

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**AÇIK KANAL AKIMLARINDA BİTKİLERİN NEDEN
OLDUĞU ENERJİ KAYIPLARI**

Mesut MERTSOY

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Cahit YERDELEN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Sunuş Tarihi : 03.06.2016

Bornova-İZMİR

2016

Mesut MERTSOY tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak sunulan “Açık Kanal Akımlarında Bitkilerin Neden Olduğu Enerji Kayıpları” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 03.06.2016 tarihinde yapılan tez savunma sınavında adaylar jüri tarafından değerlendirilerek oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Gökmen TAYFUR

.....

Üye : Doç. Dr. Cahit YERDELEN

.....

Raportör Üye : Yrd. Doç. Dr. Ömer AŞIKOĞLU

.....

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Açık Kanal Akımlarında Bitkilerin Neden Olduğu Enerji Kayıpları” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışım olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

03 / 06 / 2016

Mesut MERTSOY

ÖZET**AÇIK KANAL AKIMLARINDA BİTKİLERİN NEDEN OLDUĞU
ENERJİ KAYIPLARI**

MERTSOY, Mesut

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Cahit YERDELEN

Haziran 2016, 100 Sayfa

Açık kanallarda, batık olmayan rijit bitkilerin akış direnci üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Bu deneysel çalışmada, farklı çap ve bitkisel topluluk kompozisyonlarının akış alanları üzerindeki hız ve akış derinliğine olan etkilerin araştırılması için ölçümler yapılmıştır. Bütün deneyler 18 metre uzunluğunda, 0.7 metre genişliğinde ve 0.5 metre derinliğinde dikdörtgen kesitli bir açık kanalda gerçekleştirilmiştir. Yürütülen çalışmalarda iki farklı çaptaki boru bitkileri temsil etmek için kullanılmıştır. Pürüzlülük katsayılarını (Manning n, Darcy-Weisbach f and Chezy C) hesaplamak için debi ve su seviyeleri ölçülmüştür. Manning (n), Darcy-Weisbach (f) and Chezy (C) pürüzlülük katsayıları, Froude sayısı ve Reynolds sayısı hesaplanmıştır. Sonuçlar, akış direncinin bitkisel yoğunluk, bitkisel dizilim, bitki çapı, kanal eğimi, Reynolds sayısı, ortalama hız ve dikey enkesitsel blokaj alanı etkisinde değiştiğini göstermiştir. Ayrıca, çalışmalar sonucunda önerilen denklemlerin deneysel verileri tahmin etme başarısı % 90'ın üzerinde çıkmıştır.

Anahtar sözcükler: Açık kanal akımları, akış direnci, hidrolik direnç, pürüzlülük



ABSTRACT**ENERGY LOSSES DUE TO VEGETATION IN OPEN CHANNEL
FLOW**

MERTSOY, Mesut

MSc, in Civil Eng

Supervisor: Associate Professor Doctor Cahit YERDELEN

June 2016, 100 Pages

Unsubmerged rigid vegetation has a significant impact on flow resistance in open channel. In this experimental study, measurements were conducted to explore the impacts of different diameter and vegetation community composition within the flow domain on velocity and flow depth. All the experiments were performed in a rectangular open channel measuring 18m in length, 0.70 m in width and 0.5 m in depth. In experiments, carried out two pipes having different diameters were used to represent the vegetation. The discharge and water level were measured and used to calculate the roughness coefficients (Manning n , Darcy-Weisbach f and Chezy C). Manning (n), Darcy-Weisbach (f) and Chezy (C) coefficients of roughness, Froude number (Fr) and Reynolds numbers (Re) were calculated. The results indicate that the flow resistance varies with vegetation concentration, vegetation configuration, vegetation diameter, channel slope, Reynolds Number, average velocity and vertical cross sectional blockage area. Additionally, success of predicting the experimental data which suggested equations was determined over ninety percent.

Keywords: Open channel flows, flow resistance, hydraulic resistance, roughness

TEŞEKKÜR

Bu alıőmanın Őekillenip ortaya ıkmasında baőta; bilgi, birikim ve katkılarıyla bana rehberlik eden değerli tez danıőmanım sayın Do. Dr. Cahit YERDELEN olmak üzere, ders aőamasında gürüőlerinden ve bilgi birikiminden faydalandığım hocam sayın Yrd. Do. Dr. Ömer AŞIKOğLU'na, alıőmam süresince zamanını ve desteğini esirgemeyen kıymetli dostum Mak.Yük.Müh. Zafer YENİER'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Maddi ve manevi destekleriyle öğrenim hayatım boyunca her zaman yanımda olan sevgili aileme teőekkürü bir bor bilirim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
TEŞEKKÜR	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxv
1.GİRİŞ	1
1.1.Literatür	3
2.MATERYAL VE YÖNTEM.....	15
2.1.Laboratuarda Kullanılan Malzeme ve Ekipmanlar	15
2.2.Deney Süreci.....	20
2.3.Teorik Analiz	28
2.4.CFD Analiz.....	37
2.4.1.Geometri	40
2.4.2.Mesh	41
2.4.3.Çözücü	43

İÇİNDEKİLER (DEVAM)

	<u>Sayfa</u>
2.4.4.CFD Analizi Sonuçları.....	45
3.BULGULAR.....	49
4.SONUÇLAR VE ÖNERİLER	81
4.1.Sonuçlar	81
4.2.Öneriler	96
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	97

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Deney kanalı	15
2.2. Kanal tabanı ve yan duvarlar	15
2.3. Kanalın mansap kısmında bulunan hidrolik kriko.....	16
2.4. PLC arayüzü	16
2.5. Elektromanyetik debimetre ve dijital göstergesi	17
2.6. Ultrasonik seviye ölçer	17
2.7. Datalogger (Veri kaydedici monitörü)	18
2.8. Yapay pürüzlülük elemanları ve çekme deneyi görüntüleri.....	19
2.9. Yapay pürüzlülük elemanlarının kanal tabanına yapıştırılışı	19
2.10. Kanalın boy kesiti.....	21
2.11. İlk sırada 7 bitki bulunduğu durumlar için bitki dizilimi	23
2.12. İlk sırada 6 bitki bulunduğu durumlar için bitki dizilimi	24
2.13. İlk sırada 5 bitki bulunduğu durumlar için bitki dizilimi	25
2.14. İlk sırada 4 bitki bulunduğu durumlar için bitki dizilimi.....	26
2.15. Pürüzlülük elemanlarının kanal tabanına homojen dağıldığı durum.....	27
2.16. Pürüzlülük elemanlarının kanal tabanına homojen dağılmadığı durum.	28
2.17. CFD analiz yapılırken izlenecek işlem adımları	38

ŞEKİLLER DİZİNİ (DEVAM)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.18. Yapılan CFD analizinin proje şeması	39
2.19. Modellenmiş olan açık kanalın son hali	40
2.20. Mesh modelinden genel bir görüntü	41
2.21. Mesh modelinden kanalın üstten görünümü	42
2.22. İkinci mesh modelinden bir kesit görüntüsü	42
2.23. Mesh modelinden hacimlendirilmiş bir kesit görüntüsü	42
2.24. CFD çözücüsünün sunduğu genel çözücü seçenekleri	43
2.25. CFD çözücüsünün materyal veri tabanı	44
2.26. Analizin devam ettiği durumda iterasyon ekranı	45
2.27. Su yüzeyi üzerindeki hız dağılımı	46
2.28. Su yüzeyinden alınan hız vektörlerinin dağılımı	46
2.29. Enkesit ve su seviyesi	47
2.30. Mansap kısmında bulunan ultrasonik seviye ölçerin bulunduğu koordinatlardaki düşey hız değişimi	47
2.31. Mansap kısmında bulunan ultrasonik seviye ölçerin bulunduğu koordinatlardaki enkesitsel hız dağılımı	48
2.32. Yapay pürüzlülük elemanlarının son sırasından geçen kesitteki enkesitsel hız dağılımı	48

ŞEKİLLER DİZİNİ (DEVAM)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 6'lı dizilimde yapılan deney verileri için $n-Re_{(ort)}$ grafiği	57
3.2. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 6'lı dizilimde yapılan deney verileri için $f-Re_{(ort)}$ grafiği.....	57
3.3. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 6'lı dizilimde yapılan deney verileri için $C-Re_{(ort)}$ grafiği	58
3.4. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 7'li dizilimde yapılan deney verileri için $n-Fr_{(ort)}$ grafiği	58
3.5. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 7'li dizilimde yapılan deney verileri için $f-Fr_{(ort)}$ grafiği.....	59
3.6. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 7'li dizilimde yapılan deney verileri için $C-Fr_{(ort)}$ grafiği	59
3.7. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 5 ve 4'lü dizilimde yapılan deney verileri için $n-Q$ grafiği.....	60
3.8. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 5 ve 4'lü dizilimde yapılan deney verileri için $f-Q$ grafiği	61
3.9. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 5 ve 4'lü dizilimde yapılan deney verileri için $C-Q$ grafiği	61
3.10. Eğimin % 0.5 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 7'li dizilimde yapılan deney verileri için $n-\Delta E$ grafiği	63
3.11. Eğimin % 0.5 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 7'li dizilimde yapılan deney verileri için $f-\Delta E$ grafiği	63

ŞEKİLLER DİZİNİ (DEVAM)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.12. Eğimin % 0.5 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 7'li dizilimde yapılan deney verileri için C- ΔE grafiği	64
3.13. Eğimin % 0 olduğu durumda küçük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 6'lı dizilimde yapılan deney verileri için n- ΔE grafiği	64
3.14. Eğimin % 0 olduğu durumda küçük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 6'lı dizilimde yapılan deney verileri için f- ΔE grafiği	65
3.15. Eğimin % 0 olduğu durumda küçük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 6'lı dizilimde yapılan deney verileri için C- ΔE grafiği	65
3.16. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 7'li dizilimde yapılan deney verileri için n- ΔV grafiği	67
3.17. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 7'li dizilimde yapılan deney verileri için f- ΔV grafiği	67
3.18. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 7'li dizilimde yapılan deney verileri için C- ΔV grafiği	68
3.19. Eğimin % 0.5 olduğu durumda küçük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 6'lı dizilimde yapılan deney verileri için n- λ grafiği	68
3.20. Eğimin % 0.5 olduğu durumda küçük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 6'lı dizilimde yapılan deney verileri için f- λ grafiği	69
3.21. Eğimin % 0.5 olduğu durumda küçük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 6'lı dizilimde yapılan deney verileri için C- λ grafiği	69
3.22. Eğimin % 0.5 olduğu durumda küçük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 7'li dizilimde yapılan deney verileri için n- A_B grafiği	70
3.23. Eğimin % 0.5 olduğu durumda küçük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 7'li dizilimde yapılan deney verileri için f- A_B grafiği	70

ŞEKİLLER DİZİNİ (DEVAM)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.24. Eğimin % 0.5 olduğu durumda küçük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 7'li dizilimde yapılan deney verileri için $C-A_B$ grafiği	71
3.25. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 5 ve 4'lü dizilimde yapılan deney verileri için $n-C_{Dv}$ grafiği.....	71
3.26. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 5 ve 4'lü dizilimde yapılan deney verileri için $f-C_{Dv}$ grafiği	72
3.27. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 5 ve 4'lü dizilimde yapılan deney verileri için $C-C_{Dv}$ grafiği.....	72
3.28. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 5 ve 4'lü dizilimde yapılan deney verileri için $n-C_{Dv*}$ grafiği	74
3.29. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 5 ve 4'lü dizilimde yapılan deney verileri için $f-C_{Dv*}$ grafiği.....	74
3.30. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 5 ve 4'lü dizilimde yapılan deney verileri için $C-C_{Dv*}$ grafiği.....	75
3.31. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 5 ve 4'lü dizilimde yapılan deney verileri için $n-C_{Dv+}$ grafiği	75
3.32. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 5 ve 4'lü dizilimde yapılan deney verileri için $f-C_{Dv+}$ grafiği	76
3.33. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 5 ve 4'lü dizilimde yapılan deney verileri için $C-C_{Dv+}$ grafiği.....	76
3.34. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 5 ve 4'lü dizilimde yapılan deney verileri için $n-C_D$ grafiği.....	78
3.35. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 5 ve 4'lü dizilimde yapılan deney verileri için $f-C_D$ grafiği.....	78

ŞEKİLLER DİZİNİ (DEVAM)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.36. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 5 ve 4'lü dizilimde yapılan deney verileri için C-C _D grafiği.....	79
3.37. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 5 ve 4'lü dizilimde yapılan deney verileri için n-VFP grafiği	79
3.38. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 5 ve 4'lü dizilimde yapılan deney verileri için f-VFP grafiği	80
3.39. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 5 ve 4'lü dizilimde yapılan deney verileri için C-VFP grafiği.....	80
4.1. Kullanılan pürüzlülük elemanı sayısının 96 olduğu deney setlerinde hesaplanan n değerlerinin birinci ve ikinci kesitte ölçülen su yükseklikleri farkı ile değişimi	86
4.2. Kullanılan pürüzlülük elemanı sayısının 88 olduğu deney setlerinde hesaplanan f değerlerinin birinci ve ikinci kesitte hesaplanan enerji yükseklikleri farkı ile değişimi	86
4.3. Kullanılan pürüzlülük elemanı sayısının 80 olduğu deney setlerinde hesaplanan C değerlerinin birinci ve ikinci kesitte hesaplanan enerji yükseklikleri farkı ile değişimi	87
4.4. Eğimin % 0 olduğu deney şartlarında regresyon modeli tarafından tahmin edilen n değerleri ile deneysel olarak hesaplanan n değerlerinin dağılımı.....	89
4.5. Eğimin % 0.5 olduğu deney şartlarında regresyon modeli tarafından tahmin edilen n değerleri ile deneysel olarak hesaplanan n değerlerinin dağılımı.....	90
4.6. Eğimin % 0 olduğu deney şartlarında regresyon modeli tarafından tahmin edilen f değerleri ile deneysel olarak hesaplanan f değerlerinin dağılımı.....	84

ŞEKİLLER DİZİNİ (DEVAM)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.7. Eğimin % 0.5 olduğu deney şartlarında regresyon modeli tarafından tahmin edilen f değerleri ile deneysel olarak hesaplanan f değerlerinin dağılımı.....	91
4.8. Eğimin % 0 olduğu deney şartlarında regresyon modeli tarafından tahmin edilen C değerleri ile deneysel olarak hesaplanan C değerlerinin dağılımı.....	92
4.9. Eğimin % 0.5 olduğu deney şartlarında regresyon modeli tarafından tahmin edilen C değerleri ile deneysel olarak hesaplanan C değerlerinin dağılımı.....	93
4.10. Çözücünün su yüksekliği eğrileri	93
4.11. Su seviyesi değerleri.....	94
4.12. Çözücünün dikey hız profili eğrileri.....	94
4.13. Çözücünün hız değerleri.....	95



ÇİZELGE DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Yapılan deneylerin kategorize edilmiş listesi	22
3.1. Eğimin % 0.5 olduğu ve her sırada 7 büyük çaplı yapay pürüzlülük elemanı kullanılan deney setlerindeki Froude Sayıları	51
3.2. Eğimin % 0.5 olduğu ve her sırada 6 büyük çaplı yapay pürüzlülük elemanı kullanılan deney setlerindeki Froude Sayıları	52
3.3. Eğimin % 0.5 olduğu ve her sırada 5 ile 4 büyük çaplı yapay pürüzlülük elemanı kullanılan deney setlerindeki Froude Sayıları.....	53
3.4. Maksimum ve minimum değerler.....	54
3.5. Maksimum ve minimum değerler.....	55
4.1. Kullanılan pürüzlülük elemanı sayısının 96 olduğu deney setlerinde oluşan pürüzlülük katsayısı değerleri.....	83
4.2. Kullanılan pürüzlülük elemanı sayısının 88 olduğu deney setlerinde oluşan pürüzlülük katsayısı değerleri.....	84
4.3. Kullanılan pürüzlülük elemanı sayısının 80 olduğu deney setlerinde oluşan pürüzlülük katsayısı değerleri.....	85



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler Açıklama

ρ	Akışkanın yoğunluğu
ΔE	Enerji yükseklikleri farkı
Δx_b	Akışa paralel yönde bitkiler arası mesafe
Δy_b	Akışa dik yönde bitkiler arası mesafe
A	Akış alanı
A_B	Akışa dik yöndeki toplam blokaj alanı
A_{Blokaj}	Bitki blokaj alanı
A_i	Bir bitkide su ile temas eden bölgenin akışa dik enkesit alanı
A_p	Tek bir bitkinin oluşturduğu momentum sönümleme alanı
A_λ	Birim alana düşen dikey blokaj alanı
b	Kanal taban genişliği
C	Chezy pürüzlülük katsayısı
C_d	Sürüklenme katsayısı
C_{Dv}	Sürüklenme katsayısı
C_{Dv}^*	Sürüklenme katsayısı
C_{Dv}^+	Sürüklenme katsayısı
D	Çap
E	Elastisite modülü
E	Enerji yüksekliği
f	Darcy-Weisbach pürüzlülük katsayısı
F_r	Froude sayısı
f_v	Bitkisel sürtünme faktörü
g	Yerçekimi ivmesi
hf	Sürekli yük kaybı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (DEVAM)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
I	Atalet momenti
J_0	Kanal taban eğimi
J_e	Enerji çizgisinin eğimi
L	Boru uzunluğu
M	Relatif bitki yoğunluğu
n	Manning pürüzlülük katsayısı
P_n	Toplam bitki sayısı
Q	Debi
R	Hidrolik yarıçap
r	Yarıçap
Re	Reynolds sayısı
Re_d	Bitki çapına bağlı Reynolds sayısı
Re_v	Bitkilerle ilişkilendirilmiş Reynolds sayısı
Re_y	Su seviye bağlı Reynolds sayısı
Re_v	Bitki sıklığının etkisini bünyesinde barındıran bu hidrolik yarıçap
S_p	Δx_v ve Δy_v 'nin birbirine eşit olduğu durumlarda bitkiler arası mesafe
U^*	Ortalama sürtünme hızı
V	Hız
V^*	Sürüklenme hızı
VFP	Bitkisel akış parametresi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (DEVAM)

Simgeler Açıklama

V_v	Bitkilerin blokaj yapmadığı boşluktan geçen suyun hızı
V_{bitki}	Bitki hacmi
y	Akış derinliği
z	İki nokta arasında eğimden kaynaklanan yükseklik farkı
λ	Bitkisel yoğunluk parametresi (adet/m ²)
λ_b	Prandtl denklemi için boru akımı için yük kaybı katsayısı
λ_k	Keulegan denklemi için boru akımı için yük kaybı katsayısı
τ_w	Katı yüzey ile su arasındaki kayma gerilmesi
ν	Kinematik viskozite

Kısaltmalar

CFD	Computational Fluid Dynamics (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği)
A1a	% 0 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x31 diziliminde yapılan deney şartları
A1b	% 0 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x16+6x15 diziliminde yapılan deney şartları
A1c	% 0 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x16+5x15 diziliminde yapılan deney şartları
A1d	% 0 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x16+4x15 diziliminde yapılan deney şartları
A1e	% 0 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x16+3x15 diziliminde yapılan deney şartları
A1f	% 0 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x16 diziliminde yapılan deney şartları

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (DEVAM)Kısaltmalar

- A1g % 0 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x8+6x8 diziliminde yapılan deney şartları
- A1h % 0 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x8+5x8 diziliminde yapılan deney şartları
- A1i % 0 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x8+4x8 diziliminde yapılan deney şartları
- A1j % 0 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x8+3x8 diziliminde yapılan deney şartları
- A1k % 0 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 6x31 diziliminde yapılan deney şartları
- A1l % 0 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 6x16+5x15 diziliminde yapılan deney şartları
- A1m % 0 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 6x16+4x15 diziliminde yapılan deney şartları
- A1n % 0 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 6x16+3x15 diziliminde yapılan deney şartları
- A1o % 0 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 6x16 diziliminde yapılan deney şartları
- A1ö % 0 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 6x8+5x8 diziliminde yapılan deney şartları
- A1p % 0 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 6x8+4x8 diziliminde yapılan deney şartları
- A1r % 0 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 6x8+3x8 diziliminde yapılan deney şartları
- A1s % 0 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 5x31 diziliminde yapılan deney şartları

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (DEVAM)Kısaltmalar

- A1t % 0 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 5x16+4x15 diziliminde yapılan deney şartları
- A1u % 0 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 5x16+3x15 diziliminde yapılan deney şartları
- A1ü % 0 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 5x16 diziliminde yapılan deney şartları
- A1v % 0 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 5x8+4x8 diziliminde yapılan deney şartları
- A1y % 0 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 5x8+3x8 diziliminde yapılan deney şartları
- A1z % 0 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 4x31 diziliminde yapılan deney şartları
- A1x % 0 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 4x16+3x15 diziliminde yapılan deney şartları
- A1w % 0 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 4x16 diziliminde yapılan deney şartları
- A1q % 0 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 4x8+3x8 diziliminde yapılan deney şartları
- A2a % 0.5 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x31 diziliminde yapılan deney şartları
- A2b % 0.5 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x16+6x15 diziliminde yapılan deney şartları
- A2c % 0.5 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x16+5x15 diziliminde yapılan deney şartları
- A2d % 0.5 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x16+4x15 diziliminde yapılan deney şartları

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (DEVAM)Kısaltmalar

- A2e % 0.5 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x16+3x15 diziliminde yapılan deney şartları
- A2f % 0.5 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x16 diziliminde yapılan deney şartları
- A2g % 0.5 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x8+6x8 diziliminde yapılan deney şartları
- A2h % 0.5 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x8+5x8 diziliminde yapılan deney şartları
- A2i % 0.5 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x8+4x8 diziliminde yapılan deney şartları
- A2j % 0.5 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x8+3x8 diziliminde yapılan deney şartları
- A2k % 0.5 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 6x31 diziliminde yapılan deney şartları
- A2l % 0.5 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 6x16+5x15 diziliminde yapılan deney şartları
- A2m % 0.5 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 6x16+4x15 diziliminde yapılan deney şartları
- A2n % 0.5 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 6x16+3x15 diziliminde yapılan deney şartları
- A2o % 0.5 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 6x16 diziliminde yapılan deney şartları
- A2ö % 0.5 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 6x8+5x8 diziliminde yapılan deney şartları
- A2p % 0.5 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 6x8+4x8 diziliminde yapılan deney şartları

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (DEVAM)Kısaltmalar

A2r	% 0.5 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 6x8+3x8 diziliminde yapılan deney şartları
A2s	% 0.5 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 5x31 diziliminde yapılan deney şartları
A2t	% 0.5 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 5x16+4x15 diziliminde yapılan deney şartları
A2u	% 0.5 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 5x16+3x15 diziliminde yapılan deney şartları
A2ü	% 0.5 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 5x16 diziliminde yapılan deney şartları
A2v	% 0.5 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 5x8+4x8 diziliminde yapılan deney şartları
A2y	% 0.5 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 5x8+3x8 diziliminde yapılan deney şartları
A2z	% 0.5 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 4x31 diziliminde yapılan deney şartları
A2x	% 0.5 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 4x16+3x15 diziliminde yapılan deney şartları
A2w	% 0.5 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 4x16 diziliminde yapılan deney şartları
A2q	% 0.5 eğim ve 16 mm gövde çapına sahip bitki ile 4x8+3x8 diziliminde yapılan deney şartları
B1a	% 0 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x31 diziliminde yapılan deney şartları
B1b	% 0 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x16+6x15 diziliminde yapılan deney şartları

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (DEVAM)Kısaltmalar

- B1c % 0 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x16+5x15 diziliminde yapılan deney şartları
- B1d % 0 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x16+4x15 diziliminde yapılan deney şartları
- B1e % 0 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x16+3x15 diziliminde yapılan deney şartları
- B1f % 0 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x16 diziliminde yapılan deney şartları
- B1g % 0 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x8+6x8 diziliminde yapılan deney şartları
- B1h % 0 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x8+5x8 diziliminde yapılan deney şartları
- B1i % 0 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x8+4x8 diziliminde yapılan deney şartları
- B1j % 0 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x8+3x8 diziliminde yapılan deney şartları
- B1k % 0 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 6x31 diziliminde yapılan deney şartları
- B1l % 0 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 6x16+5x15 diziliminde yapılan deney şartları
- B1m % 0 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 6x16+4x15 diziliminde yapılan deney şartları
- B1n % 0 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 6x16+3x15 diziliminde yapılan deney şartları
- B1o % 0 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 6x16 diziliminde yapılan deney şartları

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (DEVAM)Kısaltmalar

- B1ö % 0 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 6x8+5x8 diziliminde yapılan deney şartları
- B1p % 0 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 6x8+4x8 diziliminde yapılan deney şartları
- B1r % 0 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 6x8+3x8 diziliminde yapılan deney şartları
- B1s % 0 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 5x31 diziliminde yapılan deney şartları
- B1t % 0 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 5x16+4x15 diziliminde yapılan deney şartları
- B1u % 0 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 5x16+3x15 diziliminde yapılan deney şartları
- B1ü % 0 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 5x16 diziliminde yapılan deney şartları
- B1v % 0 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 5x8+4x8 diziliminde yapılan deney şartları
- B1y % 0 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 5x8+3x8 diziliminde yapılan deney şartları
- B1z % 0 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 4x31 diziliminde yapılan deney şartları
- B1x % 0 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 4x16+3x15 diziliminde yapılan deney şartları
- B1w % 0 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 4x16 diziliminde yapılan deney şartları
- B1q % 0 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 4x8+3x8 diziliminde yapılan deney şartları

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (DEVAM)Kısaltmalar

- B2a % 0.5 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x31 diziliminde yapılan deney şartları
- B2b % 0.5 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x16+6x15 diziliminde yapılan deney şartları
- B2c % 0.5 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x16+5x15 diziliminde yapılan deney şartları
- B2d % 0.5 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x16+4x15 diziliminde yapılan deney şartları
- B2e % 0.5 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x16+3x15 diziliminde yapılan deney şartları
- B2f % 0.5 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x16 diziliminde yapılan deney şartları
- B2g % 0.5 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x8+6x8 diziliminde yapılan deney şartları
- B2h % 0.5 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x8+5x8 diziliminde yapılan deney şartları
- B2i % 0.5 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x8+4x8 diziliminde yapılan deney şartları
- B2j % 0.5 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 7x8+3x8 diziliminde yapılan deney şartları
- B2k % 0.5 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 6x31 diziliminde yapılan deney şartları
- B2l % 0.5 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 6x16+5x15 diziliminde yapılan deney şartları
- B2m % 0.5 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 6x16+4x15 diziliminde yapılan deney şartları

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (DEVAM)Kısaltmalar

- B2n % 0.5 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 6x16+3x15 diziliminde yapılan deney şartları
- B2o % 0.5 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 6x16 diziliminde yapılan deney şartları
- B2ö % 0.5 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 6x8+5x8 diziliminde yapılan deney şartları
- B2p % 0.5 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 6x8+4x8 diziliminde yapılan deney şartları
- B2r % 0.5 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 6x8+3x8 diziliminde yapılan deney şartları
- B2s % 0.5 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 5x31 diziliminde yapılan deney şartları
- B2t % 0.5 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 5x16+4x15 diziliminde yapılan deney şartları
- B2u % 0.5 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 5x16+3x15 diziliminde yapılan deney şartları
- B2ü % 0.5 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 5x16 diziliminde yapılan deney şartları
- B2v % 0.5 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 5x8+4x8 diziliminde yapılan deney şartları
- B2y % 0.5 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 5x8+3x8 diziliminde yapılan deney şartları
- B2z % 0.5 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 4x31 diziliminde yapılan deney şartları
- B2x % 0.5 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 4x16+3x15 diziliminde yapılan deney şartları

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (DEVAM)

Kısaltmalar

- B2w % 0.5 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 4x16 diziliminde yapılan deney şartları
- B2q % 0.5 eğim ve 24 mm gövde çapına sahip bitki ile 4x8+3x8 diziliminde yapılan deney şartları



1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında doğal kaynakların sürdürülebilirliği oldukça ilgi çeken bir çalışma alanı olarak öne çıkmaktadır. Bu kapsamda insanoğlunun sahip olduğu en değerli doğal kaynaklardan olan suyun kullanımı büyük önem teşkil etmektedir. Suyun doğru kullanımı ise kullanım alanlarına hızlı ve sağlıklı bir şekilde, kalitesinde kalıcı değişimler yaşanmadan ve çevre şartlarını kalıcı olarak değiştirmeden iletimini gerektirir.

Suyun iletimi temelde iki şekilde olur. Bunlar basınçlı borularla suyun kapalı bir şekilde dış etkenlerden etkilenmeden iletimi, bir diğeri ise açık kanallarla suyun iletimidir. Nehirler ve diğer küçük çaptaki akarsular da değişken kesitli birer açık kanal akımı olarak kabul edilebilir.

Açık kanallarda, kanal kesitinin doğru tasarımı, hidrolik tasarım ve taşkın planlaması adına büyük önem arz eder. Hidrolik eğim, kanal kesiti ve akış yatağı şartları nehirlerde ve açık kanallarda debiyi ve hızı etkileyen önemli faktörlerdir. Akış yalnızca taban eğimi, sediment gibi cansız öğelerden değil aynı zamanda bitkiler gibi canlı öğelerden de etkilenir.

Bitkiler, insanlardan sonra açık kanallarda akışı doğrudan etkileyen önemli canlı grubudur. Bitkilerin sediment hareketi, fiziksel ve biyolojik süreçler üzerindeki etkilerin ötesinde akış alanına etkileri hayati önem arz eder.Bitki, kesit alanını değiştirerek akış şartlarını etkiler. Bitkilerin akış kesitinde sebep olduğu bu değişim iletim kapasitesini değiştirir. İletim kapasitesinin değişimi, bitkilerin akış kesitinden sebep olduğu daralma sebebiyle suyun daha hızlı akararak mevcut debiyi devam ettirmesi ya da su seviyesinin yükselerek bitkinin oluşturduğu daralmayı gidermeye çalışması sonucunda bir akış direnci oluşması ile sonuçlanır.

Yalın olarak bitkilerin oluşturduğu direnci belirlemek oldukça zordur. Çünkü belirlemeye çalıştığımız direnç; bitki türü, bitki yoğunluğu,bitki dizilimi, debi,su seviyesi, akış rejimi, yatak eğimi, yatak türü, malzeme özellikleri, rakım, topoğrafya, plan vb. birçok parametreye bağlıdır. Bu kadar çok parametrenin varlığı, diğer bir deyişle bu kadar çok değişkenin etkisi sonucu oluşan bir direnç

değerini belirlemede teorik yaklaşımlar sınırlı kaldığı için açık kanal akımlarında bazı ampirik ifadelerden yararlanma gereksinimi ortaya çıkmıştır.

Mevcut teorik yaklaşımların yetersiz kalması her ne kadar ampirik yaklaşımları zorunlu kılsa da nümerik çözümlerle teyit edilmemiş hiçbir yaklaşımın yeterince güvenilir olmadığı günümüz dünyasında su götürmez bir gerçektir. Bu yüzden yapılan deneysel çalışmalar bilgisayar simülasyonları ile desteklenmeli, deneysel ortamda elde edilen verilerin bilgisayar ortamında oluşturulan matematik ağlar yardımıyla denetlenmesi sağlanmalıdır.

Açık kanal akımlarında bitkilerin neden olduğu enerji kayıplarını irdelemek için yapılan bu çalışmada; mevcut teorik yaklaşımlar dikkate alınarak, literatürde geçen diğer ampirik yaklaşımların rehberliğinde bitkilerin oluşturduğu direncin Manning pürüzlülük katsayısı (n), Chezy direnç faktörü (C), Darcy Weisbach'ın sürtünme katsayısı (f), sürüklenme kuvveti (CD) ve bitki akış parametresi (VFP) ile ilişkisi irdelenmiş ve yeni bir ampirik yaklaşım elde edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen deneysel veri ve yaklaşımların, sonlu elemanlar prensibine göre analiz yapan bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı ile nümerik çözümü ve simülasyonu yapılmıştır.

1.1. Literatür

Açık kanallarda akışı sınırlayan faktörlerin araştırılması oldukça eskiye dayanır. Bu kapsamda temel konu, dinamik kuvvetler altında enerji kaybının nasıl olduğu ve bu kayıplara sebep olan parametrelerin neler olduğudur. Açık kanallarda yapılan deneyler sonucunda akış direncinin ampirik ifadelerle ilk kez eşitlik içerisinde kullanılması 18. yüzyılın ikinci yarısında Antony Chezy tarafından gerçekleştirilmiştir. Chezy'nin amacı hızı değiştiren karakterestik büyüklüğün fiziksel durumunu irdelemektir.

$$V = C \sqrt{R} J_e \quad (1)$$

Burada V , ortalama akış hızını temsil ederken karekök içerisinde yer alan R hidrolik yarıçap J_e ise enerji çizgisinin eğimini temsil eder. C ise sürtünmeyi ifade eden teorik katsayıdır. Bu denklem bir ilk adım niteliğine bürünmüş ve sonrasında gelen çalışmalara basamak teşkil etmiştir. Özellikle denklemde bulunan hidrolik yarıçapın yerine akışı etkileyen diğer etkenleri de hesaba katan parametrelerin veya katsayıların eşitliğe dahil edilmesine çalışılmıştır (Yen, 2002).

Fransız mühendis Philippe Gauckler tarafından 1867 yılında bulunan daha sonra İrlandalı mühendis Robert Manning tarafından 1890 yılında geliştirilen ve literatüre Gauckler-Manning denklemi olarak geçen

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} J_0^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

eşitliği bu alandaki öncü çalışmaların başında gelir. Bu eşitlikte de hız hidrolik yarıçap ve enerji çizgisi eğimi ile ilişkilendirilirken pürüzlülük katsayısı olan n paydada yer almaktadır (Wu et al., 1999).

Boru akışlarında pürüzlülük etkisini formülasyonlara dahil etmeyi savunan ilk kez 1800'lü yılların ortalarında Darcy olmuştur. Temel hareket eşitliği yardımı ile aşağıdaki eşitliği bulmuştur.

$$V^2 = 8. \tau_w \rho. f \quad (3)$$

Alman bilim adamı Weisbach, bu eşitliği geliştirerek Darcy-Weisbach eşitliği olarak bilinen

$$h_f = f.(L/D).(V^2/2g) \quad (4)$$

denklemini türetmiştir. Burada g yerçekimi ivmesini, V ortalama akış hızını, L boru boyunu temsil ederken f pürüzlülük katsayısıdır. Bu denklemde D yerine $4R$ ifadesi kullanıldığı takdirde kapalı boru akışı için geliştirilmiş olan bu denklem açık kanal akışında da kullanılabilir olur (Hui and Hu, 2010).

Prandtl (1932) yaptığı deneysel çalışmada pürüzsüz cidarlı borularda,

$$\frac{1}{\lambda_b} = 2.0 \log Re_b \overline{\lambda}_b - 0.8 \quad (5)$$

denkleminin kullanılabileceğini öne sürmüştür. Burada Re_b Reynold Sayısı, λ_b ise boru akımı için yük kayıp katsayısıdır. Keulegan, bu denklemi revize ederek pürüzsüz cidarlı açık kanallar için uygulanabileceğini öne sürdüğü,

$$\frac{1}{\lambda_k} = 2.03 \log Re_k \overline{\lambda}_k - 1.08 \quad (6)$$

denklemini üretmiştir (Bilgil, 1999).

Rouse (1965) akış direncine etkiyen değişkenleri kanal geometrisi, boy kesitte oluşan düzensizlikler, akışın kararsızlığı, hidrolik yarıçap, Froude Sayısı ve Reynolds Sayısı olarak belirtmiştir. Bitki gövdesindeki sürüklenme kuvvetini hesaplamak; n değerini tahmin için daha temel bir yaklaşım olarak belirtmiştir (Petryk and Bosmajion 1975).

Açık kanal akımlarında bitkilerin oluşturduğu direnç üzerine çalışılırken, bitkilerin gövde yapıları ve su derinliği-bitki boyu ilişkisi ayırt edici durumlar olarak düşünülüp, bu ayrımlar dikkate alınarak çok sayıda araştırma yapılmıştır. Burada önemli etkenlerden biri de bitkilerin dizilim durumlarıdır. Dere ıslahı çalışmalarında kullanılabilecek bitkiler uygulayıcıları tarafından yerleştirilirken, doğa da kendince bir uygulama planı uygular. Aynı bitki sayısı olduğu halde, şaşırtmalı dizilişte bitkilerin oluşturduğu blokaj alanı tandem dizilişe göre daha fazla olacağından direnç kuvvetlerinin artacağı ön görülmektedir. Rastgele

dizilişin gerek en kesitsel gerek de boy kesitsel anlamda akış üzerinde yaratacağı kaotik durumun, oluşacak direnç kuvvetlerine etkisi de merak edilmektedir. Shen et al., (1973) şaşkırtmalı veya rastgele dizilmiş bitkilerin tandem olanlara göre daha büyük bir direnç oluşturacağını ortaya koyarak, bu alanda öncü bir çalışma ortaya koymuşlardır.

Kadlec (1990) bitkilendirilmiş kanallar için geleneksel akış direnci denklemlerinin kullanılmasını; akış derinliği boyunca sürüklenmeden dolayı oluşan direnç kuvvetini değil, kayma sınırına göre oluşan direnç kuvvetini hesapladığı gerekçesiyle eleştirdi. Ona göre bitkilendirilmiş kanallarda akım boyunca sık sık laminer ve türbülanslı akımlar arasında geçiş olması yüzünden Manning denkleminin uygulanmasında bazı sorunlar yaşanabilmektedir.

Rahmeyer (1996) taşkın kontrol kanallarında bitkilerin direnç ve stabilitesi üzerine yirmi farklı bitki çeşidi kullanarak yaptığı çalışmalarda akış direnci ve sürüklenme kuvvetini bulmaya çalıştı. Kil ve beton olmak üzere iki farklı akış yatağı kullandı. Esnek bitkilerde su altı durumda yaprak şeklinin önemine dikkat çekmiş, göz yaşı şeklindeki yaprakların bitkiye etkileyen akış kuvvetleri azalttığı iddiasında bulunmuştur. Farklı tür ve farklı ölçülerdeki bitkiler ile yapılan kombinasyon veya grupların taban akışındaki hızı en aza indirdiği ve erozyon potansiyelini minimize ettiğini belirtmiştir.

Freeman et al. (2000) yılında yaptıkları çalışmada akış yatağındaki kayma gerilmesinden ziyade akış derinliği boyunca sürtünmenin birincil olarak oluştuğu sap ve gövde kısmında, bitkiler için geleneksel sürtünme (direnç) denklemlerinin (Manning, Chezy, ... vs.) yetersiz kaldığını ifade ederek, tüm bunlara alternatif olarak, ölçülebilen bitki karakteristikleri ile ilgili katsayıları yatak pürüzlülüğü ile birleştirilerek, kayda değer anlamlı bir denklem oluşturdular. Denklemin başarısı ölçülen ve hesaplanan debi-seviye bağıntılarıyla ispat edilmiştir. Bunun için yapay silindirik gövdelerden elde edilen (ölçülen ve kalibre edilen) sürtünme katsayıları ile doğal bitkilerden ölçülen sürtünme katsayı değerleri karşılaştırılmıştır.

Yen (2002) iç ve dış sınır tabaka koşullarının kesin olarak belirlenebildiği zaman salt direnç olgusunu açıklayabilmenin mümkün olacağını ileri sürmüş,

kanal dirençlerinde doğrusal-ayırım yaklaşımı karşında doğrusal olmayan yaklaşımı irdeleyen kapsamlı bir çalışma ele almıştır.

Jarvela (2002) laboratuvar ortamında açık kanalda gerçek bitkilerle yaptığı çalışmasında yoğunluk ve bitki dizilimi koşullarının hız ve akış derinliğini nasıl değiştirdiğini, sürtünme kayıplarının da bu değişimden nasıl etkilendiğini araştırmıştır. Jarvela yaptığı deneylerde rijit ve rijit olmayan, yapraklı ve yapraksız birçok bitki kullanmıştır. Analizlerinde Darcy-Weisbach eşitliğini kullanmıştır. Sürtünme faktörü f 'in, akış derinliği, hız, reynolds sayısı ve bitki yoğunluğu ile büyük değişim gösterdiğini belirlemiştir. Yapraklı bitkilerle yapılan deneylerde pürüzlülük katsayısının, yapraksız bitkilerle yapılanlara göre önemli ölçüde arttığı tespitini yapmıştır.

Stone and Shen (2002) rijit yapay elemanlar kullanarak yaptıkları deneyler ile hidrolik direnç katsayısını belirlemeye çalışmışlardır. Bu çalışmalarda su altında olma durumunda, kanal tabanı sıfır eğimli, bitki boyları sabit kabul edilerek, akış direncini belirlemek için yüzeyde ve pürüzlü taban seviyelerinde akış hızını hesaplayan fiziksel tabanlı formüller geliştirilmişlerdir. Moody diyagramındaki f katsayısından da yararlanarak, kanalın taban pürüzlülüğünü ve bitkilerin neden olduğu pürüzlülüğü ayrıştırarak hesaplamışlardır. Sonuç olarak akış direncinin, akış derinliği, sap dizilimi, sap uzunluğu ve sap çapıyla değiştiğini belirlemişlerdir.

Velasco et al., (2003) çakıl bir akış yatağında esnek plastik bitkilerle türbülans hız profilleri üzerine yaptıkları çalışmalarda akışta oluşan türbülans gerilimlerinin hem bitkilendirilmiş bölgede hem de bitkilendirilmiş bölgenin bitki boyunu aşan (bitki üzeri akış) koşullarında ölçmek suretiyle, bitkilerin esneklik parametresi ve akış etkisi ile bükülen bitki uzunluğu arasında doğrusala yakın bir ilişki gözlemlenmiştir. Aynı ilişki akış hızı ile bükülen bitki uzunluğu arasında da saptanmıştır.

Barkdoll et al., (2004) rijit bitkilerin simülasyonunda dübel olarak nitelendirebilecek yapay elemanlar kullanıp akış direnci üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Yaptıkları momentum denge analizinde, ölçülen sürüklenme

katsayısı değerleri momentum formülü ile bulunan değerden büyük çıkmıştır. Bu fark, dübellerin yukarısında akış yönündeki dalga oluşumuna ve bu dalgaların dübellerce kırılmasına dayandırılmıştır.

James et al., (2004) kayma gerilmesinden daha fazla bitkilerin sebep olduğu pürüzlülük nedeniyle tamamen batık olmayan bitkilerin olduğu açık kanal akışı için geleneksel direnç eşitliklerinin kullanılmasının uygun olmadığını söylemişlerdir. Sürüklenme kuvvetini hesaplayabilmek için 1960 yılında Albertson ve diğerleri, tarafından elde edilen sürüklenme katsayısını kullanmışlardır. Elde ettikleri eşitlikleri, ölçülen ve hesaplanan sürtünme katsayıları ile test etmişlerdir.

Çelik (2004) "Sazlık ortamdaki açık kanal akımında hız profilleri, türbülans özellikleri ve eğilmenin akıma etkisi" başlıklı yüksek lisans tezinde bitkilenme ya da sazlıklı ortamın akım direncini etkilediğini dolayısıyla akış derinliğini ve hız dağılımı oluşumunda en önemli etkenlerden biri olduğu tespitinde bulunmuştur. Akım direncini; yüzey sürtünmesi, şekil direnci veya sürüklenme, dalga direnci, akım düzensizliği ve yerel ivmelenmeden kaynaklanan direnç olarak dört bileşene ayırmıştır. Bitkilerin oluşturduğu türbülans ve sürüklenmenin akım üzerinde yarattığı momentum kaybından dolayı akışı doğrudan etkilediği bu nedenle de sürüklenme kuvveti ve hidrolik direnç hesaplamalarında kullanılan katsayıların hesaplanmasında doğrudan etkiye sahip olduğu vurgusunda bulunmuştur.

