

Alparslan II Barajı Basınçlı İletim Tüneli Kapakları Hidrolik Model Çalışmaları

Cüneyt Yavuz* , İsmail Aydın* , Ahmet N Şahin*
*** İnşaat Mühendisliği Bölümü, ODTÜ**

Özet

Alparslan II baraj ve Hidroelektrik santraline ait basınçlı iletim tüneli kapaklarının hidrolik model testleri Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidromekanik laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma 1/26.5 ölçekli modelde Froude sayısı benzerliğine göre yapılmıştır. Model kapak üzerinde çeşitli debilerde ve kapak açıklıklarında aşağı yönlü hidrodinamik çekme kuvvetleri ölçülmüştür. Kapağın kapanması esnasındaki hava ihtiyacını ve türbin kapanırken kapak yuvalarındaki su yüksekliğini tahmin etmek için tek boyutlu hesaplama modeline dayalı bir bilgisayar çözümü yapılmış, çeşitli başlangıç debilerinde cebri borudaki maksimum hava akımı hesaplanmıştır.

Giriş

Alparslan II baraj ve Hidroelektrik Santrali sulama, enerji üretimi ve taşkın kontrolü amacı ile Doğu Anadolu bölgesinde Muş ili yakınındaki Murat Nehri üzerine kurulması planlanmaktadır. Brüt Düşü yaklaşık 100 m ve toplam kurulu gücü 280 MW'tır. Derivasyon aşaması tamamlandıktan sonra 8 m iç çapı olan iki adet derivasyon tünelleri enerji tünellerine

dönüştürülecektir. Hazne tarafındaki su alma ağzından başlayarak herbir tünelin toplam uzunluğu 900 metredir. Son 173 metresinde çap 8 metreden 6.3 metreye düşmektedir. Herbir tünel için tasarım debisi $172 \text{ m}^3/\text{s}$ dir. Su alma ağzından yaklaşık 539 metre sonra dikdörtgen kapak bölümü vardır. Kapak bölümünde servis ve bakım kapakları bulunmaktadır. Kapak yuvası dikey olarak hazne su yüzeyine kadar uzamaktadır. Servis kapaklarının acil durumda akıma karşı kapatılacağı varsayılmaktadır.

Hidrodinamik kuvvetlerin doğrudan ölçülmesi ve belli operasyon durumlarında kapak sisteminin performansının değerlendirilmesi için Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Hidromekanik Laboratuvarında bir model çalışması yürütülmüştür [1].

Kapak Üzerine Etkiyen Kuvvetlerin Analizleri

Kapak belli bir açıklıkta asılı olduğunda kapağı tutan kablolardaki kuvvet düşey yönde etkiyen kuvvetlerin toplamına eşittir.

$$F_{cf} = F_w + F_d - F_b - F_f \quad (1)$$

Burada F_{cf} =Kapak altındaki su akımı ile birlikte oluşan kablodaki aşağı yönlü bileşke kuvvet, F_w =Kapak ağırlığı, F_d =Akımdan kaynaklanan hidrodinamik aşağı-çekme kuvveti, F_b =Kapakdaki suyun kaldırma kuvveti, F_f =Contalardan, tekerleklerden vb. kaynaklanan toplam sürtünme kuvvetidir. Denklem (1) deki hidrodinamik yük hariç bütün kuvvet bileşenleri prototip kapağı için hesaplanabilir. Denklem (1) akım olmadığı anda kapak tam olarak hidrostatik suya batıkken tekrar yazılabilir.

$$F_{cs} = F_w - F_b - F_f \quad (2)$$

Burada F_{cs} =Hidrostatik durumda kablo üzerindeki aşağı-çekme kuvvetidir. Her iki denklemde de kapağın aşağı yönde harekete meyilli olduğunu varsayarak sürtünme kuvveti yukarı yönde alınır. Kablo üzerindeki kuvvetler sabit pozisyonlarda akım varken ve yokken ölçülecek ve hidrodinamik aşağı-çekme kuvveti aynı pozisyonadaki iki ölçümün arasındaki farkın alınması ile bulunacaktır.

$$F_d = F_{cf} - F_{cs} \quad (3)$$

Statik halde ve akım durumunda sürtünme kuvvetleri farklı olabilir. Akım olduğunda kapağın menba tarafındaki yüzeyde basınç mansap tarafındaki yüzeyden daha büyüktür. Bu yüzden akım durumunda, akım yönüne paralel (kapak yüzeyine dik) kuvvet sürtünmeyi artırır. Sürtünme kuvvetindeki bu fark, model kapağında ölçülen hidrodinamik aşağı-çekme kuvvetine kıyasla oldukça küçük olduğu için gözardı edilebilir.

