین خورده ـ راندهٔ زاگرس انجام شده ، به صورت خلاصه ارائه می شود .

مختصری از زمین شناسی زاگرس

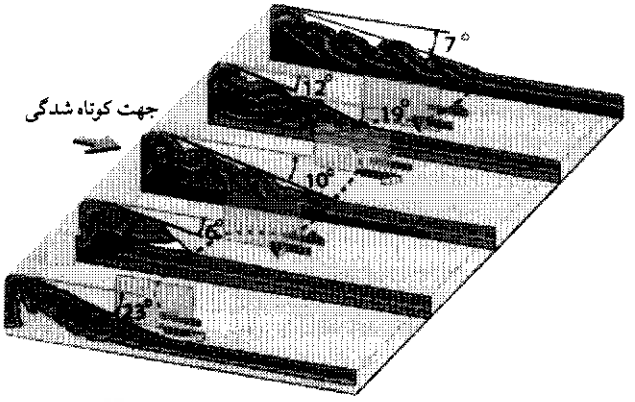
کمربند زاگرس به صورت رشته کوه هایی با طول حدود ۲۰۰۰ کیلومتر با روند عمومی شمال غرب ـ جنوب شرق در ناحیهٔ جنوب و غرب کشور ، به عنوان بخشی از کمربند بسیار بزرگ آلپ ـ هیمالیا قرار دارد . این کمربند در اثر برخورد صفحات تکتونیکی ایران مرکزی و عربستان طی دوران سنوزوئیک تا عهد حاضر حاصل شده است . این کمربند امروزه در حال کوتاه شدن با نرخ ۱۱ـ۹ میلی متر در سال است . پهنای این کمربند ۳۵۰ ـ ۲۰۰ کیلومتر و هر روز دارای فعالیت و زمین لرزه‌ای است . پوشش رسوبی این کمربند که روی یک پی سنگ قدیمی (شامل سنگ های دگرگونی و آذرین با سن پرکامبرین که قابل مقایسه با سپرپرکامبرین عربستان در مکه است) نهشته شده ، دارای ضخامت تقریبی ۱۴ ـ ۱۰ کیلومتر است . در مرز تماس بین پوشش رسوبی و پی سنگ زاگرس ، یکی از ضخیم ترین نهشته های نمکی دنیا قرار دارد که آن را «سری هرمز» می نامند . گسترش نمک هرمز در تمام زاگرس یکسان نیست و به نظر می رسد که در مناطقی از کمربند چین خورده ـ رانده ، ضخامت آن بسیار کم شده و یا اصولاً نهشته نشده است . محدودهٔ گسترش نمک هرمز در زاگرس براساس وجود ساخت های نمکی (بیرون زده یا پنهان) آن مشخص می شود .

کمربند زاگرس براساس خصوصیات زمین شناسی و دگرریختی به مناطق متفاوتی تقسیم می شود که مهم ترین آن ها از شرق به غرب در طول کمربند عبارتند :

۱ . ناحیهٔ لارستان که شامل گنبدهای نمکی فراوان از سری هرمز می شود . پنهای منطقه دگرریختی ۳۵۰ کیلومتر است .

۲ . منطقهٔ پلاتفرم فارس که دارای هیچ گونه گنبد نمکی نیست . عقیدهٔ عمومی بر آن است که در این منطقه ، ضخامت نمک هرمز یا خیلی کم است و یا اصلاً نمک وجود ندارد . بررسی های اخیر نشان می دهند که در این ناحیه ، پهنای منطقهٔ دگرریختی در مقایسه با نواحی اطراف کاهش می یابد .