Kamrath et al., (2006) yeniden konumlandırılmış başka bir deyişle taşınmış bir akarsulardaki erozyon stabilitesi üzerinde taban çökmesi, bitkisellik ve makro pürüzlülük etkisini konu edinen çalışmalarında Almanya'da linyit madenciliği yapılan bir ilçedeki akarsu yatağının değiştirilmesinin sonuçlarını araştırmışlardır. Kritik kayma gerilmelerini aşan sel olayları, yeni akarsu yatağında taban erozyonuna neden olabilir, bununla birlikte nehir ile maden arasındaki izolasyon katmanı zarar görebilir olduğunu ileri sürmüşlerdir. Oluşabilecek en kötü senaryoda maden ocağı taşkınların etkisi ile oyulabilir. Bu yüzden yapılan çalışmada kayma gerilmelerinin dağılımı, yataktaki madde taşınımı ve dip erozyonu farklı taşkın durumları için iki boyutlu hidrodinamik bir

model tarafından hesaplanmıştır. Akarsu dibinde süregelen çökelme, bitkisellik ve dalga biçimli makro pürüzlülük araştırılmıştır. Yapılan araştırma ve hesaplamalar neticesinde taban erozyonuna karşı en iyi korumanın yoğun bitkisellik tarafından sağlandığı kanaatine varılmıştır.

Musleh and Cruise (2006) çalışmalarında geniş taşkın yataklarındaki, batık olmayan rijit bitkilerin akış direncine etkileri incelenmiştir. Farklı çaplı rijit çubuklar, farklı dizilimlerle farklı debilerde, geniş sığ kanal tabanına tespit edilerek denenmiştir. Darcy Weisbach sürtünme katsayısı “f” ile sürüklenme katsayısı “Cd” arasında matematiksel bir ilişki kurarak deneysel verileri de kullanarak Manning katsayısının değişimini irdelemişlerdir. Sonuçlar; artan akış derinliği ve artan hızın, akış direncinin azalmasına neden olduğunu, akış hızının bitki yoğunluğuna karşı çok duyarlı olduğunu göstermiştir. Birim alana düşen bitki sayısını temsil eden yoğunluk parametresinin pürüzlülük üzerindeki etkisinin, yatay açıklık, çap değişimi ve dikey açıklıktan daha fazla olduğunu da gözlemlenmişlerdir.

Wilson (2007) sualtı akış koşullarında yani batık bitki durumundaki esnek bitkiler için akış derinliği ile hidrolik pürüzlülük parametrelerinin değişimini araştırmıştır. Esnek çim saçaklarına benzer bitkiler üzerinde yaptığı çalışmada gövde uzunluğu, çim çeşidi ve batıklık derecesinin akış direnci özellikleri üzerine olan etkisini etüt etmiştir. Manning pürüzlülük katsayısının akış derinliğinin azalması ile birlikte artıp daha düşük bitkisel batıklık derecelerinde asimtotik sabit bir değere yakınsadığını yaptığı çalışmada gözlemlemiştir.

Rhee et al., (2008) yaptıkları çalışmalarında Kore'nin doğal bitki örtüsünden seçtikleri üç farklı bitki üzerinde batık ve batık olmama koşullarında akış direncini, hidrolik yarıçap-Manning pürüzlülük katsayısı eğrileri üzerinde değerlendirmişlerdir. Su yüzeyi ile bitkinin akış nedeniyle bükülen kısmı arasındaki etkileşimin direnç katsayısının artışında önemli bir etken olduğu yönünde görüş bildirmişlerdir.

Souliotis and Prinos (2008) değişken batıklık oranı ve bitkisel yoğunluklarda bitkilendirilmiş kanallarda sürüklenme direncini hesaplamak için

RANS denkleminde dayandırılan ve k-ε türbülans modelini uygulayan üç boyutlu bir hesaplama yapmışlardır. Çalışmalarında batıklık oranı, Reynolds sayısı ve bitkisel yoğunluğun sürüklenme katsayısı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır.

Debnath et.al, (2008) bitkilendirilmiş akış yatağı koşullarındaki nümerik simülasyon çalışmasında akışkan hacmi modeli olarak ifade edilebilecek olan VOF (Volume of Fluid) modelini kullanmışlardır. Çalışmada bitkilerin farklı rölatif batıklık derecelerindeki akış üzerindeki etkilerini incelemek için bilgisayar programı kullanmışlardır. Bitkiselliğin, düşük Reynolds sayılarında bitkinin rölatif uzunluğunun değişimindeki çarpıklığa, kinetik enerji türbülansına, yatay ve düşey doğrultudaki akış hızlarına olan etkisi çalışmanın temelini oluşturmuştur.

Wu (2008) rijit ve batık olmayan elemanlarla yaptığı çalışmada, akışı etkileyen kuvvetleri analiz ederek, direnç katsayısının değişimini irdelemiştir. Yaklaşık 12 metrelik bir laboratuvar kanalında yürüttüğü çalışmasında, farklı yoğunluktaki prizmatik pürüzlülük elemanları ile yaptığı deneylerle, kayma hızının akış hızına oranı ile Manning katsayısı arasında analitik bir eşitlik elde etmiştir.

Chen et al., (2009) bitkilendirilmiş açık kanallarda iki farklı doğal sucul bitki çeşidi ile yaptıkları çalışmada akışı geciktirme katsayısı olarak adlandırılabilen hidroluk direnç katsayısının Froude sayısı ile ilişkisini irdelemişlerdir. Geciktirme katsayısı ile diğer hidroluk parametreler üzerinde yaptıkları analizde en güçlü korelasyonun Froude sayısı ile olduğu sonucuna varmışlardır. Bu iki parametre arasındaki ilişkinin eksponansiyel olup, geciktirme katsayısı hesabında hız ve hidroluk yarıçap yerine Froude sayısının kullanılabilmesi kanaatine varmışlardır.

Wang et al., (2010) batık bitkilerin hidroluk direncinin efektif yükseklikle ilişkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında üç farklı bitki çeşidi kullanmışlardır. Bu bitkilerin efektif yüksekliklerinin hız değişimi üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi çalışmanın ana hattını teşkil etmiştir.

Okamoto and Nezu (2010) çalışmalarında PIV (Particle Image Velocimetry) tekniği olarak bilinen parçacık görüntüsünün hız ölçümü yöntemini kullanarak açık kanallardaki esnek bitkilerin akış ile birlikte tutarlı hareketlerini ve anlık hız yapılarının ölçümünü konu almışlardır. Çalışma sonucunda akış ile esnek bitki hareketlerinin hidromekanik etkileşimi ortaya konmuştur. En önemli tespitlerinden biri esnek bitkilerde akış etkisi ile eğilen bitki boyu arttıkça sürtünme faktörünün de arttığıdır.

Yagci vd., (2010) farklı formlardaki nehir kıyısında yetişen doğal bitkilerin türbülans ve kinetik enerji karakteristikleri üzerindeki rolünü irdelemişlerdir. Dik ve sıkıştırılmış olmak üzere iki farklı formda bitkiler üzerinde yapılan deneylerde dik formdaki bitkilerin akış üzerinde daha fazla etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Hui and Hu (2010) yaptıkları çalışmada akış hızı ve su seviyesi ölçümlerini Bernoulli denklemi ve Darcy sürüklenme faktörüne dayandırarak hesaplanabilecek bir sürüklenme katsayısı bulmaya çalışmışlardır. Farklı debi değerlerinde yaptıkları bu çalışmada, düşey doğrultudaki sürüklenme katsayısının eğilimi ile akış derinliği, çap ve rölatif pürüzlülük gibi parametrelerin ilişkisini irdelemişlerdir. Sürüklenme katsayısının, esneklik, çap, boy, dağılım, yoğunluk, bitki yaşı, yaprak ve dalların dağılımı, bitkinin duruşu, akış derinliği veya hızından etkilendiğini ortaya koymuşlardır. Bununla birlikte ekolojik faktörler sabit tutulduğunda sürüklenme katsayısının ihmal edilebilir değişimler oluşturduğunu, yani sürüklenme katsayısının sabit kabul edilebileceği iddiasında bulunmuşlardır. Büyük çalılıkların sürtünmeyi arttırmakla birlikte aynı zamanda suyu durdurabildiğini de deneysel olarak gözlemlemişlerdir. Ayrıca sürüklenme katsayısının bitki ile ilişkisini belirlemenin, dikey hız dağılımını anlamının başlangıcı olduğunu da belirtmişlerdir.

Kubrak et al., (2010) batık esnek bitkiler üzerinde yaptıkları çalışmada düşey hız profilleri üzerinde durmuşlardır. Akışın hız profilli modelinin belirlenmesinde taban pürüzlülüğü ve esnek bitki gövdelerince uygulanan sürüklenmeyi hesaplarda ana unsur olarak kullanmışlardır.

Jahra et al., (2011) birleşik kesitli bitkilendirilmiş açık kanallarda akış-bitki etkileşimi incelemişlerdir. Deneylein yapıldığı prizmatik kanalın yanlarındaki taşkın yatakları için üç farklı tip bitkilendirilmiş durum oluşturduklar. Çalışmalarında, kısmen veya tamamen bitkilendirilmiş taşkın yatakları ile ana kanaldaki akış arasındaki hareket ve etkileşim süreçlerinin değişimi üzerinden akış yapısını irdelemişleridir. Ana kanal ile bitkilendirilmiş koşullardaki taşkın yataklarında, ortalama hız dağılımı ve türbülans yapısını araştırmak için gerçekleştirilen üç boyutlu nümerik simülasyonda doğrusal olmayan k-ε modeli ile bitkisel modeli eşleştirmişlerdir. Elde ettikleri nümerik sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırdıklarında değerlerin birbiriyle büyük oranda örtüştüğü sonucuna varmışlardır.

Shucksmith et al., (2011) iki farklı canlı bitkiyi kullanarak batık olmayan durumlar için sürtünme katsayısını, bitki yaşına ve Reynolds sayısına bağlı olarak belirlemeye çalışmışlardır. Buldukları sonuçları bitkilendirilmiş kanallara dair pratik momentum dengesine dayanan modellerle karşılaştırıp yeni deneysel bağıntılar elde etmişlerdir.

Pham et al., (2011) açık kanallarda üç farklı tropik bitkinin batık halde akış direnci ve hız profilleri üzerindeki etkisini incelemiş, her bitki için çeşitli debi, su yüksekliği, bitkinin batıklık derecelerinde üç farklı yoğunluk durumunu test etmişlerdir. Çalışmalarında vurguladıkları önemli bir ayrıntı su altındaki bitkinin biyokütle-sürüklenme oranından çok bitki çeşidinin önem arz ettiği yönündedir.

Cheng and Nguyen (2011) açık kanallardaki bitkiler oluşturduğu direncin literatürde farklı şekillerde yorumlanmış olduğuna dikkat çekerek, bu durumun Reynolds sayısı, sürüklenme katsayısı veya sürtünme katsayısı tanımlamalarında hız ve uzunluk parametrelerinin tutarsız kullanımına bağlı olarak gerçekleştiği tespitinde bulunmuştur. Çalışmalarında bitki karakteristiği ve hidrolik yarıçap kullanılarak yeniden tanımlanmış bir Reynolds sayısı ve sürtünme fonksiyonu bulmayı amaçlamışlardır. Bitki sıklığı ile ilişkilendirdikleri hidrolik yarıçap değişkeninin, açık kanallardaki akış direncini belirlemek için kullanmayı denemişlerdir. Basitleştirmek için çalışma silindir kesitli batık olmayan rijit bitki için yapılmıştır. Ayrıca, daha önce yapılmış çalışmalardan Ergun eşitliğine dair

bu eşitliğin bitkilendirilmiş açık kanallarda kullanılması durumunda düşük Reynolds sayılarında sürüklenme katsayısının olduğundan küçük, büyük Reynolds sayılarında ise olduğundan büyük çıktığı tespitinde bulunmuşlardır. Çalışmalarında yan duvar ve yatak taban pürüzlülüğünün akış direncine etkilerini de irdelemişlerdir. Manning katsayısı için bitkiler arasındaki hız ve bitki yoğunluğuna bağlı bir eşitlik elde etmiş ve bu eşitlik ile buldukları değerlerle ölçtükleri değerleri çalışmalarında karşılaştırmışlardır.

Moghadam et al., (2011) taşkın ovaları, sahiller ve akarsu yataklarındaki sualtı konumundaki batık bitkiler için Manning formülündeki n değerinin akış ile bitkisellik koşullarına bağlı değişimini konu almışlardır. Çalışmalarında sekiz santimetrelilik yapay plastik pürüzlülük elemanlarını, nümerik modellemede ise FASTER modeli isimli bir modellemeyi kullanmışlardır. Farklı yatak eğimi, debi, akış yüksekliği ve bitki yoğunluklarında Manning formülündeki n değerini hesaplamışlardır. Elde ettikleri sonuçlar; n değerinin bitki yoğunluğundaki artışla arttığını, akış hızı ve derinliğindeki artışla azaldığını ortaya koymuşlardır.

Dharmasiri et al., (2012), Cheng and Nguyen (2011) çalışmasına benzer bir çalışma yürüterek silindirik yapay pürüzlülük elemanları ile yaptıkları deneyler sonucunda, yalnızca bitki yoğunluğuna bağlı bir sürüklenme eşitliği elde etmiş ve daha önceki çalışmalarla sonuçlarını sunmuşlardır. Buldukları metodun bitkilendirilmiş kanal akışı yanında köprü ayakları etrafındaki akışta oluşan sürtünmeyi hesaplamak için kullanılabileceğini öne sürmüşlerdir. Sonuçlar, verilen bir geometrik şekilde belirli bir pürüzlülük yoğunluğunda, akış yatağı tamamen girdaplar ile kaplandığında maksimum sürtünmenin meydana geldiğini ortaya koymuştur. Elde ettikleri sonuca göre pürüzlülük belli bir değere kadar yoğunlukla doğrusal olarak artmakta, belirli bir yoğunluk değerinden sonra ise azalmaktadır.

Kapourchal and Shafiei (2012) yılında değişken koşullarda farklı bir yöntemle Manning pürüzlülük katsayısı (n) gibi pürüzlülük katsayılarını hesaplayabilmek için bitkilerin batıklığı üzerinde su derinliği etkisini ve enerji eğiminin değişimini kullanan genetik programlamaya dayalı analitik bir formül geliştirmişlerdir.

Noarayanan et al., (2012) açık kanallarda esnek silindirik bitkilerin oluşturduğu hidrolik direnç karakteristikleri üzerinde yaptıkları çalışmalarında, kıyıları doğal felaketlerden ve uzun vadeli erozyonlardan korumak için doğal bitkilerden yararlanılabileceğinin belirtmişlerdir. Bu amaçla, bitki davranışını anlamak için ve bitki sürüklenme kuvvetinin akış davranışını nasıl etkilediğini görebilecekleri deneyler yapmışlardır. Deneyleri, bitkileri tandem dizerek, farklı yoğunluklar için yürütmüşlerdir. Esnek silindirik elemanlarla yürüttükleri deneyler sonucunda Manning katsayısını veren, hidrolik yarıçap, bitkinin esnekliği, kayma hızı, bitki yoğunluğuna bağlı bir matematiksel eşitlik elde etmişlerdir. Çalışmalarında, bitkili ölçüm değerlerinden bitkisiz ölçüm değerlerini çıkartarak sırf bitkisellikten kaynaklanan kayıpları bulmaya çalışmışlardır. Ayrıca, akış parametrelerini, bitkisel parametreleri ve rijitlik parametrelerini etkilerini içinde barındıran VFP olarak adlandırdıkları bitkisel akış parametresini bulmuş, buldukları VFP değerlerini Manning katsayısı ile karşılaştırmışlardır. Daha sonra elde ettikleri sonuçları benzer bir çalışma olan Freeman et al., (2000) sonuçları ile karşılaştırmışlardır.

Shi et al., (2013) batık durumdaki gerçek bitkilerle yürüttükleri çalışmaları ile bitki yoğunluğunun akım hızı dağılımını nasıl değiştirdiğini açıklamayı hedeflemişlerdir. Bu amaçla akım derinliğini üç kısma ayırarak her kesitteki hız profilini elde etmişlerdir. Böylece bitkilerin hangi akım derinliğinde nasıl bir direnç oluşturduğunu bulmaya çalışmışlar, Froude sayısının bitki yoğunluğundan bağımsız olduğu gibi bir sonuç ve deneysel bir bağıntı elde etmişlerdir.

Geçmişte bu alanda yapılan araştırmaların temel amacı açık kanallardaki bitkilerin yarattığı akış direnci kuvvetlerini tam olarak belirlemektir. Yapılan deneysel çalışmalarda, gerek gerçek bitki gerekse bitkileri temsil edici yapay elemanların yoğunluk ve dizilişleri değiştirilerek kullanılmıştır. Bazı deneyler laboratuvar ortamında açık kanallarda yapılırken bazı çalışmalar ise gerçek akarsularda yapılmıştır. Laboratuvar ortamında yapılan çalışmalarda taban eğiminin etkisi de araştırılmaya değer bulunmuştur.

Bitki özellikleri ve su seviyesi ilişkilerini inceleyen, batık veya batık olmayan bitkilerle yapılan deneylerle günlük hayatta kullanılabilecek pratik bir

model oluşturulması amaçlanmıştır. Yapılan çalışmalarda enerji kaybını hesaplayabilmek için; debi, akış hızı, akış derinliği, akış kesit alanı, kesit genişliği, yatak eğimi, bitki sıklığı, bitki efektif derinliği, bitki esnekliği, bitki yapısı, bitki gövde çapı, Reynolds sayısı, Froude sayısı değişkenler olarak kullanılmıştır.

Bu çalışmada ise eğimli ve eğimsiz durumdaki akış şartlarında, farklı debi değerlerinde, birçok farklı bitkisel yoğunluk ve dizilim durumunda literatürde kullanılan birçok parametrenin, pürüzlülük katsayıları olan n , f ve C ile olan ilişkileri irdelenmiş olup istatistiksel verilerden yararlanılarak eğimli ve eğimsiz durumda manning pürüzlülük katsayısı için iki farklı regresyon modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan bu regresyon modellerinin tutarlılığı nümerik çözüm yapan bir CFD (Computational Fluid Dynamics) programı vasıtasıyla seçilen bazı örnek dizilimler modellenerek test edilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Laboratuarda Kullanılan Malzeme ve Ekipmanlar

Elde edilen deneysel veriler, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında Şekil 2.1.'de görülen 18 metre uzunluğunda 70 santimetre genişliğinde 50 santimetre derinliğinde bir dikdörtgen kesitli açık kanalda yapılmıştır.



Şekil 2.1. Deney kanalı

Kanalın iki yan duvarı pleksiglas adı verilen cama benzer saydam ve esnek bir malzemeden yapılmıştır. Kanal tabanı epoksi ile kaplanarak taban pürüzlülüğünün her yerde sabit olması sağlanmıştır. (Şekil 2.2.)



Şekil 2.2. Kanal Tabanı ve Yan Duvarlar

Ayrıca debinin ölçülmesi gerekliliğinden kanala su ileten boruya elektrik geçirgenliğinden yararlanarak debi ölçen Şekil 2.5.'de görülen elektromanyetik debimetre konumlandırılmış ve otomasyon sistemi ile senkronize edilmiştir.



Şekil 2.5. Elektromanyetik debimetre ve dijital göstergesi

Kanalda bulunan Şekil 2.6.'da görülen iki adet ultrasonik seviye ölçer sayesinde kanaldaki su seviyeleri hassas bir şekilde ölçülebilmektedir. Ultrasonik seviye ölçerler, yapay pürüzlülük elemanlarının başlangıcından ve bitişinden 10 cm uzaklığa konumlandırılarak su seviyeleri ölçülmüştür.



Şekil 2.6. Ultrasonik seviye ölçer

Tüm bu ölçülen su seviyesi ve debi değerlerini düzenli bir şekilde kayıt edip istenilen formatta verebilecek bir datalogger (veri kaydedici) deney düzeneğinin olmazsa olmaz bir parçasıdır. Deneylerde kullanılan Şekil 2.7.'de görülen datalogger saniye başına bir veri kaydetme kapasitesine sahiptir.



Şekil 2.7. Veri kaydedici monitörü

Deneylerde bitkileri, düzgün dairesel kesitli rijit yapay pürüzlülük elemanları temsil etmektedir. Deneyler, 16 ve 24 milimetre olmak üzere iki farklı çapta yapay pürüzlülük elemanı ile yapılmıştır. Ege Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Biyomekanik Laboratuvarında yapılan çekme deneyleri sonucunda pürüzlülük elemanlarının elastisite modülü 2.8 Gpa olarak tespit edilmiştir. Aynı laboratuvarında farklı bitkisel materyaller üzerinde yapılan çekme deneyleri sonucunda doğada benzer elastisite modülüne sahip bitkiler bulunduğu tespit edilmiştir. Şekil 2.8.'de deneylerde kullanılan yapay pürüzlülük elemanı ve yapılan çekme deneylerine ait görseller verilmiştir.



Şekil 2.8. Yapay pürüzlülük elemanları ve çekme deneyi görüntüleri

Pürüzlülük elemanlarının kanal tabanına sıcak silikon ile yapıştırılmak suretiyle dik ve sabit durması sağlanarak bitkilerin doğadaki gibi hareketinin temsil edilmesi amaçlanmıştır. (Şekil 2.9.)



Şekil 2.9. Yapay pürüzlülük elemanlarının kanal tabanına yapıştırılışı

2.2. Deney Süreci

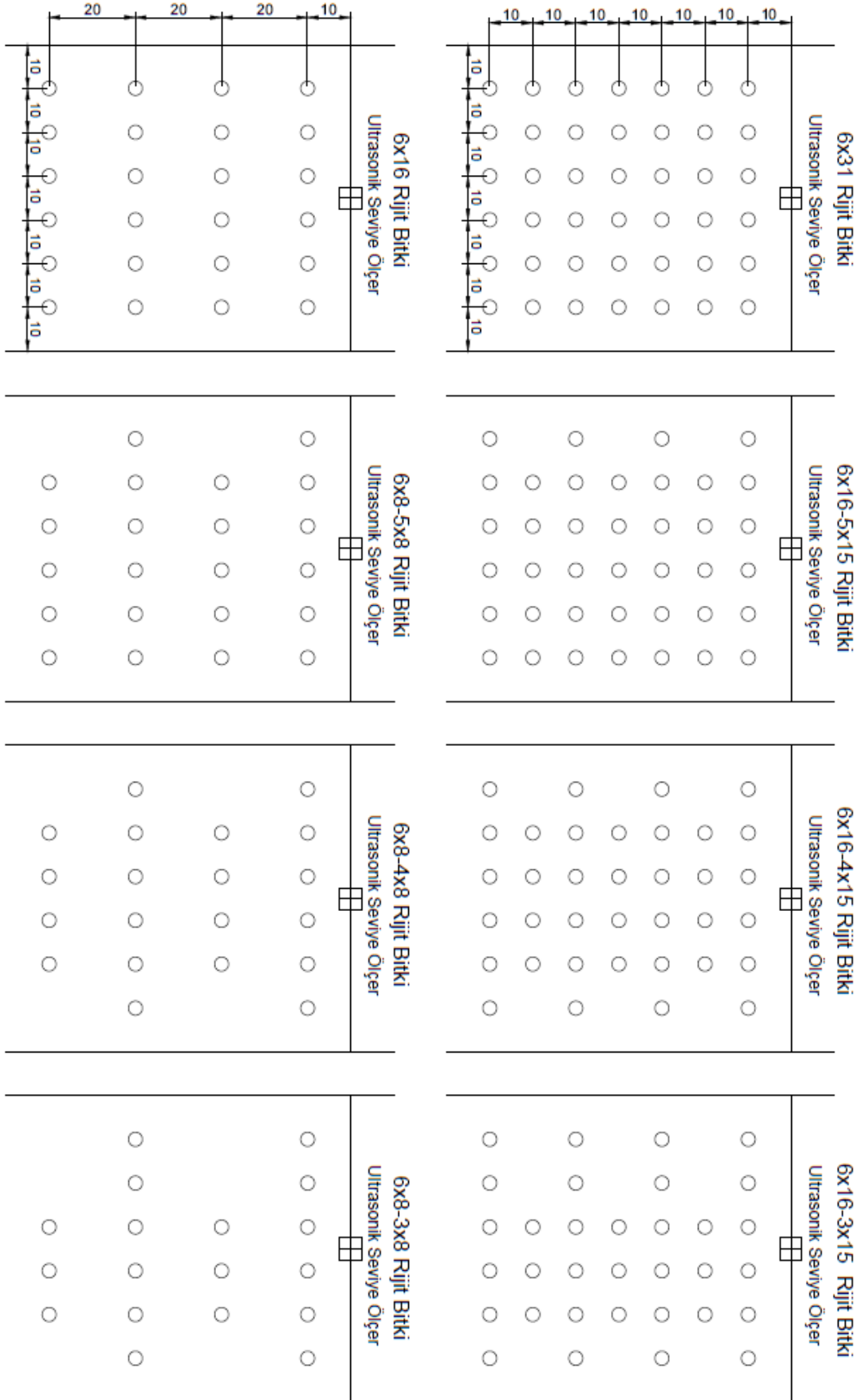
Deneylerde pompa gücü %50'den başlamak üzere %5 arttırılarak pompa gücü %100 oluncaya kadar deneye devam edilmiştir. Böylece %50,55,60,65,70,75,80,85,90,95,100 olmak üzere 11 farklı pompa çalışma yüzdesinde 11 farklı debi değeri ve akım şartı elde edilmiştir. Bir deney seti yaklaşık 80 dakikalık bir zaman diliminde yürütülmüştür. Pompanın çalışma yüzdesindeki her artış, debinin artışı ile birlikte su seviyesi değişimini de beraberinde getirmektedir. Her çalışma yüzdesinde pompa 7 dakika sabit güçte tutulmuştur. Pompanın ve otomasyon sisteminin reaksiyon süresi dikkate alınarak sağlıklı değerler üzerinden analiz yapılması gerekliliğinden pompanın her çalışma yüzdesinde çalıştığı 7 dakikadan son 5 dakikasında kaydedilen değerler gerçek değer olarak kabul edilmiştir. Bu akımın kararlı hale gelmesi için yapılmıştır. İlk 2 dakikada kaydedilen değerler ise pompanın geçiş süresi içinde olduğu için dikkate alınmamıştır. Örneğin, pompa motor gücü %70 ile çalışırken %75'e çıkması için komut verildiğinde pompa motorunun dönüş hızı yavaş yavaş artacak %71,72,73,74 değerlerini geçip %75 değerine ulaşacaktır. İlk 2 dakikanın dikkate alınmamasıyla bu geçiş süresi tölere edilmiş olmaktadır. Saniyede bir değer ileten sistem 5 dakikalık sürede 300 değer okumaktadır. Kullanılan debi ve derinlik değerleri bu 300 değerlerin ortalamasıdır. Ortalama değer ve tekrarlı deneyler birbirleri ile karşılaştırılarak deneysel hataların sifira indirilmesi amaçlanmıştır.

Deneyde, farklı dizilim şartlarına göre 3 metrelik bir bitkilendirilmiş bölge oluşturulmuştur. Bitkilendirilmiş bölge kanalın tam ortasına gelecek şekilde konumlandırılmıştır. Bu sayede suyun kapalı borudan çıkıp açık kanala girmesiyle oluşabilecek çalkantı ve türbülans gibi akım şartlarını bozacak etkenlerin etkisi asgariye indirgenmiştir. Burada amaç akımın kararlı hale geçmesidir. Ultrasonik seviye ölçerler, bitkilendirilmiş bölgenin başlangıcından 10 santimetre öncesine ve bitişinden 10 santimetre sonrasına yerleştirilmiştir. Böylece başlangıç ve bitiş su seviyeleri ölçülmüştür. Şekil 2.10. 'da bitkilendirilmiş bölge ve ultrasonik seviye ölçerlerin konumunu gösteren çizim yer almaktadır.

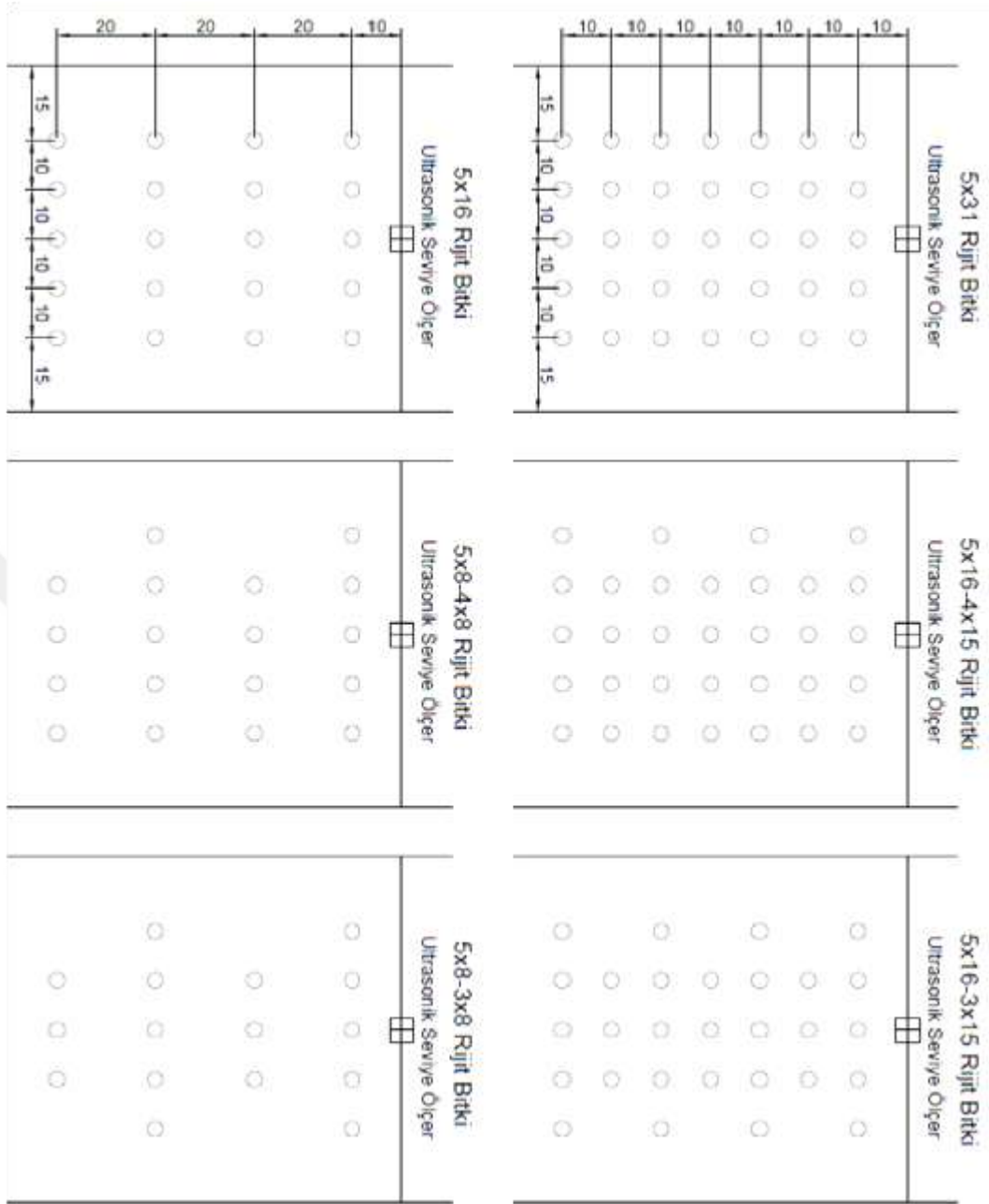
DENEYLER				DİZİLİM İNDİSLERİ
Çapı 16 mm olan bitki ile yapılanlar (A)		Çapı 24 mm olan bitki ile yapılanlar (B)		
1	2	1	2	
Taban Eğimi % 0 olanlar	Taban Eğimi %0.5 olanlar	Taban Eğimi % 0 olanlar	Taban Eğimi %0.5 olanlar	
Pürüzsüz	Pürüzsüz	Pürüzsüz	Pürüzsüz	
7x31	7x31	7x31	7x31	a
7x16-6x15	7x16-6x15	7x16-6x15	7x16-6x15	b
7x16-5x15	7x16-5x15	7x16-5x15	7x16-5x15	c
7x16-4x15	7x16-4x15	7x16-4x15	7x16-4x15	d
7x16-3x15	7x16-3x15	7x16-3x15	7x16-3x15	e
7x16	7x16	7x16	7x16	f
7x8-6x8	7x8-6x8	7x8-6x8	7x8-6x8	g
7x8-5x8	7x8-5x8	7x8-5x8	7x8-5x8	h
7x8-4x8	7x8-4x8	7x8-4x8	7x8-4x8	i
7x8-3x8	7x8-3x8	7x8-3x8	7x8-3x8	j
6x31	6x31	6x31	6x31	k
6x16-5x15	6x16-5x15	6x16-5x15	6x16-5x15	l
6x16-4x15	6x16-4x15	6x16-4x15	6x16-4x15	m
6x16-3x15	6x16-3x15	6x16-3x15	6x16-3x15	n
6x16	6x16	6x16	6x16	o
6x8-5x8	6x8-5x8	6x8-5x8	6x8-5x8	ö
6x8-4x8	6x8-4x8	6x8-4x8	6x8-4x8	p
6x8-3x8	6x8-3x8	6x8-3x8	6x8-3x8	r
5x31	5x31	5x31	5x31	s
5x16-4x15	5x16-4x15	5x16-4x15	5x16-4x15	t
5x16-3x15	5x16-3x15	5x16-3x15	5x16-3x15	u
5x16	5x16	5x16	5x16	ü
5x8-4x8	5x8-4x8	5x8-4x8	5x8-4x8	v
5x8-3x8	5x8-3x8	5x8-3x8	5x8-3x8	y
4x31	4x31	4x31	4x31	z
4x16-3x15	4x16-3x15	4x16-3x15	4x16-3x15	x
4x16	4x16	4x16	4x16	w
4x8-3x8	4x8-3x8	4x8-3x8	4x8-3x8	q

Tablo 2.1. Yapılan deneylerin kategorize edilmiş listesi

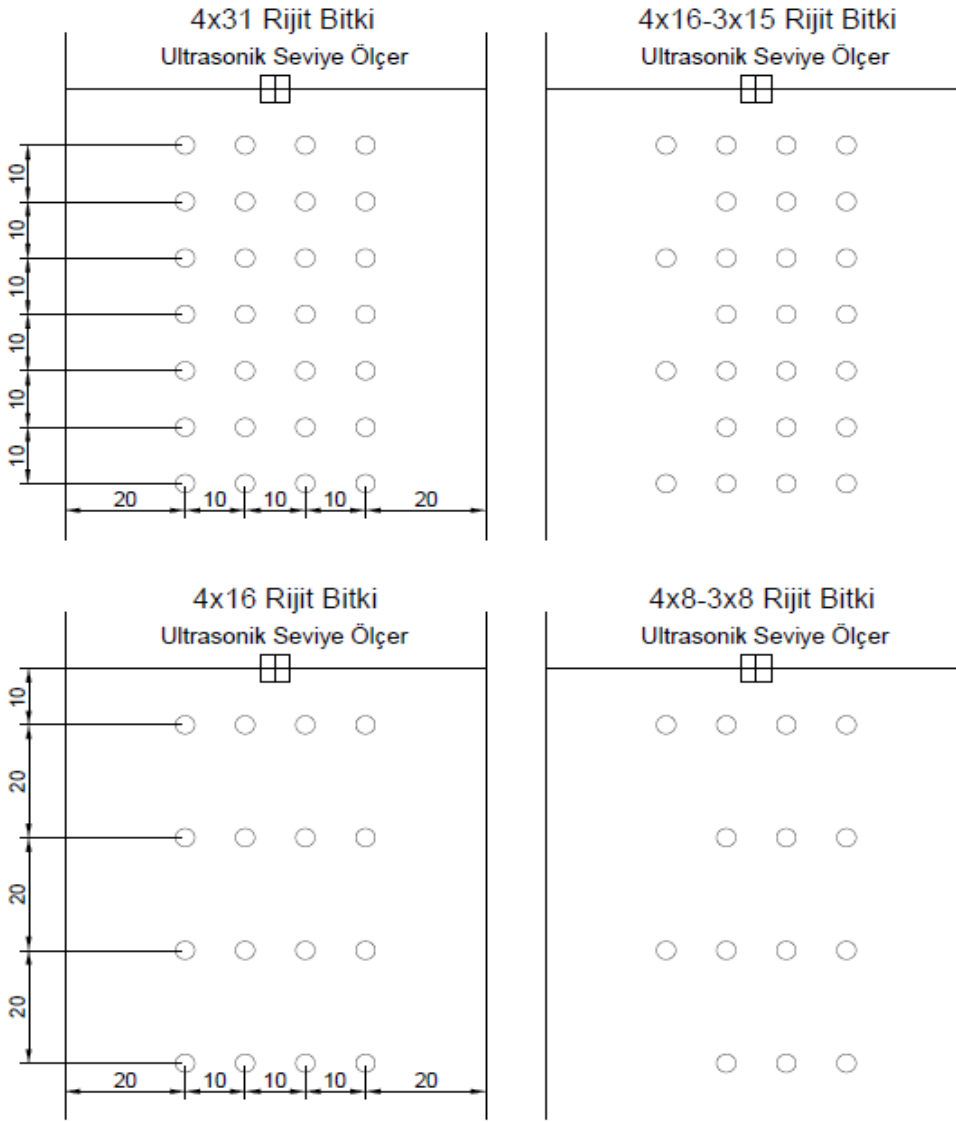
Tablodaki indislere bakılırsa; ilk karakter kullanılan pürüzlülük elemanının çapını, ikinci karakter eğim durumunu üçüncü karakter ise diziliş durumunu göstermektedir. Örneğin A2c, 16 mm çaplı pürüzlülük elemanının % 0.5 eğim durumunda ve 7x16+5x15 diziliminde kullanıldığı deneyi serisini ifade ederken, B1s 24 mm çaplı pürüzlülük elemanının % 0 eğim durumunda ve 5x31 diziliminde kullanıldığı deney serisini ifade eder.



Şekil 2.12. İlk sırada 6 bitki bulunduğu durum için bitki dizilimi



Şekil 2.13. İlk sırada 5 bitki bulunduğu durum için bitki dizilimi



Şekil 2.14. İlk sırada 4 bitki bulunduğu durum için bitki dizilimi

Yapılan deneyler sırasında farklı su yüzeyi profilleri gözlemlenmiştir. Pürüzlülük elemanlarının kanal tabanında homojen dağıldığı durumlarda düzgün su yüzeyi profilleri oluşurken, homojen dağılmadığı durumlarda sıralar arasında yakın kısımlarda dalgalanmalar oluşmuştur. Şekil 2.15. ve Şekil 2.16.'da verilen görsel bu iki duruma örnek teşkil etmektedir.



Şekil 2.15. Pürüzlülük elemanlarının kanal tabanına homojen dağıldığı durum



Şekil 2.16. Pürüzlülük elemanlarının kanal tabanına homojen dağılmadığı durum

2.3. Teorik Analiz

Yapılan çalışmada elde edilen deneysel veriler elektromanyetik debi metre sayesinde ölçülen debi değerleri ile ultrasonik seviye ölçerler tarafından bitkilendirilmiş bölge öncesinde ve sonrasında ölçülen akış derinliği değerleridir. Deneilerin yapıldığı kanal düzgün geometrili sabit genişlikte bir kanal olduğundan kanal genişliği su derinliği ile çarpılarak akışın en kesitsel alanı bulunmuştur. Debi ve akış alanı değerleri klasik debi denkleminde yerine yazılarak bitkilendirilmiş bölge öncesi ve sonrasında kesitsel ortalama akış hızlarına ulaşılmıştır.

$$A = b * y \quad (7)$$

Bu denklemde; A akış alanı, b kanal genişliğini y ise ultrasonik seviye ölçer ile ölçülen akış derinliğini temsil etmektedir. Bitkilerin oluşturduğu akış direncinden dolayı bitkilendirilmiş bölgenin başında ve sonunda ölçülen akış derinlikleri arasında bir yükseklik farkı meydana gelecektir. Kontrol hacmi giriş ve çıkışındaki su derinlikleri farkı, hacme etkiyen kuvvetlerinde farklı olmasına

neden olur. Bu yüzden hem bitkilendirilmiş bölgeden önceki hem de sonraki akış alanı hesaplanmalıdır.

$$V = \frac{Q}{A} \quad (8)$$

Bu denklemde V kesitsel ortalama hızı Q ise elektromanyetik debimetre ile ölçülen debi değerini temsil eder. Debi değerimiz sabittir. Fakat iki farklı akış alanı olduğu için (8) nolu denklem hem bitkilendirilmiş bölge öncesine hem de sonrasına uygulanmalıdır. Böylece iki farklı kesitsel ortalama akış hızı bulunmuş olur. Bir sonraki işlem olarak ıslak alanın ıslak çevreye oranı olarak adlandırılan hidrolik yarıçap bulunmuştur.

$$R = \frac{b * y}{2y + b} \quad (9)$$

Bitkilendirilmiş bölgenin meydana getirdiği enerji kaybını bulmak için bitkilendirilmiş bölge başlangıcında ve sonundaki enerji yüksekliklerinin bulunması gerekir. İkiisi arasındaki fark enerji kaybını verir.

$$\Delta E = E_1 - E_2 + z \quad (10)$$

Bu denklemde E1 bitkilendirilmiş bölge öncesi enerji yüksekliğini, E2 bitkilendirilmiş bölge sonrası enerji yüksekliğini, z ise kıyas noktaları arasında eğimden kaynaklanan yükseklik farkını temsil eder. Belli bir noktadaki enerji yüksekliği ise 11 nolu denklem ile hesaplanır.

$$E = \frac{V^2}{2g} + y + z \quad (11)$$

Enerji kaybının ölçüm noktaları arasındaki (L) uzunluğuna bölünmesi ile enerji çizgisinin eğimi bulunmuş olur.

$$J_e = \frac{\Delta E}{L} \quad (12)$$

Daha sonra, önceki çalışmalar kısmında geçen Darcy-Weisbach eşitliği olarak bilinen (4) nolu denklem uygulanarak f katsayısı, (2) nolu denklemdeki Gauckler-Manning eşitliği uygulanarak n katsayısı ve (1) nolu denklemdeki Chezy eşitliği uygulanarak C katsayısı bulunur.

$$f = \frac{J_e D^{2g}}{V^2} \quad (13)$$

$$n = \frac{R^{\frac{2}{3}} J_e^{\frac{1}{2}}}{V} \quad (14)$$

$$C = \frac{V}{R J_e} \quad (15)$$

Bu denklemlere göre farklı bitki dizilimleri için bulunan f, n ve C sayılarını pürüzsüz kanal ortamından elde edilen değerlere göre bulunan f_0, n_0 ve C_0 değerlerine oranlanması bize bitkilendirilmiş bölgenin oluşturduğu toplam akış direncinin oransal ifadesi hakkında önemli ipuçları verir.

Akışı değerlendirmede önemli kriterlerden biri de Froude sayısı ve Reynolds sayısıdır. Bunlardan Froude sayısı, taban eğimine sahip açık kanallardaki akışın bir karakteristiği olarak karşımıza çıkar. Birimsiz bir sayı olan Froude sayısı; 1'den küçük ise akış, kritik altı veya nehir rejiminde, 1'den büyük ise kritik üstü veya sel rejiminde olarak adlandırılır. Froude sayısı 1 ise kritik akış olarak adlandırılır.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gy}} \quad (16)$$

Froude sayısı hem bitkilendirilmiş bölge öncesi kesitte hem de bitkilendirilmiş bölge sonrası kesitte hesaplanmalıdır. Sel rejiminden nehir rejimine geçişlerde akış derinliğinde ani bir yükselme oluşur ki buna hidrolik sıçrama denir. Deneysel veriler yorumlanırken bu detaya dikkat edilmelidir.

