

# Basınçlı ve Savak Tipi Akım Durumlarında Köprü Tabliyesi Altındaki Oyulmaların İncelenmesi

(\*)Müsteyde BADUNA KOÇYİĞİT, (\*\*)Onur KARAKURT

(\*)Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Böl., Maltepe, Ankara.

Tel: (0312) 582 32 23

E-Posta: baduna@gazi.edu.tr

(\*\*)Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Müh. A.B.D Doktora Öğrencisi.

E-Posta: karakurtonur@yahoo.com

## Öz

Türkiye’de hasar gören veya yıkılan akarsu köprüleri incelendiğinde problemin kaynağının çoğunlukla köprü ayakları etrafındaki aşırı oyulmalar, akımla taşınan katı malzemenin birikmesiyle ayaklar arasındaki açıklığın azalması ve bunun sonucunda köprü membasında ve açıklığında su seviyesinin artması gibi hidrolik etkenler olduğu görülmektedir. Akarsu köprülerinde hidrolik etkenlerle ortaya çıkan problemlerin büyük kısmının özellikle su yüksekliğinde ani değişmelerin olduğu taşkın dönemlerinde meydana geldiği, köprülerin hasar görmesine veya yıkılmasına ise çoğunlukla köprü ayaklarındaki oyulmaların neden olduğu saptanmıştır. Bu nedenle köprü ayaklarında meydana gelen oyulma çukurunun şekline ve derinliğine etki eden mekanizmalar ile parametrelerin bilinmesi sorunun çözümü ve alınması gereken önlemler açısından son derece önemlidir. Bu amaçla temiz su oyulması için su yüksekliğinin köprü tabliyesine ulaştığı, tabliyeyi aştığı yani sırasıyla basınçlı akım ve savak tipi akım olduğu durumlarda tabanda meydana gelen oyulmaların incelenmesi için Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvar’ında bir dizi deney yapılmış ve oyulma çukuru şekli ile derinliğini etkileyen parametreler incelenmiştir. Oyulma çukuru derinliğine ve şekline etki eden en önemli parametrelerin yaklaşım akım derinliği, köprü yüksekliği (kiriş ve korkuluk yüksekliği vb.) ve yaklaşım hızı olduğu görülmüştür. Ayrıca basınçlı akım durumunun oyulma çukuru derinliği üzerindeki etkisinin savak tipi akıma kıyasla daha fazla olduğu saptanmıştır.

**Anahtar sözcükler:** Basınçlı akım, Savak tipi akımı, Akarsu köprüleri, Yerel oyulma, Temiz su oyulması

## Giriş

Dünya’da her yıl büyük taşkınlar nedeniyle çok sayıda köprü yıkılmakta veya ciddi hasar görmekte, bunların neticesinde istenmeyen can ve mal kayıpları meydana gelebilmektedir. Ülkemizde de bugüne kadar birçok köprünün yıkılmasına veya ağır hasar görmesine neden olan taşkın olayları yaşanmıştır. Örneğin son yıllarda taşkın nedeniyle hasar gören köprüler arasında 2011 yılında Ordu’da Cüridere ile Osmaniye’de Yarpuz 1, 2012 yılında Sinop’ta Güzelçay 2 ve Abdest köprüleri sayılabilir. Ancak Nisan 2012’de Zonguldak’ta Çaycuma köprüsünün çökmesiyle birlikte maddi hasarın yanı sıra 15 kişi de hayatını kaybetmiştir. Bu nedenle su seviyesinin ani ve büyük

değişimler gösterdiği taşkın zamanlarında meydana gelen hidrolik olayların, akarsu köprülerine etkilerinin ve sonuçlarının detaylı olarak incelenmesi gerekmektedir.

Taşkın sırasında hem havzalardan akarsu yatağına taşınan sediment miktarı artmakta hem de akarsu yatağında meydana gelen debideki artış nedeniyle su seviyesi artmaktadır. Böylece taşkın durumunda su seviyeleri köprü tabliyesinin altında bulunan kirişe kadar ulaşabilmektedir. Alt kirişlere suyun ulaştığı durumda ise akım artık serbest değil basınçlı akım olmaktadır. Debinin daha da artması halinde ise su seviyesi alt kiriş seviyesinden de yukarıya çıkmakta ve köprü tabliyesini aşabilmektedir. Bu durumda ise köprü, kalın eşikli savak gibi davranmakta, bu akıma ise savak tipi akım denmektedir. Bu koşullar altında tabanda oluşabilecek sediment hareketi önemli ölçüde etkilenebilmektedir. Köprülerin çoğunun ayaklarındaki aşırı oyulmalar nedeniyle yıkıldığı gözlemlendiğinden (Yanmaz, 2002) basınçlı akım ve savak tipi akım durumlarında meydana gelecek sediment hareketinin ve dolayısıyla ayaklardaki oyulmaya etkisinin araştırılması kaçınılmaz olmaktadır.

Bu çalışmanın amacı laboratuvar ortamında temiz su olması yani membadan sediment gelmemesi halinde, basınçlı ve savak tipi akım durumlarında çalışan bir köprüde, köprü tabliyesi altında kanal tabanında meydana gelecek oyulma çukurunun şeklinin ve derinliğinin tespiti ile bu büyüklükler üzerinde etkili olabilecek gerek akım gerekse geometrik parametrelerin irdelenmesidir.

