

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BALIK GEÇİTLERİNİN SAYISAL ANALİZ İLE  
MODELLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Cem KADIOĞLU**

**Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği**

**Programı : Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği**

**OCAK 2010**

**BALIK GEÇİTLERİNİN SAYISAL ANALİZ İLE  
MODELLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Cem KADIOĞLU  
(501061512)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Aralık 2009  
Tezin Savunulduğu Tarih : 25 Ocak 2010**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU (İ.T.Ü.)  
Diğer Jüri Üyeleri Doç. Dr. Melike GÜREL (İ.T.Ü.)  
Yrd. Doç. Dr. Ali UYUMAZ (İ.T.Ü.)**

**OCAK 2010**

## ÖNSÖZ

Bu çalışmanın, balık geçitlerinin hidrolik özelliklerini tanımlamak, ve tasarım sırasında göz önünde bulundurulması gereken genel prensipleri, modellerin oluşturması sırasında göz önünde bulundurulması gereken hususları belirterek bir ilerideki çalışmalar için başlangıçta bir temel oluşturacağı inancını taşımaktayım. Bu yüksek lisans tezinin konuyla ilgilenen öğretim üyeleri, araştırma görevlileri ve tasarım ya da uygulamada çalışan mühendislere yardımcı olacağını ümit etmekteyim. Tez çalışmam esnasında beni yönlendirirken zamanını, ilgisini ve değerli yardımlarını benden esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU başta olmak üzere, hayatım boyunca maddi ve manevi destek olup her zaman yanımda olan aileme sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Aralık 2009

Cem KADIOĞLU  
İnşaat Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER .....	v
KISALTMALAR .....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY .....	xv
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. Tarihçe.....	1
1.2. Türkiye’de Baraj Gölleri ve Balıklar .....	2
1.3. Balık Göçlerinin Özellikleri .....	3
<b>2. BALIK GEÇİTLERİ .....</b>	<b>9</b>
2.1. Havuz ve Savak Tipi Balık Geçitleri.....	9
2.2. Denil Tipi Balık Geçitleri.....	11
2.3. Düşey Yarık Balık Geçitleri.....	13
2.4. Akarsularda Balık Geçidi Tasarım Esasları .....	14
<b>3. BALIK GEÇİTLERİNİN HİDROLİĞİ.....</b>	<b>17</b>
3.1. Balık Geçitlerindeki Akımların Özellikleri .....	17
3.2. Balık Geçitlerinde Boyutsuz Debi Formülleri.....	19
3.2.1. Düşey yarık balık geçitlerinde boyutsuz debi formülleri.....	20
3.2.2. Denil tipi balık geçitlerinde boyutsuz debi formülleri .....	23
3.2.3. Havuz ve savak tipi balık geçitlerinde boyutsuz debi formülleri.....	24
3.3. Boyutsuz Debi Formülleri Kullanılarak Yapılan Örnek Hesaplama.....	26
<b>4. SAYISAL ANALİZ İLE MODELLEME .....</b>	<b>27</b>
4.1. Programın Tanıtımı .....	27
4.1.1. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) ve sonlu hacim yöntemi (SHY) nedir?.....	28
4.1.2. Balık geçidinin programda modellenmesinde kullanılan temel yaklaşımlar ve denklemler .....	30
4.1.3. Çevrinti modellenmesi .....	31
4.1.4. Çok fazlı modelleme .....	32
4.2. Modelin Temel Özellikleri .....	33
4.2.1. Suyun kabarma yüksekliği, kritik su yüksekliği ve hızların tayini .....	34
4.2.2. Modelin ağ ve geometrisi.....	36
4.2.3. Modelin sınır şartları ve çözüm kriterleri.....	40
4.3. Model Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	42
4.3.1. Akım şeklinin değerlendirilmesi .....	42
4.3.2. Hızların değerlendirilmesi.....	42
4.3.3. Balık geçidi modelinin balıklara uygunluğunun değerlendirilmesi .....	44
<b>5. SONUÇLAR .....</b>	<b>47</b>

<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>49</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>51</b>

## **KISALTMALAR**

<b>DSİ</b>	: Devlet Su İşleri
<b>KHGM</b>	: Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü
<b>ICOLD</b>	: Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu
<b>HAD</b>	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
<b>SHY</b>	: Sonlu Hacim Yöntemi
<b>SEY</b>	: Sonlu Elemanlar Yöntemi
<b>SFY</b>	: Sonlu Farklar Yöntemi
<b>SEM</b>	: Sınır Elemanları Metodu
<b>VOF</b>	: Akışkan Hacmi



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 1.1</b> : Balık Türlerinin Dayanma Süreleri ve Yüzme Hızları.....	7
<b>Çizelge 3.1</b> : Düşey Yarıklı Balık Geçitleri İçin Boyutsuz Debi Formülleri.....	21
<b>Çizelge 3.2</b> : Denil Balık Geçitleri İçin Boyutsuz Debi Formülleri .....	24
<b>Çizelge 3.3</b> : Akım Savak Üzerinden Olduğu Durumda Boyutsuz Denklemler .....	25
<b>Çizelge 3.4</b> : Akım Orifisten Olduğu Durumda Boyutsuz Formüller .....	25
<b>Çizelge 4.1</b> : Doğrudan Aşamalı Yöntem ile Su Yüzü Profilinin Tayini .....	39
<b>Çizelge A.1</b> : Kret Üzerinde Sayısal Analiz Sonucu Ulaşılan Hız Vektörü Değerleri ve Karşılık Gelen Ortalama ve Maksimum Hız Değerleri .....	61



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 : Havuz ve Savak Tipi Balık Geçidi .....	10
Şekil 2.2 : Havuz ve Savak Tipi Balık Geçitlerinde Dalma (üstteki) ve Nehir Rejimi (alttaki) Akımları .....	11
Şekil 2.3 : Basit Denil Balık Geçidi .....	12
Şekil 2.4 : Dikgeçişli Denil Balık Geçidi .....	13
Şekil 2.5 : Düşey Yarıkli Balık Geçitleri .....	14
Şekil 3.1 : Balık Geçitlerinde Üniform Akım .....	19
Şekil 3.2 : Düşey Yarıkli Balık Geçitleri İçin Farklı Geometriye Sahip Modeller ...	22
Şekil 4.1 : Ağ Sistemindeki Bir Kontrol Hacmi .....	29
Şekil 4.2 : Balık Geçidi Geometrisi – Perspektif Görünüş .....	34
Şekil 4.3 : Balık Geçidi Geometrisi – Boy Kesit .....	37
Şekil 4.4 : Modelin Gambitte Oluşturulan Ağ Yapısı .....	41
Şekil 4.5 : Nehir Rejimindeki Akımın Tabaka Kalınlığı .....	43
Şekil 4.6 : Kret Üzerindeki Bileşke Hız Vektörleri .....	45
Şekil 4.7 : Havuz Genelindeki Bileşke Hız Vektörlerinin Dağılımı .....	46
Şekil A.1: Su Yoğunluğu .....	58
Şekil A.2 : Su için Akışkan Hacmi (VOF) Yönteminde Kullanılan Hacim Oranı ....	59
Şekil A.3 : Kret Üzerinden Su Yüzeyine Kadarki Kısımda Bileşke Hız Grafiği .....	60



## **BALIK GEÇİTLERİNİN SAYISAL ANALİZ İLE MODELLENMESİ**

### **ÖZET**

Balık geçitleri en temel anlamıyla, barajların balık yaşamı üzerindeki etkisini azaltmak amacıyla tasarlanan ve inşaa edilen hidrolik yapılardır.

Barajlar temel olarak su tutma yapıları olmaları sebebiyle, yapıldıkları yerlerde baraj inşasından önce var olan tarım ve hayvancılık alanlarının su altında kalmalarına sebep olmaktadır. Bunun sonucunda bölgede bu iş kolları ile ilgili olarak işgücü kaybı oluşmakta ve dolaylı olarak bölgedeki sosyolojik yapıya etki etmektedirler.

Buna karşılık özellikle içme suyu temini amaçlı olmayan baraj göllerinde balıkçılık yapmak mümkün olmaktadır. Bunu temin etmek amacıyla, baraj gövdesinden balıkların gerek menba tarafından mansap tarafına geçmesini, gerekse tam tersine yönde hareketlerine olanak sağlamak gerekmele beraber, bu amaçla suyun akışına engel teşkil eden baraj gibi yapılarda ve balıkların yüzme kapasitelerinin üzerindeki akım şartlarında balık geçitleri inşaa edilmektedir.

Bu tez çalışmasında amaçlanan, yukarıda bahsi geçen balık geçitlerinin çeşitlerinin ve hidrolik yapılarının incelenmesi, balık geçitlerindeki genel tasarım prensiplerini ve göz önünde bulundurulması gereken kriterleri ortaya koymak, sayısal analiz yöntemlerinden biri olan sonlu hacimler yöntemi kullanılarak bilgisayar ortamında bu balık geçitlerini modellemek, sayısal analiz modelinin sonuçlarını incelenmek ve bu sonuçları daha önce çeşitli araştırmalar kapsamında ölçekli modeller üzerinde yapılmış deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar ve bunların sonucunda ortaya konmuş genel prensipler ile karşılaştırılarak bu sayısal modelin geçerliliğini teyit etmektir. Bunun sonucunda belli geometrik ve hidrolik özelliklere sahip olan balık geçitlerinin, hedeflenmiş balık türü açısından uygulanabilir olup olmadığı kontrol edilebilmektedir.



## **MODELLING FISHWAYS WITH NUMERICAL ANALYSIS**

### **SUMMARY**

Fishways can be basically defined as hydraulic structures that are designed and built in order to minimize the effects of dams on fish life.

Dams cause the existing agriculture and husbandry areas to be submerged after construction since they are water reserving structures. Consequently, labor loss for the related business lines occur which indirectly affects the social life in that area.

However, it is possible to improve fishery in reservoirs which are not used as drinking water supplies. For such case, there is a necessity of enabling the fishes to pass through the dam body in the upstream and downstream direction. For this purpose, fishways are built in obstructions such as dams that prevent water flow and in flow conditions that is above fishes' swimming capabilities.

In this thesis, it has been aimed to observe the above stated fishway's types and their hydraulic properties, to demonstrate general design principles and the criteria to be considered, to model the fishway in computer by using finite volume method which is one of the several types of numerical analyses, to observe the outcomes of the numerical analysis and finally to compare the results of the model with the outcomes of the previously obtained experimental results performed on scaled models and corresponding general principles which are presented accordingly and to confirm the effectiveness of the model.

Consequently, it becomes possible to check whether the fishway whose geometrical and hydraulic properties are known, is applicable to the targeted fish type or not.



# 1. GİRİŞ

## 1.1. Tarihçe

Yapının kendisine verilen isimden de anlaşılacağı üzere; balık geçitleri, balıkların yumurtlama, beslenme ve göç dönemlerinde barajlar, akarsular, şelaleler gibi engelleri aşabilmeleri amacıyla tasarlanmış hidrolik yapılardır. Bu amaç doğrultusunda yasal, ekolojik ve ekonomik açıdan gerekli görülen yerlerde inşaa edilebilirler.

Bağlamalarda veya baraj gövdelerinde balık geçitleri, balıkların menba ya da mansap tarafına göç edebilmeleri amacıyla tesis edilebilir. Türkiye’de de olduğu gibi birçok ülkede eğer bir su yapısı balıkların geçişi için tehlike arz ediyorsa buralara balık geçidi tesis edilmesi yasal zorunluluk haline getirilmiştir[1]. Barajlar inşaa edilirken balık hayatının sürdürülebilir olması ve geliştirilebilmesi en önemli hususlardır.

Balık geçitleri iki türlü değerlendirilebilir. Biyolojik açıdan değerlendirdiğimizde balık geçitleri balıkların, yumurtlama bölgelerine göç edebilmeleri için kendilerine engel teşkil eden yapıların üstesinden gelebilmelerini sağlayan özel yapılardır. Hidrolik açıdan değerlendirildiğinde ise enerji sönmülendiren yapılardır. Balık geçitleri 3 ana tip olarak sınıflandırılmakla beraber menfez geçişler, doğal balık geçitleri gibi yapılar da bunlara dahil edilirse, bu yapılar yukarıda da bahsedildiği gibi bir engel içinden ya da etrafından dolaşan ve akımın enerjisini sönmülendirerek balıkların geçişini sağlayan su geçitleridir.

Balık geçitlerinin tarihi 17. yüzyıla kadar dayanmaktadır[2]. Başlangıçta bu geçitler tabanları çalılar ile pürüzlendirilmiş eğimli açık kanallardı. Bunun yanında balık geçitlerine duyulan ihtiyaç, hidrolik türbinler ve baraj inşaatları enerji üretimi için yaygın olarak kullanılmaya başlandıktan sonra artmıştır.

Balık geçitleri ile ilgili olarak bilimsel araştırmalar bilindiği kadarıyla ilk olarak Belçika’da 1909 yılında G.Denil tarafından yayınlanmıştır. O zamana kadarki çalışmaların aksine, bu yeni tür balık geçidi daha bilimsel prensiplere dayanmaktaydı. O zaman için denil türü balık geçitleri enerji sönmülendirme

açısından oldukça başarılı ve gelişmiş bir yapı olmakla beraber o tarihten sonra yapının orjinal hali daha da geliştirilmiş ve üzerine çeşitli boyut önermeleri yapılmıştır[3].

Balık geçitlerinin hidrolojik yapısının yanında biyolojik durumlar da göz önünde bulundurulmalıdır. Balıkların yapı içerisindeki tepkileri de çeşitli çalışmalara konu olmuştur. Her ne kadar Denil ve diğer araştırmacılar çalışmaları sırasında tesadüfen ortaya çıkmış gözlemlerini kayıt altına almışlarsa da bu konuda araştırma yapma işi 1939 ve 1940 yıllarında McLeod ve Nemejni'nin değişik balık geçidi türleri üzerinde yaptıkları çalışmalara kadar beklemiştir.

## **1.2. Türkiye'de Baraj Gölleri ve Balıklar**

Baraj hazneleri, balık yaşamının doğal göllerdeki gibi gelişmesine, bu vasıta ile hazne kenarındaki nüfusun besin ihtiyacını karşılamasına olanak sağlayan yapay göller olarak tanımlanabilir[4].

Türkiye'de baraj göllerinin bir kısmı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü (KHGM)'ne bir kısmı da Devlet Su İşleri (DSİ)'ne bağlıdır. KHGM'ne bağlı baraj gölleri, genel olarak, tarımsal sulamada kullanılmaktadır. DSİ'ye bağlı barajların bir bölümü sulama amaçlı kullanılabilirdiği gibi büyük çoğunluğu içme suyu ve enerji gereksinimini karşılamaktadır. Balık yetiştiriciliğine açılan baraj gölleri ise sulama amaçlı olarak kullanılan haznelerdir.

DSİ; Tarım ve Köyişleri Bakanlığı ile işbirliği yaparak "Göletlerin Su Ürünlerine Açılması İşbirliği Protokolü" 'nü imzalamış ve o zamandan bu yana sulama amaçlı kullanılan göletlerde balık yetiştiriciliği yapılabilmesinin mümkün olduğuna karar vermiş, bu sayede mevcut durağan su alanının istihdama dönüşebileceği düşüncesini ortaya koymuştur.

Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu'nun (ICOLD) standartlarına göre 15 m'den yüksek ve 3 hm<sup>3</sup> veya daha fazla kapasiteli haznelere sahip yapılar "Baraj" olarak nitelendirilmiş olup, bu değerlerden daha az özelliklere sahip yapılar "gölet" olarak adlandırılmaktadır. Türkiye'deki yapılar bu sınıflandırmaya tabi tutulduğunda, yurdumuzda 2008 yılı itibarıyla 673 adet barajın bulunduğu ortaya çıkmıştır[5]. Bu barajların haznelerinin kapladığı alan göz önüne alındığında balık geçitlerinin yapılması bir zaruret haline gelmiştir.

Balık geçitlerine duyulan bu ihtiyaç doğrultusunda, 1380 numaralı Su Ürünleri Kanunu'nun 22. maddesinin 2. fıkrasında da balık geçitlerinin temini ile ilgili olarak “Akarsular üzerinde kurulmuş ve kurulacak olan baraj ve regülatör gibi tesislerde su ürünlerinin geçmesine mahsus balık geçidi veya asansörlerin yapılması ve bunların devamlı olarak işler durumda bulundurulması mecburidir” denilmiştir[6].

Çevresel etkileri çoğu kez göz ardı edilen barajlar, doğal yaşam açısından akarsu vadilerini su altında bırakarak, birçok canlı türünün hayatını tehlikeye sokmaktadır.

Türkiye’de doğal değeri yüksek olan 305 alanda yapımı planlanan 561 baraj ve bu barajların çevreye etkileri değerlendirildiğinde, bu 305 alandan 148’inin planlanan barajlardan olumsuz etkilendikleri ortaya çıkmıştır. Toplam baraj suları altında kalacak alan 185 bin hektarı bulmaktadır[7].

Barajların fiziksel yapıları su ve kara ortamında göç yollarını kesmekte ve bunun sonucu olarak bazı önemli canlı türlerinin yok olmasına sebebiyet vermektedir. Balık geçidi girişlerinin balıklar için çekici olması işlevsellik açısından önemli ve gereklidir. Dolayısıyla, balık geçidinin inşaa edildiği yerler ve yapı girişlerinin yerleşimi büyük önem arz etmekle beraber bu çalışma kapsamında detaylı olarak incelenmemiştir[6].

### **1.3. Balık Göçlerinin Özellikleri**

Balık geçitlerinin verimli olarak çalışması için daha önce de belirtildiği gibi biyolojik açıdan da incelenmeleri gerekmektedir. Bir başka deyişle balıklar sistemin en önemli parçası olduklarından balık geçitlerinin tasarımı aşamasında sınırlayıcı bir etkindir. Bu doğrultuda balık göçlerinin temel özelliklerini açıklamak faydalı olacaktır.

Diadrom balıklar tatlı su ve tuzlu su arasında göç eden balıklardır. Göç yolları türlerine göre değişkenlik göstermektedir. Bazı diadrom balıklar uzun mesafelerde göç edebilirken bazıları çok daha kısa mesafelerde göç edebilmektedirler. Her iki durumda da balıklar, göçleri sırasında derin psikolojik değişimlerin etkisinde kalırlar. Göç yollarına bağlı olarak sınıflandırılırsa 3 tip diadrom balık vardır. Bunlar anadrom, katadrom ve amfidromdur. “Ana” yukarı , “drom” yol anlamına gelmekle beraber, “Kato” aşağı, “amfi” ise iki yönlü anlamına gelmektedir. Dolayısıyla anadrom için yukarı göçen, katodrom için aşağı göçen ve amfidromus için ise hem aşağı hem yukarı göçen balıklar tanımlaması yapılabilir.

- a. Anadrom balık hayatlarını tuzlu suda devam ettirip, üremek amacıyla tatlı sulara ve göllere göç ederler. (Örn. Bofa balığı, mersin balığı, alabalık, somon) Dünya daki diadrom balıkların yarısından fazlası anadrom balıklardır.
- b. Katadrom balıklar yetişkin yaşamlarının büyük bir kısmını tatlı sularda geçirirler ve yumurtlama dönemlerinde tuzlu sulara göç ederler. Yavru balık tekrar menbaya dönüp erişkin olana kadar orada kalır ve her seferinde bu döngü tekrarlanır. Başlıca katadrom balık olarak yılan balığı örnek gösterilebilir.
- c. Amfidromus türler üremeden ziyade yiyecek ve korunaklı bir yer bulma amacıyla nehir ağzları ve nehirler arasında seyahat ederler. Bu tür balıklar hem tuzlu hem de tatlı suda yumurtlayabilme özelliğine sahip olup diadrom balık türleri içinde oranları 1/5'ten azdır[8].

