DERİNER BARAJI TÜNELLİ DOLUSAVAK HAVALANDIRICILARI BÜYÜK ÖLÇEKLİ HİDROLİK MODEL ÇALIŞMALARI

M. Ali KÖKPINAR (*), Hüseyin Çetin ÇELİK (**)

ÖZET

Bu çalışmada, Deriner Barajı tünelli dolusavaklarının hidroliği ve havalandırıcıların performansları, 1/20 ölçekli model çalışmalarından elde edilen veriler kullanılarak incelenmiştir. Model üzerinde iki farklı durum için deneyler yürütülmüştür. Birinci durum, orijinal proje durumunda yapılan çalışmaları içermektedir. Bu durumda yürütülen deneylerde, tünelli dolusavak boyunca akım hızlarının 20 m/s ile 35 m/s arasında değiştiği görülmüştür. Yüksek değerlerdeki bu hızların, prototipte bulunabilecek pürüzlü ve süreksiz yüzeylerde kavitasyon riski oluşturma ihtimalleri bulunmaktadır. Ayrıca, tünel yüzeylerinde ölçülen statik basınç ve akım hız değerleri yardımı ile hesaplanan kavitasyon indeksi değerlerinin kritik değerlere çok yakın oldukları görülmüştür. Bu nedenle, kavitasyon riskini önleyebilecek düzenlemeleri yapabilmek için ikinci grup deneylere ihtiyaç duyulmuştur. İkinci grup deneyler, dolusavak üzerine yerleştirilen havalandırıcıların, tasarımlarını ve performans değerlendirmesine yönelik yapılan deneyleri içermektedir. Ayrıca bu deneyler sırasında, akım içerisindeki ölçülen hava konsantrasyon değerlerini kullanarak, havalandırıcıların optimum faydayı sağlamasına yönelik dolusavak üzerinde yer belirleme çalışmaları da yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Kavitasyon, Tünelli Dolusavak, Havalandırıcı.*

1. GİRİŞ

Yüksek barajların dolusavakları, genellikle, oluşan yüksek akım hızlarının hidrodinamik etkileri nedeni ile oluşan kavitasyon hasarlarına maruz kalırlar. Dolusavakta oluşan bu yüksek akım hızları, dolusavak yüzeyindeki basınç değerlerinin buhar basıncına yakın değerlere düşmesine sebep olurlar. Dolusavak boşaltım kanalının bazı noktalarında bu değerlere ulaşıldığında beton yüzey üzerinde, kavitasyon hasarlarına neden olabilecek hidrodinamik kuvvetler oluşur. Bu tür hasarları önleyebilmek için, akıma hava karışmasını sağlayan havalandırıcılar tasarlanmaktadır. Ancak, bu amaçla dolusavak üzerine yerleştirilecek havalandırıcıların yerlerini teorik olarak belirlemek, hava-su karışımı akımların karmaşıklığı nedeni ile pek de mümkün olmamaktadır. Bu nedenle, araştırmacılar, kritik kavitasyon indeksi değerlerinin oluştuğu yerleri belirleyebilmek için fiziksel model deneylerinden elde ettikleri değerleri kullanmaktadırlar. Kritik kavitasyon indeks değerleri belirlendikten sonra, havalandırıcı yerlerinin seçimi de kolayca yapılabilmektedir. Ancak literatürde, kavitasyon riskini önleyebilmek için havalandırıcı çalışması yapılan fiziksel modellerin ölçeklerinin, prototip davranışını tam olarak yansıtabilmek ve ölçek etkilerini azaltabilmek açısından, en az 1/25 seçilmesi gerektiği bildirilmiştir. Bu nedenle, Deriner Barajı tünelli dolusavaklarında kavitasyon riskinin ve muhtemel havalandırıcılardan optimum düzeyde verim elde edebilmek maksadı ile yerlerinin belirlenmesi amacı ile büyük ölçekli bir model yapma ihtiyacı duyulmuştur.