Prototip değerlerin hesaplarında kullanılabilmesi için model ölçümleri boyutsuz formda verilmelidir. Yaygın olan uygulama [2,3] kapak için bir aşağı-çekme kuvvet katsayısı belirlemektir.

$$K_d = \frac{F_d/(\gamma_w A_p)}{V_g^2/2g} \quad (4)$$

Burada K_d =Kapak aşağı-çekme kuvvet katsayısı, A_p =Kapağın yatay izdüşüm alanı, γ_w =Suyun özgül ağırlığı, V_g =Kapağın altındaki su hızı ve g =Yerçekimi ivmesidir.

Debi Formülasyonu

Enerji tünellerindeki debi belli bir kapak açıklığına kadar mansap tarafından (türbin) kontrol edilmektedir. Bu kritik kapak açıklığından sonra, debi kapak tarafından kontrol edilmeye başlar. Kapak kontrollü debi durumu için su, kapağın mansap tarafında kapak ağzından biraz daha alçak bir serbest yüzeyli su seviyesine sahiptir. Bu konfigürasyon için bütün sürtünme ve enkesit değişiminden dolayı oluşan yerel kayıpları içeren, hazne ve daraltılmış kapak bölgesi arasında enerji denklemi yazılabilir.

$$H_r - \sum K_{mi} \frac{V_i^2}{2g} - \sum f_i \frac{L_i}{D_i} \frac{V_i^2}{2g} = z_{g0} + yC_c + \frac{V_c^2}{2g} \quad (5)$$

Burada H_r =Hazne su kotu, K_m =Yerel kayıp katsayısı, V =Enkesit ortalama hızı, g =Yerçekimi ivmesi, f =Sürtünme katsayısı, L =Tünel uzunluğu, D =Tünel çapı, z_{g0} =Kapak

tam kapalıyken kapak ağzının kotu, y =Kapak açıklığı ve C_c =Daralma katsayısıdır. Denklem (5) aşağıdaki şekilde düzenlenebilir

$$Q_g = A_g C_{dg} \sqrt{2g(H_r - (z_{g0} + yC_c))} \quad (6)$$

Burada A_g =Kapak ağzı altındaki akım alanı ve C_{dg} =Aşağıdaki formülle tanımlanan kapak kontrollü akım için debi katsayısıdır.

$$C_{dg} = \sqrt{1 / (\sum (K_{mi} \frac{A_g^2}{A_i^2} + f_i \frac{L_i}{D_i} \frac{A_g^2}{A_i^2}) + \frac{1}{C_c^2})} \quad (7)$$

Kapak açıklığı büyük olduğunda debi mansap koşulları tarafından kontrol edilir. Mansap kontrollü durum için, hazne ve kuyruk suyu arasındaki enerji denklemi aşağıdaki gibi yazılır.

$$H_r - \sum K_{mi} \frac{V_i^2}{2g} - \sum f_i \frac{L_i}{D_i} \frac{V_i^2}{2g} = H_t \quad (8)$$

Burada H_t =Kuyruk suyu kotudur. Denklem (8) mansap kontrollü debiyi elde etmek için aşağıdaki şekilde düzenlenebilir.

$$Q_t = C_{dt} A_g \sqrt{2g(H_r - H_t)} \quad (9)$$

Mansap kontrollü debi katsayısı, C_{dt} , aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$C_{dt} = \sqrt{1 / \sum (K_{mi} \frac{A_g^2}{A_i^2} + f_i \frac{L_i}{D_i} \frac{A_g^2}{A_i^2})} \quad (10)$$

Denklem (10) hazne girişinden kuyruk suyuna kadar olan tüm sistemdeki sürtünme ve yerel kayıpları kapsamaktadır.

Kapak bölgesi civarında geçişlerdeki yerel kayıp katsayılarını belirlemek için ölçümler yapılmıştır. Dairesel kesitten dikdörtgene olan geçişler (K_{tr1}), dikdörtgen kesitten dairesele olan geçişler (K_{tr2}) ve bu iki geçiş arasında kalan kapak bölgesi (K_g) için yerel kayıplar tasarım debisine (172 m³/s) yakın çeşitli debilerde kapak tamamen açıkken çalışılmıştır. Yerel kayıp katsayıları-Reynolds sayısı ilişkisi Şekil 1 de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, yerel kayıp katsayıları Reynolds sayısından bağımsızdır. Bu da, mevcut Reynolds sayıları için türbülans yapısına herhangi bir ölçek etkisi olmadığını gösterir.

