

Bestami TAŞAR



İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DOKTORA
TEZİ**

**BATIK KANAT
UYGULAMALARININ
DENEYSEL VE SAYISAL
YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ**

Bestami TAŞAR

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

OCAK 2023

OCAK 2023





**BATIK KANAT UYGULAMALARININ DENEYSEL VE SAYISAL
YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ**

Bestami TAŞAR

**DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2023

Bestami TAŞAR tarafından hazırlanan “BATIK KANAT UYGULAMALARININ DENEYSEL VE SAYISAL YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile İskenderun Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Fatih ÜNEŞ

İnşaat Mühendisliği, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....
.....

Başkan: Prof. Dr. Fatih ÜNEŞ

İnşaat Mühendisliği, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....
.....

Üye: Prof. Dr. Fuat TOPRAK

İnşaat Mühendisliği, Dicle Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....
.....

Üye: Prof. Dr. Mustafa MAMAK

İnşaat Mühendisliği, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....
.....

Üye: Prof. Dr. Mustafa DEMİRCİ

İnşaat Mühendisliği, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....
.....

Üye: Prof. Dr. Ali KOÇ

Makine Mühendisliği, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....
.....

Tez Savunma Tarihi: 31/01/2023

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
 - Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Bestami TAŞAR

31/01/2023

**BATIK KANAT UYGULAMALARININ DENEYSEL VE SAYISAL
YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ**
(Doktora Tezi)

Bestami TAŞAR

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
Ocak 2023

ÖZET

Akarsu düzenleme yapıları, akarsularda taşkın olması durumunda ve yüksek akım hızları sonucu mendereslerin dış kurbalarında meydana gelen oyulmalar için önemlidir. Bu çalışmada, açık kanalların menderesli kısmında yeni bir yöntem olan batık kanat yapıları hem deneysel hem de sayısal olarak incelenmiştir. Deneyler, açık kanal akım debisi 10 ve 20 lt/sn için yapılmış ve sayısal modele uygulanmıştır.

Çalışmanın ilk bölümünde açık kanal akış deneyleri, 3 farklı batık kanat durumu (B1, B2 ve B3) ve kanatsız durum (B0) olmak üzere ve 10-20 lt/sn durumları için 8 adet deneysel ve 8 adet sayısal model oluşturulmuştur. Kullanılan sayısal modelde, su-hava ara-yüzeyini hesaplamak için VOF yöntemi kullanılmıştır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) kullanılarak elde edilen sayısal modelin akım hızı sonuçları, deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır ve sonuçlar uyumlu bulunmuştur. Sayısal model sonuçlarına göre batık kanat yapılarının B1 tekli durum, B2 ikili durum ve B3 üçlü batık kanat durumları için B0 batık kanatsız durumuna göre akım hızına etkisi araştırılmıştır. Deneysel olarak, akım derinliğinin %60'ında (0.6d), 6 farklı kesitte 8 ölçüm noktasına karşılık 48 noktada karşılaştırma yapılmıştır. Bu 48 noktanın bulunduğu akımın derinlik-akım hızı (hız profilleri) değişimi incelenmiş ve B1, B2 ve B3 batık kanat durumlarının derinlik boyunca maksimum, ortalama akım hızına etkileri araştırılmıştır. 10 lt/sn akım debisi durumunda B3 batık kanat yapılarının, kanat sonrasında %25-39 arasında akım hızını azalttığı gözlenmiştir. 20 lt/sn akım debisi durumunda ise B2 batık kanat yapılarının, kanat sonrasında %13.5-29 arasında akım hızını azalttığı gözlenmiştir. Ayrıca 10 lt/sn akım debisi durumunda, akış hızları, B3 durumunda sayısal model kullanılarak derinlikle değişimi incelenmiş ve derinlik boyunca maksimum hızın %22-34 oranında, ortalama hızın ise %26-38 azalttığı bulunmuştur.

Çalışmanın ikinci bölümünde 20lt/sn akım debisi için, eğrisel batık kanat yapıları sayısal olarak modellenmiştir. Açısız eğrisel batık kanat (EB1), 20° dış şeve göre açılı eğrisel batık kanat (EB2) ve 20° iç şeve göre açılı eğrisel batık kanat (EB3) durumları elde edilmiş ve akım hızlarına etkisi incelenmiştir. EB1, EB2 ve EB3 durumlarında B1, B2 ve B3 durumlarında olduğu gibi 48 farklı noktada akım hızına etkisi araştırılmış ve derinlik boyunca batık kanat etkisi araştırılmıştır. Eğrisel batık kanatların 0.6 d'de, EB1 durumu için %77, EB2 durumu için %92 ve EB3 durumu için %86'ya varan akım hızlarında azalmalar olduğu tespit edilmiştir. Derinlik boyunca maksimum ve ortalama akım hızında ise sırasıyla; EB1 durumunun %50 ve %54, EB2 durumunun %76 ve %83 ve EB3 durumunun ise %47 ve %68 azalmalar olduğu elde edilmiştir. Eğrisel batık kanatların genel olarak akım hızını azalttığı ve akımı yönlendirdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Batık kanat, Matematik model, Simülasyon, Akım hızı
Sayfa Adedi : 171

1.Danışman : Prof. Dr. Fatih ÜNEŞ
2.Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Ercan GEMİCİ

INVESTIGATION OF SUBMERGED VANE APPLICATIONS BY EXPERIMENTAL AND NUMERICAL METHODS

(Ph. D. Thesis)

Bestami TAŞAR

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

January 2023

ABSTRACT

River regulation structures are important as scours occur in the outer meanders due to the high flow velocities in case of flooding in the rivers. In this study, submerged vane structures, a new method in the meandering part of open channels, were investigated experimentally and numerically. The experiments were applied to the numerical model made for open channel flow discharges of 10 and 20 lt/sn.

In the first part of the study, 8 experimental and 8 numerical models were created for open channel flow experiments, 3 different submerged vane cases (B1, B2 and B3) and no vane situation (B0) and for 10-20 lt/sn discharges. The VOF method was used to calculate the water-air interface in the numerical model. The flow velocity results of the numerical models obtained using computational fluid dynamics (CFD) were compared with the experimental results and the results were found to be compatible. According to the numerical results, the effect of submerged wing structures for B1 single vane case, B2 double vane case and B3 triple submerged vane cases compared to no vane (B0) cases was investigated. Experimentally, at 60% (0.6d) of the flow depth, a comparison was made at 48 points versus 8 measurement points in 6 different sections. Depth-flow velocity variation of the flow with these 48 points was investigated and the effects of submerged vane structures (B1, B2 and B3) on the maximum and average flow velocity along with the depth were investigated. In case of 10 lt/sn flow discharge, B3 submerged vane structures reduce the flow velocity behind the vane by 25-39%. In the case of 20 lt/sn flow discharge, it was observed that the B2 submerged vane structures reduced the flow velocity behind the vane by 13.5%-29%. In addition, in the case of 10 lt/sn flow discharge, the change of flow velocities with depth using CFD in case B3 was investigated and it was found that the maximum velocity decreased by 22-34% and the average velocity decreased by 26-38% along the depth.

In the second part of the study, curvilinear submerged vane structures are modeled considering current studies and 20lt/sn flow discharge. The curvilinear submerged vane with no angle (EB1), curvilinear submerged vane placed at an angle of 20° with respect to the outer meander (EB2) and the curvilinear submerged vane placed at an angle of 20° with respect to the inner meander (EB3) were obtained and their effects on the flow velocities were investigated. In the EB1, EB2 and EB3 cases, as in the B1, B2 and B3 cases, the effect on the flow velocity was investigated at 48 different points and the submerged vane effect was investigated along with the depth. It has been determined that at 0.6d, curvilinear submerged vanes have decreases in flow velocities up to 77% for EB1, 92% for EB2 and 86% for EB3. In the maximum and average flow velocity along the depth, respectively; It was found that EB1 case decreased by 50% and 54%, EB2 case was 76% and 83%, and EB3 case was 47% and 68%. It has been determined that curvilinear submerged vanes generally reduce the flow velocity and direct the flow.

Key Words : Submerged vane, Mathematical model, Simulation, Flow velocity

Number of Pages : 171

1.Supervisor : Prof. Dr. Fatih ÜNEŞ

2.Supervisor : Asst. Prof. Ercan GEMİCİ

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam aşamasında tecrübesi ve bilgi birikimi ile çalışmayı yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Fatih ÜNEŞ 'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez izleme jürisinde yer alan Prof. Dr. Mustafa DEMİRCİ ve Prof. Dr. Ali KOÇ hocalarıma değerli katkılarından dolayı saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışma kısmında yardımcı olan ve 2. Danışman hocam Dr. Öğretim Üyesi Ercan GEMİCİ 'ye emeklerinden ötürü teşekkür ederim. Deneysel ve sayısal çalışmam süresince destek olan Öğr. Gör. Hakan VARÇİN'e teşekkür ederim. Deneysel çalışma sürecimde destek olan Bartın Üniversitesi idari ve teknik ekibine ayrıca teşekkür ederim. Makale ve tez yazım süreçlerinde dışarıdan destek veren değerli arkadaşlarım Arş. Gör. Nurullah KARACA ve Dr. Öğretim Üyesi Yunus Ziya KAYA'ya gönülden teşekkür ederim.

Tez çalışması boyunca hoşgörülerini ve manevi desteklerini esirgemeyen başta İskenderun Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümündeki kıymetli hocalarıma ve değerli çalışma arkadaşlarıma en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bugüne kadar kendime değerler katmış olup burada ayrı ayrı isimlerini yazamadığım çok değerli ve kıymetli hocalarıma sevgi ve saygılarımı sunarım.

Bugüne kadar zor zamanımda desteklerini esirgemeyen annem Leman TAŞAR'a, bugünlere gelmemde büyük emekleri olan babam (merhum) Ziya TAŞAR'a, eşim Beyza TAŞAR'a ve diğer aile üyelerime en içten sevgi ve saygılarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
<i>Nehir Düzenleme Yapıları ve Batık Kanatlar</i>	4
<i>Batık Kanat Uygulamaları ve Etkilerinin İncelenmesi</i>	8
<i>Batık Kanat Uygulamalarının Önemi</i>	10
<i>Çalışmanın Amacı</i>	11
<i>Batık Kanat Teorisi</i>	13
<i>Tezin kapsamı</i>	19
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	21
3. MATERYAL VE YÖNTEM	30
3.1. Batık Kanat Ön Tasarımı	30
3.2. Batık Kanat Deneyleri.....	30
3.2.1. Batık Kanat Deney Düzenliğinin Kurulması.....	30
3.2.2. Kanatların Oluşturulması ve Kullanılan Kanat Dizilimleri	33
3.2.3. Deneylerin Yapılışı	33

	Sayfa
3.2.4.Batık Kanat Deneyinde Kullanılan Cihazlar.....	35
<i>Ultrasonik Debimetre</i>	35
<i>Akustik Doppler Velocimetri (ADV) Cihazı</i>	36
3.3.Kullanılan Temel Denklemler.....	37
3.3.1.Laminer Akım İçin Süreklilik Denklemi	37
3.3.2.Laminer Akım İçin Hareket Denklemi	38
3.3.3.Türbülanslı Akım ve Türbülanslı Akım İçin Süreklilik Denklemleri..	39
3.3.4.Türbülanslı Akım İçin Hareket Denklemi.....	41
3.3.5.k-ε Türbülans modeli	45
3.4.Sayısal Model'e ait Çözümleme Yöntemleri ve Sınır Şartları.....	47
3.4.1.Sayısal Modelde Kullanılan Denklemler	47
3.4.2.Volume Of Fluid (VOF) yöntemi	49
3.4.3.Sınır Şartları	49
3.4.4.Sayısal Çözücü (Solver).....	50
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	55
4.1.Batık Kanat Sayısal Modelinde Kullanılan Programlar.....	55
4.2.Batık Kanat Deneylerinin Modellenmesi ve Analiz Aşamaları.....	55
4.2.1.Batık Kanat Deneylerinin 3 Boyutlu Olarak Tasarlanması.....	55
4.2.2.Batık Kanat Deneylerinin Sayısal Modeline Ait Analiz Aşamaları.....	56
4.2.3.Kullanılan Modeller Ve Ağ (Mesh) Bilgileri.....	60
4.3.Batık Kanat Deneyi ile FLUENT Hız Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	63
4.4.Batık Kanat Sayısal Modellerine Göre 0.6d'de Akım Hızı Etkisinin İrdelenmesi.....	104
4.5.Batık Kanat Yapılarının Derinlik Boyunca Ortalama Ve Maksimum Hıza Etkisi	115

	Sayfa
5. EĞRİSEL DÜZ ve AÇILI BATIK KANAT YAPILARININ NÜMERİK OLARAK İNCELENMESİ.....	129
5.1. Ağ (mesh) Bilgileri	131
5.2. Eğrisel Batık Kanat Sayısal Modellerine Göre 0.6d'de Akım Hızı Etkisinin İrdelenmesi	132
5.3. Eğrisel Batık Kanat Yapılarının Derinlik Boyunca Ortalama ve Maksimum Hıza Etkisi.....	151
6. SONUÇ ve ÖNERİLER	158
KAYNAKLAR	166
DİZİN.....	171

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Batık kanat deneylerine ait veriler	28
Çizelge 3.1. Deney setlerinde kullanılan parametreler	34
Çizelge 3.2. Dikdörtgen kanalda akış koşulları	34
Çizelge 3.3. Sayısal modele ait detaylar	54
Çizelge 4.1. Batık kanat modelleri için ağ bilgileri	63
Çizelge 4.2. 10 lt/sn için B0 batık kanatsız durumdaki Deney ve FLUENT Sonuçları	65
Çizelge 4.3. 10 lt/sn için B1 tekli batık kanat durumdaki Deney ve FLUENT Sonuçları.....	70
Çizelge 4.4. 10 lt/sn için B2 ikili batık kanat durumdaki Deney ve FLUENT Sonuçları.....	75
Çizelge 4.5. 10 lt/sn için B3 üçlü batık kanat durumdaki Deney ve FLUENT Sonuçları.....	80
Çizelge 4.6. 20 lt/sn için B0 batık kanatsız durumdaki Deney ve FLUENT Sonuçları	85
Çizelge 4.7. 20 lt/sn için B1 tekli batık kanat durumdaki Deney ve FLUENT Sonuçları.....	90
Çizelge 4.8. 20 lt/sn için B2 ikili Batık Kanat durumdaki Deney ve FLUENT Sonuçları.....	94
Çizelge 4.9. 20 lt/sn için B3 üçlü batık kanat durumdaki Deney ve FLUENT Sonuçları.....	99
Çizelge 4.10. 10 lt/sn durumunda B0 ve B1 arasında batık kanat etkisinin incelenmesi.....	104

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.11. 10 lt/sn durumunda B0 ve B2 arasında batık kanat etkisinin incelenmesi.....	106
Çizelge 4.12. 10 lt/sn durumunda B0 ve B3 arasında batık kanat etkisinin incelenmesi.....	108
Çizelge 4.13. 20 lt/sn durumunda B0 ve B1 arasında batık kanat etkisinin incelenmesi.....	110
Çizelge 4.14. 20 lt/sn durumunda B0 ve B2 arasında batık kanat etkisinin incelenmesi.....	112
Çizelge 4.15. 20 lt/sn durumunda B0 ve B3 arasında batık kanat etkisinin incelenmesi.....	114
Çizelge 4.16. 10 lt/sn akış için, B0 ve B1 durumu için ortalama ve maksimum hız değişimlerinin incelenmesi.....	118
Çizelge 4.17. 10 lt/sn akış için, B0 ve B2 durumu için ortalama ve maksimum hız değişimlerinin incelenmesi.....	120
Çizelge 4.18. 10 lt/sn akış için, B0 ve B3 durumu için ortalama ve maksimum hız değişimlerinin incelenmesi.....	122
Çizelge 4.19. 20 lt/sn akış için, B0 ve B1 durumu için ortalama ve maksimum hız değişimlerinin incelenmesi.....	124
Çizelge 4.20. 20 lt/sn akış için, B0 ve B2 durumu için ortalama ve maksimum hız değişimlerinin incelenmesi.....	126
Çizelge 4.21. 20 lt/sn akış için, B0 ve B3 durumu için ortalama ve maksimum hız değişimlerinin incelenmesi.....	128
Çizelge 5.1. Batık kanat ağ bilgileri.....	132
Çizelge 5.2. B0 ve EB1 durumu için hız değişimlerinin incelenmesi	133
Çizelge 5.3. B0 ve EB2 durumu için hız değişimlerinin incelenmesi	139
Çizelge 5.4. B0 ve EB3 durumu için hız değişimlerinin incelenmesi	145

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.5. B0 ve EB1 durumu için ortalama ve maksimum hız değişimlerinin incelenmesi	153
Çizelge 5.6. B0 ve EB2 durumu için ortalama ve maksimum hız değişimlerinin incelenmesi	155
Çizelge 5.7. B0 ve EB3 durumu için ortalama ve maksimum hız değişimlerinin incelenmesi	157



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Old Age akarsu mendereslerinde oyulma, yığılmaların oluşması.....	2
Şekil 1.2. Nehirdeki oyulma ve yığılma örneği	2
Şekil 1.3. Akarsularda oyulma örneği(a),batık kanat uygulamasından sonraki hali (b).	3
Şekil 1.4. Nehirdeki oyulmalara örnek (a), Rangitikei Nehri üzerindeki Bulls Köprüsü'nde köprü ayağı oyulması (b).....	4
Şekil 1.5. Nehir Düzenleme Yapıları sınıflandırılması.....	5
Şekil 1.6. Nehir yatağı kurlarında meydana gelen oyulma (a), Nehir üzerindeki akıma batık kanatların etkisi (b).....	7
Şekil 1.7. Batık kanat ve oluşturduğu çevrintiler.....	7
Şekil 1.8. Batık kanat yapılarının akım içerisindeki kanal yatağına etkisi	8
Şekil 1.9. West Fork Cedar Nehri köprü geçişi: a) kanat öncesi 1984 yılına ait görünüm b) kanat sonrası 1989'deki görünüm.....	9
Şekil 1.10. West Fork Cedar River köprüsü (Iowa) geçişinin kanat uygulamasından önce, 1984 yılındaki görüntüsü (a), kanat uygulandıktan sonraki görüntüleri (b, c)	10
Şekil 1.11. Wapsipinicon Nehri batık kanat uygulamasından önce 1988 yılı (a) ve batık kanat sonrası, 2009 yıllarındaki (b) görüntüleri.....	10
Şekil 1.12. Nehir mendireklerinde akımın hızsal ve derinlik olarak değişimi.....	12
Şekil 1.13. Nehirlerin eğrisel (dış kıyı) kısmında oluşan Bank erozyonu (Kıyı aşınması) örneği (Doğu Nishnabotna Nehri, Iowa.....	12
Şekil 1.14. Batık kanat uygulaması (Doğu Nishnabotna Nehri, Iowa.....	13
Şekil 1.15. Üçlü batık kanat dizilişi plan görünümü (a), A-A kesit görünümü (b)	15
Şekil 1.16. Odgaard(2009) yaptığı deneyler ve batık kanat etrafında oluşan sirkülasyonlar	17

Şekil	Sayfa
Şekil 1.17. Odgaard (2009)'ın yaptığı deneyler ve eğrisel batık kanatların etkisi: eğrisel batık kanatların memba tarafından görünümü(a), kırmızı ve mavi mürekkep sıvılarının akım içerisinde batık kanat etkisiyle izlediği yörünge (b,c)	17
Şekil 1.18. 3 sıralı yapılan Batık kanat deneyine ait sınır koşulları.....	18
Şekil 1.19. 3 sıralı yapılan Batık kanat deneyine ait akım hızı değişimlerinin gösterimi.....	19
Şekil 3.1. B ₃ batık kanat durumu için, deney düzeneği plan görünüşü (a) A-A kesit görünümü (b)ve B-B kesit görünümü kesit detayları(c)	31
Şekil 3.2. Açık kanal deney düzeneği.....	32
Şekil 3.3. Batık kanat deney düzeneğinin oluşturulması	32
Şekil 3.4. Deneyde kullanılacak kanatsız ve batık kanatlı dizilim durumları:.....	33
Şekil 3.5. Ultrasonik debimetre ölçüm ekranı(a), Ultrasonik ölçüm uçları (b)	35
Şekil 3.6. Deneyde kullanılan ADV cihazı (a), ADV uç (probe) mekanizması (b)	36
Şekil 3.7. Açık kanal düzeneğinde kullanılan ADV hız ölçüm cihazı.....	37
Şekil 3.8. Basınca dayalı çözüm yöntemleri işlem akışı.....	51
Şekil 3.9. Kapalı şema	53
Şekil 4.1. GAMBİT programı kullanılarak B3 üçlü Batık Kanat tasarımı	56
Şekil 4.2. Model için uygun olan çözüm metotlarının seçilmesi.....	57
Şekil 4.3. Model fazlarına ait çözüm detayları (a), k-ε Türbülans modelinin programa yüklenmesi işlemi (b).....	58
Şekil 4.4. Fluent -Setting up physics menüsü(a), Fazlar menüsünden hava ve su fazı ayarlanması, (b),hava ve su fazlarının oluşturulması(c,d)	58
Şekil 4.5. Başlangıç ve sınır şartları için kanal giriş şartlarının kontrolü(a) ve akım hızının girilmesi(b).....	59
Şekil 4.6. Su fazı atanacak bölgenin koordinatlarının(a) ve su fazının belirlenen bölgeye atanması(b)	59
Şekil 4.7. Çözüm animasyonu(a) için contour oluşturulması(b,c), su ve havı fazlarının genel görünümü(d).....	60

Şekil	Sayfa
Şekil 4.8. Üç boyutlu batık kanat modellemesinde oluşturulan ağ yapısı	61
Şekil 4.9. B2 ikili batık kanat durumu için sınır koşulları: a) 3 boyutlu görünüm; b) plan görünüm	62
Şekil 4.10. B3 üçlü batık kanat durumu için ölçüm yapılan enkesitler ve mesafeleri(a), 48 farklı ölçüm noktası(b), enkesit içerisindeki ölçüm noktaları(c)	64
Şekil 4.11. 10 lt/sn için B0 batık kanatsız durumdaki Deney ve FLUENT Sonuçları ...	66
Şekil 4.12. 10 lt/sn akış koşullarındaki ve B0 batık kanatsız durum için 6 enkesitteki hız değişimleri: a) 1-1 enkesiti, b) 2-2 enkesiti, c) 3-3 enkesiti, d) 4-4 enkesiti, e) 5-5 enkesiti, f) 6-6 enkesiti	67
Şekil 4.13. 10 lt/sn için B0 batık kanatsız durumundaki 0.6d'daki akım hızı değişiminin plan görünümü	69
Şekil 4.14. 10 lt/sn için B1 tekli batık kanat durumundaki Deney ve FLUENT Sonuçları	71
Şekil 4.15. 10 lt/sn akış koşullarındaki ve B1 tekli batık kanat durumu için 6 enkesitteki hız değişimleri: a) 1-1 enkesiti, b) 2-2 enkesiti, c) 3-3 enkesiti, d) 4-4 enkesiti, e) 5-5 enkesiti, f) 6-6 enkesiti	72
Şekil 4.16. 10 lt/sn için B1 tekli batık kanat durumundaki 0.6d'daki akım hızı değişiminin plan görünümü	74
Şekil 4.17. 10 lt/sn için B2 ikili batık kanat durumundaki Deney ve FLUENT Sonuçları	76
Şekil 4.18. 10 lt/sn akış koşullarındaki ve B2 ikili batık kanat durumu için 6 enkesitteki hız değişimleri: a) 1-1 enkesiti, b) 2-2 enkesiti, c) 3-3 enkesiti, d) 4-4 enkesiti, e) 5-5 enkesiti, f) 6-6 enkesiti	77
Şekil 4.19. 10 lt/sn için B2 ikili batık kanat durumundaki 0.6d'daki akım hızı değişiminin plan görünümü	79
Şekil 4.20. 10 lt/sn için B3 üçlü batık kanat durumundaki Deney ve FLUENT Sonuçları	81
Şekil 4.21. 10 lt/sn akış koşullarındaki ve B3 üçlü batık kanat durumu için 6 enkesitteki hız değişimleri: a) 1-1 enkesiti, b) 2-2 enkesiti, c) 3-3 enkesiti, d) 4-4 enkesiti, e) 5-5 enkesiti, f) 6-6 enkesiti	82
Şekil 4.22. 10 lt/sn için B3 üçlü batık kanat durumundaki 0.6d'daki akım hızı değişiminin plan görünümü	84

Şekil	Sayfa
Şekil 4.23. 20 lt/sn için B0 batık kanatsız durumdaki Deney ve FLUENT Sonuçları ...	86
Şekil 4.24. 20 lt/sn akış koşullarındaki ve B0 batık kanatsız durum için 6 enkesitteki hız değişimleri: a) 1-1 enkesiti, b) 2-2 enkesiti, c) 3-3 enkesiti, d) 4-4 enkesiti, e) 5-5 enkesiti, f) 6-6 enkesiti	87
Şekil 4.25. 20 lt/sn için B0 batık kanatsız durumdaki 0.6d'daki akım hızı değişiminin plan görünümü	89
Şekil 4.26. 20 lt/sn için B1 tekli batık kanat durumundaki Deney ve FLUENT Sonuçları	91
Şekil 4.27. 20 lt/sn akış koşullarındaki ve B1 tekli kanat durumu için 6 enkesitteki hız değişimleri: a) 1-1 enkesiti, b) 2-2 enkesiti, c) 3-3 enkesiti, d) 4-4 enkesiti, e) 5-5 enkesiti, f) 6-6 enkesiti	92
Şekil 4.28. 20 lt/sn için B1 tekli batık kanat durumundaki 0.6d'daki akım hızı değişiminin plan görünümü	93
Şekil 4.29. 20 lt/sn için B2 ikili batık kanat durumundaki Deney ve FLUENT Sonuçları	95
Şekil 4.30. 20 lt/sn akış koşullarındaki ve B2 ikili batık kanat durumu için 6 enkesitteki hız değişimleri: a) 1-1 enkesiti, b) 2-2 enkesiti, c) 3-3 enkesiti, d) 4-4 enkesiti, e) 5-5 enkesiti, f) 6-6 enkesiti	96
Şekil 4.31. 20 lt/sn için B2 ikili batık kanat durumundaki 0.6d'daki akım hızı değişiminin plan görünümü	98
Şekil 4.32. 20 lt/sn için B3 üçlü batık kanat durumundaki Deney ve FLUENT Sonuçları	100
Şekil 4.33. 20 lt/sn akış koşullarındaki ve B3 üçlü batık kanat durumu için 6 enkesitteki hız değişimleri: a) 1-1 enkesiti, b) 2-2 enkesiti, c) 3-3 enkesiti, d) 4-4 enkesiti, e) 5-5 enkesiti, f) 6-6 enkesiti	101
Şekil 4.34. 20 lt/sn için B3 üçlü batık kanat durumundaki 0.6d'daki akım hızı değişiminin plan görünümü	103
Şekil 4.35. 10 lt/sn akış durumunda B1 batık kanat etkisi.....	105
Şekil 4.36. 10 lt/sn akış durumunda B2 batık kanat etkisi.....	107
Şekil 4.37. 10 lt/sn akış durumunda B3 batık kanat etkisi.....	109
Şekil 4.38. 20 lt/sn akış durumunda B1 batık kanat etkisi.....	111
Şekil 4.39. 20 lt/sn akış durumunda B2 batık kanat etkisi.....	113

Şekil	Sayfa
Şekil 4.40. 20 lt/sn akış durumunda B3 batık kanat etkisi.....	115
Şekil 4.41. B3 üçlü batık kanat durumunda, Hız profillerinde incelenecek enkesitler(a) ve enkesitteki 1.,3., 5. ve 7. noktaların(b) gösterimi.....	116
Şekil 4.42. 10 lt/sn akış için, B0 ve B1 durumlarına ait kesitlerdeki akım hızının derinlikle değişimi: B0 durumu için; a) 1-1 enkesiti, b) 3-3 enkesiti, c) 5-5 enkesiti ve B1 durumu için d) 1-1 enkesiti, e) 3-3 enkesiti, f) 5-5 enkesiti	117
Şekil 4.43. 10 lt/sn akış için, B0 ve B2 durumlarına ait kesitlerdeki akım hızının derinlikle değişimi: B0 durumu için; a) 1-1 enkesiti, b) 3-3 enkesiti, c) 5-5 enkesiti ve B2 durumu için d) 1-1 enkesiti, e) 3-3 enkesiti, f) 5-5 enkesiti	119
Şekil 4.44. 10 lt/sn akış için, B0 ve B3 durumlarına ait kesitlerdeki akım hızının derinlikle değişimi: B0 durumu için; a) 1-1 enkesiti, b) 3-3 enkesiti, c) 5-5 enkesiti ve B3 durumu için d) 1-1 enkesiti, e) 3-3 enkesiti, f) 5-5 enkesiti	121
Şekil 4.45 20 lt/sn akış için, B0 ve B1 durumlarına ait kesitlerdeki akım hızının derinlikle değişimi: B0 durumu için; a) 1-1 enkesiti, b) 3-3 enkesiti, c) 5-5 enkesiti ve B1 durumu için d) 1-1 enkesiti, e) 3-3 enkesiti, f) 5-5 enkesiti	123
Şekil 4.46. 20 lt/sn akış için, B0 ve B2 durumlarına ait kesitlerdeki akım hızının derinlikle değişimi: B0 durumu için; a) 1-1 enkesiti, b) 3-3 enkesiti, c) 5-5 enkesiti ve B2 durumu için d) 1-1 enkesiti, e) 3-3 enkesiti, f) 5-5 enkesiti	125
Şekil 4.47. 20 lt/sn akış için, B0 ve B3 durumlarına ait kesitlerdeki akım hızının derinlikle değişimi: B0 durumu için; a) 1-1 enkesiti, b) 3-3 enkesiti, c) 5-5 enkesiti ve B3 durumu için d) 1-1 enkesiti, e) 3-3 enkesiti, f) 5-5 enkesiti	127
Şekil 5.1. Batık kanat yapılarının çeşitleri (a), güncel kullanılan hali (b), Clear deresi, Iowa uygulaması	129
Şekil 5.2. Sayısal modelde kullanılan eğrisel batık kanatın 3 boyutlu görünümü.....	130
Şekil 5.3. Sayısal modelde kullanılan eğrisel batık kanatların plan görünümü: a) EB1 b) EB2 c) EB3	131
Şekil 5.4. Üç boyutlu batık kanat modelinde oluşturulan EB1 mesh ağ yapısı	132
Şekil 5.5. 20 lt/sn akış durumunda EB1 batık kanat etkisi	134

Şekil	Sayfa
Şekil 5.6. 20 lt/sn akış koşullarındaki ve EB1 durumu için 6 enkesitteki hız değişimleri: a) 1-1 enkesiti, b) 2-2 enkesiti, c) 3-3 enkesiti, d) 4-4 enkesiti, e) 5-5 enkesiti, f) 6-6 enkesiti.....	136
Şekil 5.7. 20 lt/sn için EB1 durumundaki 0.6d'daki akım hızı değişiminin plan görünümü	137
Şekil 5.8.20 lt/sn için EB1 durumundaki 0.6d'daki akım hızı vektörel değişiminin plan görünümü	138
Şekil 5.9. 20 lt/sn akış durumunda EB2 batık kanat etkisi	140
Şekil 5.10. 20 lt/sn akış koşullarındaki ve EB2 durumu için 6 enkesitteki hız değişimleri: a) 1-1 enkesiti, b) 2-2 enkesiti, c) 3-3 enkesiti, d) 4-4 enkesiti, e) 5-5 enkesiti, f) 6-6 enkesiti.....	141
Şekil 5.11. 20 lt/sn için EB2 durumundaki 0.6d'daki akım hızı değişimi.....	143
Şekil 5.12.20 lt/sn için EB2 durumundaki 0.6d'daki akım hızı vektörel değişimi.....	144
Şekil 5.13. 20 lt/sn akış durumunda EB3 batık kanat etkisi	146
Şekil 5.14. 20 lt/sn akış koşullarındaki ve EB3 durumu için 6 enkesitteki hız değişimleri: a) 1-1 enkesiti, b) 2-2 enkesiti, c) 3-3 enkesiti, d) 4-4 enkesiti, e) 5-5 enkesiti, f) 6-6 enkesiti.....	147
Şekil 5.15. 20 lt/sn için EB3 durumundaki 0.6d'daki akım hızı değişimi.....	149
Şekil 5.16.20 lt/sn için EB3 durumundaki 0.6d'daki akım hızı vektörel değişimi.....	150
Şekil 5.17. B0 ve EB1 durumlarına ait kesitlerdeki akım hızının derinlikle değişimi: B0 durumu için; a) 1-1 enkesiti, b) 3-3 enkesiti, c) 5-5 enkesiti ve EB1 durumu için d) 1-1 enkesiti, e) 3-3 enkesiti, f) 5-5 enkesiti.....	152
Şekil 5.18. B0 ve EB2 durumlarına ait kesitlerdeki akım hızının derinlikle değişimi: B0 durumu için; a) 1-1 enkesiti, b) 3-3 enkesiti, c) 5-5 enkesiti ve EB2 durumu için d) 1-1 enkesiti, e) 3-3 enkesiti, f) 5-5 enkesiti.....	154
Şekil 5.19. B0 ve EB3 durumlarına ait kesitlerdeki akım hızının derinlikle değişimi: B0 durumu için; a) 1-1 enkesiti, b) 3-3 enkesiti, c) 5-5 enkesiti ve EB3 durumu için d) 1-1 enkesiti, e) 3-3 enkesiti, f) 5-5 enkesiti.....	156

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
B	Açık kanal taban genişliği
d	Kanatın bulunduğu noktada su yüksekliği
Fr	Froude sayısı
H	Kanat Yüksekliği
L	Kanat Uzunluğu
Q	Debi
V_{ort}	Ortalama akım hızı
k	Türbülans Kinetik enerjisi
ε	Türbülans dağılım oranı enerjisi
ρ	Yoğunluk
μ	Viskozite
ν	Kinematik viskoziteyi
α_w	Suya ait hacim fraksiyonu
K	Von Karman sabiti
u^*	Sürtünme hızı

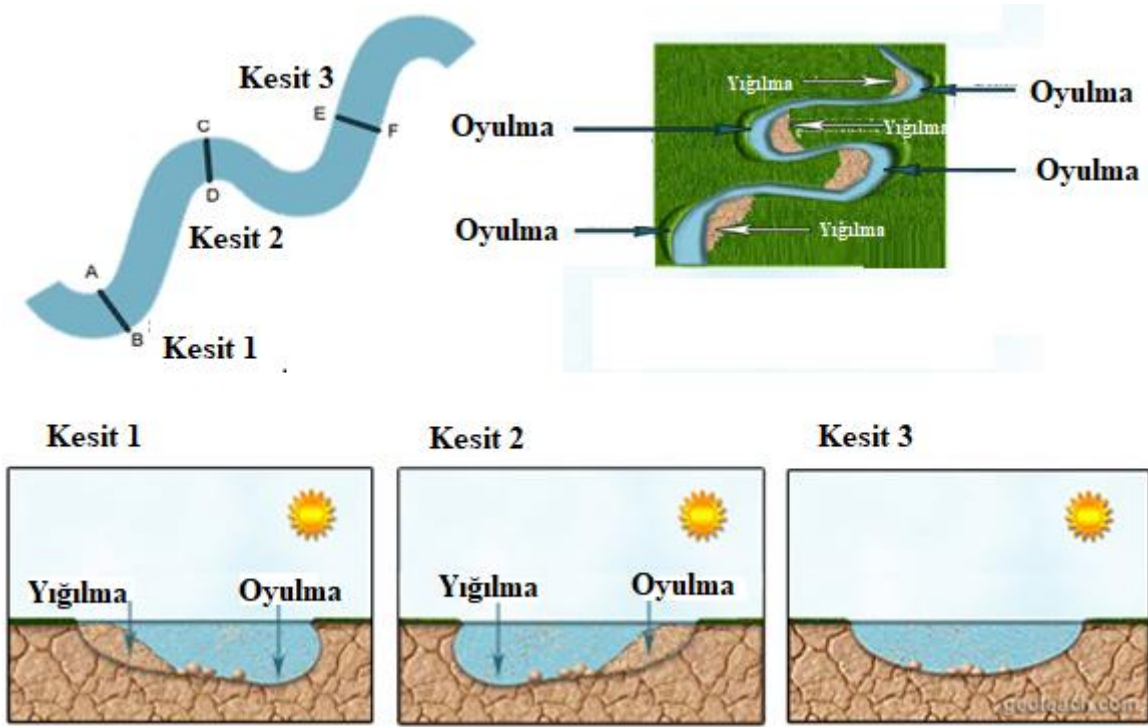
Kısaltmalar	Açıklamalar
ADV	Ultrasonik Debimetre
HAD	Hesaplama Akışkanlar Dinamiği

1. GİRİŞ

Nehirlerden daha yüksek verim almak için yapılan çalışmalara nehir düzenlemeleri denilmektedir. Nehir düzenlemeleri ile taşkın zararlarının önlenmesi ya da azaltılması, suyun enerjisinden faydalanılması, yeni tarım ve yerleşim alanları kazanılması, diğer su yapılarının güvenliğinin sağlanması, yer altı su seviyesinin düzenlenmesi, akarsuyun doğa ile uyumunun sağlanması vb. amaçlar hedeflenmektedir. Suyun verebileceği zararları engellemek (korunmak), suyu korumak veya sudan yararlanmak (içme, sulama, enerji, taşımacılık vb.) şeklinde olan düzenleme çalışmaları için farklı su yapıları kullanılır.

Nehirler erozyon sonucunda ve akarsu yatağındaki aşınmalardan dolayı meydana gelen katı maddeleri beraberinde taşımaktadır. Yataktaki akıma bağlı olarak aşınmalar sonucunda oyulmalar, taşınan malzemelerin sürüklenme gücüne bağlı olarak taşınabildikleri yere kadar taşınıp, taşınamayan yerlerde taban çökmesi ile yığılmalar meydana gelmektedir (Şekil 1.1.(Immor,2006)). Bu aşınma ve yığılmalar sonucu: akarsu morfolojisi değişebilir, akarsu üzerindeki yapılar etkilenebilir veya akarsuyun kalitesi bozulabilmektedir (Şekil 1.2., Şekil 1.3. ve Şekil 1.4.).

Şekil 1.1- 1.4 incelendiğinde, mendereslerde katı madde hareketi sonucunda iç şevde birikme oluşurken dış şevde yüksek akım hızlarından dolayı oyulmalar, oyulma ile beraber akarsu yatağında genişlemeler meydana gelmektedir. Dış şevde meydana gelen yüksek hızların düşürülmesi su kaynaklarının, yeşil alanların korunması, ayrıca taşkınların getirdiği tahribat göz önüne alındığında canlı yaşamı açısından önemlidir. Akımın yönlendirilmesi, akım hızının azaltılması konusunda nehir düzenleme (batık kanat vb.) çalışmalarına ihtiyaç bulunmaktadır.



Şekil 1.1. Old Age akarsu mendereslerinde oyulma, yığılmaların oluşması



Şekil 1.2. Nehirdeki oyulma ve yığılma örneği

Şekil 1.3a (Odgaard,2009) ve Şekil 1.4(Raudkivi ve Ettema,1985)'de gerçek nehirlerde ait oyulma örnekleri ve köprü ayağı etrafındaki oyulma sonucu oluşan köprü yıkılması verilmiştir. Şekil 1.3b(Odgaard,2009)' de aynı nehre ait batık kanat uygulaması sonucu oyulmanın azaldığı ve çevrenin yeşil bir hale geldiği görülmektedir.



Şekil 1.3. Akarsularda oyulma örneği(a), batık kanat uygulamasından sonraki hali (b)

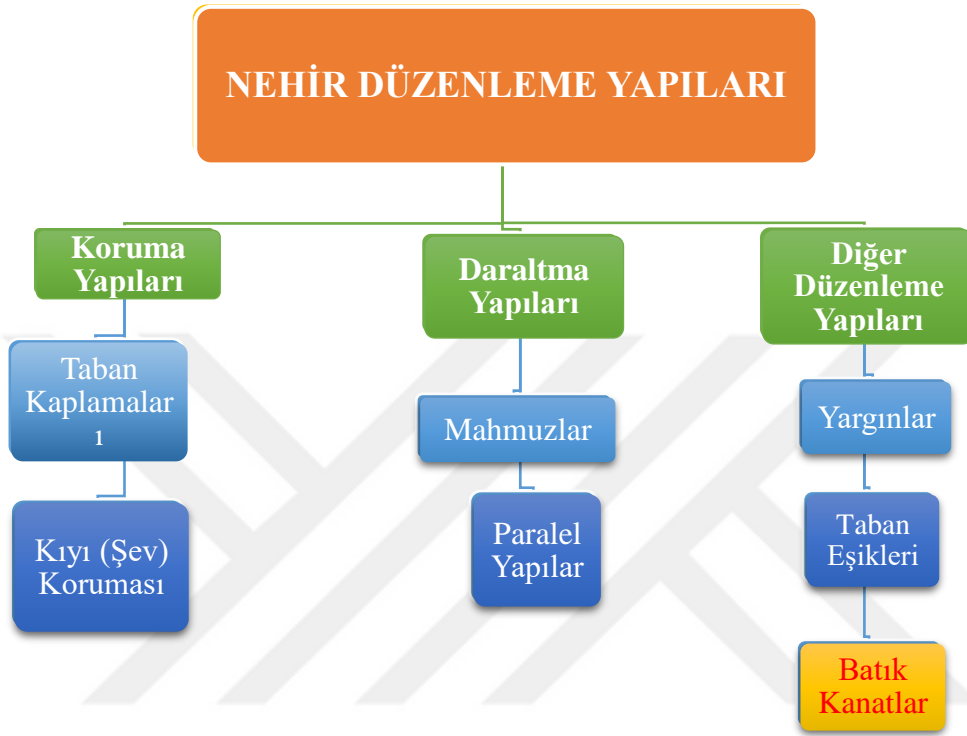


Şekil 1.4. Nehirdeki oyulmalara örnek (a), Rangitikei Nehri üzerindeki Bulls Köprüsü'nde köprü ayağı oyulması (b)

Nehir Düzenleme Yapıları ve Batık Kanatlar

Bir nehirde düzenleme çalışmaları, vahşi dere ıslahı hariç, daima mansaptan memba'ya doğru yapılır. Yani akıma ters yönde yapılır. Bu akarsu düzenlemeleri için öncelikle hidrolik veri çalışmalarının yapılması gerekir. Hidrolik çalışmalar için akım su seviyeleri, akım

hızları, su yüzü eğimleri, sürüntü-askı maddesi miktarları gibi veriler belirlenmelidir (Erkek ve Ağırlioğlu,2010). Nehir düzenleme yapılarına ait genel şema Şekil 1.5’de verilmiştir.



Şekil 1.5. Nehir Düzenleme Yapıları sınıflandırılması

Şekil 1.5’e göre koruma yapılarının genel amacı yatak yüzeylerini erozyona karşı korumaktır. Koruma yapılarından taban kaplaması ise, kaya dolgu ve taş kaplama şeklinde olup, tabanı akıntıya ve dalgalara karşı korumak için uygulanır. Kıyı koruması için ise anroşman kullanılır. Anroşman, bir nehir yatağını suyun etkilerinden korumak için kayaların ve beton küplerin doğrudan su içine atılması ile oluşturulan koruyucu örtüdür. Nehir kıyı kısımlarına suyun olumsuz etkisini azaltmak için kullanılmaktadır. (Erkek ve Ağırlioğlu,2010).

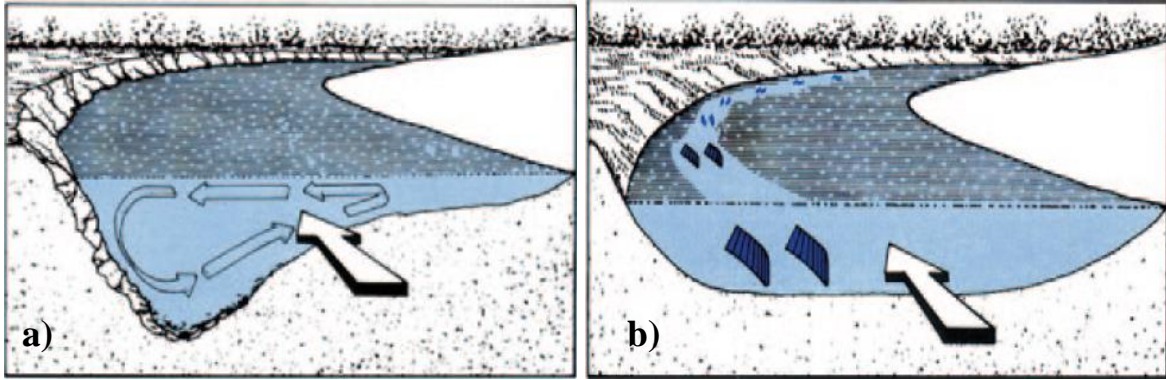
Daraltma yapıları, genel olarak mahmuz ve paralel yapılardan oluşmaktadır (Erkek ve Ağırlioğlu,2010). Mahmuzlar nehir yatağını daraltmak için akışa dik doğrultuda inşa edilen su yapılarıdır. Mahmuzlar, nehir enkesitlerine enine doğrultuda inşa edildiğinden enine yapılar da denilmektedir. Paralel yapılar ise akarsuyun eksenine paralel olarak kıyı çizgisinden başlayarak yeni düzenleme çizgisini belirleyen sedde tarzında yapılardır (Erkek ve Ağırlioğlu,2010).

Diğer düzenleme yapılarından yargınlar, akarsu kıvrımlarını düzeltmek, akarsu yatağının eğimini artırmak, yatak su seviyesini düşürmek amacıyla yapılmaktadır. Yargınlar'ın dezavantajlarından biri akımın ortalama hızların, sürüklenme gerilmesinin artması ve yatak tabanında oyulmalara sebep olmasıdır(Erkek ve Ağırlioğlu,2010).

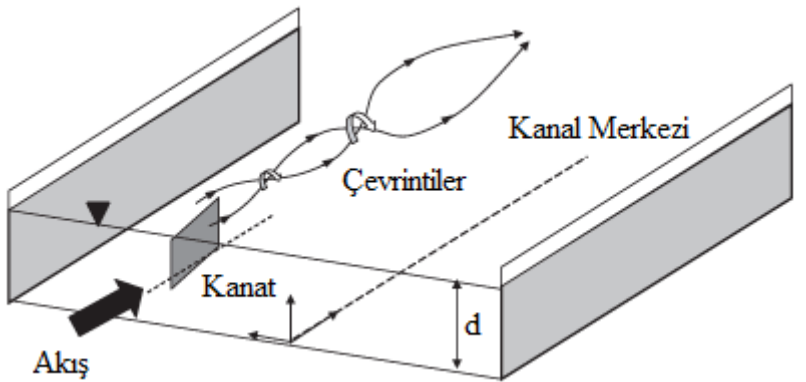
Taban eşikleri ise, yatak tabanını aşırı su etkilerinden korumak, oyulmaları ve taban alçalmalarını önleyerek tabanı istenilen seviyede tutmak, oluşan oyulma ve taban alçalmalarını gidererek su seviyesini yükseltmek, akarsuyun eğimini düşürmek amaçlarıyla yapılmaktadır. Eşiklerin tepe kotu su altında bulunmaktadır (Erkek ve Ağırlioğlu,2010).

Batık kanatlar ise akım ve sedimentin yönlendirilmesinde etkili yeni bir yöntemdir. Batık kanat yapıları, yatak tabanını ve nehir dış kıyısında oyulmaları engelleyerek nehir düzenlemesini sağlar. Batık kanatın üretiminde, ince dikdörtgen paneller olarak kullanılmaktadır. Ancak kanatların aerodinamik etkisini artırmak için uçak kanatları şeklinde eğrilige sahip kanatlar da kullanılmaktadır. Kanatlar genellikle beton, kaya ve çelik malzemedен üretilmektedir. Akarsu akışıyla hareket etmemesi için kanatlar genellikle tabana çelik çubuklar ile ankrajlanarak sabitlenmektedir(Gemici,2015).

Akarsuların düzenlenmesinde su ve katı maddeyi içeren akımların kontrolünde genellikle klasik yöntemlerden olan mahmuz, eşik, bent, savak vb. gibi yapılar kullanılmaktadır. Bu yapılar belirli hidrolik ve hidrolojik kural ve şartlara bağlı olarak projelendirilmektedir. Akarsu düzenlemesinde batık kanat yapılarının kullanımı ise bu klasik yapılara göre yeni bir yapı ve yöntem olmakla beraber net tasarım kriterleri bulunmamaktadır. Bu sebeple laboratuvarlarda elde edilen deneyler kanat tasarımının oluşmasına öncülük etmektedir. Batık kanat yapıları akım içerisinde hem akımın yönlendirilmesinde hem de akım hızının azaltılmasında önemlidir (Şekil 1.6.). Şekil 1.7'de batık kanat yapısı ve oluşturduğu çevrinti akımları verilmiştir.

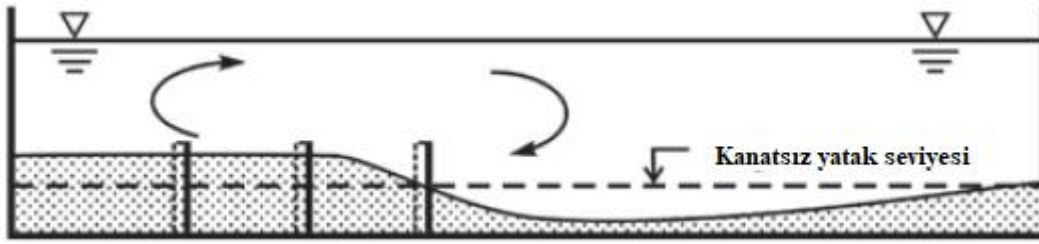


Şekil 1.6. Nehir yatağı kurbalarında meydana gelen oyulma (a), Nehir üzerindeki akıma batık kanatların etkisi (b)



Şekil 1.7. Batık kanat ve oluşturduğu çevrintiler

Şekil 1.6a(Odgaard,2015)'da Enine sirkülasyon veya sarmal hareket olarak da bilinen nehir kurbalarında merkezkaç kuvvetiyle oluşan ikincil akım gösterilmiştir. Akarsularda ikincil akım yüksek hızda, yüzeye yakın akımı dışa doğru ve düşük hızlı, yatağa yakın akımı içe doğru hareket ettirir(Şekil 1.6a). Bu tip akımlar dış kıyıların yakınında daha büyük derinlikler ve yüksek hızlar üretebilir. Nehrin derinleşmesi ile akımın yüksek hız ile dış kıyıda erozyon oluşturur. Batık kanatlar, kanat sonrasında sirkülasyon ya da çevrinti akımı oluşturarak (Şekil 1.7.(Odgaard,2009)) kanalda akış ve sediment dağılımını değiştirir. Sirkülasyon etkisiyle kanalda akım hızı, akım yüksekliği, sediment hareketinin yönü ve büyüklüğü değişir. Şekil 1.8(Odgaard,2015)'de batık kanat yapılarının akım içerisindeki kanal yatağına etkisi gösterilmiştir.



Şekil 1.8. Batık kanat yapılarının akım içerisindeki kanal yatağına etkisi

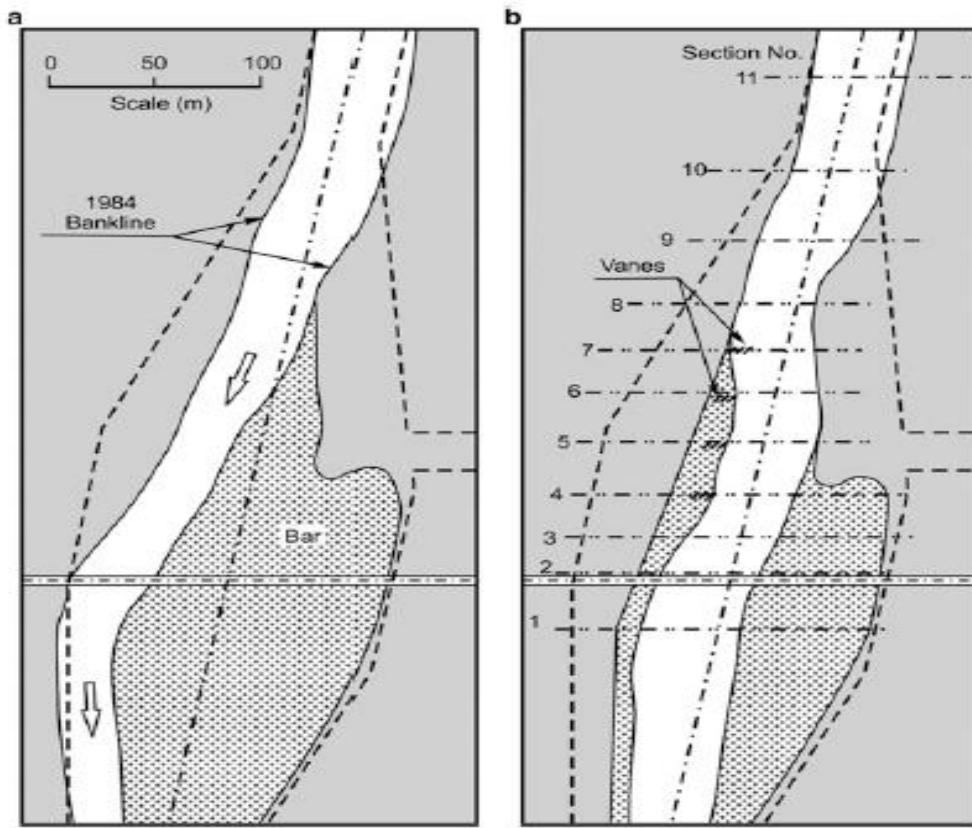
Batık Kanat Uygulamaları ve Etkilerinin İncelenmesi

Birçok akarsu beraberinde taşıdığı katı madde ile nehir yatağında oyulma- biriktirme ve bunun sonucunda nehir yatağının güzergahının değişmesine ve genişlemesine sebep olmaktadır. Akarsu güzergahının değişmesi, nehir çevresindeki canlı yaşamı ve çevrenin korunması açısından risk teşkil etmektedir. Batık kanat yapılarının, bentler ve mahmuzlar gibi geleneksel nehir düzenleme yapılarına göre avantajları, akışa daha az dirençle ve daha az maliyetle kanal içerisinde akımın istenilen seviyede dağılımını sağlayabilmeleridir (Odgaard (2017)).

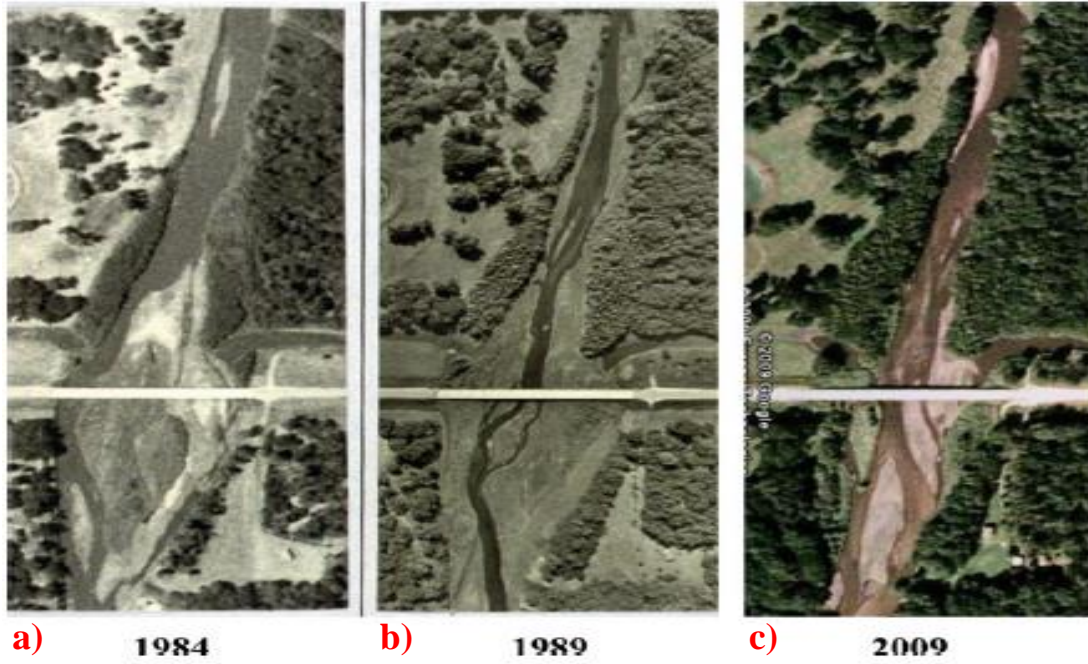
Odgaard (2016) çalışmasında West Fork Cedar nehri üzerinde batık kanat ile nehir düzenleme çalışması yapmıştır. Şekil 1.9(Odgaard, 2017)'da, 1984'deki nehir güzergâh çizgisinin değiştiği ve eski geçiş güzergahında kum barları biriktiği görülmektedir. Kum çubuğu altı açıklıktan dördünü kaplayarak, akışın sağ köprü ayağına doğru olduğu, burada bankanın altını oyduğu ve aşındırdığı ifade edilmiştir. Şekil 1.9'da verilen 1989 yılındaki kanat etkisi görülmektedir. Nehrin güzergahı düzleştirmesine ve kıvrımlardan uzaklaştığı, iki kıvrımı ortadan kaldıran ve kanal güzergahını 482 m daha kısalttığı (1189'dan 707 m'ye) belirtilmiştir. Batık kanat tasarımı için,1984 yılında 12 kanatlı bir sistem (her dizide 3 kanatlı 4 sıra) kurmuşlardır. Her batık kanat, ana kanalla 30 derecelik açıyla hizalanan dikey kazıklardan oluşturmuşlardır. Aynı nehir düzenlemesine ait 1984-1989 ve 2009 yıllarına ait uydusal değişimler Şekil 1.10'da verilmiştir. Şekil 1.10(Odgaard, 2017)'da, Batık kanat yapılarının nehir yatağını düzenlediği, çevre düzenlemesine ve ağaçlandırmaya katkısı görülmektedir.

Şekil 1.11(Odgaard, 2017)'de, Odgaard (2017) tarafından yapılan, Wapsipinicon Nehri düzenlemesine ait batık kanat uygulamasından önceki ve batık kanat sonrası durumları

verilmiştir. Nehir üzerindeki köprü ayağına yakın bölgede 3 m hızla aşındığı, erozyona uğradığı, bunun sonucunda köprü yapısının zamanla tehlikeye atıldığı belirtilmiştir. Bu çalışmada, nehirdeki akış tamamen dolu olduğunda yaklaşık $600 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir. 1988 yılında yaklaşık 100 metrelik bent boyunca 28 kanattan oluşan bir nehir düzenlemesi yapılmıştır. Batık kanatlar, tam akışta akış yönü ile yaklaşık 20° açı ile yönlendirilmiştir. Şekil 1.11'a göre, 2009 yılındaki görünümeler incelendiğinde batık kanat sisteminin akarsu yatağının yenilenmesine yardımcı olduğu, aynı zamanda köprü açıklığı için daha uygun bir akım koşulunun oluşturulmasında da yardımcı olduğu, aşınmaları azalttığı görülmüştür.



Şekil 1.9. West Fork Cedar Nehri köprü geçişi: a) kanat öncesi 1984 yılına ait görünüm b) kanat sonrası 1989'deki görünüm



Şekil 1.10. West Fork Cedar River köprüsü (Iowa) geçişinin kanat uygulamasından önce, 1984 yılındaki görüntüsü (a), kanat uygulandıktan sonraki görüntüleri (b, c)



Şekil 1.11. Wapsipinicon Nehri batık kanat uygulamasından önce 1988 yılı (a) ve batık kanat sonrası, 2009 yıllarındaki (b) görüntüleri

Batık Kanat Uygulamalarının Önemi

Nehirdeki yüksek akım hızlarından dolayı oluşacak oyulma, nehir yatağı genişlemesi vb. etkilerini azaltmak için kullanılması düşünülen batık kanatların, aşağıdaki problemlerin çözümü açısından önemlidir:

- Daha az maliyetle kanal içerisinde akımın istenilen seviyede dağılımını sağlayabilmesi,
- Çevre düzenlemesine katkıda bulunması,
- Köprü ayağı gibi önemli yapılarda nehrin yatağında oyulmanın azalması,

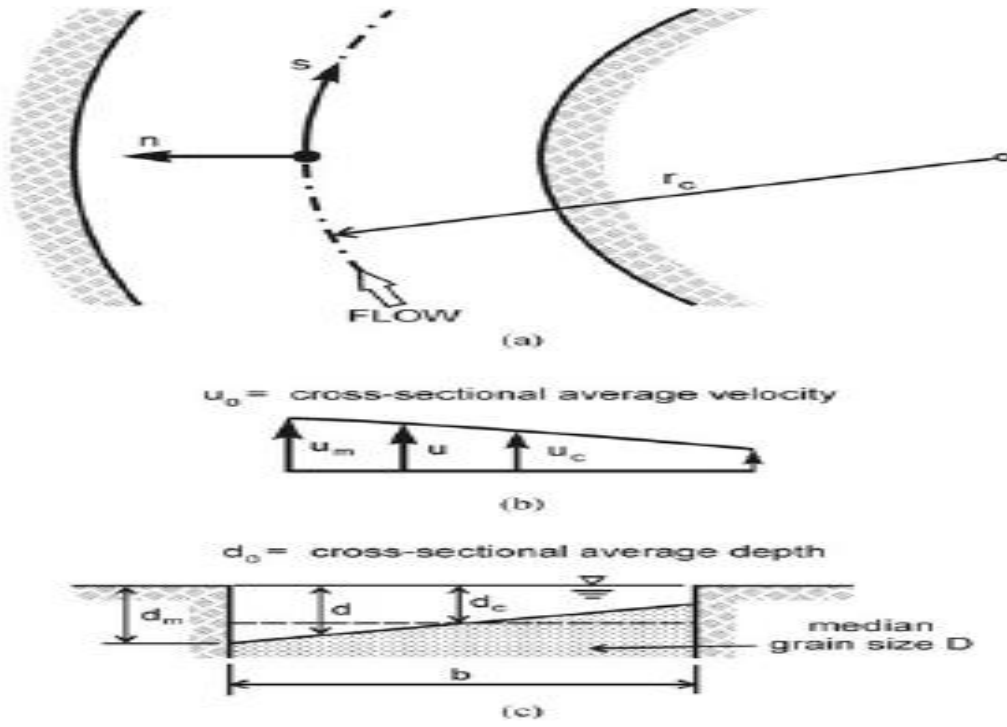
- Nehrin yatağının genişlemesinin önlenmesi, katı madde hareketinin istenilen kısımda birikmesinin sağlanması.

Çalışmanın Amacı

Genellikle, akarsularda akım hızının yüksek olması beraberinde olumsuz etkiler getirmektedir. Akarsularda akımın sürekli alinymanda yani düz bir akış kesitinde devam etmesi mümkün olmamaktadır. Otoyollar ve köprüler gibi altyapıların inşa edildiği akarsularda, akım boyunca kontrol edilemeyen kısımları nehir kurbalarıdır. Literatürde yapılan çalışmalarda, çok az sayıda araştırmacı, nehirlerin kurbalarında kısmında batık kanat uygulaması incelenmiştir.

Akarsularda akımın yönlendirilmesinde ve akım hızı etkisinin azaltılmasında batık kanat yapıları önemlidir. Menderesli akarsularda iç kıyıda oluşan ikincil akımlar etkisiyle iç kıyıda hız azalırken dış kıyıda merkezkaç kuvveti ve ikincil akım etkisiyle hız artmaktadır(Şekil 1.12(Odgaard,2009)). Dış kıyıda hız artmasından dolayı dış şevde ve dış şeve yakın yatak tabanında oyulmalar oluşmaktadır(Şekil 1.13(Odgaard,1987)). Dış kıyıya yakın olarak yerleştirilen batık kanatlar akım içerisinde ters sirkülasyon oluşturur ve nehir yatağının bozulmasını engeller. Ancak literatürde batık kanatların diğer etkin kullanım alanları ise su alma ve yönlendirme kanalı ağızlarıdır. Batık kanatların su alma ağızlarına su girişini kolaylaştırdığı tespit edilmiştir (Gemici,2015).

İkincil (çevrinti) akım, yüksek hızda, yüzeye yakın akımı dışa doğru ve düşük hızlı, yatağa yakın akımı içe doğru hareket ettirir. Böylece dış kıyıların yakınında daha büyük derinlikler ve hızlar üretir. Nehrin derinleşmesi, daha yüksek hızlar ile dış kıyıda erozyon oluşturur(Şekil 1.13). Şekil 1.14(Odgaard,2009)'de Iowa'da Doğu Nishnabotna Nehri, üzerindeki batık kanat uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 1.12. Nehir mendireklerinde akımın hızsal ve derinlik olarak değişimi



Şekil 1.13. Nehirlerin eğrisel (dış kıyı) kısmında oluşan Bank erozyonu (Kıyı aşınması) örneği (Doğu Nishnabotna Nehri, Iowa)



Şekil 1.14. Batık kanat uygulaması (Doğu Nishnabotna Nehri, Iowa)

Batık Kanat Teorisi

Odgaard ve Spoljaric (1986) ve Odgaard ve Mosconi (1987) çalışmalarında, Şekil 1.7. ve 1.8’de verilen bir batık kanat etrafında oluşan sirkülasyonu aşağıdaki şekilde formüle etmişlerdir. “ α ” açılı batık kanat yapısının, akımın etkisiyle, batık kanat sonrasında mansap kısmında vortisite oluşturur. Batık kanatın menbaa kısmında yüksek basınç, mansab kısmında düşük basınç olduğundan dolayı vortisite meydana gelir. Bu vortisite, akışın helisel hareketi, yatak kayma gerilmesi ve yatak topoğrafyası değişimlerine bağlıdır. Bu değişimler ayrıntılı olarak Odgaard ve Wang(1991) çalışmalarında bahsetmişlerdir. Batık kanat kaynaklı oluşan vortisite (çevrinti), düzenli bir potansiyel (Rankine) vortisitesi olarak tanımlanmaktadır (Eibeck ve Eaton, 1987). Vortisite aşağıya doğru taşınırken viskoz difüzyon nedeniyle gücü azalır (Odgaard, 2009). Sınırsız bir akış alanında, radyal olarak, bir vortisitenin (v_θ), çekirdek eksenine dik olan teğetsel hız denklemi (Lamb 1932):

$$v_\theta = \frac{\Gamma}{2\pi r} \left(1 - e^{\left(-\frac{u}{4\varepsilon s} r^2 \right)} \right) \rho \Gamma u H \quad 1.1.$$

Denklem 1.1’e göre “r” vortisite eksenine olan radyal mesafeyi, “ ε ” Eddy viskozitesini, “s” vortisite eksenini boyunca akış mesafesini, “u” ortalama akış- kanat yaklaşım hızını ve “ Γ ” ise

$s=0$ anındaki yatay vortisiteyi ifade etmektedir. Γ sirkülasyon miktarı yatay kaldırma kuvveti ile ilişkilidir:

$$F_L = \rho \Gamma u H \quad 1.2.$$

Burada " F_L " kaldırma kuvveti olmak üzere, " ρ " suyun yoğunluğunu, ve " H " kanat yüksekliğini ifade etmektedir. H burada akım içerisinde ve kanal taban malzemesi yukarısında kalan net yükseklik miktarıdır. Batık kanat akımını ve sediment hareketini etkileyen temel faktörler akım hızı, kanatın şekli, kanatın boyutu, kanatın yerleşim açısı ve kanatların diziliş şeklidir.

$$F_L = \frac{1}{2} C_L \rho L H u^2 \quad 1.3.$$

Burada L = kanat uzunluğu ve C_L = kaldırma katsayısıdır. C_L kaldırma katsayısı, düşey vortisitenin tabanda en yüksek, kanat üst noktasında sıfır olduğu varsayılarak aşağıdaki şekilde verilmiştir (Odgaard ve Spoljaric (1986), Odgaard ve Mosconi (1987)).