۳ . منطقهٔ منگورک ـ کازرون دارای ساخت های متعددی است . این بخش و منطقهٔ لارستان در شمال پلاتفرم فارس به هم می پیوندند . منطقهٔ منگورک ـ کازرون در غرب خود به وسیلهٔ



شکل ۸ . ترسیم سه بعدی از مقاطع مدلی از بخش‌های متفاوت مدل، نشان دهندهٔ تغییرات شیب توپوگرافی گوه‌های دگرریختی با و یا بدون اصطکاک قاعده‌ای به‌واسطهٔ گسترش غیریکنواخت سیلیکون (نشان داده شده با رنگ سیاه) که نقش نمک هرمز را تقلید می‌کند. در مرز بین نواحی مختلف دگرریختی، تشکیل گسله‌های امتداد لغز، ناشی از گسترش تفریقی دگرریختی در مدل است. در این ترسیم، مدل از چپ به راست تحت فشارش بوده است.

گسلهٔ معروف امتداد لغز کازرون، از مناطق ایذه در شمال و فروافتادگی دزفول در جنوب جدا می‌شود.

۴. منطقهٔ ایذه ناحیه‌ای با دگرریختی بسیار شدید است و در آن، ساخت‌های چین‌خوردهٔ بسیار ویلی وجود دارد که به‌صورت متراکم در کنار هم قرار گرفته‌اند. در این ناحیه ساخت‌های نمکی هرمز نیز شناسایی شده‌اند.

۵. به‌طرف جنوب، یعنی فروافتادگی دزفول (استان خوزستان)، دیگر نه ساخت نمکی شناسایی شده و نه دگرریختی به شدتی است که در منطقهٔ ایذه وجود دارد. در این فروافتادگی، چین‌خوردگی و پستی و بلندی زمین بسیار ملایم است. مرز بین ناحیهٔ ایذه و فروافتادگی دزفول توسط یک گسلهٔ معروف (که ناحیهٔ کوهستانی در شمال را از ناحیهٔ کم ارتفاع در جنوب جدا می‌کند) به‌نام «جبهه کوهستان»[۱۲] مشخص می‌شود.

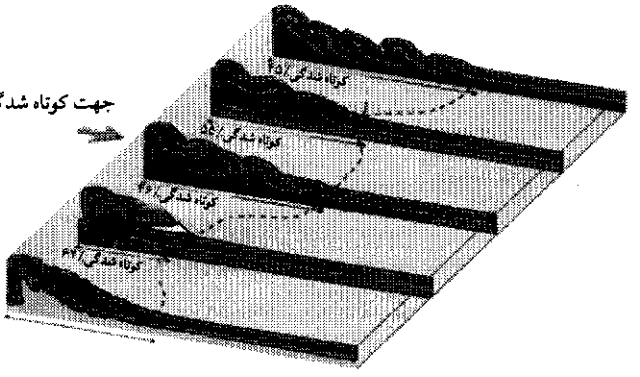
۶. به‌طرف غرب منطقهٔ ساختاری دیگری به‌نام لرستان یا پشتکوه وجود دارد که در آن، ساخت نمکی از هرمز شناسایی نشده و ناحیهٔ دگرشکلی در آن، در مقایسه با شرق پهن‌تر است.

برای تشکیل چنین مناطقی، نظرات متفاوتی ارائه شده‌اند که در آن‌ها، نقش نمک در این ارتباط چندان مورد توجه قرار نگرفته است.

نگارنده به همراه همکاران خود در آزمایشگاه مدل‌سازی تکتونیکی «هانس رامبرگ» (واقع در دانشگاه اوپسالا در سوئد)، با استفاده از همانندسازی آنالوگ[۱۳] نشان داد که چگونه توزیع نمک هرمز می‌تواند در هنگام فشارش و متعاقب آن، دگرریختی در زاگرس، باعث تشکیل مناطق متفاوت ساختاری شود. در ادامه، خلاصهٔ نتایج مدل طراحی شده برای نمایش چگونگی دگرریختی و تکامل آن در زاگرس ارائه می‌شود.