Kapak bölgesi kayıp katsayısı kapak açıklığı ile değişmektedir. Bu yüzden, kapak bölgesi için yapılan ölçümler çeşitli kapak açıklıkları için tekrarlanmıştır. Kapak açıklığının bir fonksiyonu olarak kayıp katsayısı Şekil 2 de gösterilmiştir. Kapağın mansap tarafındaki su derinliği için daralma katsayısı aşağıda tanımlanmıştır [3].

$$C_c = 0.75 + 0.25y^4 \quad (11)$$

Sonraki deney serileri çeşitli kapak açıklıklarında debiyi ve hidrodinamik aşağı-çekme kuvvetini belirlemek için yapılmıştır. Başlangıç debileri 395, 300, 224, 172 ve 108 m³/s olarak seçilmiş ve kapak açıklığına bağlı olarak değişen debi eğrileri Şekil 3 de gösterilmiştir. Hidrolik model prototip sistemin sadece bir bölümü olup menba ve mansap tarafından kesilmiştir. Bu nedenle modelden elde edilen debi eğrileri doğrudan prototipe aktarılamaz. Bunun yerine, Denklem (6) ve (9) ile kapak açıklığı-debi eğrileri, deneysel olarak elde edilen kapak bölgesi ve geçişlerdeki kayıp katsayıları kullanılarak oluşturulmuştur. Şekil 4 de yukarıda yazılan denklemler kullanılarak bir kısım eğriler sayısal olarak gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, başlangıç debisi dizayn debisine eşitlendiğinde, kapak açıklığı %20 nin altında iken debi kontrolü kapak tarafından sağlanmaktadır. Kapağın mansabındaki cebri borunun tamamen çökmesi durumunda kapak bölgesinden geçebilecek maksimum debi 784 m³/s'dir.

Aşağı-Çekme Kuvveti Katsayısı

Kapağın suya batmış haldeki ağırlığı hidrostatik durumda (akım yokken) kapak açıklığının bir fonksiyonu olarak ölçülmüştür (Şekil 5). Sonra, aşağı-çekme kuvveti ölçümleri sabit debi ve hazne seviyelerinde farklı kapak açıklıklarında yapılmıştır. Denklem (1) ve (2) de F_{cf} ve F_{cs} ile tanımlanan parametreler ölçülmüş ve denklem (3) e göre hidrodinamik aşağı-çekme kuvveti belirlenmiştir. Sonra aşağı-çekme katsayısı, K_d , denklem (4) kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuçlar Şekil 6 da boyutsuz kapak açıklığının bir fonksiyonu olarak gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere sonraki hesaplamalarda kullanılmak amacıyla veri noktalarına en iyi uyan eğri belirlenmiştir. Aşağı-çekme kuvvet katsayısı kapak kapandıkça sıfıra yaklaşmalıdır. Fakat, kapak etrafındaki sızıntılardan dolayı okunan veriler daha büyük değerler vermektedir. Kapak üzerindeki aşağı-çekmeyi ölçebilmek için, kapak ile kapak yuvası arasında herhangi bir

şekilde sürtünme kuvveti oluşturacak temas olmamalıdır. Bu nedenle kapak ve kapak yuvası yüzeyleri arasından bir miktar sızma olması kaçınılmazdır.

Aşağı-Çekme Hesaplamaları

Muhtemel maksimum aşağı-çekme kuvveti aralığını araştırabilmek için farklı başlangıç debilerinde hesaplama yapmak faydalı olacaktır. Sistemdeki debi yukarıda belirtilen formüllerle hesaplanır ve hidrodinamik aşağı-çekme kuvveti değerlendirilir. Sonuçlar altı farklı başlangıç debisi için Şekil 7 de gösterilmiştir. Başlangıç debisi tasarım debisine (172 m³/s) eşitlendiğinde maksimum aşağı yönlü çekme %17 kapak açıklığında 118 ton olarak oluşmaktadır. Kapak sistemi çöktüğünde oluşabilecek maksimum debi olan $Q=784$ m³/s'de aşağı yönlü çekme kuvveti 144 ton olarak bulunur.

