

**T.C.**  
**FIRAT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

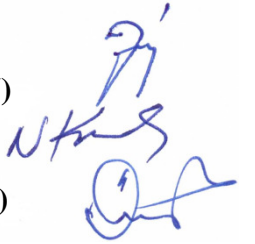
**LABİRENT YAN SAVAKLARDA ANTİ-VORTEKS LEVHALARIN**  
**DEŞARJ KAPASİTESİNE VE OYULMAYA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Kadir İSLAMOĞLU**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06.01.2015**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 22.01.2015**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Muhammet Emin EMİROĞLU (FÜ)**  
**Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Nihat KAYA (FÜ)**  
**: Yrd. Doç. Dr. Ö. Faruk DURSUN (İnönü Üni.)**



**ELAZIĞ, 2015**

## ÖNSÖZ

Bu çalışmayı titizlikle yöneten ve çalışmanın her aşamasında kıymetli zamanını ayırarak, ilgisini esirgemeyen hocam Prof. Dr. M. Emin EMİROĞLU'na şükranlarımı sunarım.

Çalışmam süresince ilgi ve desteğini esirgemeyen değerli görüş ve tavsiyelerinden büyük ölçüde istifade ettiğim sayın Doç. Dr. Nihat KAYA'ya, Arş. Gör. Mustafa TUNÇ'a ve deneyler esnasında ki emeklerinden dolayı Raif ATEŞ ve Muhammet KARTAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarımın başlaması ile dünyaya gelişi aynı döneme gelen kızıma ve desteklerinden dolayı eşime de çok teşekkür ederim.

**Kadir İSLAMOĞLU**

**Elazığ - 2014**

## İÇİNDEKİLER

|   |      |
|---|------|
| ÖNSÖZ.....  | II   |
| ŞEKİL LİSTESİ .....   | IV   |
| TABLO LİSTESİ .....   | VII  |
| ÖZET .....  | VIII |
| ABSTRACT .....  | IX   |
| 1. GİRİŞ.....   | 1    |
| 2. YAN SAVAK AKIMININ HİDROLİĞİ.....  | 2    |
| 2.1. Giriş .....  | 3    |
| 2.2. Konuyla İlgili Literatür Özeti .....   | 9    |
| 3. DENEY DÜZENEGİ VE DENEYSEL ÇALIŞMA .....                                       | 50   |
| 3.2 Deney Düzenegi .....  | 50   |
| 3.2.1 Su Temin Borusu ve Debimetre .....  | 51   |
| 3.2.2 Deney Kanalını Besleyen Dinlendirme Havuzu.....                             | 51   |
| 3.2.3 Savaktan sonraki dinlendirme havuzu .....                                   | 51   |
| 3.2.4 Yaklaşım Kanalı .....   | 52   |
| 3.2.5 Kıvrımlı Kanal.....   | 52   |
| 3.2.6 Doğrusal Çıkış Kanalı .....   | 52   |
| 3.2.7 Yan Savak Ayırma Duvarı .....   | 52   |
| 3.2.8 Anti-Vorteks Levhaları.....   | 53   |
| 3.2.9 Toplama Kanalı .....  | 60   |
| 3.2.10 Boşaltım Havuzu .....  | 60   |
| 3.2.11 Boşaltım Havuzuna Bağlı Kanal .....  | 60   |
| 3.2.12 Hareketli Seviye Ölçüm Arabası .....                                       | 60   |
| 3.2.13 Giriş Debisinin Ölçülmesi .....  | 61   |
| 3.2.14 Toplama Kanalı Sonundaki Dikdörtgen Savak Anahtar Eğrisinin Elde Edilmesi  | 62   |
| 3.3 Deneysel Çalışma .....  | 63   |
| 4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ .....                                     | 67   |
| 4.1 Anti-Vorteks Kullanımının Debi Deşarj KapasitesineEtkisi.....                 | 67   |
| 4.2 Temiz Su Oyulmasında Anti-Vorteks Kullanımının Oyulma DerinliğineEtkisi ..... | 78   |
| 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....   | 88   |
| 5.1 Sonuçlar.....   | 88   |
| 5.2 Öneriler.....   | 88   |
| KAYNAKLAR.....  | 89   |
| ÖZGEÇMİŞ.....   | 94   |

## ŞEKİL LİSTESİ

|  |    |
|--|----|
| Şekil 2.1 Su yüzü profillerinin muhtemel tipleri   | 4  |
| Şekil 2.2 Sabit özgül enerjili kanal akımı durumunda derinlik ve kanal debisi arasındaki ilişki                                  | 5  |
| Şekil 2.3 $\phi(y/E)$ fonksiyonunun, $p/E$ parametresinin çeşitli değerleri için değişimi  | 8  |
| Şekil 2.4 Deneysel olarak gözlenen su yüzü profilleri  | 10 |
| Şekil 2.5 Yan savak boyunca meydana gelen sıçrama hali (Frazer, 1954)  | 14 |
| Şekil 2.6 Daire enkesitli kanallardaki yan savak genel görünüşü (Allen, 1957)  | 17 |
| Şekil 2.7 Nehir rejimli akım şartlarında $C_d$ yan savak debi katsayısının $Fr_1$ ile değişimi                                   | 20 |
| Şekil 2.8 Sel rejimli akım şartlarında $C_d$ yan savak debi katsayısının $Fr_1$ ile değişimi                                     | 21 |
| Şekil 2.9 Yanal akım sebebiyle kanal enkesitindeki akımın hareketi   | 24 |
| Şekil 2.10 Yanal akım sebebiyle kanal enkesitinde oluşan sekonder akım   | 24 |
| Şekil 2.11 Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda nehir rejimli akım durumunda yan savak boyunca sekonder akımın gücünün değişimi | 25 |
| Şekil 2.12 Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda sel rejimli akım durumunda yansavak boyunca sekonder akımın gücünün değişimi    | 26 |
| Şekil 2.13 Ana kanal dik bir kol bağlanması durumunda yan savağın genel görünüşü<br>a) Plan (b) Kesit                            | 28 |
| Şekil 2.14 Dikdörtgen prizmatik debi dağıtım kanalı genel görünüşü   | 30 |
| Şekil 2.15 Üniform debi dağılımı için üniform daralan debi dağılım kanalı genel görünüşü   | 31 |
| Şekil 2.16 Enkesit genişliği yan savak boyunca tedricen daralan kanala yerleştirilen yansavağın plan ve kesiti                   | 32 |
| Şekil 2.17 Trapez enkesitli bir kanalda trapez enkesitli yan savak görünüşü;<br>(a) plan, (b) kesit, (c) görünüş                 | 34 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Şekil 2.18</b> Yan savak görünüşü (a) Plan (b) Kesit (Kumar ve Pathak, 1987)  | 36 |
| <b>Şekil 2.19</b> Yan savak genel görünüşü (Swamee ve diğ.,1994)   | 40 |
| <b>Şekil 2.20</b> Savak enkesiti ve planı (Tozluk 1994)  | 41 |
| <b>Şekil 2.21</b> Doğrusal kanalda farklı L/b oranları için yan savak debi katsayısının Subramanya ve Awasthy denklemiyle karşılaştırılması (Ağaçcıoğlu, 1995) | 43 |
| <b>Şekil 3.1</b> Deney düzeneği  | 51 |
| <b>Şekil 3.2</b> Labirent yansavak üzerindeki akım   | 53 |
| <b>Şekil 3.3(a,b)</b> Tip 1 kodlu anti-vorteksin plan ve perspektifi   | 54 |
| <b>Şekil 3.4(a,b)</b> Tip 2 kodlu anti-vorteksin plan ve perspektifi   | 55 |
| <b>Şekil 3.5(a,b)</b> Tip 3 kodlu anti-vorteksin perspektifi   | 56 |
| <b>Şekil 3.6(a,b)</b> Tip 4 kodlu anti-vorteksin perspektifi   | 57 |
| <b>Şekil 3.7(a,b)</b> Tip 5 kodlu anti-vorteksin perspektifi   | 58 |
| <b>Şekil 3.8(a,b)</b> Tip 6 kodlu anti-vorteksin perspektifi   | 59 |
| <b>Şekil 3.9</b> Hareketli seviye ölçüm arabası  | 61 |
| <b>Şekil3.10</b> Giriş debisini ölçen elektromanyetik debimetre  | 61 |
| <b>Şekil 3.11</b> Giriş debisinin ayarlandığı debimetrenin ön kısmındaki vana  | 62 |
| <b>Şekil 3.12</b> Dikdörtgen savak anahtar eğrisi  | 62 |
| <b>Şekil 3.13</b> Trapez Savak ve Tip4 anti-vorteks levha  | 63 |
| <b>Şekil 3.14</b> 22 kW'lık Pompalar   | 65 |
| <b>Şekil3.15(a,b)</b> Hidrolik laboratuvarındaki tankları  | 66 |
| <b>Şekil 4.1(a-c)</b> Memba ve mansap uçlarındaki özgül enerjinin değişim  | 68 |
| <b>Şekil 4.2(a-c)</b> L/B=0.5 için Tip 2, Tip 3 ve Tip 6 ile anti-vorteksiz labirent yan savaklarda $F_1$ ile $C_d$ 'nin değişimi                              | 70 |
| <b>Şekil 4.3(a-f)</b> L/B=1 için Tip 1, Tip 2, Tip 3, Tip 4, Tip 5 ve Tip 6 ile antivorteksiz labirent yan savaklarda $F_1$ ile $C_d$ 'nin değişimi            | 73 |
| <b>Şekil 4.4(a-c)</b> L/B=1.5 için Tip 2, Tip 3 ve Tip 6 ile antivorteksiz labirent yan savaklarda $F_1$ ile $C_d$ 'nin değişimi                               | 74 |
| <b>Şekil 4.5(a-c)</b> L/B=0.5 için trapez labirent yan savaklarda $(y_1-p)/p$ ile $C_d$ 'nin değişimi  | 75 |
| <b>Şekil 4.6(a-c)</b> L/B=1 için trapez labirent yan savaklarda $F_1$ ile $C_d$ 'nin değişimi  | 77 |
| <b>Şekil 4 7(a-c)</b> L/B=1.5 için trapez labirent yan savaklarda $(y_1-p)/p$ ile $C_d$ 'nin değişimi  | 78 |
| <b>Şekil 4.8(a-d)</b> Tip 2 için maksimum oyulma derinliğinin zamanla değişimi   | 81 |
| <b>Şekil 4.9</b> Oyulma derinliklerini ve taban topoğrafyasını çıkarmak için kullanılan ölçüm yerleri  | 81 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Şekil 4.10(a,b)</b> Ana kanal ve yan savak bölgesi deney sonrası eş yükselti eğrileri | 82 |
| <b>Şekil 4.11(a-d)</b> Ana kanal boyunca taban topoğrafyası değişimleri                  | 84 |
| <b>Şekil 4.12(a-d)</b> Savak içi taban değişimi  | 87 |

## TABLO LİSTESİ

|  |    |
|--|----|
| <b>Tablo 2.1</b> Savak katsayıları                         | 19 |
| <b>Tablo 2.2</b> Savak boyutları ve akım karakteristikleri | 35 |

## ÖZET

Kanallar ve akarsulara yerleştirilen yan savakların hidrolik karakteristiklerinin incelenmesi konusu araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Yan savaklar; taşkın kanallarında, sulama kanallarında, arazi drenajında ve birleşik sistem kanalizasyon tesislerinde su alma amacıyla yaygın bir şekilde kullanılırlar. Yan savakların debi katsayısı ile ilgili bir çok çalışma yapılmıştır. Fakat, labirent yan savaklar yeni bir yan savak türü olduğundan sınırlı sayıda çalışmalarmevcuttur.

Labirent savak, verilen bir savak açıklığında daha fazla kret uzunluğu elde etmek için planda düz olmayan bir savak kretine sahiptir. Bu savaklar klasik ogee kretli savaklar ile karşılaştırıldığında önemli avantajlara sahiptirler. Labirent yan savakların deşarj kapasitelerinin klasik yan savaklarınkinden 1.5 ile 5.0 kat daha fazla olduğu bilinmektedir. Ayrıca, labirent yan savaklar üzerindeki nap yüksekliği, klasik yan savaklara göre aynı koşullarda daha az olmaktadır.

Literatürde doğrusal kanallara yerleştirilen dikdörtgen ve üçgen en kesitli yan savaklar ile ilgili birçok çalışmamevcuttur. Labirent yan savaklar için bunu söylemek güçtür. Bu çalışmalarda, genellikle yan savakların debi katsayıları ve su yüzü profilleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu deneysel çalışma, nehir rejimli akım şartları ve serbest savaklanma durumu için dikdörtgen enkesitli doğrusal bir kanalda gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, labirent yan savaklarda vorteks yapılarının debi katsayısı üzerine etkisi, özellikle Froude sayısı  $F_1$ , boyutsuz kret yüksekliği  $p/y_1$ , boyutsuz savak genişliği  $L/B$ , boyutsuz kret uzunluğu  $L/L_c$ , ve yan duvar açısı  $\alpha$  dikkate alınarak incelenmiştir. Bilgimiz dahilinde böyle bir çalışmanın literatürde yapıldığına rastlanılmamıştır.

Bu çalışmada farklı yan savak açıklıkları, farklı kret yükseklikleri ve farklı anti-vorteks yapıları kullanılarak, trapez yan savaklar için 537 adet deney yapılmıştır. Ayrıca, Tip-2, Tip-3 ve Tip-6 anti-vorteks yapıları kullanılarak  $p=12$  cm kret yükseklikli,  $L=40$  cm yan savak açıklıklı ve üçgen labirent yan savak tepe açısı  $\theta=90^\circ$  olan yan savakta, farklı akım şiddetlerinde 12 adet oyulma deneyi yapılmıştır. Labirent yan savaklarda, anti-vorteks yapılarının deşarj kapasitesini yaklaşık %2.5 oranında arttırdığı sonucuna varılmıştır. Temiz su oyulması deneylerinde ise, anti-vorteks yapılarının kullanımı oyulma derinliğini azalttığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Labirent yan savak, vorteks, anti-vorteks, akım şiddeti, temiz su oyulması.

## ABSTRACT

### **Investigation of the effect of anti-vortex plates on discharge capacity and scour depth at the labyrinth side weirs**

Side weirs located on channels or rivers have attracted considerable interest and research effort. Side weirs are commonly used in flood channels, irrigation channels, land drainage, and urban sewerage systems by flow diversion or intake devices. There are a lot of studies related to the discharge coefficient of the side weirs. There are only a few studies about labyrinth side weirs due to the fact that Labyrinth side weirs are a new side weir type.

Labyrinth weir is an overflow weir, folded in plan view to provide a longer total effective length for a given overall weir width. These weirs have advantages compared to the straight overflow weir and the standard ogee crest. The discharge coefficient of the labyrinth side weir is 1.5 to 5.0 times higher than the conventional side weir. Moreover, nappe load over the weir is less than that of the conventional side weir.

Most previous studies focused on rectangular and triangular side weirs in straight channels. The same, however, is not true for labyrinth side weirs. In the previous studies, the discharge capacity and water surface profile of side weirs has been studied as experimental and numerical. The present study investigates the effect of the (anti-)vortex structures on the discharge coefficient of trapezoidal labyrinth side weirs located a rectangular main channel for subcritical flow regime and free overfall and, in particular, the effect of Froude number  $F_1$ , the dimensionless weir crest height  $p/h_1$ , the dimensionless weir width  $L/B$ , the dimensionless effective side weir length  $L/L_e$  and the sidewall angle  $\alpha$  on the discharge coefficient. To the best of our knowledge, no previous work has reported on the effect of vortex structures at the trapezoidal labyrinth side weirs.

In the current study, 537 experimental runs has been conducted using the different side weir openings, the different crest heights and the different anti-vortex structures. Moreover, clear water scour experiments have been made in order to see the effect of the anti-vortex on maximum scour depth using Type-2, Type-3 and Type-6 vortex structures. In the experiments, the crest height is  $P=12$  cm, the side weir opening is  $L=40$  cm and the side wall angle is  $\alpha=90$  degrees and the different flow intensities ( $V/V_{kr}$ ) have been considered.

Consequently, it can be seen that using the anti-vortex structures in the labyrinth side weirs increases the discharge capacity approximately 2.5%. In addition to this, maximum scour depth in the labyrinth side weir with anti-vortex is less than that of without anti-vortex labyrinth side weir.

**Keywords:** Labyrinth side weir, vortex, Anti-vortex , flow intensity, clear water scour.

## SİMGE LİSTESİ

|            |   |
|------------|---|
| $A$        | Ana kanal ıslak kesit alanı ( $m^2$ )                       |
| $B$        | Ana kanal genişliği (m)                                     |
| $b_1$      | Yan savak sonunda ana kanal genişliği (m)                   |
| $b_2$      | Yan savak başlangıcında ana kanal genişliği (m)             |
| $C_d$      | Yan savak debi katsayısı                                    |
| $C_{nor}$  | Akıma normal olarak yerleştirilen savağın debi katsayısı    |
| $D_s$      | Dairesel enkesitli kanal çapı                               |
| $E$        | Herhangi bir kesitteki özgül enerji yüksekliği (m)          |
| $Fr$       | Froude sayısı,  |
| $Fr_1$     | Yan savak başlangıcındaki Froude sayısı                     |
| $g$        | Yerçekimi ivmesi ( $m^2/s$ )                                |
| $y$        | Herhangi bir kesitteki akım derinliği (m)                   |
| $y_1$      | Yan savak membasında ana kanal eksenindeki su derinliği (m) |
| $y_2$      | Yan savak mansabında ana kanal eksenindeki su derinliği (m) |
| $y_{kr}$   | Kritik akım halinde su derinliği (m)                        |
| $y_f$      | Ortalama akım derinliği (m)                                 |
| $y_h$      | Dış kıyı su derinliği (m)                                   |
| $H$        | Toplam enerji (m)   |
| $J$        | Enerji çizgisi eğimi  |
| $J_0$      | Ana kanal taban eğimi                                       |
| $L$        | Yan savak uzunluğu (m)                                      |
| $L_s$      | Kalın kenarlı savak uzunluğu (m)                            |
| $L_{ndim}$ | Yan savak yüksekliğinin memba akım hızına oranı             |
| $n$        | Manning sürtünme katsayısı                                  |
| $p$        | Yan savak kret yüksekliği (m)                               |
| $P$        | Islak çevre (m)   |
| $Q_w$      | Yan savak debisi ( $m^3/s$ )                                |
| $Q_1$      | Ana kanal debisi ( $m^3/s$ )                                |
| $Q_2$      | Yan savaktan sonraki ana kanal debisi ( $m^3/s$ )           |
| $R$        | Hidrolik yarıçapı (m)                                       |

|          |   |
|----------|---|
| $Re$     | Reynolds sayısı   |
| $S_0$    | Kanal çizgisi eğimi   |
| $S_f$    | Enerji çizgisi eğimi  |
| $t$      | zaman (s)   |
| $x$      | Yan savağın herhangi bir noktasının, yan savağın başlangıcına olan uzaklığı (m) |
| $V$      | Ana kanaldaki ortalama akım hızı (m/s)  |
| $V_l$    | Yan savak membasında ana kanal eksenindeki ortalama akım hızı (m/s)             |
| $\theta$ | Labirent yan savak tepe açısı ( $^{\circ}$ )                                    |
| $\alpha$ | Kıvrım merkez açısı ( $^{\circ}$ )  |
| $\phi$   | İntegral alanını gösteren sembol  |
| $\psi$   | Savaklanma (sapma) açısı ( $^{\circ}$ )   |
| $\eta$   | Rölatif derinlik ( $z/h$ )  |
| $\rho$   | Özgül kütle ( $\text{kg/m}^3$ )   |

## 1. GİRİŞ

Yan savaklar, herhangi bir kanaldan ihtiyaç duyulan debinin temin edilmesi veya fazla suyun uzaklaştırılması için taşkın, sulama, arazi drenajı, birleşik sistem kanalizasyon tesislerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, yan savaklar hem doğrusal hem de mendereslerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yan savaklar akarsu veya kanallara paralel olarak yerleştirilmektedir. Özellikle sulama projelerinde ve birleşik sistem kanalizasyon projelerinde sık kullanılmıştır. Kullanım amacı akarsudan veya kanaldan yanal olarak su almaktır. Ayrıca, kanaldaki su seviyesi düşürmek veya belirli miktardaki suyu deşarj etmek amacıyla inşa edilmektedir.

Labirent dolusavaklar barajlarda özellikle kısıtlı yer olan durumlarda, yardımcı dulusavak gereksinimi olan durumlarda ve daha fazla debi deşarjı gereken durumlarda tercih edilmektedir. Bu savakların hidrolik karakteristiklerinin belirlenmesi üzerine bir çok çalışma yapılmıştır. Günümüzde inşa edilen çok sayıda labirent dolusavak vardır. Fakat “labirent yan savak” terimi hidrolik mühendisliğinde yenidir. Bu ifadeden dolayı diğer savaklar klasik yan savaklar olarak isimlendirilmektedir.

Labirent yan savak teknesi üzerinde özellikle büyük Froude sayılarında, vorteks oluşumu daha etkin olmaktadır. Bu vorteks oluşumunun engellenmesi veya etkilerinin azaltılması durumunda hem daha fazla debi deşarj edilebilecek ve hem de oyulma derinliği azaltılmış olacaktır.

Labirent yan savakların debi deşarj kapasiteleri klasik savaklara göre oldukça fazla olmaktadır. Ancak Froude sayısının artması ile birlikte oluşan vorteksler debi deşarj kapasitesini ve zemin oyulmasını etkilemektedir. Bu çalışma kapsamında 6 adet farklı şekilli levhalardan anti-vorteksler imal edilmiştir. Birinci grup deneylerde bu altı adet anti-vorteks için deneyler tamamlanmıştır. İkinci grup deneylerde üç adet anti-vorteks elenerek deneylere geri kalan üç adet anti-vorteks ile devam edilmiştir. Üçüncü grup deneylerde ise anti-vorteks yapısının oyulma derinliğine etkisi irdelenmiştir.

Doğrusal kanallar üzerine yerleştirilmiş yan savaklar ile ilgili literatürde birçok çalışma mevcuttur. Fakat labirent yan savaklar yeni çalışılan bir konudur. Bu savaklarda anti-vortekslerin incelendiğine dair herhangi bir çalışmaya rastlanmadığından literatürdeki bu konu ile ilgili boşluk doldurulmaya çalışılacaktır.

## 2. YAN SAVAK AKIMININ HİDROLİĞİ

### 2.1.Giriş

Savaklar; hidrolik mühendisleri tarafından debi ölçümü, taşkın kontrolü ve benzeri amaçlar için yüzyıllardır kullanılan en eski ve kullanım açısından en basit hidrolik yapılarıdır. Farklı savak tiplerinin her birinin hidrolik davranışı birbirinden çok farklıdır.

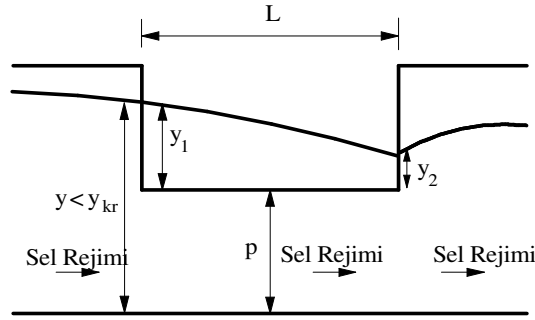
Yan savaklar; bir kanaldaki fazla debinin azaltılması veya herhangi bir kanaldan ihtiyaç olan debinin alınması için kullanılan hidrolik yapılarıdır. Bu tip savaklar kanalların yan duvarlarına veya akarsularda akıma paralel olarak inşa edildiklerinden bu ismi almışlardır. Yan savaklar birçok mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır. Yan savaklar herhangi bir kanaldan ihtiyaç duyulan debinin temin edilmesi veya fazla suyun uzaklaştırılması için sulama, arazi drenajı ve kanalizasyon sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Birleşik sistemlerde ana kollektördeki temiz olan fazla yağmur suları, yan savaklar yardımıyla alıcı ortama doğrudan verilmektedir. Böylece arıtma tesisinin yükü azaltılmaktadır.

Ayrıca, vadi yamaçlarından geçirilen kanallarda yüzeysel akış etkisiyle meydana gelecek fazla debi de yan savaklar yardımıyla uzaklaştırılmaktadır. Yine, sulamada dağılım ve kayıpların kontrolü yapılırken de yan savaklardan faydalanılır. Düşük randımanla yapılan sulama işlemi sonucu ortaya çıkan su kayıplarının önüne geçmek için yan savak kullanılarak bu kayıpları en düşük seviyeye indirmek mümkün olmaktadır.

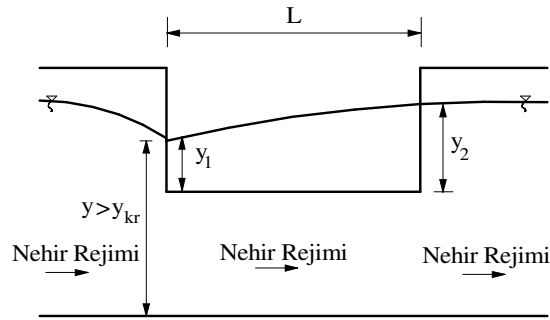
Yan savakların farklı enkesit tipleri mevcuttur. Yan savaklar dikdörtgen, trapez veya dairesel kanalların yan duvarlarına farklı enkesitlerde inşa edilirler. Bunları dikdörtgen, üçgen, trapez ve dairesel yan savaklar olarak saymak mümkündür. Bu yan savaklar ana kanalın yanında; ana kanal ekseni ile belirli bir açı yapacak şekilde inşa edilebileceği gibi ana kanala paralel olarak da inşa edilebilmektedir.

Yerleştirme yapılırken kullanılacak yan savak tipi, kanal enkesiti ve yerleştirme açısı savaklanacak debinin miktarını değiştirmektedir. Yan savakların debi katsayısı ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Günümüzde bu konu ile ilgili çalışmalar halen yapılmaktadır. Yan savaklar ile ilgili hem teorik hem de deneysel çalışmalar literatürde mevcuttur. Yan savaklarda, savak üzerinden aşan su napının savak boyunca meydana gelecek serbest yüzey çizgisi, kanaldaki rejime bağlı olarak meydana gelmektedir. Aşağıda savak üzerinde muhtemel meydana gelebilecek beş farklı durum Şekil 2.1'de verilmiştir.

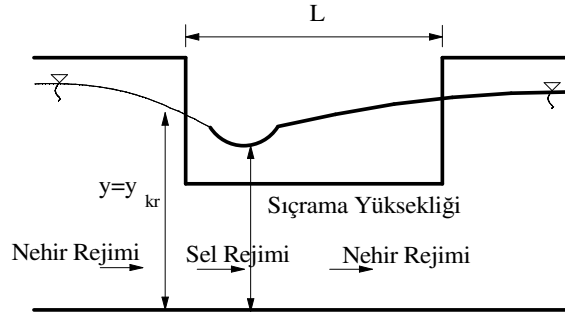
- a- Savak başlangıcında veya yakınında kritik akım şartları meydana gelir. Akım savak boyunca sel rejimindedir ve su derinliği savak üzerinde azalır (Şekil 2.1.a).
- b- Savak başlangıcında su derinliği kritik derinlikten büyüktür. Akım savak boyunca nehir rejimindedir ve su derinliği savak boyunca gittikçe artar (Şekil 2.1.b).
- c- Yan savaktan önce nehir rejiminde olan akım savak başında kritik seviyeye yakın değere düşmekte ve enerji kaybına uğrayarak nehir rejimine geçmektedir. Başlangıçta savak yükü azalmakta sıçramadan sonra artmaktadır (Şekil 2.1.c).
- d- Savaktan önce akım sel rejimindedir ve derinlik kritik derinliğin altındadır. Yan savak boyunca da akım sel rejiminde devam etmektedir (Şekil 2.1.d).
- e- Girişte su seviyesi kritik seviyenin altına düşmüştür. Debi azalmasından dolayı bir sıçrama meydana gelmekte akım enerjisi kayba uğrayarak daha küçük bir enerji seviyesine inmektedir (Şekil 2.1.e).



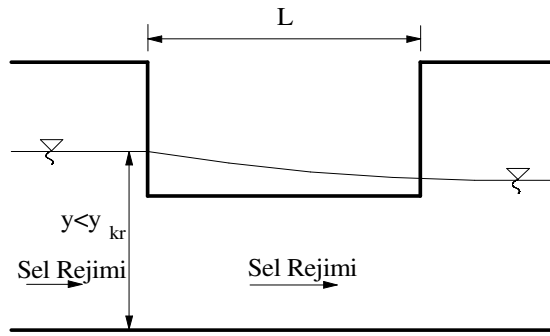
Şekil 2.1.a



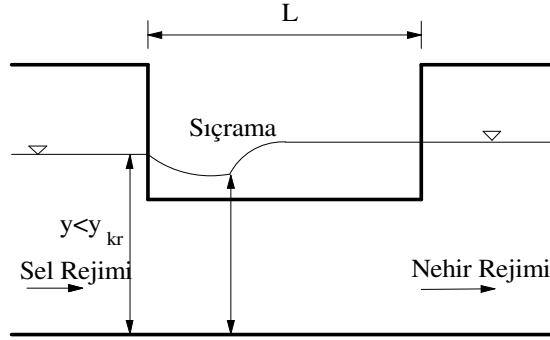
Şekil 2.1.b



Şekil 2.1.c



Şekil 2.1.d



Şekil 2.1.e

Şekil 2.1 (a-e) Su yüzü profillerinin muhtemel tipleri (Chow, 1959)

De Marchi (1934) yan savak boyunca özgül enerjinin sabit kaldığını varsayarak teorik bir çalışma yapmıştır. Yazarın yaptığı kabuller aşağıdaki gibidir;

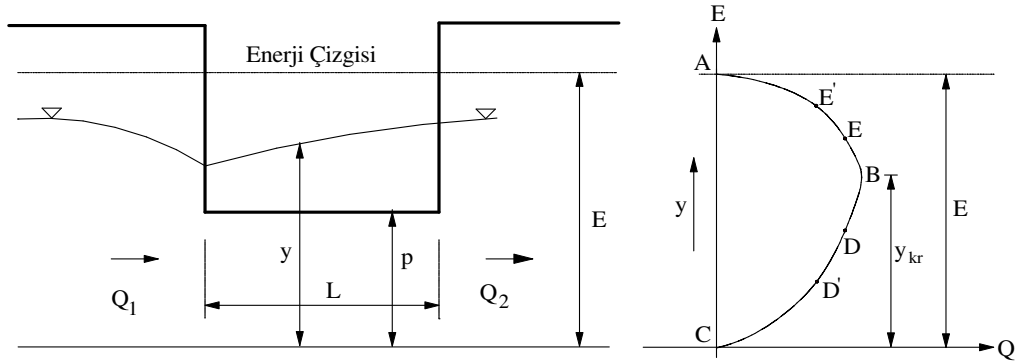
- Ana kanalda kararlı akım şartları mevcuttur.
- Yan savak kreti ana kanal tabanına paraleldir.
- Yan savak, dikdörtgen enkesitli uzun bir kanal üzerine yerleştirilmiştir.

- Yan savağın memba ve mansabındaki belirli mesafelerde kanaldaki akım üniformdur.
- Verilen herhangi bir yan savak uzunluğunda geçen debi, normal savak formülünde olduğu gibi, aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$Q_w = C_d \sqrt{2g} (y - p)^{3/2} L \quad (2.1)$$

burada;  $Q_w$ = yan savak debisi,  $C_d$ = debi katsayısı,  $g$ = yerçekim ivmesi,  $y$ = akım derinliği,  $L$ =savak açıklığı ve  $p$ = kret yüksekliği'dir.

Akımın üniform olması nedeni ile enerji çizgisi kanal tabanına paraleldir. Buradan, kısa yan savak ya da kanaldaki akım derinliğinin değişmediğinin varsayıldığı anlamı çıkarılabilir. Bir kanalın sabit bir enerji seviyesinde geçirebileceği debi ile su derinliği arasındaki bağıntı Koch parabolü ile verilir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2.Sabit özgül enerjili kanal akımı durumunda derinlik ve kanal debisi arasındaki ilişki  
(De Marchi, 1934)

Yan savak başlangıcında akım sel rejiminde ise  $y < y_{kr}$  olduğundan, debi-derinlik ilişkisi D noktası ile verilir. Yan savak boyunca ana kanal debisi azalacağından akım D' noktası ile verilir. Yan savak başlangıcında akım nehir rejiminde ise  $y > y_{kr}$  olacağından akım bir E noktası ile belirlenecektir. Nehir rejiminde ana kanal debisi yan savak boyunca azalacağından akım E' gibi bir nokta ile belirlenebilir. Buna göre, Şekil 2.2' de görüldüğü üzere, yan savak boyunca ana kanal ekseninde su derinliğinin nehir rejiminde arttığı, sel rejiminde ise azaldığı görülmektedir.

Yavaş değişken akımın analizi için, enerji prensibi bu probleme direkt olarak uygulanabilir. “z” mesafesini kanal tabanı alt kısmı ile sıfır düzlemi arasındaki mesafe olarak dikkate alınır; kanal kesitinde ki toplam enerji (Chow 1959):

$$H = z + y + \frac{\alpha Q^2}{2gA^2} \quad (2.2)$$

şeklinde olur  $x$ 'e göre bu eşitliğin türevi alınır,

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dz}{dx} + \frac{dy}{dx} + \frac{\alpha}{2g} \left( \frac{2Q dQ}{A^2 dx} - \frac{2Q^2 dA}{A^3 dx} \right) \quad (2.3)$$

şeklinde yazılır. Dikkat etmek gerekir ki  $dH/dx = -S_f$ ,  $dz/dx = -S_o$ ,  $dQ/dx = q$ ,  $dA/dx = (dA/dy) \cdot (dy/dx) = (B dy)/dx$  dir.

Böylece Eşitlik (2-3) aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_o - S_f - \left( \frac{\alpha Q}{gA^2} \right) \left( \frac{dQ}{dx} \right)}{1 - \left( \frac{\alpha Q^2 B}{gA^3} \right)} \quad (2.4)$$

Yan savak boyunca özgül enerji sabit kabul edilebilir (yani  $S_f = S_o$ ). Kanal yatay olduğundan dolayı  $S_o = 0$ 'dır. Kinetik enerji düzeltme faktörü  $\alpha = 1$  alınarak Eşitlik (2-4) aşağıdaki gibi yazılabilir ( $S_f =$ enerji çizgisi eğimi,  $S_o =$ kanal eğimini gösterir).

