

“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.”

## IV. Tortu Taşımalarının Esasları

### A. Boyutsuz Değişkenler

Motivasyon Örneği: Yapay Tortu Taşıma Verileri (Powerpoint Sunuları)

#### 1. Reynold sayısı

Tüm Reynold sayıları

$$R = \frac{\text{hız} * \text{uzunluk}}{\text{viskozite}}$$

formundadır.

- a. Kanal Reynold sayısı (türbülans)  
Kanal Reynold sayısı türbülansın oluşmasını belirler

$$R_e = \frac{\bar{\rho} u h}{\mu} = \frac{\bar{u} h}{\nu}$$

$R_e > 500$ : türbülanslı açık kanal akışı;  $R_e > 2000$ : türbülanslı boru akışı

$R_e$  boyutsuz olduğundan, tüm akışlara eşit olacak şekilde uygulanabilir; iki kat hız  $\bar{u}$ , iki kat derinlik  $h$ , iki kat yoğunluk  $\rho$  veya yarı kat viskoziteye  $\mu$  denktir.

Boyutsuz değişkenler tamamıyla bu genellikten dolayı kullanışlıdır.

- b. Parça Reynold sayısı (parça süspansiyonu, hareketin başlaması).  
Parça Reynold sayısı,  $R_p$ ,  $w_s$  yerleşme hızı ve  $D$  parça çapını hız ve uzunluk ölçeklemesi olarak kullanır:

$$R_p = \frac{w_s D}{\nu}$$

- c. Makaslama Reynold sayısı (hareketin başlaması).

$R_*$  Makaslama Reynold sayısı makaslama hızı  $u_*$  ve  $D$  parça çapını hız ve uzunluk ölçeklemesi olarak kullanır:

$$R_* = \frac{w_* D}{\nu}$$

- d. Açık Reynold sayısı (hareketin başlaması, yerleşme hızı).

$R_{ep}$  Makaslama Reynold sayısı, hız birimine sahip  $\sqrt{((\rho_s - \rho) / \rho) g D}$  ifadesini ve  $D$  parça çapını hız ve uzunluk ölçeklemesi olarak kullanır:

$$R_{ep} = \frac{\sqrt{((\rho_s - \rho) / \rho) g D D}}{\nu}$$

## 2. Froude Sayısı

Froude sayısı atalet kuvvetlerinin yerçekimi kuvvetlerine oranıdır:

$$F_r = \frac{\bar{u}}{\sqrt{gh}}$$

Not ediniz:  $\sqrt{gh}$  dalgaların çabukluğudur.

$F_r < 1$ :  $\bar{u} < \sqrt{gh}$ ; alt-kritik, dalgalar (ve diğer bilgiler) akıntıya karşı hareket edebilir  
( $F_r < 0.5$  normal alüvyonlu koşul)

$F_r = 1$ :  $\bar{u} = \sqrt{gh}$ ; kritik, duran dalgalar

$F_r > 1$ :  $\bar{u} > \sqrt{gh}$ ; üst-kritik, dalgalar (ve diğer bilgiler) akıntıya karşı hareket edemez  
(dik kanallar, temel kayası kanalları)

Alt-kritik akışın, wier üzerinden atış ile kritiğe geçişi:

Akış aniden alt-kritiğe geri geçer ve böylece aniden derinlik artar; bu hidrolik zıplama olarak adlandırılır.

Wier üzerinde boşalma, wierin akış derinliği ve genişliği ölçülerek kolayca belirlenir. Çünkü wier'de  $F_r = 1$  de hız  $\bar{u} = \sqrt{gh}$  bilinmektedir.