Acil Kapanma Durumunda Hava Talebi Hesaplaması

Kapak akıma karşı kapandığında, kapak arkasında çok büyük negatif basınçlar oluşabilir. Kavite ve kolon ayrışması gibi hidroluk olaylardan kaçınmak için, kapağın mansap tarafındaki basınç atmosferik basınca yakın tutulmak zorundadır. Bu da kapağın arkasından başlayıp atmosfere açık olan yere kadar uzanan bir hava girişi ile sağlanabilir. Bu projede kapağın hemen mansabında 1.1 m çapında dairesel iki adet havalandırma borusu bulunmaktadır. Havalandırma borularındaki hava akış miktarını ve kapak arkasındaki ardışık basınç düşüşlerini belirlemek için kapağın kapanması esnasında geçiş akımını hesaplayan bir bilgisayar kodundan yararlanılmıştır [1,2]. Şekil 8 de üç farklı başlangıç debisi için maksimum hava akış miktarları gösterilmiştir. Kapak, başlangıç debisi olan 172 m³/s için bir dakika içinde kapanırsa, maksimum hava debisi ihtiyacı 83 m³/s'dir.

Sonuçlar ve Öneriler

Alparslan II barajı basınçlı iletim tüneli kapakları üzerindeki hidrodinamik aşağı-çekme kuvvetleri ölçeklendirilmiş bir model üzerinde deneysel olarak çalışılmıştır. Yük kayıp

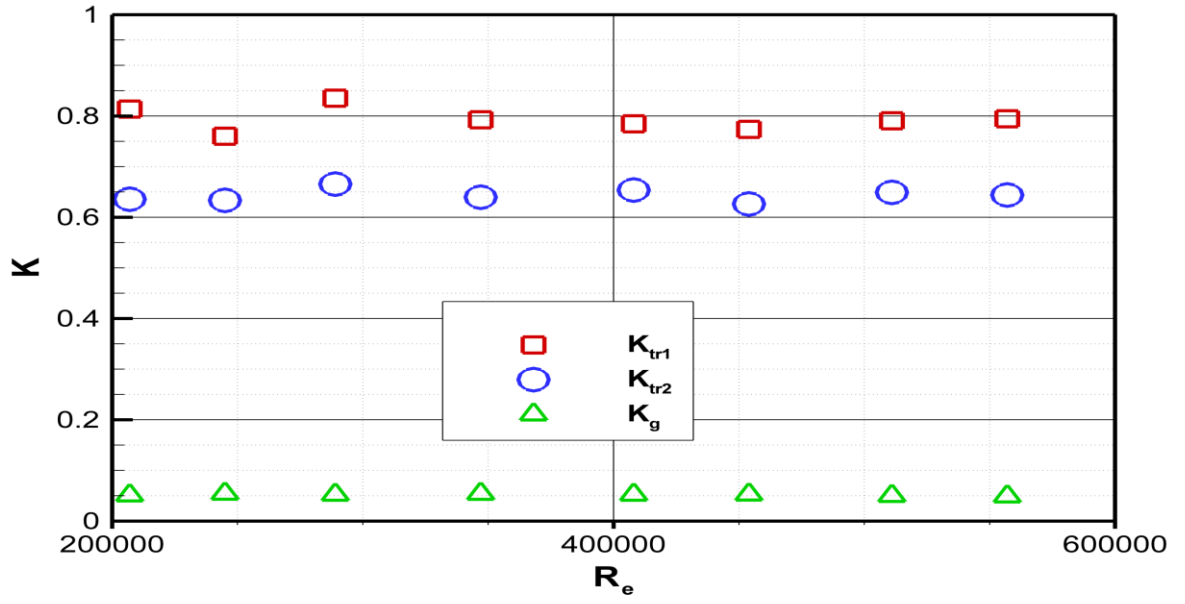
katsayıları, debiler ve hidrodinamik aşağı-çekme kuvvet katsayısı hidrolik model üzerindeki ölçümlerden elde edilmiştir. Farklı kapak açıklıkları için aşağı-çekme kuvveti hesaplamaları farklı başlangıç debileri ile çalışılmıştır. Hava ihtiyacı ile ilişkili diğer geçiş olayları da incelenmiştir. Çalışmanın temel sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