İster menba ister mansap yönünde olsun balık geçitlerinin tasarlanmasında göz önünde bulundurulması gereken ilk soru balıkların yüzme kapasitelerinin ne olduğu ve dolaşma veya ileri atılma hızlarının ne olduğudur. Örneğin, tür ne olursa olsun savaklardaki su hızı ileri atılma hızlarından yüksek ve havuzlardaki su hızı ise balıkların dolaşma hızlarından daha düşük olmalıdır. Tasarımda dikkate alınması gereken 3 seviye hız, 1984 yılında Bell tarafından şöyle tanımlanmıştır[9],

- SÜRDÜRÜLEBİLİR YÜZME: Balığın deneysel olarak yorulmadan 200 dakikadan fazla dayanabildiği yüzme hızlarıdır. Sürdürülebilir hızın, genel olarak, balığın sınırsız yüzme yeteneğini belirlediği varsayılmaktadır
- UZATILMIŞ YÜZME: Balığın 15 saniye ve 200 dakika arasında sürdürebildiği hızdır. Uzatılmış yüzme aktivitesi, balığın ara sıra hızlandığı gezinmeleri esnasında sıklıkla kullanılmaktadır.
- ATILIM (YA DA PATLAMA) YÜZÜŞÜ: Sadece tek bir seferliktir. Devam ettirilemez. Atılım seviyesinde yüzmenin tepe noktası “maksimum yüzme hızı” olarak tanımlanmaktadır.

Balıkların yüzme kapasiteleri hakkında yapılan araştırmalar sonucunda görülmüştür ki, balıklarda yüzmeye ait toplamda 5 tür davranış (anguiliform, subkarangiform, karangiform, tunniform ve ostrakiform) olmakla beraber genel olarak görülen yüzme davranışı tipinin 2 çeşit olduğu söylenebilir. Bunlar subkarangiform ve

anguiliform'dur[10].Subkarangiform yüzme çeşidi ergin olmayan balıklarda görünmekle beraber bu yüzüş tarzında balıkların karakteristik vücut şekilleri içsindir ve sağa sola hareketler ile vücudun yarısı ya da üçte biri yüzmeyi sağlar. Anguiliform yüzme çeşidinde ise vücudun tamamı harekete katılır. Vücut yapıları ise genel olarak ince ve uzundur[6].

Balık geçitlerinin girişlerinde, içerisinde ve çıkışlarında farklı akımlar oluşmaktadır. Özellikle balık geçidi tipine bağlı olarak savaklarda ya da düşey yarıklarda akım hızları en yüksek seviyeye ulaşmaktadır. Dolayısıyla balıklar beyaz kasları (anaerobik) ve kırmızı kasları (aerobik) ile ürettikleri güçler ile balık geçidi içerisinde hareket ederler.

Beyaz kas gücü özellikle yüksek hızlarda (atılım yüzüşü) yüzme, kırmızı kas gücü ile de normal hızlarda yüzme (sürdürülebilir yüzme) sırasında kullanılır. Bundan dolayı, balıkların bu formlardaki yüzme kapasitelerinin belirlenmesi önemlidir.

Beyaz kaslar vasıtası ile üretilen ve atılım yüzüşü sırasında kullanılan enerji yüksek seviyede olmakla beraber, aynı kapasitenin balık tarafından geri kazanabilmesi için belli miktarlarda sürenin geçmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, bütün balık geçitlerinde belli mesafelerde dinlenme havuzları tahsis edilmektedir[11].

Balıkların yüzme kapasiteleri belli bir hıza karşılık gelen ve bu hızı sürdürebildikleri süre ile ilgilidir. Hunter ve Mayor adlı bilim adamları bu konu üzerinde daha önceden yapılmış çalışmalarını özetleyerek, araştırmalarının sonucunda balıkların dayanma hızlarını, sürelerini ve boyutlarını ilişkilendiren bir denklem üretmişlerdir [10]. Bu denklem şu şekilde ifade edilebilir,

$$V_{fw} = aL^b t^c \quad (1.1)$$

Bu denklemde,

$V_{fw}$  : Su ile balık arasındaki bağıl hız,

L : Balık boyu (m),

t : Balığın söz konusu hıza maruz kaldığı süre (sn.),

olmakla beraber a, b ve c balık türüne göre değişken olan katsayılardır.

Örnek vermek gerekirse, gökkuşağı alabalıkları için ilgili katsayılar yerine konularak denklem tekrar yazıldığında hızlar aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.[12]

Sürdürülebilir hızı için,

$$V_{fw} = 3.28L^{0.37}t^{-0.1} \quad (1.2)$$

Atılma hız için,

$$V_{fw} = 12.3L^{0.52}t^{-0.51} \quad (1.3)$$

Farklı balık türlerine göre değişen bu hız ve dayanma kapasiteleri, balık geçidi tasarımı sırasında hizmet edeceği türe dikkate alınmalıdır. Belli başlı balık türlerinin ilgili hız ve dayanma süresi değerleri Çizelge 1.1’de verilmiştir.

Çizelge 1.1: Balık Türlerinin Dayanma Süreleri ve Yüzme Hızları[3]

Genel İsim	Bilimsel İsim	Uzunluk Sınırı (mm)	Dayanma Süresi (s)	Yüzme Hızı (m/s)	Sıcaklık (°C)
<b>Anguiliform Yüzme Modu</b>					
Tatlı su Gelinciği	<i>Lota lota</i>	120 - 620	600	0.360 - 0.410	7-12
Bofa Balığı	<i>Petromyzon marinus</i>	145 - 508	0.8 - 1635	0.300 - 3.960	5-23
<b>Subkarangiform Yüzme Modu</b>					
Arktik gölge balığı	<i>Thymallus arcticus</i> <sup>K</sup>	70 - 370	600	0.520 - 0.720	12 - 19
Atlantik som balığı	<i>Salmo salar</i> <sup>A</sup>	231	300	0.516	7.0
Nehir Alabalığı	<i>Salvelinus fontinalis</i> <sup>A</sup>	41 - 172	10 - 1800	0.202 - 0.930	11.5-15
Som Balığı	<i>Oncorhynchus keta</i> <sup>A</sup>	38 - 48	300	0.181 - 0.342	10
Kisko	<i>Coregonus artedii</i> <sup>A</sup>	135	433 - 1800	0.458 - 0.630	12
Koho Som balığı	<i>Oncorhynchus kisutch</i> <sup>A</sup>	51 - 133	534 - 1746	0.343 - 0.701	10 - 20
Akbalık	<i>Leuciscus leuciscus</i> <sup>K</sup>	100 - 200	1 - 20	0.430 - 2.400	15
Düzbaşı kefal	<i>Platygobio gracilus</i> <sup>K</sup>	170 - 300	600	0.429 - 0.627	12 - 19
Kırmızı Balık	<i>Carassius auratus</i> <sup>K</sup>	67 - 213	1 - 20	0.420 - 2.000	15
Kambur Alabalık	<i>Coregonus clupeaformis</i> <sup>A/K</sup>	60 - 510	72 - 1278	0.341 - 1.021	5 - 19
Büyükbaş levrek	<i>Micropterus salmoides</i> <sup>K</sup>	81 - 224	300 - 1800	0.340 - 0.589	20 - 30
Uzunburun vantuz	<i>Catostomus catostomus</i> <sup>K</sup>	40 - 530	600	0.230 - 0.910	7 - 19
Penbe som balığı	<i>Oncorhynchus gorbuscha</i> <sup>A</sup>	465 - 596	72 - 1278	0.780 - 1.740	12 - 20
Gökkuşluğu Alabalığı	<i>Oncorhynchus mykiss</i> <sup>A/K</sup>	82 - 310	1 - 1800	0.257 - 2.700	7 - 15
Kızıl Somon	<i>Oncorhynchus nerka</i> <sup>A</sup>	126 - 621	6 - 1350	0.554 - 1.700	10 - 18
Şaşı balık	<i>Stizostedion vitreum</i> <sup>K</sup>	80 - 380	600	0.380 - 0.840	19
Beyaz Vantuz	<i>Catostomus commersoni</i> <sup>K</sup>	170 - 370	600	0.480 - 0.730	12 - 19

A - Anadrom, K - Katadrom



## 2. BALIK GEÇİTLERİ

Balık geçitlerine akış kontrolü enerji kırıcı yapılar vasıtasıyla sağlanmaktadır. Böylece akımın göç eden balıkların biyokinetik kapasitelerine uygun hale getirilmesi sağlanmaktadır. Bu doğrultuda balık geçitleri içerilerindeki enerji kırıcı yapıların tasarımına göre farklılıklar göstermektedir. Bu doğrultuda balık geçitlerinin türleri enerji kırma yöntemleri açısından 3 temel gruba ayrılabilir. Bunlar (1) Havuz ve savak, (2) Denil ve (3) Düşey yarıklı balık geçitleridir.[13]

### 2.1. Havuz ve Savak Tipi Balık Geçitleri

Yüksek yüzme ve sıçrama kapasitesine sahip somon balığı gibi balık türleri için genel olarak Şekil 2.1’de gösterilen balık geçitleri kullanılabilir[14].

Bu tip balık geçitleri yapısal olarak birbirini sabit mesafelerle takip eden ardışık havuz ve savak kombinasyonlarından oluşmaktadır. Her bir savak bir öncekinden kot olarak biraz daha aşağıda olduğundan basamakvari bir yapı ortaya çıkmaktadır.

Havuzdaki su savaktan akarak bir sonraki havuza şüt yaparak boşalmaktadır. Bu vasıta ile bir havuz içinde ekseni yan duvarlara dik olacak şekilde dairesel bir sirkülasyon yaratarak enerjinin kırılmasını ve hızların kontrol edilebilmesini sağlar. Bu yolla balıklar bir havuzdan diğerine şütler vasıtasıyla geçerek göçe mani olan engelleri aşmış olurlar.

Akımın balık göçleri üzerindeki etkisi yadsınamaz. Şöyle ki, eğer savak üzerindeki akımın hızı balıklar için kritik olan hızdan fazla ise bu durumda balık akıntıya karşı yüzemez duruma gelir. Balık geçidinin boyutları ile akım kontrol altına alındığından, en uygun boyutları seçmek üzere deneysel çalışmalar üzerinden birçok araştırma yapılmıştır.

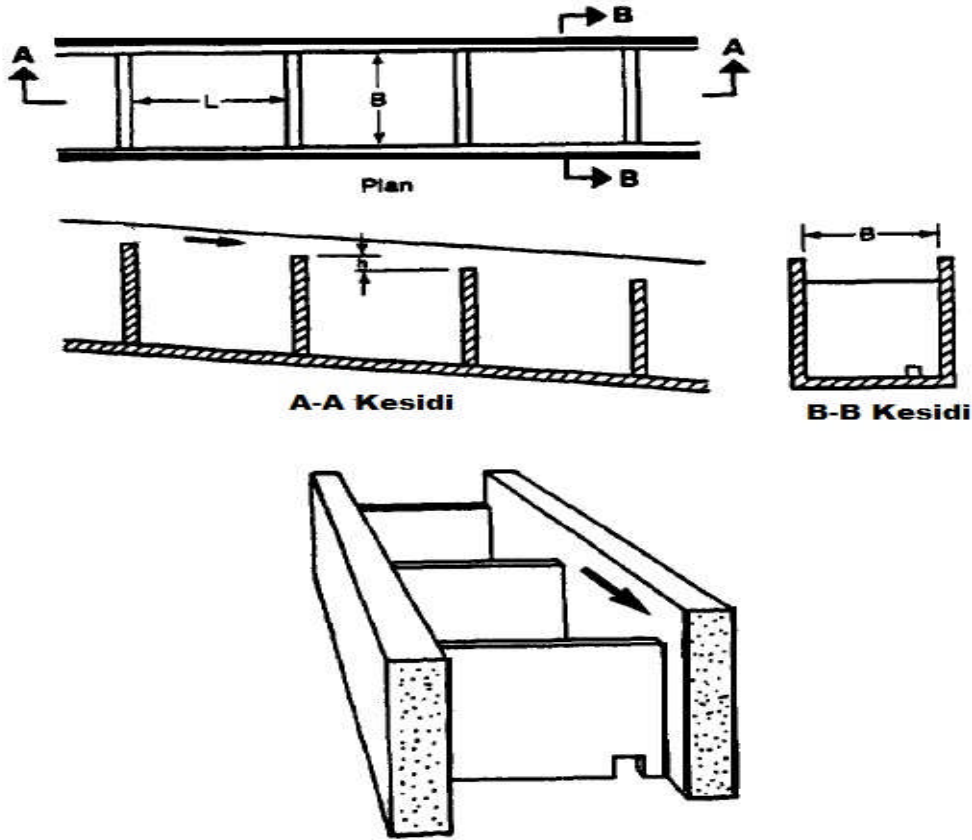
Bu tip balık geçitleri ile ilgili olarak yapılan model çalışmaları araştırmacılara akım durumlarını ortaya koyma açısından olanak sağlamıştır. Bu çalışmalar sonucunda 2 tip akımın oluştuğu ortaya çıkmıştır. Bunlar sırasıyla, Şekil 2.2’den de görülebileceği üzere, dalma (plunging flow) akım ve nehir rejiminde (streaming flow) akım olarak nitelendirilmiştir[10].

Bonneville Hidrolik laboratuvarlarında, İngiliz Kolombiyası Üniversitesi hidrolik laboratuvarlarında ve diğer birimlerde modeller üzerinden yapılan araştırmalar sonucunda ortaya aşağıdaki sonuçlar çıkmıştır.

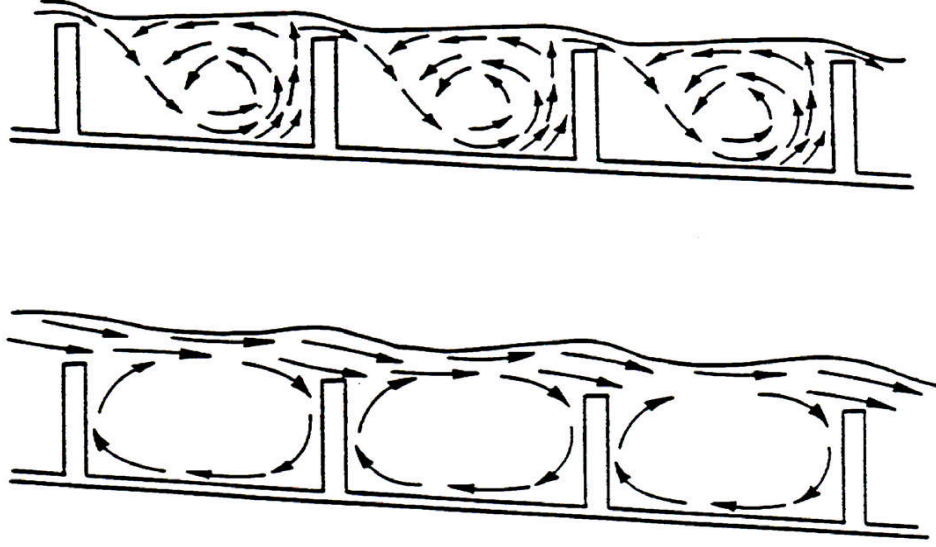
Genel olarak, savak üzerindeki su y¼k¼ 30 cm'den az ise dalma akım, y¼k 35 cm ve yukarısında ise nehir rejiminde akım oluştuğu anlaşılmıştır[15].

Dalma akımlarda savaktan sonraki su seviyesi genel olarak kret seviyesinden aşağıdadır. Bunun yanında nehir rejiminde akımlarda kretlerin üzerinde y¼zeysel bir akım ve havuzların üzerinde bir akım tabakası oluşmaktadır.

Bu tip balık geçitleri inşaat açısından kolay olmasının yanında değişken su seviyelerine karşı hassastır ve d¼zenlemeler gerektirir. Erişkin somonlar için havuzlar arasında su seviyesinin d¼ř¼ř¼ 300 mm olmakla beraber erişkin tatlı su balıkları için bu değer 200 mm'dir. Havuz ve savak tipi balık geçitlerinin taban eğimleri genel olarak %10'dur.



şekil 2.1: Havuz ve Savak Tipi Balık Geçidi[14]



**Şekil 2.2:** Havuz ve Savak Tipi Balık Geçitlerinde Dalma (üstteki) ve Nehir Rejimi (alttaki) Akımları [10]

## 2.2. Denil Tipi Balık Geçitleri

Denil geçitleri hidrolik laboratuvarlarında birçok çalışmaya konu olmuşlardır. Bu çalışmalar Denil ile 1908 yılında başlamış ve günümüze kadar ulaşmıştır.

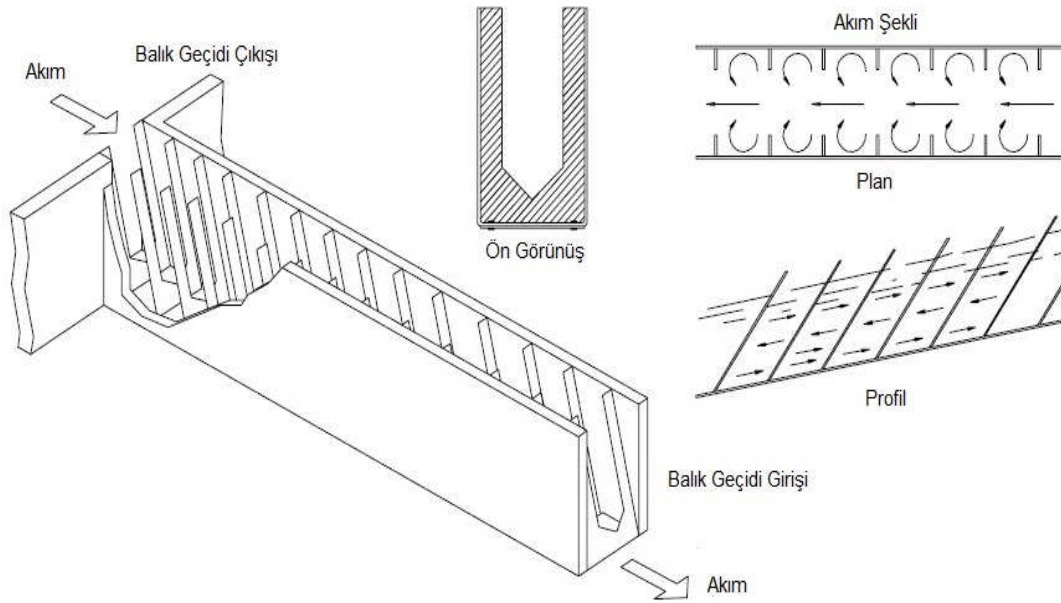
Denil tipi balık geçitleri birbirlerine yakın yerleştirilmiş, tabanlarında ve duvarlarında simetrik bölme duvarları bulunan kanallardır. Bu duvarlar akımın bir kısmının dönerek orta kısımdan geçen ana akıma karşı gelmesine sebep olur. Bu yolla ana akımın enerjisinin bir kısmı bölme duvarları vasıtasıyla yapının kendisine iletilerek enerjisi kırılmış olur. Böylece orta kısımda akımın hızı ciddi oranda azalmaktadır. Hidrolik açıdan bunun en büyük sebebi denil tipi balık geçitlerinde türbülansın son derece yüksek olması, momentum aktarımının büyük olmasıdır.

Balıklar bu yolla kanalın ortasında kendi kapasitelerine uygun derinliklerde ve hızlarda hareket edebilirler. Fakat bu tip balık geçitlerinde balıkların dinlenmesine olanak sağlayacak olan havuzlar mevcut değildir. Bu yüzden belli mesafelerde dinlenme havuzlarının temin edilmesi gerekmektedir. Örneğin erişkin somonlar için bu mesafeler 10-15 m, diğer tatlısu türleri için 5-10 m.'dir. Genel olarak denil tipi balık geçitlerinin eğimleri %10 dan başlayarak erişkin somon balıkları için yapılan balık geçitlerinde %25'e kadar çıkabilir[3].

