

اثر کوریولیس

علی نصر (۹۲۰۷۴۳۴)

۱- مقدمه [۱]

سرعت چرخش محور مختصات ثابت نباشد، نیروی اوپلر مشاهده می شود. تمام سه نیرو متناسب با جرم جسم می باشد. نیروی کوریولیس متناسب با سرعت چرخش و توان دوم نیروی گریز از مرکز می باشد. نیروی کوریولیس در جهت عمودی با محور چرخشی و با سرعت جسم در محور مختصات چرخش متناسب می باشد. نیروی گریز از مرکز به سمت خارج در جهت چرخش حرکت می کند و بافاصله جسم از محور مختصات چرخشی نیز متناسب می باشد. این سه نیروی مضاف در رده نیروهای اینرسی، نیروهای موهوم و یا نیروهای ساختگی می باشند. این نا مگذاری در جهت فنی می باشد و به معنای ساده تر، این نیروها در مختصات اینرسی نامشخص و ناپدید می باشند.

معادلات مربوط به نیروی کوریولیس در سال ۱۸۳۵ توسط یک دانشمند فرانسوی به نام گاسپارد گوستاو کوریولیس در ارتباط با هیدرودینامیک و همچنین در معادلات جزرومدی پیرسیمون لاپلاس^۳ در ۱۷۷۸، منتشر شد. به تازگی در قرن بیستم، معادلات نیروی کوریولیس در زمینه هواشناسی مورد استفاده قرار گرفتند.

شاید معمول ترین دستگاه مختصات محور چرخشی زمین باشد. حرکت اشیا در سطح زمین باشد. حرکت اشیا در سطح زمین کوریولیس را ناشی می شوند که در نیمکره شمالی به سمت راست و در نیمکره جنوبی به سمت چپ متمایل شده و به نظر می رسند. در واقع در استوا، حرکت به سمت غرب یا شرق بروی خط استوا باقی می ماند. حرکت اولیه یک پاندول در هر جهت منجر به حرکت در یک مسیر دایره ای می شود. حرکت هوا در جو و آب در اقیانوس نمونه های مشهودی این رفتار می باشند. همانند جریان مستقیم از محیط پرفشار به کم فشار، همچنین در یک زمین غیر چرخنده، بادها و روند جریانشان، در شمال خط استوا به سمت راست و در جهت جنوب خط استوا به سمت چپ جریان می یابند. این اثر برای چرخش سی کلون های بزرگ جوابگو می باشد.

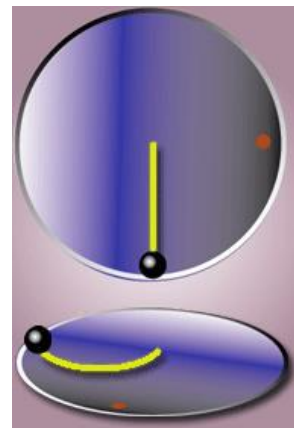
۲- تاریخچه

گاسپارد گوستاو کوریولیس مقاله ای را در زمینه بازده انرژی ماشین ها با قسمت های چرخنده، مانند چرخ های آبی منتشر کرد. این مقاله شامل نیروهای کاربردی می باشد که در مختصات چرخشی شناخته می شوند. کوریولیس این نیروهای کاربردی را به دو گروه تقسیم کرد. گروه دوم

اثر کوریولیس^۱ یک شبه نیرو است که باعث انحراف اجسام در حال حرکت به بیرون از راستای خط راست، از دید یک ناظر درون یک دستگاه چرخان می شود. تأثیرات این نیرو را می توان به وضوح در تعیین جهت جریانات جبهه های آب و هوایی سیارات دید. این اثر توسط «گاسپارد گوستاو کوریولیس»^۲ مهندس و ریاضیدان فرانسوی در قرن ۱۹ م. کشف شد. این نیرو به صورت معادله (۱) ارائه می شود.

