اثر کوریولیس

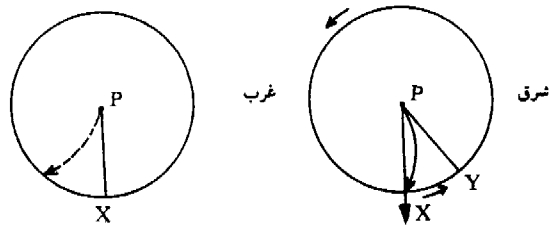
در سطح زمین اجسام متحرک همواره گرایش دارند که در نیمکرهٔ شمالی به طرف راست و در نیمکرهٔ جنوبی به طرف چپ مسیر حرکت اولیهٔ خود منحرف شوند. این انحراف، مستقل از جهت حرکت جغرافیایی آنهاست. «گ. گ. کوریولیس[1]» ریاضی‌دان فرانسوی در قرن نوزدهم اولین کسی بود که این پدیده را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد، لذا، پدیده به نام او «اثر کوریولیس[2]» نام‌گذاری شد. اثر کوریولیس چنان است که گویی کرهٔ زمین ساکن است و بر اجسامی که روی آن در حال حرکت هستند نیرویی اثر می‌گذارد. ولی این نیرو یک نیروی واقعی نیست، بلکه نیرویی ظاهری به شمار می‌آید. اثر انحرافی در مسیر حرکت اجسامی که به طور افقی بر روی سطح زمین حرکت می‌کنند، نتیجه حرکت وضعی زمین است و بنابراین فقط برای ناظری که در سطح زمین قرار گرفته، محسوس است. اثر کوریولیس در مسیر بادها، جریانهای دریایی، ماهواره‌ها، گلوله‌های پرتابی دور برد و خلاصه تمامی سیالات و اجسامی که آزادانه[3] در بالای سطح زمین حرکت می‌کنند، مؤثر است.

محمود صداقت

وقتی جسم یا سیالی مانند هوا، به طور افقی و در خطی مستقیم در بالای سطح زمین حرکت کند، ناظری که در نقطهٔ ثابتی در فضا قرار گرفته است، مسیر حرکت جسم را مستقیم و در زیر آن سطح زمین را در حال چرخش می‌بیند. ولی برای ناظری که در سطح زمین قرار گرفته و با آن در حال چرخش است، چنین به نظر می‌رسد که جسم فوق به طور مداوم از مسیر خود منحرف می‌شود. این انحراف را که نتیجه حرکت وضعی زمین است و به خصوص در مسیر حرکت بادها و جریانهای دریایی اثر بسیار زیادی دارد، اصطلاحاً «اثر کوریولیس» یا «انحراف کوریولیس[4]» می‌گویند. برای آنکه به علت این انحراف بهتر پی‌ببریم مسئله را از دو نظر مطالعه می‌کنیم. ابتدا مورد خاص اجسام یا بادهایی را که در جهت شمالی ــ جنوبی در نزدیک قطب شمال حرکت می‌کنند، بررسی می‌کنیم و سپس نتایج حاصله را در مورد بادها و اجسامی که در هر عرض جغرافیایی و در هر جهتی حرکت می‌کنند، تعمیم می‌دهیم. برای سهولت کار حرکت یک گلوله را جانشین حرکت باد یا هر سیال دیگری می‌کنیم:

■ انحراف در قطب شمال

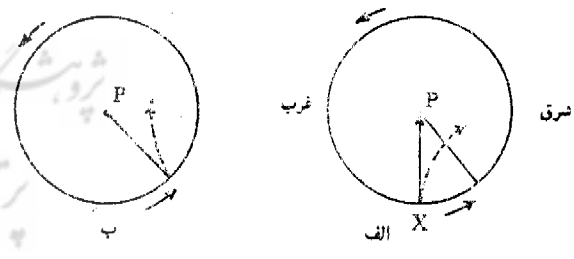
منطقهٔ نسبتاً کوچکی در اطراف قطب را می‌توان به عنوان یک سطح مستوی در نظر گرفت. در شکل (۱) قطب شمال در مرکز دایره و جهت حرکت آن توسط فلش نشان داده شده است. فرض می‌کنیم که PX نصف‌النهاری است که در یک لحظهٔ معین ناظری در نقطه P در آن جهت نگاه می‌کند و فرض می‌کنیم که توسط توپ عظیمی گلوله‌ای از نقطهٔ P در امتداد نصف‌النهار PX شلیک شود. بنابر قانون اول نیوتن هر جسمی حرکت مستقیم الخط یکنواخت خود را ادامه می‌دهد مگر آنکه توسط نیرویی خارجی مجبور به تغییر مسیر شود. این قانون را قانون ماند یا اینرسی نیز می‌گویند. در اینجا منظور از خط مستقیم خط ثابتی در فضاست که نسبت به ستارگان در نظر گرفته می‌شود. پس از پرتاب گلوله، تنها نیروی مؤثر بر آن نیروی جاذبهٔ زمین است (از اصطکاک صرفنظر می‌کنیم). این نیرو شتابی به طرف پایین ایجاد می‌کند، ولی هیچ تأثیری در مسیر حرکت شرقی ــ غربی گلوله ندارد. بنابراین، گلوله پس از شلیک بنابر قانون ماند مسیر مستقیمی را در فضا طی می‌کند و فرض می‌کنیم که یک ساعت طول بکشد تا به نقطهٔ X برسد. در خلال این مدت نصف‌النهاری که در اصل در جهت PX قرار داشته، ۱۵ درجه ($\frac{۱}{۲۴}$ چرخش کامل زمین) به طرف شرق چرخیده و حال در امتداد PY قرار گرفته است. ولی گلوله که مستقل از چرخش زمین است و در این دوران شرکت ندارد، به مسیر خود در امتداد PX ادامه می‌دهد. برای ناظری که در نقطه P ایستاده و با زمین در حال چرخش است، چنین به نظر می‌رسد که گلوله پس از شلیک هر لحظه بیشتر و بیشتر به سمت راست منحرف می‌شود و یک مسیر منحنی را طی می‌کند که در روی شکل (۱ ــ الف) با خط منحنی PX نشان داده شده است. از آنجا که هیچ ناظری در زمین چرخش آن را احساس نمی‌کند و به نظر او زمین ساکن است، گلوله مسیری را طی می‌کند که توسط خط‌چین در شکل (۱ ــ ب) نشان داده شده است.



شکل ۱ ــ گلوله‌ای که از قطب شمال در امتداد نصف‌النهار PX به طرف جنوب پرتاب شود به علت چرخش زمین از غرب به شرق به طرف راست منحرف می‌شود.

هر ناظری که در نقطه‌ای ثابت در خارج از کرهٔ زمین قرار گرفته باشد، مسیر گلوله را به صورت خط مستقیمی مشاهده خواهد کرد که این گلوله از نقطهٔ P تا X را در یک ساعت طی می‌کند. توجه کنید که جهت انحراف در چنین مواردی در هر حال به طرف راست جهت اولیه حرکت خواهد بود.

وقتی که گلوله از نقطهٔ X به سمت قطب شمال (P) شلیک شود، نتیجه را می‌توانیم مجدداً توسط نمودارهایی نشان دهیم (شکل ۲). این بار نیز نقطهٔ X در فاصلهٔ زمانی یک ساعت ۱۵ درجه به سمت شرق می‌چرخد. امّا در اینجا به نکته دیگری باید توجه کرد. سرعت خطی به سمت شرق در نقطهٔ X بیشتر از نقاط شمالی‌تر آن است. (بیشترین سرعت خطی در استوا و حدود ۱۶۰۰ کیلومتر در ساعت است و با افزایش عرض جغرافیایی این سرعت کاهش می‌یابد، به طوری که در قطبین به صفر می‌رسد). سرعت حرکت گلوله که از X به سمت P پرتاب می‌شود ترکیبی از سرعت حاصل از پرتاب گلوله و سرعتی است که در نتیجه چرخش زمین به دور خود ایجاد می‌شود. گلوله همچنان که به طرف شمال به پیش می‌رود، سرعت اولیه به سمت شرق را حفظ می‌کند و لذا پس از یک ثانیه هم گلوله و هم نقطهٔ پرتاب مقداری به طرف شرق حرکت کرده‌اند، امّا نقاط شمالی‌تر به اندازهٔ نقطه پرتاب حرکت نکرده‌اند. بنابراین گلوله بعد از یک ساعت به نقطه‌ای در طرف راست نقطه P می‌رسد و دوباره چنین به نظر می‌آید که مسیر حرکت اولیه در امتداد نصف‌النهار به سمت راست منحرف شده است.