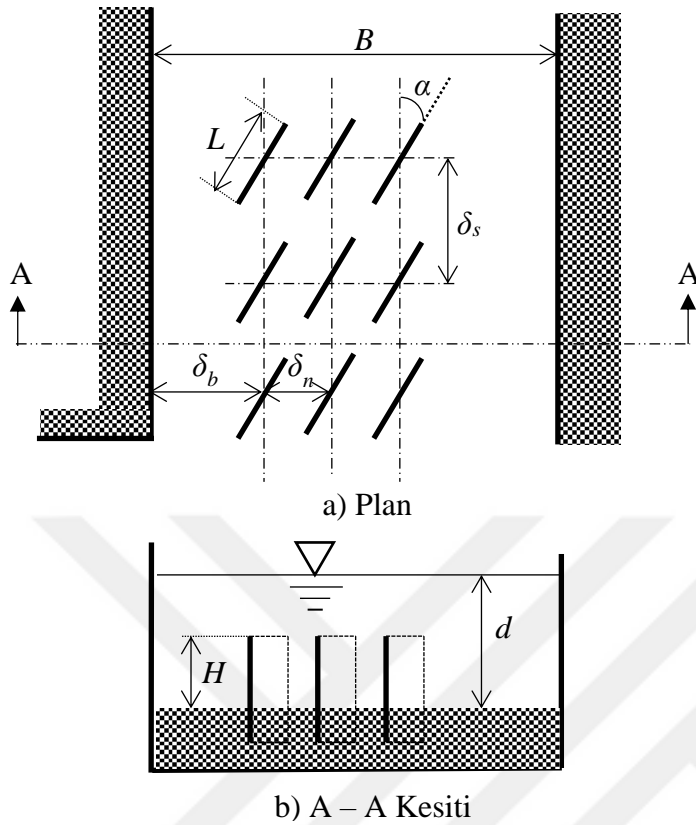
$$C_L = 2\pi\alpha/(1 + L/H) \quad 1.4.$$

Bu denklemde α kanat yaklaşım açısıdır. Denklem 1.2, 1.3. ve 1.4. düzenlenirse, Γ sirkülasyon miktarı,

$$\Gamma = \pi\alpha L u / (1 + L/H) \quad 1.5.$$

şeklinde elde edilmektedir. Kanalda tek batık kanat olması durumunda, denklem 1.5'den görüldüğü üzere, vortisiteyi etkileyen faktörler kanatın açısı, uzunluğu, yüksekliği ve akım hızıdır.

Batık kanatların performansı artırmak için kanatlar genellikle çoklu kanat dizilişleri halinde uygulanmaktadır. Batık kanatlar akım, nehir kesiti özelliklerine göre akarsu yatağına farklı biçim ve aralıklarda yerleştirilmektedir. Tüm farklı diziliş şartları vortisiteyi artırır veya azaltır. Şekil 1.15'den görüldüğü üzere kanat özellikleri dışında diziliş mesafeleri δ_s , δ_b , δ_n ile art arda ve yan yana kullanılan batık kanat sayısı vortisiteyi dolayısıyla akış hızlarını değiştirmektedir(Gemici,2015).



Şekil 1.15. Üçlü batık kanat dizilişi plan görünümü (a), A-A kesit görünümü (b)

Odgaard (2009)'a göre, kanat kullanılarak elde edilen akımlarda, enine yatak kayma gerilimi (akışa dik doğrultuda) " τ_{vn} ", akış yönündeki yatak kayma gerilimine " τ_{bs} " ile ifade edilirse; akışa dik doğrultudaki-yatağa yakın hız (v) ile akış yönündeki-yatağa yakın hızın (u) değerine eşit olması nedeniyle, akışa dik doğrultudaki gerilme ile akış yönündeki yatak kayma gerilim oranı (τ_{vn}/τ_{bs}) aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\frac{\tau_{vn}}{\tau_{bs}} = \frac{v}{u} \quad 1.6.$$

Enine yatak kayma gerilimi (τ_{vn}) aşağıdaki şekilde belirlenmiştir (Odgaard (2009)):

$$\tau_{vn} = F_L f_v \quad 1.7.$$

Burada, " F_L " kaldırma kuvvetini, f_v ise "m" resistans (direnç yada dayanıklılık) katsayısı ve " H " net batık kanat yüksekliğine bağlı fonksiyonu ifade etmektedir (Odgaard ve Wang,

1991). $m = K \sqrt{8/f}$ denkleminde göre, “K” Von Karman sabitini ($K \approx 0.4$) ve “f” ise Darcy - weisbach sürtünme faktörünü temsil eder. Akış doğrultusundaki kayma gerilmesi (τ_{vs}) ise;

$$\tau_{vs} = F_D f_v \quad 1.8.$$

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho L H u^2 \quad 1.9.$$

Denklem 1.9’da, C_D sürüklenme katsayıdır ve F_D ; F_L sürüklenme kuvvetine bağlı bir kuvvettir ($F_D = (C_D/C_L) F_L$). “ C_D ” sürüklenme katsayısının “ C_L ” kaldırma katsayısı cinsinden ifadesi ise;

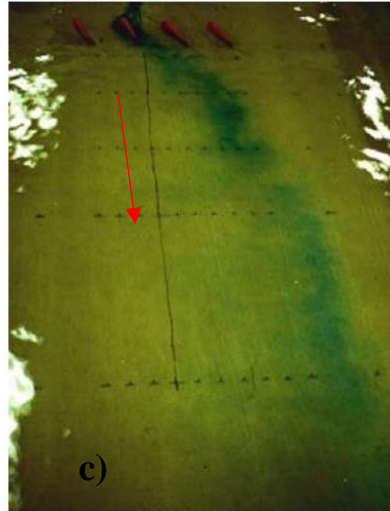
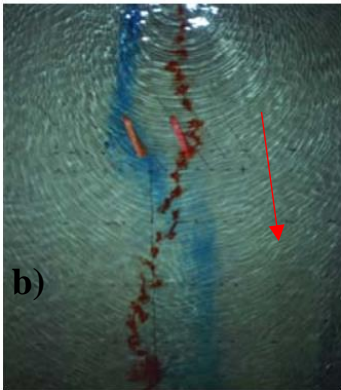
$$C_D = \frac{1}{2\pi} \frac{L}{H} C_L^2 \quad 1.10.$$

Açıklanan bu denklemler (Odgaard (2009)), bir batık kanat etrafındaki ideal akış içindir. Gerçekte, yaklaşık 5 ila 7 derece’den daha büyük açılar için akış, batık kanatın arka kenarına ulaşmadan, ayrılmaktadır. Sonuç olarak F_L , hiç ayrılma olmaması durumundaki değerinden daha azdır. Ek olarak, küçük kanat en-boy oranıyla birlikte vortisiteyi, denklem 1.1. ile açıklananndan daha karmaşık hale getirebilir. Odgaard ve Spoljaric(1986), yukarıda bahsedilen denklemsel ilişkileri deneysel olarak doğrulamıştır.

Bu tez çalışmasında, batık kanat yapılarının deneysel olarak incelenmesi ile ilgili Odgaard (2009) ve Gemici (2015)’nin çalışmalarından ayrıntılı olarak faydalanılmıştır. Şekil 1.16’da Odgaard (2009) yaptığı deneyler ve batık kanat etrafında oluşan çevrintiler gösterilmiştir. Şekil 1.17’de ise Odgaard (2009) kanat öncesi mürekkep sıvısının akım içerisindeki hareketini ve batık kanat etkisi gösterilmiştir.



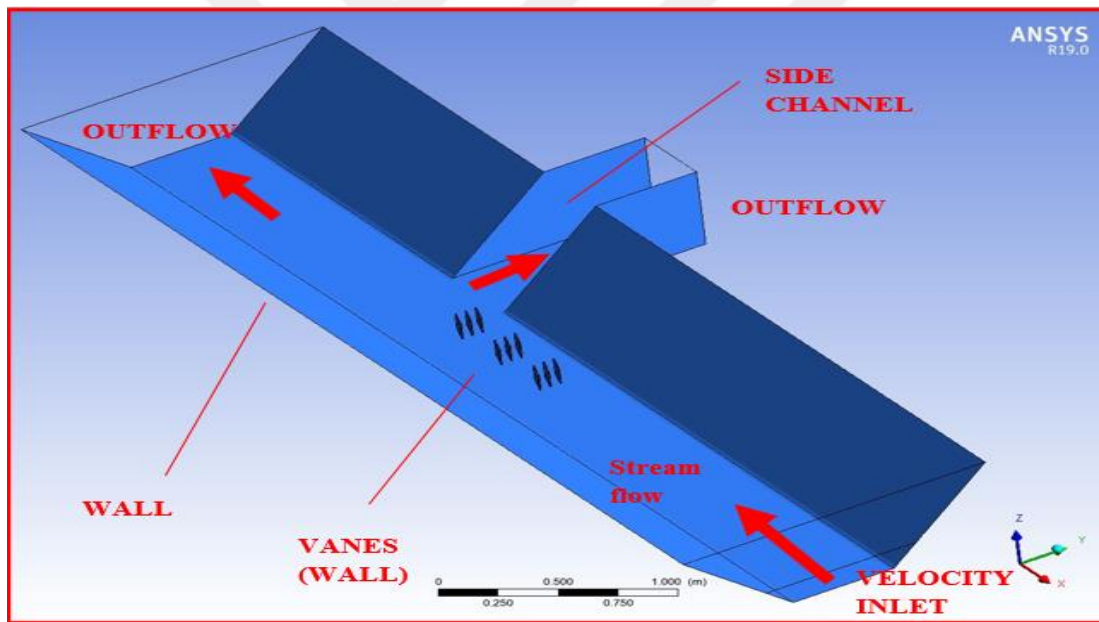
Şekil 1.16. Odgaard(2009) yaptığı deneyler ve batık kanat etrafında oluşan sirkülasyonlar



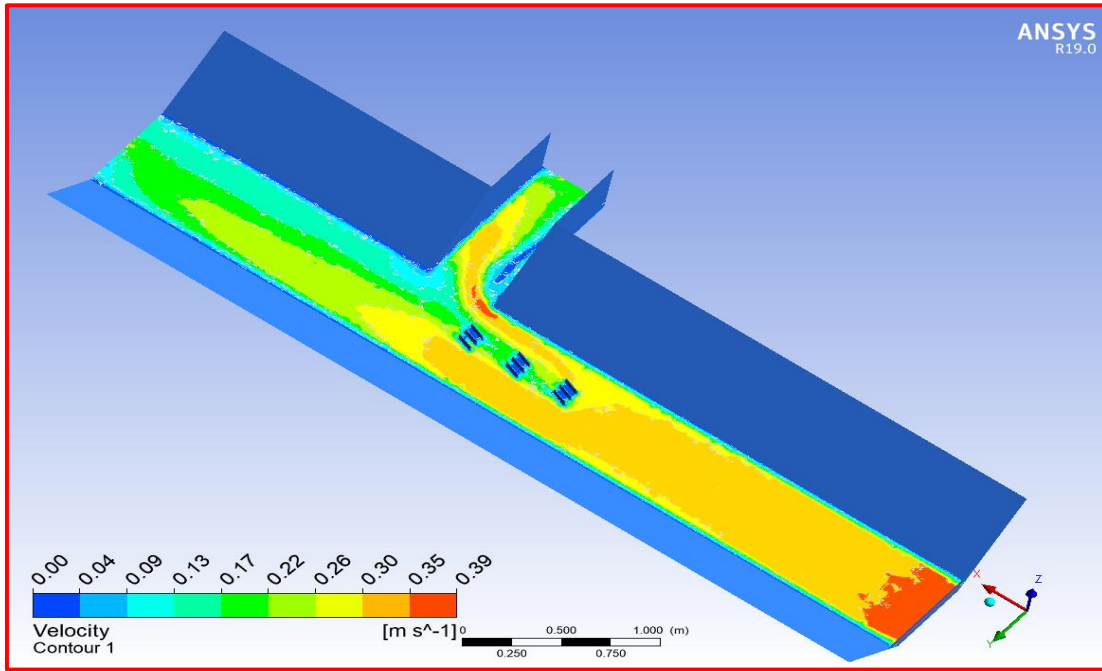
Şekil 1.17. Odgaard (2009)'ın yaptığı deneyler ve eğrisel batık kanatların etkisi: eğrisel batık kanatların memba tarafından görünümü(a), kırmızı ve mavi mürekkep sıvılarının akım içerisinde batık kanat etkisiyle izlediği yörünge (b,c)

Şekil 1.17a’da Odgaard (2009) tarafından yapılan eğrisel batık kanat deneyine ait akımın menba’dan mansaba olan akımı verilmiştir. Şekil 1.17b ve c’de ise sırasıyla ikili ve dördü eğrisel batık kanatlar verilmiştir. Odgaard (2009), akım içerisindeki kırmızı ve mavi renlerdeki mürekkep sıvılarının batık kanat etrafındaki hareketi incelemiş ve ikili kanat kullanıldığında mavi renkli mürekkeple akım yönlendirildiği gözlenmektedir. Dördü batık kanat durumunda ise batık kanatın akımı önemli ölçüde yönlendirdiği görülmektedir.

Bu tez kapsamında, daha önce deneyleri Gemici (2015) tarafından yapılan batık kanat yapıları ve akımı, 3 boyutlu modellemesi sayısal model kullanılarak elde edilmiştir. Açık kanal akımlarında kabul edilen sınır koşulları ve akım hız değişimleri sırasıyla Şekil 1.18(Taşar, Üneş, Gemici ve Varçin, 2021) ve 1.19(Taşar ve ark.,2021)’da verilmiştir.



Şekil 1.18. 3 sıralı yapılan Batık kanat deneyine ait sınır koşulları



Şekil 1.19. 3 sıralı yapılan Batık kanat deneyine ait akım hızı değışimlerinin gösterimi

Taşar ve ark. (2021), çalışmalarında batık kanat yapısı kullanılarak oluşan akımları 3 boyutlu olarak sayısal modellemesini yapmışlardır. Daha önce batık kanat deneylerinin yapıldığı kanalda, ölçülen akım hızlarını, sayısal model sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Mevcut sayısal model’de, doğrusal olmayan ve süreklilik, türbülans modeli denklemleri kullanmışlardır. Türbülans viskozitesi için k-ε türbülans denklemleri kullanmışlardır.

Tezin kapsamı

Tezin birinci bölümünde nehir düzenleme yapıları ve batık kanatlar, batık kanat uygulamaları ve etkilerinin incelenmesi, batık kanat uygulamalarının önemi, çalışmanın amacı, batık kanat teorisi hakkında genel ve tanıtıcı bilgilere yer verilerek konunun önemi ve kapsamı özetle açıklanmıştır.

Tezin ikinci bölümünde batık kanat deneyleri ve kullanılan sayısal model ile ilgili kapsamlı bir literatür taraması verilmiştir. Batık kanat konusunda geçmişte yapılan deneysel yöntem ve literatürde akım modellemesinde kullanılan sayısal modeller araştırılmıştır. Verilen literatür çalışmaları kendi içerisinde kronolojik sıra ile verilmiştir.

Tezin üçüncü bölümünde çalışmada kullanılan deneysel çalışmalara ve sayısal yöntemlere ilişkin bilgilere yer verilmiştir. Açık kanal akımında yapılan deneylere ait ön tasarım, deneysel bilgiler, batık kanat tasarımları, deneyde kullanılan cihazlar açıklanırken ikinci alt başlıkta ise sayısal yöntem kullanılarak elde edilen modelleme anlatılmıştır. Sayısal model'de ile kabul edilen temel denklemler ve yöntem içerisindeki çözüm denklemleri verilmiştir.

Tezin dördüncü bölümünde yapılan batık kanat deney sonuçları ile sayısal model sonuçları karşılaştırılmıştır. Ayrıca sayısal model'e ait mesh ve akım modellemesi için işlem adımları, sayısal bilgiler bu bölümde verilmiştir. 8 farklı deney ve 8 farklı sayısal model elde edilmiştir. Sayısal modelden elde edilen sonuçlara göre kanat etkisi irdelenmiştir. Ayrıca ölçüm noktalarında derinlik boyunca, maksimum ve ortalama akım hızlarına etkisi ayrı ayrı olarak her durumda incelenmiştir.

Tezin beşinci bölümünde, dördüncü bölüme ek olarak, 3 adet eğrisel batık kanat deneyleri sayısal olarak modellenmiş ve akım hızı sonuçları önceden yapılan kanatsız durum için karşılaştırılmıştır. Eğrisel batık kanat modelleri Odgaard(2009) dan faydalanarak, eğrisel ve açısız batık kanatlı, eğrisel ve 20° dış şeve göre açılı batık kanatlı ve 20° iç şeve göre açılı batık kanatlı durumları olmak üzere 3 farklı sayısal model elde edilmiştir,. Elde edilen model sonuçlarına göre batık kanat etkisi irdelenmiş, deney ölçümlerinin yapıldığı noktalarda batık kanat'ın akım hızına etkisi araştırılmıştır.

Tezin altıncı ve son kısmında elde edilen sonuçlar doğrultusunda yapılan deneysel ve sayısal batık kanat deney ve model sonuçları değerlendirilerek batık kanat etkisi açıklanmıştır. Batık kanat yapılarının, dış kurb'dan iç kurb'a yönlendirilen akımları düzenleyerek akım hızlarını azalttığı ve akım su derinliğini dengelediği vurgulanmıştır. Ayrıca bu sayısal modellerin daha sonraki nehir ve su yapıları düzenlemelerinde yapılacak projelendirme aşamasında kullanılabilmesi ifade edilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Batık kanatlar ile 1980li yıllarda Odgaard ve Kennedy (1982), Odgaard ve Kennedy (1983), Odgaard ve Lee (1984) ve Odgaard ve Mosconi (1987) tarafından yapılan çalışmalar, batık kanatların literatüre girdiği ilk çalışmalardandır. Yapılan deneysel çalışmaların Iowa Üniversitesinde yapılması sebebiyle batık kanatlar aynı zamanda ‐Iowa kanatları‐ olarak da bilinmektedir. Iowa Üniversitesinde yapılan çalışmalarla akış kontrolü ve şev koruma yapısı olarak batık kanatlar önemli bir hal almıştır. Batık kanat çalışmaları, deney ve sayısal modellemelere bağlı bir konu olduğu için literatürde çok az sayıda çalışma bulunmaktadır.

Marelius ve Sinha (1998), açık kanal akımında en güçlü ikincil sirkülasyonu oluşturmak için gereken optimum kanat açısını oluşturmak için çalışma gerçekleştirmişler. Optimum kanat açısının yaklaşık bir tahminini elde etmek için 25°, 36°, 45° ve 57°'lik dört farklı yaklaşım açısının sonuçlarını irdelemişler. Her kesitteki momentum ve derinlik değerlerini incelediklerinde, 40° açıyla elde edilen batık kanat sonuçlarının daha uygun olduğu ve güçlü çevrinti oluşturduğunu ifade etmişlerdir.

Tan, Yu, Lim ve Ong (2005), çalışmalarını 30 m uzunluğunda, 6 m genişliğinde ve 0.6 m yüksekliğinde geniş bir kanalda yapmış, kanal yatağını 1.05 özgül ağırlıkta hafif silindirik plastik malzeme ile kaplamış, batık bir kanat etrafındaki akış ve sediment hareketinin özelliklerini araştırmak için deneyler yapmışlardır. Bu deneylerde kanat kalınlıklarını 10 mm da çelik plakadan yapmışlardır. Ortalama yatağın üzerindeki kanadın yüksekliğini, akış derinliğinin sekizde biri ile üçte biri arasında, uzunluğu ise 1-4 m arasında seçmişlerdir. Kanat'ın yaklaşım açısı 15° ile 90° arasında değişmiştir. Batık kanat'ın sediment yönlendirmesinde etkin olduğunu, kanat yapısının yaklaşım açısına, batık kanat'ın yüksekliğine ve uzunluğuna bağlı olduğunu ve sediment yönlendirme amacıyla optimum eğim açısının yaklaşık 30° olarak tespit etmişlerdir.

Abad, Rhoads, Güneralp ve García (2008), kıvrımlı bir akarsuda şev erozyonunu önlemek için kullanılan kanatların etkinliğini incelemişlerdir. Deneysel olarak ölçülen hız ve türbülans kinetik enerji ölçümleriyle sayısal model ile elde ettikleri sonuçları karşılaştırmışlardır. Kanat yerleşim açısının akım yönlendirmede çok önemli olduğu, bu açının belirlenmesinin oldukça zor olduğu belirtmişlerdir. Mevcut çalışmaların kanat sayısı,

açısı ve boyutlarının seçilmesinde sadece temel bir rehber olduğu, birbiriyle etkileşim içinde olan bu özelliklerin seçiminin kompleks olduğunu gözlemlemişlerdir. Düşük akış durumu için sayısal bir model oluşturularak, doğrulanmış bu model yardımıyla orta ve yüksek akım koşulları için tahminlerde bulunmuşlardır. Yerleştirdikleri 5 batık kanatın önünde, arasında ve sonrasında olmak üzere çeşitli 8 noktada yapılan ölçümlerle tüm kesitlerde kanatların dış şev yakınında hızı büyük ölçüde azalttığı görmüşlerdir. Mansap kanadıyla aradaki mesafe arttıkça dışa doğru akım hareketi azalırken, içe doğru hareket güçlendiğini tespit etmişlerdir. Kanatlar büyük çevrinti/sirkülasyon bölgeleri oluşturarak kıyıda yatak kayma gerilmelerini azalttığını gözlemlemişlerdir. Ancak kanat üzerinden aşan akış, kayma hızlarını önemli ölçüde artırdığını elde etmişler. Şev erozyonunu azaltmada kanatların etkili olduğu ancak, kanat açıları, yüksekliği, uzunluğu, kanatlar arası mesafenin etkisini irdeleyen daha fazla çalışmaya ihtiyaç olduğu vurgulamışlardır.

Ghorbani ve Kells (2008), batık bir kanadın silindirik bir ayaktaki yerel oyulma üzerindeki etkisini incelemişler. Bu amaçla, tümü sabit bir Froude sayısı için çeşitli kanat yükseklikleri, yönelim açıları ve akış derinlikleri değerlendirmişlerdir. Silindirik bir ayak yapısı önünde 0, 8.5°, 18.5°, 28.5° ve 90°'lik açılar verilerek en uygun batık kanat açısı oyulma derinliği açısından irdelemişlerdir. Oyulmada en yüksek azalma 8.5 °'lik bir açı için ve 20 cm'lik bir akış derinliği için elde etmişlerdir. İskeleyle bağlı ikili kanat için, sabit bir akış derinliği (15 cm), sabit bir kanat açısı (18.5°) bulmuşlardır.

Gupta, Ojha ve Sharma (2009), çalışmalarında farklı açılı batık kanatlar kullanılarak akım içerisinde sediment miktarındaki oyulma derinliğini ve en uygun açığı bulmak için araştırmışlardır. Akım özelliklerine göre, Froude sayısı 0.13 ve 0.25 için batık kanat'ın çevresinde önemli yerel oyulma miktarlarını incelemişlerdir. Çalışmalarında dikdörtgen bir kanat kullanmışlar ve 40° açılı batık kanatların momentum ve oyulma derinlikleri açısından en uygun olduğunu tespit etmişlerdir.

Bajestan ve Azizi (2012), 4 farklı batık kanat ile kanal yatağında ve batık kanat etrafındaki oyulmayı araştırmışlar. Çalışmalarında, basit bir dikdörtgen kanat ve tabana göre sırasıyla 30, 45 ve 60° eğim verilerek trapez kesitli kanatlar kullanmışlar. Deneyler ile kanatların ön kenarının kesilmesinin, kanatların etrafındaki yerel oyulmayı azalttığını göstermişlerdir.

Kanatların ön kenarındaki maksimum pah nedeniyle maksimum oyulma derinliğinde azalma meydana geldiğini gözlemlemişlerdir.

Davoodi ve Bajestan (2012) çalışmasında, batık kanatlar arasında kanat boyunun (H) katları olarak 4H, 6H, 8H ve 10H'ye eşit dört farklı boyuna mesafe, dört farklı akış koşulu altında deney yapmışlardır. Froude sayısı sırasıyla 0.45, 0.55 ve 0.60 ve 0.66 oranına sahip akımlarda çalışmışlardır. Tüm deneylerde akım debisini 0.075 olarak sabit almışlar. Çalışmanın sonuçları incelediklerinde, batık kanatların, giriş sediment miktarını %31'e kadar azaltacağını ve girişin önündeki akış modellerini değiştirebileceğini göstermişlerdir. Kanatlar arasındaki mesafe 8H'ye eşit olduğunda giriş çökeltisinin minimum olduğunu göstermişlerdir.

Moghadam, Masjedi, Larki ve Branch (2012) çalışmalarında, oyulma miktarı etkilerini azaltmak için batık kanat yüksekliği/akım derinliği etkisini araştırmışlardır. 180 derecelik bir eğrisel kanal üzerinde deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Dört farklı kanat yüksekliği/akım derinliği (H/Y) için 0.3, 0.37, 0.44 ve 0.5 olarak 12 batık kanat için çeşitli Froude sayılarında deneyler yapmışlardır. Batık kanat etrafındaki oyulma hacmini incelediklerinde, $H / Y = 0.3$ durumunda batık kanatın sediment miktarında en az oyulma hacmine sahip olduğu, ayrıca Froude sayısı arttıkça maksimum oyulma miktarının arttığını göstermişlerdir.

Beygipoor, Bajestan, Kaskuli ve Nazari (2013), batık kanatların açısız konumunun, yan kanala giren sediment hacmi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. 90 derecelik bir kanalda yan kanal girişine, kanatların farklı mesafelerinde batık kanat montaj açısının etkilerini araştırmışlardır. Çalışma neticesinde, 15° açı ile yerleştirilen kanatların maksimum verime sahip olduğunu, açının artmasıyla yan kanala giren sediment hacminin azaldığını, kanat montajı için 25° açının en yüksek verime sahip olduğunu ve açının azaltılmasının, yan kanala giren sediment hacminin arttığını göstermişlerdir.

Bajestan, Khademi ve Kozeymehnezhad (2015) köprü ayağı oyulması durumunda batık kanat uygulamalarını performansını araştırmışlardır. Batık kanatlı ve batık kanatsız yaptıkları çeşitli deney sonuçlarına göre farklı batık kanat açıları incelemişlerdir. Batık kanat yapısının oyulma miktarını azaltmada, en etkili yöntemlerden biri olduğunu bulmuşlardır. Çalışmada en uygun kanat açısının 40° olduğunu göstermişlerdir.

Gemici (2015) çalışmasında, farklı kanal genişliği ve kanal derinliği oranı, batıklık ile kanat yüksekliği oranları, kanat dizilişleri, kanat uzunluğu/kanat yüksekliği ve yaklaşım açısı kombinezonlarının yan kanal açık veya kapalı iken memba ve mansapta, akım hızı üzerindeki etkilerini farklı Froude sayısı durumlarında incelemiştir. Çalışma sonucunda, kanat üzerindeki batıklık azaldığında (veya su yüksekliği azaldığında) kanat tip veya yaklaşım açısı ne olursa olsun kanatların akım hızına etkisinin arttığı, aynı yaklaşım açıları için kanat genişliğinin kanat yüksekliğinden daha fazla akış hızlarına etki ettiği, diziliş sayısı artmasının kanatların akım hızına etkisini artırdığı ve aynı kesitli kanatlar için yüksek yaklaşım açısının akışa etkisinin daha fazla olduğunu tespit etmiştir.

Mohammadiun, Neyshabouri, Naser ve Vahabi (2016) araştırmalarında, eğri ve düz kanalların birleşim yerindeki çökelmeyi ve erozyon potansiyelini azaltmak için araştırma yapmışlardır. Elde ettikleri sayısal modellerini önceki çalışmalarla doğrulamışlardır. Ayrıca eğri ve düz kanalların birleşme yerindeki akış düzeni sayısal olarak değerlendirildi. Bunu takiben, bazı geometrik özelliklerin, kanatların sayısı ve yüksekliğinin ve montaj açısının etkilerini iyileştirilmiş akış düzenine göre değerlendirmişler. Kanatların performansı, çeşitli debi oranlarında eğri ve düz kanal birleşmesinden sonra “maksimum hızın düşürülmesi” açısından incelemiştir. Sonuçları incelediklerinde, birleşme yerinin sedimentasyonunda kapsamlı bir azalma ve erozyon potansiyelinin kısmen azaldığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca sonuçlarına göre, bu tür kanalda 0.2h – 0.3h yüksekliğinde ve 20° –30° montaj açısının 2 batık kanat kullanılması tavsiye etmişler. 40° 'den fazla bir montaj açısı ve 0.58'den daha büyük debi oranları ile kanallara batık kanatların uygulanmasının önerilmediğini tespit etmişlerdir.

Biswas ve Barbhuiya (2019) batık kanatların akış alanı üzerindeki etkisini ve oyulma morfolojisini simule etmek için parabolik aşınabilir yataklı bir kıvrımlı laboratuvar kanalında bir dizi hidrolik deney yapmışlardır. Çalışmalarında, bir nehir kıvrımında nehir yatağı erozyonunu korumada batık kanatların rolünü araştırmayı amaçlamışlardır. Hız dağılım alanı, yatak kayma gerilimi ve kinetik enerji gibi oyulma ve çökelden sorumlu parametreleri incelemişlerdir. Araştırma sonucunda, batık kanatların nehir yatağının dış kıyısı boyunca maksimum hızı yaklaşık %23 oranında azalttığını tespit etmişlerdir. Batık kanat yapılarının maksimum yatak kesme gerilimi ve türbülansı sırasıyla %32 ve %19 azalttığını ve dış kıyıdaki oyulma derinliklerinin %40'a kadar azalttığını tespit etmişlerdir.

Chooplou ve Vaghefi(2019) çalışmalarında, köprü ayağının memba tarafında, özellikle bir köprü ayağı çevresinde, batık kanatların 180° bent boyunca kayma gerilmesindeki değişiklikleri araştırmışlardır. Batık kanatların modellenmesinde köprü ayak çapının %20'si kalınlığında, köprü ayak çapının 1,5 katı uzunlukta ve batıklık oranı %75 olan Pleksiglas kanatlar kullanmışlardır. Kanatları, köprü ayağının memba tarafındaki iç kıyıda kanal genişliğinin %40 ile 60'ı kadar bir mesafede, ayak merkezinden ayak çapının 5 katına eşit bir mesafede uygulamışlardır. Üç boyutlu hız bileşenlerini ölçmek için ADV hız ölçer cihazı kullanmışlardır. Deneyleri, 1 metre genişliğinde eğrisel bir kanalda gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın sonuçları incelediklerinde, akım ilk bent uç noktasına ulaştığında, batık kanatlı durumda maksimum akış türbülansının enine yönde meydana geldiğini elde etmişlerdir. Maksimum akış türbülansının iç kıyıda iç duvara kanal genişliğinin %40'ı kadar bir mesafede; iç kıyıda kanal genişliğinin %60'ı kadar bir mesafede batık kanatların monte edilmesi durumunda ise dış duvara doğru oluştuğunu ve türbülans oranının maksimum boyuna ve dikey bileşenlerinin % 16 ve % 5.5 arttığı gözlemlenmiştir.

Zarei, Vaghefi ve Hashemi (2019) tarafından batık kanatların köprü ayağı çevresinde ve yatak topografyası değişikliklerine etkisini araştırmışlardır. Deneyler için, 180° keskin virajlı bir laboratuvar kanalında silindirik bir köprü ayağı ve çeşitli açı ve uzunluklara sahip birkaç sayıda batık kanat kullanmışlardır. Sonuçlar incelediklerinde, üç batık kanat kullanılarak, sedimentin akış boyunca daha az ilerlediğini tespit etmişlerdir. Ayrıca, köprü ayağı etrafındaki oyulma boşluğu üzerindeki çevrelenmiş dikdörtgen, dört batık kanat kullanılarak 35°'lik açığa sahip durumda oyulma miktarının daha az olduğunu gözlemlenmiştir.

Moghadam, Amini, ve Keshavarzi (2020) dikdörtgen bir kanalda ve 55 derecelik bir yan kanal girişinde batık kanat kullanarak deneyleri gerçekleştirmişler. Yan kanal giriş ağzını, keskin ve yuvarlak kenarlı iki biçimde seçmişlerdir. Sedimentasyon ve erozyon değerleri 0.2, 0.4, 0.6 ve 0.8 dört farklı akış oranı ile ana kanalda 11 ve 16.6 lt/sn debilerle çalışmışlardır. Batık kanatları, 10° ve 30° açılarda kullanmışlardır. Sonuçları incelediklerinde giriş ağzının yuvarlatılmış olarak yapılmasının erozyonda artışa ve sedimentasyonda azalmaya ve çökelmiş sediment' de azalmaya neden olduğunu göstermiştir. Batık kanatların kullanıldığında, batık kanatları kullanmadan yapılan duruma göre kayma gerilimi daha az olduğunu gözlemlenmiştir.

Karmaşık geometriler, viskozite, akım hızı, sıcaklık farkları vb. parametreler akışkanlar mekaniğinin temel denklemlerine uygulandığında çözümü zordur. Akışkanlar mekaniğinin bir kolu olan Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) içeren sayısal model ile akım davranışının etkili olduğu problemlerde, sayısal metot ve algoritmalar kullanılarak 3 boyutlu analiz edilmektedir. Akışkanlar mekaniğinde problemlerin çözümünde sayısal model kullanılmaktadır. Bunun için akış bölgesi, akışa ait temel diferansiyel denklemleri simüle eden küçük düzgün elemanlardan ve noktalardan oluşmuş ağ yapısına ayrılır, sınır şartları belirlenir ve bu küçük elemanlardan iterasyonlar ile adım adım bütün çözüme ulaşılır. sayısal model ile ilgili hidrolik ve su kaynakları mühendisliği alanında yapılmış çalışmalar aşağıda verilmiştir. Üneş ve Ağırlioğlu (2010), çalışmalarında, sıcaklık farklılığından oluşan yoğunluk akımlarını ve batma derinliğini, tabanı eğimli bir hazne boyunca, iki boyutlu matematik model kullanılarak incelemişlerdir. Üneş ve Varçin (2012) yoğunluk farklılığı sonucu haznede oluşan tabakalı akımları modelleyerek, dalma noktası ve derinliğinin belirlenmesi için matematik model kullanmışlar. Üneş, Ağırlioğlu, Demirci (2013-2014) sundukları çalışmalarında, doğrusal olmayan ve kararsız akım için süreklilik, momentum, enerji ve türbülans modeli denklemlerini kullanarak 2 boyutlu tabanı eğimli olan bir rezervuardaki yoğunluk ve dalmış akımı modellemişlerdir. Üneş ve Varçin (2015), farklı mevsimler için gerçek bir baraj rezervuar akışını simüle ederek 3 boyutlu bir hidrodinamik modelini geliştirmişler. Üneş, Demirci ve Varçin (2016) çalışmalarında, gerçek bir baraj rezervuarının bir mevsim için üç boyutlu hidrodinamik simülasyon modelini oluşturarak haznede oluşan yoğunluk akımlarını incelemişleridir. Geliştirdikleri 3 boyutlu matematiksel model ile gerçek bir baraj haznesinde mevsimlere göre oluşabilecek akım ve ısı özelliklerini modellemişlerdir. Model sonuçlarının, ölçüm sonuçlarına göre iyi sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir. Gadge, Jothiprakash, ve Bhosekar (2018) bir orifisli dolusavak yapısının üst profilinin tasarımı için bir denklem geliştirmeyi amaçlamışlardır. Penna, Marchis, Canelas, Napoli, Cardoso, ve Gaudio (2018), 2 kanalın kesişme açısının akış yapısı üzerindeki etkilerini incelemek için, 3 boyutlu Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes (RANS) denklemlerini $k-\epsilon$ türbülans modeliyle çözen sayısal bir kod kullanarak 45° ile 90° arasındaki on farklı birleşme açısı ile modellemişlerdir. Salmasi ve Samadi (2018) kademeli dolusavak üzerindeki akışı ve akışın neden olduğu enerji kaybını araştırmışlardır. Kocaer ve Yarar (2020) çalışmalarında, laboratuvarda bulunan açık bir kanal üzerinde yapılan deneyler ile ve sayısal model simülasyonu kullanarak Ogee tipi dolu savak üzerindeki akışı

incelemişlerdir. Fiziksel model ile aynı boyutlara sahip sayısal modeli ANSYS-FLUENT ile modellemişlerdir. Türbülans modellerinin doğruluğunu araştırmak için $k-\varepsilon$ ve $k-\omega$ 2 farklı türbülans modeli kullanmışlardır.

Önceki çalışmalar incelendiğinde, çalışmalarda değişen akım özellikleri, batık kanat özellikleri ve boyut etkisiyle batık kanatlar farklı davranış sergilemiştir. Yapılan çalışmalar batık kanat performansına hangi özelliğin ne ölçüde etkidiğini tam olarak açıklayamamaktadır. Ayrıca sayısal yöntem ile 3 boyutlu yapılacak modellemeler ile ve diğer hidrolik parametrelerin incelenmesine yardımcı olacaktır. Batık kanat ile ilgili ayrıntılı bir literatür taraması Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1.Batık kanat deneylerine ait veriler

	Araştırmacılar	Yapıldığı yer, Yılı	Açık Kanal Düzenegi	Batık kanat Şekli, açısı	Kanal genişliği, derinlik	Deney Amacı	Sonuçlar
1	Odgaard and Kennedy	Iowa Hidrolik araştırmalar enstitüsü, 1986	Dikdörtgen kanal	Dikdörtgen, 10°,15°	61 cm, 15cm	Dikdörtgen Batık kanatlara ait optimum açısının belirlenmesi	Optimum açı yaklaşık 15° ve 15° açılı bir kanat, derinlikte %10 değişiklik üretebileceğini, 15° 'den büyük açılarda, akış ayrımı önemli hale geldiğini ve kanat çevresinde aşırı oyulmaya neden olduğunu tespit etmişlerdir.
2	Tan ve diğerleri	2005	Dikdörtgen kanal	Dikdörtgen, 10°,15°	600 cm, 60 cm	Geniş bir kanalda, batık bir kanat etrafındaki akış ve sediment hareketinin özelliklerini araştırmak	Sediment yönlendirme amacıyla yaklaşma akışına optimum eğim açısı yaklaşık 30° bulmuşlardır.
3	Ghorbani ve Kells	2008	Dikdörtgen kanal	Dikdörtgen, 0,8.5°,18.5°,28.5° 90°	122 cm, 10-30 cm	Silindirik bir ayak yapısı önünde 0,8.5°,18.5°,28.5° 90° lik açılar verilerek en uygun batık kanat açısı oyulma derinliği açısından irdelenmişler.	Oyulmada en yüksek azalma 8.5° 'lik bir açı için ve 20 cm'lik bir akış derinliği için elde etmişler.
4	Bajestan ve Azizi	2012	Dikdörtgen kanal	Trapez, 20°	-	4 farklı batık kanat ile kanal yatağında ve kanat etrafındaki oyulmayı araştırmışlar.	Deneylerde, kanatların ön kenarının kesilmesinin, kanatların etrafındaki yerel oyulmayı azalttığını göstermişlerdir.

5	Davoodi ve Bajestan	Shahid Chamran University,2012	Trapez kanal	Dikdörtgen, 20°	12+10 cm (d)	Kanala sediment girişini azaltmak için kanatların 4H, 6H, 8H, 10H mesafedeki performansını araştırmak.	8H mesafedeki kanatların sediment girişini engellemede en uygun ve ekonomik olduğunu tespit etmişler.
6	Moghadam ve diğerleri	Hydraulic Laboratory of Islamic Azad University, Ahwaz.,2012	Dikdörtgen kanal	Dikdörtgen, 20°	-	Dört farklı kanat yüksekliği/akım derinliği (H / Y) 0.3, 0.37, 0.44 ve 0.5 olan 12 batık kanat için oyulma hacminin irdelenmesi	H / Y = 0.3 batık kanatın en az oyulma hacmine sahip olduğu Ayrıca Froude sayısı arttıkça maksimum oyulma miktarı arttığını göstermişlerdir.
7	Beygipoor, ve diğerleri	2013	Dikdörtgen kanal	Dikdörtgen, 15°,30°	-	Batık kanatların açısız konumunun, yan kanal girişine giren sediment hacmi üzerindeki etkisini araştırmışlardır.	15 ° açı maksimum verime sahip olduğu, açı arttıkça, içeri giren tortuların hacmi azaldığını, kanat montajı için 25 ° açı en yüksek verime sahip olduğunu ve açının azaltılması, girişe giren sediment hacmini arttığını tespit etmişlerdir.
8	Bajestan, ve diğerleri	2015	Dikdörtgen kanal	15,20,25,30,35,45, 50,55,60,65°	-	Köprü ayağı oyulmalarında batık kanat performansının araştırılması ve oyulma etkisini azaltmada optimum açının bulunması	40° batık kanat yerleştirme açısının köprü ayağının oyulmasında en etkili açı olduğunu bulmuşlardır.
9	Sharma, Jain ve Ahmad	Hydraulics Lab. of Civil Eng.Department, Indian Institute of Technology,2016	Dikdörtgen kanal	Dikdörtgen, 30°	100 cm, 12-13 cm	Odgaard ve arkadaşlarına ait deneysel olarak yapılan çalışmaları optimum kanat boyutlarını incelemişler.	Tek kanatlı durumda, batık kanadın 30° açıda tutularak maksimum miktarda ikincil akımlara ulaşılabilirdi görmüşlerdir. Ayrıca, kanadın yüksekliği H = akış derinliğinin 0.4 katı maksimum miktarda ikincil akımlar üretir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde batık kanatlara ait ön tasarımı, batık kanat deneyleri(deney düzeneğinin kurulması, deney sırasında kullanılan ölçüm cihazları), sayısal modelde kullanılan temel denklemler ve sayısal modele ait bilgiler verilmiştir.

3.1. Batık Kanat Ön Tasarımı

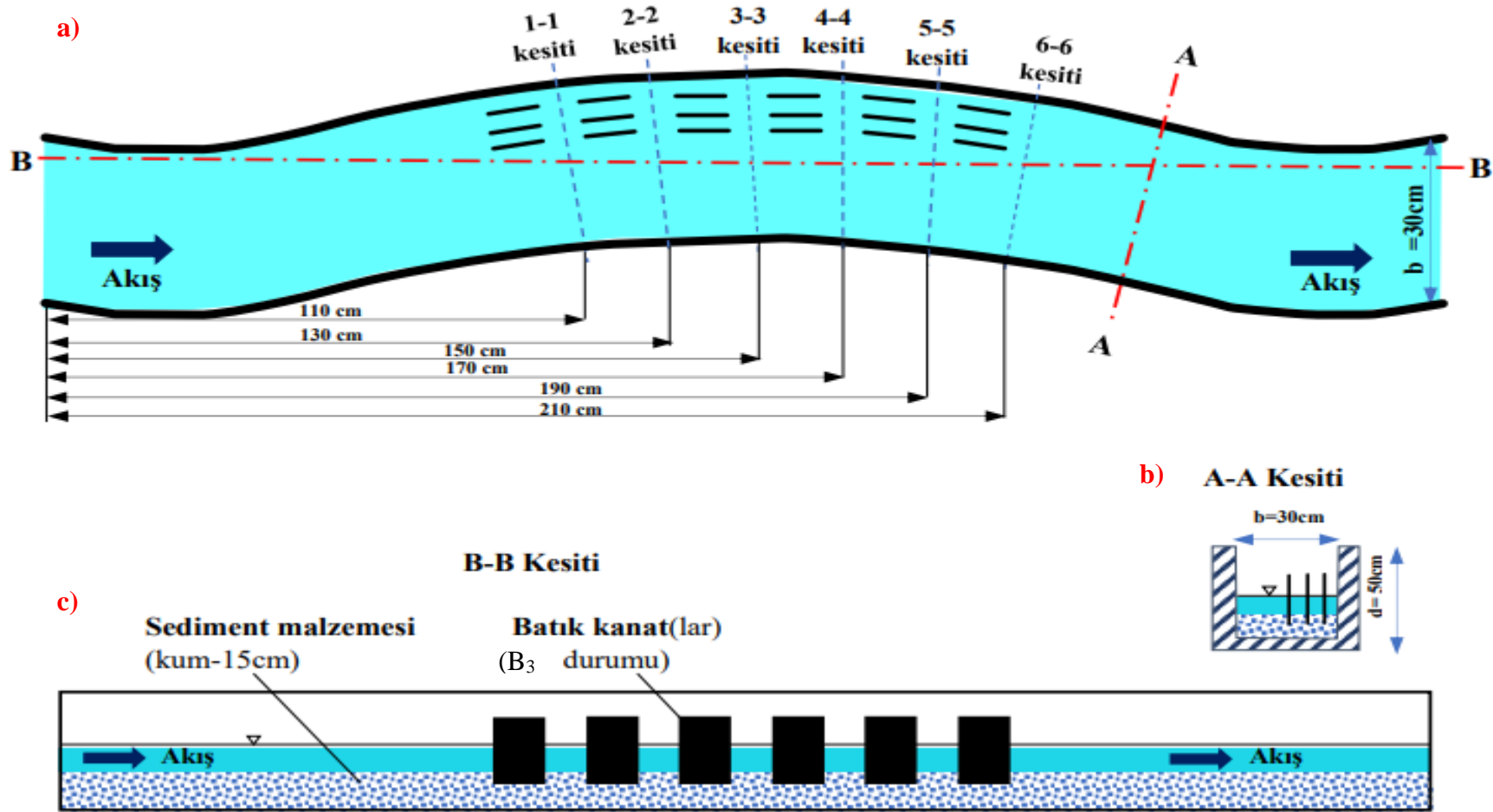
3 metrelik 50 cm genişliğindeki açık kanal düzeneği içerisinde 30 cm genişliğinde sac elemanlar yardımıyla batık kanat deneylerinin yapılacağı eğrisel deney düzeneği oluşturulmuştur. Açık kanal akımında oluşturulan batık kanat deneyi ve detayları Şekil 3.1'de verilmiştir.

Şekil 3.1'de 30 cm genişliğinde eğrisel açık kanal ve B3 Üçlü batık kanat durumuna ait deney düzeneği detayları verilmiştir. Şekil 3.5a'da deney düzeneği plan görünüşü verilmiştir. Şekil 3.5a'ya göre başlangıç noktasına, 1-1 kesiti 110 cm, ... 6-6 kesiti 210 cm mesafe' de olduğu gözlenmiştir. Şekil 3.5b'de deney düzeneği A-A kesiti, Şekil 3.5c'de ise B-B kesiti verilmiştir.

3.2. Batık Kanat Deneyleri

3.2.1. Batık Kanat Deney Düzeneğinin Kurulması

Batık kanat deneyleri, Bartın Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Hidro-mekanik Laboratuvarında kurulan açık kanal deney düzeneği kullanılarak yapılmıştır. Şekil 3.2(Gemici,2015)'de görülen düzenek ana depo, ara depo, dikdörtgen kanaldan oluşmaktadır. Kanalların aynı anda tam dolu şekilde akabilmesi için 10.8 m³ su hacmine sahip ana depo kullanılmıştır. Deneyde,15 BG gücündeki pompa kullanılarak su ana depodan 2 m³ hacmindeki ara depoya aktarılmaktadır. Kanalda düzenli akım girişi elde edebilmek için ara depoda 2 adet çakıl geçidi kullanılarak su sakinleştirilerek dikdörtgen kanala geçirilmektedir.



Şekil 3.1. B₃ batık kanat durumu için, deney düzeneği plan görünüşü (a) A-A kesit görünümü (b) ve B-B kesit görünümü kesit detayları(c)



Şekil 3.2. Açık kanal deney düzeneği

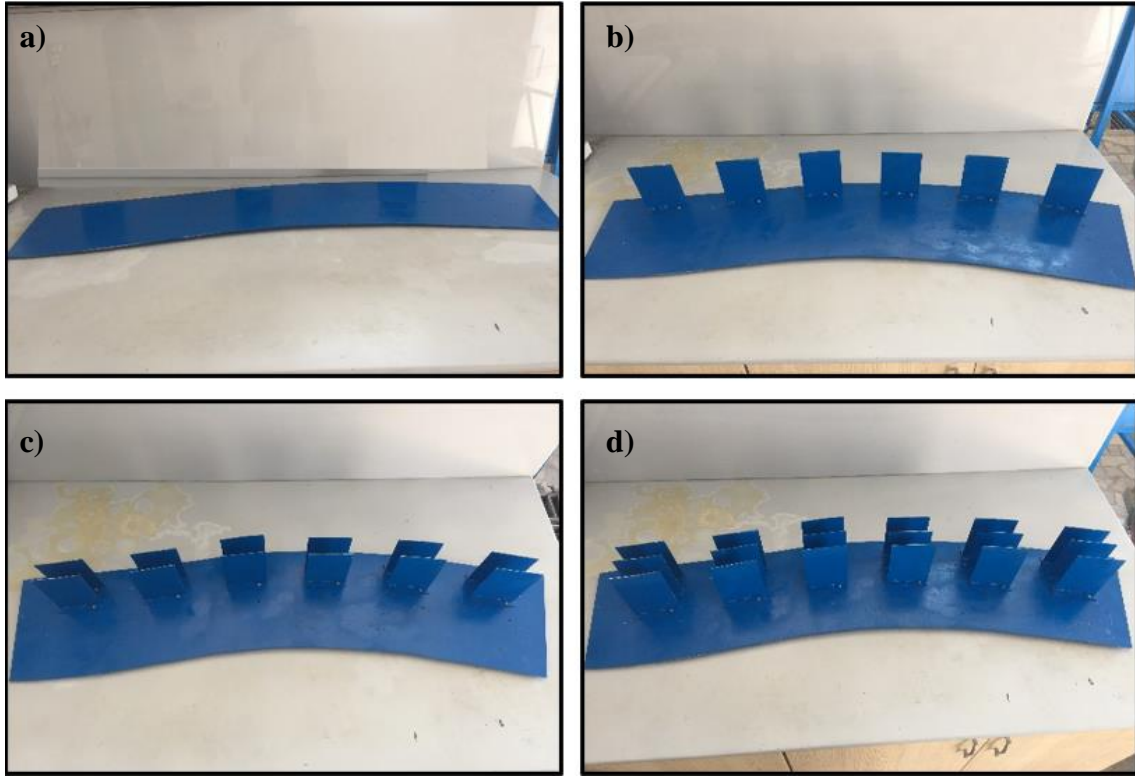
Şekil 3.3’de, batık kanat deneyleri için, 3 metre uzunluğunda ve 30 cm genişliğinde metal sac kullanılarak oluşturulan eğrisel bir kanal verilmiştir.



Şekil 3.3. Batık kanat deney düzeneğinin oluşturulması

3.2.2. Kanatların Oluşturulması ve Kullanılan Kanat Dizilimleri

Batık kanatların akım içerisinde durmasını, ankrajlanmasını sağlamak amacıyla tabana 5 mm kalınlığında sac malzeme kullanılmıştır. Sonraki aşamada, batık kanatlar taban malzemesine ankrajlanarak deneyler yapılmıştır. Şekil 3.4'de deneyleri yapılan batık kanat dizilimleri verilmiştir. Şekil 3.4a'da B0 kanatsız durum, Şekil 3.4b, Şekil 3.4c ve Şekil 3.4d'de sırası ile, B1 tek sıralı dizilimi, B2 iki sıralı dizilimi ve B3 ise üç sıralı dizilimler verilmiştir. Şekil'de B1-B2 -B3 sırasıyla, 6 batık kanatlı, 12 batık kanatlı ve 18 batık kanatlı dizilimi temsil etmektedir. Deneylere başlamadan önce, deneyin yapıldığı taban ile kanal tabanı aynı seviyede olması için tabana kum serilmiştir. Bu işlemler her deney öncesi tekrarlanmıştır.



Şekil 3.4. Deneyde kullanılacak kanatsız ve batık kanatlı dizilim durumları:

a) B0 kanatsız durum, **b)** B1 tekli batık kanat durumu **c)** B2 ikili batık kanat durumu ve **d)** B3 üçlü batık kanat durumu

3.2.3. Deneylerin Yapılışı

Deneyler 10 ve 20 lt/sn akım debisi için yapılmıştır. Kanatlar arası boyuna mesafe (akım doğrultusunda) 10 cm, enine mesafe ise 5 cm olarak seçilmiştir. Deneyler dikdörtgen kesitli

kanal boyunca yapılarak, deneylerde batık kanat yapılarının açık kanal içerisinde menderes dış kıyısındaki akım hızına ve hidrolik parametrelere etkisi gözlemlenmiştir. Yapılacak deneylere ait sayısal parametreler Çizelge 3.1’de verilmiştir. 2 farklı akım koşullarında yapılan batık kanat deneylerine ait hidrolik parametreler Çizelge 3.2’de verilmiştir. Çizelge 3.1 ve 3.2’de, Q , debi akışını; d , akım derinliğini; L/H , kanat uzunluğu/kanat yüksekliği oranını; δ_s , kanatlar arası boyuna mesafeyi; δ_n , kanatlar arası enine mesafeyi; δ_b , sol şevden ilk kanada mesafeyi; B , kanal genişliğini; A , ıslak alanı; T , ıslak çevreyi; D_h , hidrolik yarıçapı; Fr , akımın Froude sayısını ve V_{ort} , ortalama giriş akım hızını göstermektedir.

Çizelge 3.1. Deney setlerinde kullanılan parametreler

Q (lt/sn)	d (m)	L/H	δ_s (cm)	δ_n (cm)	δ_b (cm)
0.020	0.085	10/10	10	5	5
0.010	0.055				

Çizelge 3.2. Dikdörtgen kanalda akış koşulları

Q (lt/sn)	b (m)	d (m)	A (m ²)	T (m)	D_h (m)	V_{ort} (m/s)	Fr
20	0.300	0.085	0.026	0.470	0.054	0.80	0.86
10	0.300	0.055	0.017	0.410	0.042	0.590	0.92

Deneyin başlangıcında pompanın çalıştırılmasıyla ana depodan çekilen su çakıl filtrelerinden geçerek, sakinleşmiş olarak dikdörtgen kanala ulaşmaktadır. Akış şartlarının dengeye gelmesi için her deney öncesi 15 dakika beklenmiştir. Ultrasonik Debimetre (akış ölçer) ile borudan geçip kanala verilen akım debisi belirlenmiştir. İstenilen debi ayarlamaları akış ölçer ve vana yardımıyla ayarlanarak sabitlenmiştir. Akım debisi ayarlandıktan sonra, Akustik Doppler Velocimetri (ADV - Hız Ölçer) ile 6 kesitte 48 noktada akım hızı ölçümleri yapılmıştır. Tüm deneyler, B0 kanatsız, B1tekli kanat, B2 ikili kanat ve B3 üçlü kanat durumları için yapılmıştır. 10 ve 20 lt/sn debi için 4 farklı durum olmak üzere toplam 8 durum için deneyler tekrarlanmıştır. Ölçümler bitince kanal tabanı diğer deney için yeniden düzenlenmiş ve yeni deney seti oluşturulmuştur. Deney setlerinden kullanılacak batık kanat dizilişi için ayarlama yapılarak batık kanatlar açık kanala yerleştirilmiştir.

3.2.4. Batık Kanat Deneyinde Kullanılan Cihazlar

Deneyleerde giren akımı belirlemek ve düzenlemek için Ultrasonik Debimetre (akış ölçer) cihazı, akım hızlarını ölçmek için Akustik Doppler Velocimetri (ADV - Hız Ölçer) kullanılmıştır. Ölçümlerde kullanılan ultrasonik debimetre ve Acoustic Doppler Velocimetri (ADV) cihazları ve özellikleri aşağıda verilmiştir.

Ultrasonik Debimetre

Kanallara su devir-daimini sağlayan pompa çıkışına yerleştirilen vana yardımıyla debi ayarlanmakta ve pompa girişine yerleştirilen ultrasonik debimetre yardımıyla sisteme giren debi ölçülmektedir. Ultrasonik debimetre kullanılarak, açık kanal'a giren akımlar belirlenmiştir. Şekil 3.5'de deneyde debi ölçümünde kullanılan ultrasonik debimetre cihazı verilmiştir.



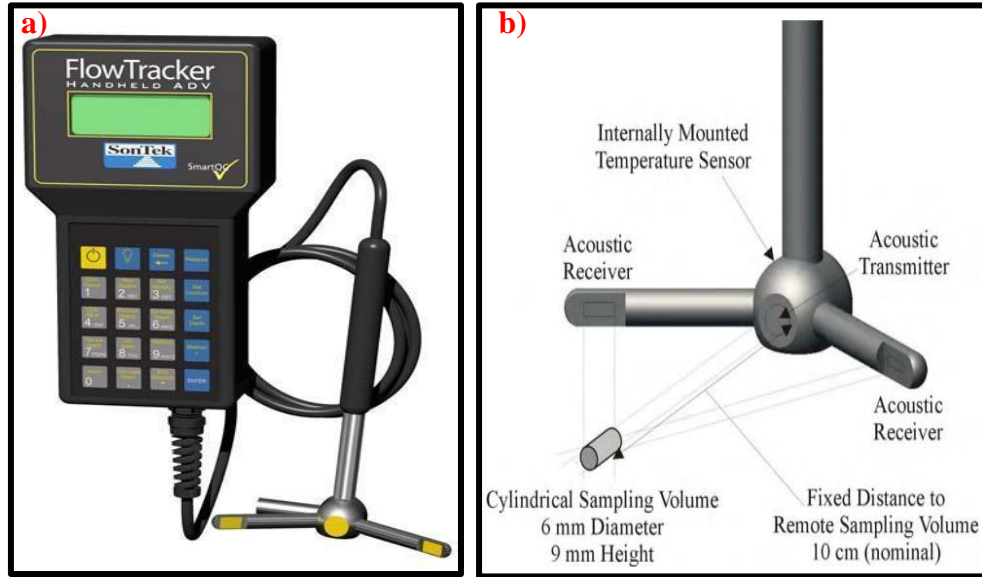
Şekil 3.5. Ultrasonik debimetre ölçüm ekranı(a), Ultrasonik ölçüm uçları (b)

Debi ölçerin çalışma prensibi boru üzerine yerleştirilen giriş transdüserine gönderilen ses dalgası boru tabanına çarparak yansımakta ve çıkış transdüseri tarafından algılanarak akım hızına çevrilmektedir. Cihaz 0.03 – 12.2 m/s aralığında hız ölçümü yapabilmektedir. Cihaz hacimsel akış, toplam akış ve akım hızını ölçerek kayıt edebilmektedir.

Akustik Doppler Velocimetri (ADV) Cihazı

Akustik Doppler Velocimetri (ADV - Hız Ölçer), 2 boyutlu ya da 3 boyutlu su hızını ölçmek için kullanılan çok yönlü, yüksek hassasiyetli bir alettir. ADV, laboratuvarlar, nehirler, haliçler ve okyanus dahil olmak üzere çok çeşitli ortamlarda su hızını ölçmek için kullanılmaktadır. ADV, Doppler kaydırma prensibini kullanarak 3 boyutlu akış hızlarının ölçülmesini sağlayan bir hız ölçüm tekniğidir (Kraus ve diğerleri, 1994). ADV, merkezi dönüştürücü olan bir verici ışını boyunca kısa akustik darbeler yayarak çalışır. Ses patlamaları su içinde yayılırken, akustik enerjinin bir kısmı, asılı çökelti ve mikro kabarcıklar gibi ortam dağıtıcıları tarafından geri saçılır (Lohrmann ve diğerleri, 1995, McLelland & Nicholas 2000).

Şekil 3.6(Sontek)'da ADV hız ölçüm cihazı verilmiştir. ADV hız ölçüm cihazının çalışma prensibi uçtaki 2 akustik alıcının sinyal göndererek akım hızını belirlemesidir. Sunulan bu çalışmada deney süresince açık kanal düzeneğinde kullanılan ADV cihazı ve batık kanatların görünümü Şekil 3.7'de verilmiştir. Derinliğin % 60'nda (0.6d) hız ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 3.6. Deneyde kullanılan ADV cihazı (a), ADV uç (probe) mekanizması (b)



Şekil 3.7. Açık kanal düzeneğinde kullanılan ADV hız ölçüm cihazı

3.3. Kullanılan Temel Denklemler

Bu bölümde sayısal model için kullanılan Temel Denklemler'e ait bilgiler verilmiştir. Ayrıca, sayısal model için kullanılan k-ε Türbülans modeli, Sayısal modelde kullanılan denklemlerden, süreklilik ve hareket denklemleri laminar ve türbülanslı akımlar için verilmiştir. Açık kanaldaki akım denklemleri çıkarılırken akışkanlar dinamiğinde kullanılan temel prensipler aşağıda sıralanmıştır.

- 1) Kütle korunumu prensibi (süreklilik denklemi),
- 2) Momentumun korunumu prensibi (hareket denklemi),

Bu çalışmada üç boyutlu, açık kanal için temel denklemler yazılacaktır. Ayrıca bu denklemler genel bir formda yazılacaktır.

3.3.1. Laminer Akım İçin Süreklilik Denklemi

Süreklilik denklemi, akışkana kütle korunumu prensibini uygulayarak elde edilir. İki boyutlu akım için sıkışabilen akışkanın, kararlı olmayan hareketinde;

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad 3.1.$$

elde edilir. Burada u,v ve w; x,y ve z eksen yönündeki akım hızıdır. Sıkışmayan akışkanlar için süreklilik denklemi yeniden yazıldığında, ρ =sabit olacağından, (3.1) denkleminin son hali,

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad 3.2.$$

elde edilir.

3.3.2. Laminer Akım İçin Hareket Denklemi

Genel olarak akım içerisindeki bir akışkan parçacığının hızı, konuma ve zamana göre değişir. Hareketi doğuran kuvvet hızın değişiminden dolayı meydana gelir. Basıncın da konumla değiştiği bilinmektedir. Akım alanı içinde hız ve basınçlar arasındaki bağıntı Euler denklemi ile tanımlanmıştır.

Viskoz olmayan akışkanlar için elde edilen hareket denklemleri Euler hareket denklemleri olarak bilinir. Viskoz akışkan için hareket denklemi ise Navier-Stokes Denklemleri olarak isimlendirilir. Bu denklemlerin türbülanslı akım için elde edilen şekline Reynolds Denklemleri denir.

x-doğrultusu için genişletilmiş Euler hareket denklemi;

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \quad 3.3.$$

y-doğrultusu için genişletilmiş Euler hareket denklemi;

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \quad 3.4.$$

z-doğrultusu için genişletilmiş Euler hareket denklemi;

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} \quad 3.5.$$

şeklinde bulunur. Burada u, v ve w hız bileşenleri, X, Y ve Z kütleli kuvvetler ve p basınçtır. Bu çalışmada kütleli kuvvet olarak sadece düşeyde yer çekimi kuvveti alınacaktır.

Euler denklemi viskoz olmayan akışkanlar için çıkarılmıştır. Fakat gerçekte karşılaştığımız akımlarda özellikle katı cidar yakınlarında, akışkanların ideal akışkan gibi davrandığının kabulü hatalı olur. Bu sebeple, gerçek akışkan akımını elde etmek için, yüzeysel kuvvetlerden, basıncın yanı sıra, sürtünme kuvvetinin etkisi de Euler hareket denkleminde eklenmelidir. Euler denklemleri, sabit viskoziteli sıkışmayan bir akım için yazıldığında, Navier-Stokes denklemleri elde edilmiş olmaktadır. Laminer akım için elde edilen Euler hareket denklemlerine (Denklem 3.3-3.5) sürtünme kuvvetinin etkisi ifadeleri (μ) eklenince denklem 3.6-3.8 şeklini almaktadır. Hareket denklemi y-doğrultusunda yazıldığında, daha önce de belirtildiği gibi kütleli kuvvet olarak, yer çekimi kuvveti etkili olacaktır. Kütleli kuvvet olarak g yerçekimi ivmesi alındığında, gerekli sadeleştirme ve değişiklikler yapıldığında, sıkışabilen akışkan ($\rho \neq \text{sabit}$) için x,y ve z doğrultularında aşağıdaki eşitlikler elde edilmektedir:

x-doğrultusu için;

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} + \rho w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad 3.6.$$

y-doğrultusu için;

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho u \frac{\partial v}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial y} + \rho w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + \rho g \quad 3.7.$$

z-doğrultusu için;

$$\rho \frac{\partial w}{\partial t} + \rho u \frac{\partial w}{\partial x} + \rho v \frac{\partial w}{\partial y} + \rho w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad 3.8.$$

Burada, u , v ve w , V hızının x , y ve z eksenleri doğrultusundaki hız bileşenleri, μ , dinamik viskozitesi, ρ , akışkanın yersel yoğunluğu, g , yer çekimi ivmesi, p , basınç terimidir.

3.3.3. Türbülanslı Akım ve Türbülanslı Akım İçin Süreklilik Denklemleri

Akışkanlar mekaniğinin diğer bir alanı olan hidrolikte ve tabiatta karşılaşılan gerçek akım hareketinin büyük bir çoğunluğu türbülanslı akım özelliğine sahiptir. Yani akışkan hareketi fazla rasgele, kararsız ve üç boyutludur. Bu tür problemlerin deneysel incelenmeleri zor ve

masraflıdır. Bu sebeple de nümerik çözüm yöntemleriyle sonuca gidilmeye çalışılmaktadır (Yüksel,1999). Türbülans ile ilgili teori ve modeller aşağıdaki gibi gruplandırılabilir.

- İstatistiksel modeller,
- Büyük-eddy benzeşimleri,
- Direkt benzeşim,

Bunlar içinde en çok uygulananı istatistiksel modellerdir. İstatistiksel modeller, Navier-Stokes denklemlerinden elde edilen Reynolds gerilmeleri ($\overline{\rho u w}$) için dinamik denklemleri kullanır. Bu dinamik denklemler Reynolds denklemleri olarak isimlendirilir. Elde edilen denklemler ilave yaklaşım yapılmasını gerektirecek yeni bilinmeyenleri içermektedir. Dolayısıyla bunların modellenmesi gerekmektedir. Bu modeller zamansal olarak ortalaması alınmış türbülanslı akım alanı için yapılmaktadır ve zamansal ortalama türbülans büyüklükleri ise ortalama hızlar, türbülans kinetik enerjisi k^2 ve Reynolds gerilmeleridir (Yüksel,1999).

Türbülanslı akım için süreklilik denklemi yazmak istediğimizde, Reynolds'un istatistiksel yaklaşımı dikkate alınır, Türbülanslı akım için hızlar;

$$u = \bar{u} + u' \quad 3.9.$$

$$v = \bar{v} + v' \quad 3.10.$$

$$w = \bar{w} + w' \quad 3.11.$$

Şeklinde gösterilir. Buradaki \bar{u} ve u' sıra ile x yönündeki hız bileşenlerinin zamansal ortalama hızı ve türbülans çalkantısını vermektedir. Aynı şekilde, \bar{v} ve v' ve \bar{w} ve w' sırası ile y ve z yönündeki hız bileşenlerinin zamansal ortalaması ve türbülans çalkantısını vermektedir. Çalkantı değerlerinin zamansal ortalaması sıfır olarak alınarak, türbülans hızlarının zamansal ortalamaları aşağıdaki gibi tanımlanabilir (Yüksel,1999).

$$\bar{u} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} u_i dt \quad 3.12.$$

$$\bar{v} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} v_i dt \quad 3.13.$$

$$\bar{w} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} w_i dt \quad 3.14.$$

Sıkışmayan akışkanlar(ρ =sabit) ve Türbülanslı akım için hız elemanları değişkenleri için çalkantı değerlerini 3.2. nolu laminer akım şartları için verilen süreklilik denkleminde yerine yazarak gerekli sadeleştirmeler yapıldığında;

Türbülanslı akım için süreklilik denklemi;

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = 0 \quad 3.15.$$

elde edilir.

