



**Araştırma Makalesi / Research Article**

**DETERMINATION OF SCOUR DEPTHS AROUND SIDE-WEIR ON AN ALLUVIAL RIVERS**

**Fevzi ÖNEN\***, Hayrullah AĞAÇCIOĞLU

*Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yıldız-İSTANBUL*

**Geliş/Received: 30.03.2005 Kabul/Accepted: 28.11.2005**

---

**ABSTRACT**

An experimental investigation of the local depth of scour around side-weirs located on an alluvial river is presented in this paper. The reduction in velocities and shear stresses causes the development of the stagnation and reverse flow at the downstream end of the side-weir in the main channel. The changes in shear stress are found to be responsible a scour hole forms between the longitudinal bar adjacent to main channel and outer bank at the downstream end of the side-weir. The depth of clear-water scour approaches asymptotically to equilibrium with time depending on the flow intensity. It is also found that the equilibrium depth of scour depends on the dimensionless parameters of flow intensity, flow shallowness, weir crest height and side-weir length. Although when the flow intensity is less than 0.45 there is no scour, scour equilibrium depth increases almost linearly with the ratio of flow intensity and the maximum value of scour occurs at depth when the flow intensity is equal to 1.0. Flow intensity also increases when other dimensionless parameters increase.

**Keywords:** Alluvial bed, clear-water scour, secondary circulation, side-weir and threshold velocity.

**HAREKETLİ TABANLI AKARSULARDA YAN SAVAK CİVARINDAKİ OYULMA DERİNLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

**ÖZET**

Bu çalışmada, alüvyal akarsulara yerleştirilen yan savak bölgesinde oluşan yerel oyulma derinlikleri deneysel olarak incelenmiştir. Yanal savaklanmadan dolayı hız ve kayma gerilmelerindeki azalma yan savağın mansabında durgunluk bölgesi ve ters akımın oluşmasına neden olmaktadır. Kayma gerilmesindeki değişimlerden dolayı yan savağın mansap bölgesinde ana kanal ekseni civarında boyuna bar ve bu bar ile dış kıyı arasında bir oyulma çukuru oluşmaktadır. Temiz su oyulması halinde akım şiddetine bağlı olarak oyulma derinliği zamanla lineer olarak artmakta ve belli bir süre sonra asimptotik olarak devam etmektedir. Ayrıca rölatif denge oyulma derinliğinin; akım şiddeti, savak yükü, tane büyüklüğü ve yan savak uzunluğu boyutsuzlarına bağlı olduğu tespit edilmiştir. Akım şiddeti 0.45'ten küçük olduğunda herhangi bir yerel oyulma görülmemiştir. Akım şiddetine bağlı olarak rölatif denge oyulma derinliğinin hemen hemen lineer arttığı ve 1.0 değerinde maksimum denge oyulma derinliğine ulaştığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda diğer boyutsuzların artmasıyla da  $H_d/p$  artmaktadır.

**Anahtar Sözcükler:** Alüvyal taban, temiz su oyulması, sekonder akım, yan savak ve kritik hız.

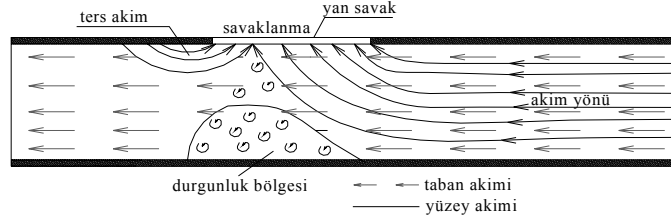
---

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Autor: e-mail/e-ileti: fonen@yildiz.edu.tr, tel: (0412) 248 84 03



## Determination of Scour Depths Around ...

uzunluğu sabit tutulursa,  $Q_w/Q_1$  oranı (savaklanma oranı) arttıkça sekonder akımın gücünün arttığını belirtmiştir.



Şekil 2. Yan savak boyunca durgunluk bölgesi ve ters akım [4]

Neary ve Odgaard [7],  $\theta=90^\circ$  lik bir açık kanal ayırımında üç boyutlu akım yapısını; deneysel olarak incelemişler ve akarsu kıvrımlarındaki akım yapısına benzer karakteristikler gösterdiğini belirtmişlerdir. Üç boyutlu akımın davranışının ana kanal pürüzlülüğüne ve yanal akım hızının ana kanal hızının oranına (savaklanma oranı) bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar, ana kanaldan ayırım kanalına giren akımın önemli bir momentuma sahip olmasından dolayı ayrılma bölgesinin oluştuğunu; ayrılma bölgesinde hız, eddy ve döngülerin küçük olduğunu; yüzeydeki ayrılma bölgesinin tabandakinden daha küçük olduğunu ve taban yakınındaki hız vektörlerinin yönünün yüzeydekilere göre daha fazla saptığını belirtmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar, akım çizgilerinin derinlik boyunca değişim gösterdiğini ve yüzeydekine oranla tabanda daha geniş bir bölgeyi kapladığını ifade etmişlerdir. Yüksek momentumdan dolayı yüzeydeki akım, ana akım yönünde hareketini sürdürürken tabandaki yavaş hareketli akımın ayırım kanalına yöneldiğini ve ana kanalda katı madde taşınımı olması durumunda tabanda büyük bir katı madde yığılmasının oluşacağını belirtmişlerdir.

Fares [8-9], kıvrımlı bir kanalda yanal savaklanma durumunda sınır kayma gerilmesinin karakteristik değişimini incelemiştir. Ayrıca kıvrımlı Allam Water nehrinin yan savak (yargın) kesitinde taban topoğrafyasındaki değişimleri incelemiş ve buna uygun idealleştirilmiş rijit tabanlı bir model geliştirerek sınır kayma gerilmesiyle ilgili detaylı çalışmalar yapmıştır. Bu model çalışmasında hem matematiksel hem de deneysel yaklaşımlar kullanılmıştır. Sonuçlardan elde edilen analizler; kayma gerilmesindeki sürekli azalmanın kıvrımın yan savak bölgesinde olduğunu göstermiştir. Düşük savaklanma olması halinde kayma gerilmesindeki maksimum azalmanın %37, yüksek savaklanma halinde ise %82 olduğunu tespit etmiştir. Bu azalmanın, yan savak bölgesindeki kuvvetli yanal akımdan kaynaklanan ayrılma bölgesi ve durgunluk bölgesinin gelişimine bağlı olduğu belirtilmiştir.

