

Öne Çıkan Sonuçlar:

- Akım şiddetinin artmasıyla, savaklanan sediment debisinin arttığı gözlenmiştir.
- Savak kret yüksekliğinin ve savak açıklığının artmasıyla, savaklanan sediment debisinin azaldığı gözlenmiştir.
- Froude sayısının artmasıyla, savaklanan sediment debisinin arttığı belirlenmiştir.
- Yanal akımın fazla olması, taban morfolojisinin değişimine neden olmuştur.

Yazışma yazarı:

Mustafa TUNÇ,
mtunc@firat.edu.tr

Referans:

Tunç, M., Emiroğlu M. E., (2019), Yan Savak Akımında Sediment Taşınımının Deneysel İncelenmesi, Su Kaynakları, 4, (1), 1-11

Makale Gönderimi : 29 AĞUSTOS 2018
Online Kabul : 4 MART 2019
Online Basım : 25 MART 2019

Yan Savak Akımında Sediment Taşınımının Deneysel İncelenmesi

Mustafa TUNÇ¹ ve Muhammet Emin EMİROĞLU¹

¹Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye

Özet Mevcut çalışmada bir açık kanala yerleştirilen yan savaktan savaklanma durumunda, kohezyonsuz malzemeli bir kanalda meydana gelen sediment taşınımının araştırılması amaçlanmıştır. Mevcut deneysel çalışmada, farklı akım şartlarında kum tabandan itibaren 7, 12 ve 16 cm kret yüksekliğine sahip; 25, 32.5 ve 40 cm açıklığındaki labirent yan savaklar için, hareketli taban oyulması durumunda akım şiddetine bağlı olarak savaklanan sediment debisi ve sediment taşınımı incelenmiştir. Hareketli taban durumunda, kısa sürede taban dalgaları oluşup, taban sürekli olarak hareket halinde olduğundan katı madde taşınımı oldukça yüksek seviyede meydana gelmiş ve savaklanan sediment miktarı akım şiddetinin artışıyla sürekli olarak artmıştır. Ana kanal boyunca, topografyanın ardı ardına tepe ve oyulma oluşturarak değiştiği gözlenmiştir. Ayrıca, bazı kısımlarda kum dalgacıklarının, bazı kısımlarda da eşiklerin oluştuğu gözlenmiştir. Taşınan taban malzemesi debisinin; kret yüksekliğinin azalmasıyla, savak açıklığının artmasıyla ve akım şiddetinin artmasıyla arttığı gözlenmiştir. Çünkü bu durumlarda, yanal akımın arttığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akım şiddeti, Hareketli taban, Sediment taşınımı, Taban malzemesi, Yan savak.

Experimental Investigation of Sediment Transport for Side Weir Flow

Abstract In the present study, it was aimed to investigate the sediment transport in a channel with a cohesion less material in the case of a side wall being installed with an open channel. In the present experimental study, the crest height of 7, 12 and 16 cm from the bed material bottom at different flow conditions; spilled sediment discharge and sediment transport were investigated for the labyrinth side weirs at 25, 32.5 and 40 cm opening lengths. In the case of a movable bed, the bed dunes are formed in a short time and the bed is continuously moving, so the transport of bed material has occurred at a very high level and the amount of spilled sediment has been continuously increased with increasing current intensity. It is seen that along the main channel, the topography is changed by forming a dune and scouring behind it. In addition, it has been observed that in some parts there are sand ripples and in some parts there are dunes. Moving bed material; it was observed that the crest height decreased and the weir opening length and flow intensity increased. The main reason for this is the increase in lateral flow in these experiments.

Keywords: Bed material, Flow intensity, Movable bed, Sediment transport, Side weir.

1. Giriş

Alüvyal bir akarsuda gözlenen oyulma ve birikme olayları, taban malzemesinin yer değiştirmesi sonucu meydana gelmektedir. Tabanda oluşan bu değişimlerin sebebi, akım hızına ve taban malzemesi büyüklüğüne bağlı olarak gerçekleşen sediment taşınımıdır. Sediment taşınımıyla değişen taban şekli, inşa edilen bir hidrolik yapıyla (baraj, tersip bendi, savak gibi) farklılıklar göstermektedir. Kohezyonsuz gevşek malzemeli bir taban için, gerekli kritik değerlere ulaşıncaya tabanda hareket başlamaktadır. Tabanda hareketin başlamasıyla, taneler sürüklenmeye başlarlar. Bu tanelerin bazıları ise tabanın bazı kısımlarında birikme yapılar. Akarsularda karşılaşılan taban şekilleri, akımın hızına bağlı olarak sırasıyla; kum dalgacıkları, eşik, yıkanmış eşik, düz yatak, ters eşik, göller ve düşümler şeklini almaktadır.

Savakların kullanım amaçları; debi ölçmek, enerji sönmek, su almak, akım derinliğini ve su seviyesini düzenlemektir. Bu amaçla savaklar, uzun yıllardır hidrolik mühendisleri tarafından kullanılmakta ve araştırılmaktadırlar. Yanal su almayı sağlamak için kullanılan yan savaklar ise birçok mühendislik projelerinde sıklıkla kullanılmaktadırlar. Yan savaklar; bir kanaldaki su seviyesini azaltmak için veya bir kanaldan su almak için sulama, taşkın koruma, arazi drenajı, kanalizasyon sistemlerinde kullanılabilirler. Yan savaklar, kanalın bir ya da iki yanına bazen de yükleme havuzu gibi yapıların yan tarafına inşa edilebilmektedirler. Sabit tabanlı kanallara inşa edilen yan savaklar ile hareketli tabanlı kanallara (alüvyal kanallara) inşa edilen

yan savakların akım karakteristikleri birbirinden farklılıklar göstermektedir. Taban topografyasında oyulma, birikme, eşik, tepe gibi şekiller oluşmasıyla yan savak performansı da önemli ölçüde etkilenebilmektedir.