3.3.4. Türbülanslı Akım İçin Hareket Denklemi

Viskoz akışkan için Laminer akım şartlarındaki temel denklemler, denklem 3.6-3.8'de elde edilmişti. Benzer şekilde, türbülanslı akım durumunda sıkışmayan akışkanlar için Navier-Stokes denklemleri yeniden yazıldığında, ρ =sabit olacağından y-doğrultusu için;

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad 3.16.$$

$\frac{\mu}{\rho} = \nu$ ve Kütleli kuvvetler(X, Y ve Z) dönüşümü yapılırsa, x-doğrultusu için;

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad 3.17.$$

y-doğrultusu için;

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad 3.18.$$

z-doğrultusu için;

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad 3.19.$$

elde edilir. Burada; X, Y ve Z, x, y ve z eksenini yöündeki kütleli kuvveti, ρ akışkanın yoğunluğu, ν akışkanın kinematik viskozitesi'dir. Viskoz akışkan için hareket denklemi ise

Navier-Stokes denklemleri olarak isimlendirilir. Bu denklemlerin türbülanslı akım için elde edilen şekline Reynolds denklemleri denir. Reynolds denklemlerinin genel hali;

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P_i}{\partial x_i} + \nu \left(\frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} \right) \quad 3.20.$$

Şeklinde yazılır ve Reynolds'un istatistiksel yaklaşımı dikkate alınarak, hareket denklemleri için türbülans etkisi yazıldığında, hız ve basınç değerleri;

$$u_i = \bar{u}_i + u'_i \quad 3.21.$$

$$P_i = \bar{P}_i + P'_i \quad 3.22.$$

elde edilir. Burada bu değişkenlerin zamansal ortalamaları, aşağıdaki gibi tanımlanabilir (Yüksel,1999).

$$\bar{u} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} u_i dt \quad 3.23.$$

$$\bar{P} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} P_i dt \quad 3.24.$$

Yukarıdaki istatistiksel yaklaşımlar, Denklem 3.20'de yerine yazılırsa;

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \overline{u'_i u'_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}_i}{\partial x_i} + \nu \left(\frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial x_j \partial x_j} \right) \quad 3.25.$$

Elde edilir. $\overline{u'_i u'_j}$ Reynolds gerilmesindeki hız ilişkisi türbülansın çalkantısından dolayı oluşur ve genelde eşitliğin sağında yer alır.

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\bar{P} + \mu_i \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \rho \overline{u'_i u'_j} \right) \quad 3.26.$$

Elde edilen 3.26. nolu denkleme Reynolds denklemleri, $\overline{\rho u'v'}$ ilave gerilmelerine de Reynolds gerilmeleri denilir (Reynolds,1901). Bu hareket denkleminin yeni formundaki ilave Reynolds gerilmelerinin modellenmesi için Boussinesq 'un türbülans viskozitesi veya diğer adıyla eddy viskozitesi kavramı kullanılmaktadır.

Türbülansın modellenmesini ileri süren ilk yaklaşım Boussinesq (1877) tarafından yapılmış olduğu ileri sürülmektedir. Bu yaklaşımda Boussinesq; “Etkili türbülans kayma gerilmesi, çalkantı hızlarının çapraz korelasyonundan meydana gelir ve ortalama hız değişimi ve türbülans viskozitesinin çarpımıyla belirlenebilir” olduğunu ifade etmektedir (Boussinesq,1877) .

$$\tau = -\rho \overline{uw} = \mu_t \frac{\partial u}{\partial y} = \rho \nu_t \frac{\partial u}{\partial y} \quad 3.27.$$

Burada, dinamik viskozite μ 'nin aksine, türbülans veya eddy viskozitesi ν_t , bir akışkan özelliği değildir ve akım içerisinde noktadan noktaya değişir (Launder ve Spalding,1972). Türbülans modeli oluşturulurken, Reynolds gerilme terimi aşağıdaki ifadeyle belirlenebilir. Burada esas sorun ν_t 'nin belirlenmesidir.

$$\rho \overline{uw} = \nu_t \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} + \frac{\partial \bar{u}_{ij}}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} k \delta_{ij} \quad 3.28.$$

yukarıdaki ifadeye, k, kinetik enerjidir ve skaler bir büyüklüktür;

$$k = \frac{1}{2} (\bar{u}_1^2 + \bar{u}_2^2 + \bar{u}_3^2) \quad 3.29.$$

$$\bar{u}_1^2 = -2\nu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_x} \quad 3.30.$$

$$\bar{u}_2^2 = -2\nu_t \frac{\partial u_j}{\partial x_j} \quad 3.31.$$

$$\bar{u}_3^2 = -2\nu_t \frac{\partial u_{ki}}{\partial x_k} \quad 3.32.$$

Normal gerilmelerin toplamı süreklilik gereği sıfırdır (Yüksel,1999). Navier-Stokes denkleminde, Reynolds gerilmelerinin yerine Boussinesq yaklaşımı ile bulunan çalkantı terimi konulduğunda;

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j \partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu_t \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} \frac{2}{3} (k \delta_{ij}) \quad 3.33.$$

Bu denklemde δ_{ij} 'ye Kronecker delta sembolü denir. Ancak, $i = j$ ise $\delta_{ij}=1$ olur. Aksi durumlarda, yani $i \neq j$ ise $\delta_{ij}=0$ alınır. Bu sebeple denklemde kronecker delta sembolü kısmı, normal gerilmelerin toplamının $2k$ 'ya eşit olduğunu gösterir ve basıncın yaptığı işi tanımlamaktadır. Bu sebeple bu terimi de basınç terimi içerisinde alarak yeni bir basınç terimi ifade edilebilir (Yüksel,1999).

$$\bar{P} = \bar{P} + 2\rho \frac{k}{3} \quad 3.34.$$

3.34 nolu denklemi 3.35 nolu denklemde yeniden yazdığımızda;

$$\rho \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j \partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu_t \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \right) \quad 3.35.$$

şeklini alır. Türbülanslı akım için, toplam kayma gerilmesi ifadesinden yola çıkarak;

$$\tau = \tau_{tür} \quad 3.36.$$

3.35 nolu ifadeyi açarsak,

$$\tau = \nu_{eff} \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial u}{\partial y} (\nu + \nu_t) \quad 3.37.$$

buradan,

$$\nu_{eff} = \nu + \nu_t \quad 3.38.$$

elde edilir. Bu elde edilen eşitlik, 3.35. nolu denklemde yazıldığında;

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu_{eff} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \quad 3.39.$$

türbülanslı akım için genel hareket denklemi elde edilmiş olur.

Türbülanslı akım için x ve y doğrultusunda hareket denklemleri açık şekilde yazıldığında,

x doğrultusu için;

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x} + \nu_{eff} \left(\left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z^2} \right) + \left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial x \partial z} \right) \right) \quad 3.40.$$

y doğrultusu için;

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial y} + \nu_{eff} \left(\left(\frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial z^2} \right) + \left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y \partial x} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial y \partial z} \right) \right) \quad 3.41.$$

z doğrultusu için;

$$\frac{\partial \bar{w}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial z} + \nu_{eff} \left(\left(\frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial z^2} \right) + \left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z \partial y} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial z \partial y} + \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial z^2} \right) \right) \quad 3.42.$$

elde edilir.

3.3.5. k-ε Türbülans modeli

Türbülanslı akım şartlarında çalışmada ortaya çıkan ana problem, ν_t , türbülans viskozitesi veya eddy viskozitesinin belirlenmesidir. Bu sebeple, Türbülans problemleri, Reynolds gerilmesindeki, ν_t , türbülans viskozitesi veya eddy viskozitesi değeri ile ilgilidir. Pratikte ν_t 'nin değeri sabit olarak alınır. Fakat bu değer seçilirken dikkatli bir şekilde seçilmelidir.

Günümüze kadar ν_t 'nin bulunması üzerine bir çok ampirik formül tanıtılmıştır. Prandtl'ın karışım boyu modeli de bu kategoridedir (Launder ve Spalding, 1972) (Stefan ve Farrell, 1986).

Sabit ν_t değeri ile yapılan modellerin çoğu olumlu sonuçlar vermiştir. Eğer çalışma yaptığınız hesap ağınız düzenliyse, diğer bir deyişle akım alanında çevrinti veya dalma akımları gibi olaylar geliyorsa, ν_t 'yi belirlemek için basit ampirik formüller genelde yetersiz olmaktadır. Bu sebeple türbülans viskozitesini belirlemek için daha karmaşık modeller gerekmektedir (Stefan ve Farrell, 1986).

Lauder ve Spalding (1972), Reynolds gerilme benzerliğinden yola çıkarak bir çok yeni model tasarlamışlardır. Özellikle bunların için de en çok kullanılan metotlardan biri, k-ε türbülans modelidir. Bu model açık kanal akımı problemlerinde iyi sonuçlar vermektedir.

Açık kanalda çevrinti akımı olduğundan, yukarda belirtilen sebepler dolayısı ile bu çalışmada türbülans modeli olarak, k-ε modeli kullanılacaktır. Modelde eddy viskozitesi veya türbülans viskozitesi, ν_t , her bir birim kütledeki türbülans enerji kaybı, ϵ ve k her bir birim kütledeki türbülans kinetik enerjisinin değerinden, aşağıdaki eşitlikle her bir kontrol hacmi için hesaplanmaktadır.

$$\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad 3.43.$$

k ve ϵ değerlerini veren diferansiyel denklemler, akım alanında her bir kontrol hacim noktasında, genel diferansiyel denklem tipine uymaktadır. Bu denklemler, genel tipteki diferansiyel denklemdeki gibi zamansal, konvektif, difüzyon ve kaynak terim içermektedir. k ve ϵ değerleri, aşağıda verilen diferansiyel denklemlerin nümerik çözümleri sonucunda elde edilebilir.

k-ε modelini oluşturan denklemlerin, genel tipteki diferansiyel denkleme benzeyen özet denklemleri aşağıda verilmektedir. Bu denklemlerin çıkarımı ile ilgili sorular, (Lauder ve Spalding, 1972), (Stefan ve Farrell, 1986), (Yüksel, 1999) bu verilen kaynaklardan bulunabilir.

k-ε modelinin temelinde, ν_t , türbülans veya eddy viskozitesinin değerinin belirlenmesi olduğu belirtilmişti. Bu nedenle k-ε modelinin temelinde 3.43 nolu denklem'deki k ve ϵ değerlerini belirleyerek ν_t 'nin hesaplanması istenmektedir. k ve ϵ değerleri aşağıdaki denklemlerin sayısal çözümleri ile elde edilir.

k, her bir birim kütledeki türbülans kinetik enerjisini veren diferansiyel denklem,

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P + G - \epsilon \quad 3.44.$$

elde edilir.

ε , her bir birim kütledeki türbülans kinetik enerjisi kaybını veren diferansiyel denklem,

$$\rho \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} P - C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k} + C_{1\varepsilon} C_3 \frac{\varepsilon}{k} G \quad 3.45.$$

elde edilir. Burada ,P , türbülans kinetik enerji sonucunda oluşan üretilimdir ve;

$$P = \nu_t \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \quad 3.46.$$

belirlenir. Diğer yeni bir terim, G, kaynak terimidir ve,

$$G = g_i \beta \frac{\nu_t}{\sigma_t} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x_i} \quad 3.47.$$

elde edilir. k- ε modeli altı tane yeni katsayı içermektedir. Bu katsayıların değerleri Launder ve Spalding (1972) tarafından standart k- ε modeli için, $C_\mu = 0.09$, $C_{1\varepsilon} = 1.44$, $C_{2\varepsilon} = 1.92$, $\sigma_k = 1.00$, $\sigma_\varepsilon = 1.3$, and $\sigma_t = 0.9$ alınmaktadır. Fakat FLUENT paket programı, C_3 için sabit bir değer almayıp, $C_3 = \tanh|v/u|$ denklemi ile hesaplamaktadır. Bu konuda daha fazla detay ANSYS-FLUENT Teori kılavuzu(2015)'den alınabilir.

3.4. Sayısal Model'e ait Çözümleme Yöntemleri ve Sınır Şartları

Sunulan bölümde, sayısal modelde kullanılan denklemler verilmiştir. Ayrıca, su-hava ara yüzeyini hesaplamak için kullanılan Volume of Fluid (VOF) yöntemi, Coupled sayısal çözücü ve modelde kullanılan sınır şartları ayrıntılı olarak verilmiştir.

3.4.1. Sayısal Modelde Kullanılan Denklemler

Türbülanslı akım için sayısal modelde kullanılan denklemler genel hali aşağıda verilmiştir:

Süreklilik denklemi;

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = 0 \quad 3.48.$$

Hareket denklemleri,

x doğrultusu için;

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x} + \nu_{eff} \left(\left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z^2} \right) + \left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial x \partial z} \right) \right) \quad 3.49.$$

y doğrultusu için;

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial y} + \nu_{eff} \left(\left(\frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial z^2} \right) + \left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y \partial x} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial y \partial z} \right) \right) \quad 3.50.$$

z doğrultusu için;

$$\frac{\partial \bar{w}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial z} + \nu_{eff} \left(\left(\frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial z^2} \right) + \left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z \partial y} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial z \partial y} + \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial z^2} \right) \right) \quad 3.51.$$

k-ε Türbülans modeli için denklemler;

$$v_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad 3.52.$$

k, türbülans kinetik enerjisini veren diferansiyel denklem,

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(v + \frac{v_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P + G - \varepsilon \quad 3.53.$$

ε, türbülans kinetik enerjisi kaybını veren diferansiyel denklem,

$$\rho \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(v + \frac{v_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} P - C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k} + C_{1\varepsilon} C_3 \frac{\varepsilon}{k} G \quad 3.54.$$

P, türbülans kinetik enerji ile oluşan üretim;

$$P = v_t \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \quad 3.55.$$

G, kaynak terim,

$$G = g_i \beta \frac{v_t}{\sigma_t} \frac{\partial \bar{V}}{\partial x_i} \quad 3.56.$$

3.4.2. Volume Of Fluid (VOF) yöntemi

Bu çalışmada, su-hava ara-yüzeyini hesaplamak için VOF yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, 2 fazlı su-hava akışı simülasyonu (Kim, Nanjundan, Lee(2021)) ve akışın serbest yüzeyini hesaplamak için (Simsek, Akoz, Soydan (2016)) kullanılmıştır. VOF yöntemi, temel olarak hesaplama ağındaki eleman hacimlerinin boş, kısmen dolu veya tamamen su ile dolu olup olmadığını belirler. Kafes elemanlarının hacimsel doluluk oranını temsil eden kafes elemanı $F=1$ için tamamen dolu, $F=0$ için boş (hava ile dolu) ve $0 < F < 1$ için kısmen su ile dolu olarak kabul edilir (Hirt ve Nichols(1981)). Bu yaklaşımda, hava ve su arasındaki izleme arabirimi, suyun hacim fraksiyonu için süreklilik denkleminin çözümü ile gerçekleştirilir:

$$\frac{\partial \alpha_w}{\partial t} + \frac{\partial \alpha_w u_i}{\partial x_i} = 0 \quad 3.57.$$

Burada, α_w suya ait hacim fraksiyonunu ifade eder. Her bir hücrede, hava ve suyun hacim oranının toplamı 1'dir. Havanın hacim fraksiyonu α_a olarak verilebilir.

$$\alpha_w + \alpha_a = 1; \quad 0 \leq \alpha_w \leq 1 \quad 3.58.$$

3.4.3. Sınır Şartları

Akım modelinde sınır koşulları, kararsız ve serbest yüzeyli akım koşullarında olduğundan, duvarlarda, kanal girişlerinde, çıkışlarında ve serbest akım yüzeylerinde farklı seçilmelidir. Serbest yüzeylerde, batık kanat yüzeylerinde, kanal duvarlarında ve tabanındaki hızlar, Launder ve Spalding'in (1972) standart duvar fonksiyonu kullanılarak elde edilmiştir. Bu duvar fonksiyonu, duvara yakın bir logaritmik hız profilini kabul eder ve Denklem 3.59'deki gibi belirlenir:

$$\frac{u_p}{u_*} = \frac{1}{K} \ln \left(E \frac{u_* y_p}{\nu} \right) \quad 3.59.$$

Burada, u_p , p noktasındaki ortalama akım hızını; y_p , p noktasından duvara olan mesafesini;

u_* , tabandaki kayma hızını; K , von Karman sabitini (0.418); E , sabit ve 9.79 değerini ifade eder. Model başlangıcında, akışın x-yönündeki yatay hız bileşenine u üniform hız dağılımı olarak seçilmiştir. Ayrıca, y- ve z- yönündeki dikey hız bileşenleri v ve w sıfır olarak modelde alınmıştır.

Duvar y^+ sayısı, ağın belirli bir akışın nasıl olduğunu belirtmek için, sayısal modelde sıklıkla kullanılan yerel Reynolds sayısına benzer boyutsuz bir mesafedir. Duvara bitişik hücrelerdeki akışın laminer yada yoksa türbülanslı olduğunu belirlemektedir(Salim, Ariff ve Cheah(2010)).

$$y^+ = \frac{u_* y_p}{\nu} \quad 3.60.$$

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} \quad 3.61.$$

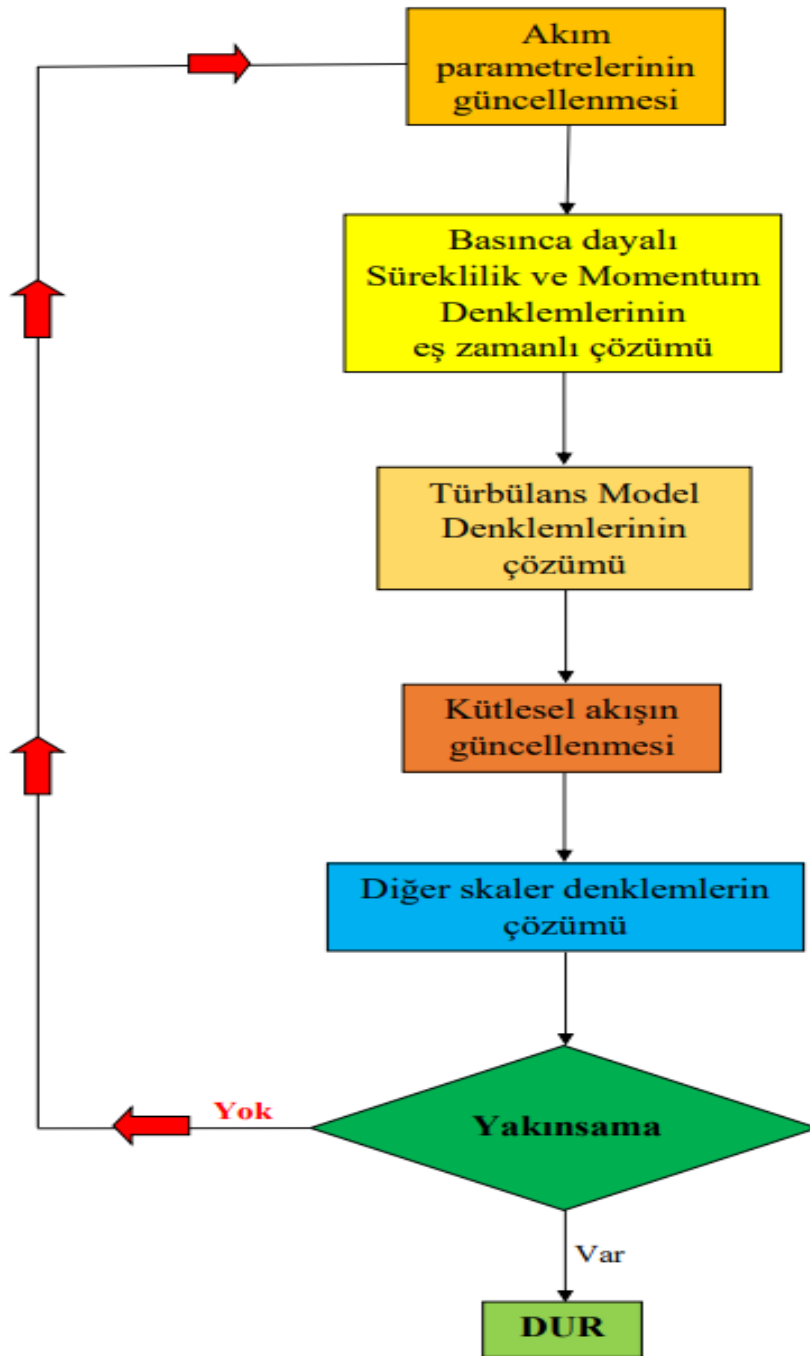
u_* , tabandaki kayma hızını; y_p , p noktasından duvara olan mesafesini; ν , kinematik viskoziteyi; τ_w , duvar kayma gerilimini ve ρ , duvardaki sıvı yoğunluğunu temsil etmektedir. Alt sınıra yakın y^+ değerleri ($y^+ \approx 30$) duvar fonksiyonları için istenilmektedir, $y^+ \approx 1$ değerleri ise duvara yakın modelleme için daha iyi sonuç vermektedir (Gerasimov, (2006)).

3.4.4. Sayısal Çözücü (Solver)

Hız ve basınç alanlarının iç bağımlı olmasından dolayı, hız alanının hesabı en zor problemlerden biridir. Eğer basınç alanı biliniyorsa, bu sorunun çok önemi olmamaktadır. Bu durumda denklemdaki basınç terimleri, her bir kontrol hacmi için kaynak terim olarak ele alınır ve iterativ yöntemle çözüme gidilir. Eğer basınç alanı bilinmiyorsa, basınç ve hız alanı etkileşiminin dikkate alınması gerektiğinden, bazı ilave yöntemler geliştirilmelidir. Bu çalışmada kullanılan yöntem, Coupled yaklaşımıdır.

Basınca dayalı çözüm yöntemleri, akış problemini ayrılmış veya Coupled birleşik bir şekilde çözülmesini sağlamaktadır. Coupled yaklaşımın kullanılması, birleştirilmiş veya ayrılmış yaklaşıma göre bazı avantajlar sunmaktadır. Coupled yaklaşım şema'sı, ayrılmış çözüm şema'larına kıyasla üstün performansla kararlı durum akışları için sağlam ve verimli tek fazlı bir uygulama elde etmektedir. Basınca dayalı birleştirilmiş algoritma, SIMPLE tipi basınç-hız bağlantısına sahip ve ayrılmış algoritmaya bir alternatif sunmaktadır. Geçiş bölgesi akışlar için, ağ kalitesi zayıf olduğunda veya büyük zaman adımları kullanıldığında, Coupled

birleştirilmiş algoritmanın kullanılması gerekmektedir. Basınca dayalı ayrılmış algoritma, momentum denklemini ve basınç düzeltme denklemlerini ayrı ayrı çözmektedir. Bu yarı örtülü çözüm yöntemi, yavaş yakınsamaya neden olmaktadır. Coupled birleştirilmiş algoritma, momentum ve basınca dayalı süreklilik denklemlerini birlikte çözmektedir(Şekil 3.8.).



Şekil 3.8. Basınca dayalı çözüm yöntemleri işlem akışı

Kapalı (implicit) şema, momentum denklemlerindeki basınç gradyan ve basınç dağılımı terimlerini dahil olmak üzere kütle akışının sayısallaştırılması yoluyla elde edilmektedir(ANSYS-FLUENT Teori kılavuzu, 2015). Açık kanalda hız alanları sirkülasyon akışı gibi karmaşık akışlara sahip olduğundan, türbülanslı akış ve ikincil akış sorunları ortaya çıkmaktadır. Bu sorunun sebebi, açık kanal akışları doğrusal değildir ve hız-basınç alanı birbirine bağlıdır. Bu problemler “Coupled” yaklaşımı kullanılarak çözülmüştür.

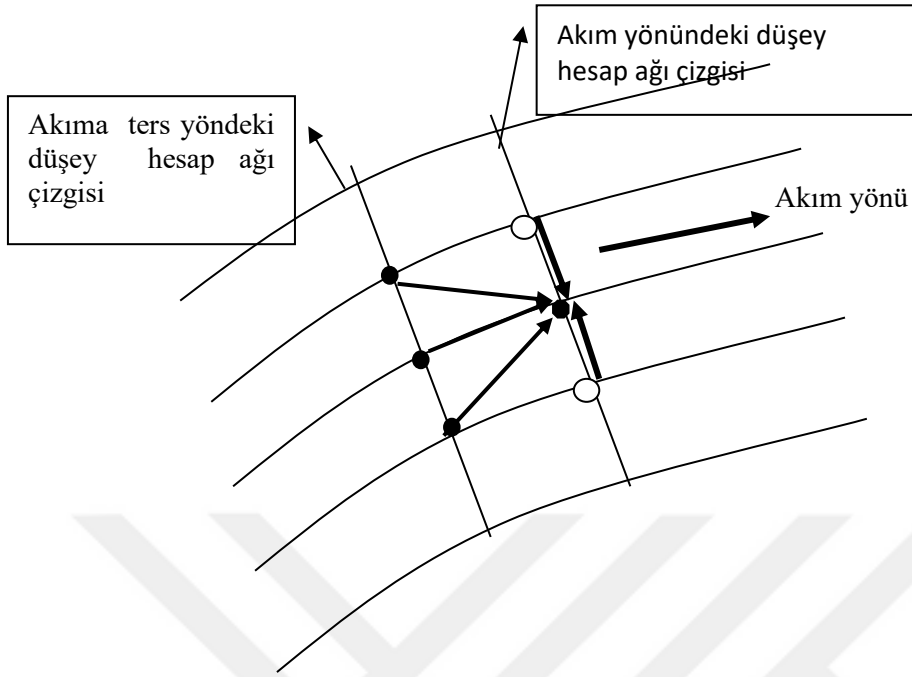
Coupled yaklaşımı, süreklilik ve momentum’a ilişkin temel denklemleri aynı anda, birbirine bağlı çözmektedir (ANSYS-FLUENT Teori kılavuzu,2015). FLUENT, "Birleştirilmiş" basınç-hız bağlantı algoritmalarını seçme seçeneği sunar.

Belirli zaman aralıklarında çözüm aranan problemler için standart sonlu farklar yöntemlerinden herhangi birisi kullanılabilir. Özellikle en yaygın olarak kullanılan yöntemler, açık (explicit) ve kapalı (implicit) şemadır. Bu çalışmada sonlu farklar şemalarından, kapalı (implicit) tip çözüm şeması kullanılacaktır.

Kapalı Şema

Bu tip şema Şekil.3.9(Üneş,2004)’da verildiği gibi altı komşu hesap ağı nokta grubu için geçerlidir. Sonlu farklarda uygulanması için akım yönündeki düşey çizgide belirlenmesi istenen bir ağ noktası ve iki komşu nokta, akıma ters yönde hesap ağı düşey çizgisinde komşu üç nokta yardımıyla, bilinmeyen nokta belirlenir.

Kapalı tip şemanın avantajı, geniş zaman aralığı için doğru ve gerçekçi çözümler verebilmesidir. Bu sebeple, bu tip çalışmalar için uygun bir şemadır. Bu çalışmada, açık kanal akımların hareketi kanal boyunca düşünülmüştür. Bundan dolayı hesap zaman aralığının büyük alınması gerekir. Hesap zaman aralığının büyük tutulması zorunluluğu da, kapalı tip şema kullanılmasını gerektirmektedir.



Şekil 3.9. Kapalı şema

Akışın kararsız olması ve analiz süresinin çok uzun olması nedeniyle modelde kapalı (implicit) şema kullanılmıştır. Başlangıç durumu olarak, giriş kanalı önce hava ve su ile doldurulur. Daha sonra belirli bir yükseklikteki su, giriş kanalından memba ucuna kadar belirli bir oranda serbest akışa bırakılmıştır. Kanal akışı, aşağı akış sınırına ulaşana kadar devam eder. Hesaplama yaklaşık 600 saniye devam etmiştir, bu noktada su uç seviyesi mansap sınırını çoktan geçmiştir ve akış alanındaki herhangi bir değişiklik önemsiz kabul edilmiştir. İstenen yakınsama çözümüne sahip olmak için ön denemelerden sonra 0.1 saniyelik bir zaman adımı seçildi. Sayısal modele ait detaylar Çizelge 3.3'de sunulmaktadır.

Çizelge 3.3. Sayısal modele ait detaylar

Çözücü Ayarları	Çözücü	Basınç-Hız
	Alan-zaman	3D, kararsız
Model	Çok fazlı Model	VOF
	Viskoz Model	$k-\varepsilon$
Fazlar	1.faz	hava
	2.faz	su
Nümerikleştirme	Basınç	Presto
	Momentum	Second order upwind
Basınç-hız bağlantısı	Yöntem	Coupled
Yakınsama Kriteri	Residuals	0.001 (Süreklilik)
		0.01 (Momentum)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu bölümde Batık kanat deneyleri için yapılan 3 boyutlu akım hızının sayısal modelinin sonuçlarının deneysel sonuçlarla doğrulanması ve sayısal model sonuçlarının ayrıntılı irdelenmesi bahsedilmiştir. Deneyde ölçüm yapılan 48 farklı noktada akım hızı sonuçları, deneysel ve sayısal model olarak irdelenmiştir. Ayrıca, sayısal model sonuçlarına göre, batık kanat yapılarının, B0 kanatsız ölçümlere göre etkisi ve derinlik boyunca akım hızlarına etkisi araştırılmıştır.

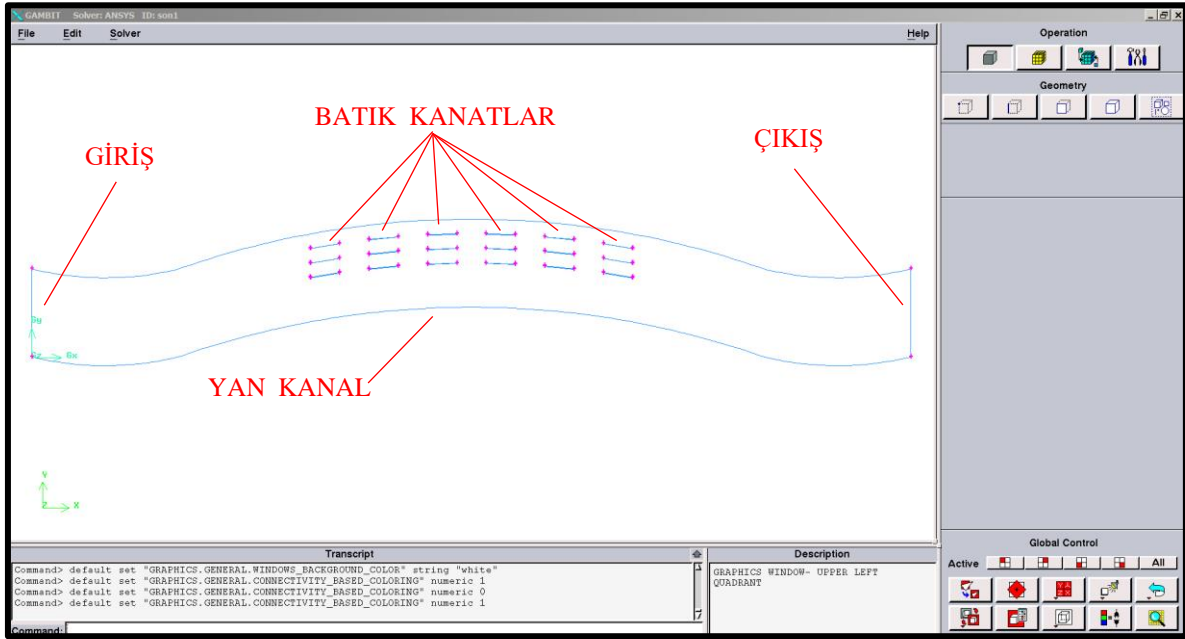
4.1. Batık Kanat Sayısal Modelinde Kullanılan Programlar

İlk aşamada, batık kanat deney model ve tasarımları AUTOCAD programında hazırlanmıştır. Modelin uygulanma aşamasında, GAMBİT programı ile noktasal ve 3 boyutlu olarak çizilmiş ve deneye ait sınır koşulları tanımlanmıştır. Tasarımdan sonra ANSYS-FLUENT programı ile sayısal model ve çözüm analizi yapılmıştır. Seçilen bu program, kurulan matematik modelin tüm kabullerini, akışkan dinamiğinin çözümünü ve modellenmesini içermektedir. Belirlenen sınır şartları doğrultusunda, kararsız akım için süreklilik denklemi ve hareket denklemleri modelde kullanılmıştır. Bu denklemlere Coupled yaklaşımı uygulanmış ve türbülans için $k-\epsilon$ türbülans denklemleri kullanılmıştır. Belirtilen tüm kabuller, başlangıç ve sınır şartları ANSYS-FLUENT programında modellenmiştir.

4.2. Batık Kanat Deneylerinin Modellenmesi ve Analiz Aşamaları

4.2.1. Batık Kanat Deneylerinin 3 Boyutlu Olarak Tasarlanması

Daha önce çizimleri yapılan batık kanat deney düzeneğine ait, 3 boyutlu olarak GAMBİT programıyla mesh oluşturulmuştur. Mesh işleminden sonra malzeme özellikleri tanımlanmıştır. Sınır koşulları tanımlanırken suyun akım alanı, girişi, çıkış yaptığı yüzeyler modelde belirlenmiştir. Sonrasında, sıvı-akışkan türü bilgileri tanımlanmış olup GAMBİT’de farklı batık kanat modeli için bu işlemler tekrarlanmıştır. Şekil 4.1’de GAMBİT programı ile elde edilen B3 üçlü batık kanat model tasarımı verilmiştir.



Şekil 4.1. GAMBIT programı kullanılarak B3 üçlü Batık Kanat tasarımı

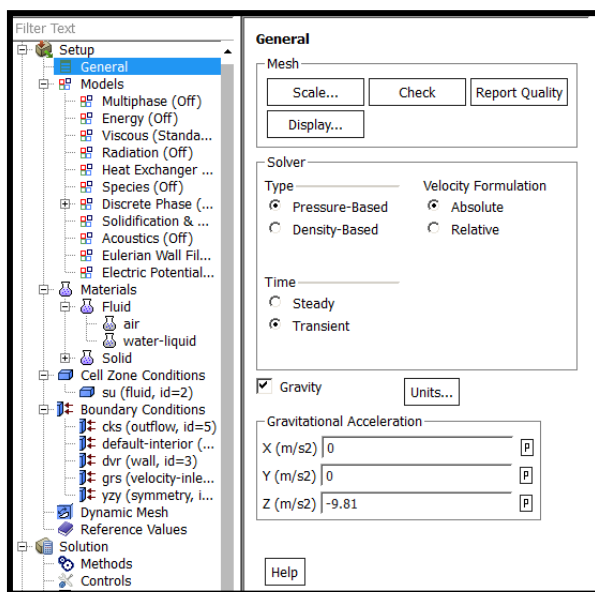
4.2.2. Batık Kanat Deneylerinin Sayısal Modeline Ait Analiz Aşamaları

ANSYS-FLUENT’de sayısal model oluşturulmasında uygulanan adımlar aşağıda verilmiştir:

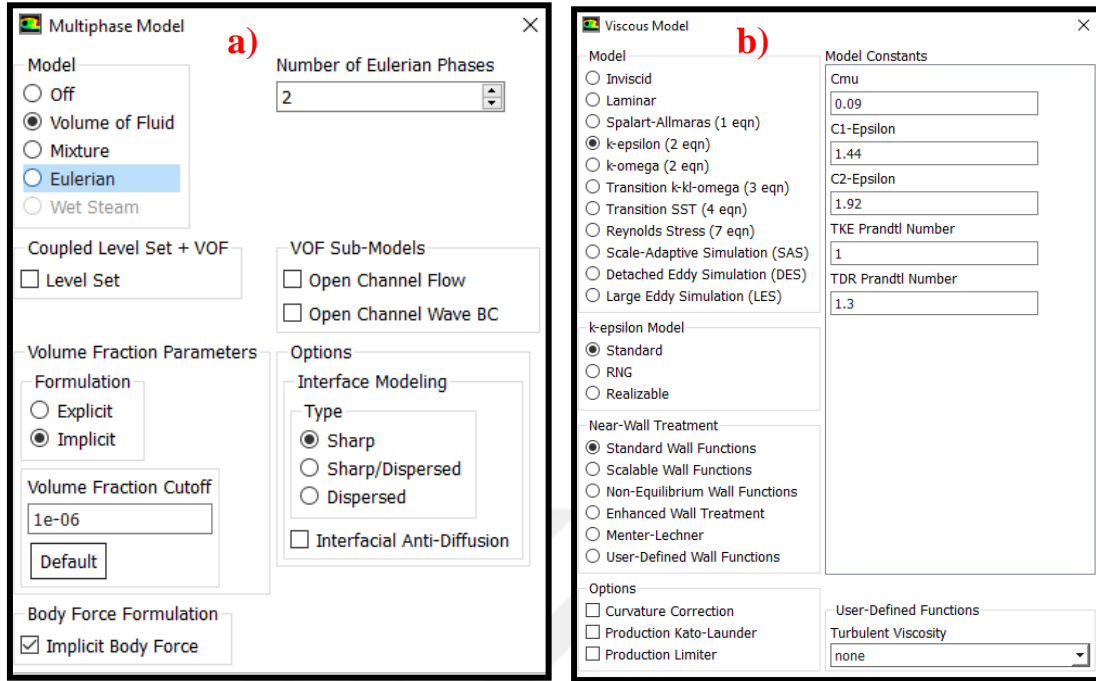
- Her bir model simülasyonu için GAMBIT çizim programında oluşturulan şekil ve hesap ağının (mesh) sayısal analizi için FLUENT’e aktarılması,
- Basınca-dayalı, kararsız akım ve yerçekimi ivmesinin tanımlanması(Şekil 4.2),
- 2 fazlı hava su karışımı için VOF yöntemi ve modeli oluşturan temel denklemler, süreklilik, hareket denklemleri ve üç boyutlu kararsız akım için hesap ağı üzerinde, sonlu farklar metotlarından kapalı şema seçilmesi(Şekil 4.3a),
- Standart k-ε ve standart duvar fonksiyonların seçilmesi(türbülanslı akım şartlarında oluştuğundan, türbülanslı akım şartlarında akımda oluşan türbülans viskozitesinin belirlenmesi için k-ε viskozite modeli seçilmiştir)(Şekil 4.3b),
- Su ve hava fazlarının veri tabanından seçilmesi ve tanımlanması(1. Faz su, 2. Faz hava olarak belirlenmiştir)(Şekil 4.4a-d),
- Batık kanat deney düzeneği sınır şartlarının tanımlanması(inlet, wall, outflow...),

- Başlangıç şartlarının (akım giriş hızı vb.) deneye göre sayısal olarak tanımlanması (iterasyon öncesinde, haznedeki akım başlangıç şartları programa girilmiştir.)(Şekil 4.5a,b),
- Su fazı atanacak bölgenin, koordinatlarının belirlenmesi(Şekil 4.6a,b),
- Hız alanının ve hız – basınç etkileşiminin çözümü için Coupled iterasyon yöntemi seçilmiştir.
- Çözümlemeye ait zaman adımlarının belirlenmesi,
- Çözüm animasyonları için yeni Contour oluşturulması ve su ve hava fazının analiz öncesi incelenmesi(Şekil 4.7a-d),
- Son analiz aşamasında, her bir adım için geçen zaman, toplam adım sayısı, maksimum iterasyon sayısı/zaman adımı gibi zamansal çözümlerlerin girilmesi,
- İterasyon uygulaması için, zaman adım aralığı, adım sayısı ve maksimum iterasyon sayısı belirlenerek, yakınsak sonuç elde edilinceye kadar iterasyona devam edilmesi.

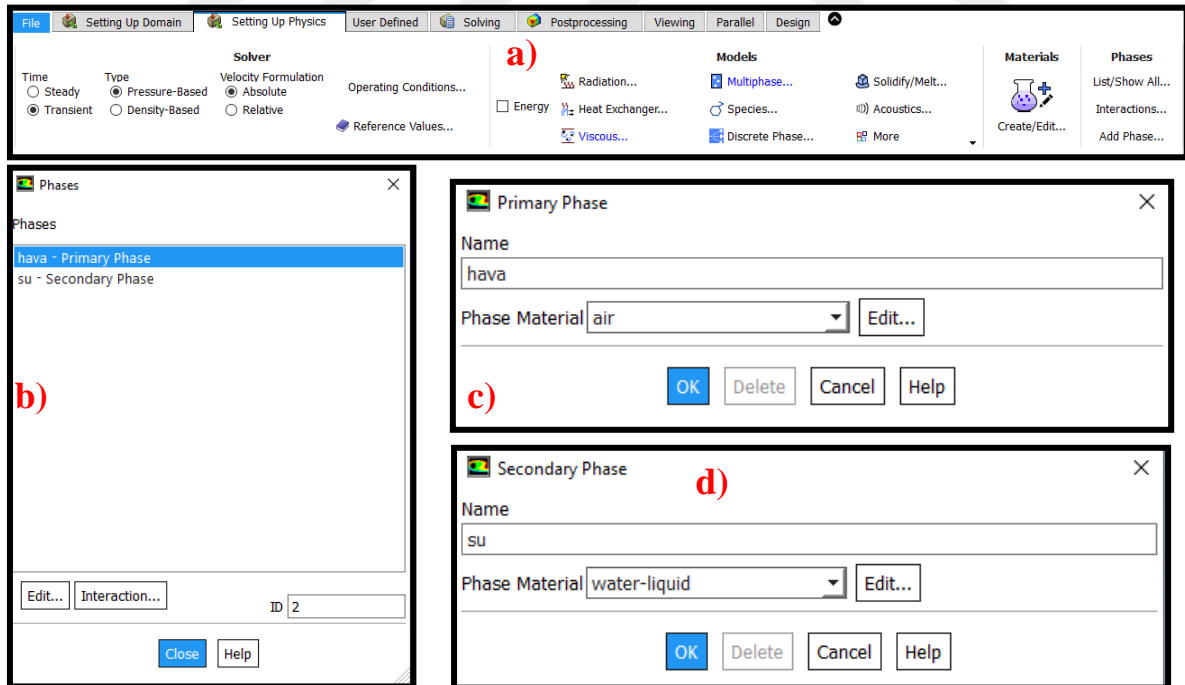
Bu çalışmada VOF yöntemi akışkanın modellenmesinde kullanılmıştır. Batık kanat deneylerinin yapıldığı kanalda bütün yüzeylerinde başlangıç ve sınır şartları, yüzeyi oluşturan maddenin özellikleri, kanala gelen suya ait başlangıç hızları tek tek model şartlarına uyumlu olarak tanımlanmalıdır. Başlangıçta deney modelinde, akım kanalı su ve hava ile dolu kabul edilmiştir.



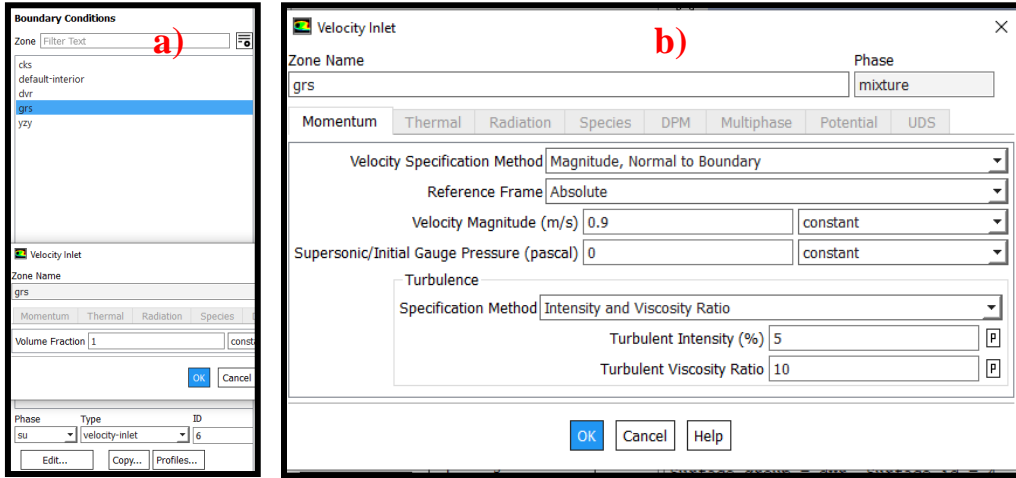
Şekil 4.2. Model için uygun olan çözüm metotlarının seçilmesi



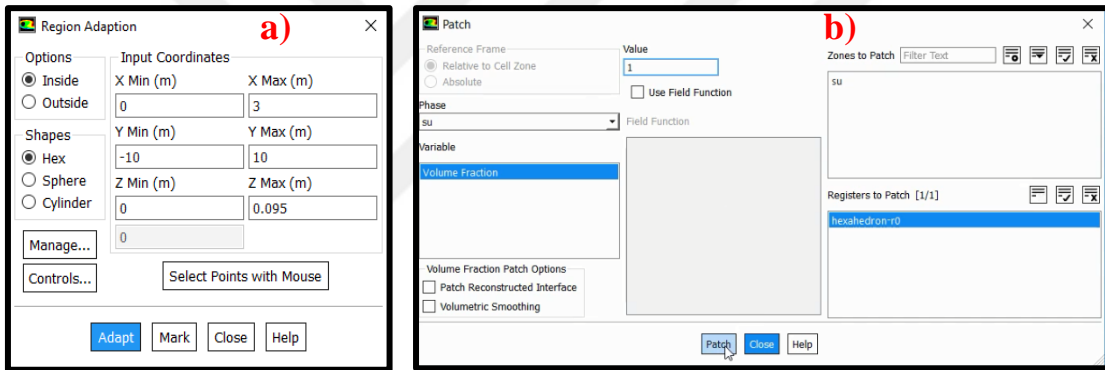
Şekil 4.3. Model fazlarına ait çözüm detayları (a), k-ε Türbülans modelinin programa yüklenmesi işlemi (b)



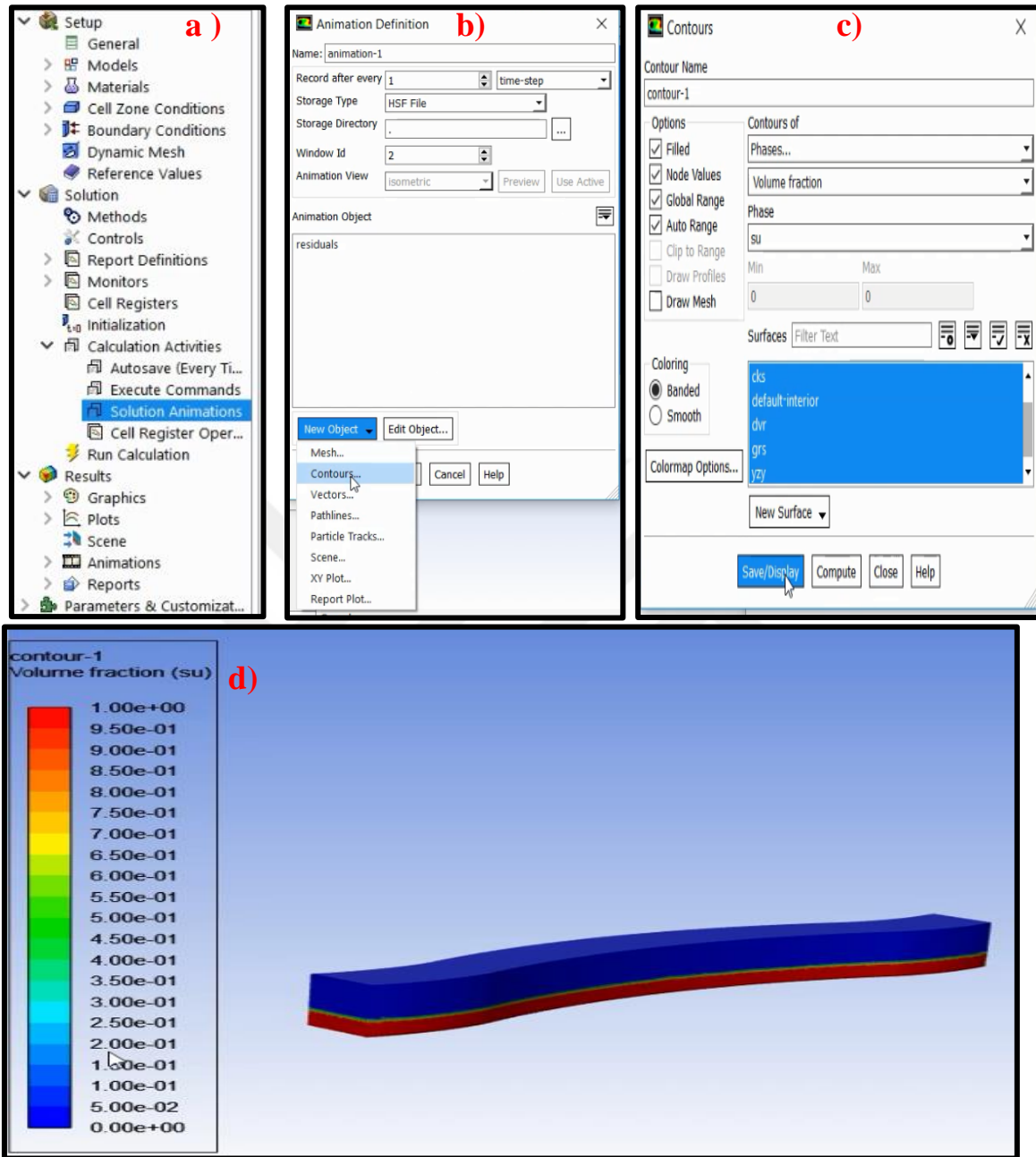
Şekil 4.4. Fluent -Setting up physics menüsü(a), Fazlar menüsünden hava ve su fazı ayarlanması, (b),hava ve su fazlarının oluşturulması(c,d)



Şekil 4.5. Başlangıç ve sınır şartları için kanal giriş şartlarının kontrolü(a) ve akım hızının girilmesi(b)



Şekil 4.6. Su fazı atanacak bölgenin koordinatlarının(a) ve su fazının belirlenen bölgeye atanması(b)

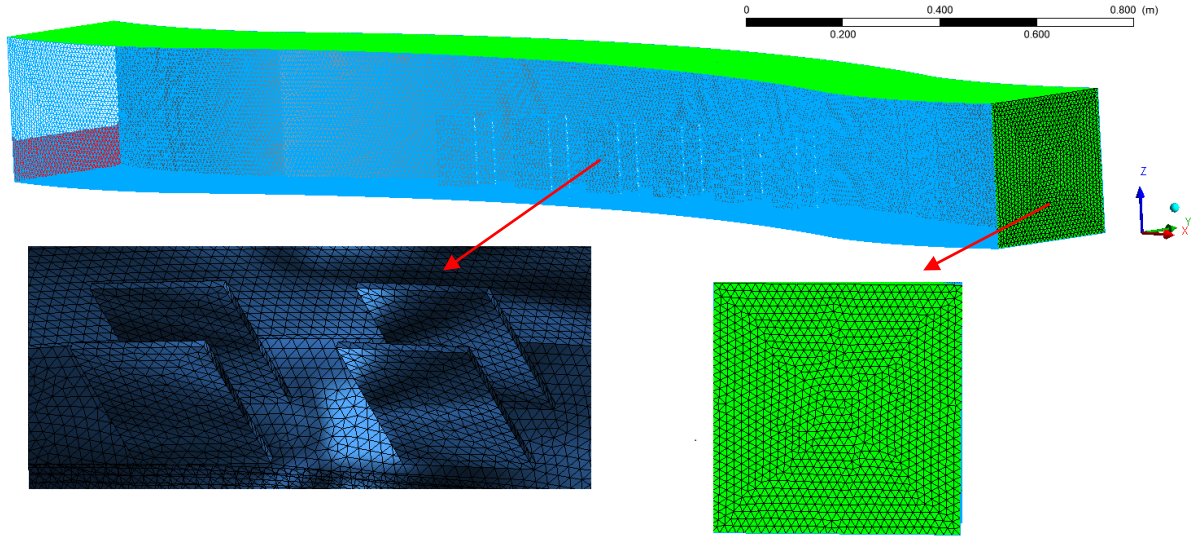


Şekil 4.7. Çözüm animasyonu(a) için contour oluşturulması(b,c), su ve havı fazlarının genel görünümü(d)

4.2.3. Kullanılan Modeller Ve Ağ (Mesh) Bilgileri

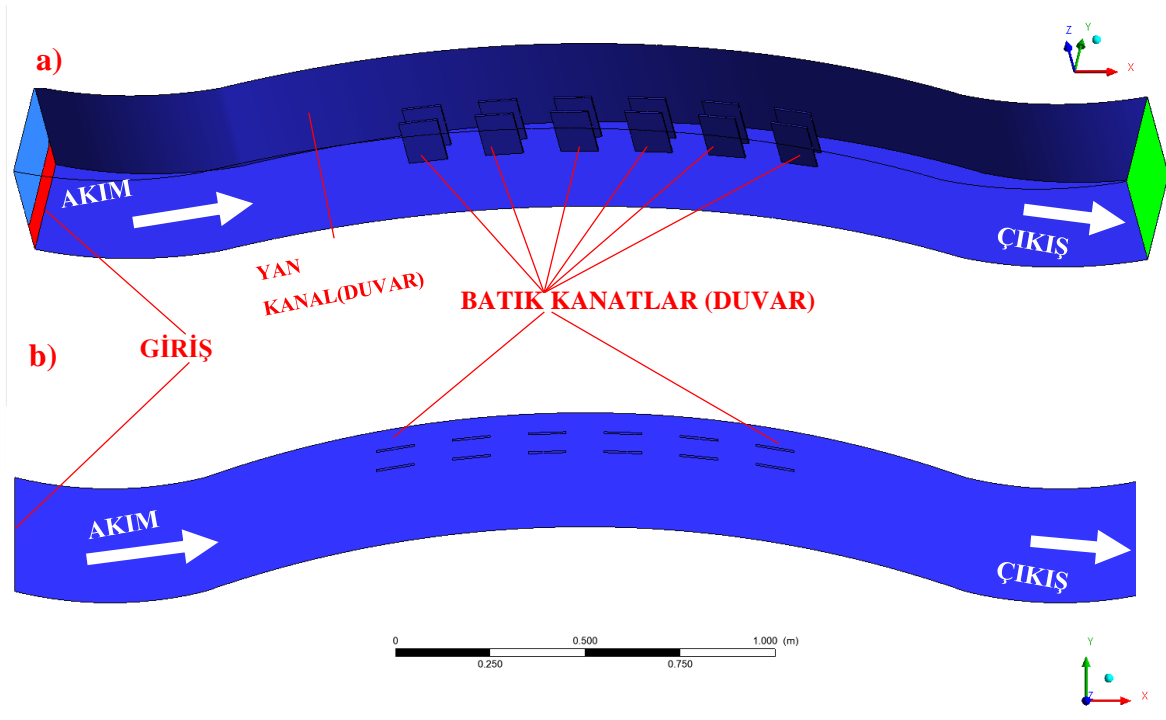
Bu çalışmada, B0 kanatsız, B1 tekli batık kanat, B2 ikili batık kanat ve B3 üçlü batık kanat durumları için 3B analiz yapılmıştır. Açık kanal deneyine göre Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) modeli oluşturulmuştur (Şekil 3.1. ve Şekil 4.4.). Deneysel çalışmaya göre giriş koşulları ve sınır tabaka koşulları oluşturulmuştur. 20 lt/sn akış koşullarında B0 batık

kanatsız durum için 1.280.602 ağ ve B3 durumu için 1.293.691 ağ atanmıştır. Ayrıca tasarımda tetrahedron tipi ağlar kullanılmıştır. B2 durumunun tasarımı için ağ Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.8. Üç boyutlu batık kanat modellemesinde oluşturulan ağ yapısı

Sunulan 3d model, batık kanatlı açık kanal akışının değişimini simüle etmek için kullanılmıştır. FLUENT modelinde batık kanat'ın uygulanması sırasındaki en büyük sorun, ağ şebekesinin çarpıklık hatasıdır. Ağ kaliteleri, GAMBİT programında eş açılı çarpıklık, eşit boyutlu çarpıklık ve en-boy oranı ile kontrol edilmiştir. Çarpıklık ve diğer problemler, daha küçük ağ boyutuna sahip bir mesh ağı çizgisi elde edilerek çözülmüştür. Modelde kanadın gerçek şekli dikkate alındığından açık kanalın şeklinden dolayı çarpıklık hatası arttırılmıştır. GAMBİT ile mesh miktarı artırılarak bu hatalar tanımlanmış ve düzeltilmiştir. Ayrıca, tüm durumlar için hesaplama alanları, Şekil 4.8'te görüldüğü gibi, kabul edilebilir eğrilik katsayıları elde etmek için yaklaşık olarak 1.280.602–1.293.691 tetra-hedral ağ hacmine bölünmüştür. Bu, yaklaşık 235.000 düğümü temsil eder. Ağ oluşturma durumlarında, akış parametrelerinin yakınsama kriteri tüm çalışmalar için 0.01 olarak alınmıştır.



Şekil 4.9. B2 ikili batık kanat durumu için sınır koşulları: a) 3 boyutlu görünüm; b) plan görünüm

Sayısal model, bir açık kanal deney düzeneği üzerine yerleştirilmiş kurb'ta oluşan akım şartlarına göre oluşturulmuştur (Şekil 4.9). Deneydeki giriş (inlet) ve sınır tabakası koşulları modele uygulanmıştır (Çizelge 4.1). Tüm batık kanat durumları için ayrı ayrı sınır koşulları tanımlanmıştır. Şekil 4.9-a ve Şekil 4.9-b'de sayısal modele ait, 3 boyutlu ve plan görünüm vermiştir. Şekil 4.9 daki model de, deney koşulları dikkate alınarak su giriş yüksekliği tanımlanmış, bu bölgedeki giriş hızları "velocity inlet" olarak seçilmiştir. Benzer şekilde deney şart ve boyutlarına uygun olarak modelde açık kanal ve batık kanat tasarımları oluşturularak duvar "Wall" sınır şartı olarak seçilmiştir. Kanalın çıkış yüzeyinde sınır şartı olarak "outflow" kabul edilmiştir. Deneyde 10 ve 20 lt/sn akış debileri için belirlenen su giriş yükseklikleri sırasıyla 5.5 ve 8.5 cm olarak tespit edilerek modele uygulanmıştır.

Çeşitli denemeler sonucunda mesh sayısı artırılarak çarpıklık katsayısı ile kontrol edilmiştir. Bununla birlikte ağın bağımsızlık testi yapılmış, mesh ağı iyileştirmesi nedeniyle akım hızı sonuçlarında önemli bir fark gözlenmemiş ve akım hızı sonuçlarının ağdan bağımsız olduğu tespit edilerek modeldeki mesh sayısı belirlenmiştir. Çizelge 4.1'de sayısal modelde kullanılan ağ, düğüm bilgileri verilmiştir.

Çizelge 4.1. Batık kanat modelleri için ağ bilgileri

Batık kanat durumu	Ağ (mesh) tipi	Düğüm (Node) sayısı	Ağ (mesh) sayısı	
10 lt/sn için	B0	Tetra-hedral	290161	1616677
	B1	Tetra-hedral	292626	1618735
	B2	Tetra-hedral	296117	1633199
	B3	Tetra-hedral	297613	1635865
20 lt/sn için	B0	Tetra-hedral	235063	1280602
	B1	Tetra-hedral	237499	1288463
	B2	Tetra-hedral	239566	1293691
	B3	Tetra-hedral	241024	1295801

4.3. Batık Kanat Deneyi ile FLUENT Hız Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu bölümde daha önce yapılan 2'si kanatsız toplam 8 deney için akım hızları karşılaştırılması ve sayısal modelin sonuçlarının kontrolü yapılacaktır. Her bir deneye ait 6 kesitte 8 farklı (48) noktada ölçülen deney sonuçları ve sayısal model kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. İlk olarak 10 lt/sn, sonrasında 20 lt/sn debi akışı durumlarında sayısal model sonuçları incelenecektir. Sayısal model ve deneysel sonuçların değerlendirmesinde, kesit sonrası hız değişimini görebilmek için akım hızları; ortalama hıza göre boyutsuz hız (u/u_{ort});(Odgaard,(2009)) olarak verilmiştir.

1. nokta iç menderese yakın noktayı, 8. nokta ise dış menderese yakın noktayı temsil etmektedir. Kanal girişine göre; 1.1m, 1.3m, 1.5m, 1.7m, 1.9m ve 2.1m mesafedeki enkesitler sırasıyla 1-1, 2-2, 3-3, 4-4, 5-5 ve 6-6 enkesitleri olarak belirlenmiştir. Belirlenen tüm enkesitler ve ölçüm noktaları Şekil 4.10 a, b ve c'de verilmiştir.

Çizelge 4.2'de B0 Kanatsız batık kanat durumundaki deney ve sayısal model (FLUENT-HAD) boyutsuz hız sonuçları karşılaştırılarak hatalar verilmiştir. 10 lt/sn için B0 Batık Kanatsız durumu için, boyutsuz deney ve FLUENT sonuçları seçilen her bir kesit için Çizelge 4.2, ve Şekil 4.11'de gösterilmiştir.

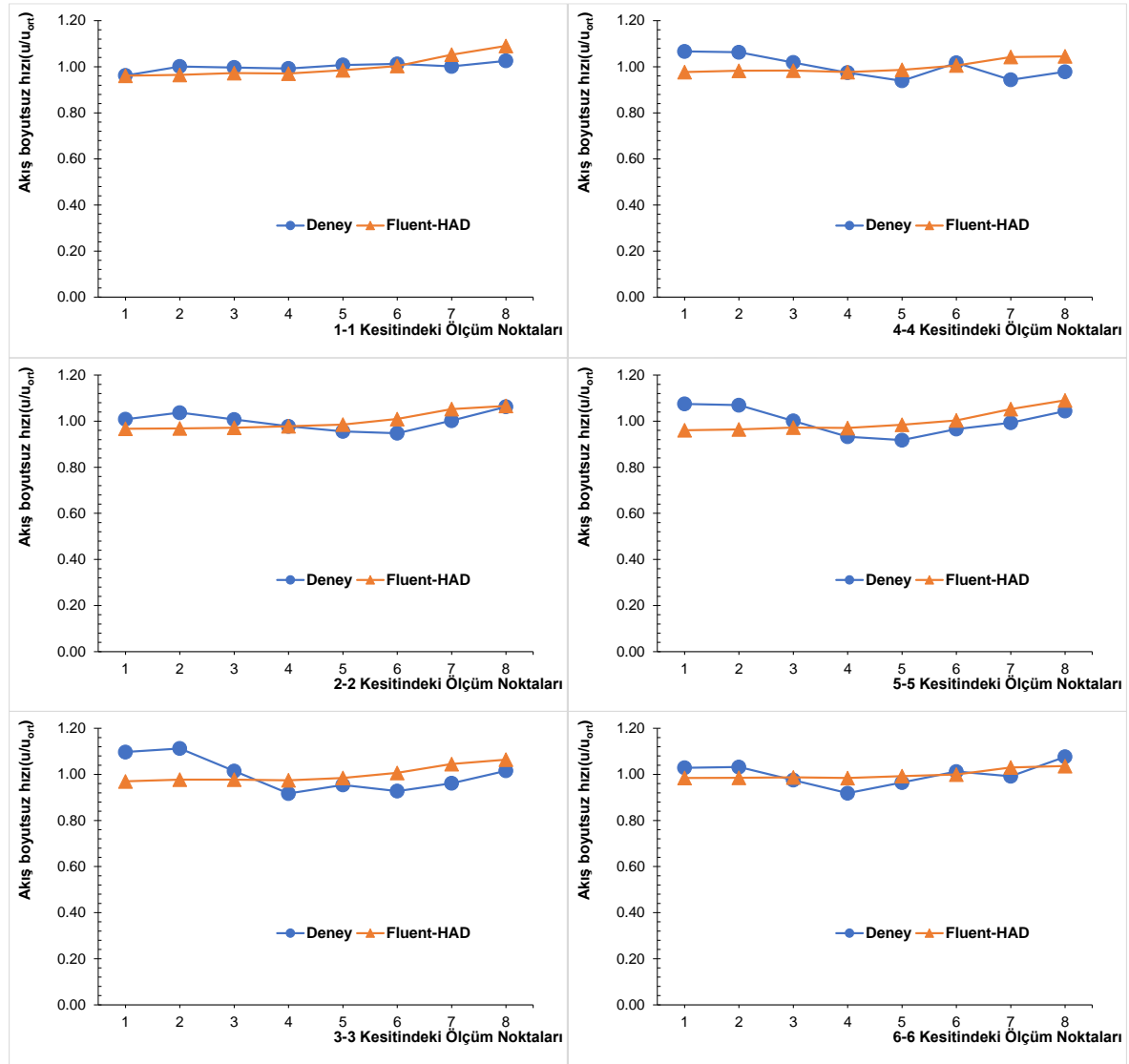
Çizelge 4.2. 10 lt/sn için B0 batık kanatsız durumundaki Deney ve FLUENT Sonuçları

Kesit no	Ölçüm noktası no	Deney Sonuçları	FLUENT HAD sonuçları	Hata (%)	Kesit no	Ölçüm noktası no	Deney Sonuçları	FLUENT HAD sonuçları	Hata (%)	
1-1	1	0.962	0.961	0.14	4-4	1	1.067	0.977	8.42	
	2	1.001	0.965	3.64		2	1.063	0.983	7.52	
	3	0.997	0.973	2.44		3	1.019	0.984	3.44	
	4	0.993	0.971	2.22		4	0.974	0.977	0.26	
	5	1.008	0.985	2.25		5	0.939	0.987	5.11	
	6	1.012	1.003	0.89		6	1.017	1.005	1.15	
	7	1.002	1.053	5.09		7	0.943	1.042	10.49	
	8	1.026	1.090	6.33		8	0.979	1.045	6.83	
2-2	1	1.009	0.967	4.09	5-5	1	1.075	0.974	9.36	
	2	1.037	0.969	6.60		2	1.070	0.980	8.41	
	3	1.008	0.972	3.56		3	1.001	0.980	2.08	
	4	0.978	0.978	0.03		4	0.933	0.982	5.29	
	5	0.956	0.986	3.11		5	0.918	0.989	7.77	
	6	0.948	1.009	6.51		6	0.966	1.011	4.63	
	7	1.002	1.053	5.01		7	0.993	1.042	4.93	
	8	1.063	1.066	0.33		8	1.044	1.041	0.29	
3-3	1	1.097	0.970	11.60	6-6	1	1.029	0.985	0.21	
	2	1.112	0.977	12.13		2	1.032	0.985	0.57	
	3	1.015	0.977	3.67		3	0.975	0.987	0.35	
	4	0.917	0.975	6.28		4	0.918	0.984	1.26	
	5	0.954	0.985	3.19		5	0.965	0.993	2.96	
	6	0.928	1.007	8.55		6	1.012	0.999	1.11	
	7	0.961	1.045	8.71		7	0.992	1.030	4.35	
	8	1.016	1.064	4.77		8	1.077	1.036	0.98	
									Min. Hata	0.03%
									Maks. Hata	12.13%
									Ort. Hata	4.35%

Çizelge 4.2. incelendiğinde, her kesit içerisindeki maksimum hatalar sırasıyla, 1-1 kesitinde %5.09, 2-2 kesitinde %6.51, 3-3 kesitinde %12.13, 4-4 kesitinde %10.49, 5-5 kesitinde %9.36 ve 6-6 kesitinde %4.35 olduğu gözlenmiştir. Maksimum hata'nın 3-3 kesitinde olduğu, en az hatanın başlangıç 1-1 ve çıkış 6-6 kesitinde olup akım şartları ile uyumlu

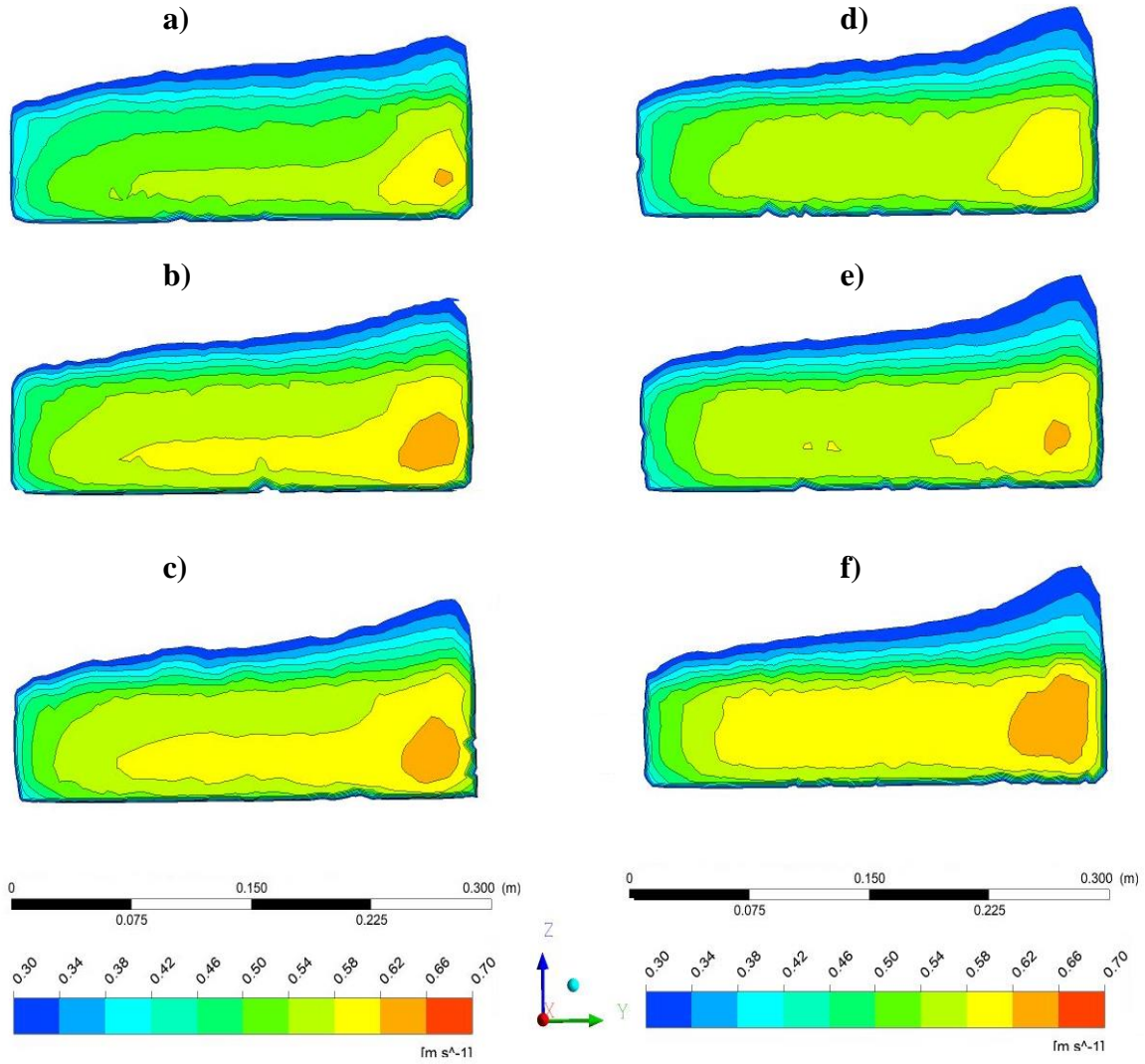
olduğu, tüm kesitler incelendiğinde ise; deneysel ve sayısal model arasında, minimum hata %0.03, ortalama hata %4.35 ve maksimum hata %12.13 oranlarında tespit edilmiştir.