## Literatür Araştırması

Taşkın sırasında su yüksekliğinin köprüyü aşması durumunda, köprünün alt kısmı basınçlı akıma maruz kalmakta ve böylece köprü tabliyesinin altından geçen akımın hızı ile taban kayma gerilmelerinin büyüklükleri artmaktadır. Böylece tabanda meydana gelen sediment hareketi de artmaktadır. Bu durum basınçlı akım oyulması olarak ifade edilmektedir. Genel olarak literatürde bulunan ve oyulma derinliğini veren ampirik eşitlikler serbest akım durumunda geliştirilmiştir. Literatürde basınçlı ve savak tipi akım durumlarında köprü tabliyeleri altında meydana gelen oyulmayı inceleyen çalışma sayısı oldukça azdır. Bu çalışmalarda da sınırlı koşullar altında bir takım ampirik bağıntılar elde edilmiştir.

İlk defa Abed (1991) tarafından basınçlı akım durumunda köprü tabliyesinin altında bir ayak olması durumunda tabanda meydana gelen yerel değişimler incelenmiştir. Deneyler serbest akım ve köprünün suya gömülü olduğu basınçlı akım durumları için 3 farklı yaklaşım derinliği ile farklı kanal taban eğimleri için gerçekleştirilmiştir. Yapılan deney sonuçlarına göre basınçlı akım durumunda köprü tabliyesi altındaki ayakta meydana gelen oyulmanın serbest akım durumunda meydana gelen oyulmaya göre 2.30 - 10 kat daha büyük olduğu tespit edilmiştir.

Umbrell ve diğ. (1998), köprü ayaklarının olmadığı köprü tabliyesi altında basınçlı akım durumunda meydana gelen oyulmayı inceledi. Deneylerde yaklaşım akım derinliği 0.305m'de sabit tutulmuş ve suyun tabliye üstünden 6 farklı derinlikte savaklanması durumlarında tabanda meydana gelen oyulma çukurları ölçülmüştür. Deneylerde tabandaki ortalama dane çapı, yaklaşım akım hızı ve derinliği, köprü tabliyesi kalınlığı, köprü yüksekliği ve kritik oyulma hızı parametrelerinin oyulma çukuru şekline ve

derinliğine etkileri incelenmiş, basınçlı akım durumunda tabandaki oyulma ve akım koşulları arasında bir bağıntı geliştirilmiştir.

Arneson ve Abt (1998), dört farklı dane çapı için farklı akım derinliklerinde ve akım hızlarında basınçlı akım durum için deneyler yaptı. Araştırmacılar deney verilerini kullanarak maksimum oyulma derinliği için bir regresyon eşitliği ile köprü açıklığında taban malzemesi için kritik sürüklenme hızını veren bir eşitlik önerdi.

Federal Karayolları İdaresi Turner-Fairbank Otoyol Araştırma Merkezi (Federal Highway Administration Turner-Fairbank Highway Research Center -TFHRC) de sediment dane çapının oyulmaya etkisini incelemek için iki farklı dane çapı ve köprü giriş etkisinin oyulma derinliğine etkisini inceleyebilmek için 3 kırıklı ve 6 kırıklı iki farklı köprü tabliyesi kullanarak basınçlı akım durumunda tabliye altındaki oyulmaları inceledi (Guo ve diğ.,2010; Shan ve diğ.,2012).

Shan ve diğ. (2012), ise TFHRC deney verilerinden yararlanarak basınçlı akım durumunda köprü altındaki oyulmaları sayısal olarak modelleyen Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (Computational Fluid Dynamics - CFD) yazılımının ve hesap metodlarının geliştirilmesi üzerine çalışmalar yaptı. Bunun yanında Umbrell ve diğ. (1998) ile Arneson ve Abt (1998) tarafından yapılan önceki çalışmaların verilerini de geliştirdikleri hesap yönteminde test ederek, yöntemin gerçek veriler üstündeki performansını incelediler.

## **Deney Düzenegi ve Prosedürü**

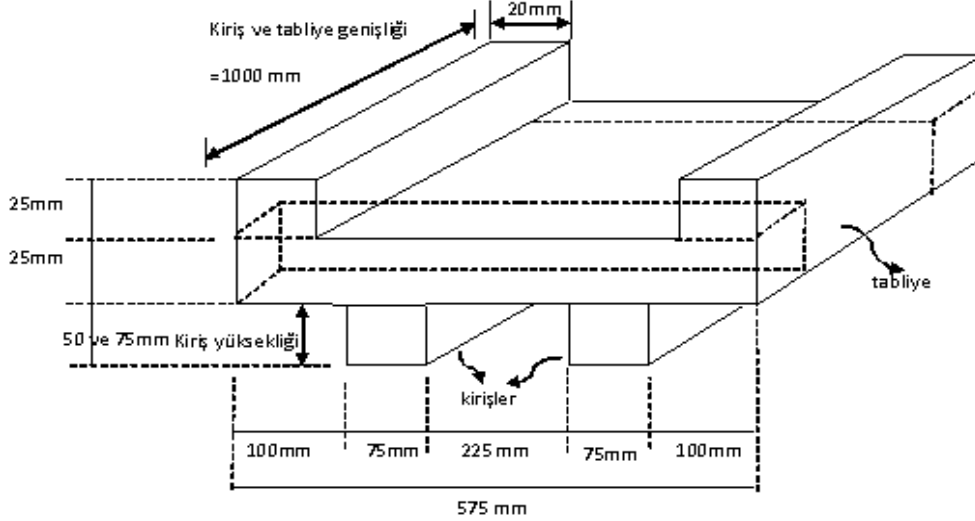
Bu çalışmaya ait deneyler Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarı'nda yaklaşık olarak 10 metre uzunluğunda, genişliği ve yüksekliği birer metre olan dikdörtgen kesitli bir açık kanalda gerçekleştirilmiştir. Laboratuvardaki 22 kW'lık pompalar ile yeraltı deposundan kanala su verilerek suyun devir daimi sağlanmıştır. Pompalardan gelen suyun enerjisinin kırılması ve mümkün olduğunca düzgün akım elde edilebilmesi için yükleme havuzuna susturucular yerleştirilmiştir.