Reynolds sayısı ise akışkanın atalet kuvvetlerinin viskozite kuvvetlerine oranı şeklinde tanımlanır. Genelde boru hidroliği için kullanılan bu terimin açık

kanallardaki akışı yorumlamada da etkili olduğu söylenebilir. Akışın laminar, türbülans veya geçiş akışı olduğunu yorumlamada yararlanılan bu sayı bizim çalışmamızda boru çapı yerine hidrolik yarıçapın kullanıldığı aşağıdaki şekilde kullanıldı.

$$Re = V \cdot R_u \quad (17)$$

Bitkiler akış boyunca en kesit daralması yaparak blokaj meydana getirirler. Bunun sebep olduğu enerji kayıplarından dolayı toplam blokaj alanı önemli bir parametredir. Bu parametre bitki sayısı, bitki çapı ve dizilimin etkilerini yorumlamada önemli bir etken olacaktır.

$$A_{\text{blokaj}} = \pi \cdot r^2 \cdot P_n \quad (18)$$

Burada r rijit bitkileri temsil eden yapay pürüzlülük elemanının yarıçapı, P_n bitkilendirilmiş bölgede kullanılan toplam bitki sayısıdır. Dikkat edilirse bu değer toplam alanda kullanılan toplam bitki sayısını ifade etmektedir. Bu değer bitkilendirilmiş alan değerine bölünmesi ise bitki yoğunluğu parametresini verir.

$$\lambda = \frac{A_{\text{blokaj}}}{L \cdot b} \quad (19)$$

Gerçek bitkilerle akış direnci ve bitkisel pürüzlülük konusunda çok kapsamlı bir çalışma yapan Freeman'ın 2000 yılında önerdiği n eşitliği aşağıdaki gibidir. Burada E elastisite modülü, ρ suyun öz kütlesi, ν kinematik viskozitedir.

$$n = 3.48 \cdot 10^{-5} \frac{EA}{\rho A_i V_*^2}^{0.15} (MA_i)^{0.166} \left(\frac{V_* R}{\nu}\right)^{0.622} \left(\frac{R^3 J e^2}{V_*}\right) \quad (20)$$

Burada, A bir tek bitkinin akış yönüne dik en kesitsel alanıdır. En kesitsel alan bir dikdörtgen gibi düşünüleceğinden çap ile bitki boyunun çarpımıdır. A_i ise referans alınan tek bitkinin su ile temas ettiği bölümün akış yönüne dik en kesitsel alanıdır. M relatif bitki yoğunluğu olarak ifade edilir ve kullanılan pürüzlülük

elemanı sayısının bitkilendirilmiş alana bölümüdür. AB akışa dik yöndeki toplam blokaj olarak ifade edilirken, V^* ise sürüklenme hızı olarak tanımlanabilir.

$$A = d * h \quad (21)$$

$$A_i = d * y \quad (22)$$

$$M = P_n (l * b) \quad (23)$$

$$AB = A_i * P_n \quad (24)$$

$$V_* = (g \cdot R \cdot J_e)^{0.5} \quad (25)$$

Hui and Hu (2010) yapmış oldukları çalışmada U^* olarak tanımladığı ortalama sürtünme hızını kullanarak akış derinliğine ve bitki çapına bağlı iki farklı Reynolds sayısı kullanmıştır.

$$U^* = \overline{g \cdot y \cdot i} \quad (26)$$

Bu eşitlikte g yer çekimi ivmesi, y akış derinliği i ise akış yatağının eğimidir. Hui and Hu (2010) tarafından % 0.67 eğimli bir kanalda yapılan çalışmanın sonuçları bizim çalışma eğimlerimizden birine (%0.5) yaklaşık eşit sayılabileceğinden bizim deney sonuçlarımızla karşılaştırılabilir özelliktedir. Bizim çalışmamızda diğer çalışmalardan farklı olarak hem eğimli hem eğimsiz kanal şartlarında deneyler yürütüldüğü için Hui and Hu (2010) ön gördüğü formülasyonların bir kısmı eğimsiz kanal şartlarında elde edilen sonuçlar için karşılaştırılmamıştır. Denklem (27) su seviyesine bağlı denklem (28) bitki çapına bağlı bulunan Reynolds sayılarıdır.

$$Re_y = \frac{U^* \cdot y}{\nu} \quad (27)$$

$$Re_d = U^* \cdot d \quad (28)$$

Hui and Hu (2010) yaptıkları çalışmada, bizim çalışmamızda kullandığımız yapay pürüzlülük elemanlarına benzeyen rijit yapraksız kamışlar için \forall bitki olarak adlandırdıkları bitki hacmi değerini hesaplamada aşağıdaki eşitliği önermişlerdir. Burada, y ortalama akış derinliğini $(y_1 + y_2)/2$ temsil etmektedir.

$$V_{bitki} = \frac{\pi d^2}{4} y \quad (29)$$

Bir tek yapay pürüzlülük elemanının, momentum sönmleme alanı ise su ile temas eden kısmın en kesit alanına eşit olarak kabul edilmiştir.

$$A_p = d \cdot y \quad (30)$$

Dikkat edilecek olursa Hui and Hu (2010) formülasyonlarında A_p olarak ifade ettiği yapay pürüzlülük elemanlarından bir tanesinin oluşturduğu momentum sönmleme alanının, Freeman'ın formülasyonlarında kullandığı A_i 'ye yani, referans alınan tek bitkinin su ile temas ettiği bölümün akış yönüne dik en kesitsel alanına eşit olduğu görülecektir.

Hui and Hu (2010) yaptıkları çalışmada dizilim koşullarını da sürüklenme katsayısı olan C_d 'yi hesaplamak üzere kullandıkları eşitlik içerisinde dahil etmek istemişlerdir. Bu amaçla Δx_b ve Δy_b parametrelerini kullanmışlardır. Δx_b akışa paralel yönde bitkiler arası mesafe, Δy_b ise akışa dik yönde bitkiler arası mesafedir.

$$C_d = f \frac{\Delta x_b \cdot \Delta y_b \cdot y - V_{bitki}}{4 \cdot A_p \cdot y} \quad (31)$$

Bu denklemde f , denklem (13)'deki geçen Darcy-Weisbach pürüzlülük katsayısıdır.

Cheng and Nguyen (2011) yılında bitki sıklığı ile ilişkilendirdikleri hidrolik yarıçap değişkeninin, açık kanallardaki akış direncini belirlemek için kullanmayı denemişlerdir. Bitki sıklığının etkisini de bünyesinde barındıran bu hidrolik yarıçap eşitliği aşağıdaki gibidir.

$$R_v = \pi \frac{1-\lambda}{4\lambda} d \quad (32)$$

Çalışmalarında kesitsel ortalama hız yerine bu hızın $(1-\lambda)$ ifadesine oranı olan bitkilerin blokaj yapmadığı boşluktan geçen suyun hızı olarak açıklayabileceğimiz boşluk hızını kullanmışlardır.

$$V_v = V (1 - \lambda) \quad (33)$$

Daha sonra denklem (32) ve (33)'ü içinde barındıran bitkisel sürtünme faktörü olan f_v 'yi hesaplamaya dahil etmişlerdir.

$$f_v = \frac{8 \cdot g \cdot R_v \cdot J_e}{V_v^2} \quad (34)$$

Hui and Hu (2010) çalışmalarında bitki karakteristiklerini de içinde barındıran bir Reynolds sayısı kullanmışlardır. Cheng ve Nguyen (2011) benzer şekilde bitkisel parametreleri içinde barındıran bir Reynolds sayısı kullanmıştır. Hui and Hu (2010) Reynolds sayısını hesaplarken sürtünme hızı ve bitki çapını kullanırken, Cheng and Nguyen (2011) denklem (33)'teki boşluk hızı ve bünyesinde bitki sıklığı etkilerini içeren hidrolik yarı çap terimi olan denklem (32)'yi kullanmışlardır. Bununla birlikte Hui and Hu (2010) çalışmalarında Reynolds sayısı belirlerken bitkilerle ilişkilendirilmiş hidrolik yarı çapın yerine bitki çapının kullanılmasının daha kayda değer sonuçlar çıkaracağını saptamışlardır.

$$Re_v = \frac{V_v \cdot R_v}{\nu} \quad (35)$$

Sürüklenme katsayısının formülasyonu ile ilgili birçok farklı yaklaşım vardır. Bunlardan bir tanesi eşitlik (34) ile bulunan sürtünme faktörünün dörtte birine eşit olduğudur. (James et al., 2008; Tanino and Nepf, 2008)

$$C_{Dv} = \frac{1}{4} f_v \quad (36)$$

Bitkilerle ilişkilendirilmiş Reynolds sayısının kullanıldığı bir başka yaklaşımda ise aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır. (Cheng and Nguyen, 2011)

$$C_{Dv^+} = \frac{50}{Re_v^{0.43}} + 0.7 \left[1 - \exp \left(- \frac{Re_v}{15000} \right) \right] \quad (37)$$

Bir diğer yaklaşım ise bitkilerle ilişkilendirilmiş birimsiz bir parametre olan hidrolik yarıçapa bağlı sürüklenme katsayısı eşitliğidir. (Cheng and Nguyen, 2011)

$$C_{Dv^*} = \frac{130}{R_v^{0.85}} + 0.8 \left[1 - \exp \left(- \frac{R_v^*}{400} \right) \right] \quad (38)$$

Denklem (38)'deki R_v^* ifadesi de aşağıdaki formülasyon ile bulunur.

$$R_v^* = \left(\frac{gJ_e}{v^2} \right)^{\frac{1}{3}} R_v \quad (39)$$

Hui and Hu (2010) çalışmalarında, denklem (32) için Re_v 'nin $5.2-5.6 \times 10^5$, denklem (33) için R_v^* 'nin 24-5000 değerleri arasında olması halinde en uygun eşitlikler olduğunu belirtmiştir.

Noarayanan et al., (2012) yılında yaptıkları çalışmalarında VFP olarak isimlendirdikleri bitkisel akış parametresini belirtmişlerdir, VFP'nin Froude sayısı ve deneysel olarak elde ettikleri Manning sayısı ile değişimini incelemişlerdir.

$$VFP = \left(\frac{EI^*(L/d)}{\rho_y v_{ort}^2 (S_p/d)} \right) \quad (40)$$

Burada I yapay pürüzlülük elemanının atalet momentidir. Yapay pürüzlülük elemanı içi boş dairesel kesitli olduğundan aşağıdaki eşitlikle hesaplanır. Eşitlikteki $d1$ ifadesi dış çap, $d2$ ifadesi ise iç çaptır.

$$I = \frac{\pi*(d_1^4-d_2^4)}{64} \quad (41)$$

S_p , Δx_b ve Δy_b 'nin birbirine eşit olduğu durumlardaki bitkiler arası mesafedir. Bu yüzden VFP deney setlerimizin yarısına uygulanabilmektedir.

Literatürde karşılaşılan enerji kaybını belirlemek için önerilen temel eşitliklerdeki denklem (13-14-15)'teki f , n ve C katsayıları yapılan deneyler yardımı ile şu algoritmalar izlenerek belirlenmiştir.

f ; kontrol hacmine etkiyen kuvvetler bir boyutlu Reynolds Transport teoremi kullanılarak toplam yük kaybı belirlenmiş ve f hesaplanmıştır.

n ; kontrol hacmine etkiyen kuvvetler hidrolik yarıçap ve enerji çizgisinin eğiminin bir fonksiyonu olarak değerlendirilmiş ve hız ile ilişkilendirilerek n hesaplanmıştır.

C ; kontrol hacmine etkiyen kuvvetler yine hidrolik yarıçap ve enerji çizgisinin eğiminin bir fonksiyonu olarak değerlendirilmiş ve hız ile ilişkilendirilmiş olup, n 'den farklı olarak hidrolik yarıçap ve enerji çizgisi eğiminin değişkenlerin eşitlik içerisindeki tesir gücündeki farklılık olmuştur.

Tüm bu formülasyonlar ışığında, yapılan deneyler sonucu elde ettiğimiz ampirik verilerin hem bu yukarıda saydığımız matematiksel modellere uygunluğu hem yaptığımız nümerik bilgisayar modellemesi sonucu elde edeceğimiz program çıktılarına uygunluğu test edilip bizim sunacağımız formülasyon sonuç ve değerlendirme kısmında tartışılacaktır.

2.4. CFD Analizi

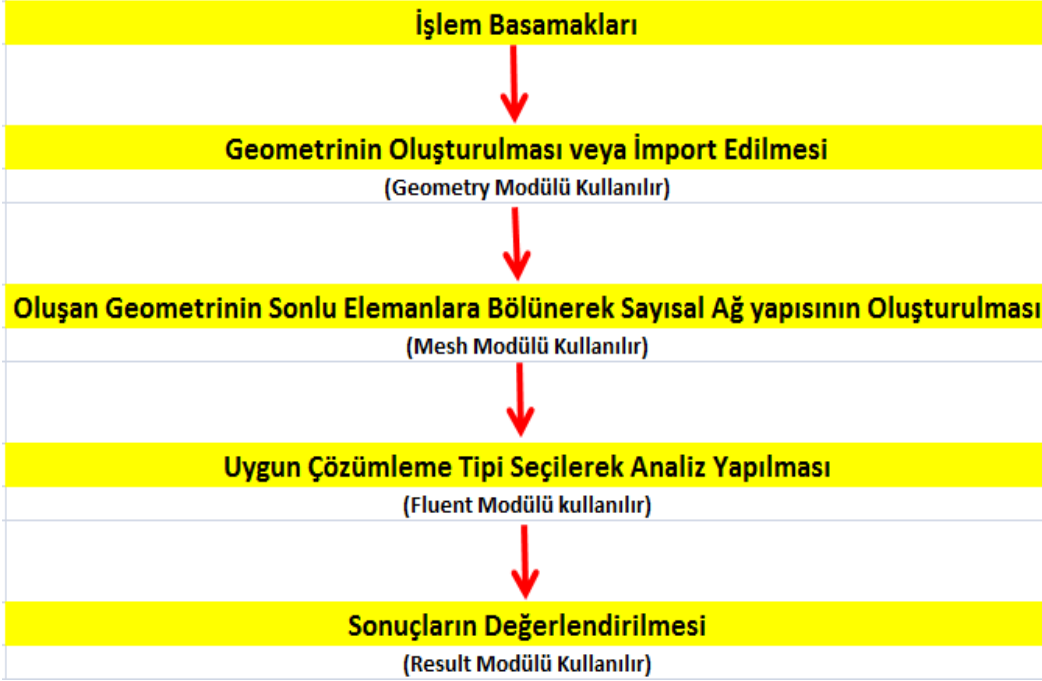
Nümerik çözümlene yöntemleri arasında en yaygın kullanılan yöntem sonlu elemanlar metodudur. Bu yöntemde analiz edilmek istenen yapı, davranışı önceden belirlenmiş sonlu sayıda elemana bölünür. Elemanlar birbirlerine düğüm noktalarından bağlıdır. Bu yöntemin esası kendini tekrarlayan sürekli fonksiyonların bölgesel sürekli fonksiyonlar ile temsil edilmesi prensibine dayandığı için oluşturulan ağ içerisinde sürekli bir etkileşim söz konusudur. Bu da oldukça fazla sayıda iterasyonun veya denklemin hızlı ve güvenilir bir şekilde çözümünü gerektirdiğinden bilgisayar kullanılması anlamına gelir.

Hidrolik hesaplamalarda Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) kullanımının öneminden dolayı yapılan deneysel ve teorik çalışmalar yaygın olarak kullanılan CFD yazılımları ile test edilmek istenmiştir. Çalışmamızda kullanılan CFD programı sistemsel ve multifizik, elektromanyetik, yapısal mekanik ve akışkanlar dinamiği çözümlerini bünyesinde barındıran, akışkanlar dinamiği çözümü yapan güçlü bir analiz programıdır.

Elde edilen nümerik analiz 4 çekirdekli bir işlemci üzerinde ve çekirdeklerin paralel kullanılmasıyla oluşturuldu. Bunun anlamı sonlu eleman sayısı analiz başlamadan her çekirdeğe eşit sayıda paylaştırıldı, analiz bittikten sonra sonuçlar "Fluent" modülü tarafından birleştirildi. Şayet çekirdekler paralel kullanılınsaydı her sonlu elemanın taşıdığı veri 4 çekirdek ile birlikte ortaklaşa işlenecek buda işlem zamanının artmasına neden olacaktı. CFD ile yürütülen işlemlerin yoğunluğu ve derinliği bilgisayarın yaptığı işi daha da ağırlaştırmaktadır. Normal bir ofis bilgisayarı ile yürütülemeyecek çalışmalar maddi değeri çok yüksek kurulumlar gerektirmektedir. Bu gerekçe ile işlem zamanının azaltma adına 'Geometri' modülünde sonucu etkilemeyecek bazı fiziksel tanımlamalar değiştirilmiştir. Örneğin, uzunluğu 18 metre olan açık kanal 6 metreye indirildi. Bitkilendirilmiş bölgenin davranışı esas alındığı için bitkilendirilmiş bölgenin 2 metre öncesine giriş, 1 metre sonrasına da çıkış tanımlandı. Burada girişin çıkıştan daha geride bırakılması başka bir deyişle giriş önüne daha fazla uzunluk bırakılmasının sebebi girişten çıkan suyun kararlı bir rejimde bitkilendirilmiş bölgeye girmesinin istenmesidir. Tüm bu yapılan

sadeleşme işlemlerine rağmen bilgisayarda yapılan tek bir deney simülasyonu yaklaşık 38 saat sürmektedir.

Bir CFD programı ile analiz yapılırken izlenmesi gereken işlem adımları vardır. Çünkü CFD sadece bir analiz programıdır, sınır koşul şartları belirleyebilir fakat tasarım veya ölçülendirme yapamaz. İzlenecek işlem adımları Şekil 2.17.'de belirtilmiştir.

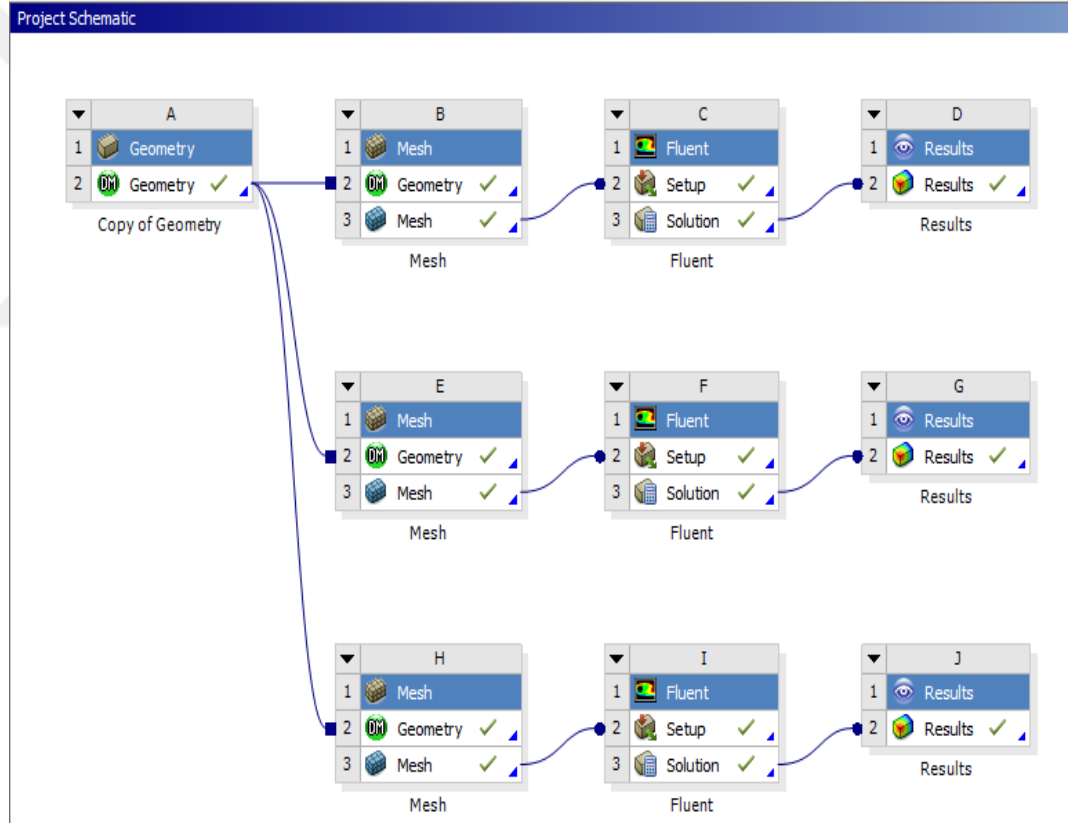


Şekil 2.17. CFD analiz yapılırken izlenecek işlem adımları

Programın, herhangi bir katı modelleme programında oluşturulmuş modellemeyi analiz etme yeteneği olduğu gibi kendine ait 'Geometry' isminde katı modelleme modülü de bulunmaktadır. Bizim çalışmamızda bütün işlemlerin tek bir programda yapılıp herhangi bir uyum problemi yaşanmaması adına 'Geometry' modülü kullanılmıştır. Bu aşamada yürütülen çalışmalara örnek vermek adına % 0 eğimli 16 mm gövde çaplı dizilişi 5X8+3X8 olan deney tasarımı anlatılacaktır.

Yapılan analizin en hassas noktası, oluşturulan modelin sonlu elemanlara bölünerek sayısal ağın oluşturulması işlemidir. Bu işlem 'Mesh' modülü ile yapılır ve yapılan işleme kısaca meshleme yani sonlu elemanlara ayırma işlemi denir. Bu

işlem yapıldıktan sonra modülün kendi içindeki kalite standartları olan kısaca meshmetre olarak adlandırılan kriterlere uygunluk sağlanıp sağlanmadığı ayrıca gözden geçirilmelidir. Yapılan çalışmalar, aynı katı modelin aynı çözücüde aynı çözüm yöntemlerine göre analiz edilmesine karşın mesh kalitesi ve eleman sayısındaki farktan dolayı analiz sonuçlarının kayda değer biçimde değiştiğini göstermiştir. Bu yüzden farklı eleman sayıları ve mesh kalitelerindeki modeller işlenmeli ve eleman sayısının artmasına karşın analiz sonuçlarının değişmediği durum yakalandığı takdirde, sonuçlar olası sonuç olarak kabul edilmelidir. Bu sebepten dolayı çalışmamızda üç farklı eleman sayısı ve mesh kalitesindeki sayısal ağ çözücüde analiz edilmiştir. Aynı geometrinin farklı meshlerle çözüldüğünü gösteren program ara yüzü Şekil 2.18.'de gösterilmiştir.

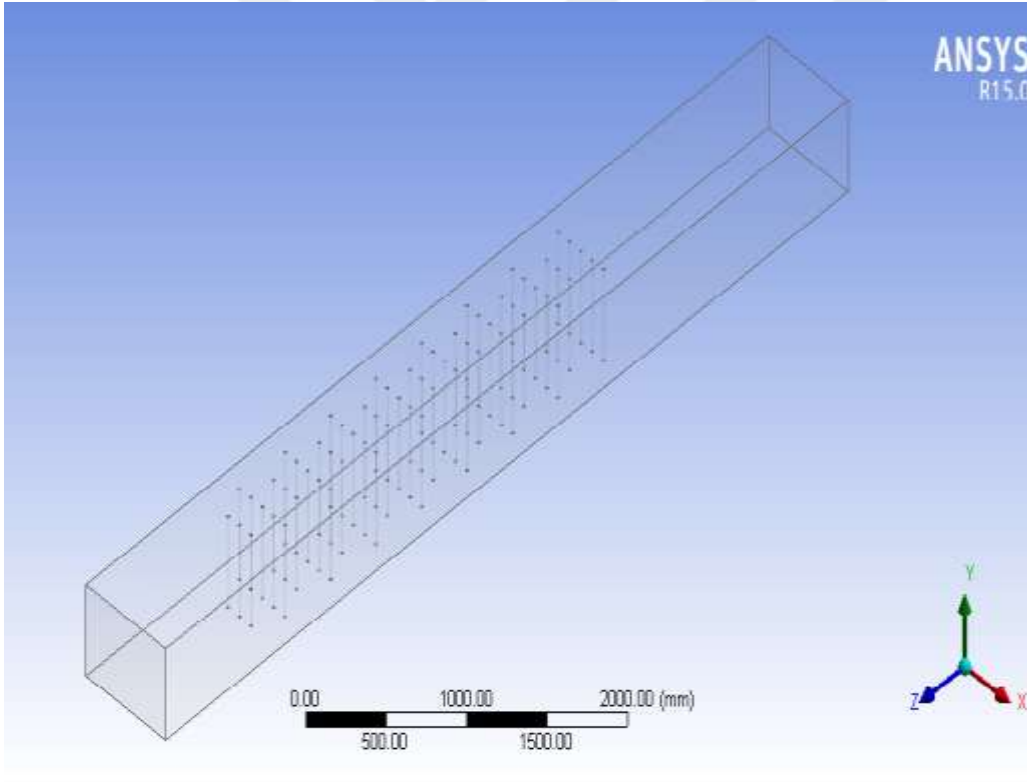


Şekil 2.18. Yapılan CFD Analizin Proje Şeması

2.4.1. Geometri

Görüldüğü gibi nümerik analizin ilk adımı modelleme yapılacak geometrinin tanımlanmasıdır. Bu aşamada önce açık kanal oluşturulur. Akışın sınır şartlarını belirlemek için yüzey tanımlaması yapılır.

Tanımlamanın ardından ortaya çıkan geometri içi akışkan ile dolu bir kanal gibi düşünülebilir. Fakat asıl analiz edilmek istenen, akışkanın davranışı olduğu için katı cisim olan açık kanala ihtiyaç yoktur. Modellemeden katı cisim kaldırılırsa hem sadeleştirme yapılmış olur hem de hacimsel olmasa bile oluşturulacak matematiksel ağ yapısını meydana getiren sonlu eleman miktarında büyük azalma yaşanacağından işlem hızı ve kapasitesi adına önemli ölçüde avantaj sağlanmış olur.



Şekil 2.19. Modellenmiş olan açık kanalın son hali

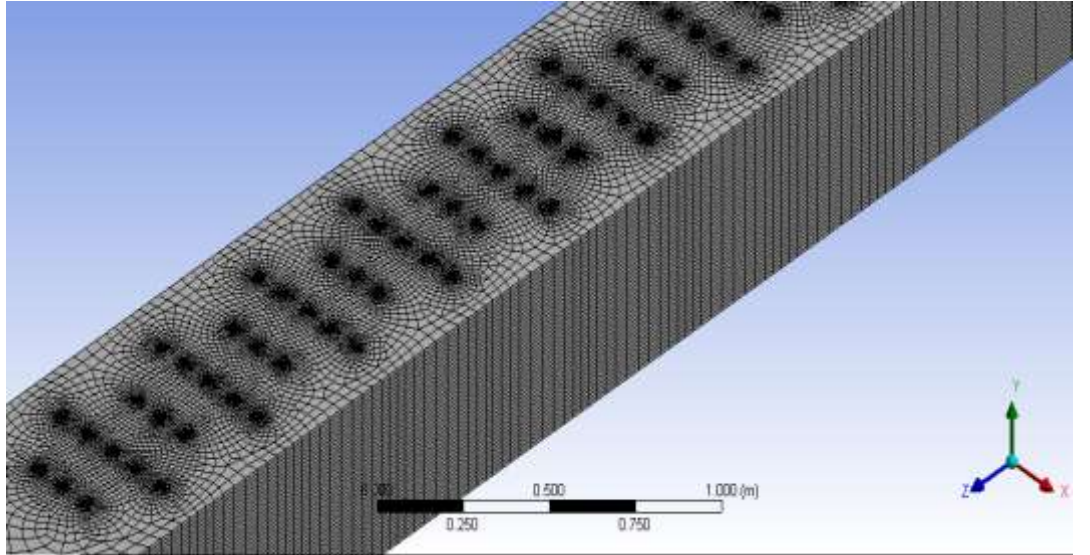
Geometrinin son hali Şekil 2.19.'da gösterilmiştir. Bundan sonra yapılacak işlem oluşturulan geometrinin 'mesh' modülünde açılıp sonlu elemanlara bölünerek sayısal ağın oluşturulması işlemidir.

2.4.2. Mesh

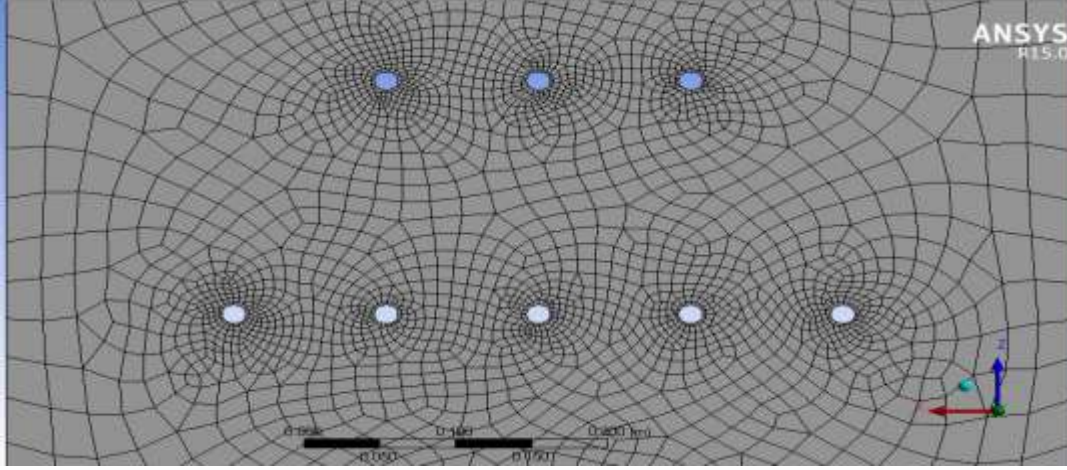
Bu işlemde kenar, yüzey ve hacim gibi geometri parçaları isimlendirilirler. Fluent, mesh modülünden aldığı geometride isimlendirilmemiş her yüzeyi katı yüzey olarak kabul eder. Çıkış, giriş, simetri gibi bazı kelimeleri de kendi otomatik olarak algılar. Bu yüzden sınır koşul şartı atanacak yüzeylerin ya geometri ya da mesh modülünde isimlendirilmesi gerekir. Fakat mesh, çözücünden bir önceki modül olduğundan genelde isimlendirmelerin bu modülde yapılması tercih edilir.

Çözücü, İngilizce tabanda oluşturulan bir yazılım olduğu için gerek program içinde gerekse programın depolandığı dosya isimlerinde dahi Türkçe karakter kullanılmamasına özen gösterilmelidir. Mesh modülünde, oluşturulan mesh yapısının kalitesi istatistik olarak da incelenir.

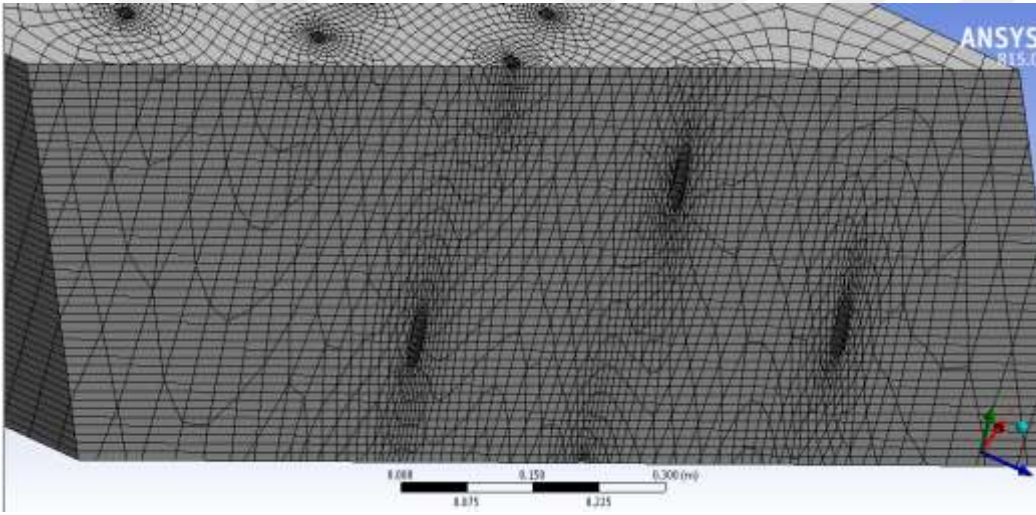
Şekil 2.20.-Şekil 2.23.'te sonlu elemanlara ayrılmış açık kanalımızın bazı genel ve kesit görüntüleri sunuldu. Bunlar, % 0 eğim, 16 mm gövde çapı ve 5X8+3X8 bitki dizilimine ait sonlu hacim görselleridir.



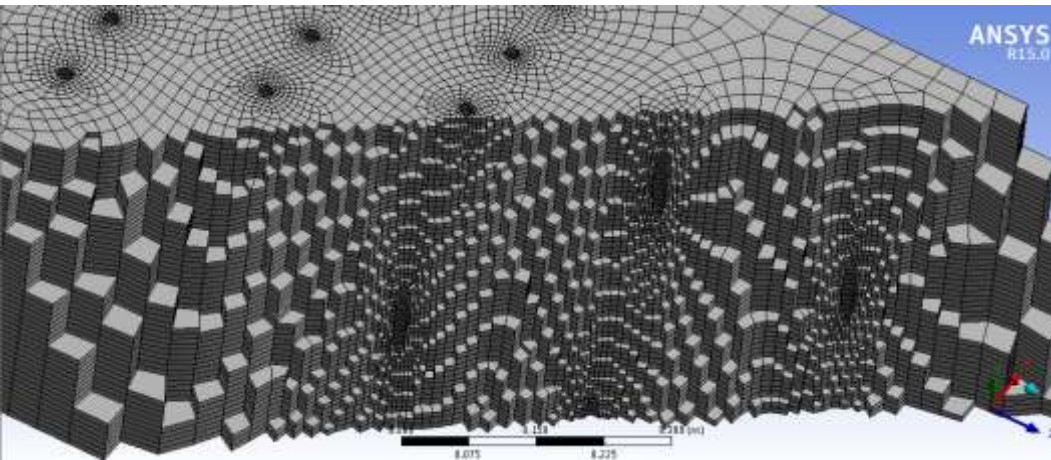
Şekil 2.20. Mesh modelinden genel bir görüntü



Şekil 2.21. Mesh modelinden kanalın üstten görünümü



Şekil 2.22. İkinci Mesh modelinden bir kesit görüntüsü

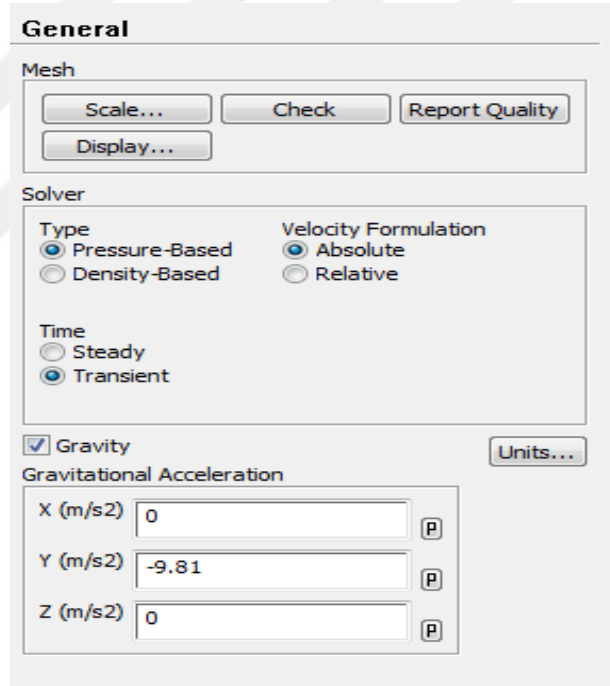


Şekil 2.23. Mesh modelinden hacimlerindirilmiş bir kesit görüntüsü

2.4.3. Çözücü

Mesh modülünde sonlu elemanlara ayrılıp sayısal ağı oluşturulan model fluent çözücüsünde analize hazır hale gelmiş demektir. Kullandığımız CFD programı kullanıcılarına hem iki boyutlu hem de üç boyutlu analizler yapma olanağı sunar. Kullanıcı geometri oluşturmadan nasıl bir analiz yapacağına karar vermelidir. Yapılan çalışmada geometrinin hazırlanıp sayısal ağın oluşturulması aşamalarının hepsi analizin üç boyutlu bir modelde yapılacağı göz önünde bulundurularak davranıldı.

Program, kullanıcılarına bazı genel çözüm seçenekleri sunmaktadır. Örnek bir arayüz Şekil 2.24'te verilmiştir.

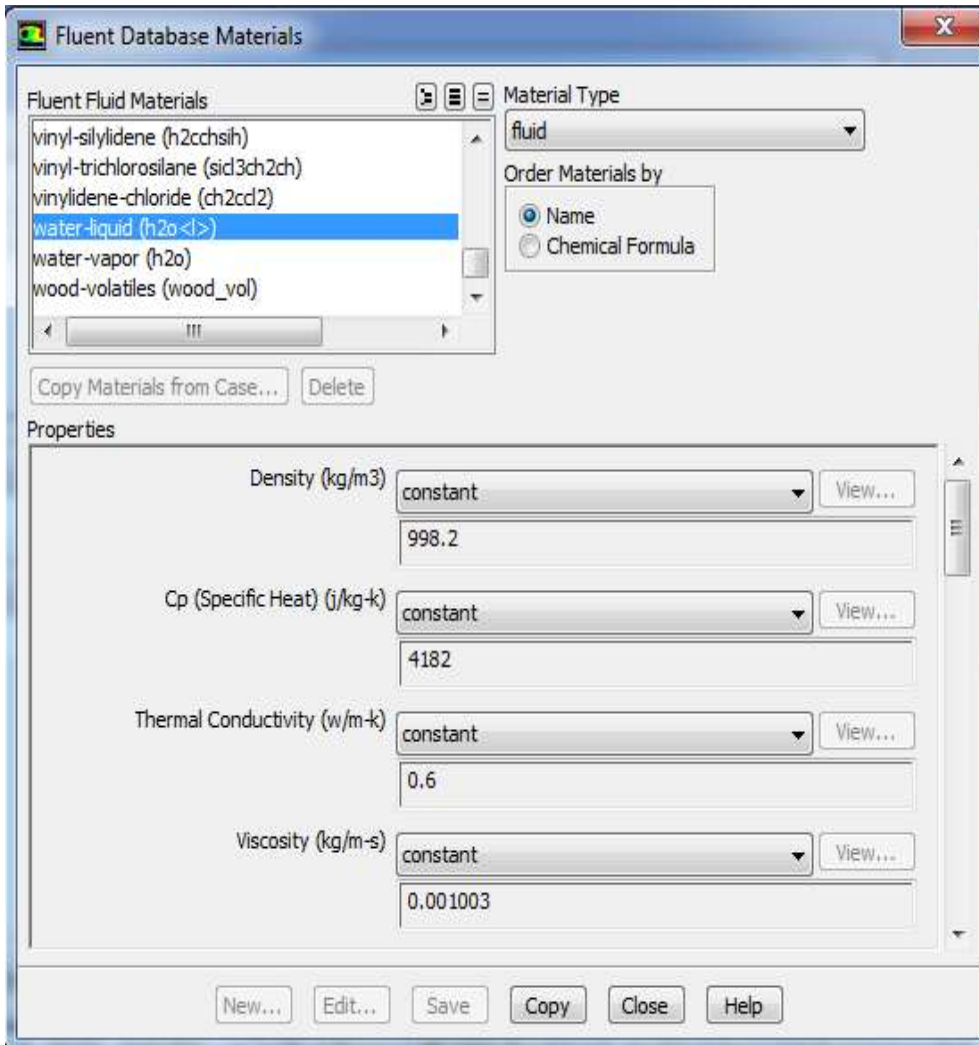


Şekil 2.24. CFD çözücüsünün sunduğu genel çözücü opsiyonları

Yapılan çalışmada 'Pressure-Based' yani basıncı dikkate alan bir analiz metodu seçildi ki bu seçenek bütün akışkan çözümleri için genel tercih seçeneğidir. 'Density-Based' yani yoğunluk merkezli çözüm yöntemi genelde süpersonik hızlara çıkılan durumlarda oluşabilecek kütle kaybının hesaplamalara dahil edilmesi istenen durumlar gibi ileri fiziksel formülasyonların kullanıldığı modellemelerde tercih edilir. Hız hesaplamalarında mutlak hız kullanılmıştır. Analizde hem zamandan bağımsız hemde zamana bağlı iki farklı çözüm yöntemi

kullanıldı. Bu yüzden hem "Tedrici" hemde "Kararlı" analiz tercih yapıldı. Ayrıca, yer çekimi ivmesinin de y düzlemi üzerinde etkin olması tercih edildi. Burada verilen "Tedrici" ve "Kararlı" ifadeleri CFD programının çözüm yaklaşımıdır ve akımın zamana bağlı değişip değişmediğini anlatmaktadır.

Çözücü modeli belirlenirken, 'Spalart-Allmaras (1 eqn)' ve 'Multiphase' modları etkin kılındı. Davranışı analiz edilmek istenen akışkan su olduğundan fluent veri tabanından suyun özelliklerinin seçildiği arayüz 'material' kısmına Şekil 2.25.'te gösterilmiştir.

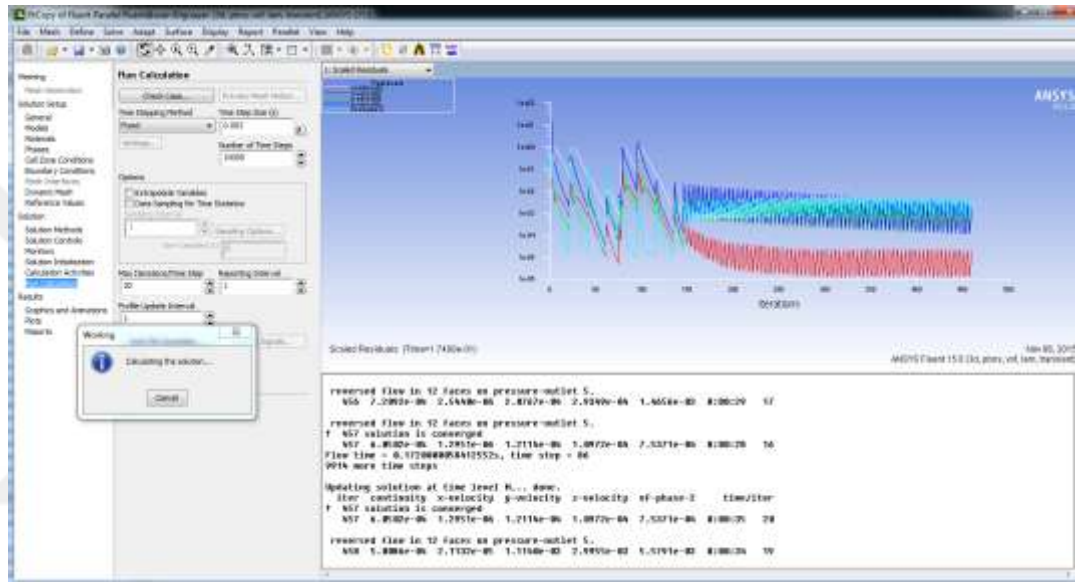


Şekil 2.25. CFD çözücüsünün materyal veri tabanı

Sınır tabaka şartları olarak daha önce sonlu elemanlara ayrılan mesh modülünde isimlendirilmiş giriş kısmına 37.69 litre/sn debi değeri girildi.

Sonuçta açık kanalda % 0 eğim değerinde 16 milimetre çapında yapay pürüzlülük elemanlarının kullanıldığı 5x8-3x8 bitki dizilimi durumunda 37.69 litre/saniye sabit debi altında 20 saniyelik durumun analizi 3 farklı mesh modeli için ayrı ayrı yapıldı.

Şekil 2.26.'teki görselde ise iterasyon sayısının, yakınsama değerlerinin, akış zamanı gibi parametrelerin grafikler yardımıyla görselleştirilip kullanıcıya sunulduğu iterasyon ekranı görülmektedir.