$$\vec{F}_C = -2m\vec{\omega} \times \vec{v} \quad (1)$$

در فیزیک، اثر نیروی کوریولیس یک انحراف مشهود حرکت اشیا، هنگامی که اشیا در یک محور مختصات چرخش قرار دارد، می باشد. برای مثال، دو بچه را در دو سمت مخالف یک چرخ فلک گردان در نظر بگیرید که دو توپ نیز در اطراف آن متصل بوده و می چرخند. از دید کودکان، مسیر توپ از پهلو به صورت منحنی در آمده و به وسیله نیروی کوریولیس انحنای پیدا کرده است. از دید سه بعدی انحراف با چرخش پادساعت گرد چرخ و فلک، به سمت راست است. در صورت چرخش ساعت گرد چرخ و فلک، انحراف به سمت چپ می باشد.



شکل ۱: در دستگاه مرجع لخت (بخش بالای تصویر) گلوله ی سیاه رنگ در مسیری مستقیم بر روی صفحه ی گردان با اصطکاک ناچیز حرکت می کند؛ اما بیننده (نقطه ی قرمز) که بر روی دستگاه مرجع چرخان (غیر لخت) ایستاده است (بخش پایینی تصویر) به سبب اثر کوریولیس و نیروی گریز از مرکز، شیء را در حال حرکت در مسیری خمیده می بیند.

قوانین حرکت نیوتن در مورد حرکت شیء در مختصات اینرسی دلالت می کند. هنگامی که قوانین نیوتن به مختصات چرخشی تعمیم داده می شود، نیروی کوریولیس با نیروی گریز از مرکز مشاهده می شود. اگر

¹ Coriolis effect

² Gaspard-Gustave Coriolis

³ Pierre-Simon Laplace

علامت منفی ناشی از تعریف سنتی حاصل ضرب ضربدری (قانون دست راست) و قرارداد علامت‌ها برای بردارهای سرعت زاویه‌ای می‌باشد. دومین مورد، تغییر سرعت در فضا می‌باشد. مکان‌های مختلف در یک محور مختصات چرخان سرعت‌های متفاوتی دارند (همانند دستگاه مختصات لختی)؛ به عبارت دیگر برای یک جسم جابجایی در خط مستقیم حرکت باید شتابدار باشد، برای این که سرعت از نقطه‌ای به نقطه دیگر با مقادیر مساوی در دستگاه مختصات تغییر می‌کند. این اثر (نیروی کریولیس) با سرعت زاویه‌ای (که سرعت نسبی دو نقطه متفاوت را در دستگاه مختصات چرخان تعیین می‌کند) و با مؤلفه سرعت جسم در یک مقطع عمودی با محور چرخش (که چگونگی جابجایی سریع آن را بین نقاط تعیین می‌کند) متناسب می‌باشد.

۴- واحد طولی و عدد راسبی^۴

واحد‌های زمان، مکان و سرعت در تعیین نیروی کریولیس بسیار مهم می‌باشند. دوران در سیستم توسط عدد راسبی تعیین می‌شود که متناسب با سرعت سیستم، U که نیروی کریولیس، $f = 2\omega \sin \varphi$ ، در آن به وجود می‌آید و واحد طول، L ، در حرکت می‌باشد و برابر معادله (۲) می‌باشد.