10 lt/sn için B0 batık kanatsız durumdaki deney ve sayısal modele ait akım hızı sonuçları değişimi 6 farklı kesitte ve 8 ölçüm noktası olarak Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.11. 10 lt/sn için B0 batık kanatsız durumdaki Deney ve FLUENT Sonuçları

Şekil 4.11 incelendiğinde, model sonuçlarından da tespit edildiği gibi, maksimum hatanın 3-3 kesitinde, minimum hataların sırası 1-1 ve 6-6 kesitinde, deney ve sayısal model sonuçları ile uyumlu olduğu gözlenmiştir. Aynı veriler için sayısal modele ait enkesitsel ve contour hız değişimleri Şekil 4.12’de verilmiştir.



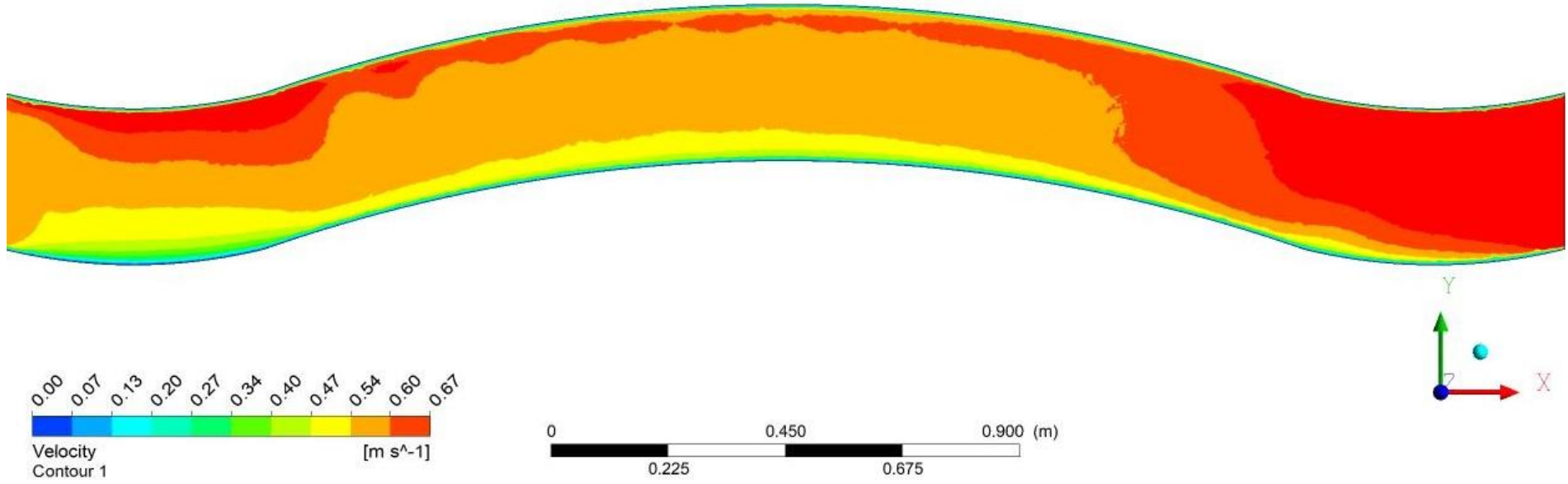
Şekil 4.12. 10 lt/sn akış koşullarındaki ve B0 batık kanatsız durum için 6 enkesitteki hız değişimleri: a) 1-1 enkesiti, b) 2-2 enkesiti, c) 3-3 enkesiti, d) 4-4 enkesiti, e) 5-5 enkesiti, f) 6-6 enkesiti

Şekil 4.12. de verilen model için kesitleri incelendiğinde, iç kıyıda akım derinliği azalırken dış kıyıda akım derinliğinin arttığı, 1-1 kesitinden 6-6 kesitine kadar akım boyunca dış kıyıda oluşan maksimum hızın arttığı gözlenmiştir. Kurlardaki merkezkaç kuvvetinin etkisiyle, beklendiği gibi, kanal dış kıyı ve alt köşe bölgelerine yakın hızların ve derinliğin arttığı tespit edilmiştir.

0.6d derinlik için, sayısal modele ait contour hız değişimleri Şekil 4.13'de plan görünümü olarak verilmiştir.

Şekil4.13'de, deney ölçümlerinin yapıldığı 0.6d'de dış kıyıda akım hızının arttığı görülmüştür. Ayrıca, açık kanal giriş kesitinde kurb yakınlarında hızların arttığı, çıkış kesitinde kesitin normal akım şartlarına döndüğü gözlenmiştir.





Şekil 4.13. 10 lt/sn için B0 batık kanatsız durumdaki 0.6d'daki akım hızı değişiminin plan görünümü

10 lt/sn için B1 tekli batık kanat durumu için boyutsuz deney ve FLUENT sonuçları Çizelge 4.3'de verilmiştir.

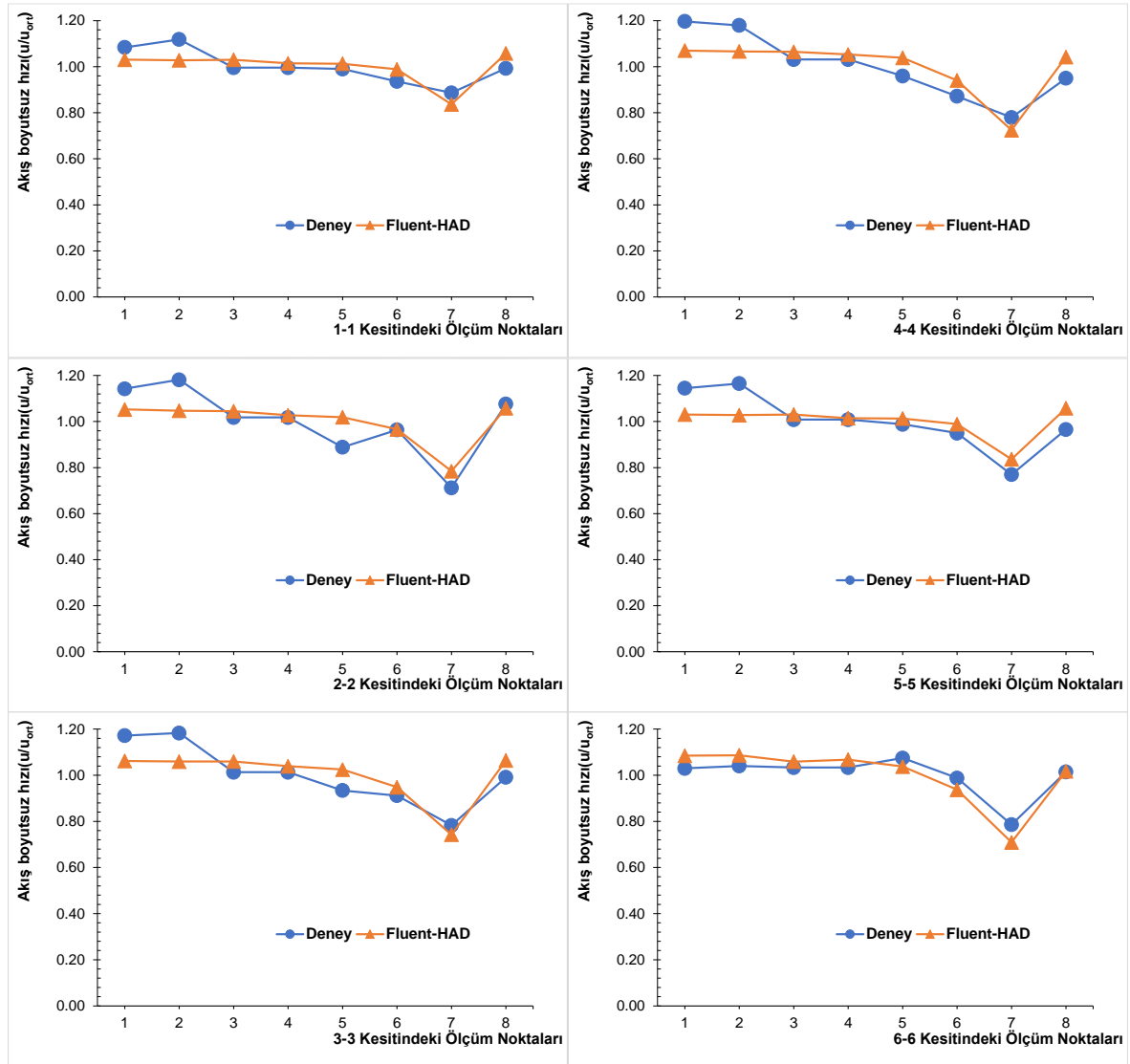
Çizelge 4.3. 10 lt/sn için B1 tekli batık kanat durumundaki Deney ve FLUENT Sonuçları

Kesit no	Ölçüm noktası no	Deney Sonuçları	FLUENT HAD sonuçları	Hata (%)	Kesit no	Ölçüm noktası no	Deney Sonuçları	FLUENT HAD sonuçları	Hata (%)
1-1	1	1.084	1.031	4.91	4-4	1	1.197	1.070	10.61
	2	1.119	1.028	8.11		2	1.179	1.067	9.57
	3	0.996	1.030	3.48		3	1.032	1.065	3.20
	4	0.996	1.015	1.90		4	1.032	1.053	2.09
	5	0.990	1.013	2.30		5	0.960	1.039	8.24
	6	0.936	0.989	5.64		6	0.872	0.941	7.91
	7	0.887	0.837	5.64		7	0.779	0.724	7.04
	8	0.993	1.058	6.54		8	0.950	1.042	9.70
2-2	1	1.142	1.053	7.85	5-5	1	1.145	1.094	4.44
	2	1.182	1.047	11.37		2	1.165	1.088	6.62
	3	1.018	1.045	2.68		3	1.008	1.079	6.97
	4	1.018	1.028	0.96		4	1.008	1.071	6.17
	5	0.888	1.019	14.69		5	0.988	1.040	5.21
	6	0.964	0.966	0.25		6	0.950	0.903	4.93
	7	0.712	0.784	10.14		7	0.770	0.705	8.46
	8	1.076	1.058	1.68		8	0.966	1.022	5.80
3-3	1	1.172	1.062	9.37	6-6	1	1.030	1.085	5.36
	2	1.183	1.060	10.43		2	1.040	1.087	4.45
	3	1.013	1.060	4.61		3	1.033	1.059	2.48
	4	1.013	1.039	2.59		4	1.033	1.068	3.33
	5	0.934	1.025	9.72		5	1.075	1.038	3.45
	6	0.912	0.948	4.02		6	0.988	0.937	5.11
	7	0.783	0.742	5.14		7	0.786	0.709	9.82
	8	0.991	1.064	7.38		8	1.015	1.018	0.31
								Min. Hata	0.25%
								Maks. Hata	14.69%
								Ort. Hata	5.89%

Çizelge 4.3. incelendiğinde, her kesit içerisindeki maksimum hatalar sırasıyla, 1-1 kesitinde %8.11, 2-2 kesitinde %14.69, 3-3 kesitinde %10.43, 4-4 kesitinde %10.61, 5-5 kesitinde %8.46 ve 6-6 kesitinde %9.82 olduğu gözlenmiştir. Maksimum hata'nın 2-2 kesitinde olduğu, en az hatanın 5-5 ve 6-6 kesitinde olup akım şartları ile uyumlu olduğu, tüm kesitler incelendiğinde ise; deneysel ve sayısal model arasında, minimum hata %0.25, ortalama hata %5.89 ve maksimum hata %14.69 oranlarında tespit edilmiştir. B0 batık

kanatsız durumla karşılaştırıldığında, B1 tekli batık kanat durumunda hata oranının arttığı gözlenmiştir.

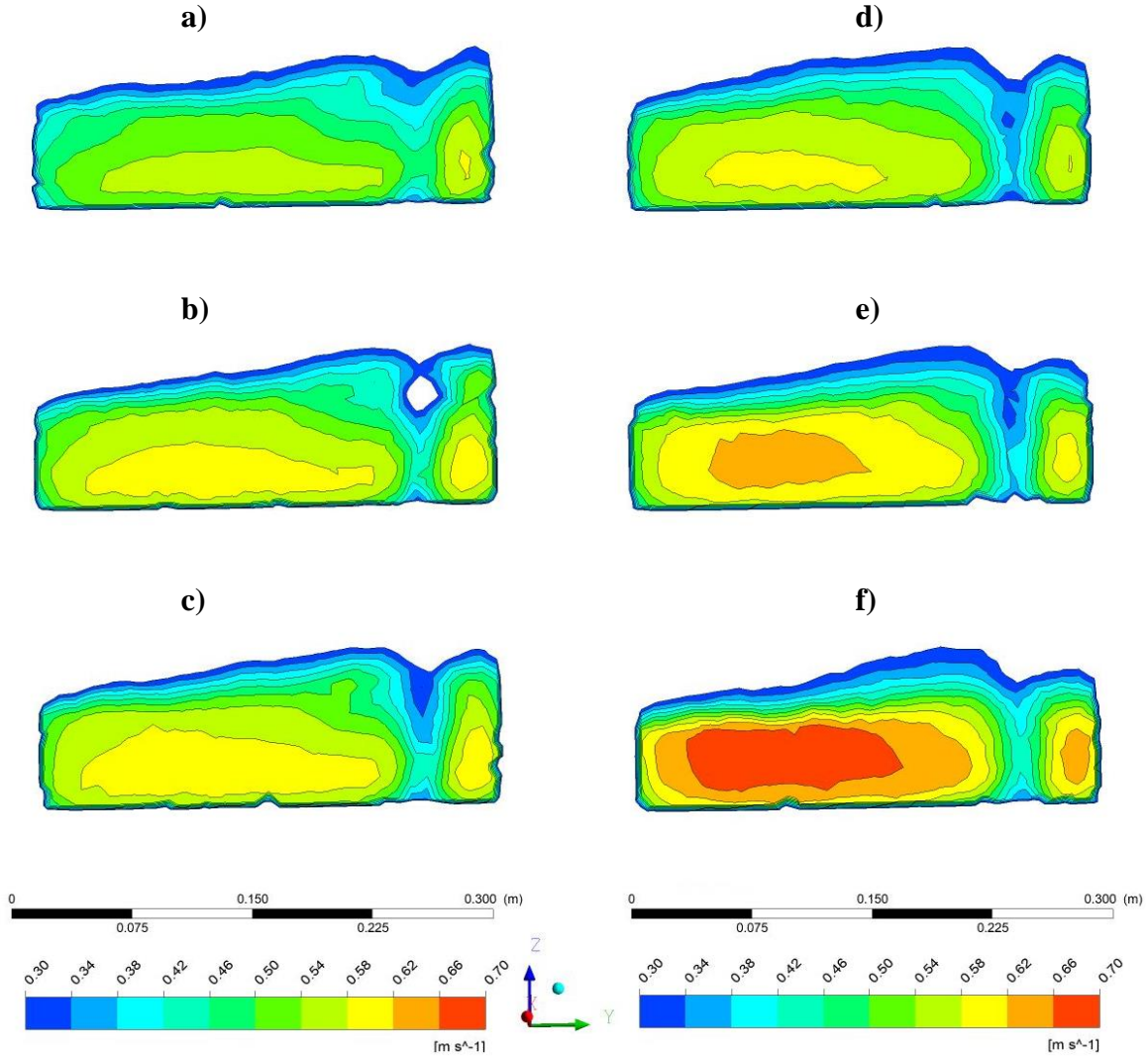
10 lt/sn için B1 tekli batık kanat durumundaki deney ve sayısal modele ait akım hızı sonuçları değişimi 6 farklı kesitte ve 8 ölçüm noktası olarak Şekil 4.14’de verilmiştir.



Şekil 4.14. 10 lt/sn için B1 tekli batık kanat durumundaki Deney ve FLUENT Sonuçları

Şekil 4.14. incelendiğinde, model sonuçlarından da tespit edildiği gibi, maksimum hata'nın 2-2 kesitinde oluştuğu, minimum hataların sırasıyla 5-5 ve 6-6 kesitlerinde, deney ve sayısal model sonuçları ile uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Sayısal modele ait enkesitsel ve contour olarak hız değişimleri Şekil 4.15’de verilmiştir.



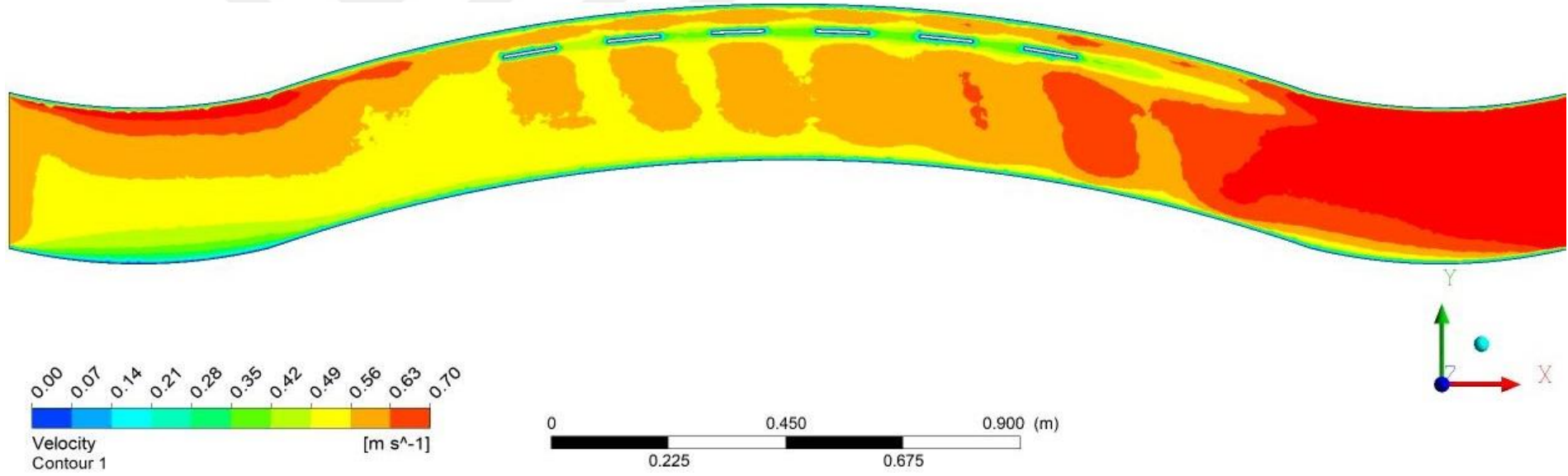
Şekil 4.15. 10 lt/sn akış koşullarındaki ve B1 tekli batık kanat durumu için 6 enkesitteki hız değişimleri: a) 1-1 enkesiti, b) 2-2 enkesiti, c) 3-3 enkesiti, d) 4-4 enkesiti, e) 5-5 enkesiti, f) 6-6 enkesiti

Şekil 4. 15. verilen model için kesitler incelendiğinde, batık kanat sonrasında akım hızlarının azaldığı, kesitlerde batık kanatın etkisiyle 2 farklı akım oluştuğu gözlenmiştir. 1-1 kesitinden 6-6 kesitine kadar, akım boyunca dış kıyıda oluşan maksimum hızın azaldığı, iç kıyıda çıkış kesitinde maksimum hızın arttığı gözlenmiştir. Dış kıyıda alt ve köşe bölgelere ve batık kanat'a yakın bölgelerde hızların azaldığı buna bağlı olarak da derinliğin dengelendiği tespit edilmiştir.

0.6d derinlik için, sayısal modele ait contour hız değişimleri Şekil 4.16'da plan görünümü olarak verilmiştir.

Şekil 4.16'da, deney ölçümlerinin yapıldığı 0.6d'de dış kıyıda akım hızının azaldığı görülmüştür. Ayrıca, açık kanal giriş kesitinde kurb yakınlarında hızların arttığı, çıkış kesitinde kesitin normal akım şartlarına döndüğü gözlenmiştir. Şekil 4.16. incelendiğinde, batık kanat etkisiyle akımın iç kıyıya yönlendiği görülmüştür.





Şekil 4.16. 10 lt/sn için B1 tekli batık kanat durumundaki 0.6d'daki akım hızı değişiminin plan görünümü

10 lt/sn için B2 ikili batık kanat durumu için boyutsuz deney ve FLUENT sonuçları Çizelge 4.4'de verilmiştir.

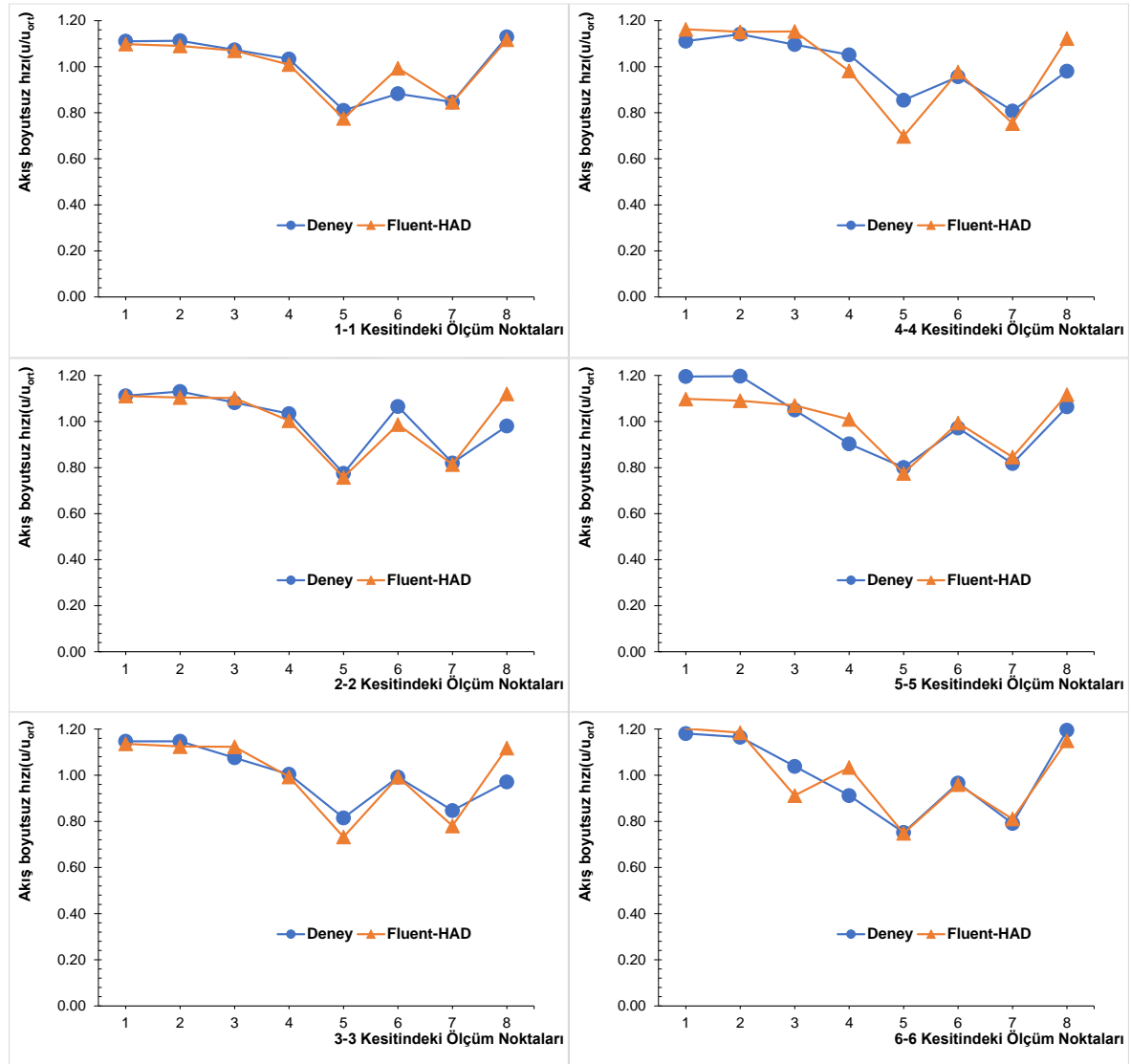
Çizelge 4.4. 10 lt/sn için B2 ikili batık kanat durumundaki Deney ve FLUENT Sonuçları

Kesit no	Ölçüm noktası no	Deney Sonuçları	FLUENT HAD sonuçları	Hata (%)	Kesit no	Ölçüm noktası no	Deney Sonuçları	FLUENT HAD sonuçları	Hata (%)
1-1	1	1.111	1.098	1.12	4-4	1	1.111	1.162	4.64
	2	1.113	1.090	2.01		2	1.141	1.151	0.90
	3	1.073	1.070	0.31		3	1.096	1.154	5.22
	4	1.034	1.009	2.33		4	1.052	0.982	6.62
	5	0.810	0.775	4.34		5	0.855	0.698	18.39
	6	0.882	0.994	12.62		6	0.957	0.977	2.13
	7	0.847	0.846	0.14		7	0.808	0.753	6.76
	8	1.130	1.117	1.12		8	0.981	1.123	14.47
2-2	1	1.112	1.111	0.11	5-5	1	1.196	1.173	1.86
	2	1.131	1.104	2.33		2	1.197	1.162	2.92
	3	1.082	1.102	1.84		3	1.050	1.135	8.11
	4	1.034	1.004	2.94		4	0.903	0.992	9.79
	5	0.775	0.758	2.23		5	0.801	0.723	9.69
	6	1.065	0.987	7.35		6	0.972	0.944	2.90
	7	0.820	0.814	0.80		7	0.818	0.764	6.56
	8	0.980	1.120	14.29		8	1.064	1.107	4.04
3-3	1	1.147	1.136	0.93	6-6	1	1.181	1.202	1.77
	2	1.147	1.124	1.99		2	1.165	1.185	1.69
	3	1.076	1.123	4.42		3	1.039	0.912	12.20
	4	1.004	0.993	1.13		4	0.912	1.034	13.36
	5	0.815	0.732	10.17		5	0.752	0.748	0.45
	6	0.992	0.992	0.04		6	0.966	0.959	0.70
	7	0.847	0.780	7.88		7	0.791	0.810	2.47
	8	0.971	1.118	15.10		8	1.195	1.150	3.77
								Min. Hata	0.04%
								Maks. Hata	18.39%
								Ort. Hata	4.98%

Çizelge 4.4. incelendiğinde, her kesit içerisindeki maksimum hatalar sırasıyla, 1-1 kesitinde %12.62, 2-2 kesitinde %14.29, 3-3 kesitinde %15.10, 4-4 kesitinde %18.39, 5-5 kesitinde %9.79 ve 6-6 kesitinde %13.36 olduğu gözlenmiştir. Maksimum hata'nın 4-4 kesitinde olduğu, en az hatanın 5-5 kesitinde olup akım şartları ile uyumlu olduğu, tüm kesitler incelendiğinde ise; deneysel ve sayısal model arasında, minimum hata %0.04, ortalama hata %4.98 ve maksimum hata %18.39 oranlarında tespit edilmiştir. B0 batık kanatsız ve B1 tekli

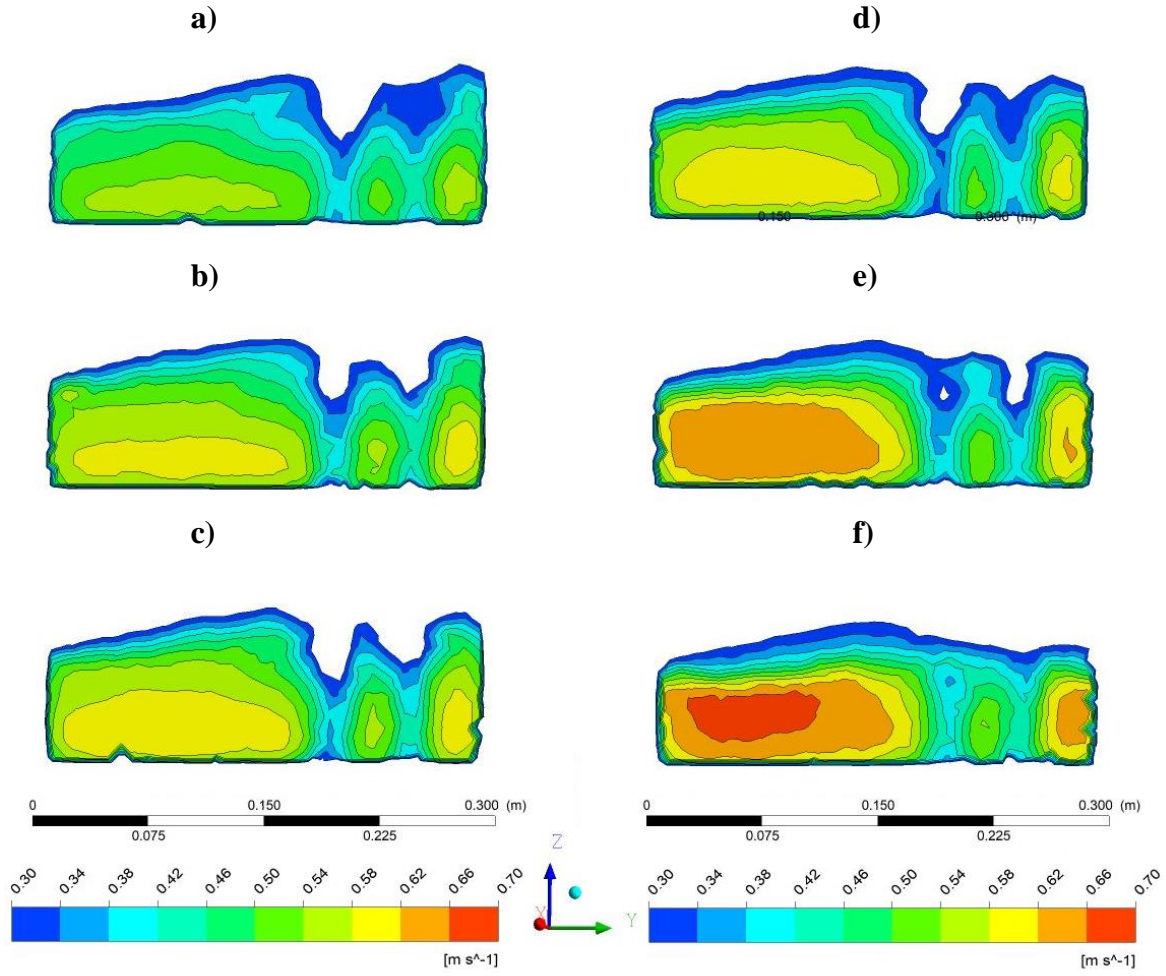
batık kanat durumlarıyla karşılaştırıldığında, B2 ikili batık kanat durumunda hata oranının arttığı gözlenmiştir.

10 lt/sn için B2 ikili batık kanat durumundaki deney ve sayısal modele ait akım hızı sonuçları değişimi 6 farklı kesitte ve 8 ölçüm noktası olarak Şekil 4.14’de verilmiştir.



Şekil 4.17. 10 lt/sn için B2 ikili batık kanat durumundaki Deney ve FLUENT Sonuçları

Şekil 4.17. incelendiğinde, model sonuçlarından da tespit edildiği gibi, maksimum hata'nın 3-3 ve 4-4 kesitlerinde oluştuğu, minimum hataların sırasıyla giriş 1-1 ve 2-2 kesitlerinde deney ve sayısal model sonuçları ile uyumlu olduğu gözlenmiştir. Aynı veriler için sayısal modele ait enkesitsel ve contour hız değişimleri Şekil 4.18’de verilmiştir.



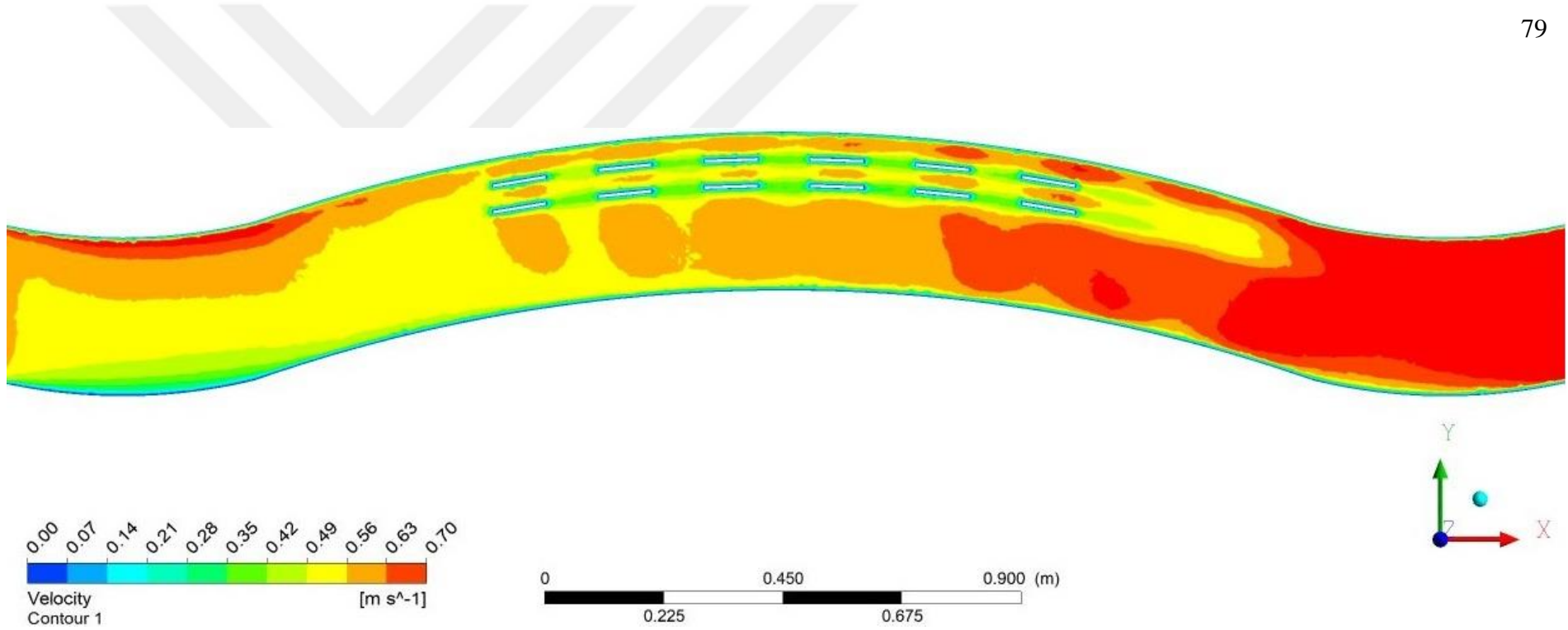
Şekil 4.18. 10 lt/sn akış koşullarındaki ve B2 ikili batık kanat durumu için 6 enkesitteki hız değişimleri: a) 1-1 enkesiti, b) 2-2 enkesiti, c) 3-3 enkesiti, d) 4-4 enkesiti, e) 5-5 enkesiti, f) 6-6 enkesiti

Şekil 4. 18. verilen model için kesitler incelendiğinde, batık kanat sonrasında akım hızlarının azaldığı, kesitlerde batık kanatın etkisiyle 3 farklı akım oluştuğu gözlenmiştir. 1-1 kesitinden 6-6 kesitine kadar akım boyunca dış kıyıda oluşan maksimum hızın azaldığı, iç kıyıda çıkış kesitinde maksimum hızın arttığı gözlenmiştir. Dış kıyıda alt ve köşe bölgelere ve batık kanat'a yakın bölgelerde hızların azaldığı buna bağlı olarak da derinliğin dengelendiği tespit edilmiştir.

0.6d derinlik için, sayısal modele ait contour hız değişimleri Şekil 4.19'da plan görünümü olarak verilmiştir.

Şekil 4.19'da, deney ölçümlerinin yapıldığı 0.6d'de dış kıyıda akım hızının azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, açık kanal giriş kesitinde kurb yakınlarında hızların arttığı, çıkış kesitinde kesitin normal akım şartlarına döndüğü gözlenmiştir. Şekil'de, batık kanat etkisiyle akımın iç kıyıya yönlendiği görülmüştür.





Şekil 4.19. 10 lt/sn için B2 ikili batık kanat durumundaki 0.6d'daki akım hızı değişiminin plan görünümü

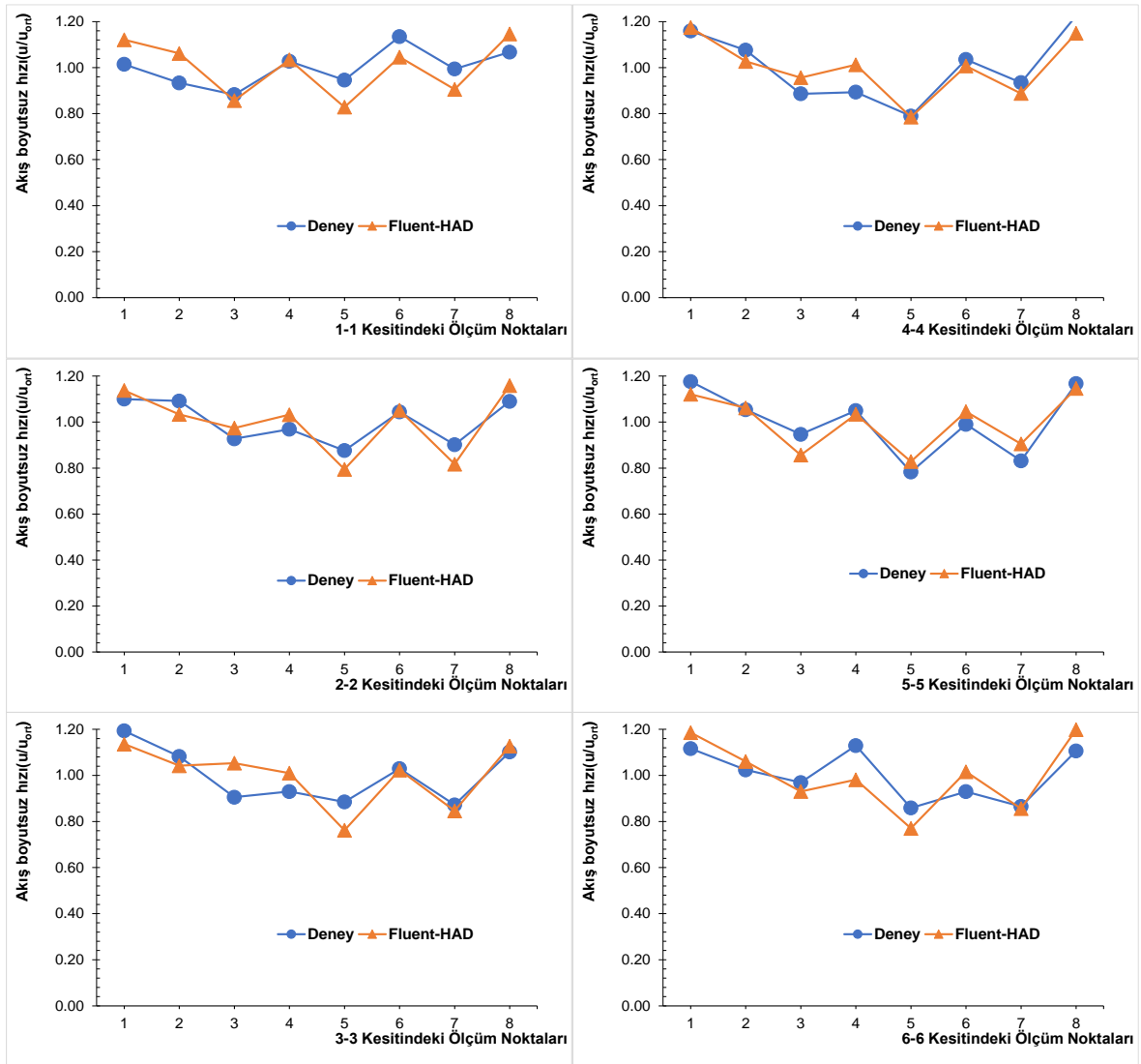
10 lt/sn için B3 üçlü batık kanat durumu için boyutsuz deney ve FLUENT sonuçları Çizelge 4.5.'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. 10 lt/sn için B3 üçlü batık kanat durumundaki Deney ve FLUENT Sonuçları

Kesit no	Ölçüm noktası no	Deney Sonuçları	FLUENT HAD sonuçları	Hata (%)	Kesit no	Ölçüm noktası no	Deney Sonuçları	FLUENT HAD sonuçları	Hata (%)
1-1	1	1.014	1.121	10.53	4-4	1	1.159	1.175	1.32
	2	0.933	1.062	13.74		2	1.076	1.027	4.54
	3	0.882	0.857	2.90		3	0.886	0.956	7.93
	4	1.028	1.034	0.65		4	0.894	1.013	13.32
	5	0.946	0.828	12.43		5	0.790	0.785	0.61
	6	1.135	1.046	7.84		6	1.035	1.007	2.71
	7	0.994	0.905	8.93		7	0.935	0.888	5.04
	8	1.067	1.147	7.42		8	1.225	1.150	6.18
2-2	1	1.100	1.138	3.42	5-5	1	1.176	1.216	3.39
	2	1.092	1.033	5.33		2	1.054	1.075	1.95
	3	0.927	0.974	5.03		3	0.947	0.792	16.35
	4	0.969	1.032	6.55		4	1.050	1.020	2.83
	5	0.876	0.795	9.28		5	0.783	0.846	8.08
	6	1.044	1.051	0.71		6	0.990	1.008	1.73
	7	0.902	0.817	9.36		7	0.832	0.848	2.00
	8	1.090	1.159	6.31		8	1.168	1.195	2.32
3-3	1	1.193	1.136	4.81	6-6	1	1.117	1.186	6.21
	2	1.082	1.042	3.72		2	1.024	1.060	3.56
	3	0.906	1.053	16.30		3	0.969	0.931	3.98
	4	0.930	1.010	8.56		4	1.130	0.982	13.12
	5	0.885	0.762	13.89		5	0.859	0.770	10.30
	6	1.029	1.023	0.61		6	0.930	1.016	9.30
	7	0.872	0.846	2.96		7	0.866	0.856	1.09
	8	1.102	1.127	2.31		8	1.106	1.199	8.36
								Min. Hata	0.61%
								Maks. Hata	16.35%
								Ort. Hata	6.25%

Çizelge 4.5. incelendiğinde, her kesit içerisindeki maksimum hatalar sırasıyla, 1-1 kesitinde %13.74, 2-2 kesitinde %9.36, 3-3 kesitinde %16.30, 4-4 kesitinde %13.32, 5-5 kesitinde %16.35 ve 6-6 kesitinde %13.12 olduğu gözlenmiştir. Maksimum hata'nın 5-5 kesitinde olduğu, en az hatanın 2-2 kesitinde olup akım şartları ile uyumlu olduğu, tüm kesitler incelendiğinde ise; deneysel ve sayısal model arasında, minimum hata %0.61, ortalama hata %6.25 ve maksimum hata %16.35 oranlarında tespit edilmiştir. B0 batık kanatsız ve B1 tekli

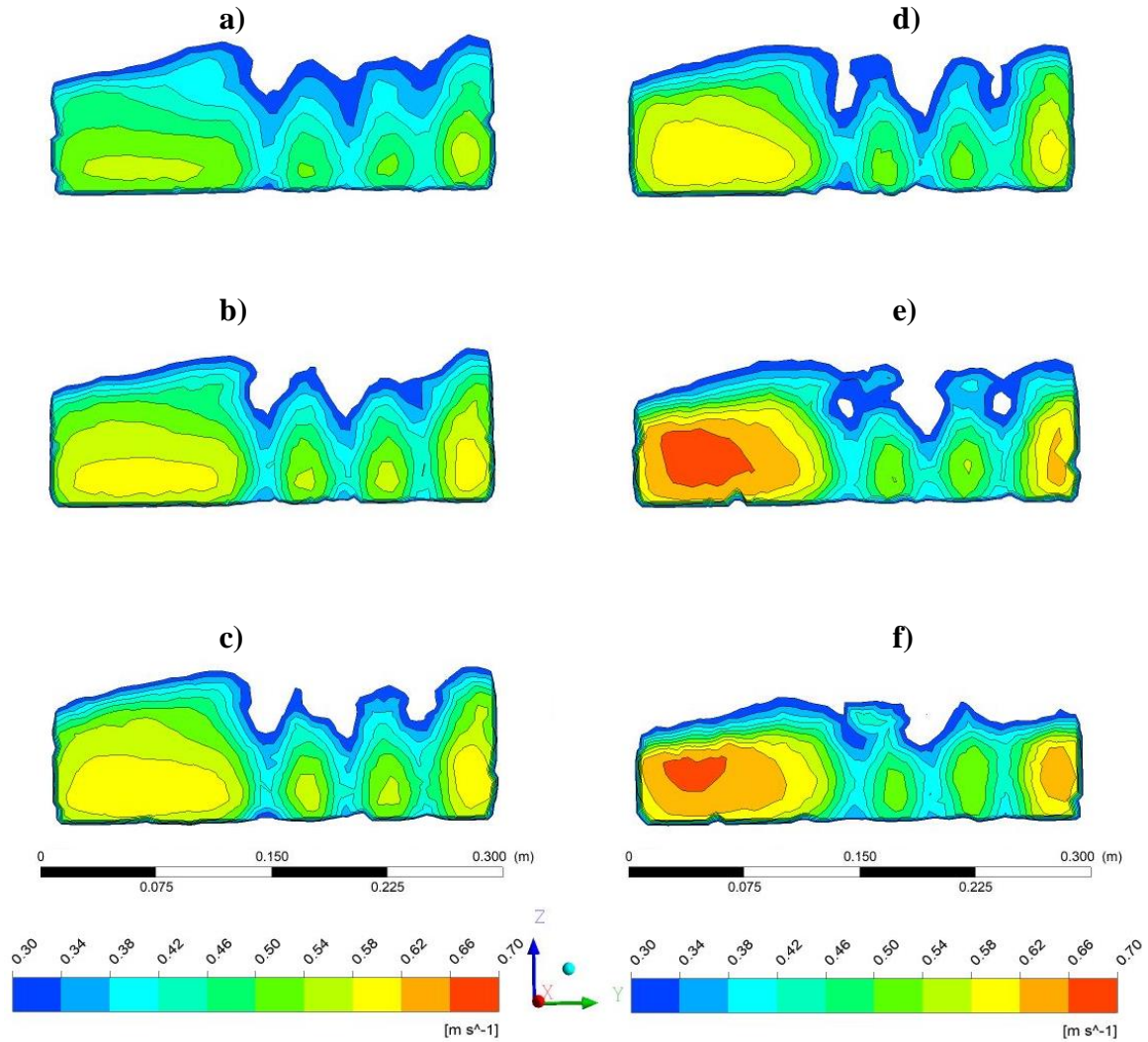
batık kanat durumlarıyla karşılaştırıldığında, B3 üçlü batık kanat durumunda hata oranının arttığı gözlenmiştir. 10 lt/sn için B3 üçlü batık kanat durumundaki deney ve sayısal modele ait akım hızı sonuçları değişimi 6 farklı kesitte ve 8 ölçüm noktası olarak Şekil 4.20’de verilmiştir.



Şekil 4.20. 10 lt/sn için B3 üçlü batık kanat durumundaki Deney ve FLUENT Sonuçları

Şekil 4.20. incelendiğinde, model sonuçlarından da tespit edildiği gibi, Maksimum hata'nın 5-5 kesitinde, minimum hatanın 2-2 kesitinde, deney ve sayısal model sonuçları ile uyumlu olduğu gözlenmiştir. 10 lt/sn akış durumunda, batık kanatlı yapıların durumlarda batık kanatsız duruma göre hata oranlarında az da olsa artışlar tespit edilmiştir. Bunun sebebinin batık kanatlı durumların, batık kanatsız duruma göre akım hızlarının davranışının farklılık göstermesidir.

10 lt/sn için B3 üçlü batık kanat durumundaki sayısal modele ait enkesitsel ve contour olarak hız değişimleri Şekil 4.21’de verilmiştir.

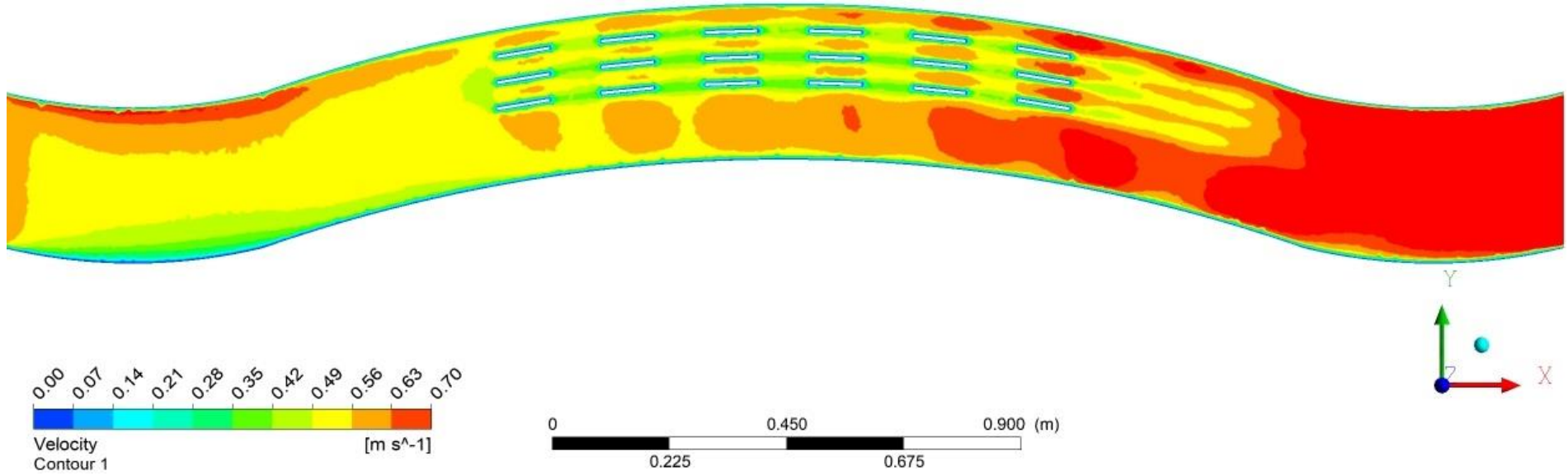


Şekil 4.21. 10 lt/sn akış koşullarındaki ve B3 üçlü batık kanat durumu için 6 enkesitteki hız değişimleri: a) 1-1 enkesiti, b) 2-2 enkesiti, c) 3-3 enkesiti, d) 4-4 enkesiti, e) 5-5 enkesiti, f) 6-6 enkesiti

Şekil 4. 21’de, verilen model için kesitler incelendiğinde, batık kanat sonrasında akım hızlarının azaldığı, kesitlerde batık kanatın etkisiyle 4 farklı akım oluştuğu gözlenmiştir. 1-1 kesitinden 6-6 kesitine kadar akım boyunca dış kıyıda oluşan maksimum hızın azaldığı, iç kıyıda çıkış kesitinde maksimum hızın arttığı gözlenmiştir. Dış kıyıda alt ve köşe bölgelere ve batık kanat’a yakın bölgelerde hızların azaldığı buna bağlı olarak da derinliğin dengelendiği tespit edilmiştir. 0.6d derinlik için, sayısal modele ait contour hız değişimleri Şekil 4.22’de plan görünümü olarak verilmiştir.

Şekil 4.22’de, deney ölçümlerinin yapıldığı 0.6d’de dış kıyıda akım hızının azaldığı görülmüştür. Ayrıca, açık kanal giriş kesitinde kurb yakınlarında hızların arttığı, çıkış kesitinde kesitin normal akım şartlarına döndüğü gözlenmiştir. Şekil’de, batık kanat etkisiyle akımın iç kıyıya yönlendiği görülmüştür. Batık kanatlı durumlar içerisinde B3 üçlü batık kanat durumunun, dış kıyıdaki derinliği azaltmada ve akım hızını dengelemede en etkili durum olduğu tespit edilmiştir.





Şekil 4.22. 10 lt/sn için B3 üçlü batık kanat durumundaki 0.6d'daki akım hızı değişiminin plan görünümü

20 lt/sn için B0 batık kanatsız durum için boyutsuz deney ve FLUENT sonuçları Çizelge 4.6.'da verilmiştir.

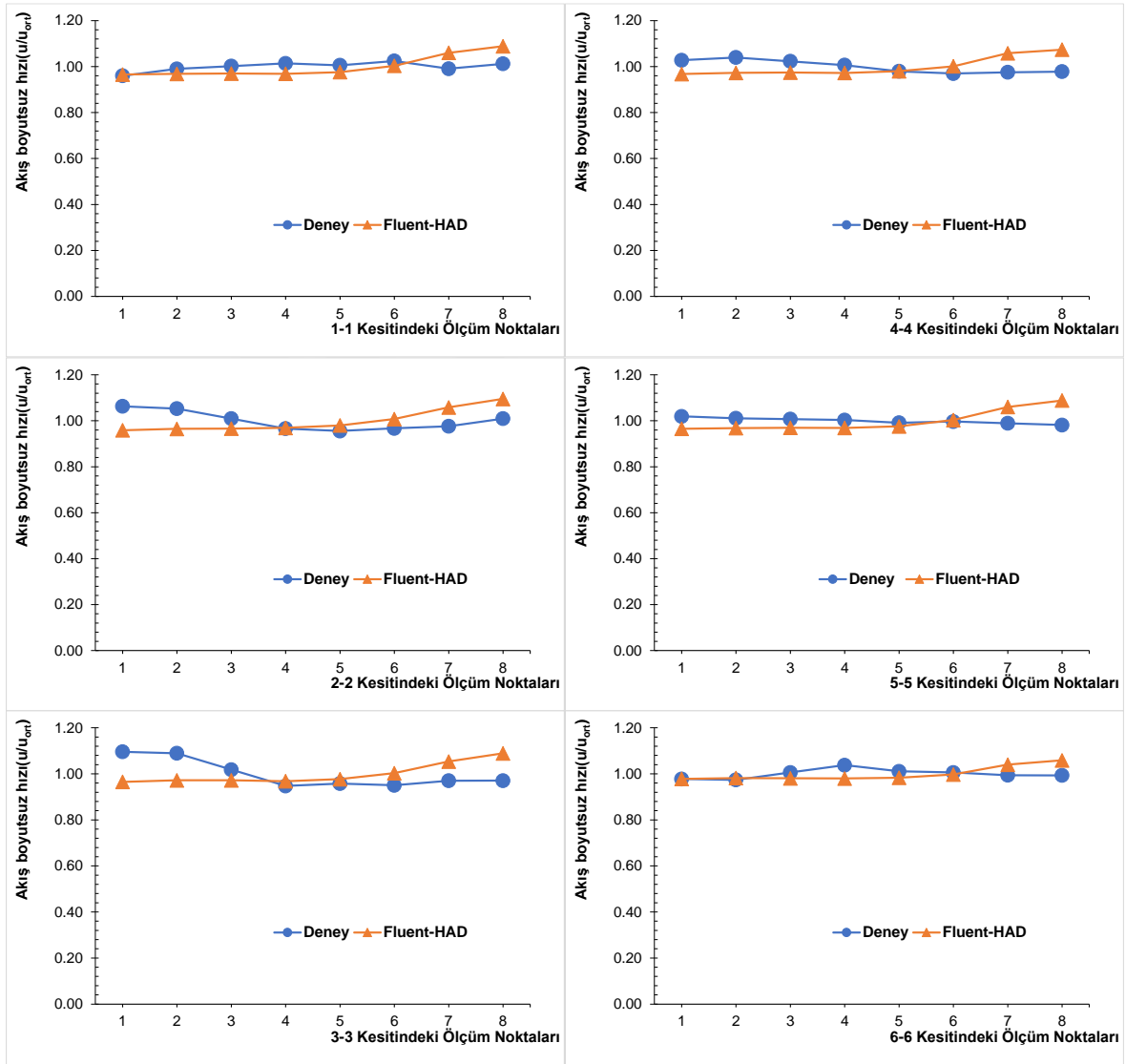
Çizelge 4.6. 20 lt/sn için B0 batık kanatsız durumdaki Deney ve FLUENT Sonuçları

Kesit no	Ölçüm noktası no	Deney Sonuçları	FLUENT HAD sonuçları	Hata (%)	Kesit no	Ölçüm noktası no	Deney Sonuçları	FLUENT HAD sonuçları	Hata (%)
1-1	1	0.960	0.965	0.57	4-4	1	1.028	0.968	5.85
	2	0.990	0.968	2.23		2	1.040	0.973	6.44
	3	1.002	0.970	3.25		3	1.023	0.974	4.80
	4	1.014	0.969	4.46		4	1.007	0.972	3.40
	5	1.006	0.976	2.98		5	0.980	0.980	0.02
	6	1.025	1.003	2.07		6	0.970	1.001	3.26
	7	0.991	1.060	6.98		7	0.975	1.058	8.52
	8	1.012	1.089	7.54		8	0.978	1.074	9.78
2-2	1	1.063	0.959	9.81	5-5	1	1.019	0.971	4.75
	2	1.053	0.965	8.34		2	1.011	0.976	3.43
	3	1.009	0.966	4.32		3	1.007	0.978	2.92
	4	0.966	0.969	0.33		4	1.003	0.978	2.57
	5	0.956	0.980	2.52		5	0.991	0.982	0.92
	6	0.967	1.008	4.20		6	0.997	1.002	0.56
	7	0.976	1.058	8.42		7	0.989	1.047	5.89
	8	1.010	1.095	8.48		8	0.982	1.065	8.51
3-3	1	1.096	0.965	11.93	6-6	1	0.978	0.978	0.03
	2	1.089	0.972	10.75		2	0.974	0.982	0.82
	3	1.018	0.972	4.56		3	1.006	0.981	2.49
	4	0.947	0.968	2.16		4	1.038	0.980	5.57
	5	0.958	0.977	1.99		5	1.011	0.983	2.73
	6	0.950	1.003	5.57		6	1.006	0.997	0.87
	7	0.970	1.054	8.60		7	0.994	1.040	4.60
	8	0.971	1.089	12.20		8	0.994	1.059	6.55
								Min. Hata	0.02%
								Maks. Hata	12.20%
								Ort. Hata	4.78%

Çizelge 4.6. incelendiğinde, her kesit içerisindeki maksimum hatalar sırasıyla, 1-1 kesitinde %7.54, 2-2 kesitinde %9.81, 3-3 kesitinde %12.20, 4-4 kesitinde %9.78, 5-5 kesitinde %8.51 ve 6-6 kesitinde %6.55 olduğu gözlenmiştir. Maksimum hata'nın 3-3 kesitinde olduğu, en az hatanın başlangıç 1-1 ve çıkış 6-6 kesitinde olup akım şartları ile uyumlu olduğu, tüm kesitler incelendiğinde ise; deneysel ve sayısal model arasında, minimum hata %0.02, ortalama hata %4.78 ve maksimum hata %12.20 oranlarında tespit edilmiştir. Genel olarak

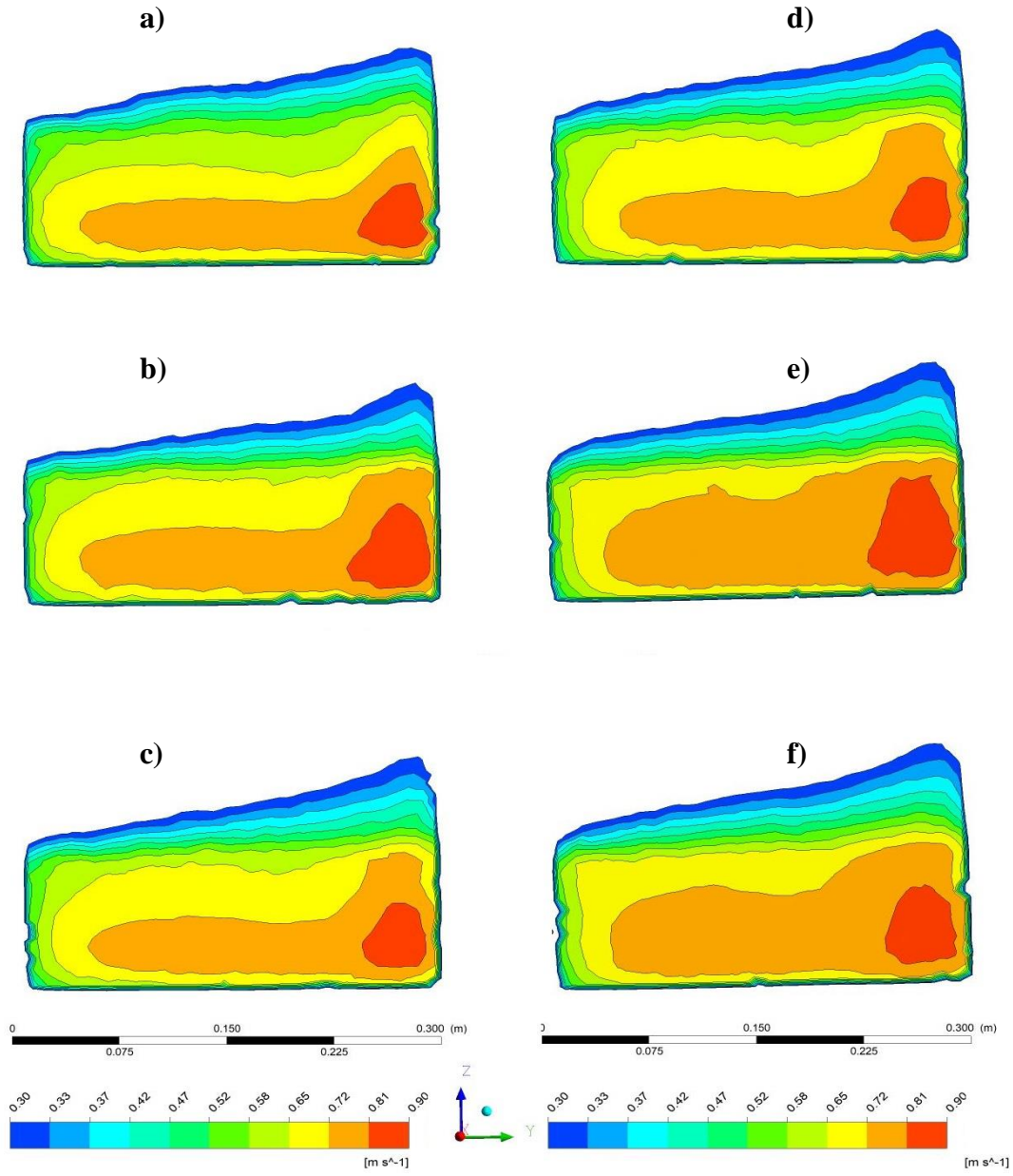
batık kanatsız durumlarda hem 10 lt/sn hem 20lt/sn akışta, deney ve sayısal model arasında uyum olduğu gözlenmiştir.

20 lt için, B0 batık kanatsız durumdaki deney ve sayısal modele ait akım hızı sonuçları değişimi 6 farklı kesitte ve 8 ölçüm noktası olarak Şekil 4.23’de verilmiştir.



Şekil 4.23. 20 lt/sn için B0 batık kanatsız durumdaki Deney ve FLUENT Sonuçları

Şekil 4.6 incelendiğinde, model sonuçlarından da tespit edildiği gibi, maksimum hata'nın 3-3 kesitinde, minimum hataların sırası 1-1 ve 6-6 kesitinde, deney ve sayısal model sonuçları ile uyumlu olduğu gözlenmiştir. Aynı veriler için sayısal modele ait enkesitsel ve contour hız değişimleri Şekil 4.24’de verilmiştir.