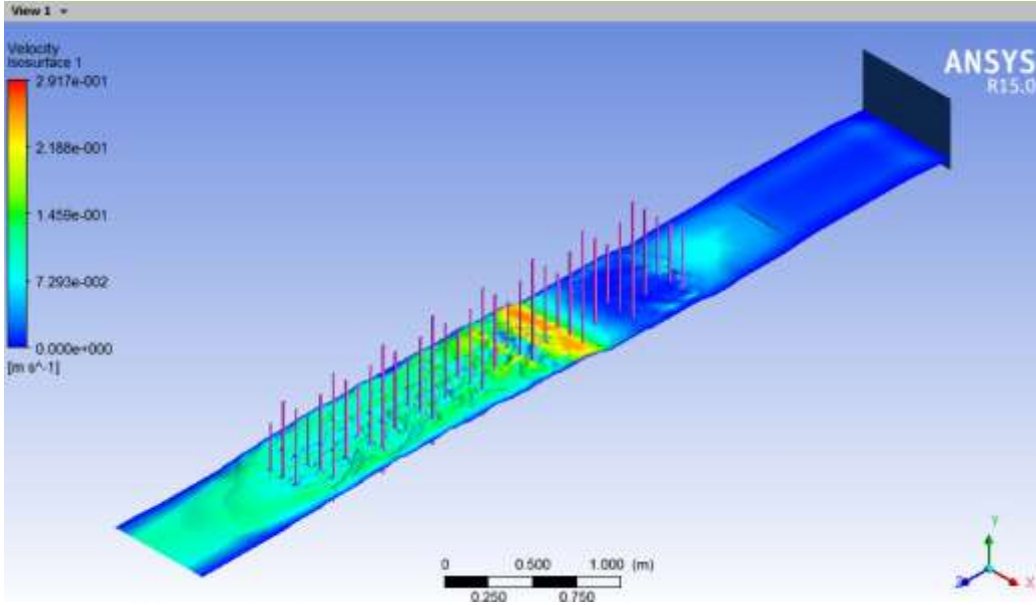


Şekil 2.26. Analizin devam ettiği durumda iterasyon ekranı

2.4.4. CFD Analizi Sonuçları

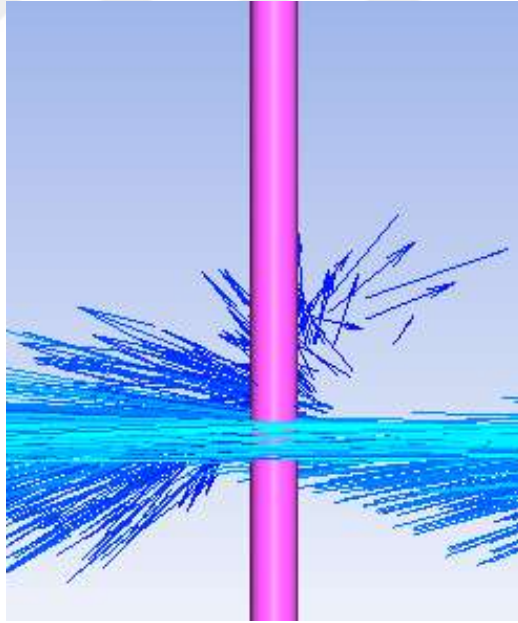
Bu bölümde analiz çıktıları, renklendirmeler ve grafikler yardımıyla sayısal veriler ışığında değerlendirilecektir. Mesh kalite kriterlerine göre en ideal mesh ikinci model olduğu için bu model üzerinden çözülen fluent sonuçları değerlendirmeye esas teşkil edecektir.

Model sonuçlarının kullanılması ile elde edilen sonuç Şekil 2.27.'de görüldüğü gibi yüzey hızında bitkilendirilmiş bölge sonunda, yan duvara yakın bölgelerde daha kuvvetli olmak üzere bir hız artışı yaşanmıştır.

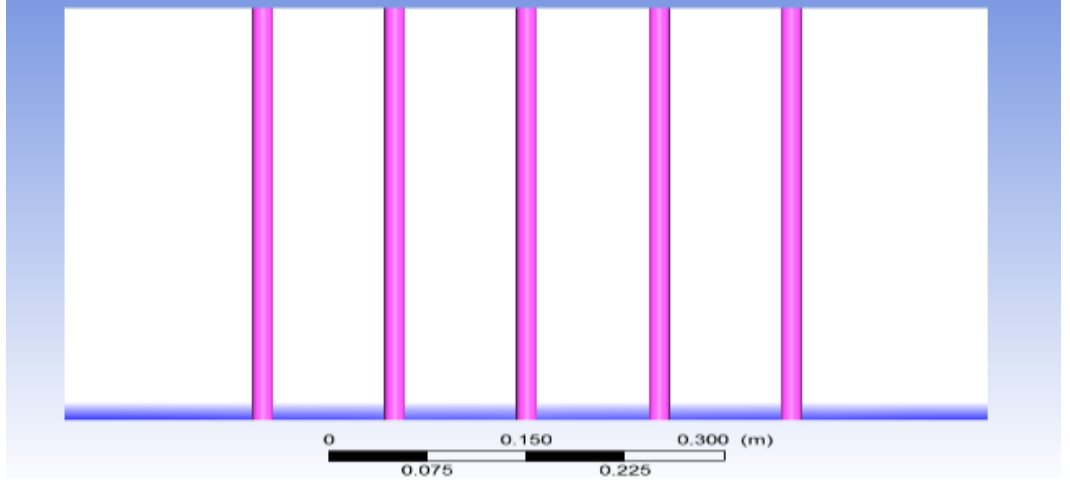


Şekil 2.27. Su yüzeyi üzerindeki hız dağılımı

Şekil 2.28.'de yandan görünüşte tek bir hat üzerindeki hız vektörlerinin durumu incelendiğinde, bitkiye çarpan suyun geri dönüş hareketi vektörel olarak görülmektedir.

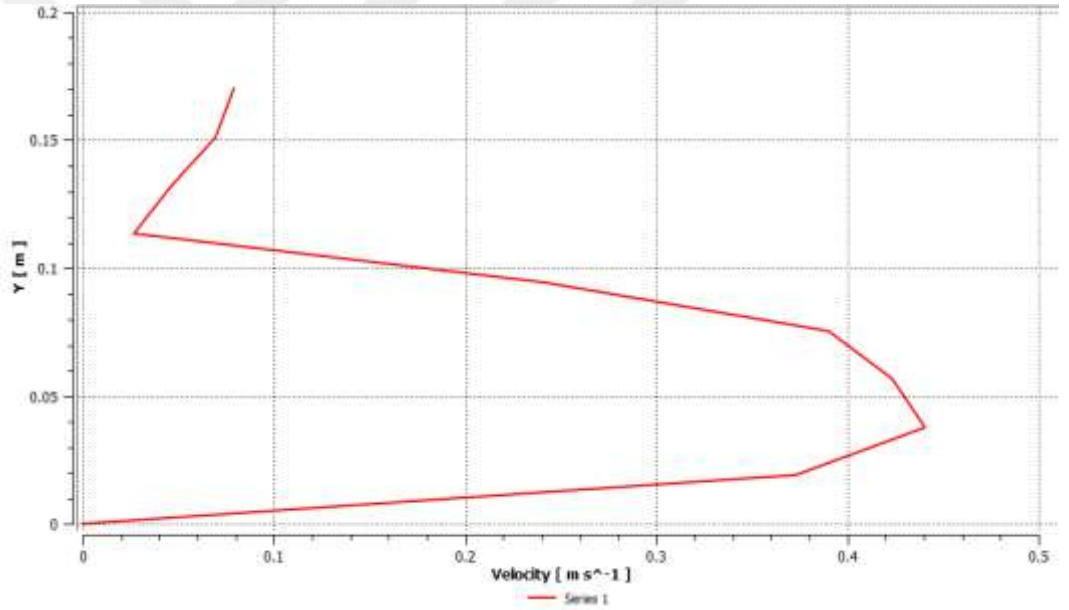


Şekil 2.28. Su yüzeyinden alınan hız vektörlerinin dağılımı



Şekil 2.29. Enkesit ve su seviyesi

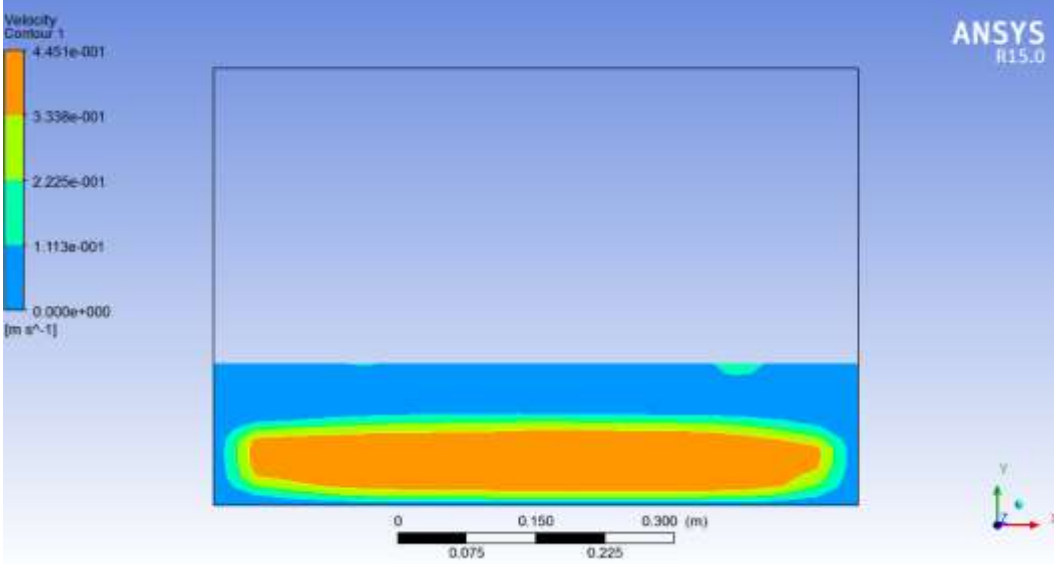
Şekil 2.29.'da ise kanal yüzeyine dik alınan bir düzlemdeki su seviyesi gösterilmiştir.



Şekil 2.30. Mansap kısmında bulunan ultrasonik seviye ölçerin bulunduğu koordinatlardaki düşey hız değişimi

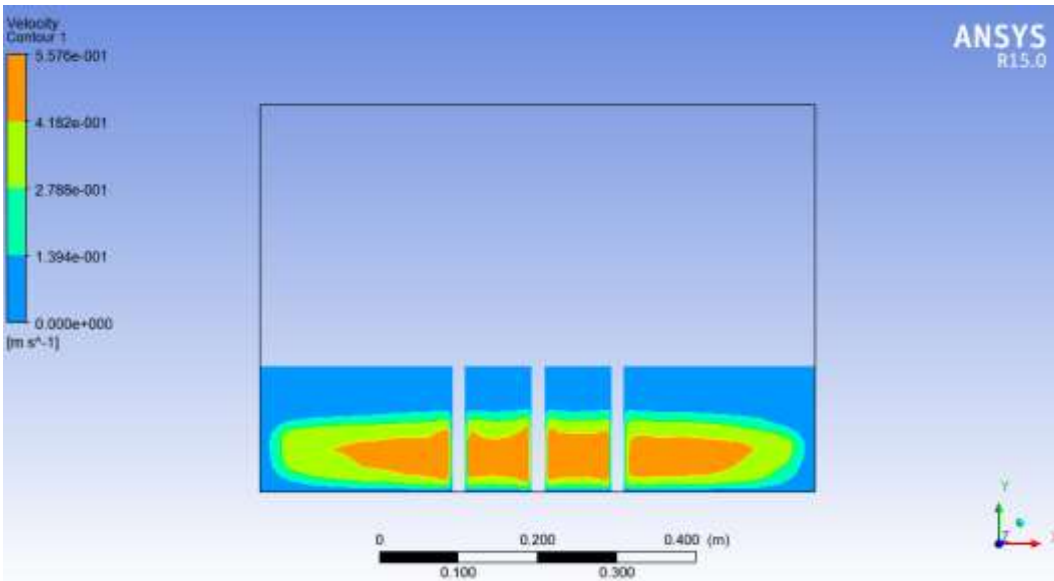
Burada hızın belli bir süre yükseklikle doğrusal olarak arttığı daha sonra bu artışın daha da hızlandığı, belli bir maksimum değer ulaştıktan sonra aynı karakterle azaldığı görülmektedir. 12. santimetreden sonra yaşanan hız artışı programın su ile hava arasındaki ara yüzey ayrımını yeterince hassas yapamamasından ileri gelmektedir. Daha iyi bir mesh kalitesi yakalanması veya analiz kısmında iterasyon sayısının artırılması gibi müdahalelerle bu durum

optimize edilebilirdi. Yukarıdaki sonuçlar ve görseller yalnızca programın kullanımını açıklamak içindir. Nihai sonuçlar tezin sonuçlar kısmında bildirilmiştir.



Şekil 2.31. Mansap kısmında bulunan ultrasonik seviye ölçerin bulunduğu koordinatlardaki en kesitsel hız dağılımı

Görüldüğü üzere kanal tabanı ve yan duvarlarda hız daha az iken orta kısımda artmıştır. Şekil 2.31.'deki durumun Şekil 2.32.'de de devam ettiği görülmektedir.



Şekil 2.32. Yapay pürüzlülük elemanlarının son sırasının merkezinden geçen kesitteki en kesitsel hız dağılımı

3. BULGULAR

Deneyisel bir çalışma sonucunda elde edilen verilerin istatistiksel anlamda sağlıklı bir şekilde yorumlanabilmesi bazı ölçütlere bağlıdır. Her şeyden önce analizi istenen veri setleri, birbirleri arasında kıyas ve yorum yapılabilecek nicelikte olmalıdır. Bu yüzden yeteri çoklukta deney yapılması gereği ortaya çıkar. Bu gereği yerine getirmek adına açık kanal akımlarında bitkilerin neden olduğu enerji kayıplarının konu edildiği bu çalışmada, yapılan 114 farklı deney seti ve her deney seti içerisinde 11 farklı debi durumunda elde edilen ölçümlerle 1254 ana veri grubu elde edilmiştir. Bu ana verilerle türetilen çok sayıda veri analize tabi tutulmuştur.

Bir veri seti içerisinde seçilen değerlerin o veri setini temsil kabiliyeti, seçtiğimiz değerlerin ortalamasının veri setinin ortalamasına yakınlığı kriter alınarak değerlendirilir. Bu kural, verilerin elde edilmesi sürecinde yani deneysel süreç içerisinde de geçerliliğini korur. Verilerin deney sırasında ölçüm aletleri, pompa veya akışın kendi doğal süreci gereği oluşabilecek anlık durumlardan (ani dalgalanma, köpürme vs.) etkilenmemesi ve gerçek duruma mümkün olduğu kadar yakın veri değerleri elde etmek amacıyla ölçüm aralığı olarak belirlenen 5 dakika boyunca saniyede 1 ölçüm yapılmış, veri olarak kabul edilip analize tabi tutulan her değer kendi içerisinde bu 300 verinin ortalamasından türetilmiştir.

Yaptığımız deneylerde ölçülen iki esas parametre bulunmaktadır. Bunlar debimetreden ölçülen debi değeri ve kanalın iki noktasında konumlandırılmış ultrasonik seviye ölçerlerle ölçülen su yüksekliği değerleridir. Debi, deney yapan kullanıcı tarafından kontrollü olarak değiştirildiğine göre burada asıl önem arz eden su yüksekliği değerleridir. Açık kanallarda akış aynı debi değerinde 3 farklı rejimde ilerleyebilir. Bunlar Froude sayısının 1'in altında olduğu nehir rejimi, 1'e eşit olduğu kritik akış durumu ve 1'in üstünde olduğu sel rejimi durumudur. Bu durumların hepsinde farklı akış hızları ve farklı su yükseklik değerleri oluşur. Bu çalışma kapsamında yapılan deneylerde eğimin % 0 olduğu durumda gerek büyük gerekse küçük çaplı pürüzlülük elemanları ile yapılan deneylerde hesaplanan Froude sayıları 1'in altında olduğu için deneyler hep nehir rejiminde yapılmıştır. Fakat, eğimin % 0.5 olduğu durumda küçük çaplı pürüzlülük elemanlarının

kullanıldığı deneylerde bu durum devam ederken büyük çaplı pürüzlülük elemanlarının kullanıldığı deneylerde ilk kesitte hesaplanan Froude sayısı 1'in altındayken ikinci kesitte hesaplanan Froude sayısı 1'in üstüne çıkmıştır. Yani nehir rejiminden sel rejimine geçilmiştir ki buda akışın derinliğinin azaldığı anlamına gelir. Eğimin %0.5 olduğu ve büyük çaplı pürüzlülük elemanlarının kullanıldığı durumlardan sadece 6X16 ve 6X8+5X8 durumlarında akış, nehir rejiminde devam ederken pürüzsüz durumda ise tüm akış değerlerinde akış sel rejiminde devam etmiştir. Tablo 3.1. , Tablo 3.2. ve Tablo 3.3.'te birinci ve ikinci kesitteki Froude sayıları verilmiştir. Kırmızı ile renklendirilen 1'den büyük değerler sel rejimine geçişi ifade eder.



Pürüzsüz		7X31		7X16+6X15		7X16+5X15		7X16+4X15		7X16+3X15		7X16		7X8+6X8		7X8+5X8		7X8+4X8		7X8+3X8	
F-1	F-2	F-1	F-2	F-1	F-2	F-1	F-2	F-1	F-2	F-1	F-2	F-1	F-2	F-1	F-2	F-1	F-2	F-1	F-2	F-1	F-2
1.4062	1.4913	0.2414	1.1112	0.2469	1.0945	0.2533	1.077	0.2628	1.0676	0.267	1.0605	0.2945	1.1491	0.2948	1.1686	0.3098	1.2805	0.3178	1.2669	0.3341	1.4084
1.2404	1.4348	0.2408	1.1261	0.2464	1.1479	0.2541	1.1077	0.2636	1.0465	0.2688	1.0064	0.2953	1.1208	0.2946	1.1271	0.3115	1.2234	0.3189	1.1722	0.3329	1.2859
1.394	1.463	0.2413	1.1207	0.2454	1.1376	0.2536	1.1442	0.2632	1.0748	0.269	1.0263	0.2955	1.0489	0.2946	1.0511	0.3108	1.0754	0.3189	1.0685	0.3304	1.1735
1.4078	1.4576	0.2398	1.1082	0.2454	1.114	0.2535	1.1107	0.2637	1.0886	0.2681	1.0565	0.2969	0.8552	0.2961	0.9311	0.3118	0.9798	0.3193	1.0315	0.331	1.1415
1.4316	1.4616	0.2401	1.1078	0.2446	1.0831	0.2534	1.1003	0.2632	1.0832	0.2682	1.0762	0.297	0.865	0.2979	0.8751	0.3114	0.9546	0.3194	1.0243	0.3322	1.1122
1.3633	1.4229	0.2404	1.0875	0.2456	1.0585	0.2537	1.0617	0.2635	1.0564	0.2691	1.0643	0.2962	0.8857	0.2983	0.9114	0.3128	0.9489	0.3205	1.0097	0.331	1.0886
1.3454	1.4091	0.2409	1.0766	0.2464	1.0484	0.2535	1.0377	0.2635	1.0314	0.2692	1.036	0.2961	0.905	0.3005	0.9283	0.3147	0.9753	0.3216	1.0237	0.332	1.0895
1.285	1.3784	0.2397	1.064	0.2461	1.0363	0.2535	1.0211	0.2655	1.0243	0.2699	1.0138	0.2968	0.9095	0.3011	0.9342	0.3137	0.9854	0.3203	1.033	0.3322	1.0686
1.3302	1.3937	0.2397	1.0562	0.2459	1.0292	0.2539	1.0286	0.2635	1.0291	0.2699	1.0107	0.2977	0.9322	0.2998	0.9444	0.3162	0.9927	0.3241	1.0474	0.3308	1.0541
1.2581	1.3604	0.2385	1.0509	0.2455	1.0209	0.2534	1.0169	0.2652	1.0262	0.2703	1.018	0.2972	0.8994	0.3036	0.9598	0.3181	0.9935	0.3235	1.0558	0.3359	1.0861
1.2915	1.369	0.2386	1.0238	0.2435	1.0152	0.2537	1.0231	0.2654	1.0239	0.2702	1.0224	0.2987	0.8874	0.3043	0.946	0.3188	0.9918	0.3234	1.0478	0.3358	1.0933

Tablo 3.1. Eğimin % 0.5 olduğu ve her sırada 7 büyük çaplı yapay pürüzlülük elemanı kullanılan deney setlerindeki Froude Sayıları

Pürüzsüz		6X31		6X16+5X15		6X16+4X15		6X16+3X15		6X16		6X8+5X8		6X8+4X8		6X8+3X8	
Fr1	Fr2	Fr1	Fr2	Fr1	Fr2	Fr1	Fr2	Fr1	Fr2	Fr1	Fr2	Fr1	Fr2	Fr1	Fr2	Fr1	Fr2
1.406	1.491	0.272	1.122	0.277	1.056	0.287	1.096	0.292	1.034	0.284	0.816	0.308	0.962	0.323	1.039	0.333	1.082
1.24	1.435	0.27	1.077	0.277	0.999	0.285	1.005	0.293	0.995	0.289	0.801	0.309	0.961	0.321	0.983	0.337	0.997
1.394	1.463	0.269	1.048	0.275	0.981	0.285	0.971	0.294	0.966	0.29	0.776	0.31	0.863	0.321	0.893	0.334	0.874
1.408	1.458	0.269	1.045	0.275	0.971	0.286	0.982	0.294	0.942	0.292	0.75	0.309	0.838	0.319	0.815	0.335	0.797
1.432	1.462	0.269	1.015	0.275	0.944	0.286	0.971	0.294	0.953	0.292	0.702	0.308	0.786	0.318	0.778	0.334	0.767
1.363	1.423	0.268	1.002	0.275	0.936	0.287	0.963	0.295	0.948	0.293	0.664	0.309	0.743	0.318	0.772	0.335	0.753
1.345	1.409	0.269	0.986	0.276	0.943	0.287	0.955	0.295	0.946	0.293	0.657	0.308	0.717	0.318	0.732	0.332	0.744
1.285	1.378	0.269	0.994	0.276	0.928	0.287	0.955	0.296	0.939	0.293	0.656	0.309	0.683	0.317	0.714	0.333	0.742
1.33	1.394	0.269	0.979	0.276	0.922	0.287	0.934	0.298	0.93	0.296	0.668	0.308	0.688	0.321	0.701	0.332	0.727
1.258	1.36	0.27	0.982	0.276	0.922	0.29	0.937	0.298	0.92	0.294	0.671	0.308	0.689	0.323	0.703	0.331	0.712
1.292	1.369	0.271	0.966	0.277	0.92	0.289	0.928	0.298	0.924	0.294	0.685	0.312	0.702	0.32	0.684	0.329	0.724

Tablo 3.2. Eğimin % 0.5 olduğu pürüzsüz ile her sırada 6 büyük çaplı yapay pürüzlülük elemanı kullanılan deney setlerindeki Froude Sayıları

5X31	5X16+4X15		5X16+3X15		5X16		5X8+4X8		5X8+3X8		4X31		4X16+3X15		4X16		4X8+3X8		
	Fr1	Fr2	Fr1	Fr2	Fr1	Fr2	Fr1	Fr2	Fr1	Fr2	Fr1	Fr2	Fr1	Fr2	Fr1	Fr2	Fr1	Fr2	
0.299	1.149	0.305	1.087	0.317	1.002	0.345	1.176	0.353	1.155	0.365	1.223	0.349	0.842	0.352	0.861	0.384	0.921	0.403	0.922
0.298	1.084	0.305	1.105	0.317	1.072	0.347	1.133	0.353	1.116	0.363	1.157	0.345	0.865	0.351	0.897	0.382	0.951	0.401	0.956
0.296	1.033	0.305	1.064	0.316	1.046	0.345	1.112	0.352	1.078	0.369	1.125	0.346	0.91	0.35	0.919	0.383	1.099	0.405	0.984
0.295	1.02	0.303	1.02	0.315	1.021	0.344	1.065	0.351	1.029	0.369	1.085	0.341	1.001	0.349	0.962	0.382	1.141	0.403	1.007
0.294	1.018	0.303	1.003	0.314	1.005	0.342	1.039	0.352	1.019	0.366	1.034	0.342	1.031	0.348	0.998	0.384	1.14	0.402	1.047
0.294	0.996	0.3	0.993	0.314	0.977	0.34	0.981	0.351	0.968	0.365	0.988	0.338	1.041	0.35	1.005	0.381	1.115	0.401	1.061
0.293	1.017	0.298	0.978	0.313	0.965	0.341	0.924	0.35	0.92	0.366	0.923	0.336	1.019	0.347	0.998	0.382	1.103	0.404	1.038
0.29	1.013	0.298	0.981	0.311	0.978	0.339	0.887	0.349	0.891	0.362	0.891	0.336	1.01	0.347	1.004	0.382	1.046	0.396	1.017
0.293	0.994	0.298	0.977	0.309	0.972	0.342	0.833	0.351	0.866	0.362	0.865	0.335	1.01	0.343	0.985	0.381	1.015	0.399	0.971
0.29	0.994	0.298	0.983	0.309	0.977	0.338	0.809	0.351	0.823	0.362	0.848	0.333	1.006	0.345	0.983	0.379	0.975	0.395	0.944
0.289	0.972	0.299	0.98	0.309	0.968	0.339	0.799	0.348	0.815	0.362	0.836	0.333	0.987	0.343	0.978	0.379	0.962	0.397	0.924

Tablo 3.3. Eğimin % 0.5 olduğu ve her sırada 5 ile 4 büyük çaplı yapay pürüzlülük elemanı kullanılan deney setlerindeki Froude Sayıları

	Q (lt/sn)	Y1 (m)	Y2 (m)	Y _{ort} (m)	V1 (m/sn)	V2 (m/sn)	V _{ort} (m/sn)
	0.069213867	0.272913	0.156689	0.204402667	1.169462961	1.215768244	1.192615603
Maksimum	Eğimli 7x16-3x15 Büyük	Eğimsiz 7x31 Büyük	Eğimsiz 5x16-3x15 Küçük	Eğimsiz 7x31 Büyük	Eğimli Pürüzsüz	Eğimli Pürüzsüz	Eğimli Pürüzsüz
	Pompa %100	Pompa %100	Pompa %100	Pompa %100	Pompa %100	Pompa %100	Pompa %100
	0.022269	0.043658333	0.041982	0.042820167	0.247578697	0.350810034	0.306606845
Minimum	Eğimsiz 7x8-5x8 Küçük	Eğimli Pürüzsüz	Eğimli Pürüzsüz	Eğimli Pürüzsüz	Eğimsiz 7x31 Büyük	Eğimli 7x8-5x8 Küçük	Eğimli 7x8-5x8 Küçük
	Pompa %50	Pompa %50	Pompa %50	Pompa %50	Pompa %50	Pompa %50	Pompa %50

Tablo 3.4. Maksimum ve minimum değerler

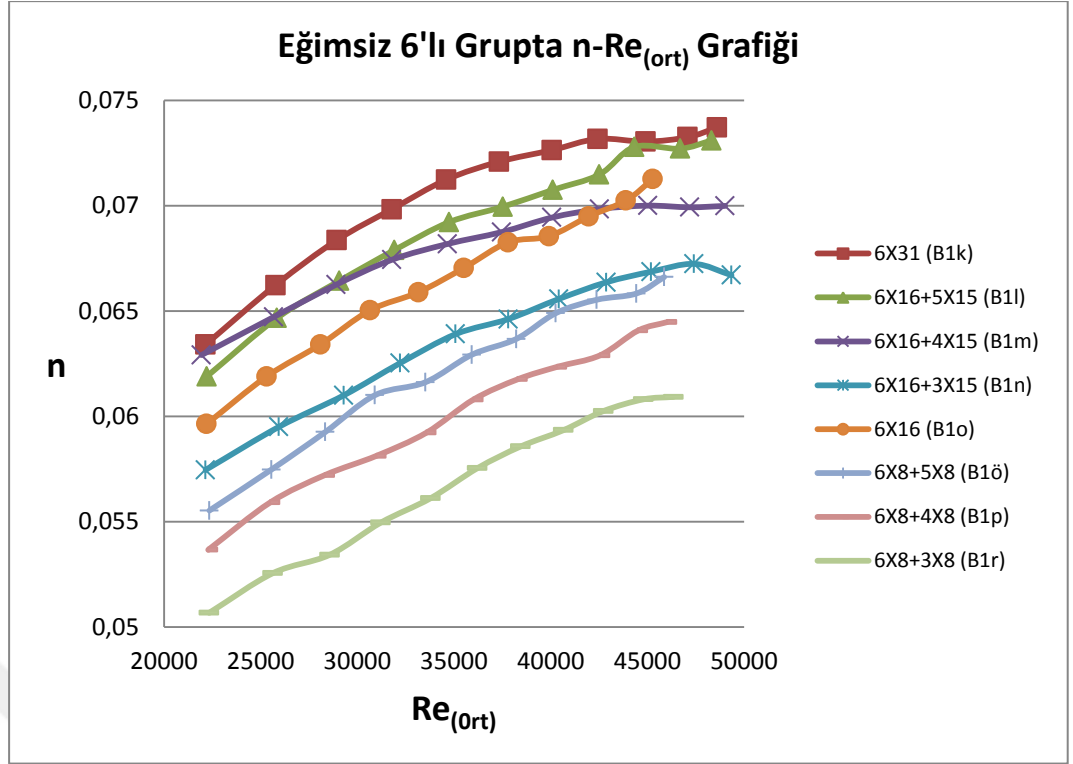
	E1 (m)	E2 (m)	AE (m)	n	f	c
Maksimum	0.279425088	0.172994677	0.132911534	0.089899465	2.617294835	72.24105511
	Eğimsiz 7x31 Büyük	Eğimsiz 4x8-3x8 Küçük	Eğimli 7x31 Büyük	Eğimsiz 7x31 Büyük	Eğimsiz 7x31 Büyük	Eğimli Pürüzsüz
	Pompa %100	Pompa %100	Pompa %100	Pompa %90	Pompa %90	Pompa %50
	0.086823179	0.073798838	0.001857152	0.008031568	0.030077171	7.836763941
Minimum	Eğimli Pürüzsüz	Eğimli 5x8-3x8 Küçük	Eğimsiz Pürüzsüz	Eğimli Pürüzsüz	Eğimli Pürüzsüz	Eğimsiz 7x31 Büyük
	Pompa %50	Pompa %50	Pompa %50	Pompa %50	Pompa %50	Pompa %90

Tablo 3.5. Maksimum ve minimum değerler

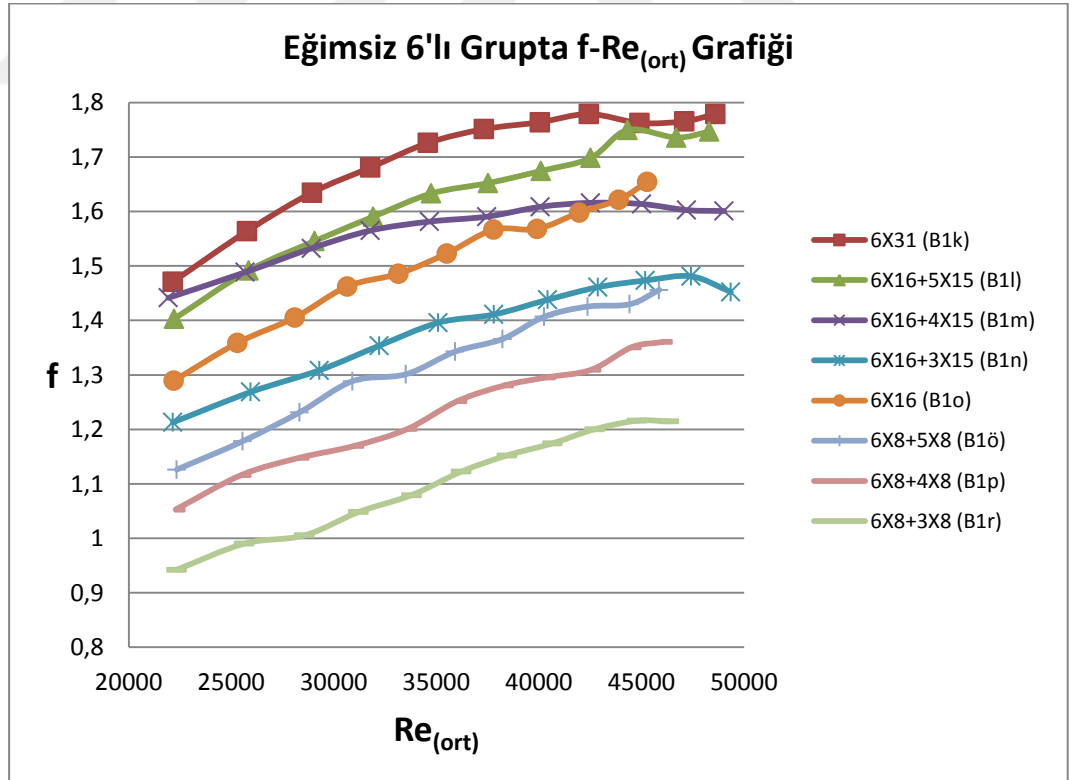
Tablo 3.4. ve Tablo 3.5.'de ise debi, birinci ve ikinci kesitte ölçülen su yükseklikleri ile ortalama su yükseklikler, kesitsel hızlar ve ortalama hız, birinci ve ikinci kesitteki enerji yükseklikleri ile bu iki kesit arasındaki enerji yükseklik farkı, n , f , C pürüzlülük katsayı değerlerinin maksimum ve minimum değerleri, bu değerlerin hangi bitki diziliminde ve debide elde edildiği belirtilmiştir.

Tablo 3.4. ve Tablo 3.5.'de açıkça görülmektedir ki; eğimin olmadığı, büyük çaplı ve en çok sayıda pürüzlülük elemanının kullanılmasından dolayı bitkisel blokaj alanının en fazla olduğu 7X31 deney setinde n , f , ΔE , $E1$, $Y1$, $Yort$ değerleri maksimum değerleri alırken n ve f katsayılarıyla ters orantılı olan C katsayısı ile $Y1$ 'in maksimum olduğu noktada minimum olması beklenen $V1$ değerinin beklenildiği gibi minimum olduğu gözlemlenmiştir.

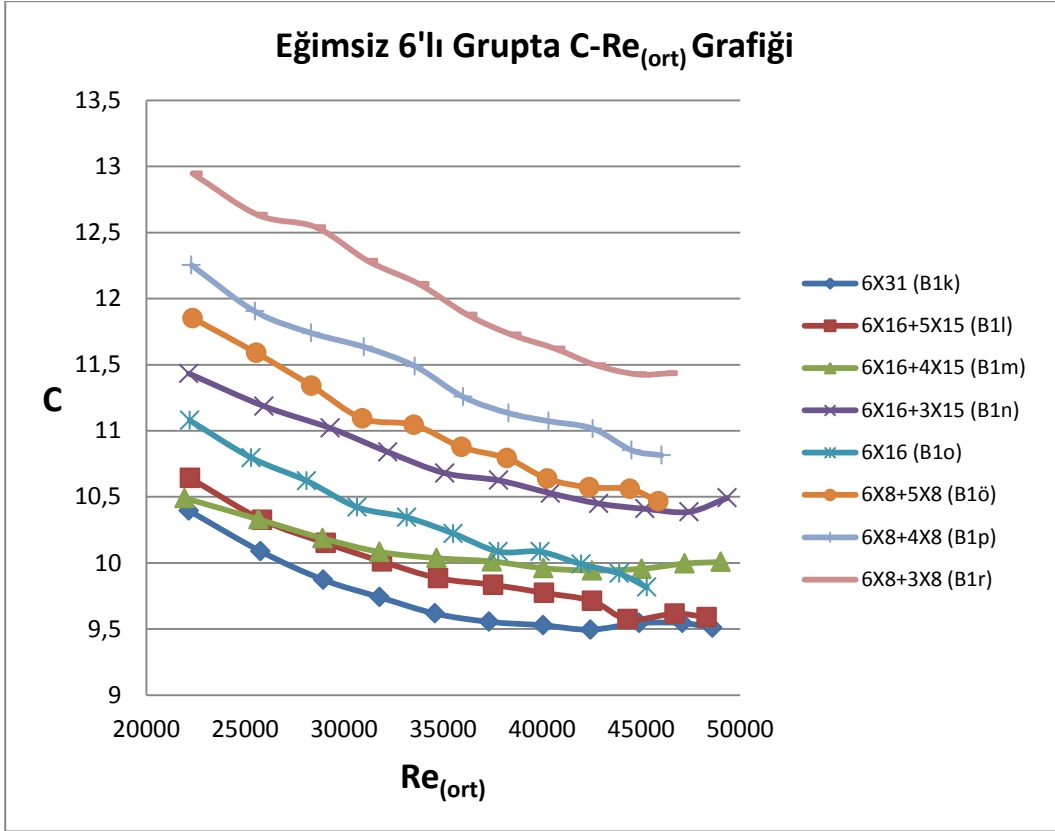
Şekil 3.1., Şekil 3.2. ve Şekil 3.3.'de verilen grafiklerde eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 6'lı dizilimde yapılan deneyler için sırasıyla $n - Re(ort)$, $f - Re(ort)$ ve $C - Re(ort)$ ilişkileri görselleştirilmiştir. Grafiklerde, n ve f katsayılarının birinci ve ikinci kesitte hesaplanan Reynolds sayılarının ortalamaları ile doğrusal bir karakterde arttığı, C katsayısı ile doğrusal karakterde azaldığı görülmektedir. Grafiklerde dikkat çeken bir diğer husus ise 6X16 dizilim eğrisinin 6X16+3X15 dizilim eğrisinin üzerinde yer almasıdır. 6X16 dizilim eğrisinin daha az bitkisel yoğunluğa sahip olmasına karşın aynı debi değerlerinde daha yüksek pürüzlülük yaratması akış doğrultusunda iki pürüzlülük elemanı arasındaki mesafe artışının pürüzlülüğe etkisi olarak yorumlanabilir.



