

## INCREASING JET LENGTH AT LOW DISCHARGE FOR THE SKI-JUMP SPILLWAY OF KEBAN DAM

**Selami MERDİN\***

*ODTÜ, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, TÜRKİYE  
e-mail:merdin@metu.edu.tr*

**Basri ERTAŞ**

*İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ, MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ, KTÜ, TRABZON, TÜRKİYE*

### ABSTRACT

The most important disadvantage of the ski-jump spillways is the scouring at the downstream of the spillway where the flow hits the ground. For this reason, it is important that the flow is thrown from the end of the spillway to a safe distance. In this study, a spillway model was designed to provide a safe distance at low discharges. In order to examine the efficiency of the new model, firstly, a basic ski-jump spillway model with 22° toe angle was constructed. On this model, several experiments with various discharges were performed. All experiments of the first model were repeated on the newly designed model. The efficiency of the new model was examined by comparing the results of the experiments of the two models.

*Key Words: Ski-jump spillways, Jet trajectory, Jet length*

## JET SİÇRATMALI KEBAN DOLUSAVAĞI İÇİN DÜŞÜK DEŞARJLARDA JET BOYUNUN ARTIRILMASI

### ÖZET

Dolusavağın mansab bölgesinde, akışın yere çarptığı bölgede, oluşan büyük oyulmalar, serbest jet sıçratmalı dolusavaklarının en önemli dezavantajıdır. Bu nedenle, akışın barajdan ve dolusavaktan emniyetli bir uzaklığa fırlatılması çok önemlidir.

Yapılan bu çalışmada, daha düşük deşarjlarda da akışı jet olarak daha emniyetli bir uzaklığa fırlatabilecek bir dolusavak modeli projelendirildi. Projelendirilen bu modelin düşük deşarjlarda akışı jet olarak fırlatabilme verimliliğinin incelenmesi için, ilk önce 22° çıkış açılı normal jet sıçratma uçlu dolusavak modeli projelendirilerek inşaa edildi. Bu model üzerinde değişik deşarjlarda deneyler yapıldı. Birinci model üzerinde yapılan deneyler yeni model üzerinde tekrarlandı. Her iki modelden elde edilen deneylerin sonuçları karşılaştırılarak geliştirilen modelin düşük deşarjlarda akışı jet olarak fırlatabilme verimliliği incelendi.

*Anahtar Kelimeler: Serbest jet sıçratmalı dolusavaklar, Dolusavak, Jet yörüngesi, Jet Boyu*

### 1. GİRİŞ

Serbest jet sıçratmalı dolusavaklar, enerjisi kırılacak olan akışın hızı 15-20 m/s'den büyük olduğu durumlarda tercih edilmektedir (1). Serbest jet sıçratmalı dolusavaklarının çıkış yapısı, konveks bir eğrilikle inşa edilen akış sıçratma yapısıyla sonlandırılırlar. Bu yapı sayesinde dolusavak boşaltım kanalı sonunda yüksek hızlara erişen akış, havalandırılarak yapıya zarar vermeyecek emniyetli bir uzaklığa fırlatılır.

Bu tip dolusavaklar 1930 ların başından günümüze kadar, birçok barajda başarıyla kullanılmıştır. Bununla

### 1 INTRODUCTION

Ski-jump spillways are preferred in conditions when the speed of the flow ,whose energy will be broken ,is higher than 15-20 m/s (1).The structure of the exit of the ski-jump spillways ends with a flow-jump (akış sıçratma) structure which is constructed with a convex slope .By the help of this structure ,the flow ,which reaches a great speed at the end of the spillway excretion canal ,is sprayed to a secure distance which does not damage the structure.

These kinds of spillways have been used successfully in many dams since 1930. Besides this, the criteria of the

birlikte proje kriterleri kesin olarak ortaya konabilmiş değildir. (2) ve (3) farklı prototipler üzerindeki jet akışı gözlemlerini sunmuşlardır. (4)'ün sıçratma uclarının geliştirme çalışmaları USBR (United States Bureau of Reclamation) tarafından tamamlandı (5). Dolusavak sıçratma ucuna yerleştirilen, akış yönündeki, düşey deflektörlerin(saptırıcı) jet akışı üzerindeki etkileri Goang ve Zhenlin tarafından incelendi (6,7). Bu araştırmacılar dolusavak sıçratma ucu çıkışına yerleştirilen düşey deflektörler ile jet akışına hava karışımının arttığını gözlemlemişlerdir. Jet akışındaki hava konsantrasyonunun artışı, jet akışının atmosferle arasındaki sürtünmeyi arttırmaktadır. Bu nedenle jet akışının havadaki yörüngesi sırasındaki enerji kaybıda artmaktadır.

Serbest jet sıçratmalı dolusavakların en önemli dezavantajları, düşük deşarjlarda jet sıçratma ucunun topuk noktasının kotuna, diğer bir deyişle sıçratma ucu çıkış açısına ( $\theta$ ) bağlı olarak akışın, yapıyı emniyette kılacak bir uzaklığa fırlatılmamasıdır. Bu güne kadar fazla incelenmeyen diğer bir konuda, sıçratma ucunda oluşan akışın boğulması olayıdır. Sıçratma ucu girişine gelen sel rejimindeki akım, yeteri kadar enerjiye sahip olmadığı zaman, nehir rejimine geçiş yapmakta ve sıçratma ucu boğulmuş bir hidrolik sıçramanın olduğu bir düşü havuzu gibi çalışmaktadır. Bu durumda sıçratma ucu çıkış noktasında serbest düşü yapan su jetinin yörüngesi yaklaşık düşey olup, sıçratma yapısının temel bölgesine çarpmakta ve ciddi oyulmalara neden olmaktadır. Bu olay genellikle düşük deşarjların savaklanması durumunda ortaya çıkmaktadır.

Model çalışmalarına konu olan dolu savağın genel durumu ve parametreleri Şekil 1'de görülmektedir. Burada;  $H_S$  savak kreti üzerindeki su yükü,  $H_N$  dolusavağın menba bölgesindeki su derinliği,  $S_0$  başaltım kanalının eğimi, 1 noktası sıçratma ucu girişi olup jet yörüngesinin başlangıç noktasıdır, 2 noktası dönüm noktası, 4 noktası sıçratma ucu çıkış noktası olup sıçratma eğrisinin sonlandığı noktadır,  $\theta$  sıçratma açısı,  $D_C$  Çıkış noktası ile dönüm noktası arasındaki düşey uzaklık,  $L_j$  sıçratma ucu çıkış noktası ile su jetinin yere çarptığı nokta arasındaki yatay uzaklıktır. Sürekli çizgi ile sıçratma ucunda boğulmuş bir akış, kesik çizgi ile serbest fırlatılmış su jeti gösterilmektedir

project have not yet been put forth. (2) and (3) declared their observations about jet flow on different prototypes. Studies of (4) improving the "sıçratma ucu" of the perpendicular deflectors (5), which are planted at the end of the ski-jump spillway on jet flow, were examined by Goang and Zhenlin (6,7). These researchers observed that, with the perpendicular deflectors that are planted on the exit of the ski-jump spillways, much more air mixed with the jet flow. The increase of air concentration in the jet flow raises the friction between the jet flow and the atmosphere. That's why during the orbiting of the jet flow in the air, the loss of energy increases.

One of the most important disadvantages of the free ski-jump spillways is that the flow cannot be sprayed to a distance which renders the structure secure. And it depends on the level of the sıçratma ucu at low discharge, in other words it depends on the angle of the "sıçratma ucu". An other issue which has not been studied in detail so far is the suffocation (boğulma) of the flow that is formed at the "sıçratma ucu". When the flow in flood regime which comes to the "sıçratma ucu", has not enough energy it transfers into the river regime and the sıçratma ucu functions as a spillway apron in which a suffocated hydrolic splash is formed. So the water jet orbit which makes free pressure head (serbest düşü) at the exit of sıçratma ucu, is perpendicular and it causes serious cavities. This incident usually takes place when lower discharges are spilled.

The general condition and parameters of the spillway, in which model studies are interested, are displayed in Figure 1. Here  $H_S$  symbolizes the water load on spillway crest;  $H_N$  water depth in the "menba" part;  $S_0$ , the slope of the excretion canal; point 1 is the gate of the sıçratma ucu and it is the beginning of the jet orbit; point 2 is the turning point; point 4 is the exit of the sıçratma ucu and it is the point where sıçratma eğrisi ends;  $Q$  is the splash angle;  $D_C$  is the perpendicular distance between the exit point and the turning point;  $L_j$  is the horizontal distance between the exit point of the sıçratma ucu and the point where the water jet crashes into the ground. The continuous line shows a flow that's suffocated at the sıçratma ucu and the discontinuous line symbolizes the freely-sprayed water jet.

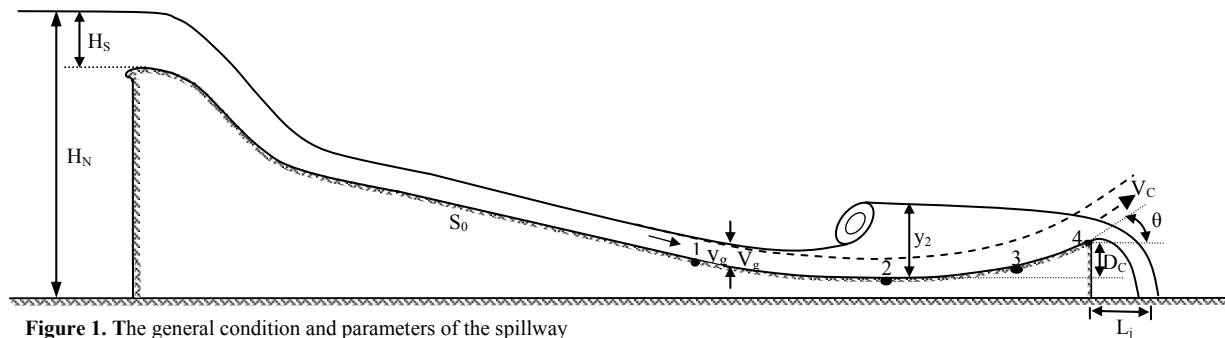


Figure 1. The general condition and parameters of the spillway  
Şekil.1 Serbest jet sıçratmalı dolusavağında akış boğulması ve parametreleri

## 2. METOT

Genel olarak, akışın daha uzağa fırlatılabilmesi için, sıçratma ucunun çıkış noktasının kotu yükseltilmektedir.