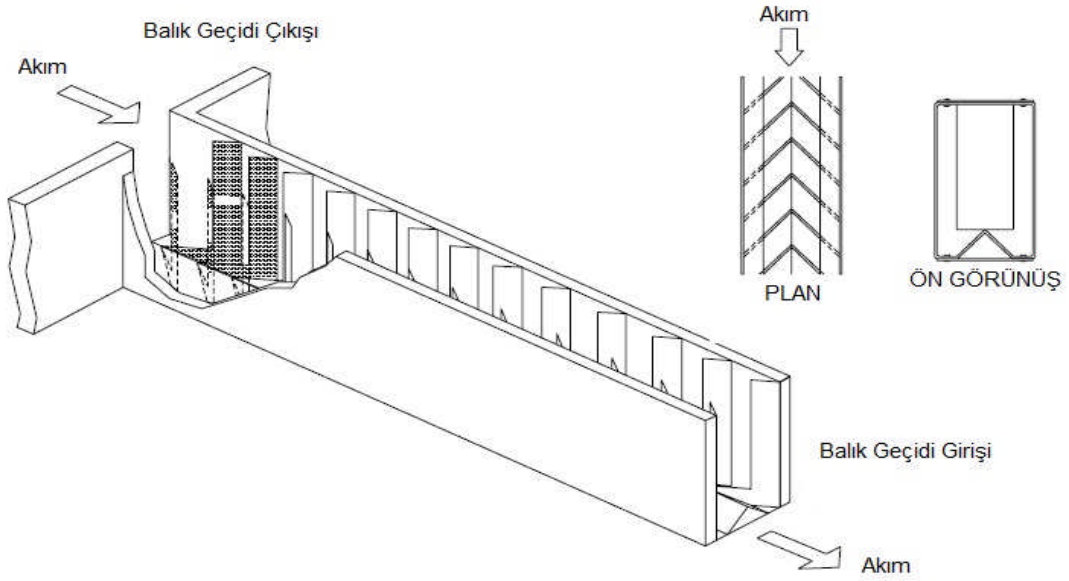
Genel olarak kullanılan 2 tür denil balık geçidini dikkate alabiliriz. Bunlardan birincisi basit denil balık geçitleri (Şekil 2.3), bir diğeri ise dikgeçişli denil balık

geçitleridir (Şekil 2.4)[10]. Basit denil balık geçitleri, menba tarafına bakılacak şekilde tabanla 45° açıyla yerleştirilmiş bölme duvarlardan oluşmaktadır. Dikgeçişli Denil balık geçitlerinde de bölme duvarlar menba tarafına bakmakta fakat yan duvarlara açıyla yerleştirilmiştir.

Basit denil balık geçitlerinde tabanda akım hızı düşük iken yüzeye yakın yerlerde akımın hızı daha yüksektir. Dikgeçişli denil balık geçitlerinde ise düşük derinliklerde su hızı tabanda daha düşük iken yüzeyde daha yüksektir. Fakat su derinliği arttığı vakit, akım üst ve alt olmak üzere iki tabakaya ayrılır ve hız profili maksimum hız ortada olacak şekilde simetrik bir hale gelir.



**Şekil 2.3:** Basit Denil Balık Geçidi[10]



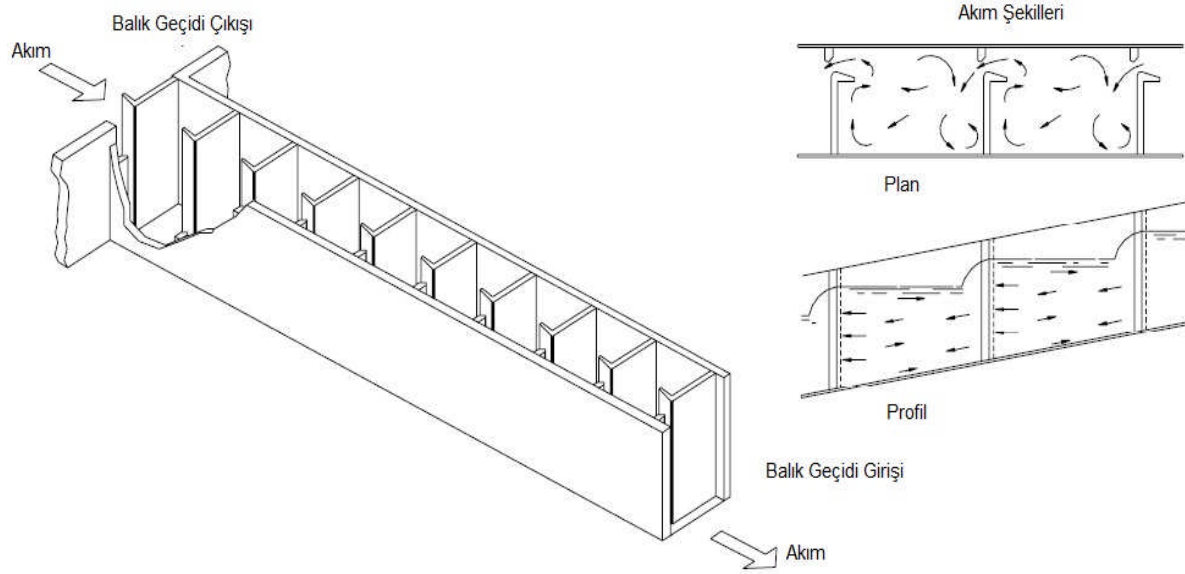
**Şekil 2.4:** Dikgeçişli Denil Balık Geçidi[10]

### 2.3. Düşey Yarıklı Balık Geçitleri

Temel anlamda düşey yarıklı balık geçitleri eğimli ya da basamaklı dikdörtgenel bir kanaldan oluşmaktadır. Bu kanal sabit uzunluğa sahip havuzlara bölünmüştür. Balık geçidinin bir ya da her iki duvarına bitişik bölme duvarlarının arasından kanalın üst seviyesine kadar uzanan dar yarıklar mevcuttur. Su, bu yarıklarda jet oluşturup bu sayede havuzun içinde karışarak diğer balık geçitlerinde de ana prensip olduğu üzere enerji sönmülmesine neden olur. Bu balık geçidi türünde enerji sönmü havuz ve savak tipi balık geçitlerinde olduğu gibi ekseni yan duvarlara dik bir sirkülasyon vasıtasıyla değil, ekseni balık geçidi tabanına dik bir sirkülasyon sayesinde gerçekleşir (Şekil 2.5). Balıklar, fırlama hızını kullanarak bu yarıklardan istedikleri derinlikten geçerek bir sonraki havuza geçerler. Ardından bir sonraki yarık denenene kadar bu havuzda dinlenirler.

Bu tip balık geçitlerinde hız dağılımı sabit olmakla beraber, yarık tabanından su yüzeyine kadar sabittir.

Bu tip balık geçitlerinin en önemli özelliği su seviyelerindeki değişimlere ayak uydurabilecek şekilde tasarlanmış olmalarıdır. Ardışık havuzlardaki su seviyeleri arasındaki fark, genel olarak, erişkin somon için 300 mm ve erişkin tatlı su balıkları için 200 mm'dir. Buna ilaveten genel olarak taban eğimleri %10'dur.



**Şekil 2.5:** Düşey Yarıklı Balık Geçitleri[8]

#### 2.4. Akarsularda Balık Geçidi Tasarım Esasları

Balık geçitleri, inşaattan önce akarsuda mevcut olan doğal özelliklerin korunmasına uygun olarak tasarlanmalıdır. İnşaattan önceki yerel akımda gözlenen şartlara uymaksızın yapılacak planlama ve tasarım, yapıları etkisiz hale getirir. Uygun olmayan planlama ile oluşacak hidrolik şartlar, balık geçidi giriş ve çıkışlarında istenen biçime uygun olmayacaktır. Uygun balık geçidinden emin olmak için balık geçitlerinin ayrıntılı incelenmesini ve planlamasını yürütmek üzere, bu konuda uzman mühendisler çalıştırılmalıdır. Bu ise akarsuda düşünülen balık geçidi kesidine, kıyı çizgisi topoğrafyası, su yüzü boy kesitleri ve akım özelliklerini belgelemek için gerekli ayrıntılı mühendislik ve hidrolik çalışmalarının yapılmasını gerektirir.

Balık geçitlerinin giriş ve çıkış uçları, göç eden balıkların girmesi, yapı içinde yüzmesi ve çıkıştan güvenli bir şekilde yukarıya doğru hareket etmesini çekici hale getirecek şekilde yerleştirilmeli ve hizaya getirilmelidir. Bu ise akarsuyun bütün su seviyelerinde göç eden balıkların göçlerinin ayrıntılı gözlemlenmesini ve incelenmesini gerektirir. Ayrıca bu gözlemler sırasında balıkların dinlenme ve kalma yerleri ile yüzme zorluğu çektikleri yerler de belirlenmelidir.

Balık geçitleri, balıkların göç ettiği, aşırı gecikmelerinin veya engellenmelerinin gözlemlendiği bütün akarsu su seviyelerine uyum sağlamalıdır. Bunun için, göç döneminde yıldan yıla değişen doğal akarsu seviyelerinde bir mevsimden daha fazla,

balıkların olduğu bütün dönemleri kapsayacak şekilde balık geçişlerinin gözlemlenmesini gerektirir.

Balık geçitlerinin genişliği, uzunluğu ve yüksekliği bilinen boyutları ile akımı yavaşlatan eşik sayıları, maksimum balık geçiş sayılarına, akarsuyun menba tarafındaki balık çıkış yeri ile mansap tarafındaki balık giriş yeri arasında akarsuda bulunan en büyük su seviyesi farklarına göre belirlenmelidir. Bu ise, balık geçidi ön tarafındaki akarsu diliminin hidrolik özelliklerinin, saatlik ve günlük beklenen en büyük balık göç sayılarının ve geçit yapılarından geçecek balık türlerinin büyüklüğu, ağırlığı ve yüzme şartlarının bilinmesini gerektirir. Bu parametreler balık eşikleri (savaklar) arasındaki havuzların boyutlarının belirlenmesinde ve toplam eşik sayılarının ortaya konmasında önemli faktörlerdir. Bir balık havuzunda her bir balık için su hacmi olarak bilinen teorik mekan ihtiyaçları ve tasarım kapasitesi olarak anılan balık geçişindeki maksimum sayıyı karşılayacak, minimum su derinliği diğer göz önünde bulundurulması gereken faktörlerdir. Eşik yarıklarının boyutları ve balık geçidi havuzları arasındaki düşüş yüksekliği, ortalama balık büyüklüğüne ve onların yüzme özelliklerine bağlı olarak belirlenmelidir. Düşey yarıklardan su jetinin geçiş hidroliğinin uygunluğu ve havuzların içindeki akım durumunun belirlenmesi için balık geçitlerinin model deneyleri yapılmalıdır. Projenin uygulanmasından önce, büyük ölçekli balık geçidi model deneyleri, içlerinden canlı balıkların geçişlerini gözleyecek şekilde mutlaka yapılmalıdır.

Yapı çözümlenmesi açısından, balık geçitlerinin bütün yapı bileşenleri, bütün muhtemel iç, dış ve ek yükler ile basınçlar dikkate alınarak tasarlanmalıdır. Dış yükler, zemin gerilmesi, hidrolik basınç, su kaldırma basıncı, akan suyun etkisi, batmış veya yüzen cisimlerin etkisi ve aletler ile yarıkları tıkanınca ortaya çıkacak olan tam dolu hidrolik yüke bağlı olan hidrolik basınçlardır. Bu kuvvetlerin çeşitli yükleme bileşimleri altında her bir yapı uygun bir şekilde incelenmelidir. Bunun için, mühendislik ve hidrolik prensiplerde yoğun bir bilgi kadar, balık geçişi tasarım ve inşaatında veya balık geçişi yapılarında deneyim gereklidir. Çalışmaların yürütülmesinde, halkın güvenliği ve çevrenin korunması çok önemli bir husus olduğundan dikkate alınmalıdır. Bütün yapıların tasarımı, geçerli kanun ve yönetmeliklere, standartlara uygun olmalı ve yetkin mühendisler tarafından gerçekleştirilmelidir [16].



### 3. BALIK GEÇİTLERİNİN HİDROLİĞİ

#### 3.1. Balık Geçitlerindeki Akımların Özellikleri

Balık geçitlerindeki akımlar analiz edilirken değerlendirilmesi gereken en önemli husus savakların zincirin birer halkası olarak mı hareket ettikleri yoksa tek başlarına değerlendirilebilir olup olmadıklarıdır. Balık geçitlerinde her bir havuzdaki akım önceki savaktaki ve havuzdaki akımdan etkilenmektedir. Sürtünme katsayısı balık geçitlerinin hidrolüğünün irdelenmesi açısından etkili bir araçtır. Sürtünme katsayısının hesaplanması ile ilgili olan mevcut formüller üniform akımlar için geçerli olmakla beraber, balık geçitlerinin modellenmesinde alınabilecek temel kabuller aşağıdaki gibidir.

- Balık geçitlerinde akımlar ortalama olarak üniformdur.
- Akım yapının geometrisi tarafından tayin edilir.
- Akım sürtünmesi keskin kretli savaklar için geçerli olan genel debi denklemleri ile hesaplanabilir.
- Akım zincirleme savaklar üzerindeki bir akım olarak değerlendirilebilir.

Balık geçitlerinde su hızları için ampirik formüller üretilirken, sürekli ve kararlı üniform akım için geçerli olan denklemler kullanılmaktadır. Balık geçidi içerisindeki akım da sürekli ve teorik olarak kararlıdır.

Ven Te Chow'a göre açık kanallarda akım kanalın her kesidindeki akım derinliği eşit ise o akım üniformdur. Üniform akımlar değişken olmayan kesitler ve sabit taban eğimi gerektirmekle beraber, bu durumda su yüzeyi eğimi, enerji çizgisi eğimi ve taban eğimi aynıdır[17].

Balık geçitlerinin hidrolüğü incelendiğinde ise bölme duvarlardan dolayı oluşan enerji sönümlenmesi dolayısıyla akım üniform değildir. Fakat bu elemanlar basit anlamda pürüzlülük olarak alınır, o zaman balık geçitlerindeki akımlar üniform akım olarak kabul edilebilir. Havuz ve Savak tipi balık geçitleri de dahil olmak üzere, deneysel çalışmalar göstermiştir ki kısa bir mesafede akım düzgün akım haline gelir.

Dolayısıyla, balık geçitlerindeki akımlar orta noktada tamamen düzgün akım halini aldığından ortalama su yüzeyi eğimi, ortalama enerji çizgisi eğimi aynıdır. Yani bitişik havuzlardaki su yükseklikleri aynı noktalardan ölçüldüğünde eğittir[18].

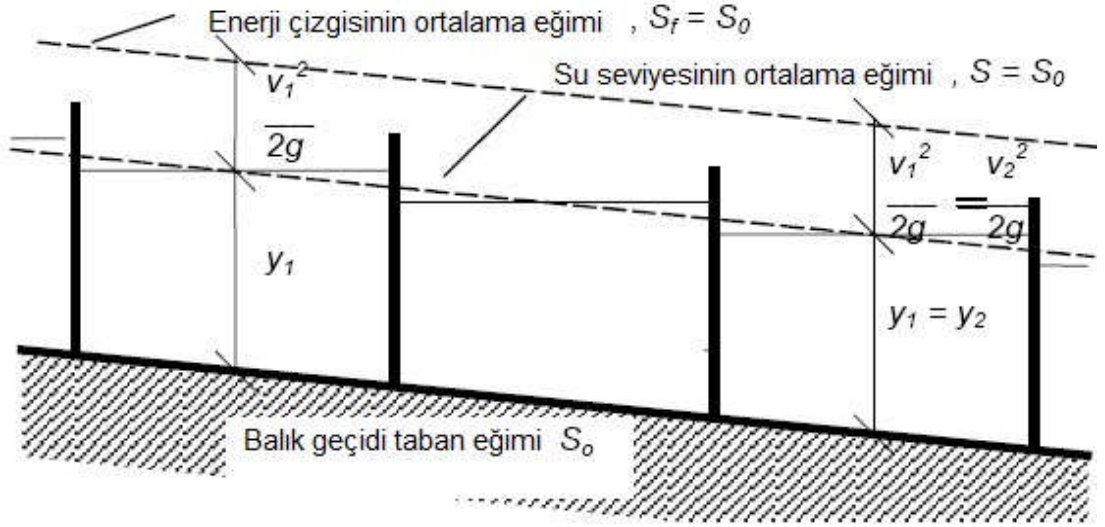
Bunlara ilaveten, Ven Te Chow açık kanallarda su mansap yönünde akarken ona karşı bir direnç olduğunu ve bu direncin de yerçekimini dolayısıyla su kütlesinin hareket yönünde oluşturduğu kuvvetler tarafından karşılındığını belirtmiştir[17]. Bu karşılıklı kuvvetlerin dengede olması durumunda, üniform akım oluşacağını belirtmiştir. Bu karşı direnç, kanala ait diğer fiziksel faktörler değiştirilmez ise akımın hızına bağlıdır.

Sonuç olarak balık geçitlerindeki akımlar yukarıda belirtilen şartlar altında şekil 3.1’de gösterildiği şekilde üniform olarak kabul edilebilir.

Başta belirtildiği üzere balık geçitlerindeki akımlar bitişik havuzlardaki ve savaklardaki akımlardan etkilenmektedir. Taşkın savakları üzerindeki çalışmalar sırasında, zincirleme sistemlerde dahi savakların çoğunlukla birer taşkın savakları şeklinde hareket ettikleri ortaya çıkmıştır.

Bunun yanında iki husus dikkat çekmektedir,

- Bitişik taşkın savakları olması durumunda, menba tarafındaki savak havuzdaki hız dağılımını değiştirerek, mansap tarafındaki savaktaki yaklaşım hızını etkilemektedir. Bu etkileşim havuz geometrisi ile ilgili olup, taban eğimi ile azalmaktadır.
- Savaklar zerindeki akım havuz içindeki su kütlesini iterek, su derinliğini etkilemektedir. Bu durum özellikle havuzlardaki su seviyesinin düşük olması ile ortaya çıkmaktadır.



**Şekil 3.1:** Balık Geçitlerinde Üniform Akım

Daha önce Bölüm 2.1’de de belirtildiği üzere havuz ve savak tipi balık geçitlerinde akım ya dalma ya da nehir rejimindeki akım şeklindedir. Veijalainen akımın dalma (plunging flow) ya da nehir rejimindeki akım (streaming flow) olmasının havuz uzunluğu ve akım derinliğine bağlı olduğunu ortaya koymuştur[10]. Havuz uzunluğu debi miktarına (diğer bir anlatımla su derinliğine) oranla uzun ise akım dalma şeklindedir. Akım derinliği arttığı vakit ise akım nehir rejimindeki akım şekline dönüşmektedir.

Savaklar hakkında hidrolik bilgiler kapsamlı olmakla beraber, havuz ve savak tipi balık geçitlerinde savaklar birbirlerine yakın ve hidrolik açıdan birlikte hareket ettiklerinden, bu konudaki çalışmalar yeterli değildir.

### 3.2. Balık Geçitlerinde Boyutsuz Debi Formülleri

Katopodis tarafından geometrik olarak ölçekli modeller ile düşey yarıklı, denil ve havuz ve savak tipi balık geçitleri üzerinde deneyler yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda değişik eğim ve su derinlikleri için debi değerleri ve karakteristik hız profilleri elde edilmiştir. Farklı balık geçidi tipleri ve ölçekleri için boyutsuz değerler kullanılarak deney sonuçları özetlenmiştir. Balık geçitlerindeki debi için boyutsuz değer şu şekilde ifade edilmiştir.

$$Q_* = \frac{q}{\sqrt{gS_0b_0^2L^3}} \quad (3.1)$$

- $Q$  : Balık Geçidi Debisi ( $m^3/sn$ ),  
 $S_0$  : Balık Geçidi Taban Eğimi ( $m/m$ ),  
 $b_0$  : Karakteristik Genişlik (Örn. Yarık genişliği) ( $m$ ),  
 $L$  : Balık Geçidindeki Havuz Uzunluğu ( $m$ ),  
 $g$  : Yerçekimi İvmesidir ( $m/sn^2$ ).

