

## ÜÇGEN ŞEKLİNDEKİ TAŞKIN HİDROGRAFINDAN KAYNAKLANAN TABAN MALZEMESİ TAŞINMASININ DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Gökçen BOMBAR, M. Şükrü GÜNEY

*Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İZMİR*

**ÖZET:** Bu çalışma kapsamında, DEÜ Hidrolik Laboratuvarında mevcut 18,6 m uzunluğundaki kanalda zamanla değişen akım rejiminde sürüntü maddesi hareketi incelenmiştir. Deneysel üçgen şeklindeki farklı giriş hidrografları kullanılarak ve mabadan sürüntü maddesi beselenmesi olmadan gerçekleştirilmiştir. Kanal tabanına  $D_{50}=4,8$  mm, standart sapması  $\sigma_g=1,4$  mm olan üniform malzeme serilmiştir. Kanal mansabında bulunan sepetlerde toplanan malzeme tartılarak sürüntü maddesi yükü belirlenmiş ve bu değerler -literatürde verilen ampirik denklemlerin zamanla değişen akımlar için de uygulanabilir olduğu kabulüyle - hesaplananlar ile karşılaştırılmıştır. Deneysel bulguların, konuyla ilgili literatürde yer alan denklemlerden Engelund ve Fredsoe (1976) tarafından verilen ampirik bağıntı ile daha çok uyumlu olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Açık kanal akımı, Taban malzemesi hareketi, Üçgen taşkın hidrografı.

### Experimental Study of Bed Material Transport Resulting from Triangular Flood Hydrographs

**ABSTRACT:** In this study, experiments are carried out in the system designed and built in Hydraulics Laboratory of DEU, involving a rectangular flume of 18.6 m length in order to investigate the sediment transport in the cases of unsteady flow. The flume experiments are conducted using different triangular shaped input hydrographs without sediment feeding at upstream. The sediment median size  $D_{50}$  and the standard deviation  $\sigma_g$  are 4.8 mm and 1.4 mm, respectively. The sediment is collected at the downstream end of the flume and weighed. The measured bed load values are compared with those calculated from the empirical relations given in the relevant literature for steady flow cases, assuming that they are also applicable in unsteady cases. It is found that the measured bed load values are better compatible with those calculated from the expression given by Engelund and Fredsoe (1976).

**Keywords:** Open channel flow, Bed material transport, Triangular flood hydrograph.

### GİRİŞ

Katı madde hareketi hem taban malzemesinin (sürüntü maddesi) hem de akıdaki malzemenin hareketi şeklinde oluşabilmektedir. Tabanla temas halinde olan bir katı madde hareketi söz konusu olduğunda bu durum sürüntü maddesi hareketi olarak adlandırılmaktadır (Özbek ve Özcan, 2001). Bu çalışmada sadece sürüntü maddesinin yükü ele alınmıştır. Katı madde taşınımı, birim zamanda, birim genişlikte taşınan sürüntü maddesi ağırlığı,  $g_b$  (kg/sn/m) veya hacimsel boşluksuz

sürüntü maddesi debisi  $q_b$  ( $m^3/sn/m$ ) ile ifade edilebilmekte olup aralarındaki bağıntı denklem (1) ile verilmiştir.

$$g_b = \gamma_s q_b \quad (1)$$

Burada  $\gamma_s$  ( $kg/m^3$ ) sürüntü maddesinin özgül ağırlığıdır.

Taban malzemesinin hareketi çoğunlukla zamanla değişmeyen üniform akım koşullarında incelenmiş ve zamanla değişen akım durumlarında taban malzemesi yükü genellikle üniform akımlar için türetilen ampirik bağıntılar kullanılarak hesaplanmıştır.

Bu çalışmada Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında bulunan açık kanalda farklı taşkın hidrograflarının yayılması ile ilgili deneyler gerçekleştirilmiş ve elde edilen bulgular literatürde mevcut ampirik denklemler kullanılarak hesaplananlar ile karşılaştırılmıştır.

## DENEY DÜZENEGİ

Deneyler, Şekil 1'de fotoğrafları verilen, DEÜ Hidrolik Laboratuvarı'nda mevcut 18,6 m uzunluğunda, 80 cm genişliğinde ve 75 cm yüksekliğindeki kanalda gerçekleştirilmiştir (Bombar, 2009).

Maksimum kapasitesi 100 lt/sn olan pompa, bir hız kontrol cihazı ile bağlantılıdır. Bu cihaza bir bilgisayar programındaki tanımlamalarla pompa devir sayısı istenilen değerden istenilen başka bir değere istenilen sürede çıkartılabilmekte ve tekrar eski konumuna istenilen sürede getirilebilmektedir. Üçgen

şeklindeki taşkın hidrografları kanalı besleyen pompaya bağlı bir hız kontrol cihazı ile kanal girişinde beslemesiz olarak oluşturulmuşlardır.

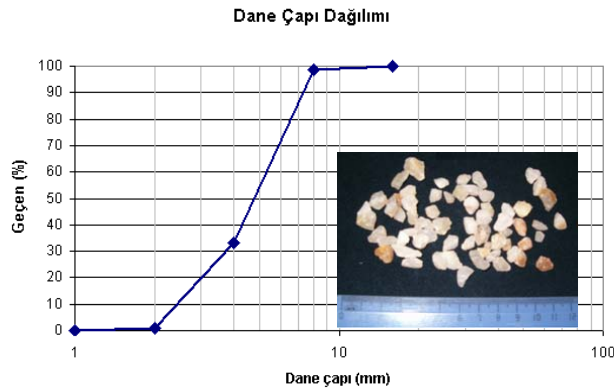
Kanal tabanına 8 cm'lik bir tabaka halinde serilen malzemenin çapı  $D_{50} = 4,8$  mm, standart sapması  $\sigma_g = 1,4$  mm'dir. Elek analizi ile elde edilen dane çapı dağılımı grafiği ve danelerin fotoğrafı Şekil 2'de verilmiştir. Homojenliğin sağlanması için her deney öncesi kanal tabanındaki malzeme karıştırılmış ve taban eğimi 0,005 olarak ayarlanmıştır.

