

“MIT Açık Ders Malzemeleri

<http://ocw.mit.edu>

12.163./12.463 Yeryüzü Süreçleri ve Yüzey Şekillerinin Evrimi

2004 Güz

Bu materyallerden alıntı yapmak veya Kullanım Şartları hakkında bilgi almak için

<http://ocw.mit.edu/terms> ve <http://tuba.acikders.org.tr> sitesini ziyaret ediniz.”

I. Akışkanlar Mekaniği

1. Momentumun Korunumu

Amaç: Basit kanal akışı eşitliğinden elde edilmiştir. Akışkanlar için kuvvet dengesidir. Sınır makaslama gerilmenin (τ_b) kökenidir ve doğal akışkanlardaki büyüklüğü kontrol eder.

Tanımlar:

Çizgisel Momentum = kütle – ürün hızı

Momentundaki değişiklik = ivme

$$\frac{d}{dt}(mu) = m \frac{du}{dt} = ma$$

1A. Kinematik -: Isaac Newton (1687)

Newton'un İkinci Kanunu: “çizgisel momentumdaki değişiklik, kütleyle etki eden kuvvetlerin toplamına eşittir”

$$\sum F = ma$$

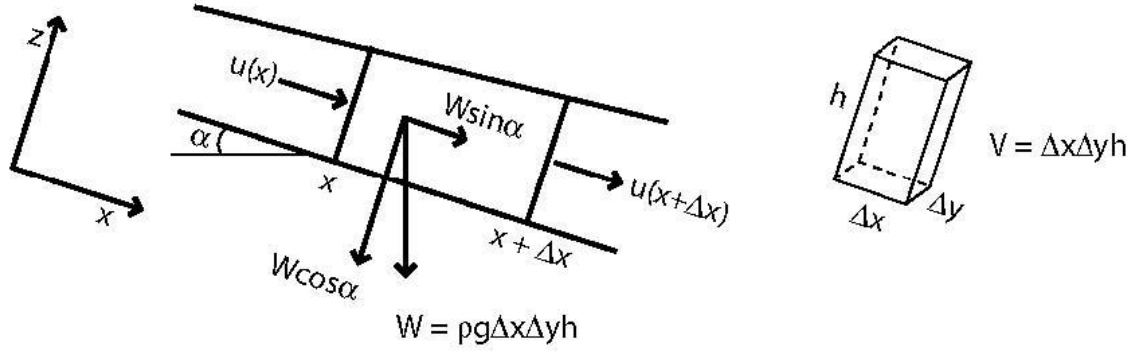
1B. Sıvılar için Momentumun Korunumu

Chauchy'in İlk Kanunu: Bir birim sıvı hacminin (F_v = bir birim hacim kuvveti) sıvı – momentum dengesi bölümü için Newton'un İkinci Kanunu'nun genelleştirilmiştir.

Ortalama hızda (\bar{u}) ve yoğunlukta (ρ) hareket eden bir hacim sıvı (akış derinliği h ve birim yatak alanı ($\Delta x, \Delta y$) dikkate alındığında

$$\sum F_v = \rho \frac{d\bar{u}}{dt}$$

Basitlik için 1-boyutlu akışa etki eden kuvvetlerin toplamını elde edecek olursak. Değişkenler: akış derinliği (h), yatak yüzeyi eğimi (α) = z ve g arasındaki açı ve ortalama hız (\bar{u}) (derinlik-ortalama hızı anlamına gelen ortalama hız)



Yatağı eğimine (α) eşit olan bir örnek derinlikte en basit durumdaki yüzey eğimine karşılık gelen suyu göreceğ olursak. Yatak eğimini kolaylıkla ölçmek için uzaksa, bu durumda genellikle suyun yüzey eğimine yaklaşık olarak kullanılır.

Bir hacim su içeriğine etki eden kuvvetler

Yer Çekimi, Gradyan Basıncı, Yatak Sürtünmesi

1B.1 Yer Çekimi (yüzey kuvveti)

Ağırlık = $\rho g \Delta x \Delta y h$ (dik yönde etkiler)

Hareket Ettiren Kuvvet = ağırlığın eğim yönündeki bileşeni = $\rho g \Delta x \Delta y h \sin \alpha$

(Not: Normal kuvvet = $\rho g \Delta x \Delta y h \cos \alpha$)

Birim hacimdeki Hareket Ettiren Kuvvet = $\rho g \Delta x \Delta y h \sin \alpha / (\Delta x \Delta y h) = \rho g \sin \alpha$

1B.2 Gradyan Basıncı (basıncı (p) = birim alandaki kuvvet)

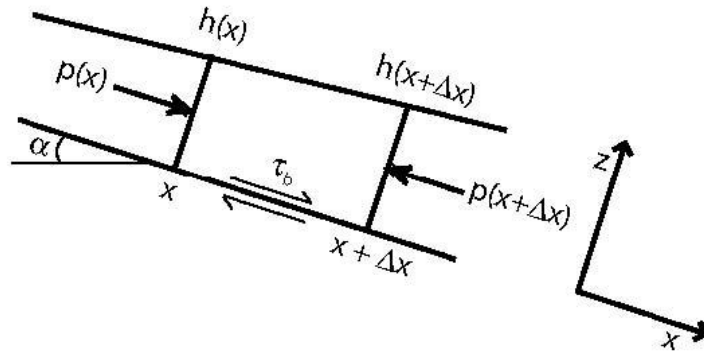
Hidrostatik basıncı = her yatak alanını üzerleyen su katmanının ağırlığı = $\rho g h$. Burada, yaklaşık $\cos \alpha \sim 1$ olan küçük açı kullanılır, böylece düşeydeki ölçülmeyen h ihmal edilmiştir. Bu Hidrostatik basıncı birim hacimde hem üst akış hem de alt akış yönlerine etki eder = birim alana düşen kuvvet ($\Delta y h$)