## 3. Rouse Sayısı (Tortu taşıma Modu)

Rouse sayısı tortu taşıma modunu belirler. Parça konumlanma hızının makaslama hızına oranıdır (düşme oranına karşılık asılı parçalara etki eden türbülansın şiddetidir).

$$Rouse \# = \frac{w_s}{ku_*}; k = 0.4 \text{ (Von Karman Sabiti)}$$

Yatak-yükü  $\frac{w_s}{ku_*} > 2.5$

%50 asılı  $1.2 < \frac{w_s}{ku_*} < 2.5$

%100 asılı  $0.8 < \frac{w_s}{ku_*} < 1.2$

Wash yükü:  $\frac{w_s}{ku_*} < 0.8$

#### 4. Boyutsuz Konumlanma Hızı

Birçok farklı boyutsuz gruplama konumlanma hızı üzerinde kontroller tanımlanarak kullanılır. Standart boyutsuz konumlandırma hızı boyutsuzlaştırmayı tamamlamak için  $\sqrt{((\rho_s - \rho) / \rho) gD}$  grubunu kullanır.

$$w_s = \frac{w_s}{\sqrt{((\rho_s - \rho) / \rho) gD}}$$

Dietrich ve diğerleri (1983) tane boyutu ve şeklinin parça konumlandırma hızına olan bağlılığını tablolastıran anahtar makaledir ve ilgili  $W_*$  değişkenini boyutsuz konumlandırma hızı olarak kullanır:

$$W_* = w_s^2 R_p = \frac{w_s^3}{((\rho_s - \rho) / \rho) gD}$$

Bununla beraber,  $W_*$  ve sürükleme katsayısının her ikisine  $R_p$  parça Reynold sayısına göre bağlı olduğundan karmaşıklığı vardır. Bundan dolayı, bazı araştırmacılar boyutsuz konumlandırma hızını

$$R_p = \frac{w_s D}{\nu} = w_s^* R_{ep}$$

Bağıntısıyla ilişkilendiren açık parça Reynold sayısını kullanır.

Konumlandırma hızını hesaplamak için Dietrich ve diğerleri (1983)'de verilen denklemleri kullan Excel hesaplama sayfası dersin web sayfasında bulunmaktadır.

#### 5. Shield Gerilmesi (sediman taşınımı, hareketin başlaması)

Harekete başlama ve sediman taşınımı en azından sınır Shield gerilmesi, tortu ve akışkan yoğunluğu (suda batmama, yüzme) ve tanecik boyutuna bağlı olmalıdır. 1900'lerin ilk yıllarında Shield (Alman) tortu taşıma üzerine birçok deney yapmıştır ve bu faktörleri birleştiren boyutsuz gruplama belirlemiştir ve bu da çok geniş aralıktaki deneysel verinin tekbir eğriye indirgenmesine hizmet etmiştir:

$$\tau_* = \frac{\tau_b}{(\rho_s - \rho) gD}$$

burada sınır makaslama gerilmesi durağan düzenli akış için bağıntı yaklaşık olarak hesaplanabilir, Shield gerilmesi,  $\tau_*$ , aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\tau_* = \frac{hS}{((\rho_s - \rho) / g)D}$$

Hareketi başlatmak için kritik koşul, makaslama gerilmesi=  $\tau_{cr}$ , kritik Shield gerilmesi

$$\tau_* = \frac{\tau_{cr}}{(\rho_s - \rho) gD}$$

olur. Shield orijinal çalışmasında,  $R_*$  Makaslama Reynold sayısına karşılık çizmiştir. Bu oldukça güzel bir şekilde veriyi indirgemiş, fakat pratikte çalışmayı çok zorlaştırmıştır çünkü  $\tau_*$  ve  $R_*$ 'ın her ikisinde  $u_*$ ' bağlıdır ve  $\tau_{cr}$  nin çizimden bulmak için iterasyona ihtiyaç duyulduğu anlamındadır (hatırlatma:  $u_* = \sqrt{\tau_b / \rho}$ ). Bundan dolayı, Shield diyagramı Açık Parça Reynold sayısına karşılık

$$D_* = \xi_* = R_{ep}^2 = \frac{((\rho_s - \rho) / \rho) g D^3}{v^2}$$

ifadesine karşılık çizilerek genellikle düzenlenir.

## 6. Boyutsuz Tortu Taşıma Oranı

$Q_s$  = verilen nehir kesiti boyunca toplam hacimsel sediman taşıma oranı.

Birim kanal genişliğindeki tortu akısı

$$q_s = \frac{Q_s}{w}$$

olarak tanımlanır.