## 2. METHOD

Generally, in order to spray the flow to a farther distance, the level of the exit point of the sıçratma ucu

Diğer bir deyişle, sıçratma açısı artırılmaktadır. Örneğin, sıçratma ucu çıkış noktası kotu, 3 noktasından 4 noktasına yükseltilmektedir (Şekil 1). Yapılan deneyler, maksimum jet boyunun, sıçratma açısının  $30^{\circ} \sim 35^{\circ}$  arasında olması durumunda elde edildiğini göstermektedir (8). Akış, sıçratma açısının bu değerleri için, büyük deşarjlarda emniyetli bir uzaklığa fırlatılabilmekte, fakat aynı zamanda, sıçratma ucunda oluşan boğulma olayının gerçekleşmemesi için gerekli olan en küçük deşarj değeri artmaktadır. Bu nedenle, sıçratma ucunun düşük deşarjlarda düşü havuzu gibi çalışma özelliği arttığı için, sıçratma ucu temel bölgesinde oluşan oyulmalarda artmaktadır. Bir dolusavağın ömrünün büyük bir bölümünde düşük deşarjlarda çalıştığı düşünülecek olursa, bu problemin oldukça ciddi sonuçlar doğuracağı kaçınılmazdır. Dolusavağın sıçratma ucundaki boğulma problemi, sıçratma ucu topuk noktasının yatay olarak sonlandırılmasıyla çözülebilmektedir. Yani, sıçratma ucu çıkış noktası, 2 noktasında sonlandırılmaktadır (Şekil 1.). Fakat bu durumda, büyük deşarjlarda su jetinin yapıya zarar vermeyecek bir uzaklığa fırlatılamaması problemi gündeme gelmektedir. Özellikle feyezan zamanlarında tehlikeli bir durum ortaya çıkarmaktadır.

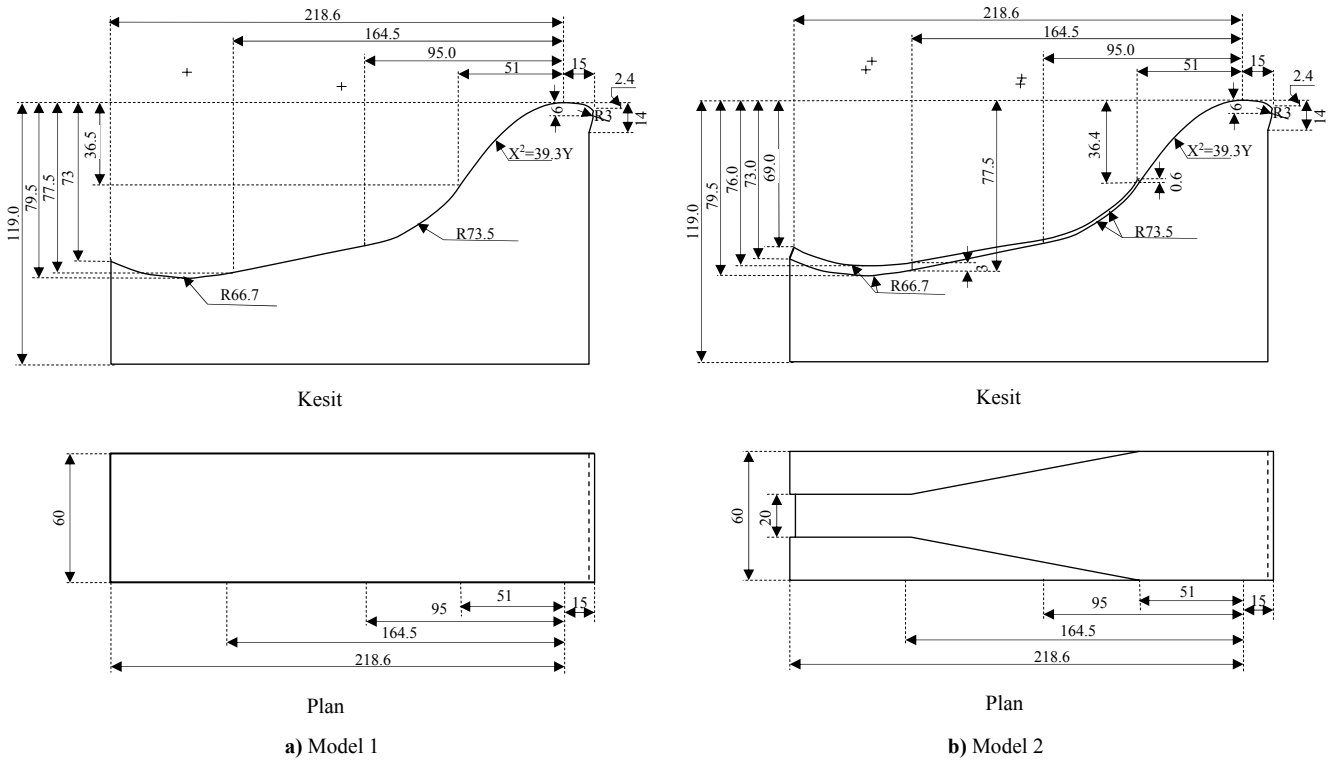
Bu çalışmada, daha önce bahsedilen irdelemelerin ışığı altında; düşük deşarjlardaki akışın jet olarak fırlatılmasını sağlayarak, jet boylarında artış sağlayacak, yeni bir model dizayn edildi (Şekil 2.b) (9). Geliştirilen bu modelin, normal jet sıçratmalı dolusavaklarla karşılaştırabilmesi ve bahsedilen problemlerin çözümünde iyileştirmenin sağlanıp sağlanmadığını kontrol etmek amacıyla, 1/60 ölçeğinde normal sıçratma uçlu bir dolusavak modeli projelendirildi (Şekil.2.a) (9). Bu modellerin proje kriterleri, Keban barajı dolusavağı proje kriterleri esas alınarak belirlendi.

Modellerin projelendirilmesinde, yerçekimi kuvvetlerinin etkin olduğu olaylarda geçerli olan, Froude ve geometrik benzerlik esasları kullanıldı (10). Modellerin inşasında PVC malzeme kullanılarak, düşük deşarjlardaki pürüzlülük benzeşimi sağlanmaya çalışıldı (11). Normal jet sıçratma uçlu dolusavak modeli ile geliştirilen modelin sonuçlarının karşılaştırılabilmesi için, ikinci model, ilk modelin karakteristik özellikleri korunarak projelendirildi. Her iki model üzerinde aynı şartlar altında ve aynı deşarj değerleri için,  $Q=14\text{m}^3/\text{sn}$  ile  $Q=2258\text{m}^3/\text{s}$  arasındaki değişik deşarj değerlerinde yirmi altı deney yapıldı. Yüzey gerilmelerini elimine edebilmek için modeldeki Reynold değerinin  $\sim 10000$  den büyük olması gerektiğinden (11) deşarj değerinin  $61,9\text{m}^3/\text{s}$  den büyük olan deney sonuçları incelendi. Her iki model üzerinde yapılan deneyler, karşılaştırmanın kolay olması için aynı savak yükü değerlerinde tekrarlandı. Yapılan her bir deneyde, jet boyları, sıçratma ucu girişindeki hızlar ( $V_g$ ) ve su derinlikleri ( $y_g$ ) belirlendi. Son olarak, her iki model üzerinde yapılan deney sonuçları karşılaştırılarak, yeni olarak dizayn edilen modelin, çok düşük deşarjlardaki akışın jet olarak fırlatılmasının sağlanmasındaki (Boğulma olayından gerçekleştiği en büyük deşarj değerinin azaltılmasındaki), ve düşük deşarjlardaki jet boylarının artırılmasındaki verimliliği araştırıldı.

should be increased .For instance, the level of exit point of the sıçratma ucu is raised from point 3 to point 4 (Figure1). Experiments indicate that maximum jet length is attained when the splash angle is between  $30^{\circ}\text{-}35^{\circ}$  (8).When the splash angle is between  $30^{\circ}\text{-}35^{\circ}$ ,the flow can be sprayed to a secure distance at great discharge ,but at the same time ,the lowest discharge value, which is necessary for the suffocation at sıçratma ucu, increases .Therefore ,since the sıçratma ucu's quality of functioning as a spillway apron at low discharge increases,the cavities in the main part of the sıçratma ucu also increases .When we consider the fact that a spillway works at low discharge during most of its life ,it is inevitable that this problem will lead to serious consequences The spillway's problem of suffocation at the sıçratma ucu can be solved by ending the bottom of the sıçratma ucu in a horizontal position. In other words the ,sıçratma ucu exit point ends at point 2 (Figure 1).But under these circumstances ,the problem of inability to spray the water jet to a secure distance at high discharge ,appears. It might be dangerous especially at "feyezan" times.

In this study under the light of afore-mentioned issues, a new model was designed (Figure 2.b).This model will cause an increase in jet lengths by spraying the flow at a proper rate at low discharge. With the aim of checking whether this model can be compared with normal ski-jump spillways and whether there is a progress in the solution of the afore-mentioned problems, a spillway model with a normal sıçratma ucu with a scale of 1/60 was projected.

In projecting the models, Froude and geometrical similarities principles, which are valid in incidents where gravity is affective, were used (10). In the construction of the models, PVC power equipment were used, and ruggedness similarity(pürüzlülük benzeşimi) at low discharge was supplied (11).In order to compare the results of the newly developed model and the spillway model with normal sıçratma ucu ,the second model was projected by protecting the characteristic features of the first model .On both of the models ,under same conditions, and for the same discharge values ,at various discharge values between  $Q=14\text{ m}^3/\text{sn}$  and  $Q=2258\text{ m}^3/\text{s}$ ,twenty six experiments were carried out. Because the Reynold value in the model should be higher than  $\sim 1000$  so as to eliminate the tautness of the surface (11), the results of the experiments in which the discharge value was higher than  $61.9\text{ m}^3/\text{s}$ , were examined. Experiments, conducted on both of the models were repeated in the spillway load value( savak yükü değeri) in order to facilitate the comparison .In each experiment ,jet lengths, speed in sıçratma ucu gate( $V_g$ ) and water depth ( $V_g$ ) were determined. Finally, the results of the experiments that are carried out on both of the models were compared and the effectiveness of the new model in spraying the flow at low discharges at a proper rate and in raising the jet lengths at low discharges was investigated.