Deney düzeneği kapsamında kullanılan kanaldan taşkın hidrografının geçirilmesi ile harekete geçen ve kanal mansabına kadar taşınan sürüntü maddesi, kanal mansabında bulunan sepetler ile her 15 saniyede bir toplanarak, kurutulmuştur. Daha sonra 10 kg kapasiteli ve 1 gr hassasiyetli tartı ile tartılarak taban malzemesi yükünün zamana bağlı değişimi elde edilmiştir.



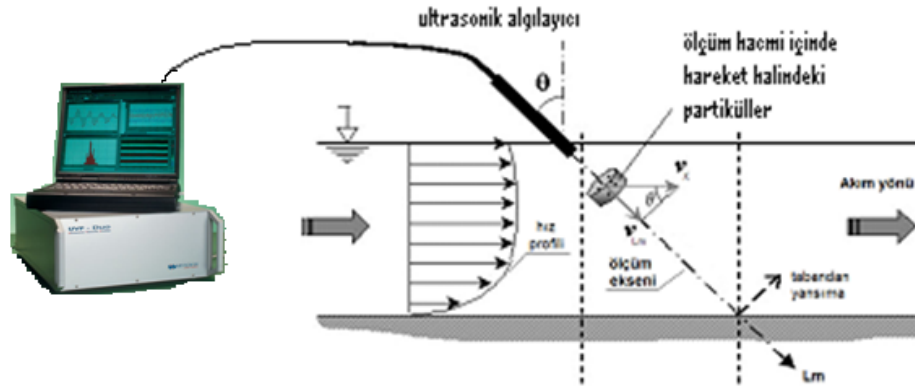
Şekil 1. (a) Deney düzeneğinin genel görünümü, (b) kanal mansabında bulunan sepetler.

Figure 1. (a) The general view of the experimental set-up, (b) the sediment baskets at the downstream of the flume.



Şekil 2. Uniform malzeme dane çapı dağılımı.

Figure 2. Grain size distribution of the uniform sediments.



Şekil 3. UVP'nin çalışma prensibi (Met-flow, 2002).

Figure 3. UVP working principle (Met-flow, 2002).

Her deneyde, taban malzemesi yükünün yanı sıra, hız ve akım derinliği ölçülmüş ve debinin zamanla değişimi belirlenmiştir. Hız ölçümünde Ultrasonic Velocity Profiler (UVP) kullanılmıştır. Ultrasonik yöntemle çalışan UVP (Met-Flow SA), yüksek frekanslı ses dalgalarının su içindeki parçacıklara çarptıktan sonra yansyarak geri dönen ses dalgalarının frekanslarındaki değişimini (Doppler prensibi) kullanarak akım hızını bulmaktadır (Met-flow, 2002). Bu cihaz serbest yüzeyli açık kanalda enkesit içerisinde noktasal hızları ölçüp hız profili çıkartabilmektedir. Cihaz, kendisine bağlanan algılayıcılar (transducerlar) vasıtasıyla hız verilerini elde etmekte ve kullanıcıya ait bir bilgisayara bağlanarak değerleri bilgisayara aktarabilmektedir. UVP'nin çalışma prensibi Şekil 3'de verilmiştir. Ultrasonik yöntem kullanan hız ölçüm cihazlarının ürettiği ses dalgalarının akım içindeki parçacıklara çarpıp geri dönmesi ve cihaz tarafından algılanması gerekmektedir. Akıma parçacık eklemek kullanılan bir yöntem olmakla birlikte, suyu bulanıklaştırması yöntemin dezavantajıdır. Bu çalışmada, sudaki parçacıkları arttırmak amacıyla hidroliz gerçekleştirilmiştir. Ölçüm noktasından 3 m kadar membaya ince bakır tellerden imal edilmiş anod ve katodan oluşan bir düzeneğe kurulmuştur. Düzeneğe doğru akım verilmesi suretiyle hidrojen baloncukları üretilmiştir.

### SÜRÜNTÜ MADDESİ YÜKÜ İLE İLGİLİ AMPİRİK BAĞINTILAR

Sürüntü maddesi taşınımı ile ilgili 1800'ü yılların ikinci yarısından itibaren yapılan önemli çalışmalar ve bu çalışmalar sonucunda elde edilen ampirik eşitlikler aşağıda tarihsel sıra ile verilmiştir.