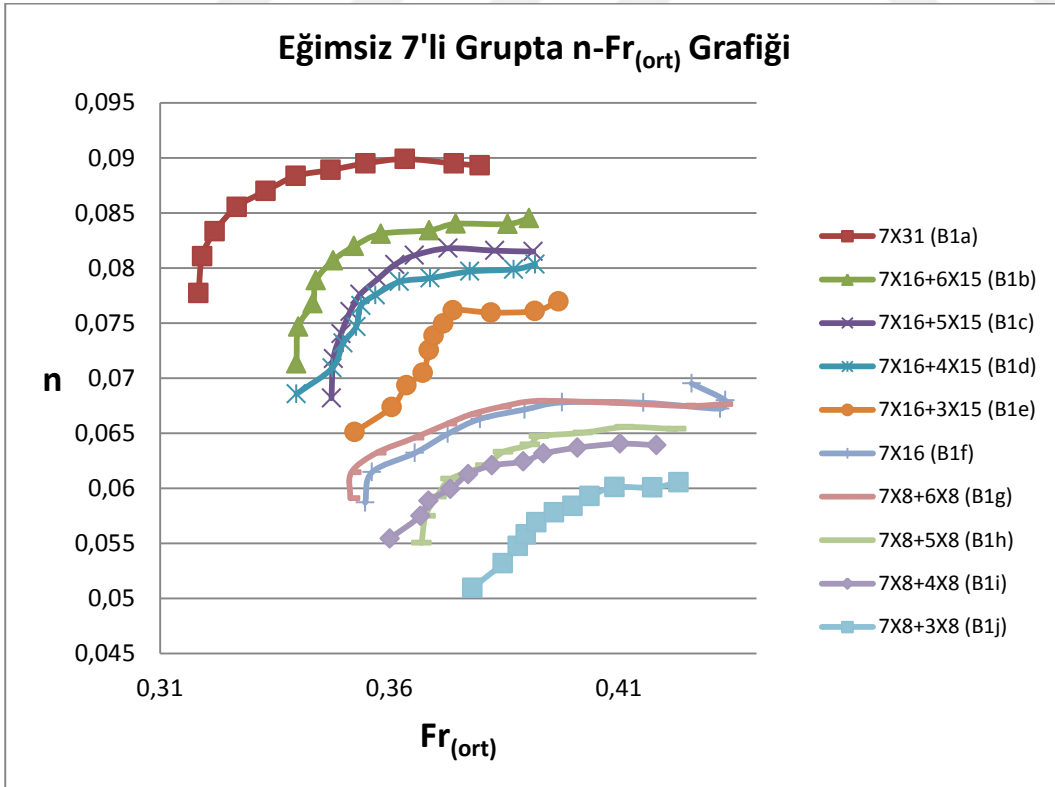
Şekil 3.1. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 6'lı dizilimde yapılan deney verileri için n - $Re_{(ort)}$ grafiği (Manning Pürüzlülük Katsayısı-Ortalama Reynolds Sayısı)



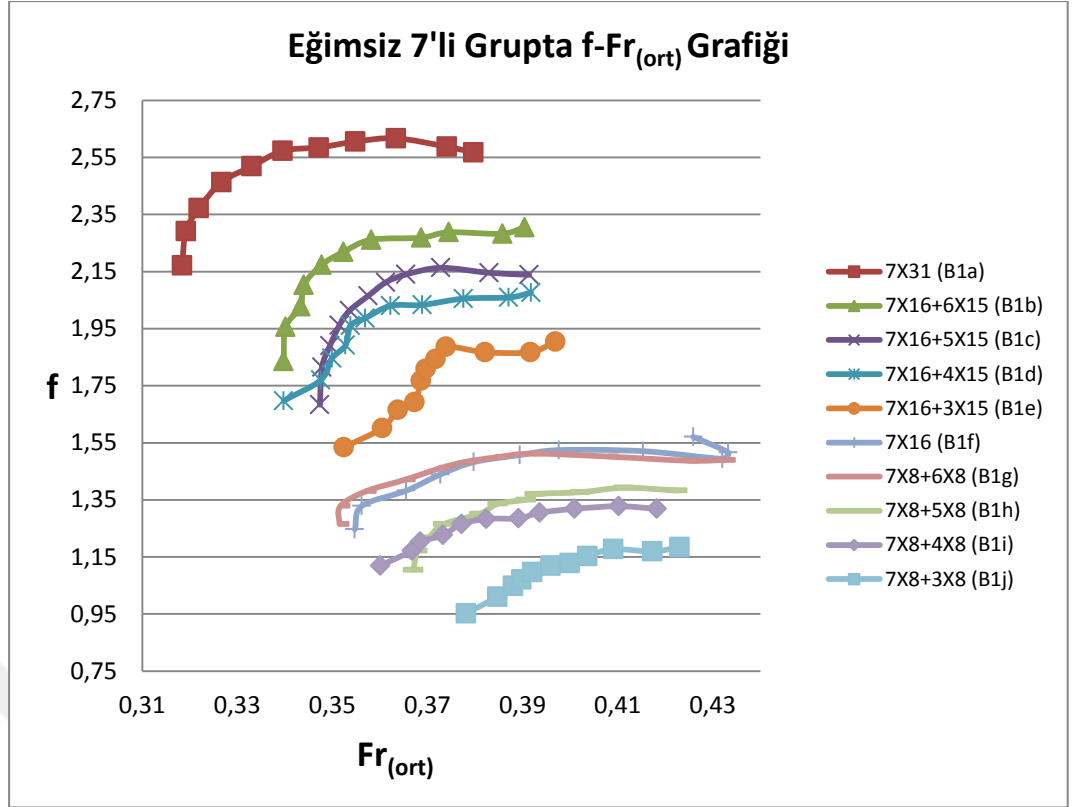
Şekil 3.2. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 6'lı dizilimde yapılan deney verileri için f - $Re_{(ort)}$ grafiği (Darcy Weisbach Pürüzlülük Katsayısı-Ortalama Reynolds Sayısı)



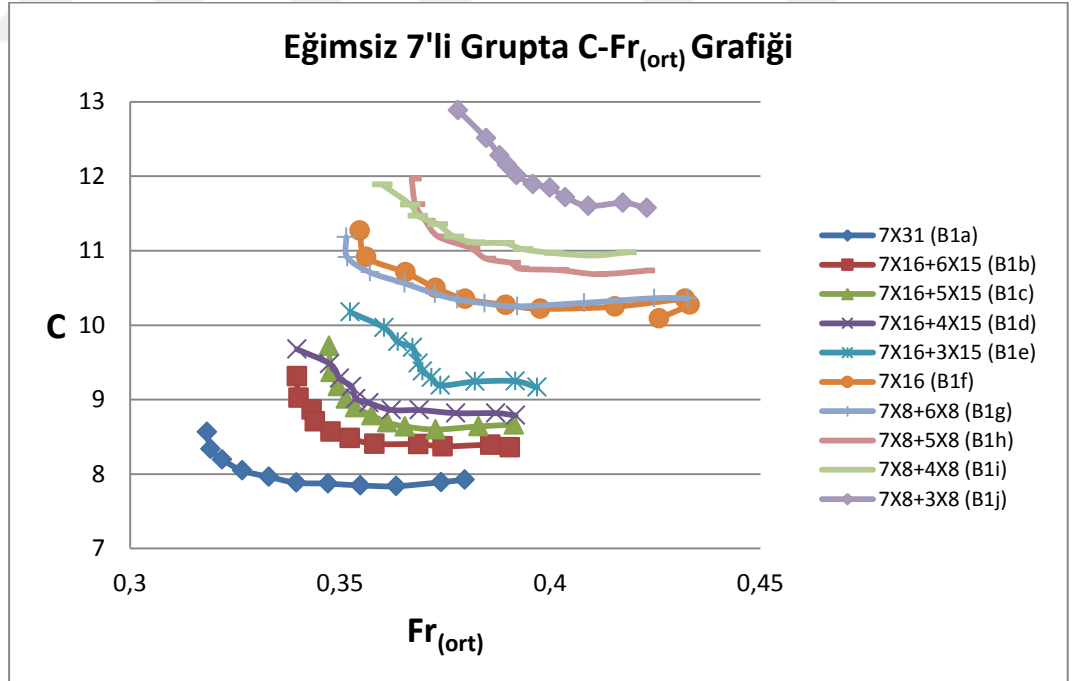
Şekil 3.3. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 6'lı dizilimde yapılan deney verileri için C - Re_(ort) grafiği (Chezy Pürüzlülük Katsayısı-Ortalama Reynolds Sayısı)



Şekil 3.4. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 7'li dizilimde yapılan deney verileri için n - Fr_(ort) grafiği (Manning Pürüzlülük Katsayısı-Ortalama Froude Sayısı)

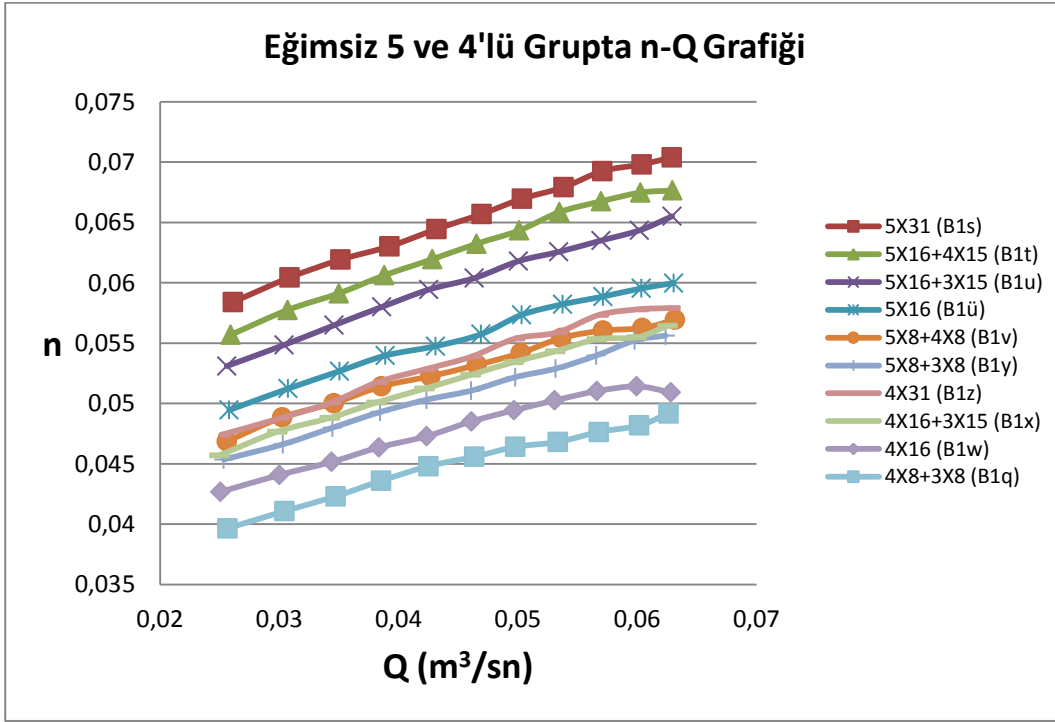


Şekil 3.5. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 7'li dizilimde yapılan deney verileri için f - $Fr_{(ort)}$ grafiği (Darcy Weisbach Pürüzlülük Katsayısı-Ortalama Froude Sayısı)

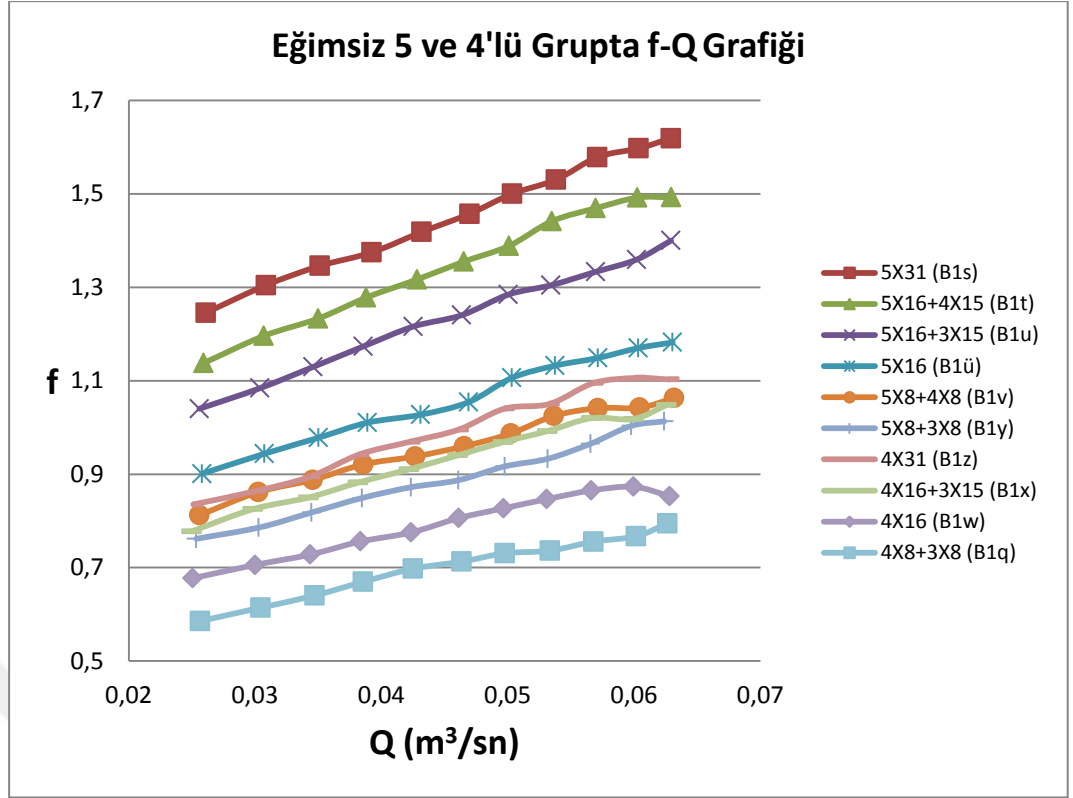


Şekil 3.6. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 7'li dizilimde yapılan deney verileri için C - $Fr_{(ort)}$ grafiği (Chezy Pürüzlülük Katsayısı-Ortalama Froude Sayısı)

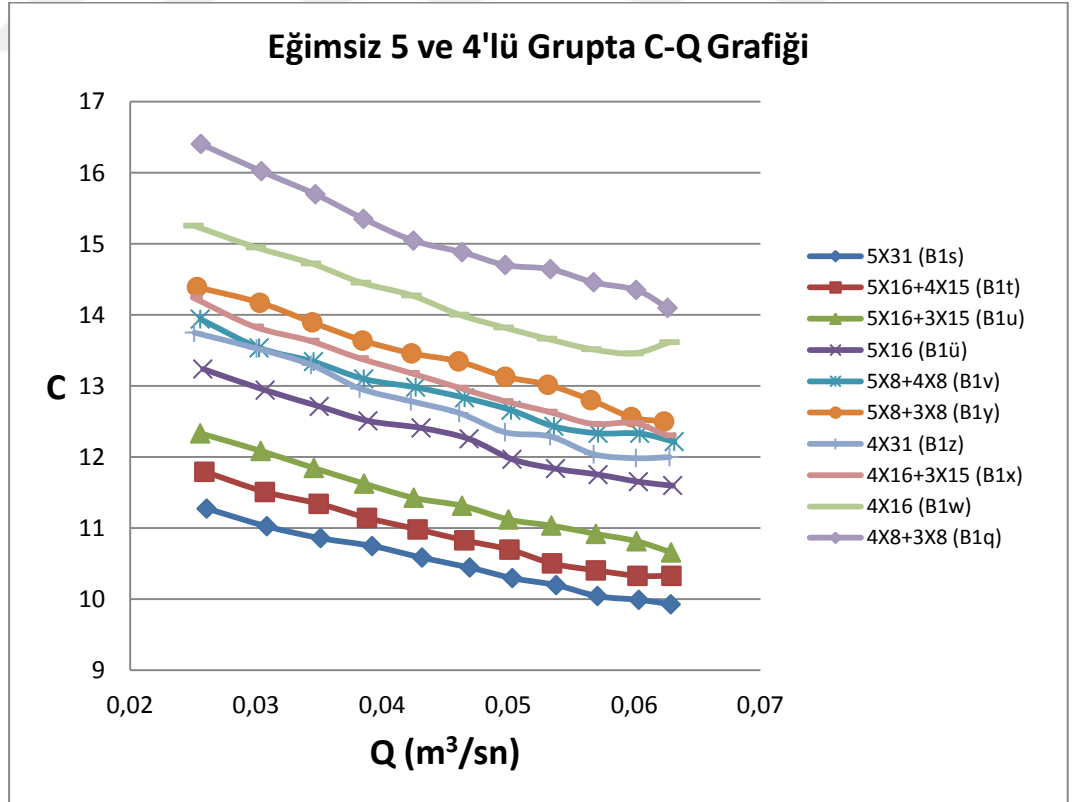
Şekil 3.4., şekil 3.5. ve şekil 3.6.'da verilen grafiklerde eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 7'li dizilimde yapılan deneyler için sırasıyla $n - Fr(ort)$, $f - Fr(ort)$ ve $C - Fr(ort)$ ilişkileri görselleştirilmiştir. Gerek ilk gerekse ikinci kesitte eğimin % 0 olduğu deney setlerinde akışlar hep nehir rejiminde olduğu için Froude sayılarının ortalamasının pürüzlülük katsayıları ile değişimini göstermek için bu deney setinin grafikte kullanılması uygun bulunmuştur.



Şekil 3.7. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 5 ve 4'lü dizilimde yapılan deney verileri için $n - Q$ grafiği (Manning Pürüzlülük Katsayısı-Debi)



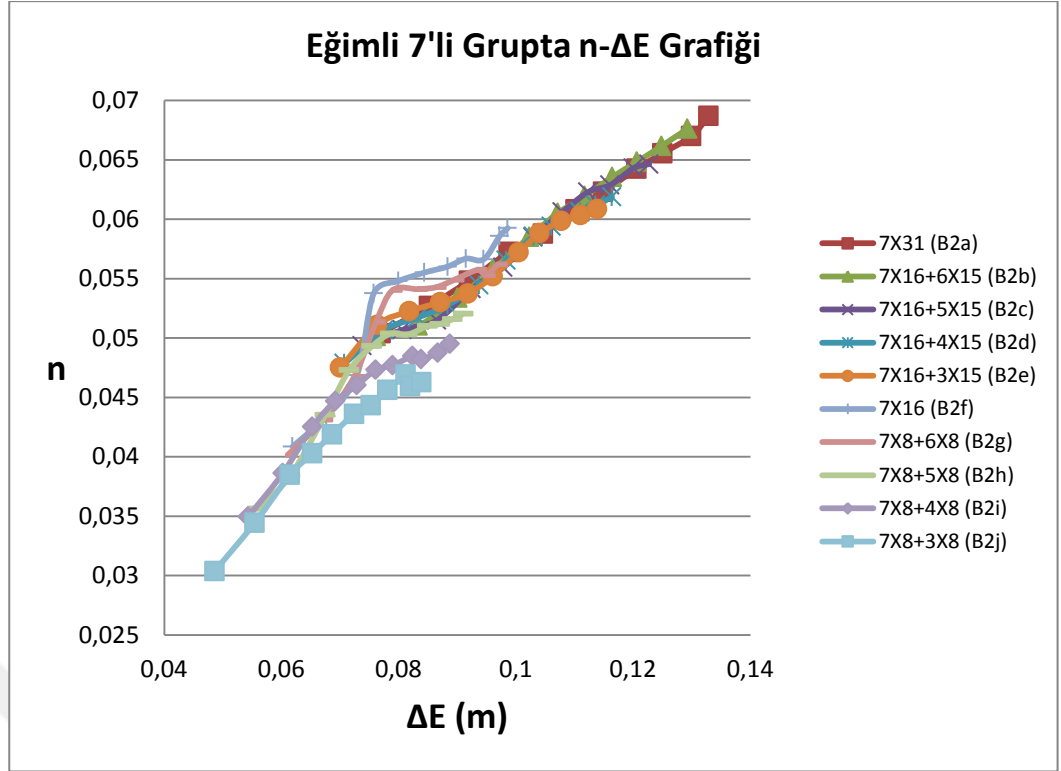
Şekil 3.8. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 5 ve 4'lü dizilimde yapılan deney verileri için f - Q grafiği (Darcy Weisbach Pürüzlülük Katsayısı-Debi)



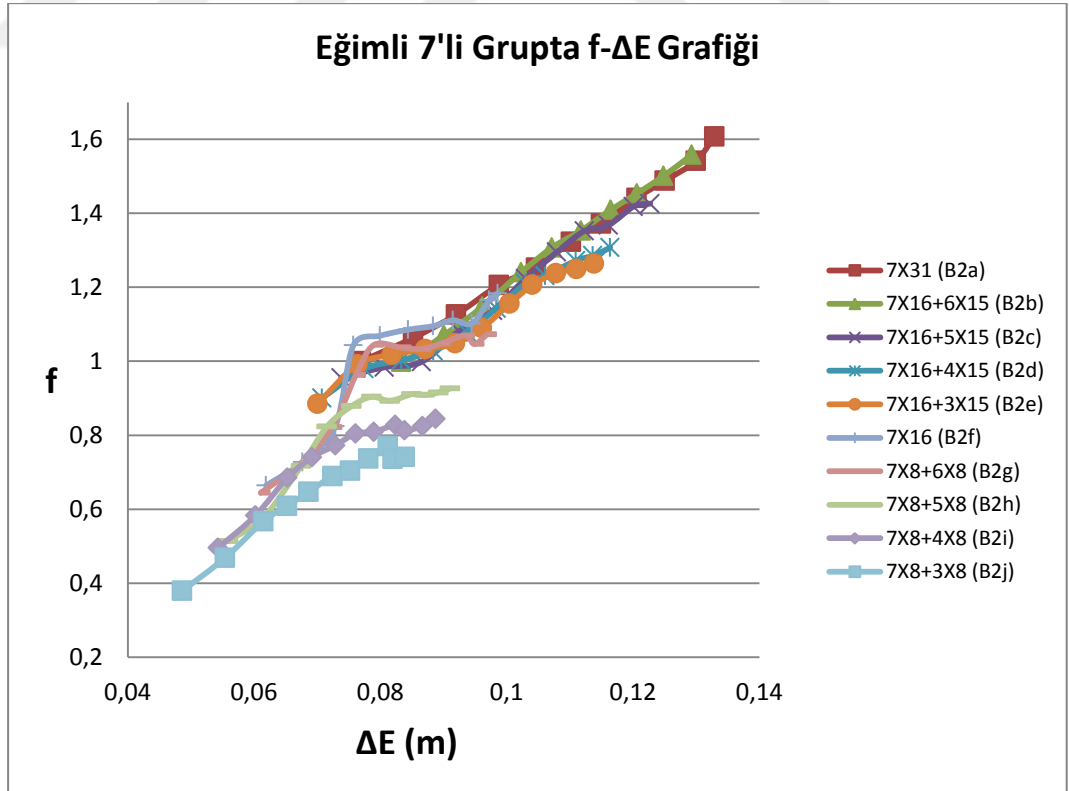
Şekil 3.9. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 5 ve 4'lü dizilimde yapılan deney verileri için C - Q grafiği (Chezy Pürüzlülük Katsayısı-Debi)

Şekil 3.7., Şekil 3.8. ve Şekil 3.9.'da verilen grafiklerde pürüzlülük elemanları olan n, f ve C katsayılarının debi ile ilişkisi gösterilmektedir. Kademeli olarak pompa gücünün %5 arttırıldığı bilindiğinden debi değerlerinin de kademeli artışı zaten beklenen bir durumdur. Burada üzerinde durulması gereken asıl nokta 80 adet yapay pürüzlülük elemanına sahip 5X16 dizilimli deney seti eğrisinin 124 adet yapay pürüzlülük elemanına sahip 4X31 ve 109 adet yapay pürüzlülük elemanına sahip 4X16+3X15 dizilimli deney seti eğrilerinin üzerinde olmasıdır. Aynı tespit 72 adet yapay pürüzlülük elemanına sahip 5X8+4X8 dizilimli deney seti eğrisinin 109 adet yapay pürüzlülük elemanına sahip 4X16+3X15 dizilimli deney seti eğrisinin üzerinde bulunması durumu içinde geçerlidir. Bu durum Şekil 3.1., Şekil 3.2. ve Şekil 3.3.'deki grafiklerde de 6X16 dizilim eğrisinin 6X16+3X15 dizilim eğrisinin üzerinde yer alması şeklinde ortaya çıkmıştır. Verilen bütün bu örnekler iki farklı dizilim parametresinin pürüzlülük üzerindeki etkisine işaret ediyormuş gibi gözükse de aslında sadece birbirine yakın bitkisel yoğunluklarda, akış yönünde iki pürüzlülük elemanı arasındaki mesafe artışının pürüzlülük üzerindeki arttırıcı etkisi olduğu tespitine yol açar. Birim alana düşen bitki sayısı aynı kalmak koşuluyla enerji kaybı sadece ilk sıradaki bitki sıklığı ile açıklanamaz. Akım iplikçiklerinin bozulması türbülans etkisini arttırarak enerji kaybına katkı sağlar. Akış yönüne dik doğrultuda blokaj alanı artışı, başka bir deyişle aynı sıra üzerindeki yapay pürüzlülük elemanı artışının pürüzlülük üzerinde arttırıcı etkisi bulunduğu gibi bir yargıya yukarıdaki verilen örneklerle varılabilse de Tablo 3.6., Tablo 3.7. ve Tablo 3.8.'de verilen örnekler böyle bir yargıya varılamayacağına işaret eder..

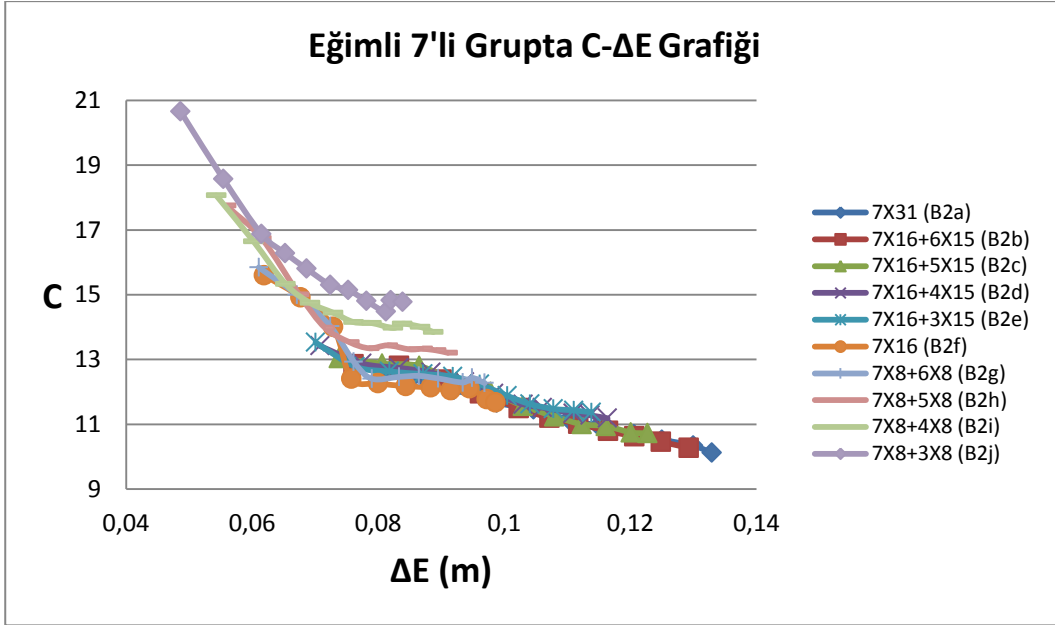
Ayrıca bitkisel yoğunluk bakımından birbirine son derece yakın olan içerisinde 125 adet yapay pürüzlülük elemanı içeren 5X16+3X15 dizilimli deney seti ile 124 adet yapay pürüzlülük elemanı içeren 4X31 dizilimli deney seti karşılaştırıldığında, eğriler arası mesafenin diğer eğriler arası mesafelere oranla çok daha fazla olduğu gözlenmektedir. Bitkisel yoğunlukları neredeyse aynı, akış doğrultusunda pürüzlülük elemanları arasındaki mesafeleri eşit olan bu iki deney setini eğrileri arasındaki bu uzaklık akışa dik yönde en kesitsel blokaj alanı artışının pürüzlülük üzerindeki arttırıcı etkisi olduğu kanaatini perçinlemiştir.



Şekil 3.10. Eğimin % 0.5 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 7'li dizilimde yapılan deney verileri için $n - \Delta E$ grafiği (Manning Pürüzlülük Katsayısı-Enerji Yükseklikleri Farkı)

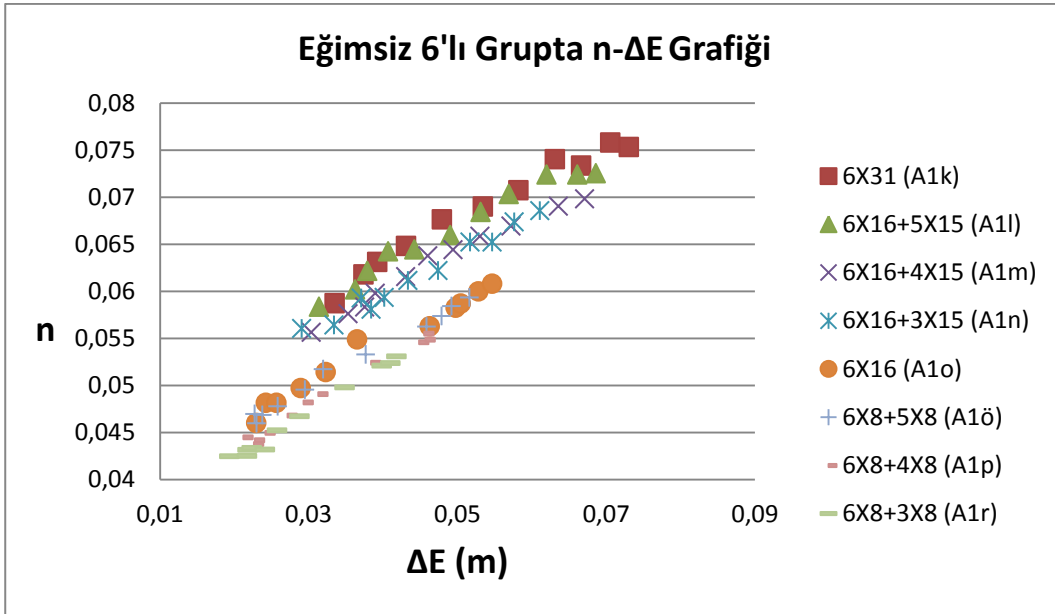


Şekil 3.11. Eğimin % 0.5 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 7'li dizilimde yapılan deney verileri için $f - \Delta E$ grafiği (Darcy Weisbach Pürüzlülük Katsayısı-Enerji Yükseklikleri Farkı)

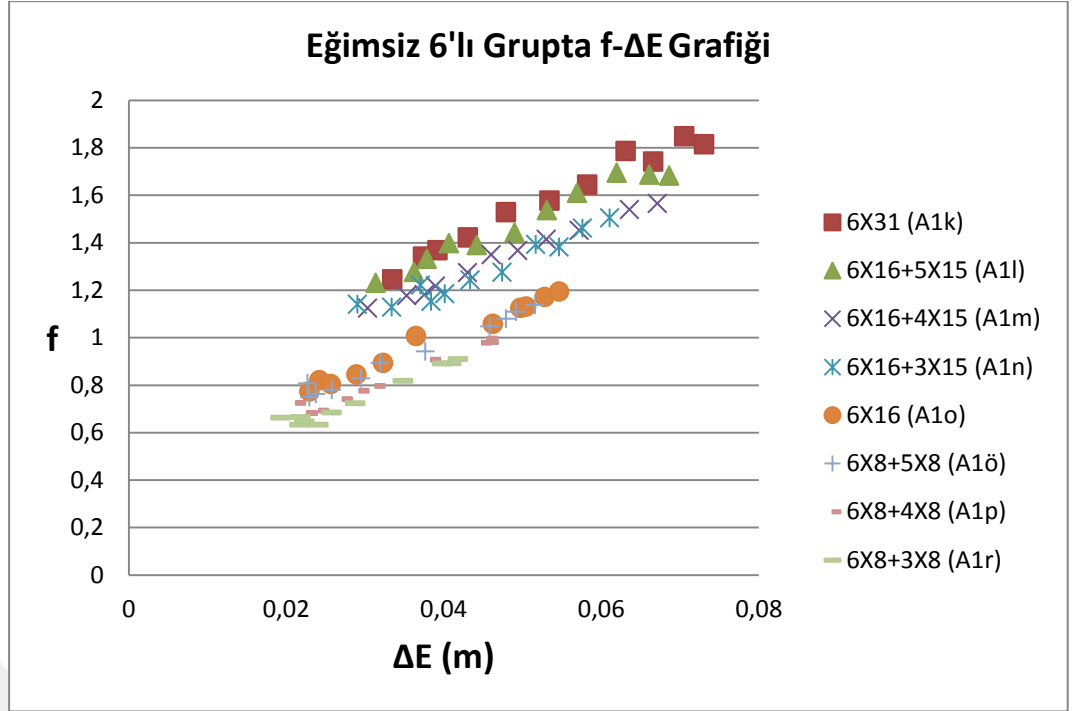


Şekil 3.12. Eğimin % 0.5 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 7'li dizilimde yapılan deney verileri için C - ΔE grafiği (Chezy Pürüzlülük Katsayısı-Enerji Yükseklikleri Farkı)

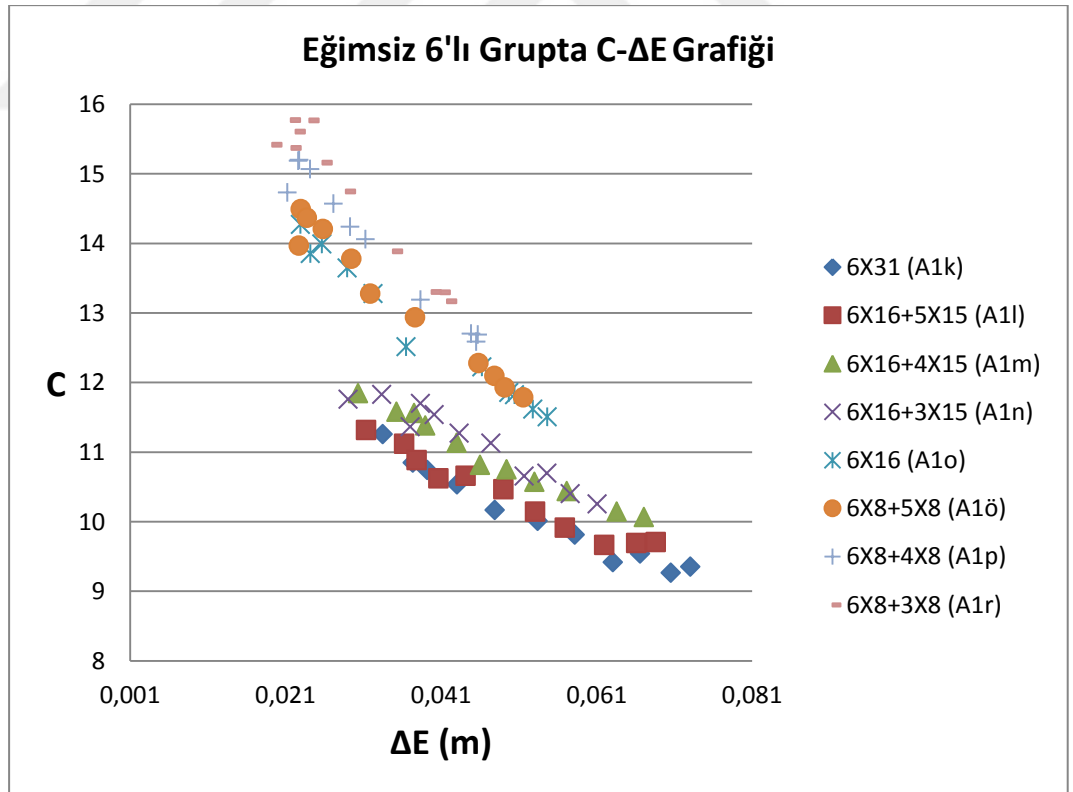
Şekil 3.10., Şekil 3.11. ve Şekil 3.12.'de verilen grafiklerde pürüzlülük elemanları olan n, f ve C katsayılarının birinci ve ikinci kesitte hesaplanan enerji yükseklikleri arasındaki fark olan ΔE ile ilişkisi gösterilmektedir. Grafiklerden de açıkça görüleceği üzere ΔE 'nin; n ve f pürüzlülük katsayıları ile doğru, C pürüzlülük katsayısı ile ters orantılı bir ilişkisi vardır.



Şekil 3.13. Eğimin % 0 olduğu durumda küçük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 6'lı dizilimde yapılan deney verileri için n - ΔE grafiği (Manning Pürüzlülük Katsayısı-Enerji Yükseklikleri Farkı)



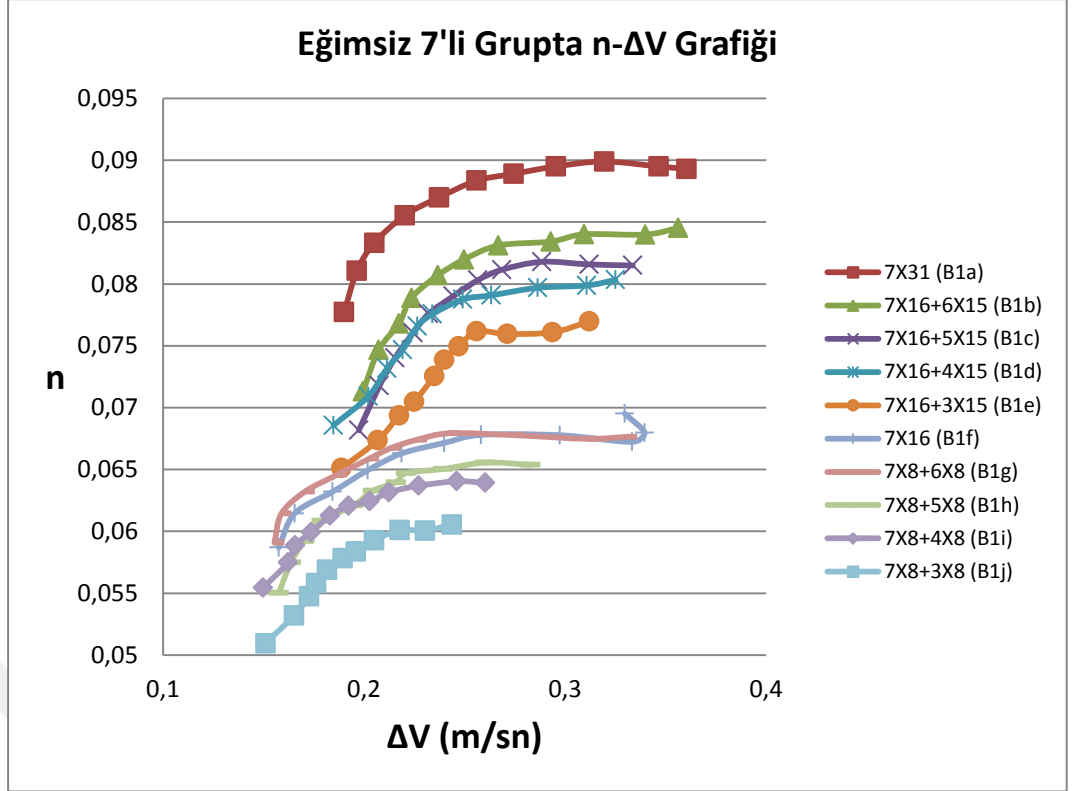
Şekil 3.14. Eğimin % 0 olduğu durumda küçük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 6'lı dizilimde yapılan deney verileri için f - ΔE grafiği (Darcy Weisbach Pürüzlülük Katsayısı-Enerji Yükseklikleri Farkı)



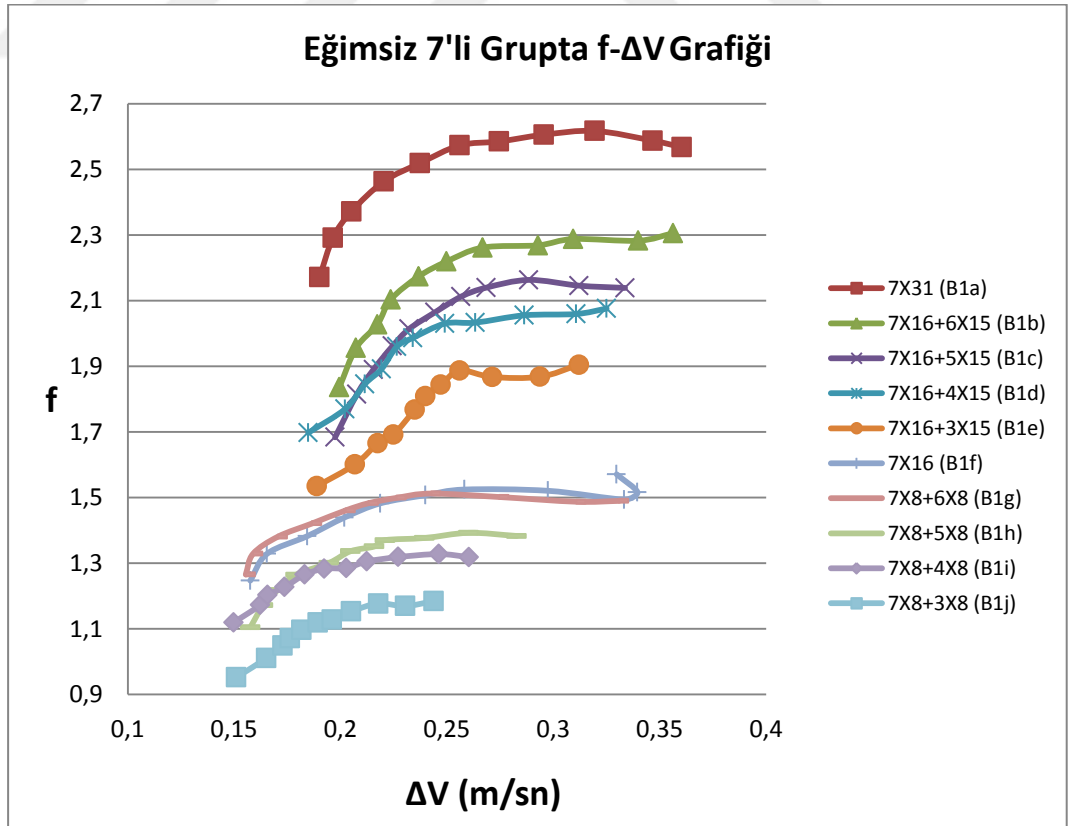
Şekil 3.15. Eğimin % 0 olduğu durumda küçük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 6'lı dizilimde yapılan deney verileri için C - ΔE grafiği (Chezy Pürüzlülük Katsayısı-Enerji Yükseklikleri Farkı)

Şekil 3.13., Şekil 3.14. ve Şekil 3.15.'de verilen grafiklerde pürüzlülük elemanları olan n , f ve C katsayılarının birinci ve ikinci kesitte hesaplanan enerji yükseklikleri farkı olan ΔE ile ilişkisi gösterilmektedir. Grafiklerde enerji yükseklikleri farkının; n ve f pürüzlülük katsayıları ile doğru, C pürüzlülük katsayısı ile ters orantılı bir ilişkiye sahip olduğu gözlenmektedir. Gözlenen bir diğer nokta ise büyük çaplı pürüzlülük elemanlarının kullanıldığı deney setlerinden elde edilen verilerle çizilen grafiklere oranla küçük çaplı pürüzlülük elemanlarının kullanıldığı deney setleri ile çizilen grafik eğrilerinin birbirine daha yakın olduğudur. Bu durumun temel nedeni kullanılan pürüzlülük elemanlarındaki çap küçülmesinden kaynaklanan etki azalmasıdır. Ayrıca, pürüzsüz ortamda yapılan deney verileri ile çizilen eğriyi saymazsak grafiklerin iki eğri kümesinden oluştuğu gözlenmektedir. Bu durumu ortaya çıkaran etmen ise iki farklı geçiş durumunun yaşanmasıdır. 6X31 diziliminden 6X16+5X15 dizilimine geçerken veya 6x16+5X15 diziliminden 6X16+4X15 dizilimine geçerken 15 adet pürüzlülük elemanı eksiltilirken, 6X16 diziliminden 6X8+5X8 dizilimine veya 6X8+5X8 diziliminden 6X8+4X8 dizilimine geçerken 8 adet pürüzlülük elemanın eksiltilmiş olmasıdır. Bu durum iki farklı eğri kümesi oluşmasının temel nedenidir.

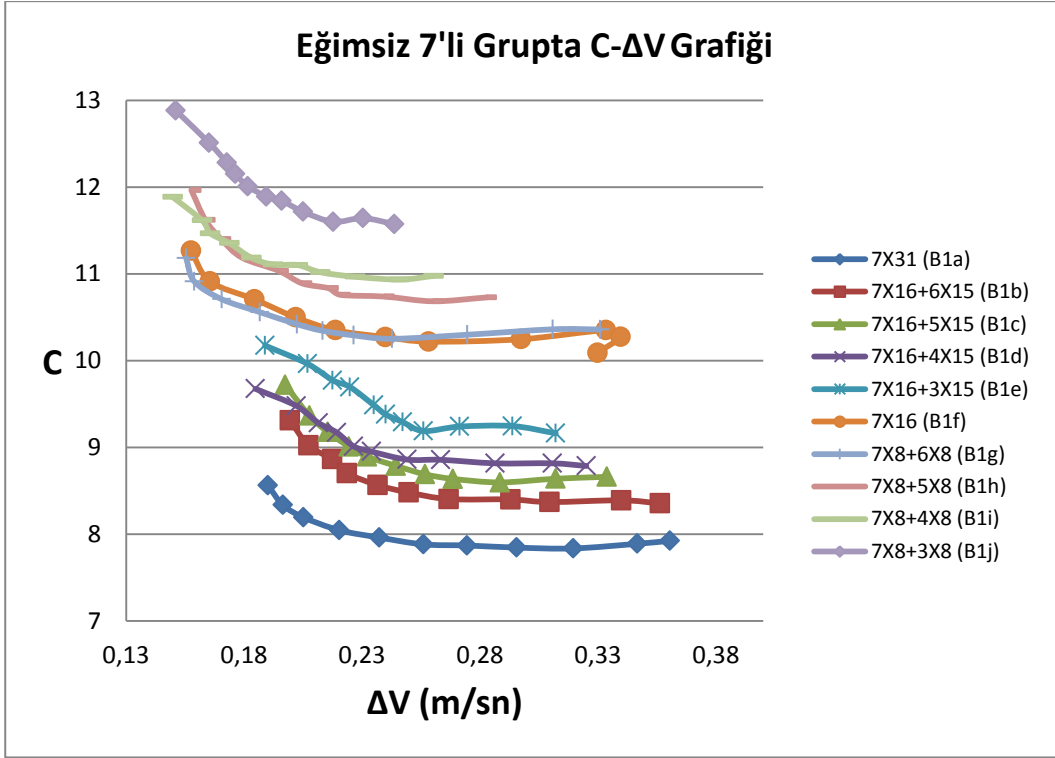
Şekil 3.16., Şekil 3.17. ve Şekil 3.18.'de verilen grafiklerde pürüzlülük elemanları olan n , f ve C katsayılarının birinci ve ikinci kesitte hesaplanan kesitsel hız değerleri arasındaki fark olan ΔV ile ilişkisi gösterilmektedir. Grafiklerde ΔV ; n ve f pürüzlülük katsayıları ile azalarak artan, C pürüzlülük katsayısı ile azalarak azalan parabolik karakterde bir ilişkiye sahip olduğu gözlenmektedir.