**Figure 2.** The plan and the cross section appearance of model projects.  
**Şekil. 2** Modellerin projelerinin plan ve kesit görünüşleri

Bu makaledeki tüm deney verileri ve sonuçları, deney sonuçlarının daha iyi yorumlanabilmesi için, model değerleri prototip değerlerine çevrilerek verildi. Veri ve sonuçların prototip değerlerine çevrilmesinde, daha önce bahsedilen Froude ve Geometrik benzeşim esasları kullanıldı.

## 2.1. Teorik Esaslar

İnşaa edilen modellerde pürüzlülük benzeşimini sağlamak için her iki modelde tümüyle Şekil 3'de görüldüğü gibi PVC malzemeden inşaa edilmiştir.

Geliştirilen modeldeki esas amaç, jet sıçratma ucunun düşü havuzu olarak çalışma özelliğini azaltmak, yani çok düşük deşarjlar bile, akışın sıçratma ucu üzerinde boğulmadan su jeti olarak fırlatımını sağlamak, ve bu sayede akışın yapının temel bölgesine dökülmesini önlemektir. Sıçratma ucunun düşü havuzu olarak çalışma özelliğini azaltmanın aşağıdaki uygulamaların bir veya birkaçının sağlanmasıyla mümkün olacağı düşünülmektedir.

1. Sıçratma ucunun girişindeki akışın hızının artırılması
2. Sıçratma ucu girişindeki akışın derinliğinin artırılması

Bu parametrelerin etkisini şu şekilde açıklamak mümkün olmaktadır. Şekil.1.'de sıçratma ucunda akışın boğulmuş durumu görülmektedir. Diğer bir deyişle sıçratma ucu enerji kırıcı havuz gibi çalışmaktadır. Sıçratma ucu üzerinde oluşan hidrolik sıçramada akışın momentumu korunmaktadır. Sıçratma ucu üzerindeki su kütlelerinin ötelenebilmesi için sıçratma ucu girişindeki akışın momentumunun artırılması gerektiği söylenebilir. Dikdörtgen bir kesit için serbest yüzeyli akışın

In order to interpret the results of the experiments, mentioned in this article, model values were translated into model values .In translation of data and results into prototype values, the afore-mentioned Froude and Geometrical similarity principles were used.

## 2.1. Theoretical Principles

In order to achieve the ruggedness similarity, both of the models were constructed with PVC equipment as you can see in Figure 3.

The essential aim in the new model is to decrease jet sıçratma ucu's quality of functioning as a spillway apron ,in other words ,to spray the flow at a proper rate without suffocation at the sıçratma ucu even at low discharge ,and then to prevent the flow from pouring into the main part of the structure .It's supposed that decreasing the sıçratma ucu's quality of functioning as a spillway apron can be possible when one or some of the practices below are supplied:

1. Increasing the speed of the flow at the sıçratma ucu gate
2. Increasing the depth of the flow at the sıçratma ucu gate

It is possible to explain the effect of these parameters: In table 1, one can see the state of the flow, suffocated at the sıçratma ucu. In other words, the sıçratma ucu functions as a spillway apron breaking energy. The hidrolic jump on the sıçratma ucu protects the momentum of the flow. It can be said that so as to "ötelemek" the mass of water on the sıçratma ucu, the momentum of the flow at the sıçratma ucu gate should be increased. For a rectangular cross section, the momentum of a flow with a free surface can

momentumu Eş.1 ile gösterilir. Bu eşitlik incelendiğinde

$$M_g = \bar{y}_g A_g + \frac{Q^2}{gA_g} = \bar{y}_g A_g + \frac{V_g}{g} Q$$

deşarj değerinde değişim olmadan momentum artımının ancak akış derinliğinin ve/veya akış hızının artırılması ile mümkün olacağı görülmektedir

İdeal akışlar için hava sürtünmesi de elimine edildiğinde, serbest jet fırlatımındaki akışın yörüngesi, fizikte maddenin kinematığı konusunda anlatılan serbest atış hareketi ile aynı özellikleri göstermektedir. İdeal akışkanın sürtünmesiz ortamda x ve y koordinatları sırayla 2 ve 3 eşitlikleri ile belirtilir. Eş.2'den t (zaman) çekilip Eş.3'de yerine konulursa, serbest jet akışının yörüngesini ifade eden Eş.4 elde edilir. Sıçratma açısı ( $\theta$ )  $0^0$  den  $45^0$  ye değişirken, jet boyunun (x) arttığı görülmektedir. En büyük jet boyu ise  $\theta=45^0$  de elde edilmektedir. Jet sıçratma açısı sabit kalmak şartıyla, jet boyunun artırılması için akış hızının artırılması gerektiği Eş.2 den açıkça görülmektedir.

$$x = V_\zeta t \cos\theta$$

$$y = -V_\zeta t \sin\theta + \frac{1}{2} g t^2$$

$$y = \frac{g \times x^2}{2 \times V_\zeta^2 \times \cos^2\theta} - x \tan\theta$$

Bütün bu irdelemeler sonucunda, Şekil 2.b'de görülen serbest jet sıçratmalı dolusavak modeli dizayn edildi. Bu model incelendiğinde, boşaltım kanalında tedrici bir daraltma yapıldığı görülmektedir. Yapılan bu daraltma ile sıçratma ucu girişindeki akış derinliği ve hızının artırılmasını sağlandı. Bu düşünceler doğrultusunda, dolusavakdeşarj kanalında daraltma yapılmasıyla oluşturulan orta kanalın projelendirilmesinde aşağıdaki prensipler göz önünde bulundurulmuştur.

- Boşaltım kanalında yapılacak olan daraltmanın başlangıç noktası, dolusavağındeşarj kapasitesinin etkilenmemesi ve düzgün bir akış yönlendirilmesinin sağlanması için, savak profili bitiminden sonraki bir kesit belirlendi.
- Yapılan kanal daraltmanın belirlenmesinde memba akışının etkilenmemesi ve boşaltım kanalında rejim değişikliğinin oluşmaması hususları dikkate alındı.
- Boşaltım kanalında yapılan daraltma sonucunda oluşan orta kanalın yan kenarının simetri eksenine boylamasına yaptığı açı ( $\alpha$ ), akım çizgilerinin bozulmaması, hidrolik sıçramanın olmaması ve şok dalgalarının etkisini azaltmak için,  $\frac{1}{3Fr_g} \leq \alpha \leq \frac{1}{Fr_g}$  değerleri arasında kalacak şekilde belirlendi (11).
- Boşaltım kanalının daraltılmasıyla elde edilen orta kanalın maksimumdeşarj kapasitesi, normal jet sıçratma uçlu dolu savak modelinde (Şekil 2.a), akışın sıçratma ucu üzerinde boğulmadan su jeti gibi fırladığı andakideşarj değeri olarak belirlendi.
- Boşaltım kanalda yapılan daraltmaya sıçratma ucu

be illustrated with the Eq. 1:

$$M_g = \bar{y}_g A_g + \frac{Q^2}{gA_g} = \bar{y}_g A_g + \frac{V_g}{g} Q \quad [1]$$

When this equation is examined, it can be realized that without a change in discharge values, an increase in momentum can only be possible by raising the depth and the speed of the flow.

When air friction is eliminated for ideal flows, the orbit of the flow in free ski-jump and the 'free jumping movement', display the same characteristics. In an atmosphere without friction, x and y coordinates of the ideal fluid are symbolized with Eq. 2 and 3. When 't' (time) is omitted from Eq. 2 and is planted into Eq. 3, Eq.4 which explains the orbit of free jet flow is achieved. As the jump angle ( $\theta$ ) changes from  $0^0$  to  $45^0$ , jet length (x) seems to rise. The highest jet length is attained at  $\theta=45^0$ . On condition that the jump angle is stable; it is clearly seen in Eq.2 that in order to increase the jet length, the flow speed should be increased.

$$x = V_\zeta t \cos\theta \quad [2]$$

$$y = -V_\zeta t \sin\theta + \frac{1}{2} g t^2 \quad [3]$$

$$y = \frac{g \times x^2}{2 \times V_\zeta^2 \times \cos^2\theta} - x \tan\theta \quad [4]$$

As a consequence of all these detailed studies, the free ski-jump spillway model which is shown in Figure 2.b., was designed. When this model is observed, it can be realized that the excretion canal was narrowed by degrees. This process helped the flow depth and speed at the sıçratma ucu gate to increase. In projecting the middle canal which was formed by narrowing the spillway discharge canal, the following principles were taken into consideration:

- In order to prevent the spillway discharge capacity from being affected and in order to achieve an orderly flow direction, a cross section was determined at the point where spillway profile ended.
- The fact that the 'menba' flow was not affected when the canal was narrowed and that there was no change in the regime in excretion canal was taken into consideration.
- The longitudinal angle between the edge of the middle canal and the symmetry axis was determined between values  $\frac{1}{3Fr_g} \leq \alpha \leq \frac{1}{Fr_g}$  so as not to destroy flow lines, not to cause hidrolic jump and in order to lessen the effects of shock waves (11).
- In the spillway model with a normal sıçratma ucu (Figure 2.a.), the maximum discharge capacity of the middle canal, which is formed by narrowing the excretion canal, was determined as the discharge value of the moment when the flow jumps like a water jet without suffocating at the sıçratma ucu.
- The process of narrowing the excretion canal

girişinde son verildi.

- Sıçratma ucu girişindeki kesitte, orta kanal genişliğinin tüm kanal genişliğine oranı 1/3 olarak belirlendi.
- Şekil 2.a da görülen Normal jet sıçratma ucu modelin jet sıçratma ucunun çıkış açısı  $22^0$  ve Şekil 2.b de görülen geliştirilen modellerin, orta kanalın sıçratma ucu çıkış açısı  $22^0$ , yan kanatların sıçratma uclarının çıkış açıları  $30^0$  olarak seçildi.

## 2.2. Deneyler ve Ölçümler

Deneyler, Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat mühendisliği bölümü Hidrolik laboratuvarında,  $2\text{m} \times 1\text{m} \times 3\text{m}$  boyutlarında giriş haznesi olan,  $0,6\text{m} \times 0,6\text{m} \times 15\text{m}$  boyutlarında ki cam kanal üzerine inşa edilen modeller üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.a.b). Şekil 3'de ise deney düzeneğinin sembolik şematik görünüşü görülmektedir.