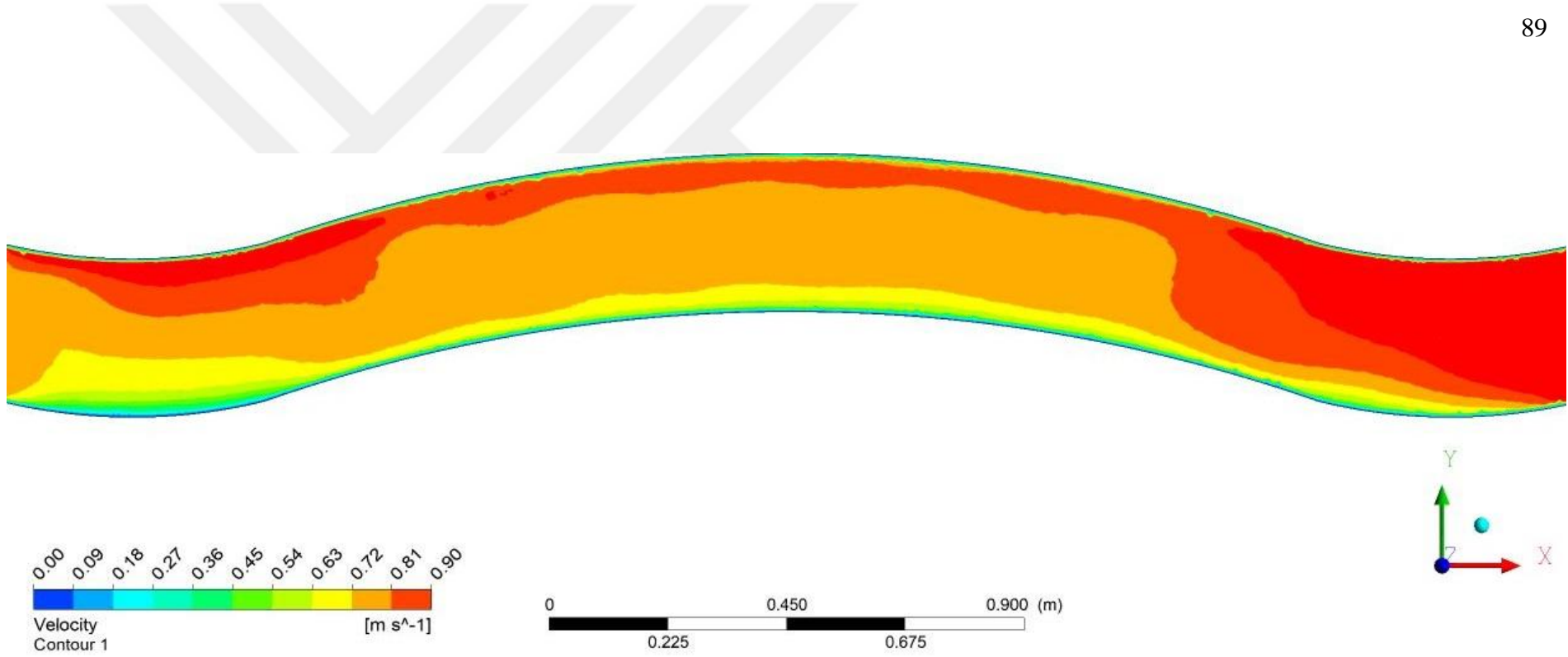
Şekil 4.24. 20 lt/sn akış koşullarındaki ve B0 batık kanatsız durum için 6 enkesitteki hız değişimleri: a) 1-1 enkesiti, b) 2-2 enkesiti, c) 3-3 enkesiti, d) 4-4 enkesiti, e) 5-5 enkesiti, f) 6-6 enkesiti

Şekil 4.24'de verilen model için kesitler incelendiğinde, iç kıyıda akım derinliği azalırken dış kıyıda akım derinliği arttığı, 1-1 kesitinden 6-6 kesitine kadar akım boyunca dış kıyıda oluşan maksimum hızın arttığı gözlenmiştir. Kurlardaki merkezkaç kuvvetinin etkisiyle, beklendiği gibi, kanal dış kıyı ve alt köşe bölgelerine yakın hızların ve derinliğin arttığı tespit edilmiştir.

0.6d derinlik için, sayısal modele ait contour hız değişimleri Şekil 4.25’de plan görünümü olarak verilmiştir.

Şekil 4.25’de, deney ölçümlerinin yapıldığı 0.6d’de dış kıyıda akım hızının arttığı görülmüştür. Ayrıca, açık kanal giriş kesitinde kurb yakınlarında hızların arttığı, çıkış kesitinde kesitin normal akım şartlarına döndüğü gözlenmiştir. 10 lt/sn akışta ve B0 batık kanatsız durum ile karşılaştırıldığında, 20 lt/sn akıştaki akım hızlarında ve akım derinliklerinde artış gözlenmiştir.





Şekil 4.25. 20 lt/sn için B0 batık kanatsız durumdaki 0.6d'daki akım hızı değişiminin plan görünümü

20 lt/sn için B1 tekli batık kanat durumu için boyutsuz deney ve FLUENT sonuçları Çizelge 4.7'de verilmiştir.

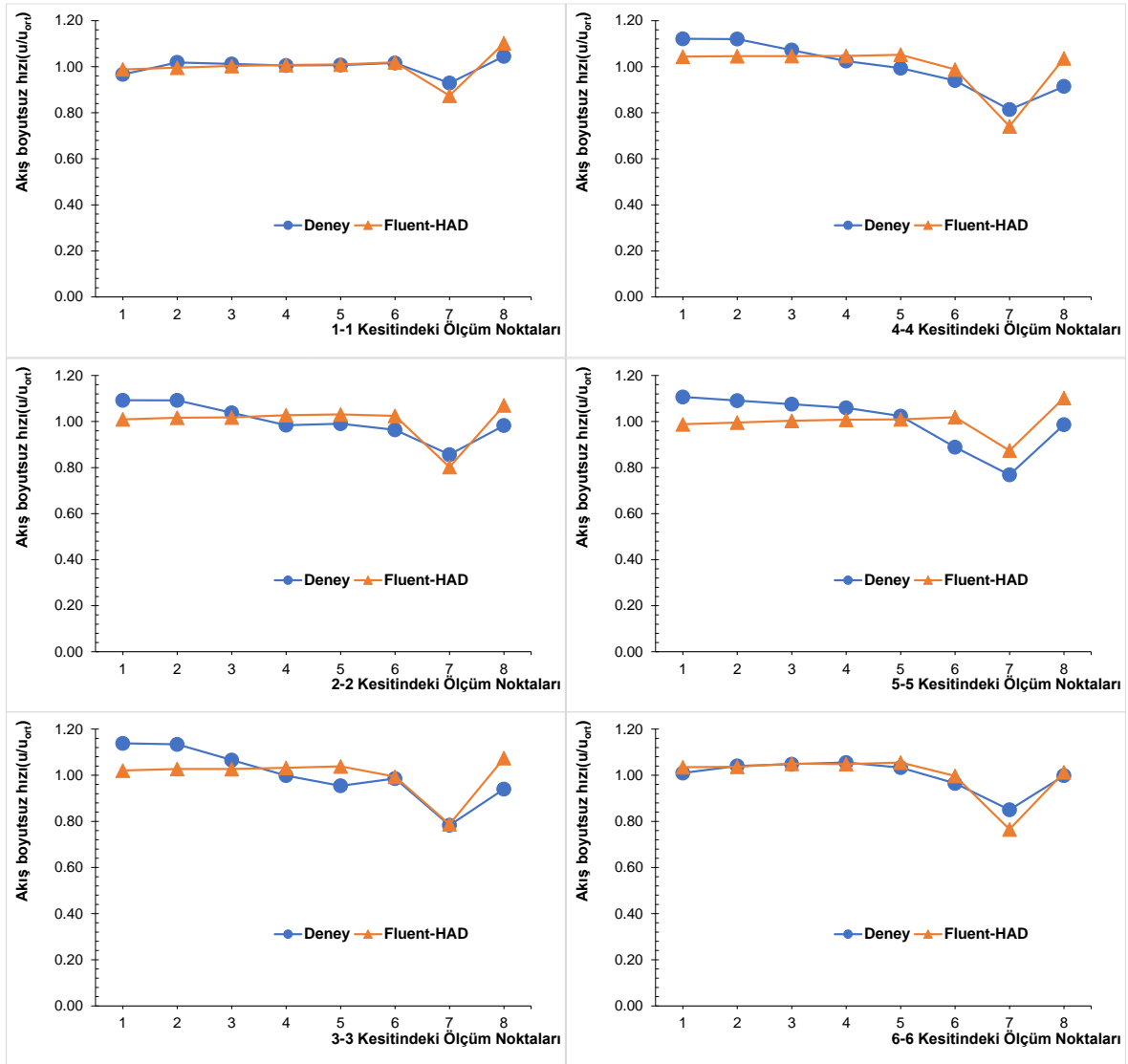
Çizelge 4.7. 20 lt/sn için B1 tekli batık kanat durumundaki Deney ve FLUENT Sonuçları

Kesit no	Ölçüm noktası no	Deney Sonuçları	FLUENT HAD sonuçları	Hata (%)	Kesit no	Ölçüm noktası no	Deney Sonuçları	FLUENT HAD sonuçları	Hata (%)
1-1	1	0.966	0.988	2.26	4-4	1	1.121	1.044	6.93
	2	1.019	0.996	2.27		2	1.120	1.046	6.62
	3	1.012	1.003	0.87		3	1.072	1.046	2.44
	4	1.005	1.008	0.25		4	1.025	1.047	2.15
	5	1.007	1.010	0.22		5	0.994	1.052	5.84
	6	1.016	1.019	0.27		6	0.940	0.988	5.15
	7	0.929	0.874	5.88		7	0.814	0.741	8.91
	8	1.045	1.102	5.47		8	0.914	1.036	13.37
2-2	1	1.092	1.009	7.58	5-5	1	1.107	1.050	5.19
	2	1.092	1.017	6.89		2	1.091	1.047	4.02
	3	1.038	1.018	1.96		3	1.075	1.051	2.23
	4	0.984	1.027	4.39		4	1.060	1.053	0.62
	5	0.991	1.031	4.07		5	1.024	1.055	3.06
	6	0.964	1.025	6.33		6	0.889	0.970	9.19
	7	0.856	0.803	6.28		7	0.768	0.759	1.20
	8	0.983	1.070	8.91		8	0.987	1.015	2.86
3-3	1	1.138	1.020	10.36	6-6	1	1.010	1.035	2.50
	2	1.134	1.027	9.42		2	1.040	1.037	0.36
	3	1.066	1.027	3.66		3	1.048	1.050	0.21
	4	0.998	1.032	3.38		4	1.055	1.048	0.68
	5	0.954	1.038	8.81		5	1.033	1.055	2.13
	6	0.986	0.994	0.81		6	0.965	0.997	3.33
	7	0.783	0.787	0.51		7	0.850	0.765	9.99
	8	0.940	1.074	14.25		8	0.998	1.013	1.44
								Min. Hata	0.21%
								Maks. Hata	14.25%
								Ort. Hata	4.49%

Çizelge 4.7. incelendiğinde, her kesit içerisindeki maksimum hatalar sırasıyla, 1-1 kesitinde %5.88, 2-2 kesitinde %8.91, 3-3 kesitinde %14.25, 4-4 kesitinde %13.37, 5-5 kesitinde %9.19 ve 6-6 kesitinde %9.99 olduğu gözlenmiştir. Maksimum hata'nın 3-3 kesitinde olduğu, en az hatanın 1-1 ve 6-6 kesitinde olup akım şartları ile uyumlu olduğu, tüm kesitler incelendiğinde ise; deneysel ve sayısal model arasında, minimum hata %0.21, ortalama hata %4.49 ve maksimum hata %14.25 oranlarında tespit edilmiştir. B0 batık

kanatsız durumda karşılaştırıldığında, B1 tekli batık kanat durumunda maksimum hata oranının arttığı gözlenmiştir.

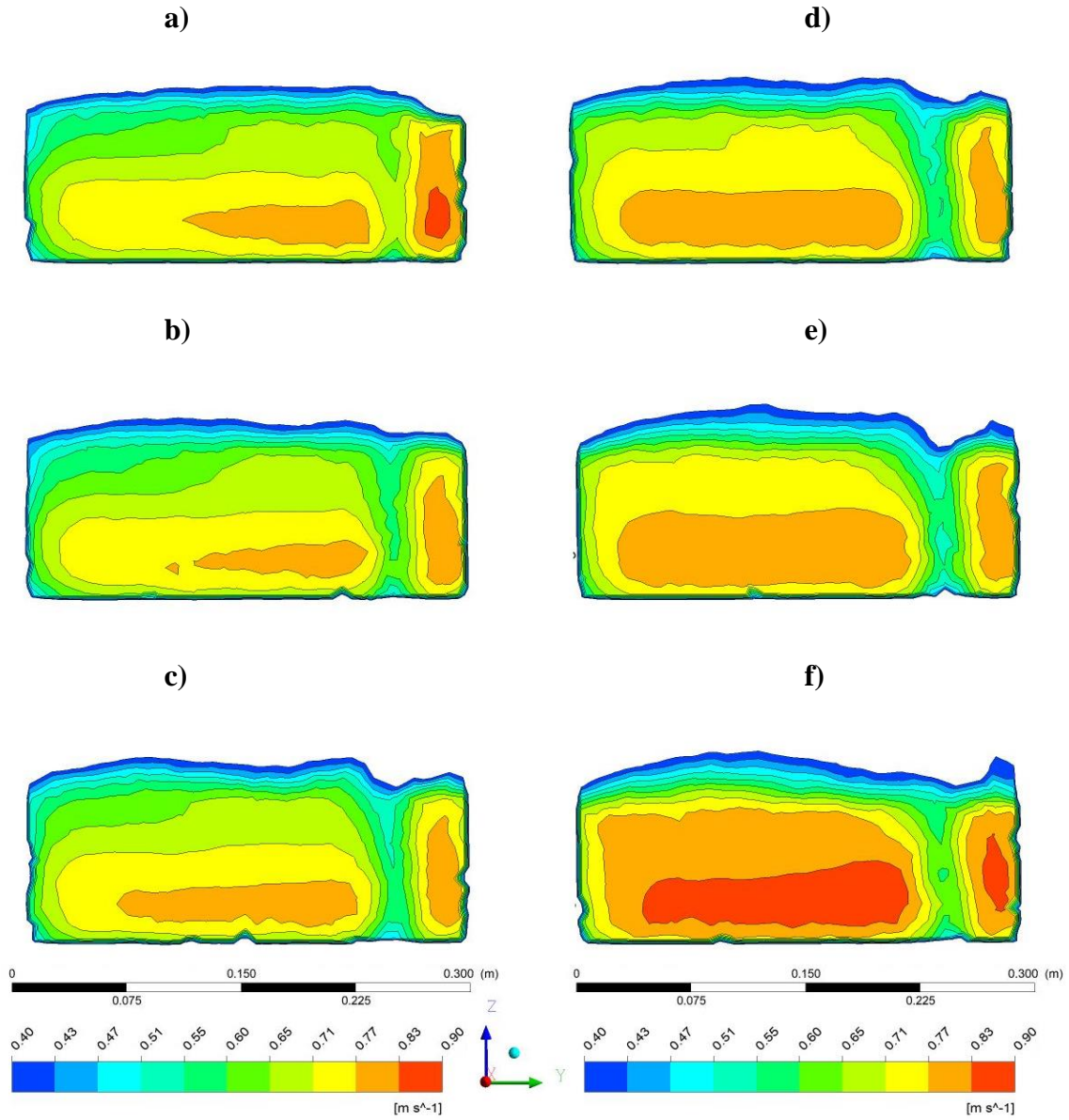
20 lt/sn için B1 tekli batık kanat durumundaki deney ve sayısal modele ait akım hızı sonuçları değişimi 6 farklı kesitte ve 8 ölçüm noktası olarak Şekil 4.26’da verilmiştir.



Şekil 4.26. 20 lt/sn için B1 tekli batık kanat durumundaki Deney ve FLUENT Sonuçları

Şekil 4.26. incelendiğinde, model sonuçlarından da tespit edildiği gibi, maksimum hata'nın 2-2 kesitinde, minimum hataların sırasıyla 1-1 ve 6-6 kesitlerinde uyumlu olduğu, deney ve sayısal model sonuçları ile uyumlu olduğu gözlenmiştir.

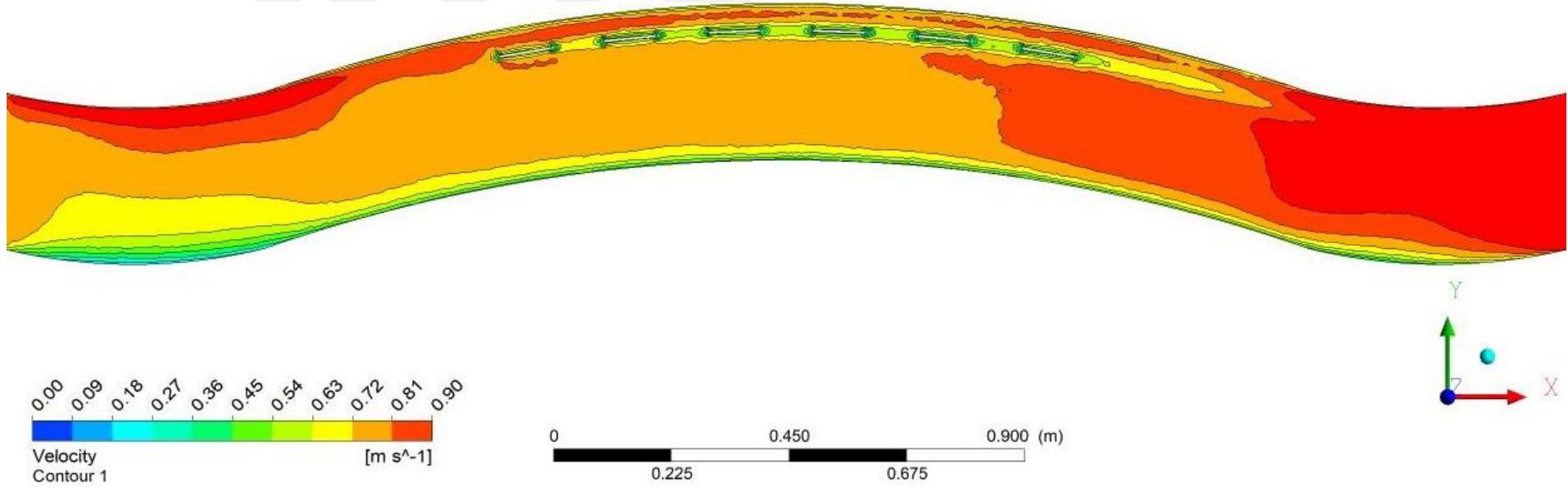
Sayısal modele ait enkesitsel ve contour olarak hız değişimleri Şekil 4.27’de verilmiştir.



Şekil 4.27. 20 lt/sn akış koşullarındaki ve B1 tekli kanat durumu için 6 enkesitteki hız değişimleri: a) 1-1 enkesiti, b) 2-2 enkesiti, c) 3-3 enkesiti, d) 4-4 enkesiti, e) 5-5 enkesiti, f) 6-6 enkesiti

Şekil 4.27’de verilen model için kesitler incelendiğinde, batık kanat sonrasında akım hızlarının azaldığı, kesitlerde batık kanatın etkisiyle 2 farklı akım oluştuğu gözlenmiştir. 1-1 kesitinden 6-6 kesitine kadar, akım boyunca dış kıyıda oluşan maksimum hızın azaldığı, iç kıyıda çıkış kesitinde maksimum hızın arttığı gözlenmiştir. Dış kıyıda alt ve köşe bölgelere ve batık kanat’a yakın bölgelerde hızların azaldığı buna bağlı olarak da derinliğin dengelendiği tespit edilmiştir.

0.6d derinlik için, sayısal modele ait contour hız değişimleri Şekil 4.28’de plan görünümü olarak verilmiştir.



Şekil 4.28. 20 lt/sn için B1 tekli batık kanat durumundaki 0.6d'daki akım hızı değişiminin plan görünümü

Şekil 4.28'de, deney ölçümlerinin yapıldığı 0.6d'de dış kıyıda akım hızının azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, açık kanal giriş kesitinde kurb yakınlarında hızların arttığı, çıkış kesitinde kesitin normal akım şartlarına döndüğü gözlenmiştir. Şekil'de göre batık kanat etkisiyle akımın iç kıyıya yönlendiği görülmüştür.

20 lt/sn için B2 ikili batık kanat durumu için boyutsuz deney ve FLUENT sonuçları Çizelge 4.8.'de verilmiştir.

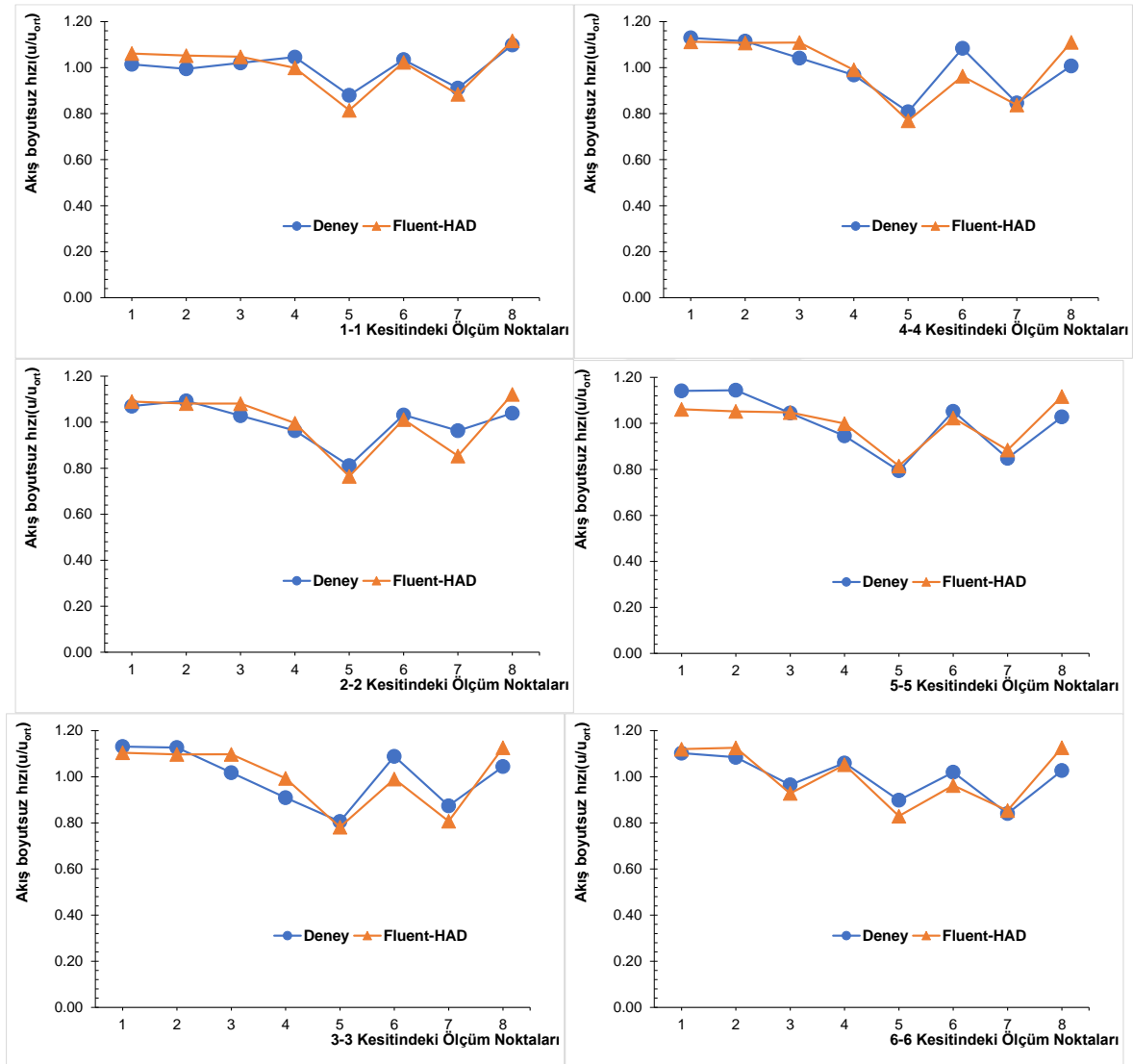
Çizelge 4.8. 20 lt/sn için B2 ikili Batık Kanat durumundaki Deney ve FLUENT Sonuçları

Kesit no	Ölçüm noktası no	Deney Sonuçları	FLUENT HAD sonuçları	Hata (%)	Kesit no	Ölçüm noktası no	Deney Sonuçları	FLUENT HAD sonuçları	Hata (%)
1-1	1	1.014	1.061	4.62	4-4	1	1.130	1.112	1.51
	2	0.995	1.052	5.78		2	1.115	1.107	0.69
	3	1.020	1.048	2.65		3	1.042	1.109	6.49
	4	1.046	0.999	4.48		4	0.968	0.991	2.33
	5	0.880	0.815	7.40		5	0.808	0.769	4.80
	6	1.035	1.024	1.06		6	1.084	0.963	11.16
	7	0.911	0.884	2.96		7	0.846	0.838	1.01
	8	1.098	1.117	1.68		8	1.007	1.110	10.21
2-2	1	1.070	1.090	1.88	5-5	1	1.141	1.134	0.63
	2	1.093	1.081	1.11		2	1.144	1.127	1.52
	3	1.028	1.081	5.12		3	1.045	1.120	7.13
	4	0.963	0.996	3.40		4	0.946	1.006	6.41
	5	0.811	0.765	5.72		5	0.795	0.742	6.67
	6	1.032	1.012	1.89		6	1.052	0.950	9.77
	7	0.963	0.854	11.37		7	0.848	0.817	3.64
	8	1.039	1.121	7.89		8	1.028	1.105	7.40
3-3	1	1.131	1.105	2.36	6-6	1	1.088	1.099	0.98
	2	1.127	1.097	2.62		2	1.070	1.104	3.17
	3	1.018	1.098	7.81		3	1.058	1.064	0.50
	4	0.909	0.993	9.23		4	1.046	1.033	1.31
	5	0.806	0.782	2.99		5	0.887	0.814	8.22
	6	1.089	0.991	9.03		6	1.007	0.944	6.20
	7	0.875	0.808	7.67		7	0.830	0.838	0.96
	8	1.045	1.127	7.86		8	1.014	1.105	8.99
								Min. Hata	0.50%
								Maks. Hata	11.37%
								Ort. Hata	4.80%

Çizelge 4.8. incelendiğinde, her kesit içerisindeki maksimum hatalar sırasıyla, 1-1 kesitinde %7.40, 2-2 kesitinde %11.37, 3-3 kesitinde %9.03, 4-4 kesitinde %11.16, 5-5 kesitinde %9.77 ve 6-6 kesitinde %8.99 olduğu gözlenmiştir. Maksimum hata'nın 2-2 kesitinde olduğu, en az hatanın 1-1 ve 5-5 kesitlerinde olup akım şartları ile uyumlu olduğu, tüm kesitler incelendiğinde ise; deneysel ve sayısal model arasında, minimum hata %0.50, ortalama hata %4.80 ve maksimum hata %11.37 oranlarında tespit edilmiştir. B0 batık

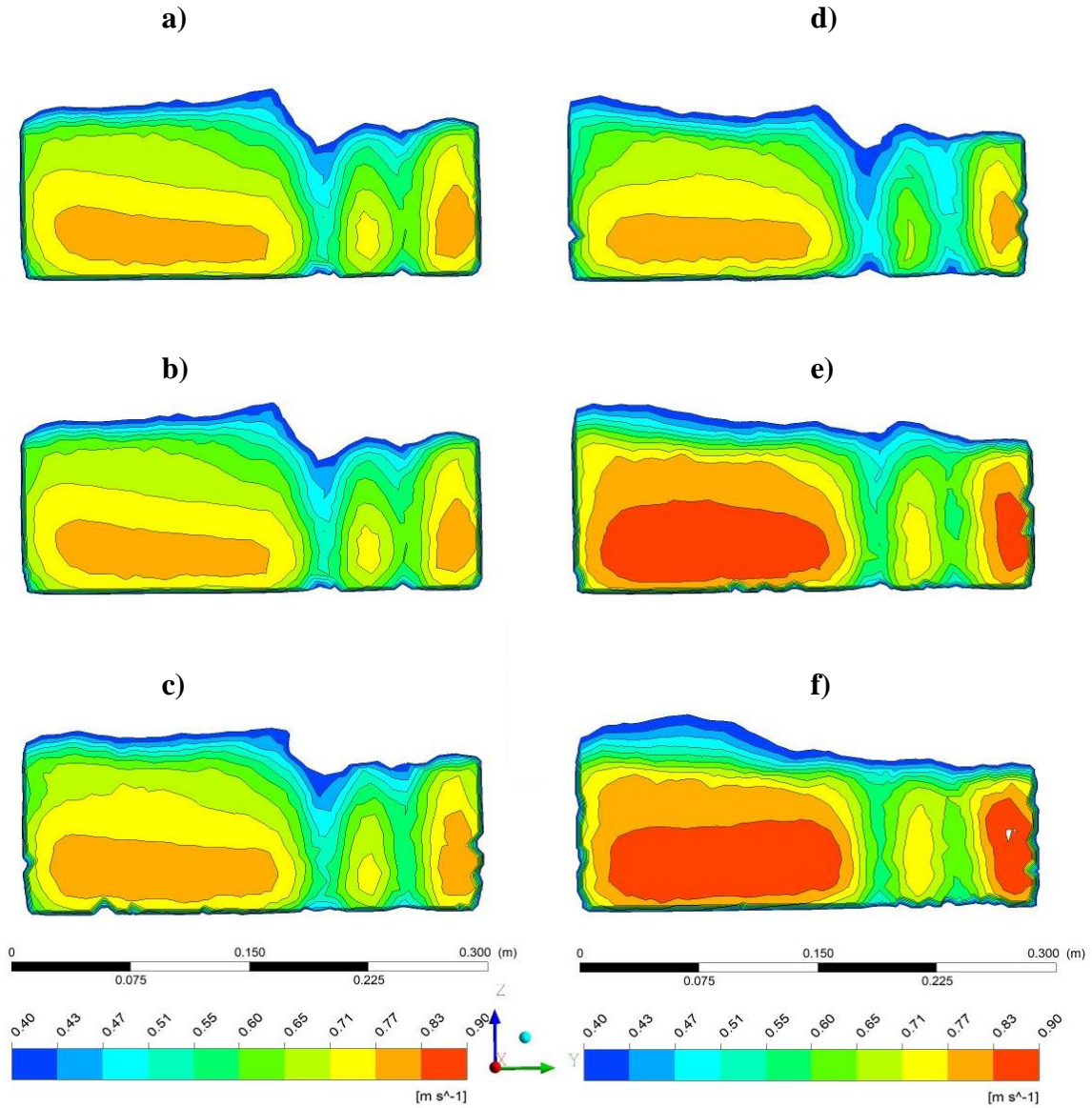
kanatsız ve B1 tekli batık kanat durumlarıyla karşılaştırıldığında, B2 ikili batık kanat durumunda hata oranının azaldığı gözlenmiştir.

20 lt/sn için B2 ikili batık kanat durumundaki deney ve sayısal modele ait akım hızı sonuçları değişimi 6 farklı kesitte ve 8 ölçüm noktası olarak Şekil 4.29’da verilmiştir.



Şekil 4.29. 20 lt/sn için B2 ikili batık kanat durumundaki Deney ve FLUENT Sonuçları

Şekil 4.29. incelendiğinde, model sonuçlarından da tespit edildiği gibi, maksimum hata'nın 2-2 kesitinde, minimum hataların sırasıyla 1-1 ve 5-5 kesitlerinde uyumlu olduğu, deney ve sayısal model sonuçları ile uyumlu olduğu gözlenmiştir. Aynı veriler için sayısal modele ait enkesitsel ve contour hız değişimleri Şekil 4.30’da verilmiştir.



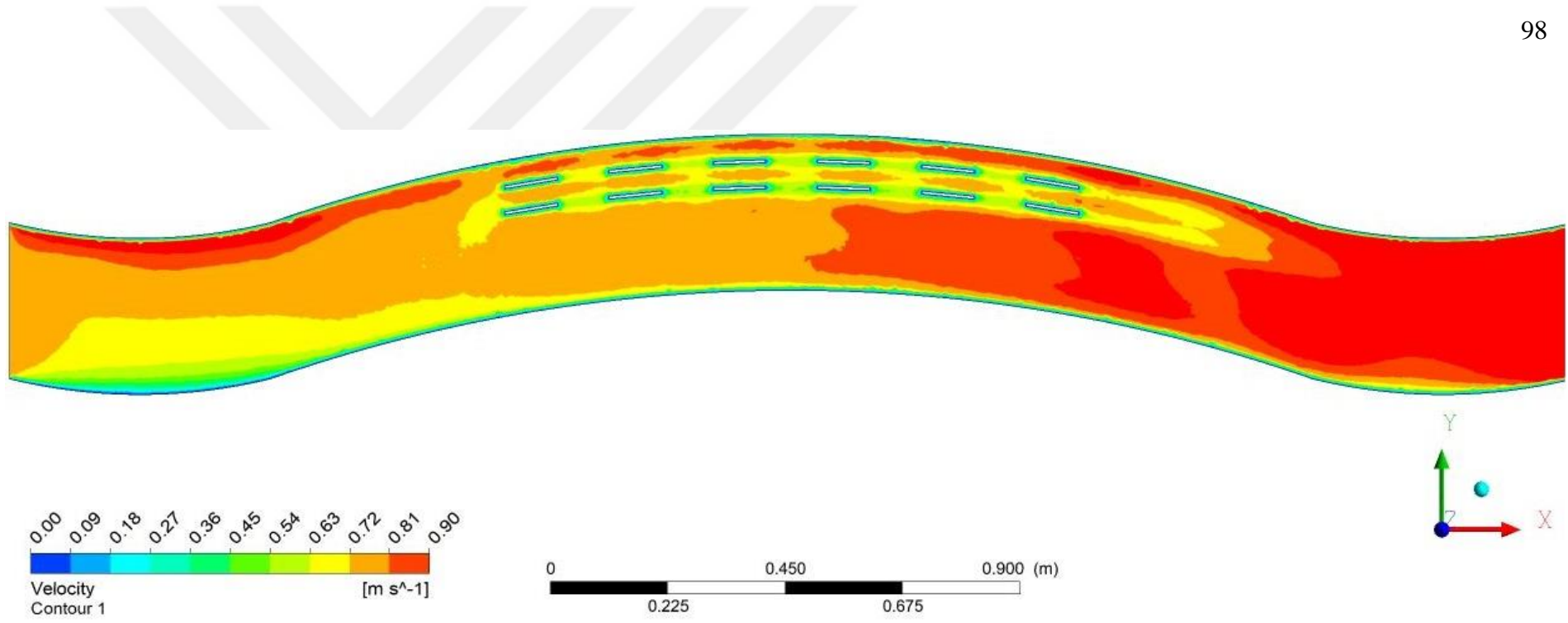
Şekil 4.30. 20 lt/sn akış koşullarındaki ve B2 ikili batık kanat durumu için 6 enkesitteki hız değişimleri: a) 1-1 enkesiti, b) 2-2 enkesiti, c) 3-3 enkesiti, d) 4-4 enkesiti, e) 5-5 enkesiti, f) 6-6 enkesiti

Şekil 4.30'da verilen model için kesitler incelendiğinde, batık kanat sonrasında akım hızlarının azaldığı, kesitlerde batık kanatın etkisiyle 3 farklı akım oluştuğu gözlenmiştir. 1-1 kesitinden 6-6 kesitine kadar akım boyunca dış kıyıda oluşan maksimum hızın azaldığı, iç kıyıda çıkış kesitinde maksimum hızın arttığı gözlenmiştir. Dış kıyıda alt ve köşe bölgelere ve batık kanat'a yakın bölgelerde hızların azaldığı buna bağlı olarak da derinliğin dengelendiği tespit edilmiştir.

0.6d derinlik için, sayısal modele ait contour hız değişimleri Şekil 4.31’de plan görünümü olarak verilmiştir.

Şekil 4.31’de, deney ölçümlerinin yapıldığı 0.6d’de dış kıyıda akım hızının azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, açık kanal giriş kesitinde kurb yakınlarında hızların arttığı, çıkış kesitinde kesitin normal akım şartlarına döndüğü gözlenmiştir. Şekil’de, batık kanat etkisiyle akımın iç kıyıya yönlendiğı görülmüştür.





Şekil 4.31. 20 lt/sn için B2 ikili batık kanat durumundaki 0.6d'daki akım hızı değişiminin plan görünümü

20 lt/sn için B3 üçlü batık kanat durumu için boyutsuz deney ve FLUENT sonuçları Çizelge 4.9'de verilmiştir.

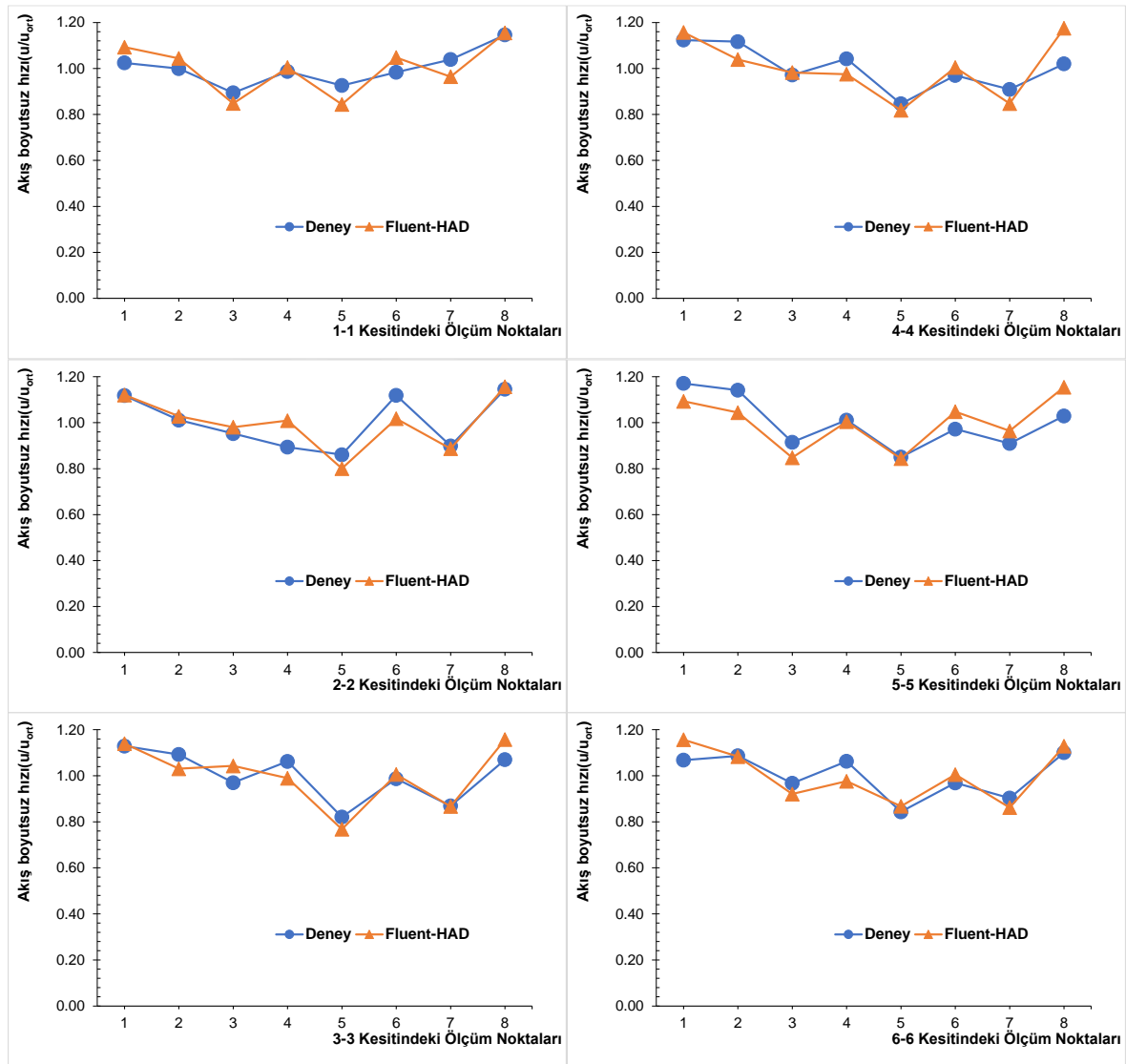
Çizelge 4.9. 20 lt/sn için B3 üçlü batık kanat durumundaki Deney ve FLUENT Sonuçları

Kesit no	Ölçüm noktası no	Deney Sonuçları	FLUENT HAD sonuçları	Hata (%)	Kesit no	Ölçüm noktası no	Deney Sonuçları	FLUENT HAD sonuçları	Hata (%)
1-1	1	1.025	1.093	6.68	4-4	1	1.124	1.157	2.99
	2	0.999	1.044	4.47		2	1.117	1.039	6.96
	3	0.894	0.848	5.18		3	0.972	0.983	1.13
	4	0.987	1.004	1.74		4	1.042	0.975	6.43
	5	0.926	0.844	8.89		5	0.846	0.818	3.35
	6	0.984	1.048	6.51		6	0.970	1.005	3.60
	7	1.039	0.964	7.17		7	0.909	0.848	6.75
	8	1.146	1.155	0.77		8	1.020	1.175	15.19
2-2	1	1.118	1.121	0.22	5-5	1	1.171	1.187	1.33
	2	1.011	1.028	1.64		2	1.141	1.084	5.00
	3	0.952	0.980	2.93		3	0.915	0.838	8.37
	4	0.894	1.009	12.92		4	1.011	0.975	3.64
	5	0.861	0.801	6.98		5	0.850	0.835	1.82
	6	1.119	1.017	9.08		6	0.972	0.998	2.71
	7	0.899	0.887	1.35		7	0.910	0.904	0.67
	8	1.146	1.157	0.98		8	1.029	1.180	14.59
3-3	1	1.129	1.140	0.97	6-6	1	1.068	1.157	8.32
	2	1.092	1.031	5.66		2	1.086	1.083	0.28
	3	0.970	1.043	7.56		3	0.967	0.921	4.81
	4	1.062	0.989	6.88		4	1.063	0.976	8.11
	5	0.820	0.768	6.41		5	0.844	0.867	2.83
	6	0.987	1.005	1.86		6	0.969	1.005	3.71
	7	0.869	0.867	0.28		7	0.903	0.862	4.55
	8	1.070	1.157	8.16		8	1.100	1.129	2.56
								Min. Hata	0.22%
								Maks. Hata	15.19%
								Ort. Hata	4.90%

Çizelge 4.9. incelendiğinde, her kesit içerisindeki maksimum hatalar sırasıyla, 1-1 kesitinde %8.89, 2-2 kesitinde %12.92, 3-3 kesitinde %8.16, 4-4 kesitinde %15.19, 5-5 kesitinde %14.59 ve 6-6 kesitinde %8.32 olduğu gözlenmiştir. Maksimum hata'nın 4-4 kesitinde olduğu, en az hatanın 1-1 ve 6-6 kesitlerinde olup akım şartları ile uyumlu olduğu, tüm kesitler incelendiğinde ise; deneysel ve sayısal model arasında, minimum hata %0.22, ortalama hata %4.90 ve maksimum hata %15.19 oranlarında tespit edilmiştir. B0 batık

kanatsız ve B1 tekli batık kanat durumlarıyla karşılaştırıldığında, B3 üçlü batık kanat durumunda maksimum hata oranının arttığı gözlenmiştir.

20 lt/sn için B3 üçlü batık kanat durumundaki deney ve sayısal modele ait akım hızı sonuçları değişimi 6 farklı kesitte ve 8 ölçüm noktası olarak Şekil 4.32’de verilmiştir.

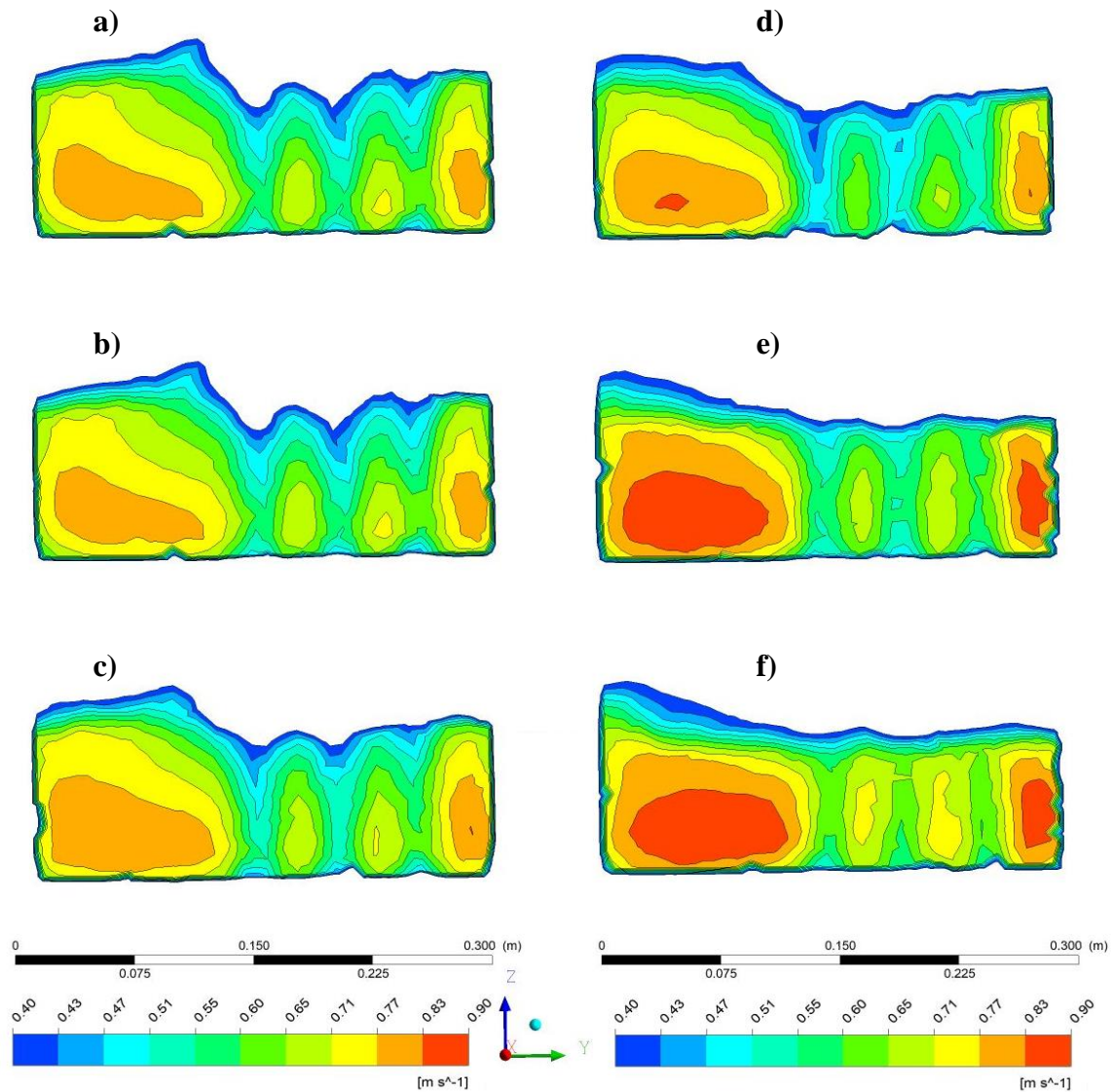


Şekil 4.32. 20 lt/sn için B3 üçlü batık kanat durumundaki Deney ve FLUENT Sonuçları

Şekil 4.32. incelendiğinde, model sonuçlarından da tespit edildiği gibi, maksimum hata'nın 4-4 kesitinde, minimum hatanın 1-1 ve 6-6 kesitlerinde, deney ve sayısal model sonuçları ile uyumlu olduğu gözlenmiştir. 20 lt/sn akış durumunda, batık kanatlı yapıların durumlarda batık kanatsız duruma göre hata oranlarında az da olsa artışlar görülmektedir. Bunun

sebebinin batık kanatlı durumların, batık kanatsız duruma göre akım hızlarının davranışının farklılık göstermesidir.

20 lt/sn için B3 üçlü batık kanat durumundaki sayısal modele ait enkesitsel ve contour olarak hız değişimleri Şekil 4.33'de verilmiştir.



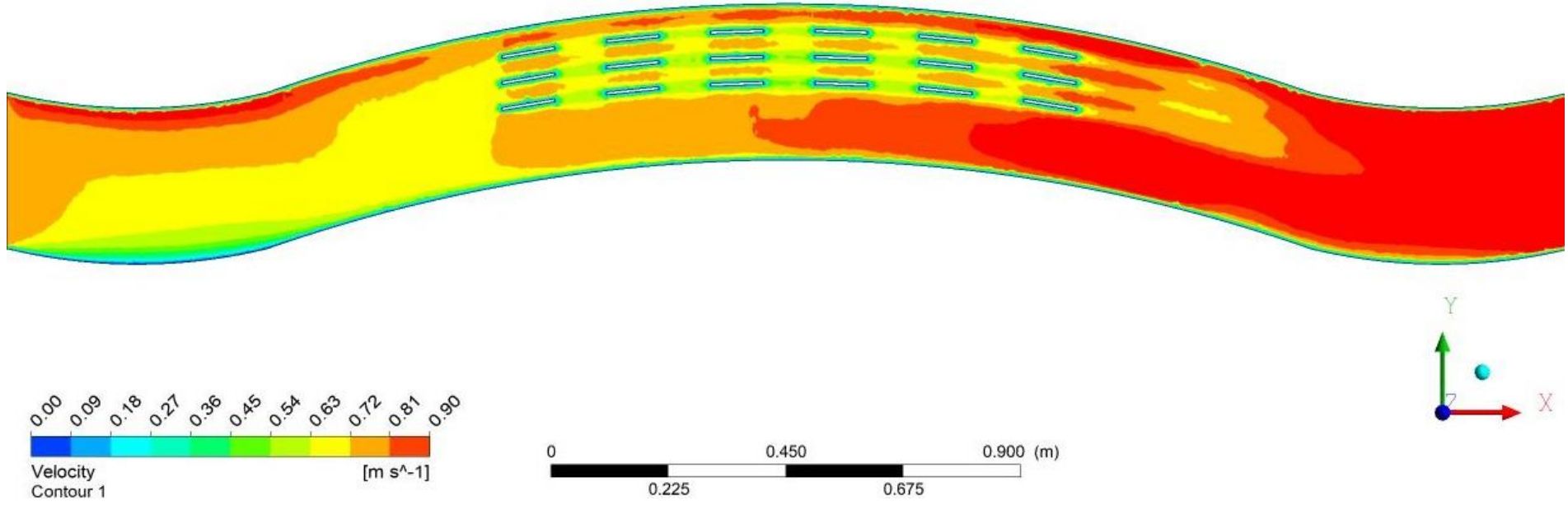
Şekil 4.33. 20 lt/sn akış koşullarındaki ve B3 üçlü batık kanat durumu için 6 enkesitteki hız değişimleri: a) 1-1 enkesiti, b) 2-2 enkesiti, c) 3-3 enkesiti, d) 4-4 enkesiti, e) 5-5 enkesiti, f) 6-6 enkesiti

Şekil 4.33'de verilen model için kesitler incelendiğinde, batık kanat sonrasında akım hızlarının azaldığı, kesitlerde batık kanatın etkisiyle 4 farklı akım olduğu gözlenmiştir. 1-

1 kesitinden 6-6 kesitine kadar akım boyunca dış kıyıda oluşan maksimum hızın azaldığı, iç kıyıda çıkış kesitinde maksimum hızın arttığı gözlenmiştir. Dış kıyıda alt ve köşe bölgelere ve batık kanat'a yakın bölgelerde hızların azaldığı buna bağlı olarak da derinliğin dengelendiği tespit edilmiştir.

0.6d derinlik için, sayısal modele ait contour hız değişimleri Şekil 4.34'de plan görünümü olarak verilmiştir.

Şekil 4.34'de, deney ölçümlerinin yapıldığı 0.6d'de dış kıyıda akım hızının azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, açık kanal giriş kesitinde kurb yakınlarında hızların arttığı, çıkış kesitinde kesitin normal akım şartlarına döndüğü gözlenmektedir. Şekil 4.34'de, batık kanat etkisiyle akımın iç kıyıya yönlendiği görülmüştür. Batık kanatlı durumlar içerisinde B3 üçlü batık kanat durumunun, dış kıyıdaki derinliği azaltmada ve akım hızını dengelemede en etkili durum olduğu tespit edilmiştir.



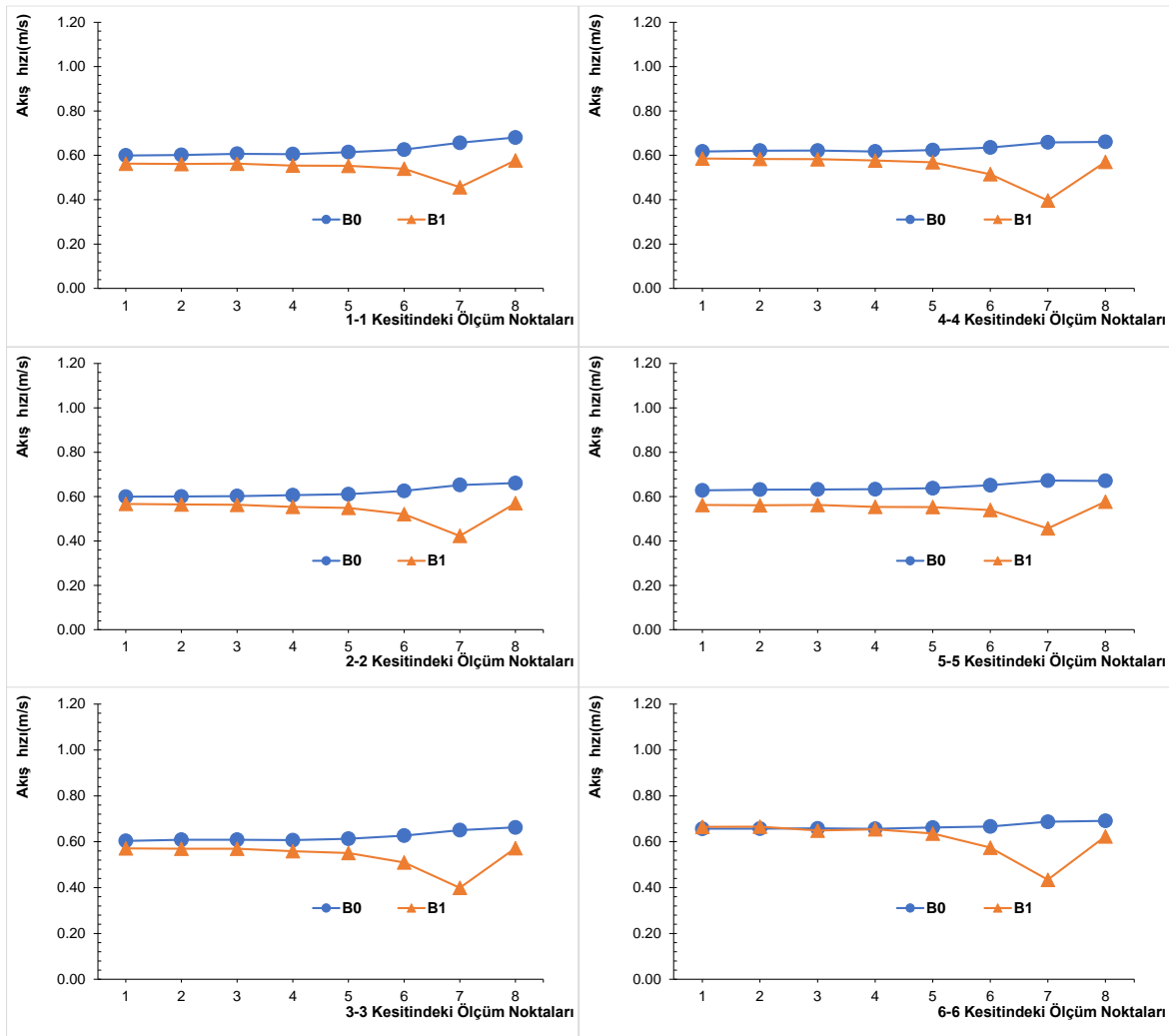
Şekil 4.34. 20 lt/sn için B3 üçlü batık kanat durumundaki 0.6d'daki akım hızı değişiminin plan görünümü

4.4. Batık Kanat Sayısal Modellerine Göre 0.6d'de Akım Hızı Etkisinin İrdelenmesi

Bu bölümde, sayısal model ile batık kanatlı durumlar ile batık kanatsız durum arasında akım hızlarının etkisi incelenmiştir. Batık Kanat sonrasında, iç ve dış şeve etkisi araştırılmıştır. 10 lt/sn ve 20 lt/sn durumları için sırasıyla verilmiştir. Çizelge 4.10 ve Şekil 4.35'de 10 lt/sn durumunda B0 batık kanatsız ve B1 tekli batık kanat durumları karşılaştırılarak, akım hızındaki(m/s) değişimler verilmiştir.

Çizelge 4.10. 10 lt/sn durumunda B0 ve B1 arasında batık kanat etkisinin incelenmesi

Kesit no	Ölçüm noktası no	B0 Sonuçları (m/s)	B1 Sonuçları (m/s)	Değişim (%)	Kesit no	Ölçüm noktası no	B0 Sonuçları (m/s)	B1 Sonuçları (m/s)	Değişim (%)	
1-1	1	0.600	0.562	6.19	4-4	1	0.617	0.586	5.11	
	2	0.602	0.561	6.78		2	0.621	0.584	5.98	
	3	0.607	0.562	7.33		3	0.622	0.583	6.23	
	4	0.606	0.554	8.56		4	0.617	0.577	6.61	
	5	0.614	0.553	10.03		5	0.624	0.569	8.80	
	6	0.626	0.540	13.80		6	0.635	0.515	18.95	
	7	0.657	0.457	30.49		7	0.659	0.397	39.78	
	8	0.680	0.577	15.15		8	0.661	0.571	13.63	
2-2	1	0.600	0.567	5.41	5-5	1	0.628	0.625	0.57	
	2	0.600	0.564	6.01		2	0.632	0.621	1.67	
	3	0.602	0.563	6.50		3	0.632	0.616	2.57	
	4	0.606	0.554	8.68		4	0.633	0.611	3.47	
	5	0.611	0.549	10.11		5	0.638	0.594	6.94	
	6	0.626	0.521	16.78		6	0.651	0.515	20.88	
	7	0.653	0.423	35.21		7	0.672	0.402	40.15	
	8	0.661	0.570	13.74		8	0.671	0.583	13.08	
3-3	1	0.604	0.571	5.43	6-6	1	0.657	0.665	-1.22	
	2	0.609	0.570	6.40		2	0.657	0.666	-1.32	
	3	0.609	0.570	6.38		3	0.658	0.649	1.45	
	4	0.607	0.559	7.92		4	0.656	0.654	0.33	
	5	0.613	0.551	10.13		5	0.662	0.636	3.95	
	6	0.627	0.510	18.66		6	0.666	0.574	13.85	
	7	0.651	0.399	38.66		7	0.687	0.434	36.80	
	8	0.662	0.572	13.63		8	0.691	0.623	9.80	
									Min. Değişim	-1.32%
									Maks. Değişim	40.15%
									Ort. Değişim	11.79%

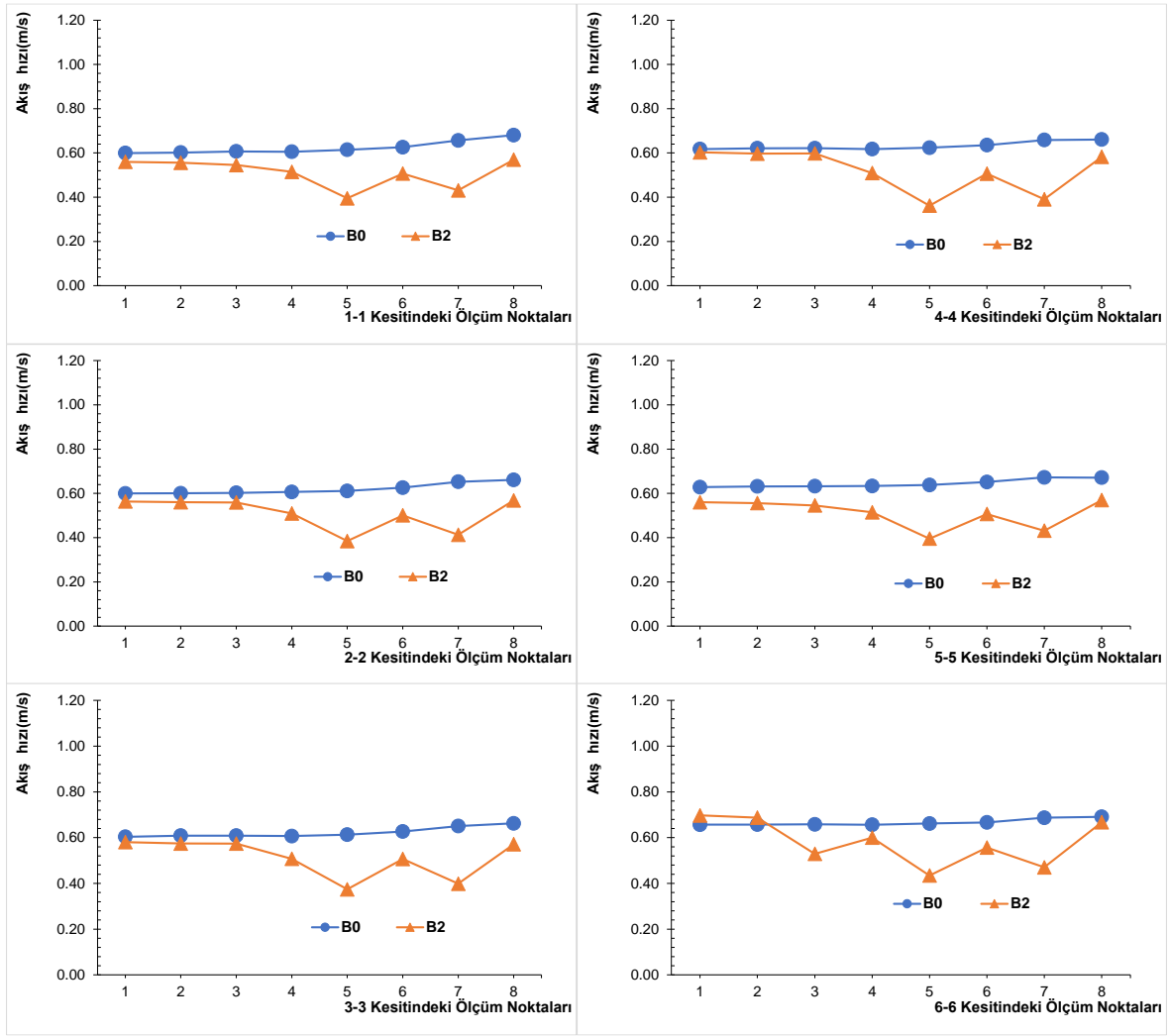


Şekil 4.35. 10 lt/sn akış durumunda B1 batık kanat etkisi

Çizelge 4.10. ve Şekil 4.35. incelendiğinde, B1 tekli batık kanat durumunda, kanat sonrasında %30-40 arasında akım hızını azalttığı gözlenmiştir. Genel olarak akım hızında azalma görülmektedir. Ayrıca iç ve dış şevde (1. ve 8. noktalarda) akım hızlarının birbirine yakın olduğu, akımın kanatsız duruma göre biraz daha dengede olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 4.11 ve Şekil 4.36'de 10 lt/sn durumunda B0 ve B2 arasında batık kanat etkisi incelenmiştir.

Çizelge 4.11. 10 lt/sn durumunda B0 ve B2 arasında batık kanat etkisinin incelenmesi

Kesit no	Ölçüm noktası no	B0 Sonuçları (m/s)	B2 Sonuçları (m/s)	Değişim (%)	Kesit no	Ölçüm noktası no	B0 Sonuçları (m/s)	B2 Sonuçları (m/s)	Değişim (%)	
1-1	1	0.600	0.560	6.61	4-4	1	0.617	0.603	2.37	
	2	0.602	0.556	7.63		2	0.621	0.597	3.87	
	3	0.607	0.545	10.11		3	0.622	0.598	3.77	
	4	0.606	0.515	15.02		4	0.617	0.509	17.53	
	5	0.614	0.395	35.68		5	0.624	0.362	42.00	
	6	0.626	0.507	19.07		6	0.635	0.507	20.27	
	7	0.657	0.431	34.35		7	0.659	0.391	40.70	
	8	0.680	0.570	16.29		8	0.661	0.582	11.88	
2-2	1	0.600	0.563	6.06	5-5	1	0.628	0.648	-3.17	
	2	0.600	0.560	6.73		2	0.632	0.642	-1.63	
	3	0.602	0.559	7.18		3	0.632	0.627	0.78	
	4	0.606	0.509	16.05		4	0.633	0.548	13.50	
	5	0.611	0.384	37.10		5	0.638	0.399	37.39	
	6	0.626	0.501	20.01		6	0.651	0.521	19.99	
	7	0.653	0.413	36.75		7	0.672	0.422	37.22	
	8	0.661	0.568	14.02		8	0.671	0.611	8.88	
3-3	1	0.604	0.581	3.82	6-6	1	0.657	0.697	-6.20	
	2	0.609	0.575	5.59		2	0.657	0.687	-4.62	
	3	0.609	0.574	5.69		3	0.658	0.529	19.63	
	4	0.607	0.507	16.39		4	0.656	0.600	8.60	
	5	0.613	0.374	38.98		5	0.662	0.434	34.38	
	6	0.627	0.507	19.13		6	0.666	0.557	16.49	
	7	0.651	0.399	38.72		7	0.687	0.470	31.56	
	8	0.662	0.571	13.77		8	0.691	0.667	3.46	
									Min. Değişim	-6.20%
									Maks. Değişim	42.00%
									Ort. Değişim	16.45%

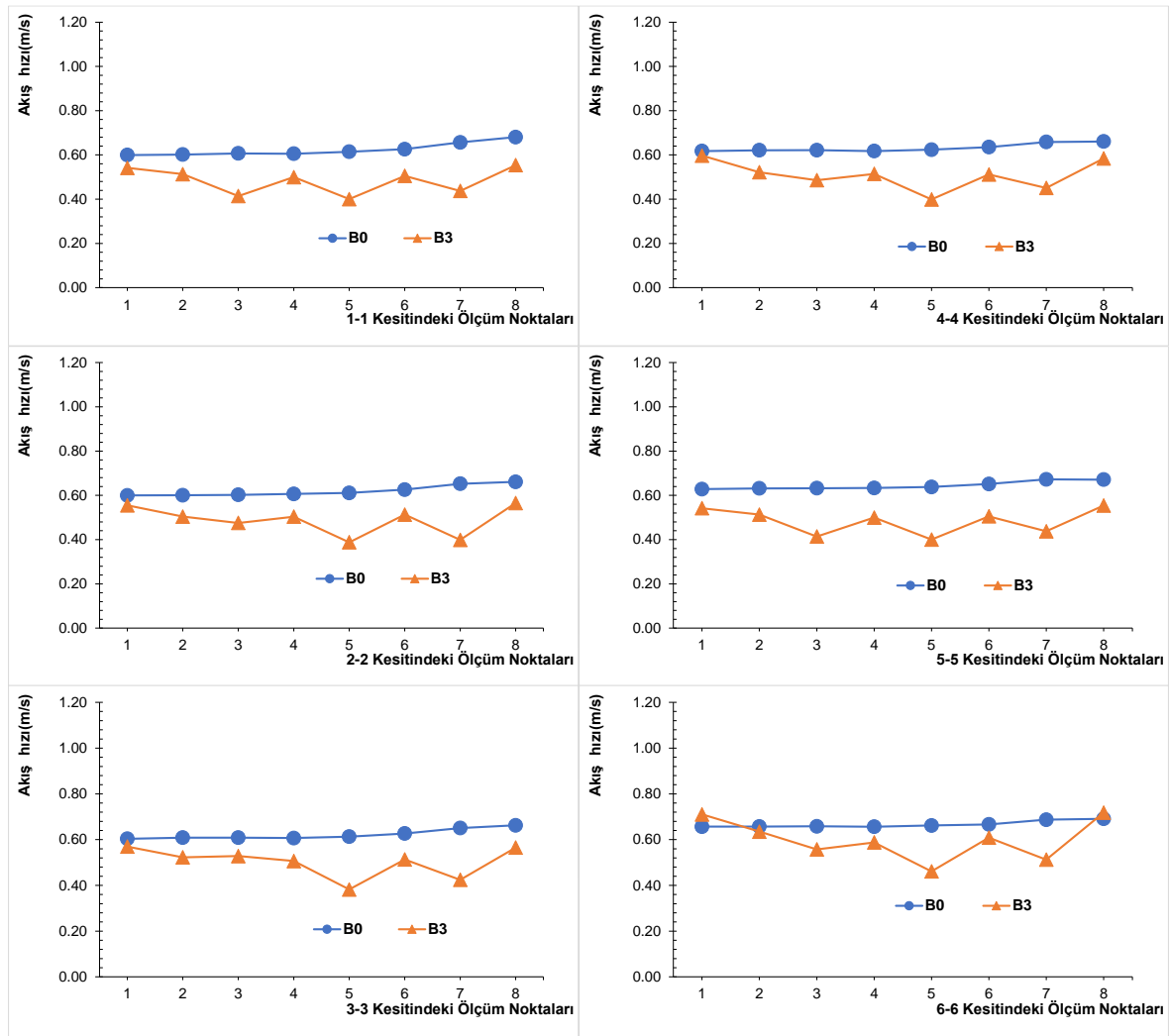


Şekil 4.36. 10 lt/sn akış durumunda B2 batık kanat etkisi

Çizelge 4.11. ve Şekil 4.36. incelendiğinde, B2 ikili batık kanat durumunda, kanat sonrasında %31-42 arasında akım hızını azalttığı gözlenmiştir. Genel olarak akım hızında azalma görülmektedir. Ayrıca iç ve dış şevde (1. ve 8. noktalarda) akım hızlarının birbirine yakın olduğu, akımın kanatsız duruma göre biraz daha dengede olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 4.12 ve Şekil 4.38'de 10 lt/sn durumunda B0 ve B3 arasında batık kanat etkisi incelenmiştir.

