نیروی کوریولیس

سعید موسوی نصر
کارشناس ارشد ژئومورفولوژی

درآمد

در این مقاله ضمن توضیح نیروی «کوریولیس»[1] و نیروهای برداری زمین، از این نیروی کوریولیس به عنوان فرایندی که در ایجاد و تکوین زمین‌رخسارهای سطح زمین مؤثر است، یاد شده و نقش آن‌را در گردش عمومی هوا و انحراف جریانات اقیانوسی بررسی کرده‌ایم و به این نتیجه رسیده‌ایم که نیروی کوریولیس، با افزایش شعاع استوایی زمین، مسئول بسیاری از حرکات تکتونیکی، صفحه‌ای و پیکربندی آن است که کمتر در کتاب‌های زمین‌شناسی دبیرستانی از آن سخن به میان آمده است.

کلیدواژه‌ها: نیروی کوریولیس، گردش عمومی هوا، جریانات اقیانوسی، حرکات صفحه‌ای، شعاع‌های استوایی زمین.

مقدمه

آن‌چه باعث نگارش این مقاله شد، پاسخ به این سؤال بود که اگر زمین برعکس می‌چرخید، یعنی حرکت وضعی آن از شرق به غرب بود، یا اصلاً زمین را فاقد حرکت وضعی تصور کنیم، جریان عمومی هوا، تکوین اشکال و ناهمواری‌های سطح زمین، پراکندگی خشکی‌ها و جریانات آبی چگونه تبیین می‌شد؟ زمین در مدت ۲۳ ساعت و ۵۶ دقیقه و سه ثانیه یک بار به دور محور خود و در جهت عکس حرکت عقربه‌های ساعت می‌چرخد. محور زمین با سطح مدارش که به دور خورشید می‌چرخد، عمود نیست و زاویه‌ای به اندازه‌ی ″۲۱′۲۷°۲۳ می‌سازد که دارای اثرات مشخصی بر روی زمین است. شکل سطح زمین به صورت یک کره‌ی پخ، شعاع قطبی زمین ۶۳۵۶/۸ کیلومتر و شعاع استوایی آن ۶۳۷۸/۲ کیلومتر است. این امر نشان می‌دهد، شعاع استوایی زمین ۲۱/۴ کیلومتر از شعاع قطبی بیشتر است و پخی حاصل از آن، نشان دهنده‌ی اثر نیروی کوریولیس بر زمین است [عدالتی و فرخی، ۱۳۸۰: ۲۷۷].

هر جسمی که می‌چرخد، بسته به این‌که جنس مواد تشکیل‌دهنده و سختی و سستی آن چگونه باشد، تحت تأثیر دو شتاب قرار می‌گیرد:

۱. شتاب گرانشی که به سمت مرکز آن جسم است.

۲. شتاب جانب مرکز.

اگر جرمی آزاد باشد که حرکت کند ـ مانند مواد سیال و آب ـ شتاب جانب مرکز بر آن اثر می‌گذارد. از آن‌جا که سیاره‌ی زمین از سه بخش هوا کره[2]، سنگ کره[3] و آب کره[4] تشکیل شده است، هر یک از آن‌ها متناسب با نوع پیوند مولکولی، چگالی، وزن و جرم مخصوص، از نیروی ناشی از حرکت وضعی زمین تأثیر می‌پذیرد. بنابراین این نیرو در چرخه ناهمواری‌ها و تکوین آن مؤثر است.

طرح مسئله

در تشکیل زمین‌رخسارهای سطح زمین تاکنون فرایندهای درونی ناشی از تکتونیک صفحه‌ای به شکل فعالیت‌های کوه‌زایی و خشکی‌زایی و فعالیت‌های آتشفشانی از یک طرف، و فرایندهای بیرونی ناشی از تأثیر اتمسفر، به‌خصوص فعالیت‌ها و اغتشاشات اقلیمی در لایه‌ی تروپوسفر جو را، عوامل اصلی شکل‌زایی و تغییرات زمین‌رخسارهای سطح زمین قلمداد کرده‌اند. اما به نیروی کوریولیس یا حرکت وضعی زمین، به عنوان عامل اثرگذار دیگری که همیشه و به‌طور مداوم در تغییر زمین‌رخسارها مؤثر بوده، کمتر اشاره شده است.

در این مقاله تأثیر نیروی کوریولیس را در تشکیل و تغییر زمین‌رخسارهای سطح زمین با روش توصیفی و نظری مورد بررسی قرار داده‌ایم تا نقش این عامل مخفی در ایجاد اشکال سطح زمین مشخص شود.

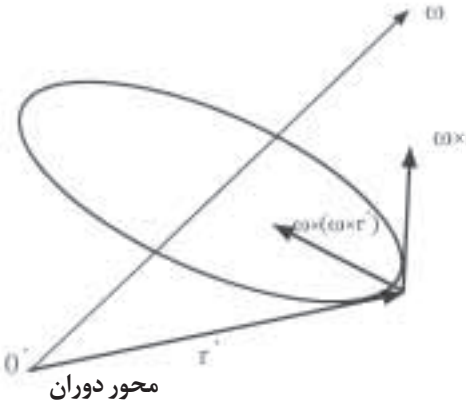
بحث نیروی کوریولیس

پرتابه‌ای را در نظر بگیرید که از قطب شمال پرتاب می‌شود تا در استوا فرود آید. روی زمینی که در حال چرخش نباشد، پرتابه در تمام مدت پرواز خود دقیقاً روی یک نصف‌النهار جغرافیایی قرار می‌گیرد. اما روی زمینی که در حال چرخش باشد، هدف روی استوا به اندازه‌ی ۰/۴۶ km/sec به طرف شرق حرکت می‌کند و پرتابه در غرب هدف فرود خواهد آمد. در واقع، مسیر حرکت پرتابه در نیم‌کره‌ی شمالی به طرف راست منحرف می‌شود. شتاب فرضی که این اثر را موجب می‌شود (اثر کوریولیس)، در سال ۱۸۳۵ توسط گاسارگوستا و دوکوریولیس استنتاج و شتاب کوریولیس به صورت فرمول $a = ۲(V \times \overrightarrow{W})$ محاسبه شد [عدالتی و فرخی، ۱۳۸۰: ۲۷۷].