Bu sadece gradyan basıncının var olan hacimindeki bir net kuvvettir. Gradyan basıncı, hacmin üst akış ve alt akış kenarları arasında hissedilen basıncı değişikliği ile verilir, hacmin genişliği (Δx) ile bölünür. Böylece birim hacime düşen net kuvvet bulunur:

$$\frac{p(x) - p(x + \Delta x)}{\Delta x} = \frac{\rho g h(x) - \rho g h(x + \Delta x)}{\Delta x} = \rho g \frac{\Delta h}{\Delta x} = \rho g \frac{\partial h}{\partial x}$$

1B.3 Yatak Sürtünmesi

Yatak sürtünmesi, yatağa etki eden makaslama gerilmesi (τ_b) ile açıklanır. Sıvı yatağa bir makaslama gerilmesi uygular (alt akışa doğru) ve yatak bu aynı makaslama gerilmesini sıvıya uygular (üst akışa doğru). Yatak sürtünmesi akışa karşı koyan ilk kaynaktır.



Gerilme birim alana etki eden kuvvet olarak tanımlanır. Böylece birim hacimdeki sıvıya etki eden yatak sürtünmesi kuvveti, temel (yada sınır) makaslama gerilmesinin akış derinliğine (h) bölünmesi ile elde edilir.

$$f_v = \frac{\tau_b}{h}$$

Bir örnek akış derinliğinde hareketsiz bir sıvının (sabit, bir örnek hız) durumu, yatak sürtünmesinin yerçekimsel süren gerilmeleri dengelemesini gerektirir.

$$\frac{\tau_b}{h} = \rho g \sin \alpha$$

1B.4 Sıvılar İçin Momentum Eşitliği (1 boyutlu akış)

Chauchy'nin İlk Kuralı

Kuvvetler toplamının momentum denge değişimine oranı

$$\rho \frac{d\bar{u}}{dt} = \sum F_v = \text{yerçekimsel süren kuvvet +/- gradyan basıncı} - \text{yatak sürtünmesi}$$

İşaretler: yerçekimi her zaman akıntıdan (pozitif) kaynaklanır, gradyan basıncı ya akıntıdan (akış aşağı derinlik azalır) kaynaklanır ya da akıntıya karşı koyar (akış aşağı derinlik artar) ve yatak sürtünmesi her zaman akıntıya karşı koyar (negatif).

$$\rho \frac{d\bar{u}}{dt} = \rho g \sin \alpha - \rho g \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{\tau_b}{h}$$

Gradyan basıncı ifadesi üzerindeki işaret istenen etkiyi yaratır.

1C. Geçici ve Boyutsal Momentum Değişiklikleri

$\rho \frac{d\bar{u}}{dt}$ ifadesi momentumun hem geçici hem de boyutsal değişikliklerini kapsayan TOPLAM ya da MADDESEL türevlerine karşılık gelir. Toplam türev maddesel türev olarak da isimlendirilir, çünkü bu verilmiş bir miktar suyu takip eden bir referans çerçevesinde momentumdaki değişiklikleri izler. Böylece akış hızındaki hem geçici ve boyutsal değişkenler hem de momentum “anlaşılır”.

hint: the mean flow velocity ($\bar{u} = \bar{u}(x, t)$) MUST matter, as the rate at which the moving frame of reference moves downstream essentially determines how a *spatial* change in momentum appears as a *temporal* rate of change.

Geçici ve boyutsal değişiklikleri nasıl izole edebiliriz?

İpucu: akış hızı ifadesi ($\bar{u} = \bar{u}(x, t)$)

Matematiksel olarak bu ne anlam ifade ediyor?

Ortalama hızı dikkate alırsak, sadece akış aşağı zamandaki ve uzaklıktaki değişimleri sınırlar.

$$\bar{u} = \bar{u}(x, t)$$

Zincir kuralını kullanarak hızın (zaman ve uzay) türevlerini bulursak:

$$d\bar{u} = \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} dt + \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} dx$$

Hızdaki değişimin zamana oranı $\frac{d\bar{u}}{dt}$ ise ve bu dt ile bölünürse

$$\frac{d\bar{u}}{dt} = \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} \frac{dt}{dt} + \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \frac{dx}{dt}$$

$\frac{dx}{dt} \equiv \bar{u}$ dikkate alınır, maddesel hızın nasıl rol oynadığını açıklanır:

$$\frac{d\bar{u}}{dt} = \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x}$$

RHS deki ilk terim sabit bir noktadaki (değişken terim) değişimin oranıdır ve ikincisi ise bir noktadan diğerine olan akış ile ilgili değişimin orandır. Değişken akış, hidrografyanın yükselmesi ve düşmesi ile ilişkilidir, akışın iletim hızları köşelerin etrafından ya da tümseklerin üzerindedir.

1D. Sabit, Tekdüze Akış

Yukarıda bahsedilen momentumun korunumuna göre:

$$\rho \frac{d\bar{u}}{dt} = \rho \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \right) = \rho g \sin \alpha - \rho g \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{\tau_b}{h}$$

Sabit akış = durağan bir noktada ve zamanda hızda değişim yoktur $\Rightarrow \frac{\partial}{\partial t} = 0$

Düzenli akış = durağan bir zamanda ve alanda hızda değişim yoktur $\Rightarrow \frac{\partial}{\partial x} = 0$

Bu koşullar altında momentumun korunumu şu hale gelir: $0 = \rho g \sin \alpha - \rho g \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{\tau_b}{h}$

Tekrar yazarsak elde edilen:

$$\tau_b = \rho g h \left(\sin \alpha - \frac{\partial h}{\partial x} \right)$$

Parantez içerisindeki terim yaklaşık olarak su yüzeyi eğimine eşittir. Alüvyal kanallar genellikle $< 5^\circ$ eğime sahiptir ve çoğunlukla küçük açılara yakın olan ($\sin \alpha \sim \tan \alpha = -dz'/dx' = S_0$; z' nin düşeyde yöneldiği ve yatak yüksekliğini gösterdiği yerde) kullanılır.