$$Ro = \frac{U}{fL} \quad (2)$$

عدد راسبی متناسب با اینرسی و نیروی کریولیس می‌باشد. کوچک بودن عدد راسبی نشان دهنده تأثیر زیاد سیستم از نیروی کریولیس و عدد راسبی بزرگ نیز نشان دهنده حکم‌فرما بودن نیروهای اینرسی در سیستم می‌باشد. برای مثال، در گردبادها، عدد راسبی بزرگ، در سیستم‌های کم فشار، این عدد کوچک تر و در سیستم‌های اقیانوسی دستورالعمل مشابهی دارد. در نتیجه، در گردباد نیروی که کریولیس ناچیز بوده و متعادل میان نیروهای فشار و گریز از مرکز می‌باشد. در سیستم‌های کم فشار، نیروی گریز از مرکز ناچیز بوده و تعادل میان نیروی کریولیس و فشار هوا برقرار می‌باشد. در اقیانوس‌ها هر سه نیرو قابل لحاظ می‌باشند. یک سیستم جوی متحرک با سرعت $U = 10 \text{ m/s}$ که مسافتی به طول $L = 1000 \text{ km}$ را تحت پوشش قرار می‌دهد، عدد راسبی تقریبی آن $Ro = 0.1$ می‌باشد و برای شخصی که مشغول پرتاب توپی با سرعت $U = 45 \text{ m/s}$ در یک باغ به طول $L = 50 \text{ m}$ ، عدد راسبی در حدود $Ro = 6000$ می‌باشد. هر چند یک موشک بدون هدف (هدایت نشده) در واقع از قوانین فیزیک مشابه

شامل نیرویی که از حاصل ضرب خارجی سرعت زاویه‌ای یک سیستم مختصات و تصویر سرعت ذرات در یک مقطع عمودی با سیستم محورهای چرخشی می‌باشد. کریولیس با رجوع به این نیروها همچنین ترکیب نیروی گریز از مرکز، در قیاس با نیروی گریز از مرکز در گروه اول واقع می‌شوند. در قرن بیستم این اثر به «شتاب کریولیس» معروف بود. در ۱۹۱۹م. به نیروی کریولیس ارجاع داده می‌شد و در ۱۹۲۰ نیروی کریولیس نامیده شد. در ۱۸۱۶ ویلیام فرل وجود یک سلول چرخنده (دوار) در ارتفاع میانه هوا متأثر از نیروی کریولیس برای ساخت بادها را پیشنهاد کرد. فهمیدن سینماتیک چگونگی اثر واقعی چرخش زمین بر جریان هوا مهم‌ترین قسمت در ابتدا می‌باشد. قبلاً در قرن نوزدهم وسیع‌ترین مقیاس بزرگ برهمکنش نیروی گرادیان فشاری و نیروی واکنشی که در نهایت جرم هوا موجب حرکت در خط هم فشار می‌شود را فهمیدند.

۳- دلایل و سببها

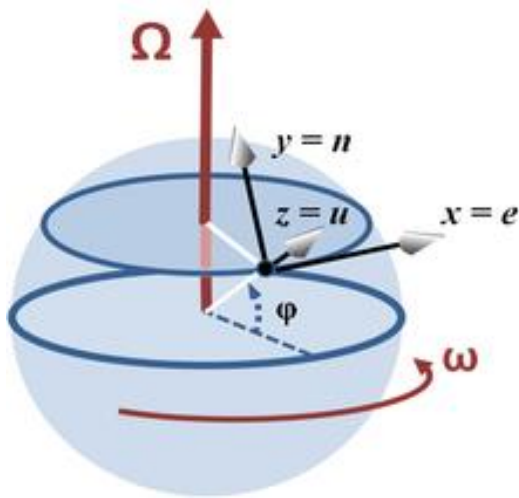
اثر کریولیس تنها زمانی که از دستگاه مختصات چرخشی استفاده می‌شود وجود دارد. در مختصات چرخشی این اثر همانند یک نیروی واقعی عمل می‌کند. هر چند نیروی کریولیس یک حالت اینرسی می‌باشد و به منشأ جسم، تناسب و... ربطی ندارد. همچنین برای مثال در مواردی برای نیروهای الکترومغناطیسی یا اتمی می‌باشد. از یک دیدگاه تحلیلی با استفاده از قانون دوم نیوتن در یک سیستم چرخشی، نیروی کریولیس لازم و ضروری می‌باشد، اما این نیرو در یک دستگاه مختصات اینرسی بدون شتاب وجود ندارد.