Açık kanal tabanında ölçüm yapılacak deney bölgesi olarak membadan yaklaşık 4.00m mesafede 2.50m boyunda, 1.00m genişliğinde ve 0.22m derinliğinde sedimentle dolu bir alan oluşturulmuştur. Bu alanın dışındaki bölgelerde kanal tabanı olarak kullanılan platforma aynı sediment daneleri silikonla yapıştırılarak kanal boyunca aynı taban pürüzlülüğü elde edilmiştir. Köprü tabliyesi pleksiglas malzemedeki Şekil 1'de verilen boyutlarda imal edilmiştir. Deneylerde giriş yüksekliğinin etkisinin incelenebilmesi için tabliyeye vidayla monte edilebilen iki farklı giriş (50mm ve 75mm) kullanılmıştır.

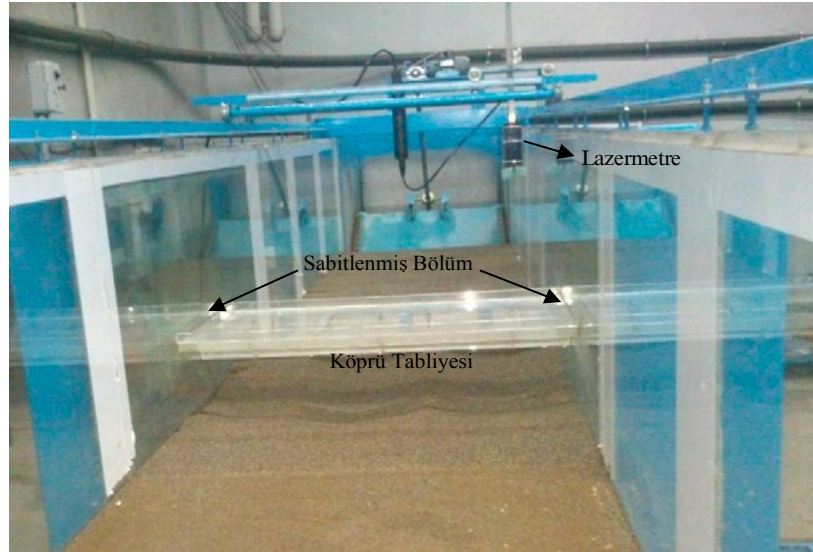
Köprü tabliyesi, kanal başlangıcından yaklaşık 4.50m mesafede başlayan ve deney bölgesi olarak belirtilen bölgede kanal tabanından 20.00cm yüksekliğinde kanal yan duvarlarına sabitlenen kızaklı bir sistem üzerine oturtulmuştur (Bkz. Şekil 2). Böylece deney sonunda kanaldan su yavaşça boşaltıldıktan sonra köprü tabliyesi çıkarılarak taban ölçümleri yapılmıştır.

Deneylerde kullanılan sediment özel olarak elenerek mümkün olduğunca homojen malzeme elde edilmeye çalışılmıştır. Sedimentin ortalama dane çapı 1.10 mm ve

üniformluk katsayı 2.17'dir. Ölçüm yapılan deney bölgesi Şekil 3'te görüldüğü gibi 5cmx5cm'lik gözlemlere bölünmüş, taban okumaları tüm ağ köşe noktalarında her deneyden önce ve sonra lazermetreyle yapılarak ölçüm değerleri doğrudan bilgisayara aktarılmış ve böylece deney sırasında meydana gelen taban değişimleri kaydedilmiştir. Kullanılan lazermetrenin tipik ölçüm tolereansı  $\pm 1.00\text{mm}$ 'dir.



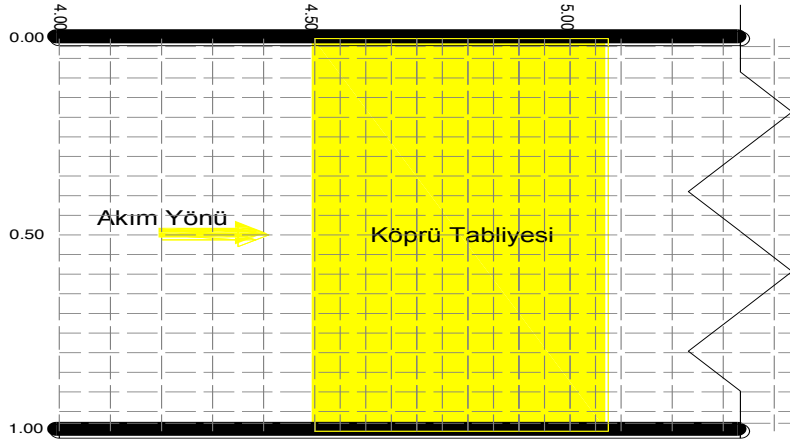
Şekil 1 Köprü tabliyesi modeli.



Şekil 2 Köprü tabliyesinin deney bölgesinde konumlandırılması.