فرض کنید سنگی را به نخی بسته‌ایم و آن‌را بالای سر خود می‌چرخانیم. جهت این نیرو که بر سنگ در مسیر دایره‌ای شکل آن وارد می‌شود، در راستای نخ است. بنابراین، بردار نیرو پیوسته گرایش به طرف مرکز چرخش دارد. این نیرو که گرایش آن پیوسته به سوی مرکز چرخش است، «نیروی مرکزگرا» نامیده می‌شود. از قانون دوم نیوتون می‌دانیم که نیروی مؤثر و شتاب مربوط به آن در یک جهت هستند. در نتیجه بردار شتاب نیز به سوی مرکز گرایش دارد، ما این شتاب را شتاب مرکزگرا می‌نامیم. هر جسمی که در طول مسیر دایره‌ای شکل حرکت می‌کند، شتابی مرکزگرا دارد. و معادله‌ی آن به صورت $\partial = \frac{V^۲}{R}$ است. در این معادله R شعاع دایره است و برای محاسبه‌ی آن V، از معادله‌ی $V = \frac{۲\pi R}{T}$ استفاده می‌شود. t نیز زمان برحسب ثانیه است [هولتون، رانرفورد و واستون، ۱۳۸۰: ۱۳۴].

عبارت $۲w \times v'$ را «شتاب کوریولیس» و عبارت $w \times (w \times r')$ را «شتاب جذب به مرکز» می‌نامند. شتاب کوریولیس در هر وضعیتی که یک ذره در سیستم مختصات دوار حرکت می‌کند (به استثنای مواردی که تندی v' موازی با محور دوران است)، به وجود می‌آید و شتاب جذب به مرکز نیز ناشی از حرکت ذره روی مسیر دایره‌ای شکل در سیستم دوار است. شتاب جذب به مرکز همواره به طرف محور دوران متمایل و عمود بر محوری است که در شکل ۱ نشان داده شده است. عبارت $w \times v$ را گاهی «شتاب متقاطع» نیز می‌نامند. زیرا عمود بر بردار مکان r' است. می‌توان گفت که این نتیجه‌ی هر شتاب زاویه‌ای در یک سیستم دوار است و یا به عبارت دیگر، در مواردی که بردار تندی زاویه‌ای، از نظر مقدار یا جهت یا هر دو تغییر می‌کند، این مطلب صادق است [گرانت، ۱۳۷۶: ۱۲۸].

$$\partial = \partial' + \omega \times r' \times ۲\omega \times r' + \omega \times (\omega \times r') + A.$$



محور دوران

شکل ۱. نمایش شتاب جذب به مرکز

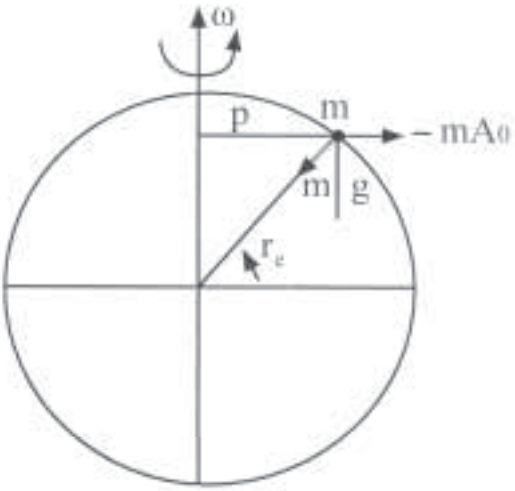
از آن‌جا که سیاره‌ی زمین از سه بخش هوا کره، سنگ کره و آب کره تشکیل شده است، هر یک از آن‌ها متناسب با نوع پیوند مولکولی، چگالی، وزن و جرم مخصوص، از نیروی ناشی از حرکت وضعی زمین تأثیر می‌پذیرد

که در این رابطه، $r_.$ و $A_.$ به ترتیب تندی و شتاب سیستم متحرک، و r' و a' تندی و شتاب ذره در سیستم متحرک هستند. در حالت خاص، وقتی سیستم متحرک شتاب ندارد، یعنی $A_.=0$، داریم: $a=a'$. پس شتاب در هر یک از سیستم‌ها یکسان است. نیروی کوریولیس فقط زمانی وجود دارد که یک ذره در سیستم مختصات، دورانی حرکت کند و جهت آن همواره عمود بر بردار تندی ذره در سیستم متحرک باشد. لذا به نظر می‌رسد که نیروی کوریولیس، یک ذره‌ی متحرک را تحت زوایای قائم نسبت به جهت حرکتش منحرف می‌کند. برای مثال، این نیرو در محاسبه‌ی مسیر پرتابه‌ها مهم است. اثرات کوریولیس عامل گردش هوا در اطراف مناطق «فشار پایین»[5] و «فشار بالا»[6] روی سطح زمین نیز هستند [همان، ص ۱۲۹].

از آن‌جا که تندی زاویه‌ای چرخش زمین برابر ۲II رادیان در روز است (در حدود $۷/۲۷\times۱۰^{-۵}$ رادیان در ثانیه) می‌توان انتظار داشت که اثرات چنین دورانی نسبتاً ناچیز باشد. با این حال، چرخش زمین باعث برآمدگی استوایی می‌شود. شعاع استوایی حدود ۱۳ مایل بزرگ‌تر از شعاع قطبی است. حرکت وضعی زمین دارای اثرات استاتیکی است که عبارت $F-m\,A_.=0$ در مورد آن به‌کار می‌رود. نیروی F به وسیله‌ی بردار مجموع دو نیرو به دست می‌آید.

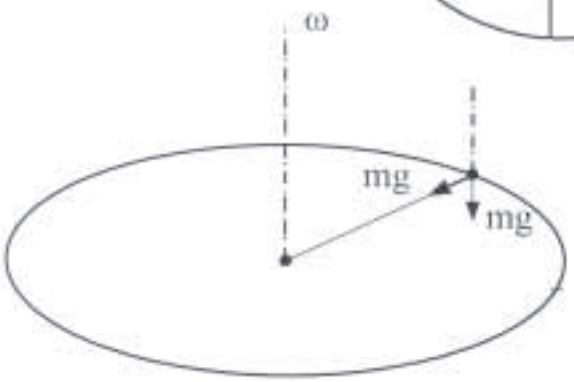
mg نیروی جاذبه‌ی واقعی زمین و mg- کشش عمودی خط شاقول است. بنابراین داریم: $mg-mg-mA_.=0$

بردار mg در جهت مرکز زمین است. شتاب $A_.$، شتاب جذب به مرکز مبدأ متحرک است و مقدار آن $P\omega^۲$ یا $(r_e\cos\lambda)\omega^۲$ است. r_e شعاع زمین و λ عرض جغرافیایی است.



▶ شکل ۲. نیروهای جاذبه و گریز از مرکز وارد بر ذره‌ای در سطح زمین
مأخذ: گرانت، ۱۳۷۶: ۱۲۹.