Yan savaklar ile meskûn bölgelerdeki birleşik sistem kanalizasyon tesislerinde, ana kollektördeki temiz olduğu kabul edilen fazla yağmur suları alıcı ortama doğrudan verilmektedir. Böylece arıtma tesisinin yükü hafifletilmiş olur. Ayrıca yüzeysel akıştan dolayı oluşacak akım debisinin fazlası, yan savaklar yardımıyla uzaklaştırılmaktadır. Yan savaklar sayesinde, su kayıplarının en aza indirilmesi mümkündür. Yan savaklar; dikdörtgen, üçgen, trapez ve dairesel gibi farklı enkesitlerde imal edilebilmektedirler. Yan savaklar, ana kanalın yanına paralel olarak ya da ana kanal eksenini ile belirli bir açı yapacak şekilde de inşa edilebilmektedirler. Savaklanacak akım debisinin miktarı; yan savak tipine, kanal enkesitine ve yerleştirme açısına bağlıdır.

Literatürdeki labirent yan savakların deşarj kapasiteleri ile ilgili çalışmaların çoğu, sabit tabanlı kanal durumları için gerçekleştirilmiştir. Emiroğlu vd. (2009) üçgen labirent yan savakların debi katsayılarını inceledikleri çalışmalarında; labirent yan savakların debi katsayılarının klasik yan savakların debi katsayısı değerlerinden minimum 1.5 kat, maksimumum 4.5 kat daha fazla olduğunu belirlemişlerdir. Emiroğlu ve Kaya (2011), trapez labirent yan savakların hidrolik karakteristiklerini deneysel olarak araştırmışlardır. Borghesi vd. (2012), çok gözlü üçgen labirent yan savakların deşarj kapasitelerini incelemişlerdir. Emiroğlu vd. (2014), çok gözlü trapez yan savakların deşarj kapasitelerini ve aynı açıklık için tek gözlü ve çok gözlü labirent yan savak kullanmanın avantajlarını tartışmışlardır.

Hareketli tabanlı kanallarda klasik yan savakların ve özellikle de labirent yan savakların, savak bölgesinde oluşan taban geometrisini inceleyen sınırlı sayıda çalışma bulunmasına rağmen, sediment taşınımının incelendiği herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Rosier vd. (2011) dikdörtgen bir kanala yerleştirilen klasik dikdörtgen yan savak bölgesindeki taban şekillerinin geometrisini deneysel olarak incelemişlerdir. Paris vd. (2012) çalışmalarında, taban morfolojisi ile savaklanan debi arasındaki ilişkiyi gösteren deneyler sunulmaktadır. Onen ve Agaccioglu (2013), hareketli tabanlı doğrusal ve 180°'lik kıvrımlı bir kanalda, nehir rejimli akım şartlarını ve serbest savaklanma durumunu göz önünde tutarak, dikdörtgen enkesitli yan savaklarda temiz su oyulması ve hareketli taban oyulması durumlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Emiroğlu vd. (2017), labirent yan savaklarda anti-vorteks levha kullanımının deşarj kapasitesine, oyulma geometrisine ve taban topografyasına etkisini incelemek amacıyla amacıyla bir dizi deney gerçekleştirmişlerdir. Tunç vd. (2017), alüviyal kanallarda labirent yan savaklara yerleştirilen farklı boyutlardaki anti-vorteks levhaların maksimum oyulma derinliğine etkisini araştırmışlardır. Tunç ve Emiroğlu (2018), labirent yan savak akımı için hareketli taban oyulmasını araştırmışlardır.

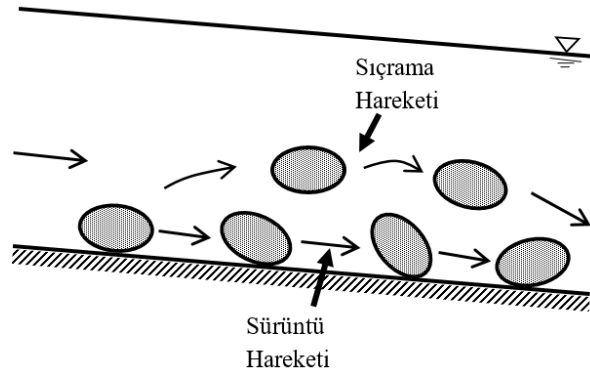
Exner (1925); su ve sediment hareketi için süreklilik denklemlerini birlikte çözerek, yatağın başlangıçta kosinüs eğrisi şeklinde olması halinde, zamanla kum dalgacıklarına benzeyen asimetric şekillerin oluşacağını ispatlamıştır. Bunun nedeni, dalgalı yataktaki tepelerin çukurlara göre daha hızlı ilerlemesidir. Şev eğimi zamanla arttıkça, model gerçekçilikten uzaklaşır. Deneysel çalışmalar sonucunda, laminer akımlarda hareketli tabanda oluşan kum eşiğinin mansap tarafında başka dalgaların oluşmadan zamanla kaybolduğu gözlenirken, türbülanslı akımda eşiğin arkasında da dalgalar oluştuğu görülmüştür (Tison, 1949). Bagnold (1956), ripple oluşumunu kuvvetler dengesine dayandırmıştır. Buna göre; yatak kayma gerilmesi belli bir değeri aşınca yataktan sökülen tane miktarı artar, bunların bir kısmı hareket edemeyip yatağa oturur ve bunların oluşturduğu yığıntılardan kaynaklanan ek direnç yatağı denge durumuna getirir. Liu (1957), yatağın çok viskoz bir akışkan olduğunu kabul ederek dalgaların oluşma nedeninin, yatakla akışkan arasındaki ayırım yüzeyinin stabilitesinin bozulmasına dayalı olduğunu ileri sürmüştür. Ancak, dalgaların oluşmaya başladıkları hızlarda yatak yakınındaki sediment konsantrasyonu çok düşüktür, bu yüzden farklı iki tabaka oluşamaz. Raudkivi (1963)'e göre; yatakta daha hızlı hareket eden tanelerin diğerlerini engellemesi, türbülans çevrileriyle (patlama) sökülen tanelerin bir kısmının yeniden yığılması ve tanelerin üniform olmadığı durumda iri tanelerin harekete geçemeyişi gibi nedenlerle, akarsudaki akım üniform olmaktan uzaklaşır. İlk yığıntı oluşuktan sonra arkasında kalan taneler, kayma gerilmesi ve türbülansın etkisiyle hareket eder, akım yönündeki türbülans etkisi azalınca tekrar yatağa oturur. Dalgacığın tepesine varan taneler, ayrılma bölgesindeki çevriye kapılıp orda kalırlar. Bir kum dalgasının akıma bakan yüzünde akım doğrultusunda türbülans etkisi azalırken, hızın büyümesiyle yatak kayma gerilmesi artar ve bir denge durumuna varılır. Böylece yatak, periyodik yatak şekilleriyle kaplanmış olur. Ölçümler değerlendirildiğinde, dalganın tepesinde kayma gerilmesi değerinin, düzlem tabandaki değerine eşit olduğu gözlenmiştir.