Artvin ili sınırları içerisinde, Çoruh Nehri üzerinde inşa edilmekte olan Deriner Barajı, ülkemizin en önemli baraj ve hidroelektrik santrallerinden bir tanesidir. Betonarme kemer gövde tipine sahip olan barajda, maksimum feyzan debisi olan 10100 m^3/s lik debiyi savaklayacak iki tip dolusavak sistemi bulunmaktadır. Bunlar üsten aşmalı dolusavak sistemi ve dip savak sistemleridir. Üsten aşmalı dolusavak sistemi, baraj eksenine göre simetrik olarak yerleştirilmiş, yüksek eğime sahip iki tünelden oluşmaktadır. Dip savaklar ise baraj gövdesinde yer alan sekiz adet orifis savaktan oluşmaktadır. Tablo 1'de baraj ve üsten aşmalı dolusavağın tipik özellikleri verilmiştir.

Tünelli dolusavaktan çıkan su jetlerinin enerjisinin çarpışma ile kırılması ve böylece nehir yatağının korunumunu sağlayabilmek açısından, dolusavaklar simetrik çalıştırılacak şekilde tasarlanmıştır. Dolusavak girişinin başlangıcında, su yüzeyi atmosfere açık olduğu için, akım doğal olarak havalanmaktadır. Orijinal proje durumunda, kavitasyon hasarlarının

(*) Dr., (**) İnş. Y. Müh.
DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi, Ankara

Tablo 1 - Deriner Barajı ve Deriner Barajı Üsten Aşmalı Dolusavaklarının Genel Özellikleri

Rezervuar Özellikleri	
Maksimum feyzan debisi	10100 m³/s
Maksimum savaklanma debisi	9251 m³/s
Dolusavak tasarım debisi	9250 m³/s
Maksimum kuyruk suyu seviyesi	200m (9250m³/s için)
Normal kuyruk suyu seviyesi	182 m
Krest kotu	397 m
Maksimum taşkın kotu	395 m
Maksimum kullanım kotu	392 m
Üsten Aşmalı Tünelli Dolusavak Özellikleri	
Tünel sayısı	2
Normal kullanım debisi	2 x 750=1500 m³/s
Maksimum taşkın debisi	2 x 1125=2250 m³/s
Yaklaşım kanalı kotu	375 m
Yaklaşım kanalı genişliği	30 m

önlenmesinde yeterli olacağı varsayılarak, her bir tünelli dolusavak girişine yakın noktada bir tane havalandırıcı yerleştirilmiştir.

Havalandırıcı performansını incelemek ve muhtemel kavitasyon riskini belirleyebilmek için, sol sahilde yer alan tüneli dolusavağın büyük ölçekli (1/20) modelinin yapılmasına ihtiyaç duyulmuştur.