#### DuBoys Eşitliği (1879)

DuBoys (1879) eşitliği en eski taşınım formüllerinden biridir. Denklem (2) ile verilen eşitliğin çıkartılmasında, danelerin hareketinin dane çapı kalınlığında olan üstüste tabakaların kayması şeklinde olduğunu kabul edilmiştir. Bu tabakaların hızları yüzeyden itibaren doğrusal olarak azalmaktadır (Yang, 1996).

$$g_b = \psi_1 \tau_0 (\tau_0 - \tau_c) \quad (2)$$

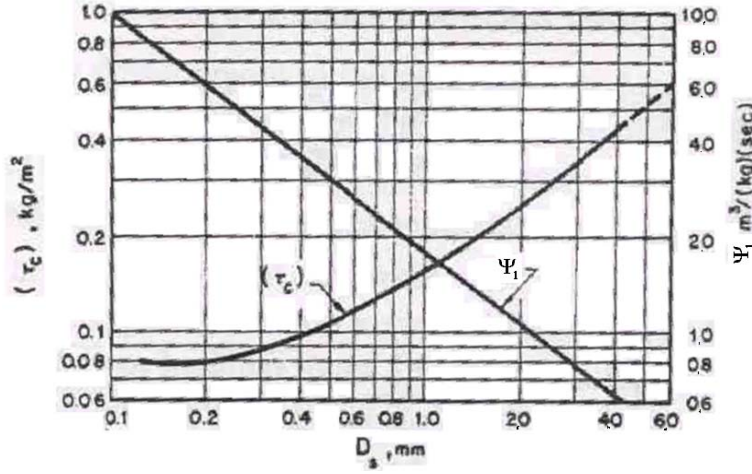
Burada  $\psi_1$  sürüntü maddesi katsayısı ( $m^3/kg/sn$ ),  $\tau_0$  tabandaki kayma gerilmesi,  $\tau_c$  kritik kayma gerilmesidir ( $kg/m^2$ ).  $\psi_1$  ve  $\tau_c$  değerleri çeşitli dane çapları için Şekil 4 yardımıyla bulunabilmektedir. Taban kayma gerilmesi denklem (3) ile hesaplanabilmektedir.

$$\tau_0 = \gamma HS_0 = \rho u_*^2 \quad (3)$$

Burada  $\gamma$  suyun özgül ağırlığı,  $H$  akım derinliği (m),  $S_0$  taban eğimi (m/m),  $\rho$  suyun yoğunluğudur ( $kg/m^3$ ). Kayma hızı,  $u_*$  aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$u_* = \sqrt{gHS_0} \quad (4)$$

Burada  $g$  yerçekimi ivmesidir.



Şekil 4. DuBoys eşitliğindeki sürüntü maddesi katsayısı  $\psi_1$  ve kritik kayma gerilmesi  $\tau_c$  (Simons ve Şentürk, 1992).

Figure 4. The sediment coefficient  $\psi_1$  and critical shear stress  $\tau_c$  in DuBoys equality (Simons and Şentürk, 1992).

#### Schoklitsch Eşitliği

Schoklitsch tarafından 1934 yılında önerilen eşitlik, denklem (5) ile verilmiştir (Yang, 1996).

$$g_b = 7000 \frac{S_0^{3/2}}{d_s^{1/2}} (q - q_c) \quad (5)$$

Burada  $d_s$  ortalama dane çapı,  $q$  birim genişlik debisi ( $m^3/sn/m$ ),  $q_c$ , harekete başlama kritik birim genişlik debisidir ve denklem (6) ile verilmiştir.

$$q_c = \frac{0,01944 d_s}{S_0^{4/3}} \quad (6)$$

Schoklitsch tarafından 1943 yılında ikinci olarak önerilen eşitlik, denklem (7) ile verilmiştir. Sürüntü maddesinin harekete başlama kritik birim genişlik debisi  $q_c$  için denklem (8) önerilmektedir (Graf, 1971).

$$g_b = 2500 S_0^{3/2} (q - q_c) \quad (7)$$

$$q_c = 0,26 \frac{\Delta^{5/3} d_s^{3/2}}{S_0^{7/6}} \quad (8)$$

Burada  $\Delta = (\gamma_s - \gamma)/\gamma$  dir.

#### Shields Eşitliği (1936)

Shields (1936) sürüntü maddesi yükü için denklem (9) ile verilen eşitliği önermiştir (Vanoni, 2006).

$$g_b = 10 \frac{(\tau_0 - \tau_c) q S_0}{\Delta^2 d_s} \quad (9)$$

#### Meyer Peter Eşitliği (1948)

Meyer Peter (1948) dane çapı 3 mm'den büyük daneler için denklem (10) ile verilen eşitliği önermiştir (Vanoni, 2006).

$$g_b = [250 q^{2/3} S_0 - 42,5 d_s]^{3/2} \quad (10)$$

Üniform olmayan malzeme için  $d_s = D_{35}$  alınır.

#### Meyer, Peter ve Müller Eşitliği (1948)

Meyer, Peter ve Müller (1948) denklem (11) ile verilen eşitliği önermiştir (Vanoni, 2006).

$$\gamma \left( \frac{K_s}{K_r} \right)^{3/2} R S_0 = 0,047 (\gamma_s - \gamma) d_s + 0,25 \rho^{1/3} g_b^{2/3} \Delta^{2/3} \quad (11)$$

$$- \gamma) d_s + 0,25 \rho^{1/3} g_b^{2/3} \Delta^{2/3}$$

Burada R hidrolik yarıçap (m) olup  $K_r$  ve  $K_s$  katsayıları şöyle ifade edilebilmektedir.

$$K_r = \frac{26}{D_{90}^{1/6}} \quad (12)$$

$$K_s = 1/n \quad (13)$$

Burada  $n$  Manning pürüzlülük katsayısıdır. Taban kayma gerilmesi  $\tau_0$  denklem (14)'de, kritik kayma gerilmesi  $\tau_c$  denklem (15)'de ve Boşluksuz sürüntü maddesi debisi,  $q_b$  denklem