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\frac{Q}{gB^2 y^3} \left( \frac{-dQ}{dx} \right)}{1 - \frac{Q^2}{gB^2 y^3}} = \frac{Qy \left( \frac{-dQ}{dx} \right)}{gB^2 y^3 - Q^2} \quad (2.5)$$

buraday  $=x$  kesitindeki akım derinliğini ( $x=0$ 'da:  $y=y_1$  ve  $Q=Q_1$ 'dir).  $x=$ akım yönünde yan savağın başlangıcından itibaren mesafeyi,  $Q=$ ana kanaldaki debiyi,  $Q_1=$ yan savağın memba ucunda ana kanal içerisindeki toplam debiyi,  $g=$ yer çekim ivmesini,  $B=$ ana kanal genişliğini ve  $dQ=$ akım yönünde ana kanaldaki debi değişimini ifade eder. Bir savak üzerindeki birim debi:

$$q = -\frac{dQ}{dx} = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} [y - p]^{3/2} \quad (2.6)$$

ve özgül enerji eşitliğinden:

$$Q = By \sqrt{2g(E - y)} \quad (2.7)$$

elde edilir.

Burada  $E$ =kanaldaki özgül enerjiyi belirtir. Eşitlik (2.5), (2.6) ve (2.7)'den aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\frac{dy}{dx} = \frac{4 C_d}{3 B} \frac{\sqrt{(E-y)(y-p)^3}}{3y-2E} \quad (2.8)$$

Eşitlik (2-9)'da verilen su yüzü diferansiyel denkleminin kapalı çözümü ilk kez De Marchi (1934) tarafından geliştirilmiştir. Dikkat etmek gerekir ki  $C_d$ ,  $x$ 'ten bağımsızdır.

$$x = \frac{3B}{2C_d} \phi(y, E, p) + \text{sabit} \quad (2.9)$$

burada  $\phi(y, E, p)$  olmak üzere;

$$\phi(y, E, p) = \frac{2E-3p}{E-p} \sqrt{\frac{E-y}{y-p}} - 3 \sin^{-1} \sqrt{\frac{E-y}{E-p}} \quad (2.10)$$

eşitliği ile belirlenmektedir. 1 ve 2 indisleri yan savağın memba ve mansap uçlarını göstermek üzere yan savak uzunluğu ( $L$ = yan savağın memba ve mansap ucu arasındaki mesafe):

$$L = \frac{3}{2} \frac{B}{C_d} (\phi_2 - \phi_1) \quad (2.11)$$

eşitliği ile belirlenir. Burada  $\phi$ = De Marchi değişken akım fonksiyonudur. Eşitlik (2.11), ilk kez De Marchi tarafından türetilmiştir. Bu yaklaşım, yan savaklarda debi eşitliği olarak sık kullanılmaktadır. Bu yaklaşımdan başka Schmidt ve Stopsack yaklaşımları da vardır (Özbek, 2009). Böylece yan savak üzerindeki toplam debi:

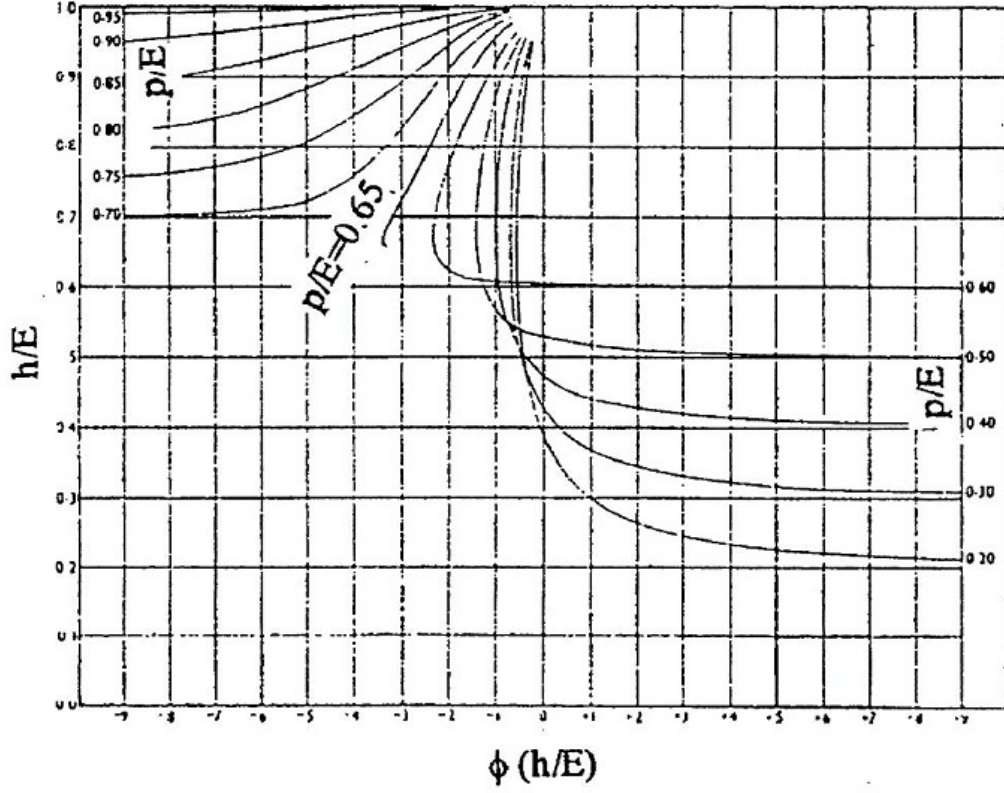
$$Q_w = Q_1 - Q_2 \quad (2.12)$$

eşitliği ile bulunur.  $Q_2$ =Savağın mansap ucunda ana kanaldaki debiyi gösterir.

Ayrıca, De Marchi tarafından verilen Eşitlik (2.13) ve Şekil (2.3) kullanılarak gerekli savak açıklığı belirlenebilmektedir.

$$L = \frac{B}{C_d} \left( \phi \left[ \frac{y_2}{E} \right] - \phi \left[ \frac{y_1}{E} \right] \right) \quad (2.13)$$

$p/E$  parametresinin çeşitli değerleri için  $\phi(y/E)$  eğrileri Şekil 2.3'te verilmiştir. Eğer yan savak debisi, memba veya mansap uçlarının herhangi birindeki akım rejimi (aynı zamanda  $(y/E)$ ) biliniyorsa, (2-13) eşitliği kullanılarak yan savağın diğer ucundaki  $(y/E)$  değeri bulunabilir.



Şekil 2.3  $\phi(y/E)$  fonksiyonunun,  $p/E$  parametresinin çeşitli değerleri için değişimi  
(De Marchi, 1934)

## 2.2. Konuyla İlgili Literatür Özeti

Yan savak ile ilgili çok sayıda bilimsel çalışmalara ulaşılmıştır. Bunlar aşağıda özetlenmiştir.

Parmley (1905), yapmış olduğu çalışmalar sonucunda sel rejimli akım şartları için yan savak uzunluğunu veren ifadeyi aşağıdaki gibi bulmuştur.

$$L = 0.106BV\sqrt{g} \left[ \sqrt{\left(\frac{1}{y_2 - p}\right)} - \sqrt{\left(\frac{1}{y_1 - p}\right)} \right] \quad (2.14)$$

burada;  $L$ : Yan savak uzunluğu (m),  $B$ : Ana kanal genişliği (m),  $V$ : Ana kanaldaki ortalama akım hızı (m/s),  $y_1$ : Yan savak membasında ana kanal eksenindeki su derinliği (m),  $y_2$ : Yan savak mansabında ana kanal eksenindeki su derinliği (m),  $p$ : Savak eşik su yüksekliği (m). Bu denklem deneysel çalışmalarla karşılaştırıldığında  $(y_2 - p)$  teriminin küçülmesi durumunda  $L$  yan savak uzunluğu sonsuza gittiğinden  $(y_2 - p)$  teriminin minimum 19 mm alınması önerilmiştir.

Engels (1920), araştırmacı yaptığı deneysel çalışmalarda yan savaklar üzerindeki su yüzü profillerini gözlemleyerek yan savaktan savaklanan debi için;

$$Q_w = C_d \sqrt{2gL}^{0.83} (y_2 - p)^{1.67} \quad (2.15)$$

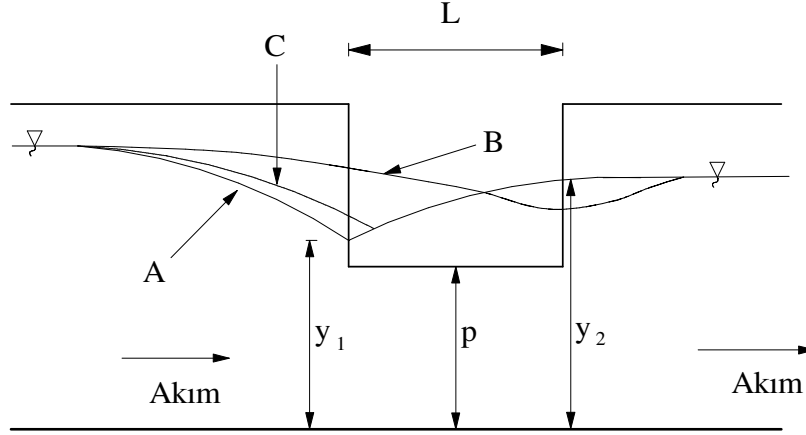
formülünü vermiştir. Deneysel dikdörtgen enkesitli kanallarda gerçekleştirilmiştir. Burada;  $Q_w$ : Yan savak debisini ( $m^3/s$ ) göstermektedir.

Araştırmacının vermiş olduğu (2.15) eşitliği, sabit genişlikli dikdörtgen kanallar için geçerlidir. Araştırmacı ayrıca yan savak uzunluğu boyunca kanal genişliğini tedricen azalan dikdörtgen enkesitli kanallar için ise;

$$Q_w = C_d \sqrt{2gL}^{0.90} (y_2 - p)^{1.60} \quad (2.16)$$

ifadesini vermiştir. Deneysel çalışmalarını nehir rejimli akım şartlarında yaptığından yukarıda verilen ifadeler nehir rejimli akım şartları için geçerlidir. Su yüzü profillerinin yan savak memba kesitinden kısa bir mesafe önce azalmaya başladığını ve yan savak girişinden itibaren ise arttığını gözlemlemiştir (Şekil 2.4, A Profili).

Coleman ve Smith (1923), sel rejimli akım şartlarında yapmış oldukları yan savaklarla ilgili çalışmalarda su yüzü profilinin yan savak boyunca mambadan mansaba doğru azaldığını ve mansap kısmında tekrar artarak normal akım derinliğine ulaştığını gözlemlemiştir (Şekil 2.4, B Profili). Deneyler dikdörtgen enkesitli kanallarda yapılmıştır.



**Şekil 2.4** Deneyel olarak gözlenen su yüzü profilleri  
(Engels (1920), Coleman ve Smith (1923), Tyler, Carollo ve Steyskal (1929))

Coleman ve Smith (1923), yan savak debisini veren bağıntıyı da;

$$Q_w = 2.58BL^{0.72}(y_1 - p)^{1.645} \quad (2.17)$$

şeklinde vermişlerdir. Buna ilaveten, yan savak uzunluğunu veren bağıntı da aşağıdaki gibi sunmuşlardır.

$$L = 1.16BV_1(y_1 - p)^{0.13} \left[ \sqrt{\left(\frac{1}{y_2 - p}\right)} - \sqrt{\left(\frac{1}{y_1 - p}\right)} \right] \quad (2.18)$$

burada;  $V_1$ : Yan savak mambasında ana kanal kesitindeki hız'dır.

(2.18) denkleminde  $(y_2 - p)$  teriminin 19 mm'den daha az alınmaması gerektiği belirtilmiştir. Çünkü denklemden görüleceği gibi  $(y_2 - p)$  terimi küçüldükçe  $L$  yan savak uzunluğu sonsuza gitmektedir. Burada  $(y_2 - p)$  nap yüküdür. Nap yükünün küçülmesi yüzeysel gerilmelerin etkili olmasına neden olmaktadır. Bu da sonuçların hatalı olması anlamına gelmektedir.

Nimmo (1928), problemi teorik bir yaklaşım geliştirerek incelemiş ve sabit dikdörtgen enkesitli bir kanalda momentum prensibini kullanarak su yüzü eğimini veren ifadeyi aşağıdaki şekilde elde etmiştir:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{(J - J_0) - \frac{Q}{gA^2} \frac{dQ_w}{dx}}{1 - Fr_1^2} \quad (2.19)$$

burada;  $J$ : Enerji çizgisi eğimi,  $J_0$ : Ana kanal taban eğimi,  $g$ : Yerçekimi ivmesi ( $m/s^2$ ),  $A$ : Dikdörtgen enkesitli ana kanaldaki ortalama ıslak alan ( $m^2$ ),  $dQ_w/dx$ : Savağın  $dx$  uzunluğundan savaklanan debi ( $m^3/s$ ),  $Fr$ : Froude sayısını göstermektedir.

Nimmo (1928)  $dQ/dx$  ifadesinin  $(y-p)$  savak yüküne bağlı olarak aşağıdaki ifade ile bulunabileceğini belirtmiştir.

$$\frac{dQ_w}{dx} = q_x = -C_d (y - p)^{3/2} \quad (2.20)$$

burada;  $C_d$ : Yan savak debi katsayısı'dır.

Nimmo (1928) ayrıca (2.21) ifadesinin kanalın yatay ( $J=J_0$ ) ve sürtünme yük kayıplarının ihmal edilebileceği kabulü ile;

$$\frac{dy}{dx} = \frac{Q}{gA^2} \frac{1}{(Fr^2 - 1)} \frac{dQ_w}{dx} \quad (2.21)$$

şeklinde basitleştirilebileceğini belirtmiştir.

Tyler ve diğ. (1929), dalgıç perdeli ve perdesiz yan savak tipleri üzerinde yaptıkları deneysel çalışmalar sonucu Engels'in elde ettiği su yüzü profiline benzer şekilde su yüzü profili gözlemlemişler fakat minimum derinliğin yan savak başlangıcından sonra meydana geldiğini deneysel çalışmalar sonucu bulmuşlardır. Engels (1920)'in çalışmalarında elde ettiği formüllerin de uygun olduğunu belirtmişlerdir (Şekil 2.4 C Profili). Tyler ve diğ. (1929), yaptıkları çalışmalarda dalgıç perdenin yan savak debisini artırıcı bir etki yaptığını ve dalgıç perdenin ana kanalla  $90^\circ$ 'lik açı yapacak şekilde yerleştirilmesi durumunda bu etkinin maksimum olacağını ifade etmişlerdir. Bu etkinin % 20-30 oranında olduğunu tespit etmişlerdir.

Forchheimer (1930), özgül enerjinin sabit olduğu kabulü ile yan savak memba ve mansap su derinlikleri arasındaki farkı veren bağıntıyı şu şekilde bulmuşlardır.

$$(y_2 - y_1) = \frac{Q^2 - Q_2^2}{2gA^2} - \left[ \frac{Q + Q_2}{2A} \right]^2 \frac{n^2}{R^{1.4}} L \quad (2.22)$$

burada;  $Q$ : Ana kanal debisi ( $m^3/s$ ),  $Q_2$ : Yan savaktan sonraki ana kanal debisi ( $m^3/s$ ),  $n$ : Manning pürüzlülük katsayısı,  $R$ : Hidrolik yarıçapı ifade etmektedir.

De Marchi (1934), yan savaklar için aşağıdaki kabulleri yaparak konuyu incelemiştir.

- Ana kanalda kararlı akım şartları mevcuttur.
- Yan savak kreti ana kanal tabanına paraleldir.
- Yan savak, üniform enkesitli uzun bir kanal üzerine yerleştirilmiştir.
- Yan savağın memba ve mansabındaki belirli mesafelerde kanaldaki akım üniformdur.
- Verilen herhangi bir yan savak uzunluğunda geçen debi, normal savak formüllerinde olduğu gibi, aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\frac{dQ_w}{dx} = C_d \sqrt{2g} (y - p)^{3/2} \text{ dir.} \quad (2.23)$$

burada;  $Q_w$ = yan savak debisi,  $C_d$ = debi katsayısı,  $g$ = yerçekim ivmesi,  $y$ = su yüksekliği,  $p$ = kret yüksekliği'dir. Enerji çizgisi kanal tabanına paraleldir.

Gentilini (1938), De Marchi'nin (1934) çalışmalarını izleyerek yaptığı deneysel çalışmalar sonucunda, De Marchi'nin (1934) çalışmalarının nehir rejimli akım şartlarında uygun olabileceğini, sel rejimli akımlarda ise teori ve deneysel çalışmalar arasında farklılıklar olduğunu göstermiştir.

Babbitt (1953), 0.46 m ve 0.61 m çapa sahip borular üzerine yerleştirilen 0.41 m ve 1.07 m uzunluklu yan savaklar ile deneysel çalışma yapmış ve tüm deneylerinde Coleman ve Smith (1923)'in elde etmiş olduğu su yüzü profillerine benzer profiller gözlemlemiştir.

Araştırmacı sel rejimli akım şartları için yan savak uzunluğunu veren ifadeyi;

$$L = 7.55V_1 D_s \log \left( \frac{y_1 - p}{y_2 - p} \right) \quad (2.24)$$

şeklinde vermiştir. Bu ifade de  $y_2$  değerinin yan savak eşik yüksekliğine yaklaşması durumunda yan savak uzunluğu sonsuza gideceğinden formülün kullanımının deney şartları ile sınırlı olduğu görülmektedir.

Frazer (1954), dikdörtgen enkesitli kanaldaki yan savaklarda yaptığı deneylerle konuyu teorik ve deneysel olarak incelemiş, çalışmalarında hem ana kanaldaki akım miktarını ve ana kanal genişliğini, hem de yan savak boyutları ve savaklanan akım miktarını değiştirmiştir. Araştırmacı teorik incelemeleri sonucunda büyük eğimli kanallarda üç farklı su yüzü hareketinin olabileceğini ifade etmiştir. Bunlar;

- Yan savak boyunca su derinliği azalan sel rejimli ana kanal akımı,
- Yan savak boyunca su derinliği artan nehir rejimli ana kanal akımı,
- Yan savak başlangıcında ana kanaldaki sel rejimli akım, yan savak kesitinde hidrolik sıçrama meydana geldikten sonra nehir rejimli akım şeklindedir.

Bu hareketlerin De Marchi (1934) tarafından belirtilen akım durumlarıyla aynı olduğu görülmektedir. Analizlerinde aşağıdaki kabulleri yaptığını belirtmiştir.

- Herhangi bir noktadaki basınç yükü o noktadaki su derinliğine eşittir.
- Ana kanalın herhangi bir kesitindeki hız üniformdur.
- Birbirine çok yakın iki kesit arasında sürtünme kayıpları ihmal edilebilir( Bundan da akım şartlarının ana kanaldaki Reynolds sayısından bağımsız olduğu kabulü yapıldığı anlaşılabilir).
- Savak üzerindeki  $Q_w$  debisinin ana kanal doğrultusuna paralel hız bileşeni ana kanalın akımdoğrultusundaki  $V_l$  hızına eşittir.
- Savaklanan debi  $Q_w$  debisine yalnızca atmosfer basıncının etkisi vardır.
- Kanal tabanına yakın derinliklerde akım çizgisi yatay kabul edilebilecek kadar küçük eğriliklere sahiptir.

Araştırmacı yukarıdaki kabulleri yapmış ve momentum yaklaşımını kullanarak olayı teorik olarak çözememiş fakat yaptığı deneysel çalışma sonuçlarına dayanarak yarı ampirik ifadeler elde etmiştir. Araştırmacı yaptığı deneysel çalışmalarda çeşitli denemelerden sonra ve yaptığı kabullerle Simpson metodunu kullanarak ortalama akım derinliğini veren ifadeyi aşağıdaki şekilde elde etmiştir.

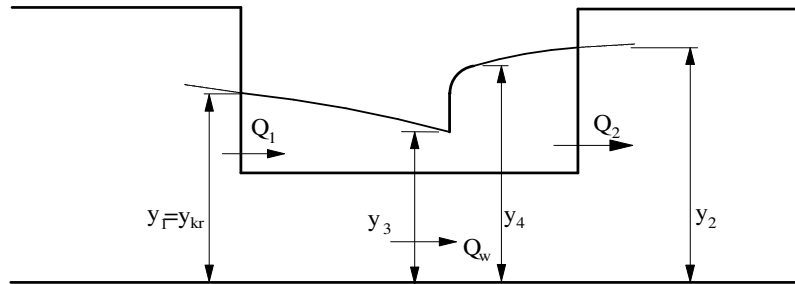
$$y_f = \frac{y_b + 4y + y_1}{6} \quad (2.25)$$

burada;  $y_b$ : Dış kıyıdaki ana kanal su derinliği (m),  $y$ : Ana kanal eksenindeki su derinliği (m),  $y_1$ : Yan savak bölgesindeki su derinliği (m).

Ayrıca araştırmacı yan savak üzerindeki hidrolik sıçramayı inceleyen ilk araştırmacıdır. Yan savak üzerinde meydana gelen hidrolik sıçramanın, sıçramadan önceki akım şartlarını değiştirmedeği ama sıçramadan sonraki kesitlerde sıçramadan ötürü bir etkinin görüldüğünü belirtmiştir. Ayrıca sıçramadan sonraki nehir rejimli akım, sıçramadan önceki sel rejimli akımın özgül enerjisinden daha küçük bir özgül enerjiye sahiptir. Bu özgül enerji değerinin bulunabilmesi için sel rejiminden nehir rejimine geçişte meydana gelen su yüzü artışının alınabileceğini belirtmiştir. Sel rejiminden nehir rejimine geçiş uzunluğunun sıçrama yüksekliğinin beş katı olduğu bilinmesine rağmen savakta olayın daha kısa bir uzunlukta meydana geldiği kabul edilmiştir. Froude sayısının 1-2 değerleri arasında meydana gelen sıçrama, dalgalı yüzeysel sıçrama şeklinde olup momentum denkleminde elde edilen ortalama akım derinliği ifadesi aşağıdaki şekilde verilmiştir (Şekil 2.5).

$$y_{4,r} = \frac{y_{3,r}}{2} \left[ \sqrt{\frac{8q^2}{y_{3,r}^3} + 1} - 1 \right] \quad (2.26)$$

burada;  $y_{4,r}$ :  $y_4/y_{kr}$ ,  $y_{3,r}$ :  $y_3/y_{kr}$ ,  $q$ :  $Q_1/Q$ ,  $y_4$ : Sıçramadan sonraki ana kanal su derinliği (m),  $y_3$ : Sıçramadan önceki ana kanal su derinliği (m).



Şekil 2.5 Yan savak boyunca meydana gelen sıçrama hali (Frazer, 1954)

Sıçramadan sonraki durumda debi ile su derinliği arasında ilişkiyi veren bağıntı;

$$q_2 = y_{2,r} \sqrt{\Psi - 2y_{2,r}} \quad (2.27)$$

$$\text{şeklindedir. Burada; } y_{2,r} = y_2 / y_{kr} \quad \Psi = 2y_{4,r} + (q_3 / y_{3,r})^2 \quad (2.28)$$

olarak verilmektedir

Schmidt (1955), dikdörtgen enkesitli kanallarda nehir rejimine sahip akım şartlarında deneysel çalışmalar yaparak normal savak denklemine benzeyen aşağıdaki ifadeyi vermiştir.

$$Q_w = C_d L \sqrt{2g} \left( \frac{(y_1 - p) + (y_2 - p)}{2} \right)^{3/2} \quad (2.29)$$

burada;  $Q_w$  yan savaktan savaklanan debi'dir. Ayrıca yan savak debi katsayısının;

$$C_d: (0.70-0.75) C_{nor}$$

ifadesinden hesaplandığında oldukça iyi sonuçlar verdiğini ileri sürmüştür.

Burada;  $C_{nor}$ : Akıma dik olarak kanala yerleştirilen aynı savak için savak debi katsayısıdır.

Deneysel nehir rejimli akım şartlarında yapıldığından  $y_2$  değeri mansap şartlarından bilindiği için hesaplar membaya doğru yapılır. Yan savak memba ve mansap kesitleri arasında ana kanal için yazılacak enerji denklemi;

$$y_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = y_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + y_L \quad (2.30)$$

şeklindedir. Bu denklemden  $y_1$  değeri hesaplanabilir. Burada;  $\alpha_1$ : Yan savak membasındaki hız katsayısı ( $\alpha_1=1.1$ ),  $\alpha_2$ : Yan savak mansabındaki hız katsayısı ( $\alpha_2= 1.1$ ),  $y_L$ : Yan savak boyunca oluşacak yük kaybını (m) göstermektedir.

$y_L$  değerinin hesaplanmasında  $V = [(V_1 + V_2) / 2]$  ortalama hız değeri kullanılarak;

$$y_L = \frac{\left( \frac{V_1 + V_2}{2} \right)^2}{2g} \quad (2.31)$$

ifadesinden hesaplanabilir. Sonuç olarak (2.31) denklemi;

$$\xi \frac{y_2 - y_1}{\alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} - \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} - y_L} = \xi \left[ \frac{(y-p)_{ort}}{(y-p)_{ort} + p} \right] \quad (2.32)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Hesaplarda  $(h_2-p)$  değeri mansap şartlarından bilindiğinden  $\xi$  değeri grafik ve hesap yöntemi ile ayrı ayrı bulunarak eşitliği sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. Kontrolde yeterli hassasiyet sağlanamazsa, istenilen hassasiyet sağlanana kadar işleme devam edilir. Schmidt (1955) tarafından bu yöntemin  $V_i/V_{kr} < 0.75$  değerleri için uygun sonuçlar verdiği belirtilerek bunun dışındaki değerler için deneysel çalışmalar yapılarak incelenmesi gerektiği ifade edilmiştir.

Collinge (1957)  $Fr=0.95$  civarında ve  $Fr=1.15$  değerinden daha büyük değerlerde deneysel sonuçların De Marchi'nin (1934) teoremine çok iyi uyum sağladığını söylemiş fakat  $Fr=1.0$  civarında teori ile deneysel çalışmalar arasında büyük farklılıkların olduğunu belirtmiş, teori ile deneysel sonuçlar arasındaki bu farklılığı enerji kayıplarına ve savak katsayısına bağlamıştır.

Hem sel rejimli hem de nehir rejimli akımlarda enerji kayıplarından dolayı deneysel sonuçlardan elde edilen su yüzü profilleri teorik ifadelerden elde edilenlerden daha büyüktür. Bunun sonucu deneysel olarak bulunan yan savak debisi teoriye göre daha fazladır.

Çalışmada  $C_d$  yan savak debi katsayısının yaklaşık değeri kullanılarak teorik debi hesaplanmıştır. Kanaldaki akım hızı artarken  $C_d$  debi katsayısı azaldığından yan savaktan savaklanan debi teorik debiden daha küçüktür. Collinge (1957) de Gentilini (1938) gibi De Marchi (1934) teoreminin yalnızca nehir rejimli akım şartlarında iyi sonuçlar verdiğini ifade etmiştir.

Allen (1957), dairesel enkesitli kanallarda yan savaklar üzerinde yaptığı deneysel çalışmalarında iç çapı 0.15 m, uzunluğu 2.14 m olan boru kullanmıştır. Şekil 2.6'da da gösterildiği gibi çapı  $D_s$  olan dairesel kesitli bir kanalda kanal eksenini üzerindeki herhangi bir noktanın yan savağın memba ucuna olan uzaklığı  $x$  ve yan savak su yükü  $(y-p)$  ile verilirse,  $(h-p)$  savak yükü  $x$  uzaklığının bir fonksiyonu olarak değişim gösterir.

$$(y-p) = f(x)$$

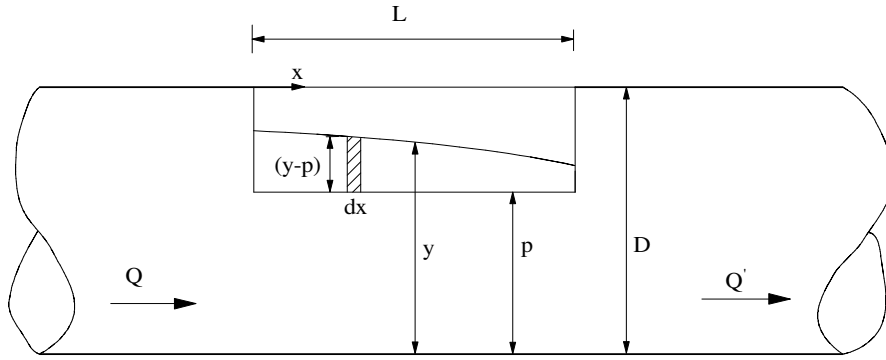
Savak yükünün sabit olduğu kabulü ile savağın birim uzunluğundan ( $dx$ ) savaklanan debi;

$$dQ_w = C_d (y - p)^{n'} dx \quad (2.33)$$

olarak verilmiştir. Allen (1957) yapmış olduğu deneysel çalışmalar sonucunda  $n' = 2/3$  olarak elde etmiştir. Buna göre savağın birim uzunluğundan geçen debi;

$$dQ_w = C_d (y - p)^{2/3} dx \quad (2.34)$$

olarak bulunur.



Şekil 2.6 Daire enkesitli kanallardaki yan savak genel görünüşü (Allen, 1957)

Ayrıca Allen (1957) tarafından su yüzü profilini veren ampirik ifade, savağın başlangıç kısmında deneysel olarak elde edilen su yüzü profili ile iyi bir uyum sağlamamasına karşın belirli bir mesafeden başlayarak savak mansabına kadar iyi bir uyum göstermiştir.

Ackers (1957), sel rejimli akım halinde dikdörtgen enkesitli kanalda özgül enerjinin sabit olduğunu kabul ederek su yüzü profilini veren denklemi incelemiştir. Özgül enerji denklemindeki hız yükü  $\alpha$ , basınç yükü  $\beta$ , katsayıları ile çarpılmalıdır.

Pratikte kanal tabanına yakın noktalarda akım hızı daha üst noktalardaki hıza göre daha küçük olduğundan hız yükü  $\alpha > 1$  olmak koşuluyla, basınç enerjisi de sel rejimli akım durumunda su derinliği savak mansabına doğru düştüğü için azalma göstereceğinden  $\beta < 1$  olmak koşuluyla  $\beta$  katsayısı ile çarpılmalıdır.

Araştırmacı  $\alpha$  ve  $\beta$  katsayılarını deneysel olarak belirlemiş ve  $1.15 < \alpha < 1.40$  için  $\beta = 0.80$  değerini vermiştir.  $\alpha$  ve  $\beta$  katsayılarının belirlenmesinde kullanılan özgül enerji denkleminin aşağıdaki gibidir.

$$\beta \frac{y}{E} + \alpha \frac{V^2}{2gE} = 1 \quad (2.35)$$

Araştırmacıya göre diferansiyel denklemden bulunan savak uzunluğu normalden büyük çıktığından mansap savak yükü minimum 20 mm olmalı ve buna göre savak uzunluğu hesaplanmalıdır.

Collinge (1957), De Marchi (1934) ve Gentilini (1938)'nin çalışmalarını baz alarak yaptığı deneysel çalışmalarda aşağıda belirtilen maddeleri açıklamıştır.

- Değişik akım şartlarında yan savak boyunca elde edilen su yüzü profillerini gözlemek
- De Marchi'nin teorisinin yan savaklara uygunluğunu kontrol etmek ve uygulama sınırlarını belirlemek.
- Ana kanaldaki hız değişimleri ile savak katsayısının değişimini bulmak.
- Yan savak bölgesinde tabandaki katı madde hareketini tespit etmek

Collinge (1957)'nin su yüzü profilleri hakkında gözlemleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Küçük debilerde su seviyesi savak başlangıcına kadar kanal tabanına paraleldir. Daha sonra yan savak uzunluğu boyunca tedricen azalır.
- Akımın debisi arttıkça su seviyesi savak başlangıcına kadar azalır. Bu durum Froude sayısının savak başlangıcında 0.98 değerine kadar elde edilmiştir.
- Akımın debisi biraz daha artırılırsa, savak başlangıcında Froude sayısının 1.01 değerinde ve savak başlangıcından savağın ortasına kadar azalan bir su yüzü profili gözlenir ve bu noktadan sonra tekrar artar.
- Debi daha da artırılırsa su seviyesi savak membasından savak mansabına doğru azalmaya devam ederken sıçrama noktası savak boyunca hareket eder.

Collinge (1957), De Marchi'nin (1934) teoreminde vermiş olduğu savaklanan debi ifadesindeki

$$Q_w = C_d \sqrt{2gL} (y - p)^{3/2} \quad (2.36)$$

$C_d$  ve  $n'$  katsayılarını bulmak için yan savak üzerinden savaklanan akımla ilgili deneyler yapılmıştır. Bu deneylerle napın serbest ve batık olması durumlarını ayrı ayrı inceleyerek uzunluğu 30.48 cm ve yüksekliği 5.08 cm olan yan savak için farklı ana kanal genişliği kullanarak  $C_d$  ve  $n'$  katsayılarını belirlemiş ve Tablo 2.1' deki sonuçları vermiştir. Collinge (1957) ayrıca  $C_d$  yan savak katsayısının ana kanal akım hızıyla da değişebileceğini belirtmiştir.

**Tablo 2.1** Savak katsayıları (Collinge, 1957)

| Kanal Genişliği<br>(m) | Batık Nap |       | Serbest Nap |      |
|------------------------|-----------|-------|-------------|------|
|                        | $C_d$     | $n'$  | $C_d$       | $n'$ |
| 0.305                  | -----     | ----- | 0.35        | 1.42 |
| 0.102                  | 1.33      | 1.80  | 0.37        | 1.46 |

Subramanya ve Awasthy (1972), yan savaklarla ilgili yapılmış olan araştırmaların (1972'ye kadar) çoğunun ampirik formda olduğunu ve konu ile ilgili ilk gerçekçi yaklaşımın De Marchi tarafından ortaya atıldığını, fakat teorik olarak elde edilen denklemdeki katsayı değişimi hakkında ise yeterli olmadığını ifade etmişlerdir.

Bu nedenle; yazarlar yaptıkları çalışmalarında, debi katsayısının değişimini belirleme üzerine yoğunlaşmışlardır. Çalışmalarını, nehir rejimli akım şartlarında hem sıfır savak eşik yüksekliği hem de sonlu savak eşik yüksekliği için, sel rejimli akım şartlarında ise sonlu yükseklikli savaklar için yapmışlardır.