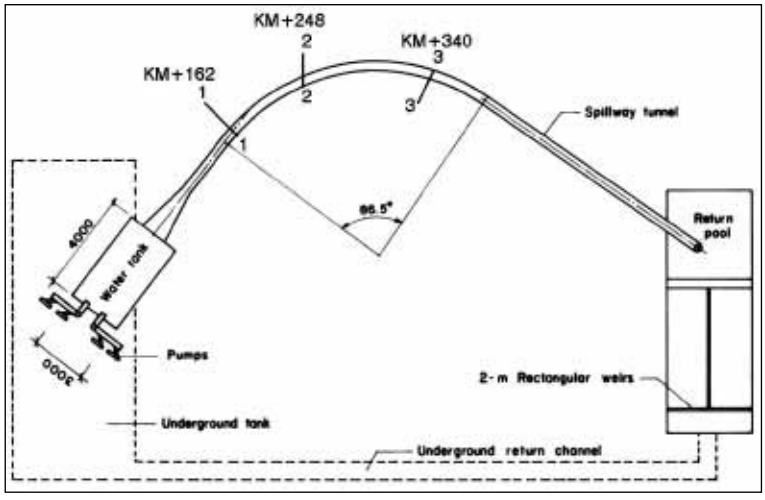
2. FİZİKSEL MODEL

Tünelli dolusavak üzerinde oluşabilme ihtimali olan kavitasyon riskini hesaplayabilmek ve muhtemel havalandırıcıların yerlerini belirlemek için yapılaması düşünülen fiziksel model çalışmasında ilk adım model ölçeğinin belirlenmesi olmuştur. Dolusavak havalandırıcıları ile ilgili model çalışmaları sırasında model ölçeğinin seçilmesi sırasında büyük özenin gösterilmesi gerektiği bilinmektedir. Daha öce yapılan çalışmalar (Pinto ve diğerleri, 1982; Volkart and Chevet, 1983), elde edilen dataların güvenirliği açısından, yüksek hızlardaki hava su karışımı akımların model çalışmaları sırasında model ölçekleri mümkün olabildiği kadar büyük seçilmesi gerektiğini göstermiştir. Bu nedenle Deriner Barajı model çalışmalarında model ölçeği 1/20 olarak seçilmiştir. Böyle büyük bir barajın, büyük ölçeğe sahip modelini kapalı alanda inşa etmek olanaksız olduğundan, model DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, Hidrolik Model Laboratuvarı açık alanında inşa



Foto 1 - 1/20 ölçekli modelin mansaptan görünüşü

edilmiştir (Foto1). Modelde, dolusavağa su sağlayacak, 30 m³ kapasiteye sahip yerden 10 m yükseklikte çelik bir tank tasarlanmıştır. Ayrıca, 10 m yükseklikteki su tankına yerden su pompalayabilmek için, kapasitesi 800 1/s olan 4 adet pompa modele yerleştirilmiştir. Deneyler sırasında debi, mansaba yerleştirilen 2 m genişliğe sahip keskin kenarlı savaklar tarafından ölçülmüştür. Şekil 1'de model yerleşiminin plan görünüşü görülmektedir. Bu şekilden de görüldüğü gibi, alt ve üst tanklar deneylerin yürütülebilmesi için gerekli suyu tutabilecek kapasitedir ve bu su alt ve üst tanklar arasında devir daim yapmaktadır. Dolusavak üstünde belirlenen noktalarda hava akım hızları anemometre ile ölçülmüştür. Kavitasyon indekslerini belirlemek için ihtiyaç duyulan statik basınç değerleri ise dolusavak ekseninde açılmış 29 adet piozemetre holünden okunmuştur. Tünel yüzeyine yakın yerlerde, hava su karışımı akımındaki hava konsantrasyon değerleri düşük olduğundan, bu bölgelerde hız ölçümü için pitot borusu kullanılmasında bir sakınca görülmemiştir. Bu nedenle akım hızları pitot borusu kullanılarak ölçülmüştür. Hava konsantrasyonlarının

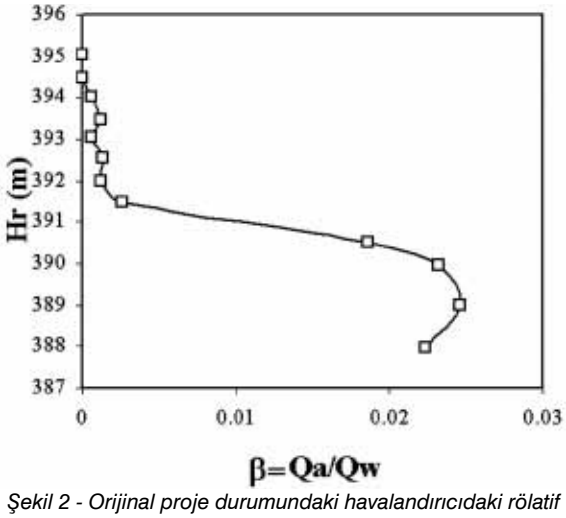


Şekil 1. Model güzergahının ve konsantrasyon ölçüm kesitlerinin plandan görünüşü (boyutlar mm'dir)

ölçülmesinde, akımdaki hava kabarcıklarını, dolayısı ile de hava konsantrasyonu belirleyebilen fiber-optik sistem kullanılmıştır.