(16)'da verildiği gibi boyutsuzlaştırılarak da kullanılabilir. (16)

$$\tau_* = \frac{\tau_0}{\gamma \Delta d_s} \quad (14)$$

$$\tau_{*c} = \frac{\tau_c}{\gamma \Delta d_s} \quad (15)$$

$$q_* = \frac{q_b}{\sqrt{\Delta g d_s^3}} \quad (16)$$

Boyutsuz parametreler kullanıldığında denklem (11) aşağıdaki ifadeye dönüşmektedir.

$$q_* = 8 (\tau_* - \tau_{*c})^{3/2} \quad (17)$$

Wong (2003) yaptıkları çalışmalarda Meyer, Peter ve Müller'in kullandıkları verileri tekrar incelemiş ve denklem (18) ve denklem (19) ile verilen bağıntıları önermiştir. Aşağıdaki denklemler için sırasıyla,  $\tau_{*c}=0,047$  ve  $\tau_{*c}=0,0495$  alınması gerektiği belirtilmiştir.

$$q_* = 4,93 (\tau_* - \tau_{*c})^{1,6} \quad (18)$$

$$q_* = 3,97 (\tau_* - \tau_{*c})^{3/2} \quad (19)$$

#### Rottner Eşitliği (1959)

Rottner (1959) denklem (20) ile verilen eşitliği önermiştir (Yang, 1996).

$$g_b = \gamma_s [\Delta g H^3]^{1/2} \times \left[ \frac{V}{[\Delta g H]^{1/2}} \left[ 0,667 \left( \frac{D_{50}}{H} \right)^{2/3} + 0,14 \right] \right]^3 - 0,778 \left( \frac{D_{50}}{H} \right)^{2/3} \quad (20)$$

Burada V akımın ortalama hızıdır (m/s).

#### Ashida ve Michiue Eşitliği (1972)

Ashida and Michiue (1972) denklem (21) ile verdikleri bağıntıda  $\tau_{*c}=0,05$  olarak alınması gerektiğini belirtmişlerdir.

$$q_* = 17 (\tau_* - \tau_{*c}) (\sqrt{\tau_*} - \sqrt{\tau_{*c}}) \quad (21)$$

#### Engelund ve Fredsoe Eşitliği (1976)

Engelund and Fredsoe (1976) denklem (22) ile verdikleri bağıntıda  $\tau_{*c}=0,05$  olarak alınması gerektiğini belirtmişlerdir.

$$q_* = 18,74 (\tau_* - \tau_{*c}) (\sqrt{\tau_*} - 0,7 \sqrt{\tau_{*c}}) \quad (22)$$

#### Fernandez Luque ve Van Beek Eşitliği (1976)

Fernandez Luque and Van Beek (1976) denklem (23) ile verdikleri bağıntıda  $\tau_{*c}=0,037 - 0,0455$  arasında alınabileceğini belirtmişlerdir.

$$q_* = 5,7 (\tau_* - \tau_{*c})^{3/2} \quad (23)$$

#### Einstein (1950) Bağıntısının Uyarlanmış Parker (1979) Eşitliği

Parker (1979), Einstein (1950) tarafından önerilen bağıntıları yorumlamış ve denklem (24) ile verildiği gibi tek bir denklem haline getirmiştir. Bu denklemde  $\tau_{*c}=0,03$  olarak alınması gerektiği belirtilmiştir.

$$q_* = 11,2 (\tau_*)^{1,5} [1 - \tau_{*c}/\tau_*]^{4,5} \quad (24)$$

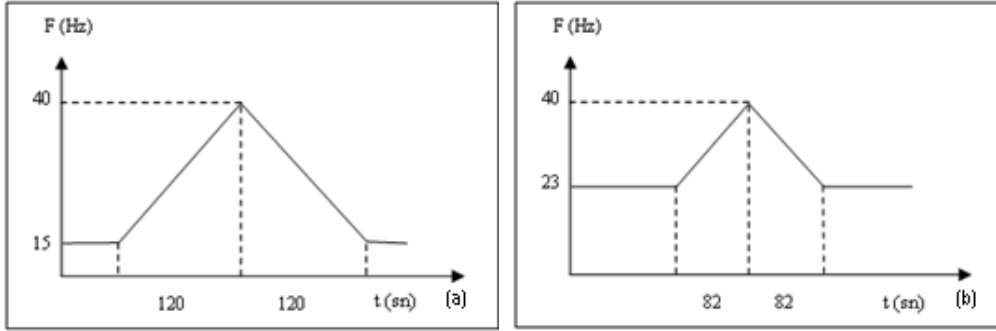
Verilen bağıntılardan da görüleceği gibi sürüntü maddesi taşınımı için verilen eşitlikler başlangıçta taban eğimi, akım derinliği, sürüntü maddesi ve akışkanın özgül ağırlığı gibi birçok değişken ve sabit ile verilirken son dönem çalışmalarda boyutsuz kayma gerilmesi ve boyutsuz kritik kayma gerilmeleri kullanılmıştır.

#### DENEYSEL SONUÇLAR

Kanalı besleyen pompayı kumanda eden cihaza Şekil 5'de verilen zamana bağlı frekans değerleri girilerek iki farklı üçgen hidrograf üretilmiştir.

