Arz Rotasyonunun Nehir Yatakları Üzerine Tesiri

Yazan :
Kanat DURGUN
Yük. Müh.
Su Yapıları Kürsüsü Asistanı

O

Bu mevzuu doğrudan doğruya etüd etmeden önce arz rotasyonunun hareketli kütlelere tesirini incelemek, hâdisenin sebeplerini bilerek; müşahede edilen olaylarla sonradan karşılaştırmak yerinde olur.

Coriolis ivmesi :

Herhangi bir χ^1 Y_1 karteziyen koordinat sisteminde (Ş. I.) A düzlemi hareket ederken, A'ya bağlı χY eksenleri de 0 noktası etrafında dönmektedir. C noktası A düzlemi üzerindedir ve verilen bir anda P'ye intibak eder. A düzlemi üzerinde hareketli P noktasının yörüngesi şekilde gösterilmiştir. P'nin herhangi bir andaki konumu χ_1 y_1 koordinat sisteminde şeklin geometrisinden faydalanarak :

$$X_1 = X_0 + X\cos\Theta - Y\sin\Theta \qquad (1)$$

$$Y_1 = Y_0 + X\sin\Theta + Y\cos\Theta \qquad (2)$$

şeklinde verilebilir.

P'nin mutlak ivmesinin bileşenleri bu konum koordinatlarının zamana göre iki defa türetilmesinden elde olunurlar. Bu operasyon yapıldıkta ve terimler düzenlendikte :

$$3 \quad (ap)\chi_1 = \frac{d^2\chi_0}{dt^2} - (X.\sin\Theta + y.\cos\Theta)\alpha_A - (\chi.\cos\Theta - y.\sin\Theta)w^2_A + \frac{d^2\chi}{dt^2}.\cos\Theta - \frac{d^2y}{dt^2}.\sin\Theta - 2\omega_A\left(\frac{d\chi}{dt}.\cos\Theta - \frac{dy}{dt}.\sin\Theta\right)$$

$$4 \quad (ap)y_1 = \frac{d^2y_0}{dt^2} + (\chi.\cos\Theta - y.\sin\Theta)\alpha_A - (\chi.\sin\Theta + y.\cos\Theta)\omega^2_A + \frac{d^2\chi}{dt^2}.\sin\Theta + \frac{d^2y}{dt^2}.\cos\Theta + 2\omega\left(\frac{d\chi}{dt}.\cos\Theta - \frac{dy}{dt}.\sin\Theta\right)$$

$$5 \quad a_p = (a_p)\chi_1 \;+\!\!\longrightarrow\; (a_p)y_1$$

$$6 \quad a_p = a_o \;+\!\!\longrightarrow\; r\alpha_A \;+\!\!\longrightarrow\; r\omega_A^2 \;+\!\!\longrightarrow\; a_{p/A} \;+\!\!\longrightarrow\; 2V_{p/A}\,\omega_A$$

C noktası P'ye intibak ettiğinde :

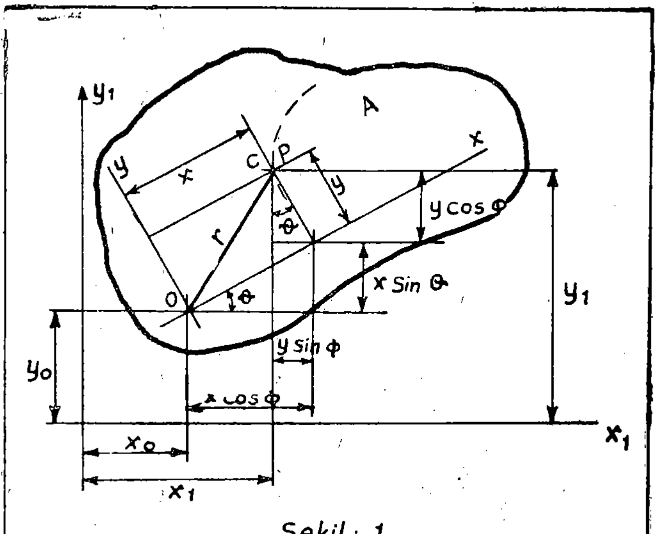
$$a_p = a_c \;+\!\!\longrightarrow\; a_{p/A} \;+\!\!\longrightarrow\; 2V_{p/A}\,\omega_A$$