▼ شکل ۳. نمایش پهن‌شدگی زمین در اثر دوران



عبارت $mA_.$ - (نیروی گریز از مرکز) دارای مقدار $(r_e\cos\lambda)\omega^۲$ و جهت آن به طرف بیرون و عمود بر محور زمین است. بنابراین خط شاقول در جهت مرکز زمین نیست و به مقدار $\lambda=\pm۹۰^\circ$ از میان می‌رود. حداکثر انحراف خط شاقول از خط عمودی حقیقی، در عرض جغرافیایی ۴۵° است که:

حداکثر انحراف خط شاقول

$$\sum \max = \frac{r_e\omega^۲}{۲g} \cong ۱/۷\times۱۰^{-۳}\ \text{radian} \cong \frac{۱}{۱۰}\ \text{deg ree}$$

در تحلیل‌ها همیشه فرض بر این است که نیروی ثقل mg ثابت و به طرف مرکز زمین جهت یافته است. این فرض کاملاً صحیح نیست، زیرا زمین کروی نیست. تغییرات موضعی ناشی از کوه‌ها، رسوبات معدنی و غیره نیز بر جهت خط شاقول اثر می‌گذارند.

اثر دینامیک حرکت وضعی زمین بر پدیده‌های سطح زمین براساس فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$m\ddot{r}' = mg - ۲m\omega\times r'$$

که در آن، نیروی وزن مواد و نیروی کوریولیس در نظر گرفته می‌شود. مؤلفه‌ی افقی نیروی کوریولیس روی جسمی که به موازات سطح زمین حرکت می‌کند، مستقل از جهت حرکت آن است [همان، ص ۱۲۷].

اثر نیروی کوریولیس بر هوا

زمانی که نیروهای درونی زمین، زمین‌رخسارهای سطح زمین را ایجاد

می‌کنند، هم زمان با تشکیل ناهمواری‌ها عوامل جوی و آب‌وهوایی بر این ناهمواری‌ها تأثیر می‌گذارند و موجب تخریب و تغییر شکل ناهمواری‌های اولیه می‌شوند [محمودی، ۱۳۸۷: ۷].

این در حالی است که از اجزای تشکیل‌دهنده‌ی سیاره‌ی زمین، هوا بیش از هر عاملی تحت تأثیر نیروی کوریولیس قرار می‌گیرد و زمینه‌ی انحراف آن را فراهم می‌کند. در واقع، حرکت وضعی زمین با تغییر مسیر حرکت توده‌های هوا، زمینه‌ی تخریب و تأثیرگذاری آن‌را در جهت خاصی که عمدتاً در نیم‌کره‌ی شمالی به سمت راست است، کنترل می‌کند. به سه دلیل، نیروی کوریولیس در هوای پیرامون خود می‌تواند تأثیرگذار باشد:

۱. چگالی هوا بسیار پایین و جنبش مولکولی آن زیاد است.

۲. هوا رسانای بسیار ضعیفی و گرمای ویژه‌ی آن بسیار بالاست.

۳. گازها از نیروی فرار زیادی برخوردارند و هر ماده‌ی فراری تحت تأثیر نیروی حاصل از حرکت وضعی زمین قرار می‌گیرد.

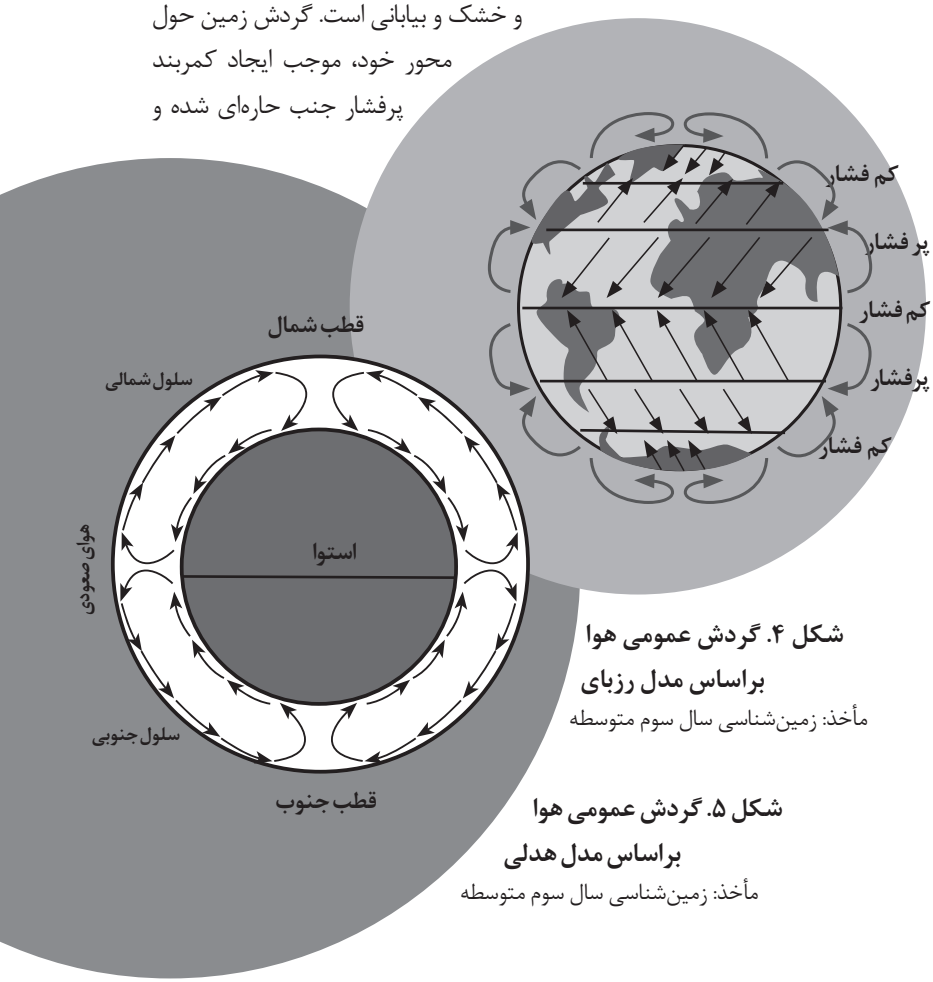
با توجه به مایل بودن محور زمین و کروی بودن آن، پراکندگی دما در عرض‌های متفاوت جغرافیایی از الگوی خاصی پیروی می‌کند. این عامل باعث می‌شود که زمین انرژی یکسانی از خورشید دریافت نکند. به علاوه، انحنای محور زمین موجب می‌شود تا ارتفاع و زاویه‌ی تابش خورشید در طول روز، ماه و سال فرق کند و مناطق آب و هوایی از نظر دما پدید آید. این اختلاف دما منشأ پیدایش جریان عمومی هوا خواهد بود [علیزاده، ۱۳۸۳: ۵۹].