Boyutsuz Debi  $Q_*$ , akım derinliği  $y_0$  olarak ifade edilirse,  $y_0/b_0$  boyutsuz derinliğin lineer ya da üslü bir fonksiyonudur. Gözlemlenmiş balık geçitlerinin birçoğunda düşey bir çizgideki hız profillerinin benzerlik gösterdiği ortaya çıkmıştır. Bu benzerlik boyutsuz değerlerin birçok balık geçidi için uygulanabilir olmasını sağlamaktadır. Bununla beraber balık geçidindeki havuz uzunluğu karakteristik genişlik açısından ifade edilebileceğinden (3.1) denklemi şu şekilde de yazılabilir:

$$Q_* = \frac{Q}{\sqrt{gS_0b_0^5}} \quad (3.2)$$

### 3.2.1. Düşey yarıklı balık geçitlerinde boyutsuz debi formülleri

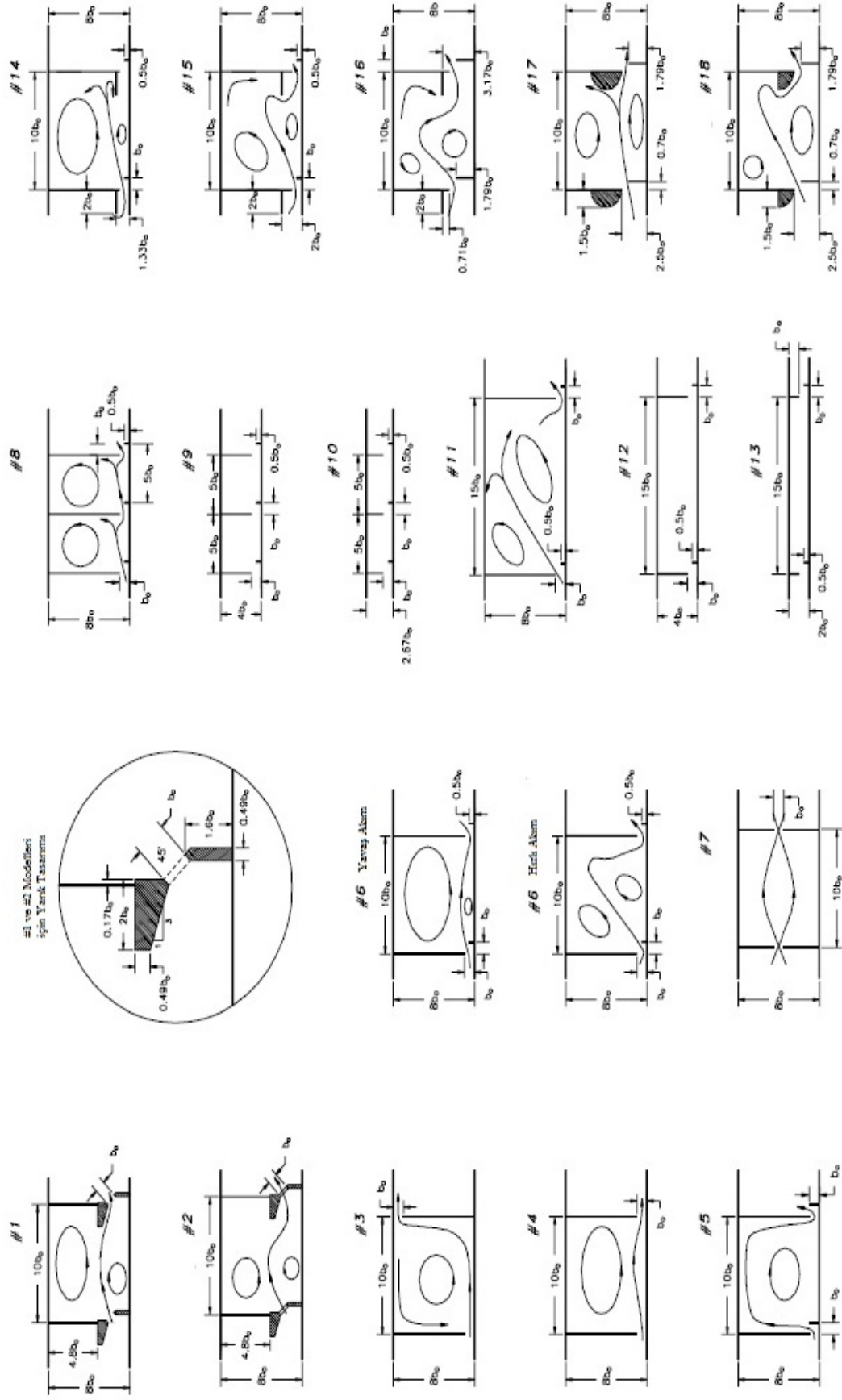
Düşey yarıklı balık geçitlerinde boyutsuz debi denklemi boyutsuz derinlik ile ilgili olup doğrusal olarak değişmektedir. Her yarıktaki maksimum hız ( $u_m$ ) havuzlar arasındaki su yükü farkının ( $h$ ) bir fonksiyonu olmakla beraber, menba tarafındaki hız ihmal edilirse, şu şekilde hesaplanabilmektedir:

$$u_m = \sqrt{2gh} \quad (3.3)$$

Katopodis'in yaptığı araştırmalarında 18 farklı model üzerinde hidrolik özelliklerin havuz boyutları ve yarık geometrisine bağlı olarak değişimlerini incelenmiştir[3]. 8-13 numaralı modeller özellikle standart havuz uzunlukları ve genişliklerinin yeterli performansı verip vermediğini görmek üzere test edilmiştir. 14-18 numaralı modeller 1 numaralı modelin değiştirilmiş şeklidir. Çizelge 3.1 ve Şekil 3.2 den de görülebileceği üzere deney sonuçları  $8b_0$  genişliğinde ve  $10b_0$  uzunluğundaki havuzların yeterli performansı gösterdiği sonucunu vermektedir. Genel olarak kullanılan 1 ve 2 nolu tasarımların yanı sıra 6, 16 ve 18 numaralı tasarımların da kullanıma uygun olduğu ortaya çıkmıştır.

**Çizelge 3.1:** Düşey Yarıklı Balık Geçitleri İçin Boyutsuz Debi Formülleri[3]

Tasarım	$y_o/b_o$ sınırı	$Q_* = \frac{Q}{\sqrt{gS_o b_o^5}}$
Tasarım #1	1.90 - 9.02	$Q_* = 3.77(y_o/b_o) - 1.11$
Tasarım #2	2.46 - 9.51	$Q_* = 3.75(y_o/b_o) - 3.52$
Tasarım #3	2.30 - 25.79	$Q_* = 2.84(y_o/b_o) - 1.62$
Tasarım #4	1.77 - 10.79	$Q_* = 5.85(y_o/b_o) - 0.67$
Tasarım #5	2.17 - 13.29	$Q_* = 2.67(y_o/b_o) - 0.52$
Tasarım #6	2.17 - 13.55	$Q_* = 2.71(y_o/b_o)$
Tasarım #7	4.53 - 24.28	$Q_* = 2.91(y_o/b_o) - 3.22$
Tasarım #8	1.93 - 12.62	$Q_* = 1.66(y_o/b_o)$
Tasarım #9	1.97 - 11.61	$Q_* = 1.65(y_o/b_o)$
Tasarım #10	2-12.37	$Q_* = 1.4(y_o/b_o)$
Tasarım #11	1.71 - 12.1	$Q_* = 2.98(y_o/b_o)$
Tasarım #12	2.26 - 12.63	$Q_* = 3.11(y_o/b_o)$
Tasarım #13	3.85 - 12.22	$Q_* = 4.13(y_o/b_o)$
Tasarım #14	3.07 - 13.04	$Q_* = 3.21(y_o/b_o)$
Tasarım #15	3.3 - 12.83	$Q_* = 2.89(y_o/b_o)$
Tasarım #16	3.19 - 12.87	$Q_* = 3.59(y_o/b_o)$
Tasarım #17	3.69 - 9.38	$Q_* = 3.27(y_o/b_o)$
Tasarım #18	3.64 - 7.48	$Q_* = 3.71(y_o/b_o)$



Şekil 3.2: Düşey Yarıklı Balık Geçitleri İçin Farklı Geometriye Sahip Modeller[3]

### 3.2.2. Denil tipi balık geçitlerinde boyutsuz debi formülleri

Katopodis tarafından 6 Farklı Denil tipi balık geçitleri üzerinde yapılan deneylerde hidrolik özellikler irdelenmiş ve boyutsuz formüller Çizelge 3.2'teki gibi özetlenmiştir.

Boyutsuz debi denklemi Denil Tipi balık geçitleri göz önüne alındığında su derinliğinin üslü bir fonksiyonu olarak ortaya çıkmış ve şöyle ifade edilmiştir.

$$Q_* = \frac{Q}{\sqrt{gS_0b_0^5}} = \alpha(y_0/b_0)^\beta \quad (3.4)$$

Burada,

$\alpha$  : Balık geçidi tabanının eğimini,

$b_0$  : Yan bölme duvarları arasındaki mesafeyi temsil etmektedir.

Standard (Basit) (Tip 2) ve Dik geçişli (Tip 1) denil tipi balık geçitleri karşılaştırıldığında  $y_0/b_0 > 1$  değerleri için basit denillerin akım kapasitesinin dik geçişliden daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Tam tersi durum  $0.5 < y_0/b_0 < 1$  değerleri için geçerlidir.

Şekil 3.2'de bahsedilmiş Tip 2 ve 6 arası basit denil tipi balık geçitlerinde, geometrik özellikleri açısından farklılık göstermelerine rağmen, hız profilleri benzerlik göstermekte ve tabandan su yüzeyine doğru hızlar artmaktadır. Bunun yanında dik geçişli Denil balık geçitlerinde durum farklıdır. Burada maksimum hız Bölüm 2.2'de belirtildiği gibi su derinliğinin orta noktasında oluşmaktadır.

Boyutsuz hız formülü, boyutsuz debi formülünün üstel bir fonksiyonu olmakla beraber şu şekilde ifade edilmiştir,

$$U_* = \frac{u_m y_{ada} u'_m}{\sqrt{gS_0b_0^5}} = \alpha Q_*^\beta \quad (3.5)$$

Burada,

$u_m$  : Yarıklardaki maksimum hızdır.

**Çizelge 3.2:** Denil Balık Geçitleri İçin Boyutsuz Debi ve Maksimum Hız Formülleri[3]

Tasarım	$y_0/b_0$ sınırı	$Q_* = \frac{Q}{\sqrt{gS_0b_0^5}}$	$U_* = \frac{u_m \text{ or } u'_m}{\sqrt{gS_0b_0^5}}$
Tip 1	0.1 - 4.0	$Q^* = 0.97(y_0/b_0)^{1.55}$	$U^* = 1.43(Q^*)^{0.48}$
Tip 2	0.5 - 5.8	$Q^* = 0.94(y_0/b_0)^2$	$U^* = 0.76(Q^*)^{0.61}$
Tip 3	0.5 - 1.2	$Q^* = 1.12(y_0/b_0)^{1.16}$	
Tip 4	1 - 5	$Q^* = 1.01(y_0/b_0)^{1.92}$	$U^* = 0.84(Q^*)^{0.58}$
Tip 5	1.3 - 4.6	$Q^* = 1.35(y_0/b_0)^{1.57}$	$U^* = 0.67(Q^*)^{0.57}$
Tip 6	0.8 - 4.3	$Q^* = 1.61(y_0/b_0)^{1.43}$	$U^* = 1.37(Q^*)^{0.25}$

### 3.2.3. Havuz ve savak tipi balık geçitlerinde boyutsuz debi formülleri

Bu tip balık geçitlerinde akımlar daha önce Bölüm 2.1’de bahsedildiği üzere dalma ve nehir rejiminde akım şeklindedir. Bu tip balık geçitlerinde su, savak üzerinden, tabandaki orifislerden ya da hem savak üzerinden hem de orifislerden akmaktadır.

Katopodis her 3 durum için de boyutsuz debi formüllerini deneyleri sonucunda çıkarmıştır.

(1) Savak üzerinden akım var ise,

Nehir rejiminde akımlarda ortalama  $d$  yüksekliğinde bir yüzeysel akım oluşmakta ve havuzlardaki sirkülasyon halinde olan suyun üzerinden akmaktadır. Yüzeysel akım ile havuzdaki su arasındaki kayma gerilmeleri dikkate alınırken, duvarlar ile su kütlesi arasındaki kayma gerilmeleri ihmal edilebilir. Savak genişliği  $B$  olarak ifade edilirse; dalma modundaki akımlardaki maksimum hız ( $u_m$ ), nehir rejimindeki akımlarda yüzeysel akımın ortalama hızı ( $V_{ort}$ ), dalma ( $Q_p$ ) ve nehir rejimindeki ( $Q_s$ ) akımlar için boyutsuz debi formülleri Çizelge 3.3’te gösterildiği şekilde ifade edilebilir.

**Çizelge 3.3:** Akımın Savak Üzerinden Olduğu Durumda Boyutsuz Denklemler[3]

Akım Şekli	Boyutsuz Debi Denklemi	Hız Denklemleri
Dalma	$Q_p = \frac{Q_w}{Bh^{1.5}\sqrt{g}} = 0.61$	$u_m = \sqrt{2gh}$
Nehir Rejimi	$Q_s = \frac{Q_w}{Bd^{1.5}\sqrt{gS_0}} = 1.5\sqrt{L/d}$	$V_{ort} = Q_w/Bd$

Çizelge 3.3'te, havuz uzunluğu  $L$ , dalma akımlarda savak üzerindeki su yüksekliği  $h$  olarak ifade edilmiştir.

(2) Orifiste akım oluşuyor ise,

Orifis yüksekliği su derinliğinden yüksek olduğu durumlarda düşey yarıklı balık geçidi davranışı görülmekte; orifis yüksekliği su yüksekliğinin yarısından düşük ise de gömülü su jeti oluşmaktadır. Her bir savaktaki su yüksekliği  $y_0$  olarak, orifis yüksekliği  $z_0$  ve orifis genişliği  $b_0$  olarak tanımlanarak, deneylerde bu değerler cinsinden balık geçidi boyutları tespit edilmiş ve incelenmiştir. Havuz uzunluğu ( $L$ )  $6-10b_0$ , genişliği ( $B$ )  $5-10b_0$ , savak yüksekliği ( $p$ )  $3.5-4 b_0$  ve kare şeklinde orifis seçilerek ( $z_0 = b_0$ ) yapılmış deney sonuçlarından bulunmuş, gömülü su jeti için boyutsuz debi formülleri ( $Q_j$ ) orifisteki debi ( $Q_o$ ) cinsinden Çizelge 3.4'te özetlenmiştir.

**Çizelge 3.4:** Akım Orifisten Olduğu Durumda Boyutsuz Formüller[3]

Su Derinliği	$Q_j = \frac{Q_o}{\sqrt{gS_0b_0^5}}$	Akım
$y_0 < z_0$	$Q_j = 1.94 (y_0/b_0)$	Düşey Yarıklı
$y_0 > 2z_0$	$Q_j = 2.25$	Gömülü Jet

(3) Akım hem savak üzerinden hem de orifisten gerçekleşiyorsa,

Orifis ve savak arasındaki etkileşim göz ardı edilebilir. Böylece savaktaki debi ve orifisteki debi ayrı ayrı hesaplanarak toplanır ve toplam debi elde edilir.

$$Q = Q_w + Q_o \quad (3.6)$$

### 3.3. Boyutsuz Debi Formülleri Kullanılarak Yapılan Örnek Hesaplama

Örnek olarak düşey yarıklı balık geçidi tasarlamamız gerektiğini ve balık geçidinin özelliklerini, genel olarak kullanıldığı üzere ardışık havuzlarda su seviyesi farkını 300 mm ve taban eğimini %10 alalım.

Varsayalım ki balık geçidinde  $Q = 2 \text{ m}^3/\text{s}$ 'lik bir akım mevcut olsun. Bu durumda gerekli yarık genişliği ve savak yüksekliği şu şekilde bulunabilir.

Çizelge 3.1'e göre en yaygın kullanılan düşey yarıklı balık geçidinin boyutsuz debi formülü,

$$Q^* = 3.77(y_0/b_0) - 1.11 \quad (3.7)$$

ve

$$1.90 < y_0/b_0 < 9.02 \quad (3.8)$$

olarak ifade edilir. Bununla beraber (3.2) nolu denklem (3.7) nolu formülde yerine konulursa,

$$Q = [3.77 \times (y_0/b_0) - 1.11] \times \sqrt{9.81 \times 0.1 \times b_0^5} = 2 \text{ m}^3/\text{s} \quad (3.9)$$

eşitliği elde edilir.

$y_0$  ve  $b_0$  değerleri bilinmediğinden (3.8) numaralı denklemi sağlayacak şekilde tekrarlı çözümler yapıldığı zaman,

$y_0 = 2.25 \text{ m}$  ve  $b_0 = 0.4 \text{ m}$  değerleri için  $Q = 2 \text{ m}^3/\text{s}$ 'lik debinin geçirilebildiği,

$$Q = [3.77 \times (2.25/0.4) - 1.11] \times \sqrt{9.81 \times 0.1 \times 0.4^5} = 2.01 \text{ m}^3/\text{s} > 2 \text{ m}^3/\text{s}$$

Bu durumda havuz boyu  $4 \text{ m}$  ( $10b_0$ ), genişliği ise  $3.2 \text{ m}$  ( $8b_0$ ) olarak bulunur.

Yapı boyutlarına ilaveten eğer bir önceki havuzdaki akımın hızı ihmal edilirse, düşey yarıktaki maksimum hız, (3.3) nolu denklemden,

$$u_m = \sqrt{2(9.81)(0.3)} = 2.43 \text{ m/s}$$

olarak bulunabilir.

## 4. SAYISAL ANALİZ İLE MODELLEME

Bu çalışma sırasında sayısal analizin yapılması amacıyla fluent adlı program kullanılmıştır. Bu program vasıtasıyla balık geçitlerindeki akımın özellikleri bulunarak bu sonuçların deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak değerlendirilmesi yapılabilecektir.

### 4.1. Programın Tanıtımı

Fluent sonlu hacimler yöntemini kullanan bir Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımıdır. Gambit, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) ve Sonlu Elemanlar (SE) analizlerinde kullanılabilen bir ön işlemcidir. Gambit, iki boyutta ya da üç boyutta istenilen geometriye sahip sayısal ağın basit bir şekilde oluşturulmasına imkan verir. Gambit'te istenilen geometriye sahip ağ oluşturulduktan sonra bu ağ Fluent'te okutularak hesaplar yapılmaktadır.

Modellerin çözülmesinde fluent programı farklı çözüm yöntemleri sunmaktadır. Bu çözüm imkanlarını özetlemek gerekirse bunlar ayrılmış (segregated), birleştirilmiş kapalı (coupled implicit) ve birleştirilmiş açık (coupled explicit) çözümlerdir.

Ayrılmış ve birleştirilmiş çözüm yöntemleri arasında temel fark denklemlerin çözüm yöntemleridir. "Ayrılmış" yaklaşımı süreklilik, momentum, enerji denklemlerini sıra ile çözer. Yani başka bir deyişle bir önceki adımın değerleri kullanarak bir sonraki adımın değerlerinin hesabı yapılır. "Birleştirilmiş" yaklaşım ise aynı denklemleri eş zamanlı olarak çözer.

Kısaca hesap adımlarını açıklamak gerekirse ayrılmış yöntem modelin özellikleri belirlenip çözüm aşamasına geçildiğinde sırasıyla,

- a. Momentum denklemlerini,
- b. Süreklilik ve basınç denklemlerini (basınç ve debi düzenlenerek),
- c. Enerji ve türbülans denklemlerini,

çözerek sonucun yakınsayıp yakınsamadığını kontrol eder. Eğer sonuç istenilen seviyede yakınsamaz ise tekrar en baştan aynı sırayla sonuç yakınsayana kadar denklemleri çözer. Birleştirilmiş yöntemde ise çözüm aşaması şöyledir,

- a. Momentum, süreklilik ve enerji denklemleri aynı anda,
- b. Türbülans denklemleri,

çözülerek sonucun yakınsayıp yakınsamadığı kontrol edilir ve döngü istenilen yakınsaklık derecesi sağlanana kadar devam eder.

#### **4.1.1. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) ve sonlu hacim yöntemi (SHY) nedir?**

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, akışkanlar mekaniğinin, sayısal metodları ve algoritmaları kullanarak akışkanlara ait akımları çözmeye ve analiz etmeye yarayan bir dalıdır. Sınır şartları ile tanımlanmış yüzeyler vasıtasıyla akışkanlar arasındaki etkileşim, bilgisayarlar kullanılarak ve milyonlarca işlem yapılarak çözülebilmektedir.