burada $\alpha_A = \frac{d\omega_A}{dt}$, $\omega_A = \frac{d\Theta}{dt}$ dır. Bu denklemin sağ tarafındaki üçüncü terim rotasyondan hâsıl olan Coriolis ivmesidir; doğrultusu ise χ ekseni ile yaptığı açının teğeti $\frac{dy}{dt} / \frac{d\chi}{dt}$ olduğundan hız vektörüne diktir ve ω yönünde $V_{p/A}$ hız vektörüne nazaran $\frac{\pi}{2}$ kadar dönüktür, ayrıca hızın doğrultusundan müstakildir.

O halde kuzey kürede dünya üzerinde meridyen istikametinde hareketli bir akarsu üzerine Coriolis ivmesi hız istikametine dik ve garba doğru yönlü olacaktır. Güney kürede ise bu ivmenin tesiri aksi istikamete olacaktır. Bu ivmenin tesirini açıklamak için şu misâli vermek faydalı olur : Kuzey kürede 45° enleminde bir yerde meridyen istikametinde 20 m/sec hızla hareket eden bir tren batı tarafındaki raya batı istikametinde 41 kg tesir eder; nitekim kuzey kürede batı taraftaki rayların daha fazla aşındığı müşahede edilmiştir.

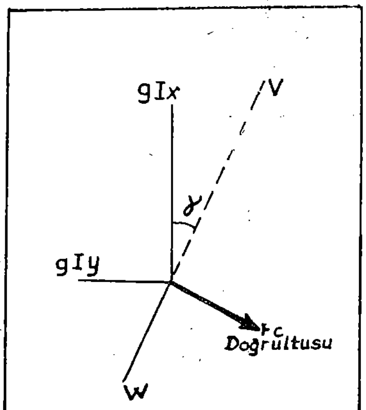
Coriolis ivmesinin akarsular üzerine tesiri :

Meridyen istikametinde hareketli bir akarsuyun birim kütleyi haiz bir su partikülü üzerine Coriolis ivmesinin tesiri : $F_c = 2\omega V.\sin\varphi$ dir. Burada φ



Şekil: 1

coğrafi enlem açısı, V su partikülünün hızı ve ω arzın dönmesinin açısal hızıdır. Coriolis kuvvetinin tesir istikametindeki kıyı yani sağ kıyıdaki suyun yüksekliği sol tarafa akışa nazaran daha fazla olacaktır; dolayısıyla su yüzü bir enine meyli haizdir. Akarsuyun akış istikmetindeki taban meyli haizdir. Akarsuyun akış istikametindeki taban meyli I_χ ve enine meyli de Iy olsunlar; o halde birim kütleyi haiz bir su partikülü üzerine tesir eden kuvvetle Şekil : 2, 2a, 2b; den $u = gI_\chi$



Şekil : 2

$u' = gI_y$ olacaktır; suyun akış hızı da bu kuvvetlerin tesiri altında yön alacaktır. Ayrıca hızı azaltan değişik tabakalardaki sürtünme farkından dolayı hız istikametinde ve aksi yönde W gibi bir kuvvet de vardır.

Bir nehir enkesitinde zerrenin muayyen tabakalardaki sabit bir ortalama hızla hareket edebilmesi için toplam ivmesinin sıfır olması gerekir; bu şart $\chi = 0$ $y = 0$ denklemleri ile formüle edilir; buradan da :

$$gI_\chi - F_c \cdot \sin\alpha - W \cdot \cos\alpha = 0$$

$$F_c = 2\,\omega\, V . \sin\varphi = pV$$

$$gI_y - F_c \cdot \cos\alpha + W \cdot \sin\alpha = 0$$

şeklinde yazarşak ve $\cos\alpha = I$; α açısı çok küçük olduğundan, yazılarak kısaltılırsa; $gI_y - pV + gI_\chi \cdot \sin\alpha = 0$ 10 elde olunur. Bu denklem düşeyin bütün su yüksekliği boyunca integre edilirse :

$$gI_y\, d - p\int_0^d V_\chi \cdot dz + gI_\chi \int_0^d \sin\alpha - dz = 0$$

II olur. Sonradan tâyin edilmek üzere II denkleminin üçüncü terimi aşağıdaki şekilde gösterilirse :

$gI_\chi \int_0^d \sin\alpha \cdot dz = (1-\delta)\, p.d.u$ 12 u burada d su yüksekliği boyunca akan suyun ortalama hızıdır.