Einstein (oğul) tortu taşıma problemi üzerine çalışmıştır ve boyutsuz hacimsel tortu taşıma akısını ilk olarak tanımlamıştır:

$$q_s^* = \frac{q_s}{\sqrt{((\rho_s - \rho) / g) D D}} = \frac{q_s}{R_{ep} v}$$

Biz tüm tortu taşıma bağıntılarını bu boyutsuz grup'un terimleri cinsinden yazacağız.

## 7. Taşıma Aşaması

Taşıma aşaması tortu taşıma yoğunluğunu tanımlar ve basitçe sınır makaslama gerilmesinin kritik sınır makaslama gerilmesine oranı olarak tanımlanır.

$$T_s = \frac{\tau_b}{\tau_{cr}} = \frac{\tau_{*b}}{\tau_{*cr}}$$

# B. Sediman Taşıma Bağıntıları

## 1. Yatak Yükü Taşınması: yuvarlanma, kayma, tuzlanma

Genel olarak:

$$q_s = f(\tau_*, R_{ep}, (\rho_s - \rho) / \rho)$$

Teorik bağıntı geliştirildi ve hacimsel akı bireysel tane hareketleri integrallenerek çözüldü, yatak yükü (bedload) tortu taşıma hakkında çoğu şey bilinmektedir. Bu derste, laboratuvar ve dış alanda elde edilen deneysel bağıntılarla kendimizi kısıtlayacağız. Sadece belirlenmeye çalışılan benzer koşullara uygulanmalıdırlar.

a) Meyer-Peter Mueller (1948) (genelleştirilmiş)

$$q_s = 8(\tau_* - \tau_{cr*})^{3/2}$$

Burada çakıllar için  $\tau_{cr*}$  sabittir. Shield (çakıl)  $\sim 0/06$  Parker  $\sim 0.03$  (karışık boyutlu çakıl); Meyer-Peter Mueller  $=0.047$  (iyi boyulanmalı ince çakıl, ortalama taşıma aşamasında,  $T_s \sim 8$ ).

b. Fernandez-Luque ve van Beck (1976)

$$q_s = 5.7(\tau_* - \tau_{cr*})^{3/2}$$

Koşullar M-P-M ye benzerdir, sadece düşük sediman taşıma aşamasında  $T_s \sim 2$

c. Wilson (1966)

$$q_s = 12(\tau_* - \tau_{cr*})^{3/2}$$

Koşullar M-P-M ye benzerdir, sadece yüksek tortu taşıma aşamasında  $T_s \sim 100$

Özet:

Wiiberg ve Smith (1989) transfer katsayısındaki gözlemlenen değişimlerin Shield gerilmesi ( $\tau_*$ ) üzerine basit bağımlılığını kolayca yakalandığını ortaya koymuştur ve aşağıdaki genelleştirilmiş yatak yükü taşıma bağıntısını vermiştir:

$$q_s = \alpha_s (\tau_* - \tau_{cr*})^n$$

$$n = 3/2$$

$$\alpha_s = 1.6 \ln(\tau_*) + 9.8 = 9.6 \tau_*^{0.166} \text{ (kuvvet yasası uydurması için } R^2:0.989)$$

d) Bagnold (1977, 1980)

Bagnold bağıntısının (lab ve alan verilerine deneysel uydurma) birçok çeşiti vardır. Son zamanlardaki Bridge ve Dominic (1984) tarafından yapılan adaptasyonu aşağıdaki gibidir:

$$q_s^* = a_t (\tau_* - \tau_{cr*}) (\tau_*^{1/2} - \tau_{cr*}^{1/2})$$

Burada  $a_t$  boyutsuz bir sabittir. Dikkat ediniz : Bagnold bağıntısı,

$\Omega / w = \omega = \rho g Q S / w = \tau_* \bar{u}$  birim akış gücü (birim yatak alanında yayılan akış gücü) genellikle de terimleri cinsinden yazılır.

e) Parker (1982) Yarı-yüzey Taşıma Modeli

Parker (1990, 1992)  $D_{50}$  yarı-yüzeyi (alan verileri) yüzey tabanlı model ile temel alarak bu deneysel bağıntıyı tekrar düzenlemiştir. Buradaki fark ya  $D_{50}$  yüzeyi veya  $D_{50}$  alt-yüzeyi üzerindeki verilere ihtiyaç duyduğudur. Uyum için, Parker ve klasik  $q_s^*$  'in yerini alan yeni birazcık farklı tortu taşımanın boyutsuz hacim akısını tanımladı.