3. ORİJİNAL PROJE DURUMUNDA YAPILAN ÇALIŞMALAR

Orijinal proje durumunda, ortaya çıkabilecek kavitasyon riskini belirlemek için, normal ve maksimum göl kotlarında deneyler yapılmıştır. Orijinal projede, kret'den 78 mansaba yerleştirilen havalandırıcının etkinliği bu göl kotlarında test edilmiştir. Şekil 2, akıma karışan hava debisinin, su debisine oranı ile göl su kotu seviyesinin değişimini göstermektedir. Bu şekilde de anlaşıldığı gibi, göl su seviyesi 391 m geçtikten sonra havalandırıcı fonksiyonu yitirmektedir. Buradan orijinal projede, havalandırıcının geometrisi ve/veya yerinin yanlış seçildiği anlaşılmaktadır.



Şekil 2 - Orijinal proje durumundaki havalandırıcıdaki rölatif hava debisinin göl su seviyesi ile değişimi

Tablo 2'de, önceden belirlenmiş noktalarda ölçülen basınç ve akım hızı değerlerini gösterilmiştir. Bu değerlerin karşı geldiği prototip değerleri de yine aynı tabloda verilmiştir. Dolusavak boyunca, negatif basınç değeri görülmemişse de, yüksek akım hızlarından dolayı kavitasyon indekslerinin hesaplanmasına ihtiyaç duyulmuştur. Dolusavakta ortaya çıkabilecek kavitasyon riskinin belirlenmesinde, önemli parametrelerden bir tanesi olan kavitasyon indeksi aşağıda verilen formül kullanarak hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{P - P_v}{\frac{1}{2}\rho U^2}$$

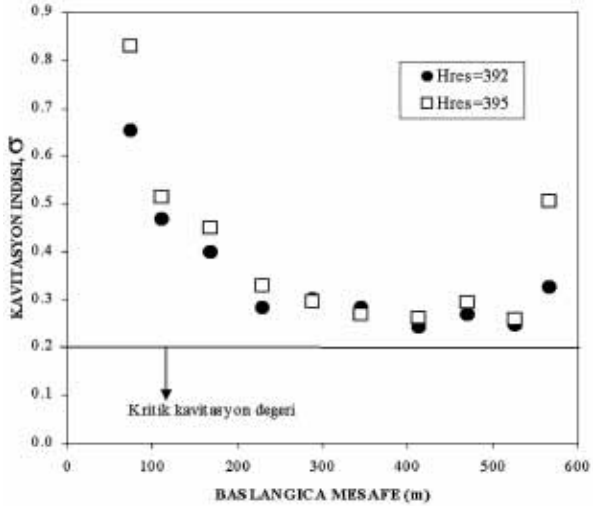
Bu denklemde;

P : Referans basıncını
P_v : Buhar basıncını
ρ : Su yoğunlunu
U : Akım hızını

ifade etmektedir.