Çizelge 4.12. 10 lt/sn durumunda B0 ve B3 arasında batık kanat etkisinin incelenmesi

Kesit no	Ölçüm noktası no	B0 Sonuçları (m/s)	B3 Sonuçları (m/s)	Değişim (%)	Kesit no	Ölçüm noktası no	B0 Sonuçları (m/s)	B3 Sonuçları (m/s)	Değişim (%)	
1-1	1	0.600	0.542	9.64	4-4	1	0.617	0.597	3.34	
	2	0.602	0.513	14.76		2	0.621	0.522	16.00	
	3	0.607	0.414	31.77		3	0.622	0.486	21.82	
	4	0.606	0.500	17.48		4	0.617	0.514	16.67	
	5	0.614	0.400	34.87		5	0.624	0.399	36.06	
	6	0.626	0.505	19.28		6	0.635	0.512	19.45	
	7	0.657	0.437	33.39		7	0.659	0.451	31.53	
	8	0.680	0.554	18.57		8	0.661	0.584	11.59	
2-2	1	0.600	0.555	7.47	5-5	1	0.628	0.640	-1.96	
	2	0.600	0.504	16.05		2	0.632	0.566	10.40	
	3	0.602	0.475	21.13		3	0.632	0.417	34.01	
	4	0.606	0.504	16.96		4	0.633	0.537	15.14	
	5	0.611	0.388	36.54		5	0.638	0.446	30.15	
	6	0.626	0.513	18.04		6	0.651	0.531	18.56	
	7	0.653	0.399	38.90		7	0.672	0.447	33.53	
	8	0.661	0.565	14.48		8	0.671	0.629	6.26	
3-3	1	0.604	0.570	5.63	6-6	1	0.657	0.710	-8.18	
	2	0.609	0.523	14.12		2	0.657	0.635	3.34	
	3	0.609	0.528	13.20		3	0.658	0.557	15.35	
	4	0.607	0.506	16.54		4	0.656	0.588	10.45	
	5	0.613	0.382	37.67		5	0.662	0.461	30.30	
	6	0.627	0.513	18.14		6	0.666	0.609	8.70	
	7	0.651	0.424	34.77		7	0.687	0.513	25.38	
	8	0.662	0.565	14.65		8	0.691	0.718	-3.89	
									Min. Değişim	-8.18%
									Maks. Değişim	38.90%
									Ort. Değişim	18.50%

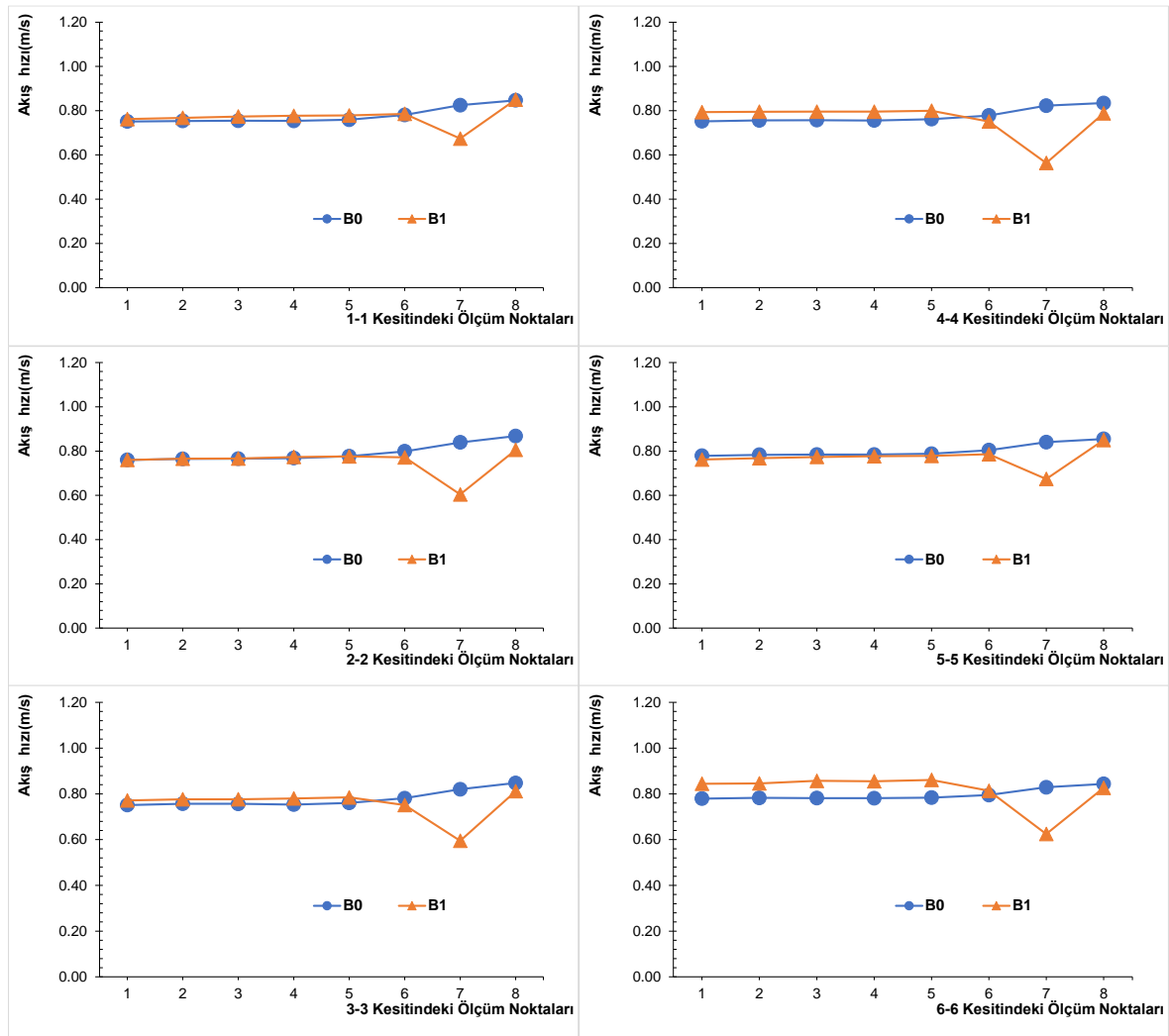


Şekil 4.37. 10 lt/sn akış durumunda B3 batık kanat etkisi

Çizelge 4.12. ve Şekil 4.37. incelendiğinde, B3 üçlü batık kanat durumunda, kanat sonrasında %25-39 arasında akım hızını azalttığı gözlenmiştir. Genel olarak, 10 lt/sn akış durumunda, batık kanat etkisiyle batık kanatların bulunduğu bölgelerde akım hızında azalmalar görülmüştür. Ayrıca iç ve dış şevde (1. ve 8. noktalarda) akım hızlarının birbirine yakın olduğu, akımın kanatsız duruma göre biraz daha dengede olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 4.13 ve Şekil 4.38’de 20 lt/sn durumunda B0 ve B1 arasında batık kanat etkisi incelenmiştir.

Çizelge 4.13. 20 lt/sn durumunda B0 ve B1 arasında batık kanat etkisinin incelenmesi

Kesit no	Ölçüm noktası no	B0 Sonuçları (m/s)	B1 Sonuçları (m/s)	Değişim (%)	Kesit no	Ölçüm noktası no	B0 Sonuçları (m/s)	B1 Sonuçları (m/s)	Değişim (%)	
1-1	1	0.751	0.762	-1.46	4-4	1	0.752	0.793	-5.51	
	2	0.753	0.768	-1.93		2	0.756	0.795	-5.18	
	3	0.754	0.774	-2.55		3	0.757	0.795	-5.07	
	4	0.754	0.777	-3.08		4	0.756	0.796	-5.31	
	5	0.759	0.778	-2.54		5	0.762	0.800	-5.03	
	6	0.781	0.786	-0.65		6	0.778	0.751	3.47	
	7	0.825	0.674	18.27		7	0.822	0.563	31.49	
	8	0.847	0.850	-0.38		8	0.834	0.788	5.56	
2-2	1	0.760	0.760	0.00	5-5	1	0.779	0.809	-3.88	
	2	0.765	0.766	-0.08		2	0.783	0.807	-3.05	
	3	0.766	0.766	-0.09		3	0.784	0.810	-3.30	
	4	0.768	0.774	-0.68		4	0.784	0.812	-3.48	
	5	0.777	0.776	0.07		5	0.788	0.813	-3.16	
	6	0.799	0.772	3.40		6	0.804	0.748	7.00	
	7	0.839	0.604	27.99		7	0.840	0.585	30.38	
	8	0.868	0.806	7.19		8	0.855	0.782	8.48	
3-3	1	0.751	0.771	-2.66	6-6	1	0.779	0.844	-8.36	
	2	0.757	0.776	-2.58		2	0.782	0.846	-8.12	
	3	0.757	0.776	-2.60		3	0.782	0.857	-9.64	
	4	0.753	0.780	-3.52		4	0.781	0.855	-9.52	
	5	0.760	0.785	-3.20		5	0.784	0.861	-9.89	
	6	0.781	0.751	3.84		6	0.795	0.814	-2.38	
	7	0.820	0.595	27.47		7	0.829	0.625	24.63	
	8	0.848	0.812	4.23		8	0.844	0.826	2.02	
									Min. Değişim	-9.89%
									Maks. Değişim	31.49%
									Ort. Değişim	1.80%

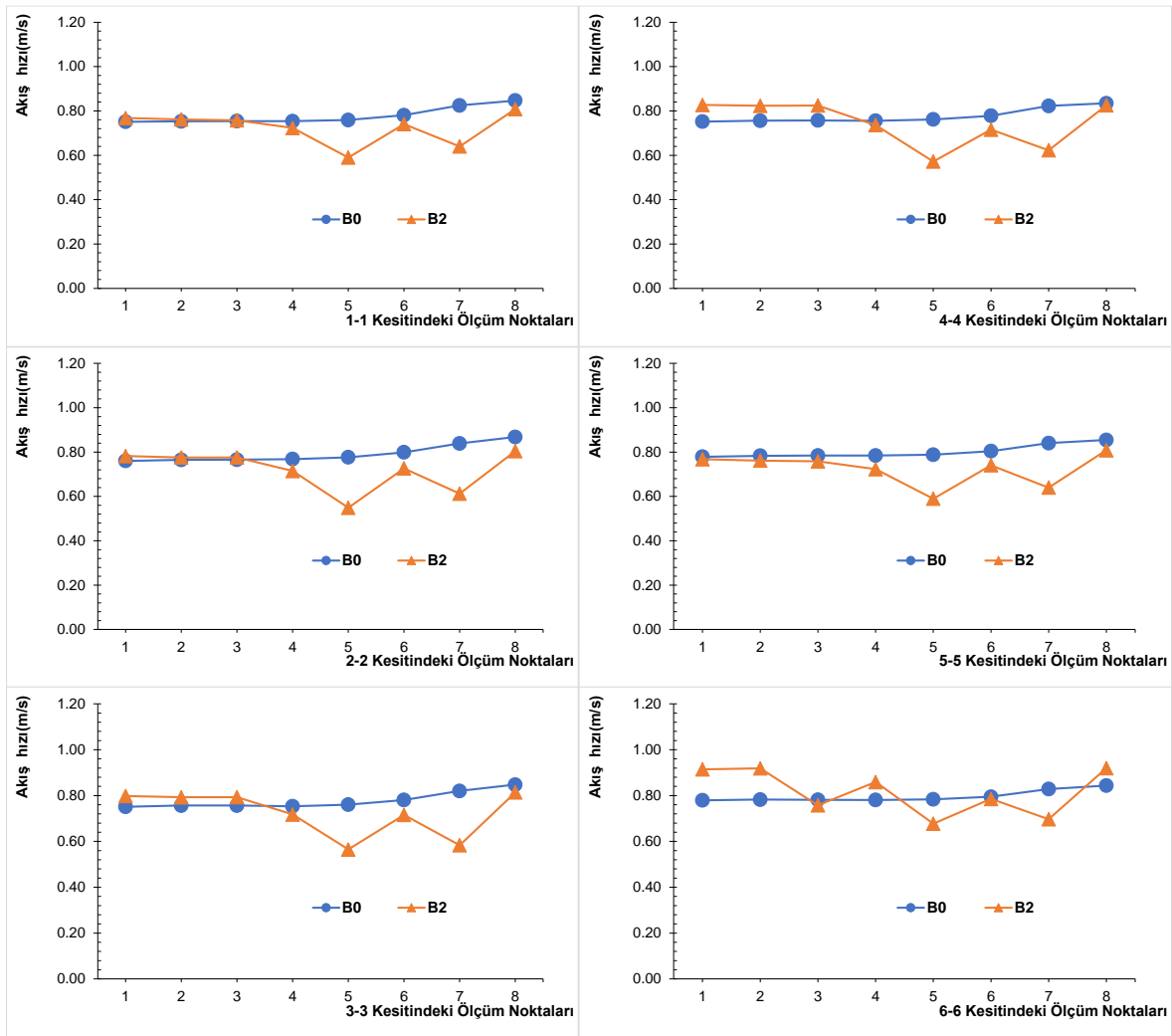


Şekil 4.38. 20 lt/sn akış durumunda B1 batık kanat etkisi

Çizelge 4.13. ve Şekil 4.38. incelendiğinde, B1 tekli batık kanat durumunda, kanat sonrasında %18-32 arasında akım hızını azalttığı gözlenmiştir. Genel olarak, batık kanat sonrasında akım hızında azalma görülürken, batık kanat yanlarında ise akım hızında artma ve akım yönlendirilmesi görülmektedir. Ayrıca iç ve dış şevde (1. ve 8. noktalarda) akım hızlarının birbirine yakın olduğu, akımın kanatsız duruma göre biraz daha dengede olduğu tespit edilmiştir. Kanat etrafındaki hızlarda artışlar (negatif değişimlerden) görülmektedir. Çizelge 4.14 ve Şekil 4.39'de 20 lt/sn durumunda B0 ve B2 arasında batık kanat etkisi incelenmiştir.

Çizelge 4.14. 20 lt/sn durumunda B0 ve B2 arasında batık kanat etkisinin incelenmesi

Kesit no	Ölçüm noktası no	B0 Sonuçları (m/s)	B2 Sonuçları (m/s)	Değişim (%)	Kesit no	Ölçüm noktası no	B0 Sonuçları (m/s)	B2 Sonuçları (m/s)	Değişim (%)	
1-1	1	0.751	0.768	-2.26	4-4	1	0.752	0.827	-9.96	
	2	0.753	0.762	-1.10		2	0.756	0.823	-8.89	
	3	0.754	0.758	-0.49		3	0.757	0.825	-8.92	
	4	0.754	0.723	4.07		4	0.756	0.736	2.54	
	5	0.759	0.590	22.30		5	0.762	0.572	24.92	
	6	0.781	0.741	5.10		6	0.778	0.716	8.03	
	7	0.825	0.640	22.41		7	0.822	0.623	24.27	
	8	0.847	0.808	4.56		8	0.834	0.825	1.09	
2-2	1	0.760	0.782	-2.91	5-5	1	0.779	0.872	-12.01	
	2	0.765	0.776	-1.43		2	0.783	0.867	-10.66	
	3	0.766	0.776	-1.32		3	0.784	0.861	-9.78	
	4	0.768	0.715	6.96		4	0.784	0.774	1.30	
	5	0.777	0.549	29.33		5	0.788	0.570	27.62	
	6	0.799	0.726	9.08		6	0.804	0.730	9.17	
	7	0.839	0.613	27.00		7	0.840	0.629	25.17	
	8	0.868	0.805	7.33		8	0.855	0.850	0.60	
3-3	1	0.751	0.798	-6.23	6-6	1	0.779	0.914	-17.32	
	2	0.757	0.793	-4.76		2	0.782	0.919	-17.43	
	3	0.757	0.793	-4.81		3	0.782	0.758	3.05	
	4	0.753	0.718	4.77		4	0.781	0.859	-10.01	
	5	0.760	0.565	25.72		5	0.784	0.677	13.57	
	6	0.781	0.716	8.35		6	0.795	0.786	1.15	
	7	0.820	0.583	28.88		7	0.829	0.697	15.89	
	8	0.848	0.814	3.98		8	0.844	0.919	-9.00	
									Min. Değişim	-17.43%
									Maks. Değişim	29.33%
									Ort. Değişim	4.77%



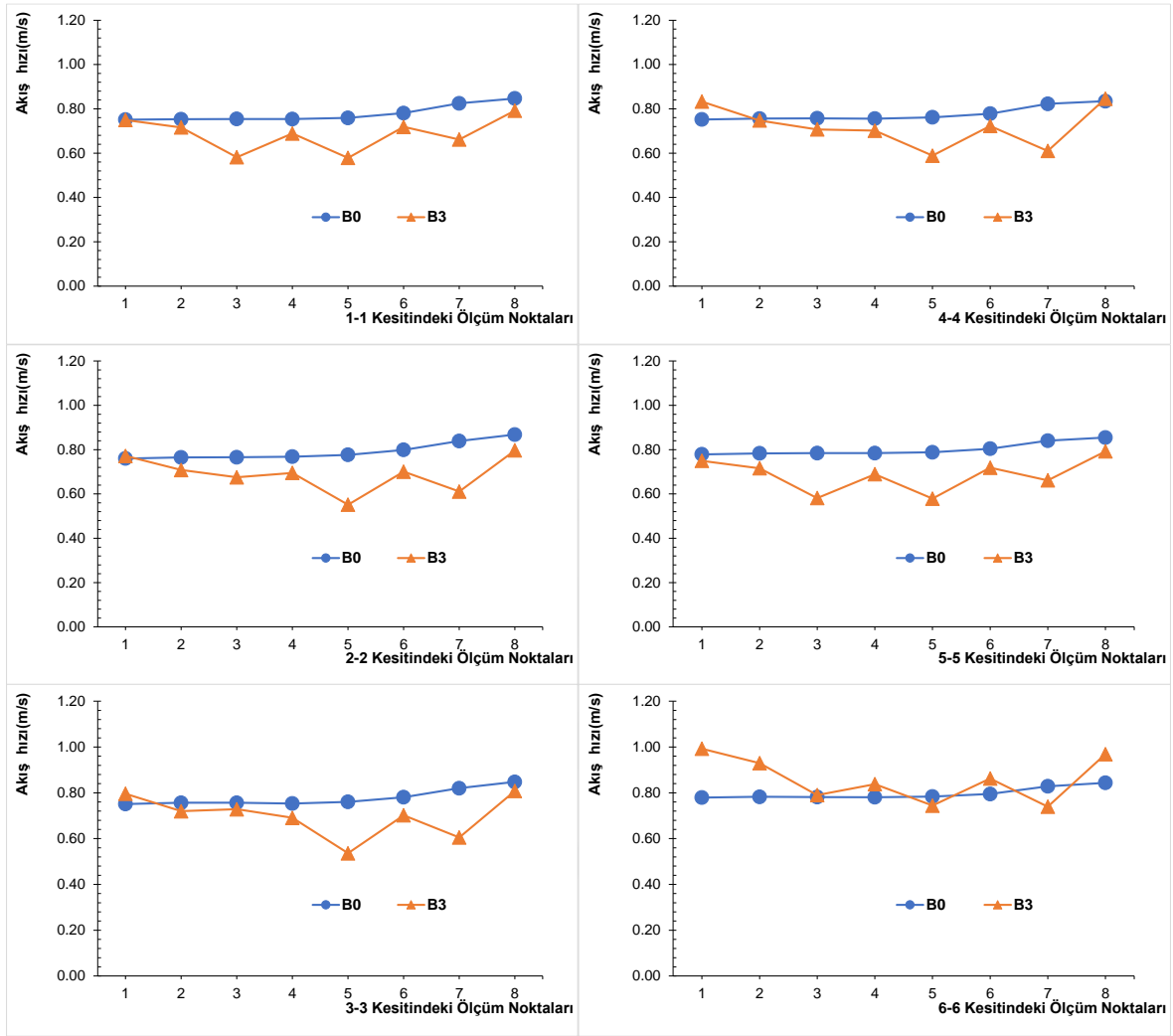
Şekil 4.39. 20 lt/sn akış durumunda B2 batık kanat etkisi

Çizelge 4.14. ve Şekil 4.39. incelendiğinde, B2 ikili batık kanat durumunda, batık kanat sonrasında %13.5-29 arasında akım hızını azalttığı gözlenmiştir. Genel olarak, batık kanat sonrasında akım hızında azalma görülürken, batık kanat yanlarında ise akım hızında artma ve akım yönlendirilmesi görülmektedir. Ayrıca iç ve dış şevde (1. ve 8. noktalarda) akım hızlarının birbirine yakın olduğu, akımın kanatsız duruma göre biraz daha dengede olduğu tespit edilmiştir. Batık kanat etrafındaki hızlarda artışlar (negatif değişimlerden) görülmektedir. Çizelge 4.15 ve Şekil 4.40'da 20 lt/sn durumunda B0 ve B3 arasında batık kanat etkisi incelenmiştir.

Çizelge 4.15. 20 lt/sn durumunda B0 ve B3 arasında batık kanat etkisinin incelenmesi

Kesit no	Ölçüm noktası no	B0 Sonuçları (m/s)	B3 Sonuçları (m/s)	Değişim (%)	Kesit no	Ölçüm noktası no	B0 Sonuçları (m/s)	B3 Sonuçları (m/s)	Değişim (%)	
1-1	1	0.751	0.750	0.17	4-4	1	0.752	0.833	-10.73	
	2	0.753	0.716	4.93		2	0.756	0.748	1.11	
	3	0.754	0.581	22.92		3	0.757	0.707	6.62	
	4	0.754	0.689	8.60		4	0.756	0.702	7.14	
	5	0.759	0.579	23.76		5	0.762	0.588	22.72	
	6	0.781	0.719	7.94		6	0.778	0.723	7.12	
	7	0.825	0.661	19.79		7	0.822	0.610	25.85	
	8	0.847	0.792	6.47		8	0.834	0.846	-1.33	
2-2	1	0.760	0.772	-1.54	5-5	1	0.779	0.897	-15.12	
	2	0.765	0.708	7.44		2	0.783	0.819	-4.57	
	3	0.766	0.675	11.81		3	0.784	0.633	19.26	
	4	0.768	0.695	9.55		4	0.784	0.736	6.12	
	5	0.777	0.551	29.00		5	0.788	0.631	20.00	
	6	0.799	0.701	12.27		6	0.804	0.754	6.20	
	7	0.839	0.611	27.19		7	0.840	0.683	18.76	
	8	0.868	0.797	8.22		8	0.855	0.891	-4.26	
3-3	1	0.751	0.796	-5.94	6-6	1	0.779	0.993	-27.37	
	2	0.757	0.720	4.90		2	0.782	0.930	-18.83	
	3	0.757	0.728	3.73		3	0.782	0.790	-1.09	
	4	0.753	0.691	8.30		4	0.781	0.838	-7.31	
	5	0.760	0.536	29.49		5	0.784	0.744	5.00	
	6	0.781	0.702	10.09		6	0.795	0.863	-8.53	
	7	0.820	0.605	26.21		7	0.829	0.740	10.75	
	8	0.848	0.808	4.65		8	0.844	0.968	-14.82	
									Min. Değişim	-27.37%
									Maks. Değişim	29.49%
									Ort. Değişim	6.72%

Çizelge 4.15. ve Şekil 4.40. incelendiğinde, B3 üçlü batık kanat durumunda, kanat sonrasında %6-30 arasında akım hızını azalttığı gözlenmiştir. Genel olarak, 20 lt/sn akış durumunda, 10 lt/sn akışa benzer olarak batık kanat etkisiyle, batık kanatların bulunduğu bölgelerde akım hızında azalmalar görülmüştür. Batık kanat yan bölgelerinde ise akım hızında artma ve akım yönlendirilmesi görülmektedir. Ayrıca iç ve dış şevde (1. ve 8. noktalarda) akım hızlarının birbirine yakın olduğu, akımın batık kanatsız duruma göre biraz daha dengede olduğu tespit edilmiştir. Batık kanat etrafındaki hızlarda artışlar (negatif değişimlerden) görülmektedir.

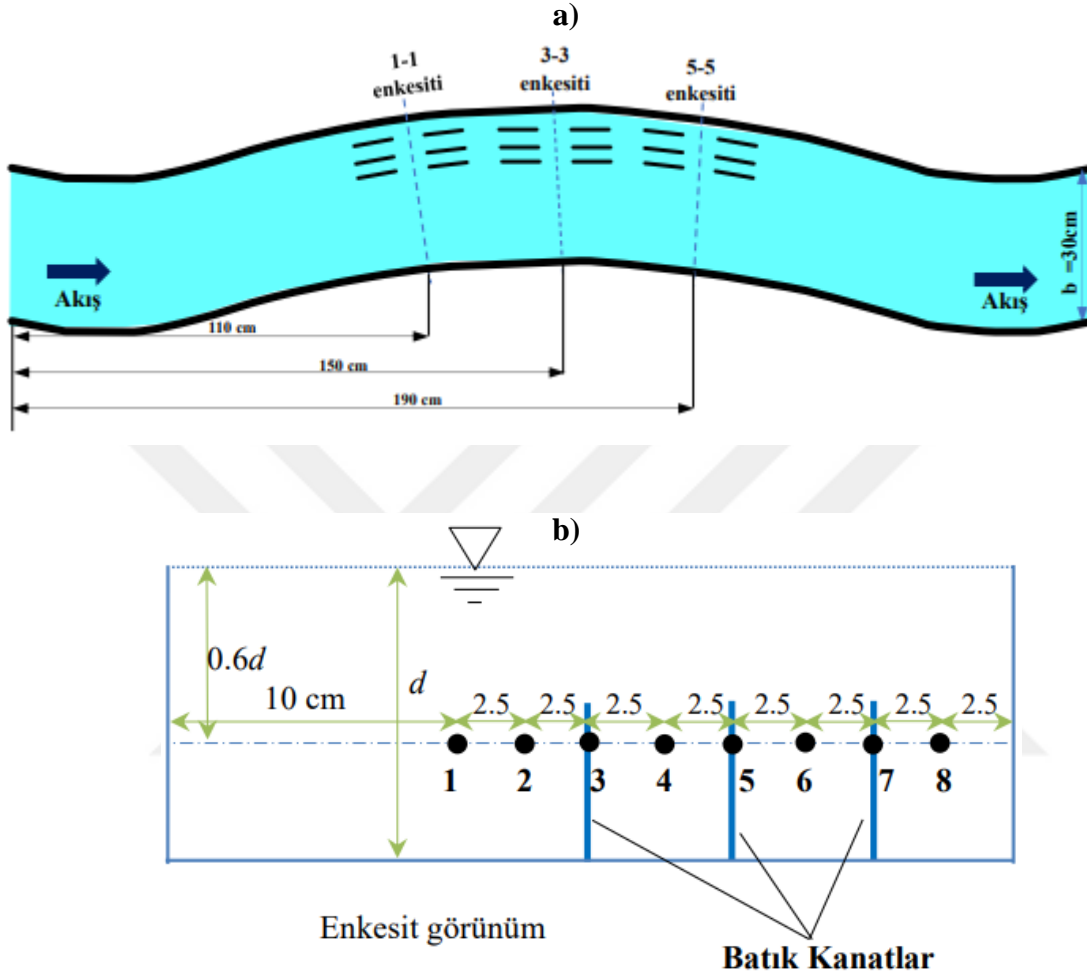


Şekil 4.40. 20 lt/sn akış durumunda B3 batık kanat etkisi

4.5. Batık Kanat Yapılarının Derinlik Boyunca Ortalama Ve Maksimum Hıza Etkisi

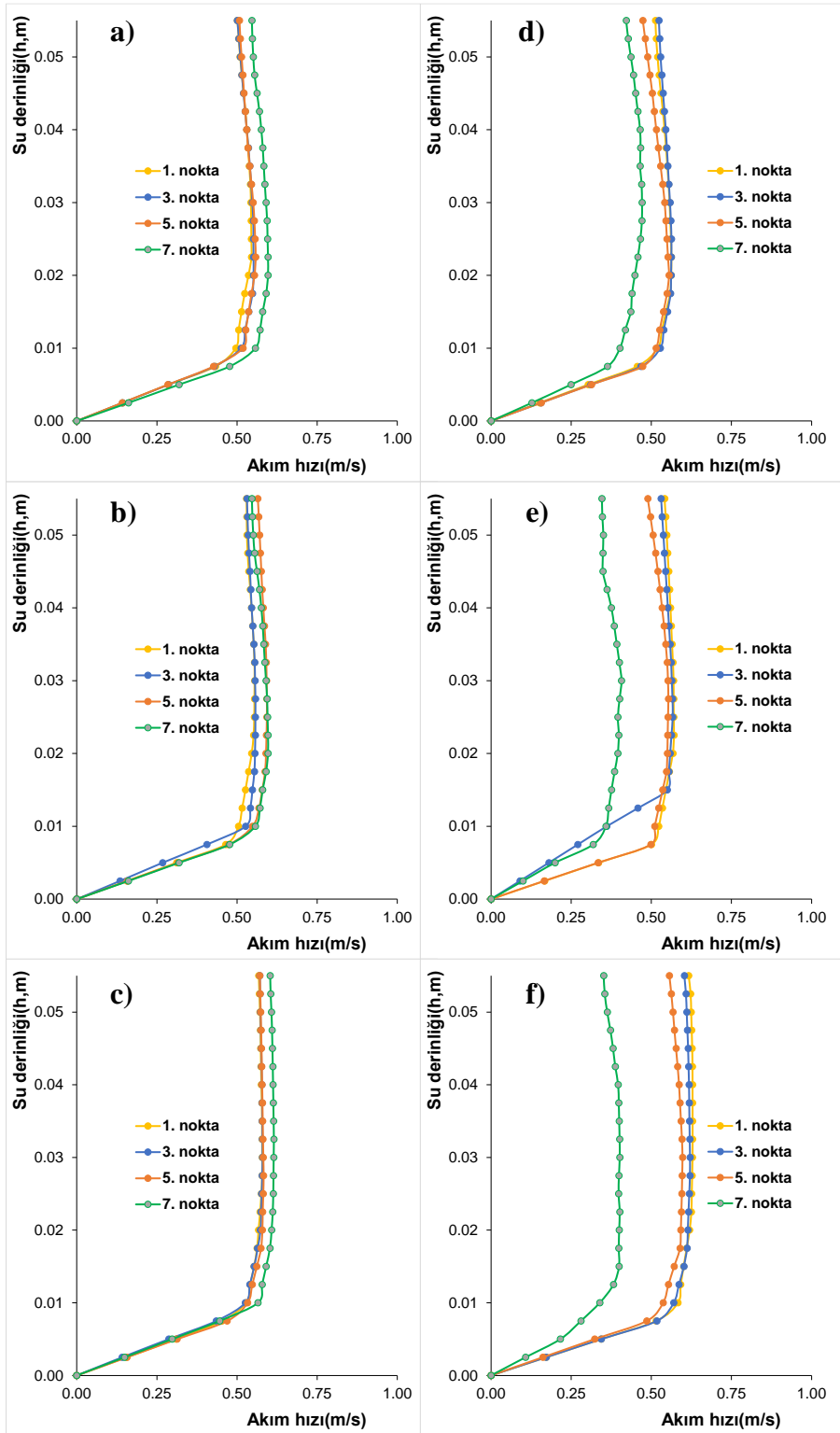
Bu bölümde sayısal model ile elde edilen sonuçlara göre, açık kanal akımında batık kanat etkisini araştırılmıştır. Batık kanat sonrasında ve iç kıyıdaki ölçüm noktalarında derinlik boyunca akım hız profilleri oluşturulmuş ve batık kanatsız ve kanatlı durumlar karşılaştırılarak maksimum ve ortalama hızlara etkisi incelenmiştir. Sırası ile 10 lt/sn ve 20 lt/sn akış debileri için batık kanatların sonrasındaki akımın etkisi, 1-1, 3-3 ve 5-5 enkesitlerinde araştırılmıştır. Şekil 4.41-b’de verilen iç kıyıya yakın batık kanatsız bölgedeki 1. nokta ve batık kanat sonrasındaki 3.,5. ve 7. noktalar ayrıntılı olarak incelenerek B3 durumu için batık kanat sonrasındaki etki araştırılmıştır. Şekil 4.41’de B3 üçlü batık kanat

durumunda, hız profili için incelenen plan ve enkesitler içerisindeki noktalar ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 4.41. B3 üçlü batık kanat durumunda, Hız profillerinde incelenecek enkesitler(a) ve enkesitteki 1., 3., 5. ve 7. noktaların(b) gösterimi

Şekil 4.42, ve Çizelge 4.16'da B0 ve B1 durumlarına ait maksimum ve ortalama akım hızı sonuçları (m/s), akım hızı değişimleri % olarak verilmiştir. Çalışmada sunulan maksimum akım hızı, derinlik boyunca olan maksimum hızı, ortalama akım hızı ise derinlik boyunca elde edilen akım hızlarının ortalamasını temsil etmektedir.



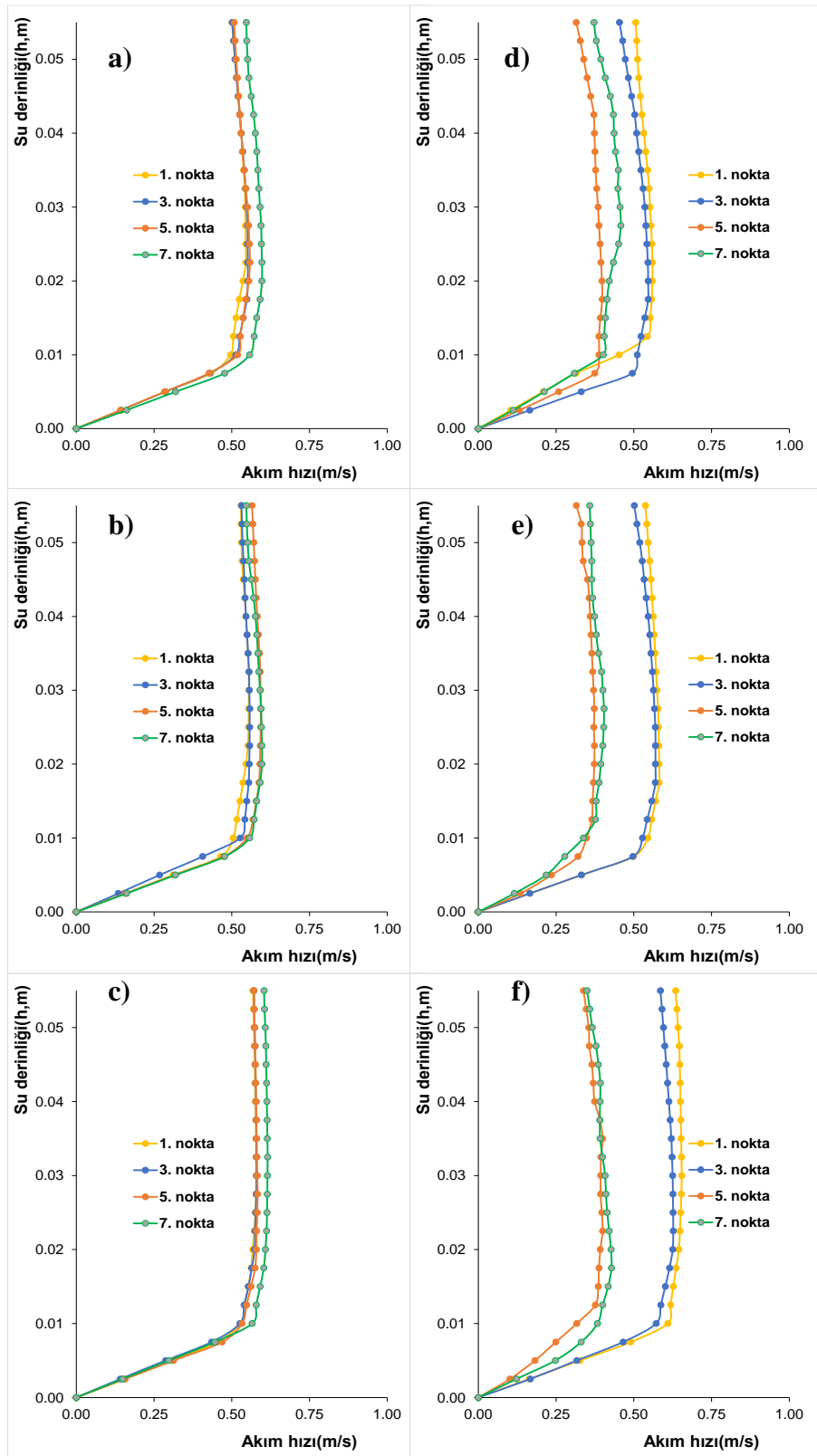
Şekil 4.42. 10 lt/sn akış için, B0 ve B1 durumlarına ait kesitlerdeki akım hızının derinlikle değişimi: B0 durumu için; a) 1-1 enkesiti, b) 3-3 enkesiti, c) 5-5 enkesiti ve B1 durumu için d) 1-1 enkesiti, e) 3-3 enkesiti, f) 5-5 enkesiti

Çizelge 4.16. 10 lt/sn akış için, B0 ve B1 durumu için ortalama ve maksimum hız değişimlerinin incelenmesi

Derinlik boyunca maksimum hız					Derinlik boyunca ortalama hız				
Kesit no	Ölçüm noktası no	B0 durumu	B1 durumu	Hız değişimi (%)	Kesit no	Ölçüm noktası no	B0 durumu	B1 durumu	Hız değişimi (%)
1-1	1	0.545	0.563	3.21	1-1	1	0.471	0.487	3.33
	3	0.552	0.563	2.07		3	0.477	0.492	3.15
	5	0.558	0.555	-0.56		5	0.478	0.473	-1.22
	7	0.597	0.471	-21.06		7	0.517	0.403	-22.14
3-3	1	0.555	0.571	2.87	3-3	1	0.486	0.503	3.40
	3	0.558	0.567	1.60		3	0.486	0.467	-3.97
	5	0.593	0.553	-6.69		5	0.520	0.482	-7.30
	7	0.597	0.407	-31.80		7	0.517	0.337	-34.75
5-5	1	0.579	0.629	8.64	5-5	1	0.509	0.557	9.25
	3	0.579	0.621	7.16		3	0.508	0.549	8.14
	5	0.583	0.597	2.49		5	0.514	0.521	1.31
	7	0.615	0.402	-34.71		7	0.539	0.345	-36.02

Şekil 4.42’de, B1 durumu için batık kanatın sonrasındaki 7. nokta, B0 durumunda maksimum değere ulaşırken B1 batık kanatlı durumda en düşük hıza sahip olduğu ve batık kanatın etkisi açık bir şekilde gözlenmiştir. Çizelge 4.16. incelendiğinde batık kanat sonrasında 7. noktada, batık kanatın etkisi ile derinlik boyunca maksimum hızın %21-35, ortalama hızın ise %22-36 arasında azaldığı tespit edilmiştir. Şekil 4.42 incelendiğinde, beklenildiği gibi, B0 batık kanatsız durumda, hız profilinin dış kıyı’da en yüksek olduğu tespit edilmiştir. B1 tekli batık kanat durumunda ise dış kıyı’daki hız profilinin en düşük değere sahip hız profili olduğu ve batık kanat olmayan kısımdaki 3 hız profilinin de birbirine yakın değerlerde olduğu gözlenmiştir.

Şekil 4.43. ve Çizelge 4.17’de B0 ve B2 durumlarına ait maksimum akım hızı sonuçları, ortalama akım hızı sonuçları ve akım hızı değişimleri incelenmiştir.



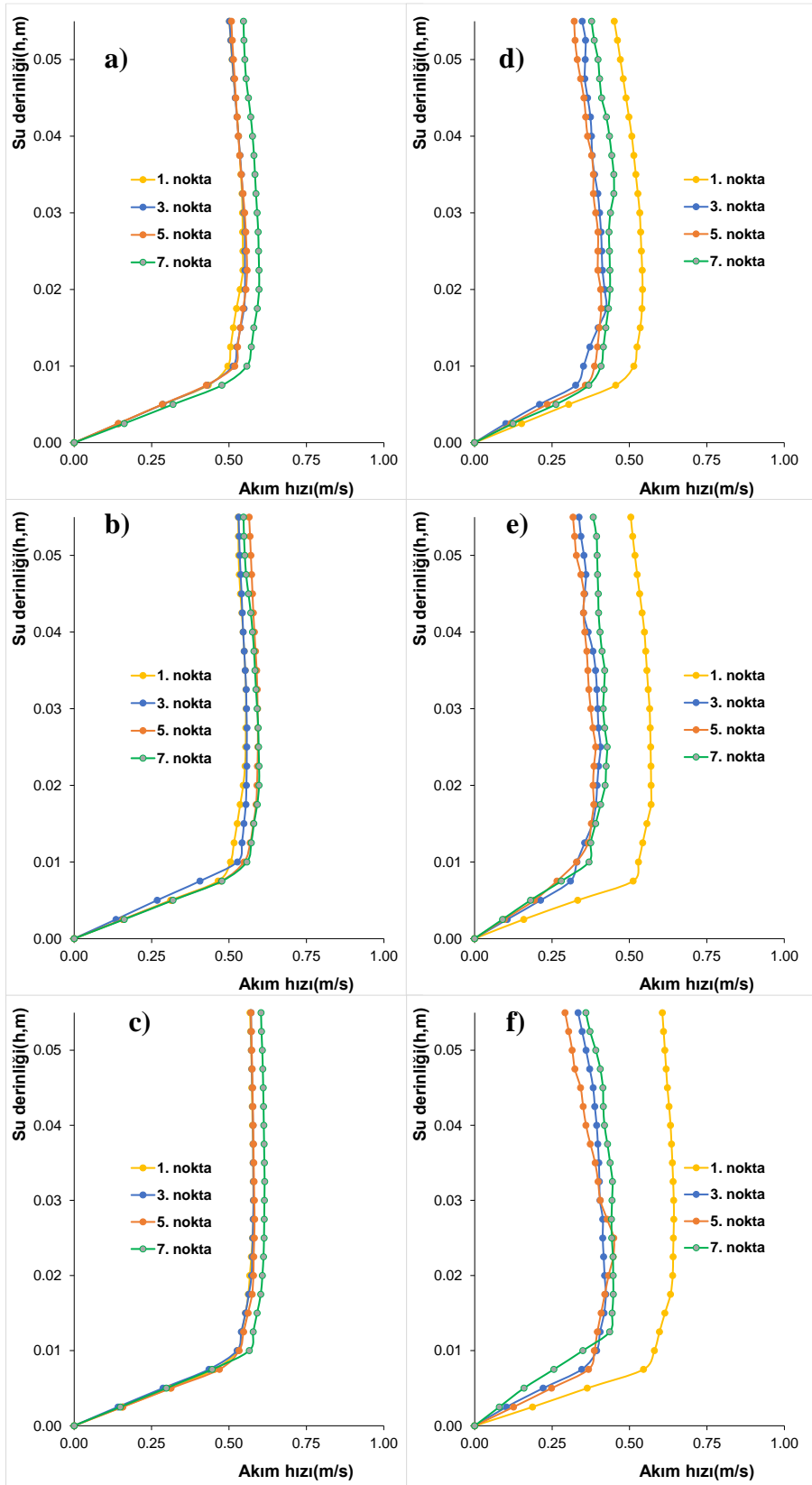
Şekil 4.43. 10 lt/sn akış için, B0 ve B2 durumlarına ait kesitlerdeki akım hızının derinlikle değişimi: B0 durumu için; a) 1-1 enkesiti, b) 3-3 enkesiti, c) 5-5 enkesiti ve B2 durumu için d) 1-1 enkesiti, e) 3-3 enkesiti, f) 5-5 enkesiti

Çizelge 4.17. 10 lt/sn akış için, B0 ve B2 durumu için ortalama ve maksimum hız değişimlerinin incelenmesi

Derinlik boyunca maksimum hız					Derinlik boyunca ortalama hız				
Kesit no	Ölçüm noktası no	B0 durumu	B2 durumu	Hız değişimi (%)	Kesit no	Ölçüm noktası no	B0 durumu	B2 durumu	Hız değişimi (%)
1-1	1	0.545	0.560	2.72	1-1	1	0.471	0.468	-0.62
	3	0.552	0.546	-0.96		3	0.477	0.468	-1.84
	5	0.558	0.399	-28.60		5	0.478	0.342	-28.57
	7	0.597	0.458	-23.22		7	0.517	0.377	-27.08
3-3	1	0.555	0.582	4.79	3-3	1	0.486	0.509	4.65
	3	0.558	0.570	2.13		3	0.486	0.494	1.64
	5	0.593	0.373	-37.05		5	0.520	0.325	-37.48
	7	0.597	0.404	-32.27		7	0.517	0.340	-34.31
5-5	1	0.579	0.654	13.07	5-5	1	0.509	0.573	12.56
	3	0.579	0.627	8.22		3	0.508	0.544	7.08
	5	0.583	0.400	-31.43		5	0.514	0.333	-35.18
	7	0.615	0.428	-30.37		7	0.539	0.357	-33.72

Şekil 4.43'e göre, B2 durumu için batık kanatın sonrasındaki 5. ve 7. noktalar B0 batık kanatsız durumda maksimum değerlere yakın olduğu, B2 ikili batık kanat durumunda ise bu noktalar en düşük hıza sahip olduğu gözlenmiştir. Çizelge 4.17. incelendiğinde batık kanat sonrasında 5. noktada, derinlik boyunca maksimum hızın %28-37, ortalama hızın ise %28-38 arasında azaldığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde, 7 nokta incelendiğinde, derinlik boyunca maksimum hızın %23-32, ortalama hızın ise %27-34 arasında azaldığı görülmüştür.

Şekil 4.44.ve Çizelge 4.18'de B0 batık kanatsız ve B3 üçlü batık kanat durumlarına ait maksimum akım hızı sonuçları, ortalama akım hızı sonuçları ve akım hızı değişimleri verilmiştir.



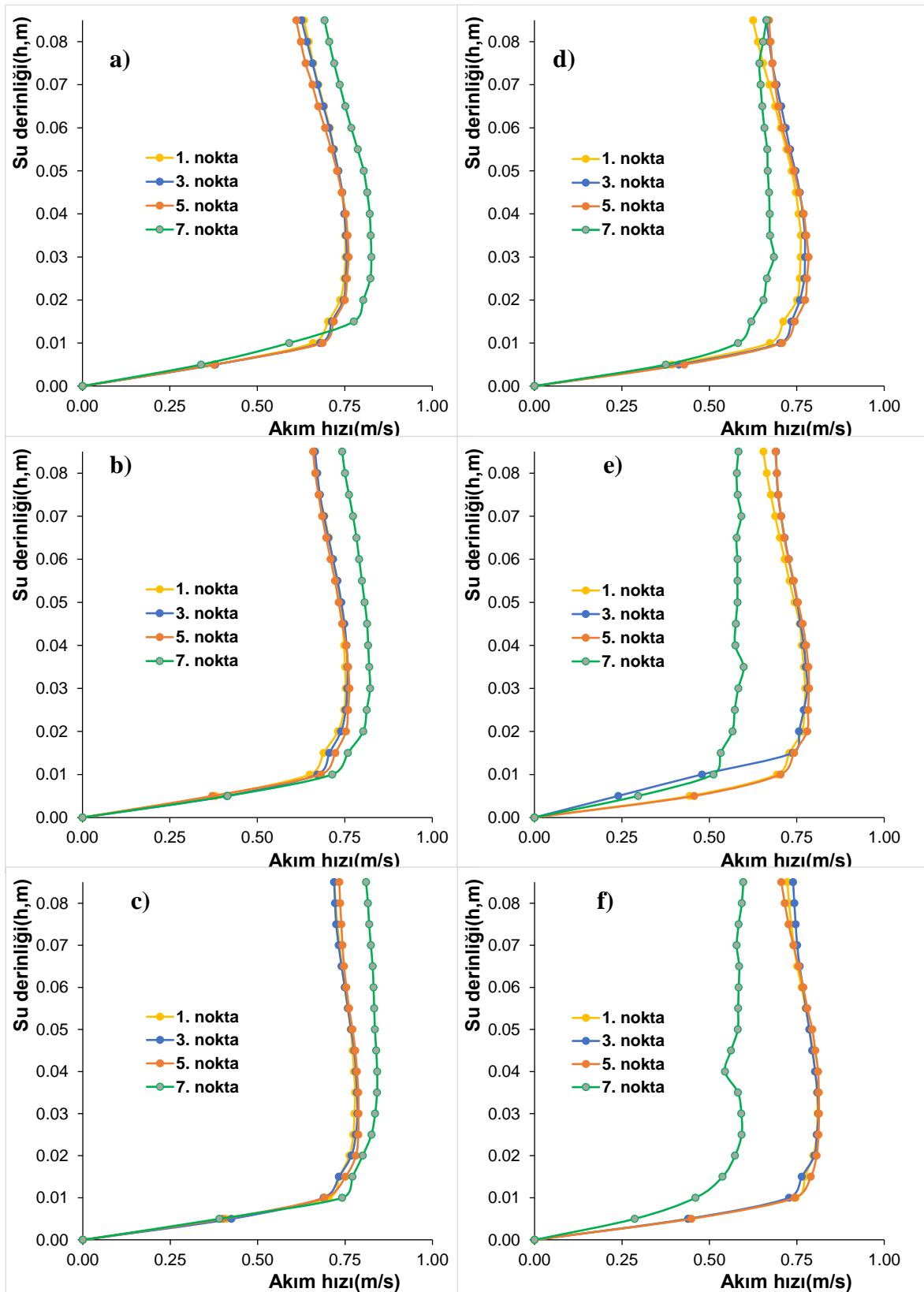
Şekil 4.44. 10 lt/sn akış için, B0 ve B3 durumlarına ait kesitlerdeki akım hızının derinlikle değişimi: B0 durumu için; a) 1-1 enkesiti, b) 3-3 enkesiti, c) 5-5 enkesiti ve B3 durumu için d) 1-1 enkesiti, e) 3-3 enkesiti, f) 5-5 enkesiti

Çizelge 4.18. 10 lt/sn akış için, B0 ve B3 durumu için ortalama ve maksimum hız değişimlerinin incelenmesi

Derinlik boyunca maksimum hız					Derinlik boyunca ortalama hız				
Kesit no	Ölçüm noktası no	B0 durumu	B3 durumu	Hız değişimi (%)	Kesit no	Ölçüm noktası no	B0 durumu	B3 durumu	Hız değişimi (%)
1-1	1	0.545	0.543	-0.44	1-1	1	0.471	0.463	-1.83
	3	0.552	0.425	-22.86		3	0.477	0.345	-27.54
	5	0.558	0.409	-26.74		5	0.478	0.341	-28.71
	7	0.597	0.450	-24.65		7	0.517	0.383	-25.98
3-3	1	0.555	0.570	2.76	3-3	1	0.486	0.495	1.91
	3	0.558	0.407	-27.08		3	0.486	0.336	-30.96
	5	0.593	0.391	-34.06		5	0.520	0.322	-38.14
	7	0.597	0.428	-28.25		7	0.517	0.358	-30.78
5-5	1	0.579	0.643	11.16	5-5	1	0.509	0.564	10.72
	3	0.579	0.424	-26.91		3	0.508	0.355	-30.21
	5	0.583	0.449	-22.97		5	0.514	0.346	-32.69
	7	0.615	0.448	-27.22		7	0.539	0.369	-31.57

Şekil 4.44'e göre, B3 üçlü batık kanat durumu için batık kanatın sonrasındaki 3., 5. ve 7. nokta B0 batık kanatsız durumda maksimum değerlere yakın olduğu, B3 üçlü batık kanat durumunda ise bu noktalar en düşük hıza sahip olduğu gözlenmiştir. Çizelge 4.18. incelendiğinde kanat sonrasında 3. noktada, derinlik boyunca maksimum hızın %22-27, ortalama hızın ise %28-31 arasında azaldığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde, 5. ve 7. nokta incelendiğinde, sırasıyla, derinlik boyunca maksimum hızın %23-34 ve %25-28 ortalama hızın ise %29-38 ve %26-32 arasında azaldığı görülmüştür.

Şekil 4.45. ve Çizelge 4.19'da, 20 lt/sn akım debisi için, B0 batık kanatsız ve B1 tekli batık kanat durumlarına ait maksimum akım hızı sonuçları, ortalama akım hızı sonuçları ve akım hızı değişimleri verilmiştir.



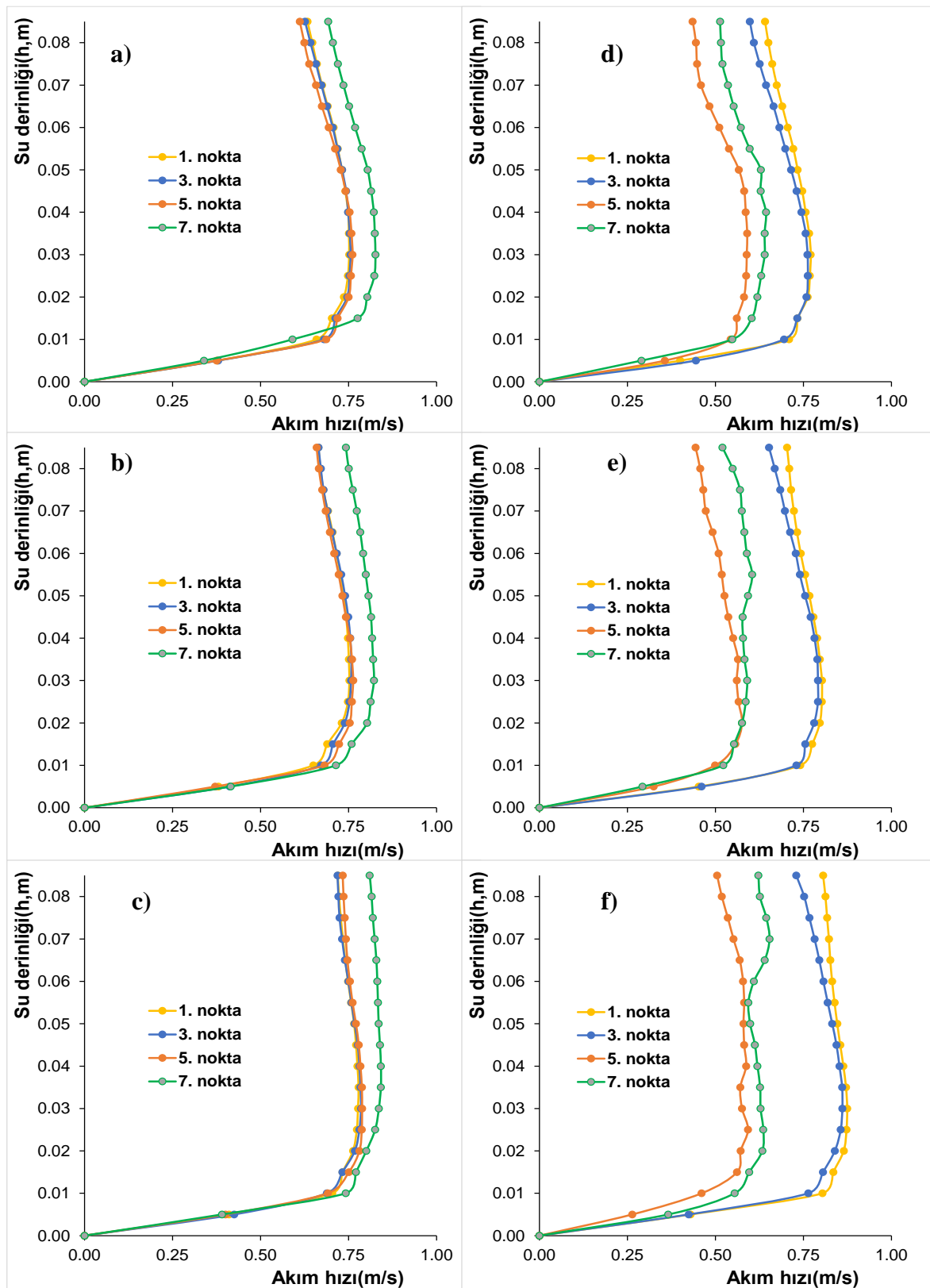
Şekil 4.45 20 lt/sn akış için, B0 ve B1 durumlarına ait kesitlerdeki akım hızının derinlikle değişimi: B0 durumu için; a) 1-1 enkesiti, b) 3-3 enkesiti, c) 5-5 enkesiti ve B1 durumu için d) 1-1 enkesiti, e) 3-3 enkesiti, f) 5-5 enkesiti

Çizelge 4.19. 20 lt/sn akış için, B0 ve B1 durumu için ortalama ve maksimum hız değişimlerinin incelenmesi

Derinlik boyunca maksimum hız					Derinlik boyunca ortalama hız				
Kesit no	Ölçüm noktası no	B0 durumu	B1 durumu	Hız değişimi (%)	Kesit no	Ölçüm noktası no	B0 durumu	B1 durumu	Hız değişimi (%)
1-1	1	0.752	0.762	1.33	1-1	1	0.649	0.653	0.60
	3	0.756	0.773	2.36		3	0.651	0.670	2.97
	5	0.761	0.783	2.92		5	0.647	0.673	4.02
	7	0.826	0.685	-17.14		7	0.699	0.602	-13.80
3-3	1	0.752	0.774	2.91	3-3	1	0.654	0.669	2.22
	3	0.758	0.780	2.98		3	0.661	0.655	-0.89
	5	0.763	0.785	2.87		5	0.659	0.683	3.72
	7	0.822	0.598	-27.26		7	0.721	0.526	-27.11
5-5	1	0.779	0.809	3.93	5-5	1	0.689	0.710	3.06
	3	0.785	0.812	3.40		3	0.691	0.712	3.18
	5	0.788	0.814	3.18		5	0.696	0.713	2.35
	7	0.842	0.597	-29.08		7	0.749	0.523	-30.21

Şekil 4.45'e göre, B1 tekli batık kanat durumu için batık kanatın sonrasındaki 7. nokta, B0 batık kanatsız durumunda maksimum değere ulaşırken B1 tekli batık kanat durumunda en düşük hıza sahip olduğu gözlenmiştir. Çizelge 4.19. incelendiğinde batık kanat sonrasında 7. noktada, derinlik boyunca maksimum hızın %17-29, ortalama hızın ise %14-30 arasında azaldığı tespit edilmiştir.

Şekil 4.46. ve Çizelge 4.20'de B0 ve B2 durumlarına ait maksimum akım hızı sonuçları, ortalama akım hızı sonuçları ve akım hızı değişimleri incelenmiştir.



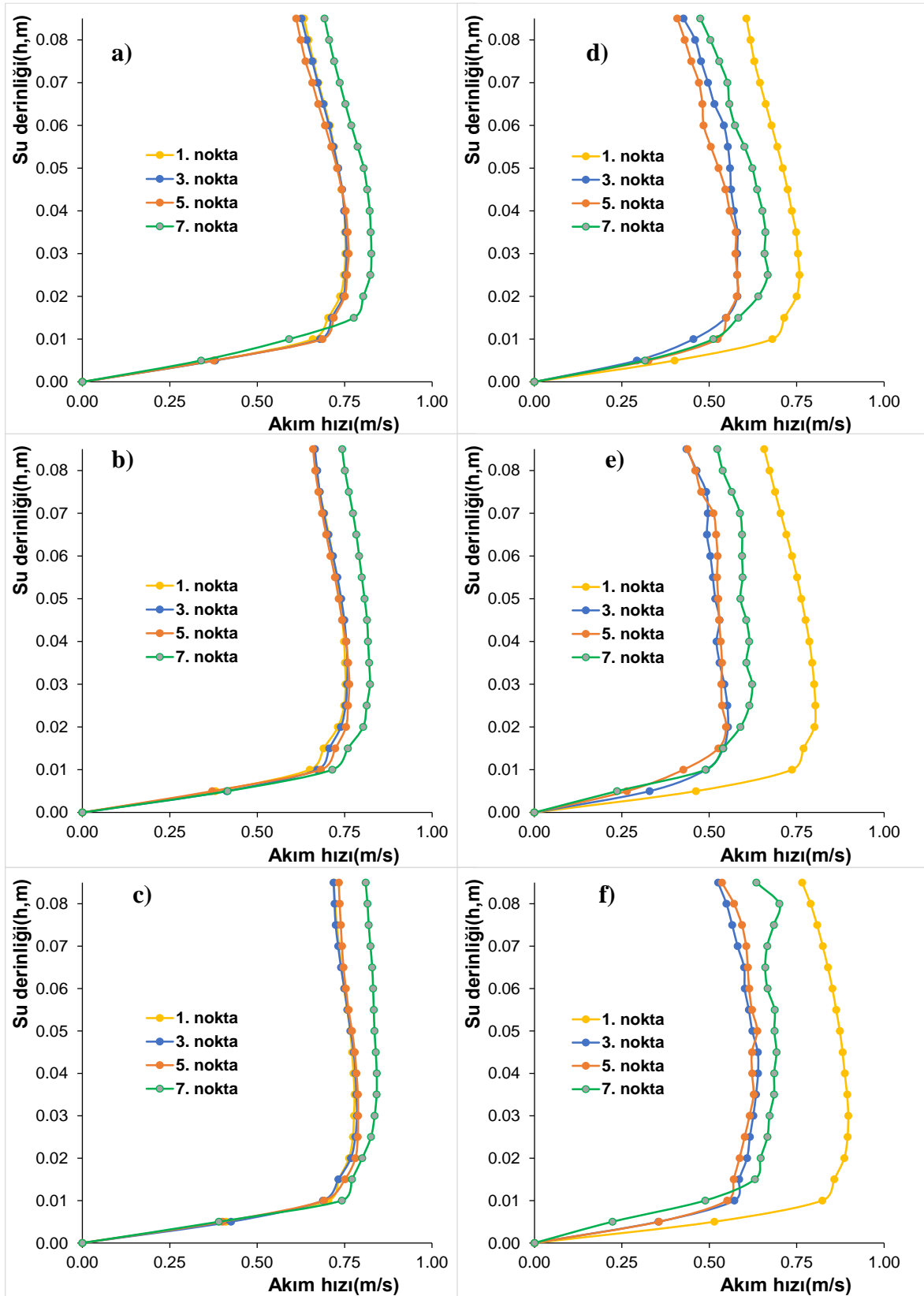
Şekil 4.46. 20 lt/sn akış için, B0 ve B2 durumlarına ait kesitlerdeki akım hızının derinlikle değişimi: B0 durumu için; a) 1-1 enkesiti, b) 3-3 enkesiti, c) 5-5 enkesiti ve B2 durumu için d) 1-1 enkesiti, e) 3-3 enkesiti, f) 5-5 enkesiti

Çizelge 4.20. 20 lt/sn akış için, B0 ve B2 durumu için ortalama ve maksimum hız değişimlerinin incelenmesi

Derinlik boyunca maksimum hız					Derinlik boyunca ortalama hız				
Kesit no	Ölçüm noktası no	B0 durumu	B2 durumu	Hız değişimi (%)	Kesit no	Ölçüm noktası no	B0 durumu	B2 durumu	Hız değişimi (%)
1-1	1	0.752	0.771	2.51	1-1	1	0.649	0.660	1.80
	3	0.756	0.762	0.87		3	0.651	0.646	-0.76
	5	0.761	0.590	-22.45		5	0.647	0.492	-23.87
	7	0.826	0.644	-22.09		7	0.699	0.538	-23.09
3-3	1	0.752	0.803	6.69	3-3	1	0.654	0.699	6.79
	3	0.758	0.791	4.42		3	0.661	0.683	3.33
	5	0.763	0.576	-24.56		5	0.659	0.479	-27.30
	7	0.822	0.605	-26.46		7	0.721	0.524	-27.29
5-5	1	0.779	0.875	12.32	5-5	1	0.689	0.771	11.84
	3	0.785	0.861	9.59		3	0.691	0.744	7.71
	5	0.788	0.593	-24.85		5	0.696	0.510	-26.73
	7	0.842	0.654	-22.36		7	0.749	0.570	-23.92

Şekil 4.46'da, B2 ikili batık kanat durumu için batık kanatın sonrasındaki 5. ve 7. nokta B0 batık kanatsız durumda maksimum değerlere yakın olduğu, B2 ikili batık kanat durumunda ise bu noktalar en düşük hıza sahip olduğu gözlenmiştir. Çizelge 4.20. incelendiğinde batık kanat sonrasında 5. noktada, derinlik boyunca maksimum hızın %22-25, ortalama hızın ise %24-27 arasında azaldığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde, 7 nokta incelendiğinde, derinlik boyunca maksimum hızın %22-27, ortalama hızın ise %23-27 arasında azaldığı görülmüştür.

Şekil 4.47, ve Çizelge 4.21'de B0 ve B3 durumlarına ait maksimum akım hızı sonuçları, ortalama akım hızı sonuçları ve akım hızı değişimleri verilmiştir.