Araştırmacılar, yan savağın birim boyundan geçen debiyi ( $q_w$ );

$$q_w = -\frac{dQ_w}{dx} = C_d \sqrt{2g} (y - p)^{3/2} \quad (2.37)$$

şeklinde belirlemişlerdir. Buna göre debi katsayısının,  $C_d$  değişimini incelemişler ve boyut analizi sonucunda  $C_d$ 'ye etkili boyutsuz parametreleri;

$$C_d = f \left\{ Fr = \frac{V_1}{\sqrt{gy_1}}, \frac{L}{B}, \frac{y}{L}, \frac{p}{y} \right\} \quad (2.38)$$

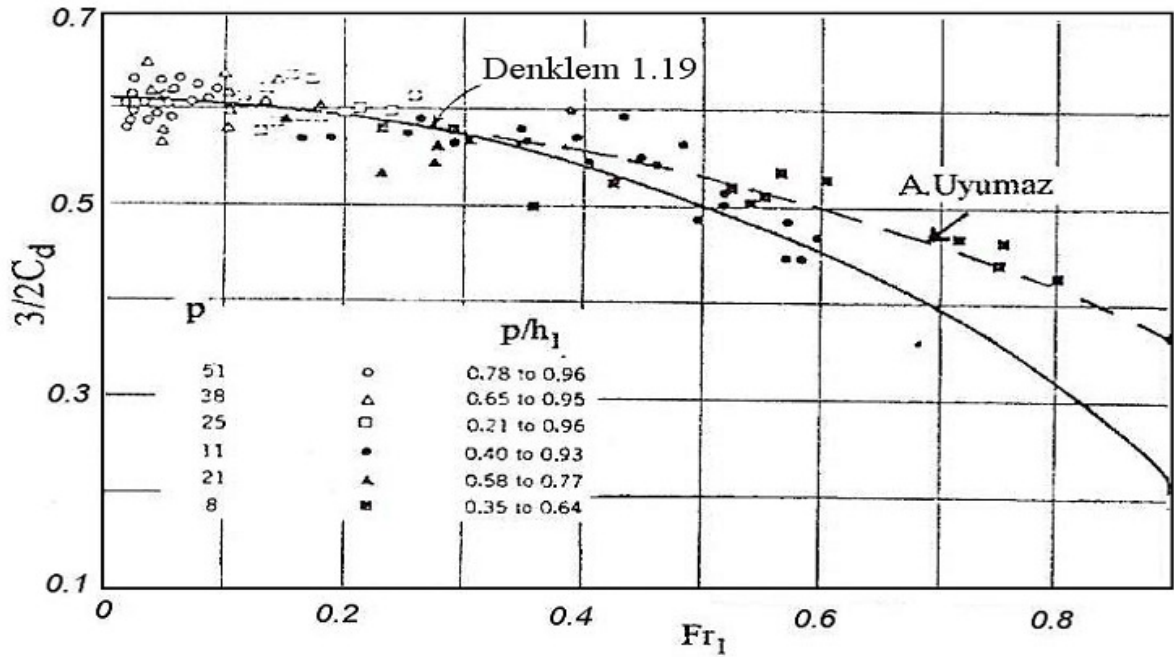
olarak ifade etmişlerdir. Araştırmacılarca kanaldaki değişik akım şartları için  $C_d$  değerinin değişimi ile ilgili yeterlibir bilgi mevcut değildir. Yazarların ifadesine göre, Ackers (1957)  $y$ 'nin savaktan uzakta ölçülmesi durumunda  $C_d = 0.417$  değerini,  $y$ 'nin savak kesitine yakın

ölçülmesi durumunda ise  $C_d = 0.483$  değerinin alınmasını önermişlerdir. Yine araştırmacılara göre Collinge (1957)  $C_d$  değerinin kanal membasındaki akımın ortalama hızı ile değiştiğini ifade etmiştir.

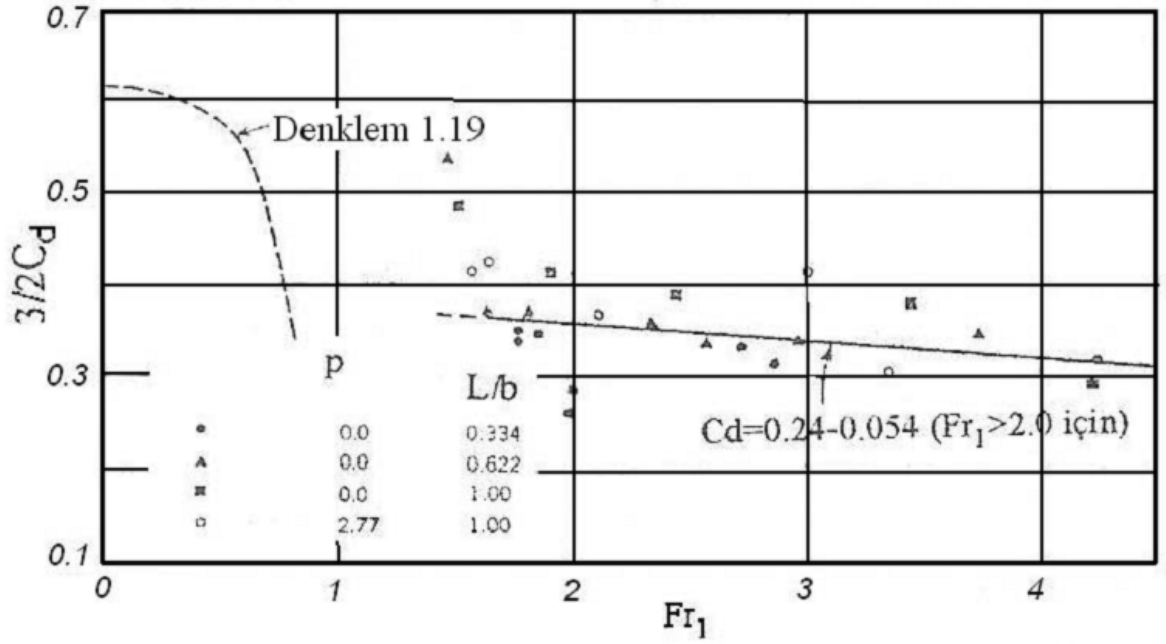
Ayrıca  $C_d$ 'ye etkili en önemli parametrenin ana kanaldaki Froude sayısı ( $Fr$ ) olduğunu belirtmişler, diğer parametrelerin etkisinin az olduğunu öne sürerek nehir rejimli akım şartları için yan savak debi katsayısı ifadesini;

$$C_d = 0.407 \left[ 1 - \sqrt{\left( \frac{3Fr^2}{Fr^2 + 2} \right)} \right] \quad (2.39)$$

şeklinde sunmuşlardır. Bu ifadenin nehir rejimine sahip kanal şartlarında sıfır eşik yükseklikli savaklar için deneysel olarak bulunan  $C_d$  değerleri ile iyi bir uyum sağladığı görülmüştür. Sonlu yükseklikli yan savaklar için ise  $Fr < 0.6$  değerlerinde küçük sapmalar görülmektedir. Bu sapmalar araştırmacılar tarafından deneysel hatalara bağlanmıştır. (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Nehir rejimli akım şartlarında  $C_d$  yan savak debi katsayısının  $Fr_1$  ile değişimi (Subramanya ve Awasthy, 1972)



Şekil 2.8 Sel rejimli akım şartlarında  $C_d$  yan savak debi katsayısının  $Fr_1$  ile değişimi  
(Subramanya ve Awasthy, 1972)

Sel rejimindeki akım şartlarında ise  $p/h_1$ ,  $h_1/L$ ,  $L/b$  boyutsuz parametrelerinin etkilerinin olmadığı ve nehir rejiminde debi katsayısına etkiyen  $Fr$  sayısının etkisinin de çok az olduğu araştırmacılar tarafından belirtilmiştir. Buna ilaveten sel rejiminde  $Fr$  sayısının etkisinin az olmasının muhtemelen sürtünme tesirlerinden kaynaklandığını ifade etmişlerdir.

Yazarlar  $Fr > 2.0$  için  $C_d$  katsayısının değişimini ise;

$$C_d = 0.24 - 0.054.Fr_1 \quad (2.40)$$

eşitliği ile vermişlerdir (Şekil 2.8). Araştırmacılar, gerek nehir rejimli akım şartları için verilen (2.38) bağıntısının gerekse sel rejimli akım şartları için verilen (2.40) bağıntısının yan savaklar üzerinden geçen debinin hesaplanması için kullanılabileceğini ve bu ifadelerin hem sıfır hem de sonlu savak yüksekliğine sahip yan savaklar için geçerli olduğunu vurgulamışlardır.

Smith (1974), deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen yaklaşık çözüm yollarının belli bir sayıda değişkeni içermesinden dolayı uygulamaların yetersiz olduğunu söylemiştir. Sabit dikdörtgen enkesitli kanallarda, kanal tabanının yatay ve sürtünme kayıplarının ihmal edildiği durumlarda De Marchi teoreminin çözümünün geçerli olduğunu fakat zor bir kullanıma sahip olduğunu ifade etmiştir. Yüksek hıza sahip bilgisayarlarla çeşitli enkesite

sahip kanallar ve oldukça fazla değişim gösterebilen yan savak eşik yüksekliği ve kanal tabanı için çözümün yapılabileceğini belirtmiştir. Ayrıca aşağıdaki kabulleri yapmıştır;

- Yan savak uzunluğu boyunca toplam enerji sabittir.
- Yan savak üzerindeki yük ( $y-p$ ), enine değişimler ihmal edilirse, teğetsel hız yükü;

$$\alpha \left( \frac{V^2}{2g} \right), \text{ dir.}$$

- Yan savak üzerindeki akım savak normali ile açı yapmasına rağmen hesaplamalarda yan savak debi ifadesi kullanılabilir.

$$q = C_d \sqrt{2g} (y-p)^{3/2} \quad (2.41)$$

- Kanaldaki basınç dağılımı su yüzü değişimine ve su yüzeyinde meydana gelen dalgalanmalara rağmen hidrostatiktir.

Araştırmacı yukarıdaki kabulleri yaparak özgül enerji denkleminde hareketle su yüzü profilini veren ifadeyi;

$$\frac{dy}{dx} = \frac{J_0 - J - \alpha \frac{Q}{gA^2} \frac{dQ}{dx} + \frac{Q^2 y}{gA^2} \frac{db}{dx}}{1 - \alpha \frac{Q^2 B}{gA^3}} \quad (2.42)$$

olarak elde etmiştir.

Smith (1974), yapılan kabullerden ötürü yan savak su yüzü profilini veren bağıntının kullanılmasıyla yapılan çözümlerin hatalı sonuçlar verdiğini belirterek, yeni formüller geliştirilmesi gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca bu formüllerin enerji kayıplarını da kapsayacak şekilde düzenlenebileceğini ve bununla ilgili bilgisayar programları yapılarak çözümlenmesi durumunda oldukça iyi sonuçlar verebileceğini ileri sürmüştür.

Akan (1974), Smith (1974) tarafından yapılan deneysel çalışmalarda enerji yüksekliğinin sabit olarak alınmasının doğru olmadığını belirtmiş ve ayrıca akım savağa belli bir açı yaparak girdiğinden klasik yan savak ifadesinin kullanımının hatalı olduğunu belirtmiştir.

El-Khashab(1975), dikdörtgen enkesitli bir kanalda yan savaklarla ilgili yapmış olduğu deneysel çalışmalarda  $C_d$  yan savak debi katsayısını, savak üzerindeki su yüzü profilini, savak kesitinde ana kanaldaki su yüzü profilini, hız dağılımlarını ve yanal akımdan ötürü ana kanalda oluşan sekonder akımı incelemiştir.  $C_d$  yan savak debi katsayısına etkili parametreleri boyut analizi yardımıyla;

$$C_d = f(Fr, p/y_1, L/y_1, b/y_1) \quad (2.43)$$

şeklinde vermiştir. Ayrıca akımın yan savak sapma açısı  $\psi'$ ye etki eden boyutsuz parametreleri de ;

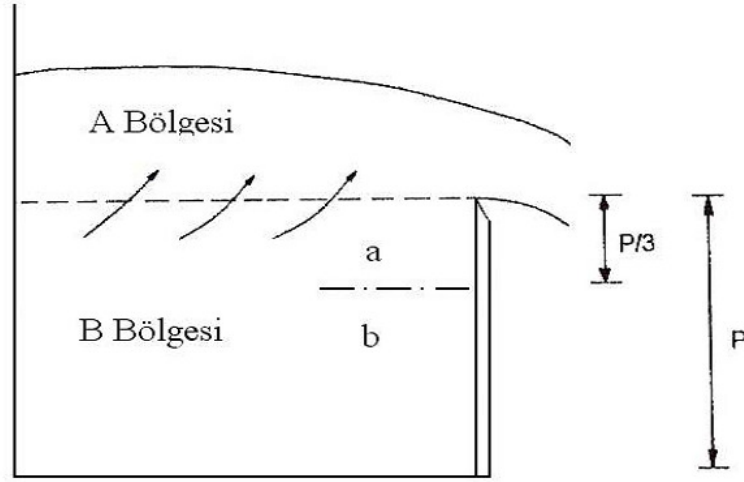
$$\psi = f\{Fr, p/y_1, L/h_1, b/y_1\} \quad (2.44)$$

olarak belirtmiştir. Yukarıdan da görüleceği gibi  $C_d$  ve  $\psi$  aynı boyutsuz parametrelerin fonksiyonudur ve birbirleriyle doğrudan ilişkilidir.

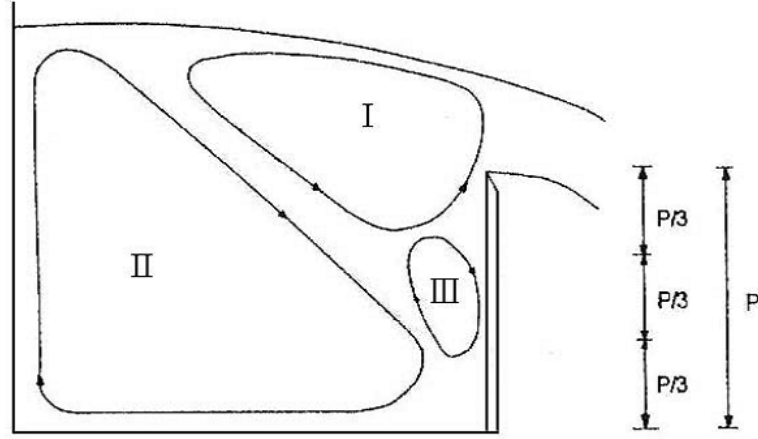
Araştırmacı, yan savak boyunca akımın hareketini ve sekonder akımın yapısını aşağıdaki gibi özetlemiştir. Yan savak eşiği üzerinde A bölgesindeki su kütlesi doğrudan yan savağa hareket ederek savaklanır (Şekil 2.9). Yan savak eşiği altındaki B bölgesindeki akım iki farklı davranış gösterir.

**a)** Savak eşiği yakınlarındaki su kütlesi (Savak eşik yüksekliğinin yaklaşık 1/3 lük kısmı) A bölgesindeki su kütlesine katılır ve savağa yönelir. Bu, sekonder akım planındaki her su zerreciğinin hızının düşey bileşeninden kaynaklanmaktadır.

**b)** Savak eşiği altındaki 2/3 p'lik kısımdaki su kütlesi doğrudan kanal tabanına yönelir. Yan savağın ikinci yarısı boyunca sekonder akımın etkisi daha belirgin hale gelir. Bundan sonra sekonder akımda bozulmalar olur. İç kıyıda düşük hız alan (durgunluk bölgesi) hızla gelişir. Bu bölgede iç kıyıya yakın çok şiddetli sekonder akımın mevcut olduğu tespit edilmiştir. Kanal taban yakınlarında düşük enerjili akışkan savak tarafından iç kıyıya süpürülür ve iç kıyıda yükselerek, akımın üst bölgelerinde iç kıyıda düşük enerjili bir durgunluk bölgesi oluşur (II bölgesi). Yüksek hızlı akım çizgileri durgunluk bölgesinin daha da üzerinden geçerek savaklanır (Şekil 2.10). Bunun sonucunda, yüksek hızlı akım yeni bir bölge oluşturarak bunu yan savağa doğru iter (I bölgesi). Yan savak boyunca bu alanın değişimi hızlıdır fakat bu değişim savak sonuna doğru kararlı hale gelir. Bu yeni bölgenin (I bölgesi) büyüklüğü yan savak mansabına doğru gidildikçe küçülerek, savağa yakın bölgeler hariç tüm enkesitte küçük hızlar elde edilir. Ana kanal boyunca enkesitteki durgunluk bölgesi devam ederken, I bölgesindeki su kütlesi yan savağa yönelir. I ve II bölgeleri arasında, büyük hız azalması sebebiyle, süresizlik meydana gelir (III bölgesi). Bu bölgede de sınıra yakın çok şiddetli sekonder akım görülür.



Şekil 2.9 Yanal akım sebebiyle kanal enkesitindeki akımın hareketi (El-Khashab, 1975)

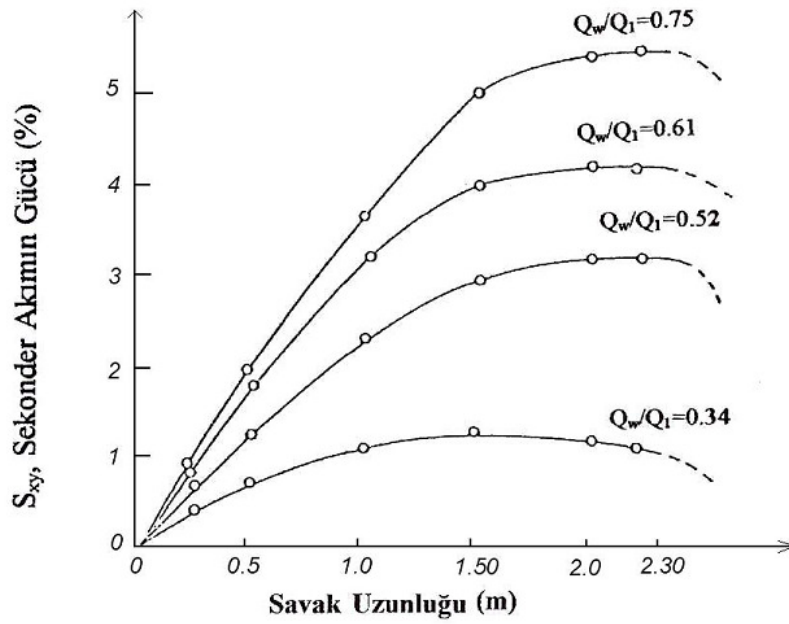


Şekil 2.10 Yanal akım sebebiyle kanal enkesitinde oluşan sekonder akım (El-Khashab, 1975)

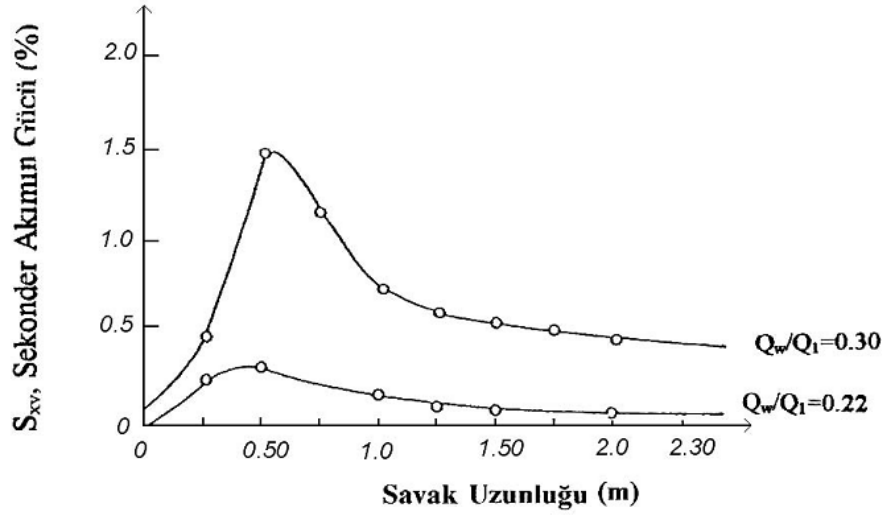
Araştırmacının en önemli tespitlerinden biri de daha önceki çalışmalarda belirtilmeyen yanal akımdan dolayı ana kanalda meydana gelen sekonder akımdır. Sekonder akımın tayini için Shukry'nin (1950) yaklaşımı kullanılarak elde edilen sekonder akımın gücünün yan savak boyunca değişimi Şekil 2.11 ve Şekil 2.12'de nehir ve sel rejimli akım şartları için ayrı ayrı verilmiştir. Şekillerde verilen sekonder akımın gücü, kanal enkesiti 20 cm<sup>2</sup>'lik alanlara bölünmüş ve her bir alanın kinetik enerjisi  $(V_x^2/2g + V_y^2/2g)$  beş delikli pitot tüpü ile akımın toplam enerjisi  $(V^2/2g)$  ise klasik pitot tüpü ile hesaplanmış ve aşağıdaki eşitlik ile verilmiştir.

$$S_{xy} = \left\{ \sum V_x^2 / 2g + \sum V_y^2 / 2g \right\} / \sum \left\{ V^2 / 2g \right\} \quad (2.45)$$

Şekil 2.11'den de görüleceği gibi, nehir rejimli akım durumunda sekonder akımın gücü yan savak boyunca artarak gitmekte ve yan savaktan b kanal genişliği kadar mesafe sonra azalmaktadır. Yan savak yüksekliği ve yan savak uzunluğu sabit tutulursa  $Q_w/Q_1$  oranı (savaklama oranı) arttıkça yani yan savak üzerindeki nap kalınlığı arttıkça sekonder akımın gücü artar. Sel rejimli akımlarda ise sekonder akımın gücü hızlı bir şekilde artarak maksimuma ulaşmakta ve sonra hızla azalmaktadır.



Şekil 2.11 Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda nehir rejimli akım durumunda yan savak boyunca sekonder akımın gücünün değişimi (El-Khashab, 1975)



Şekil 2.12 Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda sel rejimli akım durumunda yan savak boyunca sekonder akımın gücünün değişimi (El-Khashab, 1975)

Yen (1977), bir kanal üzerinde yan savak varsa hız vektörü, basınç ve su yüzü profilinin enine doğrultudaki değişimlerinin de bilinmesi gerektiğini söylemiştir. El-Khashab ve Smith (1978) tarafından verilen momentum denkleminin enerji denkleminde daha iyi olduğu fikrine katılmadığını belirterek denklemlerin doğru kullanılmaları halinde her ikisinin de iyi sonuç verebileceğini ifade etmiştir.

Balmforth ve Sarginson (1977), yaptıkları deneysel çalışmalarda elde ettikleri  $\alpha$  ve  $\beta$  katsayılarını kullanarak (2.46) ve (2.47) denklemlerini çözmüşler ve bunun El-Khashab ve Smith'in yapmış oldukları çözümlerden daha iyi sonuçlar verdiğini ifade etmişler.

El-Khashab ve Smith (1976), yaptıkları kabullerden hareket ederek dikdörtgen enkesitli kanallarda yan savak üzerindeki su yüzü profilini veren genel bir bağıntı elde etmişlerdir.

$$\frac{dy}{dx} = \frac{J_0 - J_f - \alpha \frac{Q}{gA^2} \frac{dQ}{dx}}{1 - \alpha \frac{Q^2 b}{gA^3}} \quad (2.46)$$

Bu ifade de  $dQ/dx$  savak boyunca azalan bir terim olduğundan eksi (-) işaretli olarak alınmıştır. Aynı zamanda bu ifade daha önceden Smith (1974) tarafından verilen (2.46) denklemine benzer. Yalnız fazla terim olarak kanal genişliğinin savak boyunca değişimini gösteren;

$$\frac{Q^2 y}{gA^3} \frac{db}{dx}$$

ifadesi kanal genişliği sabit olduğundan sıfır olarak alınmıştır.

Ayrıca yan savak için momentumun korunumu prensibinden hareketle su yüzü profilini veren denklemi aşağıdaki şekilde elde etmiştir.

$$\frac{dy}{dx} = \frac{J_0 - J - \frac{1}{gA} (2\beta v - u) \frac{dQ}{dx}}{1 - \beta \frac{Q^2 b}{gA^3}} \quad (2.47)$$

$u=v$  ve  $\alpha=\beta=1$  kabul edildiğinde (2.46) ,(2-47)denklemlerinin aynı ifade olduğu görülür.

Burada; $u$ : Yan savak üzerinde akım hızının ana kanal eksenine paralel bileşenidir.Buradaki  $u$  ve  $v$  arasındaki ilişki deneysel çalışmalar sonucunda belirlenmiştir. Ayrıca sürtünme kayıplarının değerleri tahmini olarak çizilen enerji çizgisi ile deneysel verilerden elde edilen enerji çizgisi karşılaştırıldığında iyi bir uyum gösterdiği gözlemlenmiştir.

El-Khashab ve Smith (1978), dikdörtgen enkesitli kanallardaki yan savak olayının incelenmesinde kanaldaki boyuna hız bileşeninin savak üzerindeki akımdan ötürü değişmemesi nedeni ile momentum denkleminin enerji denklemine göre daha kolay sonuçlar verdiğini söylemişlerdir. Yan savak uzunluğunun çok kısa olmaması ve  $Q_w/Q = 0.75$  değerinde, herhangi bir savak uzunluğu için uygulanabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca savak yüksekliğinin sıfıra yaklaşması halinde çözümün geçerli olacağını, fakat  $Q_w/Q = 1$  değerinde ise çözümün geçersiz olacağını ifade etmişlerdir.Yapmış oldukları çözümün dikdörtgen enkesitli kanaldan başka kesitlerde uygulanması gerektiğinde deneysel çalışma yapılarak araştırılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Ranga Raju ve diğ. (1979), dikdörtgen enkesitli kanallardaki yan savağın ana kanala dik bir bransa yerleştirilmesi durumunda keskin ve kalın kenarlı yan savaklarda nehir rejimli akım halinde deneysel çalışmalar yaparak yan savak boyunca özgül enerjinin sabit kaldığı kabulüyle yan savak debi katsayılarını belirlemişlerdir (Şekil 2.13).

$Q$ ,  $Q_w$ ,  $h_1$ ,  $h_2$  ve  $p$  değerlerini ölçerek, De Marchi (1934) tarafından verilen (2.12) ve (2.13) ifadelerini kullanarak keskin kenarlı yan savağın bir bransa yerleştirilmesi durumundaki yan savak debi katsayısı için;

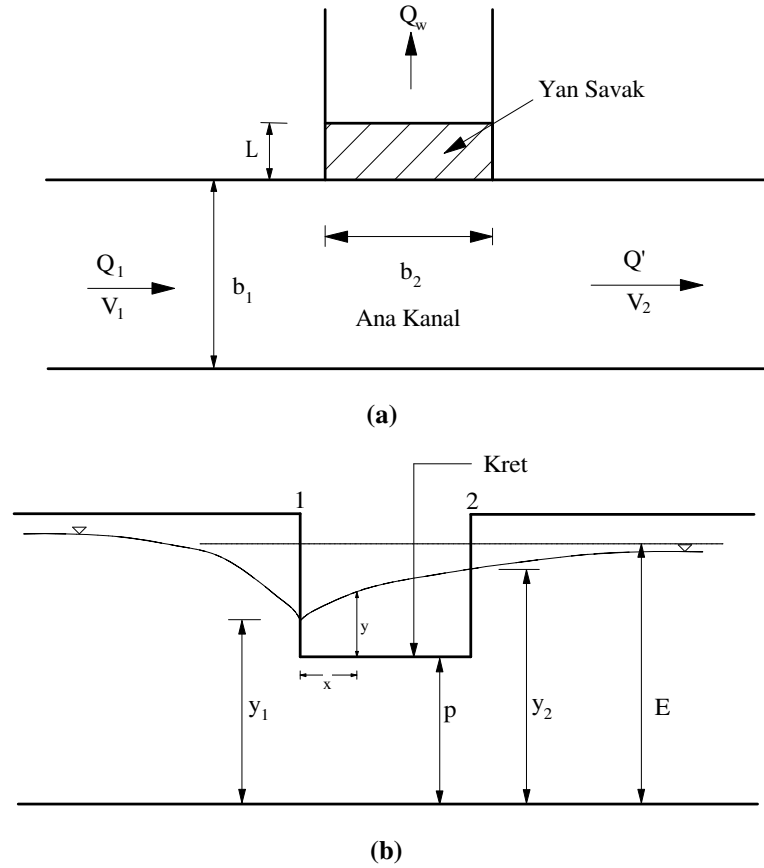
$$C_d = 0.54 - 0.40Fr \quad (2.48)$$

bağıntısını vermişlerdir.

Ranga Raju ve diğ. (1979),  $C_d$  yan savak debi katsayısının keskin kenarlı savaklarda sadece Froude sayısına, kalın kenarlı savaklarda ise Froude sayısının yanısıra  $(h_1-p)/L_s$  değerine de bağlı olduğunu ifade etmişlerdir.

Ranga Raju ve diğ. (1979)'e göre bu ifadeden elde edilen  $C_d$  değeri Subramanya ve Awasthy (1972) tarafından verilmiş olan (2.12) bağıntısındaki değerden daha büyük çıkmaktadır. Bu farkın yan savağın bağlandığı branş duvarlarının etkisinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Kalın kenarlı yan savağın branşa yerleştirilmesi halinde ise (2.36) bağıntısının K katsayısı ile çarpılarak kullanılabilceğini ifade etmişlerdir.

$$C_d = (0.54 - 0.40Fr)K \quad (2.49)$$



Şekil 2.13 Ana kanal dik bir kol bağlanması durumunda yan savağın genel görünüşü

(a) Plan (b) Kesit (R. Raju, Prasad ve Gupta, 1979)

K katsayısının değişimini de;

$$K=0.80+0.10[(y_1-p)/L_s] \quad (2.50)$$

ifadesiyle vermişlerdir. Bu denklem Kumar ve Pathak (1987) tarafından verilen ifadenin aynısıdır. Burada;  $L_s$ : Kalın kenarlı savak uzunluğu'dur.

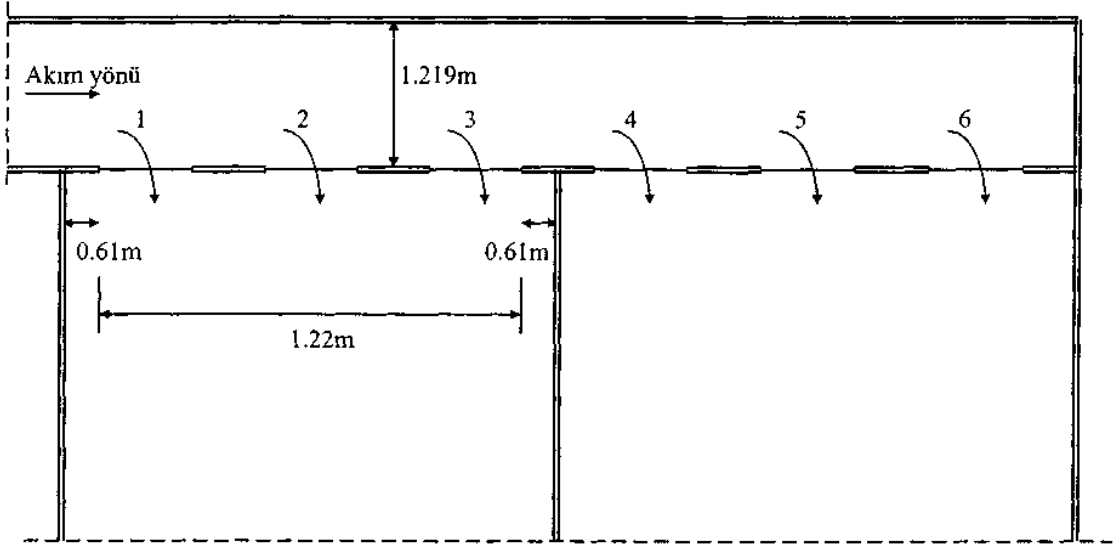
Rammurthy ve Carballada (1980), dikdörtgen enkesitli ve yatay tabanlı bir kanalda yaptıkları deneysel çalışmalarını yan savak memba kısmındaki akım nehir rejimli ve  $L/B < 1$  olması şartlarında gerçekleştirmişlerdir.

Ayrıca yan savak üzerinden geçen akımı ana kanalla açığı yapan bir su jeti gibi düşünerek akım modeli geliştirmişler ve yan savak debisi için iki boyutlu bir akım modeli kurmuşlardır. Deneysel çalışmadan elde ettikleri verilerin kurdukları modele uygun olduğunu ifade etmişlerdir.

Chao ve Trussel (1980), içme ve atıksu arıtma tesislerine üniform debi sağlamak için nehir rejimli akım şartlarında dikdörtgen prizmatik bir kanala seri olarak yerleştirilen yan savaklar üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmada her bir savağın akım karakteristiğini ayrı ayrı incelemişlerdir (Şekil 2.14).

Her bir savaktaki debiyi tayin etmek için De Marchi (1934) tarafından verilen 2.11 eşitliğini kullanmışlardır.

Chao ve Trussel (1980), tarafından 6 no'lu savaktan 1 no'lu savağa göre % 30 daha fazla debi geçtiği, ayrıca 4, 5, 6 no'lu savakların bulunduğu ikinci tankın birinciye göre %17 daha fazla debi aldığını gözlemlenmiştir. Buradan da akım yönüne gidildikçe savaklanan debinin arttığı görülmüştür.

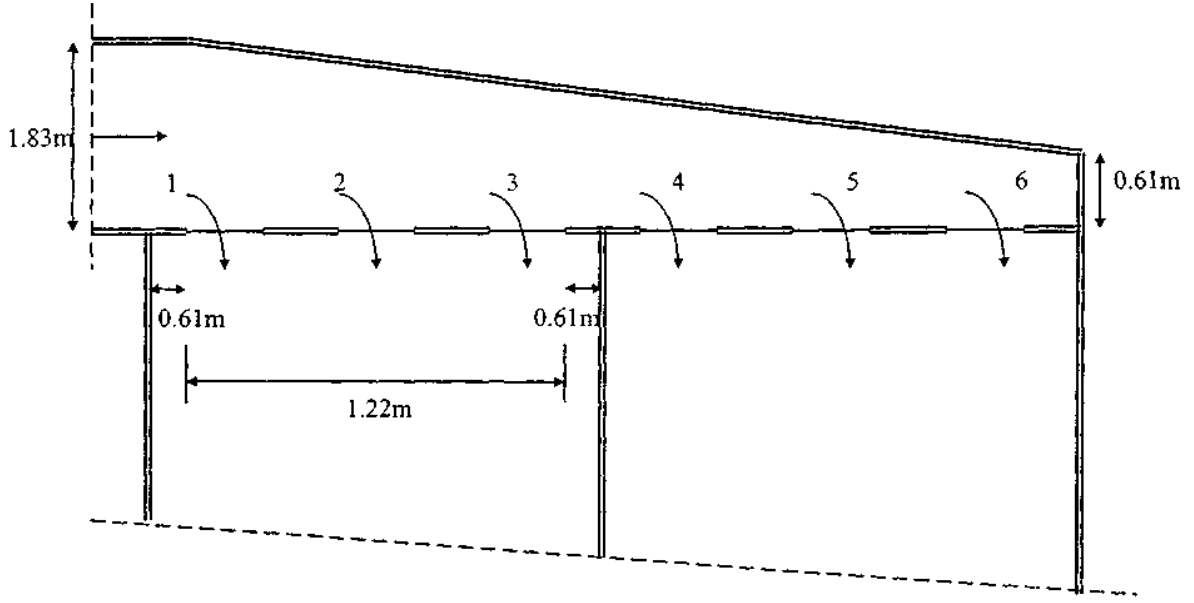


**Şekil 2.14** Dikdörtgen prizmatik debi dağıtım kanalı genel görünüşü (Chao ve Trussel, 1980)

Chao ve Trussel(1980), istenilen üniform akımın sağlanması için dağıtım kanalı ve yan savaklarda yapılması gerekli değişiklik ve düzenlemelerin aşağıda belirtilen şekillerde yapılmasını tavsiye etmişlerdir. Üniform akım sağlanması için deney kanalında yapılan değişiklikler Şekil 2.15'te gösterilmiştir.