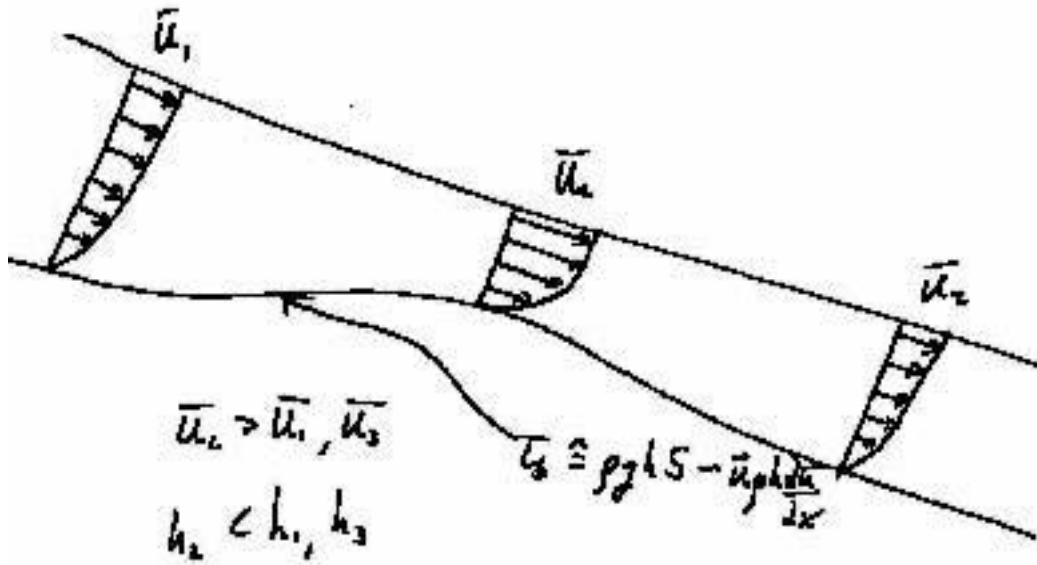
$$\tau_b = \rho g h S$$

(τ_b ortalama akış hızına ve hız profilinin şekli ile ilişkilidir: bir sonraki ders notu)

Not Sınır Makaslama Gerilmesi, basit bir ifadeyle momentumun korunumunda aslında bir ifadedir, her ne kadar Sabit, Düzenli Akış koşulları altında olsa da. Bu varsayımlar özellikle mühendislik literatüründe, çoğu kez “Normal Akış” koşulları altında olarak söylenir.

1E. Sabit, Düzenli Olmayan Akış

Şekil: Geniş bir bar üzerinden akış formu (1D durumu), rampa üzerinden hızlanma



Yukarıda bahsedilen momentumun korunumuna göre:

$$\rho \frac{d\bar{u}}{dt} = \rho \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \right) = \rho g \sin \alpha - \rho g \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{\tau_b}{h}$$

Sabit akış = durağan bir noktada ve zamanda hızda değişiklik yok => $\frac{\partial}{\partial t} = 0$

Bu koşullar altında momentumun korunumu şu hale gelir:

$$\rho \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} = \rho g \sin \alpha - \rho g \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{\tau_b}{h}$$

Bu şartlar altında sınır makaslama gerilmesinin çözümü:

$$\tau_b = \rho g h \sin \alpha - \rho g h \frac{\partial h}{\partial x} - \rho \bar{u} h \frac{\partial \bar{u}}{\partial x}$$
$$\tau_b \approx \rho g h S - \rho \bar{u} h \frac{\partial \bar{u}}{\partial x}$$

Thus we see that the acceleration over the obstacle (or around bends) extracts some momentum from the flow such that the boundary shear stress is no longer given simply by the depth-slope product. With field data on the spatial pattern of flow velocities the deviation from “Normal Flow” conditions and the often assumed relation $\tau_b = \rho g h S$, can be readily evaluated. In most cases the difference is less than a factor of 2.

Böylece görüyoruz ki engel üzerindeki hız (yada kıvrım etrafında) akıştan kaynaklanan momentumu ortaya çıkarır. Öyle ki, sınır makaslama gerilmesi sadece derin eğimli ürün tarafından verilmiş daha fazla

2. Düşey Hız Profilleri

Amaç : kanal eğimi, derinlik ve pürüzlüğün bir fonksiyonu olarak hız profillerini $u(z)$ elde ediniz.

2A. Newton Viskoz Akışı

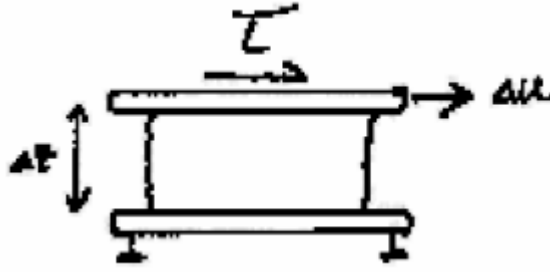
A1. Amaç: su için “yapısal bağlantılar”; malzemenin akış davranışını tanımlayınız.

Makaslama kuvvetinden gerilme oranına bağıntılar (örn. sıvılar üzerinde birim alana etkiyen itici kuvvetlere tepki).