نتایج همانندسازی آزمایشگاهی برای کمربند زاگرس

برای طراحی مدل، ابتدا اطلاعات مربوط به ضخامت نمک و رسوبات رویی آن به همراه توزیع آن‌ها جمع‌آوری شده است. براساس نسبت همانندی[۱۰^-۶]، اطلاعات موجود در آماده‌سازی همانند به‌کار گرفته شد. این نسبت بدین معنی است که در



شکل ۹ . ترسیم سه بعدی از مدل و نواحی مختلف آن که نشان دهندهٔ کوتاه‌شدگی متفاوت در قسمت‌های مختلف مدل است. بیش‌ترین کوتاه‌شدگی در ناحیهٔ B با مقدار ۶۲ درصد بوده است، یعنی جایی که مرز بین ناحیهٔ با قاعدهٔ اصطکاکی و غیراصطکاکی عمود بر جهت فشارش (که از چپ به راست است) است. کم‌ترین کوتاه‌شدگی در آن نواحی است که تماماً دارای قاعده بدون اصطکاک هستند، در حالی که ناحیهٔ با قاعدهٔ تماماً اصطکاکی، دارای میزان کوتاه‌شدگی متوسطی است.

همانند آزمایشگاهی، هر یک سانتی متر برابر یک کیلومتر در نمونهٔ طبیعی حساب می شود. میزان و مدت دگرریختی در زاگرس در حدود ۲۵ درصد کوتاه شدگی و ۶/۵ میلیون سال توسط محققان قبلی برای کمربند زاگرس برآورد شده بود. این بدان معنا بود که مدل باید به اندازهٔ ۲۵ درصد نسبت به طول اولیهٔ خود کوتاه شود و اگر سرعت کوتاه شدگی برابر ۱/۱۵ سانتی متر در همانند باشد، در نتیجه طی ۱۵/۶ ساعت باید همانند آزمایشگاهی کوتاه و فشرده شود. یعنی تقریباً هر ۲/۵ ساعت در همانند آزمایشگاهی را می توان معادل یک میلیون سال در طبیعت در نظر گرفت.

برای رسوبات، از ماسه بسیار ریز دانه که دارای خصوصیات لازم رفتار به عنوان رسوبات موجود در زاگرس است، استفاده شده، در حالی که برای نمک، یک مادهٔ پلیمری به نام سیلیکون به کار رفته که از نظر مکانیکی دارای خصوصیات لازم است تا بتواند در همانند، مشابه نهشته های نمکی در طبیعت عمل کند.

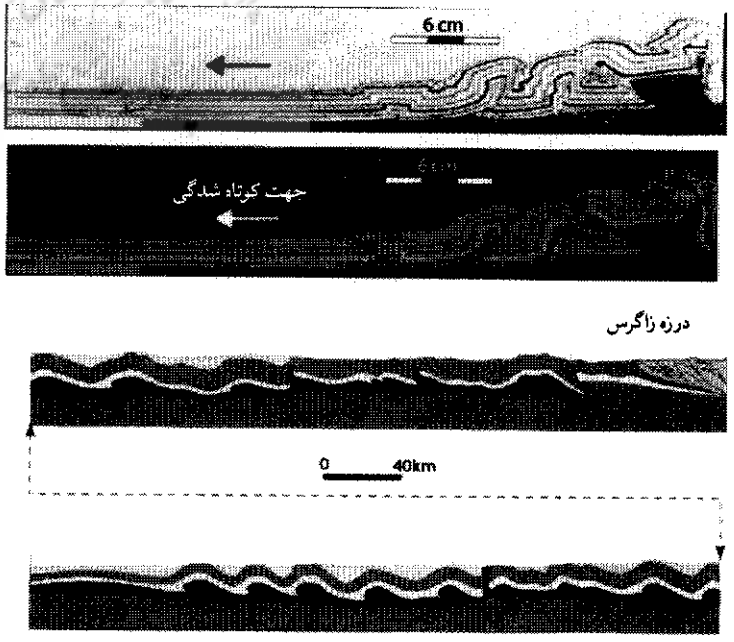
مقایسهٔ سطح همانند آزمایشگاهی بعد از کوتاه شدگی با نقشهٔ زمین شناسی ساده شدهٔ زاگرس نشان می دهد (شکل ۵) که تشابه نسبی خوبی بین آن ها وجود دارد؛ به طوری که تغییرات پهنای دگرریختی و هندسه جبههٔ آن در بخش های متفاوت و هم ارز در همانند آزمایشگاهی و زاگرس (نمونه طبیعی) کاملاً با هم تطبیق دارد.