- Dağıtım kanalının geometrik şeklini değiştirmeden savak yüksekliğinin ayarlanması,
- Üniform daralan dağıtım kanalında savak yüksekliklerinde küçük ayarlamalar yapılması,
- Tüm savak katsayıları sabit kalacak şekilde küçük Froude sayıları elde etmek için dağıtım kanalının genişliğini veya derinliğini yada her ikisini arttırmak,
- Sabit Froude sayılarında, sabit savak katsayısı elde edecek şekilde üniform daralan dağıtım kanalını oluşturmaktır.

Chao ve Trussel(1980), b ve c maddelerinde belirtilen alternatifler katı madde çökmesi gibi problemler yaratmasına karşın daha iyi bir çözüm getirdiğini ifade etmiştir.



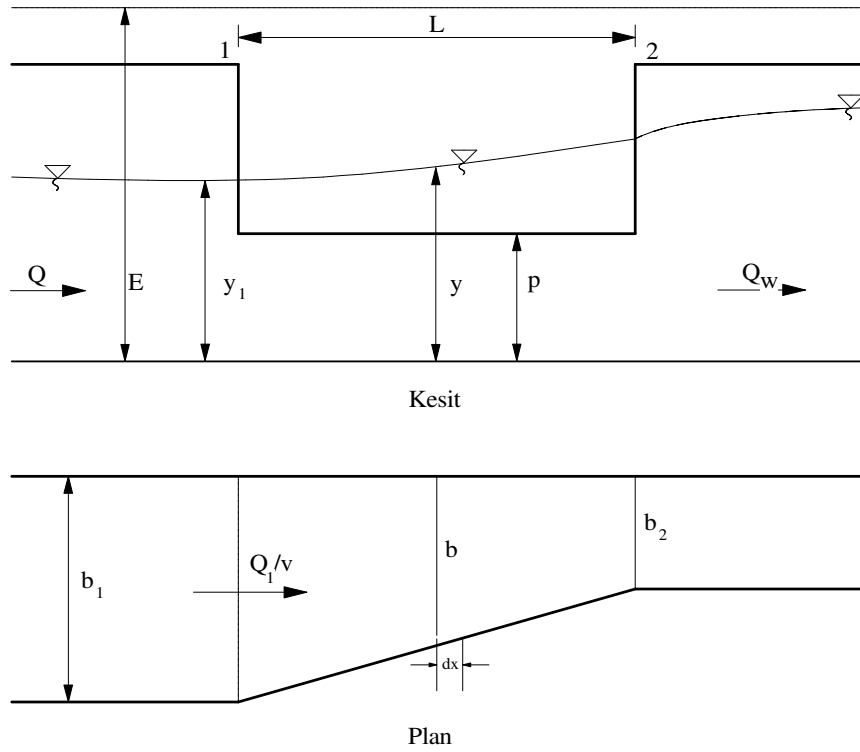
**Şekil 2.15** Uniform debi dağılımı için uniform daralan debi dağılım kanalı genel görünüşü  
(Chao ve Trussel, 1980)

Jain ve Fischer (1982), yan savak üzerinde uniform bir debi elde etmek için kanal genişliği savak boyunca azalan dikdörtgen enkesitli bir kanala eğik olarak yerleştirilmiş dikdörtgen enkesitli savaklarla çalışmalarını yapmışlardır (Şekil 2.16).

Problemin çözümünde kanalın yatay olduğunu ve sürtünme yük kayıplarının ihmal edildiğini kabul ederek enerji denkleminde hareketle uniform debi dağılımı için kanal genişlikleri arasındaki bağıntıyı aşağıdaki şekilde vermişlerdir.

$$b_1 = \frac{Q}{Q_2} b_2 \quad (2.51)$$

burada;  $b_1$ : Yan savak sonundaki ana kanal genişliği (m),  $Q$ : Yan savaktan önceki ana kanal debisi ( $m^3/s$ ),  $Q_2$ : Yan savaktan sonraki ana kanal debisi ( $m^3/s$ ).



**Şekil 2.16** Enkesit genişliği yan savak boyunca tedricen daralan kanala yerleştirilen yansavağın plan ve kesiti(Jain ve Fischer, 1982)

Uyumaz (1982), dairesel enkesitli kanallardaki yan savaklarda ana kanal eksenini üzerindeki su yüzü profilinin diferansiyel denklemini çıkararak bu denklemin nümerik çözümünü yapmış ve çözümün deneysel verilerle uygunluğunu araştırmıştır. Ayrıca dikdörtgen enkesitli kanallardaki çözümlerle karşılaştırmış ve dikdörtgen enkesitli kanallardaki yan savaklar için verilen bağıntıların dairesel enkesitli kanallardaki yan savaklar için geçerli olup olmadığını belirtmiştir. Araştırmacı, nehir ve sel rejimli akım şartlarında yaptığı deneysel çalışmalar sonucunda nehir rejimli akım şartlarında yansavak enkesitinden ana kanal eksenindeki su yüzü profilinin membadan mansaba doğru giderek arttığını, sel rejimli akım şartlarında ise membadan mansaba doğru gittikçe azaldığını gözlemlemiştir. Araştırmacı, deneysel çalışmalar sonucunda nehir rejimli akım şartlarında elde edilen yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişiminin exponansiyel bir karakter taşıdığını,  $L/D_s$ 'nin ( $D_s$  dairesel enkesitli kanalın çapıdır) büyük değerlerinde Froude sayısına fazla bağlı olmadığını ama küçük  $L/D_s$  değerlerinde bağımlılığın arttığını gözlemlemiştir. Araştırmacı nehir rejimli akım şartları için yan savak debi katsayısını veren ifadeyi;

$$C_d = B_1 + C_1 \sqrt{1 + Fr} \quad (2.52)$$

şeklinde bulmuştur.

Burada;

$$B_1 = 0.21 + 0.094 \sqrt{1.74 \frac{L}{D_s} - 1} \quad (2.53)$$

$$C_1 = 0.22 - 0.08 \sqrt{1.68 \frac{L}{D_s} - 1} \quad (2.54)$$

şeklinde verilmiştir. Burada  $L$  savak uzunluğunu,  $D_s$  ise ana kanal çapını göstermektedir. Sel rejimli akım şartlarında ise yan savak debi katsayısının Froude sayısına çok az bağlı olduğunu ve lineer formda değişim gösterdiğini belirterek;

$$C_d = MFr + N \quad (2.55)$$

ifadesini vermiştir.  $M$  ve  $N$  katsayılarının  $p/D_s$ 'ye fazla bağımlı olmadığını,  $L/D_s$ 'ye ise bağlı olduğunu belirtmiş ve  $p/D_s$  'yi ihmal ederek  $M$  ve  $N$  katsayıları için;

$$M = 0.046 + 0.054 \sqrt{1.67 \frac{L}{D_s} - 1} \quad (2.56)$$

ve

$$N = 0.24 + 0.021 \sqrt{1 + 35.3 \frac{L}{D_s}} \quad (2.57)$$

bağıntılarını vermiştir.  $p/D_s$  ifadesini ihmal etmekle maksimum % 5'lik bir hata yapılabileceğini belirtmiştir.

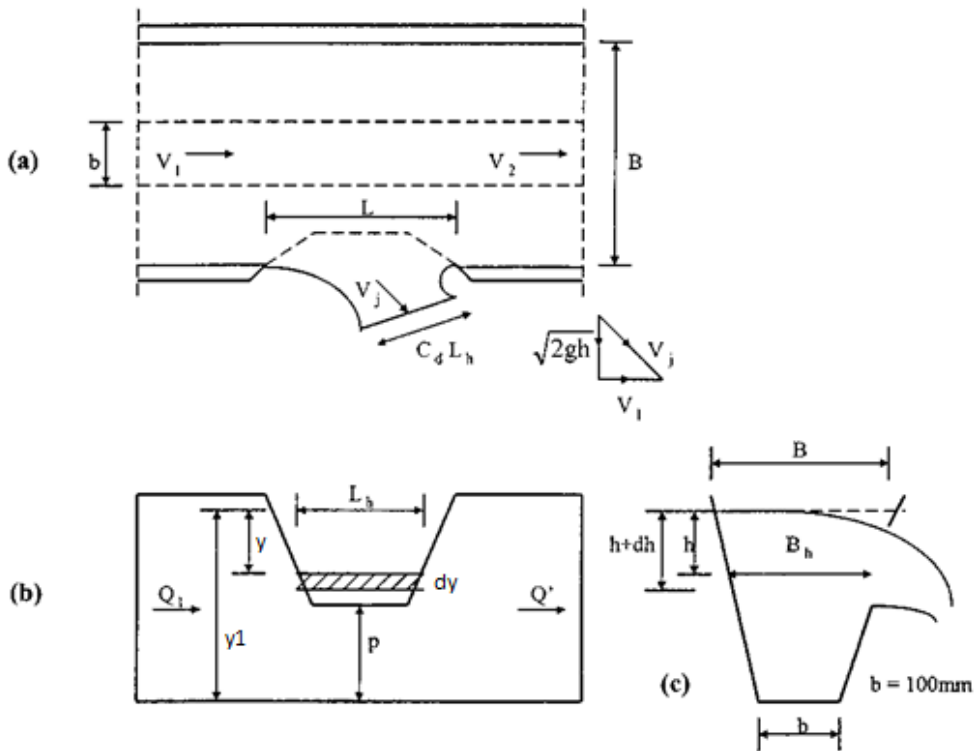
Ramamurthy ve Satish (1986), dikdörtgen enkesitli kanal tabanına enine olarak açılmış bir açıklık boyunca oluşan akım şartlarını incelemek için deneysel çalışmalar yapmışlar ve tabandaki açıklıktan geçen debinin hesaplanmasında kanal debisi ve açıklık ve genişliğinin önemli parametreler olduğunu belirtmişler.

Ramamurthy ve diğ. (1986), Ramamurthy ve Carballada (1980)'nın dikdörtgen enkesitli kanalda dikdörtgen yan savak için kurdukları matematiksel modeli baz alarak, trapez enkesitli kanalda trapez kesitli yan savaklar için bir model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri

modelde yan savaktaki akımın ana kanaldan belli bir açı ile sapan çok sayıda jet akımının toplamı olduğunu kabul etmişlerdir (Şekil 2.17).

Yan savak katsayısı için aşağıdaki kabulleri yapmışlardır;

- Kanal tabanı ve serbest su yüzeyi yataydır.
- Yan savak membasında ana kanaldaki akım nehir rejimindedir.
- Yan savak membasındaki hız su derinliği ile değişmez.
- Su yüzeyindeki yan savak uzunluğunun ana kanaldaki su yüzey uzunluğuna oranı, serbest su yüzeyinden h kadar derinlikte yan savak uzunluğunun yine aynı derinlikteki kanal genişliğine oranı aynıdır.
- Su yüzeyinden h kadar derinlikte sonsuz küçük bir tabakadan çıkan su jeti için, kanal eksenine normal hız bileşeni  $\sqrt{2gh}$  'dır.



Şekil 2.17Trapez enkesitli bir kanalda trapez enkesitli yan savak görünüşü;

(a) plan,(b)kesit, (c) görünüş(Ramamurthy ve diğ., 1986)

Kumar ve Pathak (1987), dikdörtgen enkesitli kanallarda nehir rejimli akım şartlarında keskin ve kalın kenarlı üçgen yan savakların debi katsayısını belirlemek için deneysel bir çalışma yürütmüşlerdir. Ayrıca De Marchi (1934) tarafından verilen (2.14) denkleminin yan savak uzunluğunun hesaplanmasında kullanılabileceğini ve (1) ile (2) kesitlerinde ölçülen debi ve derinlik değerlerinden  $C_d$  'nin hesaplanabileceğini belirtmişlerdir (Şekil 2.18) Bu eşitlik üçgen yan savaklar için aşağıdaki şekilde elde etmişlerdir.

$$L = x_2 - x_1 = \frac{15B}{4C_d} \left[ \phi \left( \frac{y_2}{E} \right) - \phi \left( \frac{y_1}{E} \right) \right] \quad (2.58)$$

Yazarlar, yüzeysel gerilmenin ve viskozitenin etkisini ihmal etmek için nap yüksekliği  $(y-p)$ 'ni 0.10 m'de büyük aldıklarını belirtmişler ve olaya etkili boyutsuz parametreleri keskin kenarlı üçgen yan savaklar için (2.59) ifadesi ile kalın kenarlı yan savaklar için ise (2.60) ifadesi ile vermişlerdir.

$$C_d = f\{Fr, \alpha, p/y\} \quad (2.59)$$

$$C_d = f\{Fr, \alpha, p/y, y/L_s\} \quad (2.60)$$

Burada; Fr: Froude sayısı,  $\alpha$ : Üçgen savak tepe açısı,  $p$ : Kret yüksekliği,  $h$ : Kanaldaki su derinliği,  $L_s$  ise kalın kenarlı savak kalınlığını göstermektedir.

Ayrıca yan savaklara ve akım karakteristiklerine ait değerler Tablo 2.2'de verilmiştir.

**Tablo 2.2** Savak boyutları ve akım karakteristikleri

| Savak Tipi     | $\alpha$       | $p$ (m)       | $Q$ (L/s)  | $Q_w$ (L/s) | Fr         |
|----------------|----------------|---------------|------------|-------------|------------|
| Keskin Kenarlı | 60°, 90°, 120° | 0.0608-0.2422 | 19.5-118.1 | 4-43.1      | 0.09-0.694 |

Kumar ve Pathak (1987), Subramanya ve Awasthy (1972)'nin dikdörtgen yan savaklarda  $p/h$ 'nin etkisini ihmal ettiklerini belirterek, kendilerinin de bu çalışmada  $p/y$ 'nin etkisini ihmal ettiklerini ifade etmişlerdir. Böylece yan savak debi katsayısı  $C_d$  'nin yalnızca Fr ve  $\theta$  ya bağlı olduğunu kabul ederek  $C_d$  için aşağıdaki ifadeleri vermişlerdir.

$$C_d = 0.668 - 0.381 Fr \quad (\phi = 60^\circ \text{ için})$$

$$C_d = 0.619 - 0.203 Fr \quad (\phi = 90^\circ \text{ için}) \quad (2.61)$$

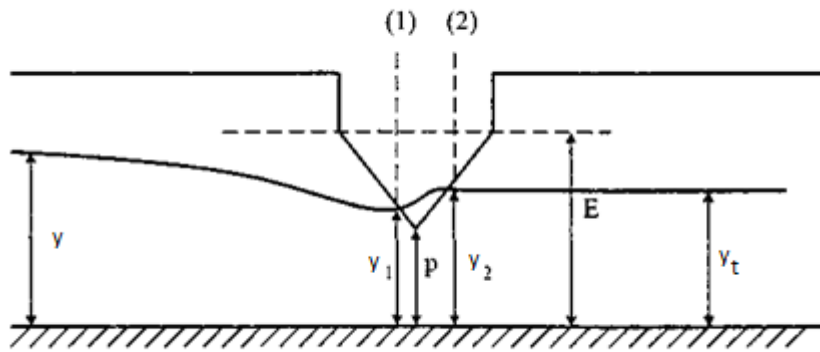
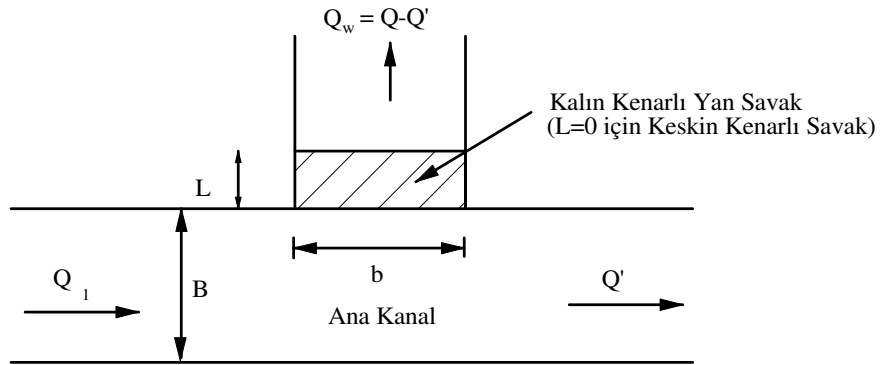
$$C_d = 0.642 - 0.042 Fr \quad (\phi = 120^\circ \text{ için})$$

Yukarıdaki ifadelerden de görüleceği gibi Kumar ve Pathak (1987) deneysel çalışmalarını  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $120^\circ$ 'lik tepe açıları için gerçekleştirmişlerdir.

Ayrıca değişik tepe açlarına sahip üçgen yan savakların kullanılması durumunda ise  $C_d$  yan savak debi katsayısının;

$$C_d = \left[ 0.811 - 0.321 \tan \frac{\phi}{2} + 0.129 \tan^2 \frac{\phi}{2} \right] - \left[ 0.695 - 0.638 \tan \frac{\phi}{2} + 0.150 \tan^2 \frac{\phi}{2} \right] \quad (2.62)$$

ifadesinden hesaplanabileceğini belirtmişlerdir.



Şekil 2.18 Yan savak görünüşü (a) Plan (b) Kesit (Kumar ve Pathak, 1987)

Kalın kenarlı üçgen yan savaklarda ise ince kenarlı üçgen yan savaklar için verilen yan savak debi katsayısı  $C_d$  ifadesinin  $K$  gibi bir katsayı ile çarpılarak kullanılması gerektiğini ve  $K$  katsayısının da ;

$$K = 0.80 + 0.10 \left( \frac{y_1 - p}{L_s} \right) \quad (2.63)$$

ifadesinden hesaplanması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu denklem yan savaklar için Ranga Raju ve diğ. (1979) tarafından dikdörtgen yan savaklar için verilen (2.49) ifadesinin aynısıdır.

Araştırmacılar ayrıca, savaklanan debinin keskin kenarlı üçgen yan savaklar için,

$$Q_w = 0.5908 C_d \sqrt{2g} \tan \frac{\alpha}{2} (y_1 - p)^{5/2} \quad (2.64)$$

kalın kenarlı üçgen yan savaklar için ise,

$$Q_w = 0.5566 K C_d \sqrt{2g} \tan \frac{\alpha}{2} (y_1 - p)^{5/2} \quad (2.65)$$

ifadesinden hesaplanabileceğini belirtmişlerdir.

Uyumaz ve Smith (1991), özgül enerjinin sabit olduğunu kabul ederek sonlu farklar metodu ile dikdörtgen ve dairesel enkesitli kanallardaki yan savak akımını nümerik olarak araştırmışlar ve dikdörtgen ile dairesel enkesitli kanallardaki yan savak uzunluklarını deneysel ve teorik olarak belirlemeye çalışmışlardır. Dairesel enkesitli kanallarda su yüzü profilinin belirlenmesi veya yan savak boyutlandırılmasının sadece  $p/D=0.66$  için dikdörtgen yan savaklar gibi hesap yapabileceğini ve bunun dışındaki değerlerde ise yaklaşımın hatalı sonuçlar vereceğini ifade etmişlerdir.

Cheong(1991), trapez enkesitli kanalda yaptığı deneysel çalışmada enerji ve momentumun korunumu prensiplerini ayrı ayrı kullanarak yan savak debi katsayısını araştırmıştır.Çalışmada, kanalın yan duvar eğimi ve savak uzunlukları değiştirilerek yan savak debi katsayısını veren ifadeyi;

$$C_d = 0.30 - 0.147 Fr^2 \quad (2.66)$$

olarak elde etmiştir.Bu eşitlik özgül enerjinin sabit olması durumu için verilmiştir.Araştırmacı tarafından özgül enerjinin sabit kaldığı kabulü ile elde edilen bu eşitliğin momentum yaklaşımı ile elde edilene çok yakın olduğu ifade edilmiştir.

Swamee ve diğ.(1994), keskin ve kalın kenarlı dikdörtgen ve üçgen yan savaklarda, yan savak boyunca debisi azalan (spatial) akım eşitliğinden faydalanarak yönlendirilmiş ve yönlendirilmemiş akım şartları için elementer yan savak debi katsayısı üzerine araştırmalarda bulunmuşlardır.

Uyumaz (1993), özgül enerjinin sabit kaldığı kabulü ile üçgen kanaldaki yan savak boyunca su yüzü profilini incelemiş ve üçgen kanalda yan savak uzunluğu veren ifadeyi,

$$L = \frac{\tan \alpha E}{2m} \left| -\phi(z) \right|_{z_1}^{z_2} = \frac{\tan \alpha E}{2m} \left| \psi(z) \right|_{z_1}^{z_2} \quad (2.67)$$

olarak elde etmiştir. Burada,  $L$ = yan savak uzunluğu,  $m$ = yan savak debi katsayısı,  $\phi(z)$ ,  $\psi(z)$ = integral alanları,  $E$ = özgül enerji'dir.

Hager (1994), dairesel kesitli yan savaklarda sel rejimini ve bu tür savaklarda meydana gelen hidrolik sıçramayı incelemiş ve bu incelemeleri sonucunda dairesel kesitli yan savaklarda debi katsayısı ve hidrolik sıçrama formülünü vermiştir. Hager(1994)'in verdiği debi katsayısı aşağıdaki gibidir.

$$C_{de} = 0.042 \left( 7 + \frac{\Delta L}{D} - 1.25 F_r \right) \quad (2.68)$$

Burada,  $\Delta L/D$ =savağın uzunluğu,  $F_r < 2$ =giriş Froude sayısı.

Hidrolik sıçrama için de aşağıdaki denklemi vermiştir.

Swamee ve diğ.(1994), De Marchi (1934) eşitliğinden faydalanılarak ana kanal Froude sayısına bağlı olarak yan savak debi katsayısını veren birçok araştırma bulunduğunu, fakat bunların hiçbirisinde  $p/y$ 'e bağlı bir değişimin bulunmadığını ifade etmişlerdir.  $p/y$ 'i dikkate alarak yan savak üzerindeki sonsuz küçük bir düşey eleman için yan savak debi katsayısını;

$$C_d = 0.447 \left[ \left( \frac{44.7p}{49p+y} \right)^{6.67} + \left( \frac{y-p}{y} \right)^{6.67} \right]^{-0.15} \quad (2.69)$$

ifadesi ile vermişlerdir. Daha önce yan savak debi katsayısı ile ilgili yapılan çalışmalarını değerlendirmişler ve bu çalışmaların hiçbirinin yan savak debi katsayısının doğru olarak tespitinde kullanılmayacağını ifade etmişlerdir

$$\frac{y_2}{y_1} = F_r \quad (2.70)$$

Singh ve diğ. (1994), özgül enerjinin sabit olduğunu kabul ederek nehir rejimli akım şartlarında yan savak debi katsayısı belirlemeye çalışmışlar ve etkili parametre olarak ana kanal debisini, yan savak uzunluğunu ve savak eşik yüksekliğini göz önüne almışlardır (Şekil 2.19). Yan savak debi katsayısının memba Froude sayısına ve  $p/y_1$  oranına bağlı olarak değişimini incelemişler ve daha sonra bu iki değişkenin birbirine etkisini araştırmışlardır. Boyut analizi yardımıyla olaya etkili parametreleri;

$$C_d = f\{Fr, p/y_1, L/y_1\} \quad (2.71)$$

olarak belirlemişler ve  $C_d$ 'nin  $L/y_1$ 'den bağımsız olduğu kabulü ile;

$$C_d = f\{Fr, p/y_1\} \quad (2.72)$$

olarak vermişlerdir.

Araştırmacılar (1) ve (3) bölgelerinde 0.10m , (2) bölgesinde ise 0.02m aralıklarla yük ölçümü yapmışlardır.  $C_d$  yan savak debi katsayısının yan savak memba Froude sayısı(Fr) ve  $p/y_1$  ile lineer bir değişim gösterdiğini gözlemlemişlerdir.

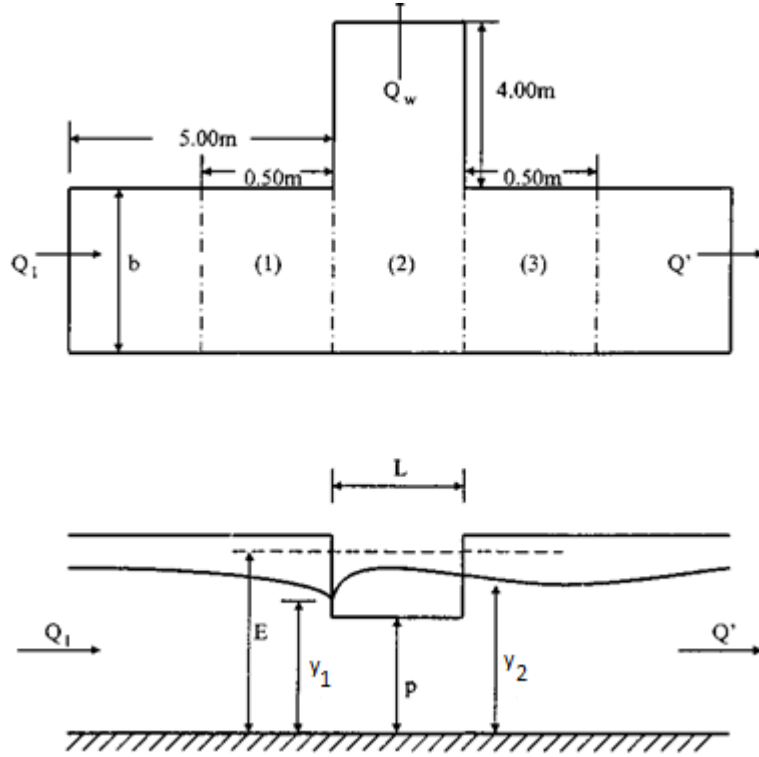
Bu lineer değişimleri sırasıyla;

$$C_d = 0.66 - 0.84Fr \quad (2.73)$$

$$C_d = 0.16 - 0.36 p/y_1 \quad (2.74)$$

$$C_d = 0.22 - 0.12Fr + 0.327p/y_1 \quad (2.75)$$

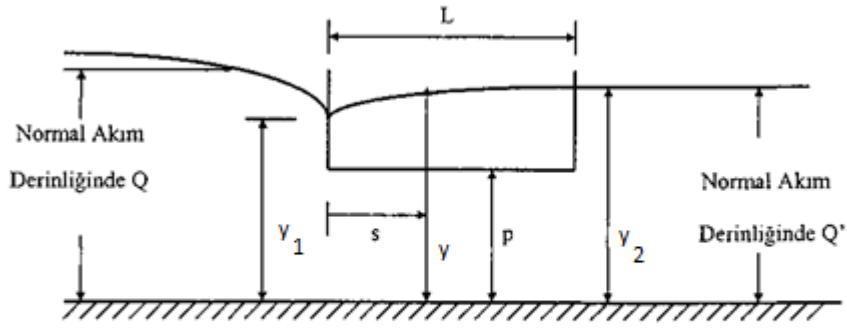
ifadeleri ile vermişlerdir. Burada;  $C_d$ = yan savak debi katsayısı,  $F_r$ =Froude sayısı'dır.



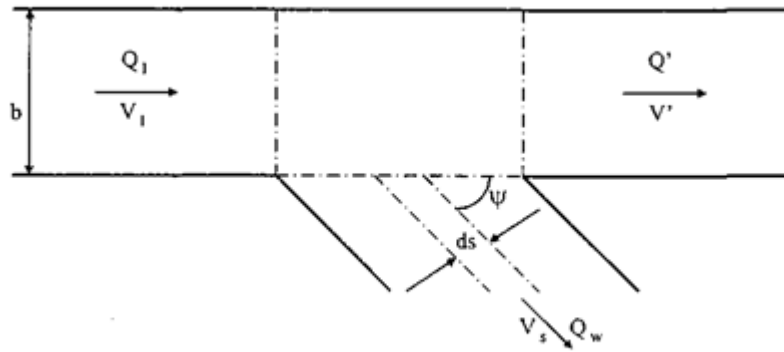
Şekil 2.19 Yan savak genel görünüşü (Swamee ve diğ.,1994)

Tozluk (1994), yan savak probleminin çözümünde en uygun yaklaşımlardan birinin De Marchi (1934) tarafından enerjinin korunumu kullanılarak yapıldığını ifade etmiştir. Subramanya ve Awasthy (1972) tarafından verilen (2.41) denklemindeki  $C_d$  yan savak debi katsayısının yan savaktan savaklanan akımın kanal eksenine yapmış olduğu  $\psi$  savaklanma açısının sabit olması hali için verildiğini, fakat gerçekte bu açının savak boyunca değişerek her biri sıvı elemanı için farklı bir değer aldığını ifade etmiştir.  $\psi$  savaklanma açısının sabit olmasından dolayı (2.41) denkleminde elde edilen değerlerle deneysel sonuçların farklı dağılımlar gösterdiğini söylemiştir (Şekil 2.20).

Tozluk (1994), çalışmasında  $\psi$  sapma açısının değiştiğini kabul ederek ve  $C_d$  katsayısını, yan savak membasındaki ana kanal Froude sayısından başka  $h/E$ ,  $p/E$ , ve  $\psi$  boyutsuz parametrelerinin de fonksiyonu olduğunu göz önüne alarak nümerik integrasyon yöntemi ile elde etmiştir.



a-) Savak Enkesiti



b-) Plan

Şekil 2.20 Savak enkesiti ve planı (Tozluk 1994)

Tozluk (1994), elde ettiği sonuçları aşağıdaki şekilde vermiştir.

- $\psi$  savaklanma açısı, savak boyunca değişen Froude sayısının bir fonksiyonu olarak değişir. Bu fonksiyon savak uzunluğunu veren (2.14) ifadesinde yerine yazılırsa yan savak probleminin çözümü daha gerçekçi olabilir.
- Yan savak probleminin çözümünde su yüzünün enine doğrultuda savak kretine doğru azalmasını ifade eden bir  $\psi$  parametresinin hesaba katılması gerekir. Deneysel verilerin değerlendirilmesi sonucunda  $\psi$ 'nin  $Fr_1$  sayısına ve  $L/B$  oranına bağlı olduğu görülmüştür.
- Deneyler,  $\psi$  sapma açısına savak yüksekliğinin önemli bir etkisinin olmadığını,  $L/B$ 'nin büyük değerlerinde ise  $\psi$  ile  $Fr_1$  sayısı arasında çizilen grafiklerde deneysel verilerde oldukça farklı dağılımlar olduğunu göstermektedir.  $L/B$ 'nin küçük değerlerinde ise  $\psi$  değeri  $Fr_1$  sayısının fonksiyonu olarak;

$$\psi = 1.0 - 0.2 \left( \frac{L}{b_1} \right) Fr^{-2} \quad (2.76)$$

eşitliğine bağlı olarak değişmektedir.

Swamee ve diğ.(1994), yan savak boyunca temel debi katsayısına alternatif bir görüş belirtmişlerdir. Debi ve akım derinliği için 2 ordnatlı diferansiyel denklemin sayısal çözümünü temel alan bir metot önermişlerdir. Önerilen metot ve temel debi katsayısı kullanılarak yan savak üzerindeki debinin doğru olarak tanımlanabileceğini belirtmişlerdir.

Bu çalışmayı yaparken aşağıdaki durumları göz önünde bulundurmuşlardır.

- Keskin kenarlı yan savaklar sınırlandırılmamış çıkış debisiyle, yan kanalda duvar olmadığı zaman ve su jetinin duvarlarla sınırlandırılmadığı zaman,
- Keskin kenarlı yan savaklar sınırlandırılmış çıkış debisiyle, yan kanalda duvar olduğu zaman ve su jetinin duvarla sınırlandırıldığı zaman,
- Kalın kenarlı yan savaklar sınırlandırılmamış çıkış debisiyle,
- Kalın kenarlı yan savaklar sınırlandırılmış çıkış debisiyle,
- Keskin kenarlı üçgen yan savaklar.