Labirent yan savaklarda sediment taşınımının incelendiği herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Mevcut çalışmada bir açık kanala yerleştirilen yan savaktan savaklanma durumunda, kohezyonsuz malzemeli bir kanalda meydana gelen sediment taşınımının araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla yan savak bölgesinde hareketli taban oluşması durumu için savaklanan sediment debisi ve taban morfolojisi deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amacı gerçekleştirmek için akım şiddeti, savak kret yüksekliği, savak açıklığı, akım derinliği değiştirilerek bir dizi deney gerçekleştirilmiştir.

2. Katı Madde Hareketi

2.1 Giriş

Tabiattaki akarsu yataklarında; kum, çakıl, kaya gibi katı madde taneleri kendi ağırlıkları sayesinde tabanda kalırlar. Su hızının artmasıyla birlikte kayma gerilmesine bağlı olarak, bu tanelerin bazıları tabanda harekete geçerler. Taneler Şekil 1'de gösterildiği gibi sürüntü veya sıçrama hareketi ile ilerlemektedirler. Sıçrama hareketinin pek bir önemi olmadığından, hesaplar sürüntü hareketi dikkate alınarak yapılmaktadır. Akım hızının büyümesi sonucu, tabandaki kayma gerilmesinde büyük artışlar meydana gelir. Taban hareketinde tanenin çökme hızını azaltan türbülans, önemli bir faktördür.



Şekil 1. Tabandaki tane hareketleri (Tunç, 2014).

2.2 Taban hareketinin başlaması

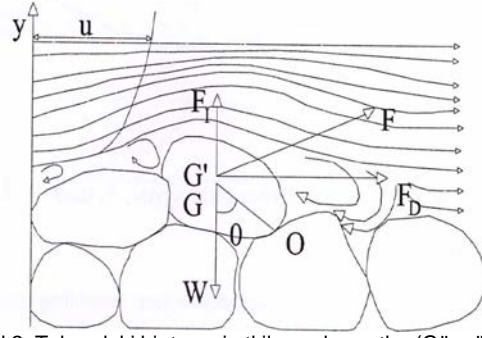
Yoğunluğu sudan daha büyük olan katı maddelerden oluşan bir yatak üzerinden, su akarken bu tanelere kuvvet etki ettirir. Bu etkiyen kuvvetler, hidrodinamik kuvvetlerdir. Eğer bu hidrodinamik kuvvetlerin bileşkesi, taneyi tutmaya çalışan kuvvetlerin bileşkesine eşit bir değere ulaşırsa tane harekete geçme durumuna gelir. Bu duruma "kritik durum" denir. Belli kriterlerde tanelerden oluşturulmuş bir yatak üzerindeki akımın hızı arttırıldıkça, tanelerde hareketlilik gözlenir. Hızın belli bir değerinde de kritik durum oluşmaya başlar. Kritik durumda gözlenen hız da kritik hızı verir. Bu konuyla uğraşan ilk araştırmacılar, kritik hızla tane özellikleri arasında bağıntı kuran formüller geliştirmişlerdir.

Kohezyonsuz tanelerden oluşturulmuş bir tabanın, akımla temas halinde olan üst yüzeyindeki taneye etkiyen kuvvetler Şekil 2'de sunulmaktadır.

1. Ağırlık kuvveti yani tanenin su altındaki ağırlığı (W),
2. Hidrodinamik sürüklenme kuvveti (F_D),
3. Hidrodinamik kaldırma kuvveti (F_L),
4. Bu taneyle temas halindeki diğer tanelerin etkisinden doğan reaksiyon kuvvetleridir (F).

Şekil 2'de görüldüğü üzere taneyi etkileyen dört kuvvet mevcuttur. Bu kuvvetlerden ağırlığın akım doğrultusuna dik bileşeni olan " F "; taneyi yerinde tutmaya çalışırken, kaldırma kuvveti, sürüklenme kuvveti ve ağırlığın akım doğrultusundaki bileşeni ise taneyi harekete geçirmeye çalışırlar. Harekete geçme anında, temas kuvvetlerinin herhangi bir etkisi olmaz. Şimdiye kadar yapılan çalışmalar, bir tanenin harekete geçmesinin şu iki durumla ilişkili olduğunu ortaya koymuştur.

- 1) Bir değme noktasına göre alınan bileşke momentin sıfır olması halinde, tane yuvarlanarak harekete geçer.
- 2) Düşey doğrultudaki bileşke kuvvet sıfır olunca, kritik durum meydana gelir.



Şekil 2. Tabandaki bir taneyi etkileyen kuvvetler (Güngör, 1997).

Tanenin üst tarafındaki suyun basıncı azaldığından dolayı, kaldırma kuvveti (F_I) yukarıya doğru etki etmektedir. F_D sürüklenme kuvveti, viskozite ve sınır tabakasının ayrılmasından dolayı oluşmaktadır. Reynolds sayısı ile orantılıdır. Taban yakınındaki laminar alt tabakanın taneleri tamamen örtmesi durumunda, bu kuvvetin sadece viskoz tesirlerden doğduğu anlaşılır ve bu durumda tanelerin arkasında sınır tabakası ayrılmaz. Reynolds sayısının artışıyla birlikte laminar alt tabaka kalınlığı azaldığından dolayı, tane yakınlarında akım çizgileri yer değiştirmektedir. Böylece tanenin arkasında bir ayrılma bölgesi meydana gelmekte ve taneler bu tabakanın dışına çıkmaktadırlar. Sınır tabakasından ayrılma sonucunda tanenin çevresinde oluşan basınç farkına bağlı olarak, taneyi akım yönünde harekete zorlayan bir kuvvet (sürüklenme kuvveti, F_D) meydana gelmektedir. F_D , yüzeysel direnç (sürtünme) ve biçim direnci (basınç) bileşenlerinden oluşmaktadır. Kaldırma ve sürüklenme kuvvetleri için şu bağıntılar yazılabilir:

$$F_I = C_L \cdot \rho \cdot \frac{u^2}{2} \cdot A \quad (1)$$

$$F_D = C_D \cdot \rho \cdot \frac{u^2}{2} \cdot A \quad (2)$$

burada, C_L = kaldırma katsayısını, C_D = sürüklenme katsayısını, u = tane yakınlarındaki hızı, A = tanenin akıma dik alanını ifade etmektedir. C_L ve C_D ; tanenin geometrisine, Reynolds sayısına ve Froude sayısına göre değişmektedir. Tamamen batmış cisimlerde, Froude sayısının etkisi yoktur.