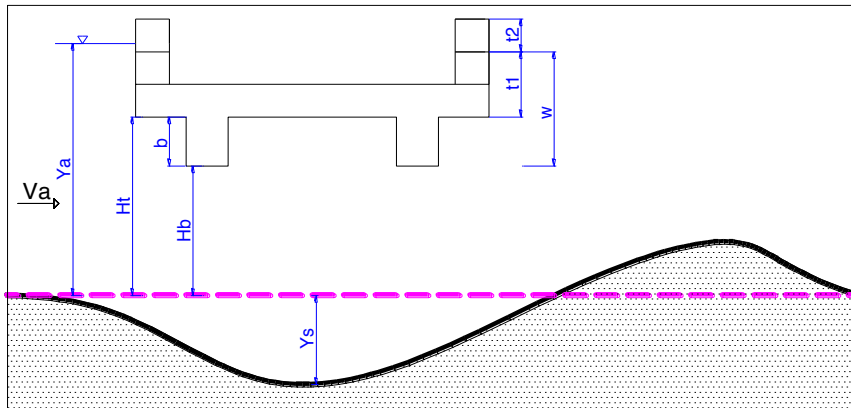
Deney başlangıcında su kanala deney bölgesindeki sedimentin hareket etmesine müsaade edilmeyecek şekilde çok yavaş şekilde verilmiştir. Kanala verilen debi kanalın sonuna yerleştirilmiş savak yardımıyla istenilen değere ayarlanmıştır. Sonrasında ise kanal sonundaki otomatik kapak yardımıyla kanal içindeki yaklaşım akım derinliği ayarlanmıştır. Köprü tabliyesi kanala yerleştirildikten sonra deneyler başlatılmıştır. Deneyler başlatıldıktan yaklaşık 2-4 saat sonunda köprü tabanındaki oyulma derinliğinin yaklaşık %85'inin gerçekleştiği görülmüştür. Deneyin başlarında köprü tabanındaki sediment taşınım hızı çok fazlayken beklendiği gibi zaman içerisinde taşınım miktarı azalmıştır. Oyulma çukuru derinliğindeki değişimin yarım saatte 1 mm

altına düştüğü ve gözle sediment taşınımının fark edilemediği durumda deneyler sonlandırılmıştır. Bu nedenle tüm deney setlerinde deney süresi sekiz saat olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3 Test bölgesindeki ölçüm ağı sistemi.

Deneyler üç farklı debi ( $Q=70$  lt/s,  $80$  lt/s ve  $90$  lt/s) değeri için gerçekleştirildi. Burada  $70$  lt/s ve  $80$  lt/s'lik debi sonuçları verilmektedir. Deneyler temiz su yani kanalda hiç sediment hareketinin olmadığı durum için yapıldığından öncelikli olarak bu debi değerlerinde tabanda sediment hareketi meydana getirmeyecek akım derinlikleri belirlendi. Böylece çalışılacak debi değerlerinde temiz su şartını sağlayan yaklaşım akım derinlikleri belirlenmiş oldu. Bu yaklaşım akım derinlikleri, debi değerleri ve iki farklı kiriş yüksekliği ( $b=50$ mm ve  $75$ mm) kullanılarak deney setleri Tablo 1'de verildiği şekilde hazırlandı. Köprü tabliyesinin bir savak gibi davrandığı yani akımın tabliye üzerinden savaklandığı durumdaki yaklaşım akım derinliği ile aynı derinlikte basınçlı akım yaratabilmek için tabliye korkuluğunun yüksekliği köprü korkuluğu üzerine parça eklenmek suretiyle artırıldı. Buna göre mevcut  $2.50$ cm olan korkuluk yüksekliğine ilave yapılarak üç farklı korkuluk yüksekliği elde edildi ( $5.00$ cm,  $7.50$ cm ve  $10.00$ cm). Tablo 1'de verilen 7-12 ve 21-27 no'lu deneylerde ilave korkuluk eklenmiştir. Böylece köprü tabliyesi altındaki oyulma çukuruna etki eden yaklaşım akım derinliği, kiriş yüksekliği, yaklaşım hızı ve aynı koşullar altında savak tipi akım ile basınçlı akımın karşılaştırılması mümkün olmuştur. Tablo 1'de kullanılan değişkenler Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4 Test bölgesindeki değişkenler.

Tablo 1 Deney setleri.