Parker, Boyutsuz makaslama gerilmesi  $D_{50,sp}$  alt-kaldırımının  $D_{50}$  nin terimleri ve makaslama gerilmesinin kritik makaslama gerilmesine oranı cinsinden yazdı:

$$\phi_{50} = \left[ \frac{hS}{((\rho_s - \rho) / \rho) D_{50,sp}} \right] / 0.0876 = \frac{\tau_{*sp}}{0.0876}$$

Burada 0.0876,  $D_{50sp}$  için kritik Shield gerilmesidir öyleki  $\phi_{50cr} = 1$ . Verilen  $D_{50p} / D_{50sp} \sim 2.5$  için  $\tau_{*pcr} = 0.035$  olduğunu vurgular (yani düzgün-boyutlu çakıl için  $\tau_{*pcr} = 0.06$  nın standart Shield eğrisi sonucundan daha azdır).

Bu tanımlamalarla, Parker (1982) aşağıdaki bağıntıları arazi verileri ile uyumlu hale getirmiştir.

$$0.95 \leq \phi_{50} \leq 1.65$$

$$w_* = 0.0025 \exp[14.2(\phi_{50} - 1) - 9.28(\phi_{50} - 1)^2]$$

$$\phi_{50} > 1.65$$

$$w_* = 11.2 \left( 1 - \frac{0.822}{\phi_{50}} \right)^{45}$$

## 2. Asılı Sediman Taşınımı

Asılı tortu taşınması, tabii ki birbiriyle oldukça bağlantılı olan sediman konsantrasyon profili (her bir boyut sınıfı için) üretimi ve hız profiline bağlıdır. Dietrich (1982), boyutsuz konumlanma hızı  $W_*$  ve boyutsuz tane-boyu  $D_*$  veya önceden tanımlanan açık parça Reynold

sayısı  $D_* = \xi_* = R_{ep}^2 = \frac{((\rho_s - \rho) / \rho) g D^3}{\nu^2}$  terimleri cinsinden tüm sediman konumlandırma

hız verilerinin grafik tablolarını sundu. Bu veriler sediman konsantrasyon profillerinin hesabında kritiktir.  $m$  boyut sınıfları için asılı sediman akısı için genel ifade aşağıdaki gibi yazılır:

$$q_s = \sum_{i=1}^m \int_0^h C^i(z) u(z) dz$$

Bu yaklaşımın daha ileri ayrıntılandırılması sediman taşıma teorisi için bir ders ayrılmalıdır. Kumlu sistemlerde toplam yük (asılı yük ile etkin edilmiş) için daha basit bir yaklaşım ve deneysel bağıntılar bir daha gözden geçirilecektir.

a) Engelund ve Hansen (1976): Kum için toplam yük (asılı yüke ek olarak yatak yükü)