2.3 Kritik kayma gerilmesi

Kritik kayma gerilmesini etkileyen parametreler aşağıda sunulmaktadır:

- Akışkanın özellikleri (γ , ν),
- Taban malzemesinin özellikleri (d , γ_s),
- Akımın özellikleri (τ_0),
- Yerçekimi ivmesi (g).

Akımı belirleyen büyüklük olarak, taban kayma gerilmesi (τ_0) dikkate alınmıştır. Eğer akımın ortalama hızı dikkate alınsaydı akım derinliğini de dikkate almak gerekirdi. Bu nedenle araştırmacılar da τ_0 'ın kullanılmasını önermişlerdir. Çünkü τ_0 , F_D 'yi doğrudan etkilemektedir. Olayı etkileyen parametreler arasında boyut analizi teoremini uygulanarak, aşağıdaki bağıntı elde edilmiştir.

$$\frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma)d} = f\left(\frac{\sqrt{\tau_0/\rho}}{\nu} d, \frac{\gamma_s}{\gamma}\right) \quad (3)$$

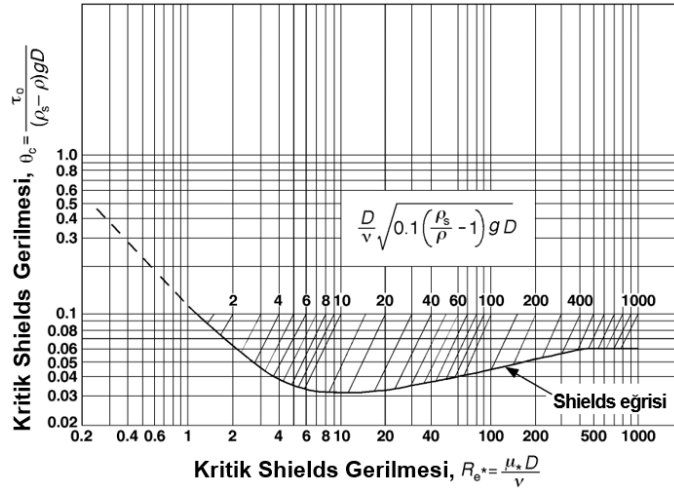
$u_* = \sqrt{\tau_0/\rho}$, $\gamma_s^* = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}$ ifadeleri yerine yazılırsa (4) eşitliği elde edilir.

$$\frac{u_*^2}{\gamma_s^* g d} = f\left(\frac{u_*}{\nu} d, \frac{\gamma_s}{\gamma}\right) \quad (4)$$

$\frac{u_*}{\nu} d$: Kayma gerilmesi hızı üzerine kurulmuş tane Reynolds sayısı (Re^*)

$\frac{u_*^2}{\gamma_s^* g d}$: Kayma gerilmesi hızı üzerine kurulmuş tane Froude sayısının karesidir (F_1^{*2})

Yapılan analizler sonucunda, " γ_s/γ " parametresinin olayda önemli bir etkisi olmadığı görülmüştür. Shields, " F_1^* " ve " Re^* " sayılarının kritik değerleri arasında bir bağıntı vermiştir. Bu bağıntı deneyler sonucunda elde edilmiş ve Şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 3. Shields Diyagramı (Shields, 1936).

Shields eğrisinin altındaki bölgede taban hareketsiz, üstündeki bölgede ise taban hareketlidir. Shields eğrisi; laminer bölge, geçiş bölgesi, türbülanslı bölge olmak üzere üç bölgeden oluşmaktadır. Shields eğrisinin sol tarafı akımın laminer olduğu bölgedir, burada “ F_1^{2*} ” ve “ $1/Re$ ” bulunmaktadır. Laminer bölgede kritik kayma gerilmesi hızı; “ u_{kr}^{2*} ”, “ γ_s ”, “ g ” ve “ ν ” parametrelerine bağlıdır, tane çapından (d) bağımsızdır. Tane, laminer alt tabakada tamamen gömülü kaldığı sürece kayma gerilmesi, taban yüzeyini bir bütün olarak almaktadır. Laminer akımlarda cidar pürüzlülüğünün akım üzerinde herhangi bir etkisi yoktur, ancak türbülanslı akımda $Re^* > 1000$ için viskozitenin etkisinin kalmadığı ve tam türbülanslı bölgede kritik durum için “ F_1^{2*} ” değerinin 0.06 olarak sabit kaldığı görülmektedir.

Özellikleri belli olan bir taban malzemesini harekete geçirecek olan kritik gerilme değeri, Shields eğrisinden deneme yanılma yoluyla bulunabilir. Ancak Shields eğrisini daha kullanışlı hale getirirsek, deneme yanılma yapmaktan kurtulabiliriz. Bunun için, “ $F_1^{2*} = f (Re^2 / F_1^{2*})$ ” bağıntısı kurulur. “ $F_1^{2*} / F_1^{2*} = \gamma_s g d^3 / \nu^2 = d^{3*}$ ” eşitliğinde, akımla ilgili bir büyüklük yoktur. Böylece “ γ_s ” ve “ d ” gibi değerleri belli olan tanelerden yapılmış bir tabanın, bu özelliklere dayanarak “ u_{kr}^{2*} ” değeri doğrudan okunabilir. Shields eğrisini kullanarak belirli akım şartlarında harekete geçecek taban malzemesinin çapı bulunurken, aynı zamanda harekete geçmeyecek olan taban malzemesinin de çapı belirlenebilir. Bu özellik, sulama ve kurutma kanallarında malzeme seçiminde oldukça fayda sağlar. Shields eğrisinde, iri taneler için (5) eşitliği kullanılmaktadır.

$$\frac{\tau_{kr}}{(\rho_s - \rho)d} = \frac{\gamma R S}{(\gamma_s - \gamma)d} \cong 0.06 \quad (5)$$

burada, R = hidrolik yarıçapı, S = taban eğimini ifade etmektedir.