شکل ۲ ــ گلوله‌ای که از نقطه X به سمت قطب شمال پرتاب شود به علت چرخش زمین به طرف راست منحرف می‌شود.

■ انحراف در اثر چرخش جغرافیایی

پس از بررسی انحراف اجسام متحرک در مورد خاص نواحی قطبی، این اثر را بر ان اجسام و سیالاتی که در هر جهت و در هر عرض جغرافیایی حرکت می‌کنند عمومیت می‌دهیم. سطح زمین را در هر نقطه یک صفحهٔ افقی عمود بر شعاع زمین در آن نقطه در نظر می‌گیریم (شکل ۳). نقطهٔ در قطبین است که این شعاع با محور چرخش زمین منطبق است. روشن است که صفحهٔ افقی قطب (N) در یک روز یک دوران کامل ۳۶۰° انجام می‌دهد. صفحه M در عرضهای متوسط در امتداد مدار LL چرخش می‌کند. جهت‌یابی این صفحه را، همچنان که در حال چرخش است، با نصف‌النهار و مداری که از آن عبور کرده و همچنین با فلشهایی که جهت ثابتی را به سمت یک ستاره نشان می‌دهند، مقایسه کنید. در چرخش از M به Ḿ لبه‌های این صفحه نسبت به نصف‌النهار و مدارش تغییر نمی‌کند، ولی جهت‌یابی آن نسبت به فلشهایی که جهت ثابتی را نشان می‌دهند، متغییر است. برای ناظری که در سطح زمین است، با چرخش زمین هیچ تغییری در این صفحه رخ نمی‌دهد.

ولی برای ناظری در خارج از زمین، صفحهٔ مزبور حول پیکان، یا به خصوص حول شعاع MC دوران می‌کند. برای چنین ناظری، همچنان که این صفحه همراه با چرخش زمین از M به Ḿ منتقل می‌شود، حول نقطهٔ مرکزی خود نیز دوران می‌کند (همانطور که در قسمت راست شکل ۳ نشان داده شده است). ناظری که در فضا قرار گرفته، چنین مشاهده می‌کند که باد یا هر جسمی با حرکت آزاد در خط مستقیمی حرکت می‌کند، در حالی که سطح زمین در زیر آن (مثلاً صفحه M) به طرف چپ باد می‌چرخد یا حرکت می‌کند. ولی ما در سطح زمین از این چرخش آگاه نیستیم. در نظر ما سطح زمین ثابت است و باد به سمت راست حرکت خود (در نیمکرهٔ شمالی) منحرف می‌شود.

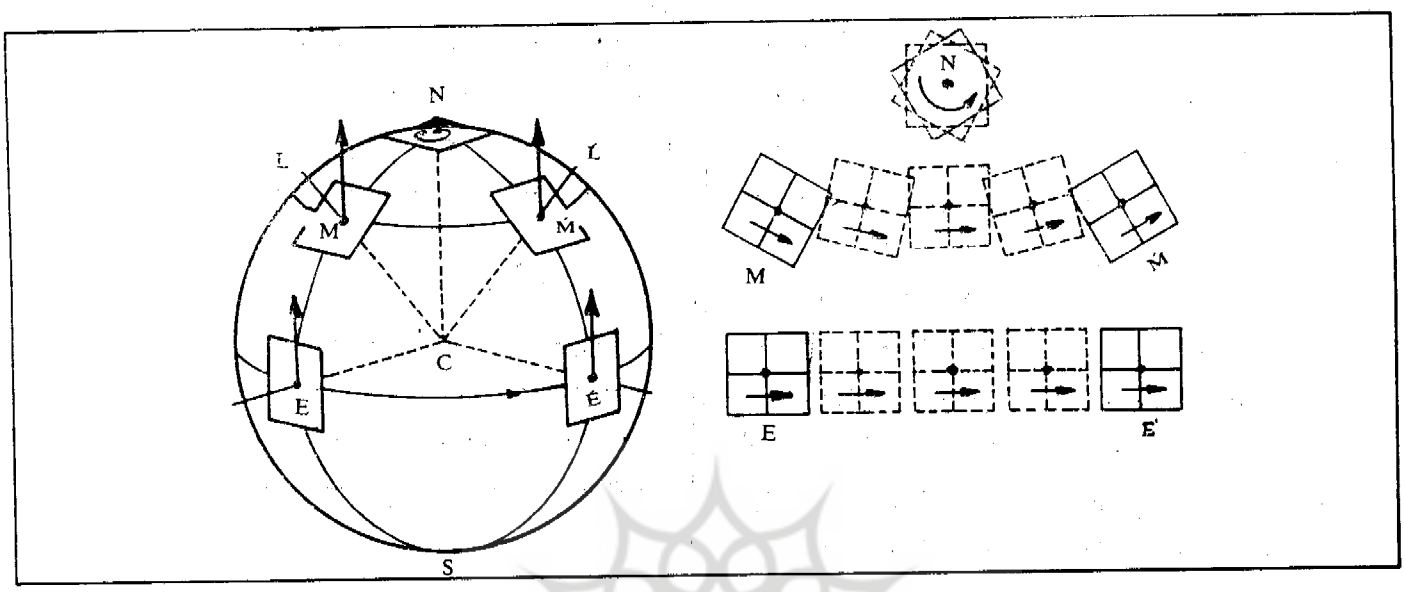
در روی خط استوا، همچنان که صفحهٔ E در اثر چرخش زمین به É می‌رسد (شکل ۳) هیچ‌گونه دورانی حول شعاع CE واقع نمی‌شود. روشن است که چرخش یک صفحه سطحی حول شعاعی که از آن عبور می‌کند، از حداکثر یک چرخش کامل در ۲۴ ساعت در قطب تا چرخش صفر در استوا تغییر می‌کند. بنابراین این چرخش متناسب با سینوس زاویه عرض جغرافیایی است. از این جهت انحراف کوریولیس از صفر در استوا تا حداکثر در قطبین تغییر می‌کند.

چرخش سر صفحه حول نقطه مرکزی را در سطح زمین با پاندول فوکو نیز می‌توان نشان داد. «فوکو»[5] دانشمند فرانسوی در اصل برای اثبات حرکت وضعی زمین یک گلولهٔ فلزی ۲۸ کیلوگرمی را به قطعه سیمی به طول تقریباً ۶۰ متر متصل و آن را از سقف معبدی در پاریس آویزان کرد. وقتی این پاندول به نوسان در آمد، مشاهده شد که جهت حرکت نوسانات به طور مداوم با سرعت ثابت تقریباً ۱۱ ۱/۴ درجه در ساعت در جهت عقربه‌های ساعت می‌چرخد.

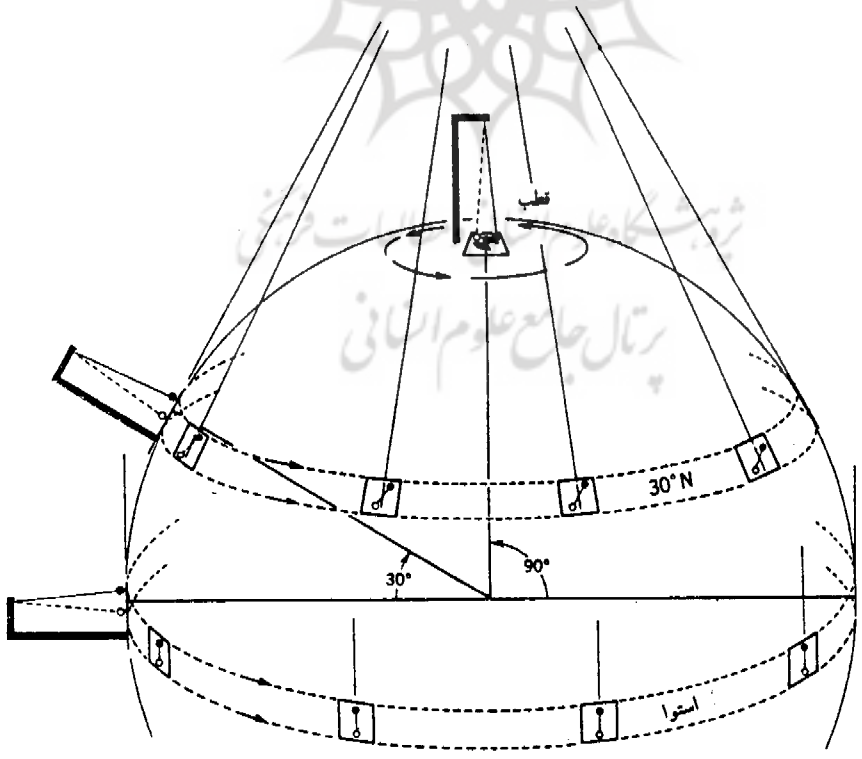
این موضوع به علت آن است که گلوله بنا به قانون ماند دارای سطح نوسان ثابتی است و در حین حرکت چرخشی زمین حرکت نمی‌کند، در حالی که زمین در زیر آن در حال چرخش است. سطح نوسان پاندول