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği problemlerinin temeli Navier-Stokes denklemleri'dir. Navier-Stokes denklemi herhangi bir tek fazlı akımları tanımlamaktadır. Vizkoziteyi tanımlayan terimler kaldırıldığında Euler denklemi elde edilmektedir. Daha da ileri gidilirse, çevrintisiz ve daimi akım olduğu varsayımıyla potansiyel akım denklemlerine ulaşılır.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde temel etken bilgisayar ile sürekli bir akışkanın nasıl ayrıklaştırılmış bir tarzda değerlendirildiğidir. Bu yöntemlerden biri, alanı ufak hücelere bölerek bir hacim ağı oluşturmak ve uygun bir algoritma ile hareket denklemlerini çözmektir. (Örn. İdeal olmayan akımlar için Navier-Stokes denkleminin çözülmesi, ideal akımlar için Euler denkleminin çözülmesi)

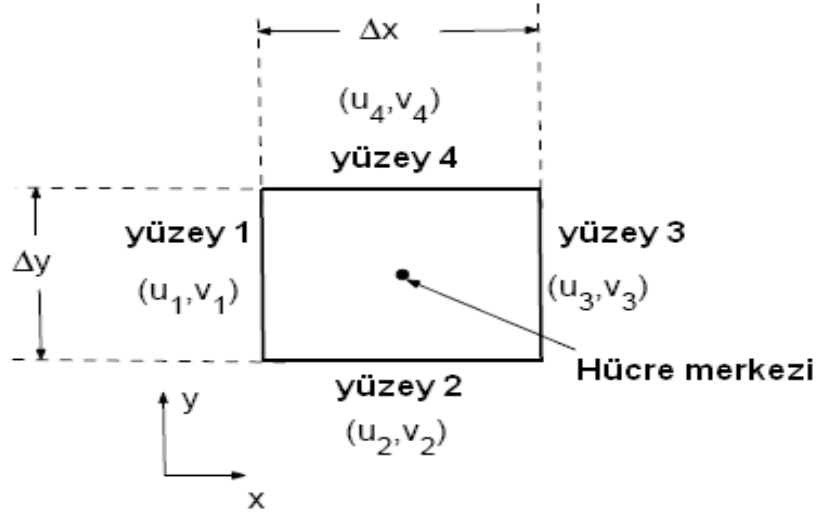
Çözümün uygulanacağı uzay alanının ayrıştırılmasında kullanılan metodların başlıcaları Sonlu Hacim Yöntemi (SHY), Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) , Sonlu Farklar Yöntemi (SFY) ve Sınır Elemanları Metodudur (SEM).

Sonlu hacim yöntemi eliptik, parabolik ya da hiperbolik korunum denklemlerinin sayısal analizlerinde kullanılması uygun olan bir ayrıştırma metodudur ve akışkanlar mekaniğinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Sonlu hacim yöntemi bir denge

yaklaşımı temelinde uygulandığından konservatiftir. Her bir kontrol hacmi için o ayrıştırılmış hücreye ait bir yerel denge tanımlanır[19].

Sonlu hacim yöntemi, sonlu farklar ya da sonlu elemanlar yöntemlerinde oldukça farklıdır. Basitçe açıklamak gerekirse sonlu farklar yöntemi, ağlar ile tanımlanan ayrıştırma noktalarına birer ayrık bilinmeyen atanarak bu her noktada bir denklem yazar. Bu ayrıştırma noktalarında bilinmeyenlerin türevleri Taylor açılımları ile sonlu farklara dönüştürülür. Sonlu farklar metodu eğer denklemlerdeki katsayılar devamlı değil ise kullanımı zor hale gelir. Fakat bu durum sonlu hacim yöntemi için geçerli değildir[20]. Örneğin, süreklilik denkleminin sonlu hacim yöntemi ile çözümü aşağıdaki gibidir.

Şekil 4.1 deki gösterildiği gibi  $\Delta x$ 'e  $\Delta y$  boyutlarında bir hücre düşünelim.



Şekil 4.1: Ağ Sistemindeki Bir Kontrol Hacmi

Kararlı ve sıkıştırılamaz bu akım için süreklilik denklemi (4.4) denkleminin sadeleşmiş halidir. Bu denklem integral formunda şu şekilde ifade edilebilir.

$$\int_S \vec{V} \cdot \hat{n} ds = 0 \quad (4.1)$$

Bu durumda ağ hücresine ait herhangi bir yüzeydeki hız,

$$\vec{V} = u_i \hat{i} + v_j \hat{j} \quad (4.2)$$

olarak yazılırsa, (4.1) denklemini kontrol hacmine uygulandığında,

$$-u_1 \Delta y - v_2 \Delta x + u_3 \Delta y + v_4 \Delta x = 0 \quad (4.3)$$

elde edilir. Ağıdaki herhangi bir kontrol hacminde cebirsel hale getirilmiş bu denklemler momentumun korunumu için de yazılabilir. Balık geçidinin programda modellenmesinde kullanılan temel yaklaşımlar ve denklemler

Fluent bütün akımlar için,

(1) Süreklilik (Kütlenin korunumu)

(2) Momentumun korunumu

denklemlerini çözmektedir. Bunlarla beraber, akım türbülanslı olduğu durumlarda ilave taşınım denklemleri ya da akım sıkıştırılabilir olduğunda veya ısı transferi sözü konusu olduğu durumda enerji denklemleri de çözülebilmektedir.

Süreklilik ve momentumun korunumunu temel anlamda açıklamak istenirse, korunum denklemleri aşağıdaki gibi özetlenebilir.

(1) Süreklilik Denklemleri:

Süreklilik denklemindeki prensip eğer akım daimi ise bir kontrol hacmine giren kütle oranının çıkan kütle oranına; daimi olmayan akımlarda ise kontrol hacmine giren kütle oranı ile çıkan kütle oranı arasındaki farkın kontrol hacmindeki kütle değişim oranına eşit olmasıdır.

Bu durumda denklemin genel hali şu şekilde yazılabilir,

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \vec{v} = S_m \quad (4.4)$$

$S_m$  : Sisteme giren kütleyle ifade etmektedir.

Bu denklem sıkıştırılamaz akışkanların yanında sıkıştırılabilir akışkanlar için de geçerlidir.

(2) Momentumun Korunumu Denklemi:

Momentumun korunumu kanunu, tanımlı problemde, momentum miktarının sabit olduğunu ve momentumun ne yaratılabileceğini ne de yok edilebileceğini fakat Newton'ın hareket denklemlerinde belirtildiği gibi sadece kuvvet ile değişebileceğini belirtmektedir.

Momentumun korunumu denklemlerinin genel hali aşağıdaki gibi yazılabilir,

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\bar{\tau}) + \rho \vec{g} \quad (4.5)$$

Sıkıştırılmaz akım teorisi, akışkanın viskozitesinden kaynaklanan etkileri yok saymaktadır. Bu tarz akımlarda Reynold sayısı 1'den hayli büyüktür. Bu durumda daha önce de bahsedildiği gibi Navier-Stokes denklemlerindeki kesme kuvvetleri sadeleşerek Euler denklemini oluşturmaktadır. Bununla beraber sıkıştırılmaz akımlarda süreklilik denklemi aynen daha önce bahsettiğimiz laminar akımlardaki süreklilik denklemi ile aynı şekilde ifade edilmektedir. Bu durumda Euler Denklemi şu şekilde ifade edilebilir [21]:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \rho \vec{g} \quad (4.6)$$

#### 4.1.2. Çevrinti modellenmesi

Çevrintili akımlar dalgalanan hız alanları olarak nitelenmektedir. Fluent ile çeşitli çevrinti modelleri tanımlanabilmekle beraber (Spalart-Allmaras,  $k - \omega$ , Reynold gerilme modeli, vb.) bu çalışma kapsamında kullanılan model çevrinti modellerinin en temel hali olan standart  $k - \epsilon$  modelidir.

Bu çift denklemlilikli model, iki ayrı taşınım denkleminin çözümü ile çevrinti hızlarının bağımsız olarak tespit edilmesine olanak sağlamaktadır. Launder ve Spalding tarafından bu çevrinti modeli öne sürüldüğünden beri uygulamasının basit olması ve dolayısıyla mühendislikte ve özellikle basit akımlarda yaygın olarak kullanılmaktadır[22].

Standart  $k - \epsilon$  modeli yarı ampirik bir model olmakla beraber, temelinde çevrinti kinetik enerjisi ( $k$ ) ve dağılma hızı ( $\epsilon$ ) için taşınım denklemleri yatmaktadır. Genel bir tanım yapmak gerekirse; çevrinti kinetik enerjisi ve dağılma hızı aşağıdaki taşınım denklemleri ile elde edilmektedir,

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (4.7)$$

ve

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \quad (4.8)$$

Bu denklemlerde  $C_{1\epsilon}$ ,  $C_{2\epsilon}$  ve  $C_{3\epsilon}$  sabitler olmakla beraber,

$G_k$  : Ortalama hız gradyanları dolayısıyla oluşan çevrinti kinetik enerjisini,

$G_b$  : Yüzmeden dolayı oluşan çevrinti kinetik enerjisini,

$Y_M$  : Sıkışabilir çevrintideki değişken genişlemenin dağılıma hızına etkisini,

$\sigma_k, \sigma_\epsilon$  : Prandtl çevrinti sayılarını

temsil etmektedir.

Çevrintinin akma direnci,

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (4.9)$$

denkleminde hesaplanmaktadır.

(4.9) denklemindeki  $C$  ve Prandtl sabitleri fluent ile analiz yapılırken programa tanımlanmaktadır. Genel olarak bu değerler hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde deneyler sonucunda elde edilmiş olmakla beraber aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir[23].

$$C_{1\epsilon} = 1.44 \quad C_{2\epsilon} = 1.92 \quad C_{1k} = 0.09, \sigma_k = 1.0 \quad \sigma_\epsilon = 1.3$$

#### 4.1.3. Çok fazlı modelleme

Hesaplamalı akışkanlar mekaniğindeki gelişmeler çok fazlı akımların dinamiğini daha derinlemesine inceleme olanağı tanımaktadır. Çok fazlı akımların sayısal hesaplamaları ile ilgili olarak 2 tip yaklaşım vardır. Bunlar Euler-Lagrange ve Euler-Euler yaklaşımlarıdır [24].

Euler-Euler yaklaşımında farklı fazlar matematiksel olarak iç içe geçmiş gibi değerlendirilir. Bunun sonucunda bir faza ait hacim diğer fazlar tarafından doldurulamaz, böylece hacim fraksiyonu tanımı ortaya çıkar. Fazların oranları toplamı her zaman 1'e eşittir.

Fluent'ta 3 farklı Euler-Euler çok fazlı modeli mevcuttur. Bunlar sırasıyla Akışkan hacmi (VOF) modeli, Karışım modeli ve Euler Modelidir. Bu çalışmadaki model bir nevi açık kanal akımı özellikleri gösterdiğinden, bu tarz akımlara en uygun çok fazlı akım modeli olan akışkan hacmi ("VOF" Volume of Fluid) modeli kullanılmıştır.

Akışkan hacmi modeli iki ya da daha fazla akışkanın ya da fazın birbirine karışmadığını varsaymaktadır. Modele eklenen her bir faz için bir değer tanımlanmaktadır. Her bir kontrol hacminde bulunan fazların hacim oranları toplamı 1 (bir) olmaktadır. Her bir hücrede bulunan fazların hacim oranları bilindiği sürece, bu bölgedeki her bir değişken ve özellik fazlar arasında hacim oranları doğrultusunda

paylaşılmaktadır. Böylece herhangi bir hücrede bu değişkenler ve özellikler, fazların hacim oranlarına bağlı olarak tek bir fazı ya da çok fazla olması durumunda karışımı temsil etmektedir.

Diğer bir deyişle eğer n'inci akışkanın hücredeki hacim oranı  $\alpha_n$  olarak tanımlanırsa, aşağıdaki 3 durum söz konusu olabilir,

$\alpha_n = 0$  ise hücre n numaralı akışkan açısından boştur.

$\alpha_n = 1$  ise hücre n numaralı akışkan ile doludur.

$0 < \alpha_n < 1$  ise hücrede n numaralı akışkanın yanında diğer akışkanlar da bulunmaktadır.

$\alpha_n$  'in değerine bağlı olarak sistemdeki her bir kontrol hacmine uygun özellikler ve değişkenler tanımlanır.

Fazlar arasındaki etkileşimin takibi, bir ya da daha fazla fazın hacim oranları için süreklilik denkleminin çözülmesi ile sağlanmaktadır. n'inci faz için süreklilik denklemini vektörel hali aşağıdaki formu almaktadır.

$$\frac{\partial \alpha_n}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla \alpha_n = \frac{S \alpha_n}{\rho_n} \quad (4.10)$$

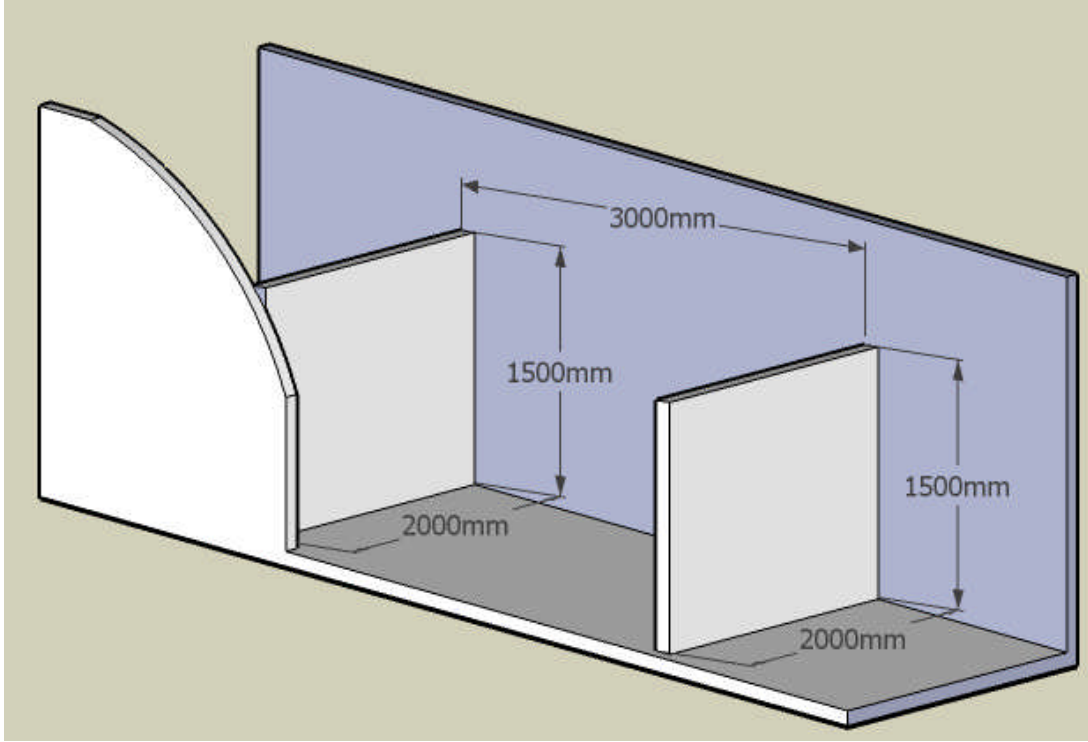
## 4.2. Modelin Temel Özellikleri

Havuz ve savak tipi balık geçitlerinde akım genel olarak keskin kretli savak üzerindeki akımlar ile benzerlik göstermektedir.

Matematiksel model sırasında kullanılan geometrik özellikler balıkların yüzme kapasitelerine ve daha önce modeller üzerinden yapılan deneyler doğrultusunda belirlenmiştir.

Şekil 4.2'de gösterildiği üzere, havuz ve savak tipi balık geçitlerinde genel olarak havuz uzunlukları 3 m ve genişliği 2 m olması dolayısıyla bu genişlikler seçilmiş, bununla beraber değişken kret yükseklikleri arasından 1.5 m.'lik kret yüksekliği uygun görülmüştür. Söz konusu kretin genişliğinin kanal genişliğine eşit olduğu kabul edilmiştir.

Balık geçidinin taban eğimi %10 olarak öngörülmüş, bununla beraber debi 3 m<sup>3</sup>/s olarak seçilmiştir.



**Şekil 4.2:** Balık Geçidi Geometrisi – Perspektif Görünüş

2 boyutlu model kurulurken, modelin geometrisinin ve akım şartlarının belirlenmesi gerekmektedir. Geometri belirlenirken, su seviyeleri önem arz etmektedir. Dolayısıyla kritik su yüksekliği ve suyun kabarma yüksekliği hesaplanarak modele tanımlanmalıdır.

#### **4.2.1. Suyun kabarma yüksekliği, kritik su yüksekliği ve hızların tayini**

Savaklar üzerindeki akımlardaki debi ile ilgili olarak birçok deney yapılmakla beraber, bu deneylerin sonucu genel olarak

$$Q = CLH^{1.5} \quad (4.11)$$

olarak ifade edilebilir[17]. Burada L kret genişliği, Q debi, C ise deşarj katsayısıdır. C katsayısı savak şekline ve debiye göre 1.4 ve 2.1 arasında değişmekle beraber genel olarak 1.6 olarak alınmaktadır[25].

Bu durumda kret üzerindeki kabarma yüksekliği (4.11) numaralı denklemden hesaplanabilmektedir.

$$3 = 1.6 \times 2 \times H^{1.5}$$

$$H = \sqrt[2/3]{3/(1.6 \times 2)} \cong 0.96 \text{ m}$$

Bu durumda menba tarafındaki su yüksekliği, kret yüksekliği ile birlikte değerlendirilirse menba tarafındaki su yükü,

$$H_1 = 1.5 + 0.96 = 2.46 \text{ m}$$

olarak bulunmuştur.

Akabinde,

$$Q/A_1 = V_1 \quad (4.12)$$

denklemden menba tarafındaki hız bulunur. Menba tarafındaki alan ( $A_1$ ), menba tarafındaki su yüksekliğinin kanal genişliği ile çarpımına eşit olduğundan,

$$A_1 = 2.46 \times 2 = 4.92 \text{ m}^2 \text{ dir.}$$

Buradan (4.11) eşitliğinde ilgili debi ve alan değeri yerine konulduğunda hız,

$$V_1 = 3/4.92 = 0.61 \text{ m/s}$$

olarak bulunmaktadır.

Şu aşamada menba tarafındaki su yüksekliği, su hızı ve debiyi bilinmektedir. Bunun akabinde, savak üzerindeki kritik su derinliğini ve hızını hesaplanmıştır.

Dikdörtgenel kanallarda savak üzerindeki kritik su yüksekliği ( $h_c$ ) ve kritik su hızı ( $V_c$ ),

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gB^2}} \quad (4.13)$$

ve

$$V_c = \sqrt{gh_c} \quad (4.14)$$

olarak ifade edilmektedir[26]. Burada

B : Kanal genişliği (m),

Q : Savak üzerinden geçen debi ( $\text{m}^3/\text{sn}$ ),

g : Yerçekimi ivmesini temsil etmektedir ( $\text{m}/\text{sn}^2$ ).

İlgili değerleri (4.13) ve (4.14) nolu denklemlerde sırasıyla yerine konduğunda kritik su derinliği,

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{3^2}{9.81 \times 2^2}} \cong 0.61 \text{ m}$$

olarak bulunur, kritik su yüksekliğine bağlı olarak kritik hız derinliği ise

$$V_c = \sqrt{9.81 \times 0.61} \cong 2.45 \text{ m/s}$$

olarak bulunmaktadır.

Sonuç olarak, balık geçidinin geometrik özellikleri, su derinlikleri ve akımın özellikleri belirlenmiştir. Bu geometrik özellikler programa ileriki bölümlerde açıklanacak olan hesap kriterleri ve sınır şartları ile birlikte tanımlanarak model tamamlanmıştır.

#### 4.2.2. Modelin ağ ve geometrisi

Havuz savak tipi balık geçidinin geometrisi Gambit ile kurulmuştur. Geometri tanımlanırken bir adet havuz dikkate alınmıştır. Daha önce de belirtildiği üzere, havuz uzunluğu 3 m olarak, kret yüksekliği 1.5 m olarak alınmıştır. Fluent'ta sınır şartlarına yakın yerlerde herhangi bir engel tanımlanması sonucunda programın yanlış sonuçlar verme olasılığı bulunmaktadır. Bu doğrultuda modeldeki akımı daha düzgün belirleyebilmek amacıyla kretlerden menba ve mansap tarafında doğru model 1.5 m daha devam ettirilmiştir. Daha önce belirlenen geometrik özelliklerin yanında kretlerin genişliği de 10 cm olarak seçilmiştir. Modele tanımlanan balık geçidinin geometrik özellikleri Şekil 4.3'ten görülmektedir.

Ardından modele tanımlanmak üzere doğrudan adım yöntemi (direct step method) kullanılarak su yüzeyinin profili çıkarılmaya çalışılmıştır.