Araştırmacı, cut-off kesitinde yanal savaklanmadan dolayı taban topoğrafyasında belirgin değişimler gözlemiş ve bu değişimleri aşağıdaki gibi sıralamıştır (Şekil 3).

1.) Yanal savaklanmadan dolayı kıvrımın yarattığı sekonder akım ve su yüzü eğimi değişime uğramaktadır. Yanal akımın yarattığı sekonder akımın şiddetine bağlı olarak hız ve kayma gerilme dağılımında değişiklikler olmakta ve doğal olarak bu değişimler yanal akımın bulunduğu kesitte taban topoğrafyasında bozulmalara yol açmaktadır.

2.) Kıvrımın yarattığı düşey yönlü sekonder akım yapısı yanal savaklanmanın şiddetine bağlı olarak tamamiyle bozulmaktadır. Kıvrımlı kanalın dış kıyısında hız ve kayma gerilmelerinde önemli azalmalar olmaktadır.

3.) Kıvrımdaki yanal savaklanma bölgesindeki durgunluk ve ayrılma bölgesi, akımın hız profillerindeki değişimlerin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır.

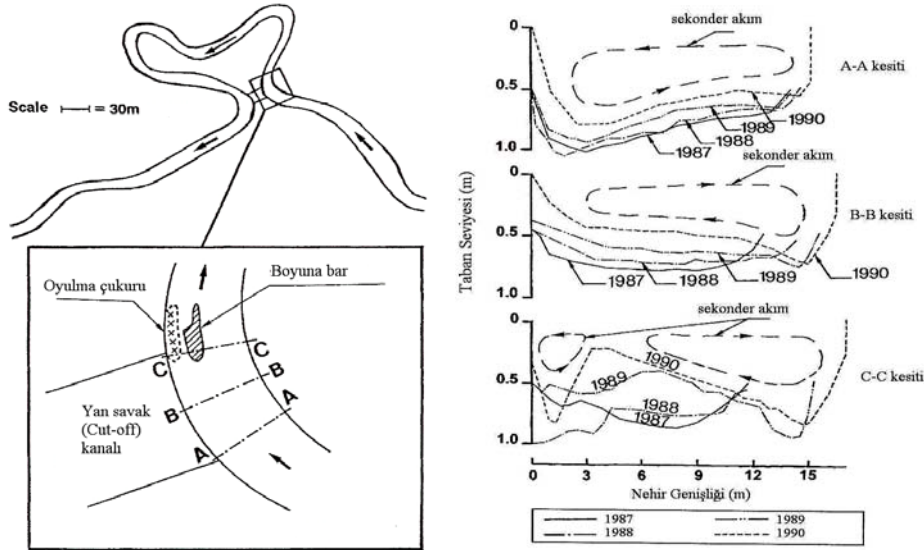
4.) Kayma gerilmelerindeki değişimlerin sonucunda yan savağın (cut-off) mansabında kanal genişliğinin %40'ı kadar bir mesafede boyuna bir bar oluşmakta (Talveg çizgisi kıvrımın iç kıyısına doğru kaymakta) ve mansap kesitinde tam yan savağın önünde bir oyulma çukuru

oluşmaktadır. Boyuna bar ve oyulma çukuru, savaklanma oranı,  $Q_w/Q_1$  ve rölatif savak yükü,  $h_1/p^2$ 'e bağlıdır.

## 1.2. Hidrolik Yapılar Etrafındaki Yerel Oyulmalar

Akım içerisine yerleştirilen köprü ayakları, mahmuzlar ve yan savaklar gibi hidrolik yapılar etrafında yerel oyulmalar olmaktadır. Bu yapılar etrafında meydana gelen yerel oyulmalar bu yapıların temellerinin zayıflamasına ve daha sonra yıkılmasına sebep olmaktadır. Oyulma olayı akarsulardaki taban malzemesinin özelliklerine, temel geometrisine ve akımın özelliklerine bağlı olarak gelişmektedir [10].

Hareketli tabanlı bir akarsu, taşıdığı debi ve katı madde miktarına uygun bir denge konumuna ulaşır. Böyle bir akarsuyun tabanı hareketli olmakla birlikte taban seviyesinde bir değişme olmaz. Yani, gelen malzeme miktarındaki değişmeler, akarsuyun tabanında kısa süreli değişmelere neden olmakla birlikte, neticede gelen malzeme miktarı ile taşıma kapasitesinin eşit olacağı bir denge durumu oluşur. Bu şekilde oluşan dengeye "Dinamik denge" adı verilir. Dinamik dengenin en büyük özelliği, katı madde hareketinin kararlı karakterde oluşudur. Halbuki, oyulma ve yığılma olayı için artık kararlı bir karakterden söz edilemez. Akarsuda taşınan katı madde miktarında yerel bir değişiklik olursa, tabanda da bir değişim meydana gelir. Bu değişim, oyulma veya yığılma şeklinde kendini gösterir.



Şekil 3. Allen Water'daki yan savak bölgesindeki taban profilleri [9]

Akım içerisine yerleştirilen köprü ayağı, mahmuzlar ve benzeri yapıların bulunduğu daraltılmış kesitlerde türbülans şiddetinin artması, katı madde taşınımı ve bu ikisinin karşılıklı etkileşimi sonucunda, akarsuyun yerel katı madde taşıma kapasitesi artar, bunun sonucunda da yerel oyulma başlar. Daha sonra oyulma çukurunun geometrisi sürekli olarak değişir. Oyulma çukuruna gelen katı madde miktarı, giden katı madde miktarına eşit olunca denge oluşur. Bu durumdaki oyulma derinliğine "maksimum denge oyulma derinliği" denilmektedir.

Akım içerisine yerleştirilen köprü ayağı ve benzeri engelden dolayı, akım alanında bazı önemli değişiklikler olur. Bu değişimler şöyle sıralanabilir:

- Engelden dolayı akım çizgilerinde meydana gelen sapmalar ve bunun neticesinde de

## *Determination of Scour Depths Around ...*

ayak etrafındaki hız ve basınç alanındaki önemli değişiklikler,

- Ayak etrafında sınır tabakasının oluşması, hız ve basınç alanındaki değişikliklerin sonucunda sınır tabakasından ayrılmalar,

- Sınır tabakasından bu ayrılmaların neticesinde ayak etrafında çeşitli biçim ve büyüklükte vortekslerin oluşması ve sekonder hareketler [11].