بدین ترتیب که اگر کره‌ی زمین در حال چرخش نبود، باد از نواحی سرد قطبی به سمت نواحی گرم استوایی می‌وزید. اما حرکت وضعی زمین مانع از مسیر مستقیم جریان هوا از قطب به سمت استوا می‌شود. به عبارت دیگر، حرکت وضعی زمین باعث تشکیل یک کمربند پر فشار در عرض جغرافیایی ۳۰° شمالی و جنوبی و یک کمربند کم‌فشار دیگر در عرض جغرافیایی ۶۰ درجه‌ی شمالی و جنوبی می‌شود [درویش‌زاده، مدنی و صداقت، ۱۳۸۵: ۲۸].

یعنی با فرض ثابت بودن کره‌ی زمین، «مدل هدلی» تبیین‌کننده‌ی گردش عمومی هواست و اکنون که کره‌ی زمین در حال گردش به دور خود است، گردش عمومی هوا براساس «مدل رزبای» تفسیر می‌شود [علی‌جانی و کاویانی، ۱۳۸۲].

سیستم شکل‌زایی در سطح زمین متأثر از گردش عمومی هوا و حاکمیت دائم توده هواهای کم‌فشار و پرفشار است. در مناطق تحت حاکمیت توده‌ی هوای سرد و پرفشار قطبی، سیستم شکل‌زایی و ناهمواری‌ها تحت تأثیر سرمای شدید و یخبندان از نوع «سیستم فرسایشی پیش از یخبندان» قرار دارد که عبارت است از اعمال متوالی یخ‌زدن و ذوب یخ. عمل یخ‌زدن، در حالت خشک بسیار ضعیف است، در حالی که در محیط‌های مرطوب بسیار شدید است. سازوکار فرسایش منحصراً انقباض و انبساط سنگ‌ها ناشی از اختلاف درجه‌ی حرارت است [دریو، ۱۳۸۳: ۲۸۴].

سیستم فرسایشی در اثر حاکمیت پرفشار جنب حاره‌ای در اطراف مدار رأس‌السرطان، از نوع سیستم فرسایشی در سرزمین‌های گرم و خشک و بیابانی است. گردش زمین حول محور خود، موجب ایجاد کمربند پرفشار جنب حاره‌ای شده و



شکل ۴. گردش عمومی هوا براساس مدل رزبای
مأخذ: زمین‌شناسی سال سوم متوسطه

شکل ۵. گردش عمومی هوا براساس مدل هدلی
مأخذ: زمین‌شناسی سال سوم متوسطه

این کمربند پرفشار، کمربند بزرگ بیابانی را اطراف مدارهای رأس‌السرطان و رأس‌الجدی به‌وجود آورده است. در این سیستم فرسایشی، حرارت زیاد موجب خشکی بیشتر هوا بر اثر عمل تبخیر و کم آبی بر اثر کاهش ریزش‌های باران سالانه شده است و سرزمین‌هایی که در چنین شرایطی قرار می‌گیرند را می‌توان نواحی خشک نامید [همان، ص ۳۰۲].

کوه یخ به محض جدا شدن از کلاهک‌های یخی در قطب، توسط نیروی کوریولیس در نیم‌کره‌ی شمالی به سمت غرب انحراف پیدا می‌کند. به همین دلیل، کوه‌های یخی که از گروئیلند جدا می‌شوند، در ضمن حرکت به سمت سواحل کانادا منحرف می‌شوند.

شرایط جوی در عرض جغرافیایی ۶۰ درجه که محل تشکیل جبهه‌ی قطبی است، در اثر برخورد توده‌ی هوای سرد با توده‌ی هوای معتدل، تغییر ناهمواری‌های سطح زمین را به دنبال دارد. در حقیقت، کم فشار قطبی حاصل از چرخش زمین، مسئول سازوکار تشکیل لندفرم‌ها در این قسمت از کره‌ی زمین است. در واقع، نمی‌توان تشکیل ناهمواری‌های سطح زمین را بدون در نظر گرفتن حرکت وضعی زمین مورد بررسی قرار داد. ولی از آن‌جا که این عامل به طور دائم و همیشگی در همه‌ی عوامل و پدیده‌های سطح زمین تأثیر می‌گذارد، نمی‌توانیم آن‌را با حواس خود درک کنیم.

تشکیل پر فشار جنب حاره‌ای نیز به نیروی کوریولیس وابسته است. لندفرم‌هایی که تحت حاکمیت این پرفشار تشکیل می‌شوند و تغییر می‌یابند، بسیار متفاوت از سایر نقاط کره‌ی زمین هستند. در این نواحی، آب و هوای خشک و سیستم شکل‌زایی تحت تأثیر باد و فقدان رطوبت قرار دارد و باد عامل اصلی فرسایش در نواحی بیابانی است. به علت رطوبت کم، اختلاف دما و فشار در نواحی بیابانی زیاد است که نتیجه‌ی آن وزش بادهای دائمی با سرعت زیاد در این نواحی است.

بادهای ژئوستروفیک در نیم‌کره‌ی شمالی با سرعت به سمت راست و در نیم‌کره‌ی جنوبی به سمت چپ حرکت خود منحرف می‌شوند. جریان هوایی که در شرایط یک تعادل واقعی بین گرادیان افقی فشار و نیروی کوریولیس به‌وجود می‌آید، باد «ژئوستروفیک» نامیده می‌شود. اگر نیروی کوریولیس وجود نداشت، گرادیان فشار و نیروی گرانشی مرکزگرا عوامل اثرگذار بادها محسوب می‌شدند. در سیکلون‌ها، نیروی مرکزگرا و گرادیان فشار در جهت مخالف هم عمل می‌کنند. در این صورت، تعادل بین گرادیان فشار و نیروی مرکزگرا معادل مجموع نیروی کوریولیس و گرادیان فشار و نیروی مرکزگرا خواهد بود [جعفرپور، ۱۳۸۴: ۷۱].