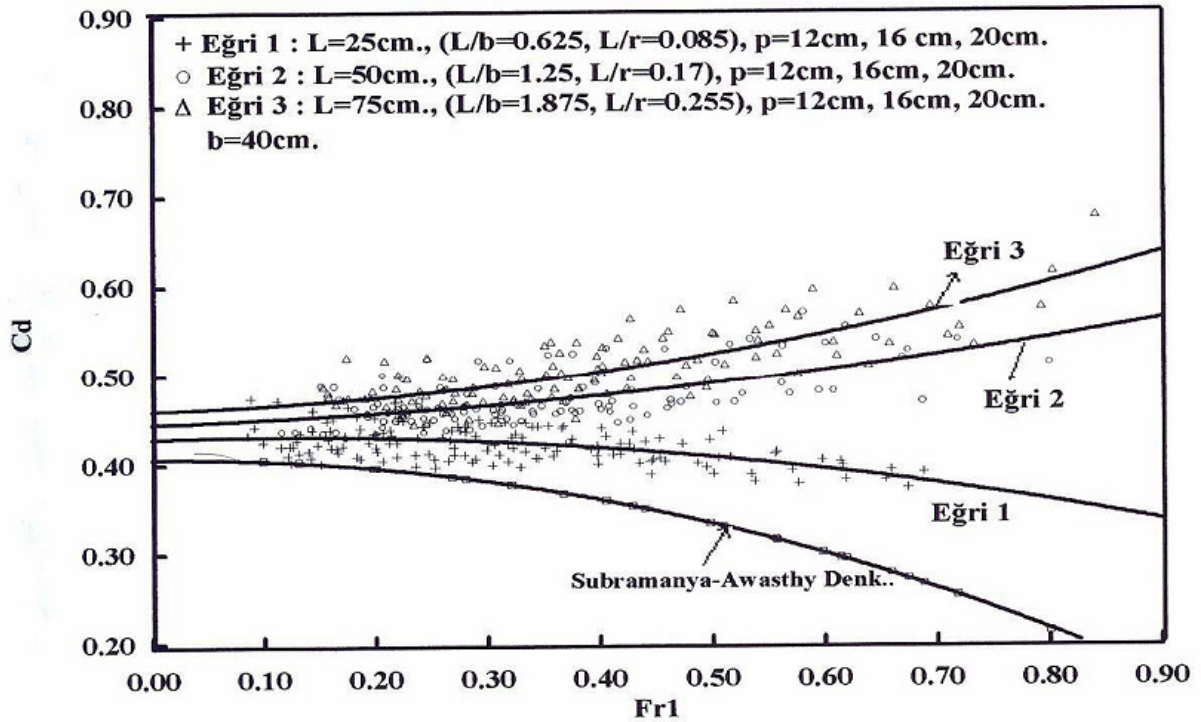
Bu mevcut durumlara göre yapılan çalışmalar sonucunda temel debi katsayısı olarak şu denklemi vermişlerdir.

$$C_d = 0.447 \left\{ \left[ \left( \frac{44.7}{50 + \eta_w} \right)^{6.67} + \left( \frac{\eta_w}{\eta_w + 1} \right)^{6.67} \right] \left[ \left( \frac{1.8}{\eta_L} \right)^{18} + 1 \right]^{-1} + 1.4 \left( \frac{1 + 5.5\eta_L^{0.02}}{1 + 5.5\eta_L^{0.02} + 0.235\eta_L^{3.3} + 0.00588\eta_L^7} \right)^{6.67} \left[ 1 + \left( \frac{\eta_L}{2} \right)^{18} \right]^{-1} \right\}^{-0.15} \quad (2.77)$$

(Sınırlandırılmamış çıkış debisi için)

$$C_d = 0.465 \left\{ \left[ \left( \frac{46.5}{41.1 + \eta_w} \right)^{10} + \left( \frac{\eta_w}{\eta_w + 1} \right)^{10} \right] \left[ \left( \frac{1.8}{\eta_L} \right)^{18} + 1 \right]^{-1} + 1.484 \left( \frac{1 + 2.9\eta_L^{0.02}}{1 + 2.9\eta_L^{0.02} + 0.224\eta_L^{1.79} + 0.0112\eta_L^{1.69}} \right)^{10} \left[ 1 + \left( \frac{\eta_L}{2} \right)^{18} \right]^{-1} \right\}^{-0.1} \quad (2.78)$$

Ağaçcıoğlu (1995), dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda farklı uzunluklara sahip yan savaklarla yaptığı deneysel çalışmalarda  $C_d$  yan savak debi katsayısının  $Fr_1$  ile değişimini incelemiş ve elde ettiği eğrileri Subramanya ve Awasthy'nin (2.41) eşitliğinden elde ettiği eğri ile karşılaştırmıştır (Şekil 2.21). Araştırmacı  $L/B=0.625$  için elde ettiği  $C_d$  yan savak debi katsayısı eğrisinin Subramanya ve Awasthy'nin (1972) elde ettiği eğri ile aynı eğilime sahip olduğunu belirtmiştir. Ayrıca araştırmacı  $L/B=1,25$  ve  $L/B=1,875$  için elde ettiği  $C_d$  yan savak debi katsayılarının Subramanya ve Awasthy'nin (1972) elde ettiği eğriyle karşılaştırmış ve büyük farklılıklar gösterdiğini belirtmiştir. Subramanya ve Awasthy (1972) deneylerini  $L/B < 1$  için yaptıklarından dolayı vermiş oldukları eşitliğin  $L/b > 1$  için yeterli olmadığı belirtilmiştir. Araştırmacı, büyük uzunluklu yan savaklarda yanal akımın yarattığı sekonder akımın şiddetinin arttığını ve bunun sonucunda da daha büyük  $C_d$  yan savak debi katsayısı elde edildiğini ifade etmiştir.



Şekil 2.21 Doğrusal kanalda farklı  $L/b$  oranları için yan savak debi katsayısının Subramanya ve Awasthy denklemiyle karşılaştırılması (Ağaçcıoğlu, 1995)

Pinheiro ve Silva (1999), yan savak debi katsayısını belirlemek amacıyla deneysel bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışmalarını yaparken deneysel çalışmaların sonuçları ile farklı araştırmacıların (Subramanya ve Awasthy (1972), Raju ve diğ. (1979), Cheong (1991) elde

ettikleri eşitlikler karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarını kıyaslayarak aşağıdaki gibi bir debi katsayı formülü önermişlerdir.

$$\frac{1}{C_d} = 1,57 + 0,127 \frac{1}{F_r} + 7,45 \frac{1}{L_{ndim}} + 0,52 \frac{y_m}{p} \quad (2.79)$$

Burada;  $F_r$ = Froude sayısı,  $L_{ndim}$ = Yan savak yüksekliğinin memba akım hızına oranı [ $L/(V_1^2/2g)$ ],  $y_m$ = Orta akım yüksekliği,  $p$ = Yan savak yüksekliği

Uyumaz (1997), özgül enerji denklemini kullanarak U kesitli kanallara yerleştirilmiş yan savaklar üzerine incelemelerde bulunmuştur. Bu çalışması sonunda savak boyu için aşağıdaki denklemi vermiştir.

$$L = \frac{D_s(\pi + 4)}{16m} \left| \psi(t) \right|_{t_1}^{t_2} \quad (2.80)$$

burada,  $L$ = Yan savağın uzunluğu,  $D_s$ = Kanal çapı,  $\psi(t)$ = integral alanları.

Ayrıca U kesitli kanallara yerleştirilmiş yan savaklar için  $t \leq 0.5$  olan durumlarda Uyumaz (1997), tarafından verilen aşağıdaki debi katsayısı formülünün kullanılabileceğini belirtmiştir.

$$m = (0.21 + 0.094\sqrt{1.75L/D-1}) + (0.22 - 0.08\sqrt{1.67L/D-1})\sqrt{1-F_r} \quad \text{Nehir Rejimi} (F_r < 1) \quad (2.81)$$

$$m = -(0.046 + 0.0054\sqrt{1.67L/D-1})F_r + (0.24 + 0.02\sqrt{1+35.3L/D}) \quad \text{Sel Rejimi} (F_r > 1) \quad (2.82)$$

$t \geq 0.5$  olan durumlarda da Subramanya ve Awasthy (1972) tarafından verilen aşağıdaki debi katsayısı formülünün kullanılabileceğini belirtmiştir.

$$m = \frac{2}{3} 0.611 \sqrt{1 - \left( \frac{3F_r^2}{F_r^2 + 2} \right)} \quad \text{Nehir Rejimi} \quad (F_1 < 1) \quad (2.83)$$

$$m = \frac{2}{3} (0.36 - 0.008F_r) \quad \text{Sel Rejimi} \quad (F_1 > 2) \quad (2.84)$$

Ağaçcıoğlu ve Yüksel (1998), yapmış oldukları çalışmalar sonucunda kıvrımlardaki akımın önemli karakteristiklerinden birinin helikoidal akım diğerinin de maksimum hız yörüngesinin hareketi olduğunu belirtmişlerdir. Helikoidal akım sürtünme, merkezkaç ve atalet kuvvetlerinin birbirlerinin etkilemesinden dolayı ortaya çıkmaktadır. Kanal tabanı yakınlarında akışkan zerreciklerinin hızları sınır direnci tarafından büyük ölçüde geciktirilir. Taban yakınlarında daha yavaş hareket eden akışkan, merkezkaç ve basınç

kuvvetleri arasında bir denge meydana getirmek için daha keskin eğrisel bir yörüngeyi izlemek zorunda kalırken, daha büyük hızlardan dolayı daha büyük ataletle sahip olan yüzeydeki akışkan zerreciklerinin yörüngeleri kanal tabanına doğru olmaktadır. Akışkan kütesinin sürekliliğini sürdürmesi için su dış kıyıda tabana hareket ederken iç kıyı boyunca yukarı doğru hareket etmektedir. Böylece teğetsel hız bileşenine ilave olarak kanal eksenine dik radyal hız bileşeni meydana gelir. Bu radyal hız bileşeni enkesit planında sekonder akım oluşturur.

Kıvrımlı bir kanalda sekonder hareket kıvrım girişinden önce başlamakta, kıvrımda şiddetlenerek devam etmekte ve kıvrım çıkışına doğru da şiddeti azalmaktadır. Değişik akım şartları altındaki farklı kıvrımlarda sekonder akımın etkisi ve büyüklüğü sekonder hareketin gücü olarak tanımlanmıştır. Bu terim yanal akımın kinetik enerjisinin, akımın toplam kinetik enerjisine oranı olarak belirtilmiştir. Buna göre sekonder akımın gücü,

$$S_{yz} = \frac{V_{yz}^2}{V^2} \quad (2.85)$$

eşitliği ile verilmektedir. Burada;  $V_{yz}$ : yz planındaki hız vektörü,  $V$ : Enkesitteki ortalama hızdır.

$n$  savak başlangıcındaki Froude Sayısı,  $t$ =Sabit ( $y/D$ )

Borghesi ve diğ. (1999), keskin kenarlı yan savaklarda nehir rejimini için debi katsayısını araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmalar sonucunda  $C_d$  debi katsayısını  $f(F_r, L, B, p, h, J_0)$  fonksiyonuyla ifade etmişler ve aşağıdaki denklemi vermişlerdir.

$$C_d = 0.687 - 0.46F_r - 0.3\frac{y}{p} + 0.06\frac{L}{B} + 1.2J_0 \quad (2.86)$$

$$C_d = 0.467 - 0.32F_1 - 0.2p/y_1 + 0.04L/B \quad (2.87)$$

burada,  $F_r$ =Membadaki Froude sayısı,  $p$ =Savak yüksekliği,  $y$ =Ana kanal su derinliği,  $L$ = Savak uzunluğu,  $B$ =Kanal genişliği,  $J_0$ =Kanal eğimi'dir.

Ura ve diğ. (2001), eğik olarak yerleştirilmiş yan savakların debi katsayısı üzerine bir dizi çalışma yürütmüşler ve en büyük debi katsayısının savağın ana kanal eksenine 70°'lik açı yapacak şekilde yerleştirilmesiyle meydana geldiğini bulmuşlardır. Araştırmacılar eğik olarak yerleştirilmiş savaklar için debi katsayısını aşağıdaki gibi vermişlerdir.

$$C_d = 0.611 \sqrt{1 - \frac{3\gamma^2 F_r^2}{2 + F_r^2}} \quad (2.88)$$

Burada,  $C_d$ = yan savak debi katsayısı,  $\gamma$ = Yan savak üzerindeki hızın kanaldaki hıza oranı,  $F_r$ = yan savak membasındaki Froude Sayısı Bu denklemde  $\gamma$  sabiti bir birim olduğu zaman Subramanya ve Awasthy (1972) tarafından bulunan eşitlik meydana gelmektedir.

Muslu (2002), yüzey profili ve debi için genel denklemler geliştirmek amacıyla yan savağı temel şeritlere bölerek enerji prensipleri ve eğri uydurma metodunu kullanarak yan savak akım modelini incelemiş, debi katsayısı ve savak uzunluğu için aşağıdaki formülleri vermiştir.

$$C_d = 0.611 \sqrt{3 \frac{y'}{H} - 2} = 0.611 \sqrt{3\psi z - 2} \quad (2.89)$$

burada,  $z=y/H$ ;  $H$ = kanal eksenindeki boyutsuz akım derinliği'dir.

$$-\phi(z) = A(1-z)^{0.55} + B(1-z)^3 \quad (2.90)$$

burada,  $\phi(z) = z=z'$  den  $z=1$ 'e herhangi bir değer için savak uzunluğunun negatif değerini ifade eder.

Yukarıdaki savak uzunluğu denkleminde A ve B sadece  $p/H$  oranıyla ilişkilidir ve bu ilişki aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$A = 15 \times 10^{1.75[(p/H)-0.65]} \quad p/H < 0.65 \quad (2.91)$$

$$A = 15 \times 10^{4.142(p/H)^2[(p/H)-0.65]} \quad p/H > 0.65 \quad (2.92)$$

$$B = 200 \times 10^{6[(p/H)-0.65]} \quad p/H < 0.65 \quad (2.93)$$

$$B = 200 \times 10^{9.231(p/H)[(p/H)-0.65]} \quad p/H > 0.65 \quad (2.94)$$

Muslu (2002), yan savak akımıyla ilgili nümerik bir analiz geliştirerek deneysel sonuçlarla karşılaştırmış ve iyi sonuçlar elde etmiştir. Çalışmasında eğri uydurma yöntemini kullanmıştır.

Khorchani ve Blanpain (2003), yan savaklar üzerindeki yüzey profilinin tespitinde video izleme tekniğini kullanmışlardır. İzlenen veriler model için nümerik verilere dönüştürülmüş ve memnun edici sonuçlar elde edilmiştir.

Ghodsian (2003), dikdörtgen yan savakların akım özelliklerini sel rejimi için deneysel olarak incelemiştir. Debi katsayısının belirlenmesi için aşağıdaki eşitliği vermiştir.

$$C_d = \left\{ \left[ \left( 0.611 + 0.08 \frac{y-w}{w} \right) (1 - 0.802 F^{0.212})^{0.85} \right]^{-3.984} + \left[ 1.06 \left( 1 + \frac{w}{y-w} \right)^{1.5} (1 - 0.195 F^{0.657})^{1.55} \right]^{-3.984} \right\}^{-0.251} \quad (2.95)$$

burada,  $C_d$ =debi katsayısı,  $y$ =ana kanaldaki akım derinliği,  $F$ = yaklaşık Froude sayısı ve  $w$ =savak yüksekliğini göstermektedir.

Mizumura et. al (2003), sel rejimli kanal akımlarında yanal akımları hem teorik ve hem de deneysel olarak incelemişler ve elde ettiği sonuçları karşılaştırmışlardır.

Ghodsian (2003), dikdörtgen yan savaklar hakkında yaptığı çalışmasında sel rejimi şartlarında dikdörtgen yan savakların debi katsayısını inceleyerek aşağıdaki formülü elde etmiştir.

$$C_d = \left\{ \left[ \left( 0.61 + 0.08 \frac{y-p}{p} \right) (1 - 0.802 F_r^{0.212})^{0.85} \right]^{-3.984} + \left[ 1.06 \left( 1 + \frac{p}{y-p} \right)^{1.5} (1 - 0.195 F_r^{0.657})^{1.55} \right]^{-3.984} \right\}^{-0.251} \quad (2.96)$$

burada;  $C_d$ =yan savak debi katsayısı,  $y$ =su yüksekliği,  $p$ =kret yüksekliği,  $F_r$ = Froude sayısı'dır.

Yüksel (2004), yanal akımlara özgül enerjinin değişiminin etkisini araştırmıştır. Bir yan savak akımı boyunca özgül enerjideki değişimin etkisini incelemek için nümerik bir model kullanılmıştır.

Emiroğlu vd. (2010) üçgen labirent yan savakların hidrolik karakteristiklerini doğrusal kanalda deneysel olarak incelemişlerdir. Akım alanındaki teğetsel hız diyagramlarını da belirlemiş, debi katsayısının belirlenmesi için doğrusal olmayan bir eşitlik sunmuşlardır.

Kaya vd. (2011) yarı eliptik bir labirent yan savağın debi katsayısını deneysel olarak incelemişlerdir. Bu tip yan savakların klasik yan savakların deşarj kapasitesinden çok fazla olduğunu belirtmişlerdir.

Emiroğlu vd. (2011) trapez labirent yan savakların hidrolik karakteristiklerini geniş bir deney aralığında incelemişlerdir. Bu tip yan savakların klasik yan savakların debi katsayılarından 1.5 - 5.0 kat daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.

Emiroğlu vd. (2011) klasik yan savakların deşarj kapasitelerini literatüre göre oldukça geniş bir deney dizisinde incelemişlerdir. Savak açıklığı geniş bir aralıktan anlamlı deneyler ile test etmişlerdir. Etkili tüm boyutsuz parametreler dikkate alınarak doğrusal olmayan bir eşitlik sunmuşlardır.

Ağaccioğlu vd. (2012) kıvrımlı kanallarda klasik yan savakların deşarj kapasitesini incelemişlerdir. Kıvrımlı kanal boyunca teğetsel hızların sekonder akımın etkisinde nasıl değiştiğini de incelemişlerdir.

Aydın ve Emiroğlu (2013) hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile ugen labirent yan savakların hidrolik karakteristiklerini nümerik olarak incelemişler ve deneysel veriler ile karşılaştırmışlardır. Oldukça uyumlu sonuçlar elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Emiroğlu vd. (2014) bir ve iki gzlu trapez labirent yan savakların hidrolik karakteristiklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Yaptıkları alışmada De Marchi yaklaşımını kullanmışlardır. Belirli bir savak açıklığında bir göz m yoksa iki göz m daha uygun olduğunu detaylı bir şekilde analiz etmişlerdir. Hem bir gzlu trapez labirent yan savak için ve hem de iki gzlu trapez labirent yan savak için doğrusal olmayan güvenilir eşitlikler sunmuşlardır.

Hidrolik yapılar da vorteks problemleri ve vorteksin azaltılması ile ilgili bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Posey ve Hsu (1950), hava girişinin orifise ait debi katsayısı uzerindeki etkisini incelemişler ve evrinti şiddetinin artmasıyla debi katsayısını azaldığını gözlemlemişlerdir.

Fraser ve Harrison (1953), su alma ağzına yaklaşan akımdaki rahatsızlıkların hava girişli evrintiye tahrik etmemesi için, su alma ağzına yaklaşan akımın mümkün olduğunca uniform olması gerektiğini göstermişler ve bunun için akımı yönlendirici bölme duvarların konmasını tavsiye etmişlerdir.

Iversen (1953), akım sınırlarının hava girişli evrintiye tahrik etmemesi için su alma ağzının dış cidarının yan duvarlara ve ölü son duvarına mesafesinin  $D/2-D/4$  arasında, kanal tabanı ile ağz merkezi arasındaki mesafenin ise yaklaşık olarak  $D/2$  olması gerektiğini ifade etmiştir. Burada;  $D =$  Su alma ağzının i çapıdır.

Zielinski ve Villemonte (1968), evrinti oluşumu uzerinde viskozitenin etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Viskozite büyüdükçe, artan kayma gerilmesinin etkisiyle, sirkülasyonun azaldığını ve orifise ait debi katsayısının arttığını göstermişlerdir. Orifise ait Reynolds sayısının  $1 \times 10^4$  ten yüksek olması durumunda, viskozitenin etkisinin ihmal

edilebileceğini ve debi katsayısının sadece çevrintisayısıyla (Kolf sayısıyla) değiştiğini belirtmişlerdir.

Daggett ve Keulegan (1974), silindirik bir su tankının tabanına yerleştirilen bir orifiseserbest çevrinti yoluyla hava girişi üzerinde viskozite, yüzeysel gerilme ve akımadışardan uygulanan çevrinin etkilerini araştırmışlardır. Akıma, tankın çevresineyerleştirilen kanatlar yardımıyla verilen çevrinin ve viskozitenin hava girişli çevrintiüzerinde etkili olduğunu yüzeysel gerilmenin ise test edilen aralıkta herhangi biretkisinin olmadığını tespit etmişlerdir. Orifise ait Reynolds sayısının  $5 \times 10^4$ 'tenbüyük olması durumunda ağza ait debi katsayısının sadece çevrinti sayısına bağlıolduğunu ve viskozite büyüdükçe akıma dışardan uygulanan çevrinin hava girişüzerinde etkisinin azaldığını göstermişlerdir. Ayrıca tank içerisinde yaptıkları hızölçümlerinde teğetsel hızın tank tabanındaki sınır tabakası dışında, derinlik boyunca yaklaşık olarak sabit kaldığını; radyal hızın ise derinlik boyunca önemli ölçüde değiştiğini belirtmişlerdir. Radyal hızın tank tabanının hemen üzerinde orifise yakın bölgede büyüdüğünü, bu yüzden taban pürüzlüğünün etkisinin önemli olabileceğini ifadeetmişlerdir.

Tullis (1979), yüzey ve yüzey altı (su altı) çevrintilerinin pompalar için büyük sorun teşkil ettiğini belirtmiş ve bunların önlenmesi için bazı tasarım kriterleri vermiştir.

Hite ve Mih (1994) akım ortamında, dikdörtgen kesitli bir kanalın yan duvarından sualan bir su alma ağzında oluşan hava girişli çevrintiyi deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada hava girişli çevrintinin şeklini ve teğetsel,eksenel ve radyal yöndeki hız dağılımlarını teorik olarak bularak deney ölçümleriyle karşılaştırmışlardır.

### **3. DENEY DÜZENEĞİ VE DENEYSEL ÇALIŞMA**

#### **3.1 Giriş**

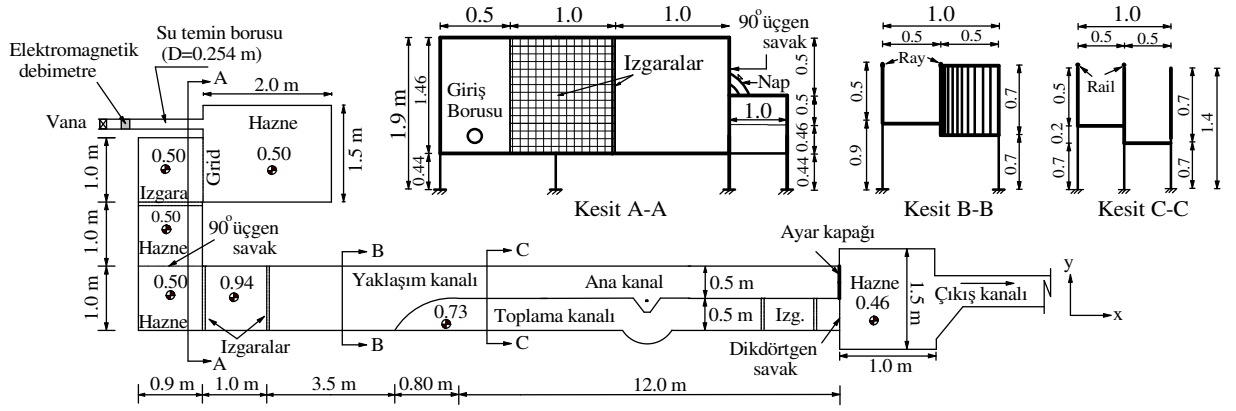
Nümerik modellerle ve bu amaçla hazırlanmış paket programlar kullanılarak hidrolik problemlerinin çözümü sıkça başvurulan bir yöntemdir. Nümerik çözümlerinde olaya etki eden parametreleri tespit etmek mümkün olmaktadır. Ancak, nümerik çözümleme ile bazı problemlerin tam olarak tanımlanması mümkün olmadığından, çözüme ulaşmak için bazı kabullerin ve hesaba katılmayan diğer faktörlerin etkisi laboratuvar model çalışmaları ile elde edilebilmektedir. Hazır paket programlarının kullanımı günümüzde oldukça yaygındır. Programa; çözülecek problem verileri uygun girilemediği takdirde hatalı sonuçlar vereceği açıktır. Her kullanıcı programı çoğunlukla etkin ve doğru bir şekilde kullanamayabilmektedir. Böylece teorik sonuçların deneysel verilerle tamamlanması ve karşılaştırılması halinde daha gerçekçi sonuçlar almak mümkün olmaktadır.

#### **3.2 Deney Düzenegi**

Bu çalışmayı yürütmek için Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik laboratuvarında mevcut bir deney düzenegi üzerinde değişiklikler yapılmıştır. Kurulan açık kanal, bir ana kanal ve bir adet toplama kanalından oluşmaktadır. Ana kanal 0.50 m genişliğinde ve 0.50 m yüksekliğindedir. Toplama kanalı 0.50 m genişliğinde 0.70 m yüksekliğindedir. Yan savakların yerleştirileceği kısımların karşısındaki toplama kanalı genişliği 1.30 m yarıçapında daire şeklinde inşa edilmiştir. Bunun nedeni labirent yan savaktan su savaklanırken serbest naplı ve akıma herhangi bir müdahale olmaması içindir Şekil (3.1).

Deney setinin tüm yan duvarları cam ve fleksiglas malzemedan inşa edilmiştir. İki kanalı birbirinden ayıran kısım ise sac malzemedan yapılmıştır. Set, püskürtme boya ile boyanmıştır. Set üzerine gerekli yerlere sakinleştiriciler yerleştirilmiştir. Deneyler yapılırken bu mevcut sakinleştiriciler yeterli gelmediği zaman su yüzüne paralel 6 inçlik demirden küçük karelere sahip bir sakinleştirici imal edilmiş, gerektiğinde kullanılmıştır. Bu şekilde limnimetre ile alınan okumalar oldukça hassas olmuştur.

Deney kanalı sırasıyla aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır:



Şekil 3.1 Deney düzeneği

### 3.2.1 Su Temin Borusu ve Debimetre

Su temin borusunun çapı 10 inç'tir (Şekil 3.1). Ana su temin borusundan yaklaşık 210 L/s debi alınabilmektedir. Laboratuvarımızda mevcut su temin sisteminde iki adet tank vardır. Biri bodrum katta diğeri üçüncü kattadır. Bodrum kattaki tank 100 m<sup>3</sup> ve üst kattaki tank ise 50 m<sup>3</sup> tür. Üst kattaki tank üzerinde bir dolusavak yapılmıştır. Bu şekilde deney süresince su seviyesi sabit tutulmaktadır. Bu tanka bodrumdaki tanktan su basan üç adet pompa mevcuttur. Bunların her biri yaklaşık 77 L/s su basabilmektedir. 75 L/s'ye kadar tek pompa, sonraki debiler için ise iki veya üç pompa çalıştırılmaktadır.

### 3.2.2 Deney Kanalını Besleyen Dinlendirme Havuzu

Kanalı besleyen dinlendirme havuzu üç bölmeden oluşmaktadır. Bunlar üzerinde sakinleştiriciler yerleştirilmiştir. Boyutları Şekil 3.3'te verilmiştir. Havuzun sonunda ise, debi ölçümü amacıyla 90° keskin kenarlı bir üçgen savak yerleştirilmiştir. Savağın tepe noktasının, havuz tabanından yüksekliği 0.95 m dir. Debi ölçümü debimetre ile yapıldığından üçgen savak sadece karşılaştırma için ilk aşamalarda kullanılmıştır.

### 3.2.3 Savaktan sonraki dinlendirme havuzu

Üçgen savaktan kanala akan su, 1.00x0.90 m boyutunda ikinci bir dinlendirme havuzunda dinlendirilmiştir. Bu havuzun, su giriş ve çıkışında sakinleştiriciler mevcuttur.

### 3.2.4 Yaklaşım Kanalı

Yaklaşım kanalı 4.50m'lik doğrusal giriş kanalı, 0.80 m geçiş kanalı ve 9.00 m uzunluğunda ve 0.50x0.50 m enkesitli doğrusal ana kanaldan oluşmaktadır.

### 3.2.5 Kıvrımlı Kanal

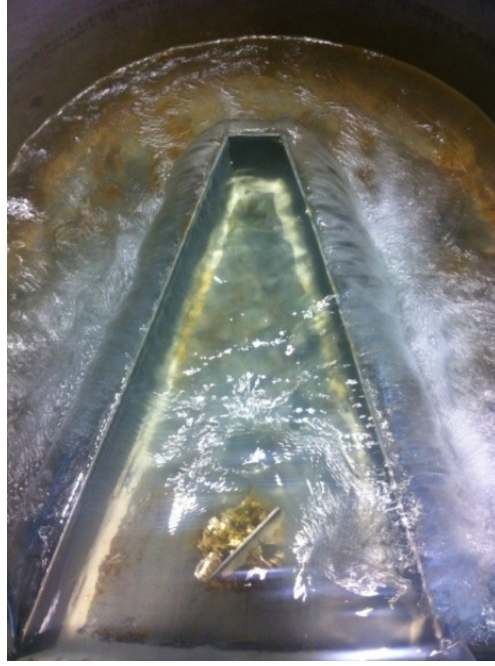
Kıvrımlı kanal,  $r_c = 3$  m eksen yarıçaplı ve 180°'lik kıvrımlı kanal kısmından oluşmaktadır. Kıvrımlı kanal üzerine 30°, 60°, 90°, 120°, 150°'lik kıvrım merkez açılarına yan savakların yerleştirileceği özel kapaklar inşa edilmiştir.

### 3.2.6 Doğrusal Çıkış Kanalı

Doğrusal çıkış kanalı 3 m uzunluğundadır. Toplama kanalı sonuna bir dikdörtgen savak yerleştirilmiştir. Bu kısımda iki adet sakinleştirici mevcuttur. Dorusal kanalın ana kanal sonunda iki parçalı ve düz seviye ayar kapağı yerleştirilmiştir. Bu kapakların boyutları 0.25x0.50 m'dir. Sakinleştirici olarak tuğlalardan da yararlanılmıştır.

### 3.2.7 Yan Savak Ayırma Duvarı

Ana kanal dış duvarı, 5 mm'lik sac malzemedен imal edilmiştir. Üst kısmı kutu profile tutturulmuştur. Bu duvar üzerinde kıvrım girişinden 365 cm membasında ve kıvrım kısmında 30°, 60°, 90°, 120°, 150°'lik daire yaylarını göreceк şekilde yan savak yerleri hazırlanmıştır. Bu kısımlara kapaklar imal edilmiştir. Hangi kısımda çalışılacaksa o kapak çıkartılmakta ve yerine çalışılacak yan savak yerleştirilmektedir. Her yan savak bölgesinde 0.25, 0.50 ve 0.75 m uzunluğunda, 0.12, 0.16 ve 0.20 m kret yüksekliğinde, 16° açıya sahip trapezlabirent savaklar olmak üzere 9 farklı yan savak boyutunda çalışılmıştır. Labirent yan savak üzerindeki akım Şekil 3.2'de verilmiştir.



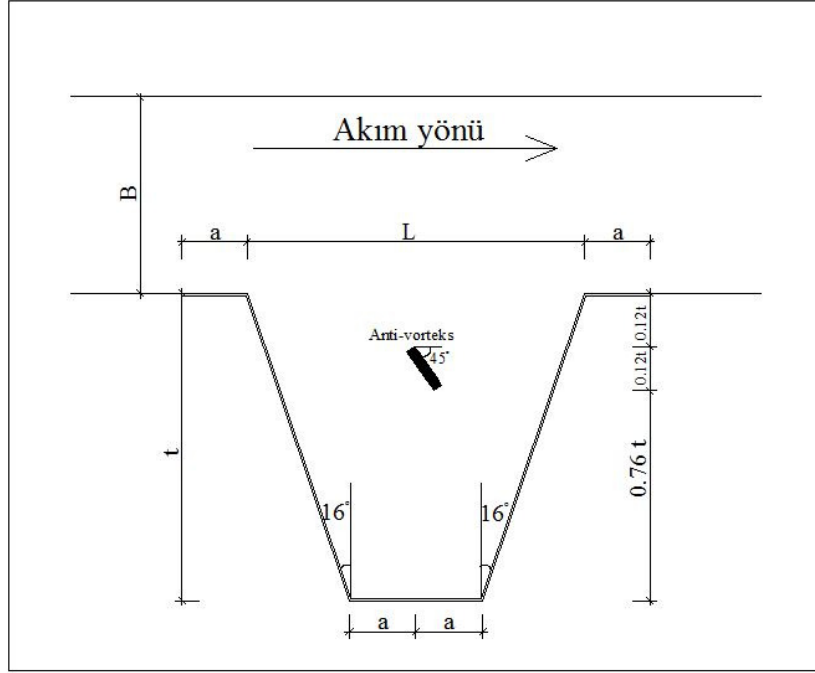
Şekil 3.2 Labirent yansavak üzerindeki akım

### 3.2.8 Anti-Vorteks Levhaları

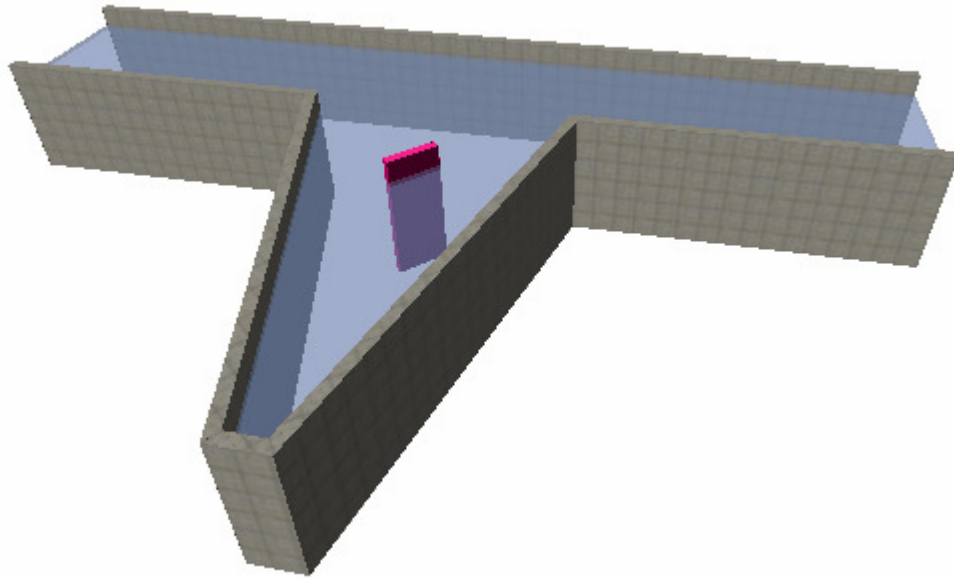
Antivorteks levhaları 3 mm'lik sac malzemeden imal edilmiştir. Tip1 düz levhadan oluşmakta olup, akım yönüne dik olarak kaynatılmış üç farklı yükseklikten oluşmaktadır. Levha yükseklikleri kret yüksekliklerine eşit olarak alınmıştır(Şekil 3.3(a,b)). “Et kalınlığı x Genişlik x Yükseklik” olmak üzere alınan anti-vorteks boyutları aşağıda verilmiştir (0.3 x 3.8 x 20 ; 0.3 x 3.8 x 16 ;0.3 x 3.8 x 12).



Tip2 düz levhadan oluşma olup savak akım yönüne  $135^\circ$  açıyla labirent savak tabanına kaynatılmış üç farklı yükseklikten oluşmaktadır (Şekil 3.4 (a,b)). Boyutları  $(0.3 \times 5.4 \times 20 ; 0.3 \times 5.4 \times 16 ; 0.3 \times 5.4 \times 12)$  şeklindedir.