- a) Deneyler esnasında kapak bölgesinin mansap tarafında dikdörtgen kesitten dairesel kesite geçiş bölgesinin tavanında durağan şekilde bazı hava kabarcıkları gözlenmiştir. Borunun dolması sırasında hava kabarcıklarının kaçışını engelleyen pozitif eğimli bir bölge bulunmaktadır. Kaldırma kuvveti etkilerinden kurtulmak için bu bölgeye 20-30 cm çapında havalandırma şaftından daha yüksek olacak şekilde bir boru konulmalıdır.
- b) Sabit kapak pozisyonlarında tasarım debisi için hesaplanan maksimum hidrodinamik çekme 118 ton olarak ölçülmüştür. Akımdaki dalgalanmalardan dolayı aşağı yönlü çekmede artış ve büyük debiler varken kapağın kapatılma olasılığı göz önüne alınarak aşağı-çekme kuvvetinin dizayn değeri 150 ton alınabilir.
- c) Tasarım debisi olan $172 \text{ m}^3/\text{s}$ için kapak, bir dakika içinde kapanırsa, cebri borulara gereken maksimum hava debisi ihtiyacı $83 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir. Herbir tünel için sağlanan iki adet havalandırma borusu istenilen miktarda hava akışını sağlamaktadır. Gerekli görülmesi durumunda bu iki boru hidrolik eşdeğeri olan tek bir boru ile değiştirilebilir.
- d) Hava ihtiyacını ve mansap tarafındaki negatif basıncın miktarını azaltmak için kapak kapanma hızı değiştirilebilir. Kapak açıklığının ilk % 75 lik kısmı daha hızlı kapatılıp son % 25'lik kısmında ise hız düşürülebilir.
- e) Bu raporda bulunan deneysel sonuçlara dayalı hesaplamalar öncelikli olarak hidrodinamik aşağı-çekme kuvveti bileşenlerini değerlendirmeye dayalıdır. Ağırlık, sürtünme ve kaldırma kuvveti gibi diğer kuvvet bileşenleri prototip kapağı için hesaplanmalı ve gerekli olan maksimum kaldırma kuvvetini bulmak için hidrodinamik aşağı-çekme kuvvetine eklenmelidir.

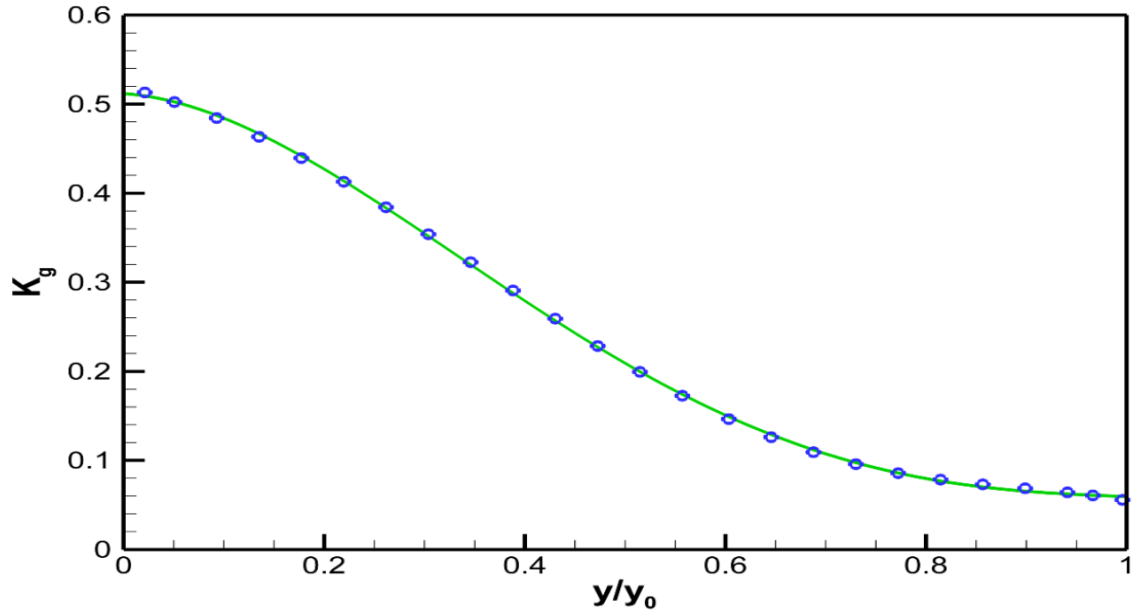
Referanslar

- [1] Aydin, I., Yavuz C., Şahin A.N. (2013), ‘Hydraulic Model Studies for Power Tunnel Gates of Alpaslan II Dam and Hydropower Plant’, Final Report, Project No: 12.03.03.02.00.96, Metu, Ankara.
- [2] Aydin, I. (2002), ‘Air Demand Behind High Head Gates During Emergency Closure’, *J. of Hydraulic Res.*, IAHR, 40(1), pp. 83-93.
- [3] Aydin, I., Dundar, O. and Telci, I. T. (2003), “Kapanan hidrolik kapaklardaki Hidrodinamik kuvvetler” Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırmalar Konseyine sunulmuş rapor, Proje no. Intag 831, Şubat 2003, METU, Ankara
- [4] Aydin, I., Dundar, O. and Telci, I. T. (2006), “Prediction of Downpull on Closing High Head Gates”, *J. of Hydraulic Res.*, IAHR, vol. 44(6), pp.822-831
- [5] Naudascher, E., (1991), Hydrodynamic forces, A. A. Balkema, Rotterdam, the Netherlands