در لایه‌های پایین اتمسفر، در نتیجه‌ی تماس توده‌های هوای در حال حرکت با سطح زمین، اصطکاک به‌وجود می‌آید. این تماس سبب کندی و تأخیر در حرکت هوا می‌شود. این اثر در نواحی ناهموار به حداکثر خود می‌رسد. هرچه از سطح زمین فاصله بگیریم، اثر اصطکاک با ناهمواری‌ها کاهش می‌یابد. در این رابطه، نیروی کوریولیس بر هوای چسبیده به سطح زمین کمترین اثر را دارد. هم‌چنین، نیروی کوریولیس در انحراف بادهای سطوح فوقانی جو، رود بادها و جت‌استریم‌ها نیز تأثیر دارد، ولی بیشترین تأثیر حرکت وضعی زمین بر لایه‌ی میانی جو است. هرچه سطح زمین هموارتر باشد، انحراف بادها توسط نیروی کوریولیس بیشتر خواهد بود. زیرا ناهمواری‌ها نیز در انحراف بادها و پراکندگی دما و ایجاد مرکز پرفشار نیز مؤثر هستند و گاهی اثر نیروی کوریولیس زمین را خنثا می‌کنند.

تأثیر نیروی کوریولیس بر جریانات آبی

در دو طرف منطقه‌ی استوا، در اثر حرکت وضعی زمین، بادهای آلیزه به سمت غرب در حال حرکت هستند که این بادها آب‌های سطحی را با خود به سمت غرب حمل می‌کنند [جداری عیوضی، ۱۳۸۲: ۱۲۸].

به‌طور کلی، در اقیانوس‌ها دو نوع جریان دریایی وجود دارد: یکی گرم که منشأ آن مناطق گرم کره‌ی زمین و نواحی حاره است و دیگری جریانات سرد که منشأ آن نواحی سرد قطبی است. از آن‌جا که نواحی متفاوت کره‌ی زمین انرژی یکسانی از خورشید دریافت نمی‌کنند، بنابراین آب‌ها نیز در اثر مقدار گرمای دریافتی متفاوت، میزان شوری و چگالی مختلف دارای حرکت‌های عمقی و سطحی خواهند بود.

گاهی این جریانات و حرکت‌های آبی که در مسیر خاصی جریان می‌یابند، دارای ویژگی‌های منحصر به فردی هستند که می‌توان ادامه‌ی مسیر آن‌ها را ترسیم و توصیف کرد. هر یک از این جریانات به محض نزدیکی به سواحل، قابلیت‌ها و توانایی‌هایی می‌یابند که در جای خود جداگانه قابل بررسی و تحقیق هستند. همان‌طوری که توده‌های هوا در اثر حرکت زمین دچار انحراف می‌شوند و مجموعه‌ی این انحرافات تشکیل سیستم‌های کم فشار و پرفشار متوالی در سیاره‌ی زمین را در پی دارند، و گردش عمومی هوا را به گونه‌ای خاص طبقه‌بندی، این نیرو بر جریانات و

آب نسبت به هوا از چگالی بیشتری برخوردار است، لذا انحراف آن توسط حرکت وضعی زمین نیز کمتر است. جریانات دریایی زیادی وجود دارند که در امتداد مسیر مشخصی جاری هستند. این شرایط در اثر نیروی کوریولیس و سایر عوامل فیزیکی آب اتفاق می‌افتد

حرکت آب‌ها در اقیانوس‌ها نیز مؤثر است و مسیر حرکت آن‌ها را در دو نیم‌کره‌ی شمالی و جنوبی تحت تأثیر قرار می‌دهد. اما از آن‌جا که آب نسبت به هوا از چگالی بیشتری برخوردار است، لذا انحراف آن توسط حرکت وضعی زمین نیز کمتر است. جریانات دریایی زیادی وجود دارند که در امتداد مسیر مشخصی جاری هستند. این شرایط در اثر نیروی کوریولیس و سایر عوامل فیزیکی آب اتفاق می‌افتد. زیرا هر ماده‌ای که در سیاره‌ی زمین در حال حرکت باشد، اگر حرکت آن بر نیروی کنترل‌کننده و مرکزگرا غلبه کند، توسط نیروی کوریولیس از مسیر حرکت خود منحرف می‌شود. عوامل مختلفی در ایجاد جریان‌های دریایی شرکت دارند، ولی نقش عمده با بادهای غالب است. از آن‌جا که بادها توسط نیروی کوریولیس زمین منحرف می‌شوند، به تبع آن جریان‌ها آبی نیز از انحراف مسیر بادها پیروی می‌کنند.

در قلمرو بادهای غالب، جهت جریان‌های سطحی با جهت باد یکی است. علاوه بر برآمدگی‌های زیر آب که مسیر جریان آب را منحرف می‌کنند. جریان‌های اقیانوسی نیز مثل هر متحرک دیگری در سطح زمین، از نیروی کوریولیس متأثر می‌شود. برای مثال، جریان گرم گلف استریم مثل یک رود دارای پیچ و خم است. این حالت در نقشه‌ای در سال ۱۹۵۳ به‌وضوح دیده می‌شود و این رود به سمت شرق گروئیلند انحراف پیدا می‌کند. آن‌چه این امر را سبب می‌شود، تأثیر نیروی کوریولیس است. نیروی کوریولیس سعی دارد جریان‌هایی را که شکل عمودی یا جهت شمالی دارند، جهت افقی یا مداری بدهد. به همین دلیل، در شرق قاره‌ها برآمدگی آب‌ها در اثر نیروی کوریولیس به‌وجود آمده است. جریان استوایی شمالی اقیانوس اطلس، بین مدار ۱۰ تا ۳۰ درجه‌ی شمالی به سوی غرب حرکت می‌کند. این جریان، آب‌هایی را که به وسیله‌ی جریان کاناری به سواحل موریتانی و سنگال می‌رسد، به طرف مغرب حمل می‌کند و جریان استوایی جنوبی به سمت سواحل برزیل می‌رود. همه‌ی این عوامل نشان می‌دهند که توده‌ی عظیمی از آب‌ها به‌وسیله‌ی جریان‌های استوایی به سواحل آمریکا حمل می‌شوند و این در اثر حرکت وضعی زمین اتفاق می‌افتد [جداری عیوضی، ۱۳۸۲: ۱۳۱].

بالا آمدن سطح دریا در خلیج مکزیک و شرق قاره‌ی آمریکای شمالی و جنوبی، به دلیل اثر نیروی کوریولیس زمین بر جریان‌های اقیانوسی است. در اثر همین نیروست که جریان گلف استریم به طرف شرق برمی‌گردد و به جریان کاناری می‌پیوندد که مدار بسته‌ای را تشکیل می‌دهد. جریان اطلس شمالی نیز تحت اثر همین نیرو به سواحل انگلستان و شبه‌جزیره‌ی اسکاندیناوی می‌رسد و از آن‌جا وارد حوزه‌ی قطب شمال می‌شود. بزرگ‌ترین جریان آب سرد نیم‌کره‌ی شمالی «لابرادور» است که اثر حرکتی زمین آن‌را به سمت غرب منحرف و وارد آمریکای شمالی می‌کند. این جریان آب سرد، همه‌ی این ساحل را تا حدود دماغه‌ی هاتراس تحت تأثیر قرار می‌دهد و به جریان گلف استریم برخورد می‌کند.