فوکو در قطبین در هر ۲۴ ساعت ۳۶۰° می‌چرخد. از قطب به طرف استوا با کاهش عرض جغرافیایی سرعت چرخش سطح نوسان پاندول نیز کاهش پیدا می‌کند، به طوری که در ۶۰ درجه عرض جغرافیایی ۳۶۰° در تقریباً ۲۸ ساعت، در ۳۰ درجه عرض جغرافیایی ۳۶۰° در ۴۸ ساعت است و در استوا در جهت سطح نوسان پاندول تغییری رخ نمی‌دهد. به طور کلی سرعت چرخش پاندول فوکو در عرضهای مختلف از رابطه زیر بدست می‌آید:

سینوس عرض جغرافیایی × ۱۵° = سرعت چرخش پاندول فوکو به درجه در ساعت



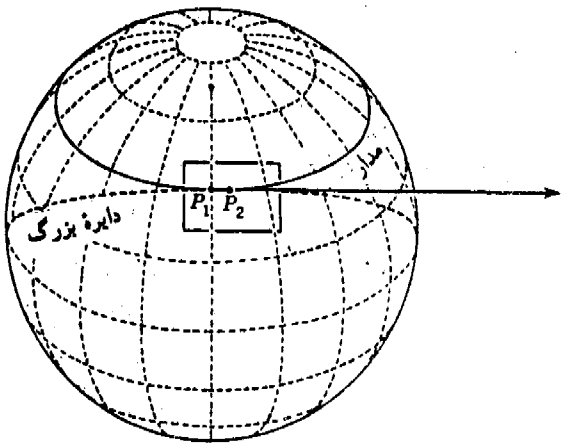
شکل ۳ ــ یک صفحه در سطح کرهٔ زمین حول شعاعی که از آن عبور می‌کند می‌چرخد. حداکثر چرخش یک دوره کامل در ۲۴ ساعت در قطب است و با کاهش عرض جغرافیایی زمان یک دور چرخش نیز افزایش می‌یابد، تا استوا که صفحه فاقد چرخش است.

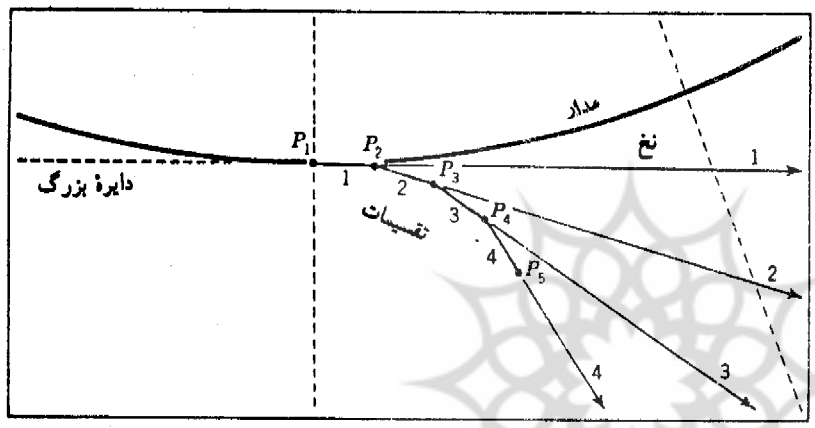


شکل ۴ ــ سرعت چرخش پاندول فوکو با افزایش عرض جغرافیایی افزوده می‌شود

یک تجربه ساده

برای روشن شدن بیشتر مسئله و نشان دادن انحراف کوریولیس می‌توانیم به تجربه ساده زیر دست بزنیم. برای آزمایش از یک کره بزرگ و یک تکه نخ به طول تقریباً ۶ متر استفاده می‌کنیم. یک سر نخ را به نقطه‌ای در روی دیوار متصل می‌کنیم و در حالی که نخ کاملاً کشیده است، سر آزاد آن را طوری قرار می‌دهیم که با کره، مثلاً با مدار ۴۰ درجه، تماس پیدا کند (نقطه P_1 در شکل ۵). نخ بایستی کاملاً با مدار مورد نظر مماس بوده و در همان صفحه مدار قرار داشته





شکل ۵ ــ الف ــ به وسیله یک کره و یک تکه نخ طویل می‌توان انحراف یک جسم متحرک به سمت شرق را به‌اعلت چرخش زمین نشان داد.

ب ــ مستطیل کوچکی از سطح کره که چند بار بزرگ شده است.

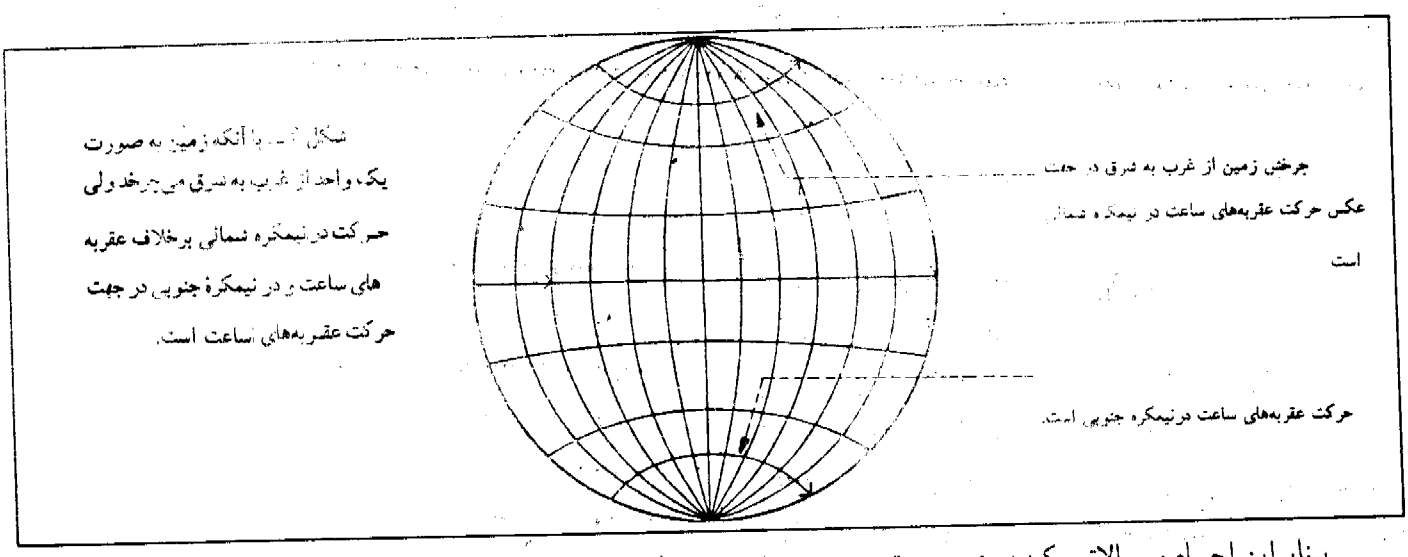
در این حال نخ نمایندهٔ جهت جغرافیایی واقعی به سمت شرق است که جهت حرکت اولیه مورد نظر می‌باشد، ولی در عین حال در صفحهٔ یک دایره بزرگ نیز قرار دارد. در روی کره قطعه خط P_1P_2 را می‌کشیم (قطعه خطی که در شکل ۵ ــ ب با عدد ۱ مشخص شده است). این قطعه خط یک مسافت طی شده (مثلاً ۵۰۰ کیلومتر) را نشان می‌دهد. سپس سر آزاد نخ را در نقطه P_2، در انتهای قطعه خط اول، قرار می‌دهیم و کره را به طرف شرق به اندازه ۵ درجه می‌چرخانیم. آنگاه قطعه خط دوم را که جهت جغرافیائی جدیدی است که توسط نخ نشان داده شده، در روی کره رسم می‌کنیم. این عملیات را ادامه می‌دهیم تا آنکه کره ۳۶۰° بچرخد. شش قطعه خط رسم شده در روی کره (شکل ۵ ــ ب) تقریباً مسیری منحنی را نشان می‌دهد. اجسامی که سعی دارند، جهت اولیه حرکت خود را در فضا حفظ کنند و در عین حال به علت نیروی جاذبه مسیری انتقی را دنبال می‌کنند، تقریباً مسیری مشابه مسیر فوق نسبت به سطح زمین را طی می‌کنند. می‌توان به انتهای نخ که به دیوار چسبیده یک قطعه کمی اضافه کرد که در نتیجه با کوتاه شدن همچنان به حالت کشیده باقی بماند. ضمناً به جای نخ می‌توان از مدادی متصل کرد و با دور دادن کره به طور پیوسته، مسیر منحنی را رسم کرد. بهتر است قرقره‌ای حول چرخانش کره را با سرعت ثابت