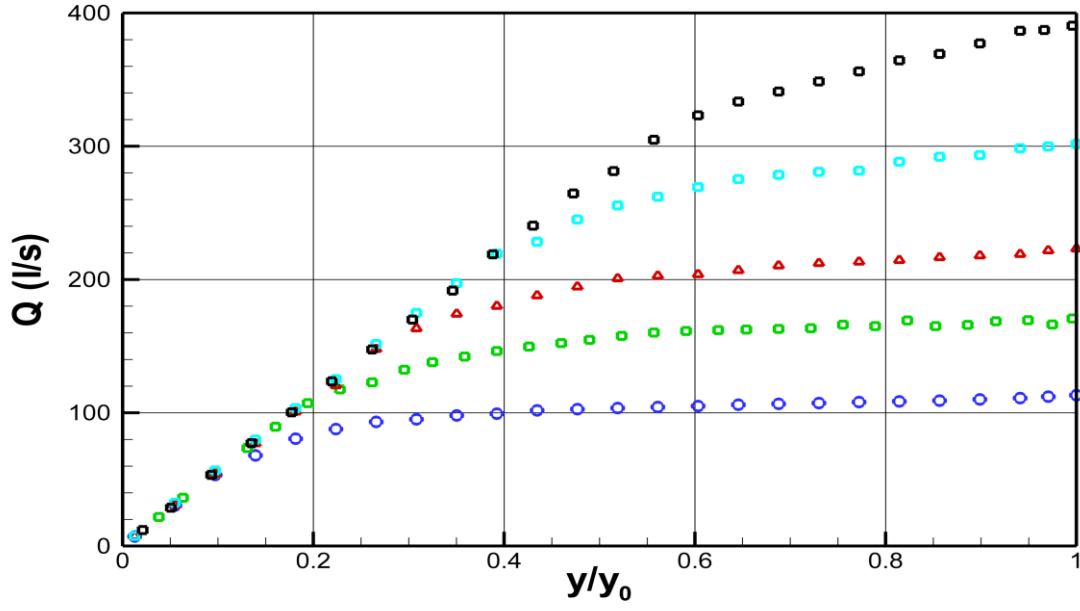
Şekiller



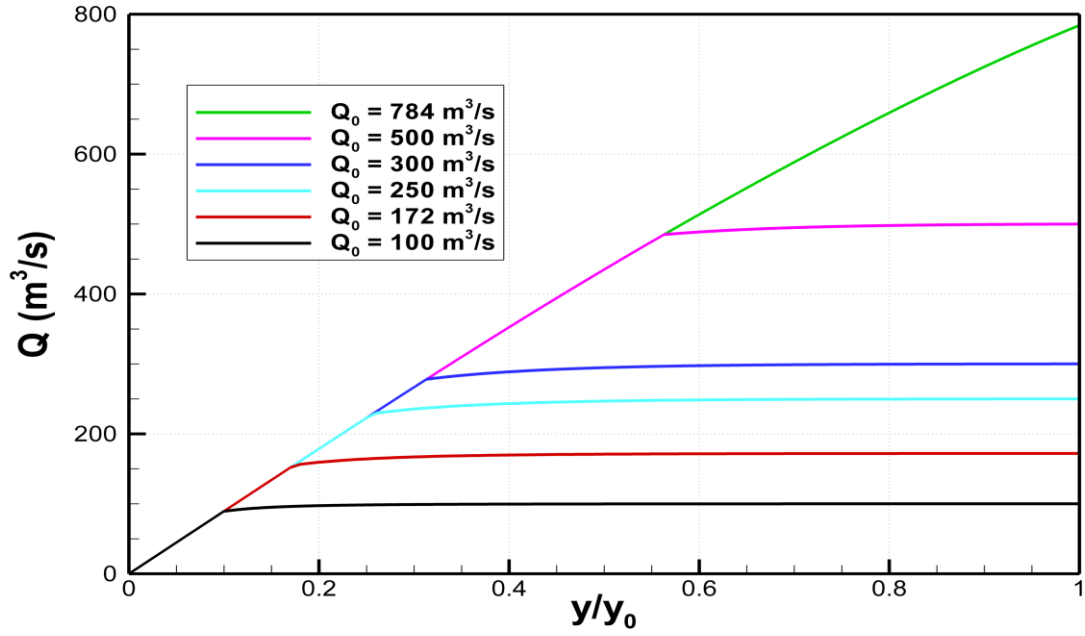
Şekil 1. Geçişler ve kapak bölgesi için yerel kayıp katsayıları