در جو، یک سیستم چرخشی (زمین) به همراه نیروی کریولیس خود، یک مختصات (قالب) طبیعی برای بیان و شرح جابجایی هوا، نسبت به مختصات فرضی، بدون چرخش و اینرسی بدون نیروهای کریولیس را نشان می‌دهد. در مسیر طولانی و جهت دید توپخانه برای چرخش زمین، بر اساس نیروی کریولیس می‌باشد. این مثال‌ها جزئیات بیشتری را در زیر شرح می‌دهد. شتاب ناشی از نیروی کریولیس از دو مورد تغییر در سرعت سرچشمه می‌گیرد که نتیجه چرخش می‌باشد:

اولین مورد تغییر سرعت جسم در یک لحظه است. ممکن است سرعت‌های برابر و همچنین سرعت‌های متفاوت در زمان‌های متفاوت در یک مختصات چرخان دیده شوند. (در مختصات اینرسی که قوانین معمول فیزیک کاربرد دارد) شتاب ظاهری با سرعت زاویه‌ای دستگاه مختصات (سرعت در محور مختصات تغییر جهت می‌دهد) و با مؤلفه سرعت جسم در یک پلان عمودی با محور چرخش متناسب است.

⁴ Rossby number

وجود می آورد که به اثر معروف بوده و همچنین حرکت به سمت بالا یک شتاب در جهت شرق را ناشی می شود.



شکل ۲: مختصات سیستم و نام گذاری ها

۵-۲- خورشید و ستاره های دور دست

حرکت خورشید که در زمین دیده می شود توسط نیروهای کریولیس و گریز از مرکز تعیین می شود. برای بیان راحت، موقعیت یک ستاره دور دست را در نظر می گیریم که با جرم m بر روی خط استوا واقع شده است. در موقعیت r ، عمود با بردار دوران Ω ، بنابراین معادله آن برابر $\Omega \cdot r = |\Omega| |\Omega| \sin(\delta)$ است. به نظر می رسد که در جهت مخالف چرخش زمین می چرخد که به خاطر ترکیب سرعتش می باشد. این نیروی موهوم مرکب از نیروی کریولیس و گریز از مرکز به نیروی جانب مرکز معروف بوده که ستاره ها را در محور حرکت دورانی حول ناظر نگه می دارد؛ و این نیروی موهوم به صورت معادله (۵) محاسبه می گردد.

$$\begin{aligned} F_f &= -2m\Omega \times v - m\Omega \times (\Omega \times r) \\ &= +2m\Omega \times (\Omega \times r) - m\Omega \times (\Omega \times r) \\ &= m\Omega \times (\Omega \times r) \\ &= m(\Omega \cdot (\Omega \cdot r) - r(\Omega \cdot \Omega)) \\ &= -m\Omega^2 (r - |r| \sin(\delta) u_\Omega) \end{aligned} \quad (5)$$

موقعیت اصلی برای یک ستاره بر روی خط استوا نیست، بلکه خیلی پیچیده است. برای جریان هوا بر روی سطح زمین، در نیمکره شمالی مسیر به سمت راست منحرف می شود. بعد از برخاستن با یک زاویه معین، ممکن است به سمت راست انحراف پیدا کند و اوج بگیرد.

۶- هواشناسی

شاید مهم ترین نمونه اثر کریولیس در اندازه های بزرگ دینامیکی اقیانوس ها و اتمسفر باشد. در علوم جو و اقیانوس، استفاده از یک

بیس بال پیروی می کند، اما ممکن است به اندازه کافی دور شود و در هوا تحت تأثیر نیروی کریولیس قرار گیرد.

۵- کاربرد در زمین

مهم ترین کاربرد نیروی کریولیس در کره چرخان دیده می شود که در ادامه معرفی و توضیح داده می شود.