Genel olarak aşamalı yöntemler, kanalların kısa mesafelere bölünmesi ve hesaplamaların bir uçtan diğerine doğru aşama aşama çözülmesi prensibine dayanmaktadır. Birçok aşamalı yöntem bulunmakla beraber her birinin kullanım alanı farklıdır. Doğrudan aşama yöntemi prizmatik kanallar için uygun bir yöntemdir. Bernoulli denklemi bir kanalda aralarında  $\Delta x$  kadar mesafe bulunan 2 kesit arasında yazılırsa,

$$S_0 \Delta x + y_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = y_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + S_f \Delta x \quad (4.15)$$

Denklem x için çözülürse,

$$\Delta x = \frac{E_2 - E_1}{S_0 - S_f} = \frac{\Delta E}{S_0 - S_f} \quad (4.16)$$

halini alır.  $\alpha_1$ 'in  $\alpha_2$ 'ye eşit olduğu varsayılabilir. Bu denklemlerde,

$y$  : Akımın derinliği,

$V$  : ortalama hız,

$\alpha$  : enerji katsayısı,

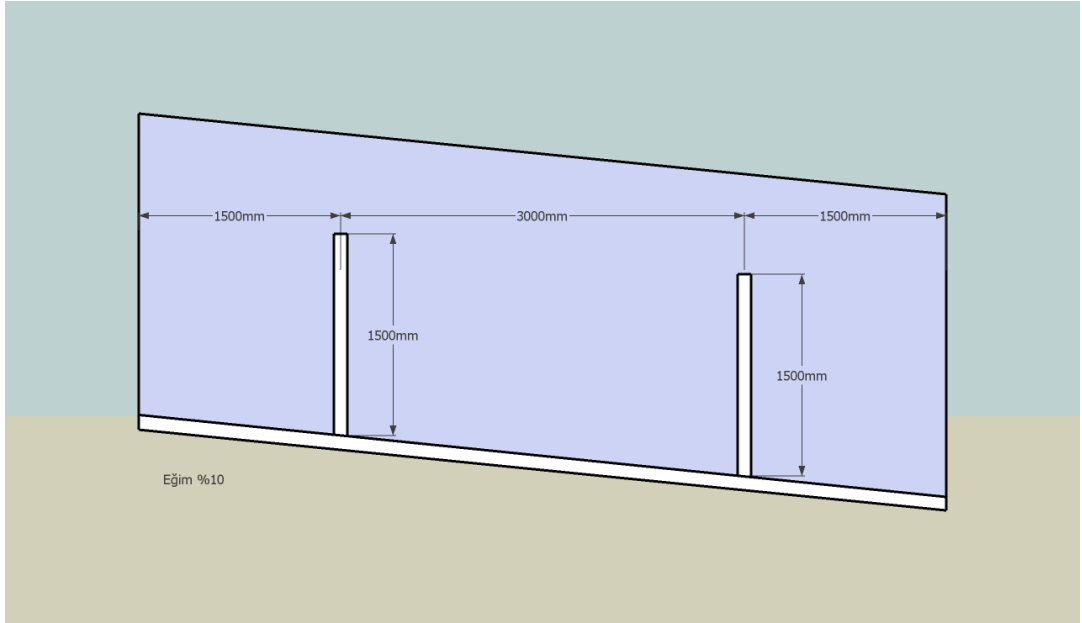
$S_0$  : taban eğimi,

$S_f$  : hidrolik eğimdir.

Manning formülü ile hidrolik eğim,

$$S_f = \frac{n^2 V^2}{R^{4/3}} \quad (4.17)$$

olarak ifade edilebilir.



**Şekil 4.3:** Balık Geçidi Geometrisi – Boy Kesit

Bu hesaplama yönteminin temelini 4.17 denklemi oluşturmaktadır.

Çözüm aşamaları özetlenmek gerekirse sırasıyla,

1. Kanal uzunluğu belli aralıklara bölünür ve bu noktalara denk gelen taban kotları kanal eğimine göre hesaplanır,
2. İlk noktadan başlanarak ilk komşu noktaya yaklaşık bir su yüzü kotu verilir. Böylece su derinliği taban kotu da kullanılarak hesaplanır.

3. Alan ve ardından hızlar hesaplanır.
4. Hız yüksekliği ile su yüksekliği toplanarak enerji kotu hesaplanır.
5. (2) nolu adımda verilen su kotuna karşılık gelen hidrolik yarıçap hesaplanır.
6. 4.17 denklemleri ile hidrolik eğim hesaplanır.
7. Bir önceki noktada bulunan hidrolik eğimle (6) nolu maddede bulunan hidrolik eğimin aritmetik ortalaması alınır.
8. Noktalar arası mesafe ile ortalama hidrolik eğim çarpılarak yük kaybı hesaplanır.
9. Bir önceki noktadaki enerji kotu ile yük kaybı eklenip enerji kotu hesaplanır.
10. (4) ve (9) nolu maddelerdeki enerji kotları eşit değilse, bunlar eşitlenecek şekilde (2) nolu maddedeki su kotu değiştirilir.
11. (10) nolu madde sağlandıktan sonra bir sonraki komşu noktaya geçilerek aynı prosedür tekrardan hesaplanır.

Modele tanımlanmak üzere su yüzü profilinin tespiti doğrudan aşamalı yöntem kullanılarak hesaplanmaya çalışılmıştır fakat bu yöntem bir noktada bilinen su yükünden başlanarak, kanal boyunun belli mesafe aralıklarına bölünmesi ve bu noktalardaki su yükünü bulunması için kullanıldığından bu çalışmada uygulanabilir olmamıştır. Bunun sebebi bu çalışmadaki problemde kabarma ve kritik su seviyelerinin bilinmesi ve aralarındaki mesafenin belli olmasıdır. Hesaplamalar bu iki nokta arasına uygulandığında ve kret üzerindeki su yüksekliğinden menba tarafına doğru gelinerek kabarma yüksekliği bulunduğu anda, doğrudan adım yöntemi ile bulunan mesafe ile kritik su seviyesi ve kabarma yüksekliğinin tanımlandığı kanal ortası arasındaki 1.5 m'lik mesafe birbirini tutmamıştır.

Fakat menba tarafındaki kanal uzunluğu sonsuz olarak kabul edilerek, kritik su seviyesinin suyun kabarma yüksekliğine eşit olduğu yer bulunmaya çalışılmıştır.

Çizelge 4.1'den de çalışmaya esas olan kanal için örnek olarak 13.5 m'lik bir mesafe için hesaplamalar yapılmıştır. Çizelgeden görülebileceği üzere adımlar arasındaki yük kayıpları bir hayli düşük olmaktadır ve hedeflenen kabarma yüksekliğine ulaşmak mümkün olmamıştır. Noktalar arası mesafe 0.5 m olarak seçilmiş ve kret üzerinden menba tarafına doğru 100 m'lik bir mesafeye kadar hesaplamalar devam ettirilmiştir ama bu çalışmaya eklenmemiştir. Buna rağmen kabarma yüksekliği olan 2.46 m'lik değere ulaşamamıştır. Görülmüştür ki, 100 m'de su yükü yaklaşık 0.05 m artmıştır. Bu noktadan yola çıkarak, basit bir varsayımla istenilen su yüküne yaklaşık 500 m'de ulaşabilmektedir.

**Çizelge 4.1: Doğrudan Aşamalı Yöntem ile Su Yüzü Profiline Tayini**

A	B	C	D	E=C+D	F=E*2	G=1/F	H=G <sup>2</sup> /2g	H+D	2E/2+2E	R <sup>4/3</sup>	V <sup>2</sup> <sub>H1</sub> /R <sup>4/3</sup>	Ortalama Eğim Sf'	Ara mesafe	(S <sub>0</sub> -S <sub>f</sub> )*Δx	Enerji Kotu
Toplam Mesafe	Ara mesafe	Taban eğimi S <sub>0</sub>	Taban kotu	su derinliği (y)	Alan (A)	Hız (V)	Hız Yüksekliği	Enerji Kotu	Hidrolik Yarıçap	R <sup>4/3</sup>	Hidrolik Eğim Sf	Eğim Sf'	Ara mesafe	(S <sub>0</sub> -S <sub>f</sub> )*Δx	Enerji Kotu
0	0.5	0.1	1.35	1.962	1.224	2.45098	0.3061827	2.26818	0.379653	0.274904	0.008740934				2.26818
0.5	0.5	0.1	-0.1	2.148	4.496	0.66726	0.0226929	2.27069	0.692118	0.612219	0.000290899	0.004516	0.5	0.002257958	2.27044
1	0.5	0.1	-0.05	2.198	4.496	0.66726	0.0226929	2.27069	0.692118	0.612219	0.000290899	0.000291	0.5	0.00014545	2.27059
1.5	0.5	0.1	0	2.24804	4.49608	0.667248	0.0226921	2.27073	0.692122	0.612224	0.000290887	0.000291	0.5	0.000145447	2.27073
2	0.5	0.1	0.05	2.29817	4.49634	0.667209	0.0226895	2.27086	0.692134	0.612238	0.000290846	0.000291	0.5	0.000145433	2.27088
2.5	0.5	0.1	0.1	2.34834	4.49668	0.667159	0.0226861	2.27103	0.69215	0.612257	0.000290793	0.000291	0.5	0.00014541	2.27102
3	0.5	0.1	0.15	2.39848	4.49696	0.667117	0.0226833	2.27116	0.692164	0.612273	0.00029075	0.000291	0.5	0.000145386	2.27117
3.5	0.5	0.1	0.2	2.44863	4.49726	0.667073	0.0226802	2.27131	0.692178	0.61229	0.000290703	0.000291	0.5	0.000145363	2.27131
4	0.5	0.1	0.25	2.49878	4.49756	0.61	0.0189653	2.26775	0.692192	0.612307	0.000243081	0.000267	0.5	0.000133446	2.27145
4.5	0.5	0.1	0.3	2.54893	4.49786	0.666984	0.0226742	2.27160	0.692206	0.612323	0.00029061	0.000267	0.5	0.000133423	2.27158
5	0.5	0.1	0.35	2.59908	4.49816	0.666939	0.0226712	2.27175	0.692221	0.612334	0.000290563	0.000291	0.5	0.000145293	2.27173
5.5	0.5	0.1	0.4	2.64923	4.49846	0.666895	0.0226681	2.27190	0.692235	0.612357	0.000290516	0.000291	0.5	0.00014527	2.27187
6	0.5	0.1	0.45	2.69938	4.49876	0.66685	0.0226651	2.27205	0.692249	0.612374	0.000290469	0.00029	0.5	0.000145246	2.27202
6.5	0.5	0.1	0.5	2.74953	4.49906	0.666806	0.0226621	2.27219	0.692263	0.61239	0.000290423	0.00029	0.5	0.000145223	2.27216
7	0.5	0.1	0.55	2.79968	4.49936	0.666761	0.0226591	2.27234	0.692277	0.612407	0.000290376	0.00029	0.5	0.0001452	2.27231
7.5	0.5	0.1	0.6	2.84983	4.49966	0.666717	0.022656	2.27249	0.692292	0.612424	0.000290329	0.00029	0.5	0.000145176	2.27245
8	0.5	0.1	0.65	2.89998	4.49996	0.666673	0.022653	2.27263	0.692306	0.612441	0.000290283	0.00029	0.5	0.000145153	2.27260
8.5	0.5	0.1	0.7	2.95013	4.50026	0.666628	0.02265	2.27278	0.69232	0.612457	0.000290236	0.00029	0.5	0.00014513	2.27274
9	0.5	0.1	0.75	3.00028	4.50056	0.666584	0.022647	2.27293	0.692334	0.612474	0.000290189	0.00029	0.5	0.000145106	2.27289
9.5	0.5	0.1	0.8	3.05043	4.50086	0.666539	0.022644	2.27307	0.692348	0.612491	0.000290143	0.00029	0.5	0.000145083	2.27303
10	0.5	0.1	0.85	3.10058	4.50116	0.666495	0.0226409	2.27322	0.692363	0.612508	0.000290096	0.00029	0.5	0.00014506	2.27318
10.5	0.5	0.1	0.9	3.15073	4.50146	0.66645	0.0226379	2.27337	0.692377	0.612524	0.00029005	0.00029	0.5	0.000145036	2.27332
11.0	0.5	0.1	0.95	3.20088	4.50176	0.666406	0.0226349	2.27351	0.692391	0.612541	0.000290003	0.00029	0.5	0.000145013	2.27347
11.5	0.5	0.1	1	3.25103	4.50206	0.666362	0.0226319	2.27366	0.692405	0.612558	0.000289957	0.00029	0.5	0.00014499	2.27361
12.0	0.5	0.1	1.05	3.30118	4.50236	0.666317	0.0226289	2.27381	0.692419	0.612575	0.00028991	0.00029	0.5	0.000144967	2.27376
12.5	0.5	0.1	1.1	3.35133	4.50266	0.666273	0.0226259	2.27396	0.692434	0.612591	0.000289863	0.00029	0.5	0.000144943	2.27390
13.0	0.5	0.1	1.15	3.40148	4.50296	0.666228	0.0226229	2.27410	0.692448	0.612608	0.000289817	0.00029	0.5	0.00014492	2.27405
13.5	0.5	0.1	1.2	3.45163	4.50326	0.666184	0.0226198	2.27425	0.692462	0.612625	0.00028977	0.00029	0.5	0.000144897	2.27419

Doğrudan aşamalı yöntemin uygulanamadığı ortaya çıktıktan sonra, daha farklı bir yaklaşım yapılmıştır.

Daha önce Bölüm 4.2.1’de menba tarafındaki kabarma su yüksekliğini 2.46 m olarak, kret üzerindeki kritik su yüksekliğini de 0.61 m olarak bulunmuştu. Bölüm 3.1’de balık geçitlerindeki akımların orta noktada tamamen düzgün akım halini aldığından ve ortalama su yüzeyi eğimi ile ortalama enerji çizgisi eğiminin aynı olduğundan bahsedilmişti (Bkz. Şekil 3.1). Bu doğrultuda havuz ortasındaki su yüksekliği de kabarma yüksekliğine eşit alınarak geometriye dahil edilmiş ve su yüzeyi profili tanımlanmıştır.

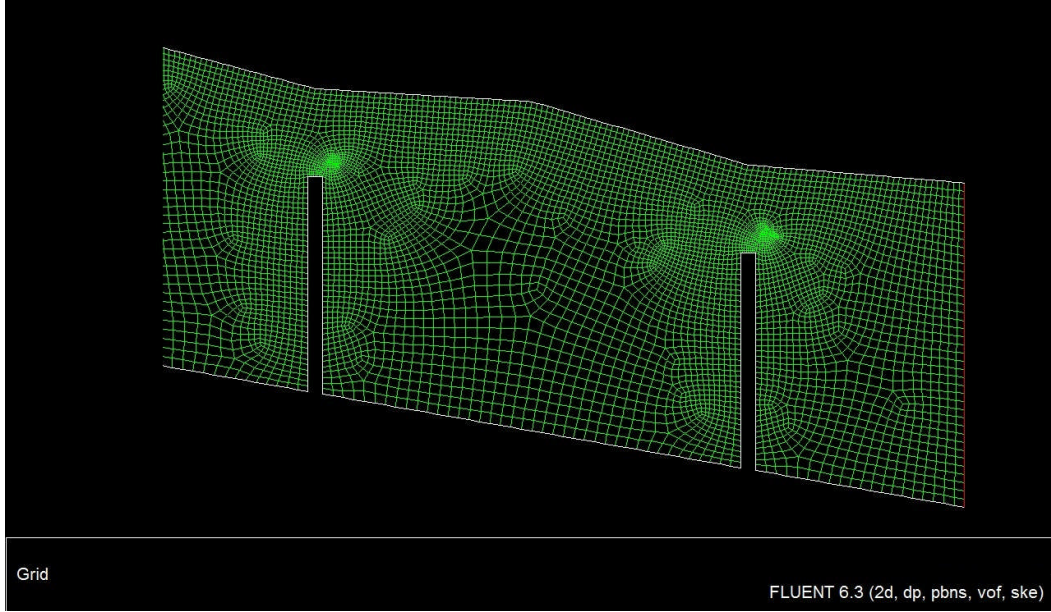
Model Gambit program’ında yukarıda bahsedilen ölçüler doğrultusunda mm ölçüsünde çizilmiş ve Şekil 4.4’te gösterilen karesel ağ sistemi oluşturularak, akabinde Fluent’a okutturulmuştur. Fluenta okutulan ağ sistemi analiz yapılmadan önce ölçeklendirilerek m’ye çevirilmiştir.

Gambit’te ağlar oluşturulurken, kret üzerindeki ağlar daha sık seçilmiştir. Bunun sebebi analizde amaçlananın havuz içerisindeki en yüksek hızların tespitinin olması ve bu hızların kret üzerinde oluştuğunun bilinmesidir.

#### **4.2.3. Modelin sınır şartları ve çözüm kriterleri**

Balık geçitleri temel olarak bir açık kanaldır. Bundan dolayı modelin sınır şartları Fluent ile tanımlanırken açık kanalların modellenmesine benzer bir yaklaşım uygulanmıştır.

Çözüm bölgesinin üst sınırı Fluent’ta açık kanal akımı (open channel flow) seçeneği tercih edilerek serbest su yüzeyi olarak tanımlanmıştır ve sınır şartı sıfıra eşit  $p=0$  alınmıştır. Mansap tarafında ise Fluent’ta basınç çıkışı (pressure outlet) sınır şartı seçilerek buradaki su yüksekliği tanımlanmıştır.



**Şekil 4.4:** Modelin Gambitte Oluşturulan Ağ Yapısı

Aynı şekilde  $p=0$  olarak tanımlanmıştır. Menba tarafında Bölüm 4.2.1’de hesaplanan  $u = 0.61$  m/s yatay hız bileşeni olarak alınmıştır. Düşey hız bileşeni ise  $v = 0$  m/s olarak alınmıştır. Bunlarla beraber, taban yüzeyi ise katı cidar (wall) olarak tanımlanmıştır.

Fluent’ta çözüm 2 boyutlu olarak yapılmıştır. Akım kararlı bir akımdır. Başka bir deyişle akımın özellikleri zamana bağlı olarak değişmemektedir.

Modelde 2 adet akışkan tanımlanmıştır. Bunlarda biri su diğeri de havadır. Model çok fazlı bir modeldir ve akışkan hacmi (Volume of Fluid) modeli kullanılmıştır. Hava birinci faz, su ise ikinci faz olarak tanımlandıktan sonra suyun hücredeki hacim oranı  $\alpha_n = 1$  olarak seçilmiştir. Bu hücrenin su ile dolu olduğunu belirtmektedir. Modelin çalıştığı ortama, kanaldaki suyun en yüksek seviyesinden atmosfer basıncı (101325 Pa) ve negatif y yönünde yerçekimi ivmesi ( $9.81$  m/s<sup>2</sup>) uygulanmıştır.

Çözüm modelleri tanımlanırken vizkoz model sekmesinde akım, çevrintili bir akım olarak seçilmiş ve daha önce Bölüm 4.1.3’te de belirtildiği gibi 2 denklemlilik  $k - \epsilon$  modelini seçilerek, C ve Prandtl sabitleri girilmiştir.

Bunun ardından suyun tanımlandığı ikinci faz’a tekrardan  $0.61$  m/sn hız tanımlanmış (Bkz.Bölüm 4.2.1) ve böylece tekrarlı hesaplamaların başlangıç şartı belirlenmiştir.

### **4.3. Model Sonuçlarının Değerlendirilmesi**

Fluent'a modelin özellikleri tanımlandıktan sonra program çalıştırılmıştır. Programın sonuca yakınsamasını takip etmek amacıyla programda yakınsama kriterleri takip edilmiştir. İterasyonlar arasında bu kriterden daha düşük değişimler olduğunda program iterasyon işlemi yapmayı durdurmuştur. Ek A'da program sonucunda elde edilen sonuçlar verilmiştir.