2.4 Kritik hız

Tabandaki tanelerin harekete geçmesi, taban kayma gerilmesine bağlıdır. Pratikte çoğu zaman kayma gerilmesi yerine, akımın ortalama hızını kullanmak daha kolaydır. Kritik kayma gerilmesinin bulunmasında, günümüzde en çok kullanılan yöntem Shields eğrisidir. Ancak kritik kayma hızının deneme yanılma ile bulunması, hem zor hem de türbülanslı akım için mümkün değildir. Bu yüzden, bazı araştırmacılar kritik hız (V_{kr}) için farklı formüller bulmuşlardır. Suyun koloidal madde içermesi durumunda ve akım derinliğinin fazla olması halinde daha yüksek hızlara çıkılabileceği görülmüştür. Eski kanallar koloidal madde biriktirdiği için, daha yüksek hızlara elverişli olabilir. Kıvrımlı kanallarda ise, hızı %5-22 arasında azaltmak uygun olmaktadır. Özellikle iri taneli tabanlarda kanal genişliği, hız dağılımını dolayısıyla kritik hızı da etkilemektedir. Kanal genişliği arttıkça kritik hız azalmaktadır.

2.5 Hareketli tabanda oluşan şekiller ve dalgalar

Kohezyonsuz gevşek malzemeli bir tabanda taban koşulları, hareket için gerekli olan kritik değerlere ulaştığında tabanda hareket başlar. Taban hareketiyle birlikte tabandan ayrılan taneler, taban boyunca depolanarak sürüklenirler. Akarsuda katı madde taşınımı, kaynağına göre taban ve yüzey erozyonu olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Taban erozyonu, iri tanelerin tabandan sökülmesiyle oluşmaktadır. Sürüntü ve askı maddesinin ana kaynağı taban erozyonudur. Yüzey erozyonu ise, ince tanelerin yüzeyden sökülmesi sonucu meydana gelir. Taban şekillerinin oluşumu şu şekilde özetlenebilir;

- Hızlı hareket eden tanelerin yavaş hareket eden taneleri engelleyerek daha da yavaşlatması,
- Türbülansın etkisiyle tabandan sökülme tanelerin bir miktarının ortalama akım hızıyla taşınmadıkları için yeniden birikmeleri,
- Taban üniform tanelerden oluşmadığında iri tanelerin harekete geçemeyişi, taban şekillerini meydana getirmektedir.

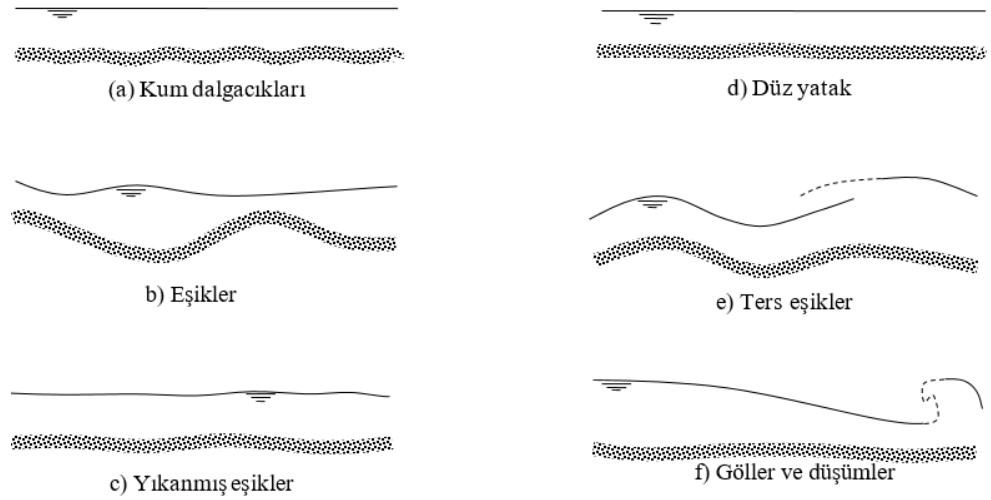
Hareketli tabanlı akarsularda, aşağıda verilen iki nedenden dolayı taban şekillerinin bilinmesi gerekmektedir.

- Akarsuyun taban şekli sürüntü madde hareketinin stokastik yapısını yansıttığından dolayı, sürüntü madde miktarını ölçerken kullanılan yöntem taban şekline uygun olmalıdır.
- Taban şekli taban pürüzlülüğünü etkiler, dolayısıyla debi ve su derinliğini de etkiler, bu nedenle su derinliğinin önemli olduğu düzenlemelerde (ulaşım vb.) taban şekilleri dikkate alınır.

Akarsularda karşılaşılan taban şekilleri şunlardır:

- Kum dalgacıkları
- Eşikler
- Yıkanmış eşikler
- Düz yatak
- Ters eşikler
- Göller ve düşümler

Yukarıda verilen taban şekillerindeki sıra, akımın hızına bağlı olan değişikliğe göre yapılmıştır. Yani hızı az olan akımlarda kum dalgacıkları oluşurken hızın artışıyla birlikte taban sırasıyla; eşik, yıkanmış eşik, düz yatak, ters eşik, göl ve düşüm şeklini alır. Tabanın alabileceği çeşitli şekillerin tamamı Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Hareketli tabanda akımın hızına bağlı olarak oluşan şekiller (Tunç, 2014).

2.6 Katı Madde Taşınımında Dengenin Bozulması

Akarsu tabanında meydana gelecek değişimlere örnek olarak, baraj (ya da benzer bir yapı) yapımıyla ortaya çıkan olaylar verilebilir. Bir barajın yapılmasıyla birlikte, akarsu tabanında değişiklikler meydana gelebilir. Barajın biriktirme haznesine giren akımın hızının azalmasıyla birlikte, taşıdığı tanelerin büyük bir kısmını biriktirir ve zamanla haznenin dolmasına neden olur. Bu biriktirme olayı, kabarma eğrisinin bittiği yere kadar devam eder. Diğer taraftan, barajın mansabından gelen katı madde miktarı taşıma kapasitesinden az olacağından dolayı, akarsu tabanını oyar.