Deneyler arasındaki koordinasyonu sağlamak, hangi deşarj değerlerinde çalışıldığını sistematik bir şekilde kontrol edebilmek için, dizayn edilen dolusavak profilinin deşarj kapasitesi, diğer bir deyişle savak deşarj katsayısı (C), belirlendi. Kapaksız dolusavakların deşarj kapasiteleri Eş.5 ile gösterilmektedir. Bu denklemde; L, savak genişliğini,  $H_e$ , savak kreti üzerindeki efektif enerji yükünü göstermektedir. Effektiv enejî yükü, savak kreti üzerindeki su yüküne ( $H_s$ ) bağlı olarak Eş.6 ile belirlenebilir (8).

compelled at the sıçratma ucu gate.

- In the cross section of the sıçratma ucu gate, the proportion of width of the middle canal to the width of the whole canal was designated as 1/3.
- The angle of the sıçratma ucu gate of the model with a normal sıçratma ucu which is seen in model 2.a., was designated as  $22^0$ , in model 2.b the sıçratma ucu of the middle canal of the new model was determined as  $22^0$ , and the sıçratma ucu of the sides was designated as  $30^0$ .

## 2.2 Experiments and Measurements

Experiments were carried out on models which were constructed on a glass canal in a Hidrolic laboratory of the Civil Engineering Department at Karadeniz Technical University. Dimensions of the glass canal was  $0,6\text{ m}, 0,6\text{ m}, 15\text{ m}$  and it had a reservoir at the gate, dimensions being  $2\text{ m}, 1\text{ m}, 3\text{ m}$ . In Figure 3, the symbolic and schematic appearance of the experiment mechanism is displayed.

In order to establish coordination between the experiments and to control systematically the discharge values used in experiments, the discharge capacity of the spillway profile (spillway discharge coefficient) was designated. Equation 5 indicates the discharge capacity of spillways without a valve. In this equation 'L' symbolizes the width of the spillway and  $H_e$  symbolizes the effective energy load on the spillway crest. The effective energy load can be determined by considering the water load on the spillway crest (8).

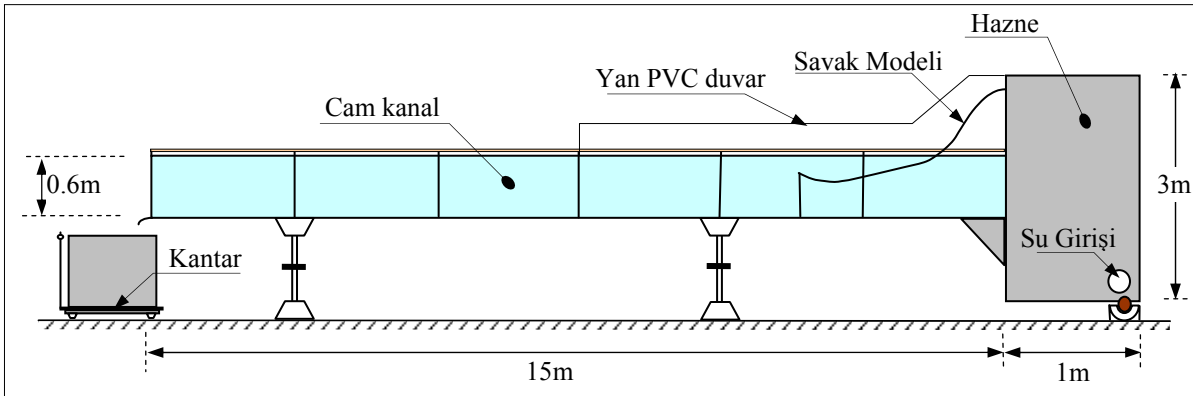


Figure 3. The laboratory mechanism where experiments were carried out.

Şekil 3 . Deneylerin gerçekleştirildiği labarotuvur düzeneği

Savak kreti üzerine yerleştirilen seviye ölçücü ile, kret üzerindeki  $H_s$  değeri belirlendi. Sistemden geçen deşarjın belirlenmesinde,  $15\text{m}$  uzunluğundaki cam kanal sonunda bulunan hazneli kantar kullanıldı. Kret üzerindeki su yüküne karşılık, sistemden geçecek olan belirlenen miktardaki deşarjın ne kadar zamanda haznede biriktiği belirlendi. Toplam deşarj miktarı, ölçülen zaman dilimine bölünerek, ilgili  $H_s$  değeri için dolusavaktan geçen deşarj hesaplandı. Ayrıca, deşarj ölçümleri, cam kanalın  $10\text{ m} \sim 12\text{ m}$  arasındaki bölgede akış hızı ve alanı ölçümleri yapılarak kontrol edildi. Ve bu işlemler herbir  $H_s$  değeri için üçer kez tekrarlanıp aritmetik ortalamaları alındı.  $0,6\text{ m} < H_s < 5,4\text{ m}$  arasındaki değişik değerleri için belirlenen deşarj değerlerinin aritmetik ortalamaları

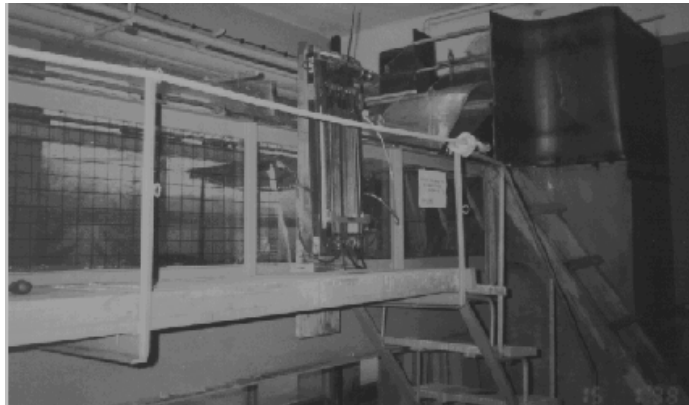
Level measuring device that was placed on spillway crest and the  $H_s$  value on the crest were determined. In designating the discharge which is passing through the system, a scale with a reservoir at the end of the  $15\text{ m}$ . glass canal, was used. How long it took the certain amount of discharge to accumulate in the reservoir was determined, considering the water load on the crest. Discharge, passing through the spillway in the related  $H_s$  value, was calculated by dividing the total discharge amount by the measured period of time. Moreover, discharge measurements were checked by measuring the flow speed and area, in the part between  $10\text{ m} \sim 12\text{ m}$  of the glass canal. And all this process was repeated for three times for each  $H_s$  value and then their arithmetic average

alınarak savak deşarj katsayısı (C) 2,41 olarak belirlendi. Ogee profilili dolusavakların deşarj katsayısı, SI birim sisteminde 1,7 & 2,5 arasında değişmektedir (12). Deneyler sırasında, belirlenen  $H_s$  değerlerinin Eş.6 ve Eş.5'de yerine konulmasıyla ilgili deney için deşarj değeri belirlendi.

$$Q = CLH_e^{3/2}$$

$$H_e = 1.33H_s$$

Yapılan deneyler iki grupta toplanmaktadır. Şekil 2.a daki normal jet sıçratma uclu model üzerinde yapılan deneyler 1. grup deneyleri, Şekil 2.b deki geliştirilen model üzerinde yapılan deneyler 2. grup deneyleri oluşturmaktadır. Birinci grup deney sonuçlarının ikinci grup deney sonuçları ile karşılaştırılabilmesi için, her iki modeldeki deneyler aynı  $H_s$  değerlerinde gerçekleştirildi. Her bir deneyde jet boyları, sıçratma ucu girişindeki akış hızları ve derinlikleri ölçüldü. Jet boylarının ölçümünde, Şekil.4 de görülen cam kanalın yan duvarlarına çizilen 5cm\*5cm lik karelerden oluşan 2 m\*0,6 m boyutlarındaki karelaj kullanıldı. Hız ölçümleri ise, 0,5 mm uçlu pitot tüpü ve piezometrik pano kullanılarak yapıldı. Sıçratma ucu girişindeki hızların hesaplanabilmesi için, ilk önce akışın enerji seviyesi (h) Şekil 4' de görülen 0,2 mm hassasiyetindeki piezometrik pano kullanılarak ölçüldü. Belirlenen enerji seviyeleri  $V = \sqrt{2gh}$  formülünde yerine konularak akış hızları hesaplandı.



**Figure 4.** The general appearance of the experiment mechanism  
**Şekil. 4** İnşa edilen deney düzeneğinin genel görünüşü

Ayrıca, yapılan ölçümlerde her iki modelin akışı jet olarak sıçratmaya başladığı andaki savak kreti üzerindeki su yükü ve bu su yüküne karşılık gelen deşarjlar belirlenerek, sırasıyla kritik savak su yükü ( $H_{scr}$ ) ve kritik deşarj debisi ( $Q_{cr}$ ) olarak tanımlandı. Ayrıca deney düzeneğinde tanıtılan karelaj yardımıyla, her bir  $H_s$  değerine ait jet boyları ölçülüp, jet yörüngelerinin fotoğrafları çekildi. Her iki modelin belirlenen aynı savak su yüklerindeki jet boyları karşılaştırılarak, geliştirilen modelin sözü edilen problemin çözümündeki performansı

was found. Arithmetic average of discharge values for various values between 0.6m <math>H\_s</math> 5.4 m, was calculated. And spillway discharge coefficient was found as ( c ) 2.41. In SI unit system, discharge coefficient of spillways with Ogee profile, changes from 1.7 to 2.5 (12). During the experiments, discharge values were determined for the experiment on placing the  $H_s$  values into equations 5 and 6.

$$Q = CLH_e^{3/2} \quad [5]$$

$$H_e = 1.33H_s \quad [6]$$

The experiments which have been carried out so far, can be considered to be in two groups. In Figure 2.a, the experiments that were conducted on the model with a normal jet sıçratma ucu belong to the first group and in model 2.b experiments performed on new models belong to the second group. In order to be able to compare the results of the two groups, experiments on both of the models were conducted in the same  $H_s$  values. In each experiment, jet lengths, flow speed and depth at the sıçratma ucu gate were measured. In measuring jet lengths, 'karelaj' was used. This 'karelaj' with dimensions of 2 m-6 m was made up of squares (dimensions being 5 cm\*5 cm) which were drawn on the side walls of the glass canal in Figure 4, and the speed was measured by using a 'pitot' tube with a 0.5 mm end and a piezometric panel of 0.2 mm sensitivity, energy level (h) of which can be seen in Figure 4. The designated energy levels were used in formula  $V = \sqrt{2gh}$  and then flow speed was estimated.