Gerilme oranı (1d) $\frac{\partial u}{\partial z}$; Makaslama Kuvveti: $\tau(z)$

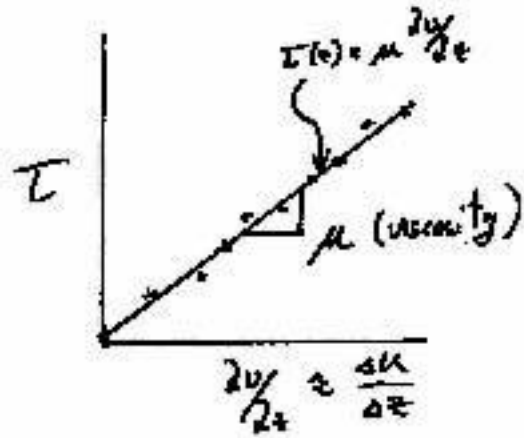
A2. Newton Deneyi

DENEY DÜZENİĞİNİN ÇİZİMİ



τ , Δu , Δz 'yi ölçünüz; gerilme oranı ile makaslama kuvveti ilişkisini grafiğe dökün; $\frac{\Delta u}{\Delta z} \approx \frac{\partial u}{\partial z}$

DENEYSSEL SONUÇLARIN ÇİZİMİ



DeneySEL verinin regresyonu (çizginin denklemi) :

$$\tau(z) = \mu \frac{\partial u}{\partial z} \quad \text{birimler : } [\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-2}] = [\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}] [\text{s}^{-1}]$$

$$\text{Birimler : } [pa] = [pas] [\text{s}^{-1}]$$

μ viskozite değeridir – bir malzeme özelliği, sıcaklığın fonksiyonu, moleküllerin etkileşiminden elde edilen sonuçlar (moleküler değişim ile momentum değişimi).

$$\text{Kinematik viskozite: } \nu = \frac{\mu}{\rho}$$

2B. Laminar Akış Hız Profili

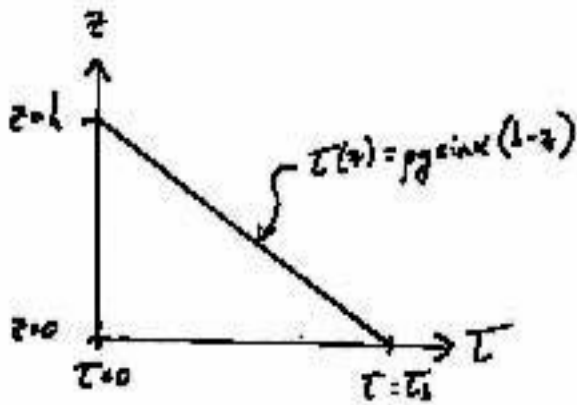
B1. Bir ivmesiz (dengede uniform) akışta makaslama kuvvetinin dağılımı

Daha önce gösterildiği gibi, $\tau_b = \rho g h \sin \alpha$ ivmesiz bir akış için, yatak üzerindeki makaslama kuvveti üzerleyen akışın ağırlığının akış aşağı bileşenini (tıpkı eğimli bir düzlem üzerindeki katı bir

blokta olduğu gibi) dengelemek zorundadır. $\rho g \sin \alpha$ 'nın graviteye bağlı olarak sıvının birim hacimdeki itici kuvvetidir.

Bu denge akışta bütün seviyelerde yatakta (en derin su) maksilama kuvveti en üst seviyeye, yüzeyde (yüzeyde olası rüzgar kuvvetini dikkate almaksızın) lineer olarak sıfır değerine düşerek gerçekleşmek zorundadır.

$$\tau(z) = \rho g \sin \alpha (h - z)$$



B2. Hız Profilinin İntegrali

Şimdi (laminar ortamda) suyun kuvvet-gerilme oranını biliyoruz. Ayrıca, akış içerisindeki kuvvet dağılımını da biliyoruz. Bunları, hız dağılımını ortaya çıkartmak için birleştirmek mümkündür:

$$\frac{\tau(z)}{\mu} = \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\rho g \sin \alpha (h - z)}{\mu}$$

z 'ye göre bir kez integralini alınız.

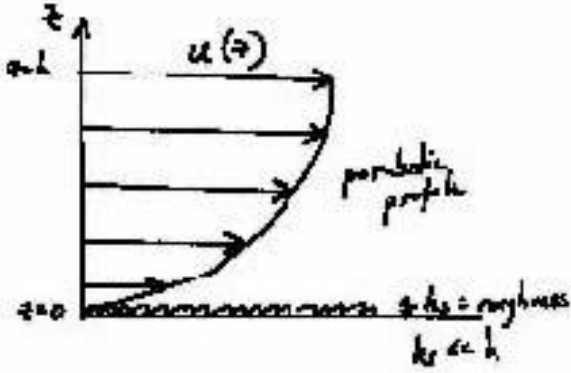
$$u(z) = \frac{\rho g \sin \alpha}{\mu} \left(hz - \frac{z^2}{2} \right) + C$$

Kayma sınırı koşulu yok $u(0) = 0$; böylece $C = 0$ olur.

Sonuç : Parabolik Hızı profili

Not ediniz: Bu çözümde sınır pürüzlülüğüne bağımlılık yok. Neden?

ÇİZİM : hız profile, pürüzlülük uzunluk-ölçeğini tanımlayınız, k_s



2C. Türbülanslı Akış

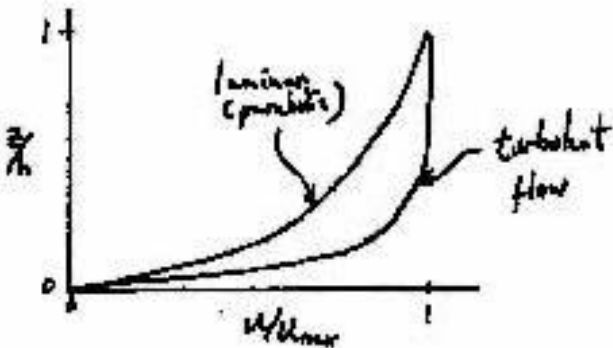
C1. Problem

Su akışı duraylı değil _ akış hızında az miktarlardaki düzensizlik hızlı bir şekilde gelişir ve kaotik, oldukça değişken, (bütün yönlerde) ani hızlar oluşturur. Bu kaotik davranış, akış derinliğine bağlı olarak daha geniş girdaplarla, farklı ölçeklerdeki girdaplarla düzene girer.