Tablo 2 - Orijinal proje durumunda model üzerindeki statik basınç ölçümlerinin tünel aksı boyunca değişimi

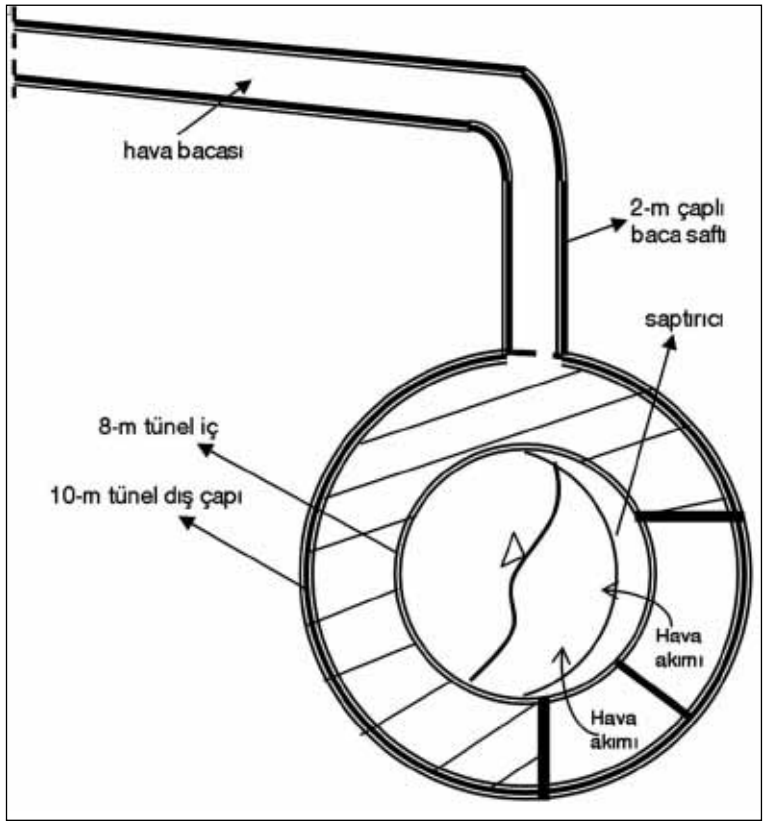
Göl Su Seviyesi, H_r (m)	Ölçüm noktası	Kretten uzaklık (m)	Basınç (kPa)	U_{model} (m/s)	$U_{prototype}$ (m/s)	Kavitasyon indisi, σ
392	1	73.72	146.463	4.70	21.0	0.653
	2	111.93	141.166	5.45	24.4	0.467
	3	168.78	134.691	5.75	25.7	0.400
	4	228.69	120.957	6.48	29.0	0.283
	5	288.53	126.647	6.43	28.7	0.301
	6	345.45	130.767	6.73	30.1	0.283
	7	412.99	142.539	7.59	34.0	0.243
	8	470.34	156.862	7.59	34.0	0.268
	9	526.09	129.983	7.18	32.1	0.248
	10	565.62	225.336	8.27	37.0	0.326
395	1	73.72	170.596	4.51	20.15	0.829
	2	111.93	167.653	5.66	25.33	0.515
	3	168.78	150.387	5.74	25.68	0.499
	4	228.69	144.501	6.58	29.45	0.328
	5	288.53	146.267	6.98	31.20	0.296
	6	345.45	164.121	7.74	34.60	0.270
	7	412.99	158.235	7.75	34.65	0.260
	8	470.34	172.166	7.59	33.97	0.294
	9	526.09	142.539	7.37	32.97	0.258
	10	565.62	317.942	7.89	35.30	0.507



Şekil 3 - Orijinal proje durumunda tünel ekseni boyunca kavitasyon indeksinin değişimi

Tablo 2'de verilen değerlerin grafik olarak gösterimi Şekil 3'te verilmiştir. Literatürde kavitasyon indeksinin kritik değeri 0,2 olarak kabul edilmektedir (Falvey