Moreover, after this process, the water load on the spillway crest at the moment when the ski-jump of the flow started and discharges for this water load were determined and they were respectively described as critical spillway water load ( $H_{scr}$ ) and critical discharge volume. Besides these, with the help of the 'karelaj' which was described in the experiment mechanism, photos of jet orbits and of jet lengths in each  $H_s$  value, were taken. Jet lengths of both of the models under the same spillway water loads were compared and the capacity of the new

araştırıldı.

Yapılan deneylerde, jet boyunun belirlenmesinde, sıçratma ucu çıkış noktasından 13 m aşağıda bulunan kanal tabanı esas alındı. Jet boyları, sıçratma ucu çıkış noktası ile jetin çarpmış olduğu kanal tabanındaki nokta arasındaki uzaklık ölçülerek belirlendi.

### 3. BULGULAR

Normal jet sıçratmalı birinci dolusavak modeli üzerinde yapılan birinci gurup deney sonuçları incelenerek, daha önce tanımlanan  $H_{ser}$  ve  $Q_{cr}$  karakteristik değerleri belirlendi. Bu deney sonuçlarına göre, akış,  $H_S$  değerinin 1,38m ye ulaşmasıyla jet olarak fırlatılmaya başlandığı gözlemlendi. Bu savak yüküne karşılık gelen deşarj değeri  $Q_{cr}=215m^3/s$  ve bu savak yükünde ölçülen jet boyu ise  $L_{jcr}=35,4m$  olarak belirlendi. Geliştirilen ikinci model üzerinde yapılan ikinci gurup deney sonuçları incelendiğinde, akış,  $H_S=0,72m$  ye eriştiğinde jet olarak fırlatılmaya başlandığı gözlemlendi. Bu savak yüküne karşılık gelen deşarj değeri  $Q_{cr}=81,4 m^3/s$ , jet boyu ise  $L_{jcr}=27m$  olarak belirlendi.

Her iki modelin karakteristik deşarj değerleri karşılaştırıldığında, geliştirilen model 2,65 kat daha küçük deşarjda iken akışı jet olarak fırlatıp, sıçratma ucu üzerindeki akışın boğulmasını önlemektedir.

Ayrıca, her iki modelde de akışın jet olarak fırlatılmadığı durumlardaki, aynı deşarj değerlerindeki jet boyları karşılaştırıldı.  $H_S=0.6m$  değeri için her iki modelde de akış sıçratma ucunda boğulmaktadır. Bu savak yüküne karşılık gelen deşarj değeri  $61,9 m^3/s$  olarak hesaplandı. Ancak, Şekil 4.a.b de görüleceği üzere, birinci modelin jet boyu 6.6 m olarak ölçülürken, geliştirilen modelin bu savak yükündeki jet boyu 12,6 m olarak ölçüldü.  $Q=61,9m^3/s$  deşarj değeri için, geliştirilen modelle, birinci modelin jet boyunda % 82,6 artış sağlandığı kaydedildi

model to solve the problem mentioned before ,was examined.

In the experiments, when determining the jet length, canal base that's 13 m. below the exit of the sıçratma ucu, was taken into consideration .Jet length was determined by measuring the distance between the exit point of sıçratma ucu and the point in the canal base into which jet crashes.

### 3. FINDINGS

The results of the experiments in group one, which are conducted on the first spillway model with a normal ski-jump, were examined and then  $H_{scr}$  and  $Q_{cr}$  characteristic values, which had previously been defined, were designated. According to the results of this experiment, when  $H_S$  value rises to 1.38 m. The discharge value of this spillway load was designated as  $Q_{cr} = 215 m^3/s$  and jet length under this spillway load was determined as  $L_{jcr} = 35.4 m$ . When the results of the second group experiments are examined ,it is observed that the flow is sprayed at a proper rate when  $H_S$  rises to 0.72 m. And it is found that the discharge value of this spillway load is  $Q_{cr} = 81.4 m^3$  and the jet length is  $L_{jcr} = 27 m$ .

When the characteristic discharge values of both of the models are compared, it's found that when the discharge value of the new model is 0.65 times lower ,it sprays the flow at a proper rate and it prevents the flow on the sıçratma ucu from suffocating.

Moreover ,in both of the models jet lengths in the same discharge values were compared when the flow was not sprayed at a proper rate. In both of the models the flow is suffocated at the sıçratma ucu. Discharge value of this spillway load is calculated as  $61.9 m^3/s$ . However, as it is observed in Figure 4.a.b, the jet length of the first model was measured as 12.6 m under this spillway load. For  $Q=61.9m^3/s$  discharge value ,it was recorded that in jet lengths of the first and the second models, there was an increase of % 82.6.



a) The first model  
a) Birinci model



b) The second model  
b) İkinci model

Figure 4. Jet lengths and orbits of the models for  $H_S=0.6$  ( $Q=61.9 m^3/s$ ) value.

Şekil.4 Modellerin,  $H_S=0,6m$  ( $Q=61,9m^3/s$ ) değerindeki jet boyları ve yörüngeleri

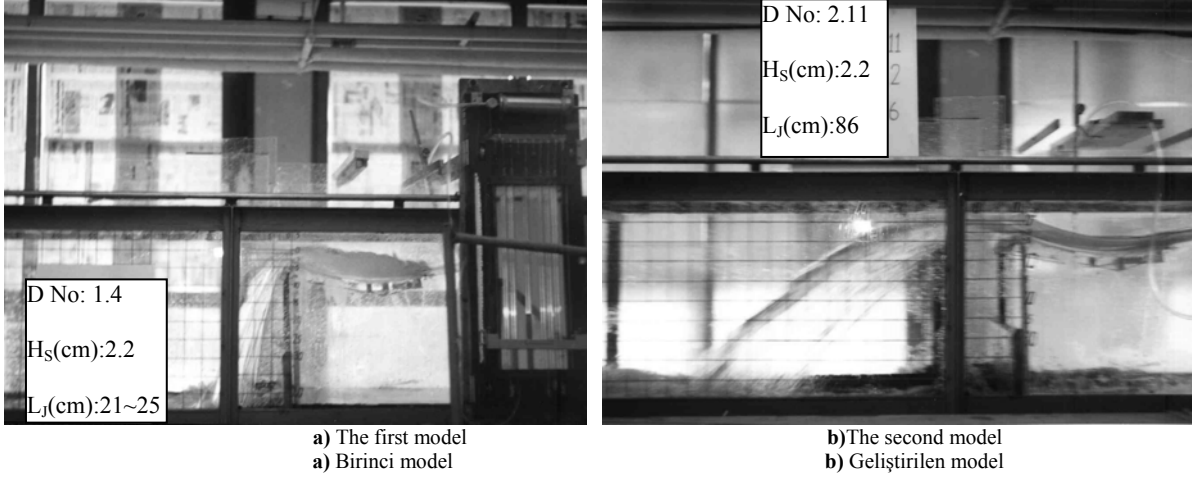
Her iki gurup deney sonuçları incelendiğinde,  $H_S=1,32m$  değerine ulaştığı durumda, akış, birinci model ile jet olarak fırlatılmamakta ve akış sıçratma ucunda boğulmasına karşın geliştirilen ikinci model ile jet olarak

When the results of the experiments were examined, it was found out that for  $H_S=1.32 m$ . value ,with model 1 the flow couldn't be sprayed at a proper rate but with model 2, it was sprayed at a proper rate despite the suffocation of



fırlatılabilmekte olduğu görüldü. Bu  $H_s$  değerine karşılık gelen deşarj değeri  $Q=202 \text{ m}^3/\text{s}$  olarak hesaplandı. Bu deşarj değeri için, birinci modeldeki jet boyu  $L_j=12,6 \text{ m}$   $\approx 13,5 \text{ m}$  ölçülmesine karşın, ikinci modeldeki jet boyu ise  $L_j=48,6 \text{ m}$  olarak ölçülmüştür. Bu durum Şekil 5.a.b de açıkça görülmektedir.

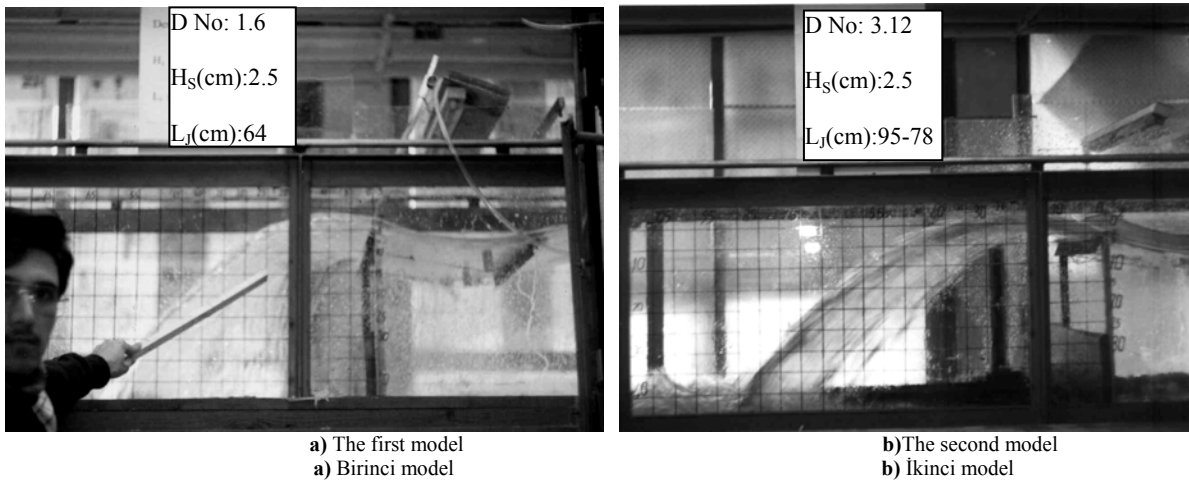
the flow at sıçratma ucu. The discharge value for this  $H_s$  value was estimated as  $Q=202 \text{ m}^3/\text{s}$ . Although the jet length in model 1 was measured as  $L_j=12.6-15 \text{ m}$  for this discharge value. In the second model the jet length was measured as  $L_j=48.6 \text{ m}$ . This situation is clearly displayed in Figure 5 a.b.