Bir çok araştırmacıya göre, hidrolik yapılar etrafındaki oyulma derinliği yaklaşan akım şiddetine bağlıdır. Melville ve Chiew [12], akım hızının kritik hızdan küçük ( $V < V_{kr}$ ) olması durumunda temiz su oyulması, akım hızının kritik hızdan büyük ( $V > V_{kr}$ ) olması durumunda ise hareketli taban oyulması meydana geldiğini ve bu hızların birbirine eşit ( $V = V_{kr}$ ) olmaları durumunda ise maksimum denge oyulma derinliğinin oluştuğunu belirtmişlerdir.

Temiz su oyulması halinde yerel oyulma derinliği akım şiddetine bağlı olarak hemen hemen lineer artmakta ve kritik hız değerinde ( $V = V_{kr}$ ) maksimum değere ulaşmaktadır. Hız değerinin kritik hızdan büyük olması durumunda (hareketli taban oyulması) tabanda hareket başladığından oyulma derinliği pik değer etrafında periyodik olarak salınım göstermektedir.

Temiz su oyulması aynı zamanda zamana bağlıdır. Oyulma derinliğinin dengeye ulaşma süresi, akımın taşıma kapasitesine ve taban malzemesinin direncine de bağlıdır. Melville ve Chiew [12], arazi çalışmalarındaki gözlemlerle deneysel çalışmalardaki ölçümler arasındaki farklılıklardan dolayı zaman faktörünün önemli olduğunu belirtmişlerdir. Yanmaz ve Altınbilek [13], temiz su oyulması ile ilgili yaptıkları deneysel çalışmalarda uzun süreli deney yapmanın zorluklarından dolayı deney sürelerini altı saatle sınırlandırmışlardır. Ayrıca araştırmacılar, denge zamanının %33 ve %67'lik kısımlarında denge oyulma derinliklerinin %87 ve %95'lik kısmına ulaşıldığını belirtmişlerdir. Ayrıca Melville ve Chiew [12], birbirini takip eden 24 saatlik bir zaman diliminde oyulma derinliklerindeki artış ayak çapının %5'ini geçmez ise bu süreyi denge oyulma süresi olarak alınamadığını ifade etmişlerdir.

Melville ve Chiew [12], viskoz etkileri ihmal ederek boyut analizi sonucunda boyutsuz maksimum denge oyulma derinliğine etki eden boyutsuz parametreleri,

$$H_d/D = f(V/V_{kr}, h/D, d_{50}/D, t/t_e) \quad (2)$$

olarak elde etmişlerdir. Burada,  $t$ , zaman,  $t_e$ , oyulmanın dengeye ulaşma zamanı,  $H_d$ , dengeye ulaşma zamanında maksimum denge oyulma derinliği,  $D$ , ayak çapı,  $h$ , akım derinliği,  $d_{50}$ , medyan çaptır.  $V/V_{kr}$ , rölatif hız (akım şiddeti),  $h/D$ , boyutsuz akım derinliği,  $d_{50}/D$ , boyutsuz katı madde büyüklüğü olarak ifade edilmiştir. Ayrıca araştırmacılar, akım şiddetine bağlı olarak  $H/H_d$ 'nin  $t/t_e$  ile değişimini incelemişlerdir. Analizlerinde, akım hızına bağlı olarak denge zamanının %0.1 ile %10'lik kısımlarında denge oyulma derinliğinin %50'lik kısmına ulaşıldığını ve benzer şekilde denge zamanının %5 ve %40'lik kısımlarında denge oyulma derinliğinin %80 civarında olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca denge zamanı 3 gün (72 saat) olan bir deney 4 saat sonunda durdurulursa denge oyulma derinliğinin yaklaşık %50 ile %80'lik kısmına ulaşıldığını belirtmişlerdir.

## **2. DENEYSEL ÇALIŞMA VE DEĞERLENDİRME**

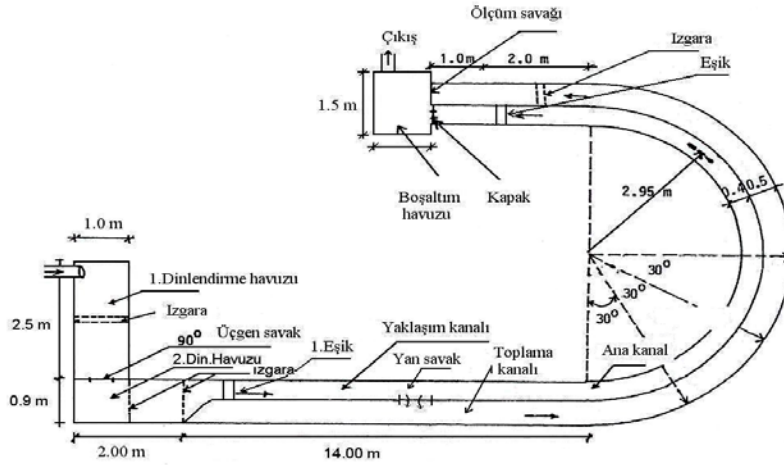
Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik ve Kıyı Liman Laboratuvarında mevcut 14 m'lik doğrusal yaklaşım kanalı, 180°'lik 2.95 m eksen eğrilik yarıçapına sahip 90 cm genişliğinde kıvrımlı kanal ve kıvrımdan sonra 3 m'lik doğrusal mansap kanalında gerçekleştirilmiştir. Kanal saç levhalarla 40 ve 50 cm genişliklerde olmak üzere iki kısma ayrılmıştır. Ayırma duvarının yüksekliği 55 cm'dir. 40 cm genişliğe sahip kısım ana kanal olup, buradan 50 cm genişliğindeki sağanak kanalına savaklanma yapılmıştır. Deneyler, doğrusal kanalda  $L=25$ , 40 ve 50 cm uzunluklu ve kum tabandan itibaren  $p=7$ , 12 ve 17 cm kret yükseklikli dikdörtgen yan savaklar için yapılmıştır. Yan savaklar doğrusal kanalın orta kısmına yerleştirilmiştir (Şekil 4). Ana kanalın memba ve mansap uçlarına 20 cm yüksekliğinde iki eşik yerleştirilmiş ve aralarına 20 cm yüksekliğinde,  $d_{50}=1.15$  mm (tane medyan çapı) ve  $\sigma_g=1.74$