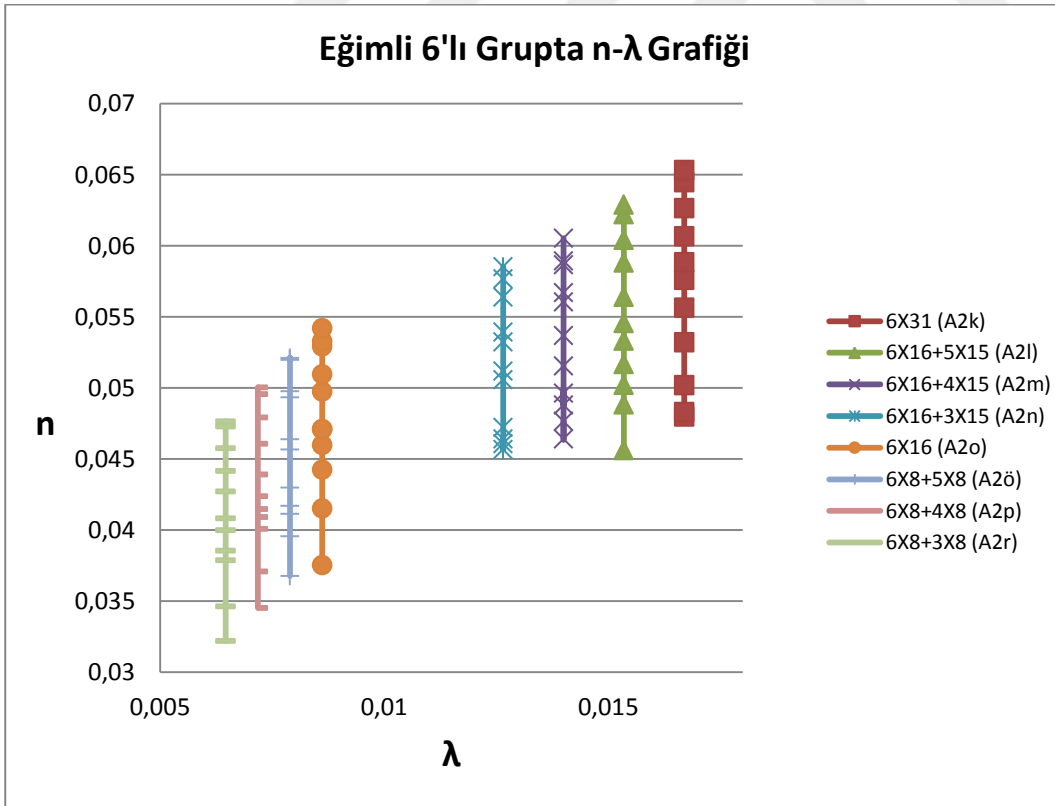
Şekil 3.16. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 7'li dizilimde yapılan deney verileri için n - ΔV grafiği (Manning Pürüzlülük Katsayısı-Hız Farkı)



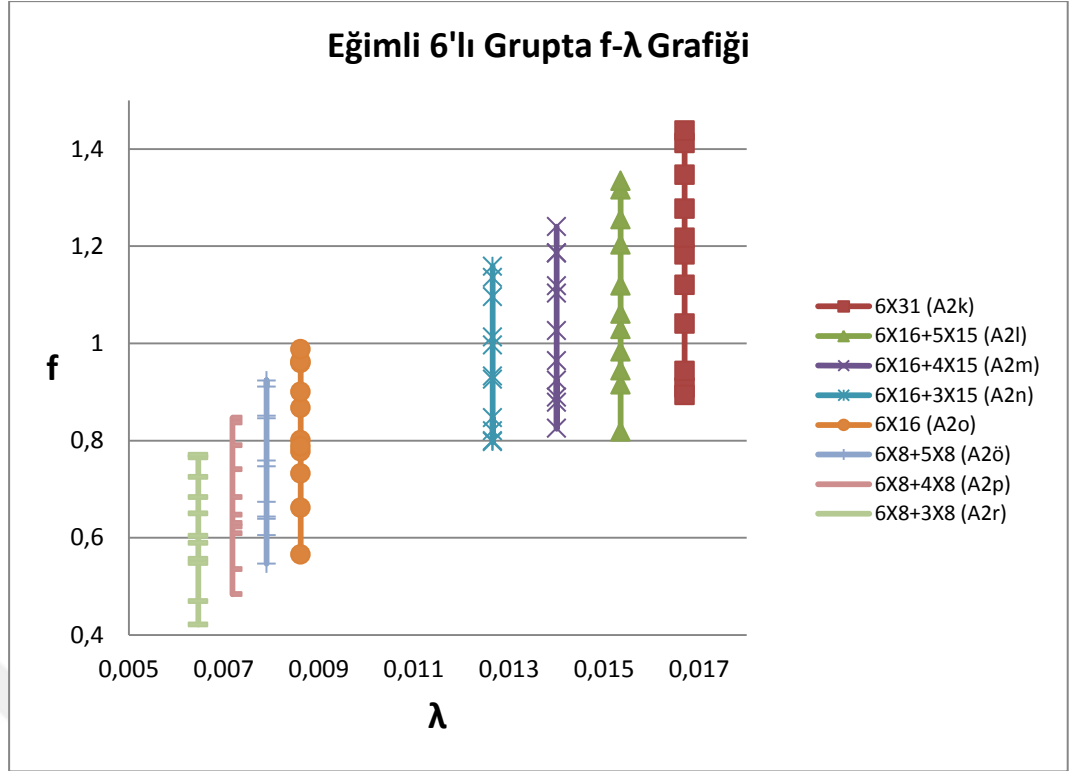
Şekil 3.17. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 7'li dizilimde yapılan deney verileri için f - ΔV grafiği (Darcy Weisbach Pürüzlülük Katsayısı-Hız Farkı)



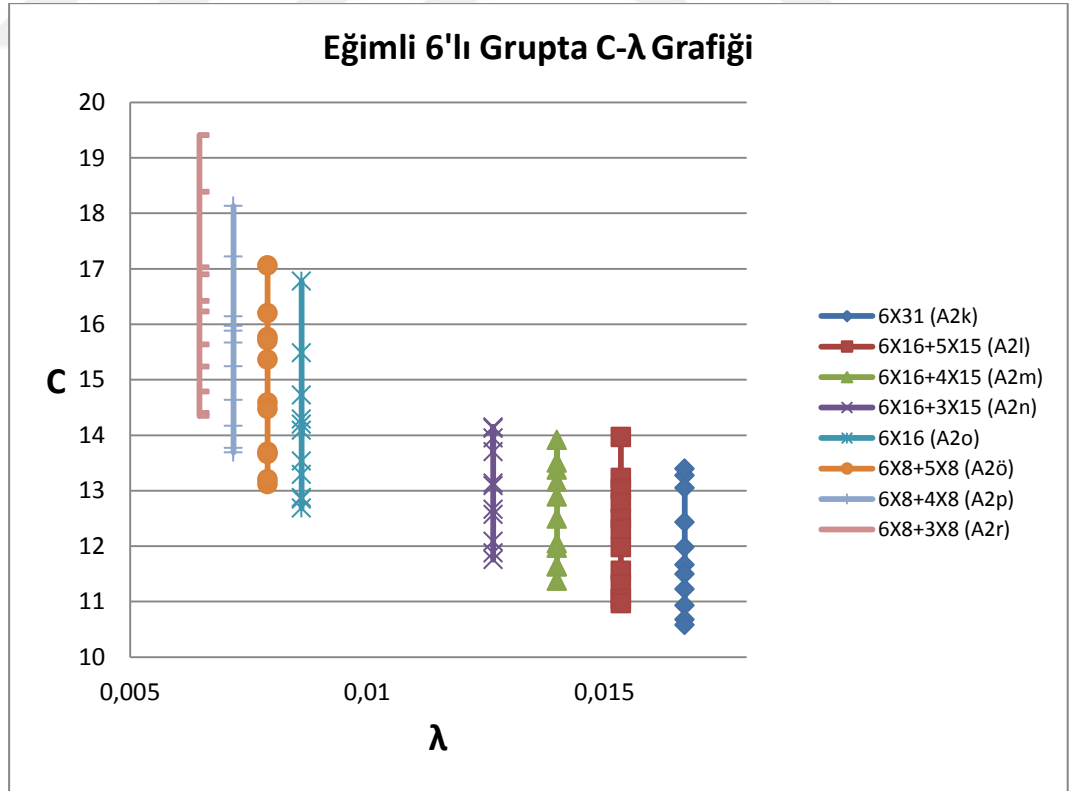
Şekil 3.18. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 7'li dizilimde yapılan deney verileri için C - ΔV grafiği (Chezy Pürüzlülük Katsayısı-Hız Farkı)



Şekil 3.19. Eğimin %0.5 olduğu durumda küçük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 6'li dizilimde yapılan deney verileri için n - λ grafiği (Manning Pürüzlülük Katsayısı-Bitkisel Yoğunluk Parametresi)

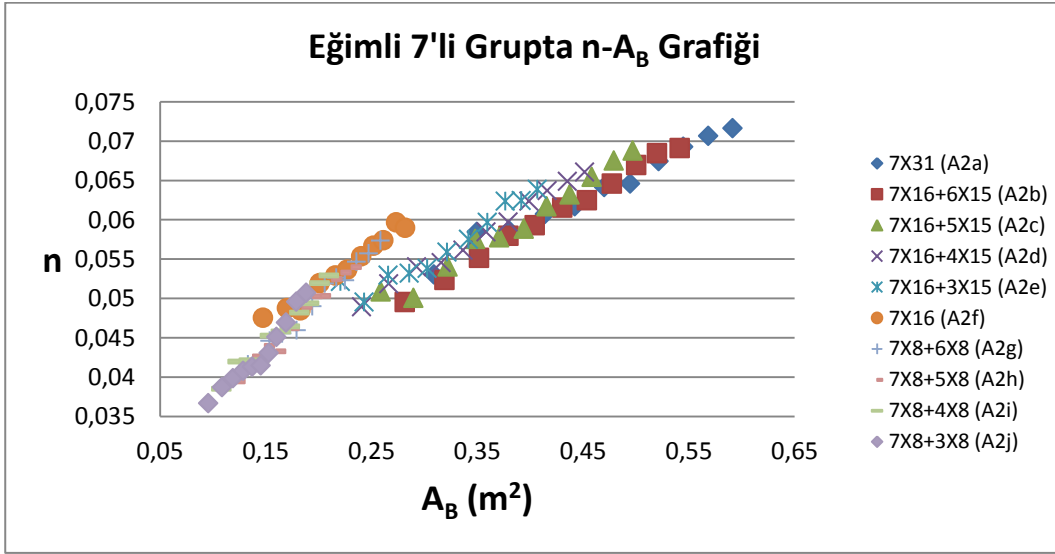


Şekil 3.20. Eğimin % 0.5 olduğu durumda küçük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 6'lı dizilimde yapılan deney verileri için f - λ grafiği (Darcy Weisbach Pürüzlülük Katsayısı-Bitkisel Yoğunluk Parametresi)

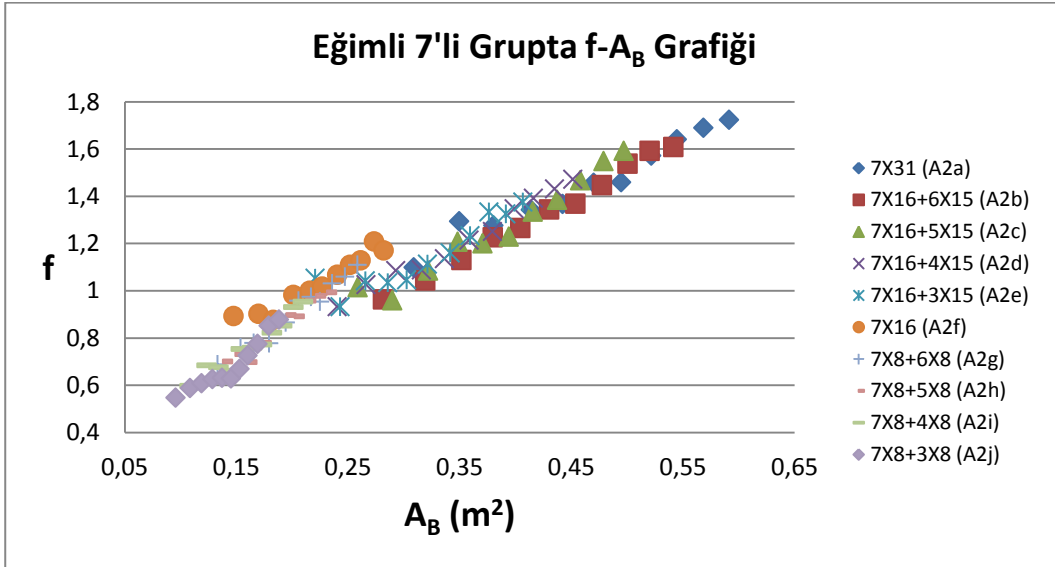


Şekil 3.21. Eğimin % 0.5 olduğu durumda küçük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 6'lı dizilimde yapılan deney verileri için C - λ grafiği (Chezy Pürüzlülük Katsayısı-Bitkisel Yoğunluk Parametresi)

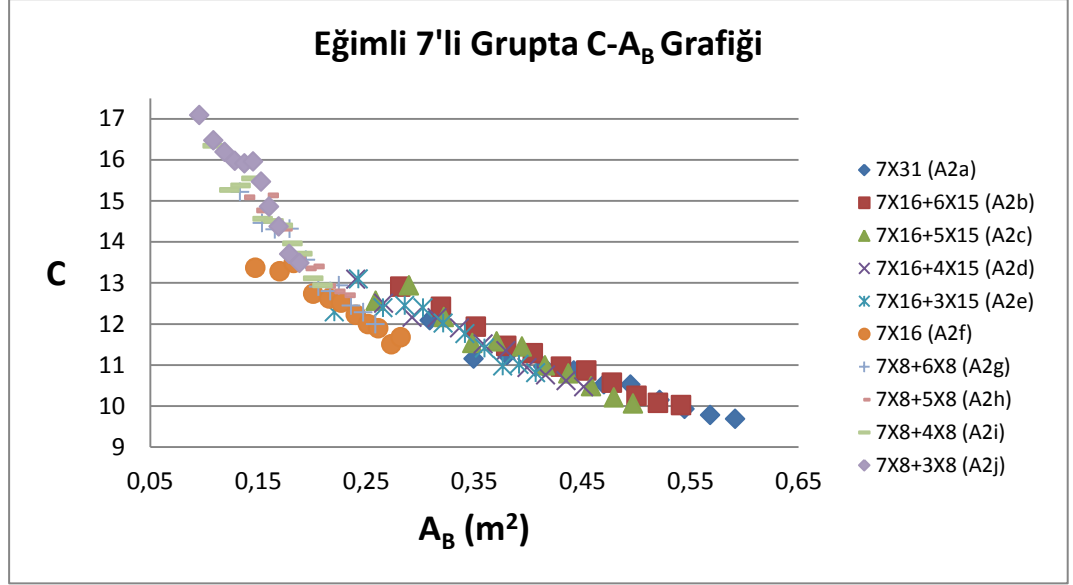
Şekil 3.19., Şekil 3.20. ve Şekil 3.21.'de verilen grafiklerde pürüzlülük elemanları olan n , f ve C katsayılarının kanal tabanında m^2 'ye düşen blokaj alanı olan λ ile ilişkisi gösterilmektedir. Grafiklerde en yüksek pürüzlülük değerinin en fazla sayıda pürüzlülük elemanı kullanılan dizilimde olduğu, en düşük pürüzlülük değerinin ise en az sayıda pürüzlülük elemanı kullanılan dizilimde olduğu görülmektedir. Buda dizilim kriterinden bağımsız olarak artan blokaj alanının, pürüzlülüğü arttıran temel etken olduğu gerçeğini ortaya koymaktadır.



Şekil 3.22. Eğimin % 0.5 olduğu durumda küçük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 7'li dizilimde yapılan deney verileri için n - A_B grafiği (Manning Pürüzlülük Katsayısı-Akışa Dik Yöndeki Toplam Blokaj Alanı)

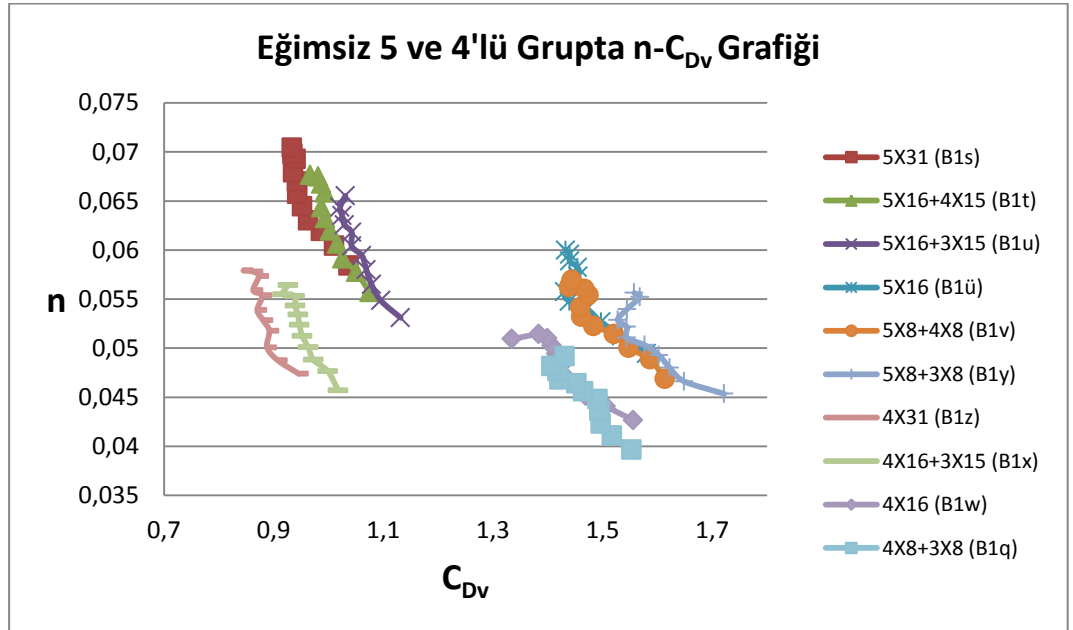


Şekil 3.23. Eğimin % 0.5 olduğu durumda küçük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 7'li dizilimde yapılan deney verileri için f - A_B grafiği (Darcy Weisbach Pürüzlülük Katsayısı-Akışa Dik Yöndeki Toplam Blokaj Alanı)

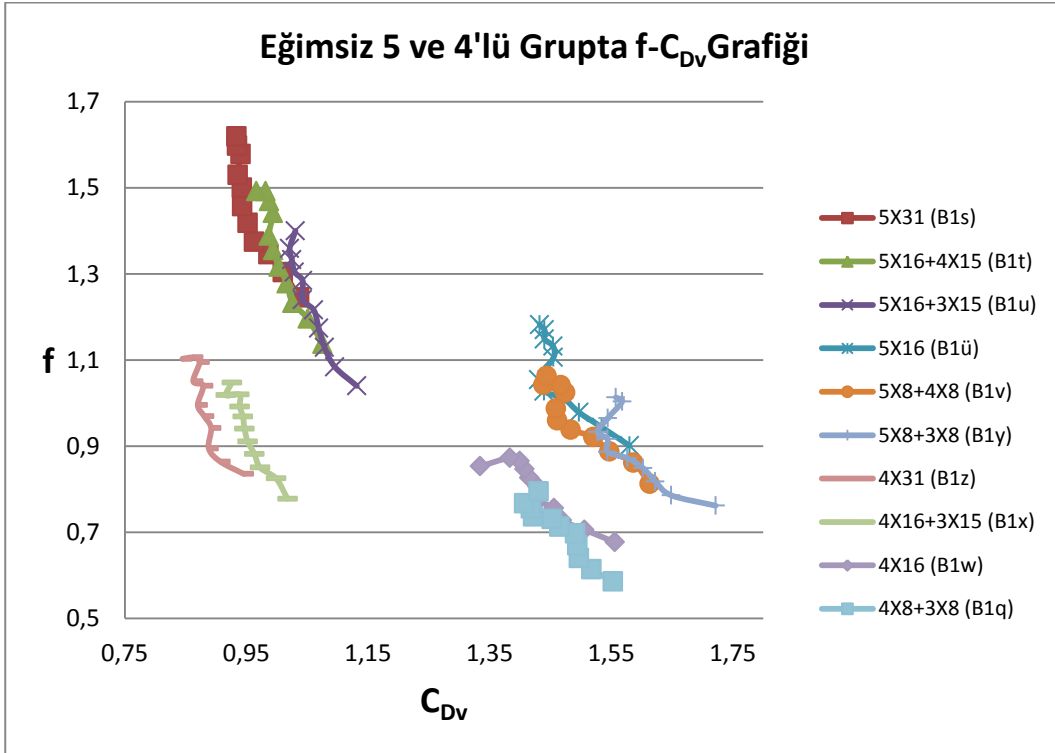


Şekil 3.24. Eğimin % 0.5 olduğu durumda küçük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 7'li dizilimde yapılan deney verileri için C - A_B grafiği (Chezy Pürüzlülük Katsayısı-Akışa Dik Yöndeki Toplam Blokaj Alanı)

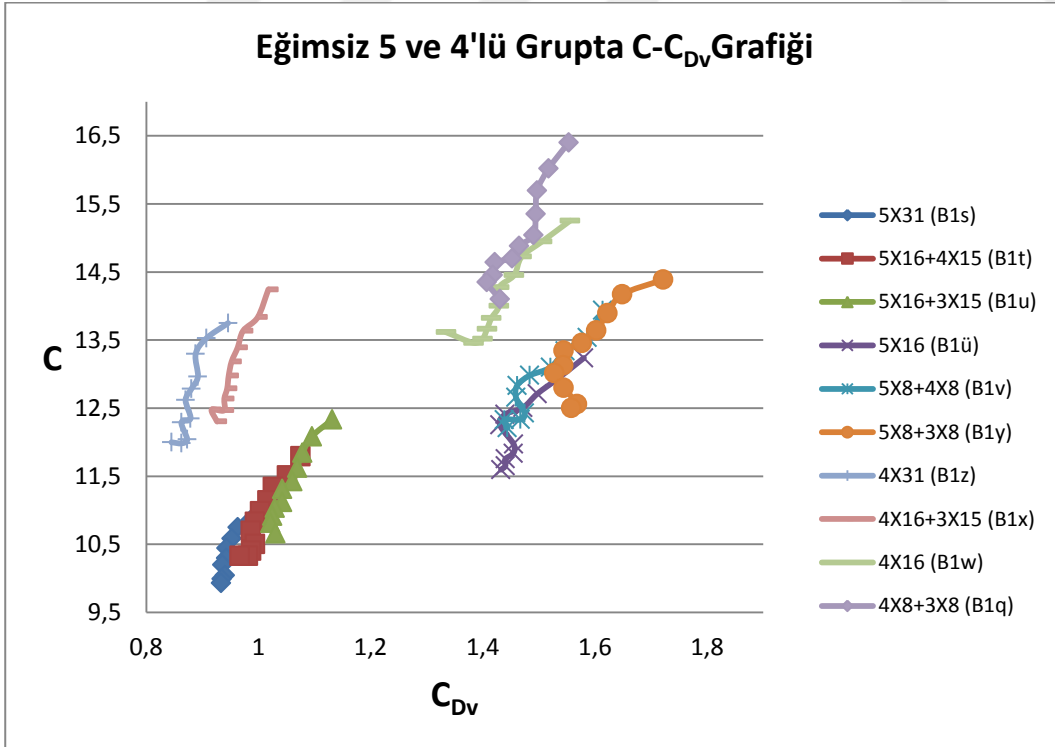
Şekil 3.22., Şekil 3.23. ve Şekil 3.24.'de verilen grafiklerde pürüzlülük elemanları olan n, f ve C katsayılarının akışa dik yönde toplam en kesitsel blokaj alanı olan AB ile ilişkisi gösterilmektedir. Akışa dik yönde toplam en kesitsel blokaj alanı, enini çap boyunu ortalama su yüksekliğinin oluşturduğu bir dikdörtgenin toplam pürüzlülük elemanı sayısı ile çarpımından oluşur.



Şekil 3.25. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 5 ve 4'lü dizilimde yapılan deney verileri için n - C_{Dv} grafiği (Manning Pürüzlülük Katsayısı-Bitkinel Sürtünme Faktörüne (Denklem (36)) Göre Hesaplanan Sürüklenme Katsayısı)



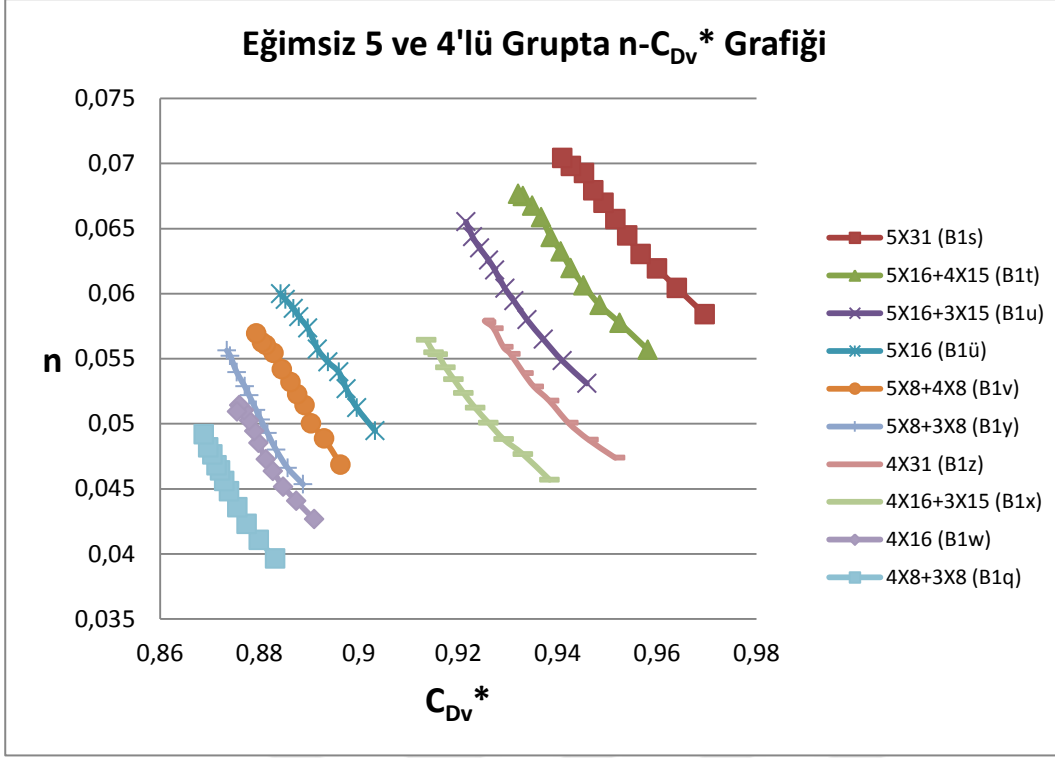
Şekil 3.26. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 5 ve 4'lü dizilimde yapılan deney verileri için $f - C_{Dv}$ grafiği (Darcy Weisbach Pürüzlülük Katsayısı-Bitkisel Sürtünme Faktörüne (Denklem (36)) Göre Hesaplanan Sürüklenme Katsayısı)



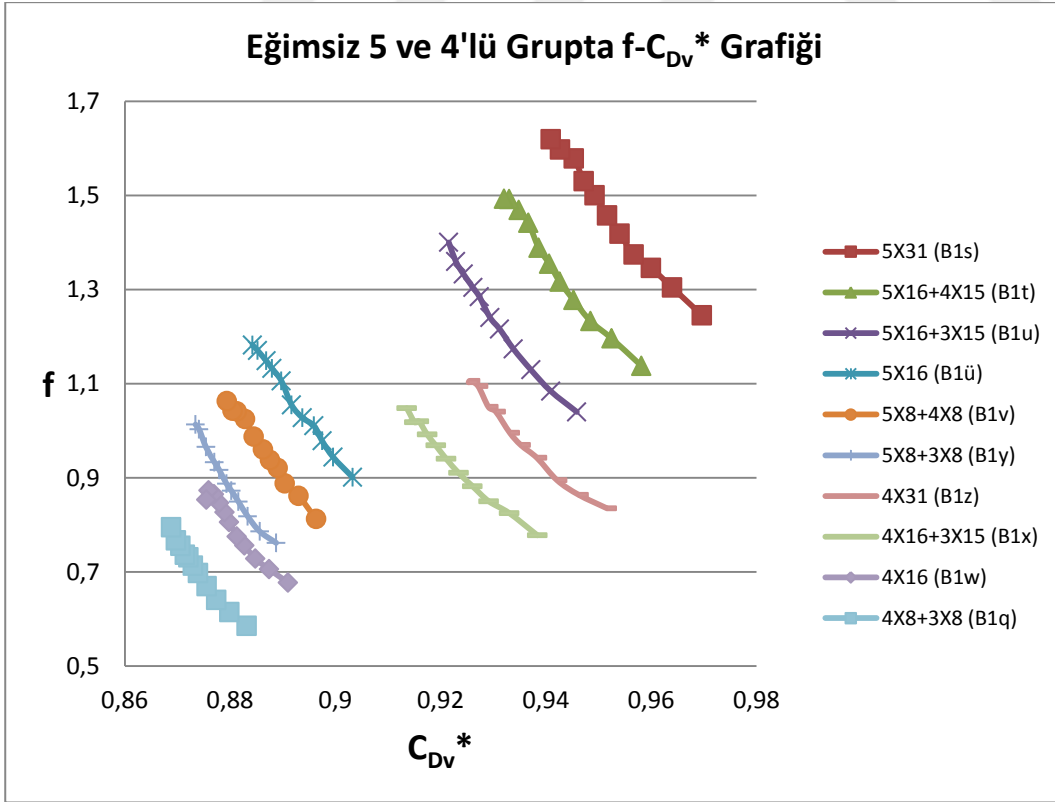
Şekil 3.27. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 5 ve 4'lü dizilimde yapılan deney verileri için $C - C_{Dv}$ grafiği (Chezy Pürüzlülük Katsayısı-Bitkisel Sürtünme Faktörüne (Denklem (36)) Göre Hesaplanan Sürüklenme Katsayısı)

Şekil 3.25., Şekil 3.26. ve Şekil 3.27.'de verilen grafiklerde pürüzlülük elemanları olan n , f ve C katsayılarının sürüklenme katsayısı olarak tanımlanabilecek CD_v ile ilişkisi gösterilmektedir. Teorik analiz kısmında belirtildiği üzere sürüklenme katsayısını hesaplamada kullanılan çeşitli formüller bulunmaktadır. Şekil 3.25, Şekil 3.26 ve Şekil 3.27'deki grafiklerde yer alan CD_v simgesi ile ifade edilen sürüklenme katsayısı, içerisindeki parametrelerde bitki çapı değerlerini barındıran denklem (36) ile hesaplanır. Grafiklerde görüldüğü üzere 4 farklı eğri kümesi görülmektedir. Bu kümelenmenin temel sebebi bitkisel yoğunluk durumudur. Sürüklenme katsayıları ile pürüzlülük katsayıları olan n ve f değerleri arasında ters, C değeri arasında doğru orantısal bir ilişki olduğu gözlenmektedir. Bununla birlikte bitkisel yoğunluk azaldıkça daha düşük pürüzlülük değerlerinde daha yüksek sürüklenme katsayısı değerlerine ulaşıldığı gözlenmektedir.

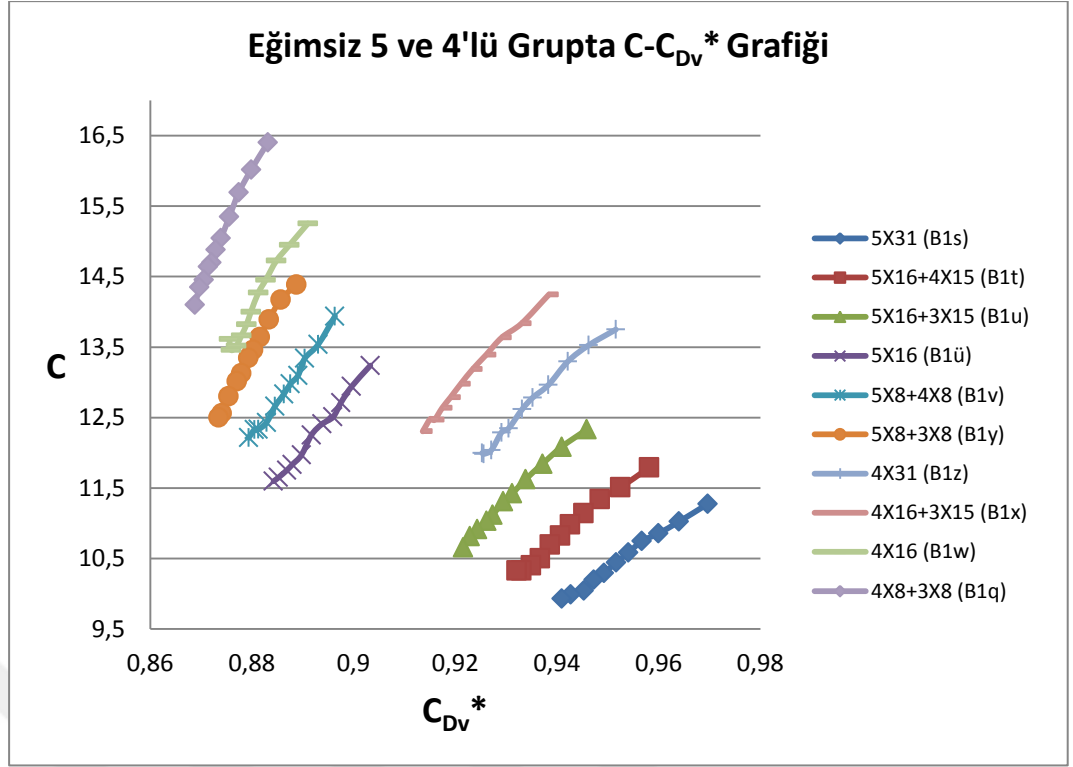
Şekil 3.28., Şekil 3.29. ve Şekil 3.30.'da verilen grafiklerde pürüzlülük elemanları olan n , f ve C katsayılarının sürüklenme katsayısının bir diğer türü olarak düşünülebilecek CD_v^* ile ilişkisi gösterilmektedir. CD_v^* hesaplanırken, bitkilerle ilişkilendirilmiş birimsiz bir parametre olan hidrolik yarıçap parametresi esas alınır ve hesaplamada teorik analiz kısmında yer verilen denklem (38) kullanılır. Sürüklenme katsayıları ile pürüzlülük katsayıları olan n ve f değerleri arasında ters, C değeri arasında doğru orantısal bir ilişki olduğu gözlenmektedir. Şekil 3.28., Şekil 3.29. ve Şekil 3.30.'da verilen grafiklere bakıldığında bitkisel yoğunluk parametresinin etkileri göze çarpmaktadır. Grafikte, 80 adet yapay pürüzlülük elemanına sahip 5X16 dizilimli deney seti eğrisi 124 adet yapay pürüzlülük elemanına sahip 4X31 ve 109 adet yapay pürüzlülük elemanına sahip 4X16+3X15 dizilimli deney seti eğrilerinin üzerindedir. Aynı tespit 72 adet yapay pürüzlülük elemanına sahip 5X8+4X8 dizilimli deney seti eğrisinin 109 adet yapay pürüzlülük elemanına sahip 4X16+3X15 dizilimli deney seti eğrisinin üzerinde bulunması durumu içinde geçerlidir.



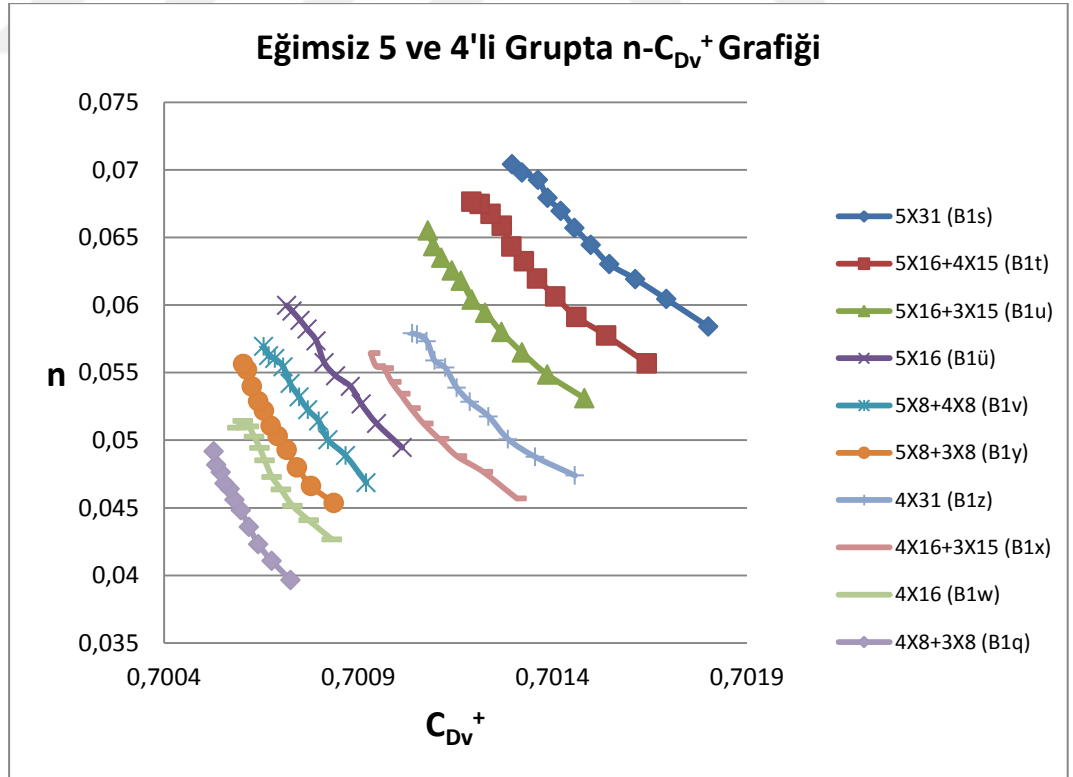
Şekil 3.28. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 5 ve 4'lü dizilimde yapılan deney verileri için $n - C_{Dv}^*$ grafiği (Manning Pürüzlülük Katsayısı-Hidrolik Yarıçapa (Denklem (38)) Göre Hesaplanan Sürüklenme Katsayısı)



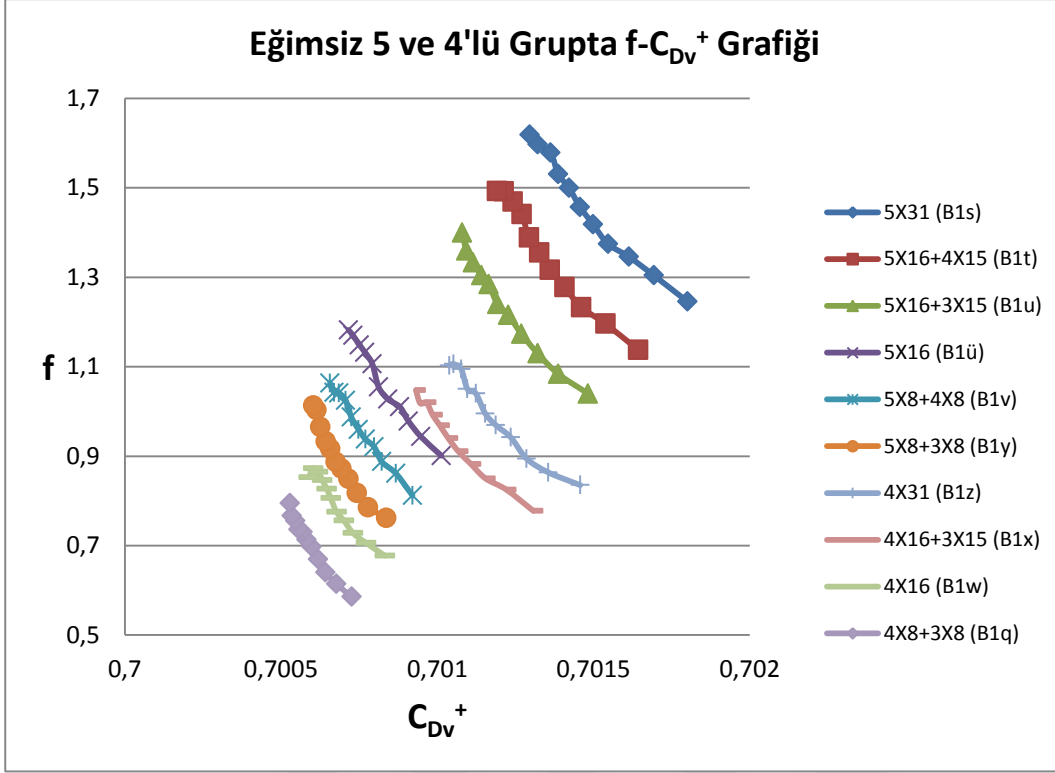
Şekil 3.29. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 5 ve 4'lü dizilimde yapılan deney verileri için $f - C_{Dv}^*$ grafiği (Darcy Weisbach Pürüzlülük Katsayısı-Hidrolik Yarıçapa (Denklem (38)) Göre Hesaplanan Sürüklenme Katsayısı)



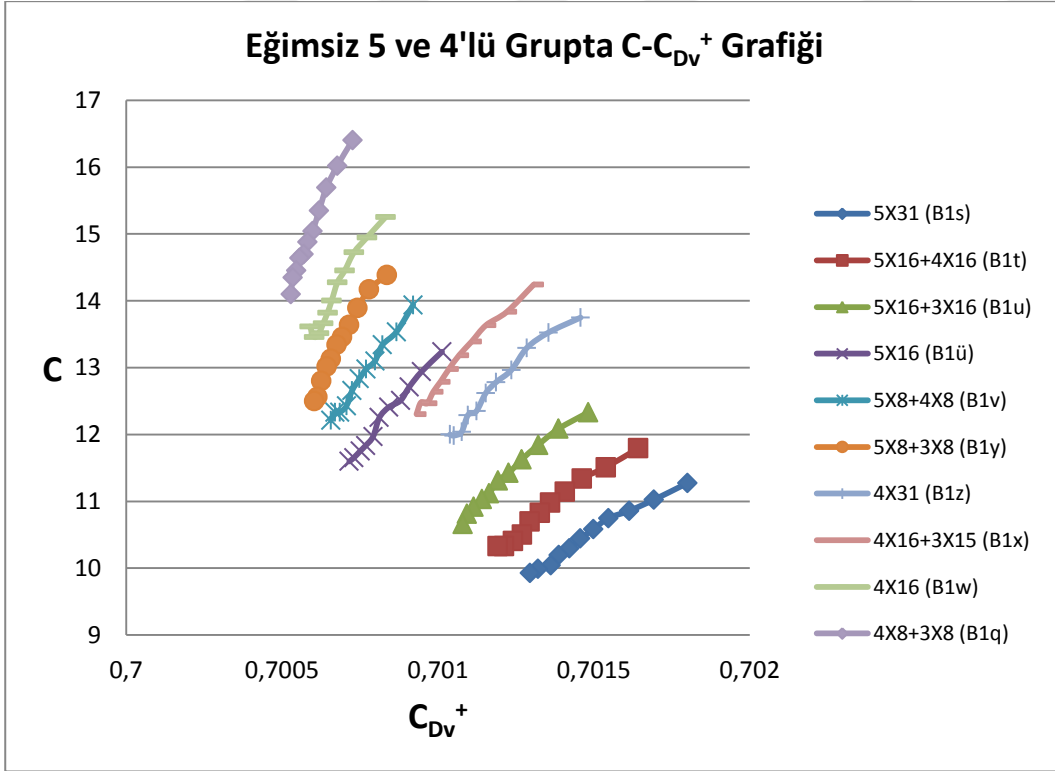
Şekil 3.30. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 5 ve 4'lü dizilimde yapılan deney verileri için C - C_{Dv}* grafiği (Chezy Pürüzlülük Katsayısı-Hidrolik Yarıçapa (Denklem (38)) Göre Hesaplanan Sürüklenme Katsayısı)



Şekil 3.31. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 5 ve 4'lü dizilimde yapılan deney verileri için n - C_{Dv}+ grafiği (Manning Pürüzlülük Katsayısı-Bitkilerle İlişkilendirilmiş Reynolds Sayısı (Denklem (37)) Göre Hesaplanan Sürüklenme Katsayısı)



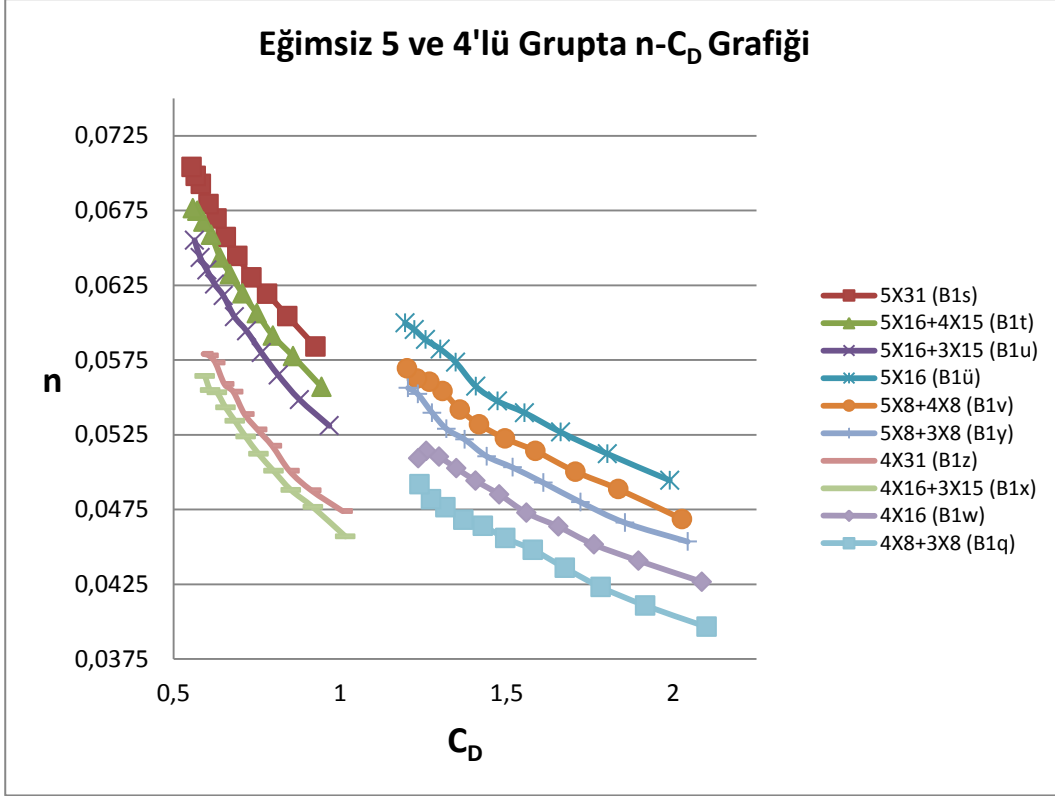
Şekil 3.32. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 5 ve 4'lü dizilimde yapılan deney verileri için $f - C_{Dv}^+$ grafiği (Darcy Weisbach Pürüzlülük Katsayısı-Bitkilerle İlişkilendirilmiş Reynolds Sayısı (Denklem (37)) Göre Hesaplanan Sürüklenme Katsayısı)



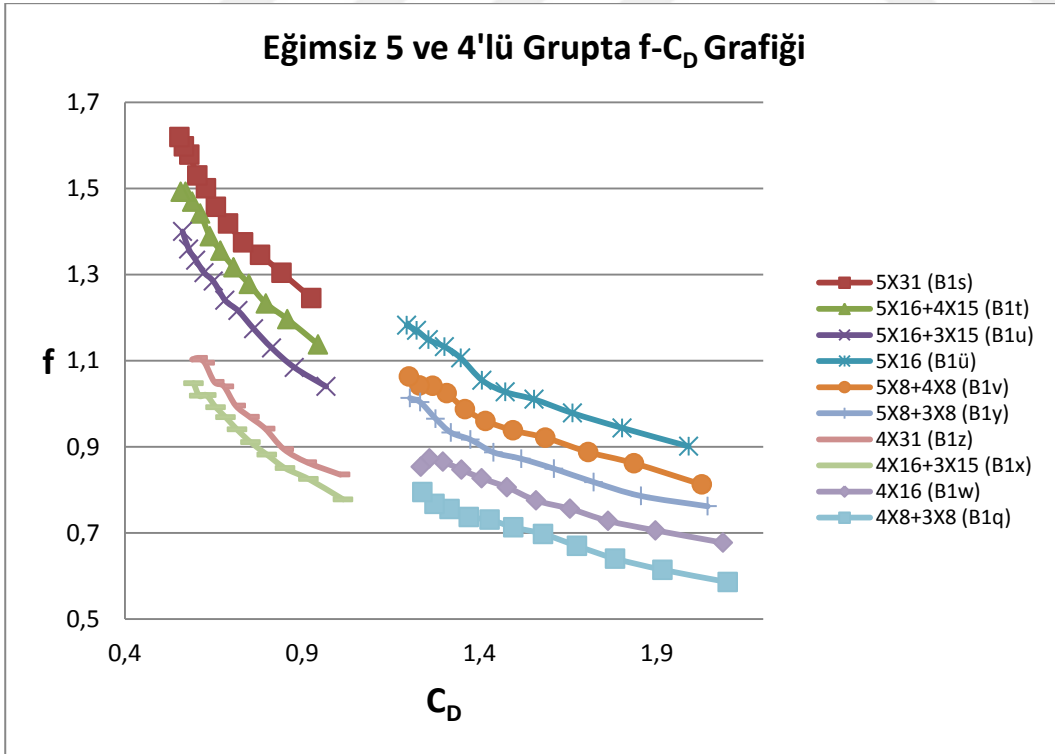
Şekil 3.33. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 5 ve 4'lü dizilimde yapılan deney verileri için $C - C_{Dv}^+$ grafiği (Chezy Pürüzlülük Katsayısı-Bitkilerle İlişkilendirilmiş Reynolds Sayısı (Denklem (37)) Göre Hesaplanan Sürüklenme Katsayısı)

Şekil 3.31., Şekil 3.32. ve Şekil 3.33.'de verilen grafiklerde pürüzlülük elemanları olan n , f ve C katsayılarının sürüklenme katsayısı olarak tanımlanabilecek $CDv+$ ile ilişkisi gösterilmektedir. Şekil 3.31., Şekil 3.32. ve Şekil 3.33.'de verilen grafiklerde pürüzlülük elemanları olan n , f ve C katsayılarının sürüklenme katsayısının bir başka türü olarak düşünülebilecek $CDv+$ ile ilişkisi gösterilmektedir. $CDv+$ hesaplanırken, içinde bitkisel parametreleri barındıran bir Reynolds sayısı kullanılmıştır ve hesaplamada teorik analiz kısmında yer verilen denklem (37) kullanılmıştır. Şekil 3.34., Şekil 3.35. ve Şekil 3.36.'da verilen grafiklerin davranışlarının genel olarak diğer sürüklenme katsayısı türleri ile çizilen grafiklerle benzer karakterde olduğu görülmektedir.