۵-۱- کره چرخان

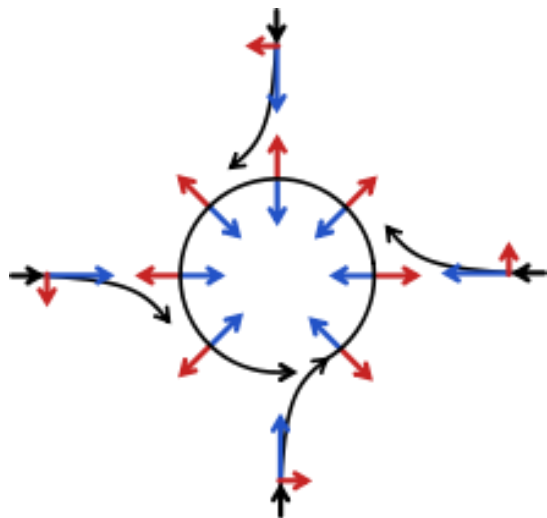
سیستم مختصات در عرض جغرافیایی ϕ ، با محور X ها به سمت شرق، Y شمال و Z به سمت بالا (که به صورت شعاعی از مرکز کره به سمت بیرون می باشد). مکانی را روی کره در نظر می گیریم که حول محور شمال می چرخد. سیستم مختصات محلی با محور افقی X در سمت شرق، Y به سمت شمال و محور عمودی Z به سمت بالا می باشد. بردار دوران، سرعت جابجایی و شتاب کریولیس در این سیستم مختصات محلی عبارت است از: شرق (e)، شمال (n) و رو به بالا (u).

$$\begin{aligned} \Omega &= \omega \begin{pmatrix} 0 \\ \cos \phi \\ \sin \phi \end{pmatrix} \\ v &= \begin{pmatrix} v_e \\ v_n \\ v_u \end{pmatrix} \\ a_c &= -2\omega \times v = 2\omega \begin{pmatrix} v_n \sin \phi - v_u \cos \phi \\ -v_e \sin \phi \\ v_e \cos \phi \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (3)$$

هنگامی که دینامیک جو یا اقیانوس را در نظر می گیریم، سرعت عمودی بسیار کوچک است و اجزا عمودی شتاب کریولیس نیز در مقایسه با شتاب g بسیار کوچک است. در این قبیل موارد فقط اجزا افقی (شرق و شمال) مورد نظر می باشد. محدودیت بالا برای مقاطع افقی عبارت است از $(v_u=0)$.

$$\begin{aligned} v &= \begin{pmatrix} v_e \\ v_n \end{pmatrix} \\ a_c &= \begin{pmatrix} v_n \\ v_e \end{pmatrix} f \end{aligned} \quad (4)$$

با قرار دادن $v_n=0$ ، می توان مشاهده کرد که حرکت در سمت شرق شتاب در جهت شمال را نتیجه می دهد. به طور مشابه، اگر $v_e=0$ باشد، حرکت در جهت شمال شتاب در جهت شرق را در پی خواهد داشت؛ بنابراین یک حرکت به سمت شرق، یک شتاب در جهت رو به بالا به



شکل ۴: جریان حول منطقه کم فشار در نیمکره شمالی

در نیمکره شمالی جهت حرکت حول منطقه کم فشار به صورت پادساعت گرد و در نیمکره جنوبی، جهت حرکت ساعت گرد می باشد زیرا دینامیک چرخشی یک تصویر وارونه می باشد (شکل). در ارتفاع بالا، پراکندگی هوا به سمت خارج و در جهت های مخالف چرخش می کند (شکل). سیکلون های به ندرت در طول استوا شکل می گیرند و منجر به نیروی کریولیس ضعیفی در منطقه مورد نظر می شوند.