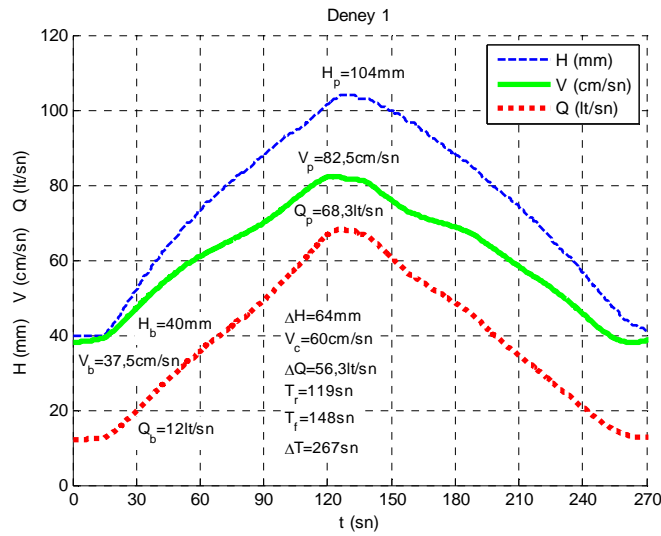
Debi Q, akım derinliği H ve kesitsel ortalama hız V kullanılarak hesaplanmıştır. Deney 1 ve deney 2'de kanal girişinden 11 m uzaklıkta ölçülen H ve V ile hesaplanan Q değerlerinin zamanla değişimi sırasıyla Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir.

Taban akışı ve maksimum akım derinlikleri, sırasıyla  $H_b$  ve  $H_p$ , hidrografın yükselme ve alçalma süreleri, sırasıyla  $T_r$  ve  $T_f$ , taban ve maksimum akım debileri, sırasıyla  $Q_b$  ve  $Q_p$ , taban akışı ve maksimum ortalama kesitsel akım hızları, sırasıyla  $V_b$  ve  $V_p$  olara gösterilmiş ve grafikler üzerinde verilmiştir. Burada kullanılan diğer notasyonlar, aşağıdaki denklemler ile hesaplanabilir.



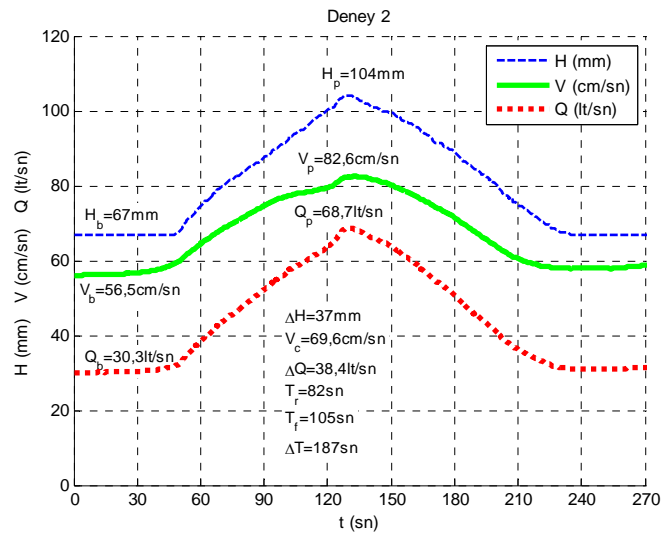
Şekil 5. Hidrograf üretimi için kumanda cihazına verilen frekans değerleri  
(a) Deneysel 1, (b) Deneysel 2.

Figure 5. The input frequency values of control device for hydrograph generation  
(a) Experiment 1, (b) Experiment 2.



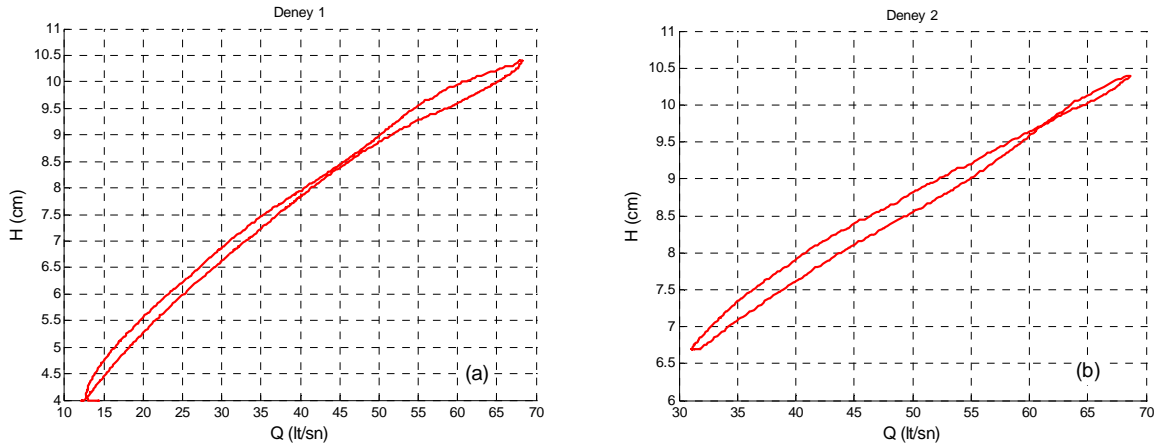
Şekil 6. Deneysel 1’de ölçülen kesitsel ortalama hız, akım derinliği ve debinin zamanla değişimi.

Figure 6. The variation of mean cross sectional velocity, flow depth and flow rate for Experiment 1.