به سمت شرق انجام دهد.

این تجربه را می‌توان برای هر عرض جغرافیائی و با هر جهت اولیه‌ای تکرار کرد که در نتیجه به دست آمده نیز تفاوتی حاصل نمی‌شود یعنی همواره مسیر حرکت به طرف راست جهت حرکت اولیه انحناء پیدا خواهد کرد. می‌توان این تجربه را برای نیمکرهٔ جنوبی نیز انجام داد. در این نیمکرهٔ، جهت اولیه حرکت به طرف چپ انحناء پیدا می‌کند.

جهت چرخش زمین در نیمکرهٔ جنوبی در جهت حرکت عقربه‌های ساعت است. لذا انحراف حاصل در مسیر بادها یا اجسام متحرک بر خلاف عقربه‌های ساعت، یا به طرف چپ مسیر حرکت آنهاست. در شکل (۶) این موضوع نشان داده شده است که گرچه هر دو نیمکره به عنوان یک واحد از غرب به شرق می‌چرخد، ولی حرکت در نیمکره شمالی بر خلاف حرکت عقربه‌های ساعت و در نیمکره جنوبی در جهت حرکت عقربه‌های ساعت است.

در امتداد خط استوا، مسیر حرکت اجسام چه به طرف شرق و چه به طرف غرب باشد، هیچ گونه انحرافی به چپ یا راست نشان نمی‌دهند. این موضوع را نیز به سادگی می‌توان با آزمایش فوق‌الذکر بررسی



بنابراین اجسام و سیالاتی که در هر جهت و در هر عرض جغرافیایی جز استوا در بالای سطح زمین حرکت می‌کنند، همواره در نیمکرهٔ شمالی به طرف راست و در نیمکره جنوبی به طرف چپ مسیر حرکت خود منحرف می‌شوند. البته عملاً مسیری که توسط اجسام متحرک در سطح زمین دنبال می‌شود تابع نیروهای اصطکاک نیز می‌باشد.

اثر کوریولیس با افزایش سرعت جسم مستقیماً افزایش می‌یابد. بنابراین اگر سرعت دو برابر شود، اثر انحرافی نیز دو برابر می‌شود. اثر کوریولیس به عرض جغرافیائی نیز بستگی دارد. یعنی از نظر شدت از صفر در استوا تا یک حد ماکزیموم در قطبین تغییر می‌کند. ارتباط آن با عرض جغرافیائی از نظر ریاضی مثل افزایش سرعت چرخش باندول فوکو نسبت به عرض جغرافیائی است. به عبارت دیگر این اثر مستقیماً متناسب با سینوس عرض جغرافیائی است. علت سوم تغییرات می‌تواند تغییرات سرعت زاویه‌ای چرخش زمین باشد. ولی سرعت زاویه‌ای زمین ثابت است. عوامل کنترل‌کننده اثر کوریولیس را با رابطه زیر می‌توان بیان کرد:

$$\text{اثر کوریولیس} = V2\Omega\sin\varphi$$

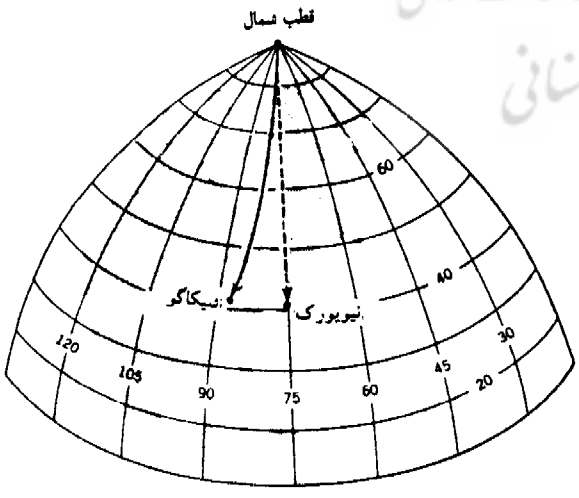
در این رابطه V سرعت خطی به سانتیمتر در ثانیه، Ω سرعت زاویه‌ای چرخش به رادیان در ثانیه و φ عرض جغرافیایی است (در اینجا اثر کوریولیس به عنوان شتاب و بر حسب سانتیمتر بر مجذور ثانیه در نظر گرفته می‌شود.)

■ شواهدی از اثر کوریولیس

اثر کوریولیس به خصوص در انحراف ظاهری مسیر اجسام و سیالاتی که فواصل طولانی را طی می‌کنند، مانند موشکها، گلولهٔ توپهای دوربرد، ماهواره‌ها، بادها و جریانهای دریایی اهمیت قابل‌توجه‌ای دارد.

در نشانه‌گیریهای توپهای دوربرد یا موشکهای بین قاره‌ای عدم توجه به اثر کوریولیس می‌تواند موجب خطاهای بزرگی شود. در جنگ جهانی اول، مسیر گلوله‌های توپخانه عظیم آلمان به نام «بیگبرتا[۶]» به هنگام گلوله‌باران شهر پاریس در یک فاصله ۱۱۳ کیلومتری به علت اثر کوریولیس در حدود ۱/۶ کیلومتر از مسیر اولیه خود منحرف می‌شد، که البته این موضوع را کارشناسان نظامی آلمان از قبل به‌دقت به حساب می‌آوردند.

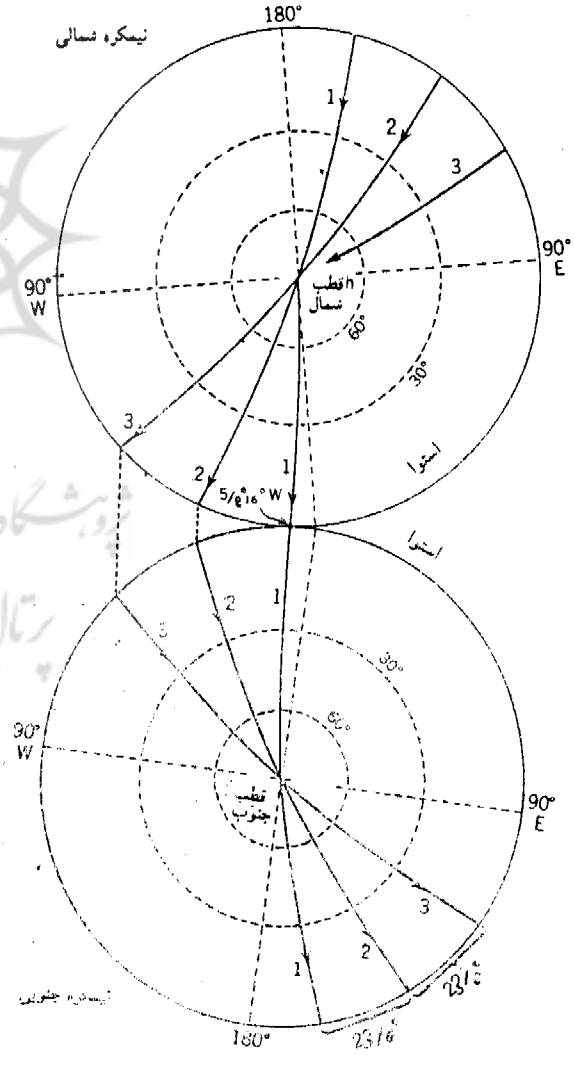
برای آنکه عملاً به اهمیت اثر کوریولیس پی ببریم فرض می‌کنیم که موشکی در قطب شمال به طرف جنوب در امتداد نصف‌النهار ۷۴° غربی شلیک شده و هدف آن شهر نیویورک باشد (شکل ۷). سرعت متوسط موشک ۵۸۰۰ کیلومتر در ساعت است. بنابراین پرواز موشک ۵۶ دقیقه طول خواهد کشید. در این مدت، با توجه به چرخش زمین در زیر موشک، موشک به طرف غرب منحرف



شکل ۷ ـ موشکی که از قطب شمال به طرف جنوب در امتداد نصف‌النهار شهر نیویورک شروع به حرکت می‌کند به طرف غرب منحرف شده و در شیکاگو فرود می‌آید.