شکل ۵: در نیمکره شمالی جهت حرکت حول منطقه کم فشار به صورت پادساعت گرد و در نیمکره جنوبی، جهت حرکت ساعت گرد

۶-۲- اثر ائوتووس^۵

اثر کاربردی نیروی کریولیس که موجب مؤلفه افقی شتاب می شود به وسیله حرکت افقی ایجاد می شود. در ایجاد دیگر مؤلفه های نیروی کریولیس نیز موجود می باشد. در حرکت رو به شرق جسم به سمت شمال

مختصات چرخان که در آن زمین ثابت فرض شود معمول و مناسب است. نیروهای موهوم کریولیس و گریز از مرکز در این زمان می بایست معرفی شوند. ارتباط آنها به وسیله عدد روسی تعیین می شود. گردبادها دارای عدد روسی بالایی می باشند، بنابراین نیروی کریولیس ناچیزی دارند و مورد بحث قرار نمی گیرند. در مبحث بعدی مناطق کم فشاری هستند که نیروی کریولیس در آنجا بسیار مهم می باشد.



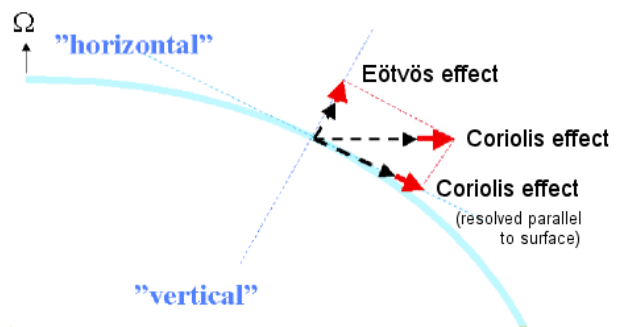
شکل ۳: مناطق کم فشار

۶-۱- جریان حول منطقه کم فشار

هنگامی که یک منطقه کم فشار در جو شکل می گیرد، هوا تمایل به بالا رفتن از آن دارد، اما به صورت عمودی با سرعت و به وسیله نیروی کریولیس منحرف می شود. یک سیستم متعادل می تواند خودش را با جابجایی چرخشی، یا یک هوای چرخشی پایدار سازد؛ زیرا عدد روسی کوچک می باشد، تعادل نیرو قویاً نیروی گرادیان فشاری که سرعت بالای ناحیه کم فشار فعالیت می کند و نیروی کریولیس که در فاصله دورتر از مرکز کم فشار فعالیت می کند. به جای جریان پایین گرادیان، مقیاس بزرگ حرکتی در اتمسفر و اقیانوس متمایل به عمود بودن با گرادیان فشاری می باشد. این مبحث به جریان ژئوستروفیک معروف می باشد. در یک سیاره غیر چرخشی، جریان قادر است در جهت مستقیم، سریعاً از گرادیان فشاری خارج شود. قابل ذکر است که تعادل ژئوستروفیکی، با حرکت اینرسی بسیار متفاوت بوده که نشان می دهد که سیکلون ها (چرخه های باد) در عرض های میانه یک مرتبه بزرگ تر از منحنی اینرسی جریان می باشد. این شیوهی انحراف و جهت جابجایی به قانون Buys-Ballot معروف می باشد. در اتمسفر، شکل جریان سیکلون نامیده می شود.

⁵ Eötvös effect

منحرف می شود. (احساس سبکی)، درحالی که در حرکت به سمت غرب، جسم رو به پایین منحرف می شود (احساس سنگینی). این اثر به اثر اوتووس معروف می باشد. این مؤلفه نیروی کریولیس در نزدیک استوا بیشتر می باشد. نیرویی که توسط این اثر تولید می شود، مشابه مؤلفه افقی می باشد، اما بیشتر نیروهای عمودی به سبب جاذبه و فشار می باشد، بدین معنی که این نیرو از لحاظ دینامیکی مهم نمی باشد. در اضافه جسم‌هایی که به سمت بالا یا پایین حرکت می کنند، به ترتیب به سمت مغرب یا مشرق منحرف می شوند. این اثر در نزدیک استوا بیشتر است. زمانی که جابجایی عمودی از لحاظ وسعت و مدت زمان محدود می باشد، اندازه نیرو بسیار کوچک بوده و نیازمند مختصر کردن اجزا برای پیدا کردن آن می باشد.