Bu olaya başka bir örnek verecek olursak, köprü ayaklarında meydana gelen taban hareketini inceleyebiliriz. Köprü ayakları etrafında oluşan yüksek hıza sahip bölgede, taşınan malzeme miktarı gelen malzeme miktarından fazla olacağından burada da oyulma gözlenir. Oyulma devam ettikçe hız azalır, belli bir süreden sonra oyulma durur ve asimptotik olarak kararlı bir duruma ulaşılır.

Hem oyulma hem de yığılma olayları, kararlı bir kesit şeklini alacak şekilde devam eder. Bir kesitte mambadan gelen malzemenin, akımın taşıma kapasitesinden fazla olması durumunda, tabanda yığılma meydana geleceği belirtilmişti. Tabandaki yığılma önce iri tanelerin yığılmasıyla başlar, bunların tabandan ayrılmasıyla taban yakınındaki hız artar ve askı halinde taşınan malzemenin ortalama çapı azaldığı için askı debisi de artar. Böylece taşınan madde miktarının artmasıyla birlikte, denge durumuna yaklaşılar. Öte yandan mambadan gelen malzemenin, akımın taşıma kapasitesinden az olması halinde ise, önce tabandaki ince taneler oyulacağından iri taneler tabanda kalır. Ayrıca, tabanda dalgaların oluşması da akımın taşıma kapasitesinin azalmasına neden olur. Böylece gerek oyulma, gerekse yığılma halinde bazı ikinci derecede etkenler, denge durumuna ulaşılmasını hızlandırır (Tunç, 2014).

3. Deneysel Çalışma

Mevcut deneysel çalışma Şekil 5'te planı ve kesitleri sunulan deney setinde gerçekleştirilmiştir. Ana kanalın memba ve mansap uçlarına eşikler yerleştirilmiştir. İki eşik arasında $d_{50}=1.16$ mm olan kuvars kum yerleştirilmiştir. Memba eşiginden önce ve mansap eşiginden sonra, eşige

belirlenmiştir. Laboratuvarda yapılan deneylerle kuvars kumun yaş özgül ağırlığı 26.49 kN/m^3 , kuru özgül ağırlığı ise 26 kN/m^3 olarak belirlenmiştir. Deney bittikten sonra, vana yavaşça kapatılarak tabanda oluşan topografyanın bozulmaması için 0.20 m 'lik ilave bir eşik doğrusal kanalın mansabındaki eşiğin üzerine tekrar yerleştirilmiş ve bu sayede suyun kanaldan yavaşça tahliyesi sağlanmıştır. Bütün bu işlemlerden sonra dijital limnimetre yardımıyla taban topografyası belirlenmiştir.

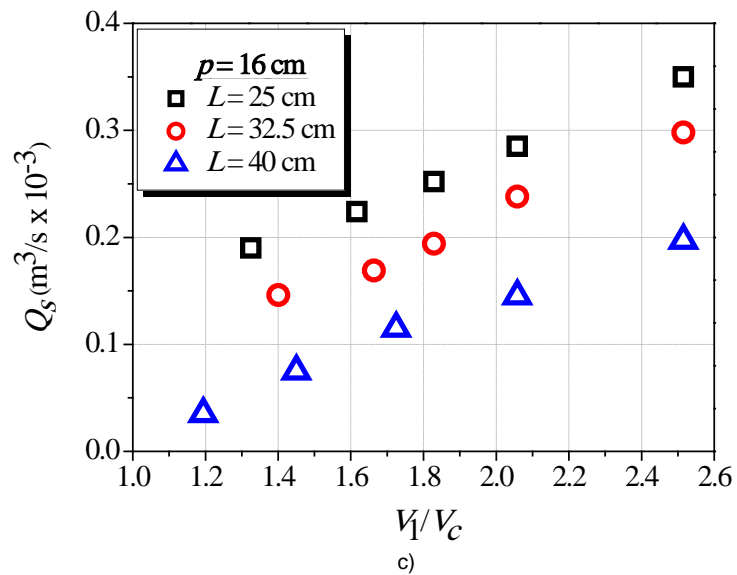
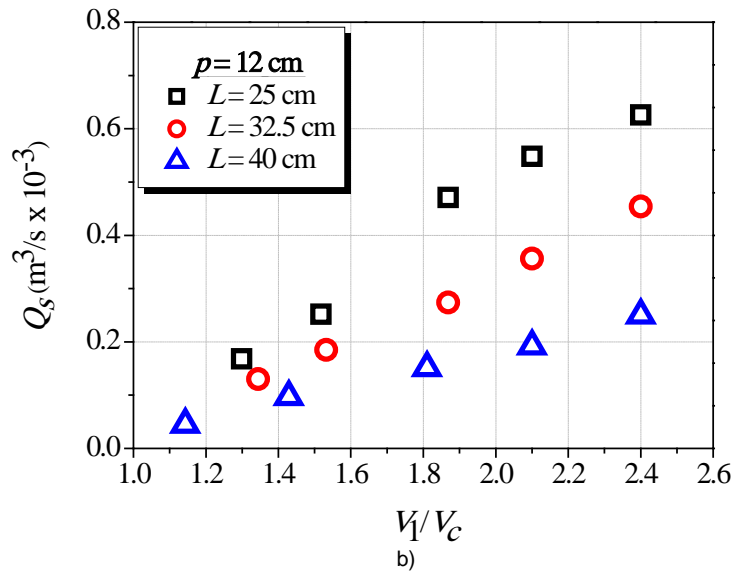
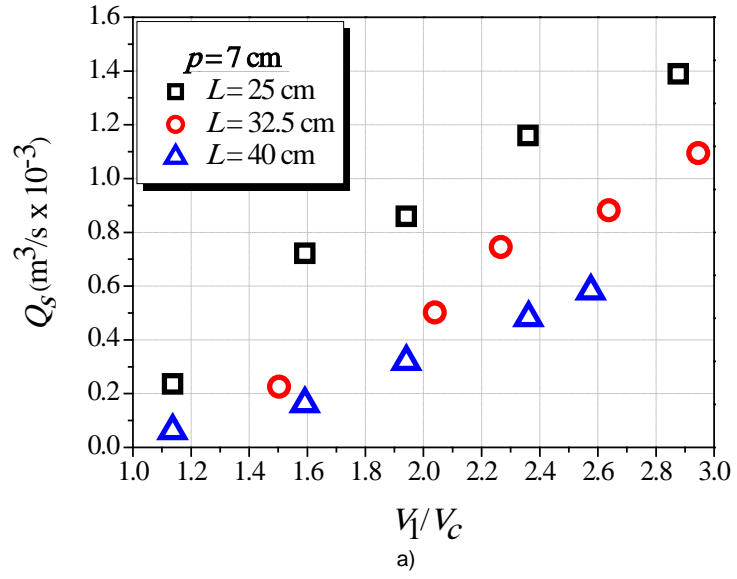
4. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deneysel çalışmada, farklı akım şartlarında kum tabandan itibaren $p=7, 12$ ve 16 cm kret yüksekliğine sahip $L=25, 32.5$ ve 40 cm açıklığındaki yan savaklar için, hareketli taban oyulması durumunda ($V_1/V_{kr} > 1.0$) kanal taban topografyasında meydana gelen değişimler incelenmiştir. Şekil 6a'da sediment taşınımının maximum olduğu, Şekil 6b'de ise sediment taşınımının minimum olduğu resimler sunulmuştur. Şekil 6 incelendiğinde maximum sediment taşınımının, en düşük kret yüksekliğine ($p=7 \text{ cm}$) ve en düşük savak açıklığına ($L=25 \text{ cm}$) sahip yan savakta gerçekleştiği görülmektedir. Minimum sediment taşınımının ise, en yüksek kret yüksekliğine ($p=16 \text{ cm}$) ve en yüksek savak açıklığına ($L=40 \text{ cm}$) sahip yan savakta gerçekleştiği görülmektedir. Ana kanal tabanında farklı boyutlarda kum dalgacıkları oluşumu gözlenmiştir.