Seri No	Deney No	Akım Durumu	Tabliye Konumu H <sub>t</sub> (m)	Kiriş Yüksekliği b (m)	Tabliye Kalınlığı w (m) (t <sub>1</sub> +t <sub>2</sub> +b) *	Kiriş-Taban Arasındaki Fark H <sub>b</sub> (m) (H <sub>t</sub> - b)	Yaklaşım akım derinliği Ya (m)	Q <sub>top</sub> (lt/s)	Korkuluk Üstü Su Yüksekliği w <sub>s</sub> (m)	Yaklaşım akım hızı Va (m/s)
BHIQ1Y1K <sub>2</sub>	1	Basınçlı	0.200	0.050	0.100	0.150	0.200	70.00 0	0.000	0.350
BHIQ1Y1K <sub>3</sub>	2	Basınçlı	0.200	0.075	0.125	0.125	0.200	70.00 0	0.000	0.350
BHIQ1Y2K <sub>2</sub>	3	Basınçlı	0.200	0.050	0.100	0.150	0.225	70.00 0	0.000	0.311
BHIQ1Y2K <sub>3</sub>	4	Basınçlı	0.200	0.075	0.125	0.125	0.225	70.00 0	0.000	0.311
BHIQ1Y3K <sub>2</sub>	5	Basınçlı	0.200	0.050	0.100	0.150	0.250	70.00 0	0.000	0.280
BHIQ1Y3K <sub>3</sub>	6	Basınçlı	0.200	0.075	0.125	0.125	0.250	70.00 0	0.000	0.280
BHIQ1Y4K <sub>2</sub>	7	Basınçlı	0.200	0.050	0.125	0.150	0.275	70.00 0	0.000	0.255
BHIQ1Y4K <sub>3</sub>	8	Basınçlı	0.200	0.075	0.150	0.125	0.275	70.00 0	0.000	0.255
BHIQ1Y5K <sub>2</sub>	9	Basınçlı	0.200	0.050	0.150	0.150	0.300	70.00 0	0.000	0.233
BHIQ1Y5K <sub>3</sub>	10	Basınçlı	0.200	0.075	0.175	0.125	0.300	70.00 0	0.000	0.233
BHIQ1Y6K <sub>2</sub>	11	Basınçlı	0.200	0.050	0.175	0.150	0.325	70.00 0	0.000	0.215
BHIQ1Y6K <sub>3</sub>	12	Basınçlı	0.200	0.075	0.200	0.125	0.325	70.00 0	0.000	0.215
SHIQ1Y4K <sub>2</sub>	13	Savaklı	0.200	0.050	0.100	0.150	0.275	70.00 0	0.025	0.255
SHIQ1Y4K <sub>3</sub>	14	Savaklı	0.200	0.075	0.125	0.125	0.275	70.00 0	0.025	0.255
SHIQ1Y5K <sub>2</sub>	15	Savaklı	0.200	0.050	0.100	0.150	0.300	70.00 0	0.050	0.233
SHIQ1Y5K <sub>3</sub>	16	Savaklı	0.200	0.075	0.125	0.125	0.300	70.00 0	0.050	0.233
SHIQ1Y6K <sub>2</sub>	17	Savaklı	0.200	0.050	0.100	0.150	0.325	70.00 0	0.075	0.215
SHIQ1Y6K <sub>3</sub>	18	Savaklı	0.200	0.075	0.125	0.125	0.325	70.00 0	0.075	0.215
BHIQ2Y3K <sub>2</sub>	19	Basınçlı	0.200	0.050	0.100	0.150	0.250	80.00 0	0.000	0.320
BHIQ2Y3K <sub>3</sub>	20	Basınçlı	0.200	0.075	0.125	0.125	0.250	80.00 0	0.000	0.320
BHIQ2Y4K <sub>2</sub>	21	Basınçlı	0.200	0.050	0.125	0.150	0.275	80.00 0	0.000	0.291
BHIQ2Y4K <sub>3</sub>	22	Basınçlı	0.200	0.075	0.150	0.125	0.275	80.00 0	0.000	0.291
BHIQ2Y5K <sub>2</sub>	23	Basınçlı	0.200	0.050	0.150	0.150	0.300	80.00 0	0.000	0.267
BHIQ2Y5K <sub>3</sub>	24	Basınçlı	0.200	0.075	0.175	0.125	0.300	80.00 0	0.000	0.267
BHIQ2Y6K <sub>2</sub>	25	Basınçlı	0.200	0.050	0.175	0.150	0.325	80.00 0	0.000	0.246
BHIQ2Y6K <sub>3</sub>	26	Basınçlı	0.200	0.075	0.200	0.125	0.325	80.00 0	0.000	0.246
SHIQ2Y4K <sub>2</sub>	27	Savaklı	0.200	0.050	0.100	0.150	0.275	80.00 0	0.025	0.291
SHIQ2Y4K <sub>3</sub>	28	Savaklı	0.200	0.075	0.125	0.125	0.275	80.00 0	0.025	0.291
SHIQ2Y5K <sub>2</sub>	29	Savaklı	0.200	0.050	0.100	0.150	0.300	80.00 0	0.050	0.267
SHIQ2Y5K <sub>3</sub>	30	Savaklı	0.200	0.075	0.125	0.125	0.300	80.00 0	0.050	0.267
SHIQ2Y6K <sub>2</sub>	31	Savaklı	0.200	0.050	0.100	0.150	0.325	80.00 0	0.075	0.246
SHIQ2Y6K <sub>3</sub>	32	Savaklı	0.200	0.075	0.125	0.125	0.325	80.00 0	0.075	0.246