در نیم‌کره‌ی جنوبی، «بنگوئلا» شاخه‌ای از جریان سرد قطب جنوب است که در طول سواحل غربی آفریقای جنوبی به طرف شمال می‌رود. این جریان، قسمتی از آب‌هایی را که توسط جریان استوایی جنوبی به سمت مغرب رانده می‌شود، پر می‌کند [همان، ص ۱۲۵].

در نتیجه دو جریان در طرفین استوا تشکیل می‌شود. این دو به نام جریان استوایی شمالی و جریان استوایی جنوبی موسوم‌اند. بین این دو جریان، جریان دیگری در جهت مخالف دیده می‌شود که آن‌را ضد جریان استوایی نامیده‌اند. همه‌ی این جریانات در اثر حرکت وضعی زمین تشکیل شده‌اند.

تأثیر نیروی کوریولیس زمین در انحراف رودخانه‌ها و اشکال فرسایشی ناشی از آن

آب‌های روان در دوران کواترنری مهم‌ترین عامل تغییر چهره‌ی زمین هستند. عواملی مثل بافت، جنس خاک، کانی‌های رسی، مواد آلی، پوشش گیاهی، وضعیت زمین‌شناسی، نحوه‌ی گسلش و چین‌خوردگی، در انحراف مسیر رودخانه‌ها و ایجاد پیچان‌رود و قوس و کاوهای آن تأثیرگذارند [رکک، ۱۳۸۳].

در این میان، نیروی کوریولیس زمین هم نقش بسزایی در انحراف مسیر رودخانه‌ها دارد. ولی چون تأثیر نیروی کوریولیس در انحراف رودخانه‌ها و ایجاد پیچان رودها با چشم قابل دیدن و در آزمایشگاه قابل سنجش مستقیم نیست، تأثیر آن مخفی باقی می‌ماند و به همین دلیل هم کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. رودخانه‌ها در سطح خشکی‌ها هرگز به صورت یک خط مستقیم جریان ندارند، زیرا بستری که رودخانه در آن جاری است، همسان نیست و سنخیت یکسانی از نظر زمین‌شناسی و

اقلیمی ندارد. در واقع، شرایط زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی حوزه‌ی آبریز به گونه‌ای است که رودخانه‌ها در هر قسمت از بستر خود عملکردی متفاوت خواهند داشت. برایند این عوامل تأثیرگذار در مسیر رودخانه‌ها، سبب می‌شود که آب‌های جاری مسیر مستقیمی را طی نکنند.

یکی از نیروهایی که در ایجاد «مئاندر» نقش اساسی دارد، نیروی ناشی از حرکت وضعی زمین است. در واقع رودخانه‌ها در ضمن حرکت خود دارای نیروی برداری هستند. این نیرو سعی می‌کند که رودخانه را در مسیر مستقیم خود به سمت جلو براند. در این میان، نیروی جذب مرکز، رودخانه را در مسیر مستقیم خود نگه می‌دارد، ولی نیروی کوریولیس با تأثیرگذاری بر خروج رودخانه از نیروی گریز از مرکز، زمینه‌ی انحراف آن‌را فراهم می‌کند که پس از طی مسیر اندکی، نیروی جذب مرکز رودخانه را به سمت مسیر قبلی خود برمی‌گرداند. رودخانه‌ها به دلیل حرکت خود تحت تأثیر دو نیروی جذب مرکز و کوریولیس قرار می‌گیرند که در هر مرحله‌ای به‌طور متناوب بر انحراف رودخانه اثر می‌گذارد و سبب ایجاد پیچان رود و مئاندر در رودخانه‌ها می‌شود.

البته بسته به این‌که زمین‌شناسی هر محل چگونه باشد، انحراف مسیر کلی رودخانه‌ها متفاوت است. رودخانه‌هایی که از شمال به سمت جنوب حرکت می‌کنند، به سمت غرب مسیر حرکت خود منحرف خواهند شد. چنان‌چه رودخانه به سمت شمال حرکت کند، مسیر کلی آن به سمت شرق منحرف می‌شود. برای مثال، از رودخانه کارون می‌توان مثال زد که به سمت جنوب جریان دارد، ولی نیروی کوریولیس باعث انحراف مسیر آن به سمت غرب شده است. این رودخانه طولانی‌ترین و پرآب‌ترین رودخانه‌ی کشور است. سرچشمه‌ی رودخانه‌ی کارون از «کوهرنگ بختیاری» در استان چهارمحال است و سرچشمه‌هایی نیز در استان کهکیلویه و بویراحمد دارد. محل سرچشمه‌ی رودخانه ۲۵۰۰ متر بالاتر از سطح دریاست. این رودخانه در زاگرس میانی واقع شده است و نقش مهمی در ایجاد زمین‌رخسارهای آن دارد. رودها و چشمه‌های بسیاری در طول مسیر رودخانه کارون به آن می‌پیوندند که مجموعه‌ی همه‌ی این آب‌های ورودی باعث شده است رودخانه‌ی کارون پرآب‌ترین رود کشور و جنوب غرب آسیا باشد. حال پرسش این است که: «نیروی کوریولیس زمین چه نقشی در انحراف این رودخانه داشته است؟»

ماده‌ی سیالی که از ارتفاع معینی به سطح زمین سقوط کند، به میزان این‌که ارتفاع، سرعت و مسافتی که آن ماده‌ی سیال طی می‌کند، چه مقدار باشد، به همان نسبت نیروی کوریولیس در انحراف آن نقش دارد. حجم عظیمی از آب از ارتفاع ۲۵۰۰ متر در مسافت ۹۵۰ کیلومتر سقوط می‌کند. درصد شیب و مساحت کوهستانی که رودخانه‌ی کارون از آن می‌گذرد نیز در انحراف رودخانه نقش دارد. تأثیر نیروی کوریولیس در انحراف کلی رودخانه کارون را می‌توان در نقشه‌ی ۱ مشاهده کرد.