Şekil 4.47. 20 lt/sn akış için, B0 ve B3 durumlarına ait kesitlerdeki akım hızının derinlikle değişimi: B0 durumu için; a) 1-1 enkesiti, b) 3-3 enkesiti, c) 5-5 enkesiti ve B3 durumu için d) 1-1 enkesiti, e) 3-3 enkesiti, f) 5-5 enkesiti

Çizelge 4.21. 20 lt/sn akış için, B0 ve B3 durumu için ortalama ve maksimum hız değişimlerinin incelenmesi

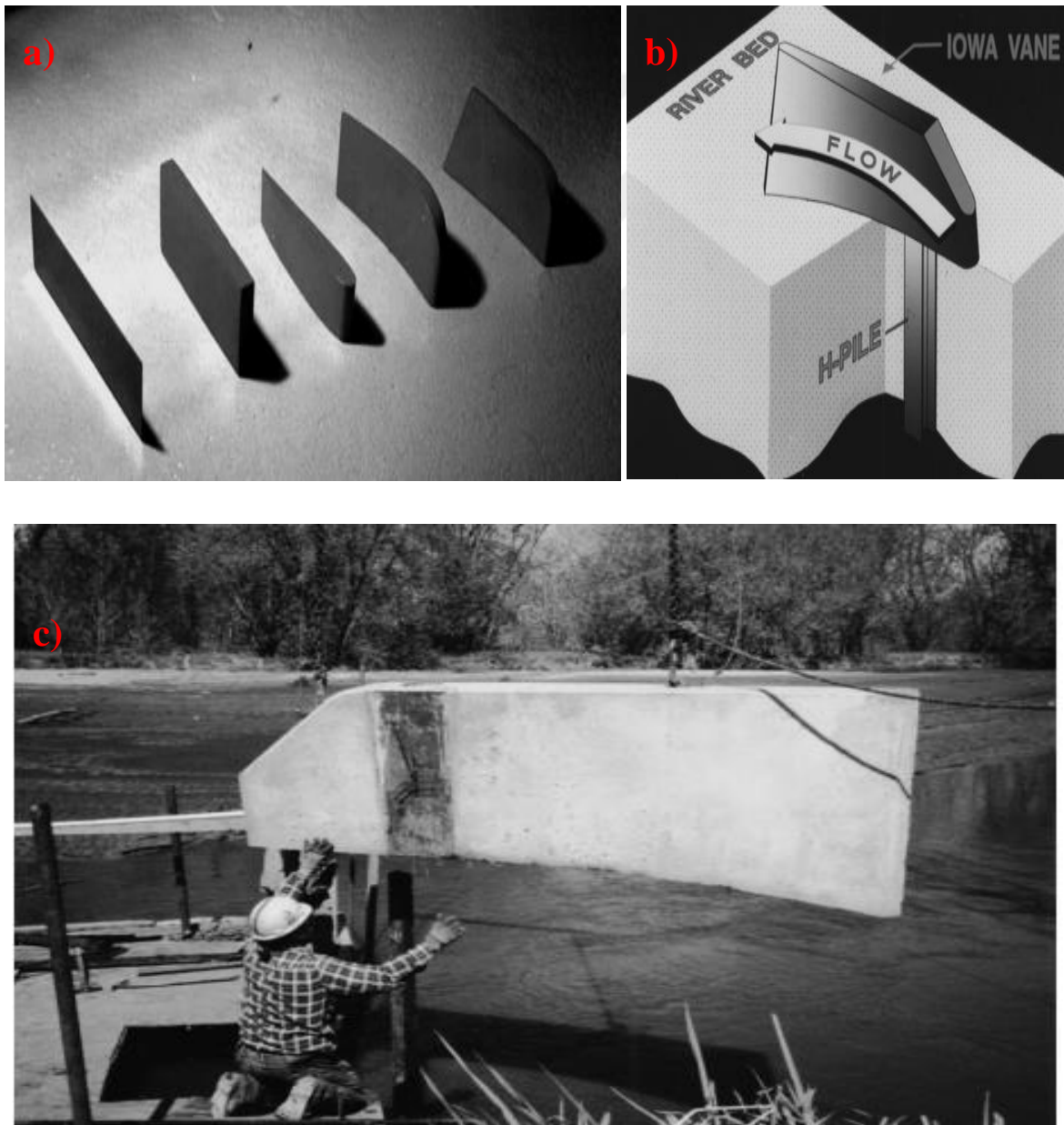
Derinlik boyunca maksimum hız					Derinlik boyunca ortalama hız				
Kesit no	Ölçüm noktası no	B0 durumu	B3 durumu	Hız değişimi (%)	Kesit no	Ölçüm noktası no	B0 durumu	B3 durumu	Hız değişimi (%)
1-1	1	0.752	0.758	0.81	1-1	1	0.649	0.639	-1.45
	3	0.756	0.581	-23.15		3	0.651	0.488	-25.05
	5	0.761	0.580	-23.79		5	0.647	0.476	-26.39
	7	0.826	0.667	-19.22		7	0.699	0.541	-22.59
3-3	1	0.752	0.803	6.81	3-3	1	0.654	0.690	5.45
	3	0.758	0.554	-26.95		3	0.661	0.472	-28.52
	5	0.763	0.548	-28.17		5	0.659	0.467	-29.02
	7	0.822	0.623	-24.25		7	0.721	0.528	-26.79
5-5	1	0.779	0.898	15.30	5-5	1	0.689	0.786	14.13
	3	0.785	0.639	-18.58		3	0.691	0.552	-20.10
	5	0.788	0.637	-19.17		5	0.696	0.552	-20.67
	7	0.842	0.700	-16.80		7	0.749	0.599	-20.08

Şekil 4.47’de, B3 üçlü batık kanat durumu için batık kanatın sonrasındaki 3., 5. ve 7. nokta B0 durumunda maksimum değerlere yakın olduğu, B3 üçlü batık kanat durumunda ise bu noktalar en düşük hıza sahip olduğu gözlenmiştir. Çizelge 4.21. incelendiğinde batık kanat sonrasında 3. noktada, derinlik boyunca maksimum hızın %19-27, ortalama hızın ise %20-29 arasında azaldığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde, 5. ve 7. nokta incelendiğinde, sırasıyla, derinlik boyunca maksimum hızın %19-28 ve %17-24 ortalama hızın ise %21-29 ve %20-27 arasında azaldığı görülmüştür.

Batık kanatların, derinlik boyunca maksimum ve ortalama akım hızına etkisi genel olarak değerlendirildiğinde, batık kanat sonrasında maksimum akım hızını %17-37 arasında ve ortalama akım hızını ise %14-38 arasında azalttığı gözlenmiştir.

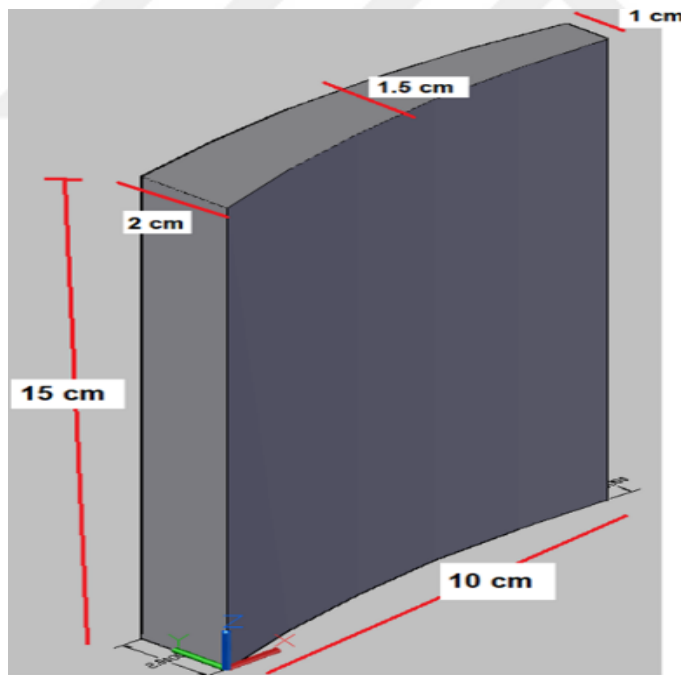
5. EĞRİSEL DÜZ ve AÇILI BATIK KANAT YAPILARININ NÜMERİK OLARAK İNCELENMESİ

Odgaard (2009)'dan faydalanılarak (Şekil 5.1.) akımın hem enerjisini azaltmak hemde akımı dış şevden iç şeve yönlendirerek eğrisel kanallar tasarlanmıştır. Odgaard (2009) çalışmasında, farklı akım şartları oluşturularak farklı batık kanat tipleri oluşturduğu Şekil 5.1(Odgaard,2009)'de görülmektedir.



Şekil 5.1. Batık kanat yapılarının çeşitleri (a), güncel kullanılan hali (b), Clear deresi, Iowa uygulaması

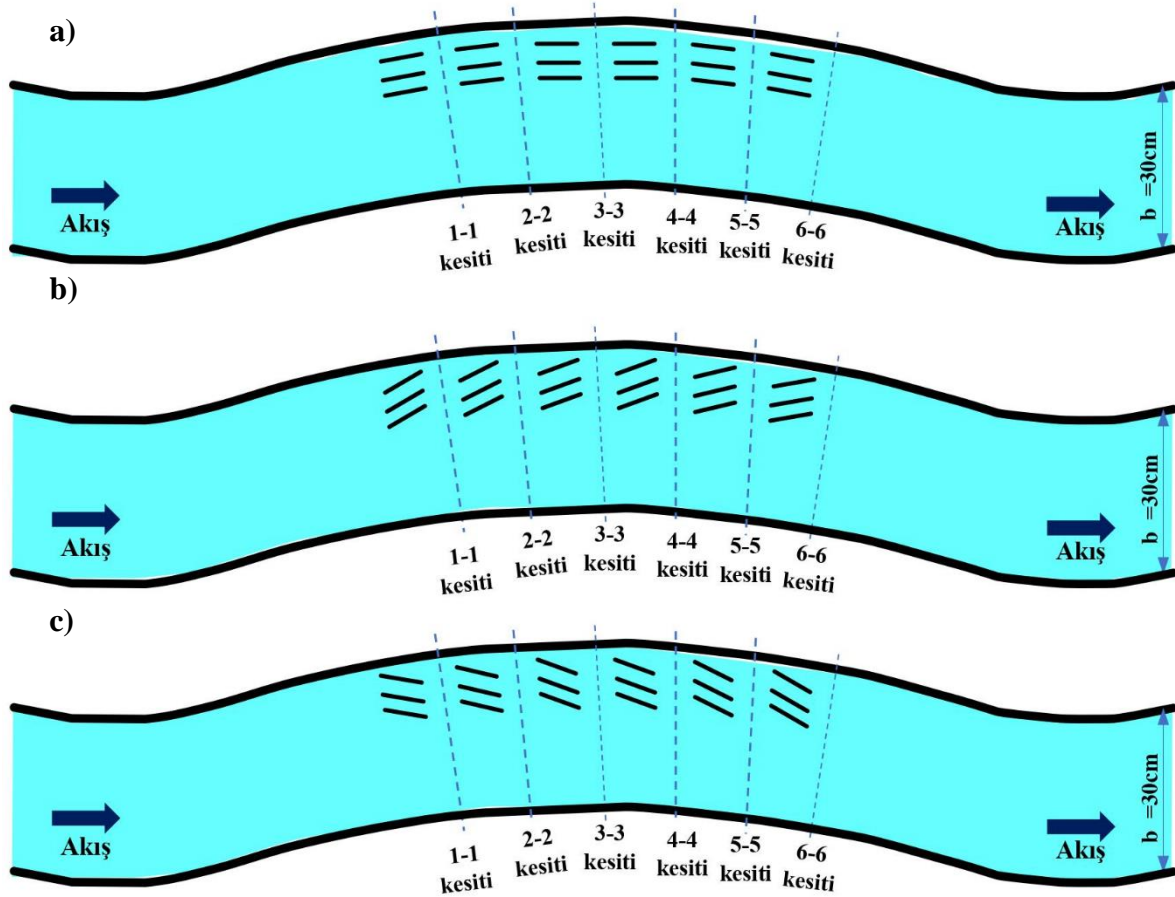
Önceki bölümde, 20 lt/sn akım debisi için B0 batık kanatsız durumda oluşturulan sayısal model deney sonuçları ile kalibre edilmiştir. Çalışmanın bu bölümünde, sayısal model oluşturulduktan sonra, 20 lt/sn akım şartları için B0 batık kanatsız başlangıç şartları kullanılarak, bu çalışmaya özgü olarak tasarlanan 3 farklı eğrisel batık kanat tipleri için akım şartlarının değişimi incelenmiş ve bu çalışmaların konuyla ilgili literatür çalışmalarına farklı bir yaklaşım ve yenilik getireceği düşünülerek değişken açılı geometriye sahip batık kanat modelleri kullanılmıştır. Bu çalışmada, aynı boyutlara sahip 3 farklı eğrisel batık kanat yapıları kullanılmıştır. Kullanılan eğrisel batık kanatlar; açısız ve akıma paralel olarak eğrisel batık kanat 1(EB1), 20 derece açı ile dış şeve yönlendirilerek eğrisel batık kanat 2 (EB2), iç şeve 20 derece yönlendirilerek eğrisel batık kanat 3 (EB3) durumlarıdır. Şekil 5.2’de kullanılan EB1, EB2 ve EB3 eğrisel batık kanat’ın üç boyutlu görünümü ve boyutları verilmiştir.



Şekil 5.2. Sayısal modelde kullanılan eğrisel batık kanatın 3 boyutlu görünümü

Şekil 5.2’de, kullanılan eğrisel batık kanatlar 15 cm yüksekliğinde, ön et kalınlığı 2 cm ve arka et kalınlığı 1 cm olarak elde edilmiştir. Şekil 5.3’de EB1, EB2 ve EB3 batık kanat modellerinin plandaki yerleşimi ve çalışılan kesitler verilmiştir. Şekil 5.3a’da EB1 eğrisel batık kanatların açısız ve akıma paralel olduğu, Şekil 5.3b’de EB2 eğrisel batık kanatların

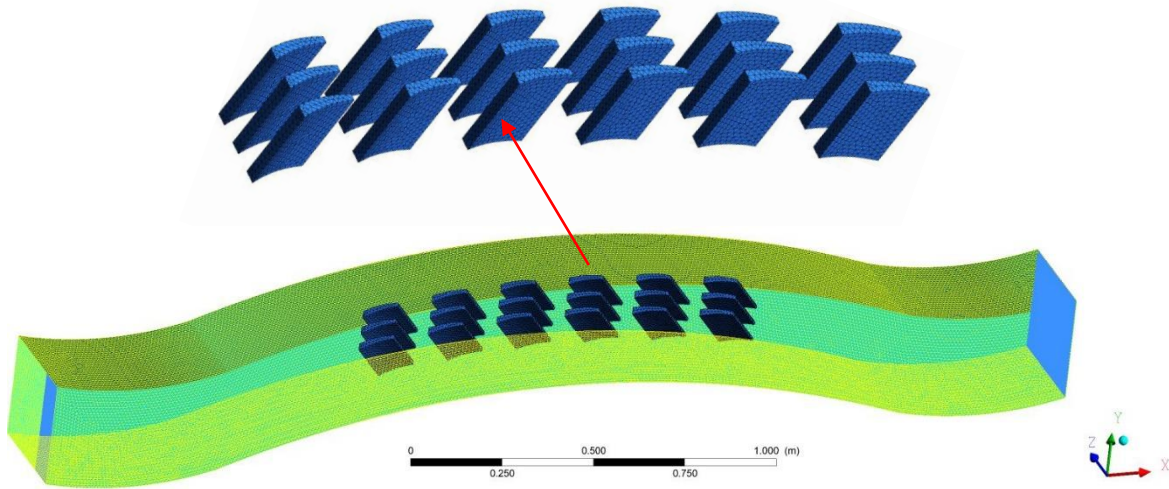
dış şeve 20° ile yönlendirildiği, Şekil 5.3c'de ise EB3 eğrisel batık kanatların iç şeve 20° ile yönlendirildiği görülmektedir.



Şekil 5.3. Sayısal modelde kullanılan eğrisel batık kanatların plan görünümü:
a) EB1 b) EB2 c) EB3

5.1. Ağ (mesh) Bilgileri

Bu çalışmada, EB1, EB2 ve EB3 batık kanat yapıları için 3B analiz oluşturulmuştur. Açık kanal deneyi B0 batık kanatsız durumuna göre başlangıç ve giriş koşulları tanımlanmış ve sayısal modeller oluşturulmuştur (Şekil 5.1 ve 5.2.). 20 lt/sn akış koşullarında EB1 batık kanatlı durumu için 1338899 ağ ve EB3 durumu için 1267938 ağ kullanılmıştır. Ağ oluşturma durumlarında, akış parametrelerinin yakınsama kriteri tüm çalışmalar için 0.01 olarak alınmıştır. Ayrıca tasarımda tetrahedron tipi ağlar kullanılmıştır. EB1 durumunun tasarımı için oluşturulan mesh ağı Şekil 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.4. Üç boyutlu batık kanat modelinde oluşturulan EB1 mesh ağ yapısı.

B0 batık kanatsız deneyindeki başlangıç ve sınır şartlarına göre (Çizelge 4.1.), modellemeler oluşturulmuştur. Tüm batık kanat durumları ile oluşan akışın sınır koşulları tanımlanmıştır. Ayrıca 20 lt/sn akım debisi için su giriş yüksekliği 8.5 cm olarak belirlenmiştir. Çizelge 5.1’de sayısal modelde kullanılan ağ, düğüm bilgileri verilmiştir.

Çizelge 5.1. Batık kanat ağ bilgileri

Batık kanat durumu	Ağ (mesh) tipi	Düğüm (Node) sayısı	Ağ (mesh) sayısı
EB1	Tetra-hedral	248784	1338899
EB2	Tetra-hedral	236693	1267123
EB3	Tetra-hedral	321481	1757822

5.2. Eğrisel Batık Kanat Sayısal Modellerine Göre 0.6d’de Akım Hızı Etkisinin İrdelenmesi

Bu bölümde daha önce yapılan B0 kanatsız ile EB1, EB2 ve EB3 eğrisel batık kanat durumları karşılaştırılmıştır. Önceki bölümde ölçümü yapılan 48 adet 0.6d’de bulunan ölçüm noktaları ve bunlara karşılık akım hızı değerleri sayısal model kullanılarak elde edilmiştir. Tüm sayısal model analizleri 20 lt/sn akım debisi için incelenmiştir. Yapılan değerlendirmelerde, batık kanat sonrası hız değişimini görebilmek için B0 kanatsız durum ve modellenen EB1, EB2 ve EB3 eğrisel batık kanat sonuçları; ortalama hıza göre (m/s) verilmiştir. Tüm ölçüm noktaları daha önceki 0.6d deki noktalar ile aynı alınmıştır (Şekil

3.1.). EB1 durumu için, 6 kesitten elde edilen sayısal model hız değerleri Şekil 5.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2'de sayısal modele ait B0 ve EB1 durumlarına ait hız sonuçları batık kanat etkisi için gösterilmiştir.

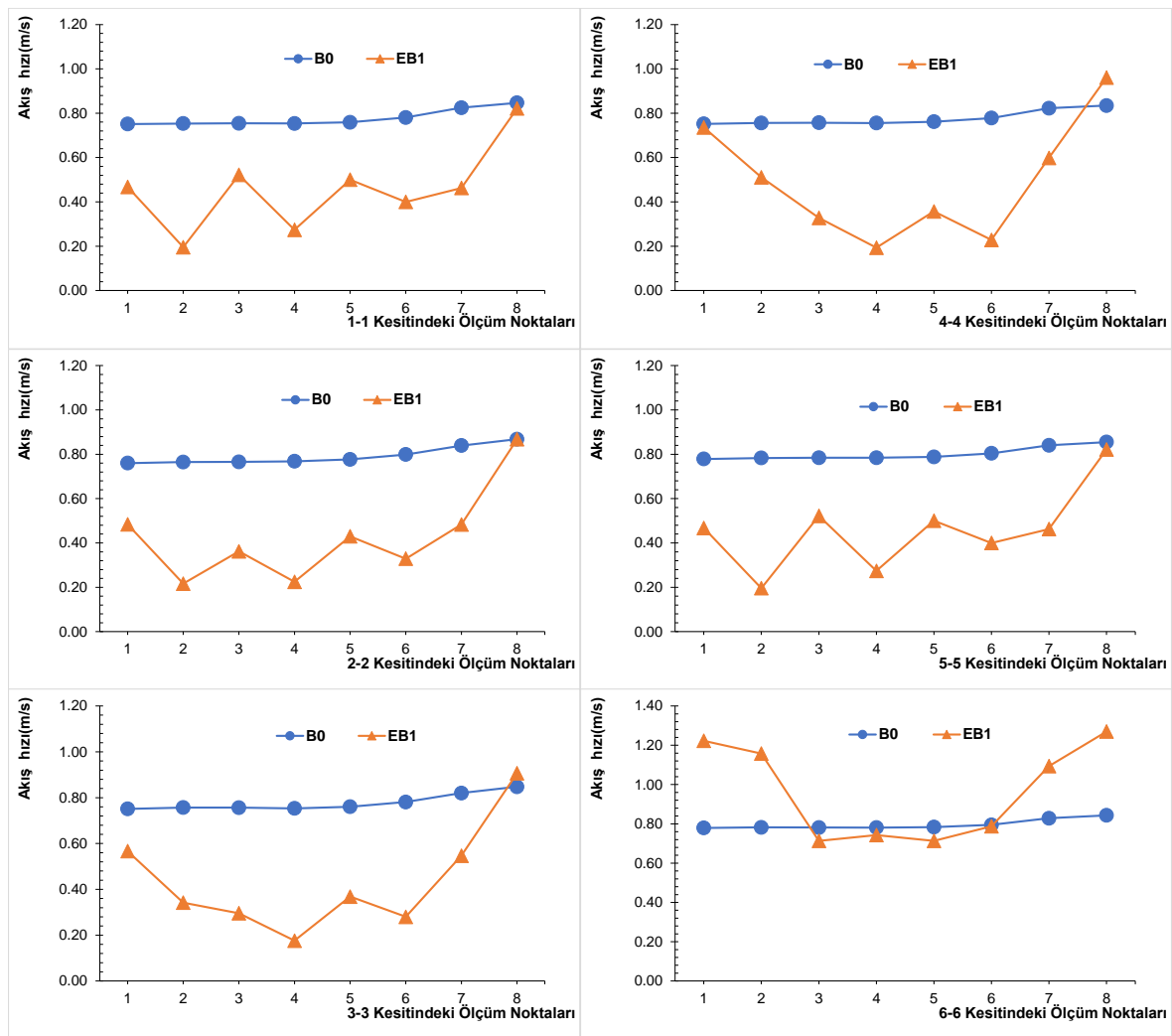
Çizelge 5.2. B0 ve EB1 durumu için hız değişimlerinin incelenmesi

Kesit no	Ölçüm noktası no	B0 Sonuçları (m/s)	EB1 Sonuçları (m/s)	Değişim (%)	Kesit no	Ölçüm noktası no	B0 Sonuçları (m/s)	EB1 Sonuçları (m/s)	Değişim (%)	
1-1	1	0.751	0.468	37.74	4-4	1	0.752	0.736	2.14	
	2	0.753	0.196	74.02		2	0.756	0.511	32.41	
	3	0.754	0.522	30.81		3	0.757	0.328	56.70	
	4	0.754	0.274	63.66		4	0.756	0.193	74.40	
	5	0.759	0.500	34.11		5	0.762	0.357	53.15	
	6	0.781	0.400	48.78		6	0.778	0.228	70.65	
	7	0.825	0.463	43.90		7	0.822	0.598	27.26	
	8	0.847	0.822	2.99		8	0.834	0.961	-15.15	
2-2	1	0.760	0.484	36.34	5-5	1	0.779	0.929	-19.22	
	2	0.765	0.216	71.71		2	0.783	0.704	10.10	
	3	0.766	0.362	52.73		3	0.784	0.394	49.75	
	4	0.768	0.225	70.78		4	0.784	0.337	57.03	
	5	0.777	0.430	44.68		5	0.788	0.397	49.66	
	6	0.799	0.329	58.83		6	0.804	0.286	64.38	
	7	0.839	0.483	42.42		7	0.840	0.735	12.51	
	8	0.868	0.868	0.05		8	0.855	1.053	-23.20	
3-3	1	0.751	0.567	24.57	6-6	1	0.779	1.223	-56.94	
	2	0.757	0.342	54.82		2	0.782	1.158	-48.01	
	3	0.757	0.296	60.93		3	0.782	0.713	8.71	
	4	0.753	0.176	76.61		4	0.781	0.743	4.88	
	5	0.760	0.368	51.55		5	0.784	0.713	8.96	
	6	0.781	0.280	64.13		6	0.795	0.788	0.89	
	7	0.820	0.547	33.35		7	0.829	1.094	-32.03	
	8	0.848	0.907	-6.95		8	0.844	1.270	-50.56	
									Min. Değişim	-56.94%
									Maks. Değişim	76.61%
									Ort. Değişim	29.40%

Çizelge 5.2. incelendiğinde, B0 batık kanatsız ve EB1 açısız eğrisel batık kanat durumları arasında etki net bir şekilde görülmektedir. Çizelge'de, her kesit içerisindeki maksimum değişimler sırasıyla, 1-1 kesitinde %74.02, 2-2 kesitinde %71.71, 3-3 kesitinde %76.61, 4-4 kesitinde %74.40, 5-5 kesitinde %64.38 ve 6-6 kesitinde %8.96 olduğu gözlenmiştir. Akım

hızındaki, maksimum değişimin 3-3 kesitinde ve 4. noktada olduğu, en az değişimin çıkış 6-6 kesitinde olup, batık kanatların etkisi azaldığından iç ve dış şevlere yakın noktalarda hız artışı tespit edilmiştir. Tüm kesitler incelendiğinde ise; B0 batık kanatsız ve EB1 eğrisel batık kanat durumları arasında, minimum değişimin (hızdaki artış) $-%56.94$, ortalama değişim $\%29.40$ ve maksimum değişim $\%76.61$ oranlarında tespit edilmiştir.

20 lt/sn için B0 ve EB1 durumlarında sayısal akım hızı sonuçları Şekil 5.5’de gösterilmiştir.



Şekil 5.5. 20 lt/sn akış durumunda EB1 batık kanat etkisi

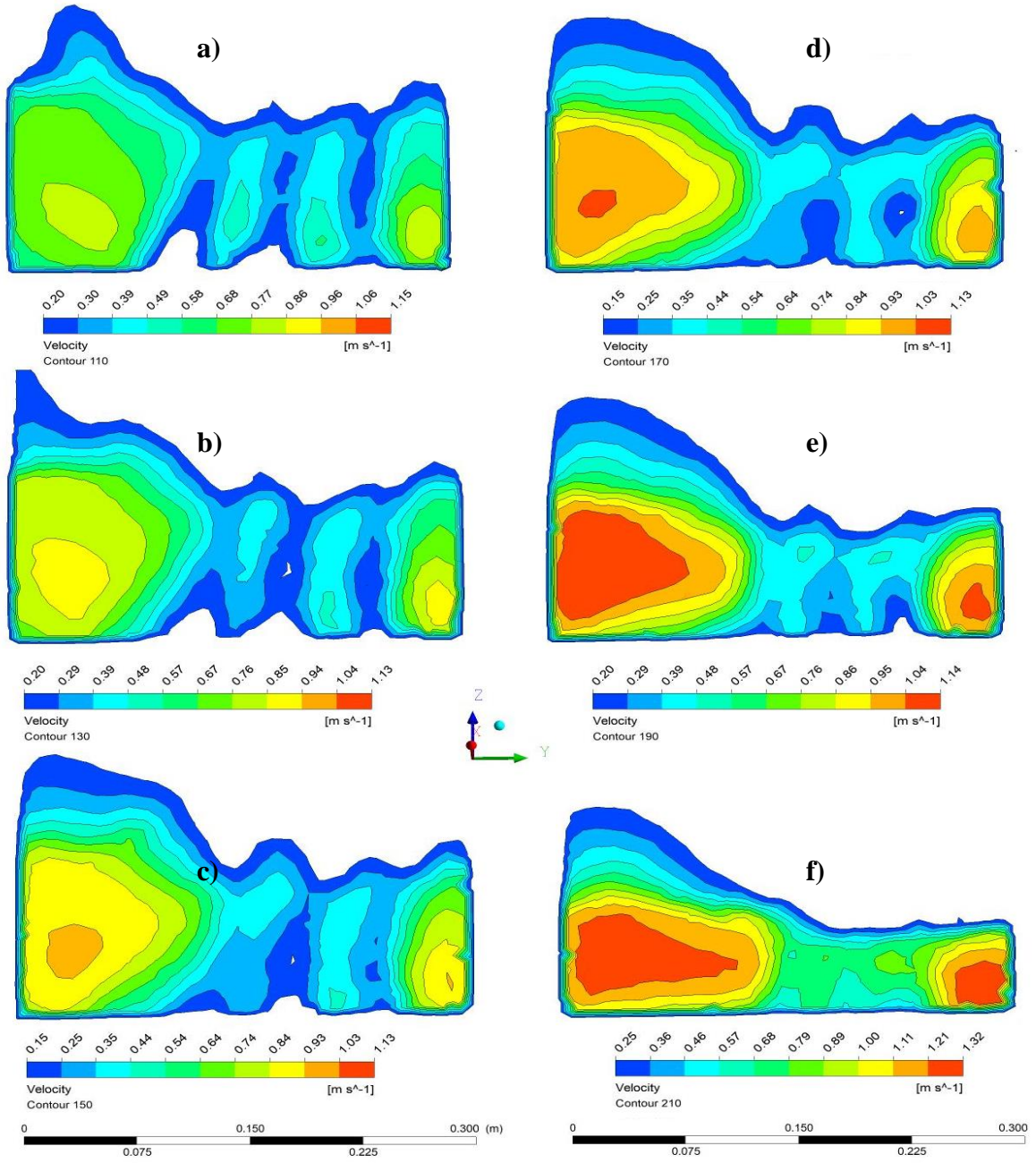
Çizelge 5.2 ve Şekil 5.5. incelendiğinde, EB1 durumunda, batık kanat sonrasında $\%77$ 'e yakın akım hızını azalttığı gözlenmiştir. Şekil’de, model sonuçlarından da tespit edildiği gibi, akım hızındaki maksimum değişimin 3-3 kesitinde, minimum değişimin 6-6 kesitinde

olduğu gözlenmiştir. Genel olarak, batık kanat sonrasında akım hızlarında azalma görülürken, batık kanat yanlarında ise akım hızlarında artma ve akımı yönlendirilmesi sayısal model sonuçlarından gözlenmiştir. İç şevde (1. noktada) genel olarak hızlarda azalma görülürken, dış şevde (8. noktada) akım hızlarının B0 kanatsız duruma göre aynı ya da akım hızını arttırdığı tespit edilmiştir. Batık kanat etrafındaki hızlarda artışlar (negatif değişimlerden) görülmektedir.

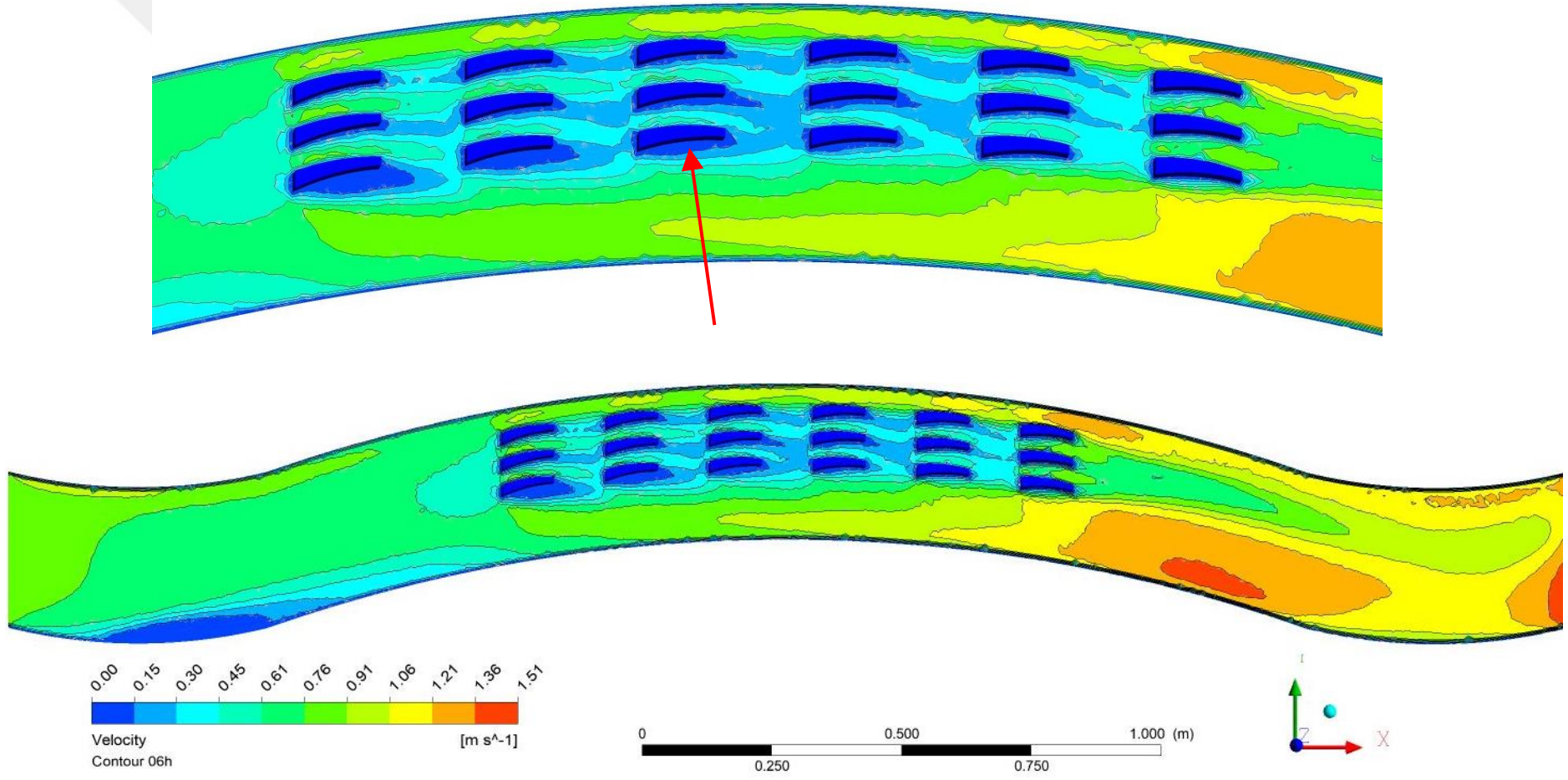
20 lt/sn için EB1 durumundaki sayısal modele ait enkesitsel ve contour olarak hız değişimleri Şekil 5.6'da verilmiştir.

Şekil 5.6'da verilen model için kesitler incelendiğinde, batık kanat sonrasında akım hızlarının azaldığı, kesitlerde batık kanatın etkisiyle 4 farklı akımın oluştuğu gözlenmiştir. 1-1 enkesitinden 6-6 enkesiti'ne kadar iç ve dış kıyıda oluşan akım hızlarının değişerek akım boyunca artarak maksimum hızların oluştuğu gözlenmiştir. Dış kıyıda alt ve köşe bölgelere ve batık kanat'a yakın bölgelerde hızların azaldığı buna bağlı olarak da derinliğin dengelendiği tespit edilmiştir. 0.6d derinlik için, sayısal modele ait contour hız değişimleri Şekil 5.7'de plan görünümü olarak verilmiştir.

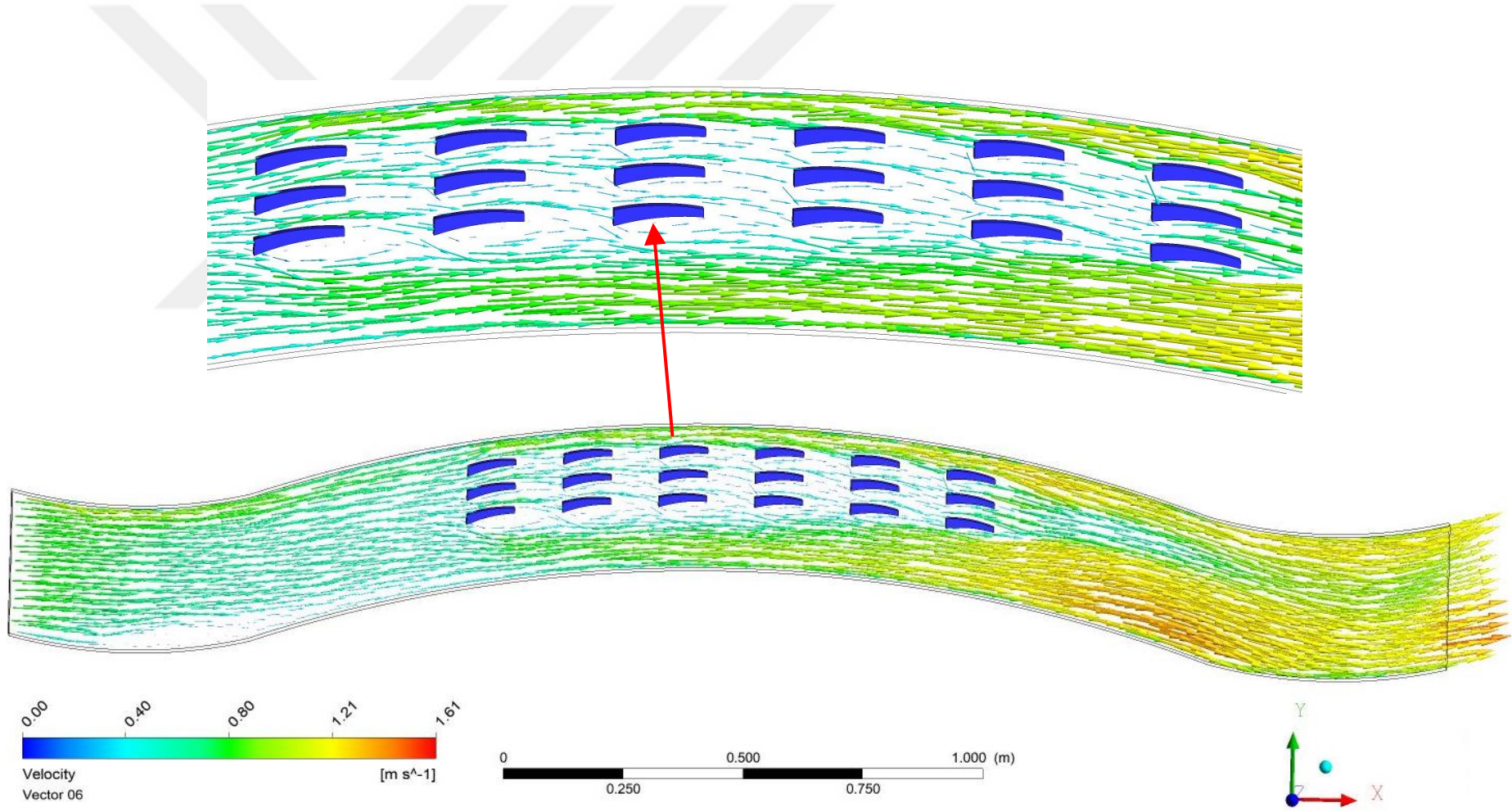
Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de batık kanat sonrasındaki akış hızlarında ciddi azalmalar açık bir şekilde görülürken iç ve dış şevlerde hız artmaları görülmüştür. 0.6d derinlik için, sayısal modele ait vektörel hız değişimleri Şekil 5.8'de plan görünümü olarak verilmiştir. Ayrıca, açık kanal giriş kesitinde kurb yakınlarında hızların arttığı, çıkış kesitinde kesitin normal akım şartlarına döndüğü gözlenmiştir. Şekil'de, batık kanat etkisiyle akımın iç kıyıya yönlendiği görülmüştür. Şekil 5.7 ve Şekil 5.8. incelendiğinde, batık kanatlı bölgede hem plan hem vektörel görünümde batık kanatlı bölgelerde akım miktarı ve akım hızlarının azalmasıyla, oyulma etkisinin azalabileceği düşünülmektedir.



Şekil 5.6. 20 lt/sn akış koşullarındaki ve EB1 durumu için 6 enkesitteki hız değişimleri:
 a) 1-1 enkesiti, b) 2-2 enkesiti, c) 3-3 enkesiti, d) 4-4 enkesiti, e) 5-5 enkesiti, f)
 6-6 enkesiti



Şekil 5.7. 20 lt/sn için EB1 durumundaki 0.6d'daki akım hızı değişiminin plan görünümü



Şekil 5.8.20 lt/sn için EB1 durumundaki 0.6d'daki akım hızı vektörel değişiminin plan görünümü

Çizelge 5.3'de sayısal modele ait B0 ve EB2 durumlarına ait hız sonuçları batık kanat etkisi için gösterilmiştir.

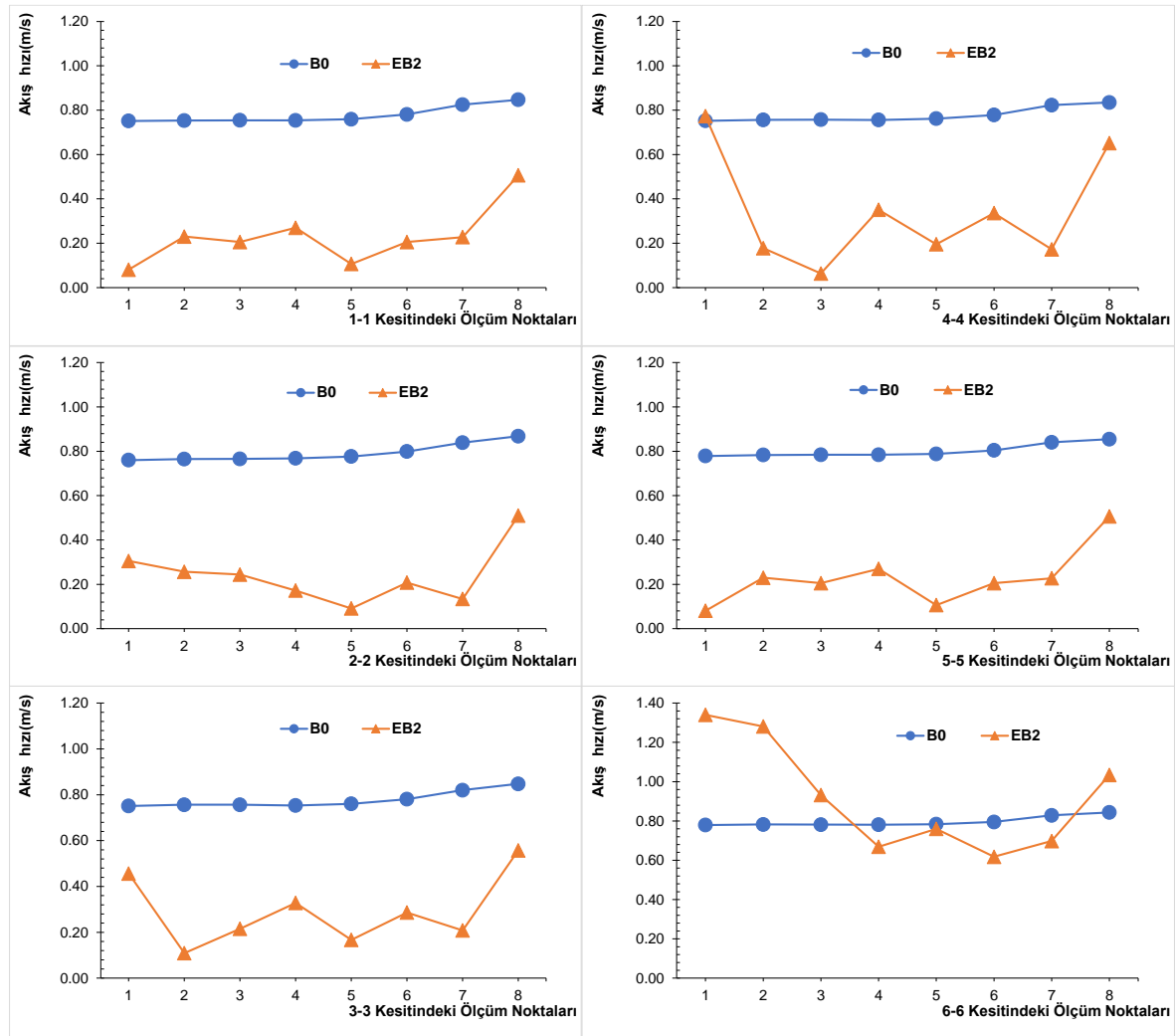
Çizelge 5.3. B0 ve EB2 durumu için hız değişimlerinin incelenmesi

Kesit no	Ölçüm noktası no	B0 Sonuçları (m/s)	EB2 Sonuçları (m/s)	Değişim (%)	Kesit no	Ölçüm noktası no	B0 Sonuçları (m/s)	EB2 Sonuçları (m/s)	Değişim (%)	
1-1	1	0.751	0.081	89.26	4-4	1	0.752	0.773	-2.75	
	2	0.753	0.230	69.46		2	0.756	0.178	76.49	
	3	0.754	0.205	72.80		3	0.757	0.063	91.64	
	4	0.754	0.270	64.22		4	0.756	0.351	53.61	
	5	0.759	0.106	86.00		5	0.762	0.195	74.35	
	6	0.781	0.205	73.70		6	0.778	0.336	56.86	
	7	0.825	0.227	72.45		7	0.822	0.172	79.05	
	8	0.847	0.506	40.25		8	0.834	0.651	21.97	
2-2	1	0.760	0.306	59.80	5-5	1	0.779	1.111	-42.66	
	2	0.765	0.257	66.41		2	0.783	0.607	22.48	
	3	0.766	0.244	68.10		3	0.784	0.125	84.12	
	4	0.768	0.172	77.63		4	0.784	0.355	54.77	
	5	0.777	0.091	88.27		5	0.788	0.254	67.76	
	6	0.799	0.208	73.97		6	0.804	0.329	59.10	
	7	0.839	0.134	84.03		7	0.840	0.213	74.65	
	8	0.868	0.510	41.29		8	0.855	0.751	12.09	
3-3	1	0.751	0.456	39.24	6-6	1	0.779	1.340	-71.95	
	2	0.757	0.109	85.54		2	0.782	1.281	-63.73	
	3	0.757	0.215	71.53		3	0.782	0.932	-19.25	
	4	0.753	0.328	56.41		4	0.781	0.669	14.36	
	5	0.760	0.167	78.05		5	0.784	0.760	3.04	
	6	0.781	0.286	63.32		6	0.795	0.618	22.23	
	7	0.820	0.208	74.60		7	0.829	0.698	15.79	
	8	0.848	0.558	34.20		8	0.844	1.034	-22.58	
									Min. Değişim	-71.95%
									Maks. Değişim	91.64%
									Ort. Değişim	47.75%

Çizelge 5.3. incelendiğinde, B0 batık kanatsız ve EB2 eğrisel batık kanat durumları arasında etki net bir şekilde görülmektedir. Çizelge'de, her kesit içerisindeki maksimum değişimler sırasıyla, 1-1 kesitinde %89.26, 2-2 kesitinde %88.27, 3-3 kesitinde %85.54, 4-4 kesitinde %91.64, 5-5 kesitinde %84.12 ve 6-6 kesitinde %22.23 olduğu gözlenmiştir. Akım hızındaki, maksimum değişimin 4-4 kesitinde ve 3. noktada olduğu, en az değişimin çıkış 6-6 kesitinde olup, batık kanatların etkisi azaldığından iç ve dış şevlere yakın noktalarda hız

artışı tespit edilmiştir. Tüm kesitler incelendiğinde ise; B0 batık kanatsız ve EB2 eğrisel batık kanat durumları arasında, minimum değişimin (hızdaki artış) $-%71.95$, ortalama değişim $\%47.75$ ve maksimum değişim $\%91.64$ oranlarında tespit edilmiştir.

20 lt/sn için B0 ve EB2 durumlarında sayısal akım hızı sonuçları Şekil 5.9’da gösterilmiştir.

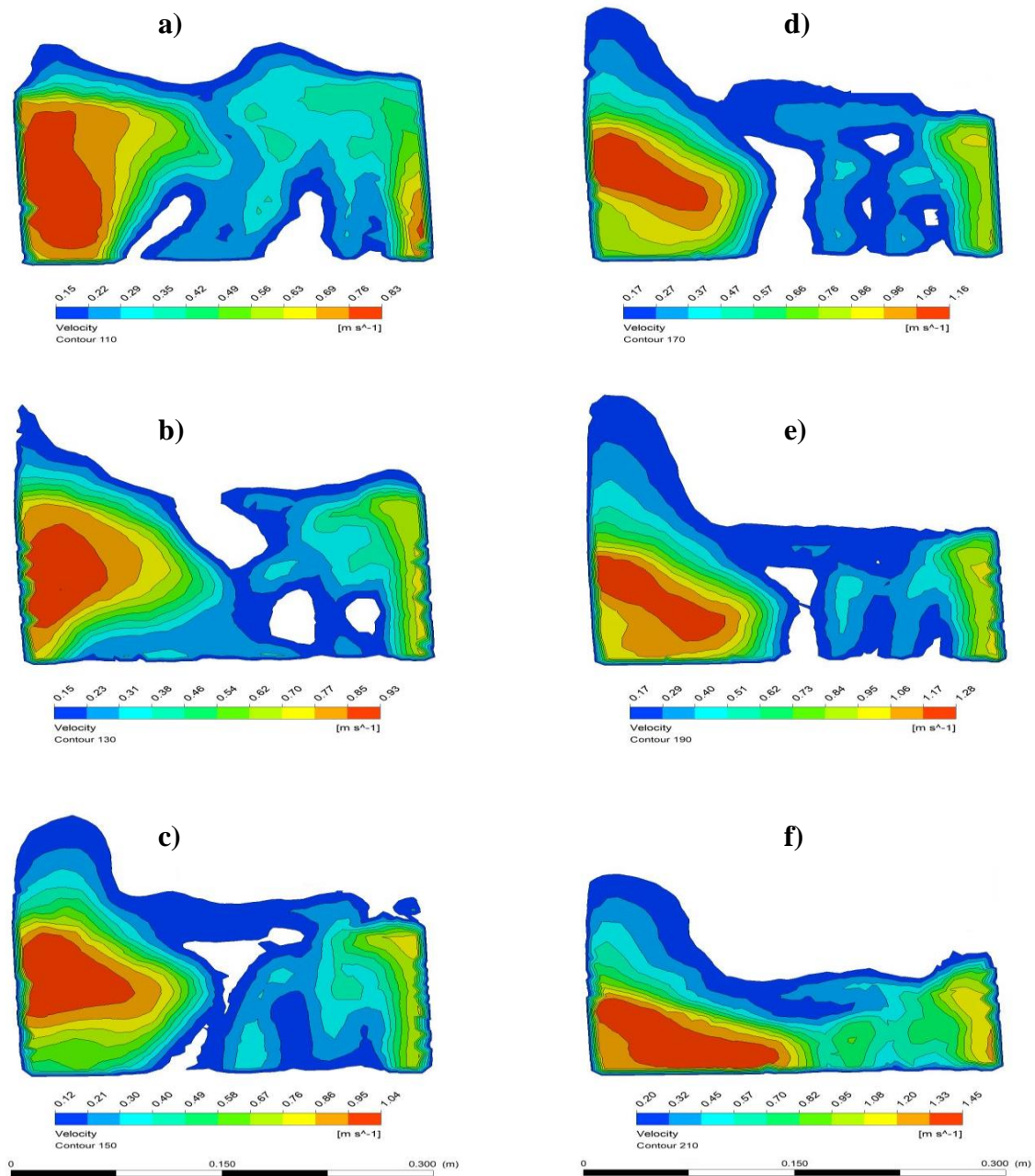


Şekil 5.9. 20 lt/sn akış durumunda EB2 batık kanat etkisi

Çizelge 5.3 ve Şekil 5.9. incelendiğinde, EB2 durumunda, batık kanat sonrasında $\%92$ 'e yakın akım hızını azalttığı gözlenmiştir. Şekil’de, model sonuçlarından da tespit edildiği gibi, akım hızındaki maksimum değişimin 4-4 kesitinde, minimum değişimin 6-6 kesitinde olduğu gözlenmiştir. EB1 durumu ile karşılaştırıldığında, EB2 durumunun batık kanatlı bölgede akım hızlarını azaltmada daha etkili olduğu söylenebilir. Genel olarak, batık kanat sonrasında akım hızında azalma görülürken, batık kanat yanlarında ise akım hızında artma

ve akım yönlendirilmesi görülmektedir. Genel olarak, iç ve dış şevlerde (1. ve 8. noktalarda) hızlarda azalma görülürken, çıkış 6-6 kesitinde 1 ve 8. noktalarda akım hızlarının B0 batık kanatsız duruma göre akım hızını arttırdığı tespit edilmiştir. Batık kanat etrafındaki hızlarda artışlar (negatif değişimlerden) görülmektedir.

20 lt/sn için EB2 durumundaki sayısal modele ait enkesitsel ve contour olarak hız değişimleri Şekil 5.10'da verilmiştir.



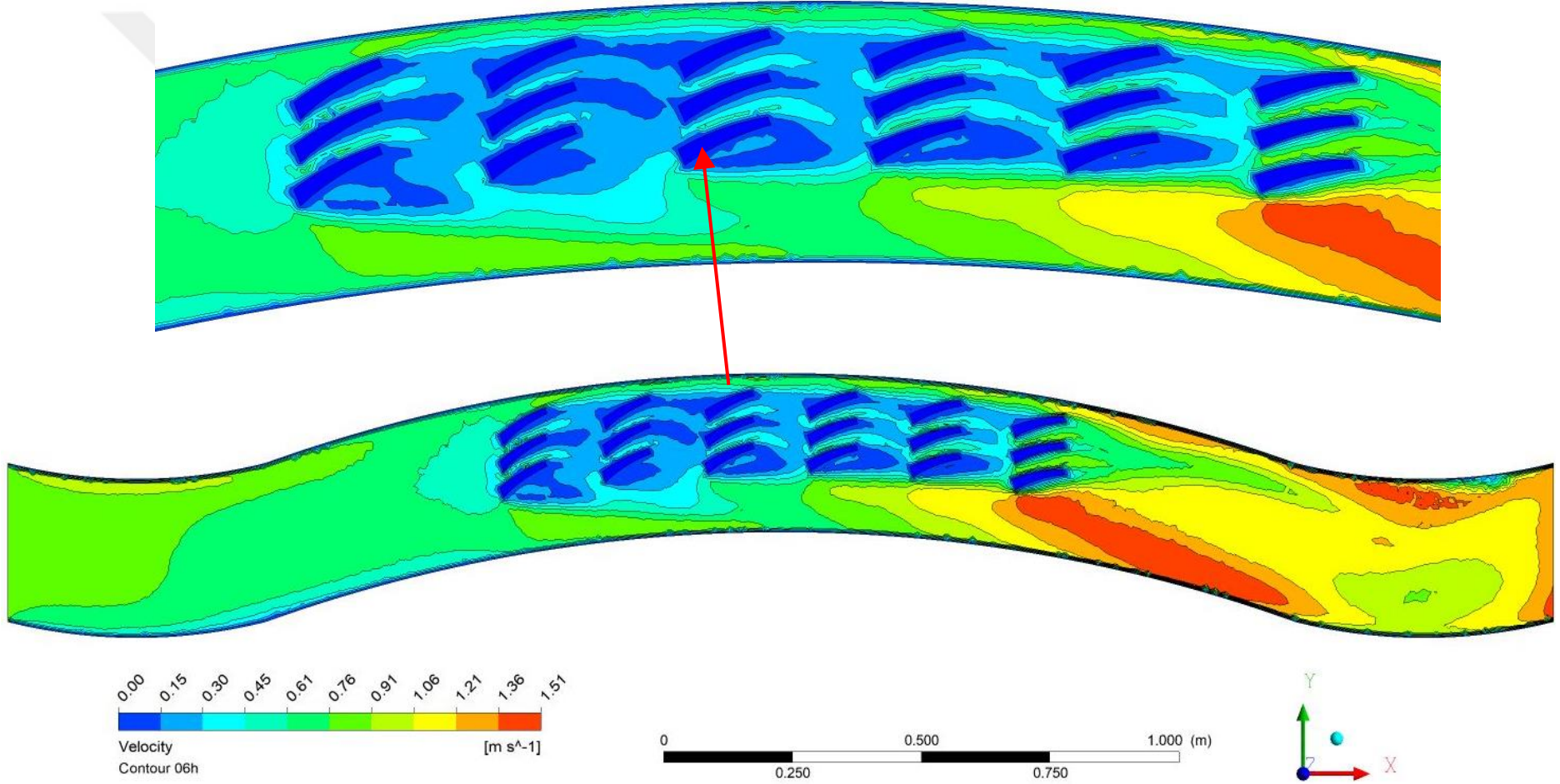
Şekil 5.10. 20 lt/sn akış koşullarındaki ve EB2 durumu için 6 enkesitteki hız değişimleri: a) 1-1 enkesiti, b) 2-2 enkesiti, c) 3-3 enkesiti, d) 4-4 enkesiti, e) 5-5 enkesiti, f) 6-6 enkesiti

Şekil 5.10'da verilen model için kesitler incelendiğinde, batık kanat sonrasında akım hızlarının azaldığı, kesitlerde batık kanatın etkisiyle 4 farklı akım oluştuğu gözlenmiştir. 1-1 kesitinden 6-6 kesitine kadar akım boyunca iç ve dış kıyıda oluşan maksimum hızın arttığı gözlenmiştir. Dış kıyıda alt ve köşe bölgelere ve batık kanat'a yakın bölgelerde hızların azaldığı buna bağlı olarak da derinliğin dengelendiği tespit edilmiştir.

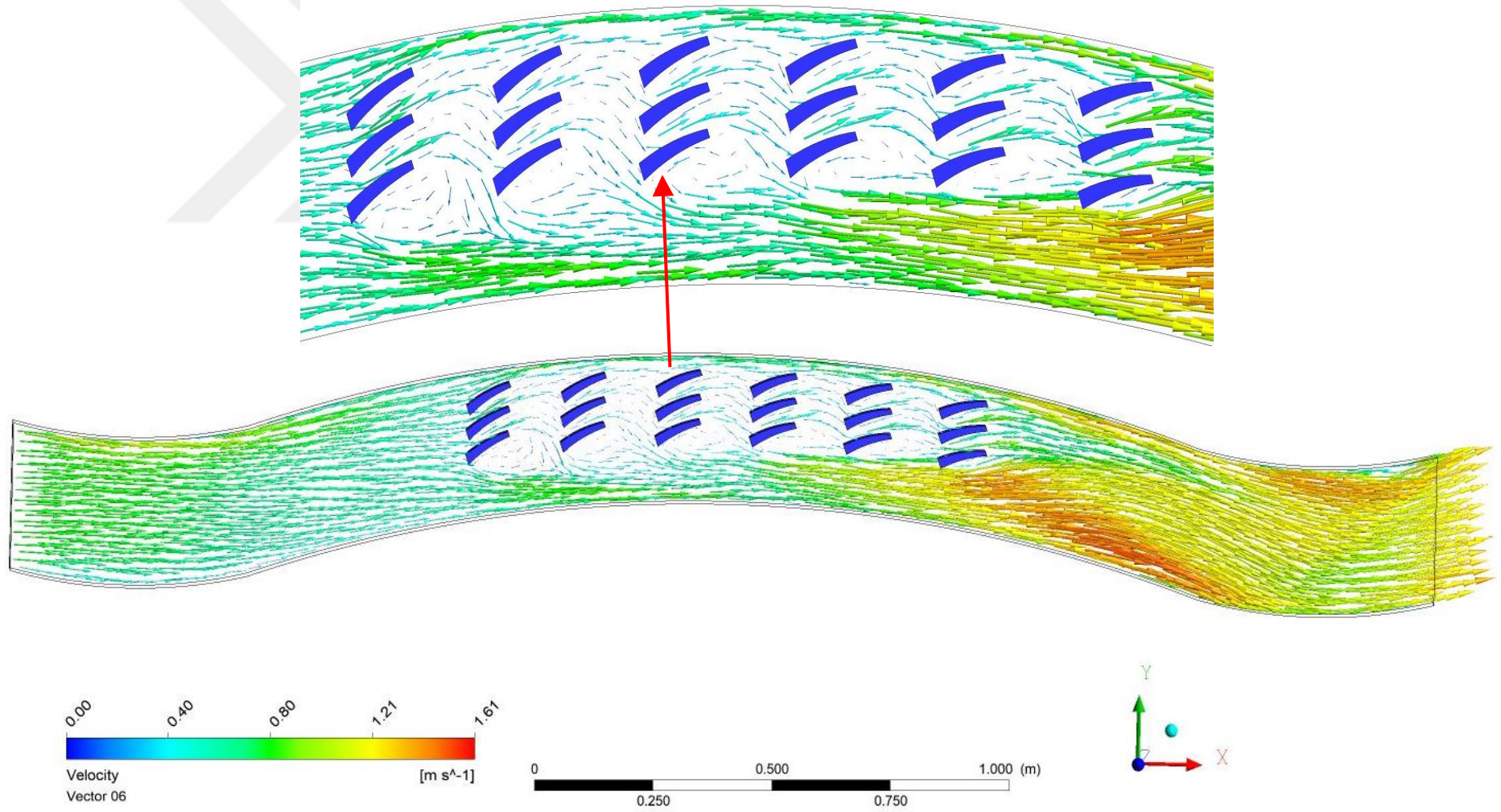
0.6d derinlik için, sayısal modele ait contour hız değişimleri Şekil 5.11'de plan görünümü olarak verilmiştir.

Şekil 5.11'e göre batık kanat sonrasındaki akış hızlarında ciddi azalmalar açık bir şekilde görülürken dış ve iç şevde hız artmaları görülmüştür. Ayrıca, açık kanal çıkış kesitinde hızların arttığı, gözlenmiştir. Şekil'de, batık kanat etkisiyle akımın iç kıyıya yönlendiği görülmüştür. 0.6d derinlik için, sayısal modele ait vektörel hız değişimleri Şekil 5.12'de plan görünümü olarak verilmiştir.

Şekil 5.12'de batık kanat sonrasındaki akış hızlarında ciddi azalmalar görülürken iç şevde hız artışları görülmüştür. Şekil incelendiğinde batık kanat etrafındaki akış yönlendirmeleri vektörel olarak iç şeve yönlendirildiği gözlenmiştir. Şekil 5.11. ve Şekil 5.12. incelendiğinde, batık kanatlı bölgelerde akım miktarı ve akım hızlarının azalmasıyla, oyulma etkisinin azalabileceği düşünülmektedir.



Şekil 5.11. 20 lt/sn için EB2 durumundaki 0.6d'daki akım hızı değişimi



Şekil 5.12.20 lt/sn için EB2 durumundaki 0.6d'deki akım hızı vektörel değişimi

Çizelge 5.4'de sayısal modele ait B0 ve EB3 durumlarına ait hız sonuçları batık kanat etkisi için gösterilmiştir.

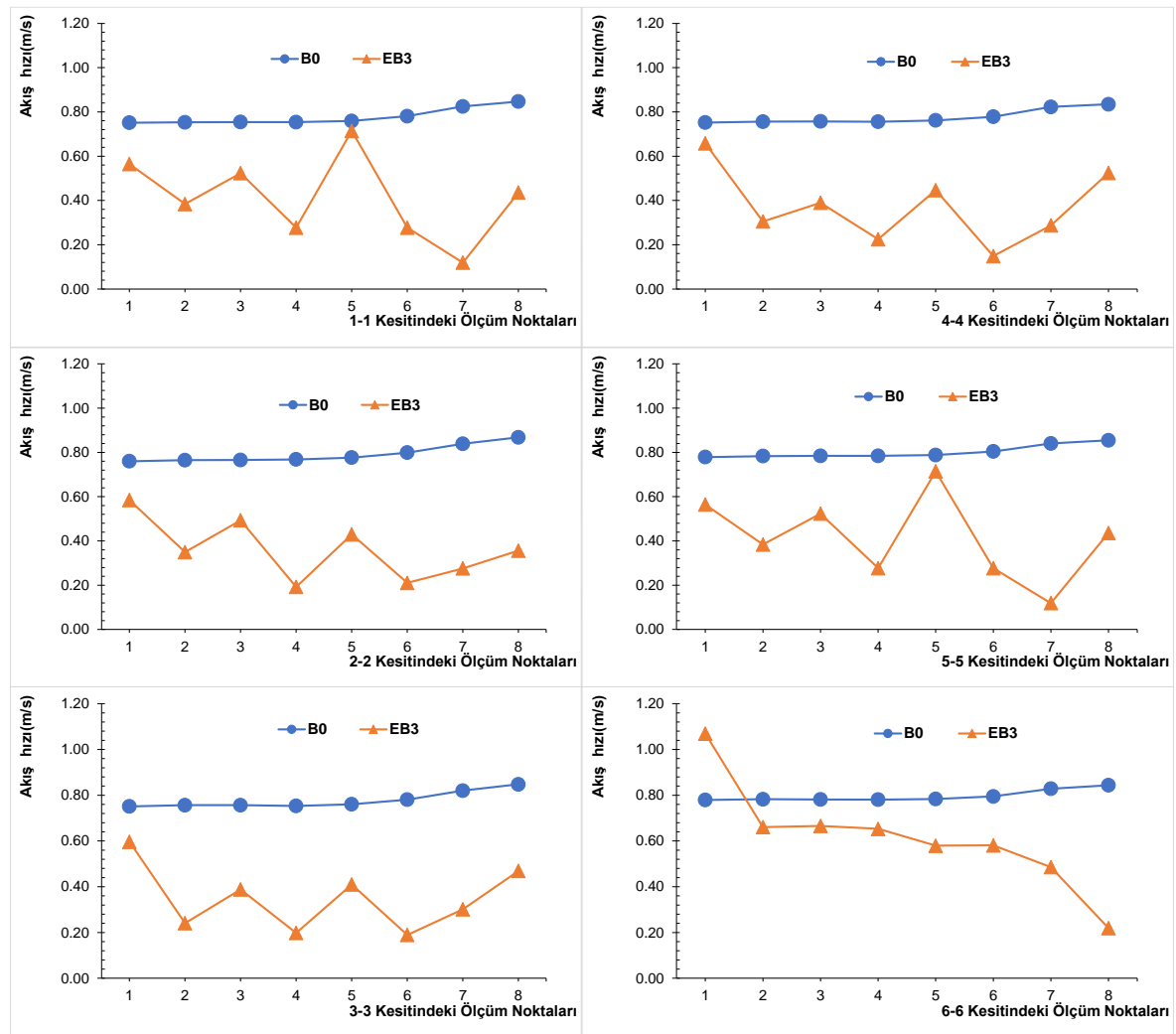
Çizelge 5.4. B0 ve EB3 durumu için hız değişimlerinin incelenmesi

Kesit no	Ölçüm noktası no	B0 Sonuçları (m/s)	EB3 Sonuçları (m/s)	Değişim (%)	Kesit no	Ölçüm noktası no	B0 Sonuçları (m/s)	EB3 Sonuçları (m/s)	Değişim (%)	
1-1	1	0.751	0.564	24.85	4-4	1	0.752	0.658	12.54	
	2	0.753	0.384	49.04		2	0.756	0.305	59.63	
	3	0.754	0.523	30.62		3	0.757	0.389	48.56	
	4	0.754	0.277	63.25		4	0.756	0.225	70.25	
	5	0.759	0.714	5.90		5	0.762	0.447	41.37	
	6	0.781	0.277	64.50		6	0.778	0.149	80.92	
	7	0.825	0.119	85.57		7	0.822	0.287	65.10	
	8	0.847	0.436	48.54		8	0.834	0.524	37.20	
2-2	1	0.760	0.585	23.09	5-5	1	0.779	0.777	0.22	
	2	0.765	0.350	54.31		2	0.783	0.385	50.88	
	3	0.766	0.493	35.59		3	0.784	0.424	45.91	
	4	0.768	0.192	74.97		4	0.784	0.240	69.41	
	5	0.777	0.429	44.71		5	0.788	0.443	43.81	
	6	0.799	0.211	73.64		6	0.804	0.229	71.56	
	7	0.839	0.276	67.12		7	0.840	0.455	45.90	
	8	0.868	0.356	58.96		8	0.855	0.743	13.09	
3-3	1	0.751	0.597	20.57	6-6	1	0.779	1.069	-37.17	
	2	0.757	0.241	68.16		2	0.782	0.661	15.53	
	3	0.757	0.388	48.67		3	0.782	0.666	14.79	
	4	0.753	0.198	73.69		4	0.781	0.653	16.37	
	5	0.760	0.410	46.07		5	0.784	0.579	26.06	
	6	0.781	0.190	75.72		6	0.795	0.581	26.93	
	7	0.820	0.302	63.23		7	0.829	0.486	41.37	
	8	0.848	0.469	44.64		8	0.844	0.219	74.00	
									Min. Değişim	-37.17%
									Maks. Değişim	85.57%
									Ort. Değişim	45.41%

Çizelge 5.4. incelendiğinde, batık kanatsız B0 ve EB3 eğrisel batık kanat durumları arasında etki net bir şekilde görülmektedir. Çizelge'de, her kesit içerisindeki maksimum değişimler sırasıyla, 1-1 kesitinde %85.57, 2-2 kesitinde %74.97, 3-3 kesitinde %75.72, 4-4 kesitinde %80.92, 5-5 kesitinde %71.56 ve 6-6 kesitinde %74.00 olduğu gözlenmiştir. Akım hızındaki, maksimum değişimin 1-1 kesitinde ve 7. noktada oluştuğu, en az değişimin çıkış 6-6 kesitinde olup, batık kanatların etkisi azaldığından iç ve dış şevlere yakın noktalarda hız

artışı tespit edilmiştir. Tüm kesitler incelendiğinde ise; B0 batık kanatsız ve EB3 eğrisel batık kanat durumları arasında, minimum değişimin (hızdaki artış) $-%37.17$, ortalama değişim $\%45.41$ ve maksimum değişim $\%85.57$ oranlarında tespit edilmiştir.