#### **4.3.1. Akım şeklinin değerlendirilmesi**

Daha önce bölüm 4.2.1'de bahsedildiği üzere kretin olduğu bölgedeki su yükü 0.61 m.'dir. Bu değer bölüm 2.1'de genel olarak havuz savak tipi balık geçitlerinde dalma akımların (plunging flow) oluşması için tanımlanmış olan 0.3 m.'nin oldukça üzerindedir ve nehir rejimindeki akımlar (streaming flow) için genel olarak konulmuş olan 0.35 m.'lik minimum sınır değerinin üzerinde olmakla bu şartı sağlamaktadır. Bundan dolayı sayısal analiz sonucunda nehir rejimindeki akımın ortaya çıkması dolayısıyla modelin, deneysel çalışmalar sonucunda öne sürülen bu kabullerle paralel sonuçlar verdiği ortaya çıkmıştır. Şekil 4.5'ten de görülebileceği üzere, tahmin edildiği gibi havuz üzerinde nehir rejimindeki akımlarda (streaming flow) olduğu gibi 0.43 m kalınlığında bir akım tabakası oluşmuştur.

#### **4.3.2. Hızların değerlendirilmesi**

Değerlendirmede en kritik hızların kret üzerinde bulunacağı düşünülerek, bu bölgedeki hızlara odaklanılmıştır. Analiz sonuçlarından görülmüştür ki, kret üzerinden su yüzeyine kadar olan kısımda maksimum lokal hız 2.51 m/s'dir (Şekil 4.6 ve Çizelge A.1). Daha önce kritik hız (4.14) denkleminde hesaplanarak 2.45 m/s bulunmuştur. Fluent programı ile yapılan sayısal analizler sonucunda bulunan hız tam olarak hesapladığımız hıza karşılık gelmemekle beraber, sonuçlarda %2 oranında bir hata olmuştur. Bu hata payı denklem (4.14)'ten hesaplanan değer kret üzerindeki hız dağılımını tam olarak yansıtmayacağı düşünüldüğünde oldukça yakın bir sonuç olarak değerlendirilebilir. Maksimum hızların yanında ortalama hızlar da değerlendirilmiştir. Katopodis (1992)'in havuz savak tipi balık geçitleri üzerinde yaptığı deneysel çalışmalar sonucunda nehir rejimindeki akım için savak üzerindeki

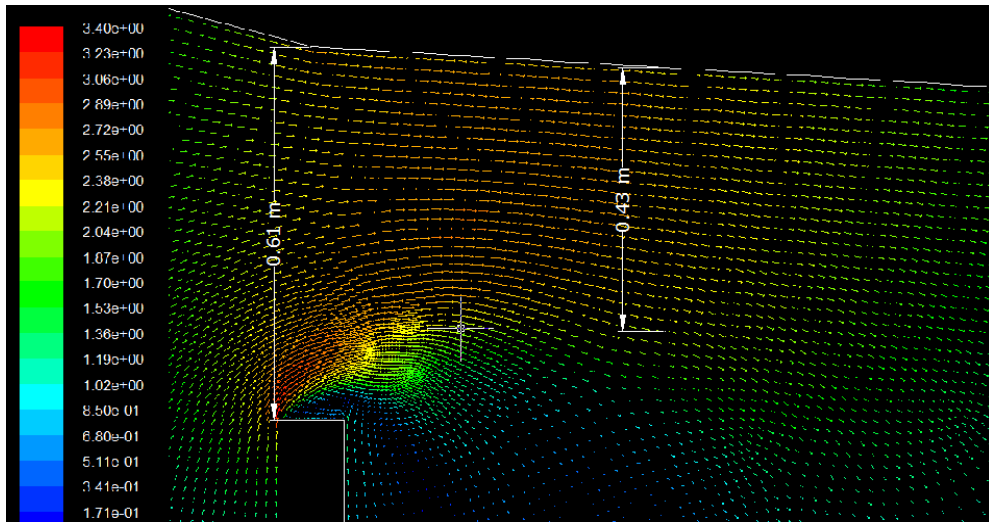
yüzeysel akım için ortalama hızı veren formül Çizelge 3.3'te verilmiştir. Bu denkleme göre savak üzerindeki ortalama hız aşağıdaki şekilde bulunmaktadır.

$$V_{ort} = Q_s / Bd \quad (4.18)$$

Şekil 4.5'te kret üzerinde ve devamındaki hız vektörlerini gösteren program çıktısı bulunmaktadır. Şekile kret üzerindeki kritik su yüksekliği 0.61 m işlenmiştir. Bununla birlikte hız vektörleri gözlemlenerek yaklaşık olarak yüzeysel akım tabakasının kalınlığı ölçülmüş ve 0.43 m olarak belirlenmiştir. (4.14) denkleminde 3 m<sup>3</sup>/s'lik debiyi, savak genişliği olan 2 m.'yi ve 0.43 m.'lik akım tabakası kalınlığını yerine koyarak çözdüğümüzde ortalama hız,

$$V_{ort} = 3 / (2 \times 0.43) \cong 2.49 \text{ m/s}$$

olarak bulunmuştur. Yine Şekil 4.5'e bakıldığında renklendirilmiş hız vektörlerinin değerleri lejanttan okunabileceği gibi, Şekil A.3'ten de görülebilmektedir.



**Şekil 4.5:** Nehir Rejimindeki Akımın Tabaka Kalınlığı

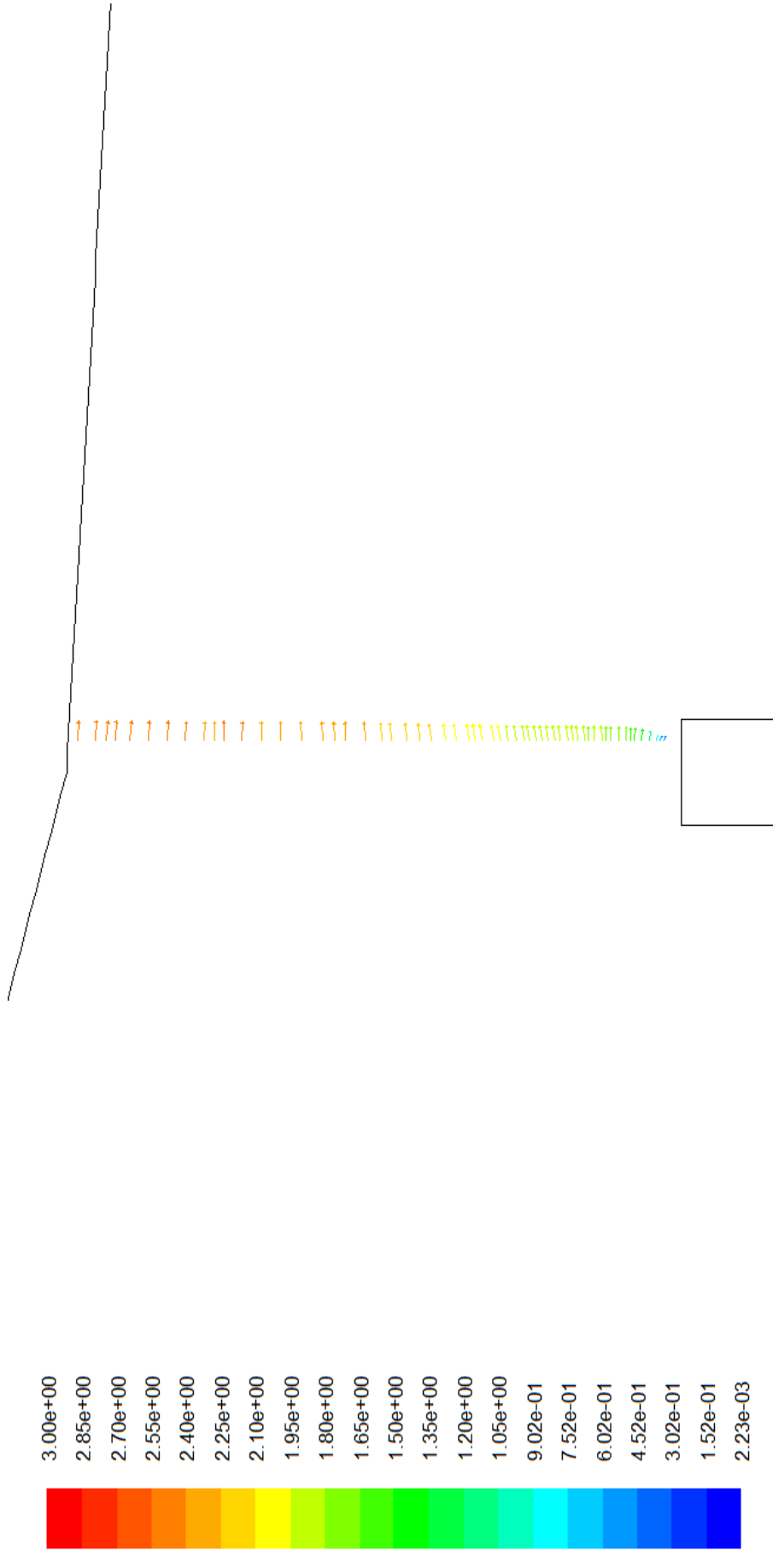
Böylece anlaşılmıştır ki, Katopodis tarafından deneysel çalışmalar sonucunda bulunan formüllerden faydalanılarak hesaplanan ortalama hız olan 2.49 m/s, sayısal analiz sonucunda ortalama olarak alınan yaklaşık 2.31 m/s'lik hız ile karşılaştırıldığında %8 oranında bir fark görülmüştür. Burada analiz sonucunda ortaya konan ortalama hızlar yüzeysel akımın bulunduğu 43 cm'lik tabaka göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. (Çizelge A.1)

Kret üzerindeki kesitteki ve havuz genelindeki hız vektörleri sırasıyla Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de gösterilmiştir.

### **4.3.3. Balık geçidi modelinin balıklara uygunluğunun değerlendirilmesi**

Model sonuçlarını özetlemek gerekirse, balık geçidindeki en yüksek hız 2.51 m/s olarak bulunmuştur. Bunun yanında Şekil 4.7'den de havuz içerisindeki minimum hızın çevrintinin olduğu bölgeler hariç 0.302 m/s'nin altında olmadığı ortaya çıkmıştır. Bu doğrultuda balık geçidinin izelge 1.1 doğrultusunda gökkuşağı alabalığına uygun bir yapıya sahip olduğu ortaya çıkmıştır.

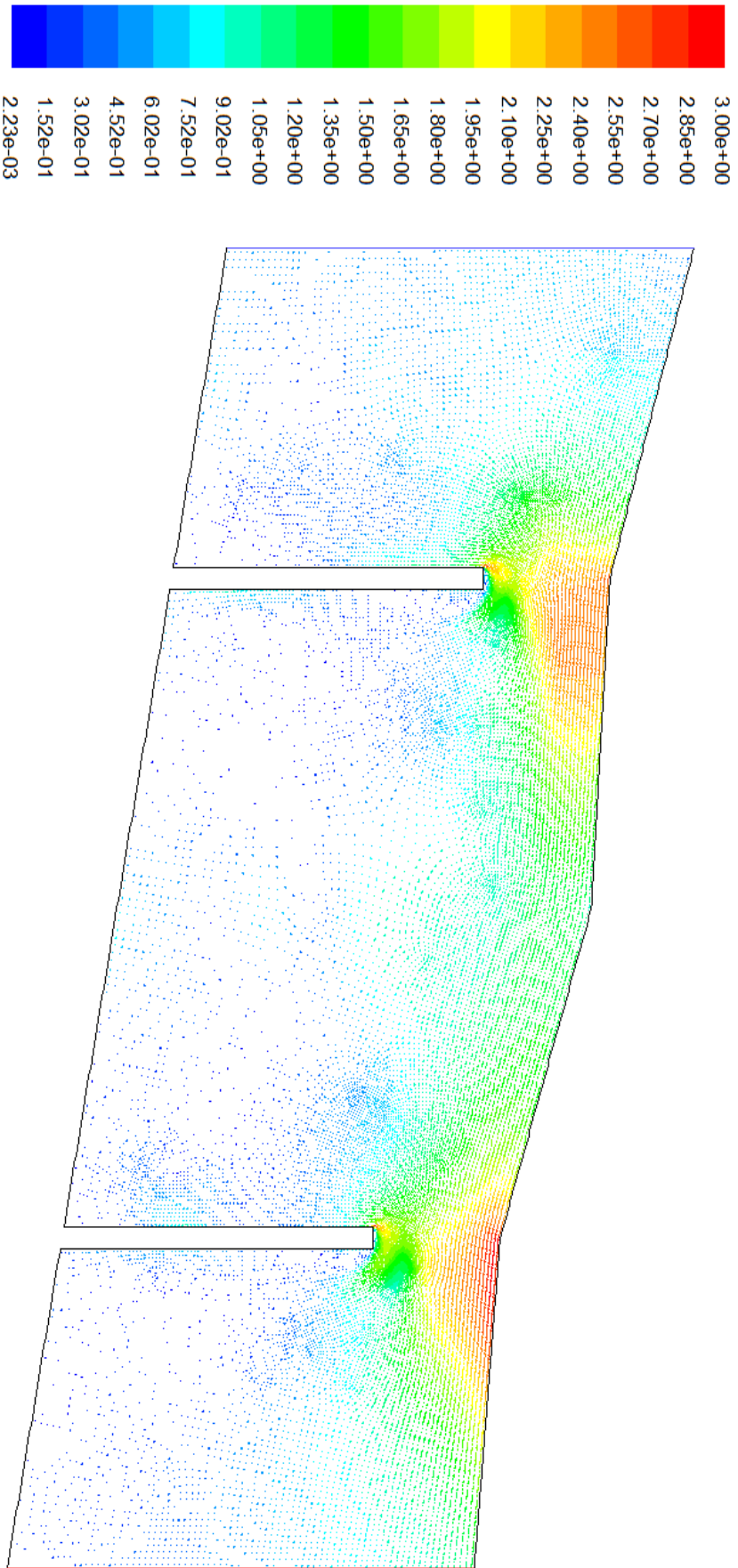
Debi miktarının sabit olduğu düŐünülürse kret uzunluğu artırılarak kret üzerindeki kritik hızlar dŐrlebiyeceęi bilinmektedir. Bununla beraber daha düşük debi miktarları için doğal olarak yine hızlar düŐürülebilmektedir. Unutulmalıdır ki, debi miktarları balık geçidinin lokasyonuna bağlıdır.



Velocity Vectors Colored By Velocity Magnitude (mixture) (m/s)

Dec 20, 2009  
 FLUENT 6.3 (2d, dp, pbns, vof, ske)

Şekil 4.6: Kret Üzerindeki Bileşke Hız Vektörleri



Velocity Vectors Colored By Velocity Magnitude (mixture) (m/s)

Dec 20, 2009  
 FLUENT 6.3 (2d, dp, pbns, vof, ske)

Şekil 4.7: Havuz Genelindeki Bileşke Hız Vektörlerinin Dağılımı

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, ilk olarak balık geçitlerinin türleri ve bu türlere ait akım özellikleri anlatılmıştır. Ardından havuz ve savak tipi balık geçitleri için bir boyutlandırma önerilerek belli bir debiye karşılık genel hız değerleri incelenmiştir.

Daha önce yapılmış deneysel çalışmaların sonuçları ve 2 boyutlu sayısal analizin sonuçları karşılaştırılmıştır. Bunun sonucunda önerilen tasarımın balıkların yüzme kapasitesine uygun olup olmadığı değerlendirilmiştir. Bu analizler sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Genel olarak karşılaşılan havuz ve savak tipi balık geçitleri boyutları çalışmaya esas alınmıştır. Bu boyutlar temelinde Gambit ve Fluent kullanılarak sonlu hacimler metodu ile sayısal analiz yapılmıştır.
- Havuz savak tipi balık geçidinde kret üzerindeki deneysel çalışmalar sonucunda nehir rejimindeki akımlar için belirlenmiş olan su yüksekliğinden dolayı, akımın nehir rejimindeki (streaming flow) olması beklenmiştir. Analizler sonucunda balık geçidi içerisindeki akım, bu prensibi sağlamış ve nehir rejiminde bir akım oluşmuştur.
- Analizden önce en yüksek hızların kesidin daraldığı bölge olan kret üstünde olduğu tahmin edilmiş ve buradaki kritik hız hesaplanmıştır. Sayısal analiz sonucunda da balık geçidindeki en yüksek hız değerleri bu bölgede oluşmuş ve daha önce hesaplanan kritik hız değeriyle karşılaştırıldığında % 2 hata oranına sahip bir değer elde edilmiştir.
- Kret üzerindeki ortalama hız program sonuçlarından alınarak, Katopodis'in (1992) deneysel çalışmalar sonucunda ortaya koyduğu boyutsuz ortalama hız formülünden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmış ve ortalama hızlar arasında % 8 oranında bir fark çıktığı görülmüştür.
- Son olarak, balık geçidinin boyutu ve sayısal analiz sonucunda bulunan hızlar ampirik formüllerden elde edilmiş sonuçlarla paralellik gösterdiğinden doğru kabul edilmiş ve balık geçidi, balık çeşitlerinin yüzme kapasiteleri açısından

incelenmiş ve gökkuşağı alabalığı için hem minimum hem de maksimum yüzme hızları açısından uygun olduğu ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmada daha önce de belirtildiği gibi, balık geçitlerinin tasarlanmasındaki en önemli husus hizmet edeceği balık türünün belirlenmesidir. Dolayısıyla, geçidin işlevselliği için akımdaki hızlara çok dikkat edilmelidir. Başka bir deyişle akımın hızı, balık türünün yüzme kapasitesine uygun olmalıdır. Balık geçidinin geometrik özellikleri bu husus göz önüne alınarak belirlenmelidir.

Balık geçitleri için Türkiye'deki araştırmalar kapsamlı olmamakla beraber, bu konu üzerinde deneysel çalışmalar da sıklıkla yapılmamaktadır. Dolayısıyla, bu tezde dünyada yapılmış çalışmalar baz alınarak, ilgili balık türleri açısından sayısal analiz yöntemi vasıtasıyla elde edilen sonuçlar üzerinden değerlendirilme yapılmıştır. Fakat bu balık türlerine Türkiye'de rastlanmadığından, Türkiye'deki balık türleri için ilave araştırmalar yapılmalıdır. İleride yapılacak bu deneysel çalışmaların yanında, bu çalışmada da anlatılmak istendiği üzere sayısal analiz yöntemi faydalı bir araç olarak kullanılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] **Hirose, T., Nakamura, N.**, 1991. Design of Fishway, Sankaido, Tokyo.
- [2] **Katopodis, C., Rajaratnam N.**, 1983. A Review and Lab Study of Hydraulics of Denil Fishways, *Can. Tech. Rep. Fish. Aquatic Sci.*, **1145**, 181
- [3] **Katopodis, C.**, 1992. Introduction to Fishway Design, *Working Document*, 68 pages.
- [4] **Savey, P., Arai, O., Wark, B., Ionescu, S., Imhoff, K., Guertin, G., Pickford, A.**, 1999. Dams and Fishes: Review and Recommendations, *ICOLD Bulletin 116*, Paris.
- [5] **Url-1**, < <http://www.dsi.gov.tr/topraksu.htm>>, alındığı tarih 21.11.2009.
- [6] **Url-2**, < <http://www.mevzuat.adalet.gov.tr/html/464.html>>, alındığı tarih 15.11.2009.
- [7] **Berkün, M., Aras, E., Koç, T.**, 2008. Barajların ve Hidroelektrik Santrallerin Nehir Ekolojisi Üzerinde Oluşturduğu Etkiler, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, **452**, 41-48.
- [8] **Alvarez-Vazquez, L.J., Martinez,A., Vazquez-Mendez, M.E., Vilar, M.A.**, 2008. An optimal shape problem related to the realistic design of river fishways, *Ecological Engineering*, **32**, 293-300.
- [9] **Özbilgin, H., Kınacıgil, H.T., Özbilgin, Y.D.**, 2004. Balıklarda Yüzme Davranışı ve Trol Operasyonu Açısından Önemi, *E.Ü. Su Ürünleri Dergisi*, **21**, 355-359.
- [10] **Kamula, R.**, 2001. Flow Over Weirs with Application to Fish Passage Facilities, *PhD Thesis*, University of Oulu, Oulu.
- [11] **Behlke, C.E., Kane, D.L., McLean,R.F., Travis,M.D.**, 1991. Fundamentals of culvert design for passage of weak-swimming fish, *State of Alaska Dept. of Transportation and Pub. Fac. for the Federal Highway Admin. Technical Report*, **FHWA-AK-RD-90-10**, Alaska.
- [12] **Behlke, C.E., Kane, D.L., McLean,R.F., Travis,M.D.**, 1991, Economic Culvert Design using fish swimming energy and capabilities, *Technical Report*, Retrieved 17.11.2009 from <[http://www.habitat.adfg.alaska.gov/tech\\_reports/standards\\_technique/econculvertdesign.pdf](http://www.habitat.adfg.alaska.gov/tech_reports/standards_technique/econculvertdesign.pdf)>
- [13] **Kim, J.H.**, 2001. Hydraulic characteristics by weir type in a pool-weir fishway, *Ecological Engineering*, **16**, 425-433.
- [14] **Clay, C.H.**, 1995. Design of Fishways and Other Fish Facilities, Lewis Publishers, Florida.
- [15] **Bates, K.**, 2000, Fishway guidelines for Washington State, *Working Document*, 21 pages.