براساس نقشه‌ی ۱، جهت انحراف حوزه‌ی رودخانه‌ی کارون به سمت جنوب شرق و هم‌سو با بادهای آلیزه است که در نیم‌کره‌ی شمالی از شمال غرب به جنوب شرق می‌وزند. زمین‌رخسارها و ریختارهای کلی سایر زیر حوزه‌های خلیج‌فارس نیز در همین جهت تشکیل شده‌اند. در واقع حرکت وضعی زمین تعیین‌کننده‌ی مسیر انحراف حوزه‌های آبریز رودخانه‌هاست.

پس این چنین می‌توان بیان داشت که عملکرد آب‌های روان از نیروی کوریولیس زمین متأثر است و این نیرو با فرسایش بستر و ایجاد اشکال کاوشی و تراکمی رودخانه‌ها، جهت‌گیری خاصی را در زمین‌رخسارهای سطح زمین به وجود می‌آورد، اما متناسب با موقعیت مکانی آن در کره‌ی زمین، متفاوت عمل می‌کند. رودخانه‌هایی مثل زهره، مارون و دز که در نقشه آورده شده‌اند نیز دارای مسیری به سمت غرب محل سرچشمه‌های خود هستند که همین امر را ثابت می‌کند.

نقشه‌ی ۱. حوزه‌ی آبریز رودخانه‌های استان خوزستان

تأثیر نیروی کوریولیس در اشتقاق قاره‌ها و پراکندگی مناطق جهانی زلزله

وقتی وگنر «نظریه‌ی اشتقاق قاره‌ها» را براساس نقشه‌ی پراکندگی خشکی‌ها و هم قرینه بودن سواحل مطرح ساخت، باعث شد که نظریه‌ی تکتونیک صفحه‌ای، به عنوان تبیین‌کننده‌ی بسیاری از حوادث زمین‌شناسی از قبیل نحوه‌ی تشکیل کوهستان‌ها، تفکیک قاره‌ها و حرکات آرام صفحات، زلزله‌ها، آتشفشان‌ها و رویدادهای بستر اقیانوس‌ها، مورد قبول اکثر زمین‌شناسان و دانشمندان علوم زمین قرار گیرد.

درواقع اکنون انگاره‌ی تکتونیک صفحه‌ای پاسخ‌گوی بسیاری از حوادث زمین‌شناسی و گسترش قلمرو این دانش شده است. از آن‌جا که پوسته‌ی تشکیل‌شده‌ی زمین یک پارچه نیست و از صفحاتی در اندازه‌های متفاوت تشکیل شده است. این صفحات از نظر جنس و چگالی با یکدیگر متفاوت هستند و روی یک ماده‌ی نیمه خمیری واقع شده‌اند. «پانگه‌آ» که در حدود ۲۰۰ میلیون سال پیش یک ابر قاره‌ی واحد بود، به دو قاره‌ی «لوراسیا» در شمال و «گندوانا» در جنوب تقسیم شد. این امر در اثر جابه‌جایی و حرکت آرام صفحات تشکیل‌دهنده‌ی زمین حادث شد. در ادامه‌ی تفکیک قاره‌ها، هر یک از دو قاره‌ی فوق خود نیز به مرور زمان شکستند و به قاره‌های جدید دیگری تبدیل شدند. قاره‌های امروزی آسیا، آمریکای شمالی و اروپا جدا شده از لوراسیا و آفریقا، استرالیا و آمریکای جنوبی جدا شده از گندوانا هستند.

این تغییرات و تحولات در پوسته‌ی زمین به آرامی و طی میلیون‌ها سال انجام گرفت. هنوز هم این حرکات در پوسته‌ی زمین در حال شکل‌گیری است و به‌صورت نامتناهی ادامه دارد. زیرا منشأ این حرکات در درون زمین است و مربوط به ساختار زمین‌شناسی آن می‌شود. ولی آن‌چه که مسئله است و از دید بسیاری از دانشمندان در مورد تکتونیک صفحه‌ای ناگفته باقی مانده، تأثیر نیروی کوریولیس یا حرکت وضعی زمین در این فرآیند جابه‌جایی و اشتقاق است. سؤالی که در این زمینه می‌توان مطرح کرد این است که: «آیا حرکت وضعی زمین در پراکنش قاره‌ها و صفحات تشکیل‌دهنده‌ی زمین و جدایی صفحات تأثیر نمی‌گذارد؟»

براساس «مدل گردش عمومی هوا» که تأثیر نیروی کوریولیس را بر هوا و اتمسفر نمایش می‌دهد، پراکنش قاره‌ها در اثر نیروی کوریولیس را نیز منطبق با این مدل می‌توان توصیف کرد.

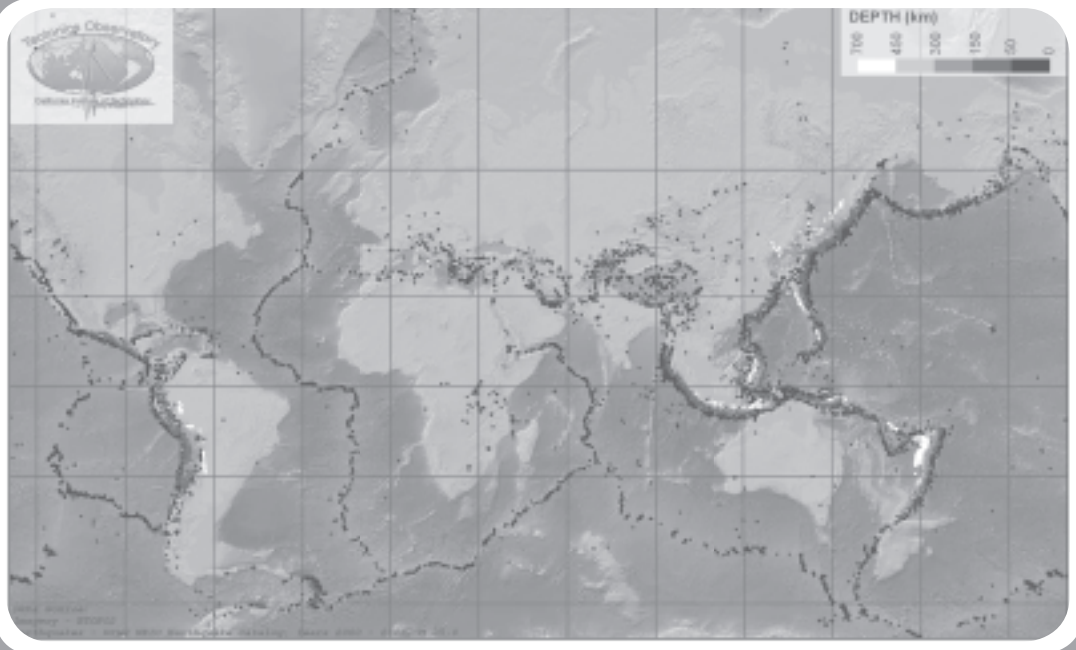
قسمت میانی قاره‌ی آمریکا که در محدوده‌ی خط استوا قرار دارد، به سمت شرق انحراف بیشتری دارد و در یک حالت واگرایی در منطقه‌ی پاناما، به نازک‌ترین قسمت خود می‌رسد. ظاهراً اگر حرکت رو به غرب قاره‌ی آمریکا ادامه می‌یافت، آمریکای شمالی و آمریکای جنوبی به صورت طبیعی از هم جدا می‌شدند. هر جسمی که به دور خود می‌چرخد، متأثر از نیروی گردشی خود می‌شود و بسته به این‌که اجزای تشکیل‌دهنده‌ی آن‌چه پیوندی با یکدیگر داشته باشند، میزان تأثیرپذیری آن از گردش خود افزایش می‌یابد. از آن‌جا که صفحات تشکیل‌دهنده‌ی پوسته‌ی زمین، چگالی و وزن متفاوتی دارند و روی مواد مذاب واقع شده‌اند، حرکت وضعی زمین می‌تواند در حرکات صفحات و نحوه‌ی دور و نزدیک شدن آن‌ها مؤثر واقع شود.