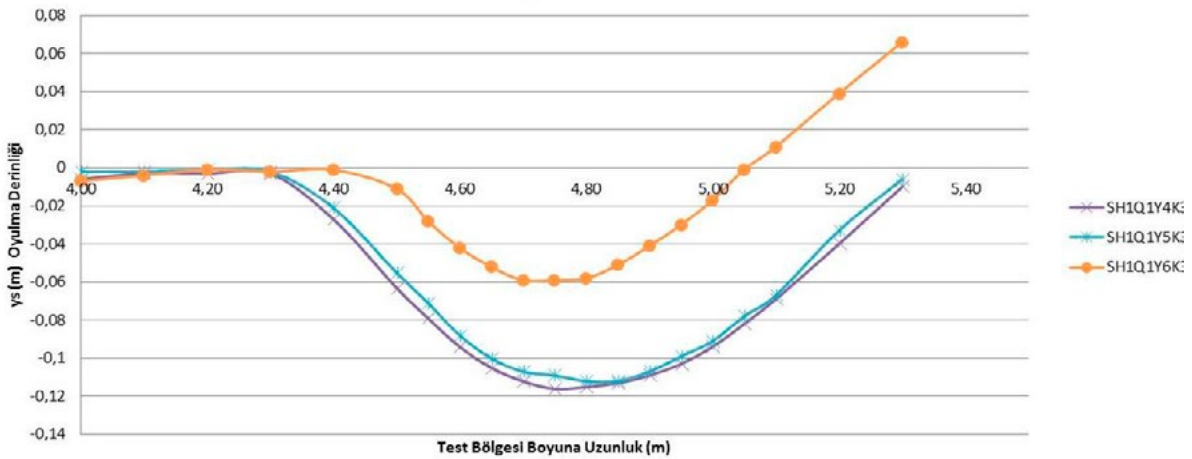
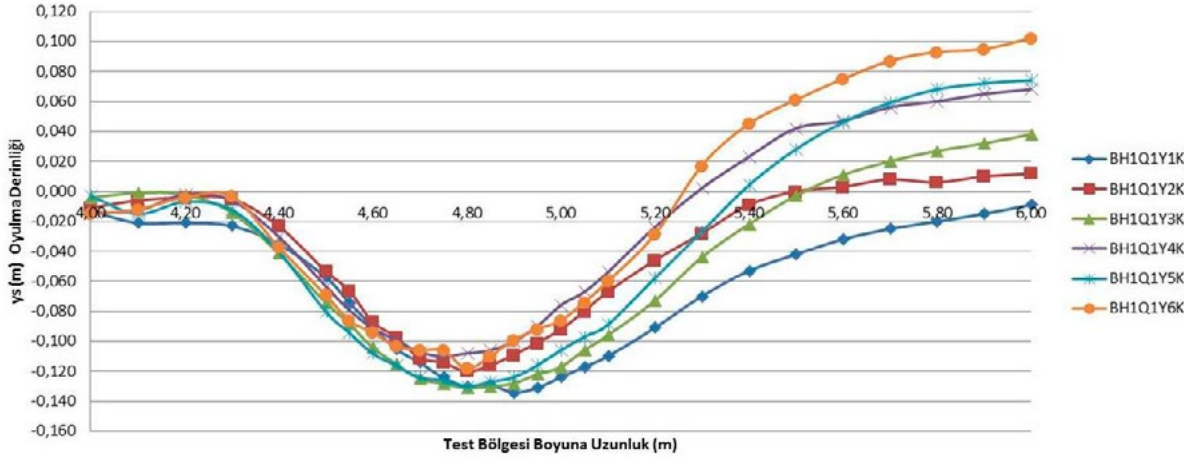
(\*) t<sub>1</sub>: 0.025m tabliye kalınlığı ile 0.025m korkuluğun toplam yüksekliğidir. t<sub>2</sub>: ek korkuluk yüksekliğidir.

## Deney Bulguları ve Sonuçların İrdelenmesi

### Yaklaşım Akım Derinliği Etkisi

Basınçlı akım durumunda sabit  $Q_1=70$  lt/s'lik debi için altı ( $Y_1=20.00$ cm,  $Y_2=22.50$ cm,  $Y_3=25.00$ cm,  $Y_4=27.50$ cm,  $Y_5=30.00$ cm ve  $Y_6=32.50$ cm), savak tipi akım durumunda ise aynı debi için üç farklı yaklaşım akım derinliğinde ( $Y_4=27.50$ cm,  $Y_5=30.00$ cm ve  $Y_6=32.50$ cm) deneyler yapılmıştır (Bkz. Tablo 1). Söz konusu debiye ait 7.50cm kiriş yüksekliğinde, basınçlı ve savak tipi akım koşulları altında oluşan oyulma çukuru profilleri Şekil 4'de verilmektedir. En fazla oyulma yüksekliği ( $y_s$ ), basınçlı akım durumu için  $Y_1=20.00$ cm yaklaşım akım derinliğinde 0.134m, savak tipi akım durumunda ise  $Y_4=27.50$ cm yaklaşım akım derinliğinde 0.116m olarak ölçülmüştür.

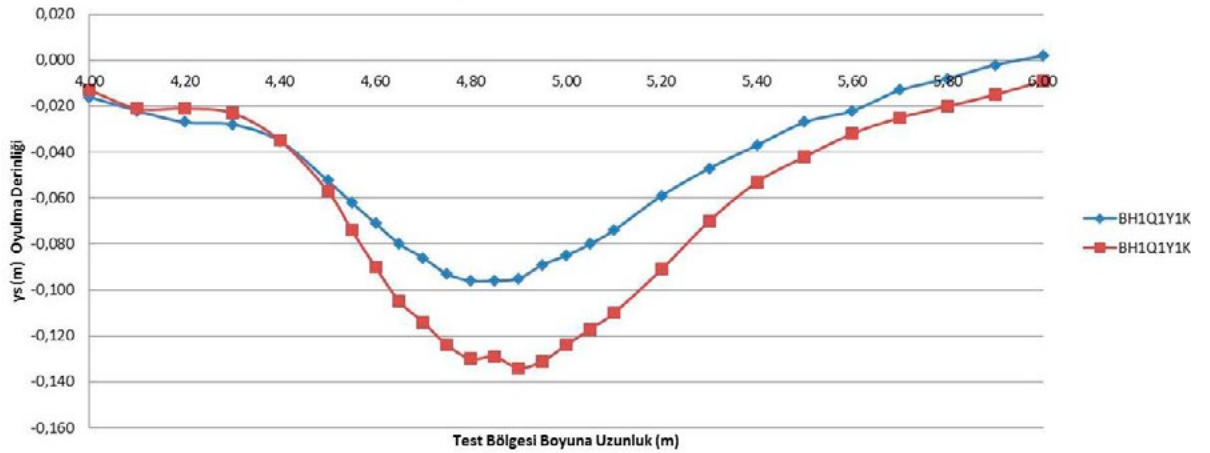
Şekilden de görüldüğü üzere yaklaşım derinliğinin artmasıyla basınçlı ve savak tipi akım durumlarında oyulma çukuru derinliği azalmaktadır. Aynı koşullar altında savak tipi akıma kıyasla basınçlı akımda daha derin oyulma çukuru gözlemlenmektedir.