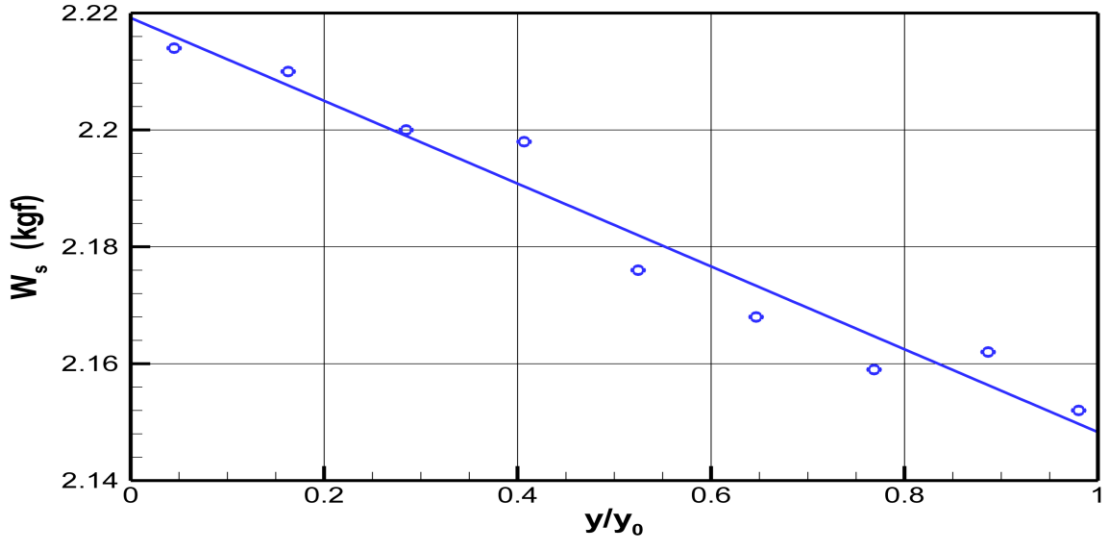
Şekil 2. Farklı kapak açıklıkları için kapak bölgesi kayıp katsayısı



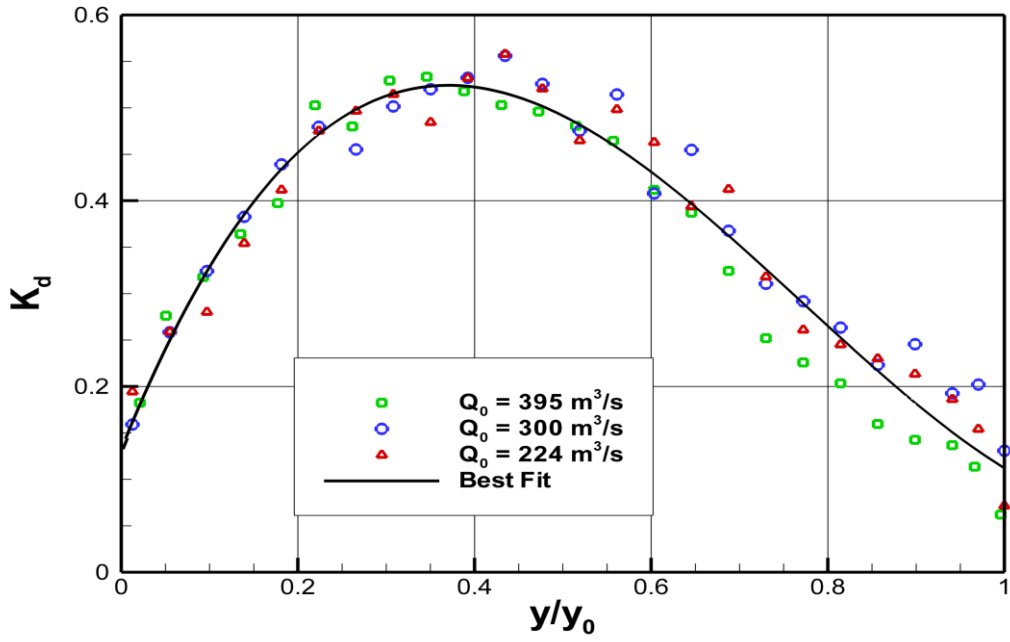
Şekil 3. Modelde ölçülen debiler (prototip değerleri)