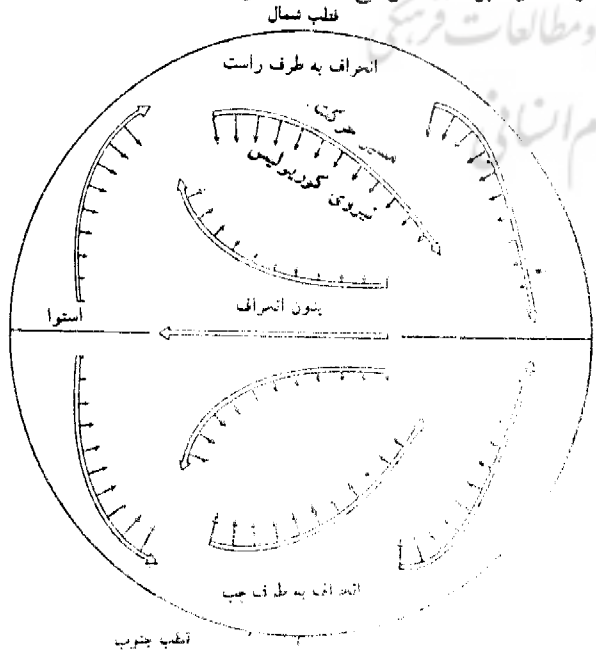
شده و در نقطه‌ای دیگر، تقریباً در شهر شیکاگو که به فاصله ۱۴° غرب نیویورک قرار گرفته فرود می‌آید.

مسیر حرکت ظاهری یک ماهواره شاید مثالی جالب از انحرافی است که در اثر چرخش زمین رخ می‌دهد. ماهواره‌ای را در حال گردش در اطراف زمین در نظر می‌گیریم. فرض می‌کنیم که مدار حرکت این ماهواره دایره کاملی در ارتفاع ۵۰۰ کیلومتری سطح زمین و سرعت آن ۷/۶ کیلومتر در ثانیه باشد. از طرفی زمین را یک کره کامل هموژن در نظر می‌گیریم. مدار حرکت ماهواره دایره‌ای است که جهت آن در فضا ثابت است. در حالی که زمین در زیر آن با سرعت ۱۵° در هر ساعت نجومی[۷] حرکت می‌کند. چنین تصور می‌کنیم که ماهواره با سرعت ثابت از قطب شمال در جهت نصف‌النهار گرینویچ حرکت می‌کند. همچنان که ماهواره به سمت جنوب در حرکت است، به نظر می‌رسد که در یک مسیر منحنی به طرف غرب منحرف می‌شود، به طوری که در هر ۴ دقیقه ۱° طول جغرافیایی، به سمت غرب می‌رود. بعد از حدود ۲۳/۶ دقیقه در طول تقریباً ۵/۹° غربی به خط استوا می‌رسد. وقتی مسیر حرکت این ماهواره را در سطح زمین در نظر بگیریم، دارای انحنایی به سمت غرب است (یعنی در سمت راست جهت حرکت ماهواره) و پس از قطع کردن خط استوا به نظر می‌رسد که مسیر حرکت به طرف چپ منحرف می‌شود (دارای تقعری به طرف شرق است) گرچه تغییر به سمت غرب نصف‌النهار با سرعت ثابت ۱° در ۴ دقیقه همچنان ادامه می‌یابد. ماهواره از قطب جنوب در امتداد نصف‌النهار ۱۱/۸° طول غربی عبور می‌کند. سپس ماهواره در طرف دیگر کره زمین از قطب جنوب به شمال حرکت می‌کند و مسیر آن به ترتیبی که گفته شد منحرف می‌شود. به طوری که وقتی دوباره ماهواره به قطب شمال می‌رسد جهت حرکت آن ۲۳/۶° غرب جهت اولیه می‌باشد. به این ترتیب هر بار که ماهواره از شمال به جنوب خط استوا را قطع می‌کند، این قطع شدگی در نقطه‌ای در ۲۳/۶° غرب نقطه قبلی است. به این ترتیب همان‌طور که در تصویرهای قطبی کره زمین (در شکل ۸) نشان داده شده، مسیر زمینی ماهواره نسبت به مدارات و نصف‌النهارات دائماً تغییر کرده و این مسیر در نیمکرهٔ شمالی دارای انحنایی به سمت راست و در نیمکره جنوبی به سمت چپ می‌باشد.



شکل ۸ ـ تصویر مدار حرکت یک ماهواره بر سطح زمین در نیمکره شمالی به سمت راست و در نیمکره جنوبی به سمت چپ انحراف پیدا می‌کند. در این شکل تصویر کره زمین از جهت قطب شمال و جنوب نشان داده شده است.

اثر کوریولیس در انحراف مسیر بادها و «جریانهای کلی آتمسفر[۸]» اهمیت بسزایی دارد. برای تودهٔ کرچکی از هوا که به طور افقی بر فراز زمین حرکت می‌کند، اثر کوریولیس را می‌توان به عنوان نیرویی در نظر گرفت که جهت آن عمود بر مسیر حرکت است. سرعت این توده متحرک کمیتی برداری است که نیروی ظاهری کوریولیس همواره عمود بر آن عمل می‌کند. (شکل ۹).



شکل ۹ ـ [illegible] نیروی ظاهری کوریولیس همواره عمود بر جهت حرکت هواست.

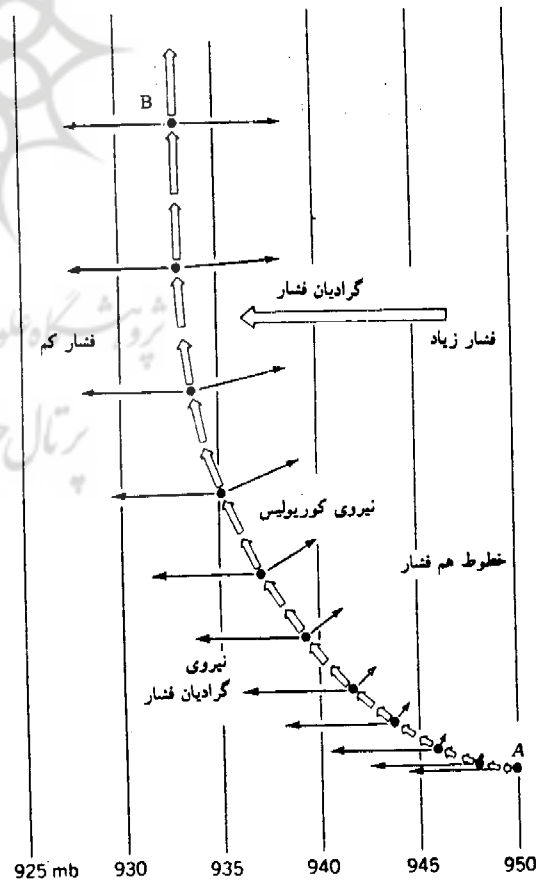
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

اندازه نیروی کوریولیس با توجه به رابطه‌ای که قبلاً گفته شد می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$\text{نیروی کوریولیس در واحد جرم} = V2\,\Omega\sin\varphi$$

که در آن V سرعت افقی به سانتیمتر در ثانیه، Ω سرعت زاویه‌ای حرکت وضعی زمین به رادیان در ثانیه و φ عرض جغرافیایی است. نیروی کوریولیس در استوا صفر است و در قطبین به حداکثر می‌رسد. وزش باد، ناشی از حرکات افقی هوا در نتیجه اختلاف فشار است. پراکندگی افقی فشار هوا را به وسیله «خطوط هم فشار[9]» نمایش می‌دهند. بدون در نظر گرفتن نیروی کوریولیس جهت حرکت بادها می‌باید در جهت «گرادیان فشار»[10] یعنی جهت حداکثر کاهش فشار و بنابراین عمود بر خطوط هم فشار باشد. ولی علاوه بر گرادیان فشار، نیروهای دیگری مثل نیروی کوریولیس، نیروی اصطکاک و نیروی گریز از مرکز نیز در جهت حرکت بادها مؤثرند.