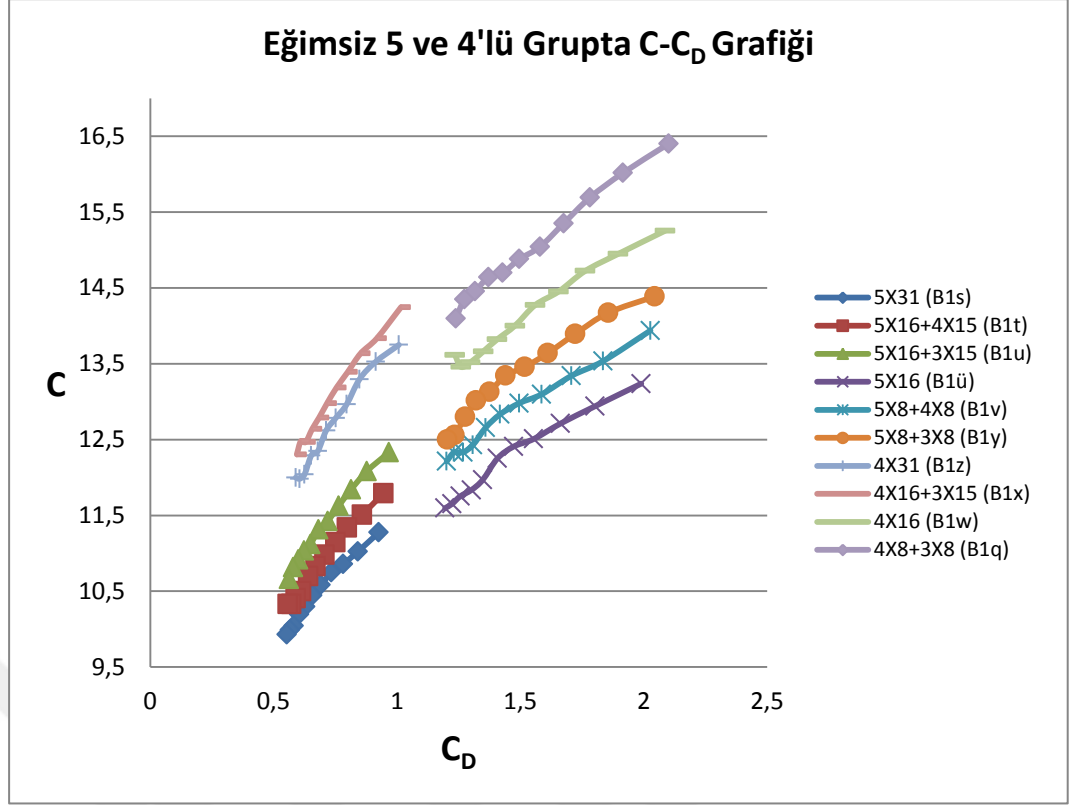
Denklem (36), (37) ve (38)'e göre hesaplanan sürüklenme katsayısı değerleri ile çizilen grafikler Şekil 3.25 ile Şekil 3.33 arasında verilmiştir. Tüm bu sürüklenme katsayısı değerleri Cheng and Nguyen (2011) tarafından yapılan çalışmalar esas alınarak hesaplanmıştır. Hui and Hu (2010) tarafından yapılan çalışmalar esas alınarak dizilim koşullarının etkisini de içinde barındıran teorik analiz kısmında yer alan denklem (31) kullanılarak hesaplanan, sürüklenme katsayısı değerleri de bu çalışma kapsamında belirlenmiştir. Bu değerler ile pürüzlülük katsayısı değerleri arasında çizilen grafiklerde, değer aralıkları değişmekle birlikte çizilen grafiklerin davranışlarının Şekil 3.25. ile Şekil 3.33. arasında verilen grafiklerdeki gibi olduğu gözlenmektedir. Bu grafiklerde sürüklenme katsayılarının; pürüzlülük katsayıları olan n ve f ile ters, C katsayısı ile doğru orantılı olarak değişim gösterdiği yargısına varılmaktadır.



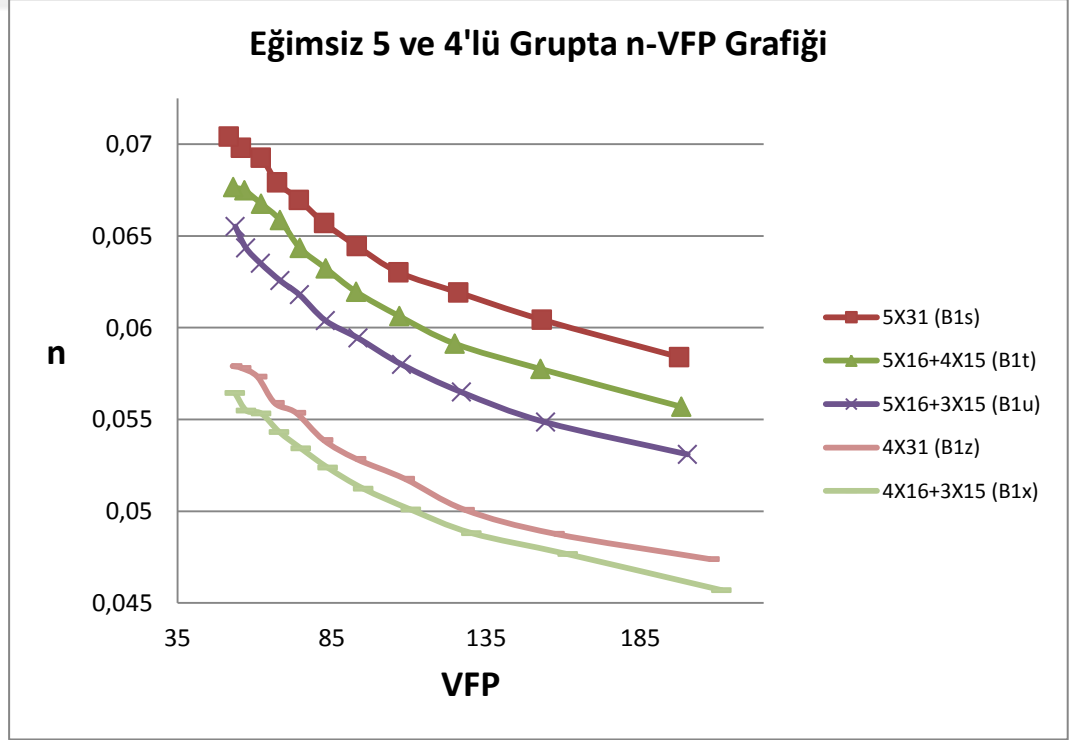
Şekil 3.34. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 5 ve 4'lü dizilimde yapılan deney verileri için $n - C_D$ grafiği (Manning Pürüzlülük Katsayısı-Dizilim Parametrelerine (Denklem (31)) Göre Hesaplanan Sürüklenme Katsayısı)



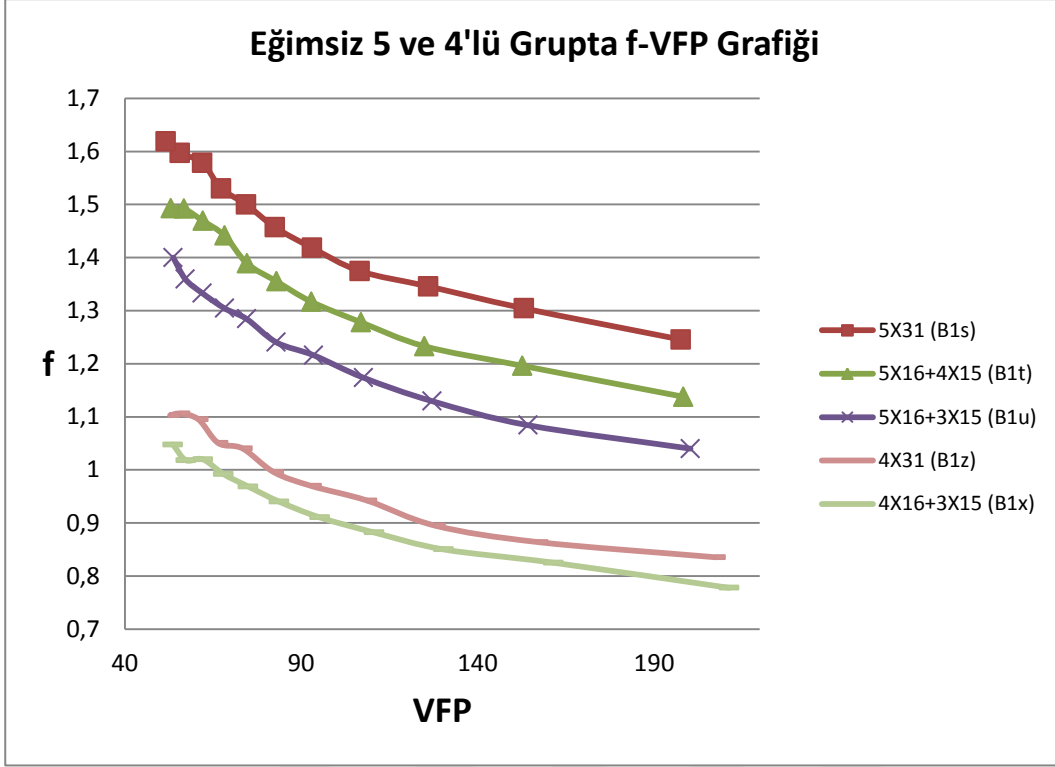
Şekil 3.35. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 5 ve 4'lü dizilimde yapılan deney verileri için $f - C_D$ grafiği (Darcy Weisbach Pürüzlülük Katsayısı-Dizilim Parametrelerine (Denklem (31)) Göre Hesaplanan Sürüklenme Katsayısı)



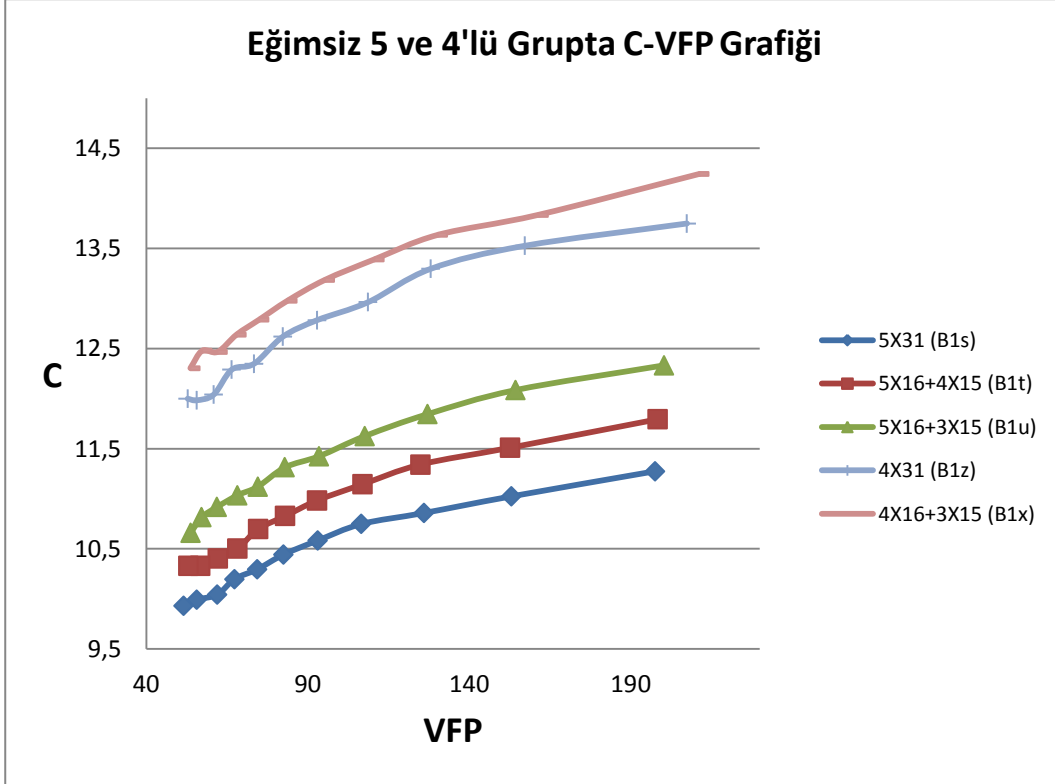
Şekil 3.36. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 5 ve 4'lü dizilimde yapılan deney verileri için C - C_D grafiği (Chezy Pürüzlülük Katsayısı-Dizilim Parametrelerine (Denklem (31)) Göre Hesaplanan Sürüklenme Katsayısı)



Şekil 3.37. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 5 ve 4'lü dizilimde yapılan deney verileri için n - VFP grafiği (Manning Pürüzlülük Katsayısı-Vegetation Flow Parameter)



Şekil 3.38. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 5 ve 4'lü dizilimde yapılan deney verileri için f - VFP grafiği (Darcy Weisbach Pürüzlülük Katsayısı-Vegetation Flow Parameter)



Şekil 3.39. Eğimin % 0 olduğu durumda büyük çaplı pürüzlülük elemanlarıyla 5 ve 4'lü dizilimde yapılan deney verileri için C - VFP grafiği (Chezy Pürüzlülük Katsayısı-Vegetation Flow Parameter)

Şekil 3.37., Şekil 3.38. ve Şekil 3.39.'da verilen grafiklerde pürüzlülük elemanları olan n , f ve C katsayılarının bitkisel akış parametresi olarak isimlendirilebilecek olan (Vegetation Flow Parameter) VFP ile ilişkisi gösterilmektedir. Teorik analiz kısmında denklem (40)'a bakılacak olursa VFP'nin pay kısmını rijitlik ve narinlik parametrelerinin çarpımının, payda kısmını ise hız, su yüksekliği ve dizilim parametrelerinin oluşturduğu görülmektedir. Grafikler incelendiğinde sürüklenme katsayılarında olduğu gibi VFP'nin de n ve f pürüzlülük katsayıları ile ters, C pürüzlülük katsayıları ile doğru orantılı bir ilişkiye sahip olduğu gözlenmektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar

Dizilim etkileri, eğim, çap ve blokaj alanı etkilerinin en iyi kıyaslanabileceği durumlar birim alana düşen pürüzlülük elemanı sayısının aynı olduğu deney setlerinin kıyaslandığı durumlardır. Deney setleri gözden geçirildiğinde üç adet aynı sayıda pürüzlülük elemanının kullanıldığı durum olduğu görülmektedir. Bunlar 80 adet yapay pürüzlülük elemanının kullanıldığı $7X8+3X8$, $6X8+4X8$ ve $5X16$ deney setleri, 88 adet yapay pürüzlülük elemanının kullanıldığı $6X8+5X8$ ve $7X8+4X8$ deneyleri ile 96 adet yapay pürüzlülük elemanın kullanıldığı $7X8+5X8$ ve $6X16$ deney setleridir. Bir deney setinde, kullanılan pürüzlülük elemanının çapına ve kanalın eğimine göre toplamda dört farklı deney yapıldığı için 96 ve 88 adet pürüzlülük elemanının kullanıldığı setlerde 8'er tane 80 adet pürüzlülük elemanının kullanıldığı deney setinde 12 adet kıyas yapılabilecek deney bulunmaktadır.

Tablo 4.1., Tablo 4.2. ve Tablo 4.3.'de bu deney setlerinde hesaplanan pürüzlülük katsayıları verilmiştir. Herbir satırda yeşil renkle gösterilen değerler, sabit pompa gücünde basılan debi sonucunda oluşan minimum pürüzlülük katsayısı değerini, sarı renkle gösterilen değerler ise sabit pompa gücünde basılan debi sonucunda oluşan maksimum pürüzlülük katsayısı değerini ifade eder. Örneğin ilk satırlarda yer alan yeşil renkli hücre pompa gücünün % 50'si kullanılarak basılan debi sonucunda hesaplanan pürüzlülük katsayısı değerlerinden en küçüğünü, sarı renkli hücre ise en büyüğünü ifade eder. Bu

maksimum ve minimum değerlerden kırmızı renk ile yazılanlar ise deneyde kullanılan tüm pompa yüzdeleri ile basılan debiler sonucu oluşan pürüzlülük katsayılarının en büyüğü veya en küçüğünü ifade eder. Tablolara bakılacak olursa beklenildiği şekilde bütün minimum değerler en küçük pompa çalıştırma yüzdesi olan % 50'de, maksimum değerler ise en büyük pompa çalıştırma yüzdesi olan % 100'de oluşmaktadır.

Tablolara bakılacak olursa maksimum değerlerin stabil olarak tek deney setinde oluştuğu, minimum değerlerin ise değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Bunun temel nedeni maksimum değerlerin hepsinin nehir rejiminde akışın olduğu büyük çaplı pürüzlülük elemanlarının kullanıldığı ve eğimin % 0 olduğu deney setlerinde, minimum değerlerin ise nehir rejiminden sel rejimine geçişlerin yaşandığı küçük çaplı pürüzlülük elemanlarının kullanıldığı ve eğimin % 0.5 olduğu deney setlerinde gerçekleşmesidir.

7x8+5X8 (Büyük Çap-%0.5 Eğimli) B2h	7x8+5X8 (Büyük Çap-Eğimsiz) B1h	7x8+5X8 (Küçük Çap-%0.5 Eğimli) A2h	7x8+5X8 (Küçük Çap- Eğimsiz) A1h	6x16 (Büyük Çap-%0.5 Eğimli) B2o	6x16 (Büyük Çap-Eğimsiz) B1o	6X16 (Küçük Çap-%0.5 Eğimli) A2o	6X16 (Küçük Çap-Eğimsiz) A1o
n	n	n	n	n	n	n	n
0.035622	0.055038	0.039451	0.056915	0.051018	0.059641	0.037535	0.046023
0.038413	0.057492	0.042609	0.052823	0.052814	0.061898	0.041534	0.048138
0.04353	0.059227	0.043972	0.053158	0.054956	0.063422	0.044241	0.048162
0.047296	0.060845	0.043282	0.05362	0.056873	0.065039	0.045994	0.049733
0.049307	0.062087	0.046192	0.055095	0.059709	0.065895	0.047116	0.051433
0.050363	0.063296	0.0489	0.058422	0.061804	0.06705	0.047091	0.054876
0.050287	0.063954	0.050287	0.059745	0.063138	0.068262	0.049744	0.056264
0.051014	0.064713	0.050305	0.061752	0.064073	0.068551	0.050961	0.058246
0.051179	0.065044	0.052479	0.062688	0.063967	0.069497	0.052925	0.058702
0.051582	0.065557	0.053286	0.06324	0.065226	0.070246	0.05329	0.059993
0.052051	0.065379	0.053965	0.063426	0.065685	0.071267	0.054202	0.060812
f	f	f	f	f	f	f	f
0.513552	1.104855	0.620876	1.179331	1.005971	1.289441	0.565769	0.77278
0.577556	1.171449	0.69936	0.982308	1.048515	1.358943	0.661968	0.819746
0.717032	1.217745	0.731157	0.974809	1.110244	1.405374	0.732633	0.804026
0.823418	1.264528	0.6976	0.976536	1.165137	1.462428	0.778097	0.845213
0.878582	1.300855	0.778128	1.017395	1.257184	1.48588	0.800534	0.893
0.903865	1.336328	0.857369	1.13541	1.32232	1.523078	0.788353	1.006354
0.893023	1.350787	0.896246	1.186799	1.363466	1.566717	0.867518	1.057314
0.910664	1.370148	0.890601	1.254361	1.390792	1.567902	0.900227	1.124904
0.908894	1.376721	0.957791	1.279998	1.375865	1.598298	0.959228	1.13018
0.91557	1.392456	0.977507	1.295744	1.419851	1.621783	0.962539	1.17159
0.926403	1.382924	0.992252	1.292046	1.433082	1.654438	0.987785	1.194577
c	c	c	c	c	c	c	c
17.74956	11.96628	16.0105	11.55804	12.61039	11.07815	16.77546	14.27111
16.74075	11.62181	15.08367	12.65874	12.35169	10.79573	15.48391	13.85483
15.00067	11.39981	14.76275	12.70613	12.0008	10.62178	14.71978	13.98971
13.98038	11.18904	15.12981	12.6964	11.71065	10.42169	14.29075	13.64757
13.53385	11.03643	14.31792	12.44001	11.26411	10.34479	14.08466	13.2805
13.34517	10.89152	13.64012	11.78157	10.97432	10.22224	14.19365	12.51416
13.43586	10.83567	13.34765	11.53823	10.80722	10.08638	13.53222	12.22525
13.31274	10.7594	13.40122	11.22236	10.70166	10.08452	13.28744	11.85601
13.32866	10.73926	12.92359	11.10965	10.76196	9.990237	12.87203	11.82625
13.28135	10.68517	12.7904	11.04625	10.59743	9.919854	12.84865	11.61671
13.2044	10.72941	12.69303	11.06002	10.55391	9.816533	12.68411	11.5049

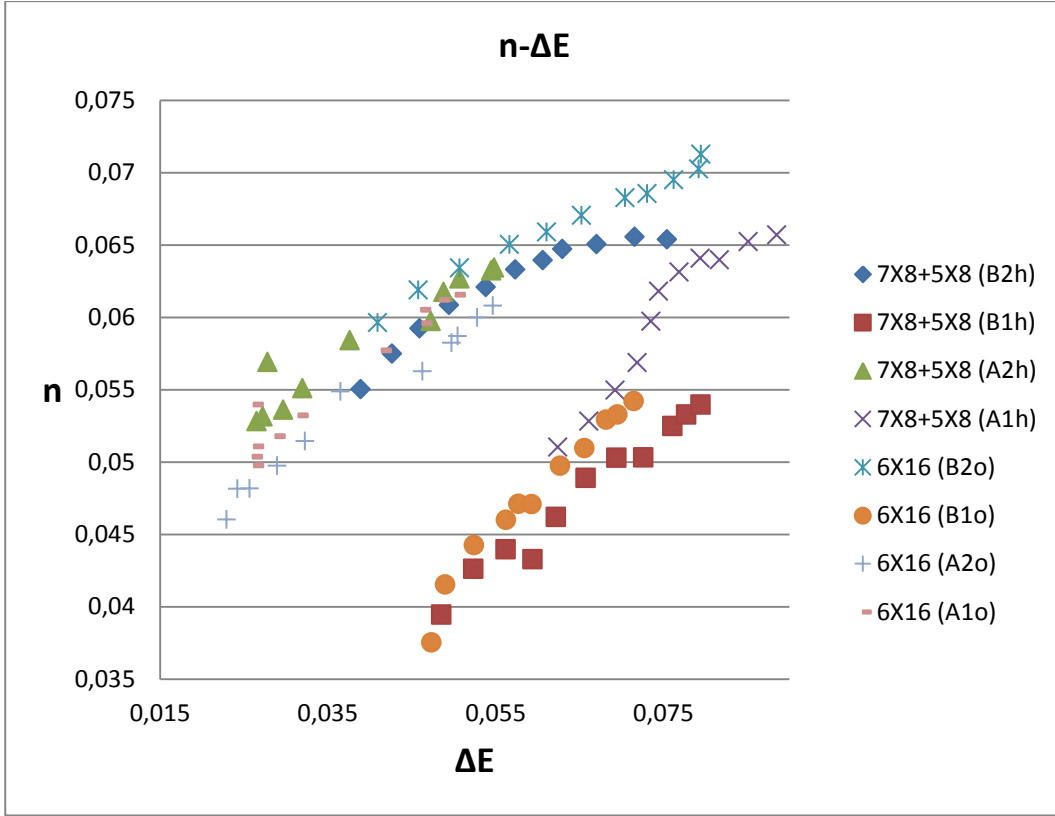
Tablo 4.1. Kullanılan pürüzlülük elemanı sayısının 96 olduğu deney setlerinde oluşan pürüzlülük katsayısı değerleri

6x8+5X8 (Büyük Çaplı-%0.5 Eğimli) B2ö	6x8+5X8 (Büyük Çaplı-Eğimsiz) B1ö	6x8+5X8 (Küçük Çaplı-%0.5 Eğimli) A2ö	6x8+5X8 (Küçük Çaplı-Eğimsiz) A1ö	7x8+4X8 (Büyük Çaplı-%0.5 Eğimli) B2i	7x8+4X8 (Büyük Çaplı-Eğimsiz) B1i	7x8+4X8 (Küçük Çaplı-%0.5 Eğimli) A2i	7x8+4X8 (Küçük Çaplı-Eğimsiz) A1i
n	n	n	n	n	n	n	n
0.043138	0.055537	0.036771	0.046981	0.03496	0.055436	0.038497	0.05397
0.044792	0.05748	0.039564	0.045983	0.038625	0.05749	0.041962	0.051056
0.048799	0.059261	0.04115	0.046854	0.042536	0.058856	0.042127	0.050363
0.051028	0.061012	0.041696	0.047764	0.044692	0.059931	0.042032	0.049771
0.053873	0.061625	0.042989	0.049547	0.046028	0.06127	0.045254	0.051774
0.055966	0.062931	0.045671	0.05174	0.047321	0.062074	0.045791	0.053219
0.057909	0.063679	0.046387	0.0533	0.047697	0.062418	0.046424	0.057711
0.059674	0.064902	0.049339	0.056237	0.048474	0.063159	0.04819	0.059589
0.060503	0.065539	0.049759	0.05736	0.04822	0.063686	0.049363	0.060523
0.061301	0.065835	0.052118	0.058419	0.048754	0.06405	0.05194	0.061204
0.060763	0.066616	0.05198	0.059351	0.049501	0.063918	0.052907	0.061546
f	f	f	f	f	f	f	f
0.734924	1.126293	0.546775	0.806318	0.49508	1.119034	0.596304	1.062149
0.771569	1.178252	0.605166	0.748754	0.582626	1.172329	0.683153	0.92117
0.887959	1.23145	0.638626	0.761909	0.685228	1.202853	0.674692	0.877791
0.95231	1.288604	0.643653	0.779341	0.740517	1.227242	0.660725	0.841592
1.038965	1.301301	0.673416	0.828767	0.772735	1.265193	0.752754	0.899015
1.100283	1.34287	0.747006	0.892968	0.804457	1.283377	0.758604	0.939505
1.160705	1.365945	0.758448	0.941578	0.808788	1.28534	0.771173	1.103557
1.214154	1.406879	0.845885	1.047208	0.827496	1.305107	0.821255	1.169112
1.2377	1.425559	0.850915	1.079206	0.81267	1.31864	0.851063	1.192975
1.2603	1.429815	0.923293	1.109512	0.824518	1.327736	0.929759	1.210112
1.233589	1.456062	0.91108	1.137139	0.844177	1.318566	0.9537	1.214656
c	c	c	c	c	c	c	c
14.76839	11.85155	17.06167	13.97069	18.06352	11.88719	16.34355	12.17681
14.42181	11.58988	16.19651	14.49523	16.64519	11.61703	15.26541	13.07233
13.42513	11.34114	15.76463	14.36864	15.33368	11.46812	15.36856	13.38899
12.963	11.09303	15.7109	14.20824	14.74801	11.35502	15.54266	13.67229
12.40121	11.04429	15.3647	13.78164	14.44193	11.18572	14.56392	13.23003
12.04091	10.87655	14.58667	13.2784	14.15479	11.10811	14.50838	12.94376
11.7192	10.79197	14.47303	12.93829	14.12444	11.10178	14.39923	11.9555
11.45019	10.63703	13.70214	12.28095	13.97223	11.01972	13.95636	11.62114
11.34383	10.57213	13.66008	12.09826	14.10301	10.96725	13.70711	11.5013
11.24313	10.55959	13.11419	11.93133	14.00794	10.93548	13.10844	11.42081
11.36655	10.46561	13.20352	11.78715	13.84403	10.97752	12.93492	11.40024

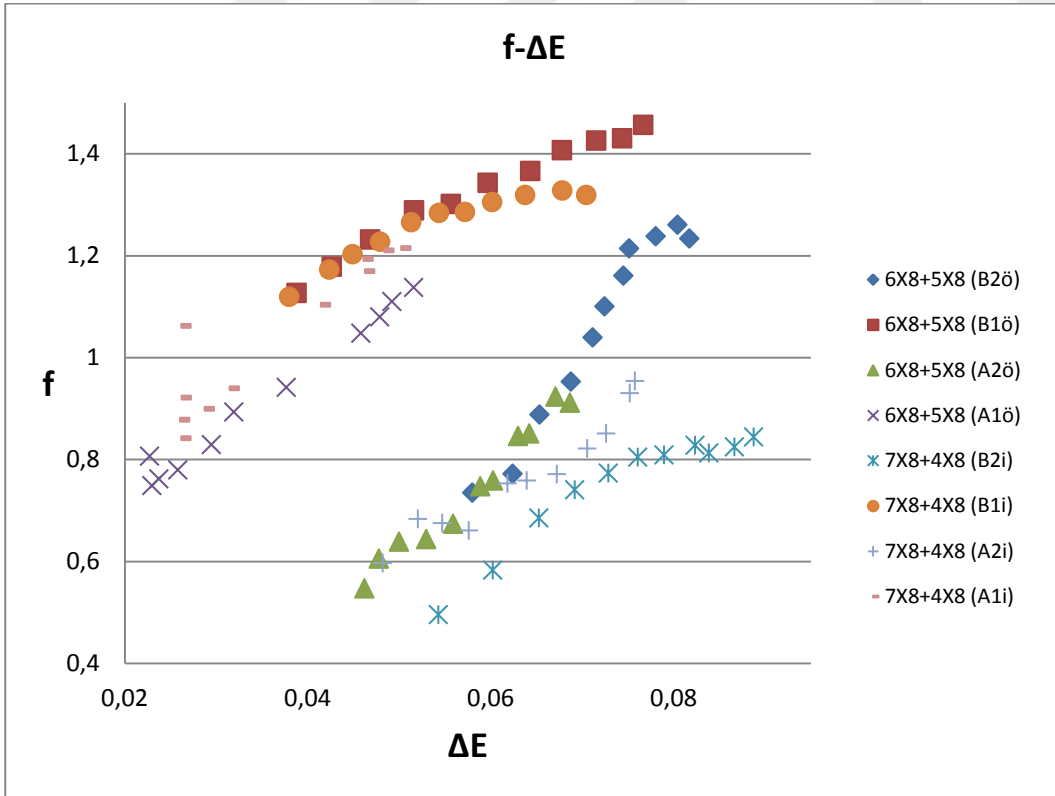
Tablo 4.2. Kullanılan pürüzlülük elemanı sayısının 88 olduğu deney setlerinde oluşan pürüzlülük katsayısı değerleri

7x8+3X8 (Büyük Çaplı-%0.5 Eğimli) B2j	7x8+3X8 (Büyük Çaplı-Eğimsiz) B1j	7x8+3X8 (Küçük Çaplı-%0.5 Eğimli) A2j	7x8+3X8 (Küçük Çaplı-Eğimsiz) A1j	6x8+4X8 (Büyük Çaplı-%0.5 Eğimli) B2p	6x8+4X8 (Büyük Çaplı-Eğimsiz) B1p	6x8+4X8 (Küçük Çaplı-%0.5 Eğimli) A2p	6x8+4X8 (Küçük Çaplı-Eğimsiz) A1p	5x16 (Büyük Çaplı-%0.5 Eğimli) B2ü	5x16 (Büyük Çaplı-Eğimsiz) B1ü	5X16 (Küçük Çaplı-%0.5 Eğimli) A2ü	5X16 (Küçük Çaplı-Eğimsiz) A1ü
n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
0.03039	0.050951	0.036677	0.047118	0.039422	0.05367	0.034528	0.044476	0.033552	0.049454	0.034556	0.043775
0.034438	0.053193	0.038713	0.047712	0.042634	0.055918	0.037086	0.043753	0.035766	0.051228	0.0369	0.045514
0.038476	0.054756	0.039842	0.049091	0.046342	0.05722	0.040091	0.044181	0.03768	0.052675	0.039552	0.043555
0.040288	0.055806	0.040799	0.048232	0.049978	0.058134	0.040918	0.04495	0.039866	0.053972	0.040793	0.044503
0.041886	0.056892	0.04131	0.048602	0.052249	0.059231	0.041482	0.046806	0.041741	0.054752	0.041345	0.045762
0.043605	0.057814	0.041475	0.050143	0.053445	0.060804	0.042391	0.048179	0.044448	0.055737	0.043168	0.046985
0.044327	0.058374	0.043054	0.053954	0.055572	0.061766	0.04391	0.049058	0.046591	0.057348	0.045297	0.048425
0.045615	0.059277	0.045086	0.055584	0.057157	0.062354	0.04608	0.05241	0.048593	0.058219	0.045895	0.050529
0.046909	0.060095	0.046924	0.057602	0.057478	0.062902	0.047921	0.054576	0.050286	0.05886	0.046484	0.05263
0.045963	0.060061	0.049566	0.058108	0.057862	0.064077	0.049557	0.054864	0.052215	0.059539	0.046858	0.054395
0.046264	0.060547	0.050698	0.057331	0.059453	0.064481	0.050048	0.055516	0.052814	0.059972	0.047149	0.054276
f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f
0.378843	0.952055	0.546035	0.812826	0.61791	1.052852	0.483829	0.724906	0.458132	0.900963	0.484388	0.704639
0.4684	1.010478	0.587632	0.809767	0.700919	1.116194	0.535476	0.682042	0.50445	0.943735	0.532465	0.741531
0.566931	1.048869	0.608169	0.838808	0.804038	1.147887	0.609443	0.68067	0.546658	0.978197	0.591356	0.664486
0.608971	1.070802	0.625384	0.79453	0.911402	1.169536	0.623208	0.692759	0.598614	1.010264	0.61632	0.681089
0.64647	1.096583	0.63114	0.795513	0.977052	1.200468	0.630425	0.74124	0.644516	1.027327	0.625623	0.710307
0.689568	1.118819	0.627586	0.836638	1.008326	1.251596	0.64745	0.776136	0.716408	1.054367	0.6686	0.738918
0.703972	1.128333	0.669082	0.963432	1.071849	1.280425	0.683482	0.796148	0.773692	1.106013	0.724225	0.777091
0.736436	1.153334	0.72569	1.018775	1.119668	1.295217	0.741038	0.906158	0.829361	1.132299	0.735033	0.842656
0.770718	1.177058	0.774815	1.083477	1.1203	1.309526	0.790402	0.978556	0.874481	1.148721	0.748157	0.911688
0.735881	1.169417	0.850987	1.091622	1.126199	1.350818	0.836858	0.980153	0.9319	1.170081	0.753003	0.967612
0.741342	1.184125	0.877211	1.053585	1.177956	1.360462	0.846697	0.995549	0.946015	1.182075	0.755972	0.955101
C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
20.66287	12.88445	17.08882	13.91675	16.11106	12.25279	18.13092	14.73238	18.71838	13.23774	18.11592	14.94262
18.5763	12.51065	16.4693	13.94282	15.12556	11.9037	17.22105	15.18811	17.84104	12.93964	17.27276	14.56851
16.87297	12.28097	16.19563	13.69682	14.10718	11.74009	16.1419	15.20137	17.14566	12.71122	16.37058	15.38756
16.28068	12.15415	15.97645	14.07106	13.23615	11.63487	15.96638	15.06847	16.38067	12.50833	16.03366	15.19753
15.80001	12.01104	15.91039	14.06272	12.77801	11.48885	15.88123	14.56994	15.78836	12.40851	15.9293	14.8826
15.29959	11.89267	15.96002	13.71405	12.57921	11.25679	15.66789	14.24003	14.96701	12.25349	15.40254	14.592
15.14709	11.84332	15.46939	12.78726	12.19225	11.13369	15.24266	14.06118	14.38911	11.96881	14.79522	14.23127
14.80776	11.71657	14.85702	12.44422	11.92657	11.07252	14.63515	13.1893	13.89197	11.83503	14.68782	13.67381
14.47574	11.60157	14.37112	12.06638	11.91847	11.01649	14.16567	12.70136	13.5134	11.75263	14.56522	13.15578
14.82229	11.64254	13.7019	12.02009	11.8879	10.85243	13.76733	12.69017	13.08855	11.65187	14.518	12.7755
14.77263	11.57423	13.48066	12.23352	11.62111	10.81449	13.68967	12.58906	12.98789	11.59668	14.49303	12.8569

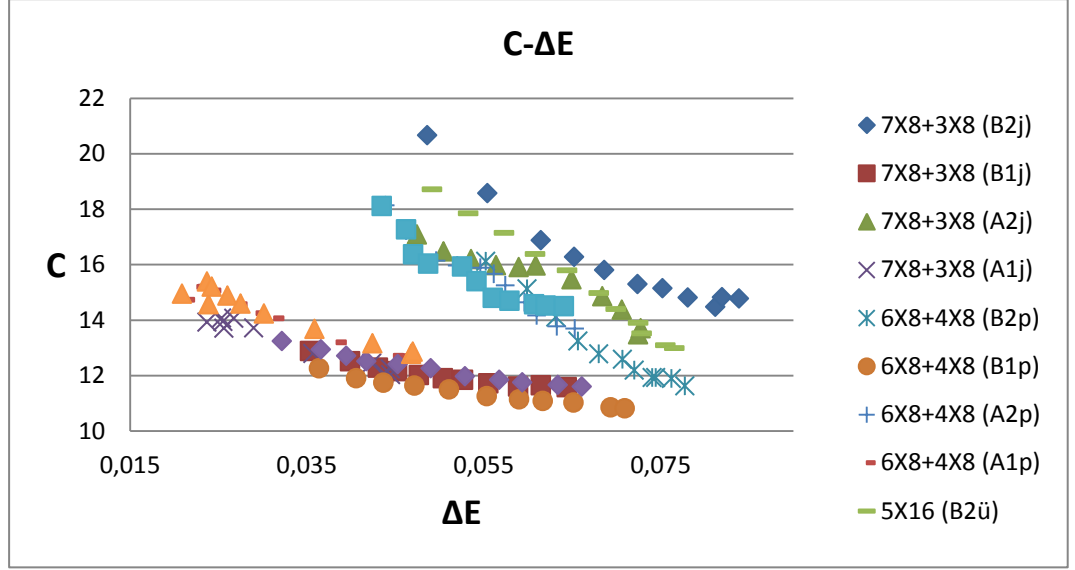
Tablo 4.3. Kullanılan pürüzlülük elemanı sayısının 80 olduğu deney setlerinde oluşan pürüzlülük katsayısı değerleri



Şekil 4.1. Kullanılan pürüzlülük elemanı sayısının 96 olduğu deney setlerinde hesaplanan n değerlerinin birinci ve ikinci kesitte ölçülen enerji yükseklikleri farkı ile değişimi



Şekil 4.2. Kullanılan pürüzlülük elemanı sayısının 88 olduğu deney setlerinde oluşan f pürüzlülük katsayısı değerlerinin birinci ve ikinci kesitte hesaplanan enerji yükseklikleri farkı ile değişimi



Şekil 4.3. Kullanılan pürüzlülük elemanı sayısının 80 olduğu deney setlerinde oluşan C pürüzlülük katsayısı değerlerinin birinci ve ikinci kesitte hesaplanan enerji yükseklikleri farkı ile değişimi

Gerek Şekil 4.1., Şekil 4.2. ve Şekil 4.3.'de verilen grafikler gerekse Tablo 4.1., Tablo 4.2. ve Tablo 4.3. pürüzlülüğün çap artışı ile doğru, eğim ile ters orantılı bir ilişkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Akış doğrultusundaki iki pürüzlülük elemanı arasındaki mesafe artışı pürüzlülüğü artırırken, Tablo 4.3.'ye bakıldığında 7 veya 5'li bir deney seti yerine 6'lı deney setinde maksimum pürüzlülüğün tespit edilmesi aynı bitkisel yoğunlukta akış yönüne dik pürüzlülük elemanı sayısından bağımsız olarak tandem dizilişlerin pürüzlülük üzerindeki artırıcı etkisine işaret eder.