(taban malzeme dağılımının geometrik standart sapması) olan kuvars kumu serilmiştir. Ayrıca membadaki eşikten 1 m kadar geride iki sıra delikli tuğla yerleştirilerek akımın doğrusal kanala çalkantısız ulaşması sağlanmıştır. Her deneyden önce, tabakalaşmayı önlemek için kum karıştırılmış ve kanal tabanı düzlenmiştir. Deney başlangıcında tabandaki kumun bozulmaması için membadaki vana yavaşça açılarak gerekli akım şartları sağlanmıştır. Deneyler temiz su oyulması için yapıldığından kanalın membasından katı madde ilavesi yapılmamıştır. Ana kanal taban eğimi % 0.1'dir. Ana kanal genişliği sabit tutulmuştur. Ana kanaldaki akım derinliği kanalın mansap ucuna yerleştirilen radyal seviye ayar kapağı ile değiştirilmiştir. Deneyler nehir rejimli akım şartlarında ve serbest savaklanma hali için gerçekleştirilmiştir. Yan savak nap kalınlığı olarak, yan savak membasında ana kanal eksenindeki su derinliğine göre elde edilen nap kalınlığı dikkate alınmıştır. Kanalı besleyen dinlendirme havuzunun sonunda bulunan üçgen ölçüm savağı ( $90^\circ V$ ) ile ana kanal debisi belirlenmiş, yan savaktan savaklanan akım, sağanak kanalının sonuna yerleştirilen diğer bir üçgen ölçüm savağı ( $90^\circ V$ ) ile tayin edilmiştir. Yan savağın mansabındaki debi  $Q_2=Q_1-Q_w$  denkleminde bulunmuştur ( $Q_1$ , ana kanal debisi,  $Q_w$ , savaklanan debi). Seviye ölçümleri (oyulma ve su derinlikleri) için raylar üzerinde hareket eden arabaya monte edilmiş  $\pm 0,1$  mm hasasiyetli limnometre kullanılmıştır. Temiz su oyulması halinde deneyler, 720 dakikaya kadar yapılmıştır. Doğrusal kanalda yapılan deneylerdeki akım şartları Çizelge 1'de özetlenmiştir.

Tabandaki malzemenin hareket başlangıcındaki kritik hızı ( $V_{kr}$ ), su derinliğine bağlı olarak pilot deneylerle tayin edilmiş ve buna ait denklem aşağıda verilmiştir. ( $h_1$ , yan savak membasında ana kanal eksenindeki su derinliği).

$$V_{kr}=0,1556\log(4809h_1)$$

(3)



Şekil 4. Deney Kanalı

### 3. SONUÇLAR ve TARTIŞMALAR

#### 3.1. Oyulma Derinliği H'nin t (zaman) ile Değişimi

Bu çalışmada ilk olarak, farklı akım şartlarında ( $V_1/V_{kr}$ ) oyulma derinliği H'nin t ile değişimi incelenmiştir. Temiz su oyulması için ana kanaldaki hız, tabanda hareketin başlangıç hızı olan  $V_{kr}$ 'den küçük seçilmiş ve deney süresi 720 dakika tutulmuştur. Deneyler  $V_1/V_{kr}=0.45-1.0$  aralığında gerçekleştirilmiş ve her bir deney oyulma derinliğinin sifıra yaklaştığı zamana kadar sürdürülmüştür (12 saat). Şekil 5 ve Şekil 6'da sırasıyla boyutsuz yan savak uzunluğu  $L/b=0.625$  ve boyutsuz tane büyüklükleri ( $d_{50}/p=0.0096$  ve  $d_{50}/p=0.016$ ) için temiz su oyulması halinde farklı

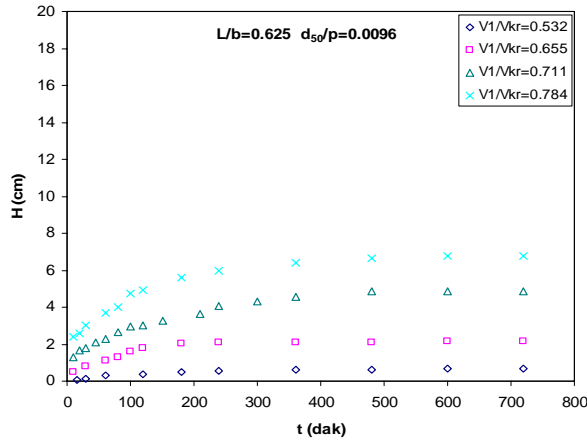
## Determination of Scour Depths Around ...

akım şartlarında ( $V_1/V_{kr}$ ) oyulma derinliğinin zamanla değişimi görülmektedir. Oyulma derinliği olarak, yan savağın mansabında ters akım bölgesinde oluşan maksimum oyulma derinliği dikkate alınmıştır. Şekillerden de görüldüğü gibi başlangıçta oyulma derinliği zamanla hızlı bir şekilde artmakta ve daha sonra zamana bağlı olarak asimptotik olarak devam etmekte ve nihai durumda değişim sıfıra yaklaşmaktadır. Böylece oyulma derinliği dengeye ulaşmaktadır. Dengeye ulaşma süresi boyutsuz akım şiddeti ( $V_1/V_{kr}$ ) ve boyutsuz tane büyüklüğüne ( $d_{50}/p$ ) bağlıdır. Akımın şiddeti arttığında oyulma derinliğinin dengeye ulaşma süresi de artmaktadır. Diğer taraftan aynı akım şartlarında  $d_{50}/p=0.0096$  için dengeye ulaşma süresi diğerinden daha uzun olmaktadır. Yani büyük kret yükseklikli yan savaklarda dengeye daha erken ulaşılmaktadır.