20 lt/sn için B0 ve EB3 durumlarında sayısal akım hızı sonuçları Şekil 5.13’de gösterilmiştir.

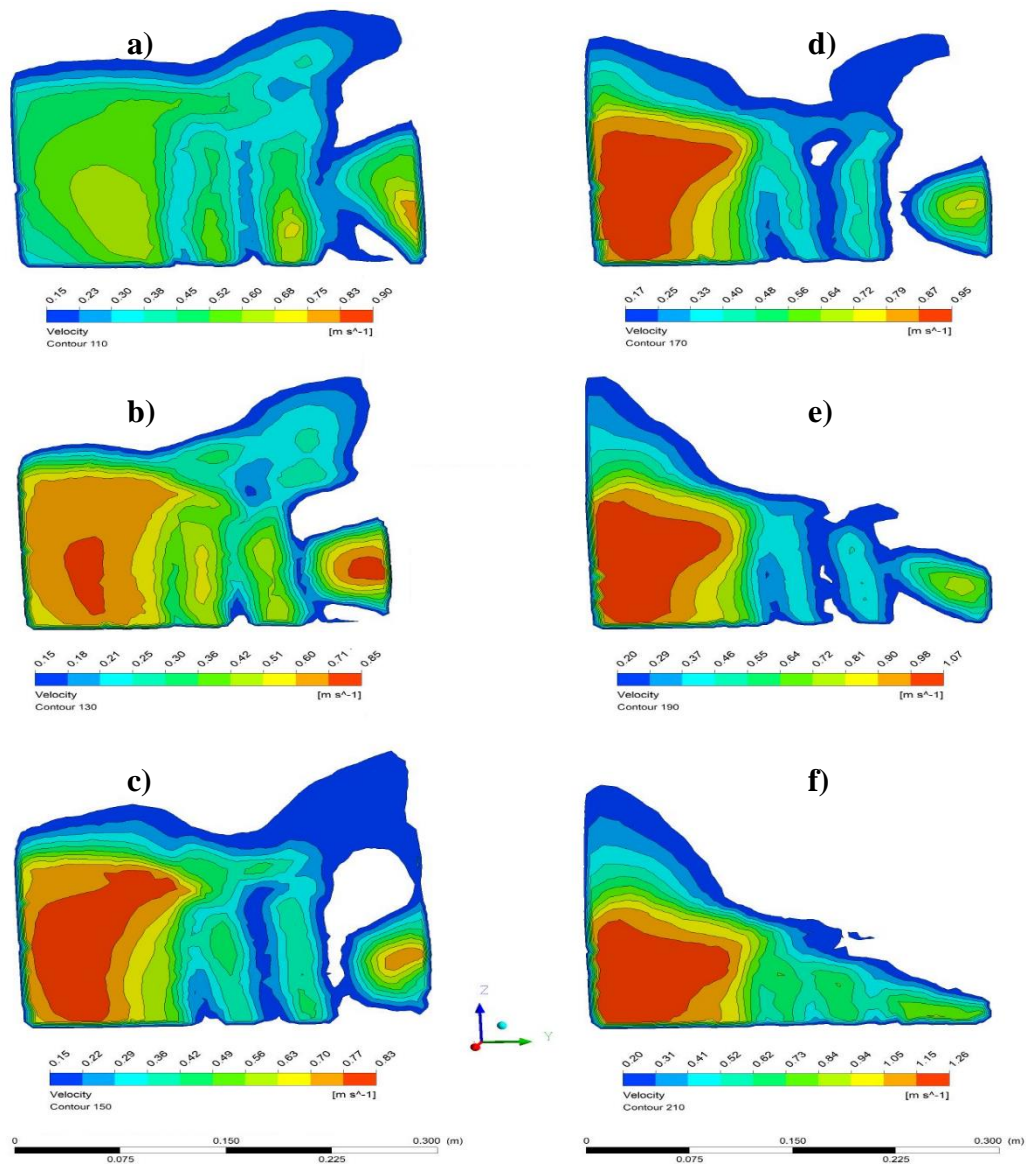


Şekil 5.13. 20 lt/sn akış durumunda EB3 batık kanat etkisi

Çizelge 5.4 ve Şekil 5.13, incelendiğinde, EB3 durumunda, Batık kanat sonrasında $\%86$ 'ya yakın akım hızını azalttığı gözlenmiştir. Şekil’de, model sonuçlarından da tespit edildiği gibi, akım hızındaki maksimum değişimin 1-1 kesitinde, minimum değişimin 6-6 kesitinde olduğu gözlenmiştir. EB1 ve EB2 durumu ile karşılaştırıldığında, EB3 durumunun batık kanatlı bölgede akım hızlarını azaltmada EB2 durumundan sonra etkili olduğu söylenebilir. Genel olarak, batık kanat sonrasında akım hızında azalma görülürken, kanat yanlarında ise

akım hızında azalma ve akım yönlendirilmesi görülmektedir. Genel olarak, iç ve dış şevlerde (1. ve 8. noktalarda) hızlarda azalma görülürken, çıkış kesitinde 1. noktada akım hızlarının B0 kanatsız duruma göre akım hızını arttırdığı tespit edilmiştir. Batık kanat etrafındaki hızlarda artışlar (negatif değişimlerden) görülmektedir.

20 lt/sn için EB3 durumundaki sayısal modele ait enkesitsel ve contour olarak hız değişimleri Şekil 5.14'de verilmiştir.



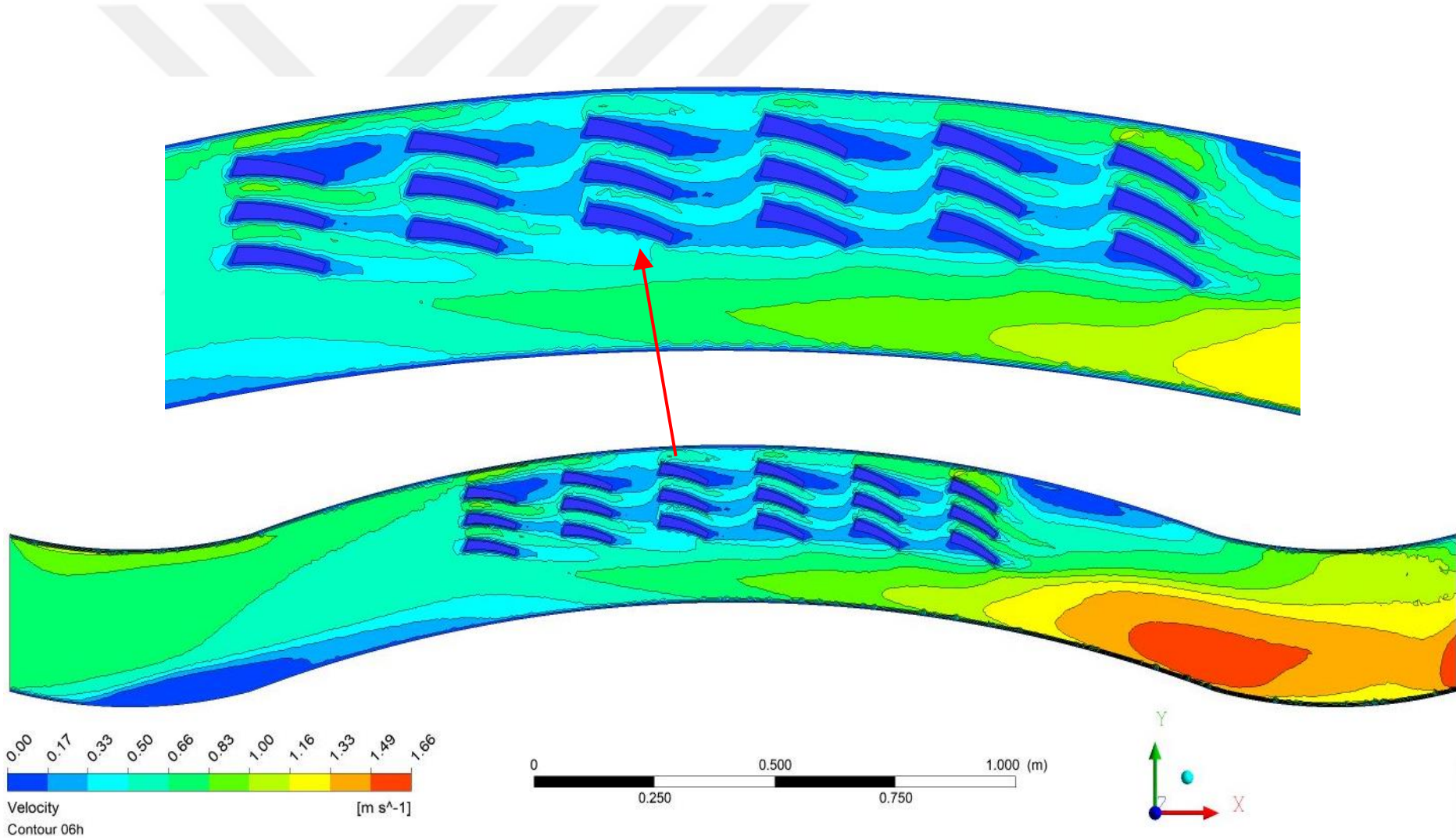
Şekil 5.14. 20 lt/sn akış koşullarındaki ve EB3 durumu için 6 enkesitteki hız değişimleri: a) 1-1 enkesiti, b) 2-2 enkesiti, c) 3-3 enkesiti, d) 4-4 enkesiti, e) 5-5 enkesiti, f) 6-6 enkesiti

Şekil 5.14’de verilen model için kesitler incelendiğinde, batık kanat sonrasında akım hızlarının azaldığı, kesitlerde batık kanatın etkisiyle 4 farklı akım oluştuğu gözlenmiştir. 1-1 kesitinden 6-6 kesitine kadar akım boyunca iç ve dış kıyıda oluşan maksimum hızın arttığı gözlenmiştir. Dış kıyıda alt ve köşe bölgelere ve batık kanat’a yakın bölgelerde hızların azaldığı buna bağlı olarak da derinliğin dengelendiği tespit edilmiştir.

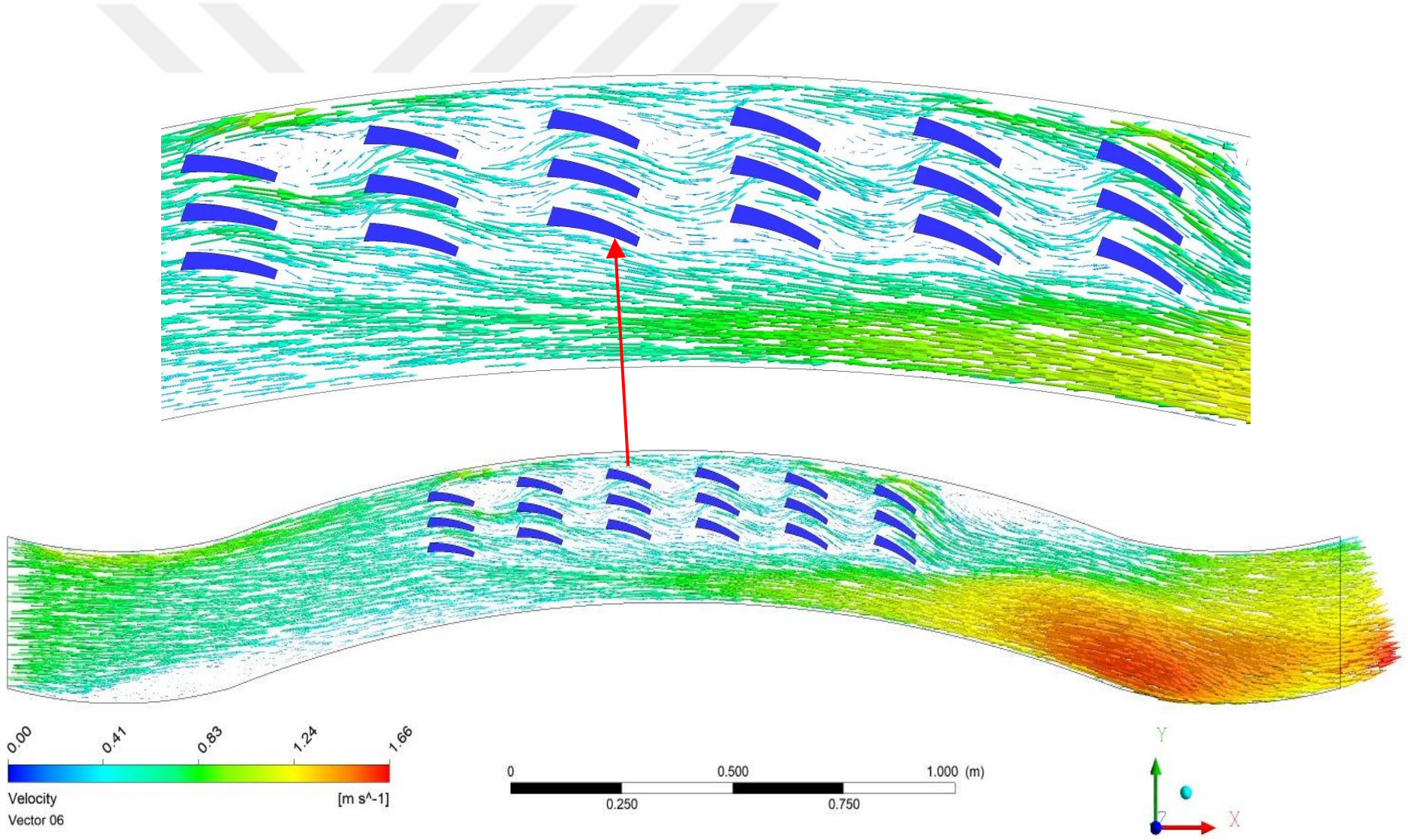
0.6d derinlik için, sayısal modele ait contour hız değişimleri Şekil 5.15’de plan görünümü olarak verilmiştir.

Şekil 5.15’de batık kanat sonrasındaki akış hızlarında ciddi azalmalar açık bir şekilde görülürken dış ve iç şevde hız artmaları görülmüştür. 0.6d derinlik için, sayısal modele ait vektörel hız değişimleri Şekil 5.16’da plan görünümü olarak verilmiştir.

Şekil 5.16’da açık kanal giriş kesitinde kurb yakınlarında hızların arttığı, çıkış kesitinde kesitin normal akım şartlarına döndüğü gözlenmiştir. Şekil’de, batık kanat etkisiyle akımın iç kıyıya yönlendiği görülmüştür. Şekil 5.15. ve Şekil 5.16. incelendiğinde, batık kanatlı bölgelerde akım miktarı ve akım hızlarının azalmasıyla, oyulma etkisinin azalabileceği düşünülmektedir.



Şekil 5.15. 20 lt/sn için EB3 durumundaki 0.6d'daki akım hızı değişimi

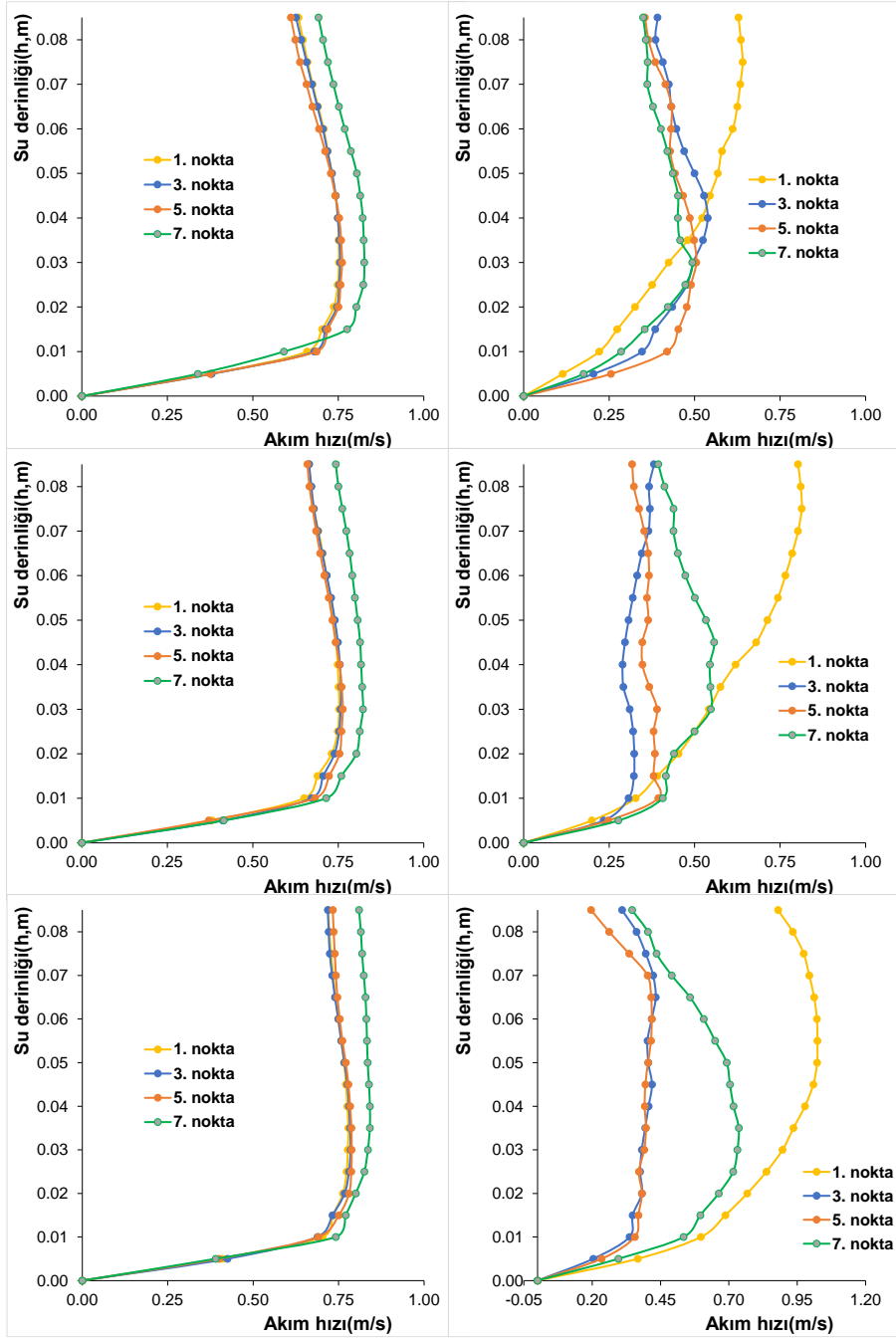


Şekil 5.16.20 lt/sn için EB3 durumundaki 0.6d'daki akım hızı vektörel değişimi

5.3. Eğrisel Batık Kanat Yapılarının Derinlik Boyunca Ortalama ve Maksimum Hıza Etkisi

Bu bölümde 4.5. bölümündeki analizlere benzer olarak, sayısal model ile elde edilen, akımın batık kanat etkisini araştırmak için, kanat sonrasında ve iç kıyıdaki ölçüm noktalarının olduğu derinlik boyunca akım hızlarının maksimum ve ortalama hızları incelenmiştir. Batık kanat sonrasında 3.,5. ve 7. noktalar ve EB1, EB2 ve EB3 durumları için iç kıyıya yakın 1. nokta incelenmiştir(Şekil 4.41.). 20 lt/sn akım debisi için verilmiştir.

Şekil 5.17. ve Çizelge 5.5’de B0 ve EB1 durumlarına ait maksimum ve ortalama akım hızı sonuçları (m/s), akım hızı değişimleri % olarak incelenmiştir.



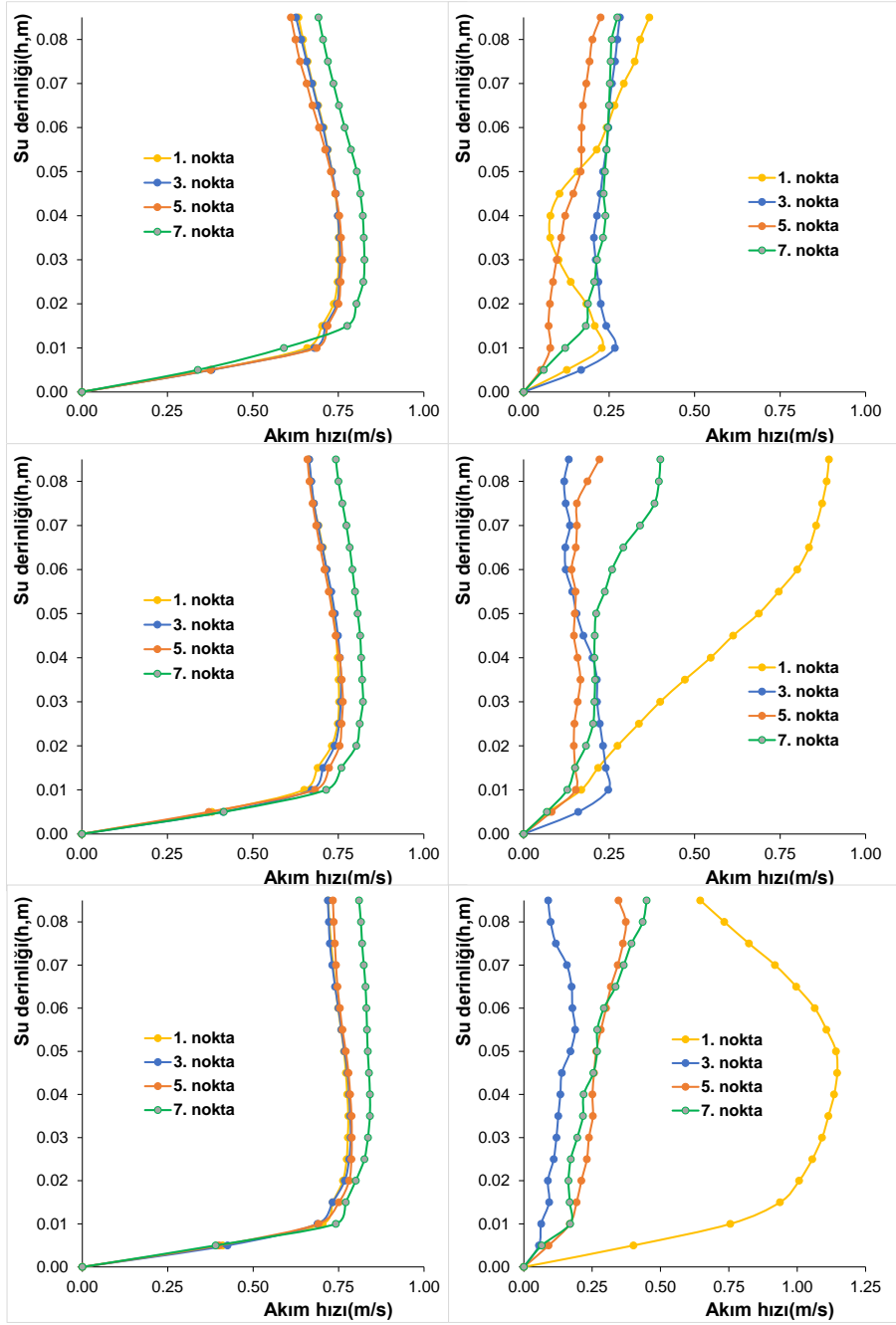
Şekil 5.17. B0 ve EB1 durumlarına ait kesitlerdeki akım hızının derinlikle değişimi: B0 durumu için; a) 1-1 enkesiti, b) 3-3 enkesiti, c) 5-5 enkesiti ve EB1 durumu için d) 1-1 enkesiti, e) 3-3 enkesiti, f) 5-5 enkesiti

Çizelge 5.5. B0 ve EB1 durumu için ortalama ve maksimum hız değişimlerinin incelenmesi

Derinlik boyunca maksimum hız					Derinlik boyunca ortalama hız				
Kesit no	Ölçüm noktası no	B0 durumu	EB1 durumu	Hız değişimi (%)	Kesit no	Ölçüm noktası no	B0 durumu	EB1 durumu	Hız değişimi (%)
1-1	1	0.752	0.641	-14.77	1-1	1	0.649	0.456	-29.76
	3	0.756	0.538	-28.75		3	0.651	0.411	-36.89
	5	0.761	0.505	-33.65		5	0.647	0.406	-37.25
	7	0.826	0.493	-40.31		7	0.699	0.368	-47.30
3-3	1	0.752	0.813	8.10	3-3	1	0.654	0.585	-10.66
	3	0.758	0.381	-49.68		3	0.661	0.304	-53.92
	5	0.763	0.394	-48.41		5	0.659	0.335	-49.18
	7	0.822	0.557	-32.23		7	0.721	0.438	-39.34
5-5	1	0.779	1.024	31.52	5-5	1	0.689	0.830	20.46
	3	0.785	0.433	-44.90		3	0.691	0.355	-48.54
	5	0.788	0.418	-46.97		5	0.696	0.341	-51.03
	7	0.842	0.736	-12.53		7	0.749	0.549	-26.74

Şekil 5.17’de, EB1 durumu için batık kanatın sonrasındaki 3., 5. ve 7. nokta B0 durumunda maksimum değerlere yakın olduğu, EB1 durumunda ise bu noktalar en düşük hıza sahip olduğu gözlenmektedir. Çizelge 5.5. incelendiğinde batık kanat sonrasında 3. noktada, derinlik boyunca maksimum hızın %29-50, ortalama hızın ise %37-54 arasında azaldığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde, 5. ve 7. nokta incelendiğinde, sırasıyla, derinlik boyunca maksimum hızın %34-48 ve %13-40 ortalama hızın ise %37-51 ve %27-47 arasında azaldığı görülmüştür.

Şekil 5.18. Çizelge 5.6’da, 20 lt/sn akım debisi için, B0 ve EB2 durumlarına ait maksimum akım hızı sonuçları, ortalama akım hızı sonuçları ve akım hızı değişimleri verilmiştir.



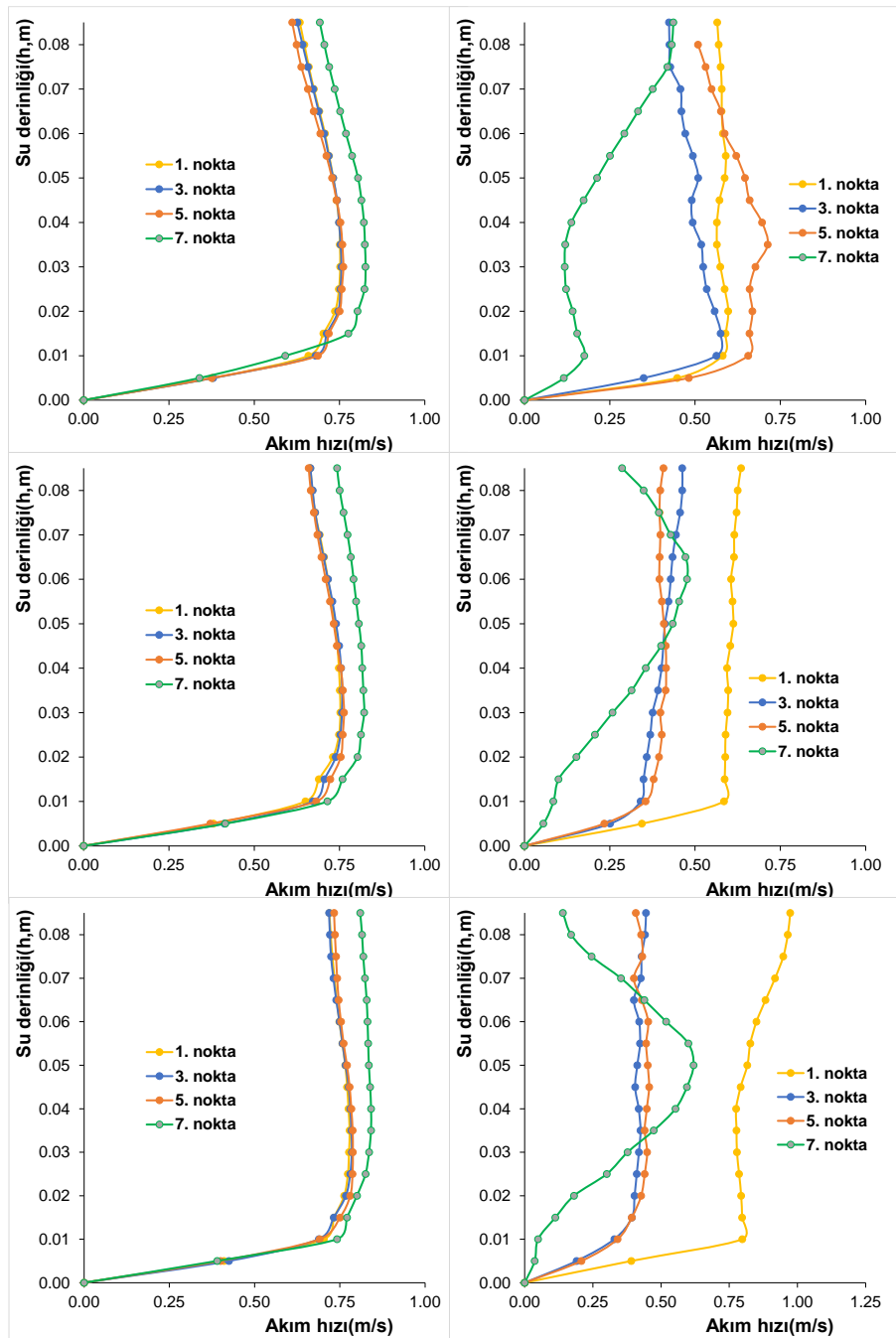
Şekil 5.18. B0 ve EB2 durumlarına ait kesitlerdeki akım hızının derinlikle değişimi: B0 durumu için; a) 1-1 enkesiti, b) 3-3 enkesiti, c) 5-5 enkesiti ve EB2 durumu için d) 1-1 enkesiti, e) 3-3 enkesiti, f) 5-5 enkesiti

Çizelge 5.6. B0 ve EB2 durumu için ortalama ve maksimum hız değişimlerinin incelenmesi

Derinlik boyunca maksimum hız					Derinlik boyunca ortalama hız				
Kesit no	Ölçüm noktası no	B0 durumu	EB2 durumu	Hız değişimi (%)	Kesit no	Ölçüm noktası no	B0 durumu	EB2 durumu	Hız değişimi (%)
1-1	1	0.752	0.367	-51.12	1-1	1	0.649	0.192	-70.46
	3	0.756	0.281	-62.78		3	0.651	0.224	-65.61
	5	0.761	0.225	-70.46		5	0.647	0.129	-80.11
	7	0.826	0.274	-66.83		7	0.699	0.205	-70.67
3-3	1	0.752	0.893	18.69	3-3	1	0.654	0.538	-17.87
	3	0.758	0.247	-67.37		3	0.661	0.164	-75.14
	5	0.763	0.222	-70.96		5	0.659	0.146	-77.90
	7	0.822	0.400	-51.37		7	0.721	0.227	-68.58
5-5	1	0.779	1.146	47.19	5-5	1	0.689	0.893	29.58
	3	0.785	0.188	-76.07		3	0.691	0.117	-83.08
	5	0.788	0.373	-52.65		5	0.696	0.249	-64.20
	7	0.842	0.450	-46.60		7	0.749	0.246	-67.11

Şekil 5.18’de, EB2 durumu için batık kanatın sonrasındaki 3., 5. ve 7. nokta B0 batık kanatsız durumda maksimum değerlere yakın olduğu, EB2 durumunda ise bu noktalar en düşük hıza sahip olduğu gözlenmektedir. Çizelge 5.6. incelendiğinde kanat sonrasında 3. noktada, derinlik boyunca maksimum hızın %63-76, ortalama hızın ise %66-83 arasında azaldığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde, 5. ve 7. nokta incelendiğinde, sırasıyla, derinlik boyunca maksimum hızın %53-71 ve %47-67 ortalama hızın ise %64-80 ve %67-71 arasında azaldığı görülmüştür.

Şekil 5.19. ve Çizelge 5.7’de, 20 lt/sn akım debisi için, B0 ve EB3 durumlarına ait maksimum akım hızı sonuçları, ortalama akım hızı sonuçları ve akım hızı değişimleri verilmiştir.



Şekil 5.19. B0 ve EB3 durumlarına ait kesitlerdeki akım hızının derinlikle değişimi: B0 durumu için; a) 1-1 enkesiti, b) 3-3 enkesiti, c) 5-5 enkesiti ve EB3 durumu için d) 1-1 enkesiti, e) 3-3 enkesiti, f) 5-5 enkesiti

Çizelge 5.7. B0 ve EB3 durumu için ortalama ve maksimum hız değişimlerinin incelenmesi

Derinlik boyunca maksimum hız					Derinlik boyunca ortalama hız				
Kesit no	Ölçüm noktası no	B0 durumu	EB3 durumu	Hız değişimi (%)	Kesit no	Ölçüm noktası no	B0 durumu	EB3 durumu	Hız değişimi (%)
1-1	1	0.752	0.597	-20.54	1-1	1	0.649	0.539	-16.93
	3	0.756	0.575	-23.89		3	0.651	0.460	-29.36
	5	0.761	0.713	-6.33		5	0.647	0.582	-10.02
	7	0.826	0.436	-47.20		7	0.699	0.223	-68.13
3-3	1	0.752	0.635	-15.59	3-3	1	0.654	0.557	-14.92
	3	0.758	0.463	-38.95		3	0.661	0.376	-43.10
	5	0.763	0.415	-45.59		5	0.659	0.367	-44.24
	7	0.822	0.477	-42.02		7	0.721	0.290	-59.78
5-5	1	0.779	0.974	25.03	5-5	1	0.689	0.770	11.81
	3	0.785	0.445	-43.35		3	0.691	0.377	-45.38
	5	0.788	0.456	-42.14		5	0.696	0.391	-43.78
	7	0.842	0.619	-26.46		7	0.749	0.320	-57.26

Şekil 5.19’de, EB3 durumu için batık kanatın sonrasındaki 3., 5. ve 7. nokta B0 batık kanatsız durumda maksimum değerlere yakın olduğu, EB3 durumunda ise bu noktalar en düşük hıza sahip olduğu gözlenmektedir. Çizelge 5.7. ve Şekil 5.19. incelendiğinde batık kanat sonrasında 3. noktada, derinlik boyunca maksimum hızın %24-43, ortalama hızın ise %30-45 arasında azaldığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde, 5. ve 7. nokta incelendiğinde, sırasıyla, derinlik boyunca maksimum hızın %6-46 ve %26-47 ortalama hızın ise %10-44 ve %57-68 arasında azaldığı görülmüştür.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmanın ilk kısmında, 10 ve 20 lt/sn' lik bir akım debisi kullanılarak açık kanal akışlarında B0 batık kanatsız, B1 tekli batık kanat, B2 ikili batık kanat ve B3 üçlü batık kanat durumlarının performansı incelenmiştir. Açık kanaldaki başlangıç ve sınır şartlarına göre akım hızlarını içeren sayısal modeller oluşturulmuştur. Açık kanalda 48 farklı noktada akım hızları ölçümü yapılmıştır. Ölçülen ve modellenen hız değerlerini karşılaştırmak için boyutsuz ortalama hız değerleri kullanılmıştır. 10 ve 20 lt/sn 'lik bir akım debisi için, 8 farklı deneyde açık kanalda ölçülen ve sayısal modelde elde edilen akım hızı değerleri boyutsuz olarak karşılaştırılmıştır. Ölçüm yapılan 48 noktada, B1 tekli batık kanat, B2 ikili batık kanat ve B3 üçlü batık kanat durumlarının B0 batık kanatsız duruma göre etkisi gerçek akım hızları ile karşılaştırılarak araştırılmıştır. Ayrıca batık kanat yapılarının, derinlik boyunca hız profilleri sayısal olarak elde edilmiş ve derinlik boyunca maksimum-ortalama akım hızlarına etkisi irdelenmiştir.

Yapılan deneyler ve sayısal modeller ile ilgili aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

- Deney ve sayısal akım hızı sonuçları karşılaştırıldığında, 10lt/sn akım debisi için ve B0 batık kanatsız durumda, tüm kesitler incelendiğinde, deneysel ve sayısal model arasında, minimum hata %0.03, ortalama hata %4.35 ve maksimum hata %12.13 oranlarında tespit edilmiştir. Verilen sayısal model için enkesitler incelendiğinde, iç kıyıda akım derinliği azalırken dış kıyıda akım derinliğinin arttığı, giriş kesitinden çıkış kesitine kadar akım boyunca dış kıyıda oluşan maksimum hızın arttığı gözlenmiştir. Kurbıldaki merkezkaç kuvvetinin etkisiyle, beklendiği gibi, kanal dış kıyı ve alt köşe bölgelerine yakın hızların ve derinliğin arttığı tespit edilmiştir.
- Deney ve sayısal akım hızı sonuçları karşılaştırıldığında, deneysel ve sayısal model arasında, minimum hata %0.25, ortalama hata %5.89 ve maksimum hata %14.69 oranlarında tespit edilmiştir. Giriş kesitinden çıkış kesitine kadar, akım boyunca dış kıyıda oluşan maksimum hızın azaldığı, iç kıyıda çıkış kesitinde maksimum hızın arttığı gözlenmiştir. Dış kıyıda alt ve köşe bölgelere ve batık kanat'a yakın bölgelerde hızların azaldığı buna bağlı olarak da derinliğin dengelendiği tespit edilmiştir.

- Deneysel ve sayısal akım hızı sonuçları karşılaştırıldığında, 10lt/sn akım debisi için ve B2 ikili batık kanat durumunda, deneysel ve sayısal model arasında, minimum hata %0.04, ortalama hata %4.98 ve maksimum hata %18.39 oranlarında tespit edilmiştir. Batık kanat sonrasında akım hızlarının azaldığı, kesitlerde batık kanatın etkisiyle 3 farklı akım oluştuğu gözlenmiştir. Giriş kesitinden çıkış kesitine kadar akım boyunca dış kıyıda oluşan maksimum hızın azaldığı, iç kıyıda çıkış kesitinde maksimum hızın arttığı gözlenmiştir. Dış kıyıda alt ve köşe bölgelere ve batık kanat'a yakın bölgelerde hızların azaldığı buna bağlı olarak da derinliğin dengelendiği tespit edilmiştir.
- Deneysel ve sayısal akım hızı sonuçları karşılaştırıldığında, 10lt/sn akım debisi için ve B3 üçlü batık kanat durumunda, deneysel ve sayısal model arasında, minimum hata %0.61, ortalama hata %6.25 ve maksimum hata %16.35 oranlarında tespit edilmiştir. Giriş kesitinden çıkış kesitine kadar akım boyunca dış kıyıda oluşan maksimum hızın azaldığı, iç kıyıda çıkış kesitinde maksimum hızın arttığı gözlenmiştir. Dış kıyıda alt ve köşe bölgelere ve batık kanat'a yakın bölgelerde hızların azaldığı buna bağlı olarak da derinliğin dengelendiği tespit edilmiştir. Batık kanatlı durumlar içerisinde B3 üçlü batık kanat durumunun, dış kıyıdaki derinliği azaltmada ve akım hızını dengelemede en etkili durum olduğu tespit edilmiştir.
- Deneysel ve sayısal akım hızı sonuçları karşılaştırıldığında, 20lt/sn akım debisi için ve B0 batık kanatsız durumda, deneysel ve sayısal model arasında, minimum hata %0.02, ortalama hata %4.78 ve maksimum hata %12.20 oranlarında tespit edilmiştir. Genel olarak batık kanatsız durumlarda hem 10 lt/sn hem 20lt/sn akışta, deneysel ve sayısal model arasında uyum olduğu gözlenmiştir. İç kıyıda akım derinliği azalırken dış kıyıda akım derinliği arttığı, giriş kesitinden çıkış kesitine kadar akım boyunca dış kıyıda oluşan maksimum hızın arttığı gözlenmiştir. Kurbullardaki merkezkaç kuvvetinin etkisiyle, beklendiği gibi, kanal dış kıyı ve alt köşe bölgelerine yakın hızların ve derinliğin arttığı tespit edilmiştir. Açık kanal giriş kesitinde kurb yakınlarında hızların arttığı, çıkış kesitinde kesitin normal akım şartlarına döndüğü gözlenmiştir. 10 lt/sn akışta ve B0 batık kanatsız durum ile karşılaştırıldığında, 20 lt/sn akıştaki akım hızlarında ve akım derinliklerinde artış gözlenmiştir.

- Deneysel ve sayısal akım hızı sonuçları karşılaştırıldığında, 20lt/sn akım debisi için ve B1 tekli batık kanat durumunda, deneysel ve sayısal model arasında, minimum hata %0.21, ortalama hata %4.49 ve maksimum hata %14.25 oranlarında tespit edilmiştir. Batık kanat sonrasında akım hızlarının azaldığı, kesitlerde batık kanatın etkisiyle 2 farklı akım oluştuğu gözlenmiştir. Giriş kesitinden çıkış kesitine kadar, akım boyunca dış kıyıda oluşan maksimum hızın azaldığı, iç kıyıda çıkış kesitinde maksimum hızın arttığı gözlenmiştir. Dış kıyıda alt ve köşe bölgelere ve batık kanat'a yakın bölgelerde hızların azaldığı buna bağlı olarak da derinliğin dengelendiği tespit edilmiştir.
- Deneysel ve sayısal akım hızı sonuçları karşılaştırıldığında, 20lt/sn akım debisi için ve B2 ikili batık kanat durumunda, deneysel ve sayısal model arasında, minimum hata %0.50, ortalama hata %4.80 ve maksimum hata %11.37 oranlarında tespit edilmiştir. B0 batık kanatsız ve B1 tekli batık kanat durumlarıyla karşılaştırıldığında, B2 ikili batık kanat durumunda hata oranının azaldığı gözlenmiştir. Batık kanat sonrasında akım hızlarının azaldığı, kesitlerde batık kanatın etkisiyle 3 farklı akım oluştuğu gözlenmiştir. Giriş kesitinden çıkış kesitine kadar akım boyunca dış kıyıda oluşan maksimum hızın azaldığı, iç kıyıda çıkış kesitinde maksimum hızın arttığı gözlenmiştir. Dış kıyıda alt ve köşe bölgelere ve batık kanat'a yakın bölgelerde hızların azaldığı buna bağlı olarak da derinliğin dengelendiği tespit edilmiştir.
- Deneysel ve sayısal akım hızı sonuçları karşılaştırıldığında, 20lt/sn akım debisi için ve B3 üçlü batık kanat durumunda, deneysel ve sayısal model arasında, minimum hata %0.22, ortalama hata %4.90 ve maksimum hata %15.19 oranlarında tespit edilmiştir. Batık kanat sonrasında akım hızlarının azaldığı, kesitlerde batık kanatın etkisiyle 4 farklı akım oluştuğu gözlenmiştir. Giriş kesitinden çıkış kesitine kadar akım boyunca dış kıyıda oluşan maksimum hızın azaldığı, iç kıyıda çıkış kesitinde maksimum hızın arttığı gözlenmiştir. Dış kıyıda alt ve köşe bölgelere ve batık kanat'a yakın bölgelerde hızların azaldığı buna bağlı olarak da derinliğin dengelendiği tespit edilmiştir.

Sayısal modeller hatasız olarak değerlendirildiğinde, 2 farklı akım debisi için akım koşulları ve akımın türbülanslı olduğunu düşünüldüğünde %5 ortalama hata makul seviyede kabul edilebilir. Batık kanatsız ve batık kanatlı durumlarda, deneysel ve sayısal

akım hızı sonuçlarının uyumlu olduğu ve sayısal modelinin düşük hata gösterdiği tespit edilmiştir.

B1 tekli batık kanat, B2 ikili batık kanat ve B3 üçlü batık kanat durumlarının B0 batık kanatsız duruma göre etkisi ve batık kanat yapılarının, derinlik boyunca hız profillerine göre derinlik boyunca maksimum-ortalama akım hızlarına etkisi irdelenmiştir. Buna göre aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

- 10 lt/sn akım debisi için ve derinliğin %60'ında (0.6d) batık kanat etkisi incelendiğinde, B1 tekli batık kanat durumunda batık kanat sonrasında akım hızını %30-40 oranında azalttığı, B2 ikili batık kanat durumunda batık kanat sonrasında akım hızını %31-42 oranında azalttığı ve B3 üçlü batık kanat durumunda batık kanat sonrasında akım hızını %25-39 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Genel olarak, 10 lt/sn akış durumunda, batık kanat etkisiyle batık kanatların bulunduğu bölgelerde akım hızında azalmalar görülmüştür.
- 20 lt/sn akım debisi için ve derinliğin %60'ında (0.6d) batık kanat etkisi incelendiğinde, B1 tekli batık kanat durumunda batık kanat sonrasında akım hızını %18-32 oranında azalttığı, B2 ikili batık kanat durumunda batık kanat sonrasında akım hızını %13.5-29 oranında azalttığı ve B3 üçlü batık kanat durumunda batık kanat sonrasında akım hızını %6-30 oranında azalttığı gözlenmiştir. Genel olarak, 20 lt/sn akış durumunda, 10 lt/sn akışa benzer olarak batık kanat etkisiyle, batık kanatların bulunduğu bölgelerde akım hızında azalmalar görülmüştür. Batık kanat yan bölgelerinde ise akım hızında artma ve akım yönlendirilmesi görülmektedir. Ayrıca iç ve dış şevde akım hızlarının birbirine yakın olduğu, akımın batık kanatsız duruma göre biraz daha dengede olduğu tespit edilmiştir.
- 10 lt/sn akım debisi için derinlik boyunca hız profilleri incelendiğinde, maksimum ve ortalama akım hızında ise sırasıyla; B1 tekli batık kanat durumunun %35 ve %36, B2 ikili batık kanat durumunun %37 ve %37 ve B3 üçlü batık kanat durumunun ise %34 ve %38'e varan azalmalar olduğu elde edilmiştir. B0 batık kanatsız durumda, hız profiline dış kıyı'da en yüksek olduğu tespit edilmiştir. B1, B2 ve B3 batık kanat durumlarında ise dış kıyı'daki hız profiline en düşük değere sahip hız profili olduğu

gözlenmiştir. Batık kanatların genel olarak akım hızını azalttığı ve akımı yönlendirdiği tespit edilmiştir.

- 20 lt/sn akım debisi için derinlik boyunca hız profilleri incelendiğinde, maksimum ve ortalama akım hızında ise sırasıyla; B1 tekli batık kanat durumunun %29 ve %30, B2 ikili batık kanat durumunun %25 ve %27 ve B3 üçlü batık kanat durumunun ise %28 ve %29'a varan azalmalar olduğu elde edilmiştir. 10 lt/sn akım debisi sonuçlarına benzer olarak, B0 batık kanatsız durumda, hız profilinin dış kıyı'da en yüksek olduğu tespit edilmiştir. B1, B2 ve B3 batık kanat durumlarında ise dış kıyı'daki hız profilinin en düşük değere sahip hız profili olduğu gözlenmiştir. Batık kanatların genel olarak akım hızını azalttığı ve akımı yönlendirdiği görülmüştür. 10 lt/sn akım debisi sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, 20 lt/sn akım debisi sonuçlarının daha az etki gösterdiği tespit edilmiştir(%38den %30'a düşmüş).

Çalışmanın ikinci kısmında, bu çalışmada ilk defa 20 lt/sn akım şartları için B0 batık kanatsız başlangıç şartları kullanılarak, bu çalışmaya özgü olarak tasarlanan 3 farklı eğrisel batık kanat tipleri için akım şartlarının değişimi incelenmiş ve bu çalışmaların konuyla ilgili literatür çalışmalarına farklı bir yaklaşım ve yenilik getireceği düşünülerek değişken açılı ve aynı geometriye sahip batık kanat modelleri kullanılmıştır. Akıma paralel olarak eğrisel batık kanat 1(EB1), 20 derece açı ile dış şeve yönlendirilerek eğrisel batık kanat 2 (EB2), iç şeve 20 derece yönlendirilerek eğrisel batık kanat 3 (EB3) durumları incelenmiştir. İlk kısma benzer olarak, ölçüm yapılan 48 noktada, EB1, EB2 ve EB3 eğrisel batık kanat durumlarının B0 batık kanatsız duruma göre etkisi gerçek akım hızları ile karşılaştırılarak araştırılmıştır. Ayrıca batık kanat yapılarının, derinlik boyunca hız profilleri sayısal olarak elde edilmiş ve derinlik boyunca maksimum-ortalama akım hızlarına etkisi incelenmiştir. Aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

- Deney ve sayısal akım hızı sonuçları karşılaştırıldığında, B0 batık kanatsız ve EB1 eğrisel batık kanat durumları arasında etki net bir şekilde görülmektedir. 20lt/sn akım debisi için ve EB1 eğrisel batık kanat durumunda, akım hızındaki minimum değişimin (hızdaki artış) -%56.94, ortalama değişim %29.40 ve maksimum değişim %76.61 oranlarında tespit edilmiştir. Giriş enkesitinden çıkış enkesiti'ne kadar iç ve dış kıyıda oluşan akım hızlarının değişerek akım boyunca artarak maksimum hızların

oluştugu gözlenmiştir. Dış kıyıda alt ve köşe bölgelere ve batık kanat'a yakın bölgelerde hızların azaldığı buna bağlı olarak da derinliğin dengelendiği tespit edilmiştir. Beklenildiği gibi, genel olarak, kurblarda batık kanat sayısının artmasının kanaldaki akım hızına bağlı oyulmaların azaldığı, nehir kesitinin dengeye girdiği net bir şekilde gözlenmektedir.

- Deneysel ve sayısal akım hızı sonuçları karşılaştırıldığında, B0 batık kanatsız ve EB2 eğrisel batık kanat durumları arasında etki net bir şekilde görülmektedir. 20lt/sn akım debisi için ve EB2 eğrisel batık kanat durumunda, minimum değişimin (hızdaki artış) -%71.95, ortalama değişim %47.75 ve maksimum değişim %91.64 oranlarında tespit edilmiştir. EB1 durumu ile karşılaştırıldığında, EB2 durumunun batık kanatlı bölgede akım hızlarını azaltmada daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Beklenildiği gibi, genel olarak, batık kanat sonrasında akım hızında azalma görülürken, batık kanat yanlarında ise akım hızında artma ve akım yönlendirilmesi görülmektedir.
- Deneysel ve sayısal akım hızı sonuçları karşılaştırıldığında, B0 batık kanatsız ve EB3 eğrisel batık kanat durumları arasında etki net bir şekilde görülmektedir. 20lt/sn akım debisi için ve EB3 eğrisel batık kanat durumunda, akım hızındaki minimum değişimin (hızdaki artış) -%37.17, ortalama değişim %45.41 ve maksimum değişim %85.57 oranlarında tespit edilmiştir. EB1 ve EB2 durumu ile karşılaştırıldığında, EB3 durumunun batık kanatlı bölgede akım hızlarını azaltmada EB2 durumundan sonra etkili olduğu tespit edilmiştir. Beklenildiği gibi, genel olarak, kurblarda batık kanat sayısının artmasının kanaldaki akım hızına bağlı oyulmaların azaldığı, nehir kesitinin dengeye girdiği net bir şekilde gözlenmektedir. Genel olarak, iç ve dış şevlerdeki hızlarda azalma görülürken, çıkış kesitinde akım hızlarının B0 kanatsız duruma göre akım hızını arttırdığı tespit edilmiştir.

EB1, EB2 ve EB3 eğrisel batık kanat durumlarının B0 batık kanatsız duruma göre etkisi ve batık kanat yapılarının, derinlik boyunca hız profillerine göre derinlik boyunca maksimum-ortalama akım hızlarına etkisi irdelenmiştir. Buna göre aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

- Eğrisel batık kanatların 0.6 d'de, EB1 eğrisel batık kanat durumu için %77, EB2 eğrisel batık kanat durumu için %92 ve EB3 eğrisel batık kanat durumu için %86'ya

varan akım hızlarında azalmalar olduğu ve genel olarak akımı yönlendirdiği tespit edilmiştir. Eğrisel batık kanatların 0.6 d’de akım hızlarına etkisi incelendiğinde; sırasıyla, dış şeve 20 derece açı ile yönlendirilen EB2 eğrisel batık kanat, iç şeve 20 derece yönlendirilen EB3 eğrisel batık kanat ve akıma paralel olan EB1 eğrisel batık kanat durumlarının, etkili olduğu gözlenmiştir. Benzer şekilde B1 tekli batık kanat, B2 ikili batık kanat ve B3 üçlü batık kanat durumla ile eğrisel batık kanatlar karşılaştırıldığında, eğrisel batık kanatların akım hızını azaltmada ve akım yönlendirilmesinde daha etkili olduğu söylenebilir.

- Eğrisel batık kanatların derinlik boyunca hız profilleri incelendiğinde, maksimum ve ortalama akım hızında ise sırasıyla; EB1 eğrisel batık kanat durumunun %50 ve %54, EB2 eğrisel batık kanat durumunun %76 ve %83 ve EB3 eğrisel batık kanat durumunun ise %47 ve %68’e varan azalmalar olduğu elde edilmiştir. Eğrisel batık kanatların genel olarak akım hızını azalttığı ve akımı yönlendirdiği tespit edilmiştir. Eğrisel batık kanatların derinlik boyunca hız profilleri değişimlerine bakıldığında; sırasıyla, dış şeve 20 derece açı ile yönlendirilen EB2 eğrisel batık kanat, iç şeve 20 derece yönlendirilen EB3 eğrisel batık kanat ve akıma paralel olan EB1 eğrisel batık kanat durumlarının, etkili olduğu gözlenmiştir. Benzer şekilde B1 tekli batık kanat, B2 ikili batık kanat ve B3 üçlü batık kanat durumla ile eğrisel batık kanatlar karşılaştırıldığında, eğrisel batık kanatların akım hızını azaltmada ve akım yönlendirilmesinde daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışma ile yapılan deneyler ve modeller incelendiğinde genel sonuç olarak, batık kanatsız duruma göre tekli batık kanat durumlarının noktasal hızlarda akım hızını azaltmada etkili olduğu, ikili batık kanat ve üçlü batık kanat durumlarının ise bölgesel akım hızlarının azaltılmasında etkili olduğu tespit edilmiştir. Bunun ile birlikte, tekli batık kanat, ikili batık kanat ve üçlü batık kanat durumlarında, üçlü batık kanat durumunun akım hızlarının azaltılmasında daha etkili olduğu tesbit edilmiştir. Eğrisel batık kanat durumları incelendiğinde, dış şeve 20 derece açı ile yönlendirilen eğrisel batık kanat durumunun akım hızının azaltılmasında en etkili olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, iç şeve 20 derece yönlendirilen eğrisel batık kanat ve akıma paralel olan açısız eğrisel batık kanat durumlarının, etkili olduğu gözlenmiştir.

Batık kanat yapılarının, mendereslerin iç ve dış kıyılarında açık kanal akımlarını dengeleyerek nehir kesitlerinin korunmasına etkisi olacağı tespit edilmiştir. Ayrıca bu deney ve sayısal modellerin daha sonraki çalışmalarda ve gelecekteki nehir düzenleme projelerinde kullanılabileceği düşünülmektedir. Gelecekteki çalışmalarda, eğrisel bir açık kanalda batık kanat'ın değişken kesit ve açısız değişimlerinin menderes akımlarına ve nehir düzenlemelerine etkisinin araştırılabileceği düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

- Abad, J. D., Rhoads, B. L., Güneralp, İ., & García, M. H. (2008). Flow structure at different stages in a meander-bend with bendway weirs. *Journal of Hydraulic Engineering*, 134(8), 1052-1063.
- Ansys, 2019, Analysis Systems Fluid Simulation software.
- ANSYS-FLUENT, 15. ANSYS-FLUENT Teori Kılavuzu, 2015.
- Bajestan, M. S., & Azizi, R. (2012). Experimental Investigation of Scour Depth at the Edge of Different Submerged Vane Shapes. In World Environmental and Water Resources Congress 2012: Crossing Boundaries (pp. 1376-1385).
- Bejestan, M. S., Khademi, K., & Kozeymehnezhad, H. (2015). Submerged vane-attached to the abutment as scour countermeasure. *Ain Shams Engineering Journal*, 6(3), 775-783.
- Beygipoor, G., Bajestan, M., Kaskuli, H. A., & Nazari, S. (2013). The effects of submerged vane angle on sediment entry to an intake from a 90 degree converged bend. *Advances in Environmental Biology*, 7(9), 2283-2292.
- Biswas, P., & Barbhuiya, A. K. (2019). Effect of submerged vane on three dimensional flow dynamics and bed morphology in river bend. *River Research and Applications*, 35(3), 301-312.
- Boussinesq, J., 1877. Theorie de l'ecoulement Tourbillant, Mem. Pre. Par. Div. Sav. 23, Paris.
- Chooplou, A., & Vaghefi, M. (2019). Experimental study of the effect of displacement of vanes submerged at channel width on distribution of velocity and shear stress in a 180 degree bend. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 12(5), 1417-1428.
- Çakan, F. (2021). *Düşürme şaft yapılarının FLUENT ile modellenmesi* (Master's thesis, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Davoodi, , & Bajestan, M. S. (2012). Control of sediment entry to intake on a trapezoidal channel by submerged vane. *Ecology, Environment and Conservation*, 18(1), 165-169.
- Eibeck, P. A., & Eaton, J. K. (1987). Heat transfer effects of a longitudinal vortex embedded in a turbulent boundary layer.
- Erkek, C. Ve Ağırallıoğlu, N. (2010, Şubat). Su Yapıları Mühendisliği. Beta yayınevi, 6. Baskı-İstanbul.
- Farrel ,G.J. ve Stefan, H.G.,1986. Buoyancy Induced Plunging flow into Reservoirs and Coastal Regions, Project Report, No.241, Minnesota.

- Farrell, G.J., and Stefan, H. G., 1988. Mathematical Modeling of Plunging Reservoir Flows. *Journal of Hydraulics Research*, 26 (1988) 525-537.
- Gadge, P. P., Jothiprakash, V., & Bhosekar, V. V. (2018). Hydraulic investigation and design of roof profile of an orifice spillway using experimental and numerical models. *Journal of Applied Water Engineering and Research*, 6(2), 85-94.
- Gemici, E. (2015). Açık Kanallarda Batık Kanatlarla Akım Yönetimi, Erciyes Üniversitesi. *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi.
- Gerasimov, A. (2006). 'Modeling turbulent flows with FLUENT'. *Europe, ANSYS, Inc.*
- Ghorbani, B., & Kells, J. A. (2008). Effect of submerged vanes on the scour occurring at a cylindrical pier. *Journal of Hydraulic Research*, 46(5), 610-619.
- Gupta, U. P., Ojha, C. S. P., & Sharma, N. (2010). Enhancing utility of submerged vanes with collar. *Journal of Hydraulic Engineering*, 136(9), 651-655.
- Hirt, C. W., & Nichols, B. D. (1981). 'Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries', *Journal of computational physics*, Vol. 39, No. 1, 201-225.
- Immor, L. (2006) The Stages of River Development. Geoteach.com, Geoloar.
- Kim, H., Nanjundan, P., & Lee, Y. W. (2021). Numerical study on the sloshing flows in a prismatic tank using natural frequency of the prismatic shapes. *Progress in Computational Fluid Dynamics, an International Journal*, 21(3), 152-160.
- Kocaer, Ö., & Yarar, A. (2020). Experimental and Numerical Investigation of Flow Over Ogee Spillway. *Water Resources Management*, 34(13), 3949-3965.
- Kraus, N. C., Lohrmann, A., & Cabrera, R. (1994). New acoustic meter for measuring 3D laboratory flows. *Journal of Hydraulic Engineering*, 120(3), 406-412.
- Lamb, H. (1932). *Hydrodynamics*, 6th ed., Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Lauder, B.E., ve Spalding, D.B., 1972. Mathematical models of Turbulence, Academic Press, Newyork.
- Lohrmann, A., Cabrera, R., Gelfenbaum, G., & Haines, J. (1995, February). Direct measurements of reynolds stress with an acoustic doppler velocimeter. In *Proceedings of the IEEE Fifth Working Conference on Current Measurement* (pp. 205-210). IEEE.
- Marelius, F., & Sinha, S. K. (1998). Experimental investigation of flow past submerged vanes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 124(5), 542-545.
- McLelland, S. J., & Nicholas, A. P. (2000). A new method for evaluating errors in high-frequency ADV measurements. *Hydrological processes*, 14(2), 351-366.

- Moghadam, F., M., Masjedi, A., Larki, M. A., & Branch, A. (2012). Investigation of height of submerged vanes on scour hole in 180 degree flume bend. *Ecology, Environ. Cons. J*, 18(4), 1003-1007.
- Moghadam, K., M., Amini, A., & Keshavarzi, A. (2020). Intake design attributes and submerged vanes effects on sedimentation and shear stress. *Water and Environment Journal*, 34(3), 374-380.
- Mohammadiun, S., Neyshabouri, S. S., Naser, G., & Vahabi, H. (2016). Numerical investigation of submerged vane effects on flow pattern in a 90 junction of straight and bend open channels. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 40(4), 349-365.
- Odgaard, A. J., & Kennedy, J. F. (1982). Analysis of Sacramento River bend flows, and development of a new method for bank protection. IOWA INST OF HYDRAULIC RESEARCH IOWA CITY.
- Odgaard, A. J., & Kennedy, J. F. (1983). River-bend bank protection by submerged vanes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 109(8), 1161-1173.
- Odgaard, A. J., & Lee, H. Y. E. (1984). *Submerged vanes for flow control and bank protection in streams* (No. Project HR-255). Iowa Institute of Hydraulic Research, the University of Iowa.
- Odgaard, A. J., & Spoljaric, A. (1986). Sediment control by submerged vanes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 112(12), 1164-1180.
- Odgaard, A. J. (1987). Streambank erosion along two rivers in Iowa. *Water Resources Research*, 23(7), 1225-1236.
- Odgaard, A. J., & Mosconi, C. E. (1987). Streambank protection by submerged vanes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 113(4), 520-536.
- Odgaard, A. J., & Wang, Y. (1991). Sediment management with submerged vanes. I: Theory. *Journal of Hydraulic Engineering*, 117(3), 267-267.
- Odgaard, A. J. (2009, April). River training and sediment management with submerged vanes. American Society of Civil Engineers.
- Odgaard, A. J. (2015). River channel stabilization with submerged vanes. In *Advances in water resources engineering* (pp. 107-136). Springer, Cham.
- Odgaard, A. J. (2017). River management with submerged vanes. In *River system analysis and management* (pp. 251-261). Springer, Singapore.
- Olsen, N. R. B. (2002). *Hydroinformatics, fluvial hydraulics and limnology*. Norwegian University of Science and Technology. Trondheim, Noruega.

- Penna, N., De Marchis, M., Canelas, O. B., Napoli, E., Cardoso, A. H., & Gaudio, R. (2018). Effect of the junction angle on turbulent flow at a hydraulic confluence. *Water*, 10(4), 469.
- Raudkivi, A. J., and Ettema, R. (1985). "Scour at cylindrical bridge piers in armored beds," *J. Hydraul. Eng.*, 111(4), 713–731.
- Reynolds, O., 1901. *Scientific Papers of Osborn Reynolds*, Cambridge University Press, London.
- Salim, S. M., Ariff, M., & Cheah, S. C. (2010). 'Wall y+ approach for dealing with turbulent flows over a wall mounted cube'. *Progress in Computational Fluid Dynamics, an International Journal*, 10(5-6), 341-351.
- Salmasi, F., & Samadi, A. (2018). Experimental and numerical simulation of flow over stepped spillways. *Applied Water Science*, 8(8), 229.
- Sharma, H., Jain, B., & Ahmad, Z. (2016). Optimization of submerged vane parameters. *Sādhanā*, 41(3), 327-336.
- Simsek, O., Akoz, M. S., & Soydan, N. G. (2016). Numerical validation of open channel flow over a curvilinear broad-crested weir. *Progress in computational fluid dynamics, an international journal*, 16(6), 364-378.
- Sontek, SonTek is a trademark of Xylem Inc. or one of its subsidiaries. Learn more about [Xylem](https://www.sontek.com/) and [Xylem Analytics](https://www.sontek.com/), <https://www.sontek.com/>
- Tan, S. K., Yu, G., Lim, S. Y., & Ong, M. C. (2005). Flow structure and sediment motion around submerged vanes in open channel. *Journal of waterway, port, coastal, and ocean engineering*, 131(3), 132-136.
- Taşar, B., Üneş, F., Gemici, E., Varçin, H. (2021) Numerical Simulation of Channel Flow Using Submerged Vane in River Arrangements. 2021 "Air and Water – Components of the Environment" Conference Proceedings, Cluj-Napoca, Romania, p. 119-130, DOI: 10.24193/AWC2021_11
- Turhan, E., Ozmen-Cagatay, H., Kocaman, S. (2019). Experimental and numerical investigation of shock wave propagation due to dam-break over a wet channel. *Polish Journal of Environmental Studies* 28(4), 2877-2888. <https://doi.org/10.15244/pjoes/92824>
- Üneş, F. (2004). Coriolis ivmesinin ve hazne çıkışı seviyesinin haznelerdeki dalmış akıma etkilerinin matematik modelle incelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi .*Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi.

- Üneş, F., & Ağırlioğlu, N. (2010). Yoğun dalmış hazne akımlarının matematik modelle incelenmesi. *İtü Dergisi/d*, 3(6).
- Üneş, F., & Varçin, H. (2012). Eğrekkaya Baraj Haznesindeki Yoğunluk Akımlarına Bağlı Oluşan Dalma Derinliğinin İncelenmesi. *Teknik Dergi*, 23(111), 5725-5750.
- Üneş, F., Ağırlioğlu, N., & Demirci, M. (2013). Simulation of Density Flow in Dam Reservoirs Using Two Dimensional Mathematical Models. *International Balkans Conference on Challenges of Civil Engineering, BCCCE*, 19-21 May 2011, EPOKA University, Tirana, ALBANIA
- Üneş, F., Ağırlioğlu, N., & Demirci, M. (2014). Simulation of Density Flow and Velocity Variation in Dam Reservoirs. *Journées de l'hydraulique*, 36(1), 1-13.
- Üneş, F., & Varçin, H. (2015). Investigation of seasonal thermal flow in a real dam reservoir using 3-D numerical modeling. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 63(1), 38-46.
- Üneş, F., Demirci, M., & Varçin, H. (2016). 3-D Numerical Simulation of a Real Dam Reservoir: Thermal Stratified Flow. In *Advances in Hydroinformatics* (pp. 377-394). Springer, Singapore.
- Yüksel, Y., 1999. *Hesaplama Akışkanlar Dinamiği ve Hidrolik*, YTÜ, İstanbul.
- Yüksel, Y. (2013). *İleri akışkanlar mekaniği*. Beta Basım Yayım.
- Zarei, E., Vaghefi, M., & Hashemi, S. S. (2019). Bed topography variations in bend by simultaneous installation of submerged vanes and single bridge pier. *Arabian Journal of Geosciences*, 12(6), 1-10.

DİZİN

A

Açık Kanal · 18, 28, 32

ADV · 34, 35, 36, 37, 162

akım · 4, 11

akım hızı · 11, 19, 26, 55, 68, 72,
76, 80, 84, 88, 92, 97, 131, 132,
137, 138, 143, 144

akış · 22

anroşman · 5

Bbatık kanat · iv, 1, 8, 9, 10, 11, 18,
21, 22, 23, 24, 25, 28, 29, 33,
34, 49, 55, 60, 61, 62, 125, 126**D**

Debi · 35

deney · 23, 30, 31, 32, 36, 55, 56,
62, 63, 65, 66, 69, 70, 73, 74,
77, 78, 81, 82, 85, 86, 89, 90,
93, 94**F**fluent · 65, 69, 73, 77, 81, 85, 89,
93**H**HAD · iv, 26, 27, 50, 55, 56, 60,
62, 63, 65, 69, 73, 77, 81, 85,
89, 93, 125**K**

Kanat · xxiv, 34

M

mahmuz · 8

Menderes · 11

model · v, vii, 22, 26, 57, 61, 62,
66, 69, 73, 77, 81, 85, 89, 93,
152, 153, 154, 155

momentum · 21

N

Nehir · 1, 4, 5

R

Reynolds · 26, 50

T

Taban eşikleri · 6

U

ultrasonik · 35



TEKNOVERSİTE



teknoversite AYRICALIĞINDASINIZ

İSTE