$$q_s = \frac{0.05}{C_f} \tau_*^{2.5}$$

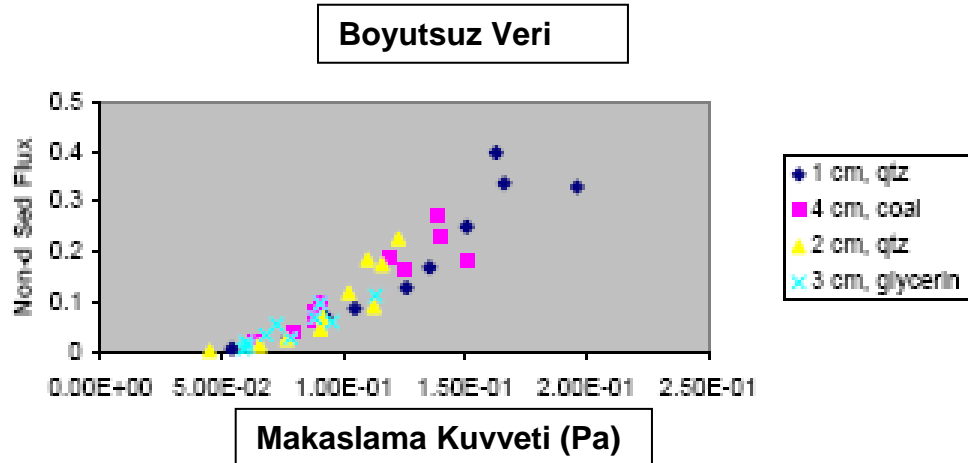
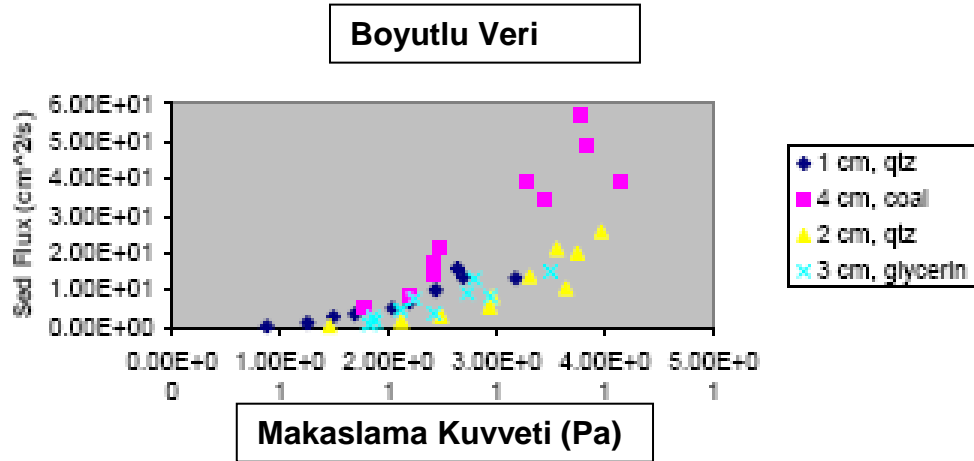
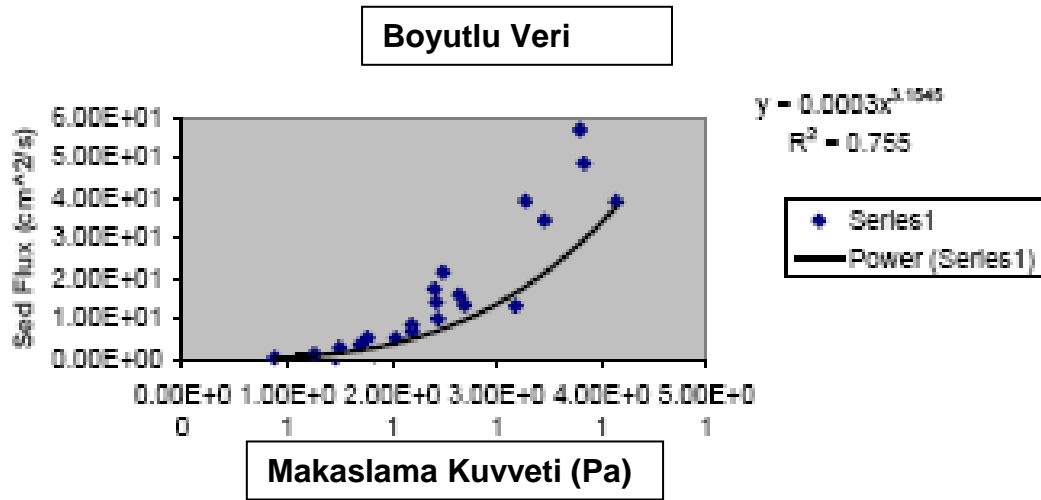
Kum için genellikle  $\tau_* \gg \tau_{*cr}$  kabul edildiğine dikkat ediniz.  $C_f$  önemli bir şekilde dalgalanma ve kumullardan etkilenmektedir ve Engelund ve Hansen bağıntısının uygulamalarında dikkate alınmalıdır.

b) Van Rijn (1984 a, b).