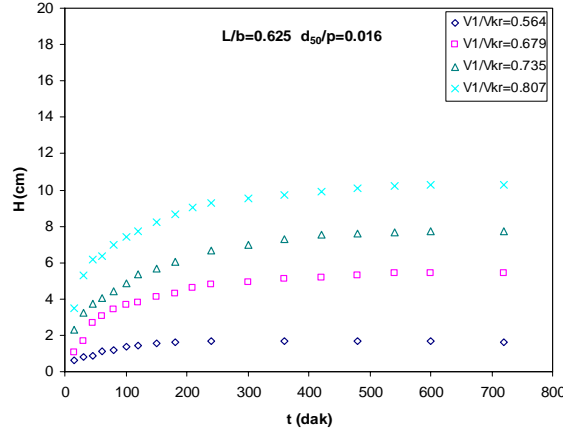
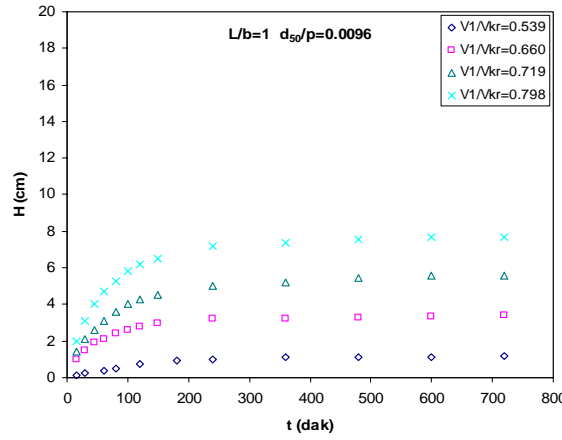
**Çizelge 1.** Doğrusal kanalda kullanılan dokuz farklı yan savak için akım şartları

p (cm)	L (cm)	$h_1$ (cm)	$h_1/p$	$d_{50}/p$	L/b	$V_1$ (m/s)	$V_{kr}$ (m/s)	$V_1/V_{kr}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
7	25	12-20	1.71-2.86	0.016	0.625	0.2-0.46	0.43-0.47	0.46-1.0
12	25	19-27	1.58-2.25	0.0096	0.625	0.22-0.49	0.46-0.49	0.47-1.0
17	25	27-33	1.59-1.94	0.0068	0.625	0.3-0.48	0.49-0.5	0.6-1.0
7	40	14-20	2.0-2.86	0.016	1.0	0.22-0.47	0.44-0.47	0.5-1.0
12	40	19-27	1.58-2.25	0.0096	1.0	0.23-0.48	0.46-0.49	0.5-1.0
17	40	24-29	1.41-1.71	0.0068	1.0	0.26-0.48	0.48-0.50	0.55-1.0
7	50	12-18	1.71-2.57	0.016	1.25	0.21-0.46	0.43-0.46	0.49-1.0
12	50	17-24	1.42-2.0	0.0096	1.25	0.21-0.48	0.46-0.48	0.5-1.0
17	50	24-28	1.41-1.65	0.0068	1.25	0.27-0.47	0.48-0.49	0.58-1.0

Şekil 7'de  $L/b=1$  ve  $d_{50}/p=0.0096$  için temiz su oyulması halinde farklı akım şartlarında oyulma derinliğinin zamanla değişimi gösterilmiştir. Bu şekilde Şekil 5 birlikte incelendiğinde boyutsuz yan savak uzunluğunun ( $L/b$ ) artmasıyla oyulma derinliğinin arttığı görülmektedir. Daha önce de bahsedildiği gibi yan savak uzunluğunun artmasıyla daha fazla savaklanma olmakta ve bu da yanal akımdan dolayı oluşan sekonder akımın daha da şiddetlenmesine yol açmakta ve yan savak bölgesinde daha fazla oyulmanın meydana gelmesine sebep olmaktadır.



**Şekil 5.**  $L/b=0.625$  ve  $d_{50}/p=0.0096$  için  $H$ 'nin  $t$  ile değişimi

Şekil 6. L/b=0.625 ve  $d_{50}/p=0.016$  için H'nin t ile değişimiŞekil 7. L/b=1 ve  $d_{50}/p=0.0096$  için H'nin t ile değişimi

### 3.2. Boyut Analizi

Hareketli tabanlı doğrusal bir kanalda yan savağın mansap kısmında meydana gelen oyulma olayına etki eden değişkenler sırasıyla şunlardır; yan savak membasında ana kanal eksenindeki ortalama hız  $V_1$ , tabandaki malzemeyi hareket ettirecek kritik hız  $V_{kr}$ , yan savak membasında ana kanal eksenindeki su derinliği  $h_1$ , akışkanın özgül kütlesi  $\rho$ , taban malzemesinin özgül kütlesi  $\rho_s$ , akışkanın kinematik viskozitesi  $\nu$ , yan savak uzunluğu  $L$ , yan savak eşik yüksekliği  $p$ , ana kanal genişliği  $b$ , taban malzemesinin medyan çapı  $d_{50}$ , yerçekimi ivmesi  $g$ , yüzey gerilmesi  $\sigma$ , kanal taban eğimi  $J_0$ , zaman  $t$  ve dengeye ulaşma zamanı  $t_e$ . Rölatif katı madde özgül kütlesi ve taban eğimi sabit olduğundan, viskoz etkiler ve yüzeyel gerilme ihmal edilirse denge oyulma derinliğine etki eden boyutsuzlar aşağıdaki şekilde bulunur.

$$H_d/p = f(V_1/V_{kr}, h_1/p, L/b, d_{50}/p, t/t_e) \quad (4)$$

Burada,  $V_1/V_{kr}$ , akım şiddeti,  $h_1/p$ , akım sıklığı (rölatif savak yükü),  $L/b$ , yan savak uzunluğu,  $d_{50}/p$ , rölatif tane çapıdır.

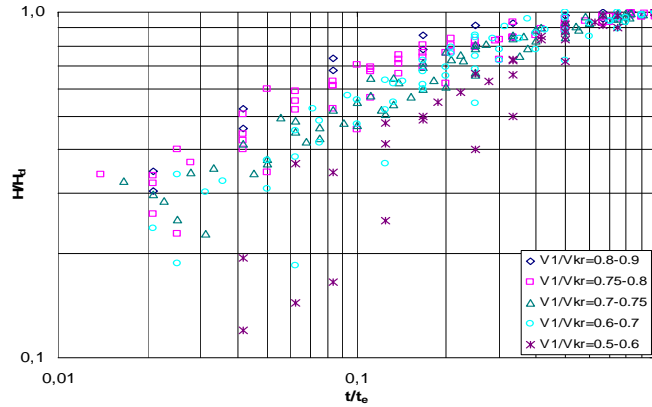


## Determination of Scour Depths Around ...

Temiz su oyulması halinde farklı akım şartlarında  $H/H_d-t/t_e$  değişimi; tüm  $d_{50}/p$  ve  $L/b$  boyutsuzları için elde edilen veriler kullanılarak logaritmik formda elde edilmiş ve Şekil 8'de birarada verilmiştir. Şekil 8'de görüldüğü gibi bütün eğriler (1,1) noktasından geçmekte, eğriler rölatif hız ( $V_1/V_{kr}$ ) ve oyulma derinliklerinin artmasıyla (veya zamanın azalması) artmaktadır. Şekil 8'deki veriler aşağıdaki denklem ile iyi bir şekilde ifade edilebilir.