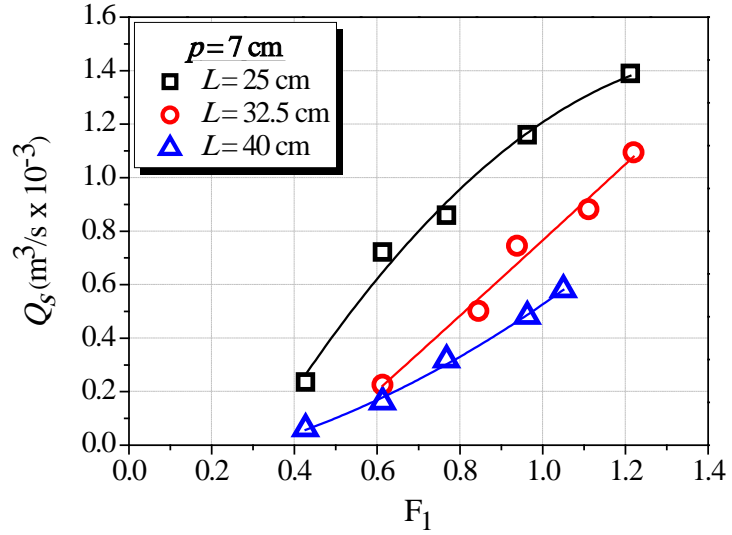
Şekil 6. İlgili deneylerden alınan resimler: a) $p=7 \text{ cm}$ ve $L=25 \text{ cm}$, b) $p=16 \text{ cm}$ ve $L=40 \text{ cm}$.

Şekil 7 incelendiğinde, akım şiddetinin (V_1/V_{kr}) artmasıyla savaklanan sediment debisinin (Q_s) arttığı gözlenmiştir. Q_s 'in maksimum olduğu deney; $p=7 \text{ cm}$, $L=25 \text{ cm}$ ve $V_1/V_{kr} \approx 2.9$ için yapılan deneydir. Q_s 'in minimum olduğu deney ise; $p=16 \text{ cm}$, $L=40 \text{ cm}$ ve $V_1/V_{kr} \approx 1.2$ için yapılan deneydir. Buradan anlaşıldığı üzere; savak kret yüksekliği ve yan savak açıklığı arttıkça, savaklanan sediment debisi azalmaktadır.

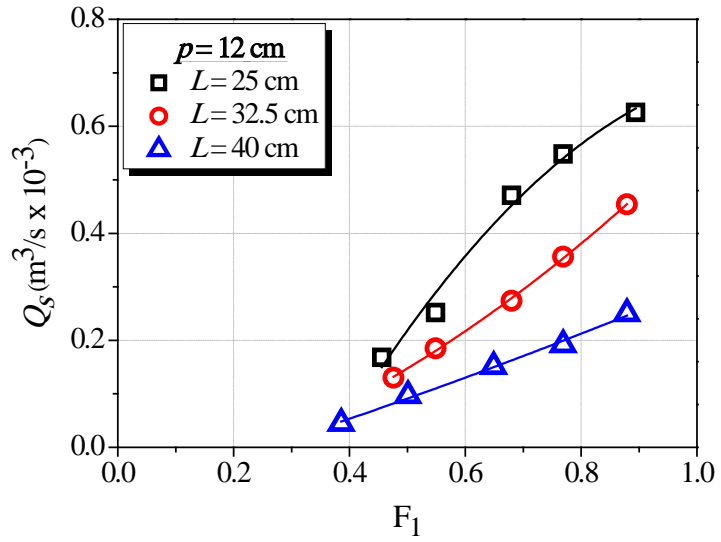


Şekil 7: Farklı savak açıklıkları için V_1/V_{cr} ile Q_s 'in değişimi: a) $p=7$ cm, b) $p=12$ cm, c) $p=16$ cm.