مقایسهٔ تعدادی از مقاطع عرضی همانند، بعد از دگرشکلی با مقطع زمین شناسی هم ارز آن در زاگرس، نشان می دهد که آن ها تا حدود بسیار خوبی مشابهت دارند. در ناحیهٔ پشتکوه یا لرستان، در مدل و مقطع زمین شناسی، گسله های راندگی مهم ترین ساخت محسوب می شوند. در ناحیهٔ ایذه و فروافتادگی دزفول و ناحیهٔ معادل آن در مدل، بیش ترین دگرریختی در یک بخش تمرکز دارد و ناحیه با دگرریختی خیلی کم، توسط یک گسلهٔ برجسته از منطقهٔ قبلی جدا می شود. در مناطقی که در آن ها نمک به طور کامل زیر رسوبات وجود دارد، همانند مناطق معادلشان در مدل، ناحیهٔ دگرریختی پهن تری وجود دارد.

همانندسازی آزمایشگاهی فوق به خوبی نشان می دهد که نمک چگونه در قاعدهٔ رسوبات می تواند به صورت تعیین کننده در تکامل ساختاری کمربندهای کوهزایی نظیر زاگرس نقش بازی کند و در آن دگرریختی تفریقی به وجود آورد. نمک می تواند، شکل مقاطع کمربندهای کوهزایی و تشکیل گسله ها و میزان کوتاه شدگی و میزان رسوب گذاری در حوضهٔ جلویی کمربند را تحت تأثیر خود قرار دهد.

نتیجه گیری

نمک در مقایسه با بسیاری از کانه ها دارای خصوصیات استثنایی است. این ویژگی ها نه تنها برطعم و مزه غذای ما اثر تعیین کننده دارند، بلکه روی زمین شناسی یک ناحیه و تکامل آن نیز نقش



شکل ۱۰. تصویری از مقطع مدل در عرض ناحیهٔ C در قسمت بالا و ترسیمی از آن در قسمت وسط. در قسمت پائین نیز ترسیمی از مقطع زمین شناسی ناحیهٔ منگورک ـ کازرون نشان داده شده است. مقایسهٔ مقطع مدل و زمین شناسی نشان دهنده تشابه بسیار خوبی میان مدل و طبیعت است. در هر دوی آن ها، منطقهٔ وسیعی از دگرریختی در بالای ناحیهٔ با قاعده بدون اصطکاک دیده می شود. بیش ترین کوتاه شدگی در ناحیهٔ C با مقدار ۴۶ درصد است؛ یعنی جایی که مرز بین ناحیه با قاعدهٔ اصطکاکی و غیراصطکاکی عمود بر جهت فشارش (از چپ به راست) است. کم ترین کوتاه شدگی در آن، نواحی است که تماماً دارای قاعدهٔ بدون اصطکاک هستند، در حالی که ناحیهٔ با قاعدهٔ تماماً اصطکاکی، دارای میزان کوتاه شدگی متوسطی است.

بسیار مهمی را بازی می کنند که بدون توجه بدان ها نمی توان سیر تحول زمین شناسی آن ناحیه را درک کرد. نمک به دو صورت اصلی می تواند مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد.

در اعماق و تحت تنش های جهت دار، نمک زیررسوبات به عنوان یک صیقل دهنده و کاهندهٔ اصطکاک در قاعدهٔ ردیف های رسوبی، نقش بسیار بنیادی و پنهان را بازی می کند. مسیر تکامل هر ناحیه از کمربند کوهزایی با توجه به میزان نمک موجود در قاعدهٔ آن، به عنوان یکی از عوامل کلیدی، کنترل می شود. میزان شیب توپوگرافی و سبک دگریختی و نیز مقدار واتنش و پهنای منطقهٔ دگریخت شده در کمربندهای کوهزایی مانند زاگرس می تواند کنترل شود.