$$\frac{H}{H_d} = \exp \left\{ -0.06 \left| \frac{V_{kr}}{V_1} \ln \left( \frac{t}{t_e} \right) \right|^{1.95} \right\} \quad R^2 = 0.926 \quad (5)$$

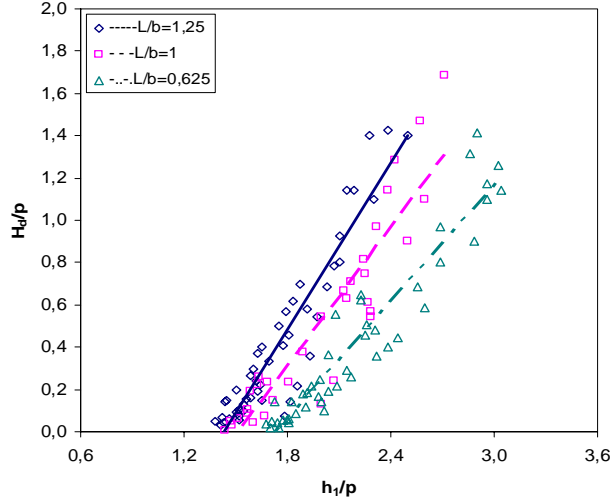
Bu denklemin korelasyon katsayısı  $R=0,965$  olarak bulunmuştur. Şekil 8 incelendiğinde denge oyulma derinliklerine ulaşma süreleri rölatif akım hızına bağlı olup,  $V_1/V_{kr}$  hızındaki artış ile daha büyük oyulma derinlikleri elde edilmektedir. Ayrıca  $V_1/V_{kr}$ 'e bağlı olarak denge zamanının %4-29 aralığında denge oyulma derinliğinin %50'lik kısmına ulaşıldığı ve benzer şekilde denge zamanının %15-42'lik kısmında denge oyulma derinliğinin %80 civarında olduğu görülmektedir.



Şekil 8. Temiz su oyulması halinde oyulma derinliğinin gelişimi

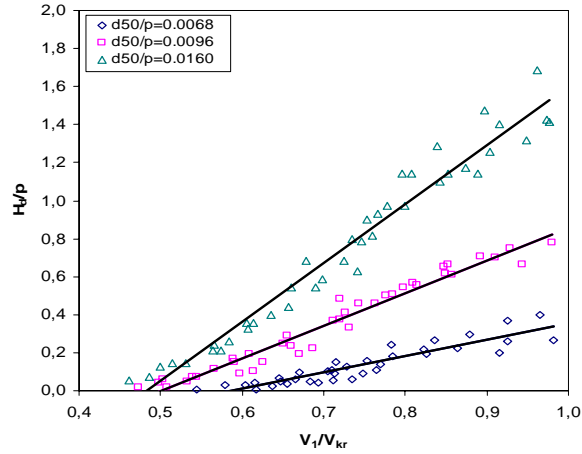
### 3.3. Rölatif Denge Oyulma Derinliği $H_d/p$ 'nin Rölatif Savak Yüğü $h_1/p$ ile Değişimi

Bu bölümde, doğrusal kanalda dikdörtgen en kesitli  $L=25, 40$  ve  $50$  cm uzunluğunda ve  $p=7, 12$  ve  $17$  cm kret yüksekliğindeki yan savaklarda farklı akım şartlarında rölatif denge oyulma derinliği  $H_d/p$ 'nin boyutsuz savak yükü  $h_1/p$  ile değişimi incelenmiş ve üç farklı boyutsuz yan savak uzunluğu  $L/b$  için Şekil 9'da verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi  $h_1/p$  arttıkça (dolayısıyla savaklanma oranı) rölatif denge oyulma derinliği  $H_d/p$  artmaktadır. Büyük kret yüksekliğine sahip yan savaklarda, cidar sürtünme etkisi daha fazla olduğundan, aşağı yönlü sekonder akımın gücü de azalmakta ve bunun sonucunda rölatif denge oyulma derinliği azalmaktadır. Ayrıca, aynı akım derinliğinde savak kret yüksekliği arttıkça savak yükü ve dolayısıyla yan savaktan savaklanan akım küçülmekte, buna karşılık ana kanal mansabına devam eden akım ve boyuna kinetik enerji büyümektedir. Bu da yan savak sonundaki sekonder akımın şiddetini azaltmakta ve daha küçük oyulmalar meydana getirmektedir. Öte yandan yan savak uzunluğu ve savaklanma oranı  $Q_w/Q_1$  (dolayısıyla  $h_1/p$ ) arttıkça (boyuna akımın kinetik enerjisi azalmakta) yanal akımın yarattığı sekonder akımın gücünün de arttığı görülmektedir. Bundan dolayı aynı boyutsuz savak yükü  $h_1/p$  için, boyutsuz yan savak uzunluğu  $L/b$  büyüdükçe  $H_d/p$  değeri de artmaktadır.

Şekil 9.  $L/b=0.625$ ,  $L/b=1$  ve  $L/b=1.25$  için  $H_d/p-h_1/p$  değişimi

### 3.4. Rölatif Denge Oyulma Derinliği $H_d/p$ 'nin Akım Şiddeti $V_1/V_{kr}$ ile Değişimi

Bir çok araştırmacının belirttiği gibi, yerel oyulma derinliğine etki eden en önemli parametre yaklaşım hızı veya akımın şiddetidir. Bundan dolayı boyutsuz tane çapına  $d_{50}/p$  bağlı olarak  $H_d/p$ 'nin  $V_1/V_{kr}$  ile değişimini incelenmiştir (farklı  $h_1/p$  ve  $L/b$  boyutsuzları için). Şekil 10'da tüm  $d_{50}/p$  boyutsuzlarına göre  $H_d/p$ 'nin  $V_1/V_{kr}$  ile hemen hemen lineer arttığı görülmektedir. Her üç  $d_{50}/p$  boyutsuzuna göre  $V_1/V_{kr} < 0.45$  için herhangi bir oyulma görülmemiş ve  $V_1=V_{kr}$  değerinde maksimum denge oyulma derinlikleri elde edilmiştir.  $V_1/V_{kr}$ 'in küçük değerlerinde denge oyulma derinliklerinin hemen hemen birbirine yaklaştığı Şekil 10'da görülebilmektedir. Ayrıca boyutsuz yan savak uzunluğu nispeten büyük olduğunda sekonder akımın şiddetinin artmasıyla büyük  $V_1/V_{kr}$  değerlerinde eğriler birbirlerinden daha fazla uzaklaşmaktadır.