برای آنکه تأثیر نیروی کوریولیس را در جهت حرکت باد بررسی کنیم، حجم کوچکی از هوا را در نقطه A در ارتفاعات بالای آتمسفر که اصطکاک سطحی قابل صرف نظر کردن است و دور از استوا در نظر می‌گیریم (شکل ۱۰). گرادیان فشار در این شکل توسط



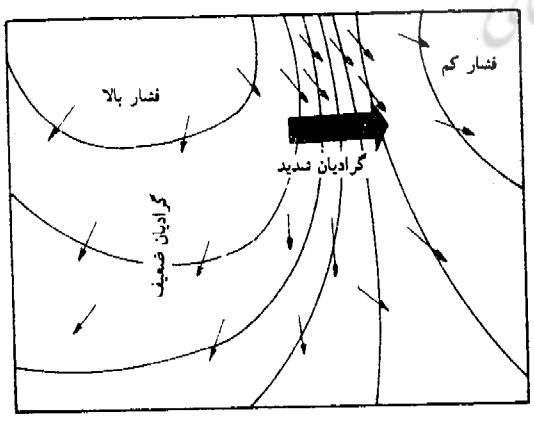
شکل ۱۰ ــ مسیر حجم کوچکی از هوا که از موقعیت A شروع به حرکت می‌کند منحرف می‌شود تا جائیکه موازی خطوط هم فشار قرار گیرد.

خطوط هم فشار مستقیمی نشان داده شده است. این حجم کوچک هوا تحت‌تأثیر نیروی گرادیان فشار در جهت عمود بر خطوط هم فشار به طرف فشار کمتر شروع به حرکت می‌کند. با شروع حرکت نیروی کوریولیس نیز وارد عمل می‌شود و با زیاد شدن سرعت هوا مقدار آن نیز افزایش می‌یابد. ولی همواره جهت آن عمود برمسیر حرکت است. در نتیجه مسیر حرکت هوا منحرف می‌شود تا آنکه سرانجام موازی خطوط هم فشار قرار می‌گیرد و در نتیجه انحراف مسیر خاتمه می‌یابد. دراین حال نیروی کوریولیس برابر و در جهت مخالف نیروی گرادیان فشار خواهد بود (شکل ۱۰).

در جایی که خطوط هم فشار منحنی باشند، علاوه بر نیروی کوریولیس نیروی گریز از مرکز را نیز باید در نظر گرفت. ولی به هرحال در ارتفاعات بالای آتمسفر هوا به موازات خطوط هم فشار جریان می‌یابد.

در نزدیک سطح زمین تا ارتفاع حدود ۶۰۰ الی ۹۰۰ متر نیروی دیگری نیز در جهت حرکت بادها مؤثر است و آن نیروی اصطکاک هوا با زمین است. این نیرو چنان عمل می‌کند که گویی بخشی از نیروی کوریولیس خنثی می‌شود و در نتیجه مانع از آن می‌گردد که بادها تا حدی منحرف شوند که موازی خطوط هم فشار قرار گیرند. در نتیجه باد به طور مورب نسبت به خطوط هم فشار می‌وزد و زاویه‌ای بین ۲۰ تا ۴۵ درجه با خطوط هم فشار می‌سازد (شکل ۱۱). شکل ۱۱ بادهای سطحی را نشان می‌دهد و این وضعیتی است که معمولاً در نقشه‌های هواشناسی دیده می‌شود. زاویه فوق برای سطوح ناهموار زیاد و برای سطوح هموار مثل سطح آب با دشتهای مسطح کم است.

جهت باد در «سیکلونها»[11] و «آنتی سیکلونها»[12] نیز به مقدار زیادی تحت‌تأثیر نیروی کوریولیس قرار دارد. سیکلونها پهنه‌های

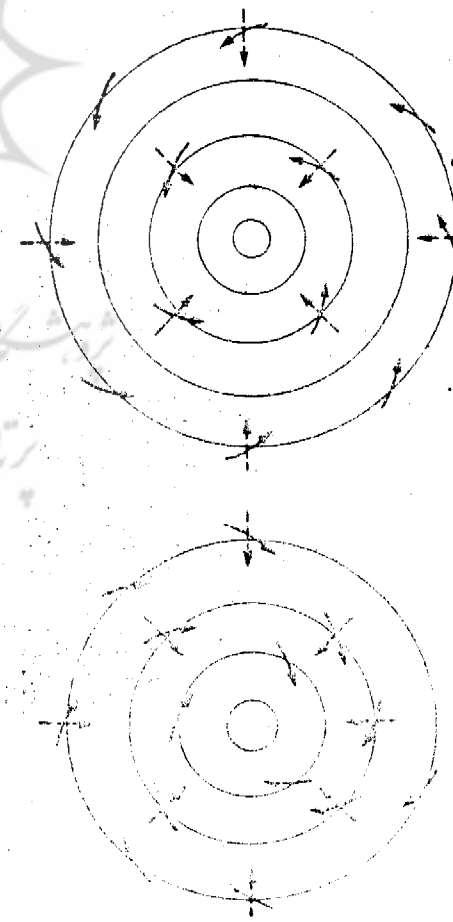


شکل ۱۱ ـ رابطهٔ باد و خطوط هم فشار

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

تقریباً مدور کم فشار موجود در آتمسفر است که قطر آنها ممکن است صدها تا هزارها کیلومتر باشد. در مرکز سیکلونها کمترین فشار وجود دارد و به طور شعاعی به طرف خارج افزایش می‌یابد. سیکلونها در روی نقشه‌های هواشناسی به صورت منحنی‌های هم فشار و تقریباً متحدالمرکزی نشان داده می‌شوند.

در شکل ۱۲ گرادیان فشار توسط فلشهای خط چین که جهت آنها به سمت داخل است، نشان داده شده است. اگر نیروی کوریولیس وجود نداشت، این فلشها جهت حرکت هوا را نشان می‌دادند. ولی به علت تأثیر نیروی کوریولیس و نیز نیروهای گریز از مرکز و اصطکاک، به جای آنکه باد مستقیماً به طرف مرکز بورد، مسیر آن منحرف شده و در جهتی می‌وزد که زاویه بزرگی نسبت به گرادیان فشار می‌سازد (بقیه فلشها در شکل ۱۲). آنچه که در شکل (۱۲ ــ الف) نشان داده شده، جهت حرکت باد در یک سیکلون در نیمکره شمالی است. اثر کوریولیس موجب می‌شود که در سیکلونهای نیمکره شمالی بادها یک حرکت چرخشی (ماریپچی) در جهت عکس عقربه‌های ساعت به طرف داخل داشته باشند (شکل ۱۵). البته این وضعیت مربوط به نواحی نزدیک سطح زمین است و در ارتفاعات



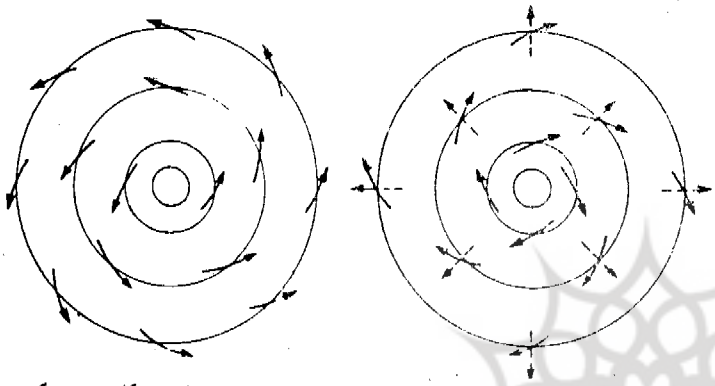
الف ــ حرکت چرخشی سیکلونی در نیمکره شمالی