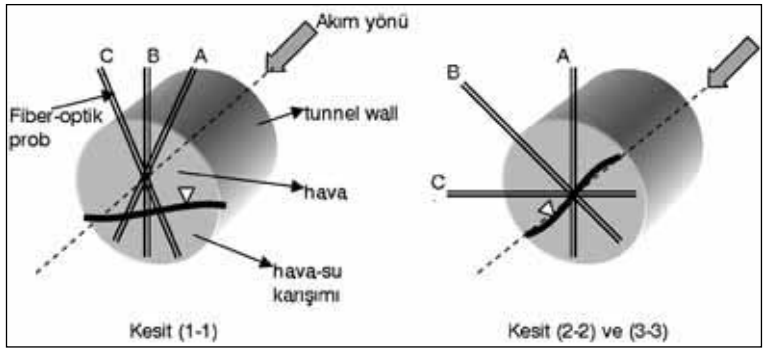
1990). Şekil 2'den de görüldüğü gibi, dolusavak boyunca hesaplanan bütün kavitasyon indeksi değerleri 0,2 den büyük olmasına rağmen 200 m ile 500 m arasındaki değerler kritik değerlere yaklaşmaktadır. Bu nedenle, bu aralıkta hava konsantrasyon değerlerinin küçük akım hızlarının yüksek olduğu noktaları ve dolayısı ile yerleştirilmesi muhtemel havalandırıcının yerinin belirlenmesi için, hava konsantrasyon değerlerinin ölçülmesine ihtiyaç duyulmuştur. Hava konsantrasyonları akım derinliği boyunca fiber-optik alet kullanılarak ölçülmüştür. Ölçüm sırasında, kresten 78 m mansapta bulunan havalandırıcı etkinliğini yitirdiği için kaldırılmıştır. Yani ölçümler dolusavak boyunca havalandırıcının olmadığı duruma göre yapılmıştır. Ölçülen bu değerler, ileriki sayfalarda verilmiştir.



Şekil 4. Tasarlanan havalandırıcının şematik görünüşü

4. NİHAİ PROJE DURUMUNDA YAPILAN ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

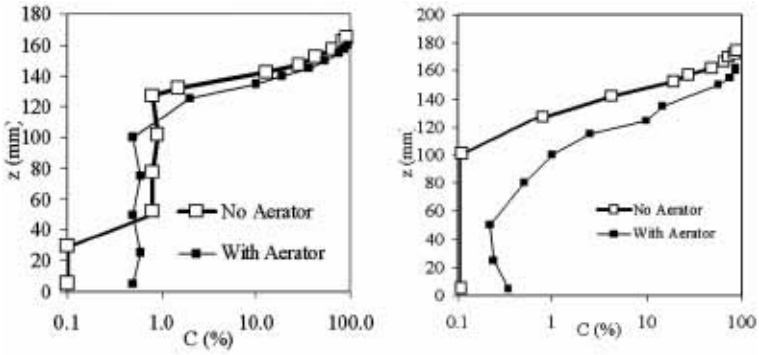
Orijinal proje durumunda yapılan çalışmalarda, 78 m mansaba yerleştirilmiş havalandırıcının, kavitasyon riskini önlemek bakımından yeteri kadar etkin çalışmadığı görülmüştür. Bu nedenle, Şekil 4'te krokisi verilen havalandırıcı baraj krestinden 200 m mansaba yerleştirilmiştir. Yeni havalandırıcının yerinin seçilmesinde göz önüne alınan ana faktör, bu noktadan sonra hesaplanan kavitasyon indeksi değerlerinin kritik değerlere yaklaşıyor olmasıdır.



Şekil 5. Ölçüm kesitlerindeki konsantrasyon ölçüm konumları

Havalandırıcı yerleştirildikten sonra hava konsantrasyonu değerleri ölçülmüştür. Bu ölçümler, orijinal proje durumunda da ölçümlerin yapıldığı ve Şekil 1'de gösterilmiş üç noktada yapılmıştır. Bu noktalarda, akıma göre üç farklı pozisyonda ölçüm yapılmıştır. Her bir kesitte üç farklı noktadan ölçüm yapılmasının nedeni, akım yüzeyi yönünün dolusavak boyunca değişimidir. Kesitlerde ölçüm yapılan üç noktadaki fiber-optik probun yönleri şekil 5'de verilmiştir.