**Figure 5.** Jet orbits of the models for  $H_s=1.32 \text{ m}$  ( $Q=202 \text{ m}^3/\text{s}$ ) value  
**Şekil 5.** Her iki modelin  $H_s=1,32\text{m}$  ( $Q=202\text{m}^3/\text{s}$ ) için jet yörüngeleri

Birinci modelin akışı jet olarak fırlatabildiği deşarj değeri için, her iki modelde elde edilen jet boyları karşılaştırıldı. Savak su yükü  $1,38 \text{ m}$  eriştiğinde, akış, birinci model ile jet olarak fırlatılmaya başlandı. Bu savak yüküne karşılık gelen deşarj değeri  $Q=215,9 \text{ m}^3/\text{s}$  olarak hesaplandı. Belirlenen deşarj değeri için, birinci modeldeki jet boyu  $L_j=35,4 \text{ m}$  ölçülürken, ikinci modeldeki jet boyu ise ortalama olarak  $L_j=52,2 \text{ m}$  ölçüldü. Şekil 6.a.b de  $H_s=1,5 \text{ m}$  deki  $Q=244,8 \text{ m}^3/\text{s}$  değeri için her iki modelin jet yörüngeleri görülmektedir. Bu deşarj değeri için birinci ve ikinci modelin jet boyları sırasıyla  $38,4 \text{ m}$  ve  $54,6 \text{ m}$  olarak belirlendi. Burada görüldüğü üzere, birinci model akışı jet olarak sıçratmaya başlamasından sonra bile, geliştirilen ikinci model akışı çok daha emniyetli bir uzaklığa fırlatmaktadır.

For the discharge value in which the flow was sprayed at a proper rate ,jet lengths of both of the models were compared. When the spillway load reached a value of  $1.38$ , with the first model the flow started to be sprayed at a proper rate. The discharge value for this spillway load was estimated as  $Q=215.9 \text{ m}^3/\text{s}$ . In the designated discharge value ,jet length in the first model was measured as  $L_j=35.4 \text{ m}$  whereas in the second model it was measured as  $L_j=52.2 \text{ m}$ . In Figure 6 a.b. jet orbits of both of the models are displayed for values  $H_s=1.5 \text{ m}$  and  $Q=244.8 \text{ m}^3/\text{s}$ . For this discharge values, jet lengths of the first and the second models were determined respectively as  $38.4$  and  $54.6$ . In short, even after the first model starts to spray the flow at a proper rate ,the second model sprays the flow to a more secure distance.

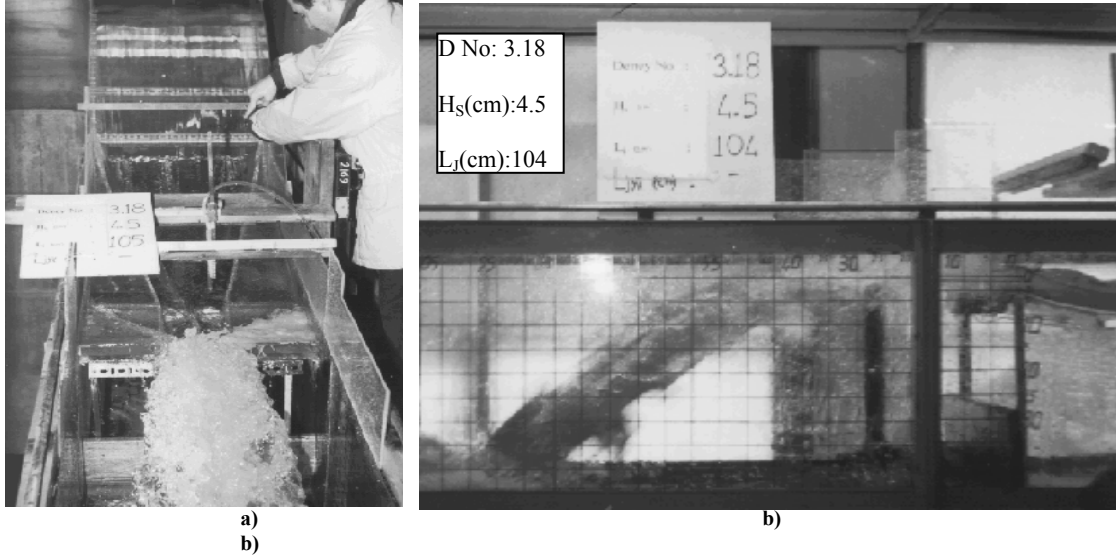


**Figure 6.** Jet orbits of the models  
**Şekil. 6**  $H_s=1,5\text{m}$  ( $Q=244,8\text{m}^3/\text{s}$ ) için jet yörüngeleri  
Ayrıca,  $H_s \geq 1,5\text{m}$  değerlerine karşılık gelen  $Q \geq 244,8\text{m}^3/\text{s}$  deşarj değerleri için, akış orta kanala sığmayıp, yan

Moreover , at discharge values of  $H_s \geq 1.5 \text{ m}$  for  $Q=244.8 \text{ m}^3/\text{s}$ , the flow does not fit into the middle canal

bentlerin akmaya başlamaktadır. Yan bentlerdeki akış,  $H_s=3m$ ,  $Q=692 m^3/sn$  değerine erişmesiyle yan kanallardaki akışta yan kanal sıçratma ucundan jet olarak fırlatılmaya başlandığı gözlemlendi. Deşarj değerinin  $244,8 m^3/sn$  ile  $692 m^3/sn$  arasındaki değerlerinde, yan kanallardaki akış, yan kanalların sıçratma uçlarından fırlatılmayıp, orta kanal sıçratma ucuna geçiş yapmakta ve bu bölgedeki yüksek hızlı akış tarafından taşınmaktadır (Şekil 7.a.b).

and it starts to flow from side weirs. It was observed that when  $H_s=3 m$  reaches  $Q=692 m^3/sn$ , the flow in the side canals started to be sprayed at a proper rate. For discharge values between  $244.8 m^3/sn$  and  $692 m^3/sn$ , the flow in the side canals is not sprayed from side canal sıçratma ucu but it crosses into the middle canal sıçratma ucu and it is conveyed by the flow with high speed in this part (Figure 7 a.b.).



**Figure 7.** The flow in the second model in values  $H_s=2.7 m$  ( $Q=591 m^3/sn$ )

**Şekil 7.** Geliştirilen modelin  $H_s=2.7m$  ( $Q_p=591m^3/sn$ ) değerindeki akış

**Table 1.** Characteristic values of the results of the experiments (\*critical discharge values that were measured at the moment when the models start spraying the flow at a proper rate)

**Çizelge 1.** Deneysel sonuçların karakteristik değerleri (\*Modellerin akışı jet olarak sıçratmaya başladığı kritik deşarj debisi değerleri.)

	$H_s$ (m)	$Q(m^3/s)$	$y_g$ (m)	$V_g$ (m/s)	$L_j(m)$
1. Model	0.60	61.91	.....	.....	6.6
	0.90	113.72	0.311	10.15	9.6
	1.32	202.00	0.418	13.40	13.5
	<b>1.38*</b>	<b>215.95*</b>	<b>0.437</b>	<b>13.73</b>	<b>35.4</b>
	1.50	244.70	0.482	14.10	38.4
	1.98	371.10	0.663	15.54	50.4
2. Model	0.60	61.91	0.601	8.57	12.6
	<b>0.72*</b>	<b>81.37*</b>	<b>0.632</b>	<b>10.71</b>	<b>27.0</b>
	0.90	113.72	0.764	12.39	37.8
	1.32	202.00	1.151	14.62	48.6
	1.38	215.95	1.203	14.96	52.2
	1.50	244.70	1.319	15.46	54.6
1.98	371.10	1.9	16.27	60.6	

Sonuç olarak, deney sonuçlarının daha kolay karşılaştırılabilmesi için, her iki modelde elde edilen deney sonuçlarının kritik olanları Tablo 1. de toplandı. Tabloda her iki modelin, savak su yükü ( $H_s$ ) ve deşarj ( $Q$ ) değerleri, sıçratma ucu girişindeki akış hızları ( $V_g$ ) ve derinlikleri ( $y_g$ ), ve jet boyları yer almaktadır. Birinci modelin  $H_s=0.6m$  değerinde, sıçratma ucu girişi, boğulma nedeni ile sıçratma ucunda oluşan havuzun etkisinde kaldığı için hız ve derinlik ölçümü yapılmadı. Modellerin akışı jet olarak sıçratmaya başladığı su yükü ve deşarj değerleri ‘\*’ ile işaretlenmiş olup, geliştirilen modelin çok düşük deşarjlarda bile akışı jet olarak fırlatabildiği

As a result, in order to make a better comparison of the results of the experiments, critical results of the experiments which were carried out on both of the models were displayed in table 1. In the table there are spillway water load ( $H_s$ ) and discharge values ( $Q$ ), flow speed ( $V_g$ ) and depth ( $Y_g$ ) at the sıçratma ucu gate and jet lengths of both of the models. As the sıçratma ucu gate was affected by the apron formed at sıçratma ucu due to suffocation, at  $H_s=0.6 m$  value of the first model, the speed and the depth couldn't be measured. Water load and discharge values which were measured at the moment when the models start spraying the flow rapidly were marked with ‘\*’ and

görülmektedir. Tablodan anlaşılacağı gibi, geliştirilen modelle, tüm deşarj değerleri için, sıçratma ucu girişindeki akış hızlarında ve jet boylarında artış olduğu saptanmıştır.