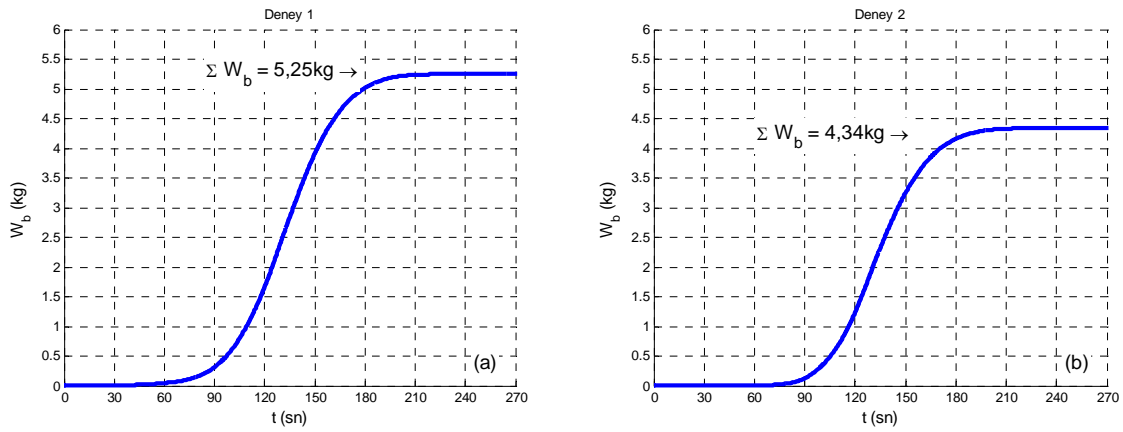
Şekil 7. Deneysel 2’de ölçülen kesitsel ortalama hız, akım derinliği ve debinin zamanla değişimi.

Figure 7. The variation of mean cross sectional velocity, flow depth and flow rate for Experiment 2.



Şekil 8. Akım derinliği ile debi arasındaki ilişki,  $H=f(Q)$  (a) Deneysel 1, (b) Deneysel 2.

Figure 8. The relation between flow depth and flow rate,  $H=f(Q)$  (a) Experiment 1, (b) Experiment 2.



Şekil 9. Sürüntü maddesinin kümülatif grafiği (a) Deneysel 1, (b) Deneysel 2.

Figure 9. Cumulative bed load yield (a) Experiment 1, (b) Experiment 2.

$$\Delta H = H_p - H_b \quad (25)$$

$$\Delta T = T_r + T_f \quad (26)$$

$$\Delta Q = Q_p - Q_b \quad (27)$$

$$V_c = 0.5(V_b + V_p) \quad (28)$$

Şekil 8 akım derinliği ile debi arasındaki  $H = f(Q)$  bağıntısını göstermektedir. Akım parametreleri arasında belirgin bir zamansal gecikme görülmemiştir.

Deneysel pek çok defa tekrarlanmış ve kanal sonunda bulunan sepetlerde elde edilen malzemenin ortalaması alınmıştır. Zaman içinde sepetlerde toplanan sürüntü maddesinin kümülatif grafiği Şekil 9'da verilmiştir. Deneysel 1'de toplam 5,25 kg, deneysel 2'de toplam 4,34 kg malzeme birikmiştir.

## DENEYLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Zamanla değişen akım şartlarında deneysel olarak elde edilen sürüntü maddesi yükü, literatürde zamanla değişmeyen akımlar için verilen ampirik denklemlerden hesaplananlar ile karşılaştırılmıştır.

Sonuçların karşılaştırılmasında kullanılan hata ölçütleri, hata karelerinin ortalamasının karekökü (RMSE) ve ortalama mutlak hata (MAE) olup sırasıyla denklem (29) ve (30)'da verilmiştir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \{g_{bD}(i) - g_{bH}(i)\}^2} \quad (29)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |g_{bD}(i) - g_{bH}(i)| \quad (30)$$

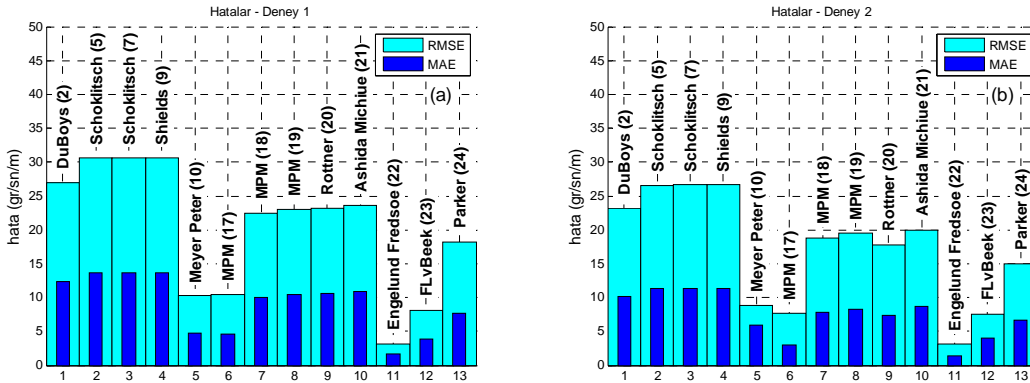


Burada  $g_{bD}$  deneylerde elde edilen sürüntü maddesi yükü,  $g_{bH}$  hesaplanan sürüntü maddesi yükü,  $N$  veri sayısıdır. Deney 1 ve Deney 2 için hesaplanan hatalar, tüm ampirik bağıntılar için Şekil 10'da verilmiştir.

Deneyisel bulguların, konuyla ilgili literatürde yer alan denklemlerden Engelund ve Fredsoe (1976) tarafından verilen ampirik bağıntı ile daha çok uyumlu olduğu görülmüştür. Şekil 11'de deneyisel olarak elde edilen sürüntü maddesi yükü ile Engelund ve Fredsoe (1976) tarafından verilen ampirik bağıntı ile hesaplanan

değerler  $g_b = f(t)$  şeklinde verilmiştir. Şekil 12'de ise karşılaştırma için yatay eksenle ölçülen ve düşey eksenle hesaplanan değerler verilmiştir.