چون حرکت وضعی زمین خلاف عقربه‌ی ساعت است، نیروی حاصل از آن می‌تواند بر حرکات این صفحات تأثیر بگذارد و به همین دلیل برای میلیون‌ها سال، قاره‌ی آمریکا در اثر حرکت وضعی زمین به سمت غرب در حال دور شدن بوده است و اقیانوس اطلس در این شرایط دور شدگی به وجود آمد. اکنون در اثر دور شدن آفریقا به سمت غرب، دریای سرخ در حال گسترش است و به علت تأثیر نیروی کوریولیس، صفحه‌ی اقیانوس آرام به زیر لوراسیا در شرق آسیا فرو رانش دارد و مسئول تمام تحولات تکنیکی در این قسمت از جهان است. قاره‌ی استرالیا نیز در حرکت آرام خود از این نیروی گردشی تبعیت می‌کند.

نقشه‌ی ۲ پراکندگی مناطق زلزله‌خیز جهان را نمایش می‌دهد که در آن، متناسب با دور شدن از خط استوا و عرض جغرافیایی، در اثر نیروی کوریولیس مناطق زلزله‌خیز به نحوی خاص پراکنده شده‌اند. کمربند زلزله‌خیز میانی اقیانوس اطلس و آرام در یک مشابهت شکلی کلی،

نقشه‌ی ۲. پراکندگی جهانی زلزله‌ها و آتشفشان‌ها

مأخذ: California Institute of Technology



مانند $ به تصویر کشیده شده‌اند. البته چنین شکلی تصادفی نیست. شکل $ مانند هر دو، در اثر تأثیر این نیرو، بدین صورت تشکیل شده است. حرکت وضعی زمین باعث تجمع نیروی زیادی در خط استوا شده و تجمع این نیروها به تشدید حرکات تکتونیکی زمین به نحوی خاص انجامیده است.

نتیجه‌گیری

● اگر حرکت وضعی زمین توانست شعاع استوایی زمین را به میزان ۲۱/۴ کیلومتر نسبت به شعاع قطبی آن افزایش دهد، می‌تواند مسئول بسیاری از فرایندهای تکتونیکی دیگر در کره‌ی زمین هم باشد و تشکیل مناطق زلزله‌خیز و حرکات صفحه‌ای زمین به نحوی اثر بگذارد.

● حرکت وضعی زمین بر اتمسفر و هوای پیرامون آن تأثیر می‌گذارد. این حرکت موجب انحراف بادها، تشکیل مراکز پرفشار و کم فشارهای متوالی در سطح زمین، و تشکیل و تغییر زمین‌رخسارها و اشکال تحت حاکمیت این مراکز فشار می‌شود و سیستم شکل‌زایی آن‌ها را در سطح زمین تبیین‌می‌کند.

● حرکت وضعی زمین در انحراف آب‌های روان و جهت‌گیری حوزه‌های آبریز مؤثر است و آب‌های روان را در جهت خاصی در نیم‌کره‌ی شمالی به سمت شرق و در نیم‌کره‌ی جنوبی به سمت غرب منحرف می‌سازد.

پی‌نوشت

1. coriolis
2. Atmosphere
3. Litosphere
4. Hydrosphere
5. Lowpressure
6. high preessure

منابع

۱. جداری عیوضی، جمشید. جغرافیای آب‌ها. انتشارات پیام نور. تهران. ۱۳۸۲.
۲. جعفرپور، ابراهیم. مبانی اقلیم‌شناسی. چاپ ششم. ۱۳۸۴.
۳. جغرافیای سال دوم متوسطه. دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتب درسی. ۱۳۸۸.
۴. درویش‌زاده، علی؛ مدنی، حسن؛ صداقت، محمود. زمین‌شناسی سال سوم متوسطه. شرکت نشر کتاب‌های درسی ایران. چاپ هشتم. ۱۳۸۵.
۵. دریو، ماکس. مبانی ژئومورفولوژی. ترجمه‌ی مقصود خیام. انتشارات علمی و فرهنگی. چاپ ششم. ۱۳۸۲.
۶. عدالتی، تقی و خسروی، حسن. زمین در فضا. انتشارات آستان قدس رضوی. مشهد. چاپ سوم. ۱۳۸۰.
۷. علیزاده، امین. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات آستان قدس رضوی. چاپ هفدهم. ۱۳۸۳.
۸. علیجانی، بهلول. مبانی آب و هواشناسی. انتشارات سمت. تهران. ۱۳۸۲.
۹. کک، روژ. ژئومورفولوژی اقلیمی. ترجمه‌ی فرج‌الله محمودی. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ چهاردهم. ۱۳۸۳.
۱۰. گرانت، ر. فولز. مکانیک تحلیلی. ترجمه‌ی کاشانی حصار، ملک‌زاده، چاپ چهارم، ۱۳۷۶.
۱۱. محمودی، فرج‌الله. ژئومورفولوژی دینامیک. انتشارات پیام نور. چاپ دوم. ۱۳۸۷.
۱۲. هولتون، رانرفورد. طرح فیزیک هاروارد. ترجمه‌ی احمد خواجه نصیر طوسی و هوشنگ شریف‌زاده. فاطمی. چاپ پنجم. ۱۳۸۰.