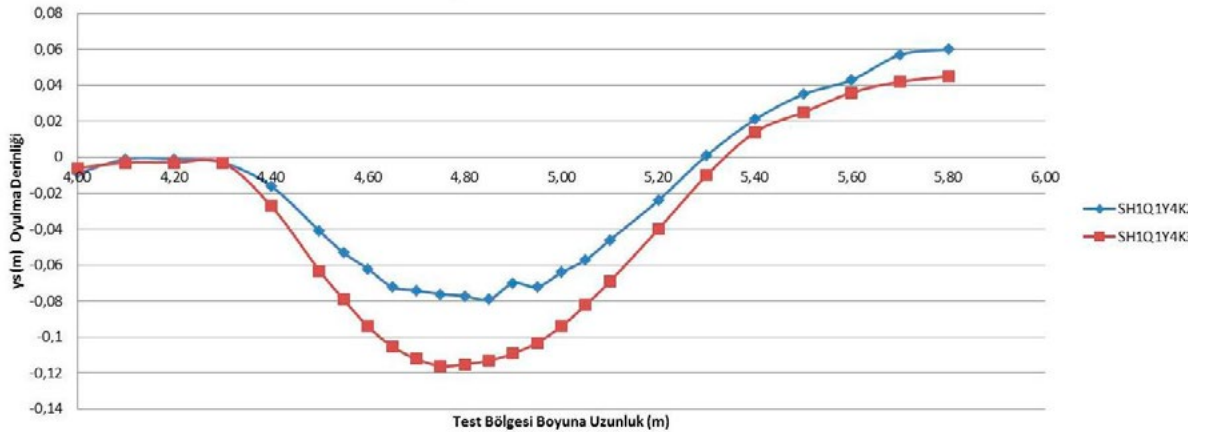
Şekil 4  $Q=70$  lt/s ve 7.50cm kiriş yüksekliğinde farklı yaklaşım derinliklerinde meydana gelen oyulma çukurları a) Basınçlı akım b) Savak tipi akım.

## Kiriş Yüksekliği Etkisi

7.50cm kiriş yüksekliğinde sabit  $Q_1=70$  lt/s lik debi için en fazla oyulma derinliği basınçlı akım durumunda  $Y_1=20$ cm yaklaşım derinliğinde 0.134m olarak, savaklı akım durumunda ise  $Y_4=27.50$ cm yaklaşım derinliğinde 0.116m olarak ölçülmüştür. Her iki durum için iki farklı kiriş yüksekliğinin ( $K_2= 5.00$ cm ve  $K_3= 7.50$ cm) etkisi Şekil 5'te verilmektedir. Kiriş yüksekliğinin aynı şartlarda 2.50cm artırılmasının oyulma çukuru etkilediği ve oyulma derinliğini ( $y_s$ ) artırdığı gözlemlenmiştir. Basınçlı akımda kiriş yüksekliğinin 2.50cm artırılması durumunda oyulma derinliğini yaklaşık %40 arttırdığı, savak tipi akım durumunda ise oyulma derinliğini yaklaşık %47 arttırdığı görülmüştür.



(a)



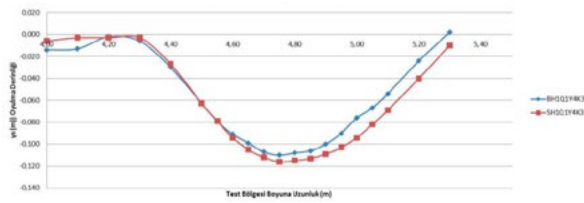
(b)

Şekil 5  $Q= 70$  lt/s ve farklı iki kiriş yüksekliğinde ( $K_2= 5.00$ cm ve  $K_3= 7.50$ cm) tabanda oluşan oyulma çukuru a) Basınçlı akım durumunda  $Y_1=20.00$ cm için b) Savak tipi akım durumunda  $Y_4=27.50$ cm için.

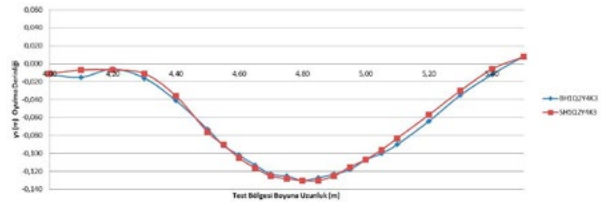


## Savak Tipi Akım ile Basınçlı Akımın Karşılaştırılması

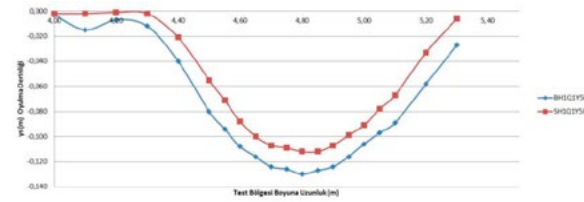
Farklı debi değerlerinde ( $Q_1=70$  lt/s ve  $Q_2=80$  lt/s) aynı yaklaşım akım ( $Y_4=27.50$ cm  $Y_5=30.00$ cm  $Y_6=32.50$ cm) ve giriş yüksekliklerinde ( $K_3=7.50$ cm) savak tipi ve basınçlı akım durumlarının oyulma çukuru derinliğine etkisi Şekil 6'da verilmektedir. Bu koşullar altında iki farklı debi değerinde aynı yaklaşım akım yüksekliğinde basınçlı akım durumunun oyulma çukuru derinliği ( $y_s$ ) üzerinde etkisinin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.