Ayrıca $I_y = \delta \dfrac{pu}{g}$ ve $\lambda = f(z)$ olmak üzere $V_\chi = \lambda u$ yazılarak bu değerler 10 denkleminde yerine koyulursa; $\lambda pu = \delta pu + gI_\chi \cdot \sin\alpha$ 14 bulunur.

Her ne kadar statik denge yoksa da dinamik denge bakımından bir helikoidal akımın meydana geldiği görülür; zira dipte yüzeye nazaran V_χ hızının değerleri küçük olduğu için yüzeyde sağa doğru ve dipte sola doğru bir akım vardır. 14 denkleminde eğer $2 = f(z)$ fonksiyonu bilinirse α açısının dipten herhangi bir derinlikte değeri hesaplanabilir. Bundan sonra $V_y = V . \sin\alpha$ 2 u $\sin\alpha$ dan hızın enine bileşenini hesaplamak kabil olur. Eğer akımın bütün d düşeyi boyunca V_y dağılımı bilinirse Coriolis kuvvetinden hâsıl olan helikoidal akımın şekli ve dolayısıyla tesiri bulunmuş olur (Diğer tesirler ihmâl edilerek).

Dip boyunca akımın enine bileşeninin tesiri, hareket ettirdiği kum parçacıklarının yer çekimi kuvveti vasıtasıyla dengelenmesine kadar devam eder, denge bu hız dağılımları ve akarsuyun yönüne göre muayyen bir enine dip meylinde teşekkül edecektir. Bu sebepten dolayı bilhassa meridyen istikametinde akan nehirlerin sağ kıyıları daha derin olacaktır. V_y hız dağılımının bütün düşey boyunca toplamı sıfır olduğu düşünülürse;

$\int_0^d V_y \,.\, dz = 0$ 15 kolayca hesaplanır.

$V_y = V_\chi \,.\, tg\,\alpha = \lambda u \,.\, tg\,\alpha$ 16 Bu denklem 15 yerine konur.

$u\int_0^d \lambda\; tg\,\alpha \,.\, dz = 0$ 17 bulunur.

$\lambda = f(z)$ hız dağılımı fonksiyonu için De Chezy veya Strickler formülü kullanılabilir. Meselâ Strickler formülünü alıp λ yı 17 denkleminde yerine koyarsak :

$\lambda = \dfrac{7}{6}\left[\dfrac{z}{d}\right]^{1/6}$ 18 $dz = 2.32\; d\lambda^5 d\lambda$ 19

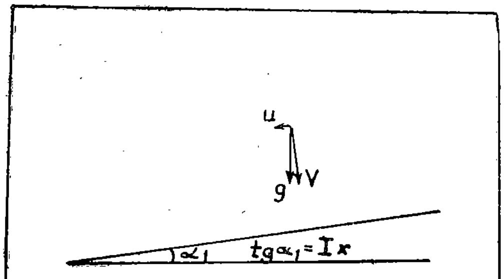
$2.32.u.d\int_0^{\lambda_1} \lambda^6 tg\alpha . d\lambda = 0$ 20 λ_1, λ nın yüzeydeki değeri olup 7/6 ya eşittir. α açısı küçük olduğundan $\cos\alpha\, I$ yazılırsa; $\int_0^{\lambda_1} \lambda^6 \sin\alpha\, d\lambda = 0$ 21 bulunur. Bu denklem 14 denklemi ile beraber düşünülürse

22 $\dfrac{pu}{gI_\chi}(\lambda-\delta) = \sin\alpha$ 23 $\dfrac{pu}{gI_\chi}\int_0^{\lambda_1} \lambda^6(\lambda-\delta)\, d\lambda = 0$

$\int_0^{\lambda_1} \lambda^7 . d\lambda = \int_0^{\lambda_1} \lambda^6\, \delta\, d\lambda$ 24 Buradan δ değeri

$\delta = 1.021$ olarak hesaplanır.