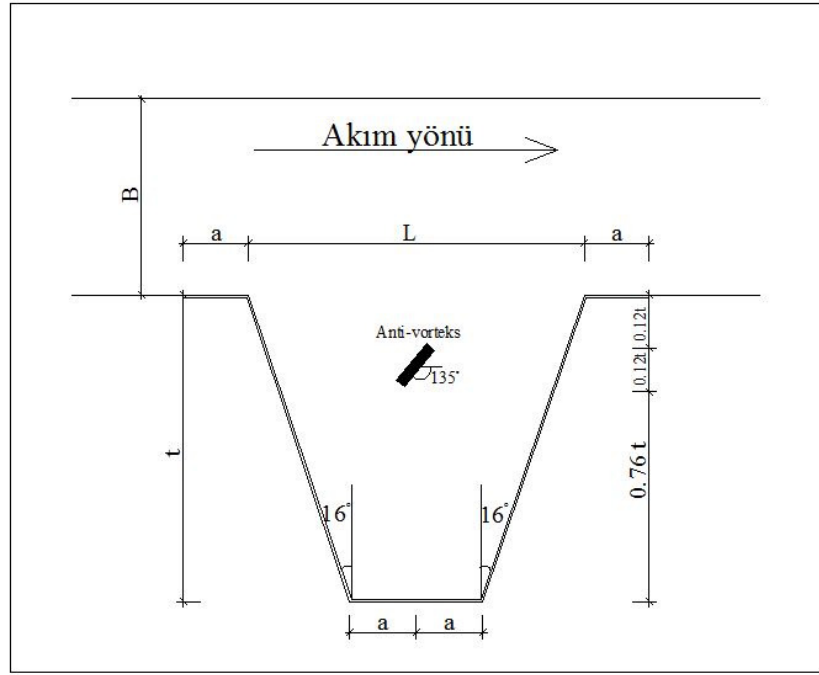


(a) Tip 2 kodlu anti-vorteks yerleşim planı

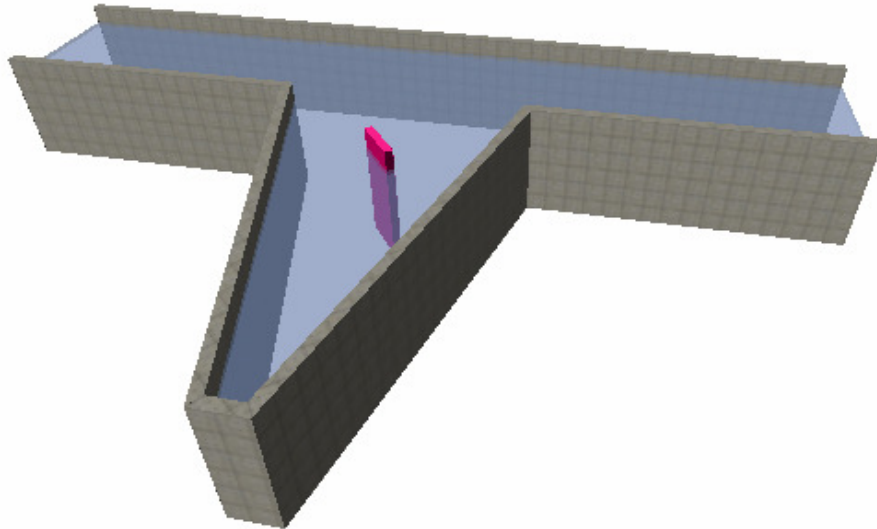


Şekil 3.4(a,b) Tip 2 kodlu anti-vorteksın plan ve perspektifi

Tip3 düz levhadan oluşmakta olup savak akım yönüne  $45^\circ$  açıyla labirent savak tabanın yerleştirilmiş üç farklı yükseklikten oluşmaktadır (Şekil 3.5 (a,b)). Boyutları  $(0,3 \times 5,4 \times 20 ; 0,3 \times 5,4 \times 16 ; 0,3 \times 5,4 \times 12)$  şeklindedir.

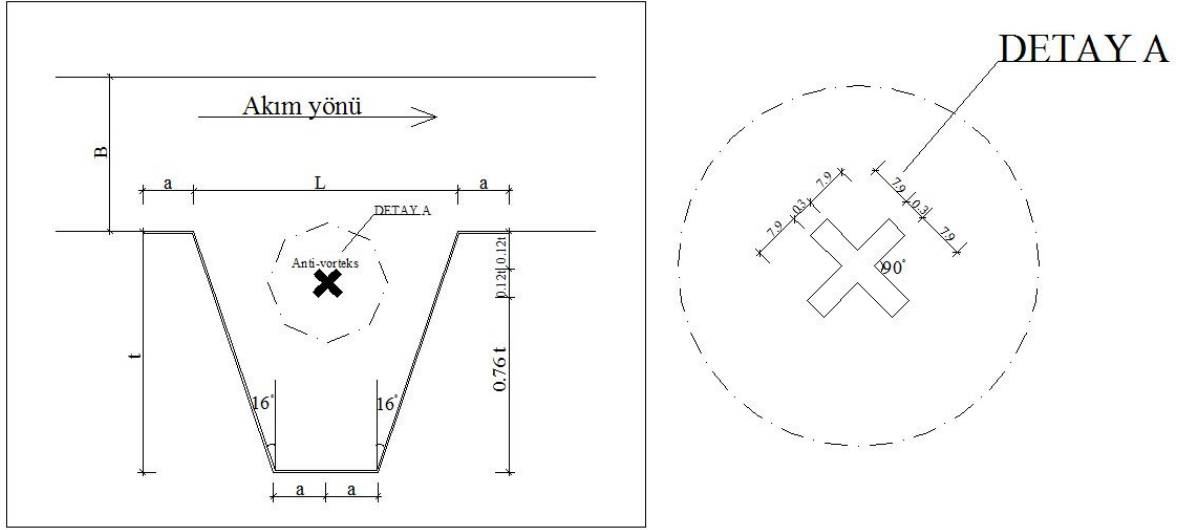


(a) Tip 3 kodlu anti-vorteks yerleşim planı

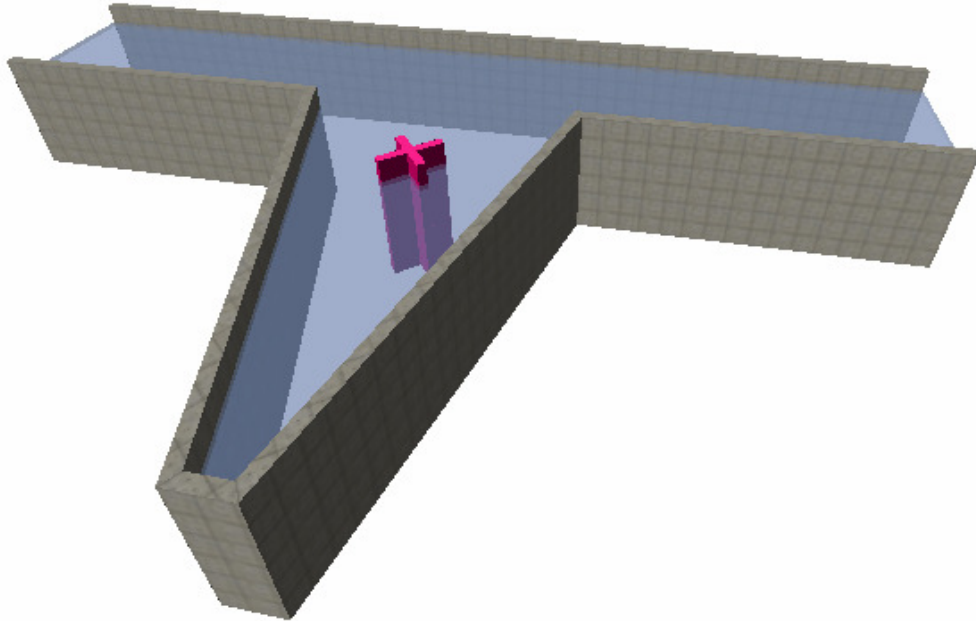


Şekil 3.5(a,b)Tip 3 kodlu anti-vorteksin perspektifi

Tip4 dört adet levhannın birbirine dik olarak kaynatılması ile oluşturulan × şeklindedir. Boyutları (4 adet 0,3 x 8 x 20 – 4 adet 0,3 x 8 x 16 – 4 adet 0,3 x 8 x 12) şeklindedir (Şekil 3.6).



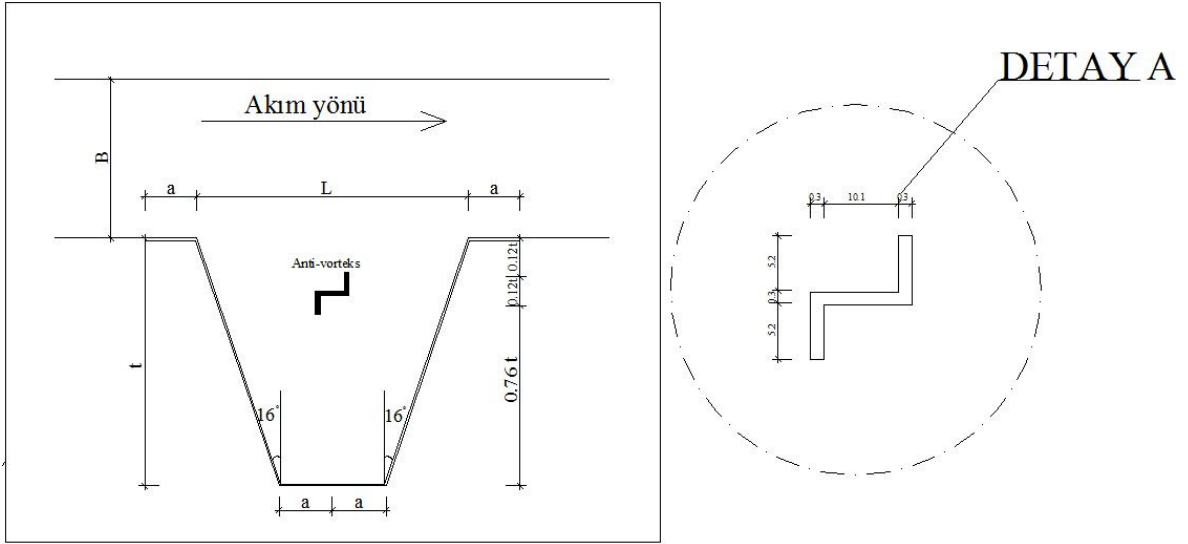
(a) Tip 4 kodlu anti-vorteks yerleşim planı



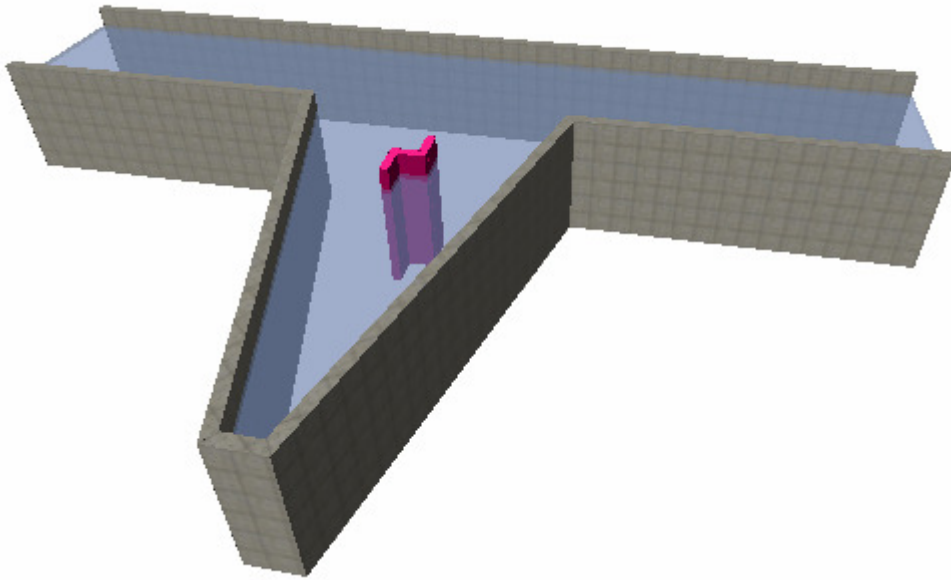
Şekil 3.6(a,b)Tip 4 kodlu anti-vorteksin perspektifi



Tip6 üç adet levhanın birine birine kaynatılması ile oluşturulan basamak şeklinde bir anti-vortekstir. Boyutları (3 adet 0.3 x 2 x 20 ; 3 adet 0.3 x 2 x 16 ; 3 adet 0.3 x 2 x 12) şeklindedir (Şekil 3.8).



(a) Tip 6 kodlu anti-vorteks yerleşim planı



Şekil 3.8 (a,b) Tip 6 kodlu anti-vorteksin perspektifi

### **3.2.9 Toplama Kanalı**

Yan savaklardan savaklanan su toplama kanalı ile uzaklaştırılmaktadır. 0.50x0.70 m enkesitinde olan bu toplama kanalı 9 m doğrusal kısım, 3.50 m eksen yarıçapına sahip 180°lik daire yay parçası ve 3 m lik doğrusal çıkış kanalından ibarettir. Toplama kanalının sonuna 0.50 m genişlikli ve 0.0705 m eşik yükseklikli bir dikdörtgen savak yerleştirilerek savaklanma debisi belirlenmiştir. Bunun içi dikdörtgen savaktan 40 cm ötede bir elektronik limnometre ( $\pm 0.01$  mm hassasiyetli) sabit olarak yerleştirilmiştir.

### **3.2.10 Boşaltım Havuzu**

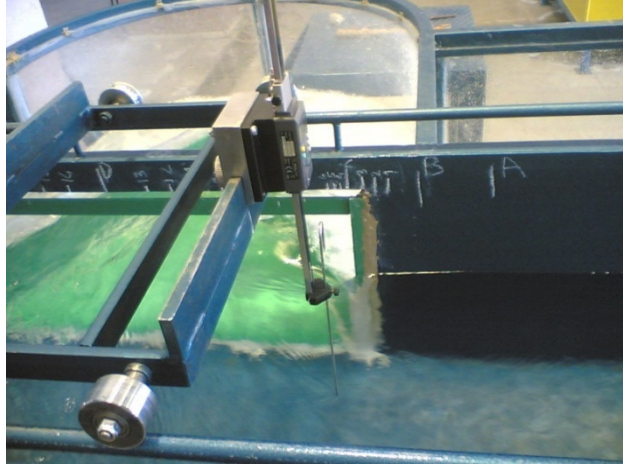
Ana kanal ve toplama kanalından dökülen su boşaltım havuzuna dökülmektedir. Bu kısımdaki su seviyesini düşük tutmak ve batık akım oluşumunu önlemek amacıyla bu kısım Şekil 3.1'deki gibi tasarlanmıştır.

### **3.2.11 Boşaltım Havuzuna Bağlı Kanal**

Boşaltım havuzundaki suyu ana tahliye kanalına veren taban eğimi büyük bir kanal inşa edilmiştir. Bu kısımda taban eğimi büyük olduğundan akım sel rejiminde olmakta ve boşaltım havuzunda suyun kabarması önlemektedir. Böylece, dikdörtgen savaktan savaklanan su serbest naplı olarak dökülmektedir.

### **3.2.12 Hareketli Seviye Ölçüm Arabası**

Ana kanal ve yan savak üzerindeki seviye ölçümleri raylar üzerinde hareket eden arabaya monte edilmiş elektronik limnometre ( $\pm 0.01$  mm hassasiyetli) ile yapılmıştır. Araba hem doğrusal kısımda ve hem de kıvrımlı kısımda rahatlıkla hareket edecek şekilde tasarlanmıştır. Böylece, hem x ve hem de y doğrultusunda okumalar alınabilmektedir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Hareketli seviye ölçüm arabası

### 3.2.13 Giriş Debisinin Ölçülmesi

Giriş debisi Siemens marka elektromanyetik bir debimetre kullanılarak belirlenmiştir. Debiler L/s cinsinden ölçülmüştür. Ayrıca, 90° ince kenarlı bir savak ile elde edilen debilerle karşılaştırılmıştır. Giriş debisi Şekil 3.10'da görülen debimetre ile ölçülmüştür. Debi değerinin ayarlanması ise Şekil 3.11'de görülen vana yardımıyla yapılmıştır.



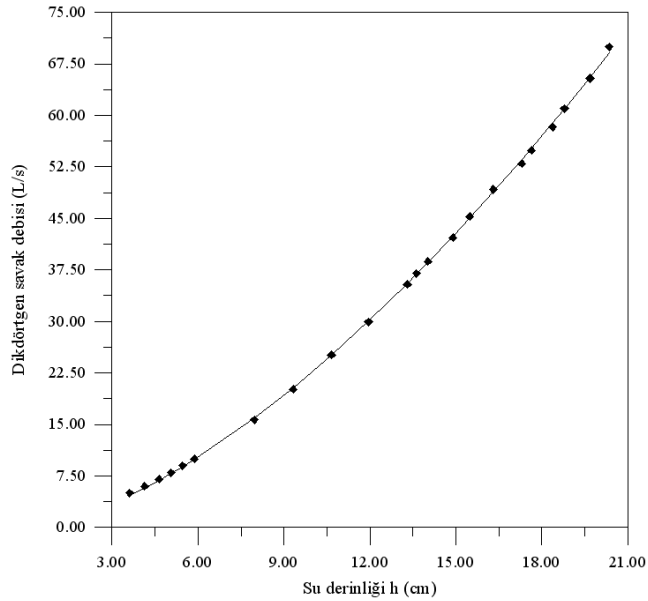
Şekil 3.10 Giriş debisini ölçen elektromanyetik debimetre



Şekil3.11 Giriş debisinin ayarlandığı debimetrenin ön kısmındaki vana

### 3.2.14 Toplama Kanalı Sonundaki Dikdörtgen Savak Anahtar Eğrisinin Elde Edilmesi

Dikdörtgen savak anahtar eğrisi, ana kanaldaki akımın tamamı toplama kanalına verilerek belirlenmiştir. Elektromanyetik debimetreden okunan debiler dikdörtgen savak üzerindeki nap kalınlığı ölçülerek elde edilen anahtar eğrisi Şekil 3.12’de verilmiştir. Toplama kanalı sonundaki dikdörtgen savak için elde edilen Eşitlik 3.1’de verilmiştir.



Şekil3.12Dikdörtgen savak anahtar eğrisi

$$Q_w = 0,619356y^{1,564577} \quad (3.1)$$

Burada,  $Q_w$  dikdörtgen savaktan savaklanan debi (L/s),  $y$  nap yükü (cm) dir.

### 3.3 Deneysel Çalışma

Bu çalışma, dikdörtgen enkesitli bir doğrusal kanalda gerçekleştirilmiştir. 18.20 m uzunluğundadır. Ana kanal genişliği 0.50 m ve toplama kanalı genişliği de 0.50 m'dir. Yan savak akımının gelişmesi açısından başlangıçtan yeteri uzaklıkta yerleştirilmiştir.



Şekil 3.13 Trapez Savak ve Tip4 antivorteks levha

Doğrusal kanalda yan savağın yeri, kıvrımdan etkilenmeyecek şekilde kıvrımdan yeterince uzakta seçilmiştir. Ayırma duvarının üzerinde çeşitli kret yüksekliklerinde trapezlabirent yan savaklar yerleştirilmiştir.

Ana kanal taban eğimi % 0.1'dir. Deneyler nehir rejimli ve kararlı akım şartlarında ve serbest savaklanma hali için gerçekleştirilmiştir. Yan savak nap kalınlığı (nap yükü) olarak, yan savak membasında ana kanal eksenindeki su derinliğine göre elde edilen nap kalınlığı dikkate alınmıştır. Literatürdeki birçok çalışmada bu şekilde alınmıştır (Coşar ve Ağaçoğlu, 2004; Ağaçoğlu ve Yüksel, 1998). Deneysel sonuçlarının yüzeysel gerilmeden etkilenmemesi için, minimum nap kalınlığı 30 mm olarak alınmıştır. Parmley (1905) ve Coleman ve Smith (1923) minimum nap yükünün 19 mm'den az olmaması gerektiğini ifade etmişlerdir. Fakat, Novak ve Cabelka (1981), deneysel çalışmalarında nap yükünü 30 mm olarak vermişlerdir. Bu nedenle, bu çalışmada minimum nap yüksekliğinin 3 cm olarak alınmasına özen gösterilmiştir.

Deneyler, önce doğrusal kanalda L=25, 50 ve 75 cm savak uzunluğuna sahip, p=12, 16 ve 20 cm kret yüksekliklerinde,  $\theta=16^\circ$  lik yan duvar açısına sahip trapez labirent savaklarda yapılmıştır.

Debi katsayılarının belirlenmesi ve akım özelliklerinin deneysel olarak incelenmesi için aşağıdaki parametreler dikkate alınmıştır.

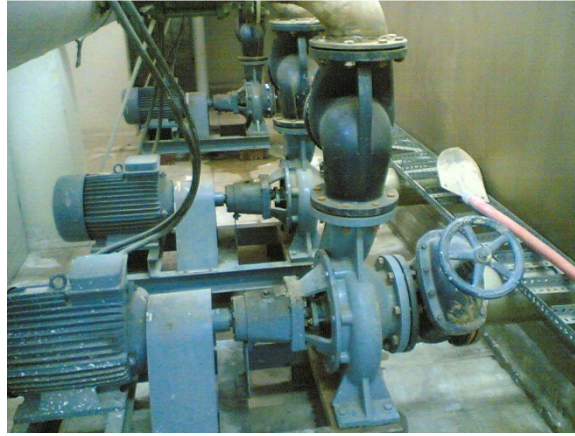
- **L=0.25, L=0.50 ve L=0.75 m (savak açıklığı) (3 parametre)**
- **p=0.12, p=0.16 ve p=0.20 m (kret yüksekliği) (3 parametre)**
- **L=50 için Tip1-Tip2-Tip3-Tip4-Tip5-Tip6-Antivorteksiz (6 parametre)**
- **L=25 için Tip2-Tip3-Tip6-Antivorteksiz (3 parametre)**
- **L=75 için Tip2-Tip3-Tip6-Antivorteksiz (3 parametre)**
- **Her deney dizisi 10-140 L/s arasında (10 farklı debi)**

L=50 için yapılan deney sayısı 256'dır. Bu deneyin amacı belirlenen anti-vorteks tipleri arasındaki en etkili 3 antivorteks tipini belirlemektir. Veriler neticesinde Tip2 – Tip3 – Tip6 seçilmiştir. Ve bunların etkilerini farklı debi, savak uzunluğu ve kret yüksekliklerinde belirlemek amacı ile L=25 ve L=75 cm'de 281 adet deney olmak üzere toplamda 537 adet deney yapılmıştır.

Deney verilerini elde etmek ve grafik karşılaştırmalarını yapmak için her deneyde 6 farklı noktadan derinlik okuması yapılmış, nap yükü ve debi kontrol edilmiştir. 8 adet veri her deney için okunmuş olup toplamda  $537 \times 8 = 4296$  okuma yapılmıştır. Bu okumalar formülize edilerek 14 adet değer ( $Q_w / (L/s)$ ,  $Q_2 / (L/s)$ ,  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$ ,  $\Delta\Phi_{v_1, v_2}$ ,  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $C_d$ ,  $F_1$ ,  $L/B$ ,  $L/L'$ ,  $(y_1 - p)/p$ ) elde edilmiş olup grafiklerin oluşumu için toplamda  $537 \times 14 = 7518$  veri kullanılmıştır.

İlk önce labirent yan savaklar doğrusal kanala yerleştirilmiştir. Labirent yan savak teknesi ile ana kanal kotu aynıdır. Önceden hazırlanan anti-vorteksler labirent ya savak teknesi içerisinde kaynakla tutturulmuştur. Anti-vorteksin yeri Şekil 3.3-8'de gösterildiği gibi “t” mesafesinin %12'sine ve savak açıklığının merkezine yerleştirilmiştir.

Fırat Üniversitesi Hidrolik Laboratuar'ında devir-daim sistemine bağlı iki adet tank mevcuttur. Bunlardan biri bodrum kattaki 100 m<sup>3</sup>'lük tank, diğeri ise 50 m<sup>3</sup>'lük üst kattaki tanktır. Üst kattaki tank üzerinde bir taşma savağı vardır. Bu savak yardımı ile bu tanktaki su seviyesi sabit tutulmaktadır. Bodrum kattaki tanka bağlı üç adet 22 kW'lık pompa bağlıdır. Bu pompaların her biri üst kattaki depoya yaklaşık 77 L/s lik debi basabilmektedir. Kıvrımlı kanal setinin çıkışındaki su bodrum kattaki depoya akmakta, buradan da pompalar yardımı ile üst kattaki depoya tekrar basılmaktadır (Şekil 3.14).



Şekil3.1422 kW'lık Pompalar

Deneyler yapılırken 75 L/s'ye kadar bir adet pompa, daha üst debiler için ise iki adet pompa çalıştırılması yeterli olmuştur. Kıvrımlı kanal deney setine su, ana su temin borusundan alınmıştır. Bu borunun çapı 10 inç'tir. Debi Siemens marka bir elektromanyetik debimetre ile ölçülmüştür. Bu debimetre yardımı ile  $\pm 0.01$  L/s hassasiyetle ölçümler gerçekleştirilmiştir. Debi ayarı debimetrenin memba kısmında bulunan bir vana yardımı ile ayarlanmıştır. Vana ile debimetre arasındaki mesafe debimetrenin kullanma kılavuzunda verilen mesafelere göre inşa edilmiştir. Toplama kanalına yan savaktan dökülen debinin ölçülmesi için ise toplama kanalının sonuna yerleştirilmiş ince kenarlı bir dikdörtgen savak yardımı ile ölçülmüştür.

Seviye ölçümleri Mitutoyo marka bir elektronik limnimetre ile yapılmıştır. Bu limnimetre yardımı ile  $\pm 0.01$  mm hassasiyetle ölçümler gerçekleştirilmiştir. Limnimetre ölçü aleti taşıyıcısı üzerine yerleştirilmiş, deney kanalı üzerindeki raylar üzerinde hareket ettirilerek ölçümler x ve y yönünde yapılmıştır.



(a) Üst kattaki depo



(b) Bodrum kattaki depo

Şekil 3.15(a,b) Hidrolik laboratuvarındaki tankları

## 4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

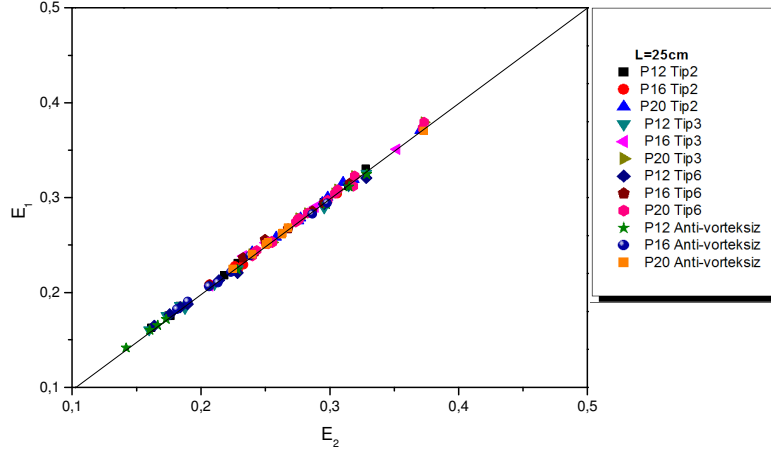
Bu tez kapsamında çalışmalar, doğrusal kanallara yerleştirilen trapez labirent yan savaklarda yürütülmüştür. Deneysel çalışma 25, 50, 75 cm yan savak açıklıklarında; 12, 16, 20 cm kret yüksekliklerinde ve altı farklı anti-vorteks için yapılmıştır. Çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, anti-vorteks levhalarının deşarj kapasitesine etkisi gözlemlenmiştir. İkinci aşamada anti-vortekslerin kullanımının temiz su oylmasına etkisi araştırılmıştır.

### 4.1 Anti-Vorteks Kullanımının Deşarj Kapasitesine Etkisi

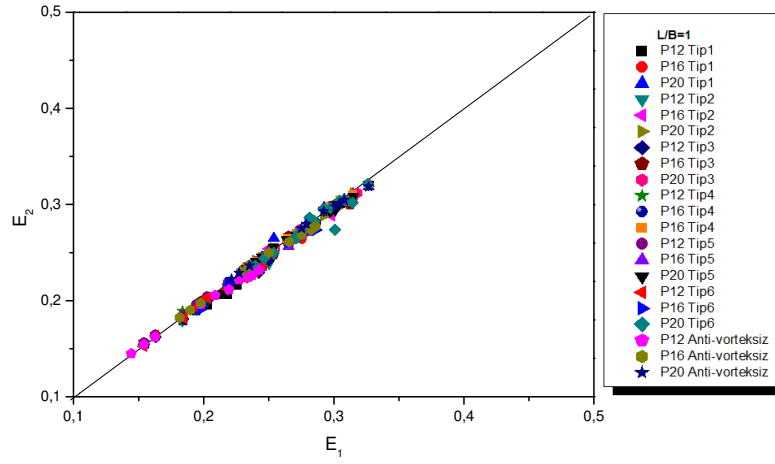
Anti vorteks yapısının yan savak deşarj kapasitesine etkisini araştırmak için Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Hidrolik Labaratuvarında bir dizi deneyler gerçekleştirilmiştir. Yan savak debi katsayısının değişimi incelenirken Froude sayısı ( $F_1$ ), boyutsuz yan savak açıklığı ( $L/B$ ), boyutsuz nap yükü ( $y_1-p$ )/ $p$  ve yan savak tepe açısı ( $\theta$ ) parametreleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Yan savak tepe açısı ( $\theta = 16^\circ$ ) sabit olarak alınmıştır. Sabit alınmasının nedeni bu çalışmada farklı tipteki anti-vorteks yapısının etkisini birbiri ile karşılaştırmaktır. Aksi halde deney sayısı oldukça artacak ve böylece daha fazla gereksiz enerji harcanmış olunacağından deney sayısı sınırlandırılmıştır.

De Marchi (1934) yönteminin uygulanabilmesi için ana kanalın dikdörtgen enkesitli olması gerekmektedir. Aksi halde De Marchi yöntemi kanal enkesit alanına göre uyarlanmalıdır. Yan savağın memba ve mansap uçlarındaki özgül enerjinin ( $E = y + \frac{v^2}{2g}$ ) sabit olduğu kabulünün yapılabilmesi gerekmektedir. Çalışmalar dikdörtgen enkesitli bir açık kanalda yürütüldüğü için De Marchi eşitliğini uyarlama yapmadan doğrudan kullanılmıştır. Ayrıca yan savak memba ve mansap uçlarındaki özgül enerji farkı ihmal edilebilecek düzeyde olmalıdır. Borghei ve diğ. (1999) bu değer %4'ten az olması durumunda De Marchi yönteminin kullanılabilirliğini belirtmişlerdir.

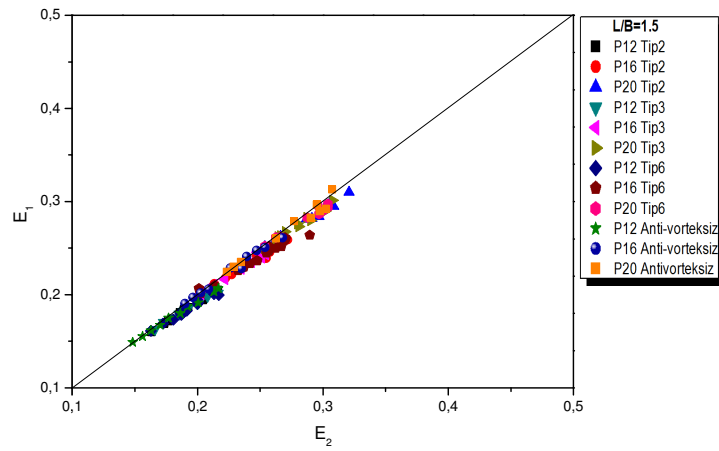
Şekil 4.1'de memba ve mansaptaki özgül enerji değişimi çizilmiştir. Şekil (4.1)'de de görüldüğü gibi hemen hemen tüm veriler 45 derecelik hatta yakın çıkmıştır.  $E_1$  ve  $E_2$  arasındaki fark ortalama olarak % 0.8 civarındadır. Böylece bu çalışmada De Marchi yöntemi güvenle kullanılabilir.



(a)



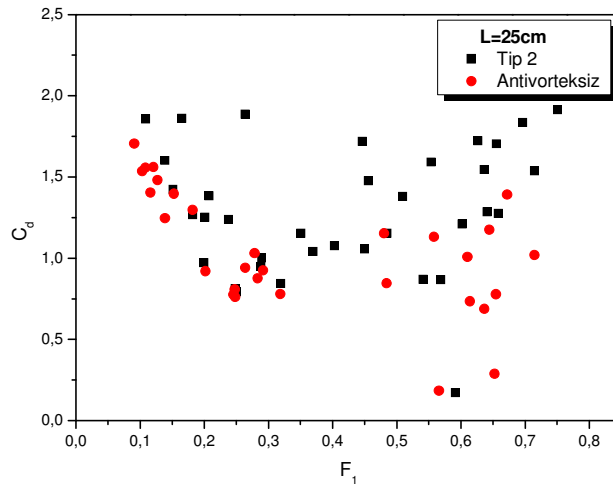
(b)



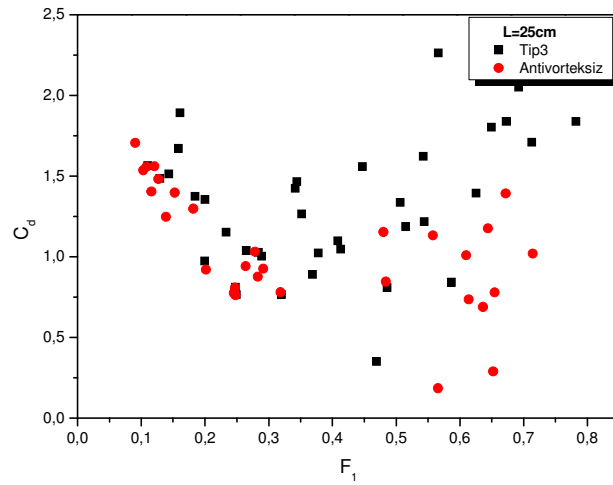
(c)

Şekil 4.1(a-c) Memba ve mansap uçlarındaki özgül enerjinin değişimi

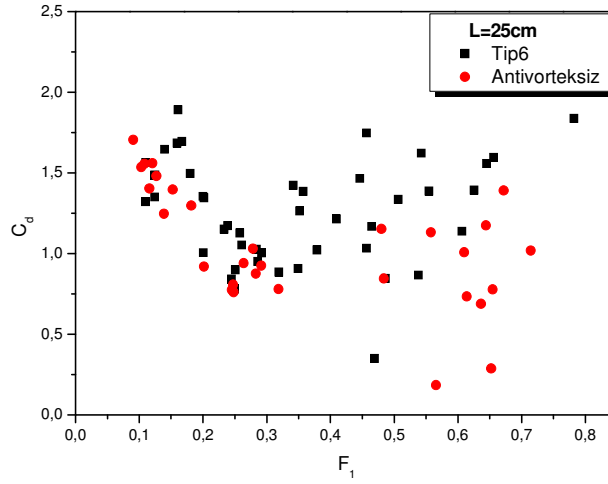
Şekil 4.2’de debi katsayısının Froude sayısı ile değişimi görülmektedir. Burada,  $L/B=0.50$  için Tip2, Tip3, Tip6 ve Anti-vorteksiz trapez labirent yan savaklarda deşarj kapasitesinin Froude sayısı ile değişimi görülmektedir. Froude sayısının artması ile debi katsayısı değerlerinin azaldığı görülmektedir. Elde edilen bulgular Borghei ve diğ. (2011) tarafından bulunan azalma eğilimi ile oldukça uyumludur. Anti-vorteksiz trapez labirent yan savağın antivorteksli trapez labirent yan savağın debi katsayısı değerlerinden çoğunlukla daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni labirent yan savak teknesindeki vorteks azalmasıdır. Bu bulgulara dayanarak anti-vorteks kullanımının deşarj kapasitesini arttırdığı söylenebilir. Kullanılan farklı anti-vorteks yapılarının da farklı debi katsayısı değerlerine sahip olduğu görülmektedir.