Alan verilerinin yoğun deneysel analizi için Van Rijn, pratikte Engelund ve Hansen'in basit bağıntısına benzeyen fakat daha genel olan kumlu sistemlerdeki toplam yük için bir karışık deneysel bağıntı geliştirdi. Bağıntıları bir hesaplama sayfasına uyarlanmalıdır ve bu bağıntıları kullanabilirsiniz. Van Rijn bağıntıları, koşullara bağlı olarak ek makaslama gerilmesi 1.8-2.5 aralığındaki kuvvetine yükseltilebilir. Meyer-Peter Mueller yatak yükü bağıntısı benzer formuyla eşleşebilir.

Powerpoint grafiği tabaka yükü ve asılı yük akışını karşılaştırmaktadır.





**Teorik Formüller**

Stokes  $C_D = \frac{24}{Re}$

Oseen  $C_D = \frac{24}{Re} \left( 1 + \frac{3}{16} Re \right)$

Goldstein  $C_D = \frac{24}{Re} \left( 1 + \frac{13}{16} Re - \frac{19}{160} Re^2 + \frac{71}{1600} Re^3 \dots \right)$

Proudman &

Pierson

$$C_D = \frac{24}{Re} \left( 1 + \frac{13}{16} Re - \frac{0}{160} Re^2 \log Re + 0 \left( \frac{Re^2}{4} \right) \right)$$

**Empirik Formüller**

Schiller

$$(Re > 800) C_D = \frac{24}{Re} (1 - 0.150 Re^{0.68})$$

Dallavalle (tüm değer kümesi)

$$C_D = \frac{24.4}{Re} + 0$$

Langmuir

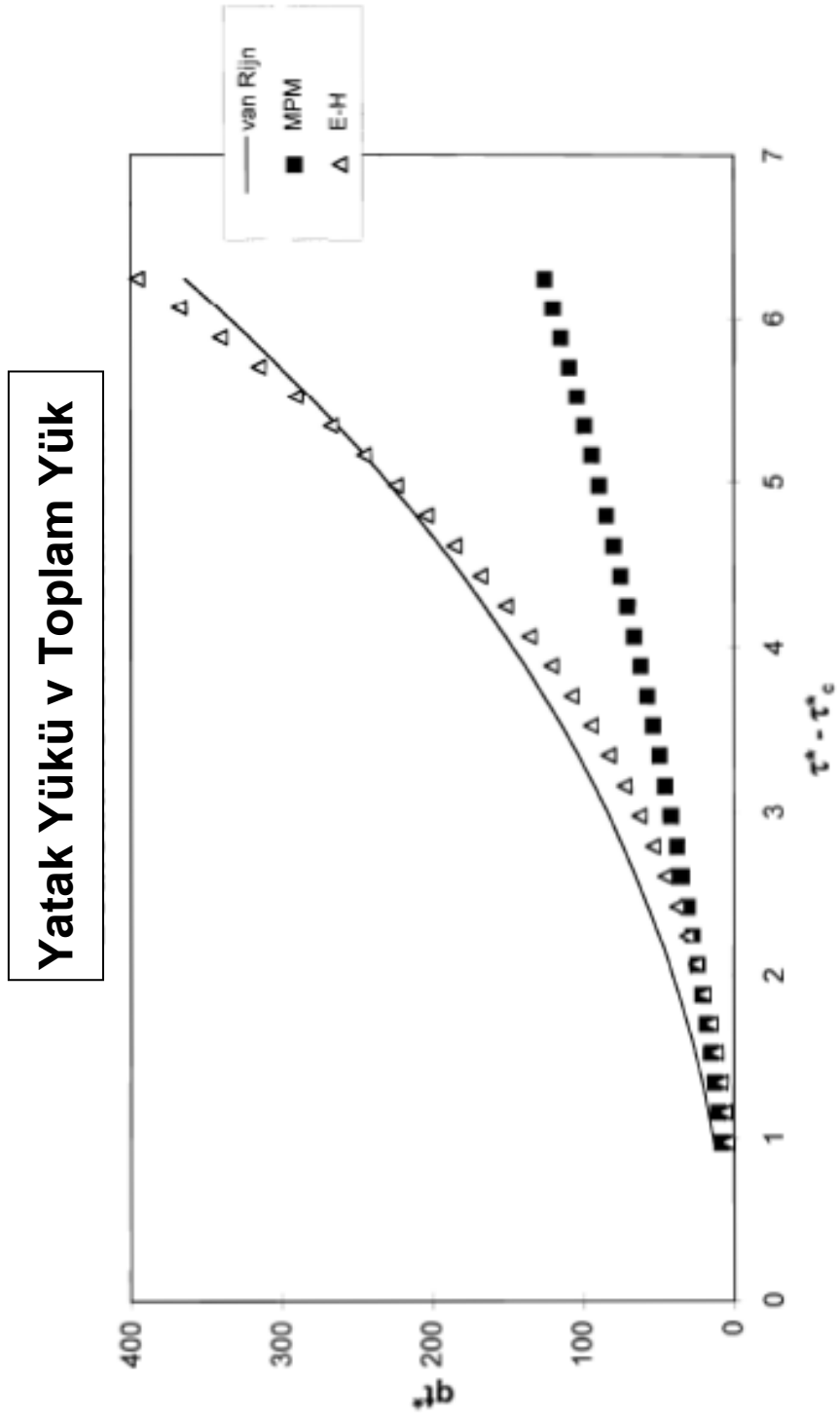
$$(1 < Re < 100) C_D = \frac{24}{Re} (1 + 0.197 Re^{0.68} - 0.020)$$