Net etki : akışa daha fazla dirençli – temel olarak güçlü karışım akışın yavaş ve hızlı hareket eden bölümlerinde moment değişimine neden olur. Etkin viskozite (girdaplı akış olarak da adlandırılır) $\gg \mu$. Kenarla girdapların etkileşimi önemlidir ve bu nedenle pürüzlülük akış hızında önemli bir kontrol haline gelir.

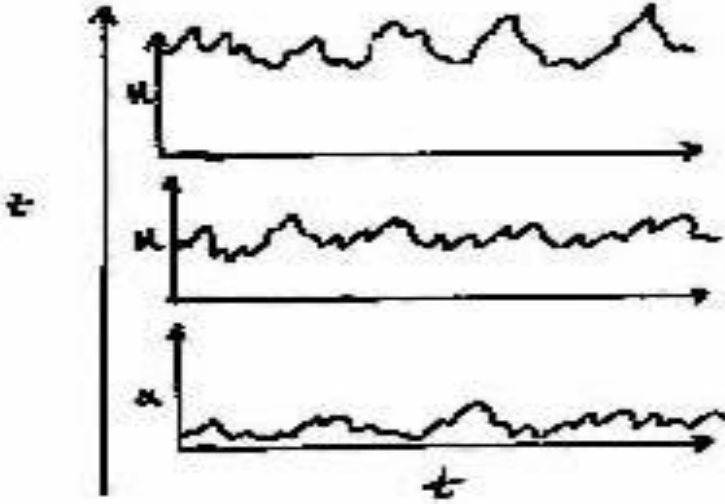
Sonuç: Keskin olmayan (körleşmiş) hız profile. Makaslama yatak yakınında dar bir band içerisinde yoğunlaşmıştır. Daha fazla akışın sonucu olarak, hız göreceli olarak akış derinliğine (etkin karışıma) bağlı olarak yavaşça değişir. Öyle ki, ortalama hız akış profilinin laminar viskoz akıştaki (parabolik hız profile) durumundan daha iyi bir tanımdır.

Laminar (yatay) ve türbülanslı akış profillerinin grafiği



Anlık hızın türbülanslı dalgalanmalarından dolayı, hız profili - girdaplarla ilişkili türbülanslı dalgalanmaların ortalamasını alarak zamansal olarak ortalama hızı temsil etmektedir.

3 panelin çizimi, $u(t)$ ve akıştaki 3 farklı seviye.



C2. Türbülansın başlangıcındaki durum

Reynold Sayısı (Re)

Kavram: atalet kuvvetleri (hız, dalgalanmalar) dengesizliğe yol açar

Viskoz kuvvetler (moleküler etkileşimler) duraysızlığa neden olur (en küçük girdapları ortadan kaldırır)

Atalet kuvvetleri baskın olduğu yerlerde → türbülanslı akış

Viskoz kuvvetlerin baskın olduğu yerlerde → yatay akış

$$Re \equiv \frac{\text{atalet kuvvetleri}}{\text{viskoz kuvvetleri}} = \frac{\rho u h}{\mu}$$

Not ediniz: boyutsuz, dolayısıyla eşit olarak tüm akışlara uygulanabilir. Değişken akış yoğunluğu aynen değişken viskozite, akış derinliği yada hız da olduğu gibi benzer etkiye sahiptir, örneğin.

Empirik çalışmalar türbülansın başlangıcındaki kritik Reynold sayısını tanımlamıştır.

Boru akışı: $Re_{\text{crit}} \approx 2000$

Açık kanal akışı : $Re_{\text{crit}} \approx 500$

C3. Türbülans “kapanım” ve Hız Profilleri

Amaç : makaslama kuvveti, sınır pürüzlülüğü ve türbülanslı akış profilleri arasındaki bağıntıyı oluşturunuz.

Prandtl Karışım Teorisi – basittir ve yatak yakınlığında iyi çalışır, amaçlarımız için yeterince iyidir.

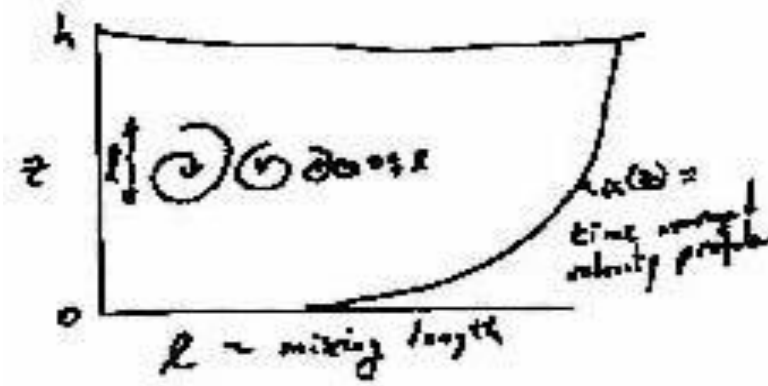
Yatay akışın analogisi : Girdap akışkanlığı

$$\tau(z) = K \frac{\partial u}{\partial z}$$

Kritik fark : Girdap akışkanlığı akışın bir fonksiyonudur (hız, akış derinliği, eğim), moleküler akışkanlık μ gibi bir malzeme özelliği değildir.

Girdap akışkanlığı akışkanın “katmanları” arasındaki momentumun değişimini tanımlar.

Çizim, karışım uzunluğu l ve girdapların ardaşıklığını göstermektedir.