Şekil 6'da Kesit 2-2 ve 3-3'te yapılan hava konsantrasyon ölçümleri grafiksel olarak dolusavak üzerine havalandırıcı yerleştirilmiş ve yerleştirilmemiş durumlarda, 392 m göl su seviyesi için verilmiştir. Bu grafiklerde, yatay eksen hava konsantrasyonun yüzde olarak değerini, düşey eksen ise ölçüm yapılan noktanın tünel yüzeyinden uzaklığını göstermektedir. Grafiklerden de görüldüğü gibi, havalandırıcısız durumda, kesit 2-2 için, yaklaşık tünel yüzeyinden 30 mm yukarıda bir mesafeye kadar hiç hava kabarcığına rastlanmamış olmasına, yani ölçülen hava konsantrasyon değerinin sıfır olmasına rağmen, havalandırıcı yerleştirilmiş durumda hava kabarcıklarının akım içerisindeki yüzdesi yaklaşık %1'e kadar ulaşmıştır. Ölçülen bu %1 hava konsantrasyon değerinin, kavitasyon riskini önleme açısından yeterli olmadığı bilinmekle beraber, prototipte bu değerin, oluşacak daha yüksek türbülans değerlerinden dolayı daha fazla değerlere ulaşacağı bilinmektedir. Ayrıca, model ile prototip arasındaki ölçek etkisi, hava



Şekil 6 - Konsantrasyon profillerinin karşılaştırılması (a) kesit (2-2), Hres=392 m, Prob konumu B; (b) kesit (3-3), Hres=392 m, Prob konumu B

kabarcıkları boyutunu yani hava konsantrasyonu değerini düşürmektedir. Aynı şekilde, havalandırıcısız durumda, kesit 3-3'te yapılan ölçümlerde, tünel tabanından 100 mm yukarıya kadar yapılan ölçümlerde hiç hava kabarcığına rastlanılmamış olmasına rağmen, havalandırıcılı durumda, daha alt seviyelerde hava konsantrasyonu ölçülmüştür. Ancak ölçülen değerler kesit 2-2'de ölçülen değerlerden daha düşüktür. Bunu sebebi, büyük olasılıkla bu kesitin yerinin kesit 2-2'ye göre havalandırıcının bulunduğu noktadan daha uzakta olmasıdır.

5. SONUÇ

Bu makalede, büyük ölçekli Deriner Barajı tünelli dolusavak modelinden elde edilen ön deney sonuçları sunulmuştur. Orijinal ve nihai proje durumları için bir dizi test model de yürütülmüştür. Orijinal proje durumuna göre elde edilen değerlerden, orijinal durumlarda tasarlanmış havalandırıcının etkin bir şekilde çalışmadığı görülmüştür. Bu nedenle orijinal projenin, havalandırıcının yeri ve geometrisi bakımından değiştirilmesi ihtiyacı doğmuştur. Hava konsantrasyon değişimlerini veren grafikler incelendiğinde, yeni yerleştirilen havalandırıcının daha etkin bir şekilde çalıştığı görülmüştür. Yapılan ön çalışmalarda, ayrıca, mevcut havalandırıcının geometrisinin, daha sağlıklı sonuçlar elde edebilmek için gerekli olduğu ve ikinci bir havalandırıcının daha menbaya yerleştirilmesinin daha iyi sonuçlar vereceği gözlemlenmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. Falvey, H., (1990), "Cavitation in Chutes and Spillways," A Water Resources Technical Publications, Engineering Monograph No: 42, Denver, USA.
2. Pinto, N., Neidert, S., and Ota, J.J., (1982), "Aeration at High Velocity Flows," Water Power and Dam Construction, 34(2), 34-38; 34(3): 42-44.
3. Volkart, P. And Chervet, A., (1983), "Air Slots for Flow Aeration," Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau Hydrologie und Glaziologie, Nr.66, Zürich.