شکل ۶: نمایش جهت برداری اثر اوتووس

۷- چرخش آب در وان حمام و توالت

اثر کریولیس عامل ایجاد چرخش آب در خروجی آب وان حمام یا دست شویی نیست. در حقیقت این نیرو بسیار کوچک تر از آن است که بتواند چنین اثری داشته باشد. این آثار در مقیاس های بزرگ نظیر سامانه های آب و هوا یا جریان های اقیانوسی خود را نشان می دهند. عامل تعیین کننده جهت چرخش آب در وان حمام نیروهای دیگری هستند [۳]. در واقع هیچ تفاوتی بین چرخش آب در وان حمام در نیم کره شمالی و جنوبی نیست.



شکل ۷: چرخش آب در جهت مخالف

تشکیل گردابه در خروجی آب از یک منبع ممکن است برای حفظ اندازه حرکت زاویه ای توضیح داده می شود به طوری که شعاع چرخش آب در نزدیک سوراخ کاهش می یابد، بنابراین سرعت چرخش را افزایش می دهد به همین دلیل است که اسکیت بازهایی که روی یخ مانور می دهند با جمع کردن دستان باز خود سرعت دورانی را بالا می برند. هر چرخش که در اطراف سوراخ است با شتاب به سمت داخل حرکت می کند. تنها

۶-۳- موشک های بالستیک و ماهواره ها

به نظر می رسد که موشک های بالستیک و ماهواره ها، هنگامی که مسیر حرکت آنها را بر روی نقشه رسم می کنیم در یک مسیر منحنی حرکت می کنند، زیرا زمین کروی بوده و کوتاه ترین فاصله بین دو نقطه بر روی سطح زمین، به صورت یک خط مستقیم نمی باشد. هر نقشه دو بعدی (تخت) نیازمند خم کردن برای انحنای سطح زمین می باشد. (سه بعدی) معمولاً در نقشه برجسته نما (دارای نصف النهارت متوازی) این انحنا در مجاورت قطب ها افزایش می یابد. برای مثال در نیم کره شمالی، موشک بالستیک که به سمت هدف دوردستی در سمت بالا پرتاب می شود که از کوتاه ترین مسیر ممکن استفاده می کند (یک دایره بزرگ) بر روی نقشه به سوی مسیر شمال در خط مستقیم به سمت هدف به نظر می رسد و سپس منحنی به سمت بالای استوا بر می گردد. این حالت اتفاق می افتد، زیرا عرض های جغرافیایی که در بیشتر نقشه های دنیا تحت پوشش خطوط افقی مستقیم می باشند، در واقع در روی سطح کره به صورت منحنی می باشند که با نزدیک شدن به قطب کوچک تر می شوند. در حقیقت، یک نتیجه حالت کروی زمین، اگر هم این درست باشد که زمین نمی چرخد، نیروی کریولیس، مطمئناً نشان داده می شود اما اثرش بر روی مسیر رسم شده بسیار کوچک می باشد. نیروی کریولیس در شناسایی

[4] Larry D. Kirkpatrick and Gregory E. Francis (2006). Physics: A World View. Cengage Learning. pp. 168–9. ISBN 978-0-495-01088-3. Retrieved 1 April 2011.

[5] Y. A. Stepanyants and G. H. Yeoh (2008). "Stationary bathtub vortices and a critical regime of liquid discharge". Journal of Fluid Mechanics 604 (1): 77–98.

[6] Creative Media Applications (2004). A Student's Guide to Earth Science: Words and terms. Greenwood Publishing Group. p. 22.

[7] Fraser, Alistair. "Bad Coriolis". Bad Meteorology. Pennsylvania State College of Earth and Mineral Science. Retrieved 17 January 2011.