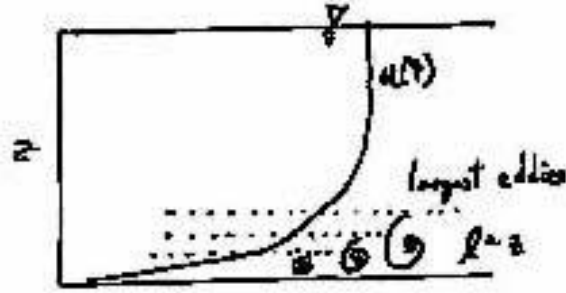
Momentum değişimi ne kadar etkindir?

$$\Delta \text{momentum} \approx \rho \Delta u \approx \rho l \frac{\partial u}{\partial z}$$

Prandtl'in öngörüsü (deneylerde kanıtlanmıştır): momentum değişiminin etkinliği aynı zamanda girdap boyutu (l) ile orantılıdır ve aşağıdaki bağıntıyı verir:

$$K \propto \rho l^2 \frac{\partial u}{\partial z}$$

Bununla beraber, kenara yakın, girdap boyutu (l) kenardan uzaklıkla (z) sınırlanır



Bu nedenle, kenara yakın $l \approx z$, ve girdap akışkanlığı aşağıdaki gibi oranlanır:

$$K \propto \rho z^2 \frac{\partial u}{\partial z}$$

“Kenara yakın” kavramı teknik olarak, girdap akışkanlığı ile bağlantılı kenara yakın türbülanslı makaslama kuvvetinin yaklaşık olarak sınır makaslama kuvvetine eşit olduğunu bildiğimiz anlamına gelir:

$$0 < z < 0.2h.$$

$$\tau b \approx K \frac{\partial u}{\partial z} \propto \rho z^2 \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2$$

Matematiği basitleştirmek için, Prandtl makaslama hızı (u) kavramını ortaya koymuştur.

Tanım gereği:

$$u_* \equiv \sqrt{\frac{\tau b}{\rho}} \quad \text{birimler } [ms^{-1}] \text{ hız birimleri}$$

Bu nedenle Prandtl karışım teorisi makaslama hızı için aşağıdaki bağıntıyı öngörür:

$$u_* \propto \sqrt{\rho z^2 \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2} / \rho \propto z \frac{\partial u}{\partial z}$$

Deneyle bu doğrulanmış olup, (Von Karman sabiti, k olarak adlandırılan) sabit bir orantılılık katsayısına sahiptir; $k = 0.4$ 'tir. Boyutsal analizler k'nin sabit (birimsiz) olduğunu doğrulamaktadır.

C4. Wall Kanunu

$$u_* = kz \frac{\partial u}{\partial z}$$

Prandtl karışım teorisi bize türbülanslı akışın basit bir parametresini vermekte olup, hız profilini saptamak için kullanılabilir:

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{u_*}{k} \frac{1}{z}$$

Z'ye göre bir kez integralini alınız

$$u(z) = \frac{u_*}{k} \ln(z) + C$$

C: $u(z)$ 'yi bulmak için sınır gerekli koşul, bir yükseklikte sıfır değerine gitmektedir (hemen yatağın üstü), z_0 . Aslında, türbülanslı akış sınıra ulaşmamaktadır – her zaman viskoz bir alt tabaka bulunmaktadır, bu nedenle türbülanslı akış sınıra kadar uzatılamamaktadır. Z_0 etkin pürüzlülük parametresi olup, tane boyutu, yatak oluşum boyutu ve diğer etkilere bağlıdır. Fiziksel olarak anlamlı bir yükseklik değildir (hız gerçektende sınırdaki sıfıra iniyor – z_0 türbülanslı akış profilini alt tabakadaki çok ince viskoz profile ile “karşılaştırma” ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır).

Bu nedenle, $z=z_0$, $u(z) = 0$:

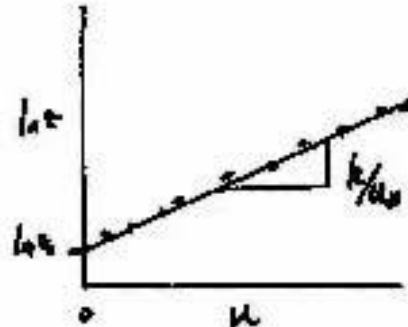
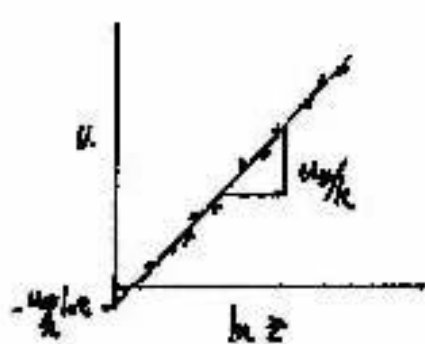
$$u(z_0) = 0 = \frac{u_*}{k} \ln(z_0) + C$$

$$C = -\frac{u_*}{k} \ln(z_0) + C$$

$$u(z) = \frac{u_*}{k} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

Son anlatım sözde “Wall Kanunudur”. Teknik olarak sadece sınır yakınılarında geçerlidir ve ($0 < z < 0.2h$) olduğu durumlarda Prandtl karışım teorisini uygular, fakat çoğunlukla tam derinlik profiline kadar kabul edilebilir bir hassasiyetle uzatılır. – bu amaçlarımız için yeterince iyidir. (aslı sediman taşınımı ile ilgili problemler bu derste detaylı olarak ele alınmamakta olup, daha çok düşey hız yapısının ayrıntıları ele alınacaktır).

ÇİZİM logaritmik hız profilini göstermektedir, hız profile verisinden makaslama kuvveti (τ) ve z_0 saptanmasını tartışınız.