$\cos\alpha = I$ kabulünün yaklaşıklığı dolayısıyla bu değer biraz daha büyüktür; yani $\delta = 1.024$ alınmalıdır. Meydana gelen helikoidal akım kuzey kürede sağ kenar boyunca baskı yapar. Arz rotasyonunun bu tesirini müşahede etmek için uzun periodlu gözlemelere ihtiyaç



Şekil : 2 a

vardır. Chebotarev Rusya'daki büyük nehirlerde ve Kabelac Ren ve Tuna nehirlerinde sağ kenarın daha dik ve sol kıyının daha yatık ve bataklık olduklarını müşahede etmişlerdir; ayrıca bu tesir Volga; Kira Amu - Derya nehirlerinde de görülmüştür. Coriolis kuvvetinin bu tesirini vortexler üzerinde de müşahede etmek kabildir. Toplu halde bulunan bir su kütlesi, dibindeki bir orifisten akıtılacak olursa; teşekkül eden vortex kuzey kürede saat dönü yönünde olacaktır.

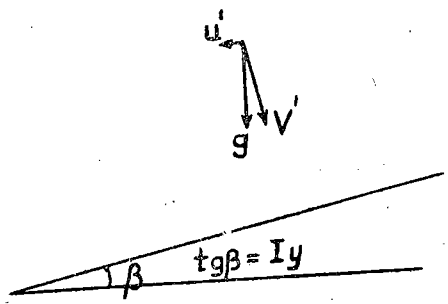
Arzın rotasyonundan hâsıl olan Coriolis kuvvetinin ehemmiyet mertebesini bazı müşahhas misâller üzerinde değerlendirmek hâdise hakkında daha iyi fikir elde etmek bakımından faydalı olacaktır. $\gamma = 60°$ enleminde olan bir bölgede meridyen istikametinde $V = 1$ m/sec hızla akan bir nehrin 1 m^3 hacminin sağ kıyıya yaptığı tesir hesaplanırsa;

$F_c = m \cdot a_c$ den $g = 10$ m/sec^2 kabulü ile

$$F_c = \frac{W}{g} 2 \cdot \omega \cdot V \sin \gamma$$

Dünyanın açısal hızı $\omega = 0.729.10^{-4}$ rad/sec alınarak; $F_c = 12.6$ g bulunur. Hız artarsa bu tesir fazlalaşacaktır .Eğer kurplarda bu durum düşünülürse Coriolis kuvvetine ilâveten merkezkaç kuvvetin tesiri ile sağ kıyıya oldukça büyük bir kuvvetin etkisi müşahede edilir.

Şelâleler üzerine Coriolis kuvvetinin etüdü için hava mukavemetinin ihmali ile h yüksekliğinden düşen bir su partikülünün şarka doğru saptığı miktar g sabit



Şekil : 2b

kabulü ile $\chi = \frac{2}{3} \omega \sqrt{\frac{2h^3}{g}} \cos \gamma$ elde edilir. Meselâ h = 100 m yükseklikten $\gamma = 45°$ enleminde bulunan bir şelâleden düşen su partikülü $\chi = 3.4$ cm doğuya doğru sapar.

Dünya batıdan doğuya doğru döndüğünden yani serbest olarak düşen cismin altında bu yönde hareket ettiğinden cismin düşey doğrultusunun batısına doğru sapacağı düşünülebilir. Fakat cismin düşmeye terkedildiği anda dünya eksenine olan mesafesi ile münasebette doğu yönünde bir hıza sahi polduğu göz önünde tutulmalıdır.

Literatür :

Engineering Mechanics Vol. II. Dynamics.
Archie Higdon and W. B. Stiles.
Mechanics Part II, Dynamics J. L. Meriam.
River Studies. Nedeco.
Su Yapıları. I. Ord. Prof. Dr. Necati Engez.