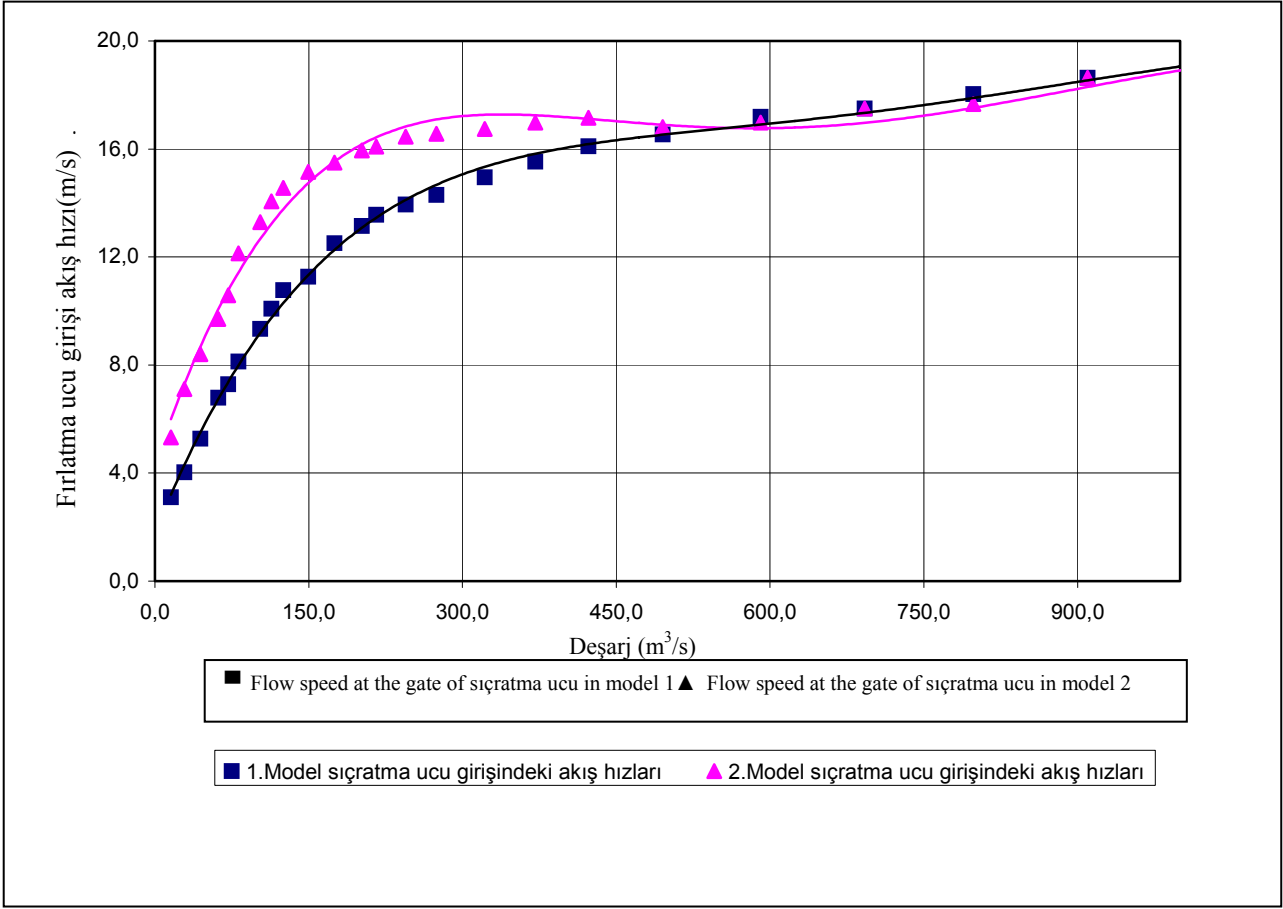
#### 4. TARTIŞMA

Küçük deşarjlarda da akışın jet olarak fırlatılabilmesi için, daha önce açıklandığı gibi sıçratma ucu girişindeki akışın hızının artırılması ve sıçratma ucu girişindeki akış derinliğinin artırılması gerekmektedir. Her iki modelin sıçratma ucu girişindeki akış hızları ile deşarj debileri arasındaki ilişki Şekil 8'de verilmektedir. Bu grafikten, geliştirilen modelde  $61,91 \text{ m}^3/\text{s}$  ve  $798,6 \text{ m}^3/\text{sn}$  arasındaki deşarj değerlerinde sıçratma ucu girişindeki akış hızlarında artış sağlandığı açıkça görülmektedir. Geliştirilen modelin en önemli özelliği, normal jet sıçratma ucu dolusavak modelinde, deşarjın  $215 \text{ m}^3/\text{sn}$  nin altındaki değerlerinde, akış, jet sıçratma ucu üzerinde boğulmakta ve sıçratma ucu bu deşarj değerine kadar enerji kırıcı havuz gibi çalışmakta. Buna karşın, geliştirilen modelde akış,  $81,4 \text{ m}^3/\text{s}$ 'lik deşarjlarda bile jet olarak fırlatılmakta ve  $27 \text{ m}$ 'lik bir jet boyu saptanmaktadır. Geliştirilen modelin sıçratma ucu girişindeki akış hızının artış oranı,  $Q=244,8 \text{ m}^3/\text{sn}$  değerinden sonra azalmaktadır. Bunun nedeni ise orta kanal tamamen dolup, akışın yan kanatlara taşmasıyla akışın tüm kesite yayılmasıdır.

it was observed that the second model can spray the flow very fast even at very low discharge .As it can clearly be seen in the table, it was found out that with this new model, at all discharge values, flow speed at the sıçratma ucu gate and jet lengths increased.

#### 4.DISCUSSION

In order to spray the flow very fast as it was explained before, the speed and the depth at the sıçratma ucu gate should be increased. The relation between the flow speed and discharge volume of both of the models at the sıçratma ucu gate are given in Figure 8. It is clearly seen in this graphic that, in the second model ,at discharge values between  $61.91 \text{ m}^3/\text{s}$  and  $798.6 \text{ m}^3/\text{sn}$ ,there is an increase in the flow speed the at sıçratma ucu gate. The most significant quality of the new model is that in the spillway model with a normal jet sıçratma ucu at discharge values under  $215 \text{ m}^3/\text{sn}$ ,the flow is suffocated at sıçratma ucu and the sıçratma ucu ,until it reaches this discharge value ,functions as enerji kırıcı havuz.Nevertheless,in the second model, even at discharges of  $81.4 \text{ m}^3/\text{s}$ ,the flow under pressure can be sprayed and a jet length of  $27 \text{ m}$  is estimated.The rise in the flow speed at the gate of sıçratma ucu in the second model ,decreases after reaching a value of  $Q=244.8 \text{ m}^3/\text{sn}$ .The reason for this is that the middle canal is completely full and the flow overflows the side weirs and it spreads all over the canal.



**Figure 8.** The flow speed at the gate of sıçratma ucu and the relation between discharges in both of the models  
**Şekil 8.** Her iki modelin sıçratma ucu girişi akış hızları ile deşarjlar arasındaki ilişki

Son olarak; yeni olarak projelendirilen model ile normal jet sıçratma uçlu dolusavak modelinde belirlenen jet boyları karşılaştırıldı. Ölçülen jet boyları, deşarj debileri arasındaki ilişki Şekil 9. da verildi. Bu grafikte, her bir modele ait belirli deşarj değerlerinde ölçülen jet boyları görülmektedir. Şekildende de açıkça görülmektedir ki, 61,91m<sup>3</sup>/s ile 591m<sup>3</sup>/s arasındaki deşarj değerlerinde, geliştirilen 2. Modelin jet boyları, 1. Modelin jet boylarından büyüktür. Bunun sonucu olarak, geliştirilen model ile özellikle düşük deşarjlarda jet boylarında artış sağlandığını söylemek mümkün olmaktadır. Özellikle 1. Model Q=215,95m<sup>3</sup>/sn den daha küçük deşarjlardaki akış, jet olarak fırlatılamamasına rağmen, 2. Model Q=81,4m<sup>3</sup>/sn değerinde jet olarak fırlatılabilmektedir. Diğer bir deyişle, geliştirilen model ile, jet sıçratma ucunun düşü havuzu olarak çalışma özelliği oldukça azaldı ve düşük deşarjlarda jet boylarında elde edilen artışla dolusavak temel bölgesindeki oyulmaların azalacağını söylemek doğru olacaktır. Bu sayede yapı düşük deşarjlarda daha emniyette olacaktır. Örneğin; 1. Modelde Q=202 m<sup>3</sup>/s için jet boyu L<sub>j</sub>=13,5m ölçülmesine karşın, 2. Modelde aynı deşarj değerindeki jet boyu 51.6m olarak ölçüldü. Elde edilen bu jet boyu yapıyı daha emniyetli kılmaktadır.

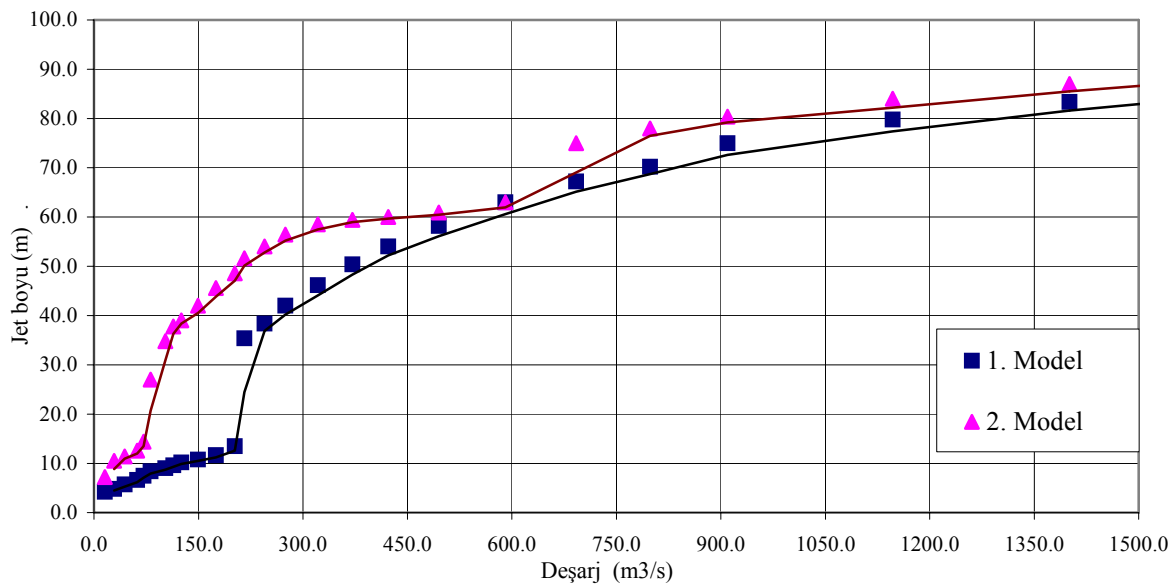
Şekil 9'da görüldüğü üzere, normal jet sıçratma uçlu model akışı, Q<sub>cr</sub>=215 m<sup>3</sup>/s lik deşarj değerinde sıçratmaya başlamasına rağmen geliştirilen model Q<sub>cr</sub>=81,4 m<sup>3</sup>/s lik