Regresyon Analizi:

y eksenindeki z 'de, x ekseninde $u(z)$; doğrunun eşitliği:

$$\ln z = \frac{k}{u_*} u(z) + \ln z_0 \quad \dots \text{doğrunun eğimi } k/u_* \text{ verir, } z_0 \text{ da kesişir.}$$

Y ekseninde $u(z)$, x ekseninde (z) ; doğrunun eşitliği:

$$u(z) = \frac{u_*}{k} \ln x - \frac{u_*}{k} \ln z_0 \dots \text{doğrunun eğimi } u_*/k \text{ 'yı verir, } -(u_*/k) \ln(z_0) \text{ 'yi keser}$$

$$\tau_b = \rho u_*^2$$

Bir sonraki derste z_0 değerini etkileyen faktörler ile sınır pürüzlülüğü ile ilgili viskoz yarı-tabakanın kalınlığını da içeren pürüzlülük parametresini inceleyeceğiz. İki sonlu üyeyi dikkate alacağız, bunlar: hidrolojik olarak sakin akış (HSF) ve hidrolojik olarak kaba akış (HRF).

C5. Dikine Ortalama Hız & 4/10 Kuralı

Dikine ortalama hızı bulmak için, bir kez integralini alın (tabakayı $z=0$, yüzeyi $z=h$ alın) ve akış derinliğine (h) bölün.

$$\langle u \rangle \equiv \frac{1}{h} \int_0^h u(z) dz = \frac{1}{h} \int_0^h \frac{u_*}{k} \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) dz$$

$\int \ln \alpha x = x \ln \alpha x - x$ bağıntısını hatırlayınız

$$\langle u \rangle = \frac{1}{h} \left[\frac{u_*}{k} z \left(\ln \left(\frac{z}{z_0} \right) - 1 \right) \right]_{z=0}^{z=h}$$

$$\langle u \rangle = \frac{u_*}{k} \left(\ln \left(\frac{h}{z_0} \right) - 1 \right)$$

Bu aşağıdaki gibi de yazılabilir:

$$\langle u \rangle = \frac{u_*}{k} \left(\ln \left(\frac{h}{z_o} \right) + \ln(0.37) \right)$$

$$\langle u \rangle = \frac{u_*}{k} \ln \left(\frac{0.37h}{z_o} \right) = u(z)_{z=0.37h} = u(0.37h)$$

Bu 4/10 kuralı olarak adlandırılır: yataktan ~4/10 akış derinliğinden yukarıda ölçülmüş hız yaklaşık olarak ortalama hıza eşittir.

Bir başka kural ise ortalama hız yüzey hızının yaklaşık 8/10'dur (ve kolayca ölçülür).

Bir sonraki ders: Açık kanal akışı için hidrolik formül – Kanallarda enine kesitçe ortalama hız için alternative mühendislik yaklaşımları. Bunlar arazi verilerinden pürüzlülük parametresini nasıl tahmin ettiğimizi, nasıl sınır pürüzlülüğünü temsil ettiğini belirten değişik formüllerini kapsar.

3. Açık Kanal Akışı için Hidrolik Formül

Amaç : kanal eğiminin bir fonksiyonu olarak enine kesit ortalama hızı ile ilgili bağlantıları, derinlik, pürüzlülük ve pürüzlülük parametrelerini ölçme yöntemlerini gözden geçiriniz.

HİDROLİK PÜRÜZLÜLÜĞÜ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Yatak malzeme boyutu (D_{50} , D_{84} , k_s , z_0 , n_g); Göreceli pürüzlülük (h/D_{50}); sediman taşınımının varlığı (momentum ekstraksiyonu); yatakoluşumları ve barforms; bitki örtüsü, engeller (ağaç kökleri, loglar, iri kaya parçaları, temel kayası yüzlekleri, vs); kanal genişliği ve derinliğindeki değişimler; kanal bükümü (dolambaçlık/sinusite)

PÜRÜZLÜLÜK PARAMETRELERİNİ TAHMİN İÇİN KULLANILAN YÖNTEMLER

“Pürüzlülük” benzer akış hız eşitliklerinde farklı yollarla temsil edilir. Chezy eşitliği, Manning eşitliği, Darcy-Weisbach eşitliği ve genelleştirilmiş D-W eşitliğini (tümü ortalama hız için) kullanacağız. “Wall Kanunu” ise hız profile eşitliği yada bir sınır yakınındaki türbülanslı akış için kullanılacaktır.

Kullanılan Değişkenler:

- S : Su yüzeyi eğimi (=denge durumundaki düzenli akıştaki yatak eğimi) $[m/m]$
R_h : Hidrolik yarıçap (R_h=A/P= son derece geniş kanallar için akış derinliği) $[m]$
A : Enine kesit alanı $[m^2]$
P : Islak çevre $[m]$
Q : Su boşalımı $[m^3/sn]$
U : Enine kesitteki ortalama hız $[m/sn]$
Z : Kartezyen koordinatı (yatağa dik) $[m]$
h : Akış derinliği (yatağa dik) $[m]$
 τ_b : temel makaslama kuvveti $[Pa]$
k : von Karman sabiti = 0.40
C : Chezy pürüzlülük katsayısı $[m^{1/2}/sn]$
f : Darcy-Weisbach sürtünme faktörü $[]$
n : Manning pürüzlülük faktörü $[s/m^{1/3}]$
C_f : Genelleştirilmiş boyutsuz sürtünme faktörü $[]$
k_s : tane pürüzlülük ölçeği $\sim D_{84}$

Chezy Eşitliği:

$$\frac{Q}{A} = u = C\sqrt{R_h S}$$

C'nin birimleri nelerdir?

$$[\sqrt{g}]$$

Manning Eşitliği: (metric birimler!!) (1840'lar; gözlenen chezy C = derinliğin fonksiyonu)

$$\frac{Q}{A} = u = \frac{1}{n} R_h^{2/3} S^{1/2}$$

n'nin birimleri nelerdir?