Regresyon Analizi

Yürütülen deneysel çalışmalar, bitkilendirilmiş açık kanal akımlarında oluşan hidrolik direncin ortalama akış hızı, ortalama Reynolds sayısı, bitki sıraları arası düşey uzunluk, bitki çapı ve birim alandaki enkesitsel blokaj alanına bağlı olduğunu göstermiştir. Yürütülen deneysel çalışmalar sonucu elde edilen Manning Katsayısının bu değişkenlerden ne oranda etkilendiğini belirlemek için eğimli ve eğimsiz deney şartlarına özgü iki farklı regresyon modeli kurulmuştur. Çalışmamızda modelin girdi parametreleri olarak aşağıdaki parametreler seçilmiştir.

$$n = f (Vort, Reort, \Delta x_b, d, A_\lambda)$$

Eşitlik (2) dikkatle incelenecek olursa hız parametresinin n ile ters orantılı olarak değiştiği görülecektir. Eşitlik (19)'da ifade edilen Reynolds sayısının ise bulgular kısmında yer alan Şekil 3.1.'deki grafiğin incelenmesi durumunda n ile doğru orantılı olarak değiştiği gözlemlenmektedir. Birim alana düşen dikey blokaj olarak ifade edilebilecek olan A_λ ifadesi eşitlik (22) ile (23)'ün çarpımından oluşmaktadır.

$$A_\lambda = A_i * M \quad (42)$$

Δx_b ve A_λ parametrelerinin aynı şekilde blokaj etkisini arttırdığından dolayı n ile doğru orantılı olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Bitki çapı olan d parametresi hidrolik direnci artırıcı etkisini A_λ parametresi cinsinden ifade edilmiştir. Çok değişkenli üssel regresyon modeli aşağıdaki gibidir.

$$n = c_1 [Re_{ort}^{c_2} * \Delta x_b^{c_3} * A_\lambda^{c_4} d^{c_5} * V_{ort}^{c_6}]$$

Burada c_1 , c_2 , c_3 , c_4 , c_5 ve c_6 katsayılar olup doğrusal olmayan çoklu regresyon modeli ile bulunmuşlardır. Bu katsayı değerleri eğimin % 0 ve % 0.5 olduğu deney setleri için iki farklı regresyon modeli oluşturulduğundan her bir model için farklılık gösterir. Regresyon modeli oluşturulurken her deney setindeki 11 farklı debi değerinin oluşturduğu değerlerden 1,3,5,7,9 ve 11. değerler regresyon modelinin oluşturulmasında 2,4,6,8, ve 10. değerler ise bu modelin test edilmesinde kullanılmıştır.

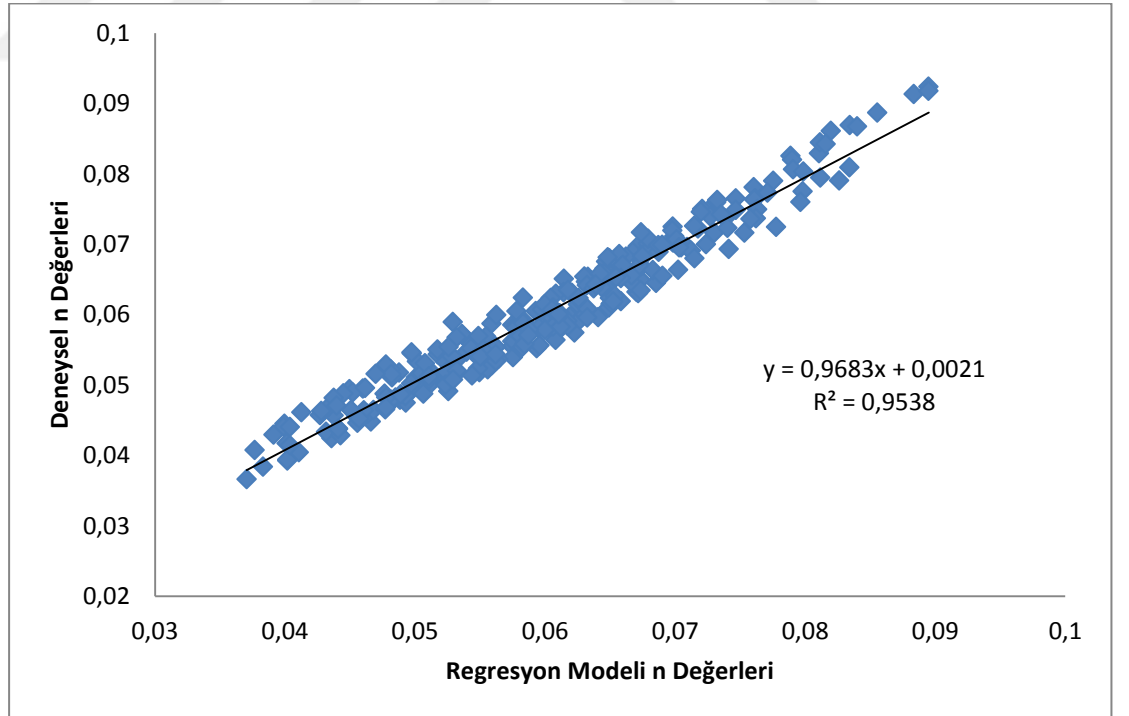
Yürütülen deneysel çalışmalar, izlenen matematiksel ve istatistiksel süreçler sonrasında eğimin % 0 olduğu deney şartları için geçerli regresyon modeli sonucu elde edilen denklem eşitlik (43)'de, eğimin % 0.5 olduğu deney şartları için geçerli denklem ise eşitlik (44)'te verilmiştir.

$$n = 0.001 \left[\frac{Re_{ort}^{0.42} * \Delta x_b^{0.22} * A_\lambda^{0.47}}{d^{0.05} * V_{ort}^{0.95}} \right] \quad (43)$$

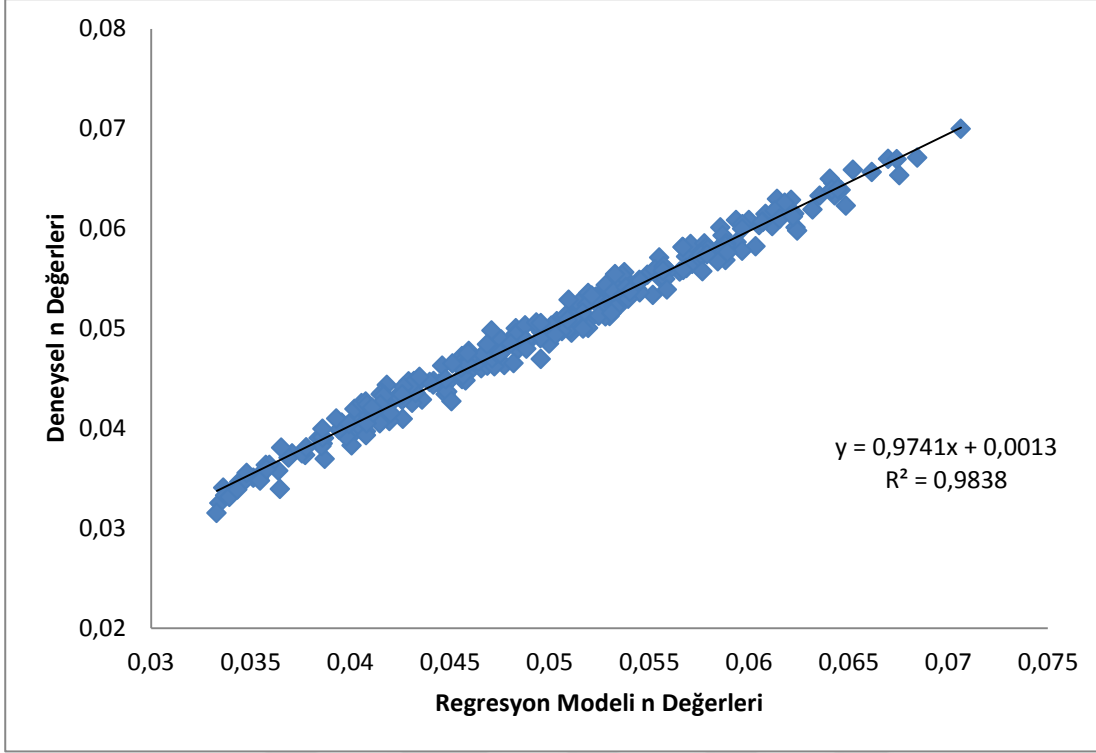
$$n = 0.000227 \left[\frac{Re_{ort}^{0.50} * \Delta x_b^{0.16} * A_\lambda^{0.36}}{d^{0.18} * V_{ort}^{1.20}} \right] \quad (44)$$

Regresyon modeli sonucunda tahmin edilen n değerlerinin gerçek değerlere ne kadar yakın olduğunun test edilebilmesi için deneysel olarak hesaplanmış n değerleri ile karşılaştırılması önem arz etmektedir. Bu yüzden test etmek için ayrılan 2,4,6,8 ve 10. debi değerleri için hesaplanan deneysel n değerleri ile regresyon modeli ile tahmin edilen n değerleri şekil 4.4. ve şekil 4.5.'de karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.4.'de eğimin % 0 olduğu deney şartlarında yürütülen deneylerde elde edilen n değerleri ile eşitlik (43) vasıtasıyla tahmin edilen n değerleri karşılaştırılmıştır. R^2 'nin 0.9538 olarak gözlenmesi gözlenen değerlerin oldukça yüksek bir başarı ile tahmin edildiği anlamına gelmektedir. Aynı durum Şekil 4.5.'de eğimin % 0.5 olduğu deney şartlarında yürütülen deneylerde elde edilen n değerleri ile eşitlik (44) sayesinde tahmin edilen n değerlerinin karşılaştırıldığı durum içinde geçerlidir. R^2 'nin 0.9838 çıkması eğimin % 0.5 olduğu deney şartlarında regresyon modelinin daha da sağlıklı tahminler yaptığını göstermektedir.



Şekil 4.4. Eğimin % 0 olduğu deney şartlarında regresyon modeli tarafından tahmin edilen n değerleri ile deneysel olarak hesaplanan n değerlerinin dağılımı



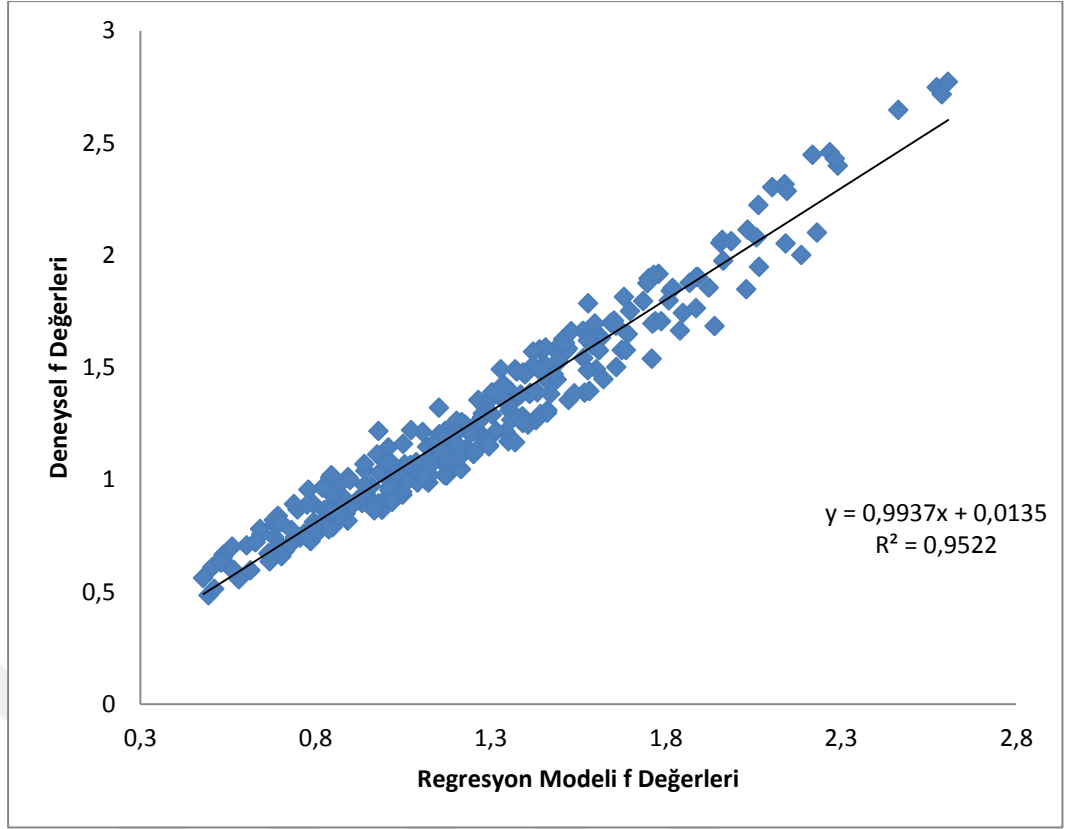
Şekil 4.5. Eğimin % 0.5 olduğu deney şartlarında regresyon modeli tarafından tahmin edilen n değerleri ile deneysel olarak hesaplanan n değerlerinin dağılımı

Darcy Weisbach pürüzlülük katsayısı f 'nin aynı değişkenlerle eğimin % 0 olduğu deney şartları için geçerli denklem eşitliği (45)'de, eğimin % 0.5 olduğu deney şartları için geçerli denklemi ise eşitlik (46)'te verilmiştir.

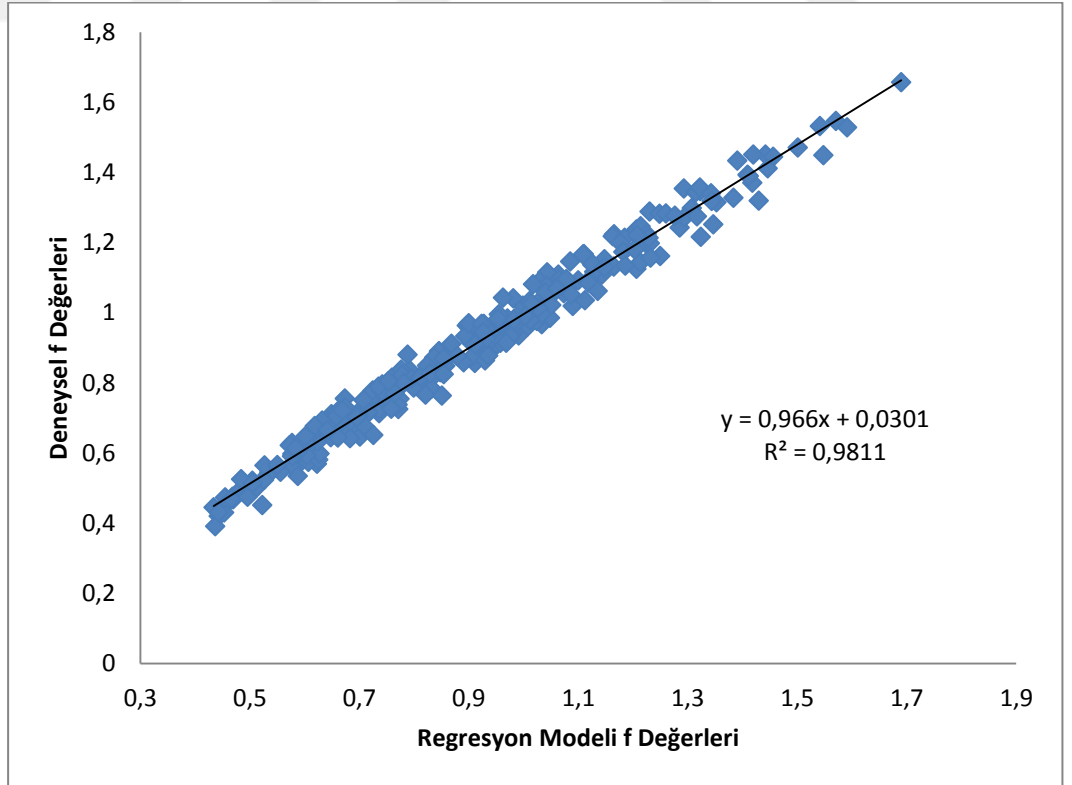
$$f = (-4.34) \left[\frac{Re_{ort}^{0.53} * \Delta x_b^{0.44} * A_\lambda^{0.94}}{d^{0.11} * V_{ort}^{1.58}} \right] \quad (45)$$

$$f = (-7.73) \left[\frac{Re_{ort}^{0.69} * \Delta x_b^{0.32} * A_\lambda^{0.71}}{d^{0.35} * V_{ort}^{2.13}} \right] \quad (46)$$

Şekil 4.6.'da eğimin % 0 olduğu deney şartlarında yürütülen deneylerde elde edilen f değerleri ile eşitlik (45) vasıtasıyla tahmin edilen f değerleri karşılaştırılmıştır. R^2 'nin 0.9937 olarak gözlenmesi gözlenen değerlerin oldukça yüksek bir başarı ile tahmin edildiği anlamına gelmektedir. Aynı durum Şekil 4.7.'de eğimin % 0.5 olduğu deney şartlarında yürütülen deneylerde elde edilen f değerleri ile eşitlik (46) sayesinde tahmin edilen f değerlerinin karşılaştırıldığı durum içinde geçerlidir. R^2 'nin 0.966 çıkması eğimin % 0.5 olduğu deney şartlarında regresyon modelinin daha da sağlıklı tahminler yaptığını göstermektedir.



Şekil 4.6. Eğimin % 0 olduğu deney şartlarında regresyon modeli tarafından tahmin edilen f değerleri ile deneysel olarak hesaplanan f değerlerinin dağılımı



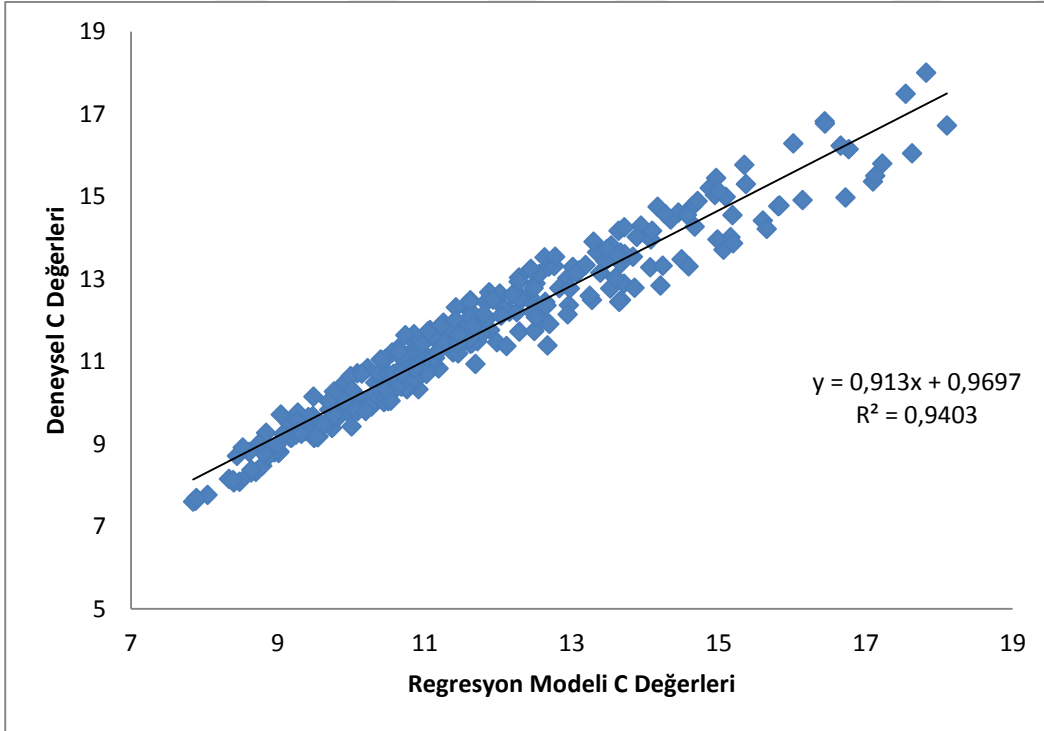
Şekil 4.7. Eğimin % 0.5 olduğu deney şartlarında regresyon modeli tarafından tahmin edilen f değerleri ile deneysel olarak hesaplanan f değerlerinin dağılımı

Aynı şekilde Chezy pürüzlülük katsayısı f 'nin aynı değişkenlerle eğimin % 0 olduğu deney şartları için geçerli denklem eşitliği (47)'de, eğimin % 0.5 olduğu deney şartları için geçerli denklemi ise eşitlik (48)'te verilmiştir.

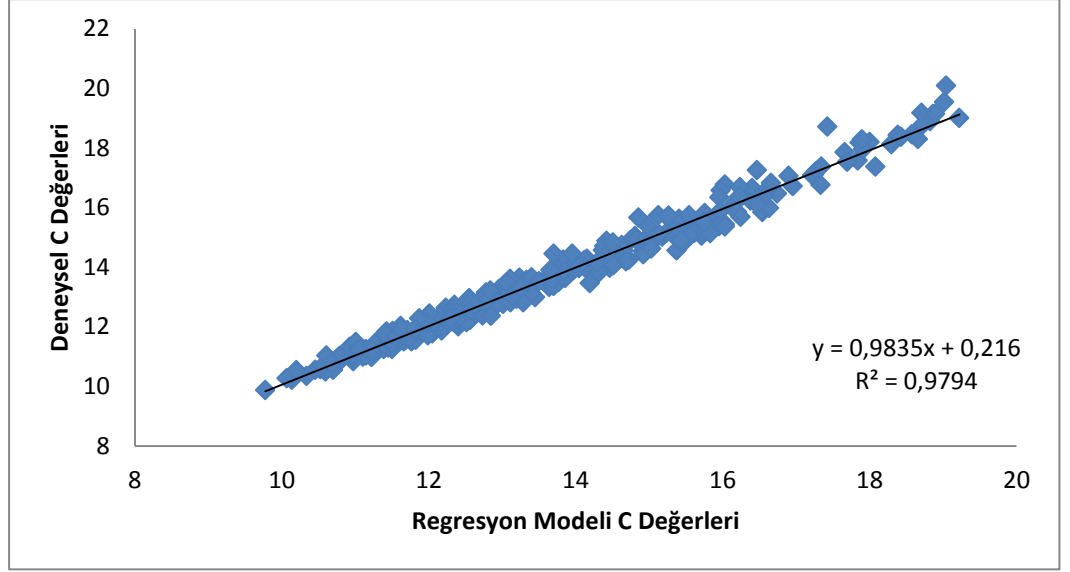
$$C = (4.92) \left[\frac{V_{ort}^{0.82} * d^{0.05}}{\Delta x_b^{0.21} * Re_{ort}^{0.28} * A_\lambda^{0.46}} \right] \quad (47)$$

$$C = (6.68) \left[\frac{V_{ort}^{1.11} * d^{0.17}}{\Delta x_b^{0.16} * Re_{ort}^{0.37} * A_\lambda^{0.34}} \right] \quad (48)$$

Şekil 4.8.'de eğimin % 0 olduğu deney şartlarında yürütülen deneylerde elde edilen C değerleri ile eşitlik (47) vasıtasıyla tahmin edilen C değerleri karşılaştırılmıştır. R^2 'nin 0.9403 olarak gözlenmesi gözlenen değerlerin oldukça yüksek bir başarı ile tahmin edildiği anlamına gelmektedir. Aynı durum Şekil 4.9.'da eğimin % 0.5 olduğu deney şartlarında yürütülen deneylerde elde edilen C değerleri ile eşitlik (48) sayesinde tahmin edilen C değerlerinin karşılaştırıldığı durum içinde geçerlidir. R^2 'nin 0.9794 çıkması eğimin % 0.5 olduğu deney şartlarında regresyon modelinin daha da sağlıklı tahminler yaptığını göstermektedir.

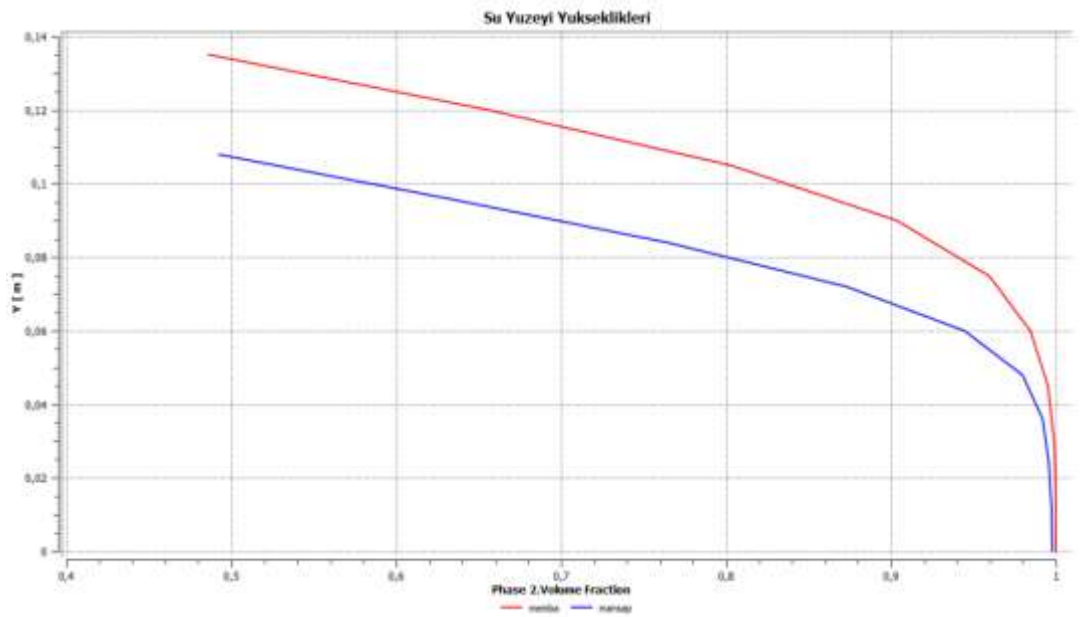


Şekil 4.8. Eğimin % 0 olduğu deney şartlarında regresyon modeli tarafından tahmin edilen C değerleri ile deneysel olarak hesaplanan C değerlerinin dağılımı



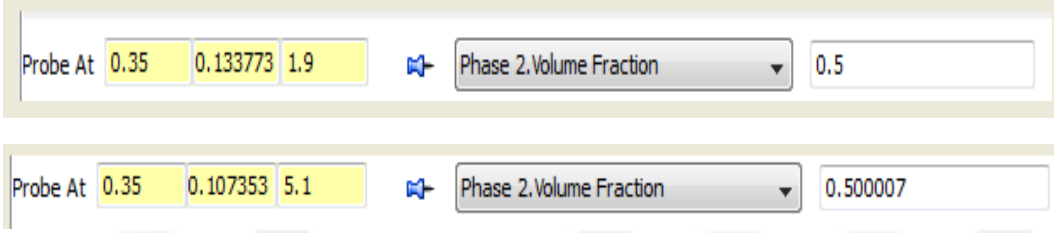
Şekil 4.9. Eğimin % 0.5 olduğu deney şartlarında regresyon modeli tarafından tahmin edilen C değerleri ile deneysel olarak hesaplanan C değerlerinin dağılımı

Regresyon modellerinin tahmin başarısı, sadece regresyon katsayılarının yüksek olmalarıyla değil aynı zamanda nümerik analiz çıktıları kullanılarak elde edilen Manning, Darcy Weisbach ve Chezy pürüzlülük katsayıları ile deneysel süreç sonrası elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan Manning, Darcy Weisbach ve Chezy pürüzlülük katsayıları arasındaki tutarlılık ile de sınıandı. Örnek alınan analiz % 0 eğimde, 35.69 lt/sn debi değerinde, 16 mm gövde çapı ve 5X8+3X8 bitki dizilimine ait durum için yapılmıştır.



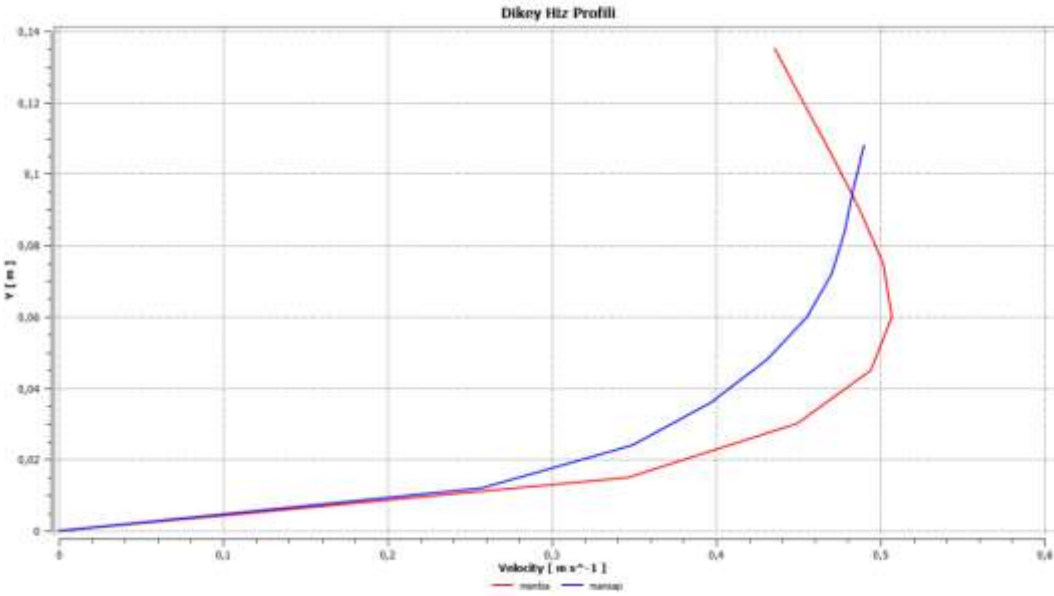
Şekil 4.10. Çözücünün su yüksekliği eğrileri

Şekil 4.10.'da çözücünün su yüksekliği eğrileri yer almaktadır. Kırmızı eğriyle memba, mavi eğriyle mansap tarafındaki ultrasonik seviye ölçer koordinatlarındaki su yükseklikleri gösterilmiştir. Burada referans alınacak yükseklik su ile hava ayrımını gösteren X eksenindeki 0.5 değerine karşılık gelen Y eksenindeki değerdir. Bu değerlerin daha net olarak belirlenmiş halleri Şekil 4.11.'de verilmiştir.



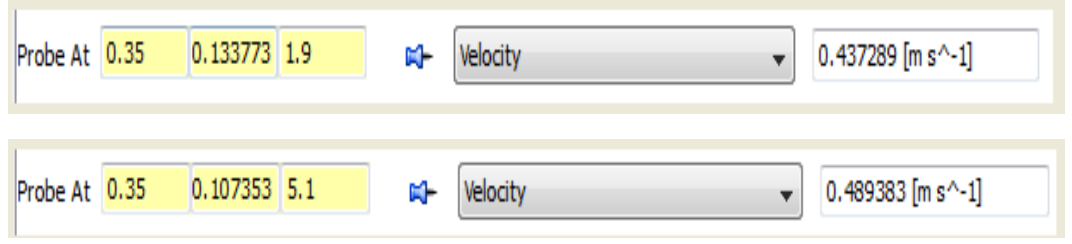
Şekil 4.11. Su seviyesi değerleri

Şekil 4.12.'de ultrasonik seviye ölçerlerin bulunduğu koordinatlardaki dikey hız profilleri gösterilmiştir. Kırmızı eğriyle memba, mavi eğriyle mansap tarafındaki hız profilleri gösterilmiştir. Burada referans alınacak hız değeri, şekil 4.11.'de verilen Y eksenindeki koordinatlara karşılık gelen hız değerleri olmalıdır.



Şekil 4.12. Çözücünün dikey hız profili eğrileri

Şekil 4.13.'de ultrasonik seviye ölçerlerin bulunduğu koordinatlardaki su yüzeyi hız değerleri verilmiştir.



Şekil 4.13. Çözücünün hız değerleri

Çözücü tarafından yapılan nümerik analiz sonucu elde edilen değerler kullanılarak hesaplanan Manning pürüzlülük katsayısı değeri 0.03657 olurken, deneysel süreçler sonrası elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan Manning pürüzlülük katsayısı değeri 0.04014 olarak hesaplanmıştır. Değerlerin birbirine oranlanması durumunda çıkan 0.911 değeri, nümerik analiz çıktıları ile deneysel süreç sonrası elde edilen çıktıların % 91 oranında tutarlılık gösterdiği anlamına gelir. Aynı şekilde çözücü tarafından yapılan nümerik analiz sonucu elde edilen değerler kullanılarak hesaplanan Darcy Weisbach pürüzlülük katsayısı değeri 0.55918 olurken, deneysel süreçler sonrası elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan Darcy Weisbach pürüzlülük katsayısı değeri 0.4705 olarak hesaplanmıştır. Değerlerin birbirine oranlanması durumunda çıkan 0.841 değeri, nümerik analiz çıktıları ile deneysel süreç sonrası elde edilen çıktıların % 84 oranında tutarlılık gösterdiği anlamına gelir. Aynı şekilde çözücü tarafından yapılan nümerik analiz sonucu elde edilen değerler kullanılarak hesaplanan Chezy pürüzlülük katsayısı değeri 16.7713 olurken, deneysel süreçler sonrası elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan Chezy pürüzlülük katsayısı değeri 18.2877 olarak hesaplanmıştır. Değerlerin birbirine oranlanması durumunda çıkan 0.917 değeri, nümerik analiz çıktıları ile deneysel süreç sonrası elde edilen çıktıların % 91'den daha fazla oranda tutarlılık gösterdiği anlamına gelir. Bu durum gerek izlenen deneysel sürecin gerekse oluşturulan regresyon modelleri ve nümerik analizin başarısını göstermektedir.

4.2. Öneriler

Sonuç bölümünde yer alan verilerden de görüleceği gibi literatürde yapılan çalışmalara katkı sağlayacak bulgular elde edilmiştir. Hem deneysel hem istatistiki (çok değişkenli üssel regresyon) hemde bilgisayar simülasyonu yaklaşımları ile ele alınan bitki pürüzlülüğü konusu detaylıca irdelenmiştir. Ölçülen deneysel sonuçlar diğer teorik ve bilgisayar sonuçları ile karşılaştırıldığında önerilen yaklaşımın başarısı ortaya konulmuştur. Bundan sonra yapılacak benzer çalışmalara temel teşkil edebilecek saptamalara ulaşılmıştır. Diziliş parametreleri ve bitkisel yoğunluk gibi akışı etkileyebilecek nitelikteki birçok parametre üzerine tespitlerde bulunulmuştur.

Çalışmamızda önemli geliştirilmesi gereken kısım ise daha modern ölçüm aletlerinin (üç boyutlu hız ölçümü, lazerle hız ölçüm cihazları vs. gibi) deneylerde kullanılmasıdır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Barkdoll, B.D., Vittilam, S., Bennett, S.J. and Alonso, C.V.**, 2004, Flow Resistance of Emergent Vegetation, Critical Transitions in Water and Environmental Resources Management, World Water Congress 2004.
- Bilgil, A.**, 1999, Serbest Yüzeyle Pürüzsüz Kanallarda Yük Kayıp Katsayılarının İncelenmesi, Turk J Engin Environ Sci, 24 (2000), 297-304.
- Bilgil, A. ve Altun, H.**, 2008, Investigation of Flow Resistance in Smooth Open Channel Using Artificial Neural Networks, Flow Measurement and Instrumentation, 19, 404-408.
- Chen, Y.C., Kao, S.P., Lin, J.Y. and Yang, H.C.**, 2009, Retardance Coefficient of Vegetated Channels Estimated by the Froude Number, Ecological Engineering, 35, 1027-1035.
- Chena, Y.C., Kao, S.P., Lin, J. Y. and Yang, H. C.**, 2009, Retardance coefficient of vegetated channels estimated by the Froude number, Ecological Engineering, 35, 1027–1035.
- Cheng, N. S. and Nguyen, H. T.**, 2011, Hydraulic Radius for Evaluating Resistance Induced by Simulated Emergent Vegetation in Open-Channel Flows, Journal of Hydraulic Engineering, 137, 995-1004.
- Çelik, A.O.**, 2004, Sazlık Ortamdaki Açık Kanal Akımında Hız Profilleri, Türbülans Özellikleri ve Eğilmenin Akıma Etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Debnath, K. M. ISH, Bhattacharya, A. K. F.ISH, Mahato, B. and Chakrabarti A.**, 2008, Volume of Fluid Model For Numerical Simulation of Vegetated Flows, ISH Journal of Hydraulic Engineering, 14 (2), 72-87.
- Dharmasiri, N., Yang, S. Q. and Han, Y.**, 2012, Effects of Roughness Density on the Determination of Flow Resistance in Spatially Averaged Vegetated Open Channel Flow, World Environmental and Water Resources Congress 2012: Crossing Boundaries, 1349-1365.
- Freeman G.E., Rahmeyer W.J. and Copeland R.R.**, 2000, Determination of Resistance Due to Shrubs and Woody Vegetation, US Army Corps of Engineers, Engineers Research and Development Center.
- Hui, E.Q. and Hu, X. E.**, 2010, Study of Drag Coefficient Related With Vegetation Based on The Flume Experiment, Journal of Hydrodynamics, 22 (3), 329 - 337.
- Jahra, F., Kawahara, Y., Hasegawa, F. and Yamamoto, H.**, 2011, Flow–Vegetation Interaction in a Compound Open Channel with Emergent Vegetation, 9 (3-4), 247-256.
- James, C.S., Birkhead, A.L., Jordanova, A. A. and O’Sullivan, J. J.**, 2004, Flow Resistance of Emergent Vegetation, Journal of Hydraulic Research, 42, (4), 390–398.

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

- Jarvela, J.**, 2002, Flow Resistance of Flexible and Stiff Vegetation: A Flume Study With Natural Plants, *Journal of Hydrology*, 269, 44 – 54.
- Jarvela, J.**, 2005, Effect of Submerged Flexible Vegetation on Flow Structure and Resistance, *Journal of Hydrology*, 307, 233 – 241.
- Kadlec, R. H.**, 1990, Overland Flow in Wetlands : Vegetation Resistance, *Journal of Hydrology*, 116 (5), 691-706.
- Kamrath, P., Rubbert, S. and Köngeter, J.**, 2006, The Effects of Bottom Settlement, Vegetation and Macro-roughness on the Erosion Stability of the Relocated River Bed, *International Journal of River Basin Management*, 4 (1), 31-38.
- Kapourchali, S. A. and Shafiei, K. L.**, 2012, Assessing The Effect of Plant Type Variability on Roughness Coefficient in Different Conditions of Submergence and Density, *The Irrigation Australia 2012 Conference, Drainage & Flood Management*.
- Kubrak, E., Kubrak, J. and Rowinski, P.M.**, 2008, Vertical Velocity Distributions Through and Above Submerged, Flexible Vegetation, *Hydrological Sciences Journal*, 53 (4), 905–920.
- Moghadam, M. F., Kashefipour, M., Ebrahimi, N. and Emamgholizadeh, S.**, 2011, Physical and Numerical Modeling of Submerged Vegetation Roughness in Rivers and Flood Plains, *Journal of Hydraulic Engineering*, 16 (11), 858-864.
- Musleh, F. A. and Cruise, J. F.**, 2006, Functional Relationships of Resistance in Wide Flood Plains with Rigid Unsubmerged Vegetation, *Journal of Hydraulic Engineering*, 132 (2), 163-171.
- Noarayanan, L., Murali, K. and Sundar, V.**, 2012, Manning's 'n' Co-Efficient for Flexible Emergent Vegetation in Tandem Configuration, *Journal of Hydro-environment Research*, 6, 51-62.
- Okamoto, T. and Nezu, I.**, 2010, Flow Resistance Law in Open-Channel Flows with Rigid and Flexible Vegetation, *River Flow 2010*, 261-268
- Petryk, S., and Bosmajian, 1975**, Analysis of flow through vegetation, *Journal of Hydraul. Div., Am. Soc. Civ. Eng.*, 871–884
- Pham, N., Penning, E., Mynett, A. and Raghuraj, R.**, 2011, Effects of Submerged Tropical Macrophytes on Flow Resistance and Velocity Profiles in Open Channels, *International Journal of River Basin Management*, 9 (3-4), 195-203.
- Rahmeyer, W.**, 1996, The Study of The Resistance and Stability of Vegetation Ecosystem Plant Groupings in Flood Control Channels, *Utah State University Lab Report No. USU-400A*.

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

- Rhee, D. S, Woo, H., Kwon, B. A. and Ahn, H.K.**, 2008, Hydraulic Resistance of Some Selected Vegetation in Open Channel Flows, *River Research And Applications*, 24, 673–687.
- Rouse, H.**, 1965, Critical analysis of open-channel resistance, *Journal Hydraul. Div., Am. Soc. Civ. Eng.*, 1–25.
- Shen, H. W., and Li, R. M.**, 1973, Rainfall effects on sheet flow over smooth surface, *J. Hydraul. Div., Am. Soc. Civ. Eng.*, 771–792.
- Shi, J. Z., Li, Y. H., Hughes, J. M.R. and Zhao, M.**, 2013, Hydrological Characteristics of Vegetated River Flows: A Laboratory Flume Study, *Hydrological Sciences Journal*, 58 (5), 1047-1058.
- Shucksmith, J. D., Boxall, J. B. and Guymer, I.**, 2011, Bulk Flow Resistance in Vegetated Channels: Analysis of Momentum Balance Approaches Based on Data Obtained in Aging Live Vegetation, *Journal of Hydraulic Engineering*, 137, 1624-1635.
- Souliotis, D., and Prinos, P.**, 2008, Turbulence in Vegetated Flows: Volume-Average Analysis and Modelling Aspects, *Acta Geophysica*, 56 (3), 894-917.
- Stone, B. M. and Shen, H. T.**, 2002, Hydraulic Resistance of Flow in Channels with Cylindrical Roughness, *Journal of Hydraulic Engineering*, 128, 500-506.
- Vallam, S., Kantharaj, M., and Lakshmanan, N.**, 2011, Resistance of Flexible Emergent Vegetation and Their Effects on the Forces and Runup Due to Waves, *The Tsunami Threat - Research and Technology*, ISBN: 978-953-307-552-5.
- Velasco, D., Bateman, A., Redondo, J. M. and Demedina, V.**, 2003, An Open Channel Flow Experimental and Theoretical Study of Resistance and Turbulent Characterization over Flexible Vegetated Linings, *Flow, Turbulence and Combustion*, 70, 69–88.
- Yagci O., Tschiesche U. and Kabdasli M.S.**, 2010, The Role of Different Forms of Natural Riparian Vegetation on Turbulence and Kinetic Energy Characteristics, *Advances in Water Resources*, 33, 601-614.
- Yen, B. C., F. ASCE**, 2002, Open Channel Flow Resistance, *Journal of Hydraulic Engineering*, 20-39.
- Wang, P.F., Wang, C. and David Z. ZHU**, 2010, Hydraulic Resistance of Submerged Vegetation Related to Effective Height, *Journal of Hydrodynamics*, 22 (2), 265-273.
- Wilson, C.A.M.E.**, 2007, Flow Resistance Models for Flexible Submerged Vegetation, *Journal of Hydrology*, 342, 21-222.
- Wu, F. S.**, 2008, Characteristics of Flow Resistance in Open Channels with Non-Submerged Rigid Vegetation, *Journal of Hydrodynamics*, 20(2), 239-245.

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

Wu , B.F.C., Shen, H. W. and Chou, Y. J., 1999, Variation of Roughness Coefficients for Unsubmerged and Submerged Vegetation, Journal of Hydraulic Engineering, 125, 934-942.