[8] Tipler, Paul (1998). Physics for Engineers and Scientists (4th ed). W.H. Freeman, Worth Publishers. p. 128. ISBN 978-1-57259-616-0. "...on a smaller scale, the coriolis effect causes water draining out a bathtub to rotate counter clockwise in the northern hemisphere..."

[9] Tumlriz, Ottokar (1908). "Ein neuer physikalischer Beweis für die Achsendrehung der Erde". Sitzungsberichte der math. nat. Klasse der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften Ila 117: 819–841.

[10] Shapiro, Ascher H. (1962). "Bath-Tub Vortex". Nature 196 (4859): 1080.

[11] <http://web.mit.edu/hml/ncfmf.html>, 2013.

در صورتی که سرعت حرکت آب نسبت به ظرف خود خیلی زیاد باشد تا پس از ضرب در سرعت چرخش زمین موثر زمین، اثر کوریولیس ممکن است جهت گرداب را تعیین کند. بدون چنین سرعتی اثر کوریولیس ممکن است بسیار کوچک‌تر از تأثیرات مختلف دیگر در جهت تخلیه آب از ظرف [۴] نظیر چرخش باقی مانده در آب [۵] و هندسه ظرف [۶] باشد. با وجود این، این ایده که تخلیه آب در توالت و وان حمام در نیمکره شمالی و جنوبی متفاوت است توسط چندین برنامه تلویزیونی، نشریات علمی و حتی یک کتاب درسی فیزیک در سطح دانشگاه نیز نشان داده شده است [۷]. [۸].

در سال ۱۹۰۸ میلادی، فیزیکدان اتریشی اتوکار تولمیرز^۶ آزمایش‌های دقیق و موثر که اثر چرخش زمین بر جریان آب از طریق روزنه مرکزی نشان داده شده را توضیح داده است. این موضوع بعداً در یک مقاله معروف در مجله طبیعت^۷ منتشر شد [۹]. یک آزمایش که در آن تمام نیروهای دیگر به سیستم با پر کردن مخزن ۱٫۸ متری با ۳۰۰ گالن آب و در اتاقی که درجه حرارت آن تثبیت شده است و به آن اجازه می‌دهد به مدت ۲۴ ساعت تا نیروهای ناشی از پر کردن و جریانات موضعی تمام شود.

دریچه تخلیه نیز به آرامی باز می‌شود و تکه‌های کوچکی از چوب بر روی آب قرار داده می‌شود. در طول ۱۲ تا ۱۵ دقیقه، بدون چرخش مشاهده می‌شود. سپس گرداب‌های ظاهر می‌شود و به طور مداوم در جهت ساعت‌گرد چرخش می‌کند (این آزمایش در بوستون ماساچوست یعنی در نیمکره شمالی انجام شد). این آزمایش چندین بار تکرار شد تا به طور متوسط مطمئن شود که اثر واقعی است. این گزارش به این نکته اشاره کرده است که گردش برابر ۳۰۰۰۰ مرتبه سریع‌تر از تأثیر گردش زمین در مکان ۴۲ درجه شمالی است. این نشان می‌دهد که چرخش‌های کوچک اولیه به دلیل زمین که با گرانش تخلیه^۸ و حفاظت در مقابل تکانه‌های زاویه‌ای تقویت شده است تبدیل به یک گرداب سریع می‌شود و در آزمایشگاه‌هایی کنترلی با دقت مشاهده می‌شود [۱۰] [۱۱].

۸- منابع

[1] http://en.wikipedia.org/wiki/Coriolis_effec, 2013

[2] John Robert Taylor. *Classical Mechanics*. University Science Books, 2005. ISBN 9781891389221. p. 364.

[3] <http://www.snopes.com/science/coriolis.asp>, 2013

⁶ Ottokar Tumlriz

⁷ the journal Nature

⁸ gravitational draining