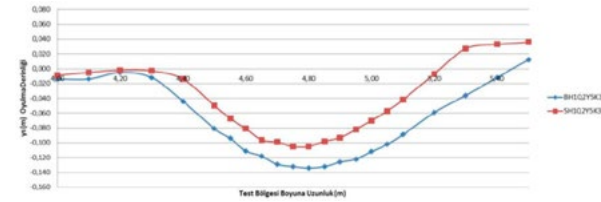
a1) Debi 70 lt/sn, yaklaşım akım yüksekliği  $Y_4=27.50$ cm



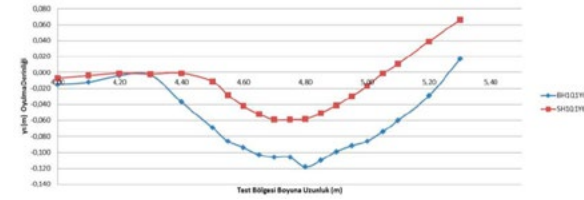
a2) Debi 80 lt/sn, yaklaşım akım yüksekliği  $Y_4=27.50$ cm



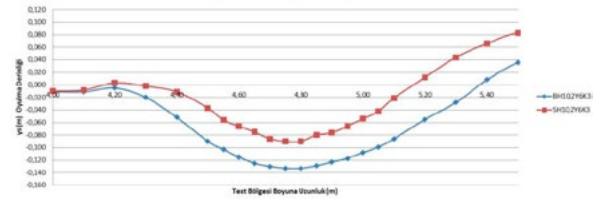
b1) Debi 70 lt/sn, yaklaşım akım yüksekliği  $Y_5=30.00$ cm



b2) Debi 80 lt/sn, yaklaşım akım yüksekliği  $Y_5=30.00$ cm



c1) Debi 70 lt/sn, yaklaşım akım yüksekliği  $Y_6=32.50$ cm



c2) Debi 80 lt/sn, yaklaşım akım yüksekliği  $Y_6=32.50$ cm

Şekil 6 Savak tipi akım ile basınçlı akım durumlarında meydana gelen oyulma çukuru profilleri.

## Sonuç

Bu çalışmada, temiz su oyulması, basınçlı ve savak tipi akım durumlarında çalışan bir köprüde, köprü tabliyesi altında kanal tabanında meydana gelecek oyulma çukurunun şekli ve derinliği tespit edilmiş ve bu büyüklükler üzerinde etkili olabilecek gerek akım gerekse geometrik parametreler incelenmiştir. Köprü tabliyesi altındaki oyulma çukuruna etki eden yaklaşım akım derinliğinin, giriş yüksekliğinin ve yaklaşım hızının etkili olduğu görülmüştür. Basınçlı akım durumunun oyulma çukuru derinliği üzerinde etkisinin savak tipi akımdan daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Aynı şartlar altında giriş yüksekliğinin de değişiminin ise oyulma çukuru derinliğinde ve şeklinde ciddi etkisinin olduğu saptanmıştır.

## Teşekkür

Bu çalışma kapsamındaki deneyler Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimince desteklenmiş olan, yürütücülüğünü Dr. Müsteyde Baduna Koçyiğit'in yaptığı 06/2011-16, 06/2011-29 ve 06/2011-46 nolu projeler ile yürütücülüğünü Dr. Önder Koçyiğit'in yaptığı 06/2011-24, 06/2011-25 ve 06/2011-47 nolu projeler kapsamında inşa edilen açık kanalda gerçekleştirilmiştir. Yazarlar, Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar birimine ve projeler süresince desteği için Prof. Dr. Şeref Sağıroğlu'na teşekkür eder.

## Kaynaklar

Abed, L.M. (1991) Local scour around bridge piers in pressure flow. Ph.D. Thesis, Colarado State University, USA.

Arneson, L.A., and Abt, S.R. (1998) Vertical contraction scour at bridges with waterflowing under pressure conditions. Transportation Research Record, No.1647, pp. 10-17.

Gua, J., Kerenyi, K.,Pagan-Ortiz, J.-E., Flora, K., Afzal, B. (2010) Submerged-Flow Bridge Scour under Maximum Clear Water Conditons (I) Experiment. International Conference on Scour and Erosion 2010 (ICSE-5), pp. 807-814.

Shan, H., Xie, Z., Bojanowski, C., Suaznabar, O., Shen, J., Lottes, S. (2012) Submerged-Flow Bridge Scour under Clear-Water Conditions. Federal Highway Administration, Report No. FHWA-HRT-12-034, USA.

Umbrell, E.R.,Young G.K., Stein,S.M., Jones,J.S. (1998) Clear-Water Contraction Scour Under Bridges in Pressure Flow. Journal of Hydraulic Engineering, Vol.124, No.2, pp. 236-240.

Yanmaz, M. (2002) Köprü Hidroliği, METU Press, Ankara, Türkiye, pp. 143-144.