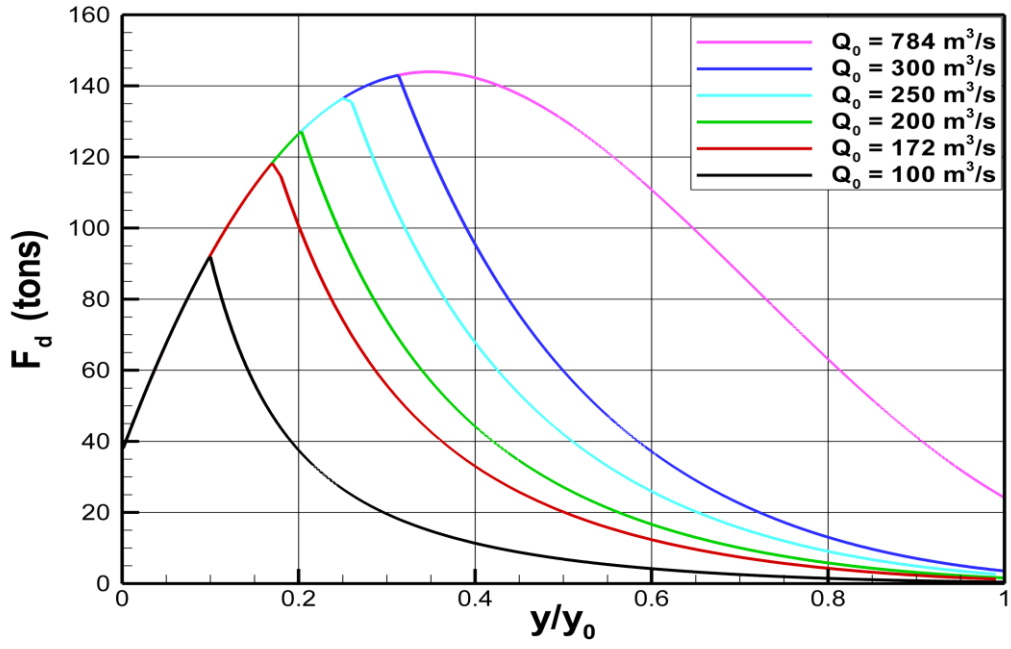
Şekil 4. Kapak açıklığına bağlı hesaplanan debiler



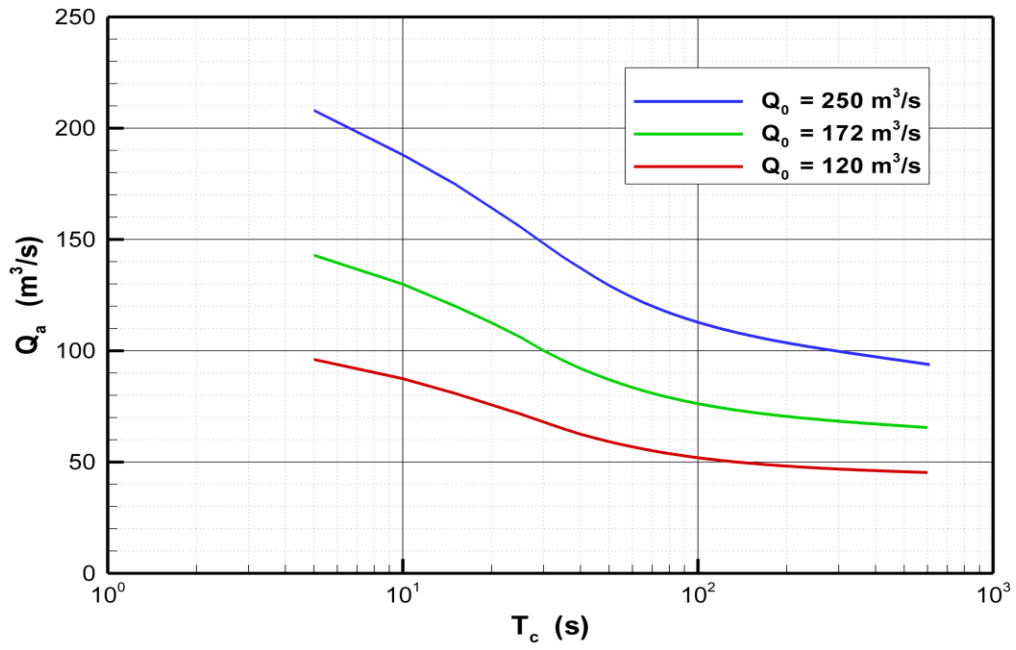
Şekil 5. Model kapağının suya batık ağırlığı



Şekil 6. Kapak aşağı-çekme kuvvet katsayısı



Şekil 7. Çeşitli başlangıç debileri için hesaplanan aşağı-çekme kuvvetleri



Şekil 8. Çeşitli başlangıç debileri için hesaplanan hava debileri