Şekil 10.  $d_{50}/p=0.0068$ ,  $d_{50}/p=0.0096$  ve  $d_{50}/p=0.016$  için  $H_d/p-V_1/V_{kr}$  değişimi

## Determination of Scour Depths Around ...

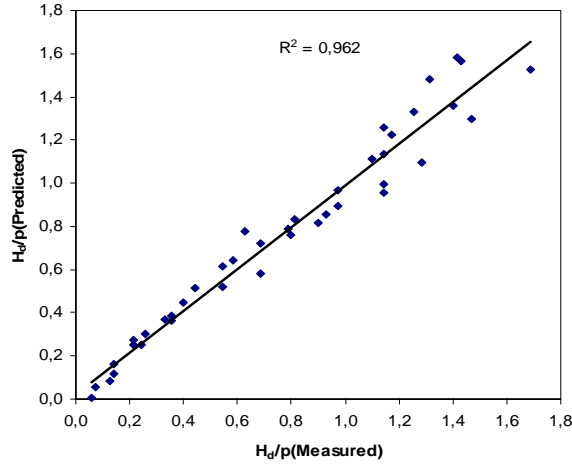
Her bir  $d_{50}/p$  için elde edilen eğrilerdeki saçılımlar boyutsuz  $L/b$  ve  $h_1/p$  parametrelerinin etkisinden kaynaklanmaktadır. Daha öncede bahsedildiği gibi büyük kret yükseklikli yan savaklarda sürtünmeye harcanan enerji fazla olduğu için sekonder akımın şiddeti azalmaktadır. Bundan dolayı  $d_{50}/p=0.0068$  değerinde elde edilen denge oyulma derinlikleri diğer boyutsuzlarda elde edilenlerden daha küçük çıkmıştır.

Şekil 10'daki datalar yardımıyla farklı  $d_{50}/p$  değerleri için denge oyulma derinliği  $H_d/p$ 'nin  $V_1/V_{kr}$  ve  $h_1/p$  ile değişimi çoklu regresyon analizi yapılarak aşağıdaki şekilde üç denklem ile iyi bir şekilde ifade edilmiştir. Şekil 11'de görüldüğü gibi  $H_d/p$ 'nin gerçek ve tahmini değerleri arasında oldukça iyi bir ilişki sağlanmıştır

$$\frac{H_d}{p} = \left| 9,14 \left( \frac{V_1}{V_{kr}} \right)^{0,1} - 8,4 \left| \frac{h_1}{p} - \frac{V_1}{V_{kr}} \right|^{2,86} \right| d_{50}/p = 0,0068 \quad R^2 = 0,912 \quad (6)$$

$$\frac{H_d}{p} = \left| 2,69 \left( \frac{V_1}{V_{kr}} \right)^{0,55} - 1,79 \left| \frac{h_1}{p} - \frac{V_1}{V_{kr}} \right|^{1,27} \right| d_{50}/p = 0,0096 \quad R^2 = 0,962 \quad (7)$$

$$\frac{H_d}{p} = \left| 2,64 \left( \frac{V_1}{V_{kr}} \right)^{1,13} - 1,09 \left| \frac{h_1}{p} - \frac{V_1}{V_{kr}} \right|^{1,14} \right| d_{50}/p = 0,0160 \quad R^2 = 0,97 \quad (8)$$

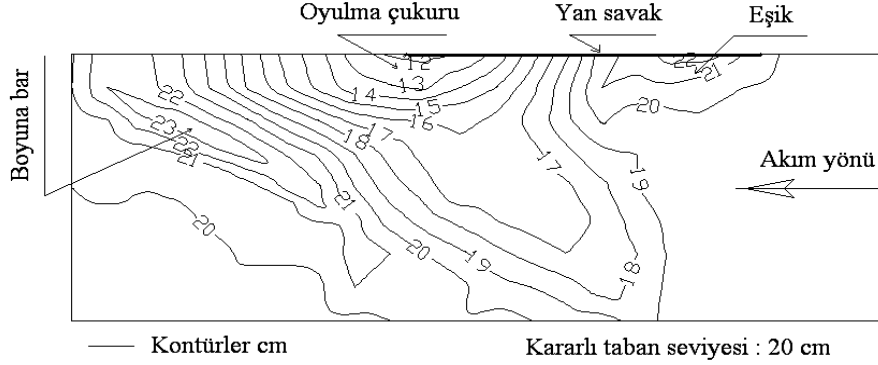


Şekil 11.  $d_{50}/p=0.0096$  için  $H_d/p$ 'nin gerçek ve tahmini değerlerinin karşılaştırılması

### 3.5. Taban Topoğrafyası

Bu bölümde,  $L=40$  cm uzunluğunda ve  $p=7$  cm kret yüksekliğindeki yan savakta taban topoğrafyasında meydana gelen değişimler Şekil 12'de verilmiştir. Yan savağın memba ve mansabında ana kanaldaki ortalama hız kritik hızdan küçüktür ( $V_1/V_{kr}<1.0$  ve  $V_2/V_{kr}<1.0$ ). Yan savak bölgesinde yanal savaklanmadan dolayı hız ve kayma gerilmelerinde azalmalar olmakta ve bu da yan savağın mansabında durgunluk ve ayrılma bölgesinin gelişmesine neden olmaktadır. Kayma gerilmelerindeki değişimin sonucunda yan savağın mansabında boyuna bar ve dış kıyıya

yakın bir oyulma çukuru oluşmaktadır. Şekilden de görüldüğü gibi maksimum oyulma derinliği ters akım bölgesinde oluşmaktadır. Zamana bağlı olarak bar ilk önce yan savağın orta kısmı ile mansap kısmı arasında dış kıyı ile belli bir açı yaparak oluşmuş, zamanla bu bar yan savağın dış kıyısına paralel bir hale gelmiş ve nihai durumda dış kıyı ile ters yönde belli bir açı yaparak iç kıyıya kadar gelişmiştir. Maksimum oyulma derinliği ve boyuna barın yeri durgunluk bölgesi ve ters akım alanının yerine bağlıdır. Daha önce bahsedildiği gibi durgunluk bölgesi ve ters akım alanının yeri  $V_1/V_{kr}$ ,  $h_1/p$ ,  $d_{50}/p$  ve  $L/b$  boyutsuzlarına bağlıdır. Ana kanalın mansabına doğru akımın şiddeti arttığı zaman ters akım bölgesi ve oyulma bölgesinin yeri yan savağın mansabına doğru kaymaktadır.