Olson

$$(Re < 100) C_D = \frac{24}{Re} \left[ 1 - \frac{3}{16} Re \right]^{1/2}$$

Rubev (tüm değer kümesi)

$$C_D = \frac{24}{Re} + 2$$



U.S Standart Elek gözü		Milimetre	Mikron	$\phi$	Wentworth Boyut sınıfı	
		4096		-12	İri çakıl (-8 - 12 $\phi$ )	ÇAKIL
		1024		-10		
adet		256		-8		
		64		-6	Kaba çakıl (-6 - -8 $\phi$ )	
Kareler		16		-4	İnce çakıl (-2 - -6 $\phi$ )	
5		4		-2		
6		3.36		-1.75		KUM
7		2.83		-1.5	Granül	
8		2.38		-1.25		
10		2.00		-1.0		
12		1.68		-0.75		
14		1.41		-0.50	Çok kaba kum	
16		1.19		-0.25		
20		0.84		0.0		
25		0.71		0.25		
30		0.59		0.50	Kaba kum	
35	1/2	0.50	500	0.75		
40		0.42	420	1.00		
45		0.35	350	1.25		
50		0.30	300	1.50	Orta kum	
60	1/4	0.25	250	1.75		
70		0.210	210	2.00		
80		0.177	177	2.25		
100		0.149	149	2.50	İnce kum	
120	1/8	0.125	125	2.75		
140		0.105	105	3.00		
170		0.088	88	3.25		
200		0.074	74	3.50	Çok ince kum	
230	1/16	0.0625	62.5	3.75		
270		0.053	53	4.00		
325		0.044	44	4.25		
		0.037	37	4.50	Kaba silt	ÇAMUR
	1/32	0.031	31	4.75		
Analiz edilmiş	1/64	0.0156	15.6	5.00		
	1/128	0.0078	7.8	6.00	Orta silt	
ile	1/256	0.0039	3.9	7.00	İnce silt	
		0.0020	2.0	8.00	Çok ince silt	
pipet		0.0098	0.98	9.00	Kil	
		0.00049	0.49	10.00	Kil	
yada		0.00024	0.24	11.00	Kil	
		0.00012	0.12	12.00	Kil	
Hidrometre		0.00006	0.06	13.00	Kil	
				14.00		