Deneylerde ölçülen sürüntü maddesi ve akım parametreleri ile ilgili boyutsuz parametreler de elde edilmiştir. Boyutsuz kayma gerilmesi  $\tau_*$  ve boyutsuz sürüntü maddesi yükü  $q_*$  arasındaki ilişki Şekil 13'de gösterilmiştir. Hidrografın yükselme ve alçalma bölgelerindeki ilişki birbiri ile uyum içindedir.

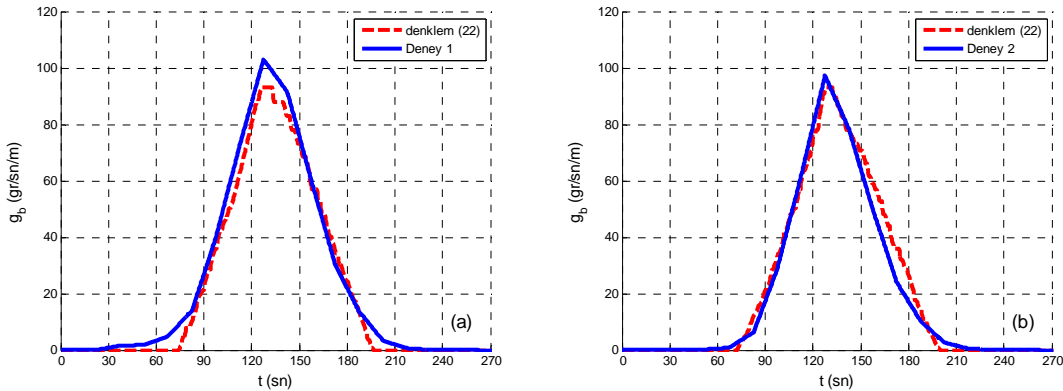


Şekil 10. Deneyisel sonuçlar ile ampirik bağıntılardan hesaplanan değerler arasındaki hatalar

(a) Deney 1, (b) Deney 2.

Figure 10. The error between experimental results and those calculated from the empirical relations

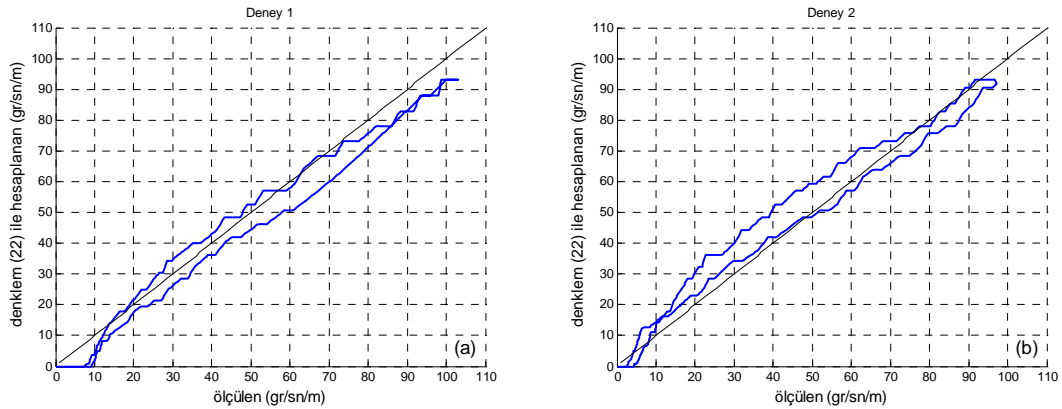
(a) Experiment 1, (b) Experiment 2.



Şekil 11. Deneyisel olarak elde edilen sürüntü maddesi yükü ile Engelund ve Fredsoe (1976) tarafından verilen ampirik bağıntı ile hesaplanan değerler (a) Deney 1, (b) Deney 2.

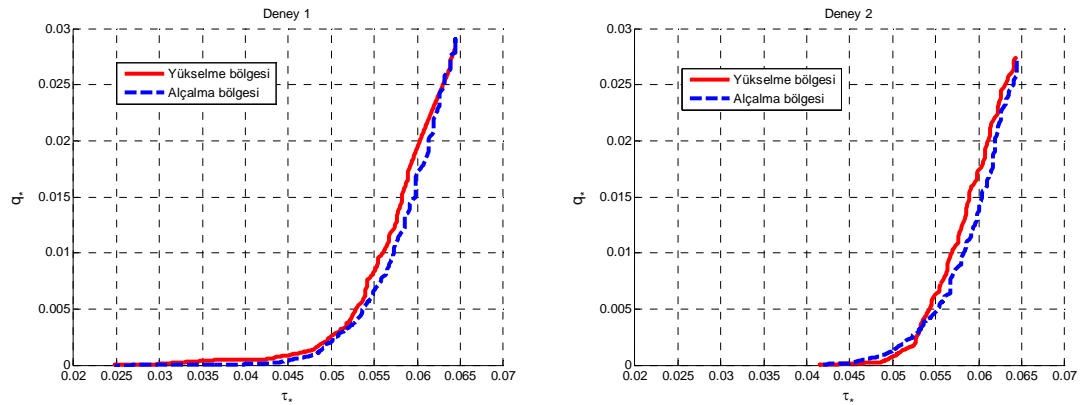
Figure 11. The bed load obtained from sediment baskets and calculated from the equation of Engelund and Fredsoe (1976) (a) Experiment 1, (b) Experiment 2.





**Şekil 12.** Deneysel olarak ölçülen ve Engelund ve Fredsoe (1976) denklemleri ile hesaplanan sürüntü maddesi yükü (a) Deney 1, (b) Deney 2.