(a)



(b)



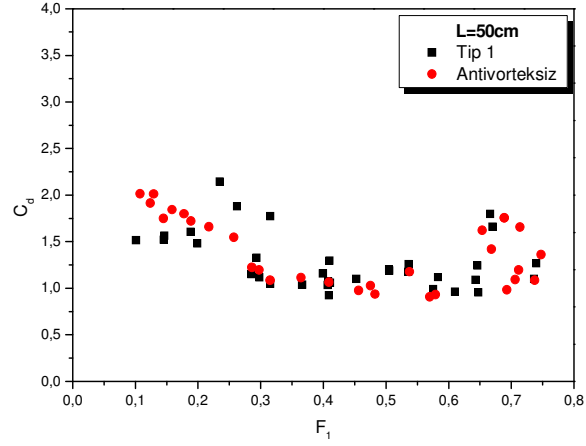
(c)

Şekil 4.2(a-c) L/B=0.5 için Tip 2, Tip 3 ve Tip 6 ile anti-vorteksiz labirent yan savaklarda  $F_1$  ile  $C_d$ 'nin değişimi

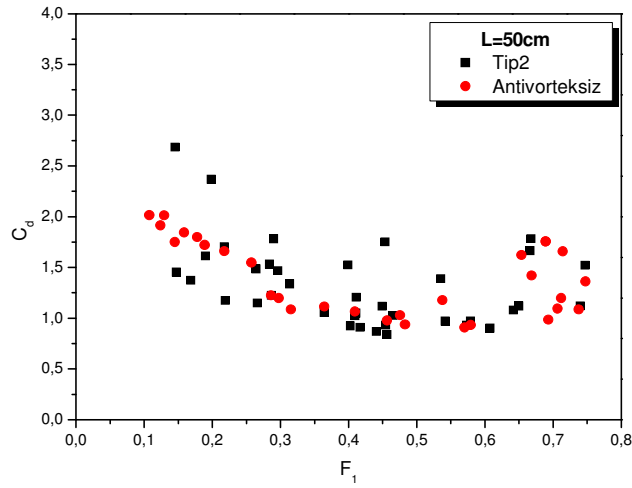
Şekil 4.3'te verilen grafikler incelendiğinde ;

- Şekil4.3(a) Tip1 kodlu anti-vorteksin  $L=50\text{cm}$ ' de Froude sayısı ile debi katsayısında değişimi görülmektedir. Anti-vorteks kullanmanın deşarj kapasitesi üzerindeki etkileri  $L/B=0.5$ 'te olduğu gibi belirgin değildir. Yine de anti-vorteks kullanımının olumlu etkileri görülmektedir. Deşarj kapasitesini arttırmadaki performansın düşmesinin nedeninin anti-vorteksin yeri ile ilgili olduğu düşünülmektedir.
- Şekil4.3(b)Tip 2 kodlu antivorteks önleyicinin debi katsayılarının Froude Sayısının anti-vorteksiz debi katsayısına yakın değerlerde olduğu anlaşılmakta ancak literatür uyumluluğu açısından Froude Sayısının artmasına bağlı olarak debi katsayısının azaldığı görülmektedir.
- Şekil4.3(c) Tip3 kodlu anti-vorteksin deneyin geneli itibari ile debi katsayısını benzer Froude değerleri ile anti-vorteksiz durum için karşılaştırıldığında etkili olduğu ve debi katsayısını düşürdüğü görülmektedir.
- Şekil4.3(d)Tip4 kodlu anti-vorteksin incelemesinde ise debi katsayısının antivorteksiz deneye göre daha düşük olduğu anlaşılmaktadır.
- Şekil4.3(e)Tip5 kodlu anti-vorteks Tip4 kodlu anti-vorteks ile benzer sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

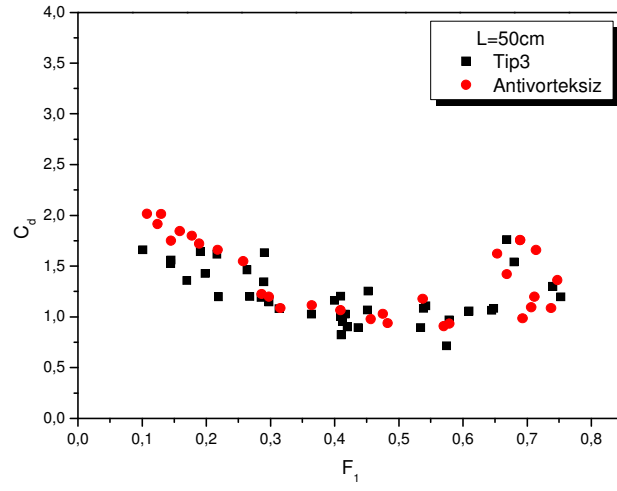
- Şekil4.3(f)Tip6 kodlu anti-vorteks deneyinin incelenmesi sonucu ciddi farklılıklar oluşturduğu ve anti-vorteksiz deney düzeneğine oranla debi katsayılarının özellikle 0.2 Froude sayısı değerine kadar ciddi anlamda yükseldiği gözlemlenmiştir.



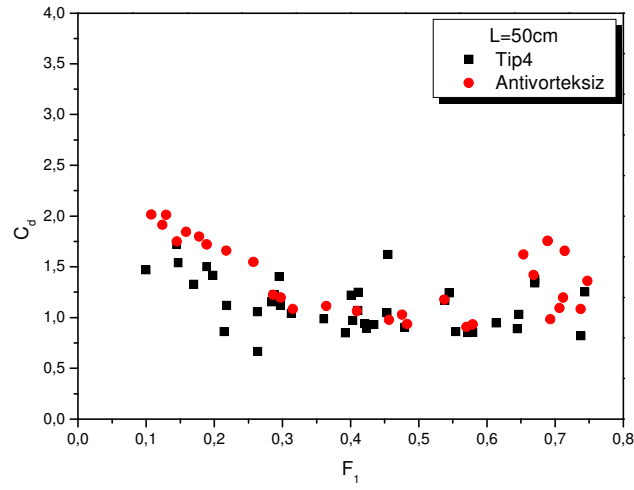
(a)



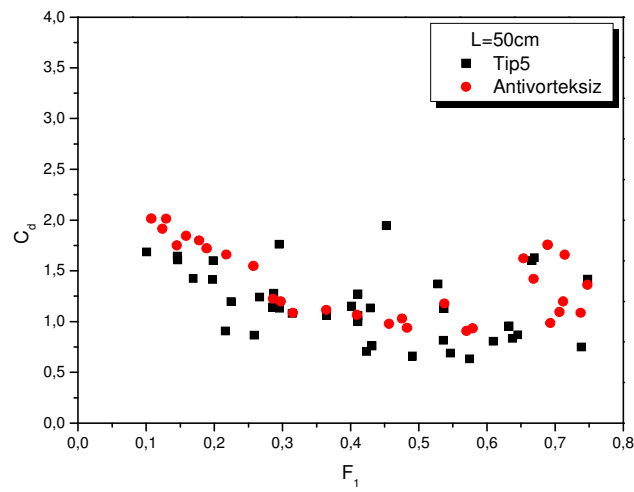
(b)



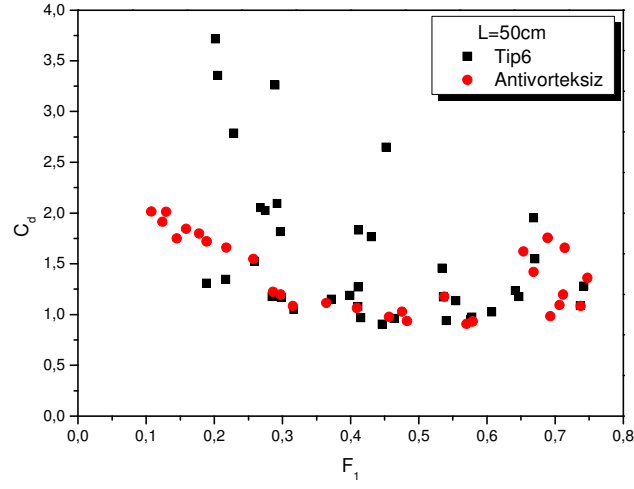
(c)



(d)



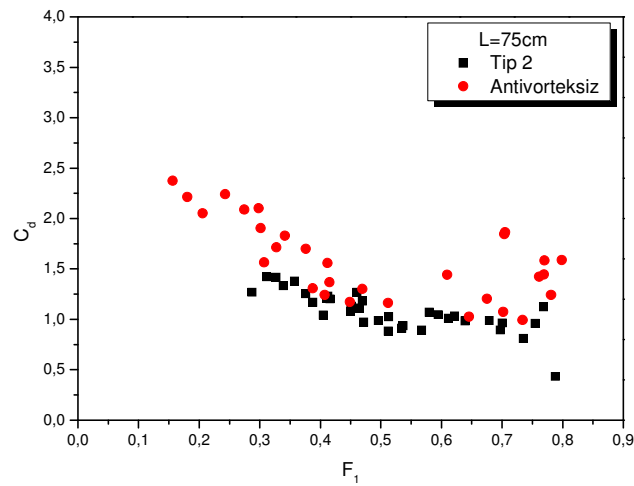
(e)



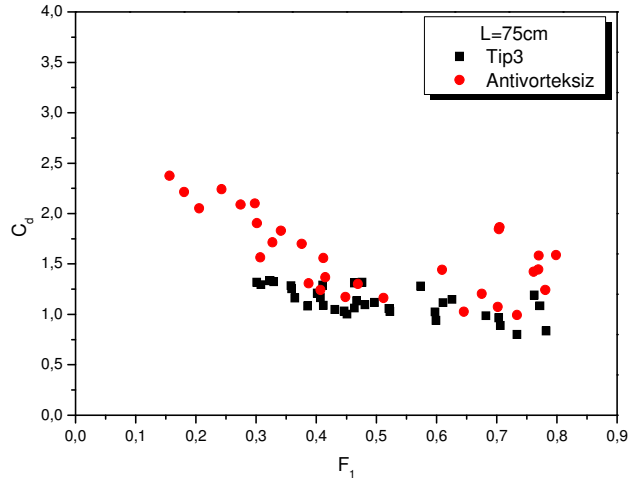
(f)

Şekil 4.3(a-f)  $L/B=1$  için Tip 1, Tip 2, Tip 3, Tip 4, Tip 5 ve Tip 6 ile antivorteksiz labirent yan savaklarda  $F_1$  ile  $C_d$ 'nin değişimi

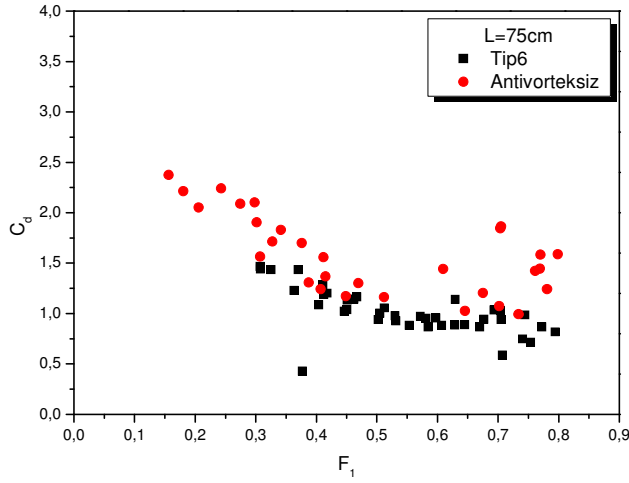
$L/B=1.5$  için Froude Sayısı ile debi katsayısı değerleri incelendiğinde Tip2, Tip3 ve Tip6 kodlu anti-vortekslerin benzer şekilde davrandığı ancak savak açıklığının artması ile birlikte antivortekslerin debi katsayısı üzerindeki etkileri seçilen boyutlar nedeni ile tam olarak tespit edilememiştir (Şekil 4.4).



(a)



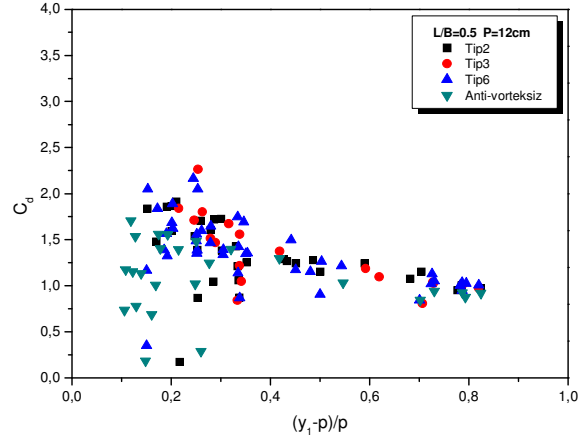
(b)



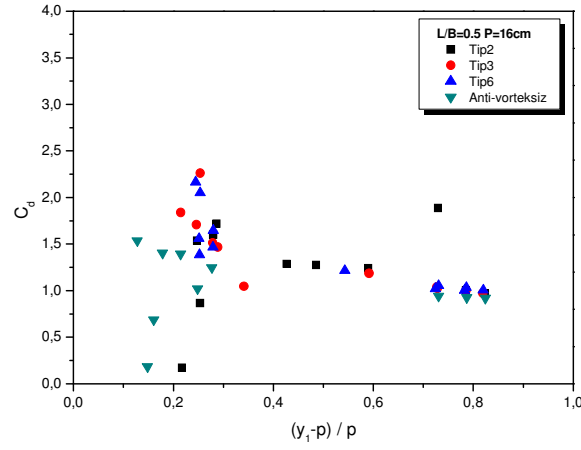
(c)

Şekil 4.4(a-c)  $L/B=1.5$  için Tip 2, Tip 3 ve Tip 6 ile antivorteksiz labirent yan savaklarda  $F_1$  ile  $C_d$ 'nin değişimi

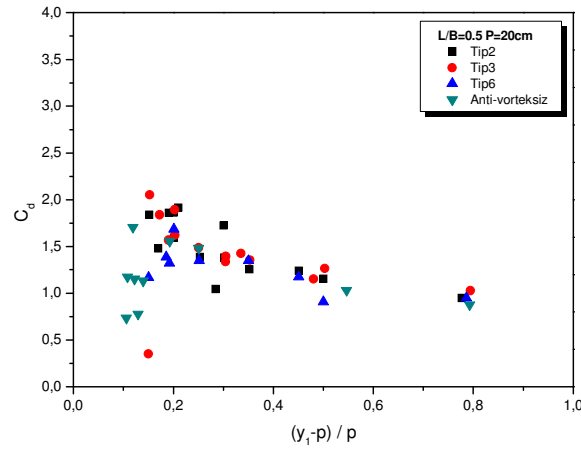
Şekil 4.5(a-c) incelendiğinde anti vorteks kullanmanın etkili olduğu görülmektedir. Anti vortekslerin küçük  $L/B$  oranlarında daha etkili olduğu görülmektedir.



(a)



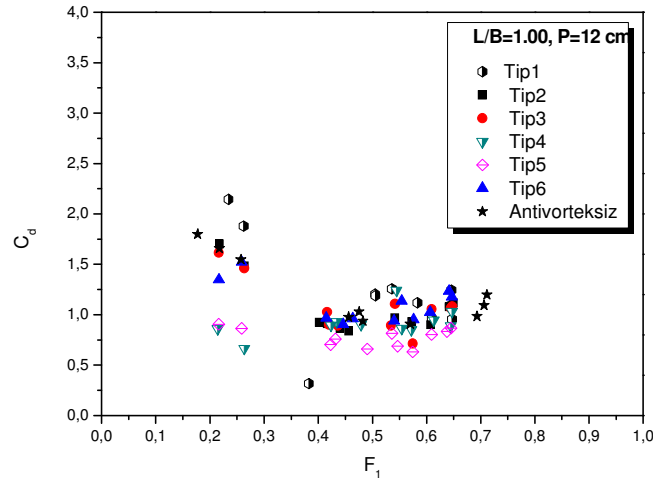
(b)



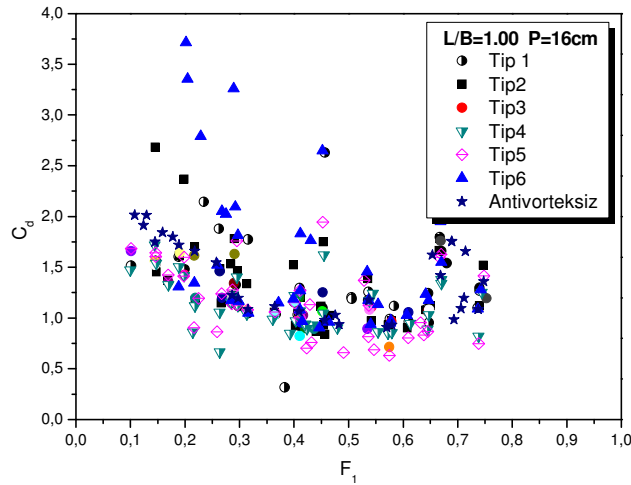
(c)

Şekil 4.5(a-c)  $L/B=0.5$  için trapez labirent yan savaklarda  $(y_1-p)/p$  ile  $C_d$ 'nin değişimi

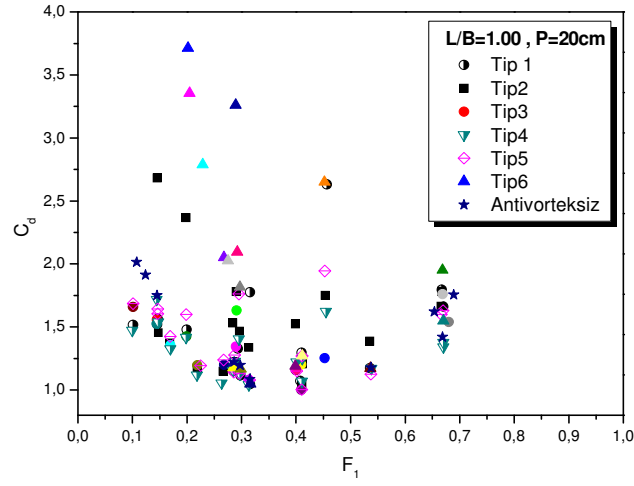
Labirent yan savaklarda nap yükünün artması ile deşarj kapasitesinin azaldığı Tullis ve diğ. (1995) tarafından ve daha birçok araştırmacı tarafından belirtilmiştir. Emiroğlu ve diğ. (2010) labirent yan savaklarda da nap yükünün artması ile deşarj kapasitesinin azaldığını deneysel çalışma ile ıspatlamışlardır. Bu çalışma sonuçlarına göre de deşarj kapasitesi nap yükünün artması ile azalmaktadır. Böylece bu çalışma sonuçları literatür ile uyumludur.



(a)



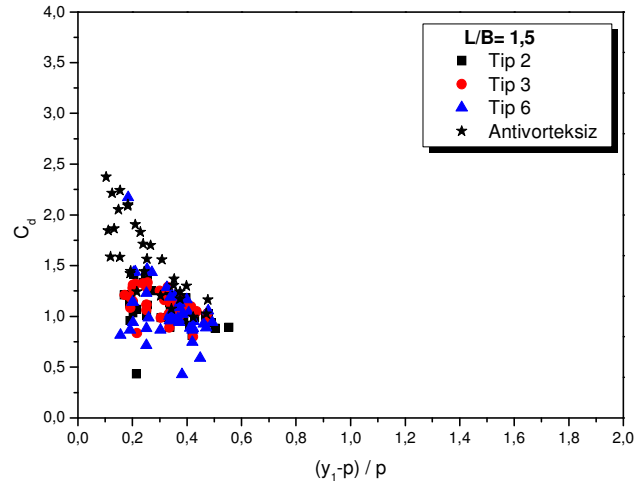
(b)



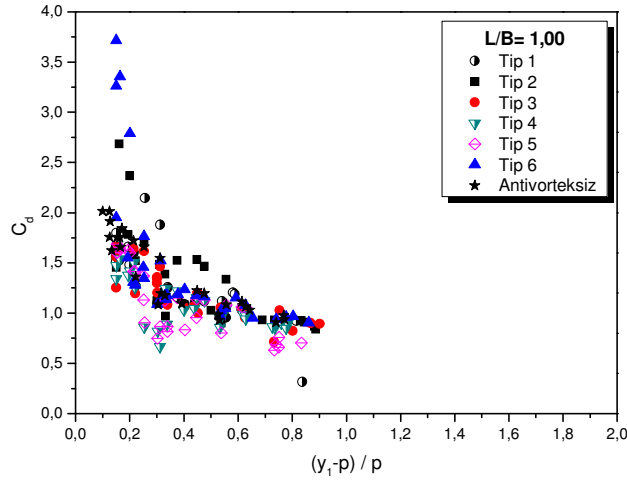
(c)

Şekil 4.6(a-c)  $L/B=1$  için trapez labirent yan savaklarda  $F_1$  ile  $C_d$ 'nin değişimi

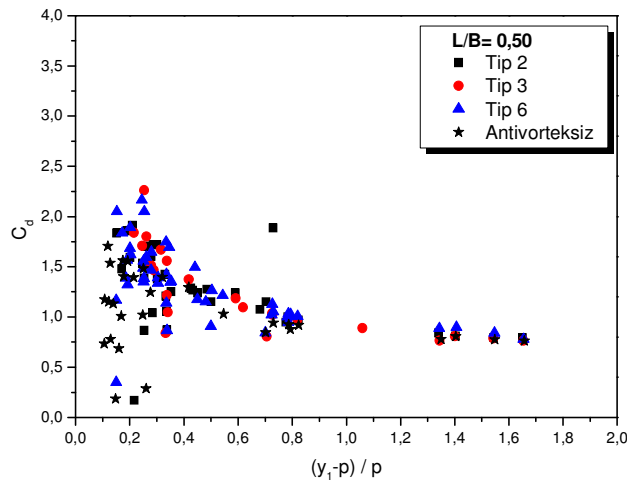
Nap yükünün artması ile debi katsayısı değerlerinde azalma gözlenmiştir. Bulgular yukarıda verilen literatür ile uyumludur.



(a)



(b)



(c)

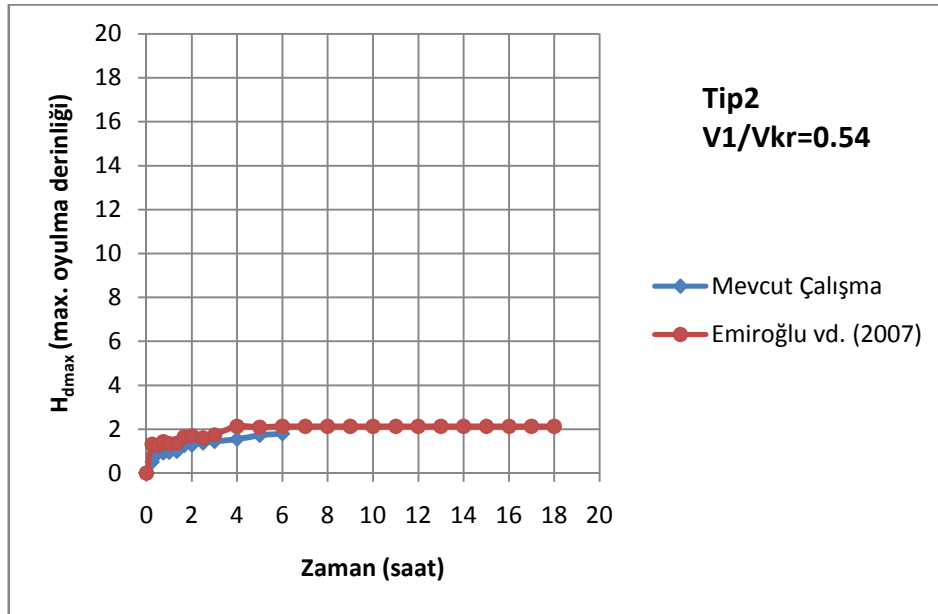
Şekil 4 7(a-c) L/B=1.5 için trapez labirent yan savaklarda  $(y_1-p)/p$  ile  $C_d$ 'nin değişimi

## 4.2 Temiz Su Oyulmasında Anti-Vorteks Kullanımının Oyulma Derinliğine Etkisi

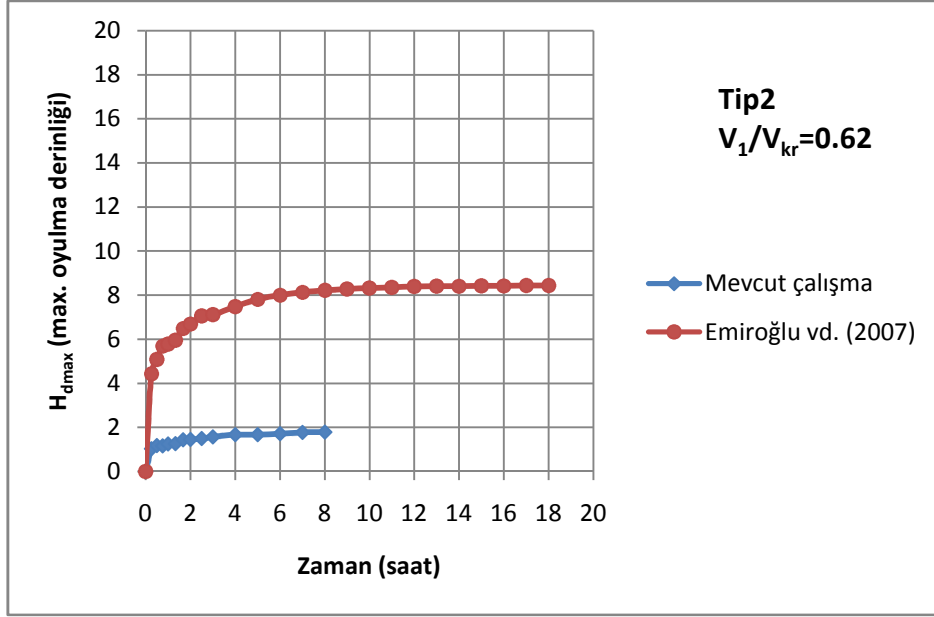
Akarsularda su alma bölgesinde oluşan oyulma, hidrolik mühendisliğin önemli problemlerindendir. Oyulmanın hangi bölgede olacağını bilmesi oldukça önemlidir. Oyulmanın beklendiği bölgeler riprap ve benzeri bir uygulama ile kontrol altına alınmaktadır. Bu çalışmada anti-vorteks yapısının oyulma derinliğine ve taban geometrisine etkisini görmek amacıyla  $L=40$  cm savak açıklığına yerleştirilen anti-vorteksli labirent yan savaklarda temiz su oyulması deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Maksimum oyulma derinliğinin zamanla değişimi Şekil 4.8’de verilmiştir. Oyulma deneyleri farklı akım şiddetleri ( $V_1/V_{kr}$ ) için yapılmıştır. Burada  $V$  ana kanaldaki ortalama akım hızı (m/s) ve  $V_{kr}$  ise, danelerin harekete başladığı kritik akım hızıdır. Şekil 4.8(a-d)’de görüldüğü gibi akım şiddetinin artması ile maksimum oyulma derinliği de artmıştır. Genellikle 6saatten sonra oyulma derinliğindeki artış oldukça azalmıştır. İleriki zamanlarda bir asimtot oluştuğu gözlenmiştir. Denge oyulma derinliğinin tespiti için çok uzun süreye ihtiyaç olduğu bilindiğinden deney süreleri enerji tasarrufu için devam ettirilmemiştir.

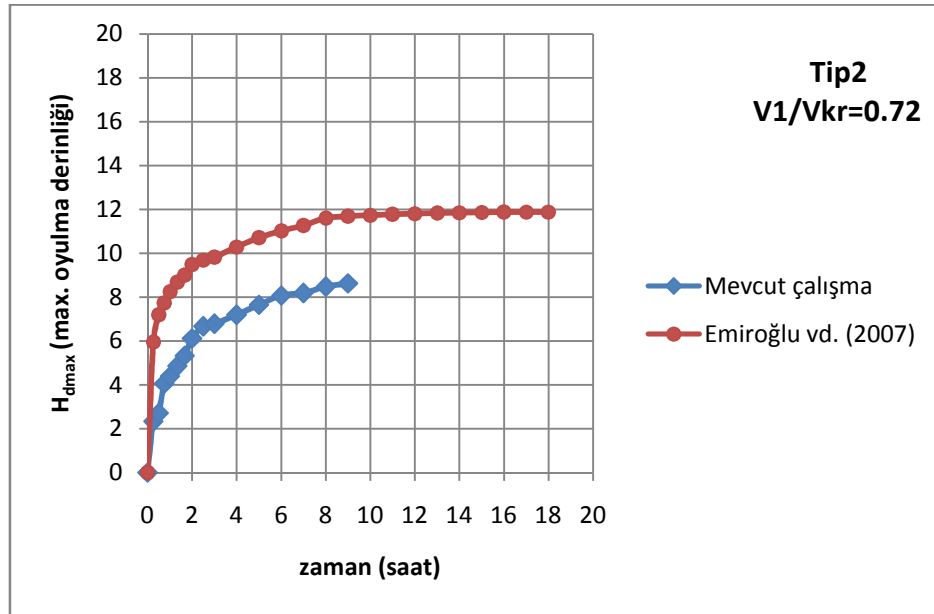
Anti-vorteks kullanılması durumunda oyulma derinliklerinin özellikle büyük akım şiddetlerinde oyulma derinliğinin azalmasına neden olduğu Şekil 4.8(a-d)’de görülmektedir. Bunun nedeni labirent savak teknesi üzerinde vorteksin azalmasıdır.