تشکر و قدردانی

نگارنده از دانشگاه اوپسالا (Uppsala) سوئد، به خاطر حمایت مالی از مطالعات ارائه شده در این نوشتار سپاسگزار است. نوشتار حاضر براساس کارهای تحقیقی و همانندسازی است که با همکاری **پروفسور کریستوفر تالبوت** و **پروفسور همن کویی** صورت گرفته اند و لازم است از آن ها نیز سپاسگزاری شود.

* عضو هیئت علمی پژوهشکده سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

زیرنویس

1. Lithostatic Pressure
2. Viscous
3. Frictional decollement
4. Viscous or ductile decollement
5. Viscous or ductile
6. frictional
7. Short wave length
8. high amplitude
9. Very long fold
10. very tight folds
11. Extension
12. Mountain Front
13. Analogue Modeling

منابع

1. Bahroudi, A., & Koyi, H. A., (2003). Effect of spatial distribution of Hormuz salt on deformation style in the Zagros fold and thrust belt: an analogue modelling approach. Journal of Geological Society of London, 160-1-15.
2. Bahroudi, A. 2003. The Effect of Mechanical Characteristics of Basal Decollements and Basement Structures on deformation of the Zagros Basin, Ph.D Thesis, Uppsala University.
3. Carter, N. J., Hansen, F.D., 1983. Creep of rocksalt. Tectonophysics 92, 275-333.
4. Cotton, J. T., Koyi, H.A., 2000. Modelling of thrust fronts above ductile and frictional decollements: Application to structures in the Salt Range and Potwar Plateau, Pakistan. Geological Societyof America Bulletin, 112-351-363.
5. Davis, D.M., Engeider, T., 1985. The role of salt in Fold-and-Thrust belts. Tectonophysics, 119,67-88.
6. Davis, D.M., Engelder, T., 1987. Thin-Skinned Deformation over Salt. In: Lerche, I. O'Brien, J.J. (Eds.) Dynamical Geology of Salt and Related Structures. Academic Press, Inc., 301-337.
7. Edgell, H.S., 1996. Salt tectonics in the Persian Gulf basin. In: Alsop, G.L, Blundell, D.L., Davison, I.(Eds), Salt tectonics. Geological Society of London Special Publication, 100, 129-151.
8. Koyi, H.A., Hessami, K., Teixell, A., 2000. Epicenter distribution and magnitude of earthquakes in fold- thrust belts: insights from sandbox models. Geophsical Research letters, 27, 273-276.
9. Stöklin, J., 1968. Salt Deposits of the Middle East. In: Mattox, R. B. (Ed.), Saline Deposits: a symposium based on papers from the International Conference on saline
10. Deposits (pp.158-181), Geological Society of America, Special Paper 88. Houston, Texas.
11. Stöhlin, J., 1986. The Vendian-lower Cambrian Salt basins of Iran, Oman and Pakistan: Stratigraphy, Correlations, Paleogeography. Sciences de la Terra 47, 329-345.
12. Talbot, C. J., Alavi, M., 1996. The past of a future syntaxis across the Zagros. In: Alsop, G.I., Blunderll, D.J., and Davison, I. (Eds.), Salt Tectonics. Geological Society of London Special Publication, 100, 89-109.
13. Talbot, C. J., 1979. Fold trains in a glacier of salt in south Iran. Journal of Structural Geology 1,5-18.
14. Talbot, C. J., 1998. Extrusions of Hormuz salt in Iran. In: Blunderll, D. J., and Scott, A. C., (Eds.), Lyell: the Past is the Key to the Present. Geological Society of London Special Publication 143, 315-334.
15. Talbot, C.J., Rogers, E.A. 1980. Seasonal movements in a salt glacier in Iran. Science 208, 395-397.