*Figure 12.* The measured and calculated bed load by Engelund ve Fredsoe (1976) equation (a) Experiment 1, (b) Experiment 2.



**Şekil 13.** Boyutsuz kayma gerilmesi  $\tau_*$  ve boyutsuz sürüntü maddesi yükü  $q_*$  arasındaki ilişki (a) Deney 1, (b) Deney 2.

*Figure 13.* The relation between the dimensionless shear stress  $\tau_*$  and dimensionless bed load  $q_*$  (a) Experiment 1, (b) Experiment 2.

## SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, DEÜ Hidrolik Laboratuvarında mevcut kanalda zamanla değişen akım rejiminde sürüntü maddesi hareketi incelenmiştir. Deneyler üçgen şeklindeki birçok giriş hidrografı ile gerçekleştirilmiş olmakla beraber, iki farklı giriş hidrografına ait sonuçlar örnek olarak verilmektedir.

Deneyler sırasında UVP ile hız profili elde edilmiş ve entegrasyon yöntemi ile ortalama kesitsel hız hesaplanmıştır. Akım derinlikleri, hız ölçümünün yapıldığı kesitte ölçülmüş ve hız

ile derinlik değerleri kullanılarak debinin zamanla değişimi elde edilmiştir.

Kanal mansabında bulunan sepetlerde toplanan malzeme tartılarak sürüntü maddesi yükü belirlenmiş ve bu değerler literatürde zamanla değişmeyen akımlar için verilen ampirik denklemlerden hesaplananlar ile karşılaştırılmıştır. Literatürde yer alan denklemlerle elde edilen yüklerin deneysel çalışma sonucu elde edilenler ile uyumları farklılık göstermektedir. Bu karşılaştırmada Şekil 10'da verilen hata karelerinin ortalamasının karekökü (RMSE) ve ortalama mutlak hata (MAE) hata ölçütleri kullanılmıştır. Deneysel bulguların, konuyla ilgili literatürde yer alan

denklemlerden Engelund ve Fredsoe (1976) tarafından verilen ampirik bağıntı ile daha çok uyumlu olduğu görülmüştür.

Sürüntü maddesi yükü ve akım parametreleri boyutsuzlaştırılarak aralarındaki ilişki incelenmiştir. Hidrografın yükselme ve alçalma bölgelerindeki değerler birbiri ile uyum içindedir. Hidrografın yükselme ve alçalma bölgelerinde aynı akım şartlarında taşınan sürüntü maddesi yükünün birbirinden çok farklı olmadığı sonucuna varılabilmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 106M274 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiş olup yapılan maddi katkılar nedeniyle TÜBİTAK'a müteşekkirimiz. Bu yayın ilk yazarın doktora tez çalışmasının bir kısmına karşılık gelmekte olup doktora öğrencisi olduğu Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- Ashida, K., Michiue M.** (1972). "Study on hydraulic resistance and bedload transport rate in alluvial streams", Transactions, Japan Society of Civil Engineering, 206, 59-69
- Bombar, G.** (2009). "Experimental and numerical investigation of bed load transport in unsteady flows", Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 152s
- DuBoys, M.P.** (1879). "Le Rhone et les Rivieres a Lit affouillable", Annales de Ponts et Chaussées, 5, Vol. 18, 141-195
- Einstein, H.A.** (1950). "The Bed Load Function for Sediment Transportation in Open Channel Flows", Technical Bulletin no. 1026, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.
- Engelund, F., Fredsoe, J.** (1976). "A sediment transport model for straight alluvial channels", Nordic Hydrology, 7, 293-306.
- Fernandez Luque, R., van Beek, R.** (1976). "Erosion and transport of bedload sediment", Journal of Hydraulic Research, 14(2), 127-144.
- Graf, H.** (1971). "Hydraulics of sediment transport", McGraw-Hill Inc, ISBN 07-023900-2, USA, 513 s
- Met-flow.** (2002). UVP Monitor Model UVP-DUO with Software Version 3, User's Guide
- Meyer Peter, E., Müller, R.** (1948). "Formulas for bed load transport" Report on second meeting of international association for Hydraulics Research, Stockholm, Sweden, 1948, 39-64
- Özbek, T., Özcan, Ç.** (2001). "Akarsularda Katı Madde", TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara, 164 s
- Parker, G.** (1979). "Hydraulic geometry of active gravel rivers", Journal of Hydraulic Engineering, 105(9), 1185-1201.
- Rottner, J.** (1959). "A formula for bed load transportation", La Houille Blanche, vol. 14 no 3, 285-307
- Shields, A.** (1936). "Anwendung der Aenlichkeitsmechanik und der Turbulenzforschung auf die Geschiebebewegung", Mitteilungen der Preussischen Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau, Berlin, Germany, translated to English by W.P.Ott and J.C. van Uchelen, California Institute of Technology, Pasadena, Calif.,
- Simons D. B., Şentürk F.** (1992). "Sediment Transport Technology", Water Resources Publications, ISBN 0-918334-66-7, USA, 897 s
- Vanoni, A.V.** (2006). "Sedimentation Engineering", ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No.54, ASCE, ISBN 0-7844-0823-8, USA, 418 s
- Wong, M.** (2003). "Does the bedload equation of Meyer-Peter and Müller fit its own data", Proceedings, 30th Congress, International Association of Hydraulic Research, Thessaloniki, J.F.K. Competition Volume: 73-80
- Yang, C.T.** (1996). "Sediment Transport", McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering, ISBN 0-07-114882-5, Singapore, 396 s