Şekil 12.  $V_1=0.38$  m/s için taban topoğrafyasındaki değişimler

#### 4. SONUÇLAR

Deneyel çalışmada, hareketli tabanlı, sabit taban malzemeli ( $d_{50}=1.15$  mm ve  $\sigma_g=1.74$ ) doğrusal bir kanal boyunca sabit taban eğimli (%0.1) nehir rejimli akım şartlarında ve serbest savaklanma durumunda farklı yan savak boyutlarında temiz su oyulması halinde rölatif denge oyulma derinlikleri incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1) Yan savak bölgesinde hız ve kayma gerilmelerindeki azalma yan savağın mansabında durgunluk bölgesi ve ayrılma bölgesinin oluşmasına neden olmaktadır. Kayma gerilmelerindeki değişimin sonucunda yan savağın mansabında boyuna bir bar ve dış kıyıya yakın bir oyulma çukuru oluşmaktadır. Maksimum oyulma derinliği ve boyuna barın yeri durgunluk bölgesi ve ters akım alanının yerine bağlıdır. Durgunluk bölgesi ve ters akım alanının yeri  $V_1/V_{kr}$ ,  $h_1/p$ ,  $d_{50}/p$  ve  $L/b$  boyutsuzlarına bağlıdır.

2) Oyulma derinliği zamana bağlı olarak hızlı bir şekilde artmakta ve asimptotik olarak devam etmektedir. Daha sonra değişim hemen hemen sifıra yaklaşmakta ve dengeye ulaşılmaktadır. Dengeye ulaşma zamanı  $V_1/V_{kr}$ ,  $d_{50}/p$  ve  $L/b$  boyutsuzlarına bağlıdır. Akım şiddeti ( $V_1/V_{kr}$ ) arttığı zaman dengeye ulaşma süresi artmaktadır. Ayrıca  $d_{50}/p$  boyutsuzu arttığı zaman dengeye ulaşma süresi de daha erken olmaktadır.

3) Verilerden görülebileceği gibi,  $V_1/V_{kr}$  bağlı olarak denge zamanının %4-29 aralığında denge oyulma derinliğinin %50'lik kısmına ulaşıldığı ve benzer şekilde denge zamanının %15-42'lik kısmında denge oyulma derinliğinin %80 civarında olduğu görülmektedir.

4) Temiz su oyulması halinde,  $h_1/p$  ve  $L/b$  boyutsuzlarının artmasıyla aşağı yönlü sekonder akımın şiddeti artmakta ve böylece rölatif denge oyulma derinliği de artmaktadır.

5) Her üç  $d_{50}/p$  boyutsuzunda  $V_1/V_{kr}<0.45$  olduğunda tabanda herhangi bir oyulma görülmemiştir.  $0.45<V_1/V_{kr}<1.0$  aralığında  $H_d/p$ 'nin  $V_1/V_{kr}$  ile hemen hemen lineer arttığı ve  $V_1/V_{kr}=1$ 'de maksimum denge oyulma derinliği elde edilmiştir.

## *Determination of Scour Depths Around ...*

### **TEŞEKKÜR**

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü ve Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü 98-A-05-01-03 nolu proje tarafından desteklenmiştir.

### **KAYNAKLAR**

- [1] De Marchi, G., “Saggio di Teoria de Funzionamento Degli Stramazzi Laterali, L’Energia Elettrica, Milano, 11:849-860, 1934.
- [2] Subramanya, K., and Awasthy, S.C., “Spatially varied flow over side-weirs”, J. Hydr. Engrg., ASCE, 98(1),1-10, 1972.
- [3] El-Khashab, A. M. M., “Hydraulics of flow over side-weirs”, Ph.D. Thesis, presented to the University of Southampton, England., 1975.
- [4] Agaccioglu, H. and Yüksel, Y., “Side-Weir Flow in Curved Channel”, J. Irr. And Drain. Engrg., ASCE, Vol. 124, No. 3, 163-175, 1998.
- [5] Cosar, A. and Agaccioglu, H., “Discharge coefficient of a triangular side-weir located on a curved channel”, J. Irr. and Drain. Engrg., ASCE, Vol. 130, No. 5, 410-423, 2004.
- [6] Önen, F., Hareketli tabanlı akarsularda yanıl akımın hidrodinamiğinin incelenmesi, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2005.
- [7] Neary, V. S. and Odgaard, A. J., “ Three-dimensional flow structure at open-channel diversions”, J. Hydr. Research, Vol. 119, No. 11, 1223-1230, 1994.
- [8] Fares, Y. R., “ Boundary shear in curved channel with side overflow”, J. Hydr. Engrg., ASCE, Vol. 121, No. 1, 2-14, 1995.
- [9] Fares, Y. R., “ Changes of bed topography in meandering rivers at a neck cutoff intersection.”, J. of Environmental Hydrology, Vol. 8, paper 13, 2000.
- [10] Raudkivi, A. J., “Functional Trends of scour at bridge piers.”, J. Hydr. Engrg, ASCE, Vol. 112, No. 1, 1-13, 1986.
- [11] Üç, S., “Akarsu Kıvrımlarındaki Köprü Ayakları Etrafında Oluşan Yerel Oyulmalar”, Doçentlik Tezi, İ.D.M.M.A., İstanbul, 1979.
- [12] Melville, B. W. and Chiew, Y. M., “Time scale for local scour at bridge scours”, J. Hydr. Engrg, ASCE, Vol. 125, No. 1, 59-65, 1999.
- [13] Yanmaz, A. M. and Altınbilek, H. D., “ Study of time-dependent local scour around bridge piers”, J. Hydr. Engrg., ASCE, Vol. 117, No. 10, 1247-1267, 1991.