- [16] **Ağralıoğlu, N.**, 2009, Kişisel görüşme.
- [17] **Chow, V. T.**, 1959. Open Channel Hydraulics, McGraw-Hill , New York.
- [18] **Rajaratnam N., Katopodis C. & Solanki S.**, 1992, New designs of vertical slot fishways, *Canadian Journal of Civil Engineering*, **19**, 402-414.
- [19] **Ferziger, J. H., Peric, M.**, 2002. Computational Methods for Fluid Dynamics, Springer, Germany.
- [20] **Eymard, R., Gallouet, T., Herbin, R.**, 2003. Finite Volume Methods, *Handbook of Numerical Analysis*, **7**, 713-1020.
- [21] **Fluent User's Guide**, 2001, Fluent Inc.
- [22] **Bredberg, J., Peng, S. H., Davidson, L.**, 2000. On the Wall Boundary Condition for Computing Turbulent Heat Transfer with  $k-\omega$  Models, *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, Orlando, Florida, USA, November 5-10.
- [23] **Landau, L. D. and Lifschitz, E. M.**, 1987. Fluid Mechanics, Pergamon, Moscow.
- [24] **Hrenya, C. M., Bolio, E. J., Chakrabarti, D., Sinclair, J. L.**, 1995. Comparison of low Reynolds number  $k-\epsilon$  turbulence models in predicting fully developed pipe flow, *Chemical Engineering Science*, Vol. 50, **12**, 1923-1941
- [25] **Url-3**, <[www.jfccivilengineer.com/broad\\_crested\\_weir.htm](http://www.jfccivilengineer.com/broad_crested_weir.htm)>, alındığı tarih 15.09.2009
- [26] **Munson, B. R., Young, D. F., Okiishi, T. H.**, 2002. Fundamentals of Fluid Mechanics, John Wiley & Sons Inc., New York.

## **EKLER**

### **EK A Sayısal Analiz (Fluent) Program Çıktıları**

## EK A

### Models

Model	Settings
Space	2D
Time	Steady
Viscous	Standard k-epsilon turbulence model
Wall Treatment	Standard Wall Functions
Heat Transfer	Disabled
Solidification and Melting	Disabled
Species Transport	Disabled
Coupled Dispersed Phase	Disabled
Pollutants	Disabled
Pollutants	Disabled
Soot	Disabled

### Boundary Conditions

#### Zones

name	id	type
fluid	2	fluid
su_yuzu	3	wall
mansap	4	wall
menba	6	pressure-inlet
default-interior	8	interior

#### fluid

Condition	Value
Material Name	water-liquid
Specify source terms?	no
Source Terms	()
Specify fixed values?	no
Fixed Values	()
Motion Type	0
X-Velocity Of Zone (m/s)	0
Y-Velocity Of Zone (m/s)	0
Rotation speed (rad/s)	0
X-Origin of Rotation-Axis (m)	0
Y-Origin of Rotation-Axis (m)	0
Deactivated Thread	no

Laminar zone?	no
Set Turbulent Viscosity to zero within laminar zone?	yes
Porous zone?	no
Porosity	1

su\_yuzu

Condition	Value
-----	
Wall Motion	0
Shear Boundary Condition	0
Define wall motion relative to adjacent cell zone?	yes
Apply a rotational velocity to this wall?	no
Velocity Magnitude (m/s)	0
X-Component of Wall Translation	1
Y-Component of Wall Translation	0
Define wall velocity components?	no
X-Component of Wall Translation (m/s)	0
Y-Component of Wall Translation (m/s)	0
Wall Roughness Height (m)	0
Wall Roughness Constant	0.5
Rotation Speed (rad/s)	0
X-Position of Rotation-Axis Origin (m)	0
Y-Position of Rotation-Axis Origin (m)	0
X-component of shear stress (pascal)	0
Y-component of shear stress (pascal)	0
Specularity Coefficient	0

mansap

Condition	Value
-----	
Open Channel	yes
Outlet Group ID	1
Pressure Specification Method	0
Free Surface Level (m)	1.86
Gauge Pressure (pascal)	0
Bottom Level (m)	-0.6
Backflow Direction Specification Method	1
X-Component of Flow Direction	1

Y-Component of Flow Direction 0  
 X-Component of Axis Direction 1  
 Y-Component of Axis Direction 0  
 Z-Component of Axis Direction 0  
 X-Coordinate of Axis Origin (m) 0  
 Y-Coordinate of Axis Origin (m) 0  
 Z-Coordinate of Axis Origin (m) 0  
 Turbulent Specification Method 2  
 Backflow Turbulent Kinetic Energy (m2/s2) 1  
 Backflow Turbulent Dissipation Rate (m2/s3) 1  
 Backflow Turbulent Intensity (%) 0.0099999998  
 Backflow Turbulent Length Scale (m) 1  
 Backflow Hydraulic Diameter (m) 1  
 Backflow Turbulent Viscosity Ratio 1  
 is zone used in mixing-plane model? no

kati cidar

Condition	Value	
Wall Motion	0	
Shear Boundary Condition	0	
Define wall motion relative to adjacent cell zone?		yes
Apply a rotational velocity to this wall?		no
Velocity Magnitude (m/s)	0	
X-Component of Wall Translation	1	
Y-Component of Wall Translation	0	
Define wall velocity components?	no	
X-Component of Wall Translation (m/s)	0	
Y-Component of Wall Translation (m/s)	0	
Wall Roughness Height (m)	0	
Wall Roughness Constant	0.5	
Rotation Speed (rad/s)	0	
X-Position of Rotation-Axis Origin (m)	0	
Y-Position of Rotation-Axis Origin (m)	0	
X-component of shear stress (pascal)	0	
Y-component of shear stress (pascal)	0	
Specularity Coefficient	0	

mansap

Condition	Value
Open Channel	yes
Inlet Group ID	1

Secondary Phase for Inlet	0
Gauge Total Pressure (pascal)	0
Supersonic/Initial Gauge Pressure (pascal)	0
Flow Specification Method	1
Free Surface Level (m)	2.46
Total Height (m)	2.46
Bottom Level (m)	0
Velocity Magnitude (m/s)	0.61
Direction Specification Method	0
X-Component of Flow Direction	1
Y-Component of Flow Direction	0
X-Component of Axis Direction	1
Y-Component of Axis Direction	0
Z-Component of Axis Direction	0
X-Coordinate of Axis Origin (m)	0
Y-Coordinate of Axis Origin (m)	0
Z-Coordinate of Axis Origin (m)	0
Turbulent Specification Method	2
Turbulent Kinetic Energy (m2/s2)	1
Turbulent Dissipation Rate (m2/s3)	1
Turbulent Intensity (%)	0.0099999998
Turbulent Length Scale (m)	1
Hydraulic Diameter (m)	1
Turbulent Viscosity Ratio	1
is zone used in mixing-plane model?	no

### **Solver Controls**

#### Equations

Equation	Solved
Flow	yes
Volume Fraction	yes
Turbulence	yes

#### Relaxation

Variable	Relaxation Factor
Pressure	0.5

Density	1
Body Forces	1
Momentum	0.1
Volume Fraction	0.2
Turbulent Kinetic Energy	0.80000001
Turbulent Dissipation Rate	0.80000001
Turbulent Viscosity	1

Linear Solver

Variable	Solver Type	Termination Criterion	Residual Reduction Tolerance
Pressure	V-Cycle	0.1	
X-Momentum	Flexible	0.1	0.7
Y-Momentum	Flexible	0.1	0.7
Volume Fraction	Flexible	0.1	0.7
Turbulent Kinetic Energy	Flexible	0.1	0.7
Turbulent Dissipation Rate	Flexible	0.1	0.7

**Pressure-Velocity Coupling**

Parameter	Value
-----	
Type	SIMPLE

**Discretization Scheme**

Variable	Scheme
Pressure	PRESTO!
Momentum	First Order Upwind
Volume Fraction	QUICK
Turbulent Kinetic Energy	First Order Upwind
Turbulent Dissipation Rate	First Order Upwind

Solution Limits

Quantity	Limit
Minimum Absolute Pressure	1
Maximum Absolute Pressure	5e+10
Minimum Temperature	1
Maximum Temperature	5000
Minimum Turb. Kinetic Energy	1e-14

Minimum Turb. Dissipation Rate 1e-20  
 Maximum Turb. Viscosity Ratio 100000

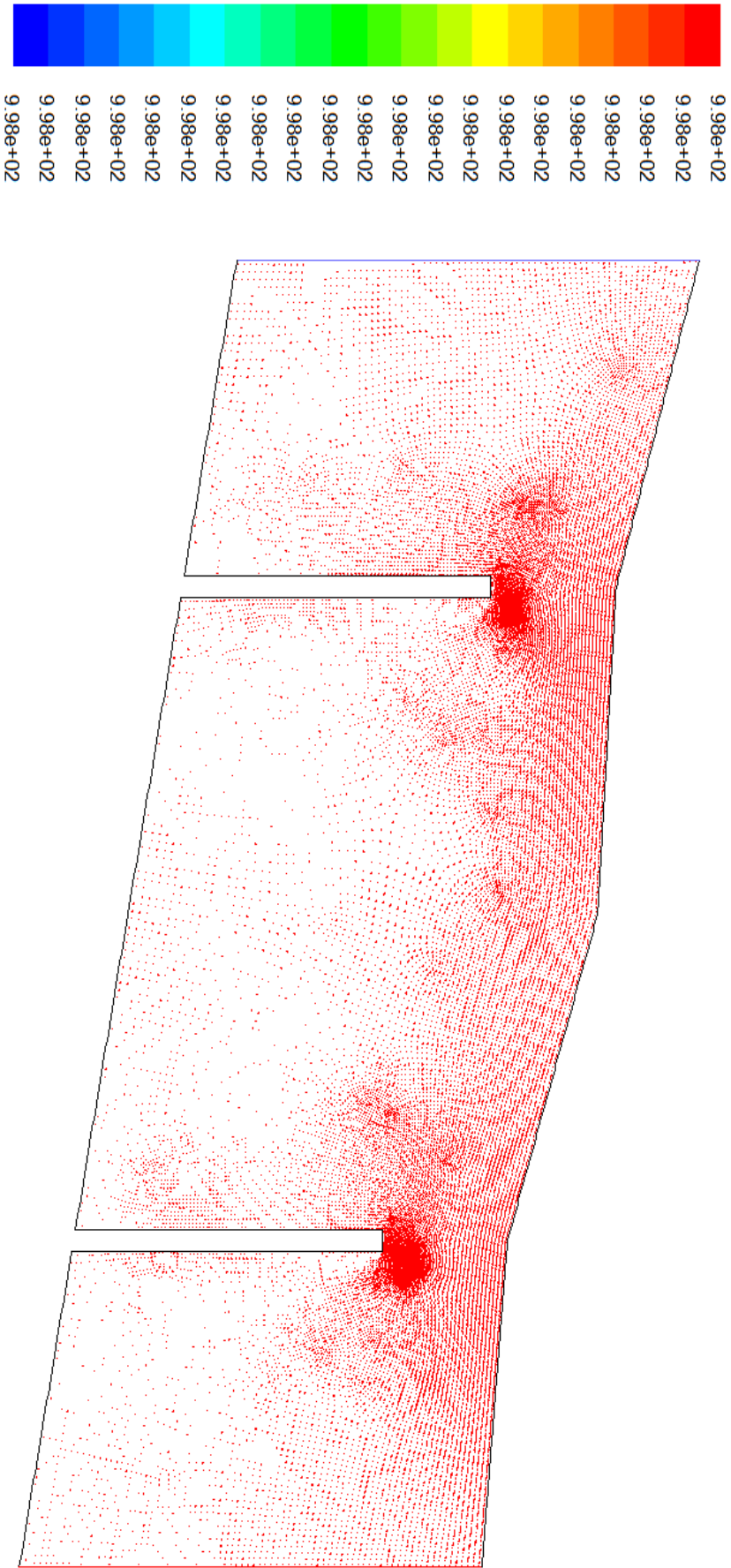
**Material Properties**

Material: water-liquid (fluid)

Property	Units	Method	Value(s)
Density	kg/m <sup>3</sup>	constant	998.20001
Cp (Specific Heat)	j/kg-k	constant	4182
Thermal Conductivity	w/m-k	constant	0.6
Viscosity	kg/m-s	constant	0.001003
Molecular Weight	kg/kgmol	constant	18.0152
L-J Characteristic Length	angstrom	constant	0
L-J Energy Parameter	k	constant	0
Thermal Expansion Coefficient	1/k	constant	0
Degrees of Freedom		constant	0
Speed of Sound	m/s	none	#f

Material: air (fluid)

Property	Units	Method	Value(s)
Density	kg/m <sup>3</sup>	constant	1.225
Cp (Specific Heat)	j/kg-k	constant	1006.43
Thermal Conductivity	w/m-k	constant	0.0242
Viscosity	kg/m-s	constant	1.7894e-05
Molecular Weight	kg/kgmol	constant	28.966
L-J Characteristic Length	angstrom	constant	3.711
L-J Energy Parameter	k	constant	78.6
Thermal Expansion Coefficient	1/k	constant	0
Degrees of Freedom		constant	0
Speed of Sound	m/s	none	#f

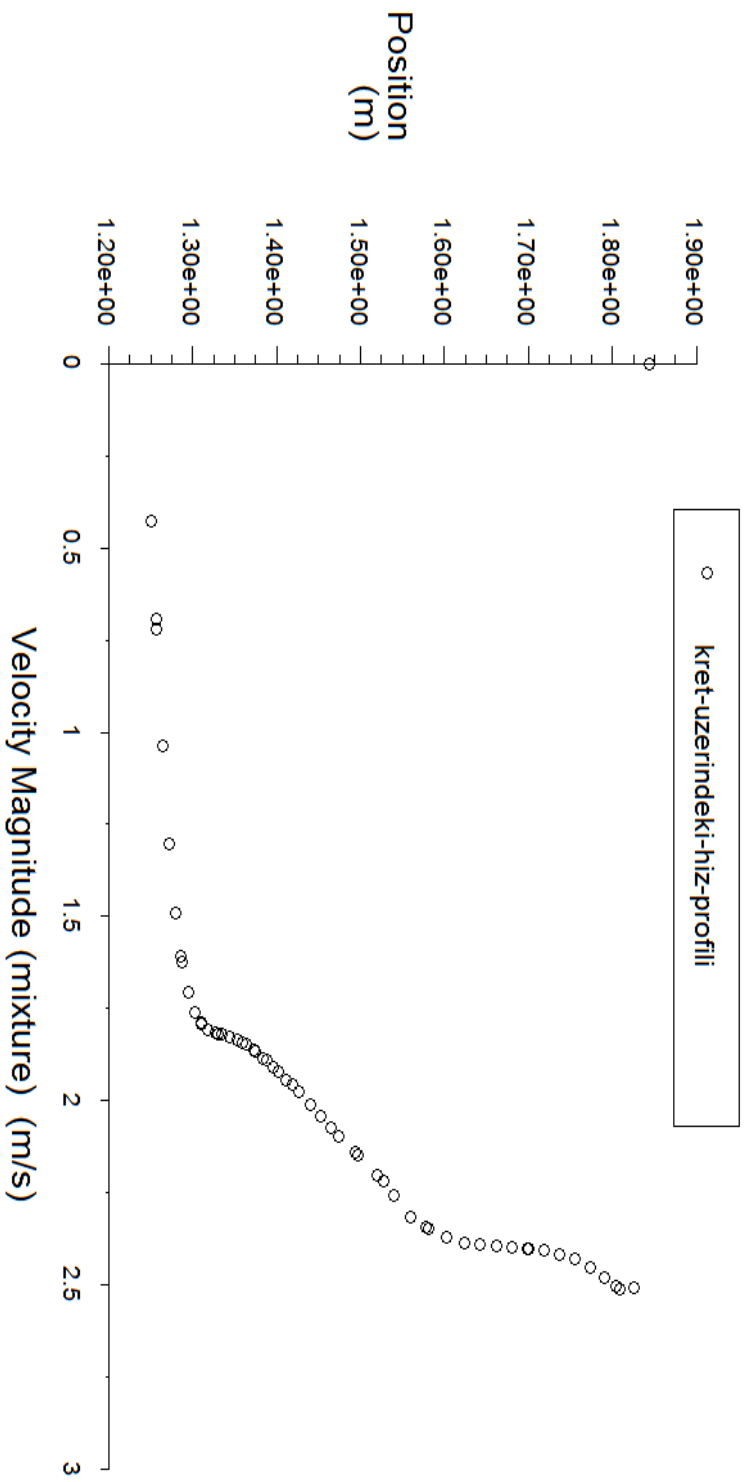


Velocity Vectors Colored By Density (water) (kg/m3)

Dec 20, 2009  
 FLUENT 6.3 (2d, dp, pbns, vof, ske)

Şekil A.1: Su Yoğunluğu





Velocity Magnitude (mixture)

Dec 20, 2009  
 FLUENT 6.3 (2d, dp, pbns, vof, ske)

Şekil A.3: Kret Üzerinden Su Yüzeyine Kadarki Kısımda Bileşke Hız Grafiği

**Çizelge A.1: Kret Üzerinde Sayısal Analiz Sonucu Ulaşılan Hız Vektörü Değerleri ve Karşılık Gelen Ortalama ve Maksimum Hız Değerleri**

y - eksenli kret yüzeyine mesafe	Bileşke Hız Vektörü Değeri	y - eksenli kret yüzeyine mesafe	Bileşke Hız Vektörü Değeri	y - eksenli kret yüzeyine mesafe	Bileşke Hız Vektörü Değeri	y - eksenli kret yüzeyine mesafe	Bileşke Hız Vektörü Değeri	y - eksenli kret yüzeyine mesafe	Bileşke Hız Vektörü Değeri
1.82477	2.48144	1.58151	2.37599	1.41409	1.93019	1.33257	1.70498	1.25294	0.685683
1.80764	2.50626	1.56193	2.34529	1.41198	1.9239	1.32518	1.7033	1.25	0.574689
1.80702	2.50727	1.56145	2.34453	1.40275	1.89128	1.32345	1.70231	<b>Ortalama Hız</b>	<b>Maksimum Hız</b>
1.78919	2.48821	1.54222	2.29629	1.39418	1.8606	1.31834	1.7008		
1.77141	2.46889	1.53732	2.27948	1.39291	1.85676	1.31102	1.69542		
1.75295	2.45318	1.52601	2.23967	1.38156	1.81954	1.3051	1.68188	<b>2.31</b>	<b>2.51</b>
1.73456	2.44156	1.50851	2.19242	1.37987	1.8133	1.30383	1.67919		
1.71614	2.4339	1.49491	2.15847	1.36936	1.77865	1.2968	1.64976		
1.69772	2.4297	1.48946	2.14587	1.36787	1.77286	1.28998	1.6011		
1.69538	2.42939	1.46704	2.08839	1.3609	1.75081	1.28269	1.51822		
1.67874	2.4267	1.46509	2.08276	1.35755	1.74047	1.27931	1.45987		
1.65985	2.42426	1.45325	2.04803	1.35136	1.72573	1.27546	1.39527		
1.64104	2.42091	1.43978	2.00682	1.34892	1.72018	1.26835	1.22501		
1.62244	2.41421	1.43706	1.99848	1.34036	1.70918	1.26129	1.00235		
1.60179	2.40001	1.42567	1.96699	1.33889	1.70806	1.25475	0.754976		

## **ÖZGEÇMİŞ**

**Ad Soyad:** Cem KADIOĞLU  
**Doğum Yeri ve Tarihi:** 06.06.1982 İstanbul  
**Adres:** ŞerifAli Yolu Cad. Gülağacı Sok. No:14/7 Ataşehir  
**Lisans Üniversitesi:** Boğaziçi Üniversitesi