Darcy-Weisbach Eşitliği: (boruda akış&teori; f boyutsuzdur)

$$u^2 = \frac{8gR_h S}{f}$$

Genelleştirilmiş Darcy-Weisbach: (yukarıdaki eşitlikteki 8 sadece borular içindir)

$$u = \frac{\sqrt{gR_h S}}{C_f^{1/2}}; \quad \tau_b = \rho C_f u^2 \quad (R_h \sim h \text{ için})$$

Wall Kanunu:

(türbülanslı akışlar içindir, kesinlikle sınır yakınlarında uygulanır, $z < .2h$, fakat tüm profil içinde iyi bir şekilde çalışır)

$$u = \frac{u_*}{k} \ln \frac{z}{z_0}$$

formüldeki $u^* = \sqrt{\frac{\tau_b}{\rho}}$ makaslama hızıdır.

$k = 0.40$ (Von Karman Sabiti)

z_0 idealize edilmiş hız profilinin sıfıra geldiği noktadır (akıştaki hayali bir seviye)

akış derinliği ile integralini alıp h ile bölünüyor (dikine ortalama hız):

$$\langle u \rangle = \frac{u_*}{k} \left(\ln \frac{h}{z_0} - 1 \right)$$

4/10 Kuralı:

$$\langle u \rangle = \frac{u_*}{k} \left(\ln \frac{h}{z_0} + \ln(.37) \right) = \frac{u_*}{k} \ln \frac{.37h}{z_0} = u(z = .37h)$$

I. Manning n değerinin görsel tahminleri:

1. Deneyiminizi kullanarak arazi koşullarında görsel tahmin, “tip” fotoğraflar ve basılı tablolar. Tablolar birçok jeomorfoloji kitabında bulunur. “Tip” fotolar Water Supply Makalesi (1849)’da vardır. Aşağıda listelenenler birkaç örnek olup, (Richards’dan alınmıştır):

<u>Tanımlama</u>	<u>Manning n değeri</u>
Yapay kanal, beton	.014
Kazılmış kanal, yer	.022
Kazılmış kanal, çakıl	.025
Doğal kanal, < 30 m genişlik, temiz ve düzenli akış	.030
Doğal kanal, < 30 m genişlik, bir miktar ağaç kökü ve kayalar	.035
Yabani dere, kaba çakıl, iri kayaç parçası	.050
Ana akarsu, > 30 m genişlik, temiz ve düzenli akış	.025

2. Chow (1958) tarafından verilen tablodan tahmin, tablodaki n aşağıdaki formülle verilir:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_5$$

Malzeme	n ₀	Düzensizlik derecesi	n ₁	Enine kesit dağılımı	n ₂
Toprak zemin	.020	Pürüzsüz	.000	Aşamalı	.000
Kayaç	.025	Minor	.005	Bazen	.005
İnce çakıl	.024	Ortalama (makul)	.010	sıkça	.010-
Kaba çakıl	.028	İleri derece	.020		.015

Kanal Tıkanıklıkları	n ₃	Bitki Örtüsü	n ₄	Mendereslilik Derecesi	n ₅
Önemsiz	.000	Düşük	.005-.010	Yok	1.000
Minor	.010-.015	Orta	.010-.025	Minor	1.000
Kayda değer	.020-.030	Yüksek	.025-.050	Kayda değer	1.150
Önemli miktarda	.040-.060	Oldukça Yüksek	.050-.100	Önemli miktarda	1.300

II. Darcy-Weisbach sürtünme faktörü ile tane boyu ve akış derinliği arasındaki empirik bağıntı (Leopold ve diğ., 1964).

Empirik veri doğruya uymaktadır:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2.0 \log \left(\frac{h}{D_{84}} \right) + 1.0$$

sonraki sayfadaki şekle bakınız.

D₈₄ = kümülatif frekans/sıklık dağılımından 84'üncü yüzdelik değer (tane çapı)

III. Yukarıda verilen velosite eşitliğini kullanarak arazi verilerinden n veya f'nin ters çözümü

$$\bar{u} = \frac{1}{n} R_h^{2/3} S^{1/2}$$

S = su yüzeyinin eğimi

Yöntem : u (enine kesit ortalaması), R ve S ölçülür, n ve/veya f'nin ters çözümü yapılır.

IV. Wall Kanununu kullanarak hız kesitlerinden yersel hidrodinamik pürüzlülüğün (“tane pürüzlülüğü” : z_0) hesaplanması.

$$u = \frac{u_*}{k} \ln \frac{z}{z_0}$$

formülde $u_* = \sqrt{\frac{\tau_b}{\rho}}$, $k = 0.40$ (Von Karman sabiti)

Öncelikle hidrolojik olarak kaba (HRF) ve yumuşak akış (HSF) arasındaki bağıntıyı tanımlamamız gerekir. k_s = tane çapı, δv = viskos (akışkan) alt tabakanın kalınlığı ve ν = kinematik viskoziteyi alırsak, shear Reynold sayısını (R_*) aşağıdaki gibi tanımlarız.

$$R_* = \frac{u_* k_s}{\nu}$$

Nikaradse'nin verisine göre, HSF $R_* < 3$ olduğunda, HRF ise $R_* > 100$ olduğunda oluşur.

$$z_0 = \frac{\nu}{9u_*}$$

1. Durum HSF :

$$z_0 = \frac{k_s}{30}$$

2. Durum HRF : ; $k_s \sim D_{84}$ (tane pürüzlülüğü)

Eğer $3 < R_* < 100$ ise, Nikaradse diyagramından z_0 değerini bulunuz. Bir sonraki sayfaya bakınız.

Tipik akarsu ısısı için $\nu = 1.514 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$. olduğunu not ediniz.