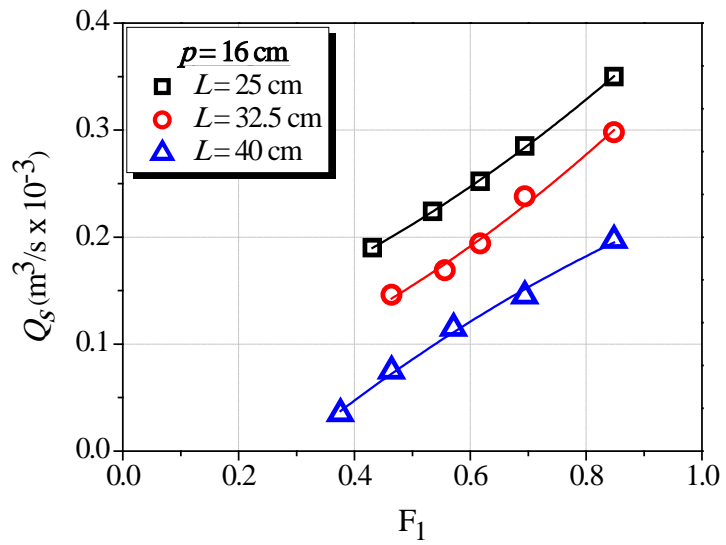
Şekil 8 incelendiğinde aynı şekilde, p ve L 'nin artmasıyla Q_s 'in azaldığı gözlenmektedir. Ayrıca Q_s 'in Froude sayısı (F_1) ile değişimi incelenmiştir. F_1 'in artmasıyla Q_s 'in arttığı gözlemlenmiştir.



a)



b)



c)

Şekil 8. Farklı savak açıklıkları için F_1 ile Q_s 'in değişimi: a) $p=7$ cm, b) $p=12$ cm, c) $p=16$ cm.

5. Sonuçlar

- Akım şiddetinin (V_1/V_{kr}) artmasıyla, savaklanan sediment debisinin (Q_s) arttığı gözlenmiştir.
- Savak kret yüksekliğinin (p) ve savak açıklığının (L) artmasıyla, savaklanan sediment debisinin (Q_s) azaldığı gözlenmiştir.
- Froude sayısının (F_1) artmasıyla, savaklanan sediment debisinin (Q_s) arttığı belirlenmiştir.
- Akım şiddetinin (V_1/V_{kr}), 1.0 ile 1.5 arasındaki değerleri için genellikle, tabanda kum dalgacıklarının oluşumu gözlenirken, 1.5 ile 2.5 arasındaki değerlerde daha çok eşiklerin oluştuğu gözlenmiştir.
- Kanal tabanının dalgacık formundan eşik formuna geçişte, taban pürüzlülüğünün değişmesiyle oyulma derinliklerinde saçılımlar görülmüştür.
- Yanal akımın fazla olması, taban morfolojisinin değişimine neden olmuştur. Dolayısıyla minimum açıklıklı ve minimum kret yükseklikli yan savaklarda maksimum sediment taşınımı olduğu için, taban morfolojisinde en yüksek değişim bu şartlar altında gözlenmiştir.

NOT: Bu çalışma, 22-24 Mart 2018 tarihlerinde Bursa'da gerçekleştirilen Uluslararası Su ve Çevre Kongresi'nde sunulmuştur.

6. Kaynaklar

- Bagnold, R.A., 1956. The flow of cohesion less grains in liquids, Phil. Trans., Royal Society of London, Vol. 249.
- Borghei, S. M., Nekooie, M. A., Sadeghian, H., and Ghazizadeh, M. R. J. (2012). "Triangular labyrinth side weirs with one and two cycles." *Proceedings of the ICE-Water Management*, 166(1), 27-42.
- Emiroglu, M. E., Kaya, N., and Agaccioglu, H. (2009). "Discharge capacity of labyrinth side weir located on a straight channel." *Journal of irrigation and drainage engineering*, 136(1), 37-46.
- Emiroglu, M. E., and Kaya, N. (2011). "Discharge coefficient for trapezoidal labyrinth side weir in subcritical flow." *Water resources management*, 25(3), 1037-1058.
- Emin Emiroglu, M., Cihan Aydin, M., and Kaya, N. (2014). "Discharge Characteristics of a Trapezoidal Labyrinth Side Weir with One and Two Cycles in Subcritical Flow." *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 140(5).
- Emiroglu, M. E., Gogus, M., Tunc, M., and Islamoglu, K. (2017). "Effects of Antivortex Structures Installed on Trapezoidal Labyrinth Side Weirs on Discharge Capacity and Scouring." *Journal of Irrigation and Drainage (ASCE)*, 143(4).
- Exner, F. M., 1925. Über die Wechselwirkung zwischen Wasser und Geschiebe in Flüssen, Sitz. Akad. Wiss, Wien, 134A.
- Güngör, M., 1997. Akarsu kıvrımlarına yerleştirilen köprü kenar ayakları etrafında meydana gelen yerel oyulma derinliğinin araştırılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Liu, H.K., 1957. Mechanics of sediment ripple formation, *Jour. Hyd. Div., ASCE*.
- Melville, B. W. and Chiew, Y. M., 1999. Time scale for local scour at bridge piers, *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 125(1), 59-65.
- Novak P. and Cabelka J., 1981. *Models in Hydraulic Engineering*, Pitman Publishing Limited, London.
- Onen, F., and Agaccioglu, H. (2013). "Live bed scour at a side weir section located on an alluvial channel." *Irrigation and Drainage*, 62(4), 488-500.
- Önen, F., 2005. Hareketli tabanlı akarsularda yanal akımın hidrodinamiğinin incelenmesi, Doktora tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 174s.
- Paris, E., Solari, L., and Bechi, G. (2012). "Applicability of the De Marchi hypothesis for side weir flow in the case of movable beds." *Journal of Hydraulic Engineering*, 138(7), 653-656.
- Raudkivi, A.J., 1963. Study of sediment ripple formation, *Jour. Hyd. Div., ASCE*.
- Rosier, B., Boillat, J. L., and Schleiss, A. J. (2011). "Influence of lateral water withdrawal on bed form geometry in a channel." *Journal of Hydraulic Engineering*, 137(12), 1668-1675.
- Shields, A., 1936. *Adwendung der Aehnlichkeitsmechanik und Turbulenz Forshung Auf Die Geschiebewegung*, Berlin.
- Tison, L.J., 1949. Origine des Ondes de sable et des bancs de Sable sous L'Action des Courants, 3rd Meeting of IAHR.
- Tunç, M. (2014). Hareketli Tabanlı Akarsularda Labirent Yan Savaklardaki Akımın Hidrodinamiğinin İncelenmesi, Fırat Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Tunç, M., Emiroğlu, M.E., Doğan, Y., Kaya, N., (2017). The Effect of Anti-vortex Plates on Scouring at Labyrinth Side Weirs. 8 th International Advanced Technologies Symposium, (),3826-3833.
- Tunç, M., and Emiroğlu, M. E. (2018). Investigation of Live-Bed Scour at Labyrinth Side Weirs. *Fırat University Turkish Journal of Science & Technology*, 13(1), 129-136.