Finally, jet lengths of the new model and spillway model with a normal sıçratma ucu were compared. Jet lengths that were measured and the relation between discharge volumes were given in Figure 9. In this graphic, there are jet lengths of each model measured at certain discharge values. It is also clearly seen in the graphic that, at discharge values between 61.91 m<sup>3</sup>/s and 591 m<sup>3</sup>/s, jet length of the second model is higher than that of the first model. And as a consequence it's possible to say that with the new model, especially at low discharge, an increase in jet lengths was achieved. Although, especially in the first model, at discharges lower than Q=215.95 m<sup>3</sup>/sn the flow is not sprayed rapidly. In the second model, at a discharge of Q=81.4 m<sup>3</sup>/sn the flow is sprayed at a proper rate. In other words, with the new model sıçratma ucu is quality of functioning as a spillway apron decreased and it will not be incorrect to say that with the increase in jet lengths at low discharges, cavities in the main part of the spillway will diminish. Therefore, the structure will be more secure at lower discharges. For instance although in model 1 at a discharge of Q=202 m<sup>3</sup>/s the jet length was measured as L<sub>j</sub>=13.5 m., in the second model at the same discharge value the jet length was calculated as L<sub>j</sub>=51.6 m. This jet length renders the structure more secure.

It's clear in Figure 9. that the model with a normal sıçratma ucu sprays the flow rapidly at a discharge value of Q=215 m<sup>3</sup>/s whereas the second model sprays the flow

deşarj değerinde akış jet olarak fırlatılmaya başlanmaktadır. Bu grafik incelendiğinde 2. modelin jet boylarındaki artışın,  $Q=244,8 \text{ m}^3/\text{sn}$  değerinden sonra göreceli olarak azaldığı görülmektedir. Bunun sebebi ise, budeşarj değerinden sonra, akışın orta kanala sığmayıp yan kanallara taşmasıdır. Yan kanallardaki akış fırlatılmayıp, ortakanala geçiş yapmakta ve bu akış, orta kanaldaki yüksek hızlı akış tarafından taşınmaktadır. Tabiki buradaki karışım orta kanal akışının hızını azaltmaktadır. Bu nedenledirki, jet boylarındaki artış oranı, budeşarj değerinden sonra azalmaya başlamakta ve  $Q=519 \text{ m}^3/\text{s}$  de birinci modelle aynı jet boyu ölçüldü. Deşarjın bu değeri için birinci ve ikinci modelin jet boyu 63 m olarak ölçüldü.

rapidly at a discharge value of  $Q=81.4 \text{ m}^3/\text{s}$ . It's obvious in this graphic that the increase in the jet length of the first model tends to decrease relatively after it reaches a value of  $Q=244.8 \text{ m}^3/\text{sn}$ . The reason for this is that with this discharge value, the flow overflows the middle canal and it spreads all over side canals. The flow in the side canals is not sprayed but it crosses into the middle canal and it is carried by the speedy flow in the middle canal. Undoubtedly, here, the mixture decreases the speed of the flow in the middle canal. That's why the rate of increase in jet lengths begins to decrease at this discharge value and in the value of  $Q=519 \text{ m}^3/\text{s}$  the same jet lengths are calculated for both of the models. At this discharge value jet length of the first and the second models was measured as 63m.



**Figure 9.** The relation between the jet lengths and discharge volumes of the models.

**Şekil 9.** Her iki modelindeşarj debileri ile jet boyları arasındaki ilişki

Ayrıca, 2. Modelde ölçülen jet boylarında,deşarj değerinin  $692 \text{ m}^3/\text{sn}$  ye ulaştığında, bir sıçrama yaptığı görülmekte. Bunun sebebi ise, budeşarj değerine gelindiğinde yan kanallardaki akış, jet olarak fırlatılmaya başlandığından, sıçratma ucundaki yan kanallardan orta kanala akış geçişinin kesilmesidir. Bunun sonucu olarak, orta kanal akış hızının azalmasına neden olan karışım ortadan kalktığı için, orta kanal sıçratma ucundaki akış hızında bir sıçrama olduğu görülmektedir. Jet boyu, akış hızının bir fonksiyonu olduğundan, akış hızındaki sıçrama, jet boyunda sıçramaya neden olmaktadır.

## 5. SONUÇLAR

Deney sonuçları açıkça göstermektedir ki, geliştirilen model ile, daha düşükdeşarjlardaki akışlar jet olarak fırlatılabilmektedir. Bu şekilde sıçratma ucunun düşü havuzu olarak çalışma özelliği azaltılmaktadır. Bunun sonucunda, akışın direkt yapının temel bölgesine düşmesi önlenmektedir. Buna ek olarak, düşükdeşarjlardaki jet boylarında artış sağlanmasıyla, daha emniyetli jet boyları elde edilmektedir. Her iki modelde sıçratma ucu çıkış açıları,deşarj değerleri, toplam düşü seviyeleri ve

Moreover, a rapid increase in the jet lengths in model 2 was recorded when the discharge value reached  $692 \text{ m}^3/\text{sn}$ . The reason for this is that at this discharge value, the flow in the side canals started to be sprayed rapidly and it ceased to cross into the middle canals from the side canals. As a result of this, since the mixture which causes the middle canal flow speed to decrease disappears, there appears a rapid increase in the flow speed at middle canal sıçratma ucu. Because the jet length is a function of flow speed, the rapid increase in the flow speed causes a rise in jet length.

## 5.RESULTS

The results indicate that with the new model, at lower discharge, flow can be sprayed rapidly. In this way, sıçratma ucu is quality of functioning as a spillway apron is diminished. As a consequence, the flow is prevented from pouring into the main part of the structure. In addition to this, with the attainment of an increase in jet lengths at low discharge, more secure jet lengths are obtained. Although all the characteristic features such as the exit angles of sıçratma ucu, discharge, total pressure

sıçratma ucu yarıçapları gibi bütün proje karakteristik özellikleri aynı olmasına rağmen, boşaltım kanalında yapılan değişiklikle elde edilen yeni modelde, düşük deşarjlarda jet boylarında oldukça iyi bir artış sağlandığı görülmektedir. Bu sayede düşük deşarjların yapıya vereceği zararlar daha az bir seviyeye indirilebilmekte ve yapı daha emniyetli kılınmaktadır.

Bütün bunlara ek olarak, yapılan çalışmada taban basınç ölçümleri yapılmadığı için boşaltım kanalı ve sıçratma ucunda oluşabilecek kavitasyon hususunda bir veri yoktur. Yapılan deneyler incelendiğinde özellikle deşarjın 591 m<sup>3</sup>/s'den daha büyük değerlerinde kavitasyon problemleri ile karşılaşılabilir. Yapılacak bir çalışma ile bu konu irdelenebilir. Ayrıca, deneylerin yapıldığı her iki model aynı karakteristik özellikleri taşıdığı için, sonuçların boyut içermesine rağmen, yapılan çalışmaların kendi içinde tutarlı olduğu kabul edilebilir. Fakat bu araştırma sonuçlarının, yapılacak olan daha sonraki çalışmalarla karşılaştırılmasında, sonuçların boyut içerdiği unutulmamalıdır.

head levels and sıçratma ucu radius are the same, in the new model which was formed by making changes in excretion canal, a remarkable increase in jet lengths was attained at low discharge. Therefore, probable damages which are thought to be caused by low discharge are lessened and the structure becomes more secure.

In addition to all of these, as the base pressure was not measured in the study, there is not any findings about a probable "kavitasyon" in the excretion canal and sıçratma ucu. When the experiments are examined, "kavitasyon" problems may be observed especially at a discharge value, lower than 591 m<sup>3</sup>/s. In a new study this subject can be studied in detail. Moreover, since both of the models on which the experiments were conducted, although the results include the dimensions, it can be admitted that the studies are coherent. However, when comparing the results of the research with the the studies that will be carried out in the future, it shouldn't be ignored that the results include the dimensions.

#### KAYNAKLAR/ REFERENCES

1. Vischer, D. L., and Hager, W. H., *Dam Hydraulic*, Wiley, Chichester, England, and Newyork (1998).
2. Maitre, R., Obolensky, S., "Etude, De Quelques Caracteristiques de l'ecoulement dans la partie aval des evacuateurs de surface.", *La Houille Blanche*, Grenoble, France, 481-511 (1954).
3. Auroy, F., "Les evacuateurs de Crues du Barrage de Chastang.", *Proc., 4th ICOLD Cong.*, Vol. Q12, R82, 661-686 (1951).
4. Rohone, T. J. and Peterka A. J., "Improved Tunnel Spillway Flip Buckets", *Journal of Hydraulic Div.*, ASCE, 85(12):53-76, (1959).
5. Peterka, A. J., *Hydraulic Design of Stilling Basin and Energy Dessipators*, Bureau of Reclamantion, Engineering Monograph No 25, London/ USA (1983).
6. Goang, Z. ve arkadaşları, *Design of Hydraulics Structures*, Fort Collins, Colo., USA (1987).
7. Zhenlin, D., Lizhong, N. and Londge, M., "Some Hydraulic Problems Of Silt-Type Buckets" *Proc., Int. Symp. On Hydr. For High Dams*, 287-294 (1988).
8. Dominy, F. E., USBR, Design of Small Dams 1nd ed. , *United States Government Printing Office*, Washington (1965).
9. Merdin, S., "Serbest Jet Fırlatmalı Dolusavaklarda Minimm Deşarjlarda Jet Fırlatmasının Sağlanması ve Jet Boylarının Artırılması", Yüksek lisans tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.*, Trabzon/ Türkiye, (1998).
10. French, R:H., *Open Channel Hydraulics*, McGraw-Hill Inc., Singapore (1986).
11. Çataklı, O. N., *Model Tekniği*, Kurtuluş matbaası, İstanbul, Türkiye (1963).
12. Şentürk, F., *Barajların Projelendirilmesinde Hidrolik Esaslar*, Devlet Su İşleri Matbaası, Ankara, Türkiye (1988)