ب ــ حرکت چرخشی سیکلونی در نیمکره جنوبی

شکل ۱۲ ــ جهت حرکت باد در سیکلونها (فشار به طرف مرکز کاهش می‌یابد)

بالای آتمسفر نیروهای اصطکاک ناچیز است. بنابراین انحراف باد بیشتر شده و جهت حرکت آن به موازات خطوط هم فشار خواهد بود. با دلایلی که ذکر شد به سادگی روشن است که جهت حرکت بادها در سیکلونهای نیمکره جنوبی در جهت عقربه‌های ساعت است (شکل ۱۲. ب)

در آنتی سیکلونها که پهنه‌های تقریباً مدور پرفشارند جهت حرکت بادها نسبت به مرکز، اساساً برخلاف سیکلونها می‌باشد، یعنی در نیمکره شمالی در جهت حرکت عقربه‌های ساعت و درنیمکره جنوبی عکس عقربه‌های ساعت و به خارج است (شکل ۱۳ ــ الف و ب)



الف ــ حرکت چرخشی انتی سیکلونی در نیمکره شمالی ب ــ حرکت چرخشی انتی سیکلونی در نیمکره جنوبی

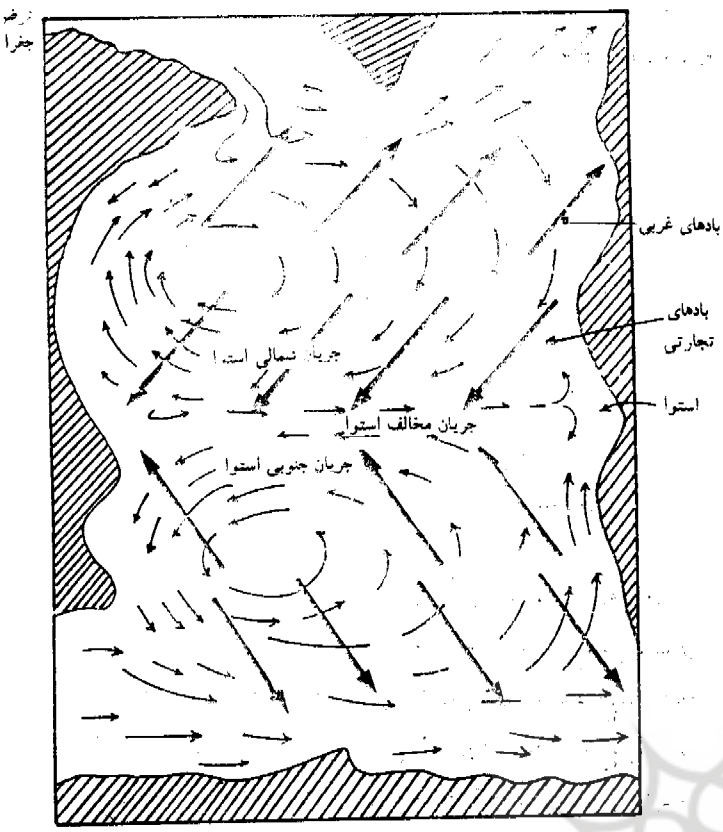
شکل ۱۳ ــ جهت حرکت باد در آنتی سیکلونها (فشار به طرف مرکز افزایش می‌یابد)

نیروی کوریولیس در جهت جریانهای کلی آتمسفر نیز تأثیر کلی دارد. اگر زمین دارای حرکت وضعی نبود، جریانهای عمومی آتمسفر با وضعیت فعلی آن متفاوت بود. به این معنی که اگر زمین را ثابت ولی تغییرات دمایی آن را چنان که هست، در نظر بگیریم در این صورت هوا در استوا گرم و منبسط شده و به طرف بالا حرکت می‌کند و در سطوح بالای آتمسفر در امتداد نصف‌النهارات به سمت قطبین رهسپار می‌شود و در آنجا سرد و سنگین شده و به طرف پایین فرود می‌آید و دوباره به سمت استوا باز می‌گردد. امّا وجود نیروی کوریولیس و عوامل مؤثر دیگر باعث می‌شود شکل جریانهای کلی آتمسفر بسیار پیچیده‌تر از مدل ساده فوق باشد. مثلاً جریانهایی که در ارتفاعات بالای آتمسفر از استوا به سمت قطب حرکت می‌کنند تحت تأثیر نیروی کوریولیس به طور متداوم به سمت راست (در نیمکره شمالی) و یا سمت چپ (در نیمکره جنوبی) منحرف می‌شوند، به طوری که در حدود عرضهای ۳۰° شمالی و جنوبی به موازات خطوط هم فشار (موازی مدارات زمین) در آمده و یک سیستم «بادهای غربی»[۱۳] (در جهت غرب به شرق) ایجاد می‌کنند. به علت تجمع هوا کمربند پرفشاری در عرضهای حدود ۲۰ تا ۳۰ درجه در هر نیمکره ایجاد می‌شود. هوا از مناطق پرفشار فوق پایین می‌آید، به طرف

استوا و قطب حرکت می‌کند و مجدداً تحت تأثیر نیروی کوریولیس قرار می‌گیرد. بادهایی که در نزدیک سطح زمین به طرف استوا می‌آید، در هر دو نیمکره به طرف غرب منحرف شده و یک سری بادهای منظم شمال شرقی (در نیمکره شمالی) و جنوب شرقی (در نیمکره جنوبی) را ایجاد می‌کند که به «بادهای تجارتی»[12] یا «بادهای الیزه» معروف هستند. بادهایی که از مناطق پرفشار قوی به طرف کمربند همسپار شده، به طرف شرق منحرف شده و «بادهای غربی» را در عرضهای متوسط ایجاد می‌کند.

جهت «جریانهای اقیانوسی»[13] نیز تا حدودی زیادی به اثر کوریولیس وابسته است. عامل مهمّ ایجاد جریانهای اقیانوسی، جریانهای کلی آتمسفر به خصوص بادهای تجارتی و بادهای غربی است. ولی به علت تأثیر نیروی کوریولیس مسیر جریان آب به طرف راست جهت باد (در نیمکره شمالی) منحرف می‌شود و لذا مسیر جریانهای اقیانوسی تقریباً در ۴۵° سمت راست و در جهت بادهایی هستند که این جریانهای را ایجاد کرده‌اند. اگر قاره‌ها وجود نداشتند، جریانهای اقیانوسی دور زمین می‌چرخیدند. ولی شکل سواحل و کف اقیانوسها نیز در جهت جریانهای اقیانوسی مؤثر است. در شکل ۱۴ شکل کلی جریانهای اقیانوسی ناشی از بادهای تجارتی و بادهای غربی نشان داده شده است.

از آنجا که نیروی انحرافی کوریولیس خیلی ضعیف است،



شکل ۱۴ ــ شکل کلی جریانهای سطحی در یک اقیانوس و جهت بادهای تجارتی و بادهای غربی که عامل اصلی ایجاد کننده این جریانها هستند

شکل ۱۵ ــ یک طوفان سیکلونی برفراز اقیانوس اطلس این عکس توسط ماهواره Tiros VI گرفته شده است. به جهت چرخش باد (عکس حرکت عقربه‌های ساعت) توجه کنید.

بیشتر در مورد سیالاتی مانند هوا و آب یا اجسامی مثل موشکها و ماهواره‌ها که فواصل طولانی بر فراز سطح زمین طی می‌کنند اهمیت دارد، معهذا در مقیاس کوچکتر در بسیاری از موارد دیگر نیز موثر بوده و قابل مشاهده است. مثلا گاهی دیده می‌شود که رودخانه‌های نیمکره شمالی تمایل بیشتری برای فرسایش سواحل سمت راست خود نشان می‌دهند، که این موضوع به اثر کوریولیس نسبت داده می‌شود. چوبهای شناور در رودخانه‌ها در نیمکره شمالی، بیشتر در کناره سمت راست رودخانه تمرکز می‌یابند. در مورد گلوله‌ای که از یک تفنگ معمولی شلیک می‌شود، اثر انحراف کوریولیس ناچیز است (در حد میلیمتر) و عملاً در نشانه‌گیری تأثیر مهمّی ندارد. در واقع هواپیماها و اتومبیلها نیز، گرچه به مقدار بسیار جزیی، تحت‌تأثیر انحراف کوریولیس هستند، منتها مقدار آن به اندازه‌ای کم است که کوشش خلبان یا راننده برای تصحیح مسیر خود، اساسا برای او محسوس نیست.