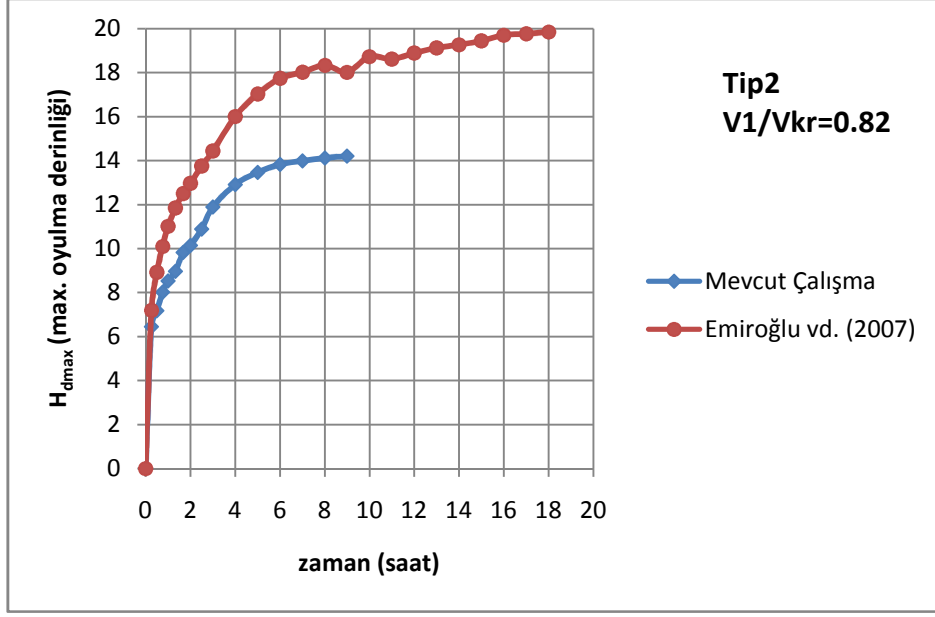
(a) Tip 2,  $V_1/V_{kr}=0.54$ ,  $L=40$  cm,  $p=12$  cm için maksimum oyulma derinliğinin zamanla değişimi



(b) Tip 2,  $V_1/V_{kr}=0.62$ ,  $L=40$  cm,  $p=12$  cm için maksimum oyulma derinliğinin zamanla değişimi



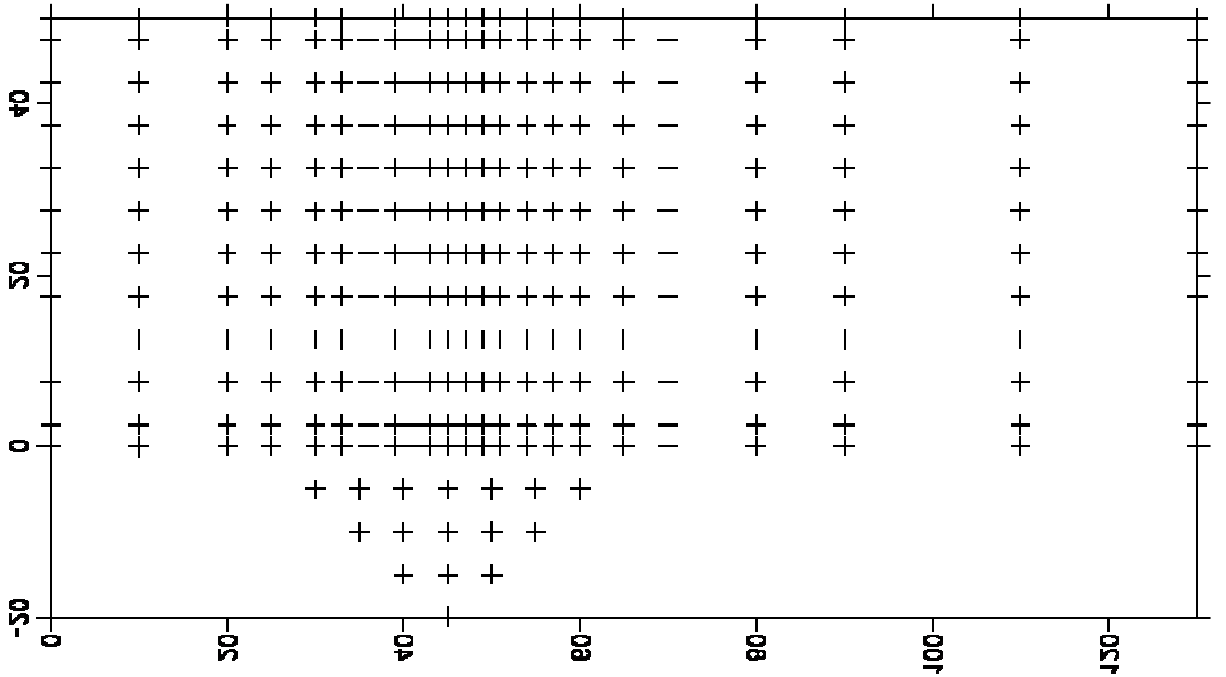
(c) Tip 2,  $V_1/V_{kr}=0.72$ ,  $L=40$  cm,  $p=12$  cm için maksimum oyulma derinliğinin zamanla değişimi



(d) Tip 2,  $V_1/V_{kr}=0.82$ ,  $L=40$  cm,  $p=12$  cm için maksimum oyulma derinliğinin zamanla değişimi

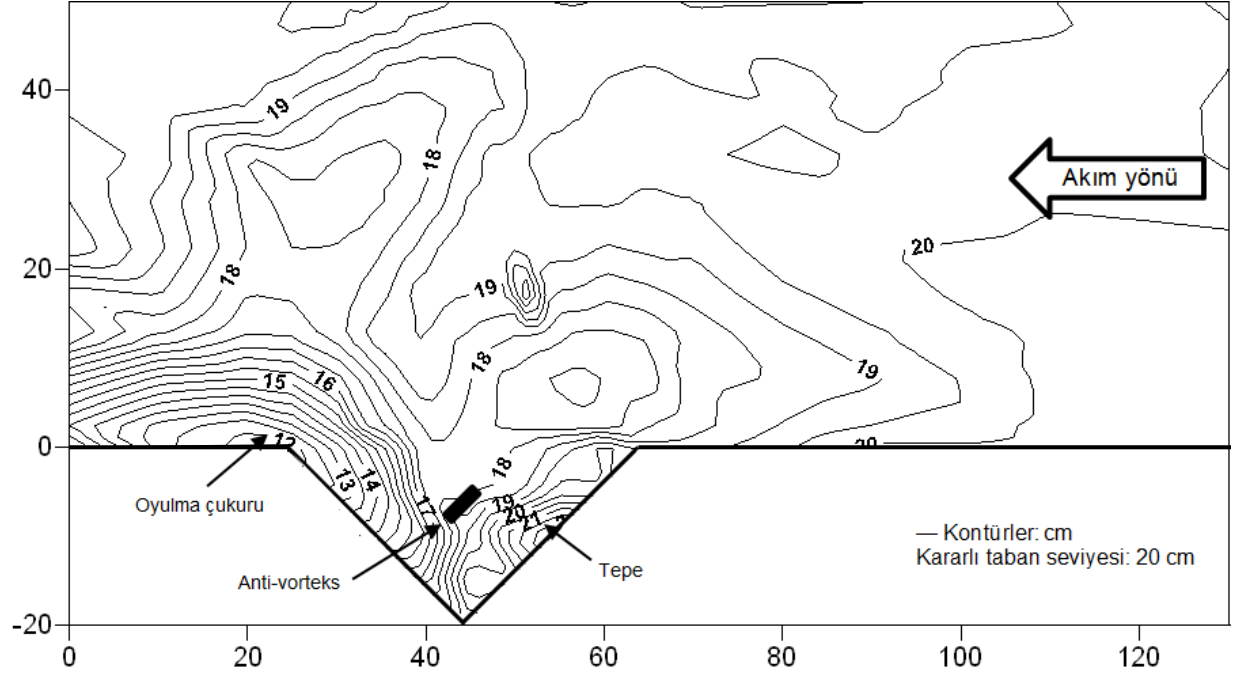
Şekil 4.8(a-d) Tip 2 için maksimum oyulma derinliğinin zamanla değişimi

Şekil 4.9, temiz su oyulması deney sonucunda taban topoğrafyasını çıkarmak için ölçüm alınan noktaların yerlerini göstermektedir. Savak bölgesinde ölçüm alınan noktalar daha sık seçilmiştir.

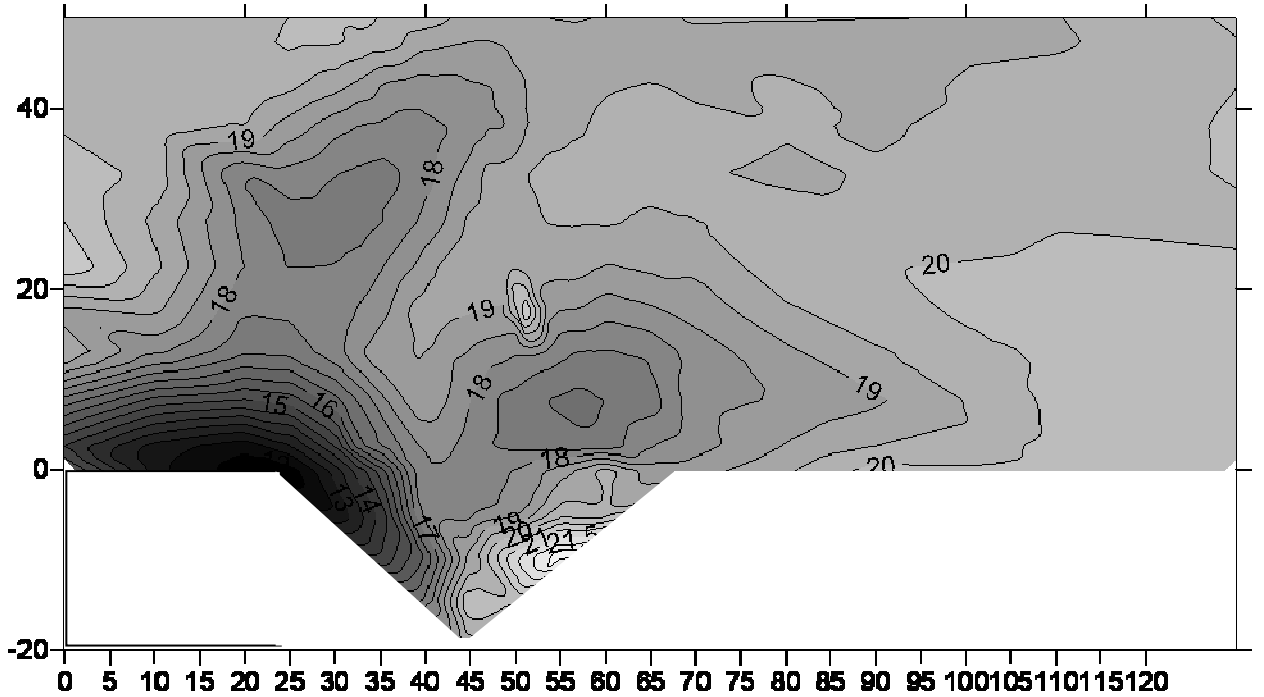


Şekil 4.9Oyulma derinliklerini ve taban topoğrafyasını çıkarmak için kullanılan ölçüm yerleri

Şekil 4.10(a-b)'de Tip-2,  $V_1/V_{kr}=0.7152$  için 9saat sonrasında oluşan taban topoğrafyasına ait eş yükselti eğrileri görülmektedir. Maksimum oyulma labirent yan savağın memba tarafında gözlenmiştir. Ayrıca savağın mansap ucundan sonra da tepeciklerin oluştuğu gözlenmiştir. Maksimum oyulmanın daha belirgin olarak görüldüğü Şekil 4.11(b) renklendirilmiş olarak çizilmiştir.



(a)



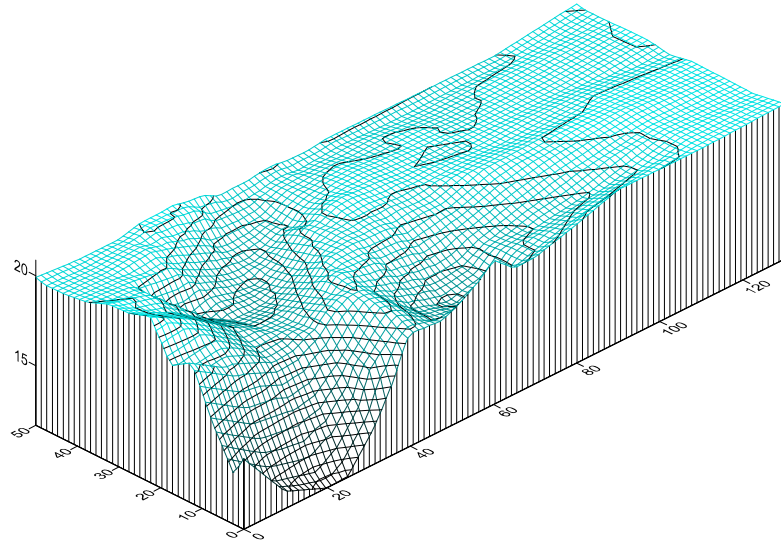
(b)

Şekil 4.10(a,b) Ana kanal ve yan savak bölgesi deney sonrası eş yükselti eğrileri

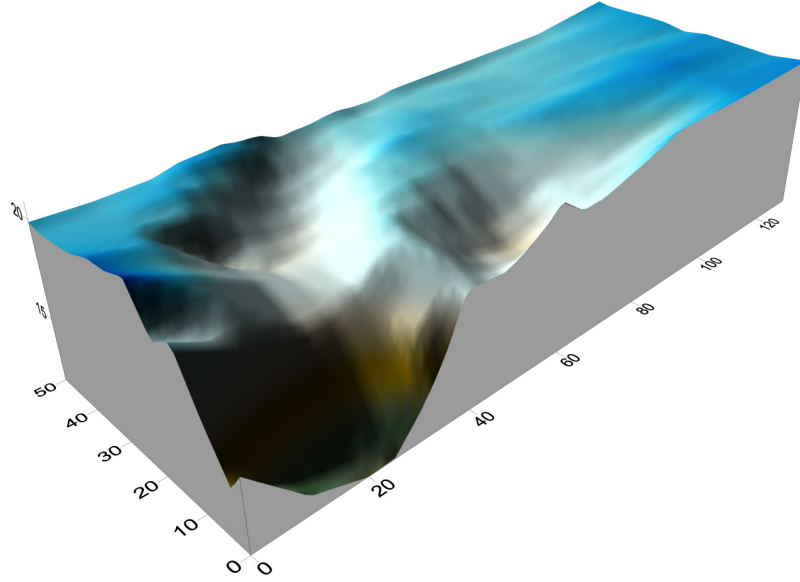
Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de  $L/B=0.80$ ,  $y_1/p=1.833$ ,  $V_1/V_{kr}=0.7152$  için, 9 saat deney süresi sonunda, oluşan taban batimetrisi çizilmiştir. Kanal boyunca, topografyanın çok değişmediği görülmektedir. Fakat dış kıyıya yerleştirilen üçgen yan savak bölgesinde küçük boyutlarda oyulma ve tepelerin oluştuğu görülmektedir. Denge zamanındaki oyulma derinliği, üçgen labirent yan savağın mansabının ucuna doğru elips şekilli oluşmuştur. Yan savağın mansabında küçük bir tepe oluşumu gözlenmiştir. Bu deney sonucunda, ana kanaldan toplama kanalına çok az miktarda ( $V_{kuru} \cong 0.001 \text{ m}^3$ ) taban malzemesi geçmiştir. Kret yüksekliğindeki ve yan savak açıklığındaki artıştan dolayı yanal akım artmış ancak  $V_1/V_{kr}$  nispeten az olduğu için çok fazla malzeme savaklanmamıştır. Anti-vorteksin (Tip-2) memba kısmında yığılma, mansap kısmında ise oyulma olduğu gözlenmiştir.



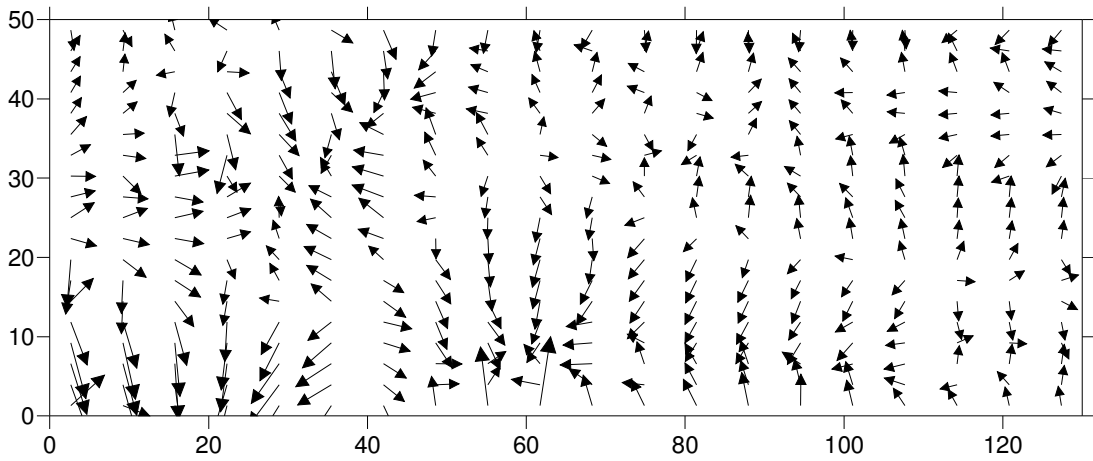
(a)



(b)



(c)



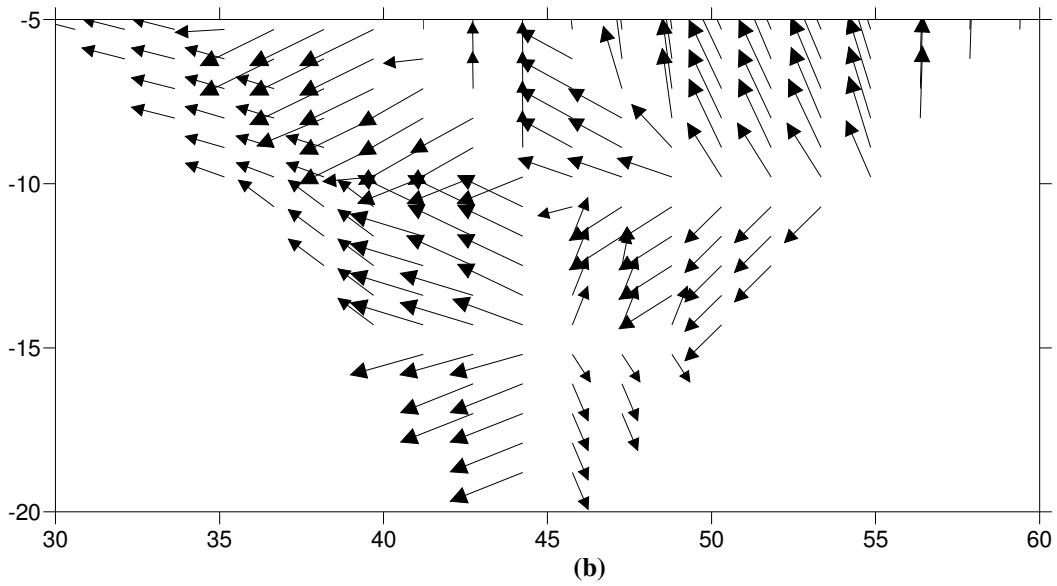
(d)

Şekil 4.11(a-d) Ana kanal boyunca taban topografyası değişimleri

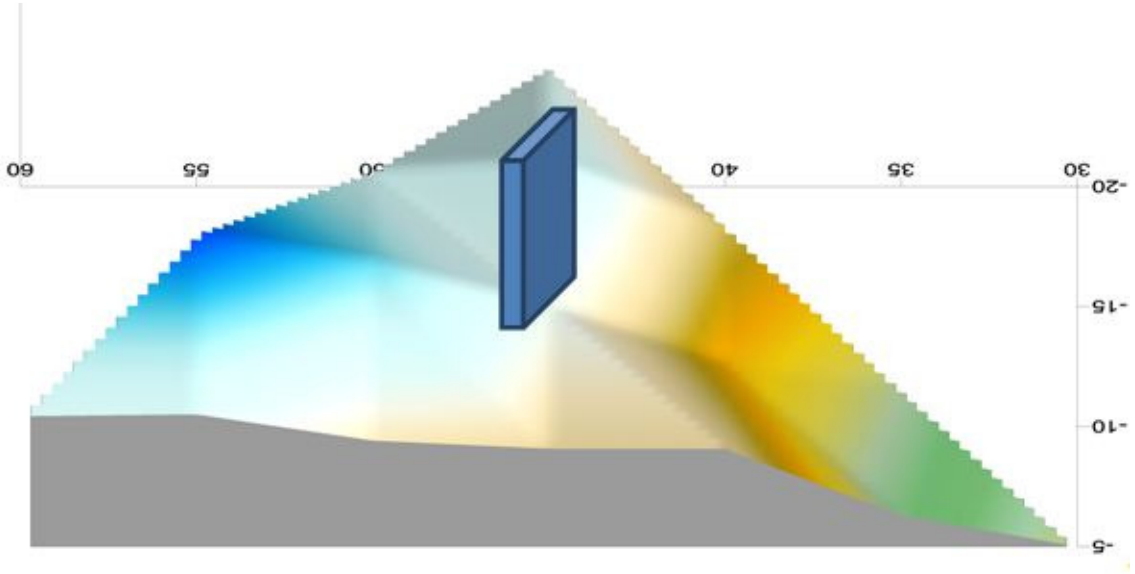
Şekil 4.11(a-d) ve Şekil 4.12(a-d)'de ana kanal ve savak içi batimetrisinin 3 boyutlu görünümü verilmiştir. Memba savaklanma kısmında tepe olduğu, mansap savaklanma kısmında ise oyulma olduğu görülmektedir. Denge zamanındaki oyulma derinliğinin, yan savak mansabının ucuna doğru olan kısımda olduğu ve yaklaşık 8 cm civarında oyulma derinliğinin olduğu gözlenmiştir. Yan savak memba kısmında ise yaklaşık 2 cm civarında tepe oluşumu gözlenmiştir. Yan savak mansap ucunda küçük boyutlu kum dalgacıkları (ripple) olduğu gözlenmiştir. Batimetri ölçümleri ve çizilen haritalar, kanalın 130 cm'lik kısmını (yan savak bölgesi dâhil) kapsamaktadır. Ayrıca, çizilen vektör haritaları okların yönüne göre oyulma ve tepelerin yerini belirlemede yararlı olmuştur. Vektör haritalarında, okların uçlarının birbirlerine doğru baktığı bölgeler, oyulmanın yüksek olduğu bölgelerdir. Küçük oklar, topografyada ani düşüşlerin olduğu bölgeleri göstermektedir. Okların uçlarının birbirine tamamen zıt konumda olduğu bölgeler ise sırt ve tepelik alanlar gibi zirve noktaları, yani birikmenin fazla olduğu bölgeleri, göstermektedir. Şekil 4.12'de vektör haritasına görede maksimum oyulma derinliğinin yan savağın mansap ucunda olduğu görülmektedir. Vektör haritalarında, tepenin bir eksen boyunca olduğu okların yönlerinden anlaşılmaktadır.



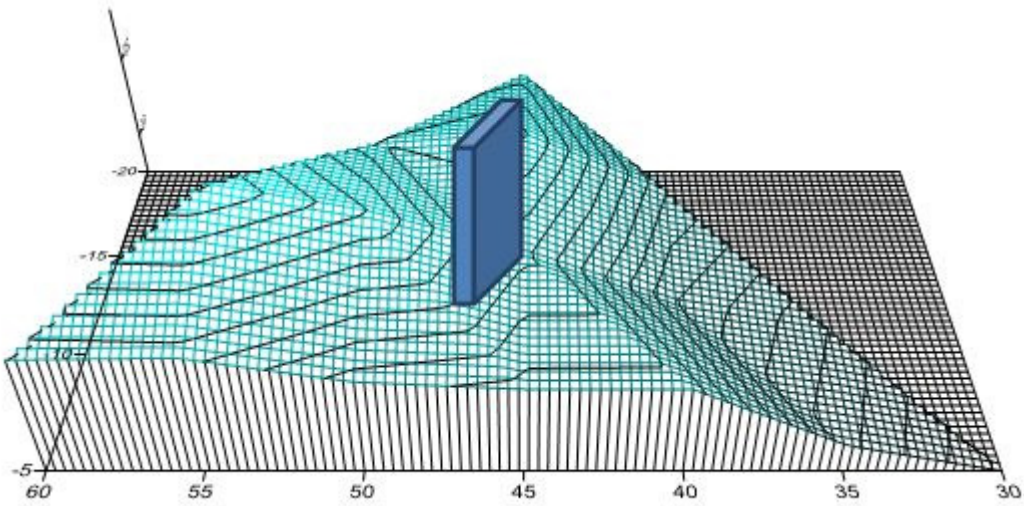
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.12(a-d) Savak içi taban değişimi

## **5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER**

### **5.1 Sonuçlar**

Bu tez çalışmasında labirent yan savaklara yerleştirilen anti-vortekslerin deşarj kapasitesine ve oyulma derinliklerine etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir:

1. Labirent yan savakların deşarj kapasiteleri kret uzunluklarının artması nedeni ile daha fazla olmaktadır.
2. Anti-vorteks kullanılması durumunda deşarj kapasitesi artmaktadır. Özellikle küçük L/B oranlarında daha etkili olmaktadır. Büyük L/B oranlarında etkisini net olarak görebilmek için anti-vorteksin optimum yerinin ilk önce belirlenmesi gerektiği kanaati oluşmuştur.
3. Temiz su oyulma deneylerinden anti-vorteks kullanmanın maksimum oyulma derinliğini önemli oranda azalttığı tespit edilmiştir. Fakat anti-vorteks etrafında da oyulma gözlenmiştir.
4. Tip1, Tip4 ve Tip 5 anti vortekslerin deşarj kapasitesini arttırmadaki etkisi genellikle diğer tiplerden daha az olmuştur.
5. Tip 6 genellikle labirent yan savak bölgesinde oluşan vorteksi daha iyi azalttığı deneylerden gözlenmiştir. Tip 2 ve 3 ile elde edilen sonuçlar da memnun edicidir. Açıkça belirtmek gerekir ki büyük L/B oranlarında ilave deneylere gereksinim vardır.
6. Maksimum oyulmanın yeri labirent yan savağın memba tarafında oluşmuştur. Ayrıca anti-vorteks etrafında da oyulma gözlenmiştir.

### **5.2 Öneriler**

1. Bu çalışma farklı labirent yan savak açılarında da yapılabilir.
2. Bu çalışma farklı anti vorteks tipleri geliştirilerek yapılabilir.
3. Anti-vorteksin yeri ve boyutları değiştirilebilir.
4. Hareketli taban durumu için deneyler yapılabilir.
5. Anti vorteks etrafındaki türbülans gerilmeleri ve oluşan akımın hidrodinamiği belirlenebilir.

## KAYNAKLAR

- Ackers P.**, A theoretical consideration of side weirs as storm water overflows, Proc. of the ICE, London, 6, 250-269, (1957).
- Ağaççioğlu H.**, 1995, Yan Savaklardaki Akımın Kıvrımlı Bir Kanal Boyunca İncelenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 165s, İstanbul.
- Ağaççioğlu H., Yüksel Y.**, Side weir flow in curved channels, Journal of Irrigation Drainage Engineering, 124(3), May/June 1998, 163-175, (1998).
- Agaccioglu, H., Emiroglu, M. E., Kaya, N.** (2012). “Discharge coefficient of side weirs in curved channels”, Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Water Management, 165(6), 339-352.
- Akan AO.**, Computer programming for flow over side weirs, Journal of Hydraulics Division, Discussion, Proc., ASCE, 100(HY3), 489-490, (1974).
- Allen JW.**, The discharge of water over side weirs in circular pipes, Proc. of the ICE, London, 6, 270-287, (1957).
- Aydin, M. C., Emiroglu, M. E.** (2013). “Determination of Discharge Capacity of Triangular Labyrinth Side Weirs by Using CFD”, Flow Measurement and Instrumentation, 29(5), 1-8.
- Babbitt HE.**, , Sewerage and Sewage Treatment, Wiley New York, (1953).
- Balmforth DJ., Sarginson EJ.**, Experimental investigation of flow over side weirs, Journal of Hydraulics Division, Discussion, Proc., ASCE, 103(HY3), 941-943, (1977).
- Borghei M., Jalili MR., Ghodsian M.**, Discharge coefficient for sharp-crested side weir in subcritical flow, Journal of Hydraulic Engineering, 125(10), October 1999, 1051-1056, (1999).
- Chao JL., Trussel RR.**, Hydraulic design of flow distribution channels, Journal of Environmental Engineering Division, ASCE, 106(EE2), 321-333, (1980).
- Cheong HF.**, Discharge coefficient of lateral diversion from trapezoidal channel, Journal of Irrigation Drainage Engineering, Proc., ASCE, 117(4), 321-333, (1991).

- Chow, V. T.**, Open Channel Hydraulic, Mc Graw Hill, 16:439-460, (1959).
- Coleman GS., Smith D.**, The discharging capacity of side weirs, Selected Engineering Paper 6, Ins. Civ. Eng, (1923).
- Collinge VK.**, The discharge capacity of side weirs, Proc. of the ICE, London, 6, 288-304, (1957).
- Daggett, Larry L., Garbis H. Keulegan.** Similitude Conditions in Free-Surface Vortex Formations. No. AEWES-Misc-Paper-H-74-1. Army Engineer Waterways Experiment Station Vicksburg Miss, (1974).
- De Marchi G.**, Saggio di teoria de funzionamento delgi starmazzi laterali, L'Energia Elettrica, Milano, 11, 849-860, (1934).
- El-Khashab Amm.**, Hydraulic of flow over side weirs, (Ph.D. Thesis), Presented to the University of Southampton, England, (1975).
- El-Khashab AMM., Smith KVH.**, Experimental investigation of flow over side weirs, Journal of Hydraulics Division, Proc., ASCE, 102(HY9), 1255-1268, (1976).
- El-Khashab Amm., Smith KVH.**, Experimental investigation of flow over side weirs, Journal of Hydraulics Division, Closure, Proc., ASCE, 104(HY1), 126-128, (1978).
- Emiroglu, M. E., Aydin, M.C., Kaya, N.** (2014). "Discharge Characteristics of a Trapezoidal Labyrinth Side Weir with One and Two Cycles in Subcritical Flow." J. Irrig. Drain Eng. , 140(5), 04014007
- Emiroglu, M. E. AND Kaya, N.** (2011). "Discharge coefficient for trapezoidal labyrinth side weir in subcritical flow", Water Resources Management, 25, 1037-1058. DOI: 10.1007/s11269-010-9740-7.
- Emiroglu, M. E., Kaya, N., Agaccioglu, H.** (2010). "Discharge capacity of labyrinth side weir located on a straight channel.", Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 136 (1), 37-46.
- Engels H.**, Mitteilungen aus der Dresdener Flussbaulaboratorium Weiten, 362-365;387-390, (1920).
- Forchhemier P.**, Hydraulic, Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig, Berlin, 3<sup>rd</sup>. ed, (1930).

- Frazer W.**, The Behaviour of Side Weirs in Prismatic Rectengular Channels, (Ph.D. Thesis), Presented GlasgowUniversity, (1954).
- Gentilini B.**, Ricerche Specimentali Sogli Sfiotori Longitudinali, L'Energia Elettrica,9, (1938).
- Ghodsian M.**, Supercritical flow over a rectengular side weir,Canadian Journal of Civil Engineering,30, 596-600, (2003).
- Hager WH.**, Supercritical flowin circular-shaped side weirs,Journal of Irrigation Drainage Engineering, 120, (1994).
- Hite, J. E., Mih, W. C.**, “Velocity of Air-Core Vortices at Hydraulic Intakes”, *J. of Hydr.Eng.*, ASCE, Vol.120, n.3, March (1994).
- Iversen, H.W.** Studies of submergence requirements of high-specific-speed pumps.*Trans. American Society of Mechanical Engineers (ASME)*, Vol. 75, No. 4, p. 635-641, (1953).
- Jain SC. Fischer EE.**, Uniform flow over skew side weir,Journal of Irrigation Drainage Engineering, ASCE, 108(2), 163-166, (1982).
- Kaya, N., Emiroglu, M. E., and Agaccioglu, H.** (2011). “Discharge coefficient of semi-elliptical side weir in subcritical flow.”, *Flow Measurement and Instrumentation*, 22, 25-32. 10.1016/j.flowmeasinst.2010.11.002.
- Khorchani, M., Blanpain, O.**, Free surface measurement of flow over side weirs using the video monitoring concept, *Flow Measurement and Instrumentation*, 15, 111-117, (2004).
- Kumar CP., Pathak SK.**, Triangular side weirs,Journal of Irrigation Drainage Engineering, ASCE, 113(1), 98-105, (1987).
- Mizumura, K., Yamasaka, M. and Adachi, J.**, Side outflow from supercritical channel flow”, *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 129(10), 769-776, (2003).
- Muslu, Y.**, Lateral weir flow model using a curve fitting analysis,Journal of Hydraulic Engineering,128(7), 712-715, (2002).
- Nimmo WHR.**, Side spillways for regulating diversion canals,Trans., ASCE, 92:1561-1584, (1928).

- Özbek, T.**, Akımlarının Hidroliği ve Hidrolik Yapılar. Açık Kanal Akımlarının Hidroliği ve Hidrolik Yapılar.. Mart 2009/ 1. Baskı.
- Parmley, W. C.**, The Walworth Sewer, Cleveland, Ohio. Transactions of the American Society of Civil Engineers, 55(2), 341-400, (1905).
- Pinheiro AN., Silva IN.**, Discharge coefficient of side weirs; Experimental study and comparative analysis of different formulas, IAHR Congress, Graz, Austria, (1999).
- Posey, C. J., H. Hsu.** "How the vortex affects orifice discharge." Engin.News-Record (1950).
- Ramamurthy AS., Carballada L.**, Lateral weirs flow model, Journal of Irrigation Drainage Engineering, ASCE, 112(2), 130-137, (1980).
- Ramamurthy AS., Satish MG.**, Discharge characteristics of flow past a floor slot, Journal of Irrigation Drainage Engineering, ASCE, 112(1):20-27, (1986).
- Ranga Raju KG., Prasad B. Gupta SK.**, Side weir in rectangular channels, Journal of Hydraulics Division, Proc., ASCE, 105(HY5), 547-554, (1979).
- Schmidt M.**, Die Berechnung von Streicwehren, Die Wasserwirtschaft, Berlin, (1955).
- Shukry, A.**, Flow around bends in open flume, Journal of Hydraulics Eng., ASCE, 115, 751-759, (1950).
- Singh R., Manivannan D., Satyanarayana T.**, Discharge coefficient of rectangular side weirs, Journal of Irrigation Drainage Engineering, Proc., ASCE, 120(4), 814-819, (1994).
- Smith KVH.**, Computer programming for flow over side weirs, Journal of Hydraulics Division, Closure, Proc., ASCE, 100(HY1), 1722-1723, (1974a).
- Subramanya K., Awasthy SC.**, Spatially varied flow over side weirs, Journal of Hydraulics Division, Proc, ASCE, 98(HY1), 1-10, (1972).
- Swamee PK., Pathak SK., Mohan M., Agrawal SK., Masoud SA.**, Subcritical flow over rectangular side weir, ASCE, 120(1), 212-217, (1994).
- Swamee PK., Santosh KP., Masoud SA.**, Side weir analysis using elementary discharge coefficient, Journal of Irrigation Drainage Engineering, 120(4), July/August 1994, 742-755, (1994).

- Tozluk H.**, Yan savak akımının hesabı için nümerik bir yaklaşım, (Doktora Tezi), İTÜ Fen Bilimleri Ens., İstanbul, (1994).
- Tullis J. P.**, Modeling in Design of Pumping Pits. Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 105, No. HY9, Proc. Paper 14812, September, 1979, pp. 13.
- Tyler RC., Carolla JA., Steyskal NA.**, Discharge over side weirs with and without Baffles, Journal Boston Soc. Civ. Eng., 16, 118, (1929).
- Ura M., Kita Y., Akiyama J., Moriyama H., Jha AK.**, Discharge coefficient of oblique side-weirs, Journal of Hydrosience and Hydraulic Engineering, 19(1), May 2001, 85-96, (2001).
- Uyumaz A.**, Side weir in triangular channel, Journal of Irrigation Drainage Engineering, 118, 965-970, (1982).
- Uyumaz A.**, Side weir in U-shaped channels, Journal of Hydraulic Engineering, 123(7), July, 639-646, (1993).
- Uyumaz A., Smith RH.**, Design procedure for flow over side weirs, Journal of Irrigation Drainage Engineering, Proc., ASCE, 119(7), 79-90, (1991).
- Uyumaz A.**, Side weir in U-shaped channels, Journal of Hydraulic Engineering, 123(7), July, 639-646, (1997).
- Yen BC.**, Experimental investigation of flow over side weirs, Journal of Hydraulics Division, Discussion; Proc., ASCE, 103(HY5), 580-581, (1977).
- Yüksel, E.**, Effect of specific energy variation on lateral overflows, Flow Measurement and Instrumentation, 15, 259-269, (2004).
- Zielinski, P. B., Villemonte, J. R.** "Effect of viscosity on vortex-orifice flow." J. Hydr. Div., ASCE, 94(3), 745-753, (1968).

## **ÖZGEÇMİŞ**

Doğum Tarihi :18.07.1982

Doğum Yeri :Kahramanmaraş

Orta Okul : Elazığ Anadolu Lisesi (1993-1997)

Lise : Diyarbakır Cumhuriyet Fen Lisesi (1997-2000)

Lisans : Yıldız Teknik Üniversitesi (2000-2005)

Yüksek Lisans: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü(2011-2014)

### **Çalıştığı Kurumlar:**

CVS Makine-İnşaat Ltd.Şti. Damietta/MISIR (2006-2009)

Malatya Belediyesi İmar ve Şehircilik Müdürlüğü (2009-2010)

Devlet Su İşleri 9.Bölge MüdürlüğüPrj. İnş. Şb(2010- 2012)

Devlet Su İşleri Gap15.Bölge Müdürlüğü 151.Şb (2012-...)