یادداشتها

1 –G.G. Coriolis 2 – Coriolis effect

۳ ــ منظور از حرکت آزاد اجسام در اینجا حرکت در شرایطی است که جسم تحت‌تأثیر هیچ نیرویی (جز نیروی جاذبه زمین) نباشد.

4 – Coriolis deflection 5 – Foucault 6 – Big Bertha

۷ ــ زمان یک دور چرخش کامل زمین به دور خود نسبت به موقعیت خورشید را روز خورشیدی و زمان یک دور چرخش کامل زمین به دور خود نسبت به ستارگان را اصطلاحاً روز نجومی و $\frac{1}{24}$ روز نجومی را ساعت نجومی (sidereal hour) می‌گویند. ۲۴ ساعت نجومی معادل ۲۳ ساعت و ۵۶ دقیقه و ۴/۰۹ ثانیه زمان خورشیدی است.

8 – general circularion of the at mosphere

9 – isobars

10 – pressure gradient

11 – cyclones

12 – anticyclones

13 – westerlies

14 – trade winds

15 – ocean currents

منابع مورد استفاده:

1 – Strahler Arthur N. The Earth Sciences, Harper and Row Publishers, 1971

2 – Dorn William L., Meteorology, Mc Graw Hill Book Company, 1975

3 – Strahler Arthur N. Introduction to Physical Geography, John wiley and Sons Inc, 1973

4 – Namowitz Samuel N. and Donald 8. stone, Earth Science, American Book Company, 1975

5 – Lepp Henry, Dynamic Earth, Mc Graw Hill Book Company, 1973.

۶ ــ استرواتو، میانی نجوم، ترجمه دکتر حسین زمردیان و دکتر بهروز خاجوی، انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۱۷۰۵، ۱۳۵۸.

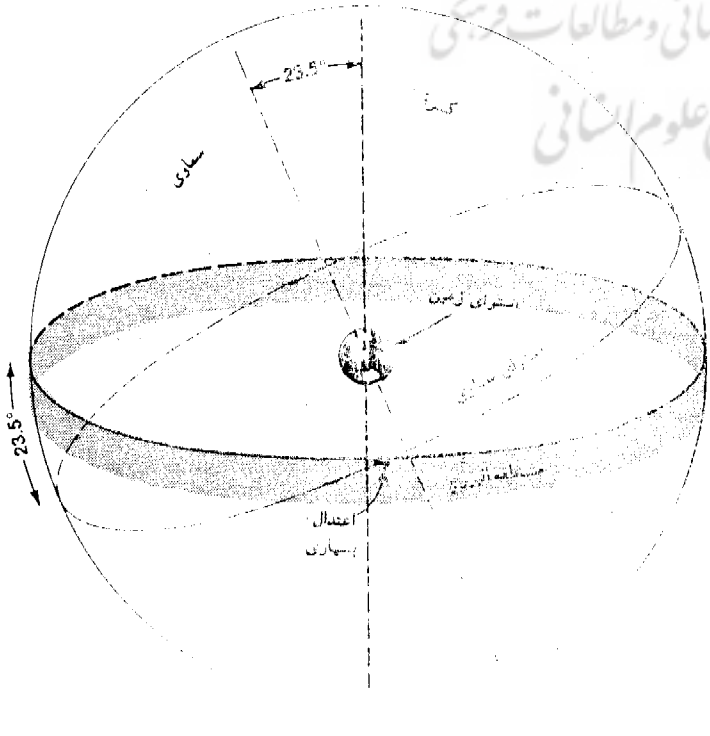
۷ ــ مسافت محمود، حسین معماریان و علی رضا بهره‌ـ لاری، مشخصات زمین، انتشارات دانشگاه آزاد ایران، ۱۳۵۸.

آیا می‌دانید :

منطقةالبروج چیست ؟

منطقةالبروج (Zodiac)، نام کمربند فرضی است که به عرض ۱۶ درجه در امتداد استوای سماوی زمین در آسمان قرار دارد و از زمان یونانیان قدیم تا امروز مورد مراجعه اخترشناسان بوده است. خورشید در حین حرکت خود به شرق، از ۱۲ قسمت منطقةالبروج عبور می‌کند. هر منطقه، ۳۰° طول سماوی را شامل می‌شود و در حقیقت یک ماه را در بر می‌گیرد. قدما به هر منطقه، نامی می‌دادند و آن نامها را هم از جانوران با اشیاء آشنای موجود در محیط خود می‌گرفتند. نامها در واقع به صورتهای فلکی ۱۲ گانه‌ای اشاره می‌کنند که آنها را در کتابهای قدیمی و تقویمها زیاد مشاهده می‌کنیم.

امروزه، صورتهای فلکی با تقسیمات منطقةالبروج اصلاً انطباق ندارند و حدود ۳۰ درجه با ۳۰ روز جابه‌جا شده‌اند. بنابراین اعتدال بهاری که باید مصادف با آغاز صورت فلکی «حمل» باشد یک ماه قبل از آنکه خورشید عملاً به صورت فلکی حمل وارد شود صورت می‌گیرد. این اختلاف هم خود ناشی از جابه‌جایی اعتدالین است که یک دور کامل آن، ۲۶ هزار سال به طول می‌انجامد و مقدار ۳۰ درجه‌ای، ۲۱۰۰ سال می‌شود، در زمان هیپارکوس یونانی (۱۸۰ تا ۱۱۰ قبل از میلاد) علامات منطقةالبروج و جایگاه خورشید، بر هم منطبق بوده‌اند. اما امروزه این هماهنگی از میان رفته است.



رشد

فرم اشتراک مجلات رشد تخصصی

مجلات رشد آموزش مواد درسی مدارس کشور نشریاتی است که از سوی گروههای درسی دفتر تحقیقات و برنامه‌ریزی و تألیف سازمان پژوهش وزارت آموزش و پرورش با همکاری دفتر امور کمک آموزشی، هر سه ماه یک بار— چهار شماره در سال —منتشر می شود. این نشریات تا پایان سال تحصیلی ٦٤—٦٣ عبارتند از:

۱— رشد آموزش ریاضی
۲— رشد آموزش زبان
۳— رشد آموزش شیمی
٤— رشد آموزش زمین‌شناسی
۵— رشد آموزش فیزیک
٦— رشد آموزش جغرافیا
۷— رشد آموزش ادب فارسی

هدف از انتشار این نشریات در وهلهٔ اول ارتقاء سطح معلومات معلمان و در مرحلهٔ بعد ایجاد ارتباط متقابل میان معلمان هر رشته و دفتر تحقیقات به منظور تبادل تجارب و مطالب جنبی و مفید درسی است.

دبیران، دانشجویان دانشگاهها و مراکز تربیت معلم و سایر علاقه‌مندان به اشتراک این مجلات می‌توانند جهت اشتراک هر چهار شماره از یک مجله در سال مبلغ ٤۰۰ ریال به حساب ۹۲۹ خزانه بانک مرکزی، قابل پرداخت در کلیه شعب بانک ملی، واریز و فیش آن را همراه با فرم تکمیل شده زیر به نشانی تهران صندوق پستی شماره ۱۵۸۷۵/۳۳۳۱ دفتر امور کمک آموزشی— مرکز توزیع— ارسال دارند.

محل فروش آزاد:

۱— کیوسکهای معتبر مطبوعات تهران
۲—تهران فروشگاه کتاب شهید موسوی واقع در اول خیابان ایرانشهر شمالی

توجه: دانشجویان مراکز تربیت معلم می‌توانند با ارائهٔ فتوکپی کارت تحصیلی از ۵۰٪ تخفیف بهره‌مند شوند.

اینجانب با ارسال فیش واریزی مبلغ ٤۰۰ ریال متقاضی اشتراک یکساله مجله رشد

( ) می باشم. نشانی دقیق: استان شهرستان خیابان

کوچه پلاک تلفن

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی