

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
HİDROLİK BİLİM DALI**

**KARARSIZ AKIŞ KOŞULLARI ALTINDA YUMURTA-KESİTLİ
ATIK SU BORULARININ HİDROLİK PERFORMANSI**

Esin ACAR

**Danışman
Prof. Dr. Ümit GÖKKUŞ**



MANİSA-2023

ESİN ACAR

**KARARSIZ AKIŞ KOŞULLARI ALTINDA YUMURTA-KESİTLİ ATIK SU
BORULARININ HİDROLİK PERFORMANSI**

2023

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Esin ACAR



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	III
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	II
TABLO DİZİNİ	V
ÖZET	VIII
1. GİRİŞ	10
2. AMAÇ.....	13
3. LİTERATÜR TARAMASI.....	16
4. GENEL BİLGİLER	19
4.1. Yumurta Kesitli Atıksu Boru Üretim Firmaları	19
4.2. Atıksu Kanallarının Hidroliği.....	22
4.3. Atıksu Akımının Zamanla Değişimi	26
4.4. Atıksu Akış Özellikleri.....	27
4.4.1. Kararlı Akım	29
4.4.2. Kararsız Akım.....	29
4.5. Sediment Taşınımı.....	30
4.6. Yumurta Kesitli Atıksu Borularında 3 Fazlı Akış	33
5. MATERYAL VE YÖNTEMLER	37
5.1. Boruların İmalatında Materyal Cinsleri.....	37
5.2. Akış Modellemede Yöntemler	37
5.2.1. Ön Çalışma	38
5.2.2. Ana Çalışma.....	39
5.2.3. HEC-RAS Programı	43
5.2.4. Standart Adım Yöntemi	44
5.2.5. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) Programı	46
5.2.6. Akışkanlar Dinamiğinde STAR-CCM ⁺ yazılımı	47
5.2.7. ANSYS FLUENT Programı	51
5.2.8. Sonlu Hacimler Metodu (FVM)	54
5.2.9. Karakteristikler Yöntemi (Method Of Charecteristics)	55
6. HİDROLİK PERFORMANS KRİTERLERİ VE ATIKSU AKIŞI.....	60
6.1. Hidrolik Elemanlar ve Hidrolik Performans Kriterleri	60
6.2. Durum: 1 Hidrolik Performans Hesapları	63

6.3. Durum-2 Hidrolik Performans Hesapları	67
6.4. Durum- 3 Hidrolik Performans Hesapları	68
6.5. Durum-4 Hidrolik Performans Hesapları	69
7. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	70
7.1. $V_{akış}$ PV (Performans Value) Hesapları	70
7.2. Boyut Analizi	74
7.3. Sediment Konsantrasyon Hesapları.....	75
7.4. Konsantrasyon Matris Hesapları	76
7.4.1.Çoklu Lineer Denklemlerin Geliştirilmesi	80
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	93
KAYNAKLAR	113
EKLER.....	118
EK A. Star CCM ⁺ PROGRAMI DOĞRULAMA ÇALIŞMALARI	118
A.1. HEC-RAS Programı – STAR CCM ⁺ Karşılaştırması	118
A.2. Ansys Fluent – Star CCM ⁺ Karşılaştırması	120
A.3. Standart Adım Yöntemi- STAR CCM ⁺ Karşılaştırması.....	122
A.4. Karakteristikler Yöntemi- Star CCM ⁺ Karşılaştırması.....	122
A.5. Khi- Kare (χ^2) Bağımsızlık Testi	135
A.6. Kübik Spline Fonksiyonları ile H_p ve $V_{akış}$ Grafiklerinin Çizilmesi.....	137
EK B. DURUM 2-3-4 SEDİMENT/ATIKSU AKIŞ BOYKESİTLERİ	139
EK B.1. Durum:2,400X600mm, 1/500	139
EK B.1. Durum:2,600X800mm, 1/500	139
EK B.1. Durum:2,800X1200mm, 1/500	140
EK B.2. Durum:3, 400x600 mm, 1/500	141
EK B.2. Durum:3, 600x900 mm, 1/500	142
EK B.2. Durum:3, 800x1200 mm, 1/500	143
EK B.3. Durum:4,400x600mm, 1/1500	144
EK B.3. Durum:4,600x900mm, 1/1500	145
EK B.3. Durum:4,800x1200mm, 1/1500	146
ÖZGEÇMİŞ	148

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

CFD	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (Computational Fluid Dynamics)
RNG	YenidenNormalleştirmeGrup(Re-NormalizationGroup) k-ε Model
VOF	AkışkanHacimleriYöntemi (Volume Of Fluid)
C_v	Hacme göre konsantrasyonu
ANN	Yapay sinir ağları (Artificial Neural Networks)
GPR	Gauss süreci regresyonu (Gaussian Process Regression)
Q_b	Yatak tortusu deşarjı
Q	Debi
V	Akım hızı
n	Manning Pürüzlülük katsayısı
R_h	Hidrolik yarıçap (m)
J_e	Piyezometre çizgisinin eğimi (hidrolik gradyen)
g	Yer çekimi ivmesi
p	Basınç
γ	Akışkanın özgül ağırlığı
z	Yükseklik yükü
w	Çökelme hızı
Re	Reynolds sayısı
C_D	Sürüklenme katsayısı
v_s	Suyun kinematik viskozitesi
τ_{kr}	Kritik Kayma gerilmesi
ρ_w	Suyun özgül kütlesi
ρ_s	Sedimentin özgül kütlesi
U*_{kr}	Kritik Kayma hızı
d	Dane çapı
Re*	Tane Reynolds sayısı
γ_s	Sedimentin özgül ağırlığı
τ₀	Taban kayma gerilmesi
V	Ortalama hız
S	Su yüzeyi Eğimi
D	Eşdeğer silindir çapı
Fr*	Tane Froude sayısı

C_{ppm}	Toplam katı madde konsantrasyonu
K	Evrensel sabit (=12.5)
G_s	Katı madde parçacıklarının özgül ağırlığı
τ	Yataktaki kayma gerilmesi ($=\gamma RS$)
u'_*	Daneciğin sebep olduğu dolaylı kayma hızı
u_{*c}	Shields kritik kayma hızı
u_m	Ortalama akım hızı,
h	Akım yüksekliği.
d_{50}	Medyan Dane çapı
C_w	Konsantrasyon
q_b	Birim genişlikten taşınan yatak yükü
q_s	Birim genişlikten taşınan askı maddesi yükü
q_t	Birim genişlikten taşınan toplam katı madde yükü
u_m	Ortalama akım hızı
ξ	Sediment özgül gravitesi
k_s	Eşdeğer Pürüzlülük
MOC	Karakteristikler yöntemi (Method of Charecteristics)
J	Eğim
α	Coriolis katsayısı
μ	Dinamik viskozite
n_{komp}	Manning kompozit pürüzlülük katsayısı
P	Islak çevre
c	Dalga yayılma hızı
T	Akış yüzeyi genişliği
A	Akış kesit alanı
K	Bulk modülü
ρ	Likit yoğunluk
E	Young's modülü
e	Boru et kalınlığı
C_1	Borunun farklı sınır koşulları faktörü
L	Boru boyu (m)
a	Yerel dalga hızı
N	Kesit sayısı
t	Zaman (s)

k_i	Kesafet (yoğunluk) katsayısı
PV	Performance value (değeri)
G_s	Katı madde özgül yoğunluğu
γ_s	Danenin özgül ağırlığı
C_s	Sediment konsantrasyonu
Δt	Zamandaki değişim miktarı



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 4.1. Yumurta-kesit üretimi(a) CPM, (b) Budaplast, (c) Channeline.....	19
Şekil 4.2. İmalatı tamamlanmış yumurta-kesitli boru istifleme ve taşıması	20
Şekil 4.3. Basık Yumurta(sol)($a=2r/b=2.5r$),Normal Yumurta(sağ)($a=2r/b=3r$)	20
Şekil 4.4 Yumurta Kesitli kanalın kısmi/tam dolu akış hidrolik performansı	23
Şekil 4.5 Dairesel Kesitli Boru Hidrolik Elemanları.....	24
Şekil 4.6 Yumurta Kesitli Boru Hidrolik Elemanları(Eşdeğer Daire)	25
Şekil 4.7 Su ihtiyacı ve atıksu debilerinin günlük değişimi.....	26
Şekil 4.8 Menbadaki (Kesit No: 0) Atık-su akışındaki hız-zaman değişimi	27
Şekil 4.9 Menbada (Kesit No: 0) Sediment akış hız-zaman değişimi.....	27
Şekil 4.10 Yatay borularda akış rejimleri şematik gösterimi	28
Şekil 4.11 Yatay borularda akış rejimleri bölgesel dağılımları.....	28
Şekil 4.12 Reynolds sayısına ve farklı şekil faktörlerine bağımlı C_D sürüklenme katsayısı[30].	31
Şekil 4.13 Shields Diyagramı[31].	31
Şekil 4.14 Yumurta kesit boruların boyutları (a) 400mmx600 mm, (b) 600mmx900 mm (c) 800mmx1200 mm (d) Üç-fazlı akış (Hava-Sıvı-Sediment)	33
Şekil 4.15 Giriş ve çıkış menhollü yumurta kesitli boru hattı.....	34
Şekil 5.1. (sol) 400x600mm, 1/500 eğimli boru hattına ait boykesit ve (sağ) 600x900 mm kesitli, 1/500 eğimli sıvı yükünü ait enkesit	37
Şekil 5.2. Kanal akış kesitindeki eşhız eğrileri	39
Şekil 5.3. Yumurta kesit, (sol) 3-fazlı akış ortamı, (sağ) hidrolik yarıçapın belirlenmesinde ıslak çevre-ıslak alan paylaşımı kabulünün gösterimi.....	40
Şekil 5.4. Üniform/Üniform Olmayan Kararlı/Kararsız Akış Boykesiti	44
Şekil 5.5. Üç boyutlu ağ yapısı çeşitleri.....	48
Şekil 5.6. (sol)Menba-Mansap sonlu elemanları , (sağ)Eleman sınırları	49
Şekil 5.7. Sınır şartlarının geometri üzerinde gösterimi (sol), bir sonlu elemanda bölgesel ayrıklaştırma (sağ)	50
Şekil 5.8. Star CCM+ programı fizik özellikleri.....	50
Şekil 5.9. FVM göre ayrıklaştırılmış sonlu hacimlerle kütle korunumu	54
Şekil 5.10. FVM göre ayrıklaştırılmış sonlu hacimlerle kütle korunumu	55
Şekil 5.11. (sol) Serbest yüzeyli MOC hesap şeması ve (sağ) ağ örgüsü	56
Şekil 5.12. Basınçlı akış MOC hesap s-t planı, MOC FDM [54]	57
Şekil 6.1 Yumurta kesitli boru hattının SolidWorks çizimi	60
Şekil 6.2. Durum:1,Serbest yüzeyli giriş kısmi dolu (1a),Serbest yüzeyli çıkış kısmi dolu (1b), Durum:2,Serbest yüzeyli giriş kısmi dolu (2a),Basınçlı çıkış tam dolu (2b)	62
Şekil 6.3. Durum:3,Basınçlı tam giriş tam dolu (1a),Serbest yüzeyli çıkış kısmi dolu (1b), Durum:4,Basınçlı giriş tam dolu (2a),Basınçlı çıkış tam dolu (2b)	62
Şekil 6.4 Durum:1, 400x600 mm, 1/500 sediment (üst) ve atıksu (alt) akışı	64
Şekil 6.5 Durum:1, 600x900 mm, 1/500 sediment (üst) ve atıksu (alt) akışı	65
Şekil 6.6. Durum:1,800x1200 mm,1/1500 sediment (üst)atıksu (alt) akışı	66

Şekil 7.1 SPSS program çıktısı	76
Şekil 8.1. Durum:1, 400mmx600mm kesit PV_{top}	98
Şekil 8.2. Durum:1, 600mmx900mm kesit PV_{top}	98
Şekil 8.3. Durum:1, 800mmx1200mm kesit PV_{top}	98
Şekil 8.4. Durum:1, Senaryo:1.24. Akış Kesiti.....	99
Şekil 8.5. Durum:2, 400mmx600mm kesit PV_{top}	99
Şekil 8.6. Durum:2, 600mmx900mm kesit PV_{top}	99
Şekil 8.7. Durum:2, 800mmx1200mm kesit PV_{top}	100
Şekil 8.8. Durum:2, Senaryo:2.26. Akış Kesiti.....	100
Şekil 8.9. Durum:3, 400mmx600mm kesit PV_{top}	100
Şekil 8.10. Durum:3, 600mmx900mm kesit PV_{top}	101
Şekil 8.11. Durum:3, 800mmx1200mm kesit PV_{top}	101
Şekil 8.12. Durum:3, Senaryo:3.22. Akış Kesiti.....	101
Şekil 8.13. Durum:4, 400mmx600mm kesit için PV_{top}	102
Şekil 8.14. Durum:4, 600mmx900mm kesit PV_{top}	102
Şekil 8.15. Durum:4, 800mmx1200mm kesit PV_{top}	103
Şekil 8.16. Durum:4, Senaryo:4.12. Akış Kesiti.....	103
Şekil A.1 600x900mm yumurta kesiti	118
Şekil A.2 HEC-RAS kesit görünümü	119
Şekil A.3 Boru hattına ait (a) Ansys Fluent, (b) Star CMM+ hız değerleri.....	120
Şekil A.4 Boru ortası hız profilleri, (a) Star CCM+, (b)Ansys Fluent.....	121
Şekil A.5 Boru hattına su hacmi, (a)Star CCM+, (b)Ansys Fluent	121
Şekil A.6 Boru ortası hız profilleri, (a) Star CCM++, (b)Ansys Fluent	121
Şekil A.7 Durum 1 MOC-Star CCM++ H_p ve V karşılaştırma grafikleri, (a)(b) Kesit 5, (c)(d) Kesit 10,(e)(f) Kesit 15	123
Şekil A.8 Durum 2 MOC-Star CCM++ H_p ve V karşılaştırma grafikleri(a)(b) Kesit 5, (c)(d) Kesit 10,(e)(f) Kesit 15	124
Şekil A.9 Durum 3 MOC-Star CCM++ H_p ve V karşılaştırma grafikleri(a)(b) Kesit 5, (c)(d) Kesit 10,(e)(f) Kesit 15	125
Şekil A.10 Durum 4 MOC-Star CCM++ H_p ve V karşılaştırma grafikleri(a)(b) Kesit 5, (c)(d) Kesit 10,(e)(f) Kesit 15	126
Şekil A.11 Durum 1 karşılaştırma çalışması sediment birikimi	127
Şekil A.12.Durum 1 karşılaştırma çalışması akışkan görünümü	127
Şekil A.13.Durum 1 karşılaştırma çalışması hız dağılımları	127
Şekil A.14 Kübik spline hesap grafiği [70].....	137
Şekil A.15 Spline fonksiyon grafikleri	137
Şekil A.16 $t=36s$ Durum 2 H_p -L, MOC-STAR grafiği	138
Şekil A.17 $t=36s$ Durum 2 $V_{akış}$ -L, MOC-STAR grafiği	138
Şekil B.1 Durum:2, 400x600 mm, 1/500 (a) beton, kararsız akım düz sediment (b) beton, kararsız akım dalgalı sediment (c) çelik, kararsız akım düz sediment (d) çelik, kararsız akım dalgalı sediment tabanlı boruda sediment (üst) ve atıksu (alt) akışı .	139

Şekil B.2 Durum:2, 600x900 mm, 1/500 (a) beton, kararsız akım düz sediment (b) beton, kararsız akım dalgalı sediment (c) çelik, kararsız akım düz sediment (d) çelik, kararsız akım dalgalı sediment tabanlı boruda sediment (üst) ve atıksu (alt) akışı .	140
Şekil B.3 Durum:2, 800x1200 mm, 1/1500 (a) beton, kararsız akım düz sediment (b) beton, kararsız akım dalgalı sediment (c) çelik, kararsız akım düz sediment (d) çelik, kararsız akım dalgalı sediment tabanlı boruda sediment (üst) ve atıksu (alt) akışı .	141
Şekil B.4 Durum:3, 400x600 mm, 1/500, (a) beton, kararsız akım düz sediment (b) beton, kararsız akım dalgalı sediment (c) çelik, kararsız akım düz sediment (d) çelik, kararsız akım dalgalı sediment tabanlı boruda sediment (üst) ve atıksu (alt) akışı .	142
Şekil B.5 Durum:3, 600x900 mm, 1/500, (a) beton, kararsız akım düz sediment (b) beton, kararsız akım dalgalı sediment (c) çelik, kararsız akım düz sediment (d) çelik, kararsız akım dalgalı sediment tabanlı boruda sediment (üst) ve atıksu (alt) akışı .	143
Şekil B.6 Durum:3, 800x1200 mm, 1/1500, (a) beton, kararsız akım düz sediment (b) beton, kararsız akım dalgalı sediment (c) çelik, kararsız akım düz sediment (d) çelik, kararsız akım dalgalı sediment <i>tabanlı boruda sediment (üst) ve atıksu (alt) akışı</i>	144
Şekil B.7 Durum:4, 400x600 mm, 1/500, (a) beton, kararsız akım düz sediment (b) beton, kararsız akım dalgalı sediment (c) çelik, kararsız akım düz sediment (d) çelik, kararsız akım dalgalı sediment tabanlı boruda sediment (üst) ve atıksu (alt) akışı .	145
Şekil B.8 Durum:4, 600x900 mm, 1/500 (a) beton, kararsız akım düz sediment (b) beton, kararsız akım dalgalı sediment (c) çelik, kararsız akım düz sediment (d) çelik, kararsız akım dalgalı sediment tabanlı boruda sediment (üst) ve atıksu (alt) akışı .	146
Şekil B.9 Durum:4, 800x1200 mm, 1/1500 (a) beton, kararsız akım düz sediment (b) beton, kararsız akım dalgalı sediment (c) çelik, kararsız akım düz sediment (d) çelik, kararsız akım dalgalı sediment tabanlı boruda sediment (üst) ve atıksu (alt) akışı .	147

TABLO DİZİNİ

Sayfa

Tablo 4.1. Üretimde standart olarak kullanılan yumurta kesitli boru boyutları.....	21
Tablo 4.2. Farklı boru malzemeleri için pürüzlülük Manning katsayıları	22
Tablo 4.3. Standart Yumurta Kesit-Dairesel Kesit Eşdeğerlik Oranları	24
Tablo 4.4 Kullanılan sediment sınıfı ve partikül dane boyutu	30
Tablo 5.1. Minimum, ortalama ve maksimum eğimler.....	37
Tablo 6.1. Hidrolik performans çalışmaları için boru hattı fiziki özellikleri	61
Tablo 6.2. Durum-1 400mmx600mm kesit, beton malzemeli, 1/500 eğimli boru hattının hidrolik performans tablosu(n=0.013)	66
Tablo 6.3. Durum-2 400mmx600mm kesit, beton malzemeli, 1/500 eğimli boru hattının hidrolik performans tablosu (n=0.013)	67
Tablo 6.4. Durum-3 400mmx600mm kesit, beton malzemeli, 1/500 eğimli boru hattının hidrolik performans tablosu (n=0.013)	68
Tablo 6.5. Durum-4, 400mmx600mm kesit, beton malzemeli, 1/500 eğimli boru hattının hidrolik performans tablosu (n=0.013)	69
Tablo 7.1. Durum-1 Boru boyutu: 400mmx600mm, Kanal Eğimi:1/500, Taban malzemesi: düz sedimentli, Boru malzemesi: beton için	71
Tablo 7.2. Durum-1, Durum-2, Durum-3, Durum-4 SENARYOLAR.....	72
Tablo 7.3. Durum:1 Senaryo:1.1, PV Hesabı	73
Tablo 7.4. Sediment Konsantrasyon boyutsuz parametre hesapları, Durum:1 Senaryo: 1.10.....	78
Tablo 7.5. Sediment Konsantrasyon boyutsuz parametre hesapları, Durum:1 Senaryo: 1.10 (devamı)	79
Tablo 7.6. Durum 1 R Korelasyon ve a denklem katsayıları 400mmx600mm.....	81
Tablo 7.7. Durum 1 R Korelasyon ve a denklem katsayıları 600mmx900mm.....	82
Tablo 7.8. Durum 1 R Korelasyon ve a denklem katsayıları 800mmx1200mm.....	83
Tablo 7.9. Durum 2 R Korelasyon ve a denklem katsayıları 400mmx600mm.....	84
Tablo 7.10. Durum 2 R Korelasyon ve a denklem katsayıları 600mmx900mm	85
Tablo 7.11. Durum 2 R Korelasyon ve a denklem katsayıları 800mmx1200mm	86
Tablo 7.12. Durum 3 R Korelasyon ve a denklem katsayıları 400mmx600mm	87
Tablo 7.13. Durum 3 R Korelasyon ve a denklem katsayıları 600mmx900mm	88
Tablo 7.14. Durum 3 R Korelasyon ve a denklem katsayıları 800mmx1200mm	89
Tablo 7.15. Durum 4 R Korelasyon ve a denklem katsayıları 400mmx600mm	90
Tablo 7.16. Durum 4 R Korelasyon ve a denklem katsayıları 600mmx900mm	91
Tablo 7.17. Durum 4 R Korelasyon ve a denklem katsayıları 800mmx1200mm	92
Tablo 8.1. Durum 1-2-3-4 Hidrolik Performans PV _i Değerlendirme	96
Tablo 8.2. Durum 1-2-3-4 Hidrolik Performans R Korelasyon Katsayısı	105
Tablo 8.3. Akışkanın iletim debisinin kanaldan geçme süreleri (sn).....	110
Tablo A.1. 600x900 mm yumurta kesit h _{akış} (m) ve Vort(m/s) değerleri.....	119
Tablo A.2. Standart Adım Yöntemi ve STAR CCM ⁺ karşılaştırması(n=0.02,α=1.00)	122

Tablo A.3. Durum 1 Kesit 0 n_{kompozit} hesabı	128
Tablo A.4. Durum 1, Durum2, Durum 3 ve Durum 4 'e ait n_{kompozit} değerleri	129
Tablo A.5. Durum 1 Kesit 0 MOC- STAR CCM ⁺ karşılaştırma	130
Tablo A.6. Durum 1 Kesit 0-5-10-15-20 MOC- Star CCM ⁺ Karşılaştırma Tablosu	131
Tablo A.7. Durum 2 Kesit 0-5-10-15-20 MOC- Star CCM ⁺ karşılaştırma Özet Tablosu	132
Tablo A.8. Durum 3 Kesit 0-5-10-15-20 MOC- Star CCM ⁺ karşılaştırma Özet Tablosu	133
Tablo A.9. Durum 4 Kesit 0-5-10-15-20 MOC- Star CCM ⁺ karşılaştırma Özet Tablosu	134
Tablo A.10. Durum 1-2-3-4'e göre Ki-Kare testi istatistik sonuçları	136



TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren, tecrübesi ile beni aydınlatan ve desteğini hiç eksik etmeyen, kendisini tanımaktan büyük onur duyduğum danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ümit GÖKKUŞ' a, öğrenim hayatım boyunca beni manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan eşim Hakan ACAR, oğullarım Deniz Efe ve Demir Ege' ye ve beni yetiştiren annem ile babama yürekten teşekkür ederim.

Esin ACAR
Manisa, 2023



ÖZET

Doktora Tezi

Esin ACAR
Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ümit GÖKKUŞ

Boru hatları çeşitli amaçlarla kullanılabilir ve petrol, doğal gaz, genellikle sıvı maddelerin taşınmasında, petrol, doğalgaz, sıvı ve gaz iletimi ve özellikle içme suyunun ve kanalizasyonun taşınmasında kullanılmaktadır. Çeşitli malzemelerde üretilen boru hatları kullanım amacına bağlı olarak birçok sektörde faaliyet göstermektedir. Atıksu boru hatları yerleşim yerlerindeki kullanılmış suların toplanması, uzaklaştırılıp uygun arıtma tesislerine iletimi ve bu tesislerden de birincil ve ikincil arıtma sonrası uygun alanlara deşarjının yapılmasını sağlayan tesislerdir.

Bu çalışmada, atık-su sistemlerinde yumurta kesitli boru hatlarının akış performanslarının artırılması amacıyla yönelik olarak faaliyetler konu edinilmektedir. Hidrolik performans parametrelerine göre değerlendirilerek üç farklı fazda akış olması durumları, basınçlı/serbest yüzeyli, farklı sediment tabanlı, kararlı ya da kararsız akım, üretim malzemeleri ile analitik ve nümerik olarak modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu modellemeler sonucunda, atıksu boru hatlarının hidrolik performans değerlendirmesi yapılmış ve farklı hidrolik hesaplamalara dayalı akış modelleri ile elde edilenler kıyaslanmıştır.

Çalışma sonuçlarına göre serbest yüzeyli akışlarda akışkan hız değerlerinin yüksek olması sebebi ile PV_{top} (toplam performans değeri), basınçlı akışlara göre daha yüksek hidrolik performans göstermektedir. Sediment konsantrasyon R korelasyon hesaplarına göre en iyi hidrolik performans Durum 1 olup, Durum 2 ve Durum 3 birbirine yakın, Durum 4 ün daha düşük performans gösterdiği görülmüştür. Bu durumda basınçlı boru hatlarının R korelasyon performanslarının düşük, serbest yüzeyli boru kontrol kesitlerinde yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Kesit farklılıklarından dolayı boru kontrol hacimlerinde farklı akış özellikleri saptanmıştır. Farklı boyutlardaki kesitlerdeki akışkanların boru hattını geçme sürelerine göre ise çelik boruların beton borulara göre, yüksek eğimlerde, düz sediment tabanda, dalgalı sediment tabanlara göre daha iyi hidrolik performans gösterdiği saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: STAR CCM+ yazılım doğrulaması ve geçerliliği, Yumurta-Kesitli Atıksu Akışı, Sonlu Hacimler Metodu, Atıksu, Atıksu borularının Hidrolik Performansı, Atıksuların kararsız akışı

2023, 149 sayfa

ABSTRACT

PhD Thesis

Esin ACAR

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Ümit GÖKKUŞ

Pipelines can be used for various purposes and are used for the transport of oil, natural gas, generally liquid substances, oil, natural gas, liquid and gas transmission, and especially for the transport of drinking water and sewage. Pipelines produced in various materials operate in many sectors depending on the purpose of use. Wastewater pipelines are the facilities that collect the used water in the settlements, transfer it to appropriate treatment facilities, and discharge it from these facilities to suitable areas after primary and secondary treatment.

In this study, the activities aimed at increasing the flow performance of egg-section pipelines in wastewater systems are discussed. In hydraulic performance evaluations, three different phases of flow, uniform or non-uniform flow conditions, analytical and numerical modeling were carried out. As a result of these models, the hydraulic performance of the wastewater pipelines was evaluated and the flow models based on different hydraulic calculations were compared.

According to the results of the study, PV_{top} (total performance value) shows higher hydraulic performance than pressurized flows due to the high fluid velocity values in free surface flows. According to the sediment concentration R correlation calculations, the best hydraulic performance is Case 1, Case 2 and Case 3 are close to each other, and Case 4 has been seen to have lower performance. In this case, it was concluded that the R correlation performances of the pressure pipelines were low and high in the free surface pipe control sections. Due to the cross-sectional differences, different flow characteristics were determined in the pipe control volumes. It has been determined that the steel pipes show better hydraulic performance than concrete pipes, on high slopes, on flat sediment bases, and on wavy sediment bases, according to the passage time of fluids in different sizes of cross-sections.

Keywords: Verification and Validation of STAR CCM+, Egg-Shape Wastewater Flow, Volume of Fluid, Hydraulic Performance of Wastewater Pipes, Unsteady Flow of Wastewaters

2023, 149 pages

1. GİRİŞ

Kent planlamasında atıksu ve atıksu arıtma yapıları önemli altyapı tesisleridir. Atıksu ileten yapıların başında atıksu (kanalizasyon) şebekeleri gelmektedir. Planlaması gerçekleştirilen atıksu tesislerinin borulu şebekeleri üç tipte tasarlanır ve projelendirilir. Bunlar; yağmursuyu şebekeleri, atıksu şebekeleri ve hem yağmursuyu hem de atık su iletmek amacıyla aynı kanalı kullanan birleşik şebekelerden oluşmaktadır.

Tasarım aşamasında iken bir atıksu şebekesi inşaa edilecek kentin; bugünkü mevcut ve geçmişteki istatistiksel parametreleri değerlendirilerek gelecekteki nüfus-ticaret-endüstri projeksiyonlarının ortaya konulması gerekmektedir. Böylece şebekenin hizmet ömrü içindeki kentteki tüm gelişen unsurların ortaya çıkaracağı atıksu ve yağmursuyu debileri doğru hesaplanacak ve atıksular sağlıklı/verimli biçimde arıtma tesislerine iletecek borulu şebeke sisteminin doğru ve uygun bir yatırım olarak kente hizmeti mümkün olacaktır.

Atıksu kanallarının boyutları üzerinde en etkili parametrelerden biri iletilecek debidir. Kent nüfusu, ticari-endüstri alanlar, yeşil alanlar bu debinin oluşumuna temel kaynaktır. Geleceğe yönelik projeksiyonlar ve senaryoların uygunluğuna ve gelişimine göre yıllar içinde artan atıksu debilerinin borulu şebekenin de kademeli planlamasıyla iletilmesi mümkün olmaktadır. Tasarımın temel unsuru olarak hesaplanacak atık ve yağmur suyu debileri, kent planına uygun biçimde yerleştirilen koordinatlardaki toplama ve kontrol bacaları vasıtasıyla toplanmaktadır. Bacalar, bir kanalın başlangıcında ve sonunda inşaa edilirler. Belli uzunluklar ve şebekenin bir parçası olan kanallar, kendilerine has ayrılan kent alanı üzerindeki yaşam kaynaklı atıksuları toplama kanallarına ve arıtma tesislerine iletmektedir. Günlük evsel, endüstriyel, ticari ve doğal ortam gereksinimlerine göre kanalların da ileticeği günlük debiler hesaplanabilmektedir. İletim debisi zaman içinde artmakta ve azalmakla salınım göstermektedir. İstatistiksel olarak saatlik, günlük ve mevsimsel değişimler gözlenmekte, gün bazında maksimum debi gerektiren saat aralıkları, hafta bazında maksimum debi gerektiren gün aralıkları ve mevsim bazında maksimum debiyi doğuracak ay aralıkları belirlenebilmektedir.

Tasarım ve hidrolik analizlerde kanalların hem minimum hem de maksimum debiyi standartlara uygun biçimde iletmesi gerekmektedir. Bu ihtiyaca cevap verebilecek biçimde kanal tasarlanabilmektedir. Menba ve mansap kotlarına göre kanal eğimi, debinin miktarı, borulu kanalın malzemesi, hendek derinlikleri, kanal boyu gibi fiziksel büyüklüklere göre tasarlanan kanalın (i) hidrolik kriterlere uygun olarak max/min debiyi iletebilir (ii) yapısal kriterlere uygun olarak hendekteki boru üstü toprak kitlesini ve sürsaj yükünü taşıyabilir (iii) kolay inşaa edilebilir ve onarımı yapılabilir, (iv) işletim anında tıkanma gibi durumlarda kontrol edilebilir olması gerekmektedir.

Genellikle kullanılan borularda iki temel unsur tercih edilebilirliğini ve kullanım yaygınlığını belirlemektedir. Bunlar: boruların imalat malzeme cinsi ve boruların kesit geometrileridir.

Boru Malzemesinin Tercih Edilebilirlik: atık-su borularının imalatı için genellikle düktil demir (Ductile Iron Pipe-DIP, beton (ön gerilmeli beton silindir boru-prestressed Concrete Cylinder Pipe-PCCP) ve betonarme boru -Reinforced Concrete Pipe-RCP), plastik (Polyvinyl Chloride-PVC, Polyethylene-PE, High-Density-Polyethylene-HDPE, Acrylonitrile-butadiene-styrene-ABS ve Polybutylene -PB), vitrifiye kil (Vitrified Clay Pipe-VCP) olmak üzer dört farklı ana malzeme yaygın kullanılmaktadır. Bu malzemelerin seçiminde; hendek kazısı için zemin özelliklerinin uygunluğu, yeraltı suyuna karşı korozyon önlemleri, toprak derinliğinin artışı ya da yüzeysel döşemeden kaynaklanan sıcaklık artışı ya da donma etkisi, emniyetli birleşim imkanlarının elverişliliği, imalat ve inşaa maliyetinin yüksekliği önemli faktörlerdir.

Boru Kesit Geometrisi Bakımından Tercih Edilebilirlik: gün içinde saatlik değişim gösteren atık-su ve yağmursuyu birleşik sistemine ait kanalın hidrolik hesaplamalarında; maksimum debi iletimine göre tam dolu (basınçlı) akışı, minimum debi iletimine göre de kısmi dolu (serbest yüzeyli) akış koşulları dikkate alınmaktadır. Akış verimliliği bakımından ise boru malzeme cinsi ve boru geometrileri farklılaştırılmaktadır. Genellikle yapım, üretim ve montaj kolaylığı bakımından dairesel kesitli borular kullanılmaktadır. Ancak dairesel olmayan kesitlerin de kullanım imkanlarının artması ve bazı hususlarda üstünlüklerinin bilinmesiyle; yatay ve düşey eliptik kesitli, normal ve basık yumurta-kesitli, dikdörtgen/kare kesitli, kemer

ve atnalı kesitli atık-su boruları da üretilmekte, tasarlanmakta ve projelendirilmektedir. Ulusal ve uluslararası standartlara uygun olarak hidrolik ve yapısal analizi yapılan kanal, istatistiksek analiz ve senaryoların sonucundaki projeksiyon dahilinde debilerin de gerçekleşmesiyle hizmet ömrü içinde verimli bir yatırım olarak hizmet sağlar.

Günümüzde üretimi yapılan yumurta kesitli boruların, birçok ülkede kullanılmasına karşın ülkemizde yaygın olarak kullanılmadığı görülmektedir. Ancak günümüz teknolojisiyle farklı malzeme özelliklerine ve farklı geometrik biçimlere dayalı boruların kolay üretilebilirliği nedeniyle birçok ülkede dairesel yumurta-kesitli borular üretilmekle birlikte tasarımda kullanımı belli şartnamelerle desteklenmektedir.



2. AMAÇ

Bu çalışmanın amacı malzeme-üretim-formlaştırma- CFD (Computational Fluid Dynamics) teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, yıllar öncesinden beri kullanılmakta olan yumurta kesitli atıksu boru hatlarının yeniden imalatına, tasarım-projelendirme ve inşasına imkan sağlamaktadır. Bu tez kapsamında ise farklı boyutlardaki yumurta-kesitli borular ve eğimleri farklı, tabanı düz ve dalgalı sedimentli (üniform-olmayan akışa), üretimdeki malzemeleri farklı, sabit çaplı sediment partiküllü hareketli tabanlı, zamanla değişken debili akışkan iletimli ve sediment tabanı ile boru materyali kompozit yüzeyine has pürüzlülüğü olan boruların kararsız akış koşullarında menbadan mansaba kadar akış hattı boyunca hem atık-su akış hem de sediment taşınım parametrelerinin farklı senaryolar üzerinde sayısal modelleme yapılarak borulu akışın hidrolik performansının incelenmesi yoluna gidilmiştir.

Genellikle bir ya da iki fazlı akış biçiminde hidrolik analizleri yapılan gerek dairesel gerek eliptik (yumurta-kesitli) atık-su borularının hidrolik performanslarının artırılması için yapılan çalışmalar; akışkanın cinsine, askıdaki yüklerin konsantrasyonuna, sediment özelliklerine ve dolu-kısmi dolu akış durumlarına bağlı olarak yürütülmektedir.

Atık-su akışında; zamanla değişen iletim debisi, boru kesiti, su-sediment özellikleri, boru cinsi, kanal eğimi, boru içi basınç hali hidrolik ve hidrodinamik tasarım parametrelerini etkileyen temel faktörlerdir. DEBİ; gerek ayrıık gerekse birleşik atık-su kanallarında günün farklı zaman dilimlerinde farklı debileri iletilmektedir. Yağmursuyu ve atık-su debi girişinin zaman serisi, ayrıık zaman (discrete time series) serisi biçimindedir. Her zaman diliminde sabit debi varsayımıyla, debi-zaman grafiği çizildiğinde histogram benzeri debi artışı-azalışı görülmekte ve debi-zaman değişimi basamaklı olarak bir grafiksel izahat ortaya koymaktadır. Zamanla değişen bir debi değişimi dolayısıyla kesitten geçen akışkan hızının değişimi doğal atık-su akışında kararsızdır.

Kararsız akışın hidrolik analizi, (i) ayrıık (debi-zaman) serisinin sayısal yöntemler (eğri uydurma-curve fitting) yardımıyla sürekli seri formla ifadesinin elde

edilmesi ve kararsız Saint-Venant kısmi diferansiyel denkleminin analitik/sayısal yöntemlerle çözümü, (ii) kararsız akışın zaman serisinde, artımsal her bir zaman dilimi sınırları içinde sabit kaldığı varsayımıyla kararlı akış (steady flow) halinde bir boyutlu Standart Adım Metoduyla çözüm, (iii) kararsız akışın zaman serisinde, artımsal her bir zaman dilimi sınırları içinde zamanla değişimin çok az değiştiği, dolayısıyla sabit kaldığı varsayımıyla kararlı akış (steady flow) ile birlikte sediment taşınım dahil eden bir zaman adımlı yarı-kararsız (akışkan ve sediment birleşik) akış (a quasi-unsteady flow series with time step) çözümü, (iv) akışkan-sediment etkileşimli kararsız ve üniform olmayan akışın çözümü ile gerçekleştirilir.

Gerçek akış hızının zaman serisi dikkate alınmakta ve hız-zaman değişiminin sabit kalmadığı (kararsız akış) değiştiği esasına göre diferansiyel formdaki kütle korunum ve momentum korunum denkleminin; hem nümerik analiz teknikleriyle ayrıklaştırılması, sonlu elemanlar çözüm ağı üzerindeki elemanlarla ilişkilendirilmesi ağın başlangıç-sınır koşullarıyla bilinen eleman düğümlerinden yola çıkarak ayrıklaştırılmış formdaki denklemler çözümlenen her bir sonlu eleman düğümündeki parametrelerin komşu elemanların düğümlerine aktarılması yoluyla akış sonuna dek iteratif çözümleme işlemlerinin yürütülmesi;

Hem de **sayısal** (ANSYS-Fluent ve FEM, STAR-CCM+ ve FVM), hem **analitik** (HEC-RAS ve STM, MOC ve FDM) modelleme ile çözüm parametrelerinin **Doğrulama-Geçerlilik** (Verification-Validation)-parametrelerin **uyumluluk**-istatistiksel analiz teknikleriyle parametrelerin **güvenilirliği** akabinde boyutsuz parametrelerin kesitlerarası farklı akış parametrelerine uyarlanması-parametrik ilişkilerin formüllerinin geliştirilmesi ve nihayetinde kesitlerarası akışa ilişkin hidrolik performansların ortaya çıkarılması gerçekleştirilmiştir. Bir dizi işlemlerle, yumurta-kesitli sediment katkılı atıksu ileten beton-çelik boru içi akışın hidrolik performansı çalışmaları tamamlanmıştır.

Bu çalışmada, kararsız, üniform olmayan (kısmi dolu-tam dolu debili ve kompozit pürüzlülüklü) ve üç-fazlı (hava-atıksu-sediment) akış koşulları altında Sonlu Hacimler Metodu-tabanlı nümerik modelleme (STAR-CCM⁺ yazılımı) ile yumurta-kesitli atıksu borularının hidrolik performansı incelenmiştir.

Star CCM⁺ yazılımının güvenilirliği ortaya koyabilmek için: (i) Kararlı-Kararsız Akış halleri, Sediment Taşınımı ve Su-Sediment Entegre Akış halleri, öncelikle Standart Adım Metodu-HEC-RAS yazılımı, Karakteristikler Metodu (MOC), ANSYS-Fluent yazılımı ile gerek analitik gerekse sayısal çözümlenmiştir. (ii) Değerilen koşullarının her birini dikkate alınması ve her bir programın girdi-çıkı parametrelerinin, STAR-CCM⁺ yazılımıyla bulunanlarla karşılaştırma yoluyla ve istatistiksel analizlere dayalı yapılan tetkik-tahkik (verification-verification, doğrulama-validation) işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Nümerik modelleme öncesinde, SOLIDWORKS yazılımıyla eliptik (yumurta-kesitli) kesitli borular hem kesit biçimi hem de boru materyali bakımından katı modelleme tasarlanmış ve içeriğinde CFD tabanlı yazılımı olan STAR-CCM⁺ yazılımı kullanılarak çözümlenmiştir. Boru içi kararsız akış koşullarına ilişkin akışkan hareketinin temel denkleminin izahında, kısmi diferansiyel formda ifade edilen Navier-Stokes denklemlerinden yararlanılmaktadır. Analitik olarak modellenen böylesi denklemler, Yeniden Normalleştirilme Yöntemi olarak bilinen RNG k- ϵ türbülans modeline ve kısmi diferansiyel denklem formunun da sayısal çözümlenmesinde Sonlu Hacimler (VOF) yöntem kullanılmaktadır.

Sayısal çözümlemede bilgisayar destekli analiz ise STAR-CCM⁺ yazılımı kullanılarak yapılmaktadır. Zamanla değişen kanal giriş-çıkış akış koşullarına, boru içi kanal kesit değişkenliğine, doluluk-kısmi doluluk oranlarına ve akım boyunca değişen kesit kompozit pürüzlülüklerine bağlı olarak konum ve zamanla değişen basınçlı-serbest yüzeyli akış hızları ve su yüzü profilleri incelenerek boru içi akışın hidrolik performans değerleri ortaya konulmuştur. Buna ilaveten, farklı boyutlarda üretilen ve yaygın kullanılan yumurta-kesitli borular ve boru eğimleri de dikkate alınmıştır.

3. LİTERATÜR TARAMASI

Atıksu ve yağmursuyu birleşik borularından geçen akışkanın hidroliği ve sürüntü maddesi hareketine ilişkin olarak bugüne değin yapılan aşağıda yer almaktadır:

Bonakdari ve ark.[1],yumurta kesitli kanalizasyon borularında kendi kendini temizleyen ve kesme gerilmesi üzerine deneysel ve sayısal incelemeler yapmışlar ve standartlarda verilenden daha küçük maksimum akış hızı ve kayma gerilmesi olmasına rağmen boru içinde tortu birikiminin nadiren de olsa ortaya çıktığı sonucuna varılmışlardır. *Regueiro-Picallo ve ark.*[2] tarafından yapılan “Experimental and Numerical Analysis of Egg-Shaped Sewer Pipes Flow Performance” adlı makale ile yumurta şeklinde kanalizasyon borularının akış performansının deneysel ve sayısal analizi yapılmıştır. Yumurta şeklindeki borunun hidrolik performansı analiz edildikten sonra, düşük akış koşulları altında eşdeğer alanlı dairesel bir boruya karşı ortalama hız ve kesme gerilmesini karşılaştırmak için sayısal model kullanılmıştır ve önerilen yumurta şekli, $h/H=0.25$ 'lik bir doldurma oranına kadar daha iyi bir akış performansı gösterdiği belirlenmiştir. *Hazari* [3] tarafından yapılan yüksek lisans tezinde, “Turbulence Modelling of Two Phase Stratified Channel and Pipe Flows” adıyla İki Fazlı Tabakalı Kanal ve Boru Akımlarının Türbülans Modellemesi çalışılmıştır. Bu araştırma, iki fazlı akışlara uygulanan RANS modellerinin çeşitli yönlerine ışık tutmuş ve CFD programlarını kullanma olasılıkları da değerlendirilmiştir. *Sinnakaudan ve ark.*[4] tarafından hacme göre konsantrasyonu (C_v) tanımlamak için yapılan çalışmada, R/d_{50} , VS_0/ω_s parametreleri uygun görülmüş ve multi regresyon analizi yapılarak $R^2=0,674$ bulunmuştur. *Güven ve Akdoğan*[5] çalışmasında Göksu Nehri’ne ait akım, sediment konsantrasyonu ve sediment miktarı modellerde girdi verisi olarak kullanmıştır. Bu çalışmanın amacı, nehir akımıyla taşınan sediment miktarının tahmin edilmesinde ANN modelleme tekniğinin etkisi değerlendirilmiştir. Lineer regresyon modeli ile yapılan çalışmada sonuçlar ANN’nin en etkili yöntem olduğunu ($r^2_{pred} = 0.94$) göstermektedir. *Patel ve ark.*[6] çalışmasında, geçmiş 14 yıllık (1994’ten 2008’e) günlük yağış ve akış verilerini kullanan Wainganga nehri havzasıyla ilişkili fiziksel parametreyi dikkate almadan akarsu akış tahmini için istatistiksel analize dayalı çoklu regresyon modeline yapılarak R korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. *Roushangar ve Shahnazi*[7] çalışmasında, Amerika Birleşik Devletleri’ndeki 19 çakıl yataklı nehir için

tortu taşıma hızını tahmin etmek için Gauss süreci regresyonu (GPR) uygulanmıştır. Toplam sediment taşınımında, Fr , V/U^* , θ ve $V^3/(g \cdot y \cdot \omega_s)$ en iyi performans doğruluğu ile sonuçlandırılmış bulunmuştur. *Doroudi ve ark.[8]* çalışmasında asılı tortu yükünü tahmin etmek için hibrit bir modelin geliştirilmesine odaklanmıştır. Bu amaçla, nehir deşarjı, askı sediment yükü ve yağış derinliği verilerinden oluşan Cham Siah havzasının hidrometri ve hidroklimatoloji verileri kullanılmıştır. Askı sediment yükünü tahmin etmek için vektör regresyon yöntemi kullanılmıştır. *Harun ve ark.[9]* çalışmasında ABD’de yer alan tropikal nehirlerde sediment taşınımı konusunda farklı denklemlere ait korelasyon katsayılarını bulmuştur. Ariffin [10] revize edilmiş konsantrasyon çalışmasında boyutsuz parametreler U^*/V , V^2/gy kullanılmış ve $R^2:0,922$ hesaplanmıştır. *Lukman ve ark.[11]* tarafından, Endonezya, Güney Sulawesi’ndeki Bilibili rezervuarında yatak yükü kullanılarak taşınan tortuyu analiz etmek için yapılmıştır. Laboratuvar testi, numunelerin temel özelliklerini belirlemek için yapılan sediment konsantrasyon testleri ve özgül ağırlık testlerinden oluşmaktadır. Ayrıca, yatak tortusu deşarjını (Q_b) ve akış debisini (Q) hesaplamak için Van Rijn formülasyonunu kullanan veri analizi ve analiz sonucu, $y = 12.314x^{1.4292}$ denkleminde ifade edilen yatak tortusu deşarjı ile akış debisi arasındaki ilişkiyi bulmuştur ve burada $y = x \cdot Q_b = Q$ ’dur. *Noori ve ark. [12]* tarafından yapılan çalışmada, nehirlerin fiziksel, çevresel ve ekolojik işlevlerinin korunması için toplam tortu yükünün ayrıntılı olarak anlaşılması gerekmektedir. Bu çalışma, nehirlerdeki toplam tortu yükünü tahmin etmek için temel bileşen analizi ile değiştirilmiş çoklu doğrusal regresyon ve destek vektörü regresyon modellerine dayanan çalışma yapılmıştır.

Boru hidroliğine yönelik olarak *üniform/üniform olmayan, kararlı/kararsız* akış, *çok fazlı akış* (gaz, askı yüklü akışkan, çöküntü yapmış sediment) ve dairesel-yumurta kesitli boru içi akış durumlarında hidrolik performans çalışmaları, spesifik olarak analitik, nümerik ve deneysel olarak literatürde mevcuttur. Ancak atık-su boru hatlarının akış koşulları incelendiğinde gün içinde boru içi akışın kararsız olduğu görülecektir. Günün farklı saatlerinde atıksu debisinin, borunun belli bir kesitinden geçerken zamanla değiştiği, tabanındaki farklı dane çapına/kütlesine sahip partiküllerin transferi/birikimi esnasında boru akış kesitinin bazı kesimlerde üniform olmadığı, borunun bazen kısmen doluyken serbest yüzeyli ya da tam doluyken basınçlı aktığı bazen de menbada kısmen dolu akışın iki mecra arasında basınçlı hale gelebildiği ya da tersi bir durum ortaya çıktığı akış koşulları gözlemlenecektir.

Yumurta kesitli atıksu boru ya da kanallarının kullanımı, yıllar öncesine dayanmaktadır. Ancak, bugünkü malzeme-konstrüksiyon-imalat teknolojileri ve 3D modelleme olanağı, tekrar yumurta ya da oval kesitlerin tasarımına, imalatına, inşasına ve kullanımına imkan vermektedir.



4. GENEL BİLGİLER

4.1. Yumurta Kesitli Atıksu Boru Üretim Firmaları

İlk defa 1865 yılında, Bazalgette tarafından Londra şehrinin kanalizasyon birleşik şebekesinin 160 km uzunluğundaki ana toplama kanalı ve 720 km uzunluğunda tali kanalın, ters-çevrilmiş yumurta biçimli olarak tasarlandığı ve inşaatının gerçekleştirildiği bilinmektedir. Benzer kanalizasyon şebekesi, Paris'de Eugene Belgrand tarafından 1850-1878 yılları arasında tasarlanarak 600 km uzunluğunda inşaa edilmiştir.

Birleşik kanalizasyonda akış dinamiğine ilişkin problemler, tasarım yılından beri sürmektedir. Yağışsız koşullarda %20 kapasiteyle (kısmi) dolu olan borulardaki akış, birleşik koşullarda tam (dolu) kapasiteye dönüşebilmektedir. Hem atıksu, hem de yağmursuyu iletiminde, kısmi-tam dolu kapasiteye ve zamanla değişen akış koşullarına bağlı olarak boru hidroliği hesaplamalarında bazı güçlüklerle karşılaşmaktadır. Özellikle *düşük atıksu debilerin iletiminde dahi oluşabilecek siltasyonu önlemek, pompalamaya gerek kalmadan düşük maliyetli işletme maliyetini elde etmek, kanalizasyon tıkanma riskini azaltmak, sık eğimlerde düşük hendek derinliğini elde etmek ve buna bağlı olarak da düşük kazı maliyeti elde etmek* amacıyla kullanılacak boru kesitinin seçiminde; *borunun dairesel kesitli olmasından ziyade yumurta biçimli olarak tasarlanmasının akış verimliliğini arttırdığı* bilinmektedir [13].



(a)

(b)

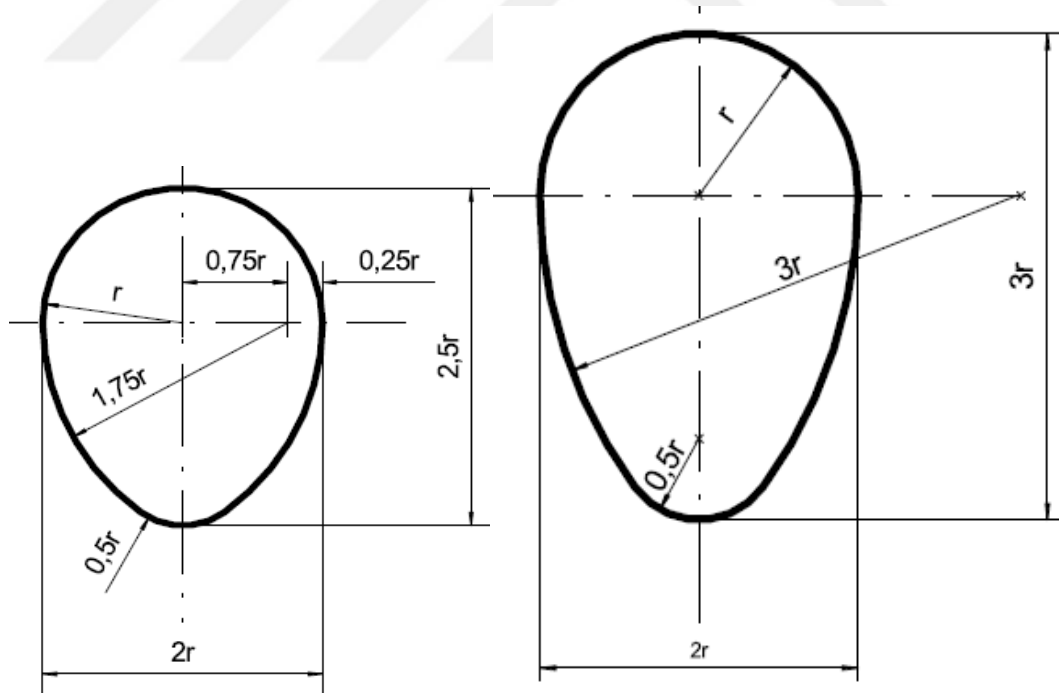
(c)

Şekil 4.1.Yumurta-kesit üretimi(a) CPM, (b) Budaplast, (c) Channeline



Şekil 4.2. İmalatı tamamlanmış yumurta-kesitli boru istifleme ve taşınması

Yumurta kesite ait oransal geometri ve Şekil 4.3'te bazı nominal ölçülere bağlı verilmiştir [2][14].



Şekil 4.3. Basık Yumurta(sol)($a=2r/b=2.5r$),Normal Yumurta(sağ)($a=2r/b=3r$)

Tablo 4.1. Üretimde standart olarak kullanılan yumurta kesitli boru boyutları

Nominal Boyut (a,b=mm)	Boru Yarıçap ve İmalat Boyutları (mm)	
a/b	r(mm)	L(mm)
240/360	120	4600
300/450	150	4600
400/600	200	4600
500/750	250	4600
508/762	254	6000
600/900	300	4600
680/1020	340	6000
700/1050	350	4600
800/1200	400	3000
900/1350	450	2300
1000/1500	500	2300
1200/1800	600	2300

Örnek olarak, Erciyas Steel Pipe Co. tarafından Türkiye'de imal edilen ve Clover Pipelines tarafından tasarım ve projelendirmede kullanılan farklı karakteristik boyutlarda yumurta-kesitli boru üretildiği gibi dairesel, oval ve eliptik kesitli olarak da boruların üretildiği bilinmektedir. Cam Takviyeli Polyester (CTP), PVC (Polyvinly Chloride), PE (Polyethylen), HDPE (High Density Polyethylen), Çelik ve Betonarme Prekast olarak imal edilen dairesel olmayan kesitli borular, hem kazısız hem de açık kanal biçiminde inşaa edilebilmektedir. Çalışmada, *Şekil.4.3b* $a=2r/b=3r$ oransal yumurta kesitli boru üzerine nümerik ve analitik hesaplamalar yapılmıştır. Yumurta kesitli atıksu boruları, imalat esnasında farklı geometrilerde ve materyallerde gerek uluslararası standartlara gerekse ulusal standartlara dayalı olarak üretilmektedir. Ülkemizde İller Bankası İçmesuyu ve Kanalizasyon Standartlarına bağlı olarak dairesel kesitli beton/betonarme, polietilen koruge, polietilen ve çelik boruların imalatına yer verilmiştir. Farklı dairesel kesitlerdeki atıksu borularının malzeme cinslerine göre Manning pürüzlülük katsayıları; atıksu kanal tipine göre boru çapları ve kanal eğim limit değerleri Tablo 4.2'de verilmektedir[15].

Tablo 4.2. Farklı boru malzemeleri için pürüzlülük Manning katsayıları

Boru İmalat Malzemesi	Manning katsayısı (n)	Atıksu Kanal Tipi	Boru Çapı D(mm)	Kanal Eğimi Min-Max
Beton	0,013	Bağlantı	300	1:300-1:15
Font	0,012	Tali	350-600	1:500-1:25
CTP	0,009	Ana	650-1000	1:1000-1:50
Çelik	0,012	Ana Kollektör	>1000	1:3000-1:75

Günümüzde, ABD 'de CPM Pipelines, İngiltere'de Marshalls Civil and Drainage, Stanton Concrete [16], [17], Macaristan'da Budaplast [18], Birleşik Arap Emirliği'nde Channeline International [19], İrlanda'da Condron Concrete Works, Almanya'da Simona PE, Avustralya'da Clover Pipelines ve Türkiye'de Subor A.Ş. ve Erciyas Steel Pipe Co., gibi örnekleri verilen firmalar tarafından yumurta kesitli borunun seri üretimi yapılmaktadır.

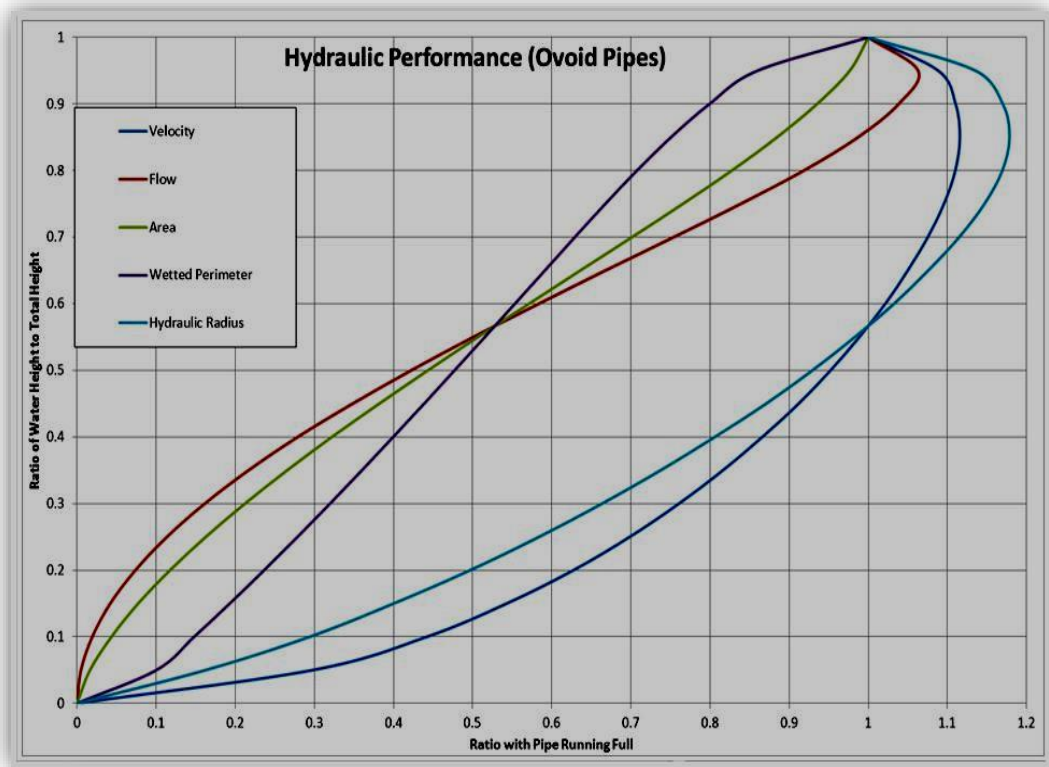
4.2. Atıksu Kanallarının Hidroliği

Kısmi/tam dolu akış durumunda; gerek ayrık gerekse birleşik kanalların hidrolik elemanlarının hesaplamalarında serbest yüzeyli akım/basınçlı akım koşulları göz önünde bulundurulmaktadır. Minimum atıksu debisinin iletiminde kısmi akış koşullarına, maksimum yağış debisinin ve maksimum atıksu debisinin iletiminde de tam dolu akış koşullarına göre akış hız ve derinlik kontrolleri yapılmaktadır [20].

Dairesel kesitli borularda ıslak çevre uzunluğu, maksimum akış alanını meydana getirmesi, hidrolik standartlarının tüm akış koşullarında daha geniş ve yaygın kullanılması, depolama ve inşaatının daha kolay olması bakımından genellikle yağmursuyu drenajlarında tercih edilirler. Ancak bazı koşullarda daha avantajlı olan boru kesitleri de alternatif olarak kullanılabilir.

Yüksek debi iletiminin ve sığ hendek kazısının olduğu hallerde tercih edilen **Kemer Kesitli (Atnalı Kesitli) Borular**, günlük akış debisinin düşük olduğu birleşik kanallarda akış verimliliğinin daha yüksek olması, boru tabanına doğru hacim daralması nedeniyle düşük doluluk oranlarında yüksek hız meydana getirerek kendi

kendini temizleme (self-cleansing), ağır sürsaj (trafik) yükü altında daha dirençli olması ve düşük eğimlerde yüksek hidrolik performansı (Şekil 4.4) sağlaması bakımından tercih edilen, ancak yumurta biçimini koruyacak tarzda inşaa problemlere ve dairesel kesitli borulara nazaran maliyetindeki artışa sebep olan hendek derinliğine ve genişliğine bağlı olarak dikey ya da yatay inşa edilebilen, yatay olarak kemer kesitli, dikey olarak yumurta kesitli boruların avantajlarına sahip **Eliptik Borular** ve sıkça kullanılmayan kare, dikdörtgen, U-kesitli ya da düzensiz kesitli yani **Standart Kesitli Olmayan Borular** olarak tanımlanabilir.



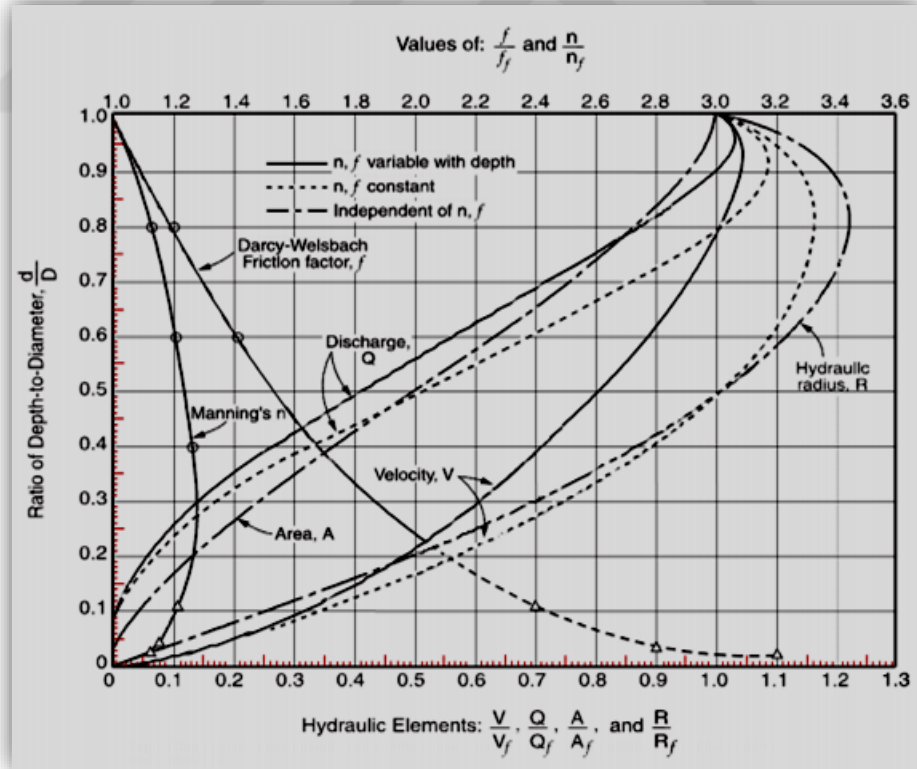
Şekil 4.4 Yumurta Kesitli kanalın kısmi/tam dolu akış hidrolik performansı

Colebrook-White ile *Manning* denklemleri atıksu borularının hidrolik hesaplarında yaygın olarak kullanılabilir. Hem dairesel kesitli borularda hem de dairesel kesitli olmayan {yumurta kesitli, kemerli (atnalı) kesitli, eliptik kesitli} borularda hidrolik analiz, tam dolu veya kısmi dolu olmasına bakılmaksızın, akış hızı *Colebrook-White* (1a) ve *Manning* (1b) denklemleri kullanılarak şu formüllerle hesaplanır:

$$V = -2 \sqrt{2 g D \frac{\Delta H}{L}} \log \left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{2,51 \nu}{D \sqrt{2 g D \frac{\Delta H}{L}}} \right) \quad (1a)$$

$$V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} J_e^{1/2} \quad (1b)$$

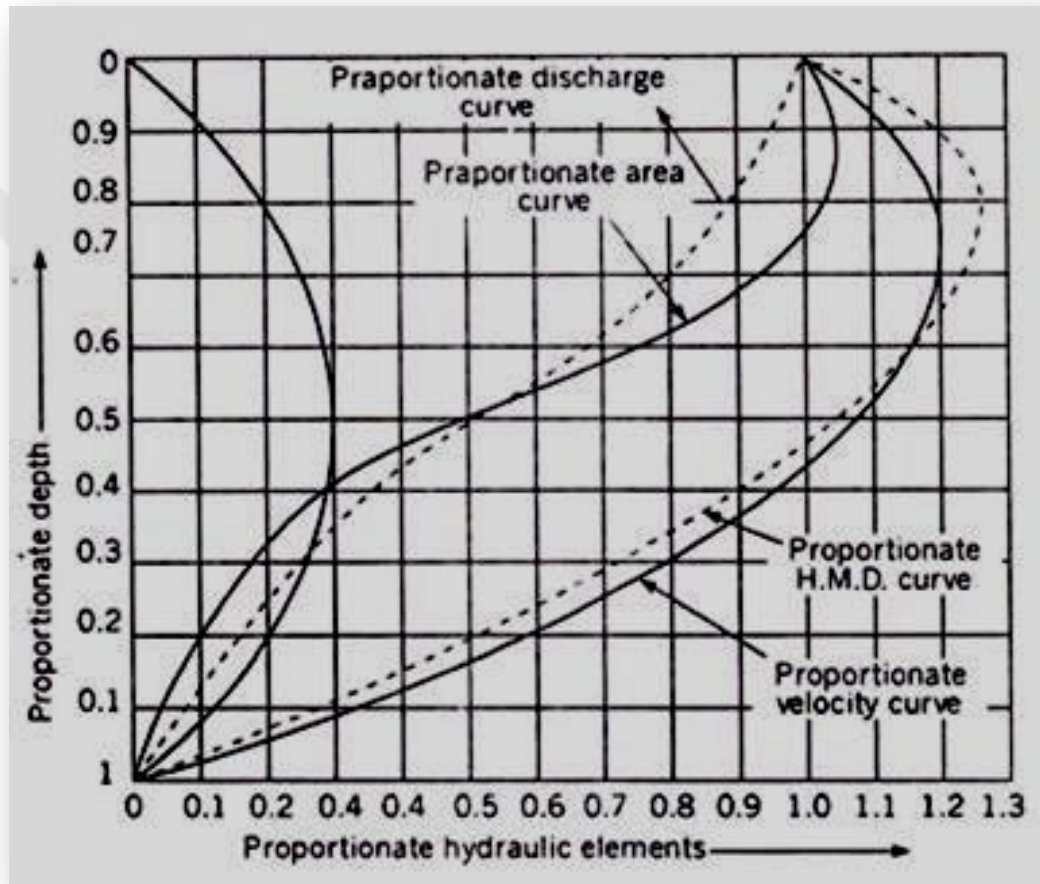
İller Bankası Yönetmeliği mecralarda suyun azami ($h/d = \%60$) doluluk oranında akıtılmasını uygun görmektedir [21]. Atıksu kanalları en fazla $\%50$ doluluk oranlarına göre tasarlanmalıdır [22]. Dairesel kesitli ve yumurta kesitli mecralara ait doluluk oranlarını gösteren hidrolik elemanlar grafikleri Şekil 4.5'te verilmiştir [23][24]. Yumurta kesitli kanalizasyon borularında akış analizlerinde; standart dairese kesitli borulardaki uygulanan hesap esasları uygulanmakta ve yumurta kesitin eşdeğeri dairese kesitler (dairese kesitli akıştaki tam dolulukla yumurta kesitli akıştaki tam doluluk oranlarının birbirine eşit olacak biçimde)(Tablo 4.3.) dikkate alınmak suretiyle hesaplamalar yapılmaktadır (Şekil 4.6) [25].



Şekil 4.5 Dairesel Kesitli Boru Hidrolik Elemanları

Tablo 4.3. Standart Yumurta Kesit-Dairesel Kesit Eşdeğerlik Oranları

S.No.	Proportional depth h/D	Proportional Velocity v/V	
		Standard Egg-shaped Section Sewer	Circular Section Sewer
1.	0.05	0.295	0.257
2.	0.10	0.440	0.401
3.	0.15	0.544	0.517
4.	0.20	0.627	0.615
5.	0.25	0.698	0.701



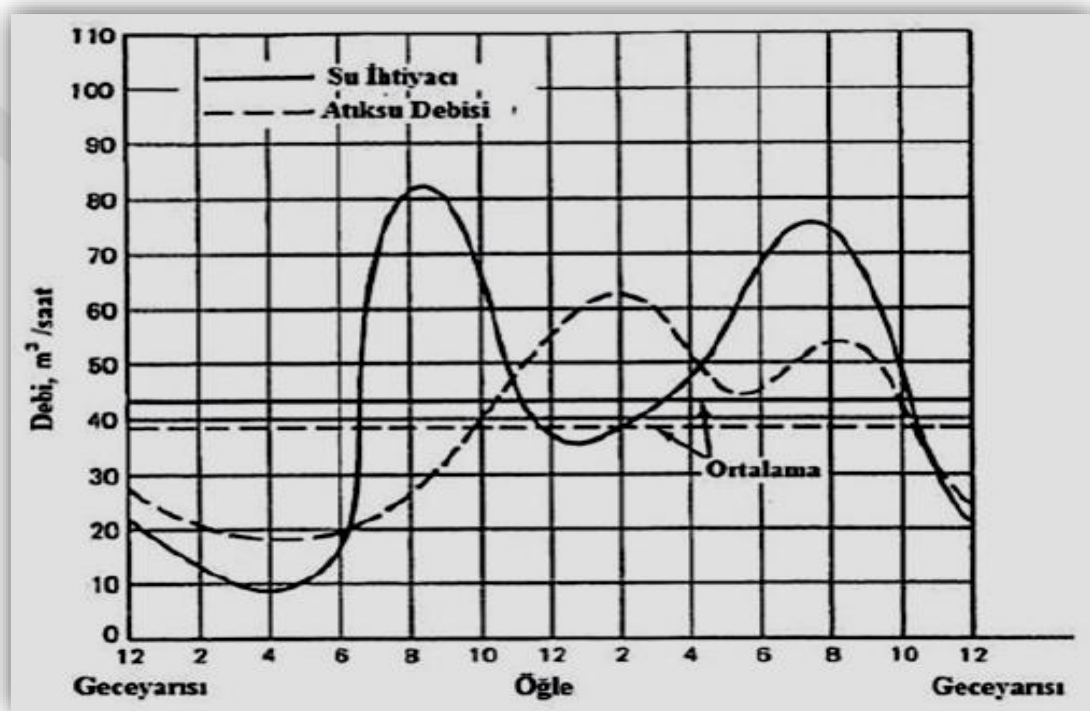
$$\frac{V}{V_f}, \frac{Q}{Q_f}, \frac{A}{A_f} \text{ and } \frac{R}{R_f}$$

Şekil 4.6 Yumurta Kesitli Boru Hidrolik Elemanları(Eşdeğer Daire)

Ancak kısmi dolulukta özellikle minimum akış gerektiren kısmi doluluktaki akışta dairesel akışa göre yumurta kesitli borulardaki akış daha hızlıdır.

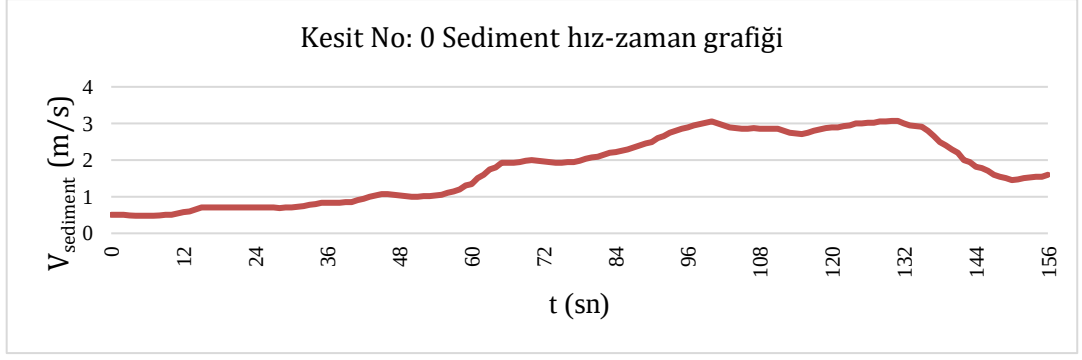
4.3. Atıksu Akımının Zamanla Değişimi

İçmesuyu temini çalışmalarında yapılan su ihtiyacı analizlerine benzer çalışmalar atıksu miktarının da belirlenmesinde uygulanmış ve nüfus miktarına bağlı olarak atıksu miktarı ile zaman içindeki akış debilerinin değişimleri hesaplanmıştır. Atıksu akımlarında da mevsimine, hava şartlarına, haftanın günlerine ve günün saatlerine bağlı değişimler gözlenir. Su ihtiyacı ve atıksu debilerinin günlük içerisindeki tipik değişimi Şekil 4.7'deki gibidir[26].

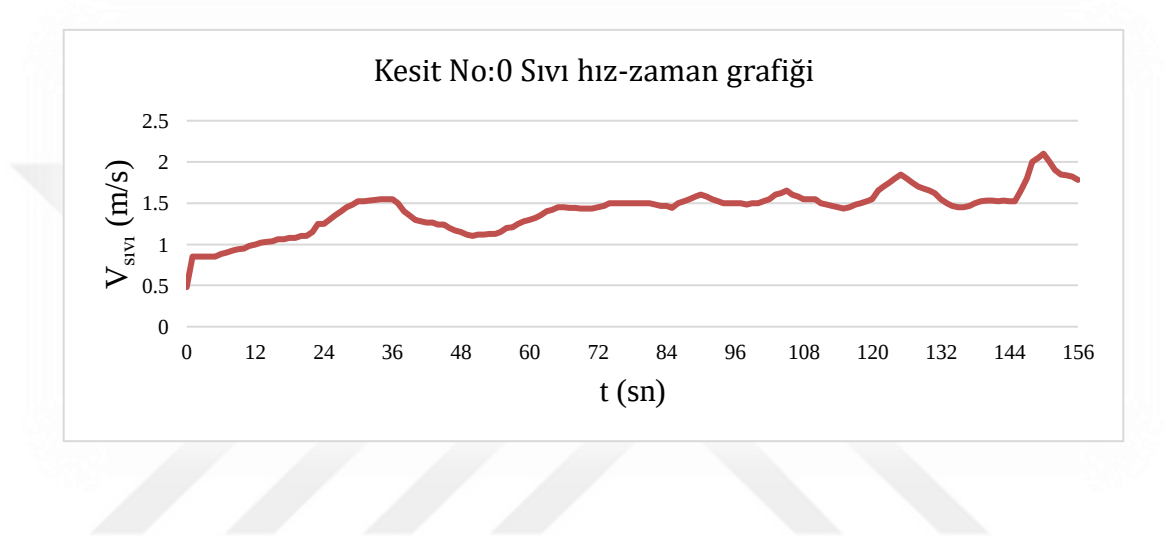


Şekil 4.7 Su ihtiyacı ve atıksu debilerinin günlük değişimi

Kurak hava şartlarında, günlük atıksu debileri gün içinde saatlik değişimler gösterir. Bu çalışmada, sayısal modelleme ve yararlanılan STAR CCM⁺ yazılımına uygun olarak, kararsız akışın modellenmesi için t=156s lik akış sürecinde boru hattının hidrolik akış analiz çalışmaları yapılmıştır. Bu kapsamda zamana bağlı (kararsız) akım özelliklerine göre çalışmada; menbadaki kesite ilişkin sediment hız-zaman ve sıvı hız-zaman girdi grafikleri oluşturulmuştur. Boru girişinde menbada (Kesit No:0) yer alan atıksu hız-zaman ve sediment-zaman grafikleri Şekil 4.8 ve Şekil 4.9' da verilmiştir.



Şekil 4.8 Menbadaki (Kesit No: 0) Atık-su akışındaki hız-zaman değişimi



Şekil 4.9 Menbada (Kesit No: 0) Sediment akış hız-zaman değişimi

Bu zaman diliminin istenilen büyüklükte alınması mümkündür. Ancak yazılımın esas aldığı Kontrol Hacimleri Yönteminin gerektirdiği sonlu elemanların fazlalığının nedeniyle hesap süresinin artması dikkate alınmalıdır.

4.4. Atıksu Akış Özellikleri

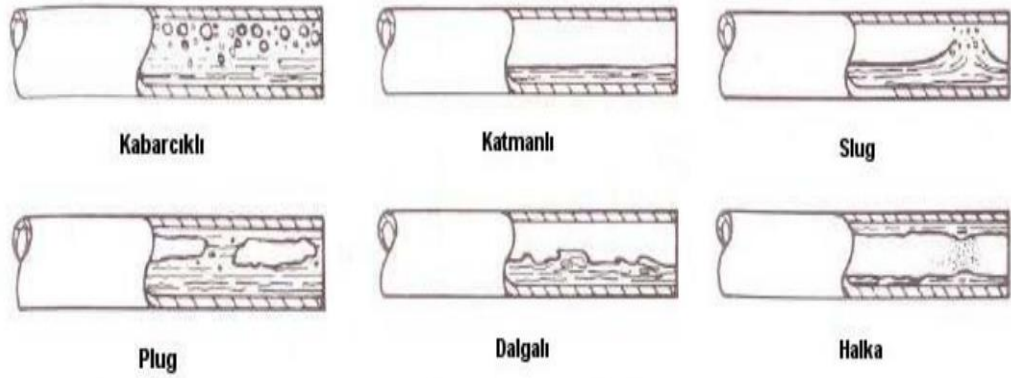
Çok fazlı akış denildiğinde kimyasal ve fiziksel özellikleri farklı akışkan ya da katı haldeki partiküllerin birbirine karışmadan bir sistem içinde akışını ifade etmektedir. Farklı fazlara ait akışların kombinasyonları aşağıdaki gibidir (Şekil 4.10 ve Şekil 4.11)[27][28].

Tek fazlı akış; su ve benzeri homojen akış, sıvı akışı (homojen akış)

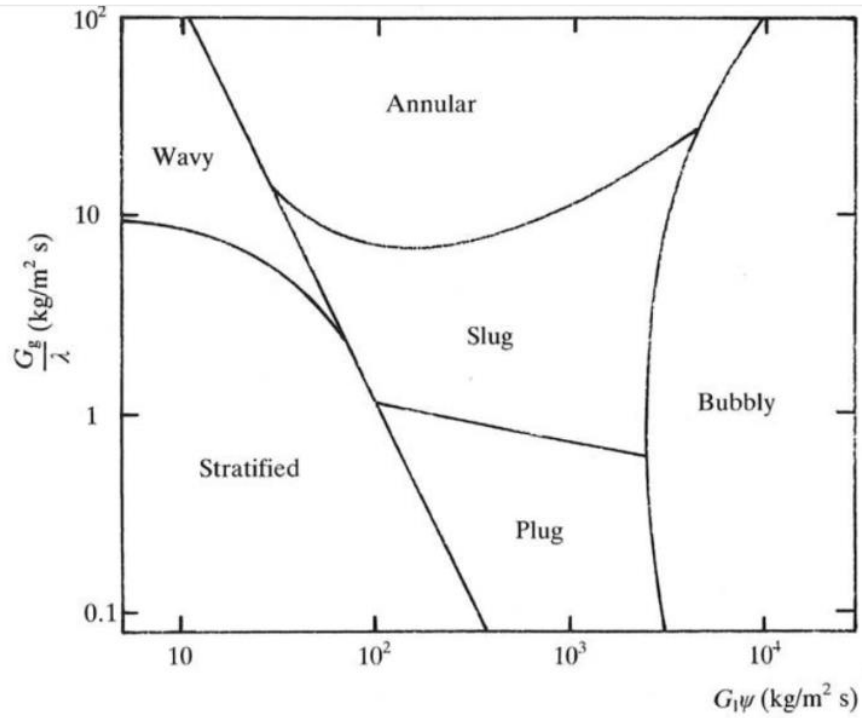
İki fazlı akış; su-gaz, su- katı, su-yağ, su-askı yüklü sıvı (heterojen akış)

Üç fazlı akış; gaz-su-katı, gaz-yağ-katı, gaz-su-kum (heterojen akış)

Tabakalı akış(stratified flow); su-kum, gaz-su



Şekil 4.10 Yatay borularda akış rejimleri şematik gösterimi



Şekil 4.11 Yatay borularda akış rejimleri bölgesel dağılımları

Sediment akışında ise boru içi akışın tortullaşmasını ve birikimini önlemek amacıyla kendi kendini temizleme hızının tayini ile belirlenmektedir. Bu amaçla, eğim, akış hızı ve taban kayma gerilimlerinin minimum değerleri dikkate alınarak sediment taşınım hesaplamaları yapılmaktadır.

4.4.1. Kararlı Akım

Kararlı akım çalışması; Star CCM⁺ nümerik model verilerinin doğrulanması amacıyla *akışta başlangıç koşulu* olarak gerekli olan parametrelerin belirlenmesinde kullanılmıştır. Bu kapsamda boru içi akışında, Enerji Korunum-Bernoulli denkleminde (2) ve Manning (1b) ten yararlanılmıştır.

Enerji Korunum-Bernoulli denklemi;

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \sum h_f + \sum h_k \quad (2)$$

Sürtünme kayıpları h_f ve yerel kayıplar h_k da dikkate alınarak kararlı akış hidrolik analizi gerçekleştirilmiştir.

4.4.2. Kararsız Akım

Basınçlı borulardaki kararsız (zamanla değişen, permenan olmayan) akımlar; bir boyutlu uniform akış esaslı, kararlı akış koşullarındaki sürtünme kayıpları geçerli ve boru cidarı lineer elastik temel prensiplere dayanmaktadır. Süreklilik ve Dinamik Denklemlere bağlı olarak kararsız akışın hidrolik-hidrokinematik analizi yapılmaktadır. Bu denklemler sırasıyla süreklilik (Denklemler 3) ve dinamik denklemler (Denklemler 4a,4b) olarak debi ve piyezometre kotunun mesafe ve zamana bağlı olduğu kısmi diferansiyel denklemlere dayanmaktadır [29].

$$\delta V_{in} = V - \delta V_{out} = \frac{\partial V}{\partial t} \delta x \delta t \pi r^2 \quad (3)$$

$$\frac{a^2}{gA} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial t} = 0 \quad ve \quad a^2 = \left(\frac{1}{g \left[1 + \frac{(K D)}{(e E)} \right]} \right) \quad (4a \text{ ve } 4b)$$

Burada, a: su darbesi hızı, e:boru et kalınlığı, K:hacimsel elastisite modülü, D:boru çapı, E:boru malzemesinin elastisite modülü olarak alınmaktadır.

4.5. Sediment Taşınımı

Kararsız akım durumu için zamana bağlı değişen her bir fazın (hava, akışkan, sediment) ayrı ayrı menba-mansap koşullarına göre girdi hızları tanımlanarak atıksu boru hattı boyunca eğim ve sediment/boru cidar pürüzlülük değişimlerinin de etkisiyle hidrolik parametrelerin değişimleri incelenmiştir. Atıksu ve sedimentin boru içindeki entegre hareketleri STAR-CCM⁺ programında esas alınan VOF ve CFD altprogramı vasıtasıyla gözlemlenebilmiştir. Sediment girdi parametresi olarak Tablo 4.4'te çalışmada kullanılan medyan dane çapı yer almaktadır.

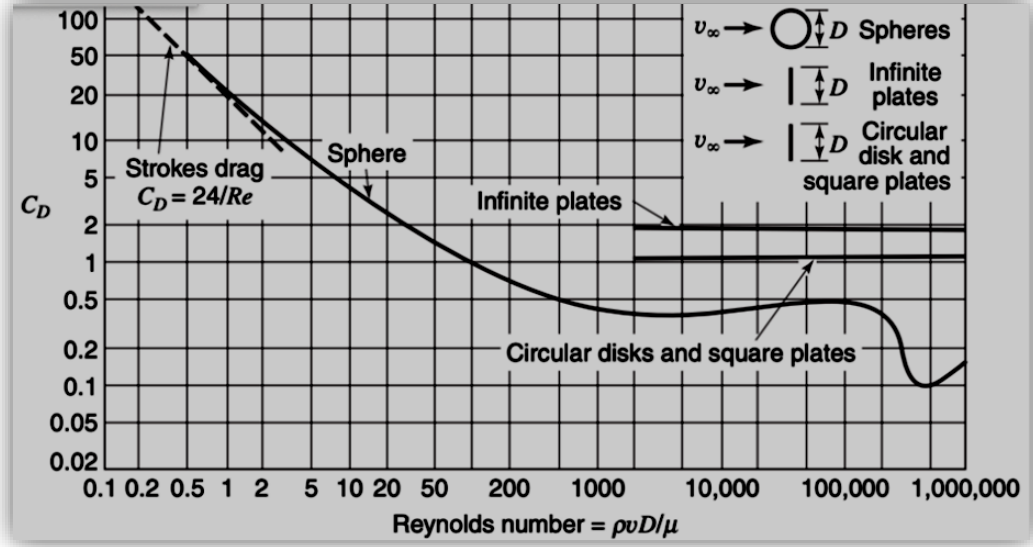
Tablo 4.4 Kullanılan sediment sınıfı ve partikül dane boyutu

Sınıfı	Dane Boyutu	d ₅₀
Kaba kum	0.5 mm- 2.0 mm	0.84 mm

Küresel bir sediment danesinin etrafındaki sürüklenme kuvvetinin etkisiyle çökelme hızı aşağıda verilmektedir.(5)

$$\omega = \sqrt{\frac{4\Delta g d}{3C_D}} \quad (5)$$

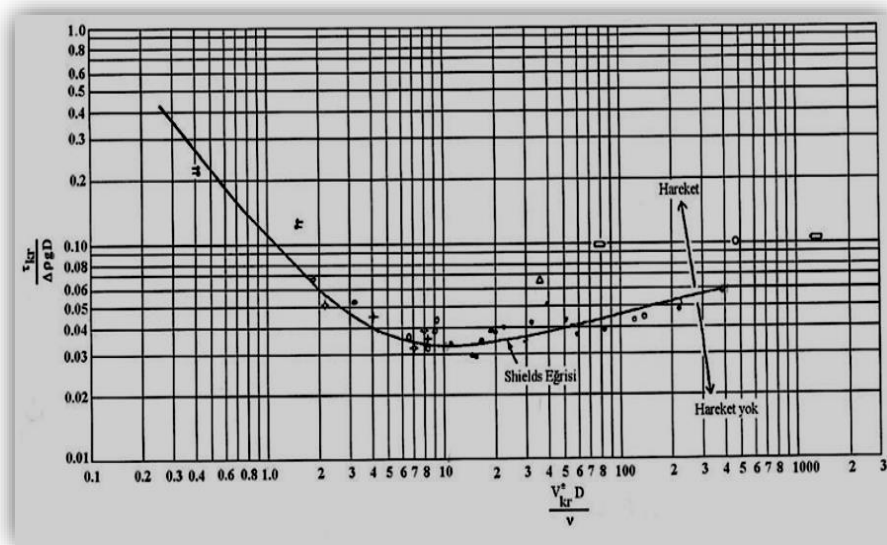
Burada, $\Delta = (\rho_s - \rho)/\rho$ ve $Re = \omega d/\nu$ ve tane şekline bağımlı olan C_D sürüklenme katsayısıdır. $Re > 1$ ise C_D 'nin değişimi Şekil 4.12' de gösterilen grafik ile verilmiştir.



Şekil 4.12 Reynolds sayısına ve farklı şekil faktörlerine bağımlı C_D sürüklenme katsayısı[30].

Boyutsuz kritik kayma gerilmesi veya tane Froude sayısı ile boyutsuz Reynolds sayısı arasındaki ilişki denklem (6) de ve Shields Diyagramı biçiminde Şekil 13'te görülmektedir.

$$\psi_{kr} = \frac{\tau_{kr}}{(\rho_s - \rho)gd} = \frac{U_{*kr}^2}{\Delta gd} = f\left(\frac{U_{*kr}d}{\nu}\right) = f(Re_*) \quad (6)$$



Şekil 4.13 Shields Diyagramı[31].

Sediment akışına neden olan akış hızının belirlenmesinde; akışkanın temel parametreleri (γ, ν), sürüntü maddesi parametreleri (d, γ_s), sediment akışı ile boru cidarı arası kayma gerilmesi (τ_0) ve yerçekimi ivmesi (g) etkili olan unsurlardır [32].

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}, \gamma_s^* = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \quad (7a) \quad \frac{u_*^2}{\gamma_s^* g D} = f\left(\frac{u_* D}{\nu}, \frac{\gamma_s}{\gamma}\right) \quad (7b)$$

Sediment hesaplamalarında söz konusu olan D çaplı silindir borudur. Silindirik kesitli kanallara ilişkin sediment akışının ifade edildiği (7a) ve (7b) denklemlerini ve ilgili sediment akış diyagramlarını kullanabilmek amacıyla iletim debisini aynı almak koşuluyla *yumurta kesitteki sediment akış işlemlerinde eşdeğer silindir çapı* kullanılmıştır.

Boyut analizine dayalı toplam katı madde yükü taşınımı hesabında, Shu-Qing Yang [33] tarafından türetilen denklemler (8a,8b,8c) kullanılmıştır.

$$C_w = k \frac{G_s}{G_s - 1} \frac{\tau}{u_m h} \frac{u_*'^2 - u_{*c}^2}{\omega} \quad (8a) \quad C_{ppm} = C_w * 10^6 \quad (8b)$$

$$\frac{u_m}{u_*'} = 2.5 \ln\left(\frac{11h}{2d_{50}}\right) \quad (8c)$$

Sayısal modellemedeki sürüntü madde taşınımında ortaya çıkan parametrelerin doğrulanmasında yukarıda değinilen toplam katı madde yükü taşınım denklemleri kullanılmıştır.

Sürüntü maddesi debisinin (Rottner formülü ile) belirlenmesi Sürüntü madde debisi (q_b) hesabında q : katı madde ve suyun toplam debisi, d_{50} : sürüntü madde çapı, D : yumurta kesite eşdeğer silindirik boru çapı ve g : yerçekimi ivmesi olmak üzere[34] denklem 9a 'dan yararlanılmıştır.

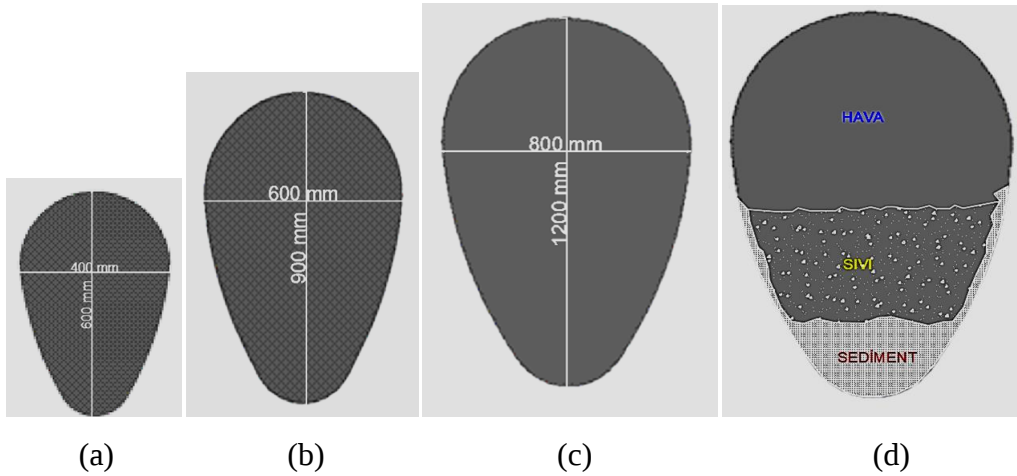
$$q_b = \gamma_s [(\xi - 1)g \cdot h^3]^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\nu}{[(\xi - 1)g \cdot h]^{\frac{1}{2}}} \left[0.667 \left(\frac{d_{50}}{h} \right)^{\frac{2}{3}} + 0.14 \right] - 0.778 \left(\frac{d_{50}}{h} \right)^{\frac{2}{3}} \right)^3 9a$$

Bu çalışmada, Rottner bağıntısına göre sürüntü madde debisi (q_b) hesaplanmıştır. Sediment yoğunluğu 1600 kg/m^3 ve ortalama dane medyan çapı olarak $d_{50}=0.84 \text{ mm}$ alınmak suretiyle boru tabanında birikime neden olacak sediment miktarı hesaplanması yoluna gidilmiştir.

4.6. Yumurta Kesitli Atıksu Borularında 3 Fazlı Akış

Yumurta kesitli atıksu ve yağmursuyu kanallarında hem atıksu kökenli hem yağmursuyu kökenli sedimentin kanal içinde akışkan ortamında hareket etmesi söz konusu olduğundan dolayı iki fazlı akış, kısmi dolu akış durumlarında da kesitin bir kısmında atmosfer ya da gaz basıncının varlığı nedeniyle bir fazlı akış daha eklenmiş ve üç fazlı akış problemi ortaya çıkmıştır.

Yumurta kesitli boruların farklı boyutlardaki imalat katalogları incelenerek, inşaa piyasasında tasarım ve projelendirmede kullanılacak 400×600 , 600×900 ve 800×1200 (mmxmm) boyutlarında yaygın olarak imal edilen kesitler bu çalışmada analitik ve sayısal modellemede kullanılmışlardır (Şekil 4.14).



Şekil 4.14 Yumurta kesit boruların boyutları **(a)** $400 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$, **(b)** $600 \text{ mm} \times 900 \text{ mm}$ **(c)** $800 \text{ mm} \times 1200 \text{ mm}$ **(d)** Üç-fazlı akış (Hava-Sıvı-Sediment)

Menba-mansap arası 20m, taban eğimi düz ve boru boyutlarına bağlı olarak eğimli olmak kaydıyla 5 gözlem kesiti olacak biçimde giriş-çıkış menhollü boru hattı üzerinde hidrolik analiz yapılmıştır (Şekil 4.15).



Şekil 4.15 Giriş ve çıkış menhollü yumurta kesitli boru hattı

STAR CCM⁺ yazılımıyla CFD hesaplamalarında; gerek hava gerekse su partiküllerinin sürekli ortam içinde kütle-enerji-momentum korunumlarına has hareketlerinin incelenmesi 2 fazlı akışı gerekli kılmış ve dolayısıyla Eulerian Sürekli Modeli ortam modelinin, buna ilaveten sediment akışında ise partikül hareketlerinin davranışlarının incelenmesi 1 fazlı akışın daha uygulanmasına neden olduğundan Lagrangian partikül modelinin de kullanımıyla Eulerian-Lagrangian Model Kombinasyonunun uygulanması gereği ortaya çıkmıştır.

Akış Hız Limitleri: Atıksu kanallarında atıksu, askı yüklü su, sürüntü maddeleri aynı kesitte akmaktadır. Yağmursuz koşullarda ve düşük debili atıksu akışlarında kanal tabanında oluşan yetersiz akış hızlarından dolayı oluşabilecek katı maddelerin çökmesini engellemek için boru içi akış hız limitlerinin (İller Bankasının Teknik Şartnamesi'ne göre) 0,5 m/sn den büyük, maksimum akış hızı ise 3,5 m/s den küçük olması gerekir [22]. Ayırık sistemde yalnızca yağmursuyu kanallarındaki sürüntü maddesi çökelmelerinin önlenmesi için akış hızı 0,5 m/s den büyük olması, maksimum akış hızının ise 5,0 m/s'den küçük olması sağlanmalıdır[35]. Mineral Products Association (2022), kataloğunda boru kesitinden istenen debiyi geçirmek koşuluyla borunun kısmi dolu (yarı dolu) iken kendi kendine temizleyebileceği akış hızının min 0.75m/sn ve max 4.00 m/sn arasında olması istenmektedir [16]. İngiliz Standartlarına göre üçtebir dolu kesitli borudaki min akış hızı 0.75m/sn, tam dolu akıştaki hız ise 1m/sn olarak ifade edilmektedir [36]. Bir diğer literatürde ise $V_{min}=3\text{ft/sec}$ (0.9m/sn) ve $V_{max} = 18\text{ft/sec}$, (5.4m/sn) arasında ifade edilmektedir [37]. Bir diğer literatürde ise $V_{min}=0.6\text{m/sn}$ $V_{max}= 3 \text{ m/sn}$ dir [38].

Bu hız limitlerinin sebep olduğu türbülanslı akışlarının çözülmesinde, k-epsilon türbülans modelinden yararlanılmıştır. Çok fazlı akış problemlerinin çözülmesinde STAR CCM⁺ yazılımı VOF (Volume of Fluid) modeline dayalı sayısal modelleme kullanılmaktadır. Boru taban eğimleri belirlemek için boru içi max/min akış hız kriterlerine ve topoğrafik harita (ya da kotlu kent plan) üzerindeki menba-mansap taban kotlarına uygun hareket edilmelidir.

Boru hatları; rögar girişi-çıkışı arası tek eğimli belli boyda olacak şekilde tasarlanmaktadır. Her faz için farklı inlet giriş parametreleri; akışta başlangıç koşulları olarak tanımlanmış ve farklı gözlem kesitleri ile çıkış kesitindeki hidrolik parametrelerin hesaplanması yoluna gidilmiştir.

Eğim: Atıksu şebekelerindeki bir kanalın sahip olabileceği taban eğimleri (İller Bankası Yönetmeliği'nde yer alan); 400x600mm kesitte min 1/500, ortalama 1/250 ve max 1/25; 600x900mm kesitte min 1/1000, ortalama 1/500 ve max 1/50; 800x1200mm kesitte min 1/3000, ortalama 1/1500 ve max 1/75 olarak sınırlandırılmıştır.

Boru hatlarının çok fazlı akış özelliklerine sahip olmasından dolayı zamanla pürüzlülük değerlerinde de değişiklikler oluşacağından bir diğer hidrolik performans kriteri olarak pürüzlülük esas alınmıştır. Pürüzlülük değerleri belirlenirken özellikle tabanda birikecek katı maddelerden dolayı tabandan üst noktaya kadar farklı değerler alınmıştır. Ayrıca pürüzlülük değerlerinin hidrolik performans etkilerini daha iyi ortaya koyabilmek amacıyla beton ve çelik malzemeli boru hatları pürüzlülüklerinin hidrolik akışa etkisi ortaya konmuştur. Çok fazlı akış olan atıksu borularında özellikle katı madde birikiminin boru içinde oluşturacağı yüzey değişimi akışı etkilemektedir. Bu sebeple katı madde (sediment) yoğunluğu da hidrolik performans değerlerini etkilemektedir. Katı madde çökmesinden dolayı zamanla kanal taban ve yan yüzeylerinde oluşan birikintilerin de kesit geometrisi ile taban dalgalanmaları oluşturularak pürüzlülüğü arttırmakta ve akış parametrelerinin değişimine sebebiyet vermektedir. Atıksu akışının zamanla değişimi ile birlikte taban sediment birikimlerinin akış kesitindeki daralmalar yoluyla üniform olmayan akışı, üniform olmayan-kararsız akış probleminin çözülmesini gerekli kılmaktadır. Lagrangian partikül model gereği, sediment partikül hareketlerini gözlemlenmiş, koşulları değişen

her akışın senaryosu doğrultusunda, gözlem kesitlerinden ve tüm boru boyundan partiküllerin transfer süreleri belirlenmektedir. Bireysel partikül hareketlerinin yanı sıra gözlem kesitlerinden geçen toplam sürüntü maddesi debisinin de zamanla değişen miktarları hem analitik hem nümerik modelle hesaplanabilmektedir.

Çok fazlı akış STAR CCM⁺ modelinde, akış sistemi belli bir sistemde girdi (atıksu debisi-zaman, sediment miktarı-zaman değişimleri) parametreleri ve farklı kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip olup da birbiriyle karışmayan her bir faza ait hacimlerin tanımlanmaları gerekmektedir. Yatay borular için çok fazlı akışlar, çeşitli akış rejimleri; *tabakalı akış*, *yavaş akış*, *dairesel akış* ve *kabarcıklı akış* olarak sayısal modelde tespit edilebilmektedir. Tek fazlı akış ile çoklu fazlı akışı birbirinden ayıran temel husus; fazlar arası ara yüzeyin var olması ve fazlar arası etkileşimin daha kompleks problemlerin çözümünün mümkün olmasıdır[3].

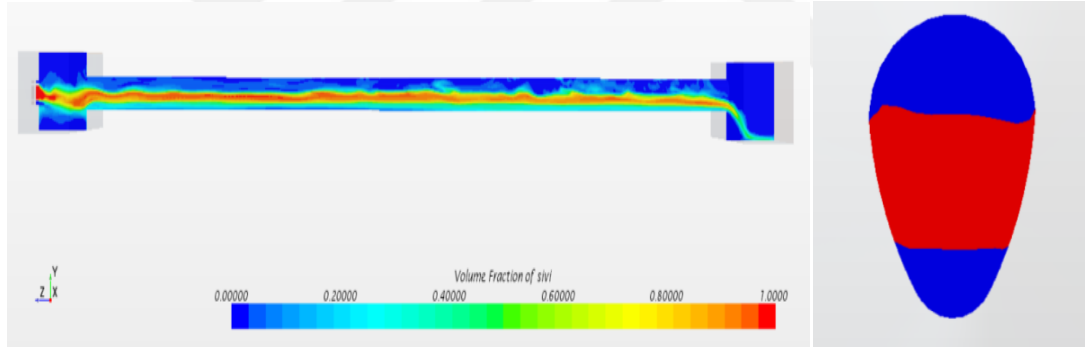
5.MATERYAL VE YÖNTEMLER

5.1. Boruların İmalatında Materyal Cinsleri

Çalışmada, yaygın olarak kullanılmaları nedeniyle 400x600-600x900-800x1200mm boyutlarındaki beton ve çelik malzemeden imal edilmiş yumurta kesitli 20m boyunda menba-mansap menhollü (Şekil 5.1) borular seçilmekle birlikte her bir boru boyutunun gerektirdiği min-ortalama-max kanal taban eğimleri Tablo 5.1.'de yer almaktadır. Kanal tabanı ise düz ve dalgalı sediment yüzey formuna sahiptir.

Tablo 5.1. Minimum, ortalama ve maksimum eğimler

Kesit(mm)	Min eğim	Ort. eğim)	Mak. eğim
400x600	1/500	1/250	1/25
600x900	1/1000	1/500	1/50
800x1200	1/3000	1/1500	1/75



Şekil 5.1. (sol) 400x600mm, 1/500 eğimli boru hattına ait boykesit ve (sağ) 600x900 mm kesitli, 1/500 eğimli sıvı yükünü ait enkesit

5.2. Akış Modellemede Yöntemler

Yumurta kesitli kanallardaki hidrolik ve hidrodinamik akışlara cevap verebilecek nitelikteki yaygın kullanılan yazılımların ve yöntemlerin araştırılması, bu kapsamda; Ön Çalışma (Preliminary Study) ve Ana Çalışma (Main Study) olmak üzere iki grupta değerlendirilmiştir.

5.2.1.Ön Çalışma

Doğrulama ve Geçerli Kılma (Verification&Validation) çalışmaları yürütülerek uygun nitelikli yazılımlar ve yöntemler tespit edilmiştir. Tezde karşılaşılabilecek problemleri çözebileceği düşünülen yazılımlar tespit edilmiş ve küçük ölçekli problemler yazılımlarla analiz edilmiş ve elde edilen bulguların tespit edilen yöntemlere dayalı analitik hesaplamalarla doğrulanmaları yoluna gidilmiştir.

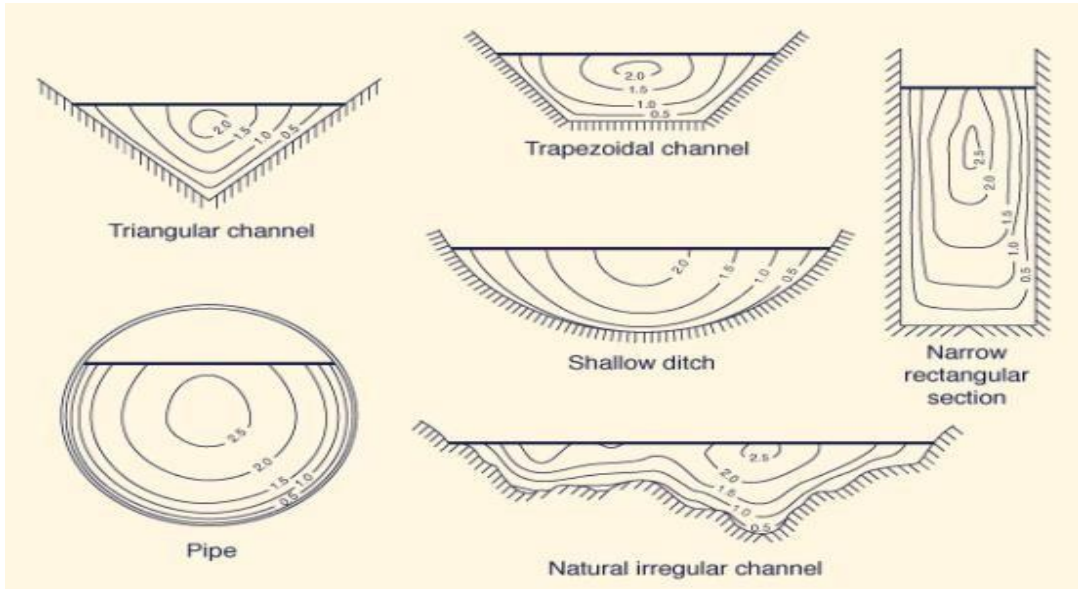
İlk olarak, tezin hazırlanmasında uygun olabilecek sayısal çözümleme tabanlı yazılımlar dikkate alınmıştır. Bunlar; HEC-RAS (Hydraulic Engineering Center, River Analysis System and subprogram: Computational Fluid Dynamics, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, CFD); nehir ya da kanallardaki akışkan hidroliğini ve hidrodinamiğini, bir boyutlu kararlı akış ile bir-iki boyutlu kararsız akış hesaplarını, sediment taşınımı ile akarsu-kanal taban sürüntü madde hareket hesaplamalarını ve su sıcaklığı-kalitesi modelleme hesaplamalarını konu edinen ve bir-boyutlu kararsız akışlarda Sonlu Farklar Metodu (Açık Yöntem) ve iki-boyutlu kararsız akışlarda Sonlu Hacimler Metodu tabanlı bir yazılım, STARCCM⁺; sıkıştırılabilir-sıkıştırılamaz akışkan akışını esas alan hesaplamalı akışkanlar dinamiği problemlerine yönelik olarak geometrisi tanımlı boru içi akış hacminin sonlu sayıda elemanlara bölünmesini ve sayısal ayrıklaştırılmasını gerçekleştiren, bu tezde esas alınan 3 fazlı akış (gaz-sıvı-katı) gibi özellikli akış problemlerini çözümleyebilen ve Sonlu Hacimler Metodu tabanlı bir yazılımı, ANSYS-FLUENT; genel amaçlı (akışkan akışı, ısı ve kütle transferi, kimyasal reaksiyonlar ve daha birçok alanda kullanılan) hesaplamalı akışkanlar dinamiği problemlerinin Sonlu Elemanlar Metodu tabanlı yazılımıdır.

İkinci olarak, analitik çözümleme tabanlı kararlı durumda tedricen değişen serbest yüzeyli ve bir-boyutlu akışlarda kullanılan STM (Standart Step Metodu- Standart Adım Metodu) ve özellikle tam dolu ya da kısmi dolu boru içi kararsız iki-boyutlu akışı tanımlayan kısmi diferansiyel denklemleri Sonlu Farklar Metoduna dayalı olarak çözümleyen MOC (Method of Characteristics MOC, Karakteristikler Metodu) kullanılmıştır. Boru içi akış problemlerinin küçük ölçekli uygulamaları STAR CCM⁺ ile yapılmış ve akış bulguları; HEC-RAS yazılım sonuçları ve ANSYS-Fluent yazılım sonuçlarıyla karşılaştırılarak STAR CCM⁺ yazılımının farklı

koşullardaki akış çözümlerinin *doğrulaması* yapılmış ve tezde dikkate alınacak akış koşullarındaki çözüm bulgularının *geçerliliği* ortaya konulmuştur [Ek.A].

5.2.2.Ana Çalışma

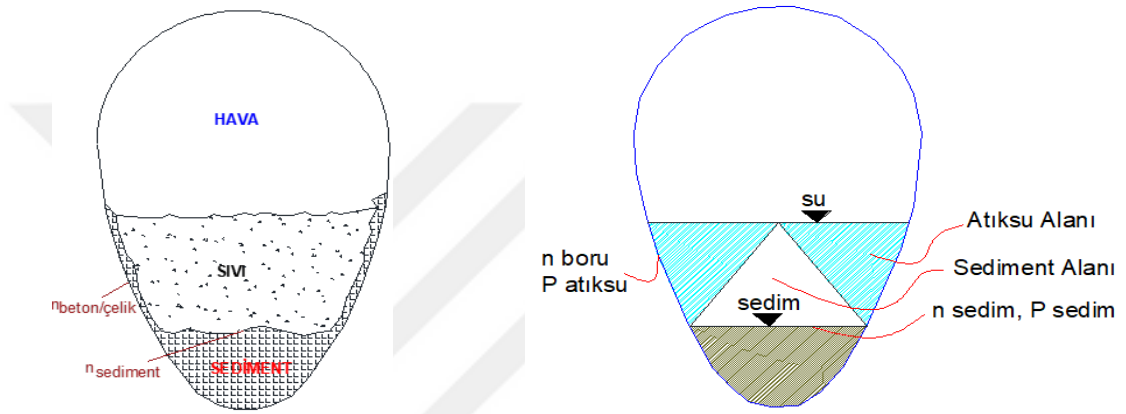
(a) *Hidrolik-Hidrodinamik Akış Yazılımı*: Üç fazlı akışa (gaz, sıvı, sürüntü maddesi hareketi) ilişkin boru içi akış problemlerini sayısal çözümleyebilen ve Sonlu Hacimler Metodu tabanlı yazılım olan STAR CCM⁺ ana yazılım olarak kullanılmıştır. Bu yazılım; gerek boru cidarıyla sınırlanan hacmin SOLIDWORKS çizim yazılımıyla kolay tanımlanabilmesine imkan sağlaması, gerekse boru içi akış ortamın sonlu elemanlara bölümlenmesini ve ağ örgüsünün kolay tanımlayabilmesi, çok fazlı akış problemini çözümleyebilmesi ve buna ilaveten tam dolu-kısmi dolu akışın farklı durumlarındaki zamanla değişen akış koşullarının Sonlu Hacimler Metodu tabanlı çözümlemesini de yapabilmesi bakımından tercih edilmiştir. Farklı koşullarda ortaya çıkması muhtemel başlangıç ve sınır koşulları altında zaman ve konumla değişen boru içi üç fazlı kararsız akış parametreleri, doğruluğu ve geçerliliği **Ek.A.** da sunulan çalışmalarla kanıtlanmış olan STAR CCM⁺ yazılımı ve Sonlu Hacimler Metodu ile desteklenen programı ile hesaplanmıştır.



Şekil 5.2. Kanal akış kesitindeki eşhız eğrileri

(b) Manning Kompozit Pürüzlülük Katsayı (n_c) Hesabı:

3 fazlı akış ortamında, boru hattının tabanında bir sediment birikimi söz konusudur. Akış ortamındaki hız dağılıma benzetilen bir hız dağılımı (Şekil 5.2) [39] esas alınmış ve farklı yüzey pürüzlülüklerinden kaynaklanan Manning pürüzlülük katsayısı, kompozit olarak hız dağılımı ve hızların egemen oldukları yüzeylerin (boru materyali ya da taban sediment materyali) pürüzlülüklerine denklem 10 ile göre hesaplanmıştır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Yumurta kesit, (sol) 3-fazlı akış ortamı, (sağ) hidrolik yarıçapın belirlenmesinde ıslak çevre-ıslak alan paylaşımı kabulünün gösterimi

$$n_c = \frac{\left(\sum n_i^{\frac{3}{2}} P_i \right)^{\frac{2}{3}}}{P^{\frac{2}{3}}} \quad (10)$$

Her gözlem kesitte ve değişen zaman aralıklarında n_c kompozit pürüzlülük katsayıları, kesit alanı içinde sediment birikiminin yüksekliği-sediment alanı dikkate alınarak (10) bağıntısıyla hesaplanma yoluna gidilmiştir. Eş hız eğrilerine ve eğrilerin ait oldukları yüzeye paralel seyirleri göz önüne alınarak bir kabul dahilinde kompozit pürüzlülüğün gerektirdiği ıslak çevrelere (P_i) ve bölünmüş alana karşılık gelen yüzey pürüzlülüğüne (n_i) dayalı n_c katsayısı hesaplanmıştır. Eşdeğer pürüzlülük değeri boru hattındaki pürüzlülük değerini tanımlamak amacı ile kullanılmaktadır. Bu sebeple sediment tanımlaması yaparken girilen eşdeğer pürüzlülük değeri problemin doğru tanımlanabilmesinde önemli bir etkidir. STAR CCM⁺ programında da bu değer

tanımlanabilmektedir. Sayısal modeldeki pürüzlülük k_s , Strickler denkleminde yer alan $(n_c=k_s^{1/6}/25)$ bağıntısına uygun olarak n_c 'nin bir fonksiyonu olacak biçimde tahmin edilmiştir [2].

(c)Kübik Eğrisel Fonksiyonlu Yumuşatma (Cubic Spline Smoothing Function):

Sonlu Hacim Metodu tabanlı STAR CCM⁺ yazılımı ile bir boru içi kararsız akışının analizi yapılırken akış alanı bir ağ örgüsü yapısı içinde küçük hacimlere bölünür. Her bir hacmin etrafı düğüm (node) noktalarıyla çevrelenmiştir. Akış ortamına ilişkin hakim denklemin sayısal çözümlemesi her bir küçük hacimler için çözülür. Çevresel parametrelerin (boru materyali, akışkan yoğunluğu, sediment yoğunluğu, sediment materyali, boru eğimi gibi) farklılaştırılmasıyla akış ortamına ilişkin başlangıç ve sınır koşulları farklı tanımlanmaktadır. Bu nedenledir ki, küçük hacimlerin her birinin sınırladığı düğümlerin konum-zaman değişimine denk düşen akış parametreleri sayısal olarak çözülmemektedir. Bulgular belli bir zaman dilimine ve koordinatlarına ilişkin olarak elde edilmektedir. Dolayısıyla, bulguların grafik gösteriminde, ayrıklaştırılmış bir biçimde çizilebilmektedir. Akışkanın sürekli ortam mekaniğine has olması nedeniyle ayrık zaman serisi halindeki akış parametrelerine ilişkin grafikler de kübik eğrisel fonksiyonlu yumuşatma fonksiyonlarıyla sürekli zaman serisi haline dönüştürülmüştür.

(d)Ki-kare uyum iyiliği testi hipotezleri: İki ya da daha fazla kütleli değerlerin aynı ana kütleden gelip gelmediğinin araştırılması amacıyla uygulanan bir testtir. X^2 uygunluk testinde teorik (analitik çözümleme) frekanslara göre hesaplanan dağılımın, gözlemlenen (model çözümleme) frekanslara ait olup olmadığı araştırılır. Eğer model çözümleme (gerçek-gözlenen-STAR CCM⁺ bulguları) bulgularından elde edilecek frekanslarla, analitik çözümlemeden (teorik-MOC veya ANSYS Fluent bulguları) elde edilen frekanslar birbirine yakınsa X^2 istatistiğinin değeri küçük çıkacak, dolayısıyla testin sonucunda seçilen dağılımın teorik dağılımla uyumlu olduğu sonucuna varılacaktır. Bu sonuca göre geliştirilecek boş ve alternatif hipotezlerden hangisinin olacağına karar verilir. Beklenen değerlerle gözlenen değerleri arasında uygunluğun belirlenmesinde; öncelikle bütün değerler kendi içinde kategorize edilmiş ve her bir sınıfta 5 ve daha fazla frekans olacak biçimde değerler kategorik olarak ifade edilmiştir. X^2 Ki-kare uygunluk parametresi X^2 (hesap) olarak hesaplanmakta ve bu değer, serbestlik derecesi ve anlamlılık düzeyine göre istatistiksel

X^2 (tablo) değeri ile karşılaştırılmıştır. $X^2(\text{hesap}) < X(\text{tablo})$ gerçekleşirse H_0 hipotezi kabul edilir, gözlenen frekanslarla teorik frekanslar birbiriyle uyumludur kararına varılır.

(e) *Farklı Senaryoların Akış Hızlarına ($V_{akış}$) Dayalı Hidrolik Performans (PV-Performans Value) Bağıntısının Uyarlanması:* Hosseini ve Ghasemi [40] çalışmasında, boyutları farklı yumurta kesitli borulardan atıksuyun farklı akış hızlarına uygun olarak her bir boru boyutunun akış analizleri sonucuna bağlı olarak hidrolik performansının tahmin edilebileceği hususu ortaya konulmuştur. Denklem (11), (k, Q_f, L) bileşeninin ağırlıklı ortalamasını ifade etmektedir. Burada, bir N adet borunun birleşimiyle tasarlanmış olan atıksu şebekesindeki borunun Q_f , L , k ve PV_i değerleri sırasıyla tam dolu akıştaki hidrolik kapasitesini, boru boyunu, kesafeti ve her bir borunun hidrolik performansını temsil etmektedir. Bu parametreler (11) bağıntısıyla değerlendirilerek PV_t olarak nitelendirilen atık su şebekesinin genel hidrolik performansını göstermektedir.

$$PV_t = \frac{\sum_1^N k_i Q_{fi} L_i PV_i}{\sum_1^N k_i Q_{fi} L_i} \quad (11)$$

Bu çalışmada ise şebeke yerine boyutları, eğimi, zamanla değişen debisi, zamanla değişen debisi, farklı malzeme cinsli boruları ve farklı taban pürüzlülüğü aldığımız, buna ilaveten menba ve mansap koşullarına göre serbest-serbest, serbest-basınçlı, basınçlı-serbest ve basınçlı-basınçlı akış halleri dört durum halinde sayısal yöntemlerle incelenmiş ve herbir koşulun PV_i değerlerinden oluşan tek hatlı-farklı akış koşullu yumurta kesitli borunun genel performansı olarak PV_t hesaplanmıştır. Her bir akış senaryosu, şebekenin bir diğer borusu gibi düşünülerek borunun genel hidrolik performansının bulunma yoluna gidilmiştir.

(f) *Çoklu Lineer Regresyon Analizi ve R korelasyon katsayısı Hesapları:* Farklı senaryoların söz konusu olduğu akış durumlarından elde edilen parametreler arası ilişkinin kurulmasında çok değişkenli regresyon analizine dayalı matematik model yaygın olarak kullanılmaktadır. (n) tane bağımsız değişken $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ arasındaki ilişkinin çoklu regresyon bağıntısı (12):

$$y_i = a_0 + (a_1)x_1 + (a_2)x_2 \dots \dots \dots + (a_n)x_n + e_n \quad (12)$$

ile ifade edilmektedir. Burada; y_i ; bağımlı değişkeni ve x değerleri bağımsız değişkenleri, a_0 ; regresyon eğrisinin y eksenini kestiği noktanın ordinatını, a_1 , a_2 ve a_n regresyon model katsayılarını ve e_i ise hata değerini (tahmin edilen değerle gözlenen değer arasındaki fark) ifade etmektedir. Bağintıda, parametreleri farklılaşan her bir senaryodan iki farklı y değeri: $y_{GERÇEK}$ ve y_{MODEL} hesaplanacaktır. Bu iki farklı değerlerin farklarının karelerinin toplamını minimum kılan korelasyon katsayı hesaplanarak modelin uyumluluğu ve akış parametrelerini tolere edilebilir hata payı ile temsil edebilirliği hesaplanmaktadır.

5.2.3. HEC-RAS Programı

HEC-RAS paket programı Hydrologic Engineering Center (CEIWR-HEC) Akarsu Analiz Sistemleri (HEC-RAS) tarafından geliştirilmiş bir yazılımdır. Özellikle;

- (i) Bir-boyutlu kararlı ve tedrici değişen akışa ilişkin su yüzü profil hesaplamalarında, kesit alt bölümlmesine dayalı kompozit Manning pürüzlülük katsayısı, ortalama kinetik enerji yükü, sürtünme kayıpları, yerel kayıplar, kritik su derinliği, momentum denklemi uygulamaları ve kararlı akış model limitleri gibi hususların da hesaplamalarında,
- (ii) Bir-boyutlu karasız akış simülasyonu ile kısmi diferansiyel formda kütle ve momentum korunumuna dayalı problemlerin çözümünde,
- (iii) İki-boyutlu kararsız akışın simülasyonu ile üç-boyutlu Navier-Stokes denklemlerinin iki boyutunu halinin (sıkıştırılmaz akış, üniform yoğunluklu akışkan, üniform hidrostatik basınç ve eddy viskozitesi kökenli türbülanslı akışın Reynolds ortalama varsayımına dayalı olarak) çözümlenmesinde,
- (iv) Bir/iki-boyutlu Yarı Kararsız (Quasi-Unsteady) veya Tam Karasız akıştaki sediment yüklü hareketli taban (sediment transport) problemlerinin çözümünde,
- (v) Bir-boyutlu su sıcaklığı/kalitesi model problemlerin çözümünde kullanılmakta olan HEC-RAS yazılımı, geliştirilmiş grafik gösterim esaslı bir yazılım olarak

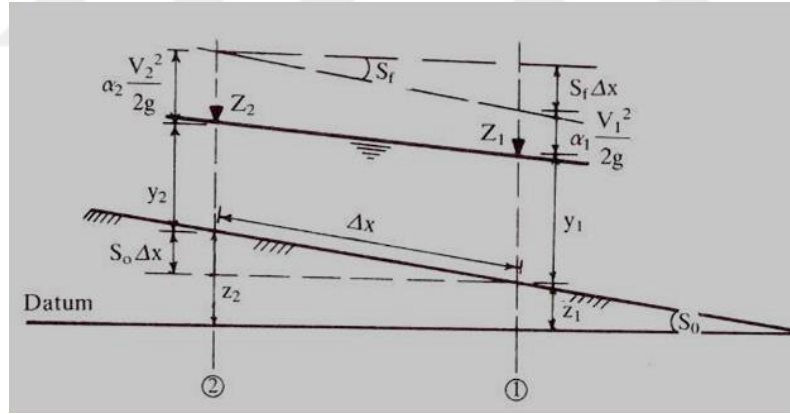
hizmet sağlamaktadır.

Kanalın ve akışkanın taşındığı alanın gridler ve sonlu elemanlarla temsil edilmesi akabinde Sonlu Hacimler Metoduna göre non-linner akış denklemlerinin ayrıklaştırma yoluyla çözümlenmesine imkan sağlayan nümerik hesaplama tekniğinin uygulanması yoluna gidilmektedir.

HEC-RAS yazılımıyla Difüzyon-Dalga (DWE), Sığsu-Dalga (SWE) denklemleri; the Eulerian-Lagrangian Method (ELM-SWE), Eulerian Method (EM-SWE), Sonlu Farklar (FDM) ve Sonlu Hacimler (FVM) metotları desteğiyle çözümlenebilmektedir [41].

5.2.4. Standart Adım Yöntemi

Standart Adım Metodu (STM), bir-boyutlu kararlı ve tedrici değişken akış koşullarında serbest yüzeyli (belli enerji eğimli S_f , kanal taban eğimli S_o ve geometrili (Şekil 5.4) kanalların su yüzü profillerinin (17) belirlenmesinde enerji, momentum ve süreklilik denklemlerinin kombinasyonunu kullanan bir hesap tekniğidir [41].



Şekil 5.4. Üniorm/Üniorm Olmayan Kararlı/Kararsız Akış Boykesiti

(1) Kararlı akış altında Standart Adım Metodu

(i) STM-Üniorm Olmayan Kararlı Akış (13)

$$H = z + y + \frac{Q^2}{2gA^2}$$

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dz}{dx} + \frac{dy}{dx} \left(1 - \frac{Q^2 T}{gA^3} \right)$$

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dz}{dx} + \frac{dy}{dx} (1 - F_r^2)$$

$$\frac{dH}{dx} = -S_f \text{ ve } \frac{dz}{dx} = -S_o$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_o - S_f}{1 - F_r^2}$$

(ii) STM-Üniform Olmayan Tedrici Değişken Akış (14)

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\left(\frac{dH}{dx} - \frac{dz}{dx}\right)}{1 - F_r^2} \rightarrow \frac{dy}{dx} (1 - F_r^2) = \frac{dE}{dx}$$

$$\frac{dE}{dx} = -\frac{dz}{dx} + \frac{dH}{dx} \rightarrow \frac{dE}{dx} = S_o - S_f$$

$$\Delta x = \frac{\Delta E}{S_o - S_{fave}} = \frac{E(y + \Delta y) - E(y)}{S_o - S_{fave}}$$

$$S_{fave} = \frac{1}{2} [S_f(y + \Delta y) + S_f(y)]$$

Bilinen su derinliği, debi, kanal taban eğimi, kesit alanı kullanılarak ardışık Δx mesafe sonraki kanal kesitindeki su derinliği 1a-halinde deneme-yanılma yoluyla, 1b-halinde Sonlu Farklar Yöntemi (FDM) yardımıyla hesaplanmaktadır.

(2) Kararsız akış altında Standart Adım Metodu

Kararsız ve tedrici değişken akış hallerinin izah eden Saint-Venant denklemlerinin (15), Sonlu Farklar Metodu ile simülasyon modeline imkan veren HEC-RAS yazılımıyla, çözümü yapılmaktadır [42][43].

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \text{ ve } \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\frac{Q^2}{A}\right)}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial s} + gA(S_o - S_f) = 0 \quad (15)$$

Su derinliği (ii)-halinde kararlı koşullarda aynı tedrici değişken akış (15) Sonlu Farklar Metodu (FDM) kullanmak suretiyle akış yönünde ardışık kesitlerdeki su derinlikleri HEC-RAS yazılımı kullanmak suretiyle hesaplanmaktadır.

5.2.5. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) Programı

İlk önce akış sınırları ve bu sınırlar içinde mevcut olan hacimsel büyüklüğüne göre bir cisim, katı modelleme amaçlı CAD yazılımı kullanılarak biçimlendirilir. CFD yazılımıyla da, CAD ile biçimlendirilmiş katı cisim ile ilişkilendirilen akışı temsil eden bir hakim denklemin sayısal modelleme tekniğiyle çözümlemesine imkan sağlamaktadır. Akış alanı ve hacmi sonlu elemanlar parçacıklarıyla bir ağ dahilinde modellenir. Model ağı tamamlanan sonlu hacimli akış ortamında, akış temel denkleminin nümerik yolla çözümlenmesi ve her bir sonlu- geometrisi belli-bir ağ içinde konumlandırılmış elemanın tasarım parametrelerini iletim noktalarından komşu sonlu elemanlara akış-yük-gerilme-basınç gibi parametreler transfer edilir. Bu işlemler sonlu elemanların bir diğerine ardışık transfer edilmek suretiyle akış hacmindeki tüm sonlu elemanlar bilgilendirilmiş olurlar. Akış denkleminin çözümü gereği hata tolere edilebilecek düzeye ininceye kadar iteratif olarak tekrarlanır. Sonlu eleman iletim noktalarında (düğüm-node) her bir iterasyon sonrası elde edilen yeni değer ile bir önceki iteratif işlemde elde edilen arasındaki hata, minimum değere parametreler elde edildiğinde iterasyon sonlandırılır. Başlangıç ve konum şartlarına uygun girdi parametreleri, akış sisteminin CFD yoluyla iteratif işlemleri sonrasında çıktı parametreleri elde edilebilmektedir.

Üç boyutlu modellerde hassas çözüm için sonlu eleman sayısı çok fazla artacağından çözüm zamanı ve zorluğu da çok fazla artmaktadır. Çok fazlı ve serbest yüzeyli akımlar gibi problemlerin sayısal analizlerinin yapılabilmesi için yazılım şirketleri Çok-Fazlı Model (Multi-phase Model), Akışkan Hacmi (VOF- Volume of Fluid) modeli gibi CFD modelleri geliştirmiştir [44].

Birbiri ile karışmayan iki veya daha fazla fazlı akışkan arasındaki fazlar arası ara yüzeyin geometrik şekli ve her fazın kendi hacmi içinde gelişimini incelenmek istendiğinde, genellikle sabit bir Eulerian çözüm ağ modeli uygulanmakta ve VOF modeli akış ortamının modellemesine imkan vermektedir[45;46]. Fazlar arası etkileşim olmayan, karışmayan akışkanların net bir ara yüzey ile ayrılması durumunda VOF model kullanımı uygun olmaktadır. Özellikle serbest yüzeyli akımlarda, serbest yüzeyinin şeklinin önemli olduğu problemlerde uygun çözümler üreten VOF modelinde sıvı ve gaz fazları arasındaki ara yüzeyin belirlenmesi halinde, her bir faz için tanımlı hacim içinde süreklilik denkleminin çözümü ile akış parametreleri

hesaplanmaktadır. VOF modelinin uygulanmasıyla aşağıdaki akış problemleri çözümlenebilmektedir[44].

(i) Her akışkan fazı için diferansiyel formda momentum denklem (16) seti çözümlenir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_j) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial P}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j}\mu\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right) + \rho g_j + F_j \quad (16)$$

Bu bağıntıda; ρ : Akışkanın yoğunluğu, μ : Akışkanın viskozitesi, u : Akışkanın hızı, g : Yerçekim ivmesi, F_j : ek terimdir.

(ii) Momentum denkleminde eklenen bir terimle yüzey gerilimleri ve cidar adezyonu modellenir.

(iii) Türbülanslı akımlar için türbülans transfer denklemlerinin tekil seti çözümlenebilir.

(iv) Birincil faz için kütle korunum denklemleri yine diferansiyel formda çözümlenir.

5.2.6. Akışkanlar Dinamiğinde STAR-CCM⁺ yazılımı

CFD yazılımlarından biri olan STAR-CCM⁺ yazılımı da kısmi diferansiyel denklemlerin nümerik yolla çözümlenmesini sağlayan ve incelenecek bölge içinde üst-üste binmeyen sonlu sayıda kontrol hacmine bölünmesi gerektiren Sonlu Hacimler Yöntemini kullanmaktadır. Bu yöntemde de korunum yasası gereği süreklilik-enerji-momentum denklemlerinin diferansiyel formları çözümlenmede kullanılmaktadır. Kütlenin, Enerjinin ve Momentumun korunumu (17) [47];

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot [\rho V] = 0 \quad \left[\frac{\partial}{\partial t}(\rho v) + \nabla \cdot \{\rho v v\} \right] \cdot v = f \cdot v \rho \frac{Dv}{Dt} + v \left(\frac{D\rho}{Dt} + \rho \nabla \cdot v \right) = f \quad (17)$$

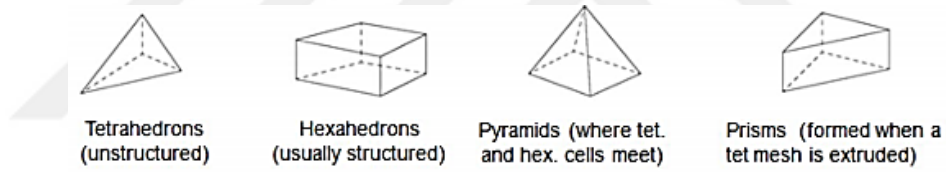
Navier-Stokes denklemlerinin çözümlenmesinde, sıvı hareketini üç boyutlu olarak temsil edilmesi ve simülasyon modelinin kurulması gerekmektedir. CFD analiz programının temel denklemleri: sıkıştırılmaz akışkanlar esaslı Navier-Stokes denklemleridir (18.abc)[48].

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = \rho B_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (18a)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \rho B_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (18b)$$

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = \rho B_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (18c)$$

Üç boyutlu CFD analizlerinde en önemli adımlardan birisi geometrinin meshlenmesi yani sonlu sayıda çok kenarlı hacimlere ayrılmasıdır. Böylelikle korunum denklemleri, sonlu sayıdaki bu küçük hacimler için ayrı ayrı çözülerek toplam akış alanı için genel çözüme ulaşılır. Mesh modülünde yüzeylerde quad/tri/map gibi alternatifler mevcut iken hacimsel ağlar oluşturmak için “tetra, hexa, pyramid” gibi meshleme çeşitleri mevcuttur (Şekil 5.5). 3-boyutlu mesh yapıları temel olarak aşağıda yer aldığı gibi gruplandırılmaktadır [49].



Şekil 5.5. Üç boyutlu ağ yapıları çeşitleri

Tez çalışmasında, katı cisim modelleme tekniğiyle (SOLIDWORKS) boru yumurta kesit geometrisi, menba ve mansap geometrileri öncelikle tanımlanmış, sonrasında boru boyunca akış hacmi içinde uygun meshleme işlemi yapılmıştır (Şekil 5.6). Akış probleminin çözümü öncesi, doğru mesh sayısının ve geometrik şeklinin tam olarak oluşturulması gerekmektedir.

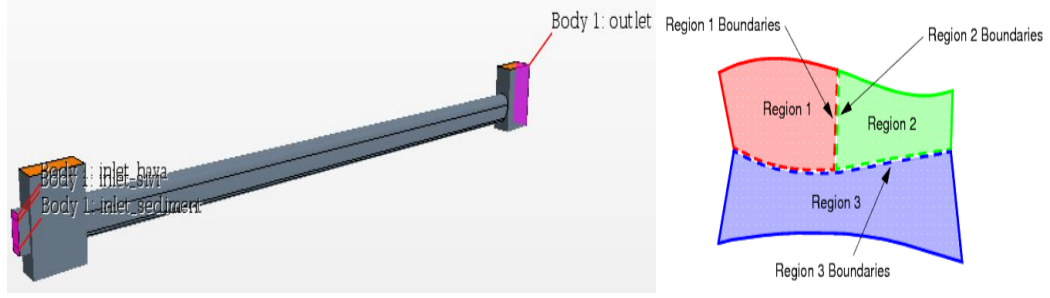


Şekil 5.6. (sol)Menba-Mansap sonlu elemanları , (sağ)Eleman sınırları

Star-CCM⁺ programında denklemlerin çözümü için ayrık (segregated) metot kullanılmıştır. Çözüm metodunda genel ağ içindeki bir hesaplama hacmi (bilinen sınır ve başlangıç parametrelerine sahip) ayrıklaştırılır, kısmi diferansiyel formdaki akış denklemleri sayısal çözülür ve hesaplama hacminin düğüm noktalarında çözümü yapılmış-bilinen parametreler, komşu sonlu hacmin örtüşen düğümlerine input bilgileri olarak transfer edilir. Genel hacim içinde tanımlı tüm sonlu hacimlerin düğümlerindeki akış parametreleri ardışık olarak hesaplanır. Bu işlem iteratif olarak defalarca yapılır. Eski ve yeni iterasyon sonuçları sürekli hata hesabına tabii tutulur. Hata tolerans dahilinde çıkarsa sonuçlar yakınsama (örtüşme) sağlamıştır ve iterasyon işlemi sonlandırılır.

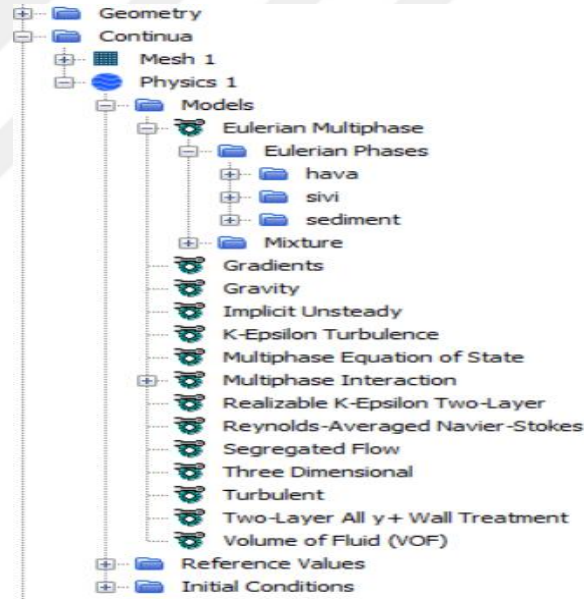
Bir sınırın ayrıklaştırılması, bölge için hacim ağını sınırlayan yüzeye karşılık gelir. Sınırlar bölgeler arasında asla paylaşılmaz; bir sınır sadece bir bölgeye ait olabilir. Aşağıdaki şekilde (Şekil 5.7, sağ) üç ayrı bölge örneği gösterilmektedir. Noktalı çizgiler, her bölgeyi ayıran sınırları temsil eder.

Çalışmada giriş ve çıkış menhollü yumurta kesitli boru hattı kullanılmış olup sınır şartları giriş (inlet), çıkış ile menhol üstü (outlet) ve boru hattı boyunca duvar (wall) şeklinde tanımlanmıştır. Böylece sınırlarla bölgeye alınan elemanlara ait fiziksel özellikler tanımlanabilmiştir (Şekil 5.7,sol).



Şekil 5.7. Sınır şartlarının geometri üzerinde gösterimi (sol), bir sonlu elemanda bölgesel ayrıklaştırma (sağ)

Çalışmada problemin tanıtılması için gerekli fizik model tanımlaması, Eulerian multiphase modeli oluşturulurken de bu modülün altında yer alan 3-fazlı akış elemanlarının da ayrı ayrı tanımlaması yapılmıştır (Şekil 5.8).



Şekil 5.8. Star CCM+ programı fizik özellikleri

Zamana göre değişen akış şartları için de açık kararsız (implicit unsteady) modeli seçilerek çalışma devam ettirilmiştir. Türbülanslı akış gereği k-ε modeli seçilerek, Segregated flow ile Ayrık metot kullanılmıştır. VOF modeli ile de fazlar arası etkileşimler ve yerçekimi etkisi dikkate alınmıştır. Böylece çalışmanın fizik özellikleri oluşturularak akış öncesi koşulların ataması yapılmıştır. Input parametreleri başlangıç ve sınır koşulları olarak belirtilmesiyle sistem işletme konumuna

ulaştırılmıştır. İnlet kısmından Şekil 4.8 ve 4.9’da yer alan Kesit 0’a ait sediment ve atıksu hız-zaman verileri girilerek, giriş koşulları oluşturulmuştur. Bu değerler zamana bağlı değişen sediment ve atıksu hız değerlerini oluşturmaktadır. Böylece çalışılan her boru sisteminde farklı eğim, malzeme, giriş-çıkış koşulları, boru taban tipi özelliklerine göre boru içindeki atıksu ve sediment özellikleri değişiklik göstermektedir. Farklı input parametrelerine göre çalışma süresince üretilmiş ve nihayetinde hidrolik performans işlemlerine temel oluşturan akış hesap parametreleri bulgular olarak elde edilmiştir.

5.2.7.ANSYS FLUENT Programı

Sonlu Elemanlar Yöntemi esaslı ANSYS-Fluent yazılımı ile sanal fiziksel modelleme üzerinden nümerik analiz teknikleriyle Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) altprogramının kullanımıyla Newtonyen-Newtonyen Olmayan Akışkan problemlerinde, türbülanslı-laminer akışlarda, sub-supersonik akışlarda, ısı transferi problemlerinde, çok-fazlı akışın söz konusu olduğu durumlarda, çevresel yüklere maruz uzay taşıyıcı sistem, deniz yapılarının tasarımında hızlı ve güvenli hesap yapabilmesine imkan sağlamaktadır. Programın işletiminde; katı cisim modellemesi ile elde edilen dijital veri tabanının ANSYS-Fluent yazılımına aktarımı, sınır-başlangıç koşullarının tanımlanması ile bilinen data girdilerini Sonlu Eleman olarak tanımlanan ağ elemanlarına uygulanması ve ağ elemanlarının tamamının çözüm parametrelerinin belirlenmesi, ve Sonlu Elemanların düğümlerinde toparlanan çözüm parametrelerinin değerlendirilmesi, çalışmaları yürütülmektedir.

*ANSYS-Fluent-Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM):*Hesaplamalı Akışkanlar dinamiğindeki diferansiyel denklemlerin lineer veya non-lineer çözüm teknikleriyle çözümlemesi yapılabilmektedir. FDM, FEM, FVM gibi yaygın kullanılan metodların tümü, Kütlenin korunumu denklemi (19), Momentumun korunumu denklemi (20) ve Enerjinin korunumu denklemleri (21) ile çözüm yapılmaktadır [50].

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + u_i \frac{\partial \rho}{\partial x_i} = 0 \quad (19)$$

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(u_j \rho u_i)}{\partial x_j} - \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} = 0 \quad (20)$$

$$\frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \frac{\partial(u_j \rho E)}{\partial x_j} - \frac{\partial}{\partial x_i} \left(k \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) + \frac{\partial(u_j p)}{\partial x_j} - \frac{\partial(\tau_{ij} u_j)}{\partial x_j} = 0 \quad (21)$$

Momentum denkleminde düzenlemeler yapılmasıyla (22) ve diferansiyel elemanlardan ihmal edilebilenler çıkarıldığında indirgenmiş momentum denklemi (23) yazılabilmektedir[50].

$$\rho \frac{\partial u_i}{\partial t} + u_i \left(\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \frac{\partial u_j}{\partial x_j} + u_j \frac{\partial \rho}{\partial x_j} \right) + \rho u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \frac{\partial p}{\partial x_j} = 0 \quad (22)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} = 0 \quad (23)$$

Enerji korunum denkleminin diferansiyel formunda düzenlemeler yapıldığında denklem yeniden (24) yazılabilir.

$$E \left(\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \frac{\partial u_j}{\partial x_j} + u_j \frac{\partial \rho}{\partial x_j} \right) + \rho \frac{\partial E}{\partial t} + \rho u_j \frac{\partial E}{\partial x_j} - \frac{\partial}{\partial x_i} \left(k \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) \quad (24)$$

CFD, sayısal analiz yöntemleri ve sonlu eleman uyumlu veri yapıları kullanılarak akış problemlerini çözmektedir. Başlangıç-sınır koşullarından faydalanılarak akış ağ yapısı ve sonlu eleman düğüm girdileri ile akışkanlar dinamiği problemlerinin Navier-Stokes diferansiyel denklemlerinin genellikle;

Ayrıklaştırma metotlarından FDM, FEM ve FVM biri ile lineer matris çözümüne, *Türbülans metodlarından* Reynolds-Ortalama Navier-Stokes (Reynolds-Averaged Navier-Stokes-RAN: *k-epsilon* veya *k-omega* Boussinesq hipotezlerine dayalı yöntemlerden biri ile birlikte Reynolds gerilmeleri), Büyük Eddy Simülasyon (Large Eddy Simulation-LES) biri ile FEM, FVM sonlu elemanların non-lineer matris çözümüne, **İki Fazlı Akış Modeline** göre FVM çözümüne, dayalı olarak sayısal çözümlemesi tekniği ile çözüm işlemleri yürütülmektedir.

Reynolds-Ortalama Navier-Stokes RANS: türbülanslı modellemede zamanla konumla değişen akış hız bağıntısı, ortalama hız ve ortalamadan sapma yapan çalkantı (salınım) hız toplamı (25), ortalama hızın konumla değişimi (26), dış kuvvetler fi

etkisinde momentum denklemi (27), momentum denkleminin i ve j sonlu eleman düğümlerindeki hızların ortalamalarındaki değişimi esasına göre düzenlenmesi (28) ve Reynolds gerilme bağıntısı (29) [51]:

$$u(x-t) = \bar{u}(x) + u'(x+t) \quad (25)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (26)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = f_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_i \partial x_j} \quad (27)$$

$$\rho \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = \rho \bar{f}_i + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[-\bar{p} \delta_{ij} + \mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \rho \overline{u'_i u'_j} \right] \quad (28)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \overline{u'_i u'_j}}{\partial t} + \bar{u}_k \frac{\partial \overline{u'_i u'_j}}{\partial x_k} - \overline{u'_i u'_k} \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_k} - \overline{u'_j u'_k} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_k} + \frac{\bar{p}'}{\rho} \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \\ & - \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\overline{u'_i u'_j u'_k} + \frac{\bar{p}' u'_i}{\rho} \delta_{jk} + \frac{\bar{p}' u'_j}{\rho} \delta_{ik} - \nu \frac{\partial \overline{u'_i u'_j}}{\partial x_k} \right) - 2\nu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_k} \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_k} \end{aligned} \quad (29)$$

biçiminde formülize edilmektedir.

Standard k-ε Türbülans Modeli: türbülans kinetik enerji (k) ve türbülans kinetik enerji yayılım hızı (ε) olmak üzere iki temel değişkenin dayandığı temel bağıntılar 30 ve 31 sırasıyla ifade edilmektedir [52].

$$\frac{\partial (pk)}{\partial t} + \frac{\partial (pk u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + 2\mu_t E_{ij} E_{ij} - \rho \varepsilon \quad (30)$$

$$\frac{\partial (p\varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial (p\varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} 2\mu_t E_{ij} E_{ij} - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (31)$$

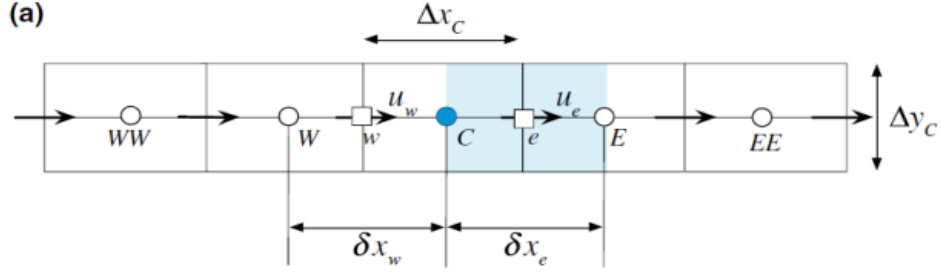
$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (32)$$

$$\{C_\mu = 0.09, \sigma_k = 1.00, \sigma_\varepsilon = 1.30, C_{1\varepsilon} = 1.44, C_{2\varepsilon} = 1.92\}$$

Burada; u_i akış yönüne bağlı hız bileşeni, E_{ij} türbülanslı kinetik enerji deformasyon hızı, μ_t eddy viskozitesini (32) temsil eder.

5.2.8.Sonlu Hacimler Metodu (FVM)

Süreklilik (33) denkleminin hacimsel integral işlemleri gerektiren sonlu hacimler metoduyla ve yarı-ayrıklaştırılmış çözümlenme ve 34.a,b,c bağıntılarının uygulamasıyla hesaplanabilmektedir. Sonlu Hacimler Metoduna ilişkin 1B akışta sonlu hacimleri ardışık olarak (a) Şekil 5.9'da görülmektedir [47].



Şekil 5.9. FVM göre ayrıklaştırılmış sonlu hacimlerle kütle korunumu

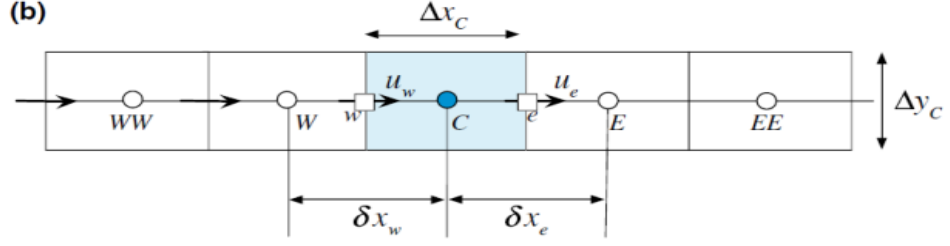
$$\sum_{f \sim nb(C)} (\rho u \Delta y)_f = (\rho u \Delta y)_e - (\rho u \Delta y)_w = 0 \quad (33)$$

$$\int_{V_w} \frac{\partial u}{\partial x} dV = (u_c - u_{ww}) \frac{V_w}{2\Delta x_w} \quad (34a)$$

$$\int_{V_c} \frac{\partial u}{\partial x} dV = (u_e - u_w) \frac{V_c}{2\Delta x_c} \quad (34b)$$

$$\int_{V_E} \frac{\partial u}{\partial x} dV = (u_{EE} - u_c) \frac{V_E}{2\Delta x_E} \quad (34c)$$

Momentum (35) denkleminin hacimsel integral işlemleri gerektiren sonlu hacimler metoduyla ve yarı-ayrıklaştırılmış çözümlenme ve 36.a,b,c bağıntılarının uygulamasıyla hesaplanabilmektedir. Sonlu Hacimler Metoduna ilişkin 1B akışta sonlu hacimleri ardışık olarak (b) Şekil 5.10'da görülmektedir [47].



Şekil 5.10. FVM göre ayrıklaştırılmış sonlu hacimlerle kütle korunumu

$$\underbrace{\dot{m}_e u_e + \dot{m}_w u_w}_{\text{Convection}} - \underbrace{\left[\left(\mu \frac{\partial u}{\partial x} \Delta y \right)_e - \left(\mu \frac{\partial u}{\partial x} \Delta y \right)_w \right]}_{\text{Diffusion}} - \int_{V_c} \frac{\partial p}{\partial x} dV \quad (35)$$

$$\int_{V_w} \frac{\partial p}{\partial x} dV = (p_c - p_{ww}) \frac{V_w}{2\Delta x_w} \quad (36a)$$

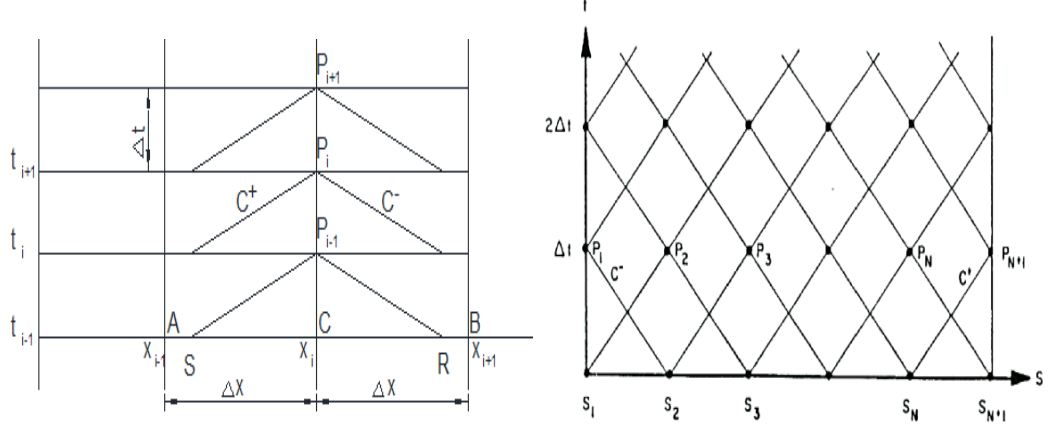
$$\int_{V_c} \frac{\partial p}{\partial x} dV = (p_e - p_w) \frac{V_c}{2\Delta x_c} \quad (36b)$$

$$\int_{V_E} \frac{\partial p}{\partial x} dV = (p_{EE} - p_c) \frac{V_E}{2\Delta x_E} \quad (36c)$$

Kısmi diferansiyel denklemlerinin yaklaşık çözümünde kullanılan Sonlu Hacimler Metodu ile çözümlemede 34abc ve 36abc bağıntılarının sağ tarafında yer alan hız ve basınç parametreleriyle tanımlı hacimsel integraller, ayrıklaştırılmış formdaki hallerine Three-Diagonal Matrix Algorithm (TDMA) uygulamak suretiyle çözümlenmektedir.

5.2.9. Karakteristikler Yöntemi (Method Of Charecteristics)

Gerek karmaşık boru sistemlerinde, gerekse kararsız akışın hidrolik analizinde, çoğu şartnamede ve hidrolik hesaplamalarda kararlı akış durum koşullarının dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Yarı-kararsız akış olarak her akış diliminde (genellikle saat bazında) farklılaşan akış hızların ortalaması alınarak kararlı çözümlenmektedir. Ancak bilinmektedir ki baz zaman dilimi içinde akış hızı kararsız bir değişim göstermektedir.



Şekil 5.11. (sol) Serbest yüzeyli MOC hesap şeması ve (sağ) ağ örgüsü

Şekil 5.11’de MOC hesap şeması verilmiştir. Serbest yüzeyli akış olması durumunda sonlu farklar analizinde V_R , C_R (37a,37b) ve V_S , C_S (40a,40b) hızları, h_R ve h_S (38a,38b) ve θ (39) öncelikle hesaplanacaktır [53]. c değeri 40c denklemiyle verilmektedir.

$$V_R = \frac{V_C + \theta(-V_C c_A + c_C V_A)}{1 + \theta(V_C - V_A + c_C - c_A)} \quad (37a)$$

$$c_R = \frac{c_C + (1 - V_R \theta) + c_A V_R \theta}{1 + c_C \theta - c_A \theta} \quad (37b)$$

$$h_R = h_C - (h_C - h_A)(\theta(V_R + c_R)) \quad (38a)$$

$$h_S = h_C + \theta(V_S - c_S)(h_C - h_B) \quad (38b)$$

$$\theta = \Delta t / \Delta x \quad (39)$$

$$V_S = \frac{V_C - \theta(V_C c_B + c_C V_B)}{1 - \theta(V_C - V_B - c_C + c_B)} \quad (40a)$$

$$c_S = \frac{c_C + V_S \theta(c_C - c_B)}{1 + \theta(c_C - c_B)} \quad (40b)$$

$$c = \sqrt{\frac{gA}{T}} \quad (40c)$$

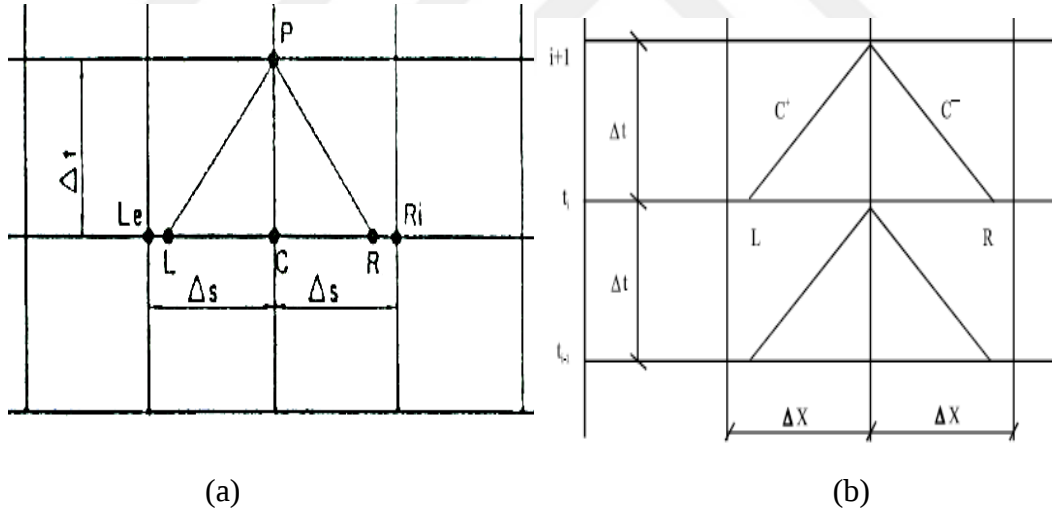
$$\Delta t = \frac{\Delta x}{(V + c)_{max}} \quad (41)$$

$$\frac{dt}{dx} = \frac{1}{V \mp c} \quad (42)$$

$$S = \frac{n^2 V^2}{R^{\frac{4}{3}}} \quad (43)$$

Basınçlı akış olması durumunda hesap yöntemi [54];

$$a = \left(\frac{K}{\rho}\right)^{0.5} \left(1 + \frac{K D}{E e} C_1\right)^{-0.5} \quad (44)$$



Şekil 5.12. Basınçlı akış MOC hesap s-t planı, MOC FDM [54]

Basınçlı MOC hesabı için hesap planı şekli ve hesaplama gridleri Şekil 5.12’de verilmiştir.

Basınçlı akışın Karakteristikler Yöntemi (MOC) ile hesaplamalarda [54];

$$V_L = \frac{V_i^n - \frac{a(V_i^n - V_{i-1}^n)\Delta t}{\Delta x}}{1 + \frac{(V_i^n - V_{i-1}^n)\Delta t}{\Delta x}} \quad (45a)$$

$$V_R = \frac{V_i^n - \frac{a(V_i^n - V_{i-1}^n)\Delta t}{\Delta x}}{1 - \frac{(V_i^n - V_{i-1}^n)\Delta t}{\Delta x}} \quad (45b)$$

$$H_L = H_i^n - \frac{(V_L + a)(H_i^n - H_{i-1}^n)\Delta t}{\Delta x} \quad (46a)$$

$$H_R = H_i^n + \frac{(V_R - a)(H_i^n - H_{i-1}^n)\Delta t}{\Delta x} \quad (46b)$$

$$\Delta t = \frac{L}{aN} \quad (47)$$

$$C_r = \frac{a\Delta t}{\Delta x} \quad (48)$$

$$\sin\theta = \frac{dz}{ds} \quad (49)$$

V_L , V_R düğüm yakını hız değerleridir. Curant numarası $C_r \leq 1$ olma koşulu vardır. Hız ve piyezometre yükseklikleri ise V_P ve H_P bir sonraki akış zamanındaki değerlerdir [55;56;57] (50)(51).

$$V_p = \frac{1}{2} \left[\left(V_L + V_R \right) + \frac{g}{a} (H_L - H_R) \frac{g}{a} \Delta t (V_L - V_R) \sin\theta \frac{f\Delta t}{2D} (V_L |V_L| + V_R |V_R|) \right] V_R |V_R| \quad (50)$$

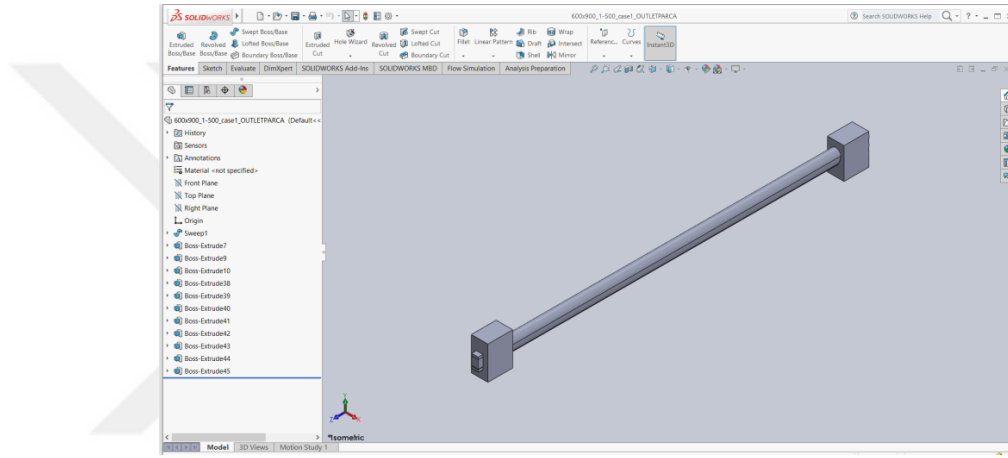
$$H_p = \frac{1}{2} \left[(H_L + H_R) + \frac{a}{g} (V_L - V_R) + \Delta t (V_L + V_R) \sin\theta - \frac{a}{g} \frac{f\Delta t}{2D} (V_L |V_L| + V_R |V_R|) \right] \quad (51)$$

Bu alışmada, MOC hesabı farklı durumlara göre olmak üzere hem serbest hem de basınçlı boru olması durumları dikkate alınarak yapılmıştır. Başlangıç koşulu ise $t=0$ zamanında boru içindeki akış kararlı akış olarak hesaplanacaktır.



6. HİDROLİK PERFORMANS KRİTERLERİ VE ATIKSU AKIŞI

Yumurta kesitli atıksu boru hatlarının hidrolik performansının hesaplanmasında öncelikle, performansa etkileyen faktörleri belirlemek ve bir kriter dahilinde hidrolik performansı, Durum 1-2-3-4 akış menba-mansap koşulları, serbest yüzeyli-basınçlı kombinasyonlarına ve kanal taban-atıksu-malzeme değişkenliğinden kaynaklanan akış parametrelerine göre ortaya çıkarmaktır. Star CCM⁺ programına girdi sağlayacak üç boyutlu katı modelleme yapmak amacıyla SolidWorks programından yararlanılmış ve datalar CFD programına aktarılmıştır.



Şekil 6.1 Yumurta kesitli boru hattının SolidWorks çizimi

SolidWorks, 2-3 boyutlu parçaların modellenmesine, modellenen parçaların montaj tasarımlarının yapılmasına, montajlanan tasarımların teknik resimlerinin oluşturulmasına olanak sağlayan bir katı model tasarım programıdır [58;59;60]. Şekil 6.1’de yumurta kesitli boru hattına ait SolidWorks çizimi yer almaktadır.

6.1. Hidrolik Elemanlar ve Hidrolik Performans Kriterleri

Hidrolik hesaplamalarda boru hatları tam dolu/kısmi dolu akış durumunda kullanılan denklemlerden yararlanılmaktadır. Özellikle İller Bankası tarafından kanalizasyon hidrolik hesaplamalarında Kutler denklemi kullanılmıştır. Kutler, Manning-Strickler, Darcy-Weisbach gibi denklemler yardımıyla açık kanal ya da boru hatları hesaplamaları yapılmaktadır. Fakat bu denklemler kararlı akış durumlarında

geçerli olup, kararsız akış durumlarında ya kullanılmamakta ya da kısmi olarak yararlanılmaktadır. Özellikle atıksu boru hatlarında boru hatlarının girişlerindeki akışın belli zaman dilimlerinde sabit olduğu varsayımıyla yarı-kararlı (quasi-steady) akış söz konusu olacağından dolayı akışkanın boru girişinde akış hızının istenen minimum-maksimum sınırlar arasında değişen hız-zaman grafiğinde her zaman diliminde histogram benzeri basamaklandırma yapılarak kararlı akış hızı varmış gibi hareket edilmiştir. Atıksu borularının menbaya kadar olan uzunluğunda kararsız akış denklemleri geçerli olacaktır.

Başlangıç koşulları dışında kararsız akışın hesaplamasında kullanılan diferansiyel formdaki süreklilik ve momentum denklemleri, gerek sonlu farklar, sonlu elemanlar gerekse sonlu hacimler yöntemi ile nümerik analiz tekniğiyle sayısal modellenebilmekte ve bu nedenledir ki CFD programlarının kullanılması ile bahis konusu olan kararsız akış halinin çözüme kavuşturulması mümkün olmaktadır. Böylelikle farklı geometrik şekillerdeki atıksu borularına ilişkin hidrolik elemanların belirlenmesi ve dolayısıyla belirlenen kritikler doğrultusunda borulu akışın hidrolik performansı yapılabilmektedir.

Tablo 6.1. Hidrolik performans çalışmaları için boru hattı fiziki özellikleri

Farklı boru malzemesi	Beton boru Çelik boru
Kararsız akışa göre giriş hız değerleri	İller Bank(0.5-5 m/sn) MPA (0.75-4 m/sn) BS (0.9-5.4 m/sn)
Çok fazlı akışta sediment yoğunluğu	1600 kg/m ³
Farklı geometrik kesit	400x600 600x900 800x1200
Farklı boru 400x600 Taban 600x900 Eğimleri 800x1200	1/500- 1/250- 1/25 1/1000- 1/500- 1/50 1/3000- 1/1500- 1/75
Farklı boru içi pürüzlülük değerleri	Beton boru n:0.013 Çelik boru n:0.011
Partikül özelliği	D ₅₀ : 0.84 mm
Sediment taban durumu	Çalışmada düz sediment ve dalgalı sediment taban kullanılmıştır.

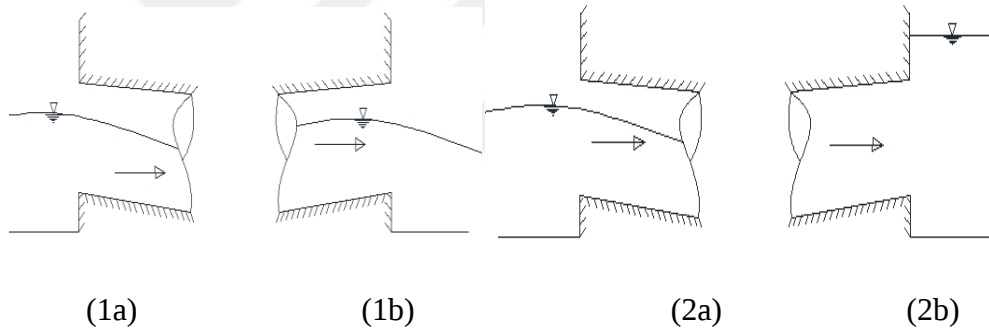
Çalışmada, hidrolik performans kriterlerini belirlemek için her duruma göre Tablo 6.1’de verilen özelliklere göre (Durum 1-2-3-4) CFD çalışmaları yapılmıştır. Her durum için 36 farklı senaryo oluşturulmuş olup, toplam 144 senaryo ile bir plan dahilinde çalışmalar yürütülmüştür.

Hidrolik performans hesaplamalarında gerek atıksu gerekse sediment akışına ilişkin girdi ve çıktı parametreleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

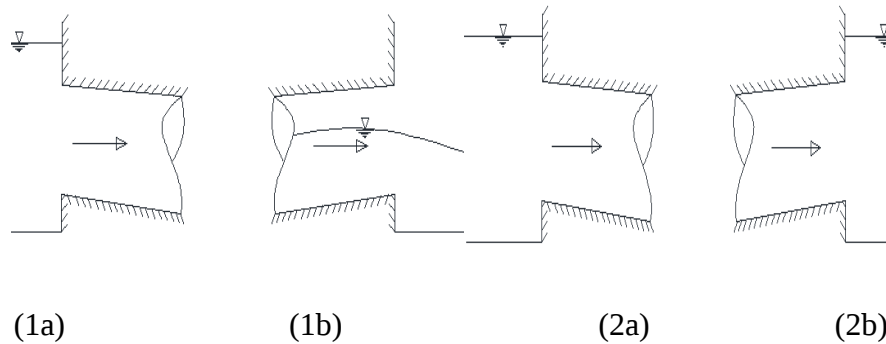
$$HP_{girdi} = f(n_{bet}, n_{çel}, V_{slvl}, V_{su}, \rho_s, D_{eşdyum}, j, d_{50}, h_{sed})$$

$$HP_{çikti} = f(n_c, V_{slvl}, V_{su}, V_{ort}, Re, \rho_{ort}, h_{akış}, h_{sed}, U_*, \tau, \tau_{kr}, P_{akış}, P_{gaz}, q_b)$$

Çalışmada atıksu boru hatlarının kısmi/tam dolu olma özelliklerine göre 4 farklı durum inceleme kapsamına şematik gösterimi Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'te verilmektedir.



Şekil 6.2. Durum:1,Serbest yüzeyli giriş kısmi dolu (1a),Serbest yüzeyli çıkış kısmi dolu (1b), Durum:2,Serbest yüzeyli giriş kısmi dolu (2a),Basınçlı çıkış tam dolu (2b)

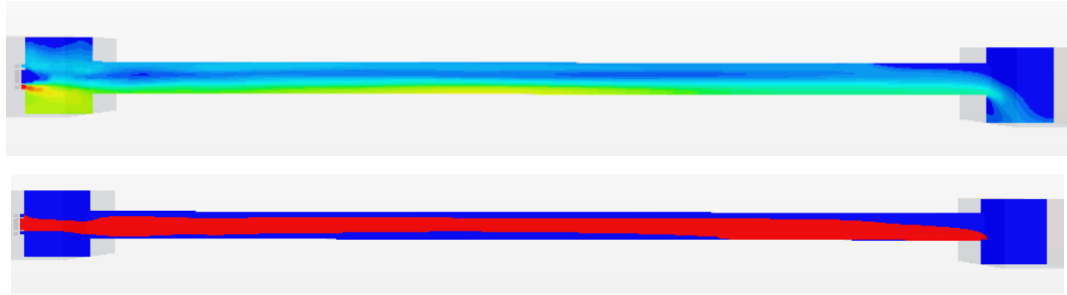


Şekil 6.3. Durum:3,Basınçlı tam giriş tam dolu (1a),Serbest yüzeyli çıkış kısmi dolu (1b), Durum:4,Basınçlı giriş tam dolu (2a),Basınçlı çıkış tam dolu (2b)

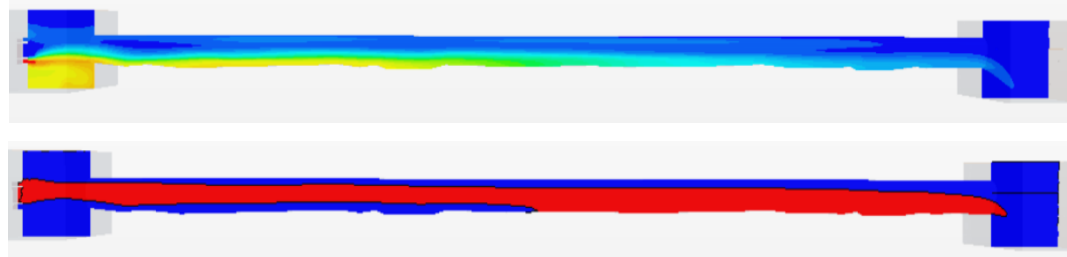
4 farklı duruma ve farklı boru-akışkan-sediment özelliklerine göre CFD çalışmaları yürütülmüştür. Belirlenen kriterlere göre 36 farklı senaryo ile boru boyu 20 m alınmış olup 2 m de bir olmak üzere 11 kesit ile çalışılmıştır. Başlangıç kararlı akım koşulları düz sediment ve dalgalı sediment tipi olarak, beton ya da çelik boru malzeme tiplerine göre değerlendirmeler yapılmıştır.

6.2. Durum: 1 Hidrolik Performans Hesapları

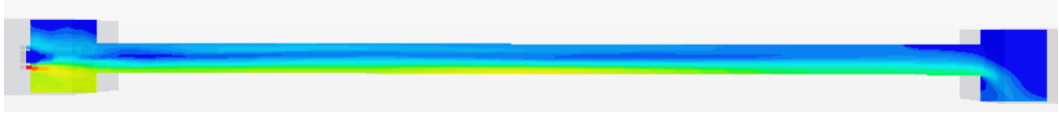
Durum-1'e göre (giriş ve çıkışı serbest yüzeyli) hidrolik performans kriterlerinin belirlenmesi çalışması için belirlenen kriterlere göre 36 farklı senaryo ile çalışma yapılmıştır. Boru boyu 20 m alınmış olup 2 m de bir olmak üzere 11 kesit ile çalışılmıştır. Başlangıç kararlı akım koşulları düz sediment ve dalgalı sediment tipi olarak, beton ya da çelik boru malzeme tiplerine göre değerlendirmeler yapılmıştır. Şekil 6.4'te kararsız akımda 400x600 mm, 1/500, beton/çelik, düz/dalgalı sediment tabanlı boruda sediment (üst) ve atıksu (alt) akışı, Şekil 6.5'te kararsız akımda 600x900 mm, 1/500, beton/çelik, düz/dalgalı sediment tabanlı boruda sediment (üst) ve atıksu (alt) akışı, Şekil 6.6'da kararsız akımda 800x1200 mm, 1/1500, beton/çelik, düz/dalgalı sediment tabanlı boruda sediment (üst) ve atıksu (alt) akışı verilmiştir.



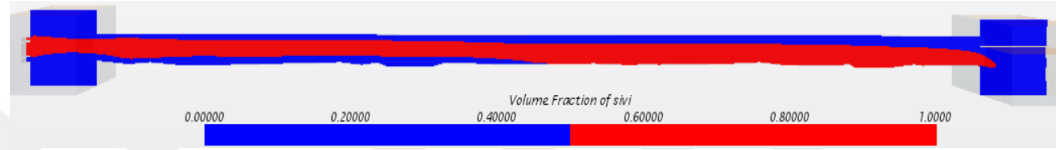
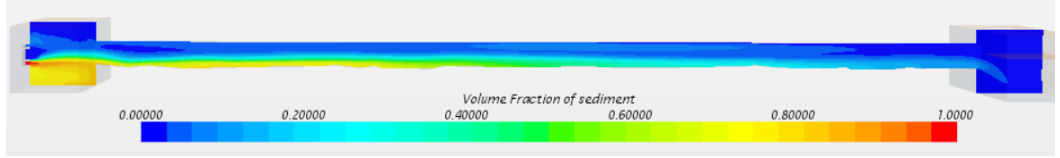
(a) beton, kararsız akım **düz** sediment



b)beton, kararsız akım **dalgalı** sediment

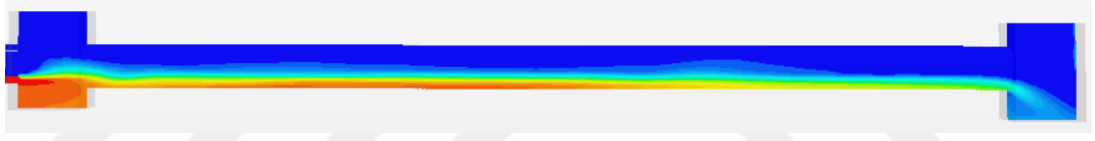


(c) **çelik**, kararsız akım **düz** sediment

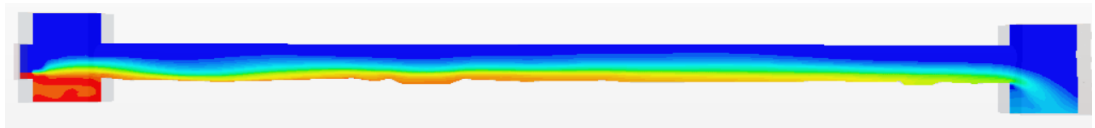


(d) **çelik**, kararsız akım **dalgalı** sediment

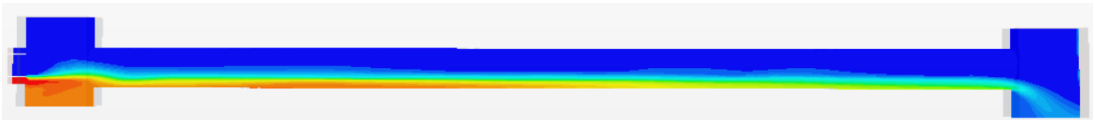
Şekil 6.4 Durum:1, 400x600 mm, 1/500 sediment (üst) ve atıksu (alt) akışı



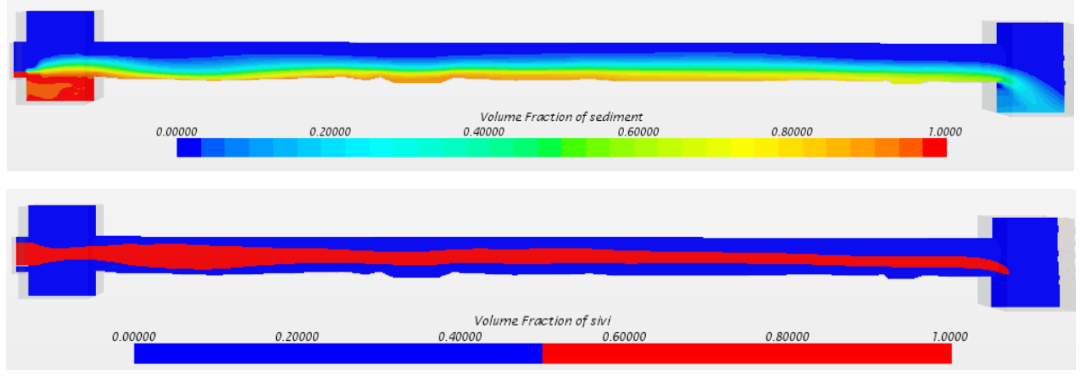
(a) **beton**, kararsız akım **düz** sediment



(b) **beton**, kararsız akım **dalgalı** sediment

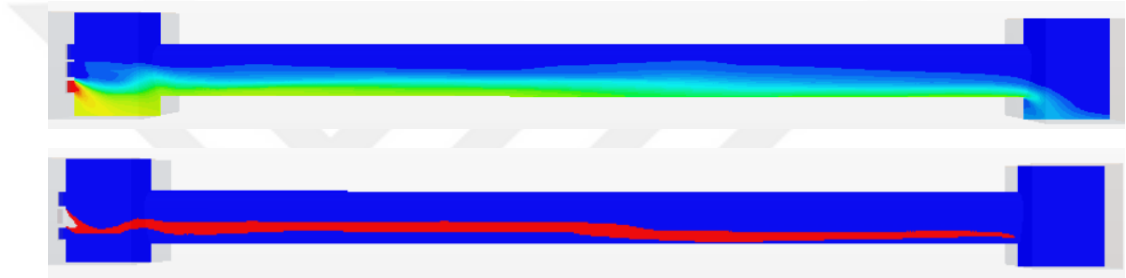


(c) **çelik**, kararsız akım **düz** sediment

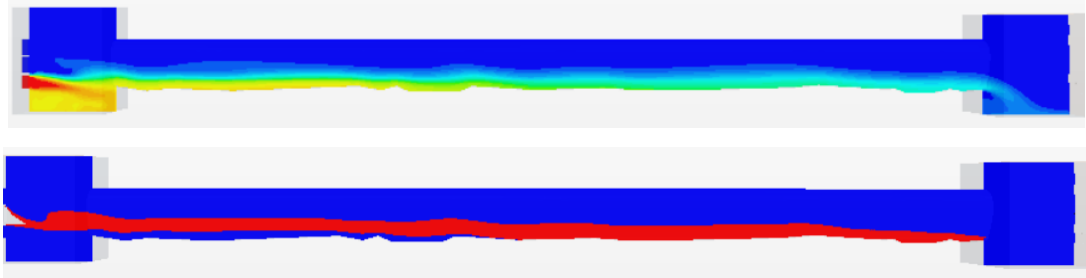


(d) **çelik**, kararsız akım **dalgalı** sediment

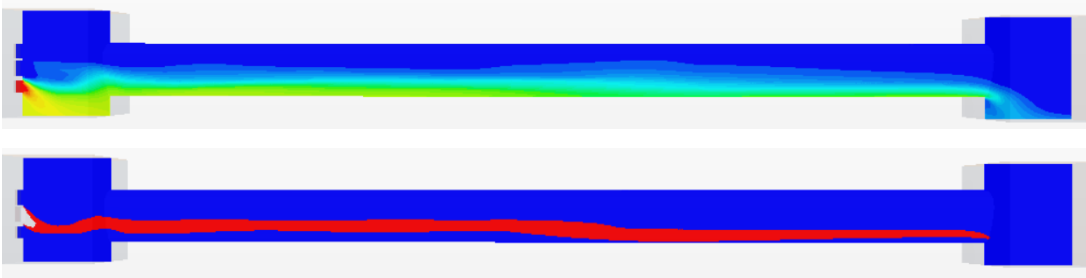
Şekil 6.5 Durum:1, 600x900 mm, 1/500 sediment (üst) ve atıksu (alt) akışı



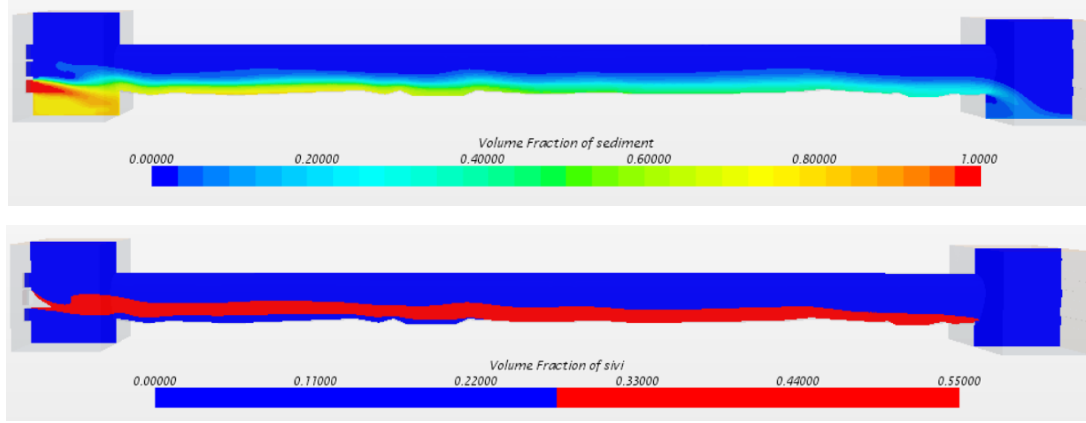
(a) **beton**, kararsız akım **düz** sediment



(b) **beton**, kararsız akım **dalgalı** sediment



(c) **çelik**, kararsız akım **düz** sediment



(d) **çelik**, kararsız akım **dalgalı** sediment

Şekil 6.6. Durum:1,800x1200 mm,1/1500 sediment (üst)atıksu (alt) akışı

Çalışmada Durum-1'e ait 36 farklı senaryo kapsamında CFD programından okunan veriler ile hidrolik performans parametrelerini içeren tablolar oluşturulmuştur. Tablo 6.2'de Durum 1 için 400mmx600mm kesit, beton malzemeli, 1/500 eğimli boru hattının hidrolik performans tablosu verilmiştir.

Tablo 6.2. Durum-1 400mmx600mm kesit, beton malzemeli, 1/500 eğimli boru hattının hidrolik performans tablosu(n=0.013)

Kanal taban Tipi	Kesit no	h sediment (m)	n _{kom}	V _{akışkan} (m/s)	V _{sediment} (m/s)	Re	ρ _{ort} (kg/m ³)	h _{akış} (m)	J _{kanal}	U* (m/s)	τ (N/m ²)	q _b (kg/s/m)
Düz (Sedimentsiz)	0	0.10	0.019	1.40	0.58	240800	1200	0.38	0.002	0.086	8.95	0.0019
	2		0.019	1.52	0.43	261440	1100	0.50	0.002	0.099	10.79	0.0025
	4		0.019	1.52	0.43	261440	1100	0.51	0.002	0.100	11.01	0.0025
	6		0.019	1.52	0.58	261440	1150	0.52	0.002	0.101	11.73	0.0024
	8		0.019	1.61	0.58	276920	1150	0.49	0.002	0.098	11.06	0.0030
	10		0.019	1.61	0.58	276920	1200	0.49	0.002	0.098	11.54	0.0030
	12		0.019	1.61	0.58	276920	1200	0.49	0.002	0.098	11.54	0.0030
	14		0.019	1.61	0.43	276920	1120	0.49	0.002	0.098	10.77	0.0030
	16		0.015	1.52	0.29	261440	1005	0.48	0.002	0.097	9.46	0.0025
	18		0.015	1.61	0.29	276920	1005	0.40	0.002	0.089	7.89	0.0030
	20		0.014	2.40	0.14	412800	1005	0.23	0.002	0.067	4.54	0.0119
Dalgalı (Sedimentli)	0	0.14	0.020	1.95	1.60	327600	1270	0.52	0.002	0.101	12.96	0.0055
	2	0.07	0.019	1.65	1.35	277200	1120	0.49	0.002	0.098	10.77	0.0032
	4	0.08	0.020	1.70	1.62	285600	1130	0.49	0.002	0.098	10.86	0.0035
	6	0.05	0.020	1.70	1.53	285600	1200	0.49	0.002	0.098	11.54	0.0035
	8	0.13	0.020	1.85	1.8	310800	1280	0.48	0.002	0.097	12.05	0.0047
	10	0.08	0.020	1.91	1.8	320880	1200	0.46	0.002	0.095	10.83	0.0052
	12	0.05	0.020	1.80	1.72	302400	1080	0.45	0.002	0.094	9.54	0.0043
	14	0.07	0.019	1.91	1.47	320880	1100	0.46	0.002	0.095	9.93	0.0052
	16	0.07	0.018	1.91	1.32	320880	1030	0.43	0.002	0.092	8.69	0.0052
	18	0.00	0.018	1.91	0.00	229200	1000	0.41	0.002	0.090	8.04	0.0053
	20	0.06	0.017	2.70	0.00	248400	1000	0.28	0.002	0.074	5.49	0.0167

6.3. Durum-2 Hidrolik Performans Hesapları

Durum-2'ye göre (giriş serbest yüzeyli ve çıkışı basınçlı) hidrolik performans kriterlerinin belirlenmesi için çalışmalar yapılmıştır. EK B.1'de 400x600mm ve 600x900mm kesitlerde 1/500, 800x1200 mm kesitte 1/1500, beton, kararsız akım düz/dalgalı sediment, çelik, kararsız akım düz/dalgalı sediment tabanlı boruda sediment ve atıksu akışı gösterilmiştir.

Çalışmada 36 farklı senaryo kapsamında CFD programından okunan veriler ile hidrolik performans parametrelerini içeren tablolar oluşturulmuştur. Tablo 6.3'te Durum 2 400mmx600mm kesit, beton malzemeli, 1/500 eğimli boru hattının hidrolik performans tablosu verilmiştir.

Tablo 6.3. Durum-2 400mmx600mm kesit, beton malzemeli, 1/500 eğimli boru hattının hidrolik performans tablosu ($n=0.013$)

Kanal taban tipi	Kesit no	h_{sediment} (m)	n_{kom}	$V_{\text{akışkan}}$ (m/s)	V_{sediment} (m/s)	Re	ρ_{ort} (kg/m ³)	$h_{\text{akış}}$ (m)	J_{kanal}	U^* (m/s)	τ (N/m ²)	q_b (kg/s/m)
Düz (Sedimentsiz)	0	0.10	0.023	0.45	0.86	77400	1350	0.46	0.002	0.095	12.18	0.03
	2		0.024	0.45	0.72	77400	1500	0.51	0.002	0.100	15.01	0.03
	4		0.023	0.55	0.85	94600	1500	0.54	0.002	0.103	15.89	0.07
	6		0.022	0.45	0.81	77400	1350	0.55	0.002	0.104	14.57	0.03
	8		0.017	0.6	0.53	103200	1180	0.55	0.002	0.104	12.73	0.10
	10		0.017	0.54	0.62	92880	1100	0.60	0.002	0.108	12.95	0.06
	12		0.019	0.50	0.71	86000	1100	0.56	0.002	0.105	12.09	0.05
	14		0.019	0.54	0.62	92880	1100	0.53	0.002	0.102	11.44	0.06
	16		0.019	0.54	0.62	92880	1100	0.55	0.002	0.104	11.87	0.06
	18		0.019	0.54	0.5	92880	1200	0.60	0.002	0.108	14.13	0.06
	20		0.021	0.62	0.49	106640	1250	0.60	0.002	0.108	14.72	0.11
Dalgalı (Sedimentli)	0	0.14	0.023	1.08	1.00	181440	1350	0.44	0.002	0.093	11.65	0.80
	2	0.07	0.023	0.91	0.95	152880	1400	0.51	0.002	0.100	14.01	0.44
	4	0.08	0.021	0.9	1.05	151200	1350	0.60	0.002	0.108	15.89	0.42
	6	0.05	0.021	0.91	1.10	152880	1250	0.60	0.002	0.108	14.72	0.43
	8	0.13	0.013	1.08	0.00	181440	1100	0.60	0.002	0.108	12.95	0.78
	10	0.08	0.013	1.08	0.00	181440	1050	0.60	0.002	0.108	12.36	0.78
	12	0.05	0.013	1.05	0.00	176400	1040	0.60	0.002	0.108	12.24	0.71
	14	0.07	0.013	1.08	0.00	181440	1000	0.60	0.002	0.108	11.77	0.78
	16	0.07	0.013	1.08	0.00	181440	1000	0.60	0.002	0.108	11.77	0.78
	18	0.00	0.013	1.10	0.00	132000	1000	0.60	0.002	0.108	11.77	0.83
	20	0.06	0.013	1.00	0.00	92000	1000	0.60	0.002	0.108	11.77	0.60

6.4. Durum- 3 Hidrolik Performans Hesapları

Durum-3'e göre (giriş basınçlı ve çıkışı serbest yüzeyli) hidrolik performans kriterlerinin belirlenmesi için çalışmalar yapılmıştır. EK B.2'de 400x600mm ve 600x900mm kesitlerde 1/500, 800x1200 mm kesitte 1/1500, beton, kararsız akım düz /dalgalı sediment, çelik, kararsız akım düz/dalgalı sediment tabanlı boruda sediment ve atıksu akışı gösterilmiştir.

Durum-3'e ait 36 farklı senaryo kapsamında CFD programından okunan veriler ile hidrolik performans parametrelerini içeren tablolar oluşturulmuştur. Tablo 6.4'te Durum-3 400mmx600mm kesit, beton malzemeli, 1/500 eğimli boru hattının hidrolik performans tablosu verilmiştir.

Tablo 6.4. Durum-3 400mmx600mm kesit, beton malzemeli, 1/500 eğimli boru hattının hidrolik performans tablosu ($n=0.013$)

Kanal taban Tipi	Kesit no	h_{sediment} (m)	n_{kom}	$V_{\text{akışkan}}$ (m/s)	V_{sediment} (m/s)	Re	ρ_{ort} (kg/m ³)	$h_{\text{akış}}$ (m)	J_{kanal}	U^* (m/s)	τ (N/m ²)	q_b (kg/s/m)
Düz (Sedimentsiz)	0	0.10	0.019	2.35	1.87	404200	1400	0.60	0.002	0.108	16.48	9.80
	2		0.019	1.87	1.56	321640	1250	0.60	0.002	0.108	14.72	4.73
	4		0.019	1.85	1.10	318200	1250	0.60	0.002	0.108	14.72	4.57
	6		0.020	1.87	1.30	321640	1350	0.58	0.002	0.107	15.36	4.74
	8		0.020	1.87	1.40	321640	1350	0.60	0.002	0.108	15.89	4.73
	10		0.020	1.72	1.45	295840	1350	0.60	0.002	0.108	15.89	3.61
	12		0.021	1.72	1.45	295840	1320	0.57	0.002	0.106	14.76	3.63
	14		0.021	1.72	1.45	295840	1320	0.57	0.002	0.106	14.76	3.63
	16		0.021	1.72	1.50	295840	1280	0.58	0.002	0.107	14.57	3.62
	18		0.020	1.65	1.56	283800	1250	0.58	0.002	0.107	14.22	3.17
	20		0.019	2.03	2.20	349160	1200	0.54	0.002	0.103	12.71	6.21
Dalgalı (Sedimentli)	0	0.14	0.020	2.45	0.95	411600	1250	0.60	0.002	0.108	14.72	11.18
	2	0.07	0.019	1.70	1.20	285600	1200	0.60	0.002	0.108	14.13	3.48
	4	0.08	0.020	1.75	1.45	294000	1250	0.60	0.002	0.108	14.72	3.82
	6	0.05	0.020	1.78	1.55	299040	1250	0.60	0.002	0.108	14.72	4.03
	8	0.13	0.021	1.73	1.70	290640	1200	0.59	0.002	0.108	13.89	3.69
	10	0.08	0.020	1.82	1.50	305760	1150	0.60	0.002	0.108	13.54	4.33
	12	0.05	0.019	1.84	1.45	309120	1100	0.60	0.002	0.108	12.95	4.49
	14	0.07	0.018	1.84	0.85	309120	1050	0.60	0.002	0.108	12.36	4.49
	16	0.07	0.013	1.84	0.00	309120	1030	0.60	0.002	0.108	12.13	4.49
	18	0.00	0.013	1.80	0.00	216000	1000	0.60	0.002	0.108	11.77	4.18
	20	0.06	0.013	2.50	0.00	230000	1000	0.38	0.002	0.086	7.46	12.53

6.5. Durum-4 Hidrolik Performans Hesapları

Durum-4'e göre (giriş ve çıkış basınçlı) hidrolik performans kriterlerinin belirlenmesi çalışması için çalışmalar yapılmıştır. EK B.3'te 400x600mm ve 600x900mm kesitlerde 1/500, 800x1200 mm kesitte 1/1500, beton, kararsız akım düz/dalgalı sediment, çelik, kararsız akım düz/dalgalı sediment tabanlı boruda sediment ve atıksu akışı gösterilmiştir.

Durum-4'e ait 36 farklı senaryo kapsamında CFD programından okunan veriler ile hidrolik performans parametrelerini içeren tablolar oluşturulmuştur. Tablo 6.5'te Durum 4 için 800mmx1200mm kesit, çelik malzemeli, 1/75 eğimli boru hattının hidrolik performans tablosu verilmiştir.

Tablo 6.5. Durum-4, 400mmx600mm kesit, beton malzemeli, 1/500 eğimli boru hattının hidrolik performans tablosu ($n=0.013$)

Kanal taban Tipi	Kesit No	h_{sediment} (m)	n_{kom}	$V_{\text{akışkan}}$ (m/s)	V_{sediment} (m/s)	Re	ρ_{ort} (kg/m ³)	$h_{\text{akış}}$ (m)	J_{kanal}	U^* (m/s)	τ (N/m ²)	q_b (kg/s/m)
Düz (Sedimentsiz)	0	0.10	0.020	1.50	1.27	258000	1400	0.60	0.002	0.108	16.48	2.32
	2		0.020	0.95	0.71	163400	1400	0.60	0.002	0.108	16.48	0.50
	4		0.021	0.85	0.90	146200	1400	0.60	0.002	0.108	16.48	0.34
	6		0.021	0.90	1.00	154800	1400	0.60	0.002	0.108	16.48	0.42
	8		0.021	0.90	1.07	154800	1400	0.60	0.002	0.108	16.48	0.42
	10		0.021	0.85	1.07	146200	1400	0.60	0.002	0.108	16.48	0.34
	12		0.020	0.85	1.07	146200	1320	0.60	0.002	0.108	15.54	0.34
	14		0.020	0.85	0.98	146200	1250	0.60	0.002	0.108	14.72	0.34
	16		0.020	0.80	0.98	137600	1200	0.60	0.002	0.108	14.13	0.27
	18		0.019	0.75	0.98	129000	1250	0.60	0.002	0.108	14.72	0.22
	20		0.019	0.85	0.80	146200	1270	0.60	0.002	0.108	14.95	0.34
Dalgalı (Sedimentli)	0	0.14	0.021	0.30	0.30	50400	1200	0.60	0.002	0.108	14.13	0.00
	2	0.07	0.022	0.35	0.40	58800	1200	0.60	0.002	0.108	14.13	0.01
	4	0.08	0.022	0.35	0.40	58800	1200	0.60	0.002	0.108	14.13	0.01
	6	0.05	0.021	0.35	0.50	58800	1100	0.60	0.002	0.108	12.95	0.01
	8	0.13	0.020	0.35	0.50	58800	1030	0.60	0.002	0.108	12.13	0.01
	10	0.08	0.013	0.35	0.00	58800	1010	0.60	0.002	0.108	11.89	0.01
	12	0.05	0.013	0.35	0.00	58800	1000	0.60	0.002	0.108	11.77	0.01
	14	0.07	0.013	0.35	0.00	58800	1000	0.60	0.002	0.108	11.77	0.01
	16	0.07	0.013	0.35	0.00	58800	1000	0.60	0.002	0.108	11.77	0.01
	18	0.00	0.013	0.35	0.00	42000	1000	0.60	0.002	0.108	11.77	0.01
	20	0.06	0.013	0.35	0.00	32200	1000	0.60	0.002	0.108	11.77	0.01

7. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında yumurta kesitli atıksu ve yağmursuyu boru hatlarındaki akış dağılımı araştırılmıştır. Değerlendirmeler akışın 3 faz (sediment, sıvı ve hava) olması, sabit yoğunluktaki akışın etkisi, değişik eğimlerdeki boru hattı, sediment taşınımı konularında yapılmıştır. Akışın en önemli bulgusu zamana bağlı değişen hız verilerine göre unsteady çalışma yapılmasıdır. Böylelikle boru içindeki sedimentin ve sıvının zamana bağlı değişimleri gözlemlenebilmektedir. Boru hattı içindeki akışın hız, yoğunluk, debi, hız dağılımları, kayma gerilmeleri, kayma hızları, konsantrasyonu toplam katı madde miktarları belirlenmiştir.

7.1. $V_{akış}$ PV (Performans Value) Hesapları

Tez çalışması kapsamında, Hosseini ve Ghasemi [40] tarafından oluşturulan (5.1) denklemden yararlanılarak boru hatlarının 4 farklı kısmi/tam doluluk durumlarına ve 144 farklı senaryoda CFD programı kullanılarak hesaplanan akışkan hızlarının ($V_{akış}$) hidrolik performansa etkileri ortaya konulmuştur.

Boru hattı için 156s lik zamanda 6 s'lik veriler ile 0, 5, 10, 15 ve 20.m kesitlerinde çalışılmıştır. Her senaryo için kesitlerdeki akışkan hızları 10 aralık olacak şekilde bölünerek, hızlar 0.1 ila 1.0 aralığında değerler oluşturulmuştur ve değerler her kesitin performans değerini (PV_i) ortaya koymuştur. Her kesit ve 6 s'lik zaman değerlerinde akışkan debisi hesaplanarak 10 aralık olacak şekilde kategorize edilmiştir.

Debi değerlerinden oluşturulan katsayılar (k_i) kesafet (yoğunluk) katsayılarıdır. Denklem (11)'den yararlanılarak 6sn'de bir her kesitte akışkan hızı performans değerleri PV_t olarak hesaplanmıştır. Her durum için (Durum 1, Durum 2, Durum 3 ve Durum 4) farklı kesit, eğim, malzeme ve sediment taban özelliklerine bağlı olarak 144 farklı senaryoda PV_{top} değerleri 0-156 s aralığında hesaplanmıştır.

Akış hızları kategorik olarak Tablo 7.1'de verilmektedir. Tablo 7.2'de Durum-1, Durum-2, Durum-3 ve Durum-4 için farklı senaryolardaki kesit, eğim, malzeme ve sediment tabanları gösterilmiştir. Belirtilen her senaryo için performans değerlerinin

ortaya konması amacıyla PV_i hesap tabloları ve PV_i sınıflandırma tabloları oluşturulmuştur. Böylece her senaryoya ait farklı değerlerin ayrı ayrı kendi içinde hesaplamaları yapılarak akışkan hızlarına ait performanslarının değerlendirilmesi yapılmıştır.

Tablo 7.3'te ise 1.1. senaryosuna ve hız kategorilerine göre ait PV hesapları yapılmış ve bulgular PV_i sınıflandırma tablosunda yer verilmiştir. 4 farklı durumda olmak üzere toplam 144 senaryoda PV_i sınıflandırma ve PV_t hesap işlemleri yapılmıştır.

Tablo 7.1. Durum-1 Boru boyutu: 400mmx600mm, Kanal Eğimi:1/500, Taban malzemesi: düz sedimentli, Boru malzemesi: beton için

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sınıf V (m/s)	1.000- 1.195	1.196- 1.390	1.391- 1.585	1.590- 1.780	1.790- 1.980	1.990- 2.200	2.210- 2.400	2.410- 2.600	2.610- 2.800	2.810- 2.990
PV_i	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sınıf Q (m ³ /s)	0.050- 0.070	0.071- 0.090	0.091- 0.110	0.111- 0.130	0.131- 0.150	0.151- 0.170	0.171- 0.190	0.191- 0.210	0.210- 0.230	0.231- 0.240
K	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5

Akış hız kategorilerine göre PV_i değerleri (Hız: min 0.10 m/s-max 3.00 m/s, Debi:
min 0.05m³/s-max 0.24m³/s)

Tablo 7.2. Durum-1, Durum-2, Durum-3, Durum-4 SENARYOLAR

		Kesit mm	Eğim	Malzeme	Sediment tabanı		Kesit mm	Eğim	Malzeme	Sediment tabanı		Kesit Mm	Eğim	Malzeme	Sediment tabanı		Kesit mm	Eğim	Malzeme	Sediment tabanı			
DURUM 1-SENARYOLAR	1.1.	400 600	1/500	Beton	Düz	DURUM 2-SENARYOLAR	2.1.	400 600	1/500	Beton	Düz	DURUM 3-SENARYOLAR	3.1.	400 600	1/500	Beton	Düz	DURUM 4-SENARYOLAR	4.1.	400 600	1/500	Beton	Düz
	1.2.				Dalgahı		2.2.				Dalgahı		3.2.				Dalgahı		4.2.				Dalgahı
	1.3.			Çelik	Düz		2.3.			Çelik	Düz		3.3.			Çelik	Düz		4.3.			Çelik	Düz
	1.4.				Dalgahı		2.4.				Dalgahı		3.4.				Dalgahı		4.4.				Dalgahı
	1.5.		1/250	Beton	Düz		2.5.		1/250	Beton	Düz		3.5.		1/250	Beton	Düz		4.5.		1/250	Beton	Düz
	1.6.				Dalgahı		2.6.				Dalgahı		3.6.				Dalgahı		4.6.				Dalgahı
	1.7.			Çelik	Düz		2.7.			Çelik	Düz		3.7.			Çelik	Düz		4.7.			Çelik	Düz
	1.8.				Dalgahı		2.8.				Dalgahı		3.8.				Dalgahı		4.8.				Dalgahı
	1.9.		1/25	Beton	Düz		2.9.		1/25	Beton	Düz		3.9.		1/25	Beton	Düz		4.9.		1/25	Beton	Düz
	1.10.				Dalgahı		2.10.				Dalgahı		3.10.				Dalgahı		4.10.				Dalgahı
	1.11.			Çelik	Düz		2.11.			Çelik	Düz		3.11.			Çelik	Düz		4.11.			Çelik	Düz
	1.12.				Dalgahı		2.12.				Dalgahı		3.12.				Dalgahı		4.12.				Dalgahı
	1.13.	600 900	1/1000	Beton	Düz		2.13.	1/1000	Beton	Düz	3.13.		1/1000	Beton	Düz	4.13.	1/1000		Beton	Düz			
	1.14.				Dalgahı		2.14.			Dalgahı	3.14.				Dalgahı	4.14.				Dalgahı			
	1.15.			Çelik	Düz		2.15.		Çelik	Düz	3.15.			Çelik	Düz	4.15.			Çelik	Düz			
	1.16.				Dalgahı		2.16.			Dalgahı	3.16.				Dalgahı	4.16.				Dalgahı			
	1.17.		1/500	Beton	Düz		2.17.	1/500	Beton	Düz	3.17.		1/500	Beton	Düz	4.17.	1/500		Beton	Düz			
	1.18.				Dalgahı		2.18.			Dalgahı	3.18.				Dalgahı	4.18.				Dalgahı			
	1.19.			Çelik	Düz		2.19.		Çelik	Düz	3.19.			Çelik	Düz	4.19.			Çelik	Düz			
	1.20.				Dalgahı		2.20.			Dalgahı	3.20.				Dalgahı	4.20.				Dalgahı			
	1.21.		1/50	Beton	Düz		2.21.	1/50	Beton	Düz	3.21.		1/50	Beton	Düz	4.21.	1/50		Beton	Düz			
	1.22.				Dalgahı		2.22.			Dalgahı	3.22.				Dalgahı	4.22.				Dalgahı			
	1.23.			Çelik	Düz		2.23.		Çelik	Düz	3.23.			Çelik	Düz	4.23.			Çelik	Düz			
	1.24.				Dalgahı		2.24.			Dalgahı	3.24.				Dalgahı	4.24.				Dalgahı			
	1.25.	800 1200	1/3000	Beton	Düz		2.25.	1/3000	Beton	Düz	3.25.		1/3000	Beton	Düz	4.25.	1/3000		Beton	Düz			
	1.26.				Dalgahı		2.26.			Dalgahı	3.26.				Dalgahı	4.26.				Dalgahı			
	1.27.			Çelik	Düz		2.27.		Çelik	Düz	3.27.			Çelik	Düz	4.27.			Çelik	Düz			
	1.28.				Dalgahı		2.28.			Dalgahı	3.28.				Dalgahı	4.28.				Dalgahı			
	1.29.		1/1500	Beton	Düz		2.29.	1/1500	Beton	Düz	3.29.		1/1500	Beton	Düz	4.29.	1/1500		Beton	Düz			
	1.30.				Dalgahı		2.30.			Dalgahı	3.30.				Dalgahı	4.30.				Dalgahı			
	1.31.			Çelik	Düz		2.31.		Çelik	Düz	3.31.			Çelik	Düz	4.31.			Çelik	Düz			
	1.32.				Dalgahı		2.32.			Dalgahı	3.32.				Dalgahı	4.32.				Dalgahı			
	1.33.		1/75	Beton	Düz		2.33.	1/75	Beton	Düz	3.33.		1/75	Beton	Düz	4.33.	1/75		Beton	Düz			
	1.34.				Dalgahı		2.34.			Dalgahı	3.34.				Dalgahı	4.34.				Dalgahı			
	1.35.			Çelik	Düz		2.35.		Çelik	Düz	3.35.			Çelik	Düz	4.35.			Çelik	Düz			
	1.36.				Dalgahı		2.36.			Dalgahı	3.36.				Dalgahı	4.36.				Dalgahı			

Tablo 7.3. Durum:1 Senaryo:1.1, PV Hesabı

	KESİT NO: 0							KESİT NO: 5							KESİT NO: 10							KESİT NO: 15							KESİT NO:20							
t (s)	Hız	Alan	Debi	k0	kmax	kmin	PV0	Hız	Alan	Debi	k5	kmax	kmin	PV5	Hız	Alan	Debi	k10	kmax	kmin	PV10	Hız	Alan	Debi	k15	kmax	kmin	PV15	Hız	Alan	Debi	k20	kmax	kmin	PV20	PVtop
0	1.0	0.08	0.08	0.7	1.04	0.57	0.1	1.0	0.08	0.08	0.7	1.21	0.62	0.1	1.0	0.08	0.08	0.7	1.22	0.57	0.10	1.1	0.07	0.08	0.7	1.15	0.55	0.10	2.3	0.05	0.12	0.9	0.35	0.61	0.70	0.29
6	1.1	0.10	0.11	0.8	0.85	0.57	0.1	1.0	0.09	0.10	0.8	1.09	0.62	0.1	1.0	0.09	0.09	0.7	1.14	0.57	0.10	1.1	0.07	0.08	0.7	1.15	0.55	0.10	2.3	0.03	0.07	0.6	0.89	0.61	0.70	0.18
12	1.0	0.10	0.10	0.8	0.89	0.57	0.1	1.0	0.09	0.10	0.8	1.09	0.62	0.1	1.0	0.09	0.09	0.7	1.13	0.57	0.10	1.1	0.07	0.08	0.7	1.15	0.55	0.10	2.3	0.03	0.07	0.6	0.89	0.61	0.70	0.18
18	1.0	0.13	0.13	1.0	0.69	0.57	0.1	1.0	0.10	0.10	0.8	1.06	0.62	0.1	1.0	0.09	0.10	0.8	1.10	0.57	0.10	1.1	0.08	0.09	0.7	1.06	0.55	0.10	2.3	0.04	0.09	0.7	0.62	0.61	0.70	0.19
24	1.0	0.13	0.14	1.0	0.67	0.57	0.1	1.0	0.10	0.10	0.8	1.04	0.62	0.1	1.0	0.09	0.10	0.8	1.09	0.57	0.10	1.1	0.08	0.09	0.7	1.06	0.55	0.10	2.3	0.05	0.12	0.9	0.35	0.61	0.70	0.24
30	1.1	0.14	0.15	1.0	0.58	0.57	0.1	1.1	0.12	0.14	1.0	0.77	0.62	0.1	1.0	0.11	0.12	0.9	0.95	0.57	0.10	1.1	0.09	0.10	0.8	0.94	0.55	0.10	2.4	0.06	0.15	0.9	0.00	0.61	0.80	0.25
36	1.1	0.11	0.12	0.9	0.76	0.57	0.1	1.2	0.07	0.08	0.7	1.18	0.62	0.2	1.1	0.07	0.07	0.6	1.27	0.57	0.10	1.2	0.06	0.07	0.6	1.18	0.55	0.20	2.6	0.03	0.08	0.7	0.81	0.61	0.80	0.25
42	1.1	0.09	0.10	0.8	0.91	0.57	0.1	1.2	0.07	0.09	0.7	1.18	0.62	0.2	1.1	0.08	0.09	0.7	1.17	0.57	0.10	1.2	0.07	0.09	0.7	1.08	0.55	0.20	2.6	0.02	0.06	0.6	1.01	0.61	0.90	0.24
48	1.1	0.09	0.10	0.8	0.90	0.57	0.2	1.2	0.07	0.09	0.7	1.13	0.62	0.2	1.1	0.07	0.08	0.7	1.20	0.57	0.10	1.2	0.07	0.09	0.7	1.07	0.55	0.20	2.6	0.02	0.05	0.6	1.09	0.61	0.90	0.26
54	1.2	0.09	0.11	0.8	0.86	0.57	0.2	1.3	0.08	0.10	0.8	1.06	0.62	0.2	1.1	0.07	0.09	0.7	1.16	0.57	0.10	1.3	0.07	0.09	0.7	1.04	0.55	0.20	2.8	0.02	0.06	0.6	1.06	0.61	1.00	0.26
60	1.2	0.09	0.11	0.9	0.84	0.57	0.2	1.3	0.06	0.09	0.7	1.17	0.62	0.2	1.2	0.07	0.09	0.7	1.18	0.57	0.20	1.3	0.07	0.09	0.7	1.02	0.55	0.20	2.8	0.02	0.06	0.6	1.04	0.61	1.00	0.29
66	1.3	0.09	0.11	0.9	0.83	0.57	0.2	1.3	0.06	0.09	0.7	1.17	0.62	0.2	1.2	0.07	0.09	0.7	1.17	0.57	0.20	1.3	0.07	0.09	0.7	1.01	0.55	0.20	2.9	0.02	0.06	0.6	1.03	0.61	1.00	0.29
72	1.3	0.10	0.13	0.9	0.74	0.57	0.2	1.3	0.07	0.09	0.7	1.15	0.62	0.2	1.2	0.07	0.09	0.7	1.16	0.57	0.20	1.3	0.06	0.09	0.7	1.07	0.55	0.20	2.9	0.02	0.06	0.6	1.03	0.61	1.00	0.28
78	1.2	0.11	0.13	1.0	0.69	0.57	0.2	1.3	0.07	0.09	0.7	1.18	0.62	0.2	1.2	0.07	0.08	0.7	1.19	0.57	0.20	1.3	0.06	0.08	0.7	1.09	0.55	0.20	2.8	0.02	0.06	0.6	1.05	0.61	1.00	0.28
84	1.2	0.12	0.15	1.0	0.59	0.57	0.2	1.3	0.07	0.09	0.7	1.12	0.62	0.2	1.2	0.07	0.09	0.7	1.18	0.57	0.20	1.3	0.06	0.08	0.7	1.12	0.55	0.20	2.8	0.02	0.07	0.6	0.95	0.61	1.00	0.28
90	1.7	0.14	0.24	1.5	0.00	0.57	0.4	1.3	0.09	0.12	0.9	0.93	0.62	0.2	1.3	0.10	0.13	0.9	0.83	0.57	0.20	1.4	0.10	0.14	1.0	0.67	0.55	0.30	2.6	0.03	0.08	0.7	0.79	0.61	0.90	0.36
96	1.6	0.14	0.23	1.5	0.03	0.57	0.4	1.2	0.09	0.11	0.8	0.95	0.62	0.2	1.2	0.09	0.12	0.9	0.91	0.57	0.20	1.3	0.10	0.14	1.0	0.69	0.55	0.20	2.6	0.03	0.08	0.7	0.81	0.61	0.90	0.35
102	1.7	0.13	0.22	1.3	0.12	0.57	0.4	1.3	0.10	0.14	1.0	0.80	0.62	0.2	1.3	0.11	0.14	1.0	0.73	0.57	0.20	1.4	0.12	0.17	1.1	0.46	0.55	0.30	2.6	0.03	0.08	0.7	0.73	0.61	0.90	0.35
108	1.7	0.11	0.20	1.3	0.25	0.57	0.4	1.3	0.11	0.14	1.0	0.73	0.62	0.2	1.3	0.11	0.15	1.0	0.68	0.57	0.20	1.4	0.13	0.18	1.2	0.36	0.55	0.30	2.6	0.03	0.09	0.7	0.66	0.61	0.90	0.34
114	1.7	0.12	0.21	1.3	0.20	0.57	0.4	1.3	0.11	0.14	1.0	0.73	0.62	0.2	1.3	0.11	0.14	1.0	0.72	0.57	0.20	1.4	0.12	0.18	1.2	0.40	0.55	0.30	2.6	0.03	0.08	0.7	0.78	0.61	0.90	0.34
120	1.7	0.10	0.19	1.2	0.32	0.57	0.5	1.3	0.12	0.16	1.1	0.60	0.62	0.2	1.3	0.12	0.17	1.1	0.56	0.57	0.20	1.4	0.13	0.19	1.2	0.26	0.55	0.30	2.7	0.02	0.05	0.6	1.08	0.61	0.90	0.34
126	1.7	0.11	0.18	1.2	0.36	0.57	0.4	1.4	0.12	0.17	1.1	0.50	0.62	0.3	1.4	0.12	0.18	1.2	0.45	0.57	0.30	1.5	0.13	0.21	1.3	0.15	0.55	0.30	2.9	0.04	0.12	0.9	0.35	0.61	1.00	0.40
132	1.4	0.10	0.14	1.0	0.63	0.57	0.3	1.6	0.15	0.24	1.5	0.00	0.62	0.4	1.6	0.14	0.24	1.5	0.01	0.57	0.40	1.6	0.14	0.22	1.4	0.03	0.55	0.40	2.5	0.05	0.13	0.9	0.26	0.61	0.80	0.42
138	1.3	0.10	0.13	1.0	0.69	0.57	0.2	1.4	0.15	0.22	1.4	0.12	0.62	0.3	1.5	0.14	0.22	1.4	0.13	0.57	0.40	1.4	0.13	0.19	1.2	0.26	0.55	0.30	2.3	0.05	0.12	0.9	0.36	0.61	0.80	0.36
144	1.3	0.10	0.13	1.0	0.69	0.57	0.2	1.5	0.15	0.22	1.4	0.11	0.62	0.3	1.5	0.15	0.24	1.5	0.00	0.57	0.40	1.5	0.14	0.21	1.3	0.12	0.55	0.30	2.3	0.05	0.12	0.9	0.35	0.61	0.70	0.35
150	1.3	0.10	0.13	1.0	0.69	0.57	0.2	1.5	0.15	0.22	1.4	0.11	0.62	0.3	1.5	0.14	0.22	1.4	0.12	0.57	0.40	1.5	0.14	0.21	1.3	0.14	0.55	0.30	2.3	0.05	0.12	0.9	0.35	0.61	0.70	0.35
156	1.4	0.09	0.12	0.90	0.77	0.57	0.3	1.5	0.14	0.21	1.30	0.20	0.62	0.3	1.6	0.13	0.21	1.30	0.22	0.57	0.40	1.5	0.15	0.23	1.4	0.00	0.55	0.30	2.4	0.05	0.13	0.9	0.76	0.61	0.70	0.37

7.2. Boyut Analizi

Boyut analizi, olaya etki eden parametrelerden meydana gelmiş olan boyutsuz sayılar arasında bir ilişki kurulması olarak tanımlanabilir. Boyut analizinin avantajı, boyutlu değişkenleri kombine etmek suretiyle boyutsuz parametreler teşkil ederek problemdeki değişkenleri azaltmaktır [34;61;62].

Borulu akışta, kesit daralması ve pürüzlülüğü arttırma gibi akışı olumsuz etkileyen olaylara sebebiyet vermesi açısından sediment birikimi hidrolik performansı etkileyen bir parametre olarak bilinmektedir. Sediment konsantrasyonu, sediment dane çapı ve kesitler arası toplam sediment miktarı, sediment tabaka kalınlıkları gibi parametrelere boyut analizinde yer verilmiştir. Doğan [34] tarafından toplam katı madde konsantrasyonu için en etkili boyutsuz girdi parametreleri etkinlik derecelerine göre;

$$\left(\frac{V_{ortj}}{\omega}, \frac{B}{d_{50}}, \frac{h}{d_{50}}, \frac{U_*}{\omega}, \frac{U_* d_{50}}{\nu} \right)$$

STAR-CCM+ programında senaryolar dahilinde elde edilen atık-su ve sediment bulgularına dayalı olarak geliştirilebilecek sediment hareketine ilişkin boyutsuz sayılar;

$$\left(\frac{V_{ortj}}{\sqrt{(G_s - 1)gd_{50}}}, \frac{B}{d_{50}}, \frac{q}{U_* d_{50}}, \frac{\nu^2}{(G_s - 1)gd_{50}^3} \right)$$

olarak belirtilmiştir.

Burada, V_{ortj}/ω = birim akım gücü parametresi, h/d_{50} = akım derinliği, $U_* d_{50}/\nu$ = danecik boyutundan dolayı Reynolds sayısı (sınır Reynolds sayısı), $V_{ortj}/\sqrt{(G_s - 1)gd_{50}}$ birim akım gücü parametresi, $\nu^2/(G_s - 1)gd_{50}^3$ = dane çapı, $G_s = \rho_s/\rho$ = katı madde özgül yoğunluğudur. Akış derinliğinin boru boyunca toplam akışı üzerindeki etkisinin belirlenebilmesi için;

$$h_{akış} = f(h_{akış}, h_{sed}, D, R, H, V_{ort}, U_*)$$

parametreleri kullanılarak oluşturulan boyutsuz parametreler,

$$\left(\frac{(h_{akış} + h_{sed})}{D}, \frac{R}{h_{akış}}, \frac{h_{akış}}{H}, \frac{V_{ort}}{U_*} \right)$$

biçiminde kullanılmıştır. Bu boyutsuz değerler, $\{(h_{akış} + h_{sed})/D, R/h_{akış}\}$ Banasiak [63], $\{h_{akış}/H, V_{ort}/U_*\}$ Picallo [2] akış performanslarının değerlendirilmesinde boyutsuz hidrolik parametreleri olarak kullanıldığı bilinmektedir. Manning pürüzlülük (n) değerinin hidrolik performans üzerindeki etkisinin ortaya konması için;

$$n = f(n_c, V_{ort}, D, \nu)$$

parametreleri kullanılmış olup, boyutsuz hidrolik performans değerleri olarak,

$$(n_c, Re)$$

kompozit pürüzlülük ile Reynolds sayısı kullanılmıştır.

7.3. Sediment Konsantrasyon Hesapları

Sediment konsantrasyonu hesaplamalarında program girdileri zaman, dane çapı, viskozite su ve sediment yoğunlukları, boru çapı, sediment hız ve konsantrasyonlarıdır. Bağımlı ve bağımsız değişkenlerin uygun seçilmesiyle değişkenler arasında boyutsuz sayı grupları elde edilmiştir.

$$f = \left(\ln \left(\frac{t}{\sum t} \right), \frac{1}{(d_{50}/D)}, \frac{\mu}{d_{50}^3 \rho_w U_*}, \frac{C_s}{\sum C_s}, \frac{\gamma_s d_{50}}{\rho_w U_*^2} \right)$$

Değişkenler arasında bağımlı değişkenlerle bağımsızlar arasında lineer bir ilişkinin varlığının belirlenmesinden sonra çoklu lineer regresyon ile boyutsuz değişken grupları arasında ilişki ortaya konmuştur. Çalışmada kullanılan Shu-Qing Yang [64] konsantrasyon denklemine göre hesaplanan konsantrasyon miktarları ile belirlenen boyutsuz sayılar kullanılarak çoklu lineer regresyon analizi SPSS programı ile yapılmış olup, Şekil 7.1’de en iyi sonucu veren:

Bağımlı değişken $\gamma_s d_{50} / (\rho_w U_*^2)$,

Bağımsız değişkenler ise, $\ln(t / \sum t)$, $1 / (d_{50} / D)$, $\mu / (d_{50}^3 \rho_w U_*)$, $C_s / \sum C_s$

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1	.999 ^a	.997	.997	.00000242	.997	2191.806	4	22	.000	2.576

a. Predictors: (Constant), X4, X1, X2, X3

b. Dependent Variable: Y

Şekil 7.1 SPSS program çıktısı

olarak alınmış ve korelasyon katsayısı R: 0.999 bulunmuştur. Böylece konsantrasyon hesaplamalarında kullanılan boyutsuz değerlerin birbirleriyle olan lineer ilişkinin varlığı ortaya konulmuştur.

7.4. Konsantrasyon Matris Hesapları

Bu çalışmada, 4 farklı Duruma ait 144 farklı senaryo dahilinde borunun her 5m arayla alınan 4 kesitler arası hacimde 6 s ara ile atıksu-sediment parametreleri STAR CCM⁺ vasıtasıyla hesaplanmıştır. Sediment konsantrasyon hesaplamalarından elde edilen boyutsuz sayılardan bağımsız değişken olarak x_1, x_2, x_3, x_4 değerleri bağımlı değişken olarak da y değeri esas alınarak çoklu lineer regresyon matrisi oluşturulmuş ve a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 katsayıları belirlenerek her kesitte dikkate alınacak bağıntılar hesaplanmıştır.

$$x_1 = \ln\left(\frac{t}{\sum t}\right) \quad (51a)$$

$$x_2 = \frac{1}{(d_{50}/D)} \quad (51b)$$

$$x_3 = \frac{\mu}{d_{50}^3 \rho_w U_*} \quad (51c)$$

$$x_4 = \frac{C_s}{\sum C_s} \quad (51d)$$

$$Y = \frac{\gamma_s d_{50}}{\rho_w U_*^2} \quad (51e)$$

$$\begin{Bmatrix} \Sigma(Y) \\ \Sigma(X_1Y) \\ \Sigma(X_2Y) \\ \Sigma(X_3Y) \\ \Sigma(X_4Y) \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} n & \Sigma(X_1) & \Sigma(X_2) & \Sigma(X_3) & \Sigma(X_4) \\ \Sigma(X_1) & \Sigma(X_1^2) & \Sigma(X_2X_1) & \Sigma(X_3X_1) & \Sigma(X_4X_1) \\ \Sigma(X_2) & \Sigma(X_2X_1) & \Sigma(X_2^2) & \Sigma(X_3X_2) & \Sigma(X_4X_2) \\ \Sigma(X_3) & \Sigma(X_3X_1) & \Sigma(X_2X_3) & \Sigma(X_3^2) & \Sigma(X_4X_3) \\ \Sigma(X_4) & \Sigma(X_4X_1) & \Sigma(X_2X_4) & \Sigma(X_3X_4) & \Sigma(X_4^2) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{Bmatrix}$$

Senaryo: Durum-1 ve 1.10 verilerine göre konsantrasyon hesaplarından elde edilen ve boyutsuzlaştırılan parametreler Tablo 7.4. ve Tablo 7.5.'te verilmiştir.

Tablo 7.4. Sediment Konsantrasyon boyutsuz parametre hesapları, Durum:1 Senaryo: 1.10

KESİT NO: 0									
t(s)	Y* (10 ⁻⁵)	x ₁ =ln(t/Σt)	d ₅₀ (mm)	x ₂ =1/(d ₅₀ /D)	U*	x ₃ =μ/(d ₅₀ ³ ρ _w .U*)	C _s (kg/m ³)	x ₄ =C _s / ΣC _s	Y=γ _s .d ₅₀ /(ρ _w .U* ²) (10 ⁻⁵)
0	1.09	0.01	0.84	250	0.29	5877	39.36	0.04	1.63
6	1.12	-3.26	0.84	250	0.29	5877	39.36	0.04	1.63
12	1.25	-2.56	0.84	250	0.29	5877	37.59	0.04	1.63
18	1.46	-2.16	0.84	262	0.29	5742	34.69	0.03	1.56
24	1.37	-1.87	0.84	259	0.29	5771	35.84	0.03	1.57
30	1.17	-1.65	0.84	458	0.39	4341	38.57	0.04	0.89
36	0.95	-1.47	0.84	449	0.38	4385	41.54	0.04	0.91
42	0.88	-1.31	0.84	446	0.38	4400	42.33	0.04	0.91
48	0.82	-1.18	0.84	443	0.38	4416	43.13	0.04	0.92
54	1.12	-1.06	0.84	440	0.38	4431	39.17	0.04	0.93
60	1.06	-0.96	0.84	437	0.38	4447	39.95	0.04	0.93
66	1.00	-0.86	0.84	434	0.38	4463	40.75	0.04	0.94
72	0.93	-0.77	0.84	430	0.38	4483	41.59	0.04	0.95
78	1.13	-0.69	0.84	438	0.38	4439	38.94	0.04	0.93
84	1.09	-0.62	0.84	434	0.38	4461	39.44	0.04	0.94
90	1.63	-0.55	0.84	560	0.43	3929	32.50	0.03	0.73
96	1.71	-0.49	0.84	565	0.43	3909	31.46	0.03	0.72
102	1.76	-0.42	0.84	565	0.43	3909	30.83	0.03	0.72
108	1.83	-0.37	0.84	571	0.43	3890	29.84	0.03	0.71
114	1.83	-0.31	0.84	571	0.43	3890	29.84	0.03	0.71
120	2.04	-0.26	0.84	576	0.44	3870	27.11	0.03	0.71
126	2.04	-0.21	0.84	576	0.44	3870	27.11	0.03	0.71
132	0.15	-0.17	0.84	484	0.40	4223	52.15	0.05	0.84
138	0.15	-0.12	0.84	484	0.40	4223	52.15	0.05	0.84
144	0.13	-0.08	0.84	484	0.40	4223	52.31	0.05	0.84
150	0.13	-0.04	0.84	484	0.40	4223	52.31	0.05	0.84
156	0.15	0.00	0.84	488	0.40	4206	52.05	0.05	0.84

Tablo 7.5. Sediment Konsantrasyon boyutsuz parametre hesapları, Durum:1 Senaryo: 1.10 (devamı)

t(s)	$y^2 (10^{-11})$	$(X_1)^2$	$(x_2)^2 (10^4)$	$(x_3)^2 (10^6)$	$(x_4)^2 (10^4)$	$X_2 * X_1$	$X_3 * X_1$	$X_4 * X_1 (10^3)$	$X_2 * X_3 (10^5)$	$X_2 * X_4$	$X_3 * X_4$	$X_1 * Y (10^{-6})$	$X_2 * Y$	$X_3 * Y$	$X_4 * Y (10^{-7})$
0	26.60	0.0001	6.25	34.54	13.74	2.50	58.77	0.37	14.69	9.27	217.87	0.16	0.004	0.10	6.05
6	26.60	10.62	6.25	34.54	13.74	-814.52	-19149.26	-120.77	14.69	9.27	217.87	-53.14	0.004	0.10	6.05
12	26.60	6.58	6.25	34.54	12.53	-641.24	-15075.33	-90.80	14.69	8.85	208.06	-41.83	0.004	0.10	5.77
18	24.20	4.66	6.86	32.97	10.67	-565.58	-12400.42	-70.53	15.04	8.55	187.55	-33.62	0.004	0.09	5.08
24	24.70	3.50	6.72	33.31	11.39	-485.33	-10802.61	-63.16	14.96	8.75	194.75	-29.44	0.004	0.09	5.31
30	7.91	2.72	21.01	18.84	13.19	-755.64	-7156.46	-59.88	19.90	16.65	157.67	-14.67	0.004	0.04	3.23
36	8.24	2.15	20.18	19.23	15.30	-658.63	-6429.66	-57.36	19.70	17.57	171.53	-13.31	0.004	0.04	3.55
42	8.36	1.72	19.89	19.36	15.89	-585.26	-5773.98	-52.30	19.63	17.78	175.40	-12.00	0.004	0.04	3.64
48	8.48	1.39	19.62	19.50	16.50	-522.03	-5204.65	-47.87	19.56	17.99	179.35	-10.85	0.004	0.04	3.74
54	8.60	1.13	19.34	19.64	13.61	-466.57	-4701.03	-39.13	19.49	16.22	163.45	-9.84	0.004	0.04	3.42
60	8.72	0.91	19.07	19.77	14.15	-417.29	-4249.05	-35.95	19.42	16.43	167.30	-8.92	0.004	0.04	3.51
66	8.84	0.74	18.81	19.91	14.73	-373.04	-3838.67	-33.01	19.35	16.64	171.24	-8.09	0.004	0.04	3.61
72	9.00	0.60	18.47	20.10	15.34	-332.29	-3466.02	-30.28	19.27	16.83	175.55	-7.34	0.004	0.04	3.72
78	8.65	0.48	19.22	19.70	13.45	-303.85	-3076.59	-25.42	19.46	16.07	162.77	-6.45	0.004	0.04	3.41
84	8.83	0.38	18.83	19.90	13.79	-268.65	-2761.50	-22.99	19.36	16.12	165.67	-5.82	0.004	0.04	3.49
90	5.31	0.30	31.31	15.43	9.37	-307.76	-2160.97	-16.84	21.98	17.13	120.25	-4.01	0.004	0.03	2.23
96	5.21	0.24	31.94	15.28	8.78	-274.37	-1897.95	-14.38	22.09	16.74	115.81	-3.50	0.004	0.03	2.14
102	5.21	0.18	31.94	15.28	8.43	-240.11	-1660.95	-12.34	22.09	16.41	113.50	-3.07	0.004	0.03	2.09
108	5.10	0.14	32.58	15.13	7.90	-209.89	-1430.38	-10.33	22.20	16.04	109.31	-2.63	0.004	0.03	2.01
114	5.10	0.10	32.58	15.13	7.90	-179.03	-1220.07	-8.81	22.20	16.04	109.31	-2.24	0.004	0.03	2.01
120	5.00	0.07	33.23	14.98	6.52	-151.25	-1015.48	-6.70	22.31	14.72	98.82	-1.86	0.004	0.03	1.81
126	5.00	0.05	33.23	14.98	6.52	-123.12	-826.64	-5.45	22.31	14.72	98.82	-1.51	0.004	0.03	1.81
132	7.09	0.03	23.44	17.84	24.12	-80.89	-705.52	-8.20	20.45	23.78	207.40	-1.41	0.004	0.04	4.14
138	7.09	0.02	23.44	17.84	24.12	-59.36	-517.78	-6.02	20.45	23.78	207.40	-1.03	0.004	0.04	4.14
144	7.09	0.01	23.44	17.84	24.26	-38.76	-338.04	-3.94	20.45	23.85	208.03	-0.67	0.004	0.04	4.15
150	7.09	0.00	23.44	17.84	24.26	-18.99	-165.64	-1.93	20.45	23.85	208.03	-0.33	0.004	0.04	4.15
156	6.98	0.00	23.82	17.69	24.02	0.00	0.00	0.00	20.53	23.92	206.15	0.00	0.004	0.04	4.09

7.4.1.Çoklu Lineer Denklemlerin Geliştirilmesi

Matris hesaplamaları sonucunda her kesitte «a» katsayıları çıkartılarak denklemler oluşturulmuştur. Bu denklemler;

$$Y = n. a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 \quad (52)$$

formunda oluşturulmuş olup, 4 Duruma göre toplam 144 senaryoda her senaryo için 5 kesitte olmak üzere 720 adet denklem çıkarılarak 'a' katsayıları verilmiştir (Tablo 7.6. ~ 7. 17).

Çalışmada boyut analizi yapılarak sediment hesaplamalarında kullanılan parametreler hakkında bilgi sahibi olmamızı, sonuçlara daha kolay ulaşmamızı sağlayarak boyutsuz parametreleri belirlemek amaçlanmıştır. Belirlenen boyutsuz parametrelerin sedimenti en iyi tanımlayabilmesi için çoklu lineer regresyon analizi yapılmıştır. Bu analiz ile sedimente ilişkin boyutsuz parametrelerin en iyi bağımlı ve bağımsız değişkenleri ortaya konarak en yüksek korelasyona sahip senaryolar ortaya konmuştur.

Tablo 7.6. Durum 1 R Korelasyon ve a denklem katsayıları 400mmx600mm

	Eğim	Boru Malz.	Taban Tipi	Kesit No	Korelasyon Katsayısı R	$a_0 (10^{-4})$	$a_1 (10^{-5})$	$a_2 (10^{-8})$	$a_3 (10^{-11})$	$a_4 (10^{-3})$		Eğim	Boru Malz.	Taban Tipi	Kesit No	Korelasyon Katsayısı R	$a_0 (10^{-4})$	$a_1 (10^{-5})$	$a_2 (10^{-8})$	$a_3 (10^{-11})$	$a_4 (10^{-3})$
1.1.	1/500	Beton	Düz	0	0.991	6.5134	2.6828	1.1343	0.51660	-12.0980	1.7.	1/250	Çelik	Düz	0	0.977	0.0220	-1.5915	0.2215	-1.2902	1.9446
				5	0.999	1.1310	-2.3631	0.8585	-10.3960	1.6487					5	0.999	-0.4879	-0.8907	-10.9680	-43.0310	5.0478
				10	0.996	2.7340	-2.0748	1.6259	-6.9474	-2.8237					10	0.998	0.6541	-1.7393	1.1915	-4.4968	0.8197
				15	0.998	-2.6456	-5.9007	-2.3515	32.5260	11.2530					15	0.998	-0.3412	-0.1606	-0.9226	12.9880	4.0267
				20	1.000	1.5912	-1.9989	1.4166	5.6149	6.3126					20	0.997	-0.5001	-0.8453	-2.2717	0.0354	6.8803
1.2.	1/500	Beton	Dalgalı	0	0.998	1.0295	-2.5672	0.9070	-15.6730	1.1762	1.8.	1/250	Çelik	Dalgalı	0	0.978	-0.9287	-3.0085	0.2548	-2.7979	3.8748
				5	0.997	1.6003	-1.1540	0.9493	-2.7838	0.4098					5	0.996	0.6574	-1.4222	1.2202	-5.9567	0.8887
				10	0.998	0.1892	0.8279	0.0433	2.7576	5.1629					10	0.996	0.7618	-1.5402	0.5272	-14.6070	0.4849
				15	1.000	0.8996	-1.9527	0.6623	-2.9247	4.0677					15	0.999	0.3948	-1.6943	0.2505	-6.9421	1.8416
				20	1.000	1.1090	-2.5316	1.7870	-8.9034	7.9859					20	0.999	1.1660	-2.2135	1.1675	-4.7304	1.5874
1.3.	1/500	Çelik	Düz	0	0.994	-1.9127	-2.1994	-0.0174	-4.0950	9.6728	1.9.	1/25	Beton	Düz	0	0.847	0.6828	0.0294	0.5639	56.0590	-1.6713
				5	0.998	-1.7513	-0.7063	-8.2765	-14.9300	10.6390					5	0.939	-0.1962	0.3798	-1.1650	-45.0640	1.1763
				10	0.998	0.1030	-1.6906	0.5406	5.4557	4.5328					10	0.984	-0.2073	0.2673	-1.3291	-43.4860	1.1865
				15	0.998	1.0682	-2.1924	0.8813	-0.3138	2.0037					15	1.000	-0.3779	0.2560	-1.7795	-41.7330	1.6692
				20	0.999	0.0328	37.4290	5.6305	-2.8662	19.7980					20	0.992	1.9183	2.1557	0.7859	-0.1117	-4.1125
1.4.	1/500	Çelik	Dalgalı	0	0.997	4.2791	-1.6637	1.7730	-18.3700	-7.3845	1.10.	1/25	Beton	Dalgalı	0	0.997	0.3542	-0.0110	0.4794	61.6450	-0.7921
				5	0.996	0.3085	0.3236	0.1866	6.1511	4.3875					5	0.998	0.3268	0.2806	-2.1133	300.7900	-0.6383
				10	0.999	0.5833	0.7210	0.5396	5.1622	4.2054					10	0.995	0.2074	0.0575	-1.4967	169.0900	-0.2929
				15	1.000	0.6537	1.2891	-0.3088	5.9322	5.7287					15	1.000	0.1568	0.0002	-1.2916	155.3400	-0.1812
				20	0.999	1.1369	-1.3624	1.9909	-14.1410	8.2159					20	0.999	0.2022	0.2251	-2.4995	323.0800	-0.3077
1.5.	1/250	Beton	Düz	0	0.953	-2.1183	-4.2959	0.1498	-22.3280	7.0744	1.11.	1/25	Çelik	Düz	0	0.821	0.5820	0.1836	0.5487	56.4040	-1.3612
				5	0.998	0.0757	-0.1290	0.0545	16.8270	2.7899					5	0.993	-0.1517	0.1620	-0.9827	63.8960	0.8255
				10	0.997	0.3386	-0.8190	0.5009	-0.8487	1.8431					10	0.990	-0.1170	-0.0128	-1.2627	-43.5020	0.8731
				15	0.997	0.1489	-1.0310	0.2071	-9.3138	2.3719					15	0.999	-0.2520	-0.0200	-1.6885	-41.2670	1.2589
				20	0.997	-0.0998	-0.8526	-1.0283	-1.1375	5.5340					20	0.950	1.8125	1.8651	0.3719	4.2445	-3.8830
1.6.	1/250	Beton	Dalgalı	0	0.973	2.4629	1.9329	-0.0712	-16.9190	-4.1287	1.12.	1/25	Çelik	Dalgalı	0	0.999	0.2643	0.1307	0.5573	55.6150	-0.5182
				5	0.997	0.3290	-0.6934	0.0928	-11.3290	1.9860					5	0.995	-0.1158	0.0534	-0.6606	54.3810	0.6968
				10	0.996	0.8467	-1.9029	0.8424	-17.4340	0.1469					10	0.978	-0.1724	0.0181	-0.8054	55.5910	0.8474
				15	0.997	0.2477	-0.5943	0.1263	-11.7390	2.3275					15	0.988	-0.3083	-0.4548	-1.8628	-36.0080	1.3157
				20	0.997	0.2343	-1.7418	0.0255	3.32230	4.0398					20	0.994	0.1503	0.2283	0.5066	23.5120	0.2774

Tablo 7.7. Durum 1 R Korelasyon ve a denklem katsayıları 600mmx900mm

	Eğim	Boru Malz.	Taban Tipi	Kesit No	Korelasyon Katsayısı R	$a_0 (10^{-4})$	$a_1 (10^{-5})$	$a_2 (10^{-8})$	$a_3 (10^{-11})$	$a_4 (10^{-3})$		Eğim	Boru Malz.	Taban Tipi	Kesit No	Korelasyon Katsayısı R	$a_0 (10^{-4})$	$a_1 (10^{-5})$	$a_2 (10^{-8})$	$a_3 (10^{-11})$	$a_4 (10^{-3})$
1.13.	1/1000	Beton	Düz	0	0.999	0.6203	0.0763	0.1723	1.3349	4.5009	1.19.	1/500	Çelik	Düz	0	0.992	0.5033	-1.1650	-0.1543	-10.1500	1.3414
5				0.998	0.1702	2.3682	-0.2789	-3.7249	7.2672	5					0.992	0.4589	-1.3300	-0.1710	-11.5960	1.6316	
10				0.998	0.5339	1.0023	-0.2673	-2.4324	7.1489	10					0.996	0.5171	-1.2970	0.3847	9.1631	1.5893	
15				0.999	1.5208	-0.9446	1.1364	-9.6891	4.0724	15					0.977	1.7118	0.8684	0.3301	-7.9774	-0.6334	
20				0.995	3.2096	-0.5762	-0.4940	-6.3175	5.7971	20					0.994	7.3864	-0.5194	2.3827	-2.8605	-12.8410	
1.14.			Dalgalı	0	0.998	1.2036	-2.4262	0.1446	-10.0920	2.0092	1.20.			Dalgalı	0	0.988	0.8142	-1.3685	-0.0731	-5.1989	0.2175
5				0.998	1.3085	-1.6202	0.5343	-2.3824	2.8054	5					0.992	0.4040	-1.4082	0.0247	1.7349	1.4668	
10				0.998	2.6180	-3.7631	1.0450	-3.4696	-0.0878	10					0.995	-0.3381	-1.4476	0.0654	-3.2020	3.6741	
15				0.999	2.3435	-3.9441	0.9263	-3.4862	0.3234	15					0.962	1.1023	-0.5100	0.0824	-0.4093	0.3920	
20				1.000	0.6609	-1.6922	-0.3901	-1.0676	11.1640	20					0.999	0.2131	-1.3078	0.0151	-3.2725	5.1354	
1.15.	1/1000	Çelik	Düz	0	0.999	0.2935	1.8500	-0.1762	2.9607	5.9578	1.21.	1/50	Beton	Düz	0	0.863	1.2287	-0.5558	-0.0521	-76.7420	-3.0343
5				0.999	4.7950	-4.7634	-2.6076	263.7100	-7.9348	5					0.816	0.6458	-0.6899	0.0950	7.0294	-1.3278	
10				0.998	1.3361	0.2693	0.2796	6.0218	4.9741	10					0.775	0.5512	-0.2140	0.4137	-2.1388	-0.9779	
15				0.999	1.1945	0.1001	0.3434	-4.8915	5.5842	15					0.927	0.6944	-0.9211	-0.3443	-56.6860	-1.3501	
20				0.991	4.0968	-0.2113	-0.4492	-5.8125	3.7786	20					0.930	-2.7317	1.7506	-1.3624	10.4790	8.8396	
1.16.			Dalgalı	0	0.998	0.8414	-1.6794	0.0535	1.4573	3.5155	1.22.			Dalgalı	0	0.850	0.7258	-0.2332	-0.0781	-75.4640	-1.5981
5				0.999	0.7899	-0.7401	0.0550	-0.0014	4.8844	5					0.818	0.6198	0.0764	0.1770	1.3345	4.5015	
10				0.997	2.8098	-3.3283	0.5306	-5.4500	-0.1064	10					0.992	-0.0189	0.3216	0.0580	12.6410	0.5980	
15				0.999	1.7594	-2.6042	3.2780	-11.3880	2.5325	15					0.845	0.5735	-0.8983	0.4045	-0.5705	-1.2001	
20				0.996	5.0041	0.1698	0.6177	-1.1702	0.7877	20					0.902	0.1489	-0.4849	-0.3645	-25.0850	0.3661	
1.17.	1/500	Beton	Düz	0	0.990	0.4826	-0.8597	0.2200	12.1550	1.2998	1.23.	1/50	Çelik	Düz	0	0.852	0.9849	-0.5075	-0.0924	-72.5990	-2.3619
5				0.995	0.4111	-0.9778	0.2448	8.0877	1.6779	5					0.831	0.6359	-0.8382	-0.0215	9.8847	-1.3300	
10				0.996	-0.3438	-0.6601	-0.0120	11.9870	4.0241	10					0.846	0.5637	-0.4351	0.3664	-0.7368	-1.0607	
15				0.975	1.1065	-0.2318	0.0004	-9.5666	0.7021	15					0.835	0.6955	-1.1676	-0.4095	-54.7570	-1.4084	
20				0.993	2.9757	-0.6253	1.0979	0.2683	-0.9732	20					0.956	-1.9465	1.8041	-1.4856	12.3300	6.7340	
1.18.			Dalgalı	0	0.979	0.7728	-0.9769	0.3246	17.7930	0.2414	1.24.			Dalgalı	0	0.930	1.0769	-0.6280	-0.0943	-73.6950	-2.6375
5				0.987	-0.3080	-1.9693	-0.2818	-11.1980	3.2756	5					1.000	-0.6712	2.6491	-0.6248	-66.0710	3.0115	
10				0.993	1.2677	-2.0270	0.0876	-8.7967	-0.8792	10					0.991	-0.0015	0.3032	0.0181	14.2140	0.5489	
15				0.946	0.1562	-2.3044	-0.0634	-4.1039	2.4674	15					0.972	0.6163	-0.9846	0.2464	3.5864	-1.3265	
20				0.999	0.1517	-1.4230	0.2519	1.5985	5.2206	20					0.927	0.3386	-0.8453	0.1062	-29.7740	-0.2557	

Tablo 7.8. Durum 1 R Korelasyon ve a denklem katsayıları 800mmx1200mm

	Eğim	Boru Malz.	Taban Tipi	Kesit No	Korelasyon Katsayısı R	a_0 (10 ⁻⁴)	a_1 (10 ⁻⁵)	a_2 (10 ⁻⁶)	a_3 (10 ⁻¹¹)	a_4 (10 ⁻³)		Eğim	Boru Malz.	Taban Tipi	Kesit No	Korelasyon Katsayısı R	a_0 (10 ⁻⁴)	a_1 (10 ⁻⁵)	a_2 (10 ⁻⁶)	a_3 (10 ⁻¹¹)	a_4 (10 ⁻³)		
1.25.	1/3000	Beton	Düz	0	1.000	3.1106	2.4879	0.7902	-6.4365	14.4240	1.31.	1/1500	Çelik	Düz	0	0.999	-0.3734	-3.8235	0.2369	-7.7547	11.3360		
5				1.000	4.3763	1.1323	0.3468	-7.2106	15.4900	5					1.000	-0.0264	-3.8800	0.5525	0.6717	12.2780			
10				1.000	4.3116	0.8543	1.6271	-3.4390	18.9020	10					1.000	-1.0047	-6.1977	0.2889	-10.5860	16.0190			
15				1.000	3.5073	-0.2247	0.4167	-3.8412	30.2970	15					1.000	-0.7347	-11.0010	4.5477	-28.6820	18.4290			
20				1.000	1.6706	-7.7867	3.4773	-4.1367	55.4150	20					1.000	3.4028	-1.6079	2.8135	-3.5011	22.0080			
1.26.			Dalgalı	0	1.000	2.9783	2.4779	1.0155	-4.6878	13.8130	1.32.					Dalgalı	0	0.999	1.7138	-2.2834	1.2480	-7.2813	5.0725
5				1.000	3.5294	1.7495	-0.0498	-5.0552	17.5500	5							0.999	1.9488	-4.5694	1.9369	-17.8570	6.6515	
10				1.000	4.6943	0.0097	1.5798	-6.7377	17.1190	10							1.000	1.0063	-6.8593	3.4338	-18.4500	10.3210	
15				1.000	4.0582	3.7430	0.0247	-0.6309	24.2260	15							0.931	-2.4385	-12.0060	2.3128	-11.5740	20.2220	
20				1.000	2.3306	-5.0516	-0.8489	1.4263	54.0510	20							1.000	2.3868	-0.5714	2.8452	-10.5490	20.8250	
1.27.	1/3000	Çelik	Düz	0	1.000	2.6861	3.5287	0.7066	-12.6010	16.0980	1.33.	1/75	Beton	Düz	0	0.801	0.5236	-0.0807	0.5028	-11.9770	-0.8951		
5				1.000	3.6525	3.5042	0.4546	0.8943	18.2860	5					0.908	0.6526	-2.5268	1.5947	125.1400	-2.0150			
10				1.000	2.8717	3.0954	-0.3609	-3.7166	23.8650	10					0.961	0.3085	-0.6683	0.1517	-35.4080	-0.1311			
15				1.000	2.5871	-1.0749	1.0929	-7.7235	33.0800	15					0.925	0.2024	0.1075	-0.4512	6.1628	0.5044			
20				1.000	1.6706	-7.7867	3.4773	-4.1367	55.4150	20					0.991	0.1482	-0.0741	-0.2479	-16.9050	1.3494			
1.28.			Dalgalı	0	1.000	1.5206	6.8837	0.2129	-4.0397	19.2160	1.34.					Dalgalı	0	0.895	0.0317	0.0658	-0.2513	-61.5890	0.5811
5				1.000	4.1261	0.9019	0.9948	-7.4807	16.1280	5							0.947	1.7723	0.6172	-0.6817	-765.6500	-1.4699	
10				1.000	3.1677	2.0690	0.9863	-6.3669	22.2950	10							0.849	0.0734	1.8147	0.8592	22.6030	0.8802	
15				1.000	3.9296	3.6536	0.6256	-4.6723	24.9410	15							0.931	0.1092	0.4941	0.4373	38.8710	0.6871	
20				1.000	2.3306	-5.0516	-0.8489	1.4263	54.0510	20							0.996	0.0924	0.3829	0.2615	17.8150	1.3708	
1.29.	1/1500	Beton	Düz	0	0.999	2.5720	-1.9683	1.0240	-8.1697	3.4900	1.35.	1/75	Çelik	Düz	0	0.878	0.5324	-0.1879	0.5208	-12.5050	-0.9457		
5				1.000	0.0259	-3.4167	0.3118	-0.3548	11.9870	5					0.944	0.2816	-0.8698	0.5900	8.9114	-0.2576			
10				1.000	0.2324	-5.0526	1.8286	-8.5817	12.5260	10					0.964	0.3132	-0.7864	0.1507	-34.2070	-0.1737			
15				1.000	-4.1813	-20.3450	1.8615	-12.3660	25.2560	15					0.928	0.2165	0.1360	-0.5186	-37.6060	0.5856			
20				1.000	3.4028	-1.6079	2.8135	-3.5011	22.0080	20					0.991	0.1482	-0.0741	-0.2479	-16.9050	1.3494			
1.30.			Dalgalı	0	0.999	-0.5515	-1.4785	0.2864	5.0280	11.2530	1.36.					Dalgalı	0	0.972	0.1331	0.0260	0.1478	17.9390	0.1895
5				0.999	49.4180	69.5160	14.2390	-135.7800	-105.2100	5							0.939	0.0187	0.7188	-0.3402	-40.2470	0.9433	
10				1.000	1.8869	-4.8310	2.9349	-25.9640	8.2404	10							0.811	0.2486	-0.1550	0.0072	21.5690	0.0453	
15				1.000	-3.5891	-15.8720	-0.0179	-2.0957	22.3930	15							0.947	0.0777	0.5048	0.3918	40.1110	0.7764	
20				1.000	2.3868	-0.5714	2.8452	-10.5490	20.8250	20							0.996	0.0924	0.3829	0.2615	17.8150	1.3708	

Tablo 7.9. Durum 2 R Korelasyon ve a denklem katsayıları 400mmx600mm

	Eğim	Boru Malz.	Taban Tipi	Kesit No	Korelasyon Katsayısı R	a_0 (10^{-4})	a_1 (10^{-5})	a_2 (10^{-8})	a_3 (10^{-11})	a_4 (10^{-3})		Eğim	Boru Malz.	Taban Tipi	Kesit No	Korelasyon Katsayısı R	a_0 (10^{-4})	a_1 (10^{-5})	a_2 (10^{-8})	a_3 (10^{-11})	a_4 (10^{-3})
2.1.	1/500	Beton	Düz	0	0.954	8.7616	0.2115	0.3692	-2.6350	-19.7510	2.7.	1/250	Çelik	Düz	0	0.854	1.7148	-0.9954	-0.0229	6.4991	-2.9812
				5	0.983	0.9795	-0.5103	-0.0967	-7.1350	0.9843					5	0.977	-1.6853	0.4324	-0.2265	-6.6188	6.5102
				10	0.981	1.4319	-2.3848	0.3553	-3.7767	-0.9697					10	0.963	-0.6550	0.8296	-0.4121	-2.1598	3.8374
				15	0.991	1.6163	-2.2013	0.4266	8.4451	-1.6947					15	0.998	0.4649	-0.2605	-0.0101	-0.0249	0.2857
				20	0.919	5.3231	-7.0873	-15.6120	418.1300	-11.7200					20	0.854	-0.6470	3.3747	-0.2142	-15.5160	4.1252
2.2.			Dalgalı	0	0.992	0.8442	-0.5034	0.0259	-1.2427	1.4043	2.8.			Dalgalı	0	0.835	0.3858	2.1829	-0.0006	2.0074	1.4633
				5	0.973	2.4041	1.8072	0.2555	3.4264	-2.7279					5	0.989	0.6958	-0.7557	0.0511	1.2633	0.0326
				10	0.980	2.1160	0.8178	0.1382	6.8188	-2.1761					10	0.959	1.0109	-1.9712	0.5127	12.2910	-1.1058
				15	0.990	0.4000	-2.6376	0.1522	8.3096	1.4377					15	0.959	1.0450	-1.8023	0.3745	-19.0220	-1.5518
				20	0.921	2.1867	2.0464	0.0959	3.0350	-2.3556					20	0.833	-5.7213	9.2299	-0.2142	-15.5100	19.1980
2.3.	1/500	Çelik	Düz	0	0.891	-7.5531	-0.0159	-0.6182	0.9269	24.3780	2.9.	1/250	Beton	Düz	0	0.881	0.1381	0.1221	0.3866	64.9210	-0.1689
				5	0.982	2.1869	-3.2812	0.5215	1.4813	-2.9639					5	0.846	-1.0174	2.7127	0.2815	-77.5830	3.6145
				10	0.984	0.3177	3.0492	-0.4241	-2.2622	3.4392					10	0.875	-0.0784	1.8156	0.2371	-92.5230	0.8789
				15	0.997	1.5054	-1.8872	0.4326	8.5757	-1.3234					15	0.883	-0.0123	1.6424	0.2383	-93.3960	0.6599
				20	0.834	3.9124	-4.2252	0.0908	3.1486	-8.4846					20	0.886	0.0379	1.3662	0.2383	-93.3960	0.4596
2.4.			Dalgalı	0	0.988	1.1924	0.4806	0.2043	3.1451	0.7465	2.10.			Dalgalı	0	0.874	-0.5087	2.1975	-0.0265	-46.0620	2.1422
				5	0.977	2.3994	1.9881	-1.2346	161.1800	-2.6784					5	0.862	0.1043	-0.0396	0.4410	60.9940	-0.1162
				10	0.976	1.1057	-1.0815	0.2568	-1.5434	0.2236					10	0.880	0.0271	0.3141	-0.3874	-21.4140	0.2739
				15	0.999	0.8695	-1.0514	0.0243	-2.5787	0.6125					15	0.893	0.0621	0.4882	0.0737	-55.8860	0.1902
				20	0.861	-6.8756	-13.9670	0.0908	3.1564	18.3600					20	0.889	0.0040	1.6360	0.2383	-93.3970	0.6144
2.5.	1/250	Beton	Düz	0	0.890	2.6759	-0.9207	0.1779	1.5725	-5.5740	2.11.	1/250	Çelik	Düz	0	0.887	0.1370	0.1207	0.3548	66.2110	-0.1640
				5	0.954	-3.5681	-0.2723	-0.1630	-8.5332	11.4250					5	0.920	-0.2608	0.6084	0.0260	-46.2340	1.0902
				10	0.977	-2.0278	1.9920	-0.1989	18.0680	7.7175					10	0.885	-0.0617	1.6093	0.2381	-93.3270	0.7856
				15	0.997	0.1422	0.1131	0.0904	-4.3399	1.2385					15	0.882	-0.0059	1.5087	0.2381	-93.3270	0.6112
				20	0.894	-1.0646	5.4513	-0.2118	-15.5970	5.7392					20	0.876	0.0345	1.4101	0.2381	-93.3260	0.0000
2.6.			Dalgalı	0	0.825	0.7989	-0.9347	-0.2734	-12.9340	-0.3910	2.12.			Dalgalı	0	0.813	-0.8325	1.7583	-0.1339	-38.4290	2.9211
				5	0.973	0.6600	-0.2746	0.2332	-2.6486	0.2290					5	0.853	0.1000	-0.0149	0.4212	61.6860	-0.0974
				10	0.979	0.9674	-1.5634	0.6446	9.5460	-0.9022					10	0.887	0.0385	0.1968	-0.4299	-19.2790	0.2177
				15	0.970	1.2292	-1.9647	0.3946	7.8882	-2.1743					15	0.882	0.0616	0.4223	0.0602	-54.0880	0.1772
				20	0.826	-5.5769	9.7007	-0.2124	-15.5800	18.9190					20	0.895	0.0083	1.5216	0.2381	-93.3260	0.5759

Tablo 7.10. Durum 2 R Korelasyon ve a denklem katsayıları 600mmx900mm

	Eğim	Boru Malz.	Taban Tipi	Kesit No	Korelasyon Katsayısı R	a ₀ (10 ⁻⁴)	a ₁ (10 ⁻⁵)	a ₂ (10 ⁻⁸)	a ₃ (10 ⁻¹¹)	a ₄ (10 ⁻³)		Eğim	Boru Malz.	Taban Tipi	Kesit No	Korelasyon Katsayısı R	a ₀ (10 ⁻⁴)	a ₁ (10 ⁻⁵)	a ₂ (10 ⁻⁸)	a ₃ (10 ⁻¹¹)	a ₄ (10 ⁻³)
2.13.	1/1000	Beton	Düz	0	0.995	1.9160	-3.0025	-0.0027	-11.6350	-0.7134	2.19.	1/500	Çelik	Düz	0	0.934	0.5404	-0.3317	0.1713	13.9140	0.7688
5				0.985	0.9618	2.5997	-0.1020	-1.2112	2.6450	5					0.928	0.9904	-0.1901	0.1903	0.6613	-0.0637	
10				0.918	1.1740	0.7372	0.0161	-0.1971	1.2995	10					0.947	0.5654	0.4600	-0.1368	-14.8870	1.5700	
15				0.812	6.7030	-5.0608	-11.1710	457.2500	-14.0260	15					0.981	0.9998	-0.9305	0.2093	-8.5745	-0.7450	
20				0.843	2.3791	0.3899	-0.0350	-4.3775	-2.2009	20					0.830	-0.2410	2.7747	0.1557	15.2360	3.3039	
2.14.			Dalgalı	0	0.986	-0.1172	-1.1921	-0.0622	-4.7912	4.7776	2.20.			Dalgalı	0	0.950	1.8178	0.5573	-0.0246	-16.5020	-2.2090
5				0.995	1.1605	2.0800	-0.2131	-1.3654	2.7107	5					0.987	0.6811	0.1913	-0.0453	-1.5506	1.0218	
10				0.995	1.4753	-1.2046	-0.1152	-14.0960	1.1383	10					0.959	1.0973	-1.2945	0.1768	2.1561	-0.6140	
15				0.989	1.5697	-0.7051	0.1114	-1.7587	-0.1258	15					0.910	0.9703	-0.0090	0.1097	-5.2050	-0.4336	
20				0.918	2.9843	-5.5201	-2.0484	208.9200	-5.2211	20					0.844	0.4273	1.9404	0.1557	15.2360	1.3039	
2.15.	1/1000	Çelik	Düz	0	0.998	1.8614	-2.9775	0.1587	-5.5599	-0.6313	2.21.	1/50	Beton	Düz	0	0.818	-2.2750	1.2098	-0.1780	-24.3920	6.6990
5				0.986	1.2171	1.1176	-0.0142	-2.3655	1.5917	5					0.907	0.1786	-0.6762	0.1733	62.8410	-0.4580	
10				0.927	1.5794	0.3607	-0.0404	-9.3639	0.1779	10					0.867	0.1196	-0.9409	0.1286	65.2610	-0.3553	
15				0.862	2.3318	-1.0388	-0.0350	-4.3775	-2.4079	15					0.856	0.0914	-0.3172	0.2588	57.3360	-0.1534	
20				0.847	2.2365	0.2815	-0.0350	-4.3775	-1.8412	20					0.930	-0.0665	1.2370	-0.0191	-45.2690	0.7241	
2.16.			Dalgalı	0	0.983	0.3533	-0.6877	-0.0539	-4.6253	3.6225	2.22.			Dalgalı	0	0.888	-0.2378	0.8950	-0.2103	-19.3990	1.1272
5				0.996	1.2195	1.3260	-0.0541	4.3386	2.3068	5					0.900	0.1531	-1.2492	0.0636	-81.2190	-0.3108	
10				0.996	1.2753	-1.2402	2.7189	-0.8534	1.0147	10					0.951	0.0749	0.0198	-0.2408	-37.3330	0.2022	
15				0.990	2.8721	-2.2967	-1.0432	137.8900	-4.0454	15					0.982	0.0605	-0.2349	0.2301	59.4870	-0.0475	
20				0.852	1.6938	-1.0521	-0.0350	-4.3772	-0.6885	20					0.888	0.0251	0.8071	-0.0191	-45.2700	0.3759	
2.17.	1/500	Beton	Düz	0	0.920	0.6198	0.0764	0.1770	1.3345	4.5015	2.23.	1/50	Çelik	Düz	0	0.789	-0.7768	-0.0170	-0.2139	-20.2660	2.3696
5				0.904	0.0690	1.3349	-0.0759	5.8254	2.7215	5					0.887	0.0787	0.5701	0.1045	76.5110	0.1009	
10				0.943	0.7464	0.3440	-0.0016	-3.3706	0.9794	10					0.859	0.1831	-1.0454	0.1080	-88.5370	-0.3457	
15				0.814	0.9986	-0.7919	0.2126	12.7800	-0.7855	15					0.859	0.0897	-0.4094	0.2579	57.4360	-0.1704	
20				0.834	-0.0325	2.7596	0.1557	15.2360	2.7372	20					0.911	-0.0624	1.0723	-0.0191	-45.2690	0.6745	
2.18.			Dalgalı	0	0.901	2.0422	1.1333	0.0787	-1.3152	-2.7622	2.24.			Dalgalı	0	0.850	-0.2001	0.6073	-0.2330	-16.4470	0.9591
5				0.982	0.6049	0.8686	0.2204	8.2553	1.2890	5					0.881	0.1614	-1.3135	0.0426	-78.6000	-0.3466	
10				0.960	0.6085	0.4910	-0.1252	-9.6085	1.1379	10					0.951	0.0757	0.0148	-0.2785	-34.0310	0.2013	
15				0.973	1.0009	0.0196	0.1176	-5.4958	-0.5106	15					0.975	0.0215	0.3042	0.0236	93.1380	0.1923	
20				0.804	1.4449	-1.3499	-1.2334	207.4500	-2.2046	20					0.933	0.0233	0.7614	-0.0191	-45.2700	0.3702	

Tablo 7.11. Durum 2 R Korelasyon ve a denklem katsayıları 800mmx1200mm

	Eğim	Boru Malz.	Taban Tipi	Kesit No	Korelasyon Katsayısı R	a_0 (10^{-4})	a_1 (10^{-5})	a_2 (10^{-8})	a_3 (10^{-11})	a_4 (10^{-3})		Eğim	Boru Malz.	Taban Tipi	Kesit No	Korelasyon Katsayısı R	a_0 (10^{-4})	a_1 (10^{-5})	a_2 (10^{-8})	a_3 (10^{-11})	a_4 (10^{-3})
2.25.	1/3000	Beton	Düz	0	0.997	4.3700	-0.6222	0.2666	0.3625	-1.1365	2.31.	1/1500	Çelik	Düz	0	0.999	1.3828	-0.6572	0.1995	-3.4247	3.0782
5				0.994	3.7677	-0.3158	0.0472	-3.7329	-0.2357	5					1.000	1.6412	-1.4829	0.2989	-7.1619	2.4860	
10				0.952	-0.3092	10.1140	-0.1068	-6.3372	12.5930	10					0.996	1.4280	1.2865	-0.0729	-0.0964	1.5719	
15				0.953	2.3927	5.3177	-0.1068	-6.3375	4.1735	15					0.999	1.5979	0.7518	0.0554	2.3114	0.6292	
20				0.940	2.5785	5.1304	-0.1068	-6.3375	3.6280	20					1.000	1.7034	-0.0630	-0.0021	3.9932	-0.0337	
2.26.			Dalgalı	0	0.999	4.5019	2.9355	0.1776	-8.4829	0.7510	2.32.			Dalgalı	0	0.998	2.0315	-1.2597	-0.1284	-11.2500	0.8240
5				0.999	4.3916	3.3818	0.3628	-1.4531	0.2307	5					0.983	1.9128	-1.2595	0.0489	2.6642	0.0096	
10				0.860	1.1908	4.7938	-0.1068	-6.3374	7.2959	10					1.000	1.7288	-0.0966	-0.0541	-4.1236	-0.0484	
15				0.917	1.6202	5.2040	-0.1068	-6.3374	6.2328	15					1.000	1.7112	-0.1170	-0.0021	3.9932	-0.0674	
20				0.956	1.1179	8.4499	-0.1068	-6.3374	8.3498	20					1.000	1.7122	-0.1156	-0.0021	3.9932	-0.0698	
2.27.	1/3000	Çelik	Düz	0	0.997	3.9940	-1.3036	0.1160	-5.6515	-0.4850	2.33.	1/75	Beton	Düz	0	0.964	0.0148	0.9521	0.0423	39.0170	0.5154
5				0.993	2.6885	3.3015	0.0038	-0.1241	3.3143	5					0.955	0.1429	-1.1097	0.0747	66.4800	-0.4552	
10				0.868	1.2343	5.5429	-0.1068	-6.3374	7.3541	10					0.947	0.1291	-0.4870	0.1717	168.0100	-0.3516	
15				0.888	2.7422	2.7819	-0.1068	-6.3376	2.6356	15					0.939	0.1245	0.1702	0.1053	175.8400	-0.1778	
20				0.856	3.2348	1.3683	0.1044	3.5409	0.9205	20					0.949	-0.3058	1.9491	-0.0962	-27.3690	1.5514	
2.28.			Dalgalı	0	0.998	4.3221	2.8525	0.2983	-3.0311	0.8329	2.34.			Dalgalı	0	0.861	0.1017	-0.3956	0.0680	67.2390	-0.1751
5				0.998	-8.3233	19.5330	0.0866	-8.6967	38.0920	5					0.848	0.1404	-0.2015	0.0808	67.6420	-0.2380	
10				0.871	1.5188	3.7438	-0.1068	-6.3374	6.1643	10					0.838	-0.0097	0.6133	-0.1278	-22.2580	0.4438	
15				0.919	1.9835	3.3746	-0.1068	-6.3375	4.8229	15					0.841	-0.0158	0.6956	-0.0962	-27.3700	0.4746	
20				0.946	2.0528	3.8746	-0.1068	-6.3375	4.7532	20					0.856	-0.0098	0.7396	-0.0962	-27.3700	0.4687	
2.29.	1/1500	Beton	Düz	0	0.999	1.5114	-1.6702	0.1909	-14.7510	2.6688	2.35.	1/75	Çelik	Düz	0	0.946	0.0125	1.0932	0.0619	37.2390	0.5518
5				1.000	1.6637	-0.1843	0.3443	0.0873	2.8736	5					0.950	0.1326	-0.8235	0.0948	65.0530	-0.3647	
10				0.996	1.5590	-0.2058	0.0200	-3.1547	0.9525	10					0.946	0.0825	0.5514	0.1227	63.2010	0.0861	
15				0.999	2.0533	2.4891	1.3258	547.4600	-1.6773	15					0.939	0.0323	0.5563	-0.1182	-23.5180	0.3157	
20				0.873	1.7033	-0.0625	-0.0021	3.9932	-0.0332	20					0.940	-0.2968	1.9349	-0.0962	-27.3690	1.5237	
2.30.			Dalgalı	0	0.997	2.0897	-0.7216	0.2228	4.9129	0.8986	2.36.			Dalgalı	0	0.963	0.1001	-0.4330	0.0835	66.2560	-0.1831
5				0.989	1.9444	-0.0929	0.0736	-3.7285	0.4264	5					0.950	0.1388	-0.2139	0.0982	66.2400	-0.2403	
10				0.930	1.7057	-0.0969	-0.0021	3.9932	-0.0479	10					0.942	0.0983	0.0811	0.1082	65.0630	-0.0673	
15				0.929	1.7118	-0.1164	-0.0021	3.9932	-0.0689	15					0.947	-0.0174	0.6836	-0.0962	-27.3700	0.4762	
20				0.876	1.6984	0.0193	-0.0021	3.9932	-0.0010	20					0.953	-0.0096	0.7405	-0.0962	-27.3700	0.4684	

Tablo 7.12. Durum 3 R Korelasyon ve a denklem katsayıları 400mmx600mm

	Eğim	Boru Malz.	Taban Tipi	Kesit No	Korelasyon Katsayısı R	$a_0 (10^{-4})$	$a_1 (10^{-5})$	$a_2 (10^{-8})$	$a_3 (10^{-11})$	$a_4 (10^{-3})$		Eğim	Boru Malz.	Taban Tipi	Kesit No	Korelasyon Katsayısı R	$a_0 (10^{-4})$	$a_1 (10^{-5})$	$a_2 (10^{-8})$	$a_3 (10^{-11})$	$a_4 (10^{-3})$
3.1.	1/500	Beton	Düz	0	0.936	1.8492	2.0744	0.0908	3.1502	-1.4374	3.7.	1/250	Çelik	Düz	0	0.836	-0.7293	-2.8492	-0.2142	-15.5160	2.8886
				5	0.915	0.1611	-0.8775	0.2495	5.5082	2.4879					5	0.828	-7.8647	-4.9631	-0.2142	-15.5080	21.6590
				10	0.993	0.5572	-0.4419	0.0804	-0.7106	1.7809					10	0.814	-0.4029	-0.8816	-0.4094	3.1035	2.6442
				15	0.995	1.1764	-0.0302	0.9113	-26.7910	0.2719					15	0.814	0.6673	-0.2879	0.5778	-4.9388	-0.0484
				20	0.996	2.5817	3.9953	0.3786	12.2470	-2.4525					20	0.994	0.3666	-0.5869	-0.2635	-8.1576	1.4355
3.2.	1/500	Beton	Dalgalı	0	0.994	7.5942	-5.0636	0.0908	3.1459	-18.6220	3.8.	1/250	Çelik	Dalgalı	0	0.811	-9.8961	4.6968	-0.2142	-15.5060	29.4080
				5	0.842	15.2170	10.1050	0.0908	3.1404	-35.6490					5	0.823	-14.0610	-8.2043	-0.2142	-15.5010	37.6300
				10	0.834	10.0040	9.1263	0.0908	3.1442	-21.8030					10	0.994	-3.9595	-5.7474	-0.7082	7.6151	11.1430
				15	0.974	-3.2938	-4.2459	-0.0137	-3.3699	11.1150					15	0.985	1.2732	-0.0161	0.9774	-15.9990	-1.5411
				20	0.979	3.6472	0.8445	-0.1825	-13.0080	-4.9591					20	0.994	0.0133	-2.2881	-0.3807	-9.9760	1.9131
3.3.	1/500	Çelik	Düz	0	0.963	1.7850	1.8269	0.0908	3.1502	-1.3219	3.9.	1/25	Beton	Düz	0	0.852	0.6198	0.0764	0.1770	1.3345	4.5015
				5	0.963	-2.3786	-4.0536	-0.2495	-1.4831	8.6266					5	0.912	-1.0680	-0.7659	-0.1877	-33.3380	2.9696
				10	0.863	1.8824	0.5997	0.4445	3.1501	-1.9346					10	0.951	1.1510	1.6657	0.6534	53.6920	-2.5607
				15	0.996	0.1180	-0.7118	-0.0183	8.9715	3.0774					15	0.950	0.1986	0.3405	0.3591	66.6850	-0.2793
				20	0.990	0.3990	-2.0719	-0.1032	-20.9760	2.2507					20	0.929	-0.1658	0.0775	-0.2530	-29.8580	0.7334
3.4.	1/500	Çelik	Dalgalı	0	0.938	0.6198	0.0764	0.1770	1.3345	4.5015	3.10.	1/25	Beton	Dalgalı	0	0.893	-2.9763	3.2417	0.2381	-93.3460	9.0376
				5	0.835	14.5830	9.2155	0.0828	3.2793	-34.1440					5	0.893	-1.8483	1.1666	0.0897	-68.4470	5.5142
				10	0.869	9.9115	9.1599	0.0908	3.1443	-21.5450					10	0.883	-0.3155	0.7470	0.0113	-62.6740	1.2876
				15	0.911	5.7000	3.3396	0.1156	13.6890	-11.3870					15	0.828	-0.1829	0.0681	-0.4344	-18.4830	0.7868
				20	0.969	-22.7370	-7.4244	-0.7179	1.6054	64.4330					20	0.934	0.1920	0.2260	0.3569	65.8090	-0.2867
3.5.	1/250	Beton	Düz	0	0.838	-1.1593	-3.6703	-0.2142	-15.5150	3.8573	3.11.	1/25	Çelik	Düz	0	0.833	-3.9042	1.9526	0.2381	-93.3530	11.2410
				5	0.843	-16.2310	-7.9663	-0.2142	-15.4990	43.5430					5	0.865	-1.1239	-0.5457	-0.1929	-39.6440	3.1797
				10	0.974	0.4711	-0.1874	-0.1219	2.9689	0.2966					10	0.927	0.2876	0.4182	0.3657	63.7500	-0.4996
				15	0.994	0.6974	-0.1083	0.5892	-4.4032	-0.0911					15	0.925	0.2018	0.3201	0.2854	66.8250	-0.2855
				20	0.994	0.3760	-0.3566	0.0756	-7.2555	1.4192					20	0.944	-0.1737	0.0027	-0.3157	-23.3880	0.7380
3.6.	1/250	Beton	Dalgalı	0	0.809	-9.8817	4.9070	-0.2142	-15.5060	29.4180	3.12.	1/25	Çelik	Dalgalı	0	0.873	-2.9756	3.2784	0.2381	-93.3460	9.0442
				5	0.832	-9.4789	-7.9061	-0.3570	-15.1060	25.3520					5	0.812	-1.6485	1.4294	0.2381	-93.3380	5.0277
				10	0.970	0.1737	-0.4590	-0.2538	-24.5590	1.1429					10	0.927	-0.3128	0.7561	-0.0235	-48.1870	1.2747
				15	0.921	-0.8054	-1.1215	-0.8420	12.1300	3.9036					15	0.814	-0.1771	0.0157	-0.4969	-15.8670	0.7630
				20	0.968	1.3514	2.5708	0.5897	-5.4418	-0.7023					20	0.901	0.1971	0.1649	0.2963	66.0730	-0.3092

Tablo 7.13. Durum 3 R Korelasyon ve a denklem katsayıları 600mmx900mm

	Eğim	Boru Malz.	Taban Tipi	Kesit No	Korelasyon Katsayısı R	a_0 (10 ⁻⁴)	a_1 (10 ⁻⁵)	a_2 (10 ⁻⁸)	a_3 (10 ⁻¹¹)	a_4 (10 ⁻³)		Eğim	Boru Malz.	Taban Tipi	Kesit No	Korelasyon Katsayısı R	a_0 (10 ⁻⁴)	a_1 (10 ⁻⁵)	a_2 (10 ⁻⁸)	a_3 (10 ⁻¹¹)	a_4 (10 ⁻³)
3.13.	1/1000	Beton	Düz	0	0.898	5.6244	3.4066	-0.0350	-4.3793	-10.2560	3.19.	1/500	Çelik	Düz	0	0.837	-6.2927	-0.9121	0.1557	15.2420	18.7790
				5	0.838	3.5396	-1.0057	-0.0350	-4.3782	-5.6613					5	0.929	-0.5002	1.4717	0.1557	15.2370	3.6982
				10	0.852	5.6244	3.4066	-0.0350	-4.3793	-10.2560					10	0.879	-1.1529	1.4691	0.1557	15.2370	5.4599
				15	0.913	5.6244	3.4066	-0.0350	-4.3793	-10.2560					15	0.970	5.5236	1.9276	-0.0274	-20.5430	-12.1810
				20	0.913	5.6244	3.4066	-0.0350	-4.3793	-10.2560					20	0.956	0.9361	-1.3812	0.0204	1.1451	-0.4604
3.14.			Dalgalı	0	0.833	11.9860	0.4477	-0.0350	-4.3829	-28.1270	3.20.			Dalgalı	0	0.857	-7.2948	1.4834	0.1557	15.2440	22.0460
				5	0.844	6.3209	3.2953	-0.0350	-4.3797	-12.1630					5	0.862	-3.1286	-2.8768	0.1557	15.2390	9.7757
				10	0.839	5.9555	3.1716	-0.0350	-4.3795	-11.2050					10	0.857	-2.1394	-2.5124	0.1557	15.2380	7.1903
				15	0.828	7.4262	4.1792	-0.1166	-1.9176	-14.9280					15	0.913	-6.5589	-4.1372	0.1557	15.2430	18.7420
				20	0.994	4.1662	-5.3160	0.1988	-8.2999	-5.9806					20	0.924	0.2363	1.9837	-0.0510	6.9068	2.8087
3.15.	1/1000	Çelik	Düz	0	0.881	5.5038	3.2341	-0.0350	-4.3793	-9.9707	3.21.	1/50	Beton	Düz	0	0.896	-2.2194	2.1942	-0.0191	-45.2520	6.7612
				5	0.909	3.5396	-1.0057	-0.0350	-4.3782	-5.6613					5	0.892	-3.1242	2.3846	-0.0105	-46.0170	9.2475
				10	0.895	4.2287	-0.8499	-0.0350	-4.3786	-7.4853					10	0.889	-2.4008	0.2603	-0.1361	-28.0210	6.8121
				15	0.837	7.5521	0.9725	-0.0350	-4.3804	-16.0310					15	0.892	-0.4899	0.2055	-0.1760	-21.7500	1.6428
				20	0.994	1.0386	-1.7371	-0.0899	-8.5239	2.4562					20	0.811	-8.6115	0.3329	-0.3098	-10.0070	23.6190
3.16.			Dalgalı	0	0.842	12.1330	0.7943	-0.0350	-4.3830	-28.4400	3.22.			Dalgalı	0	0.912	-1.9121	-2.3833	-0.0191	-45.2540	4.8587
				5	0.895	6.3209	3.2953	-0.0350	-4.3797	-12.1630					5	0.915	-0.6904	-1.4934	-0.0372	-42.4280	1.7708
				10	0.867	5.9555	3.1716	-0.0350	-4.3795	-11.2050					10	0.927	-1.3677	-2.2839	-0.0616	-38.1720	3.4168
				15	0.815	7.4262	4.1792	-0.1166	-1.9176	-14.9280					15	0.916	-0.9363	-1.6106	-0.2585	-8.4336	2.4285
				20	0.994	4.1662	-5.3160	0.1988	-8.2999	-5.9806					20	0.891	1.1509	1.6166	0.2715	56.1950	-2.5603
3.17.	1/500	Beton	Düz	0	0.815	-6.3641	-0.9543	0.1557	15.2430	18.9620	3.23.	1/50	Çelik	Düz	0	0.897	-2.2235	2.1941	-0.0191	-45.2520	6.7722
				5	0.825	-0.5002	1.4717	0.1557	15.2370	3.6982					5	0.949	-3.1238	2.3848	-0.0125	-46.2790	9.2474
				10	0.828	-1.0875	1.3358	-0.0137	-0.2548	5.3541					10	0.872	-2.4008	0.2604	-0.1368	-28.1010	6.8121
				15	0.951	5.5245	1.9272	-0.0359	-20.5420	-12.1820					15	0.926	-0.4896	0.2056	-0.1779	-21.6990	1.6426
				20	0.956	0.9361	-1.3812	0.0204	1.1451	-0.4604					20	0.803	-8.6139	0.3327	-0.2944	-9.9996	23.6220
3.18.			Dalgalı	0	0.817	-7.2892	1.8735	0.1557	15.2440	22.1230	3.24.			Dalgalı	0	0.937	0.6198	0.0764	0.1770	1.3345	4.5015
				5	0.885	-3.1286	-2.8768	0.1557	15.2390	9.7757					5	0.916	0.6198	0.0764	0.1770	1.3345	4.5015
				10	0.848	-2.1394	-2.5124	0.1557	15.2380	7.1903					10	0.922	0.6198	0.0764	0.1770	1.3345	4.5015
				15	0.887	-6.5589	-4.1372	0.1557	15.2430	18.7420					15	0.973	0.6198	0.0764	0.1770	1.3345	4.5015
				20	0.988	0.2363	1.9837	-0.0510	6.9068	2.8087					20	0.947	0.6198	0.0764	0.1770	1.3345	4.5015

Tablo 7.14. Durum 3 R Korelasyon ve a denklem katsayıları 800mmx1200mm

	Eğim	Boru Malz.	Taban Tipi	Kesit No	Korelasyon Katsayısı R	a ₀ (10 ⁻⁴)	a ₁ (10 ⁻⁵)	a ₂ (10 ⁻⁸)	a ₃ (10 ⁻¹¹)	a ₄ (10 ⁻³)		Eğim	Boru Malz.	Taban Tipi	Kesit No	Korelasyon Katsayısı R	a ₀ (10 ⁻⁴)	a ₁ (10 ⁻⁵)	a ₂ (10 ⁻⁸)	a ₃ (10 ⁻¹¹)	a ₄ (10 ⁻³)
3.25.	1/3000	Beton	Düz	0	0.917	-0.4462	-4.6528	-0.1068	-6.3372	9.5018	3.31.	1/1500	Çelik	Düz	0	0.902	2.4661	-0.3776	-0.0021	3.9929	-2.1666
5				0.901	2.1857	3.1385	-0.1068	-6.3375	4.2219	5					0.896	1.9637	-0.3179	-0.0021	3.9931	-0.7962	
10				0.891	1.4179	3.8990	-0.1068	-6.3374	6.4730	10					0.896	1.9980	-0.3182	-0.0021	3.9931	-0.8888	
15				0.901	-2.6361	-5.2985	-0.1068	-6.3370	15.2630	15					0.949	9.7970	3.9660	0.0909	-0.7439	-20.8530	
20				1.000	2.5098	-2.3384	0.0218	2.4441	6.1480	20					0.997	2.6858	0.6518	0.3900	-6.2629	-0.6689	
3.26.			Dalgalı	0	0.891	1.4249	3.3269	-0.1068	-6.3374	6.3201	3.32.			Dalgalı	0	0.893	1.8264	-0.2076	-0.0021	3.9931	-0.3997
5				0.903	0.5614	3.9197	-0.1068	-6.3373	8.7904	5					0.924	1.8138	-0.2042	-0.0021	3.9931	-0.3648	
10				0.999	2.1015	2.5557	0.0689	-10.7330	5.3833	10					0.931	1.8102	-0.2019	-0.0021	3.9931	-0.3546	
15				1.000	-0.1866	-3.1821	-0.0120	-8.5256	10.5290	15					0.862	2.1857	-0.1951	-0.0021	3.9930	-1.3667	
20				0.999	4.7894	2.2848	0.4885	-20.2850	3.6873	20					0.995	3.7836	-4.3757	0.1637	-0.5704	-4.4809	
3.27.	1/3000	Çelik	Düz	0	0.814	0.9000	-2.6385	-0.1068	-6.3374	6.3390	3.33.	1/75	Beton	Düz	0	0.867	-1.7170	-2.3119	-0.0962	-27.3630	4.3629
5				0.955	2.1974	3.1386	-0.1068	-6.3375	4.1902	5					0.939	2.5253	-0.6577	0.1100	65.9520	-6.7917	
10				0.954	1.4674	3.8889	-0.1068	-6.3374	6.3370	10					0.956	0.2150	0.0987	0.1323	59.9670	-0.3776	
15				0.818	-1.5305	-3.8315	-0.1068	-6.3371	12.6220	15					0.949	0.1797	0.1189	0.1073	61.1550	-0.2711	
20				1.000	3.1683	-1.0615	0.2943	4.5870	5.1787	20					0.910	-0.5113	-0.3578	-0.0663	21.4890	1.7735	
3.28.			Dalgalı	0	0.814	1.5361	3.2962	-0.1068	-6.3374	6.0125	3.34.			Dalgalı	0	0.949	-1.9669	-2.6903	-0.0962	-27.3620	4.9490
5				0.939	3.8154	-0.1560	0.0408	0.8532	-0.8599	5					0.961	-0.8711	-1.5787	-0.1311	-21.8320	2.2570	
10				0.999	2.1289	2.6093	0.1091	-7.1202	5.2799	10					0.934	-0.3852	-0.7135	-0.2320	-25.7480	1.1844	
15				1.000	0.5290	-2.0846	0.4685	-6.5266	8.7694	15					0.906	0.2135	0.1743	0.1168	59.7160	-0.3524	
20				1.000	2.1627	-3.7898	0.0259	-7.8507	10.2440	20					0.898	3.4184	3.3081	0.6409	-36.6740	-8.1732	
3.29.	1/1500	Beton	Düz	0	0.919	0.6198	0.0764	0.1770	1.3345	4.5015	3.35.	1/75	Çelik	Düz	0	0.844	-1.6129	-2.0682	-0.0962	-27.3630	4.1391
5				0.934	2.0579	-0.3784	-0.0021	3.9931	-1.0648	5					0.889	2.2205	-0.6525	0.1086	65.7310	-5.9670	
10				0.939	2.1430	-0.4045	-0.0021	3.9930	-1.3005	10					0.831	0.2131	0.0966	0.1323	59.9810	-0.3732	
15				0.934	10.5240	3.8527	0.0938	-0.8555	-22.8430	15					0.827	0.1771	0.1149	0.1088	61.0770	-0.2654	
20				0.987	2.1003	-0.3274	0.1549	-3.5351	0.4288	20					0.842	-0.1527	-0.1014	-0.0520	19.4880	0.8660	
3.30.			Dalgalı	0	0.910	1.8525	-0.2256	-0.0021	3.9931	-0.4742	3.36.			Dalgalı	0	0.941	0.6198	0.0764	0.1770	1.3345	4.5015
5				0.930	1.8164	-0.2042	-0.0021	3.9931	-0.3718	5					0.858	0.6198	0.0764	0.1770	1.3345	4.5015	
10				0.924	1.8168	-0.2039	-0.0021	3.9931	-0.3727	10					0.838	0.6198	0.0764	0.1770	1.3345	4.5015	
15				0.881	2.1897	-0.2211	-0.0046	3.9930	-1.3829	15					0.806	0.6198	0.0764	0.1770	1.3345	4.5015	
20				0.962	0.6954	1.8703	0.0396	2.9338	5.1320	20					0.830	0.6198	0.0764	0.1770	1.3345	4.5015	

Tablo 7.15. Durum 4 R Korelasyon ve a denklem katsayıları 400mmx600mm

	Eğim	Boru Malz.	Taban Tipi	Kesit No	Korelasyon Katsayısı R	$a_0 (10^{-4})$	$a_1 (10^{-5})$	$a_2 (10^{-8})$	$a_3 (10^{-11})$	$a_4 (10^{-3})$		Eğim	Boru Malz.	Taban Tipi	Kesit No	Korelasyon Katsayısı R	$a_0 (10^{-4})$	$a_1 (10^{-5})$	$a_2 (10^{-8})$	$a_3 (10^{-11})$	$a_4 (10^{-3})$
4.1.	1/500	Beton	Düz	0	0.856	169.3800	20.8840	0.0908	3.0272	-449.3600	4.7.	1/250	Çelik	Düz	0	0.802	0.4554	0.6234	-0.2142	-15.5170	0.5040
5				0.857	4.5345	-4.0488	0.0908	3.1481	-10.1230	5					0.802	0.3934	0.7847	-0.2142	-15.5170	0.7092	
10				0.855	4.7400	-4.1560	0.0908	3.1480	-10.7030	10					0.801	0.4395	0.6684	-0.2142	-15.5170	0.5573	
15				0.849	3.6302	-3.5177	0.0908	3.1488	-7.5567	15					0.802	0.4516	0.6345	-0.2142	-15.5170	0.5169	
20				0.851	5.4849	0.5928	-0.2142	-10.8420	-11.4830	20					0.801	0.4466	0.6489	-0.2142	-15.5170	0.5336	
4.2.			Dalgalı	0	0.928	1.2098	-1.3508	0.0908	3.1506	-0.5137	4.8.			Dalgalı	0	0.842	0.1463	-0.6293	-0.2142	-15.5170	1.0449
5				0.913	1.3379	-1.8194	0.0908	3.1505	-0.9694	5					0.841	0.0106	-0.5682	-0.2142	-15.5170	1.4255	
10				0.911	1.3314	-1.8035	0.0908	3.1505	-0.9481	10					0.847	-0.0368	-0.4192	-0.2142	-15.5160	1.5884	
15				0.909	1.3143	-1.7587	0.0908	3.1505	-0.8915	15					0.845	-0.0495	-0.3736	-0.2142	-15.5160	1.6336	
20				0.914	1.3522	-1.8503	0.0908	3.1505	-1.0153	20					0.847	-0.0368	-0.4192	-0.2142	-15.5160	1.5884	
4.3.	1/500	Çelik	Düz	0	0.858	7.0392	-5.1923	0.0908	3.1463	-17.1540	4.9.	1/25	Beton	Düz	0	0.817	-6.1419	4.6913	0.2381	-93.3680	17.9240
5				0.852	4.3536	-3.9455	0.0908	3.1483	-9.6103	5					0.871	-2.5427	4.5285	0.2381	-93.3430	8.1684	
10				0.851	6.7250	-5.0558	0.0908	3.1465	-16.2730	10					0.871	-2.5427	4.5285	0.2381	-93.3430	8.1684	
15				0.845	4.1046	-3.8016	0.0908	3.1484	-8.9043	15					0.838	-1.4830	3.5989	0.2381	-93.3360	5.0894	
20				0.846	3.6976	-3.5576	0.0908	3.1487	-7.7481	20					0.875	-3.1985	4.9529	0.2381	-93.3480	10.0380	
4.4.			Dalgalı	0	0.852	0.6198	0.0764	0.1770	1.3345	4.5015	4.10.			Dalgalı	0	0.974	-0.3124	2.0993	0.2381	-93.3290	1.5772
5				0.856	0.6198	0.0764	0.1770	1.3345	4.5015	5					0.963	-0.1899	2.0424	0.2381	-93.3280	1.2330	
10				0.857	0.6198	0.0764	0.1770	1.3345	4.5015	10					0.970	-0.2559	2.0948	0.2381	-93.3280	1.4235	
15				0.872	0.6198	0.0764	0.1770	1.3345	4.5015	15					0.968	-0.4437	1.8842	0.2381	-93.3290	1.8814	
20				0.869	0.6198	0.0764	0.1770	1.3345	4.5015	20					0.861	-0.3131	0.2290	0.2381	-93.3290	1.1408	
4.5.	1/250	Beton	Düz	0	0.935	-8.7853	-7.5799	-0.2142	-15.5070	23.5310	4.11.	1/25	Çelik	Düz	0	0.932	-2.6092	4.5686	0.2381	-93.3440	8.3574
5				0.874	-115.8800	-29.5400	-0.2143	-15.3890	307.5300	5					0.907	-1.4198	3.5288	0.2381	-93.3360	4.9023	
10				0.876	-190.5800	-26.3400	-0.2143	-15.3070	509.9800	10					0.903	-1.1372	3.2126	0.2381	-93.3340	4.0650	
15				0.874	-115.8800	-29.5400	-0.2143	-15.3890	307.5300	15					0.883	-0.5915	2.4795	0.2381	-93.3300	2.4200	
20				0.878	-190.5800	-26.3400	-0.2143	-15.3070	509.9800	20					0.883	-0.5928	2.4800	0.2381	-93.3300	2.4234	
4.6.			Dalgalı	0	0.940	0.0232	1.3485	-0.2142	-15.5170	1.8408	4.12.			Dalgalı	0	0.909	-0.0314	1.7213	0.2381	-93.3270	0.7299
5				0.923	-0.2072	1.2851	-0.2142	-15.5160	2.4480	5					0.926	-0.0749	1.8397	0.2381	-93.3270	0.8752	
10				0.891	-0.2169	0.8860	-0.2142	-15.5160	2.3806	10					0.947	-0.1563	1.9977	0.2381	-93.3280	1.1321	
15				0.905	-0.2175	1.0151	-0.2142	-15.5160	2.4126	15					0.976	-0.3524	2.0733	0.2381	-93.3290	1.6792	
20				0.891	-0.2169	0.8860	-0.2142	-15.5160	2.3806	20					0.943	-0.4117	0.5922	0.2381	-93.3290	1.4920	

Tablo 7.16. Durum 4 R Korelasyon ve a denklem katsayıları 600mmx900mm

	Eğim	Boru Malz.	Taban Tipi	Kesit No	Korelasyon Katsayısı R	a ₀ (10 ⁻⁴)	a ₁ (10 ⁻⁵)	a ₂ (10 ⁻⁸)	a ₃ (10 ⁻¹¹)	a ₄ (10 ⁻³)		Eğim	Boru Malzeme	Taban Tipi	Kesit No	Korelasyon Katsayısı R	a ₀ (10 ⁻⁴)	a ₁ (10 ⁻⁵)	a ₂ (10 ⁻⁸)	a ₃ (10 ⁻¹¹)	a ₄ (10 ⁻³)
4.13.	1/1000	Beton	Düz	0	0.830	1.9190	-1.4728	-0.0350	-4.3773	-1.3952	4.19.	1/500	Çelik	Düz	0	0.869	-0.9588	3.6719	0.1557	15.2370	5.4523
5				0.820	1.8069	-1.2556	-0.0350	-4.3772	-1.0415	5					0.804	0.5682	1.4485	0.1557	15.2360	0.8081	
10				0.802	4.2287	-0.8499	-0.0350	-4.3786	-7.4853	10					0.808	0.5463	1.5042	0.1557	15.2360	0.8803	
15				0.819	1.7159	-1.0525	-0.0350	-4.3772	-0.7483	15					0.801	0.6114	1.3311	0.1557	15.2360	0.6640	
20				0.810	1.6559	-0.8958	-0.0350	-4.3771	-0.5494	20					0.801	0.6114	1.3311	0.1557	15.2360	0.6640	
4.14.			Dalgalı	0	0.858	1.9526	0.5403	-0.0350	-4.3773	-1.0140	4.20.			Dalgalı	0	0.859	0.5838	1.6286	0.1557	15.2360	0.8083
				5	0.878	5.5887	-2.7119	-0.0350	-4.3794	-11.5940					5	0.851	0.6069	1.5551	0.1557	15.2360	0.7287
				10	0.891	5.6195	-3.1389	-0.0350	-4.3794	-11.7770					10	0.851	0.6069	1.5551	0.1557	15.2360	0.7287
				15	0.915	4.6787	-3.8223	-0.0350	-4.3789	-9.3970					15	0.859	0.5773	1.6479	0.1557	15.2360	0.8303
				20	0.834	3.2323	0.2723	-0.0350	-4.3780	-4.5321					20	0.868	0.5155	1.8229	0.1557	15.2360	1.0381
4.15.	1/1000	Çelik	Düz	0	0.833	1.9226	-1.4807	-0.0350	-4.3773	-1.4067	4.21.	1/50	Beton	Düz	0	0.869	-2.9915	-0.6676	-0.0191	-45.2460	8.1752
				5	0.823	1.7723	-1.1830	-0.0350	-4.3772	-0.9310					5	0.840	-2.9915	-0.6676	-0.0191	-45.2460	8.1752
				10	0.816	1.7470	-1.1263	-0.0350	-4.3772	-0.8496					10	0.840	-2.9915	-0.6676	-0.0191	-45.2460	8.1752
				15	0.809	1.6640	-0.9188	-0.0350	-4.3771	-0.5769					15	0.837	-0.6721	0.1346	-0.0191	-45.2640	2.1008
				20	0.807	1.6265	-0.8088	-0.0350	-4.3771	-0.4498					20	0.840	-2.9915	-0.6676	-0.0191	-45.2460	8.1752
4.16.			Dalgalı	0	0.846	3.6353	0.0095	-0.0350	-4.3782	-5.6818	4.22.			Dalgalı	0	0.892	0.0197	0.8178	-0.0191	-45.2700	0.3932
				5	0.902	4.2701	-3.7075	-0.0350	-4.3786	-8.2669					5	0.886	0.0240	0.8728	-0.0191	-45.2700	0.3943
				10	0.900	5.5076	-3.5790	-0.0350	-4.3793	-11.5780					10	0.887	0.0352	0.8374	-0.0191	-45.2700	0.3558
				15	0.902	4.2701	-3.7075	-0.0350	-4.3786	-8.2669					15	0.895	0.0067	0.9142	-0.0191	-45.2700	0.4508
				20	0.908	4.8559	-3.8494	-0.0350	-4.3790	-9.8817					20	0.885	0.0344	0.8405	-0.0191	-45.2700	0.3588
4.17.	1/500	Beton	Düz	0	0.881	-2.2698	4.6512	0.1557	15.2390	9.2212	4.23.	1/50	Çelik	Düz	0	0.826	-1.0692	2.6539	-0.0191	-45.2620	3.7636
				5	0.827	0.5093	1.5926	0.1557	15.2360	1.0010					5	0.805	-0.2663	1.4194	-0.0191	-45.2680	1.3062
				10	0.809	0.5349	1.5311	0.1557	15.2360	0.9174					10	0.803	-0.1204	1.0905	-0.0191	-45.2690	0.8353
				15	0.805	0.5744	1.4313	0.1557	15.2360	0.7873					15	0.804	-0.1501	1.1633	-0.0191	-45.2690	0.9324
				20	0.802	0.6053	1.3484	0.1557	15.2360	0.6846					20	0.808	-0.2663	1.4194	-0.0191	-45.2680	1.3062
4.18.			Dalgalı	0	0.833	0.5507	1.7253	0.1557	15.2360	0.9203	4.24.			Dalgalı	0	0.891	0.0096	0.8280	-0.0191	-45.2700	0.4226
				5	0.841	0.4951	1.8744	0.1557	15.2360	1.1053					5	0.861	0.0205	0.8831	-0.0191	-45.2700	0.4064
				10	0.833	0.5688	1.6723	0.1557	15.2360	0.8589					10	0.856	0.0286	0.8595	-0.0191	-45.2700	0.3788
				15	0.841	0.4951	1.8744	0.1557	15.2360	1.1053					15	0.856	0.0286	0.8595	-0.0191	-45.2700	0.3788
				20	0.833	0.5473	1.7344	0.1557	15.2360	0.9315					20	0.849	0.0363	0.8339	-0.0191	-45.2700	0.3521

Tablo 7.17. Durum 4 R Korelasyon ve a denklem katsayıları 800mmx1200mm

	Eğim	Boru	Taban	Kesit	Korelasyon	$a_0 (10^{-4})$	$a_1 (10^{-5})$	$a_2 (10^{-8})$	$a_3 (10^{-11})$	$a_4 (10^{-3})$		Eğim	Boru	Taban	Kesit	Korelasyon	$a_0 (10^{-4})$	$a_1 (10^{-5})$	$a_2 (10^{-8})$	$a_3 (10^{-11})$	$a_4 (10^{-3})$
4.25.	1/3000	Beton	Düz	0	0.835	-121.4200	-3.1408	-0.1068	-6.3231	336.4900	4.31.	1/1500	Çelik	Düz	0	0.933	2.4665	-0.5989	-0.0021	3.9929	-2.2195
				5	0.845	-121.4200	-3.1408	-0.1068	-6.3231	336.4900					5	0.843	1.7550	-0.1184	-0.0021	3.9931	-0.1858
				10	0.809	-35.6010	8.5869	-0.1068	-6.3331	107.5200					10	0.853	1.7443	-0.1074	-0.0021	3.9932	-0.1545
				15	0.822	-10.7500	-0.5331	0.0639	2.6667	38.1550					15	0.830	1.8659	-0.1874	-0.0021	3.9931	-0.5015
				20	0.808	-121.4200	-3.1408	-0.1068	-6.3231	336.4900					20	0.827	2.3503	0.5963	-0.0021	3.9930	-1.6256
4.26.			Dalgalı	0	0.911	3.3003	1.2824	-0.1068	-6.3376	0.7773	4.32.			Dalgalı	0	0.907	1.7031	-0.0781	-0.0021	3.9932	-0.0363
				5	0.881	1.8242	5.0330	-0.1068	-6.3375	5.6420					5	0.946	1.9119	-0.4661	-0.0021	3.9931	-0.6911
				10	0.864	1.9159	4.9227	-0.1068	-6.3375	5.3684					10	0.931	1.8739	-0.4215	-0.0021	3.9931	-0.5780
				15	0.837	2.4760	4.0345	-0.1068	-6.3375	3.6480					15	0.883	1.7557	-0.1070	-0.0021	3.9931	-0.1852
				20	0.838	1.5199	-0.1511	-0.1068	-6.3374	5.2483					20	0.977	2.1500	-0.5632	-0.0021	3.9930	-1.3566
4.27.	1/3000	Çelik	Düz	0	0.817	-86.6790	4.4577	-0.1068	-6.3272	244.4700	4.33.	1/75	Beton	Düz	0	0.950	0.0216	0.5556	-0.0962	-27.3710	0.3409
				5	0.817	-86.6790	4.4577	-0.1068	-6.3272	244.4700					5	0.933	-0.6441	1.2632	-0.0962	-27.3680	2.3041
				10	0.824	-24.7840	8.3713	-0.1068	-6.3343	78.2660					10	0.941	-0.5865	1.4187	-0.0962	-27.3680	2.1851
				15	0.817	-86.6790	4.4577	-0.1068	-6.3272	244.4700					15	0.955	-0.3207	1.4109	-0.0962	-27.3690	1.4655
				20	0.817	-86.6790	4.4577	-0.1068	-6.3272	244.4700					20	0.932	-0.2559	1.3217	-0.0962	-27.3690	1.2696
4.28.			Dalgalı	0	0.871	3.2531	1.9715	-0.1068	-6.3376	1.0662	4.34.			Dalgalı	0	0.953	0.0279	0.4917	-0.0962	-27.3710	0.3091
				5	0.923	1.7156	5.1437	-0.1068	-6.3374	5.9609					5	0.863	-0.5904	0.1234	-0.0962	-27.3680	1.8920
				10	0.924	2.0034	4.8115	-0.1068	-6.3375	5.1061					10	0.830	-0.4183	-0.4050	-0.0962	-27.3690	1.3034
				15	0.927	1.8807	4.9665	-0.1068	-6.3375	5.4738					15	0.801	-0.2949	-0.6171	-0.0962	-27.3690	0.9206
				20	0.885	0.4323	3.8076	-0.1068	-6.3373	9.1128					20	0.837	-0.5322	-0.0983	-0.0962	-27.3680	1.6829
4.29.	1/1500	Beton	Düz	0	0.942	0.6198	0.0764	0.1770	1.3345	4.5015	4.35.	1/75	Çelik	Düz	0	0.949	-0.1033	0.5855	-0.0962	-27.3700	0.6852
				5	0.845	0.6198	0.0764	0.1770	1.3345	4.5015					5	0.884	-0.6786	0.9776	-0.0962	-27.3670	2.3303
				10	0.821	0.6198	0.0764	0.1770	1.3345	4.5015					10	0.879	-0.6805	0.8763	-0.0962	-27.3670	2.3118
				15	0.799	0.6198	0.0764	0.1770	1.3345	4.5015					15	0.900	-0.3022	1.3887	-0.0962	-27.3690	1.4103
				20	0.887	0.6198	0.0764	0.1770	1.3345	4.5015					20	0.892	-0.2358	1.2887	-0.0962	-34.0360	1.2155
4.30.			Dalgalı	0	0.957	1.7043	-0.0825	-0.0021	3.9932	-0.0406	4.36.			Dalgalı	0	0.926	0.0295	0.4861	-0.0962	-27.3710	0.3034
				5	0.918	1.8373	-0.3719	-0.0021	3.9931	-0.4675					5	0.857	-0.4830	-0.2470	-0.0962	-27.3680	1.5152
				10	0.940	1.8900	-0.4410	-0.0021	3.9931	-0.6261					10	0.805	-0.2993	-0.6110	-0.0962	-27.3690	0.9340
				15	0.925	1.8499	-0.3898	-0.0021	3.9931	-0.5058					15	0.801	-0.3003	-0.6505	-0.0962	-27.3690	0.9273
				20	0.971	2.1673	-0.5397	-0.0021	3.9930	-1.3978					20	0.821	-0.6718	0.6627	-0.0962	-27.3680	2.2381

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Durum:1, Durum:2, Durum:3 ve Durum:4 olmak üzere boru hatlarının doluluk oranlarına göre yapılan çalışmada hidrolik performans parametreleri detaylı olarak ortaya konmuştur. Bu kapsamda belirlenen parametreler ışığında farklı konsantrasyon hesaplamaları yapılarak konsantrasyonu etkileyen parametrelere göre en iyi korelasyon katsayısı olan R'ye göre değerlendirilmiştir. Hidrolik performansı etkileyen boru içi akışkan hızlarının da performans değerleri oluşturularak PV değeri 1'e yakın olanların daha verimli sonuçlar ortaya koyduğu prensibine göre çalışılmıştır. Hidrolik performans değerlendirmeleri;

1. Boru hattı akışkan hız verilerine göre PV hesapları,
 2. Sediment konsantrasyon hesaplamalarına göre R korelasyon katsayısı,
 3. Boru kesit değerlendirmeleri,
 4. Kesitten akışkanın geçme süresi (iletim debisinin kanalı terketme süreleri)
- olmak üzere sonuçlar kapsamında ortaya konmuştur.

Performans değerleri (PV) boru içi akışkan hızlarına göre değerlendirildiğinde yüksek hızların boru içindeki sediment birikimini düşüreceği prensibine dayanarak hidrolik performansı yüksek olarak kabul edilmiştir.

Konsantrasyon hesaplarına göre hesaplanan R korelasyon katsayılarında 1,00'e yakın sonuçların hidrolik performanslarının mükemmel olduğu tespit edilmiştir. Her farklı da boru hatları 5 farklı kesite göre değerlendirilmiştir.

Farklı boru kesitleri için boru kontrol hacimlerinin akış özellikleri bakımından serbest, basınçlı olmaları durumlarına göre hidrolik performansları değerlendirilmiştir.

Boru kesitinden geçen akışkanın kanalı terketme sürelerine göre hidrolik performans değerlendirmeleri yapılmıştır. Kanal içinde kısa sürede iletim debisinin geçmesinin daha iyi bir performansa sahip kanal olduğu durumu ortaya konulmuştur.

Boru hattı akışkan hız verilerine göre PV_i hesapları,

Durum 1-2-3-4 için her durumda 36 ayrı senaryo düzenlenmiş ve Tablo 7.2’de detaylı olarak verilmiştir. Farklı kesit, eğim, boru malzemesi ve sediment taban tipine göre hidrolik performans hesaplamaları yapılmıştır.

PV_i değerlerine göre Durum 1-2-3-4’te 0-5-10-15-20 kesitlerinde farklı $t(s)$ zamanlarının ortalamaları alınarak aşağıda yer alan sınırlar kabul edilerek Tablo 8.1’de verilmiştir.

PV_i katsayıları: uyumluluk sınırları aşağıdaki gibi kabul edilmiştir:

PV_i Düzeyi	PV_i Alt Sınırı	PV_i Üst Sınırı
UYUM YOK	0.000	0.010
DÜŞÜK	0.011	0.290
ORTA	0.291	0.700
YÜKSEK	0.701	0.990
MÜKEMMEL	0.991	1.000

Tablo 8.1’e göre;

Durum 1 PV_i analizine göre düşük eğimlerde hızların da yavaş olmasından kaynaklı ilk ve orta kesitler performans değerleri azalırken kanal çıkışında hızların artması ile performanslarının yükseldiği görülmüştür. Yüksek eğimlerde ise kanal girişinde hızların düşerek performanslarının azalmasına, kanal orta ve çıkışta ise hızların artarak performanslarının yükselmesine sebep olduğu görülmüştür. Farklı kesit tiplerinde PV_i hidrolik performansları arasında ciddi farklılıklar oluşmamıştır.

Durum 2 PV_i değerleri incelendiğinde düşük/orta/yüksek eğimlerde hız değerlerinin kesitlerde birbirine yakın olduğu görülmüştür. En iyi performansı orta derecelerde sınırları olan 400x600mm kesit göstermektedir. 600x900mm ve 800x1200mm kesitlerinin performansları birbirine yakındır.

Durum 3 PV_i değerleri incelendiğinde düşük eğimlerde en iyi performansı 400x600mm kesitin gösterdiği, ortalama ve maksimum eğimlerde ise 400x600mm ve

600x900mm kesitlerin benzer hidrolik performanslar gösterdiği görülmüştür. 800x1200 mm kesitin diğer kesitlere göre performansı düşüktür.

Durum 4 PV_i için basınçlı akışa sahip boru hattında özellikle boru girişinde hızların daha yüksek olması nedeniyle performans değerleri, boru çıkışına göre daha iyi durumdadır. 400x600mm kesit en iyi performansı göstermiş olup, 600x900mm kesiti performans değerleri orta seviyelerde, 800x1200mm kesitin daha düşük performans gösterdiği saptanmıştır.

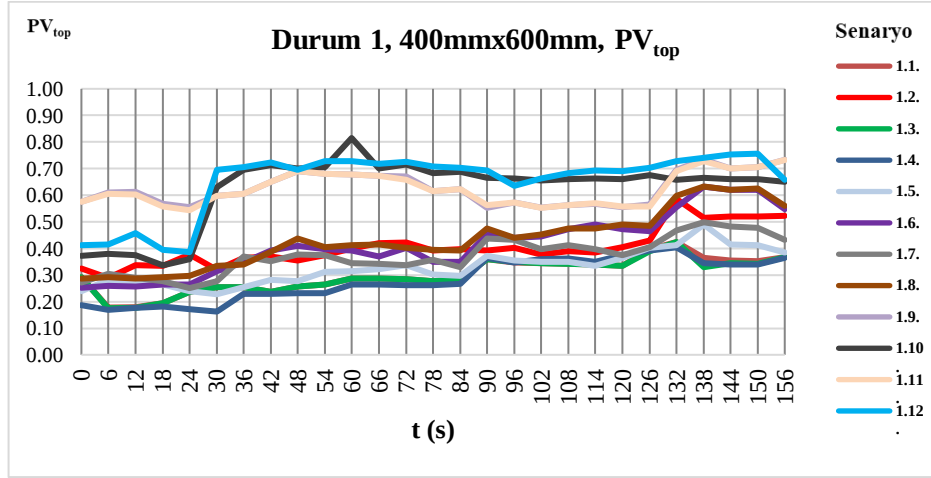


DURUM 1 Senaryolar-Pv1										DURUM 2 Senaryolar-Pv1																				
		Kesi	PV.	Hidr.Perfor		Kesi	PV.	Hidr.Perfor				Kesi	PV.	Hidr.Perfor		Kesi	PV.	Hidr.Perfor		Kesi	PV.	Hidr.Perfor		Kesi	PV.	Hidr.Perfor		Kesi	PV.	Hidr.Perfor
1.1.		0	0.23	DÜŞÜK	1.13	0	0.35	ORTA	1.25			0	0.26	DÜŞÜK	2.1.	0	0.45	ORTA	2.13	0	0.33	ORTA	2.25	0	0.53	ORTA	2.26	0	0.53	ORTA
		5	0.20			5	0.40					5	0.31			5	0.43			5	0.46			5	0.41					
		10	0.20			10	0.41					10	0.33			10	0.52			10	0.39			10	0.47					
		15	0.22			15	0.53					15	0.40			15	0.51			15	0.44			15	0.44					
		20	0.85	YÜKSEK	1.14	20	0.96	YÜKSEK	1.26	20	0.82	YÜKSEK	2.2.	20	0.57	ORTA	2.14	20	0.23	DÜŞÜK	2.28	20	0.48	DÜŞÜK	2.29	20	0.52	ORTA		
		0	0.27			0	0.20			0	0.27			0	0.54			0	0.44			0	0.31			0	0.48		0	0.52
		5	0.33			5	0.26			5	0.37			5	0.44			5	0.33			5	0.41			5	0.23		5	0.23
		10	0.39			10	0.33			10	0.42			10	0.54			10	0.47			10	0.36			10	0.51		10	0.23
		15	0.41	YÜKSEK	1.15	15	0.35	ORTA	1.27	15	0.43	YÜKSEK	2.3.	15	0.56	ORTA	2.15	15	0.54	ORTA	2.31	15	0.47	ORTA	2.32	15	0.23	ORTA		
		20	0.84			20	0.87			20	0.88			20	0.51			20	0.44			20	0.36			20	0.32		20	0.32
		0	0.23			0	0.21			0	0.23			0	0.50			0	0.43			0	0.31			0	0.32		0	0.53
		5	0.20			5	0.27			5	0.25			5	0.45			5	0.33			5	0.41			5	0.43		5	0.43
	10	0.20	DÜŞÜK	1.16	10	0.27	ORTA	1.28	10	0.28	DÜŞÜK	2.4.	10	0.53	ORTA	2.16	10	0.36	DÜŞÜK	2.34	10	0.49	ORTA	2.35	10	0.47	ORTA			
	15	0.22			15	0.40			15	0.38			15	0.56			15	0.37			15	0.44			15	0.32		15	0.47	
	20	0.85			20	0.91			20	0.78			20	0.59			20	0.43			20	0.36			20	0.28		20	0.32	
	0	0.23			0	0.19			0	0.23			0	0.57			0	0.43			0	0.35			0	0.32		0	0.31	
	5	0.20	DÜŞÜK	1.17	5	0.40	ORTA	1.29	5	0.31	ORTA	2.5.	5	0.43	ORTA	2.17	5	0.46	ORTA	2.37	5	0.41	ORTA	2.38	5	0.41	ORTA			
	10	0.20			10	0.30			10	0.40			10	0.56			10	0.37			10	0.43			10	0.30		10	0.30	
	15	0.22			15	0.35			15	0.39			15	0.54			15	0.43			15	0.36			15	0.28		15	0.30	
	20	0.85			20	0.79			20	0.84			20	0.50			20	0.36			20	0.28			20	0.32		20	0.28	
	0	0.25	DÜŞÜK	1.18	0	0.25	YÜKSEK	1.30	0	0.16	YÜKSEK	2.6.	0	0.22	DÜŞÜK	2.18	0	0.43	DÜŞÜK	2.39	0	0.60	DÜŞÜK	2.40	0	0.60	ORTA			
	5	0.26			5	0.18			5	0.14			5	0.45			5	0.31			5	0.31			5	0.31		5	0.31	
	10	0.28			10	0.18			10	0.15			10	0.24			10	0.23			10	0.29			10	0.28		10	0.28	
	15	0.27			15	0.24			15	0.27			15	0.17			15	0.32			15	0.32			15	0.30		15	0.30	
	20	0.80	YÜKSEK	1.19	20	0.82	YÜKSEK	1.31	20	0.85	YÜKSEK	2.7.	20	0.49	ORTA	2.19	20	0.29	DÜŞÜK	2.41	20	0.24	DÜŞÜK	2.42	20	0.24	DÜŞÜK			
	0	0.37			0	0.26			0	0.24			0	0.47			0	0.43			0	0.43			0	0.43		0	0.43	
	5	0.33			5	0.20			5	0.22			5	0.50			5	0.31			5	0.29			5	0.34		5	0.34	
	10	0.34			10	0.19			10	0.25			10	0.58			10	0.32			10	0.32			10	0.34		10	0.34	
	15	0.34	YÜKSEK	1.20	15	0.24	YÜKSEK	1.32	15	0.24	YÜKSEK	2.8.	15	0.37	ORTA	2.20	15	0.31	ORTA	2.43	15	0.30	DÜŞÜK	2.44	15	0.30	ORTA			
	20	0.84			20	0.78			20	0.87			20	0.34			20	0.38			20	0.28			20	0.28				
	0	0.28			0	0.25			0	0.15			0	0.36			0	0.43			0	0.60			0	0.60				
	5	0.30			5	0.22			5	0.13			5	0.53			5	0.37			5	0.31			5	0.31				
	10	0.33	ORTA	1.21	10	0.20	DÜŞÜK	1.33	10	0.16	DÜŞÜK	2.9.	10	0.37	DÜŞÜK	2.21	10	0.33	ORTA	2.45	10	0.31	ORTA	2.46	10	0.31	ORTA			
	15	0.31			15	0.26			15	0.27			15	0.45			15	0.37			15	0.30			15	0.30				
	20	0.87			20	0.84			20	0.85			20	0.41			20	0.32			20	0.29			20	0.29				
	0	0.37			0	0.28			0	0.16			0	0.50			0	0.30			0	0.27			0	0.55		0	0.55	
	5	0.37	ORTA	1.22	5	0.21	DÜŞÜK	1.34	5	0.20	DÜŞÜK	3.0.	5	0.48	ORTA	2.22	5	0.28	DÜŞÜK	3.01	5	0.34	ORTA	3.02	5	0.32	ORTA			
	10	0.36			10	0.21			10	0.24			10	0.47			10	0.35			10	0.32			10	0.32				
	15	0.36			15	0.23			15	0.23			15	0.48			15	0.37			15	0.32			15	0.32				
	20	0.86			20	0.84			20	0.82			20	0.41			20	0.32			20	0.29			20	0.29				
	0	0.28	DÜŞÜK	1.23	0	0.17	DÜŞÜK	1.35	0	0.30	YÜKSEK	3.1.	0	0.50	ORTA	2.23	0	0.26	DÜŞÜK	3.11	0	0.27	DÜŞÜK	3.12	0	0.27	ORTA			
	5	0.66			5	0.50			5	0.54			5	0.45			5	0.38			5	0.31			5	0.31				
	10	0.77			10	0.57			10	0.60			10	0.47			10	0.45			10	0.31			10	0.31				
	15	0.71			15	0.61			15	0.65			15	0.43			15	0.48			15	0.26			15	0.26				
	20	0.86	YÜKSEK	1.24	20	0.84	YÜKSEK	1.36	20	0.92	YÜKSEK	3.2.	20	0.41	ORTA	2.24	20	0.32	ORTA	3.21	20	0.32	ORTA	3.22	20	0.32	ORTA			
	0	0.36			0	0.17			0	0.32			0	0.30			0	0.30			0	0.30			0	0.50		0	0.50	
	5	0.64			5	0.47			5	0.64			5	0.47			5	0.37			5	0.34			5	0.32		5	0.32	
	10	0.71			10	0.55			10	0.74			10	0.51			10	0.35			10	0.32			10	0.32				
	15	0.71	YÜKSEK	1.25	15	0.55	YÜKSEK	1.37	15	0.75	YÜKSEK	3.3.	15	0.47	ORTA	2.25	15	0.37	DÜŞÜK	3.31	15	0.28	DÜŞÜK	3.32	15	0.28	DÜŞÜK			
	20	0.87			20	0.81			20	0.94			20	0.36			20	0.39			20	0.31			20	0.31				
	0	0.28			0	0.17			0	0.26			0	0.50			0	0.27			0	0.56			0	0.56				
	5	0.66			5	0.52			5	0.53			5	0.45			5	0.39			5	0.32			5	0.32				
	10	0.77	ORTA	1.26	10	0.59	ORTA	1.38	10	0.60	ORTA	3.4.	10	0.47	ORTA	2.26	10	0.46	ORTA	3.41	10	0.32	ORTA	3.42	10	0.32	ORTA			
	15	0.71			15	0.63			15	0.64			15	0.43			15	0.36			15	0.27			15	0.27				
	20	0.86			20	0.85			20	0.93			20	0.42			20	0.32			20	0.21			20	0.21				
	0	0.39			0	0.18			0	0.30			0	0.28			0	0.31			0	0.50			0	0.50				
	5	0.68	YÜKSEK	1.27	5	0.48	ORTA	1.39	5	0.47	YÜKSEK	3.5.	5	0.36	ORTA	2.27	5	0.35	ORTA	3.51	5	0.31	ORTA	3.52	5	0.31	ORTA			
	10	0.77			10	0.57			10	0.74			10	0.46			10	0.36			10	0.33			10	0.33				
	15	0.75			15	0.61			15	0.75			15	0.43			15	0.38			15	0.31			15	0.31				
	20	0.87			20	0.83			20	0.96			20	0.34			20	0.40			20	0.32			20	0.32				

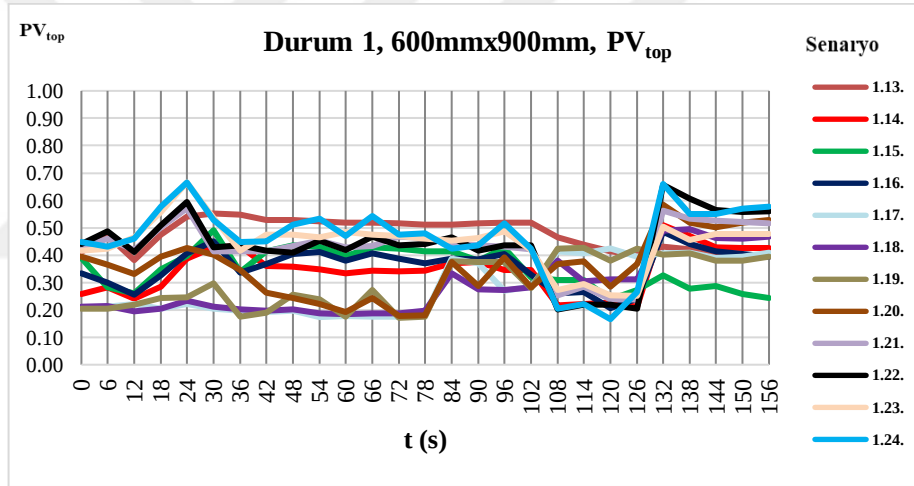
Tablo 8.1. (Devamı) Durum 1-2-3-4 Hidrolik Performans PV_i Değerlendirme

DURUM 3 Senaryolar-Pvi										DURUM 4 Senaryolar-Pvi																						
	Kesi	PV.	Hidr.Perfor		Kesi	PV.	Hidr.		Kesi	PV.	Hidr.Perfor		Kesi	PV.	Hidr.Perfor		Kesi	PV.	Hidr.Perfor		Kesi	PV.	Hidr.Perfor		Kesi	PV.	Hidr.Perfor					
3.1.	0	0.59	ORTA	3.13	0	0.34	ORTA	3.25	0	0.30	ORTA	4.13	0	0.96	YÜKSEK	4.13	0	0.68	ORTA	4.25	0	0.51	ORTA	4.25	0	0.51	ORTA	4.25				
	5	0.36			5	0.28	DÜŞÜK		5	0.24	DÜŞÜK		5	0.43	ORTA		5	0.26	DÜŞÜK		5	0.88	YÜKSEK									
	10	0.35			10	0.35	ORTA		10	0.24			10	0.35				10	0.28			10	0.58		ORTA							
	15	0.37			15	0.23	DÜŞÜK		15	0.38	ORTA		15	0.33				15	0.28			15	0.40									
	20	0.42			20	0.67	ORTA		20	0.77	YÜKSEK		20	0.40				20	0.35		ORTA	20	0.23		DÜŞÜK							
	0	0.76	YÜKSEK	3.14	0	0.22	DÜŞÜK	3.26	0	0.25	DÜŞÜK	4.14	0	0.45	DÜŞÜK	4.14	0	0.70	DÜŞÜK	4.26	0	0.44	ORTA	4.26	0	0.44	ORTA	4.26				
	5	0.25	5		0.20	5			0.22	5			0.24	5			0.13	5			0.23	5	0.23		DÜŞÜK							
	10	0.24	10		0.21	10			0.24	10			0.12	10			0.18	10			0.18	DÜŞÜK										
	15	0.23	15		0.25	15			0.35	ORTA	15		0.13	15			0.16	15			0.16	DÜŞÜK										
	20	0.71	YÜKSEK		20	0.71	YÜKSE		20	0.82	YÜKSEK		20	0.24	ORTA		20	0.34	ORTA		20	0.17										
	3.2.	0	0.57	ORTA	3.15	0	0.36	ORTA	3.27	0	0.32	ORTA	4.15	0	0.83	YÜKSEK	4.15	0	0.68	DÜŞÜK	4.27	0	0.52	ORTA	4.27	0	0.52	ORTA	4.27			
		5	0.37			5	0.28	DÜŞÜK		5	0.25	DÜŞÜK		5	0.44	DÜŞÜK		5	0.28	DÜŞÜK		5	0.93	YÜKSEK								
10		0.37	10			0.38	ORTA	10		0.25	DÜŞÜK	10		0.41	ORTA	10		0.30	ORTA	10		0.61	ORTA									
15		0.37	15			0.27	DÜŞÜK	15		0.41	ORTA	15		0.30				15	0.51													
20		0.45	20			0.68	ORTA	20		0.78	YÜKSEK	20		0.43				20	0.36			20	0.27	DÜŞÜK								
3.3.	0	0.74	YÜKSEK	3.16	0	0.23	DÜŞÜK	3.28	0	0.25	DÜŞÜK	4.16	0	0.45	DÜŞÜK	4.16	0	0.90	YÜKSEK	4.28	0	0.44	ORTA	4.28	0	0.44	ORTA	4.28				
	5	0.36	ORTA		5	0.28			5	0.24			5	0.26			5	0.88	YÜKSEK													
	10	0.24	DÜŞÜK		10	0.21			10	0.28			10	0.14			DÜŞÜK	10	0.18		DÜŞÜK											
	15	0.25	YÜKSEK		15	0.28			15	0.36	ORTA		15	0.18				15	0.18		DÜŞÜK											
	20	0.73	YÜKSEK		20	0.74	YÜKSE		20	0.83	YÜKSEK		20	0.24	DÜŞÜK		20	0.43	ORTA		20	0.13										
3.4.	0	0.30	ORTA	3.17	0	0.58	ORTA	3.29	0	0.36	ORTA	4.17	0	0.74	YÜKSEK	4.17	0	0.80	YÜKSEK	4.29	0	0.86	YÜKSEK	4.29	0	0.86	YÜKSEK	4.29				
	5	0.16	DÜŞÜK		5	0.37			5	0.30			5	0.17	DÜŞÜK		5	0.41	ORTA		5	0.21	DÜŞÜK									
	10	0.17			10	0.37			10	0.29	DÜŞÜK		10	0.39			10	0.27				10	0.27									
	15	0.22			15	0.36			15	0.41	ORTA		15	0.51			15	0.35				15	0.35									
	20	0.71	YÜKSEK		20	0.42			20	0.82	YÜKSEK		20	0.10				20			0.51		20		0.50	ORTA						
3.5.	0	0.86	ORTA	3.18	0	0.27	DÜŞÜK	3.30	0	0.36	ORTA	4.18	0	0.59	DÜŞÜK	4.18	0	0.56	DÜŞÜK	4.30	0	0.43		4.30	0	0.43		4.30				
	5	0.46			5	0.15			5	0.34			5	0.35			5	0.29			5	0.13			5	0.29			5	0.13		
	10	0.45			10	0.21			10	0.36			10	0.40			10	0.29			10	0.13			10	0.29			10	0.13		
	15	0.41			15	0.25			15	0.40			15	0.42			15	0.29			15	0.11			15	0.29			15	0.11		
	20	0.54			20	0.65			20	0.74	YÜKSEK		20	0.27	20		0.10		20		0.27		20		0.10							
3.6.	0	0.40	DÜŞÜK	3.19	0	0.63	ORTA	3.31	0	0.41	ORTA	4.19	0	0.63	YÜKSEK	4.19	0	0.74	YÜKSEK	4.31	0	0.87	YÜKSEK	4.31	0	0.87	YÜKSEK	4.31				
	5	0.27			5	0.43			5	0.30			5	0.50			5	0.40	5		0.21	DÜŞÜK	5		0.21	DÜŞÜK						
	10	0.28			10	0.43			10	0.30			10	0.51			10	0.38	10		0.28		10		0.28							
	15	0.32			15	0.40			15	0.45			15	0.49			15	0.50	15		0.35		15		0.35							
	20	0.78	YÜKSEK		20	0.47			20	0.84	YÜKSEK		20	0.45	20		0.48	ORTA	20		0.48	ORTA										
3.7.	0	0.87	ORTA	3.20	0	0.27	DÜŞÜK	3.32	0	0.36	ORTA	4.20	0	0.63	YÜKSEK	4.20	0	0.56	YÜKSEK	4.32	0	0.40		4.32	0	0.40		4.32				
	5	0.43			5	0.15			5	0.35			5	0.50			5	0.29			5	0.13			5	0.29			5	0.13		
	10	0.43			10	0.21			10	0.34			10	0.51			10	0.38			10	0.28			10	0.38			10	0.28		
	15	0.38			15	0.24			15	0.43			15	0.50			15	0.50			15	0.35			15	0.50			15	0.35		
	20	0.52			20	0.66			20	0.78	YÜKSEK		20	0.45	20		0.48	ORTA	20		0.48	ORTA										
3.8.	0	0.72	YÜKSEK	3.21	0	0.51	ORTA	3.33	0	0.83	YÜKSEK	4.21	0	0.75	YÜKSEK	4.21	0	0.80	YÜKSEK	4.33	0	0.45	ORTA	4.33	0	0.45	ORTA	4.33				
	5	0.44	ORTA		5	0.40			5	0.23			5	0.45			5	0.13			5	0.33			5	0.13						
	10	0.50			10	0.35			10	0.21			10	0.45			10	0.13			10	0.45			10	0.13						
	15	0.48			15	0.42			15	0.19			15	0.33			15	0.10			15	0.33			15	0.10						
	20	0.50			20	0.70	YÜKSE		20	0.87	YÜKSEK		20	0.54	20		0.33	20	0.13			20	0.33									
3.9.	0	0.81	YÜKSEK	3.22	0	0.61	ORTA	3.34	0	0.58	ORTA	4.22	0	0.63	YÜKSEK	4.22	0	0.48	ORTA	4.34	0	0.44	ORTA	4.34	0	0.44	ORTA	4.34				
	5	0.52	ORTA		5	0.30			5	0.11			5	0.48			5	0.17				5	0.32			5	0.17					
	10	0.63			10	0.31			10	0.20			10	0.43			10	0.31			10	0.17			10	0.31			10	0.17		
	15	0.67			15	0.32			15	0.22			15	0.26			15	0.35			15	0.21			15	0.35			15	0.21		
	20	0.56			20	0.71			YÜKSE	20	0.64		ORTA	20	0.17		20	0.34	20		0.17		20		0.34		20		0.17			
3.10.	0	0.73	YÜKSEK	3.23	0	0.51	ORTA	3.35	0	0.85	YÜKSEK	4.23	0	0.71	YÜKSEK	4.23	0	0.71	YÜKSEK	4.35	0	0.58	ORTA	4.35	0	0.58	ORTA	4.35				
	5	0.46	ORTA		5	0.40			5	0.26			5	0.53			5	0.43	5		0.13		5		0.43		5		0.13			
	10	0.52			10	0.35			10	0.26			10	0.51			10	0.45	10		0.13		10		0.45		10		0.13			
	15	0.51			15	0.42			15	0.25			15	0.51			15	0.43	15		0.13		15		0.43		15		0.13			
	20	0.54			20	0.71	YÜKSE		20	0.87	YÜKSEK		20	0.50	20		0.43	20	0.13			20	0.50			20	0.13					
3.11.	0	0.80	YÜKSEK	3.24	0	0.63	ORTA	3.36	0	0.60	ORTA	4.24	0	0.53	YÜKSEK	4.24	0	0.45	ORTA	4.36	0	0.44	ORTA	4.36	0	0.44	ORTA	4.36				
	5	0.48	ORTA		5	0.30			5	0.16			5	0.44			5	0.31			5	0.17			5	0.31			5	0.17		
	10	0.59			10	0.32			10	0.22			10	0.39			10	0.17				10	0.31			10	0.17					
	15	0.62			15	0.31			15	0.27			15	0.26			15	0.31			15	0.21			15	0.31			15	0.21		
	20	0.51			20	0.71	YÜKSE		20	0.67	ORTA		20	0.17	20		0.31	20	0.17			20	0.31			20	0.17					

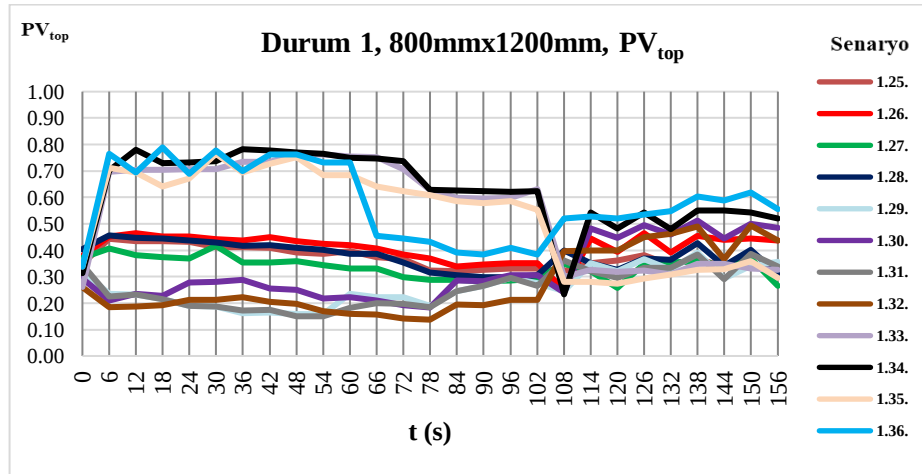
Şekil 8.1’de Durum 1’e ait 400mmx600mm kesit, Şekil 8.2’de 600mmx900mm kesit, Şekil 8.3’te 800mmx1200mm kesit PV_{top} grafiği yer almakta olup, Şekil 8.4’te ise 1.24. ‘e ait akış kesiti verilmiştir.



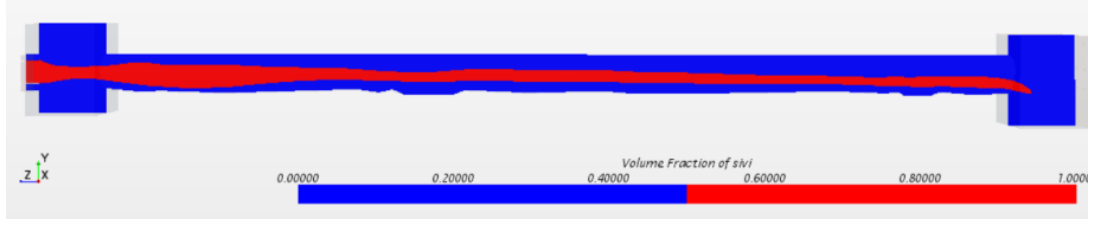
Şekil 8.1. Durum:1, 400mmx600mm kesit PV_{top}



Şekil 8.2. Durum:1, 600mmx900mm kesit PV_{top}

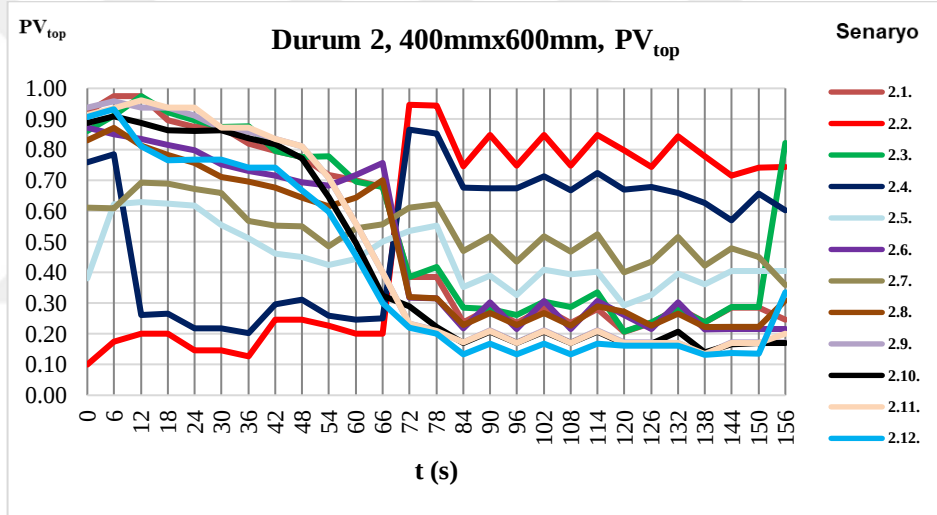


Şekil 8.3. Durum:1, 800mmx1200mm kesit PV_{top}

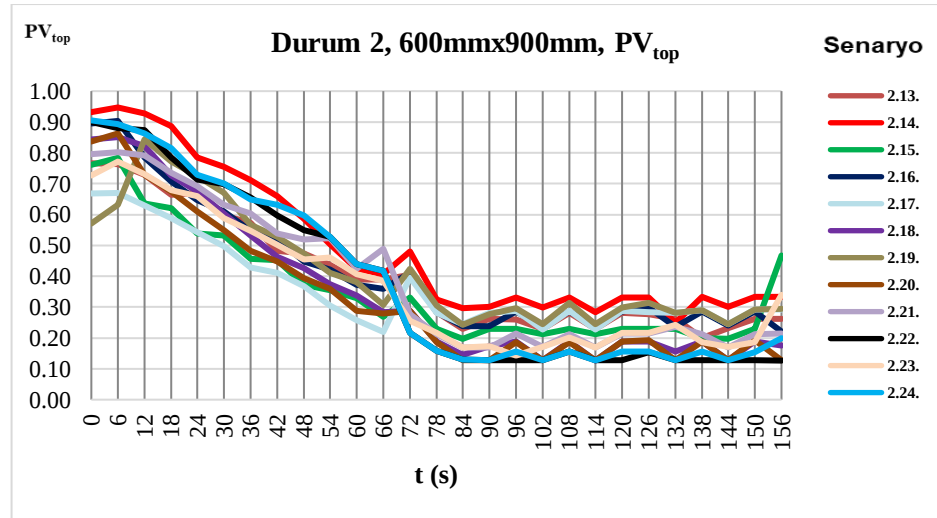


Şekil 8.4. Durum:1, Senaryo:1.24. Akış Kesiti

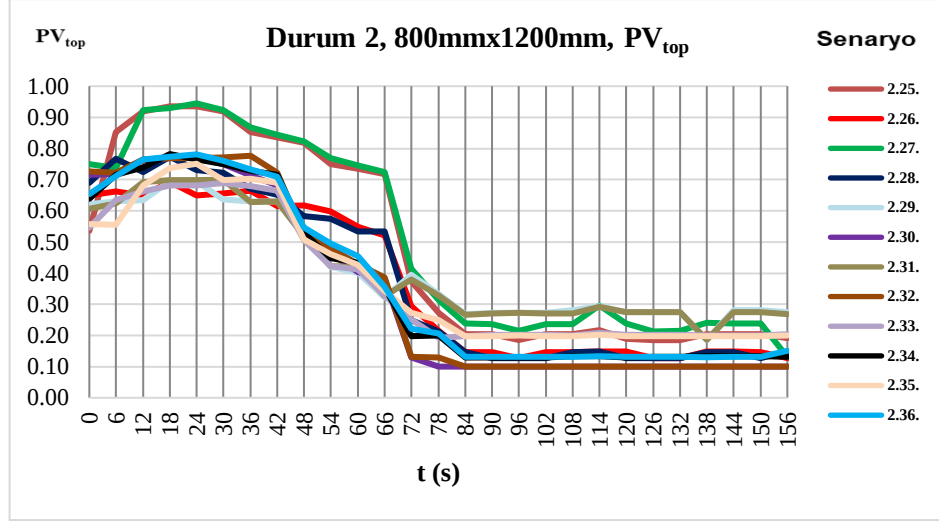
Çalışmaya göre Şekil 8.5'te Durum 2'ye ait 400mmx600mm kesit, Şekil 8.6'da 600mmx900mm kesit, Şekil 8.7'de 800mmx1200mm kesit PV_{top} grafiği yer almakta olup, Şekil 8.8'de ise 2.26. ya ait akış kesiti verilmiştir.



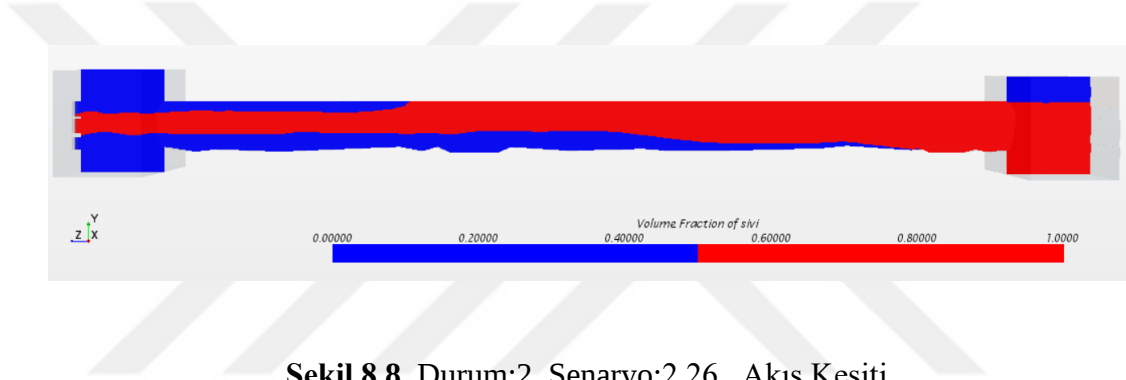
Şekil 8.5. Durum:2, 400mmx600mm kesit PV_{top}



Şekil 8.6. Durum:2, 600mmx900mm kesit PV_{top}

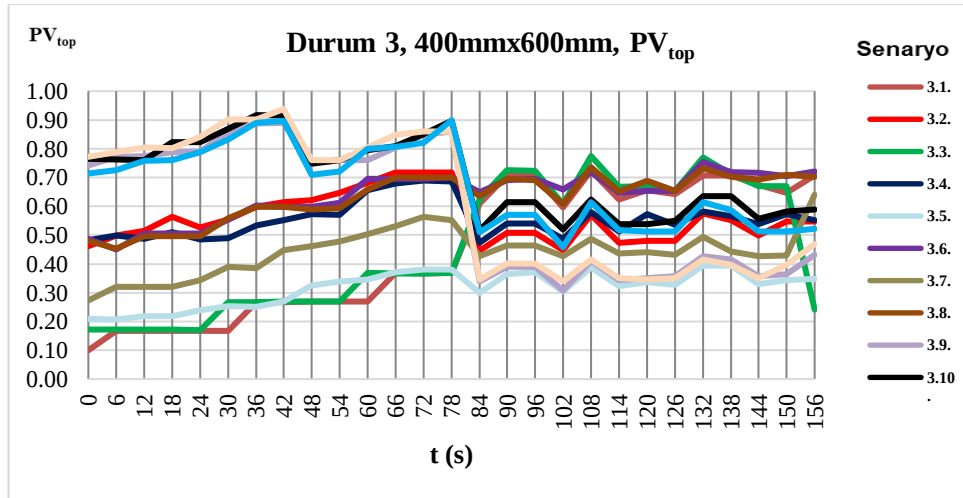


Şekil 8.7. Durum:2, 800mmx1200mm kesit PV_{top}

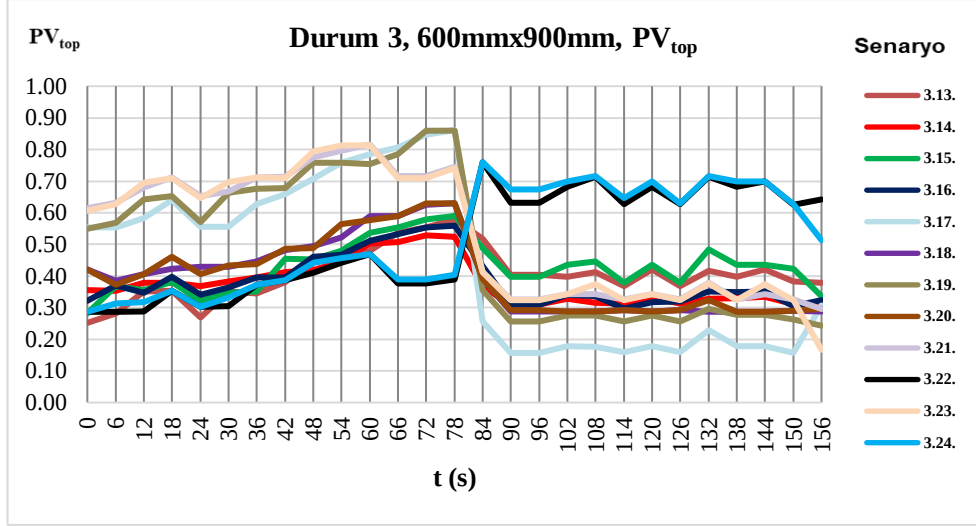


Şekil 8.8. Durum:2, Senaryo:2.26. Akış Kesiti

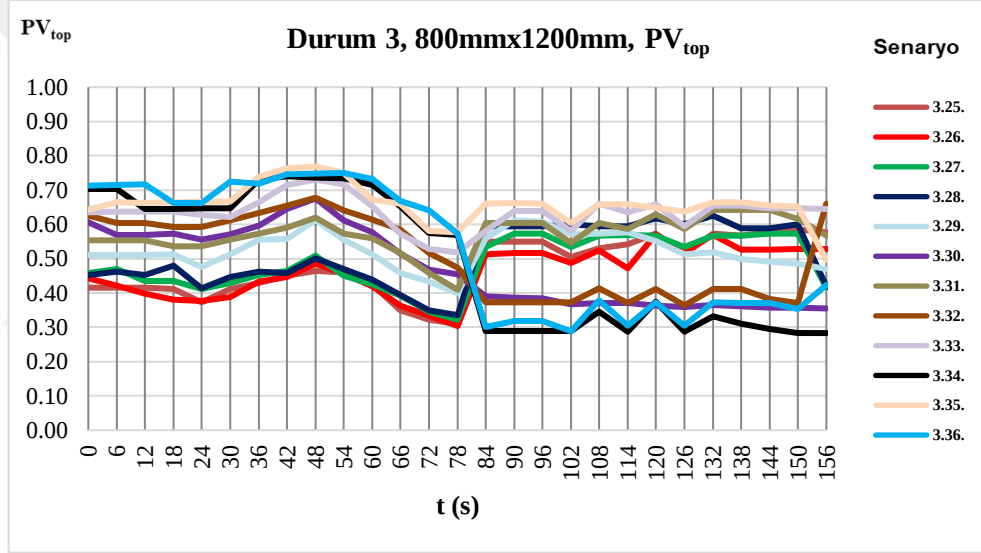
Şekil 8.9’da Durum 3’e ait 400mmx600mm kesit, Şekil 8.10’da 600mmx900mm kesit, Şekil 8.11’de 800mmx1200mm kesit PV_{top} grafiği yer almakta olup, Şekil 8.12’de ise 3.22. ye ait akış kesiti verilmiştir.



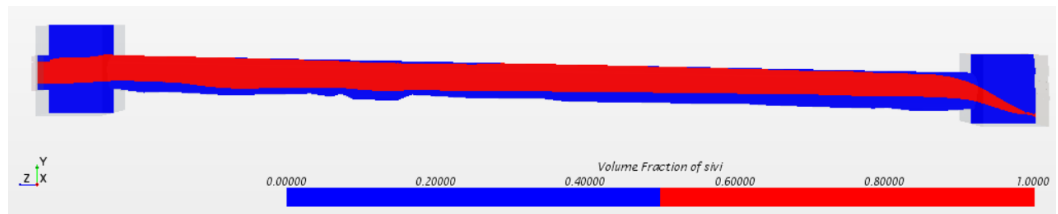
Şekil 8.9. Durum:3, 400mmx600mm kesit PV_{top}



Şekil 8.10. Durum:3, 600mmx900mm kesit PV_{top}

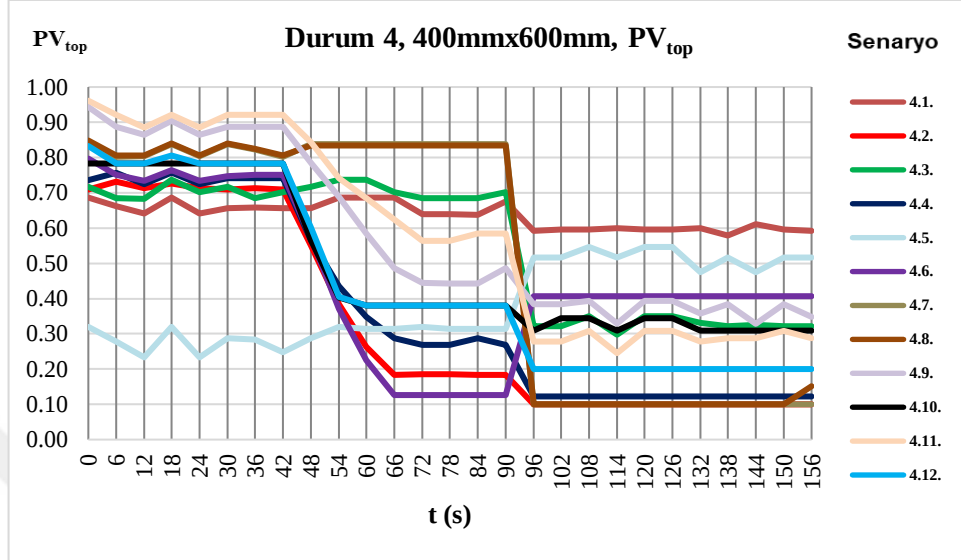


Şekil 8.11. Durum:3, 800mmx1200mm kesit PV_{top}

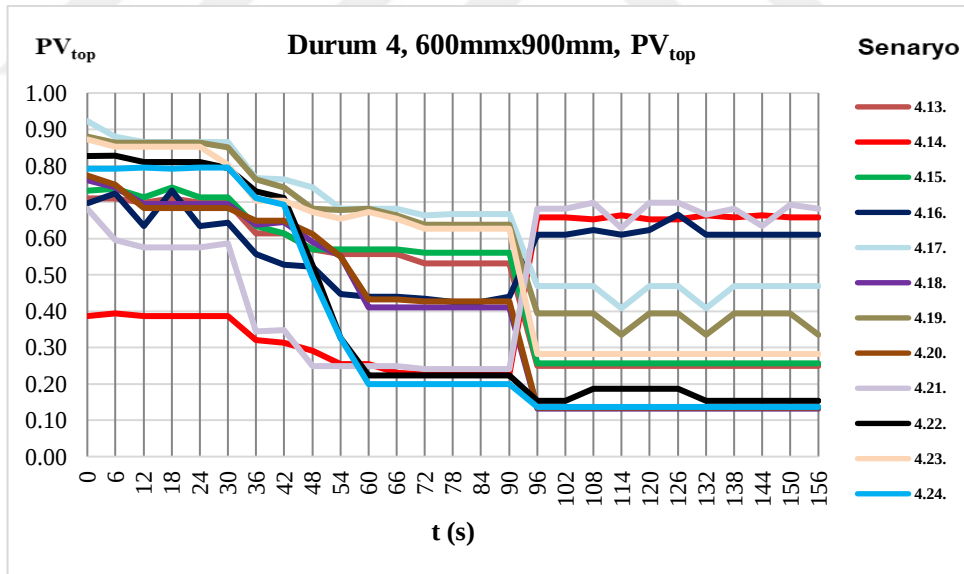


Şekil 8.12. Durum:3, Senaryo:3.22. Akış Kesiti

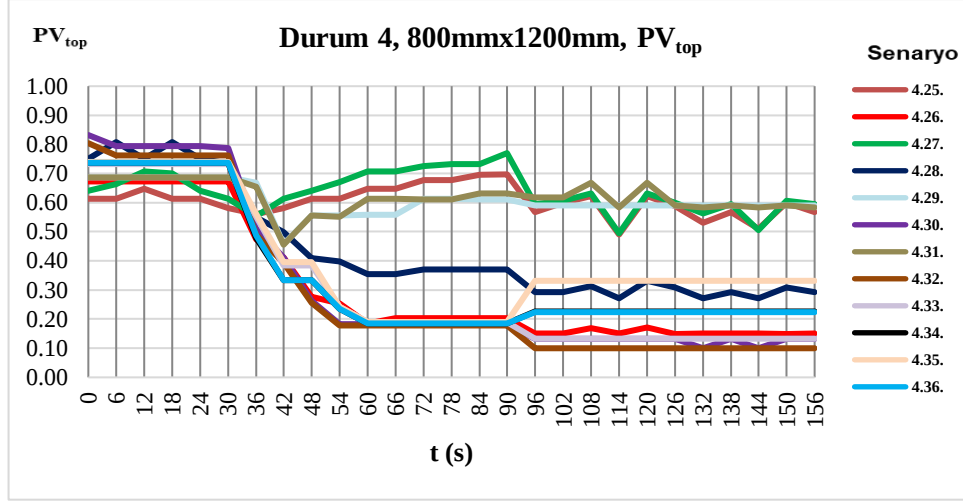
Şekil 8.13'te Durum 4'e ait 400mmx600mm kesit, Şekil 8.14'de 600mmx900mm kesit, Şekil 8.15'te 800mmx1200mm kesit PV_{top} grafiği yer almakta olup, Şekil 8.16'da ise 4.12. ye ait akış kesiti verilmiştir.



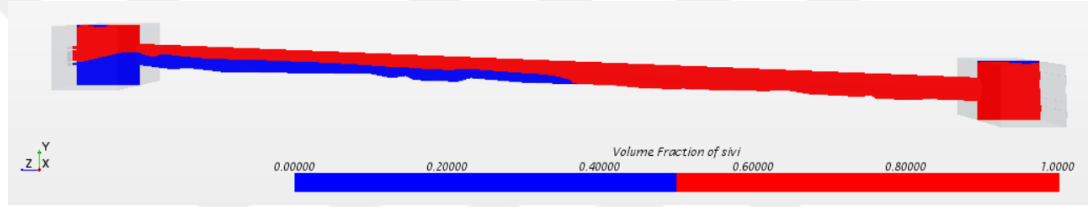
Şekil 8.13. Durum:4, 400mmx600mm kesit için PV_{top}



Şekil 8.14. Durum:4, 600mmx900mm kesit PV_{top}



Şekil 8.15. Durum:4, 800mmx1200mm kesit PV_{top}



Şekil 8.16. Durum:4, Senaryo:4.12. Akış Kesiti

Sediment konsantrasyonu: Durum:1-2-3-4 R korelasyon katsayıları

Durum 1-2-3-4 için sediment konsantrasyonu R korelasyon katsayılarına göre hidrolik performans özellikleri Tablo 8.2’de gösterilmiştir. Korelasyon katsayıları: uyumluluk sınırları aşağıdaki gibi kabul edilmiştir[65]:

Korelasyon Düzeyi	Korelasyon Alt Sınırı	Korelasyon Üst Sınırı
UYUM YOK	0.000	0.010
DÜŞÜK	0.011	0.290
ORTA	0.291	0.700
YÜKSEK	0.701	0.990
MÜKEMMEL	0.991	1.000

Tablo 8.2’ye göre R korelasyon katsayıları YÜKSEK ve MÜKEMMEL aralıklarında yer almaktadır. En iyi hidrolik performans Durum 1 olup, Durum 2 ve

Durum 3 birbirine yakın hidrolik performans gösterirken, Durum 4 ün R korelasyon hidrolik performansı daha düşüktür. Bu durumda basınçlı boru hatlarının R korelasyon performanslarının düşük, serbest yüzeyli boru kontrol kesitlerinin ise yüksek olduğu görülmüştür.



			Kesit	R	Hidr. Perfor.				Kesit	R	Hidr. Perfor.				Kesit	R	Hidr. Perfor.
	1.1.	0	0.991	MÜKEMMEL	1.13.	0	0.999	1.25.	0	1.000							
		5	0.999			5	0.998		5	1.000							
		10	0.996			10	0.998		10	1.000							
		15	0.998			15	0.999		15	1.000							
	1.2.	20	1.000		20	0.995	20	1.000									
		0	0.998		1.14.	0	0.998	1.26.	0	1.000							
		5	0.997			5	0.998		5	1.000							
		10	0.998			10	0.998		10	1.000							
	15	1.000	15			0.999	15		1.000								
	1.3.	20	1.000		20	1.000	20	1.000									
		0	0.994		1.15.	0	0.999	1.27.	0	1.000							
		5	0.998			5	0.999		5	1.000							
10		0.998	10	0.998		10	1.000										
15	0.998	15	0.990	15		1.000											

DURUM 1 Senaryolar-R Korelasyon	1.4.	20	0.999		1.16.	20	0.991		1.28.	20	1.000	MÜKEMMEL			
		0	0.997			0	0.998			0	1.000				
		5	0.996			5	0.999			5	1.000				
		10	0.999			10	1.000			10	0.996				
		15	1.000			15	0.999			15	1.000				
	20	0.999		20	0.996		20	1.000		20	0.861				
	1.5.	0	0.953	YÜKSEK	1.17.	0	0.990		1.29.	0	0.999				
		5	0.998			5	1.000								
		10	0.997	MÜKEMMEL		10	1.000								
		15	0.997			15	1.000								
		20	0.997			20	0.993			MÜKEMMEL	20		1.000		
	1.6.	0	0.973	YÜKSEK	1.18.	0	0.979	YÜKSEK	1.30.	0	0.999				
		5	0.997			5	0.987	YÜKSEK		5	0.999				
		10	0.996	MÜKEMMEL		10	0.993	MÜKEMMEL		10	1.000				
		15	0.997			15	0.946	YÜKSEK		15	1.000				
		20	0.997			20	0.999			20	1.000				
	1.7.	0	0.977	YÜKSEK	1.19.	0	0.992	MÜKEMMEL	1.31.	0	0.999				
		5	0.999			5	0.992				5		1.000		
		10	0.998	MÜKEMMEL		10	0.996				10		1.000		
		15	0.998			15	0.977			YÜKSEK	15		1.000		
		20	0.997			20	0.994			MÜKEMMEL	20		1.000		
	1.8.	0	0.978	YÜKSEK	1.20.	0	0.988	YÜKSEK	1.32.	0	0.999				
		5	0.996			5	0.992	MÜKEMMEL		5	0.999				
		10	0.996	MÜKEMMEL		10	0.995			10	1.000				
		15	0.999			15	0.962	YÜKSEK		15	0.931		YÜKSEK		
		20	0.999			20	0.999	MÜKEMMEL		20	1.000		MÜKEMMEL		
	1.9.	0	0.847	YÜKSEK	1.21.	0	0.863	YÜKSEK	1.33.	0	0.801	YÜKSEK			
		5	0.939			5	0.816			5	0.908				
		10	0.984			10	0.775			10	0.961		10	0.875	
		15	1			15	0.927			15	0.925		15	0.883	
		20	0.992			20	0.930			20	0.991		20	0.886	MÜKEMMEL
	1.10.	0	0.997	MÜKEMMEL	1.22.	0	0.850	MÜKEMMEL	1.34.	0	0.895	YÜKSEK			
		5	0.998			5	0.818			5	0.947				
		10	0.995			10	0.992			10	0.849		10	0.880	
		15	1			15	0.845			15	0.931		15	0.893	
		20	0.999			20	0.902			20	0.996		20	0.889	MÜKEMMEL
	1.11.	0	0.821	YÜKSEK	1.23.	0	0.852	YÜKSEK	1.35.	0	0.878	YÜKSEK			
		5	0.993			5	0.831			5	0.944				
		10	0.99	MÜKEMMEL		10	0.846			10	0.964				
		15	0.999			15	0.835			15	0.928				
		20	0.95	YÜKSEK		20	0.956			20	0.991		20	0.876	MÜKEMMEL
	1.12.	0	0.999	MÜKEMMEL	1.24.	0	0.930	MÜKEMMEL	1.36.	0	0.972	YÜKSEK			
		5	0.995			5	1.000			5	0.939		5	0.853	
		10	0.978			10	0.991			10	0.911		10	0.887	
		15	0.988			15	0.972			15	0.947		15	0.882	
		20	0.994			MÜKEMMEL	20			0.927	20		0.996	20	0.895

DURUM 2 Senaryolar-R Korelasyon	2.4.	20	0.834	YÜKSEK	2.16.	20	0.847	MÜKEMMEL	2.28.	20	0.856	MÜKEMMEL	
		0	0.988			0	0.983			0	0.998		
		5	0.977			5	0.996			5	0.998		
		10	0.976			10	0.996			10	0.871		
		15	0.999			15	0.990			15	0.919		
	20	0.861		20	0.852		20	0.946					
	2.5.	0	0.890	YÜKSEK	2.17.	0	0.920	YÜKSEK	2.29.	0	0.999	MÜKEMMEL	
		5	0.954			5	0.904			5	1.000		
		10	0.977			10	0.943			10	0.996		
		15	0.997			15	0.814			15	0.999		
		20	0.894			20	0.834			20	0.873		YÜKSEK
	2.6.	0	0.825	YÜKSEK	2.18.	0	0.901	YÜKSEK	2.30.	0	0.997	MÜKEMMEL	
		5	0.973			5	0.982			5	0.989		
		10	0.979			10	0.960			10	0.930		YÜKSEK
		15	0.970			15	0.973			15	0.929		
		20	0.826			20	0.804			20	0.876		
	2.7.	0	0.854	YÜKSEK	2.19.	0	0.934	YÜKSEK	2.31.	0	0.999	MÜKEMMEL	
		5	0.977			5	0.928			5	1.000		
		10	0.963			10	0.947			10	0.996		
		15	0.998			15	0.981			15	0.999		
		20	0.854			20	0.830			20	1.000		
	2.8.	0	0.835	YÜKSEK	2.20.	0	0.950	YÜKSEK	2.32.	0	0.998	MÜKEMMEL	
		5	0.989			5	0.987			5	0.983		YÜKSEK
		10	0.959			10	0.959			10	1.000		
		15	0.959			15	0.910			15	1.000		
		20	0.833			20	0.844			20	1.000		
	2.9.	0	0.881	YÜKSEK	2.21.	0	0.818	YÜKSEK	2.33.	0	0.964	YÜKSEK	
		5	0.846			5	0.907			5	0.955		
		10	0.875			10	0.867			10	0.947		
		15	0.883			15	0.856			15	0.939		
		20	0.886			20	0.930			20	0.949		
	2.10.	0	0.874	YÜKSEK	2.22.	0	0.888	YÜKSEK	2.34.	0	0.861	YÜKSEK	
		5	0.862			5	0.900			5	0.848		
		10	0.880			10	0.951			10	0.838		
		15	0.893			15	0.982			15	0.841		
		20	0.889			20	0.888			20	0.856		
	2.11.	0	0.887	YÜKSEK	2.23.	0	0.789	YÜKSEK	2.35.	0	0.946	YÜKSEK	
		5	0.920			5	0.887			5	0.950		
		10	0.885			10	0.859			10	0.946		
		15	0.882			15	0.859			15	0.939		
		20	0.876			20	0.911			20	0.940		
	2.12.	0	0.813	YÜKSEK	2.24.	0	0.850	YÜKSEK	2.36.	0	0.963	YÜKSEK	
		5	0.853			5	0.881			5	0.950		
		10	0.887			10	0.951			10	0.942		
		15	0.882			15	0.975			15	0.947		
		20	0.895			20	0.933			20	0.953		

Tablo 8.2. (Devamı) Durum 1-2-3-4 Hidrolik Performans R Korelasyon Katsayısı

DURUM 3 Senaryolar-R Korelasyon				DURUM 4 Senaryolar-R Korelasyon				
	Kesit	R	Hidr. Perfor.		Kesit	R	Hidr. Perfor.	
3.1.	0	0.936	YÜKSEK	3.13.	0	0.898	YÜKSEK	
	5	0.915			5	0.838		
	10	0.993			10	0.852		
	15	0.995			15	0.913		
	20	0.996	MÜKEMMEL		20	0.913		
	0	0.994	YÜKSEK		0	0.833	YÜKSEK	
	5	0.842			5	0.844		
	10	0.834			10	0.839		
	15	0.974			15	0.828		
	20	0.979	YÜKSEK		20	0.994	MÜKEMMEL	
	0	0.963	3.14.	0	0.881	YÜKSEK		
	5	0.963		5	0.909			
10	0.863	10		0.895				
15	0.996	15		0.837				
20	0.990	MÜKEMMEL		20	0.994	MÜKEMMEL		
3.2.	0	0.938	YÜKSEK	3.15.	0	0.842	YÜKSEK	
	5	0.835			5	0.895		
	10	0.869			10	0.867		
	15	0.911			15	0.815		
20	0.969	YÜKSEK			20	0.994	MÜKEMMEL	
3.3.	0	0.838	3.16.	0	0.815	YÜKSEK		
	5	0.843		5	0.825			
	10	0.974		10	0.828			
	15	0.994		15	0.951			
20	0.994	MÜKEMMEL		20	0.956			
3.4.	0	0.809	3.17.	0	0.817	YÜKSEK		
	5	0.832		5	0.885			
	10	0.970		10	0.848			
	15	0.921		15	0.887			
20	0.968	20		0.988				
3.5.	0	0.836	3.18.	0	0.837	YÜKSEK		
	5	0.828		5	0.929			
	10	0.814		10	0.879			
	15	0.814		15	0.970			
20	0.994	MÜKEMMEL		20	0.956			
3.6.	0	0.811	3.19.	0	0.857	YÜKSEK		
	5	0.823		5	0.862			
	10	0.994		10	0.857			
	15	0.985		15	0.913			
20	0.994	MÜKEMMEL		20	0.924			
3.7.	0	0.852	3.20.	0	0.896		YÜKSEK	
	5	0.912		5	0.892			
	10	0.951		10	0.889			
	15	0.95		15	0.892			
20	0.929	20		0.811				
0	0.893	3.21.		0	0.912			
5	0.893		5	0.915				
10	0.883		10	0.927				
15	0.828		15	0.916				
20	0.934		20	0.891				
3.8.	0	0.833	3.22.	0	0.897	YÜKSEK		
	5	0.865		5	0.949			
	10	0.927		10	0.872			
	15	0.925		15	0.926			
20	0.944	20		0.803				
3.9.	0	0.873	3.23.	0	0.937		YÜKSEK	
	5	0.812		5	0.916			
	10	0.927		10	0.922			
	15	0.814		15	0.973			
20	0.901	20		0.947				

Hidrolik performans değerlendirmeleri akışkan ve sediment kapsamında olmak üzere incelenmiştir. Bu kapsamda akışkan hızları ve sediment konsantrasyon hesaplarına göre yapılan çalışmada 4 farklı duruma göre özetle PV_{top} , sediment konsantrasyon R korelasyon değerleri, kesitler arası kontrol hacmi bakımından ve akışkanın boru içinden geçme sürelerine göre hidrolik performans değerlendirmeleri şu şekildedir;

1. PV_{top} Hidrolik Performans Değerlendirmesi;

- *Durum 1 PV_{top} için 1.1~1.8, 1.13~1.22 ve 1.25~1.33 senaryolarında t (s) zamanlarında PV_{top} değerlerinin 0.50'nin altında olmasından dolayı düşük hidrolik performans olarak belirtilmiştir. 1.9~1.12, 1.23~1.24 ve 1.34~1.36 senaryolarında ise PV değerlerinin 0.50 ve üstünde olmasından dolayı hidrolik performans yüksek olarak belirtilmiştir.*
- *Durum 2 PV_{top} için 400mmx600mm kesitteki t=72 s'den önce 2.2. ve 2.4. lerde PV değerleri 0,50'nin altında iken diğerlerinde t=72s'den sonra PV değerleri daha yüksek olup, t=72s sonrası ise 2.2., 2.4. 2.7. PV değerleri 0,50'nin üstündedir. t=72 s'den önce 600mmx900mm ve 800mmx1200mm kesitlerdeki PV değerleri 0,50'nin üstünde olup, t=72 s'den sonra ise PV değerleri 0,50'nin altında kalmıştır.*
- *Durum 3 PV_{top} için 400mmx600mm kesitteki t=78 s'den önce 3.1., 3.3., 3.5. lerdekiPV değerleri 0,50'nin altında iken diğerlerinde t=72s'den önce PV_{top} değerleri daha yüksek olup, t=78s sonrası ise 3.7., 3.5.,3.9., 3.11. larında PV_{top} değerleri 0,50'nin altında, diğerlerinde ise üstündedir. t=78 s'den önce 600mmx900mm kesitte 3.22., 3.24. PV_{top} değerleri 0.50'nin altında olup, t=78s sonrası 3.22., 3.24. PV_{top} değerleri 0,50 üstünde, kalanları ise altındadır. 800mmx1200mm kesitlerde t=78s altında 3.25., 3.26., 3.27., 3.28. PV_{top} değeri 0.50'nin altında olup diğerleri üstündedir. t=78s sonrasında ise 3.30., 3.32., 3.34., 3.36. ları PV_{top} değeri 0,50'nin altında olup kalanlarda PV değerleri 0,50'nin üstündedir.*

- *Durum 4* PV_{top} için boru ortasında hız değerleri sabite yakın kalarak özellikle $t=96$ s'den sonra ise belirgin bir şekilde hız değerlerinin düştüğü, buna bağlı olarak PV_{top} değerlerine azalma olduğu tespit edilmiştir. Basınçlı borularda giriş kesitlerinde sediment birikimleri daha düşük olmakla birlikte boru çıkışında sediment birikiminden kaynaklı kesit daralmalarının olduğu görülmüştür.

Durum 4, $t= 36s-96s$ aralığında bir kırılma mevcuttur. Bu aralıkta PV_{top} değerleri her da sabit bir değer almaktadır. Bu durum hız değerlerinin bu aralıkta çok fazla değişkenlik göstermediği birbirine yakın değerler de olduğu görülmüştür. Hız değişimlerinin çok fazla olmadığı bu bölümde hız performans değerlerinin iyi olduğunu da söyleyebiliriz. Bu aralıkta tüm kesitlerde farklı t zamanlarında performans hız değerlerinin 0,50'nin üstünde durumlar vardır. Bu sebeple ortalama $t=78s$ 'den sonra kırılma olması kabulü ile 400mmx600mm kesitteki $t=78$ s'den önce 4.5.'te PV_{top} değeri 0,50'nin altında iken diğerlerinde PV_{top} değerleri 0,50'nin üstündedir. $t=78s$ sonrası ise 4.1., 4.5. PV değerleri 0,50'nin üstünde olup, diğerleri 0.50'nin altındadır.

600mmx900mm kesitte $t=78$ s'den önce PV_{top} değeri 0.50'nin altında 4.14. olup, diğerlerinde PV_{top} değeri 0.50'nin üstündedir. $t=78s$ sonrasında ise 4.14., 4.16., 4.21. PV_{top} değeri 0,50'nin üstünde olup, diğerlerinde PV_{top} değerleri 0,50'nin altındadır.

800mmx1200mm kesitte $t=36$ s'den önce tüm PV_{top} değerleri 0.50'nin üstünde olup, $t=36s$ 'den sonra 4.25., 4.27., 4.29., 4.31. PV_{top} değeri 0,50'nin üstündedir.

2. Sediment konsantrasyon R Korelasyon Hidrolik Performans Değerlendirmesi;

- *Durum 1* tüm kesitlerde, boru malzemelerine, farklı eğimlerde ve sediment taban özelliklerine göre en iyi hidrolik performansı vermektedir. Diğer durumlara göre hidrolik performansı mükemmel aralığındadır.

- *Durum 2* tüm kesitlerde yüksek eğimli boru hatlarında hidrolik performansları, düşük eğimlere göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüş olup, mükemmel aralığındadır.
- *Durum 3* te *Durum 2* ye benzerlik göstererek, tüm kesitlerde yüksek eğimli boru hatlarında hidrolik performansları, düşük eğimlere göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüş olup mükemmel aralığındadır.
- *Durum 4* tüm kesitlerde yüksek düzey hidrolik performans aralığında yer almaktadır. Diğer durumlara göre R korelasyon performansı daha düşüktür.

3. Boru gözlem kesitleri arası boru kontrol hacmi bakımında değerlendirme.

- *Durum 1* Şekil 8.1, Şekil 8.2 ve Şekil 8.3 incelendiğinde farklı hız değerlerinin serbest yüzeyli akışta çok değişkenlik göstermediği bu sebeple kesitin tamamında serbest yüzeyli akışların devam ettiği görülmüştür.
- *Durum 2* Şekil 8.5, Şekil 8.6 ve Şekil 8.7 incelendiğinde $t=72s$ 'den sonra hidrolik sıçramalar artarak serbest yüzeyli akıştan basınçlı akışa geçildiği tespit edilmiştir.
- *Durum 3* Şekil 8.9, Şekil 8.10 ve Şekil 8.11 incelendiğinde $t=78s$ 'den sonra üniform olmayan akım koşulları oluşmuş olup, basınçlı akıştan su seviyesi düşerek serbest yüzeyli akışa geçildiği görülmüştür.
- *Durum 4* Şekil 8.13, Şekil 8.14 ve Şekil 8.15 değerlendirildiğinde boru boyunca basınçlı akış özelliği göstermekte olup, yaklaşık $t=78s$ den önce hız değerlerinin yüksek, sonra ise düşük olduğu görülmektedir.

4. Kesitten akışkanın geçme süresi (iletim debisinin kanalı terketme süreleri)

Hidrolik performans çalışmaları kapsamında akışkan debisinin kanalı terketme sürelerinin daha düşük olması kanal içinde tortu birikimini azaltacağı için hidrolik performans değerlendirmelerinde kullanılmıştır. Bu sebeple kesit/eğim/sediment tabanı özelliklerine göre farklı boru hatları için akışkanın kanal geçme süreleri CFD yardımıyla okunarak Tablo 8.3.'te verilmiştir.

Tablo 8.3. Akışkanın iletim debisinin kanaldan geçme süreleri (sn)

	Kesit mm	Eğim	Malzeme	Sediment tabanı	Akışkan Kanal geçiş süresi (s)
Akışkan geçiş süresi (saniye)	400x600	1/500	Beton	Düz	128s
				Dalgalı	165s
			Çelik	Düz	125s
				Dalgalı	156s
		1/250	Beton	Düz	124s
				Dalgalı	162s
			Çelik	Düz	120s
				Dalgalı	167s
		1/25	Beton	Düz	140s
				Dalgalı	173s
			Çelik	Düz	138s
				Dalgalı	170s
	600x900	1/1000	Beton	Düz	113s
				Dalgalı	111s
			Çelik	Düz	112s
				Dalgalı	110s
		1/500	Beton	Düz	116s
				Dalgalı	115s
			Çelik	Düz	112s
				Dalgalı	110s
		1/50	Beton	Düz	113s
				Dalgalı	112s
			Çelik	Düz	110s
				Dalgalı	109s
	800x1200	1/3000	Beton	Düz	148s
				Dalgalı	180s
			Çelik	Düz	147s
				Dalgalı	180s
		1/1500	Beton	Düz	180s
				Dalgalı	181s
			Çelik	Düz	144s
				Dalgalı	175s
		1/75	Beton	Düz	142s
				Dalgalı	174s
			Çelik	Düz	141s
				Dalgalı	173s

- Tablo 8.3'e göre akışkanın kanal debisini iletmeye süreleri bakımından 600x900 mm kesit değerlerinin diğer kesitlere göre daha düşük olduğu ve

hidrolik performans açısından en uygun olduğu, en kötü performansın ise 800x1200 mm kesitte olduğu saptanmıştır.

- Boru malzeme türlerine göre değerlendirildiğinde çelik boruların beton borulara göre sürtünme değerlerinin daha düşük olması sebebiyle akışkan hızlarını arttırdığı ve daha az sürede akışkanı ilettiğinden dolayı daha iyi hidrolik performansa sahiptir.
- Yüksek eğimlerde de hız artışı olacağı için daha kısa sürede akışkan taşınacağı için daha iyi hidrolik performansa sahiptir.
- Dalgalı sediment tabanda ise daha uzun sürede akışkan taşındığı için hidrolik performansları, düz sediment tabanlara göre daha düşüktür.

Bu koşullarda yumurta şeklindeki borular, daha küçük ıslanan çevreleri nedeniyle daha yüksek akış hızları sunar, partiküllerin çökmesini ve kanalizasyon temizleme işletme maliyetlerini azaltır [2;66].

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, önemli ve anlamlı bir mühendislik faaliyeti olup, bilgisayar işlemci kaynakları başta olmak üzere çeşitli teknolojilerin gelişmesiyle, her geçen gün uygulanabilirliğini ve erişilebilirliğini artırmaktadır [67].Yapılan çalışmada yumurta kesitli boru hatlarının farklı fiziksel durumlarının ortaya konması amacıyla CFD programı kullanılarak çözüm yapılmıştır. CFD programı verileri daha önce yapılmış olan çeşitli tez, makale ve bildiri çalışmaları sonuçları ile karşılaştırma yapılarak, doğruluğu kanıtlanmıştır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği çalışmaları için son yıllarda birçok farklı mühendislik alanlarında çalışmaya imkan veren CFD programları tez çalışmam için de kullanılmıştır.

Çalışmanın sonucuna göre yumurta kesitli boru hatlarındaki hidrolik performans kriterleri şu şekilde sıralanabilir;

- Kesit özellikleri ve geometrisi / Eğim / Hız / Akışkan yüksekliği /
- Akışkan yoğunluğu / Pürüzlülük /Sediment (partikül özellikleri)
- Kararlı/kararsız akış/ Çok fazlı akış/ Sediment Konsantrasyonu

- Kısmi/ tam dolu akış özellikleri

Çalışmanın temel özelliklerinden birisi olan kararsız akış çalışması ile mevcut atıksu kanallarının davranışını temsil etme olanağı sağlanmıştır. Bu sebeple kanal içindeki skaler büyüklüklerin kanal kesiti içinde istenilen yerde okunması sağlanarak verileri oluşturulmuştur. Ayrıca hidrolik performans kriterlerini belirlemek amacıyla da farklı fiziksel büyüklükler ile çalışılarak boru hattına etkileri ortaya konmuştur. Hidrolik performans kriterlerinin her birinin akışa olan etkileri grafiklerle desteklenmiştir. Böylelikle boru hattına ait akış dağılımı ortaya konarak, verilerin akışa etkileri detaylı bir şekilde oluşturulmuştur.

Tüm bu değerlendirmelere göre yumurta kesitli boru hatlarının kullanımları uzun vadeli olarak sediment birikimi ve buna bağlı olarak oluşan kesit daralmalarının önlenmesini sağlayacaktır. Ülkemizde yaygın olarak üretimin yapılması yumurta kesitli boru hatlarının kullanımının artmasını da sağlayacaktır. Ekonomik olarak uzun vadeli kullanımlarının sağlayacağı yararlar da göz önüne alınmalıdır.

Yapılan CFD çalışmasında boru hatlarının zamana göre değişimleri $t=156s$ esasına göre yapılmış olup, daha büyük kapasiteli bilgisayar ağları kullanılarak daha uzun zamanlarda; 1 saat, 2 saat bazlarında değerlendirme yapılarak sonuçların değerlendirilmesi, hesaplamalarda farklı boru malzemeleri kullanılması, Durum 1,2,3,4 ayrı ayrı incelenerek özgül enerji üzerine çalışma yapılması, sediment dinamiği ve boyut analizinde farklı parametreler ile çalışılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Bonakdari, H., Larrarte, F. Experimental and numerical investigation on self-cleansing and shear stress in sewers. Sewer Operation and Maintenance conference, October 2006, Wien, Austria.
- [2] Regueiro-Picallo, M., Naves, J., Anta, J., Puertas, J., Suárez, J. Experimental and Numerical Analysis of Egg-Shaped Sewer Pipes Flow Performance. *Water*. 2016, 8(12), 1-9.
- [3] Hazari, S.A. Turbulence Modelling of Two Phase Stratified Channel and Pipe Flows. Delft University of Technology, Mechanical Engineering, 2016, 82 s. (Yüksek lisans tezi).
- [4] Sinnakaudan, S.K., Ghani, A.A. Ahmad M.S.S., Zakaria N.A. (2006), Multiple Linear Regression Model for Total Bed Material Load Prediction. *Journal Of Hydraulic Engineering*, ASCE.
- [5] Güven B., Akdoğan Z. (2016). Evaluation of Empirical Modelling Techniques for the Estimation of Sediment Amount in Rivers, *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 21(2).
- [6] Patel, S., Hardaha, M.K. Seetpal, M.K., Madankar, K.K. Multiple Linear Regression Model for Stream Flow Estimation of Wainganga River. *American Journal of Water Science and Engineering*. 2006, 2(1), 1-5.
- [7] Roushangar, K., Shahnazi, S. Prediction of sediment transport rates in gravel-bed rivers using Gaussian process regression. *Journal of Hydroinformatics*. 2020, 22(2).
- [8] Doroudi, S., Sharafati, A., Mohajeri, S.H., (2021). Estimation of Daily Suspended Sediment Load Using a Novel Hybrid Support Vector Regression Model Incorporated with Observer-Teacher-Learner-Based Optimization Method, *Hindawi Complexity*, 2021, 13.s.
- [9] Harun, M.A., Safari, M.J.S., Gul, E., Ghani, A.A., (2021). Regression models for sediment transport in tropical rivers, *Environmental Science and Pollution Research*.
- [10] Ariffin, J. Development of sediment transport models for rivers in Malaysia using regression analysis and artificial neural network. 2004, Universiti Sains Malaysia, Penang, (Doktora Tezi).
- [11] Lukman, M., Tanan, B., Saing, Z. Transport Sediment Analysis Using Bed-load: Case Study Bilibili Reservoir. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, David Publishing Company. 2020, 8(4), 456-465 s.

- [12]Noori, R., Ghiasi, B., Salehi, S., Bidhendi, M.E., Raeisi, A., Partani, S., Meysami, R., Mahdian, M., Hosseinzadeh, M., Abolfathi, S., (2022). An Efficient Data Driven-Based Model for Prediction of the TotalSediment Load in Rivers. Hydrology, 9, 36.
- [13] <https://www.greenspec.co.uk/building-design/sewers-london-paris/>, erişim 29.04.2023
- [14] Pty.Ltd.,Non-Circular GRP (Glass Reinforced Polyester) Pipe and Fittings, 2023, Sydney, AU and Erciyas Steel Pipe Co.İstanbul,TR.
- [15] İlbank, Altyapı Uygulama Daire Başkanlığı Mühendislik El Kitabı, 2021
- [16] MPA Precast, <https://www.precastdrainage.co.uk/members>, erişim: 29.04.2023
- [17] CPM, <https://www.cpm-group.com/products/drainage/concrete-pipes/ovoid-pipes/>, erişim: 10.02.2023.
- [18] Budaplast,http://www.budaplast.hu/valasztek_en.html, erişim: 15.01.2022.
- [19]Channeline,https://channeline-international.com/images/pdf/Channeline_Broc_hure_2020.pdf
- [20] Şekerdag, N. Su Getirme ve Kanalizasyon Problemleri. Nobel yayıncılık, Ankara, 2017, 291s.
- [21] Samsunlu, A. Su Getirme ve Kanalizasyon Yapıtlarının projelendirilmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, MM/ÇEV-86, EY, 97. İzmir, 1986.
- [22] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Atıksu Toplama ve Uzaklaştırma Sistemleri Hakkında Yönetmelik, EK-1:Kanalizasyon Sistemlerinin Etüt, Planlama ve Projelendirilmesine İlişkin Teknik Esaslar, 2017, 52 s.
- [23] NCEES Fundamentals of Engineering (FE), Reference Handbook, 2018.
- [24] Design and Construction of Sanitary and Storm Sewers, Water Pollution Control Federation and American Society of Civil Engineers, 1970.
- [25] <https://www.engineeringenotes.com/sanitary-engineering/design-of-egg-shaped-sewers-with-diagram-sanitary-engineering/17043#>, erişim: 20.04.2023
- [26] Qasim, S.R. Wastewater Treatment Plants. Routledge, Boca Raton, 2017,1128 s.
- [27] Collier, J.G., Thome J.R. Convective Boiling and Condensation Third Edition. Oxford University Pres Inc, New York, 1996, 640 s.
- [28] Baker, W.D. Making Movies: A Challenge To Superior Students. J. of Communication. 1954, 4(1), 23-26.
- [29] Chaudhry, M.H., Applied Hydraulic Transients, Springer, 2014, 583 s.

- [30] Yüksel, Y. Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik. Beta Basım Yayım, İstanbul, 2014, 1003 s.
- [31] Shields, A. Application of Similarity Principles and Turbulence Research to Bed-Load Movement. California Institute of Technology, Pasadena, 1936.
- [32] Bayazıt, M. Hareketli Tabanlı Akımların Hidroliği. İTÜ İnşaat Fakültesi matbaası, İstanbul, 1971, 250 s.
- [33] Yang, S.Q.,(2005). Formula for Sediment Transport in Rivers, Estuaries, and Coastal Waters. Journal of Hydraulic Engineering, 131(11), 968-979.
- [34] Doğan, E. (2008). Akarsularda Taşınan Toplam Katı Madde Miktarının Yapay Zeka Metotları İle Tahmin Edilmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 194s (Doktora tezi).
- [35] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Yağmursuyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri Hakkında Yönetmelik, EK: Yağmursuyu kanalizasyon sistemlerinin etüt planlama ve projelendirilmesine ilişkin usul ve esaslar, 2017
- [36] BS 8005: Part 1: 1987: Guide to new sewerage construction: British Standards Institution
- [37] https://www.engineeringtoolbox.com/sewage-piping-systems-d_568.html, erişim: 20.04.2023
- [38] The Standard Handbook of Environmental Engineering, 2nd Edition, 2004 Chapter Six, Page 6.44, Hydraulic Design for Sanitary Sewers states.
- [39] <https://docplayer.biz.tr/104822616-Acik-kanal-nehir-akisi.html>, erişim: 10.04.2023
- [40] Hosseini, S.M. and Ghasemi, A. Hydraulic performance analysis of sewer systems with uncertain parameters, 2012J, urnal of Hydroinformatics 14(3):682.
- [41] <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/rasum/latest/introduction-to-hec-ras>,
- [42] Talreja J., Yadav S.M. and Waikhom S. (2013) “Estimating the Sediment Transport Capacity Using HEC-RAS”, International Global Research Analyses (GRA), Vol. 2 (4), 2013.
- [43] Regulwar.D.G., Patil,K.A., Sadgir,P.A.,Sustainable Water Resources Development and Management, Proceedings of the 3rd National Conference SWARDAM, India Publisher, 2016.

- [44] Aydın, M.C. Altın alışı dolusavak havalandırıcıların CFD analizi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Elazığ, 2005, 156 s. (Doktora tezi).
- [45] Gümüş, V. , Şimşek, O. , Soydan, N. G. , Kırkgöz, M. S. & Aköz, M. S. Akışkan Hacimleri Yöntemiyle Yapılan Sayısal Modellemelerde Yan Duvar Etkisinin İncelenmesi . Harran Üniv. Mühendislik Dergisi, 3 (3) , 15-21.
- [46] Hirt, C.W., Nichols, B.D. Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries. Journal of Computational Physics. 1981, 39(1), 201-225.
- [47] Moukalled, F., Mangani, L., Darwish, M. The Finite Volume Method in Computational Fluid Dynamics, Springer, 2016, Volume 113.
- [48] Okyay, G. Utilization of CFD tools in the design process of a Francis türbine. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara, 2010, 124 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [49] Bardakçı, A.T. Dalgalı Kanatlı Isı Değiştiricilerinin Isıl ve Hidrolik Performansının Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yaklaşımı ile İncelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, 2018, 86 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [50] Zienkiewicz, O.C., Taylor, L.R., Finite Element Method, Vol:3-Fluid Dynamics, Mc.Graw Hill., Butterworth Heinemann, Oxford, 2000.
- [51] RANS equations, [https://en.wikipedia.org/wiki/Reynolds-averaged_Navier%E2%80%93Stokes_equations#Applications_\(RANS_modelling\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Reynolds-averaged_Navier%E2%80%93Stokes_equations#Applications_(RANS_modelling))
- [52] K-epsilon turbulence model , https://en.wikipedia.org/wiki/K-epsilon_turbulence_model
- [53] Swaffield, J. A. Application Of he Method Of Characteristics To Predict Attenuation In Unsteady Partially Filled Pipe Flow, 1982,U.S. Department Of Commerce.
- [54] Lohrasbi, A.R. and Attarnejad, R. Water Hammer Analysis by Characteristic Method, American J. of Engineering and Applied Sciences 1 (4): 287-294, 2008.
- [55] Tezcan, T., Gökkuş, Ü., Sınır, G. Analysis Of Unsteady Flow In Complex Pipe SystemBy The Method Of Characteristics. Mathematical&Computational Applications, 1998, Vol.3, No 1, 27-36 p.
- [56] Wylie, E.B. The Microcomputer and Pipeline Transients, Americall Sodefy ofCivil Engineers, Journal of Hydraulic Engineering, 1989, 109, 1723-39.

- [57] Watters, G.Z. Analysis and Control of Unsteady Flow in Pipelines, Butterworths Co. 1983.
- [58] Harbari, B. Rüzgâr türbini kulesi montajı için kaldırma aparatlarının tasarım, analiz ve imalatı, İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 2019
- [59] Samant, S.Y., Kumar, S., Jain, K. K., Behera, S. K., Gandhi, D., Raghavendra, S., and Kalita, K. Design Of Suspension System For Formula Student Race Car. Procedia Engineering, 2016, 144, 1138-1149 p.
- [60] Loginovsky, A. N., And Khmarova, L. I. 3d Model Of Geometrically Accurate Helical-Gear Set. Procedia Engineering, 2016, 150, 734-741 p.
- [61] Langhaar, H., Dimensional Analysis and Theory of Models, New York: John Wileyand Sons, 1951.
- [62] Middleton, G.V.,and Southard, J.B., Mechanics of Sediment Movement. Short Course No. 3: Tulsa, OK, Soc. Econ. Paleont. and Mineral, 1984.
- [63] Banasiak, R. Hydraulic performance of sewer pipes with deposited sediments. Water Science & Technology-WST. 2008, 57, 1743-1748.
- [64] Yang, S.Q.,(2005). Formula for Sediment Transport in Rivers, Estuaries, and Coastal Waters. Journal of Hydraulic Engineering, 131(11), 968-979.
- [65]https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/2154/mod_resource/content/2/konu8a.pdf
- [66].Butler, D., Davies, J. Urban Drainage, 2nd ed., CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2004.
- [67] Soğancı, S., Tutkun, M.O. Akış Analizleri (CFD) ve Mühendislik Süreçlerine Katkıları. 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 17-20 Nisan 2019, İzmir
- [68]https://cdn-acikogretim.istanbul.edu.tr/auzefcontent/20_21_guz/biyoistatistik/13/index.html
- [69] Zorşahin, M. Polinom ve polinom olmayan spline fonksiyonlar yardımıyla bazı kısmi diferensiyel denklemlerin sayısal çözümleri, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst, Matematik ABD, 2009, Eskişehir, 103 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [70] Kiusalaas, J. Numerical Methods In Engineering With Matlab, 2005, Cambridge University press Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, São Paulo.
- [71]<https://towardsdatascience.com/numerical-interpolation-natural-cubic-spline-52c1157b98ac>

EKLER

EK A. Star CCM⁺ PROGRAMI DOĞRULAMA ÇALIŞMALARI

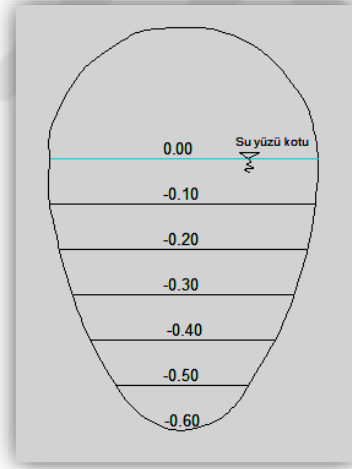
Çalışmada kullanılan CFD programının doğrulanması amacıyla;

Hec-Ras Programı – Star CCM⁺ Karşılaştırması,
Ansys Fluent – Star CCM⁺ Karşılaştırması,
Standart Adım Yöntemi- Star CCM⁺ Karşılaştırması,
Karakteristikler Yöntemi (MOC)- Star CCM⁺ Karşılaştırması,

yapılmıştır. Bu çalışma ile Star CCM⁺ programının güvenilirliğinin doğrulanması amaçlanmıştır.

A.1. HEC-RAS Programı – STAR CCM⁺ Karşılaştırması

Çalışmada 600mmx900 mm boyutlarındaki boru hattının serbest yüzeyi akış durumuna göre her iki programda karşılaştırılması yapılmıştır. Şekil A.1’de su yüzü kotu 0.00, taban kotu -0.60 alınarak şekil tanımlaması yapılmıştır. Buna göre; su hızı: 0.41 m/s ve su yüzü kotu tabandan 0.60 m yüksekliğinde (0.00 kotu) verilerle çalışılmıştır. Su yüzü kotuna göre ıslak alan: 0.27 m² olup, giriş debisi 0.11 m³/s hesaplanmıştır.



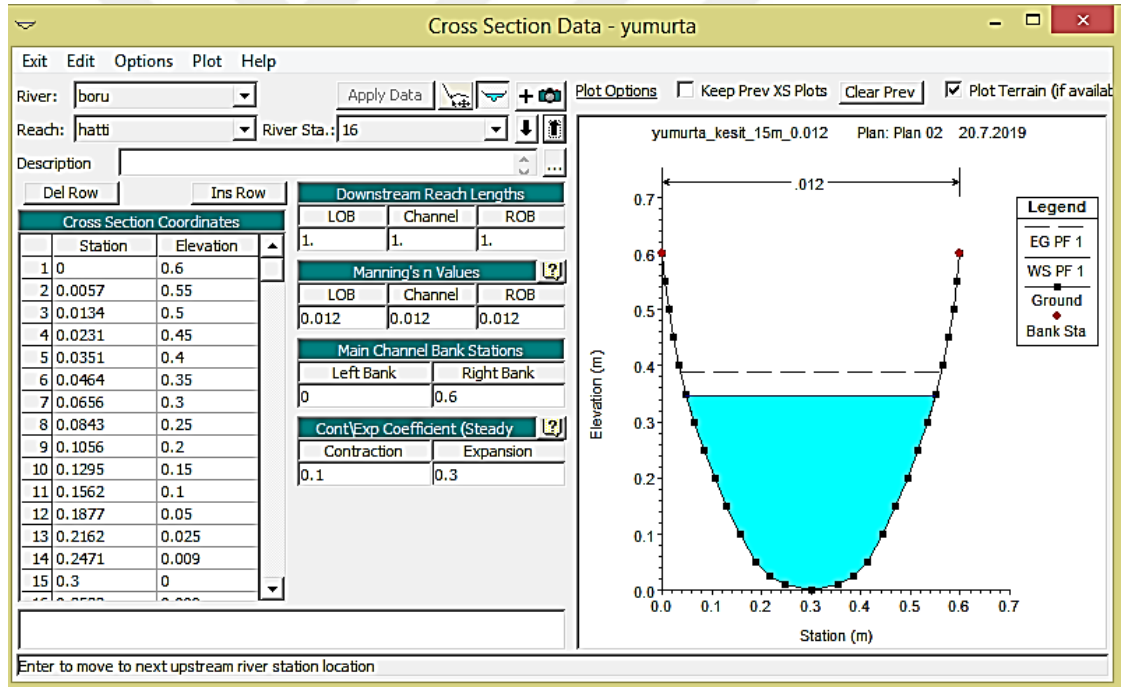
Şekil A.1 600x900mm yumurta kesiti

Çalışmada 600x900 mm boyutlarındaki serbest yüzeyli boru hattı kesit HEC-RAS çıktıları ile karşılaştırılarak Tablo A.1’de verilmiştir. HEC-RAS ta nehir rejimli problemlerde mansaptan membaya doğru kesitler oluşturulduğu için 1 nolu kesit mansap kesitini temsil etmektedir.

Tablo A.1. 600x900 mm yumurta kesit $h_{akış}$ (m) ve V_{ort} (m/s) değerleri

Kesit no	Star CCM+ $h_{akış}$ (m)	HEC-RAS $h_{akış}$ (m)	Star CCM+ V_{ort} (m/s)	HEC-RAS V_{ort} (m/s)	Kesit no	Star CCM+ $h_{akış}$ (m)	HEC-RAS $h_{akış}$ (m)	Star CCM+ V_{ort} (m/s)	HEC-RAS V_{ort} (m/s)
1	0.26	0.27	1.33	1.35	9	0.32	0.33	1.00	1.01
2	0.29	0.29	1.15	1.17	10	0.33	0.33	0.98	0.99
3	0.30	0.30	1.14	1.14	11	0.33	0.33	0.98	0.98
4	0.30	0.30	1.12	1.11	12	0.33	0.33	0.97	0.96
5	0.30	0.31	1.10	1.08	13	0.34	0.34	0.94	0.95
6	0.32	0.31	1.02	1.06	14	0.34	0.34	0.93	0.94
7	0.32	0.32	1.01	1.04	15	0.34	0.24	0.92	0.93
8	0.32	0.32	1.00	1.02	16	0.35	0.35	0.90	0.92

HEC-RAS programında oluşturulan yumurta kesit açık kanal şeklinde Şekil A.2’de gösterilmiştir.

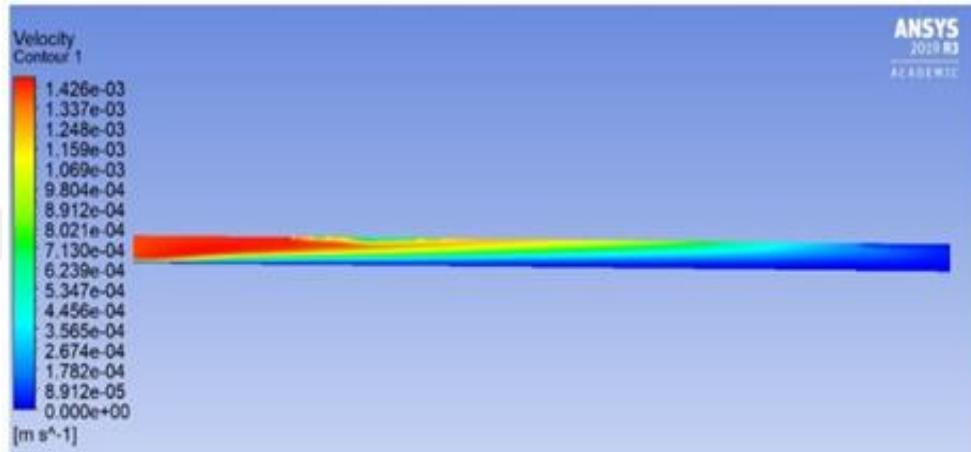


Şekil A.2 HEC-RAS kesit görünümü

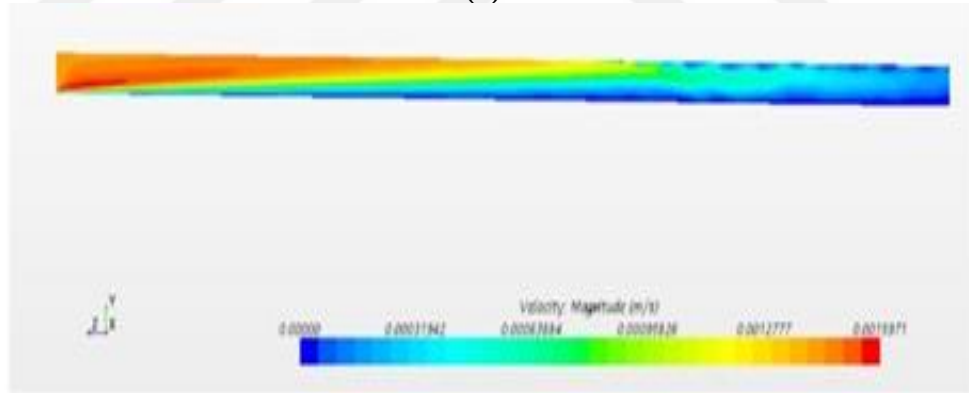
Nehir rejimli ve serbest yüzeyli 600x900 mm lik yumurta kesitin Star CCM⁺ programı ile hesaplanan değerlerle HEC-RAS programı sonucu çıkan değerleri birbiri ile örtüşmektedir. Bu durum karşılaştırma sonuçlarının doğru olduğunu ortaya koymuştur.

A.2. Ansys Fluent – Star CCM⁺ Karşılaştırması

Ansys Fluent ile Star CCM⁺ yazılımları hesaplamalı akışkanlar dinamiği çözümleri için oluşturulmuştur programlardır. Akışkanın fiziksel özelliklerine göre her iki program arasında karşılaştırma çalışmaları yapılmıştır. Amaç Star CCM⁺ programının doğrulanması olup, eşdeğer amaca hizmet veren Ansys Fluent programı ile sonuçların karşılaştırılmasıdır. Bu bağlamda, 600x900 mm boyutlarında yumurta kesitli, 20 m uzunluğundaki, 1/100 eğimli boru hattı ele alınmıştır. Çalışma laminar ve türbülanslı akım ile tek ve iki fazlı akışın karşılaştırılmasına dayanmaktadır. 1 nolu çalışmada; açık kanal, kararlı akım, laminar akışta pürüzsüz kanal alınmış ve tek fazlı (su) boru hattı değerlendirilmiştir (Şekil A.3). Şekil A.4'te ise hız profilleri verilmiştir.

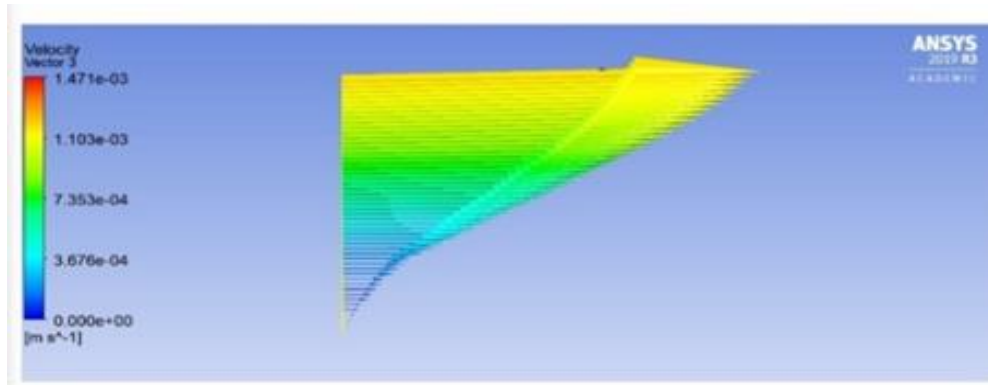


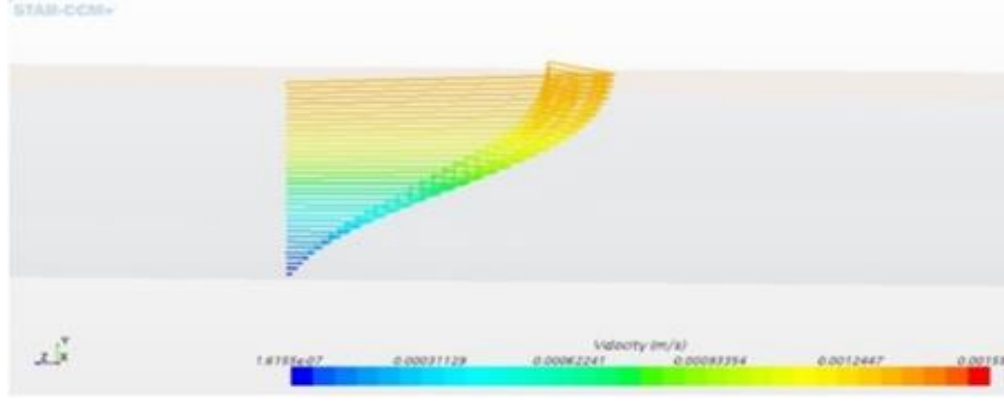
(a)



(b)

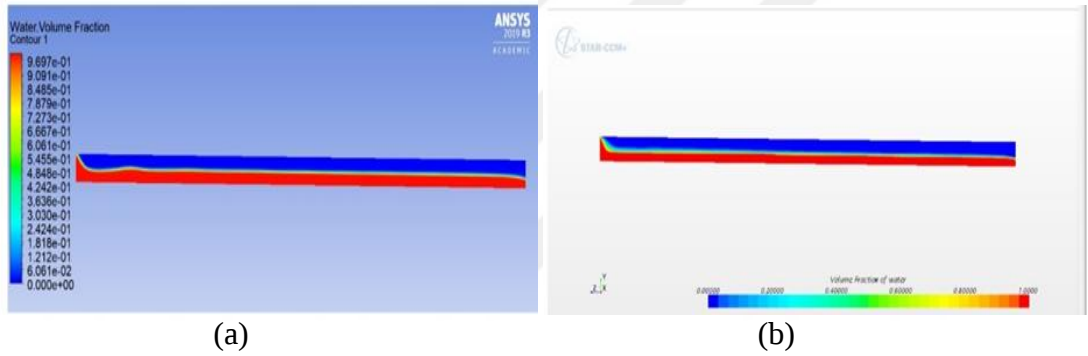
Şekil A.3 Boru hattına ait (a) Ansys Fluent, (b) Star CMM+ hız değerleri



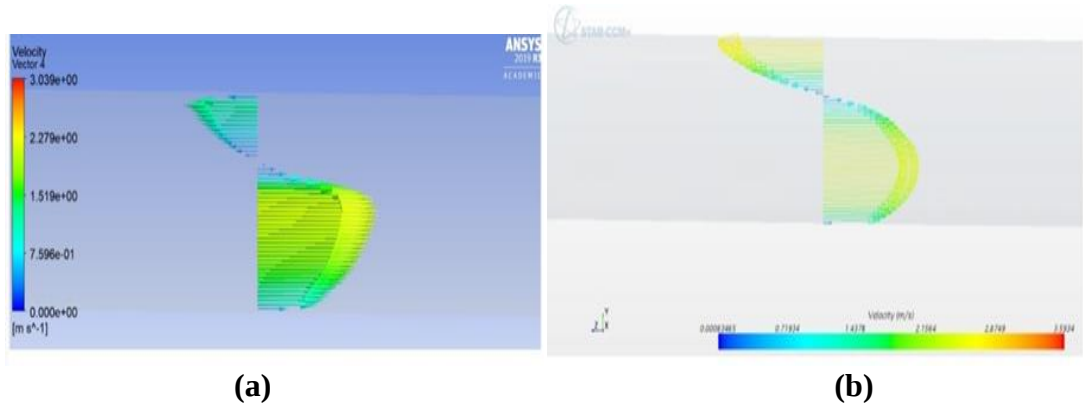


(a) (b)
Şekil A.4 Boru ortası hız profilleri, (a) Star CCM+, (b)Ansys Fluent

2 nolu çalışmada; kapalı kanal, kararsız akım, türbülanslı akışta tabanı kum ve yanları yüzeyleri beton kanal alınmış ve iki fazlı (su+hava) boru hattı değerlendirilmiştir (Şekil A.5). Hız profilleri ise Şekil A.6’da verilmiştir.



(a) (b)
Şekil A.5 Boru hattına su hacmi, (a)Star CCM+, (b)Ansys Fluent



(a) (b)
Şekil A.6 Boru ortası hız profilleri, (a) Star CCM++, (b)Ansys Fluent

Karşılaştırma çalışmalarına göre laminar akışta $V_{ansys} = 0.013$ m/s, $V_{star} = 0.012$ m/s ve türbülanslı akışta $V_{ansys} = 2.08$ m/s, $V_{star} = 2.25$ m/s çıkmış olup, hız değerleri karşılaştırılan tek ve 2 fazlı akışa göre birbiri ile uyum göstermektedir.

A.3. Standart Adım Yöntemi- STAR CCM⁺ Karşılaştırması

Çalışmada STAR CCM⁺ programı ile çıkan sonuçlar, standart adım yöntemi ile de hesaplanarak, 600mmx900mm kesitli, J=1/100 eğimli boru hattına göre çalışma yapılmıştır. Çalışma sonuçları Tablo A.2.'de yer almaktadır.

Tablo A.2. Standart Adım Yöntemi ve STAR CCM⁺ karşılaştırması(n=0.02,α=1.00)

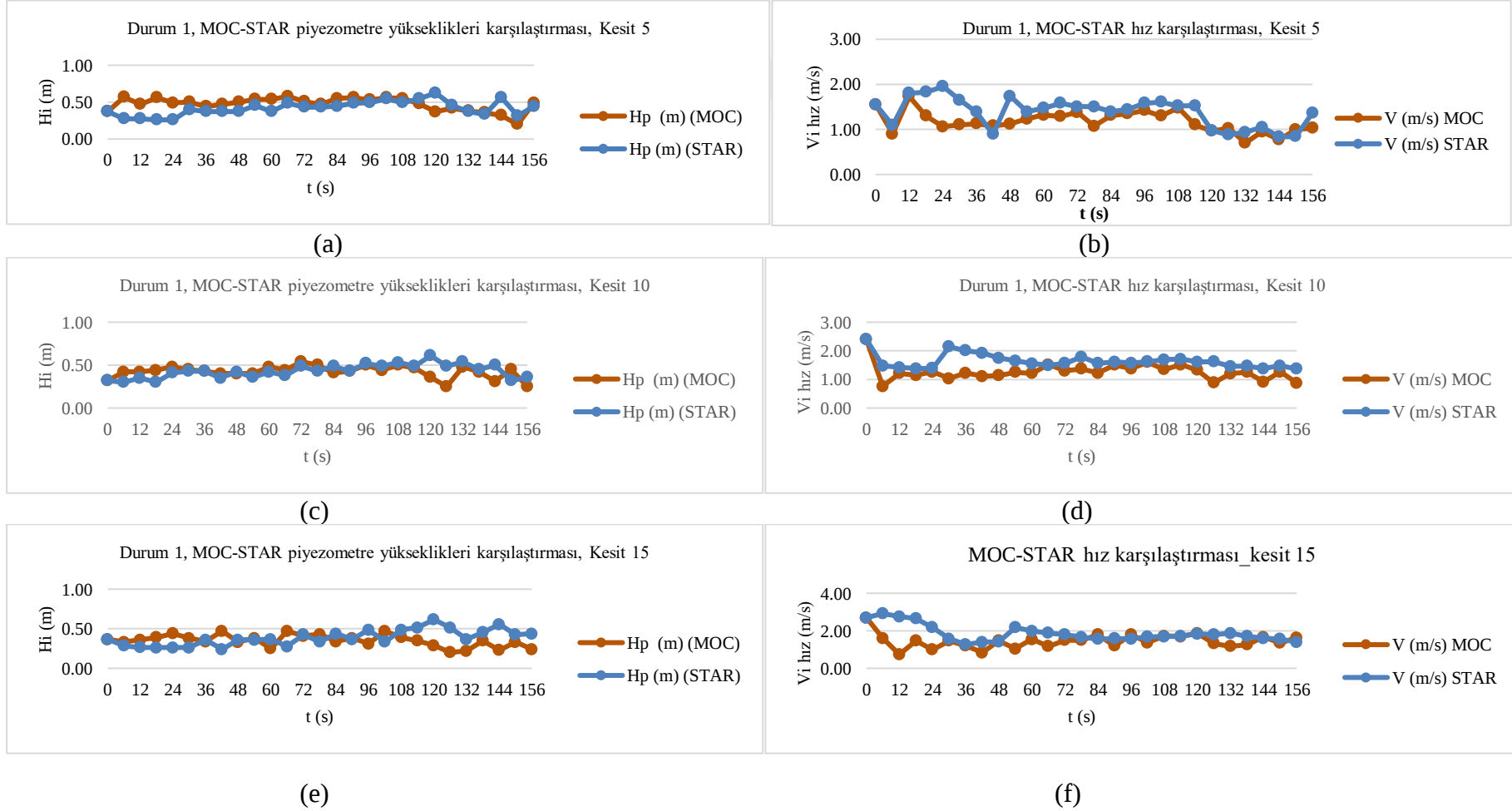
Q (m ³ /s)	Kesit	H _{STD} (m)	H _{STAR} (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	R ^{2/3}	K (m ³ /s)	K ³ /A ²	V _{STD} (m/s)	V _{STAR} (m/s)	αV ² /2g	H (m)	J _e = Q ² /k ²	H (m)
0.26	20	0.35	0.35	0.13	0.92	0.14	0.26	0.002	0.0000003						
				0.13	0.92	0.14		0.002	0.0000003	2.11	2.56	0.23	0.6	0.02539	0.6
	15	0.40	0.39	0.16	1.02	0.15	0.29	0.002	0.0000005						
				0.16	1.02	0.15		0.002	0.0000005	1.69	1.40	0.15	0.6	0.01398	0.6
	10	0.40	0.38	0.16	1.02	0.15	0.28	0.002	0.0000004						
				0.16	1.02	0.15		0.002	0.0000004	1.70	1.36	0.15	0.6	0.01422	0.6
	5	0.45	0.45	0.18	1.12	0.16	0.30	0.003	0.0000006						
				0.18	1.12	0.16		0.003	0.0000006	1.46	1.37	0.11	0.6	0.00979	0.6
	0	0.67	0.68	0.30	1.59	0.19	0.33	0.005	0.0000013						
				0.30	1.59	0.19		0.005	0.0000013	0.89	1.13	0.04	0.7	0.00294	0.7

Standart adım yöntemi ile STAR CCM⁺ çalışması verileri karşılaştırıldığında su yükseklikleri ve hız verileri birbirine yakın değerlerde hesaplanmıştır. Bu karşılaştırmadaki standart adım yöntemi kararlı akış durumunda kullanılmaktadır.

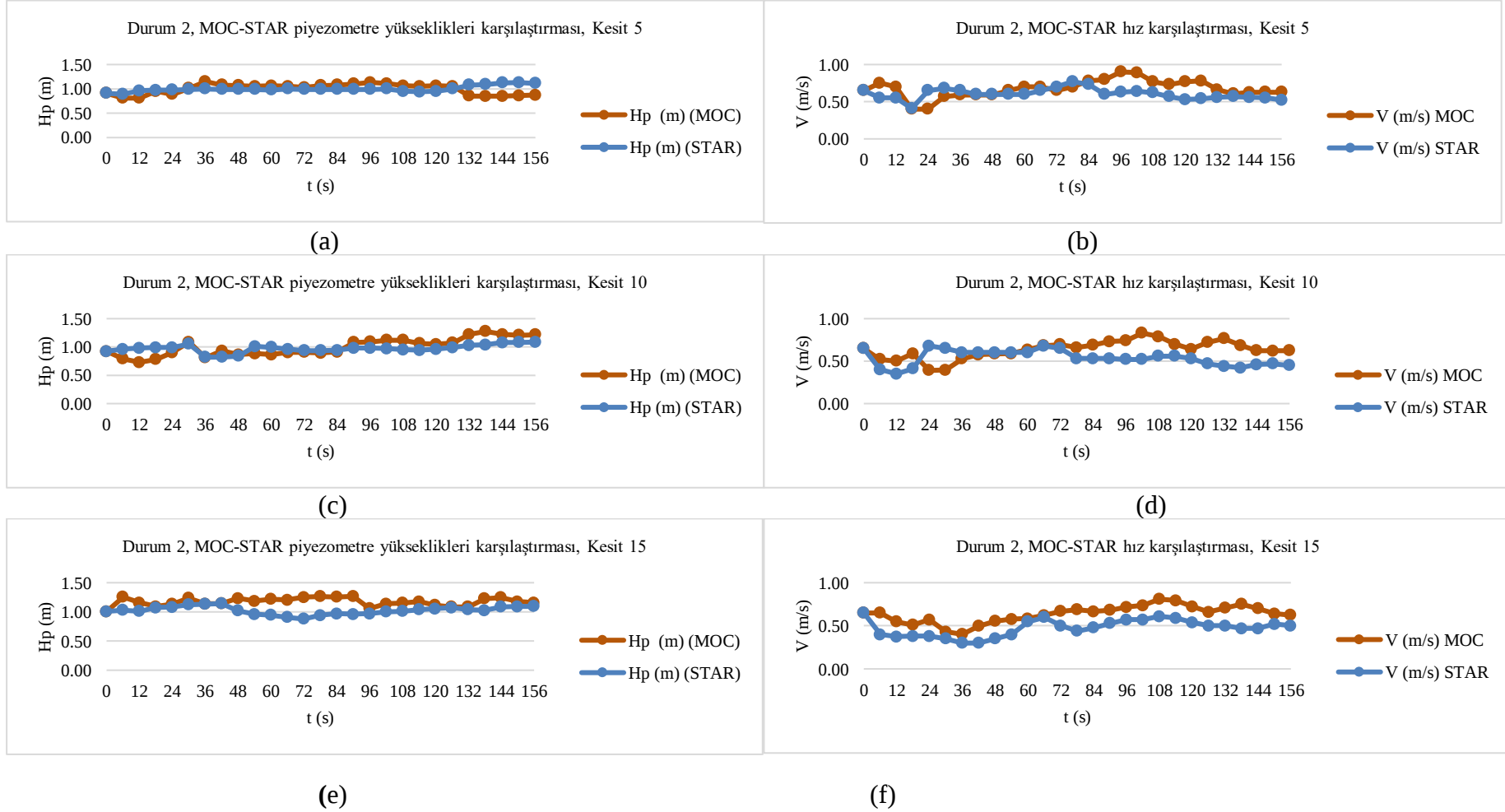
A.4. Karakteristikler Yöntemi- Star CCM⁺ Karşılaştırması

Star CCM⁺ programı çıktıların doğrulanması amacıyla 4 farklı duruma göre çalışma yapılmıştır. Buradaki amaç farklı boru hattındaki farklı akış durumlarına göre programın sonuçlarının karakteristikler yöntemi ile de hesaplanarak, sonuçların karşılaştırılmasıdır.

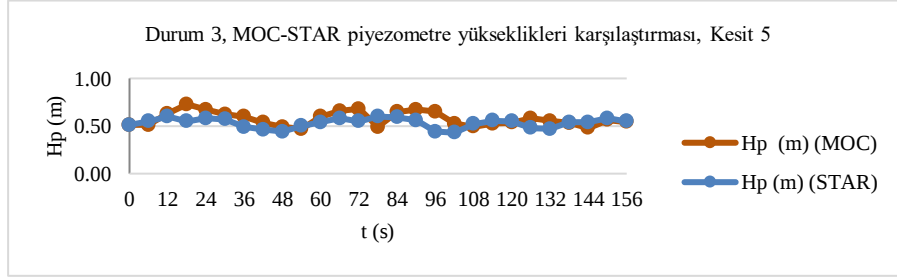
4 farklı duruma ait değerler için karakteristikler yöntemi ile de hesaplamalar yapıldığından öncelikle kararlı duruma göre giriş ve çıkış kısmı dolu/tam dolu halleri ile Star CCM⁺ de boru hattı oluşturulmuştur. Daha sonra zamana bağlı değişen hız değerlerine göre t=156 s çalışılarak her 5 m de bir akış yükseklikleri ve hız değerleri alınmıştır. Her kesitte sediment ve akış yüksekliklerine göre kompozit manning hesabı yapılmıştır. Daha sonra karakteristikler yöntemi (MOC) çalışması ile 6 s'de bir hesaplanan piyezometre ve akış hızları ile Star CCM⁺ ile hesaplanan değerler ortaya konmuştur. Bu hesaplamalar sedimentsiz temiz su akışını içermektedir (Şekil A.7, Şekil A.8., Şekil A.9., Şekil A.10.).



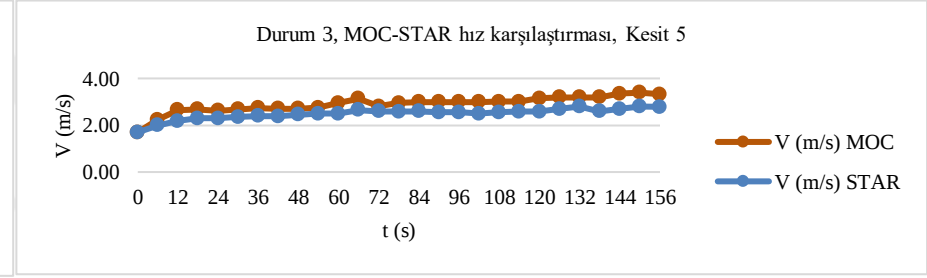
Şekil A.7 Durum 1 MOC-Star CCM++ H_p ve V karşılaştırma grafikleri, (a)(b) Kesit 5, (c)(d) Kesit 10, (e)(f) Kesit 15



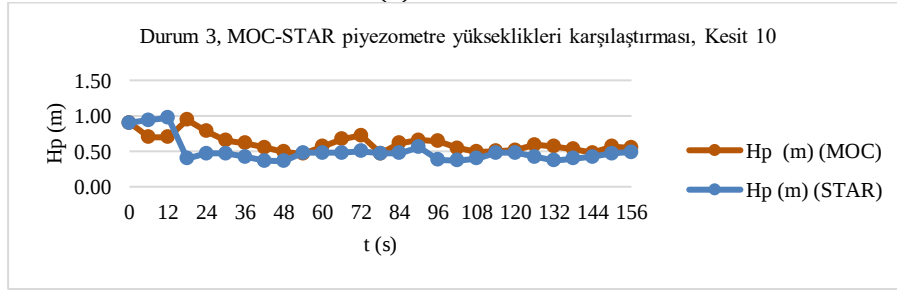
Şekil A.8 Durum 2 MOC-Star CCM++ H_p ve V karşılaştırma grafikleri(a)(b) Kesit 5, (c)(d) Kesit 10,(e)(f) Kesit 15



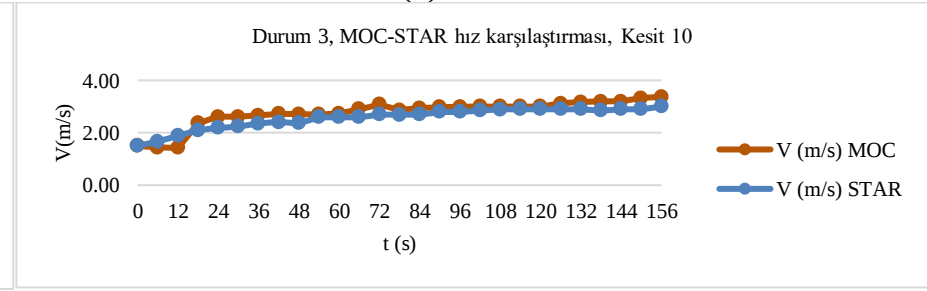
(a)



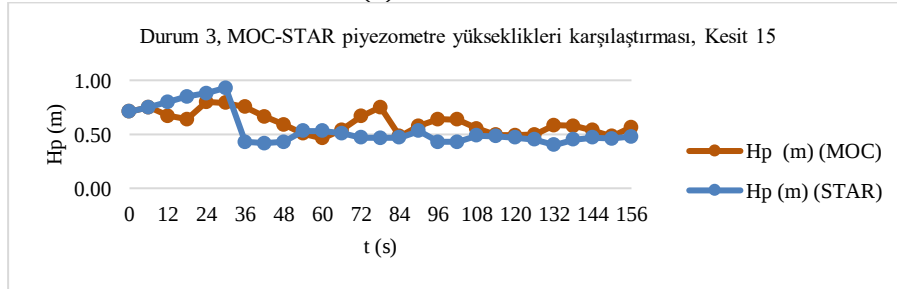
(b)



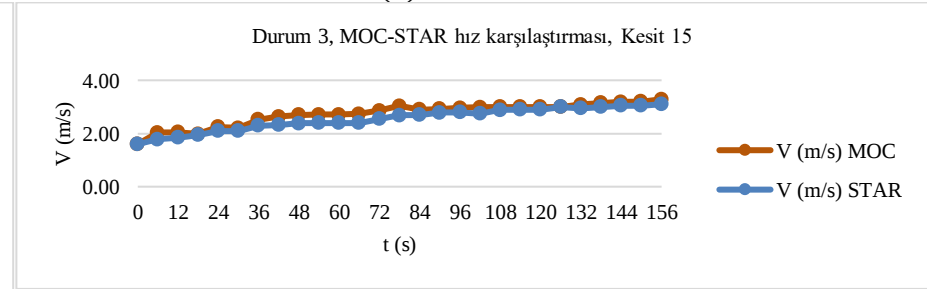
(c)



(d)

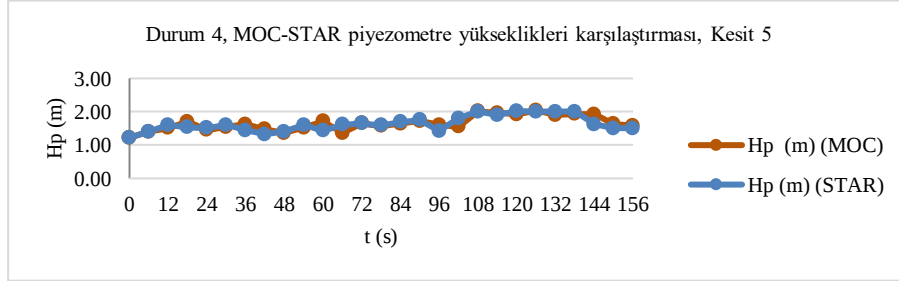


(e)

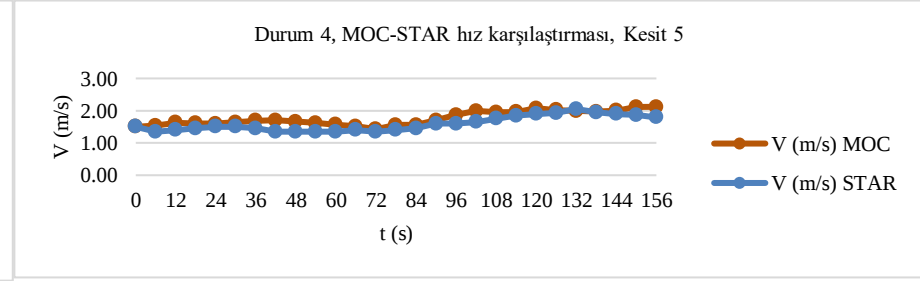


(f)

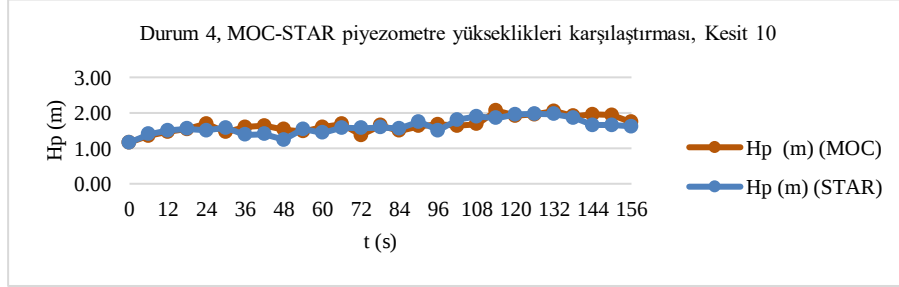
Şekil A.9 Durum 3 MOC-Star CCM++ H_p ve V karşılaştırma grafikleri(a)(b) Kesit 5, (c)(d) Kesit 10,(e)(f) Kesit 15



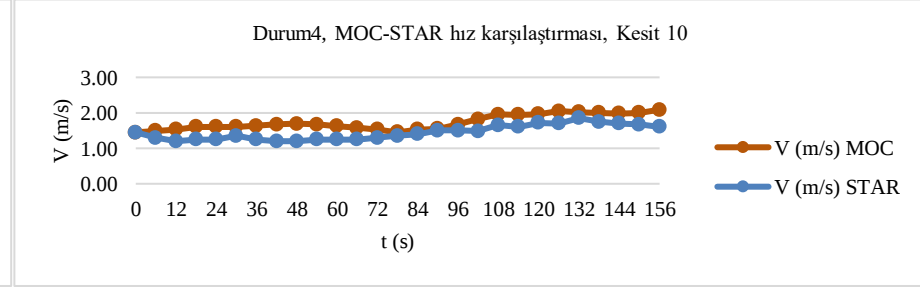
(a)



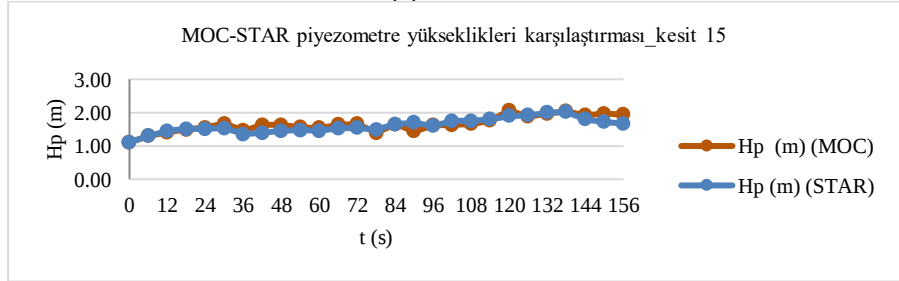
(b)



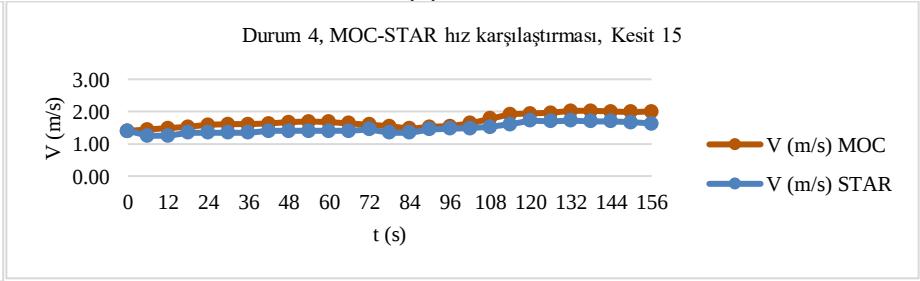
(c)



(d)



(e)

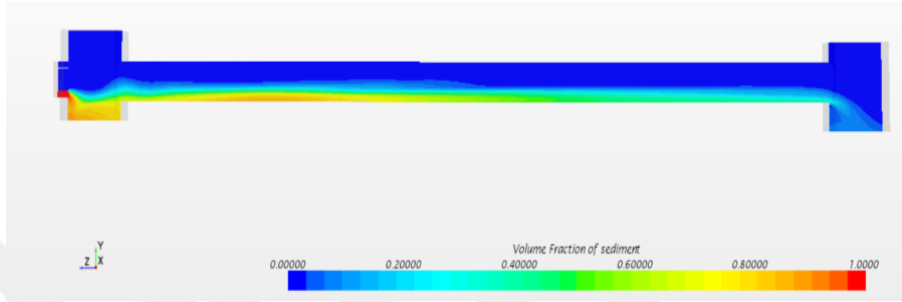


(f)

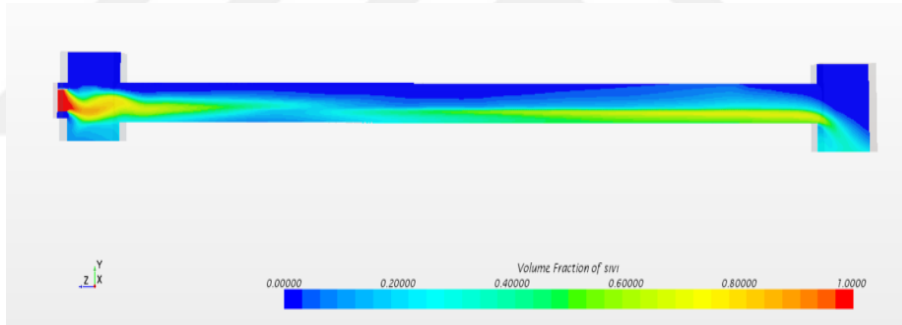
Şekil A.10 Durum 4 MOC-Star CCM++ H_p ve V karşılaştırma grafikleri(a)(b) Kesit 5, (c)(d) Kesit 10,(e)(f) Kesit 15

Çalışmada 4 farklı duruma göre karşılaştırma yapılmış olup, her duruma ait boru hattının giriş ve çıkışının kısmi dolu/serbest yüzeyli olması kabulleri dikkate alınmıştır. Tablo A.3. ve A.4.'te kesitlere göre n_{kompozit} hesapları gösterilmiştir. Hesaplarda sediment taban dikkate alınmış, sedimentin tepe noktası boru tabanını temsil etmiştir. Bu sebeple bu çalışma verileri sedimentli olarak Star CCM⁺-MOC ile karşılaştırılmıştır.

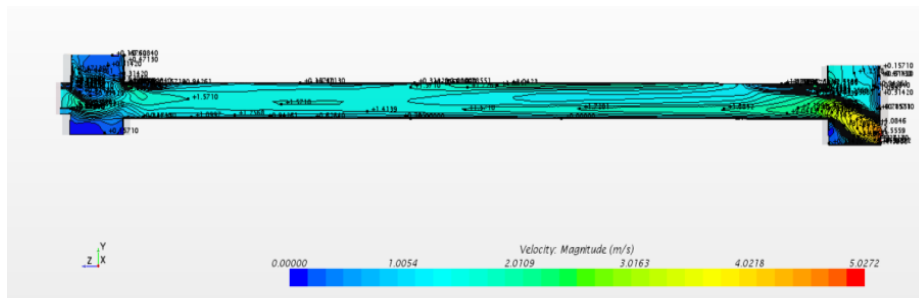
Durum 1'e ait karşılaştırma çalışmasına ait sediment birikimi Şekil A.11'de, akışkan görünümü Şekil A.12'de ve hız dağılımları boykesiti ise Şekil A.13'te verilmiştir.



Şekil A.11 Durum 1 karşılaştırma çalışması sediment birikimi



Şekil A.12. Durum 1 karşılaştırma çalışması akışkan görünümü



Şekil A.13. Durum 1 karşılaştırma çalışması hız dağılımları

Tablo A.3. Durum 1 Kesit 0 n_{kompozit} hesabı

KESİT 0 t (s)	$V_{\text{akışkan}}$ STAR (m/s)	h_{su} (m)	h_{sediment} (m)	n_{boru}	$h_{\text{atıksu}}$ (m)	$P_{\text{atıksu}}$ (m)	n_{sediment}	$P_{\text{sediment(m)}}$	$P_{\text{top(m)}}$	A_{sedim} (m ²)	$A_{\text{atıksu}}$ (m ²)	A_{top} (m ²)	$R_{\text{atıksu}}$ (m)	n_{kompozit}	Jenerji HESAP	$V_{\text{atıksu}}$ HESAP (m/s)	T yüzey genişliği (m)	Q debi (m ³ /s)STAR
0	0.92	0.56	0.34	0.020	0.22	0.46	0.034	0.49	0.95	0.05	0.07	0.13	0.13	0.028	0.010	0.92	0.59	0.12
6	1.27	0.59	0.34	0.020	0.25	0.52	0.034	0.49	1.01	0.06	0.04	0.10	0.10	0.027	0.028	1.27	0.49	0.12
12	1.12	0.66	0.34	0.020	0.32	0.80	0.034	0.49	1.29	0.08	0.10	0.18	0.14	0.026	0.012	1.12	0.57	0.20
18	0.99	0.54	0.33	0.020	0.21	0.46	0.034	0.48	0.94	0.05	0.03	0.08	0.09	0.028	0.020	0.99	0.59	0.08
24	1.09	0.54	0.31	0.020	0.23	0.48	0.034	0.46	0.94	0.05	0.07	0.13	0.14	0.027	0.013	1.09	0.58	0.14
30	0.95	0.53	0.31	0.020	0.22	0.48	0.034	0.46	0.94	0.05	0.07	0.12	0.12	0.027	0.011	0.95	0.57	0.11
36	1.05	0.53	0.23	0.020	0.30	0.62	0.034	0.41	1.03	0.06	0.10	0.16	0.15	0.026	0.009	1.05	0.58	0.16
42	1.13	0.56	0.20	0.020	0.36	0.76	0.034	0.37	1.13	0.07	0.10	0.17	0.15	0.025	0.010	1.13	0.58	0.19
48	1.19	0.61	0.20	0.020	0.41	0.84	0.034	0.39	1.23	0.08	0.13	0.21	0.17	0.025	0.009	1.19	0.59	0.25
54	1.21	0.61	0.20	0.020	0.41	0.84	0.034	0.39	1.23	0.08	0.13	0.21	0.17	0.025	0.010	1.21	0.58	0.25
60	1.25	0.63	0.18	0.020	0.45	0.86	0.034	0.36	1.22	0.08	0.15	0.23	0.19	0.025	0.009	1.25	0.58	0.29
66	1.16	0.59	0.21	0.020	0.38	0.78	0.034	0.38	1.16	0.07	0.12	0.19	0.17	0.025	0.009	1.16	0.59	0.22
72	0.98	0.53	0.41	0.020	0.12	0.26	0.034	0.53	0.79	0.03	0.04	0.07	0.09	0.030	0.022	0.98	0.58	0.07
78	1.22	0.66	0.28	0.020	0.38	0.80	0.034	0.44	1.24	0.08	0.12	0.20	0.16	0.025	0.011	1.22	0.56	0.24
84	1.13	0.69	0.34	0.020	0.35	0.74	0.034	0.49	1.23	0.09	0.10	0.19	0.15	0.026	0.010	1.13	0.57	0.21
90	1.08	0.67	0.23	0.020	0.44	0.90	0.034	0.40	1.30	0.09	0.14	0.23	0.18	0.025	0.007	1.08	0.56	0.25
96	1.02	0.69	0.35	0.020	0.34	0.72	0.034	0.49	1.21	0.08	0.10	0.18	0.15	0.026	0.009	1.02	0.57	0.19
102	1.15	0.69	0.35	0.020	0.34	0.72	0.034	0.49	1.21	0.08	0.10	0.18	0.15	0.026	0.011	1.15	0.56	0.21
108	0.86	0.64	0.44	0.020	0.20	0.42	0.034	0.53	0.95	0.05	0.06	0.11	0.12	0.028	0.010	0.86	0.58	0.10
114	0.74	0.52	0.31	0.020	0.21	0.44	0.034	0.47	0.91	0.05	0.06	0.11	0.12	0.028	0.007	0.74	0.57	0.08
120	0.85	0.55	0.38	0.020	0.17	0.36	0.034	0.51	0.87	0.05	0.05	0.10	0.11	0.029	0.011	0.85	0.58	0.08
126	0.60	0.38	0.31	0.020	0.07	0.14	0.034	0.47	0.61	0.02	0.02	0.03	0.06	0.031	0.016	0.60	0.51	0.02
132	0.61	0.42	0.37	0.020	0.05	0.10	0.034	0.50	0.60	0.01	0.01	0.03	0.05	0.032	0.024	0.61	0.32	0.02
138	0.98	0.41	0.40	0.020	0.01	0.02	0.034	0.52	0.54	0.003	0.002	0.005	0.01	0.034	0.576	0.98	0.53	0.00
144	0.70	0.37	0.36	0.020	0.01	0.02	0.034	0.50	0.52	0.003	0.003	0.01	0.01	0.034	0.271	0.70	0.49	0.00
150	1.31	0.59	0.30	0.020	0.29	0.62	0.034	0.46	1.08	0.07	0.08	0.15	0.14	0.026	0.017	1.31	0.58	0.20
156	1.13	0.67	0.31	0.020	0.36	0.74	0.034	0.46	1.20	0.08	0.11	0.19	0.16	0.026	0.010	1.13	0.57	0.22

Tablo A.4. Durum 1, Durum2, Durum 3 ve Durum 4 ‘e ait n_{kompozit} değerleri

t (s)	Durum 1					Durum 2					Durum 3					Durum 4				
	Kesit 0	Kesit 5	Kesit 10	Kesit 15	Kesit 20	Kesit 0	Kesit 5	Kesit 10	Kesit 15	Kesit 20	Kesit 0	Kesit 5	Kesit 10	Kesit 15	Kesit 20	Kesit 0	Kesit 5	Kesit 10	Kesit 15	Kesit 20
	n_{komp}	n_{komp}	n_{komp}	n_{komp}	n_{komp}	n_{komp}	n_{komp}	n_{komp}	n_{komp}	n_{komp}	n_{komp}	n_{komp}	n_{komp}	n_{komp}	n_{komp}	n_{komp}	n_{komp}	n_{komp}	n_{komp}	n_{komp}
0	0.028	0.028	0.028	0.028	0.026	0.022	0.022	0.023	0.023	0.026	0.023	0.021	0.022	0.023	0.023	0.022	0.022	0.022	0.021	0.021
6	0.027	0.033	0.031	0.031	0.027	0.021	0.022	0.022	0.023	0.026	0.024	0.022	0.022	0.023	0.023	0.023	0.022	0.022	0.021	0.021
12	0.026	0.033	0.027	0.032	0.029	0.025	0.022	0.022	0.023	0.025	0.024	0.022	0.022	0.022	0.023	0.023	0.022	0.022	0.021	0.021
18	0.028	0.033	0.030	0.032	0.029	0.024	0.022	0.022	0.023	0.025	0.024	0.022	0.021	0.023	0.023	0.023	0.022	0.022	0.021	0.021
24	0.027	0.033	0.026	0.032	0.029	0.024	0.021	0.022	0.022	0.024	0.024	0.022	0.021	0.022	0.023	0.023	0.022	0.022	0.021	0.021
30	0.027	0.028	0.026	0.029	0.029	0.024	0.022	0.022	0.022	0.025	0.024	0.022	0.022	0.022	0.023	0.023	0.022	0.022	0.021	0.021
36	0.026	0.029	0.026	0.028	0.031	0.024	0.022	0.022	0.022	0.024	0.024	0.023	0.022	0.022	0.023	0.023	0.022	0.022	0.021	0.021
42	0.025	0.029	0.029	0.030	0.029	0.024	0.022	0.021	0.022	0.024	0.024	0.023	0.022	0.022	0.023	0.023	0.022	0.022	0.021	0.021
48	0.025	0.030	0.026	0.028	0.033	0.024	0.022	0.021	0.022	0.024	0.024	0.023	0.022	0.022	0.023	0.023	0.023	0.022	0.021	0.021
54	0.025	0.026	0.027	0.028	0.029	0.024	0.023	0.021	0.022	0.024	0.024	0.023	0.023	0.022	0.022	0.023	0.022	0.022	0.021	0.021
60	0.025	0.027	0.026	0.028	0.028	0.024	0.023	0.021	0.022	0.023	0.024	0.023	0.023	0.022	0.022	0.023	0.022	0.022	0.021	0.021
66	0.025	0.024	0.026	0.030	0.028	0.024	0.023	0.022	0.022	0.022	0.023	0.023	0.023	0.022	0.022	0.023	0.022	0.022	0.021	0.021
72	0.030	0.026	0.025	0.027	0.027	0.025	0.023	0.022	0.022	0.023	0.023	0.024	0.023	0.022	0.022	0.023	0.022	0.022	0.022	0.022
78	0.025	0.024	0.025	0.027	0.029	0.025	0.023	0.022	0.022	0.024	0.023	0.024	0.023	0.023	0.023	0.023	0.022	0.022	0.022	0.022
84	0.026	0.028	0.025	0.026	0.028	0.025	0.023	0.022	0.022	0.023	0.023	0.024	0.023	0.023	0.023	0.023	0.022	0.022	0.022	0.022
90	0.025	0.026	0.025	0.026	0.028	0.025	0.023	0.022	0.022	0.023	0.023	0.024	0.024	0.023	0.023	0.023	0.022	0.022	0.022	0.022
96	0.026	0.028	0.025	0.026	0.028	0.025	0.023	0.022	0.022	0.023	0.024	0.024	0.024	0.023	0.024	0.023	0.022	0.022	0.022	0.022
102	0.026	0.026	0.025	0.026	0.028	0.025	0.023	0.023	0.022	0.025	0.023	0.024	0.024	0.023	0.024	0.023	0.022	0.022	0.022	0.022
108	0.028	0.028	0.025	0.025	0.028	0.025	0.024	0.023	0.023	0.023	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.023	0.022	0.022	0.022	0.022
114	0.028	0.027	0.025	0.024	0.026	0.025	0.024	0.023	0.023	0.022	0.023	0.024	0.024	0.024	0.024	0.023	0.022	0.022	0.022	0.022
120	0.029	0.033	0.025	0.024	0.026	0.025	0.024	0.023	0.023	0.022	0.023	0.024	0.024	0.024	0.024	0.023	0.022	0.022	0.022	0.022
126	0.031	0.029	0.026	0.024	0.025	0.024	0.024	0.023	0.023	0.022	0.023	0.024	0.024	0.024	0.024	0.023	0.022	0.022	0.022	0.022
132	0.032	0.032	0.028	0.025	0.027	0.024	0.023	0.023	0.023	0.022	0.023	0.024	0.024	0.024	0.024	0.023	0.022	0.022	0.022	0.022
138	0.034	0.032	0.028	0.025	0.024	0.024	0.023	0.023	0.023	0.022	0.023	0.024	0.024	0.024	0.024	0.023	0.022	0.022	0.022	0.022
144	0.034	0.027	0.026	0.026	0.026	0.023	0.023	0.023	0.023	0.022	0.023	0.024	0.024	0.024	0.025	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022
150	0.026	0.032	0.030	0.026	0.025	0.024	0.023	0.023	0.024	0.023	0.023	0.024	0.024	0.024	0.025	0.024	0.022	0.022	0.022	0.022
156	0.026	0.030	0.028	0.029	0.026	0.024	0.023	0.023	0.024	0.023	0.023	0.024	0.024	0.024	0.025	0.023	0.022	0.022	0.022	0.022

Hesaplanan kompozit manning hesaplamalarından sonra $t=0$ anındaki kararlı durumdaki Kesit 0 ve Kesit 20 ye ait hız ve piyezometre yüksekliklerinden faydalanılarak ara kesitlere ait piyezometre yükseklikleri ve hızları karakteristikler yöntemi serbest yüzeyli hesap esasları dikkate alınarak hesaplanmıştır. Tablo A.5.,A.6., A.7., A.8., A.9.'da karakteristikler yöntemi ile Star CCM⁺ ile hesaplanan hız, piyezometre yükseklikleri ve debileri verilmiştir.

Tablo A.5. Durum 1 Kesit 0 MOC- STAR CCM⁺ karşılaştırma

t (s)	L (m)	$h_{\text{akış STAR (m)}}$	n_c	R (m)	$V_{\text{akışkan m/s}}$	$V^2/2g$	$z_{1(m)}$	Piyezometre Yüksekliği (m)		$V_{\text{akış hızı (m/s) (m)}}$		$Q_{\text{debi(m}^3/\text{s)}}$	
								$H_{p\text{STAR (m)}}$	$H_{p\text{MOC (m)}}$	$V_{\text{MOC (m/s)}}$	$V_{\text{STAR (m/s)}}$	$Q_{\text{MOC (m}^3/\text{s)}}$	$Q_{\text{STAR (m}^3/\text{s)}}$
0	0	0.56	0.028	0.13	0.92	0.04	0.020	0.58	0.58	0.92	0.92	0.12	0.12
6	0	0.59	0.027	0.10	1.27	0.08	0.020	0.61	0.61	1.27	1.27	0.12	0.12
12	0	0.66	0.026	0.14	1.12	0.06	0.020	0.68	0.68	1.12	1.12	0.20	0.20
18	0	0.54	0.028	0.09	0.99	0.05	0.000	0.54	0.54	0.99	0.99	0.08	0.08
24	0	0.54	0.027	0.14	1.09	0.06	0.020	0.56	0.56	1.09	1.09	0.14	0.14
30	0	0.53	0.027	0.12	0.95	0.05	0.020	0.55	0.55	0.95	0.95	0.11	0.11
36	0	0.53	0.026	0.15	1.05	0.06	0.020	0.55	0.55	1.05	1.05	0.16	0.16
42	0	0.56	0.025	0.15	1.13	0.06	0.020	0.58	0.58	1.13	1.13	0.19	0.19
48	0	0.61	0.025	0.17	1.19	0.07	0.020	0.63	0.63	1.19	1.19	0.25	0.25
54	0	0.61	0.025	0.17	1.21	0.07	0.020	0.63	0.63	1.21	1.21	0.25	0.25
60	0	0.63	0.025	0.19	1.25	0.08	0.020	0.65	0.65	1.25	1.25	0.29	0.29
66	0	0.59	0.025	0.17	1.16	0.07	0.020	0.61	0.61	1.16	1.16	0.22	0.22
72	0	0.53	0.030	0.09	0.98	0.05	0.020	0.55	0.55	0.98	0.98	0.07	0.07
78	0	0.66	0.025	0.16	1.22	0.08	0.020	0.68	0.68	1.22	1.22	0.24	0.24
84	0	0.69	0.026	0.15	1.13	0.06	0.020	0.71	0.71	1.13	1.13	0.21	0.21
90	0	0.67	0.025	0.18	1.08	0.06	0.020	0.69	0.69	1.08	1.08	0.25	0.25
96	0	0.69	0.026	0.15	1.02	0.05	0.020	0.71	0.71	1.02	1.02	0.19	0.19
102	0	0.69	0.026	0.15	1.15	0.07	0.020	0.71	0.71	1.15	1.15	0.21	0.21
108	0	0.64	0.028	0.12	0.86	0.04	0.020	0.66	0.66	0.86	0.86	0.10	0.10
114	0	0.52	0.028	0.12	0.74	0.03	0.020	0.54	0.54	0.74	0.74	0.08	0.08
120	0	0.55	0.029	0.11	0.85	0.04	0.020	0.57	0.57	0.85	0.85	0.08	0.08
126	0	0.38	0.031	0.06	0.60	0.02	0.020	0.40	0.40	0.60	0.60	0.02	0.02
132	0	0.42	0.032	0.05	0.61	0.02	0.020	0.44	0.44	0.61	0.61	0.02	0.02
138	0	0.41	0.034	0.01	0.98	0.05	0.020	0.43	0.43	0.98	0.98	0.005	0.005
144	0	0.37	0.034	0.01	0.70	0.03	0.020	0.39	0.39	0.70	0.70	0.004	0.004
150	0	0.59	0.026	0.14	1.31	0.09	0.020	0.61	0.61	1.31	1.31	0.20	0.20
156	0	0.67	0.026	0.16	1.13	0.06	0.020	0.69	0.69	1.13	1.13	0.22	0.22

Tablo A.6. Durum 1 Kesit 0-5-10-15-20 MOC- Star CCM⁺ Karşılaştırma Tablosu

t (s)	KESİT 0						KESİT 5						KESİT 10						KESİT 15						KESİT 20					
	H _{pSTAR} (m)	H _{pMOC} (m)	V _{MOC} (m/s)	V _{STAR} (m/s)	Q _{MOC} (m ³ /s)	Q _{STAR} (m ³ /s)	H _{pSTAR} (m)	H _{pMOC} (m)	V _{MOC} (m/s)	V _{STAR} (m/s)	Q _{MOC} (m ³ /s)	Q _{STAR} (m ³ /s)	H _{pSTAR} (m)	H _{pMOC} (m)	V _{MOC} (m/s)	V _{STAR} (m/s)	Q _{MOC} (m ³ /s)	Q _{STAR} (m ³ /s)	H _{pSTAR} (m)	H _{pMOC} (m)	V _{MOC} (m/s)	V _{STAR} (m/s)	Q _{MOC} (m ³ /s)	Q _{STAR} (m ³ /s)	H _{pSTAR} (m)	H _{pMOC} (m)	V _{MOC} (m/s)	V _{STAR} (m/s)	Q _{MOC} (m ³ /s)	Q _{STAR} (m ³ /s)
0	0.58	0.58	0.92	0.92	0.12	0.12	0.38	0.38	1.55	1.55	0.09	0.09	0.32	0.32	2.40	2.40	0.06	0.06	0.37	0.37	2.70	2.70	0.16	0.16	0.31	0.31	2.50	2.50	0.20	0.20
6	0.61	0.61	1.27	1.27	0.12	0.12	0.28	0.57	0.90	1.09	0.16	0.01	0.30	0.42	0.76	1.48	0.07	0.03	0.29	0.33	1.60	2.91	0.08	0.05	0.28	0.28	2.97	2.97	0.13	0.13
12	0.68	0.68	1.12	1.12	0.20	0.20	0.28	0.47	1.73	1.80	0.20	0.01	0.35	0.42	1.21	1.41	0.11	0.07	0.27	0.36	0.74	2.75	0.04	0.03	0.28	0.28	2.87	2.87	0.11	0.11
18	0.54	0.54	0.99	0.99	0.08	0.08	0.26	0.56	1.30	1.83	0.22	0.01	0.30	0.44	1.15	1.37	0.12	0.10	0.26	0.39	1.47	2.65	0.12	0.04	0.26	0.26	2.95	2.95	0.10	0.10
24	0.56	0.56	1.09	1.09	0.14	0.14	0.26	0.49	1.06	1.95	0.13	0.01	0.41	0.48	1.26	1.38	0.16	0.12	0.26	0.44	1.00	2.18	0.11	0.02	0.26	0.26	2.80	2.80	0.09	0.09
30	0.55	0.55	0.95	0.95	0.11	0.11	0.40	0.50	1.10	1.65	0.16	0.13	0.43	0.45	1.03	2.14	0.11	0.21	0.26	0.38	1.47	1.57	0.13	0.04	0.26	0.26	2.97	2.97	0.11	0.11
36	0.55	0.55	1.05	1.05	0.16	0.16	0.38	0.44	1.13	1.39	0.11	0.07	0.43	0.43	1.22	2.00	0.12	0.20	0.36	0.34	1.21	1.27	0.06	0.08	0.26	0.26	2.84	2.84	0.06	0.06
42	0.58	0.58	1.13	1.13	0.19	0.19	0.38	0.47	1.08	0.89	0.12	0.05	0.35	0.40	1.11	1.92	0.09	0.10	0.24	0.47	0.83	1.40	0.12	0.04	0.26	0.26	2.03	2.03	0.07	0.07
48	0.63	0.63	1.19	1.19	0.25	0.25	0.38	0.50	1.12	1.74	0.14	0.09	0.42	0.40	1.14	1.75	0.10	0.15	0.36	0.33	1.47	1.42	0.08	0.08	0.26	0.26	2.10	2.10	0.02	0.02
54	0.63	0.63	1.21	1.21	0.25	0.25	0.46	0.54	1.23	1.39	0.21	0.11	0.36	0.40	1.25	1.65	0.12	0.12	0.36	0.38	1.04	2.18	0.33	0.15	0.26	0.26	1.94	1.94	0.07	0.07
60	0.65	0.65	1.25	1.25	0.29	0.29	0.38	0.54	1.32	1.47	0.23	0.10	0.42	0.48	1.21	1.55	0.17	0.17	0.37	0.25	1.55	1.99	0.02	0.14	0.27	0.27	1.90	1.90	0.07	0.07
66	0.61	0.61	1.16	1.16	0.22	0.22	0.49	0.58	1.29	1.58	0.29	0.24	0.38	0.44	1.51	1.50	0.19	0.14	0.28	0.47	1.18	1.88	0.16	0.06	0.24	0.24	1.75	1.75	0.08	0.08
72	0.55	0.55	0.98	0.98	0.07	0.07	0.44	0.51	1.38	1.50	0.21	0.15	0.49	0.54	1.30	1.56	0.22	0.21	0.43	0.41	1.50	1.80	0.15	0.18	0.30	0.30	1.74	1.74	0.10	0.10
78	0.68	0.68	1.22	1.22	0.24	0.24	0.44	0.47	1.07	1.50	0.17	0.20	0.43	0.50	1.37	1.78	0.23	0.22	0.34	0.43	1.50	1.67	0.18	0.12	0.25	0.25	2.48	2.48	0.09	0.09
84	0.71	0.71	1.13	1.13	0.21	0.21	0.45	0.55	1.31	1.39	0.39	0.13	0.49	0.41	1.22	1.56	0.12	0.21	0.44	0.34	1.80	1.55	0.11	0.17	0.27	0.27	2.34	2.34	0.08	0.08
90	0.69	0.69	1.08	1.08	0.25	0.25	0.49	0.56	1.35	1.44	0.25	0.18	0.43	0.43	1.50	1.61	0.21	0.21	0.37	0.38	1.21	1.59	0.13	0.15	0.24	0.24	2.33	2.33	0.09	0.09
96	0.71	0.71	1.02	1.02	0.19	0.19	0.50	0.53	1.42	1.58	0.19	0.17	0.52	0.50	1.38	1.57	0.21	0.24	0.49	0.31	1.79	1.57	0.08	0.21	0.30	0.30	2.04	2.04	0.10	0.10
102	0.71	0.71	1.15	1.15	0.21	0.21	0.55	0.56	1.30	1.61	0.22	0.22	0.49	0.44	1.60	1.62	0.21	0.25	0.34	0.47	1.37	1.68	0.21	0.13	0.24	0.24	1.96	1.96	0.08	0.08
108	0.66	0.66	0.86	0.86	0.10	0.10	0.50	0.55	1.48	1.52	0.19	0.13	0.53	0.50	1.35	1.68	0.19	0.25	0.49	0.39	1.72	1.69	0.16	0.25	0.30	0.30	2.27	2.27	0.11	0.11
114	0.54	0.54	0.74	0.74	0.08	0.08	0.55	0.48	1.10	1.53	0.12	0.19	0.49	0.47	1.51	1.71	0.10	0.27	0.52	0.35	1.69	1.71	0.14	0.31	0.24	0.24	2.35	2.35	0.13	0.13
120	0.57	0.57	0.85	0.85	0.08	0.08	0.63	0.37	0.97	0.97	0.04	0.01	0.61	0.36	1.33	1.61	0.04	0.27	0.62	0.29	1.87	1.84	0.08	0.40	0.36	0.36	2.36	2.36	0.19	0.19
126	0.40	0.40	0.60	0.60	0.02	0.02	0.46	0.42	1.02	0.88	0.07	0.06	0.49	0.25	0.88	1.62	0.01	0.20	0.52	0.20	1.32	1.80	0.01	0.32	0.31	0.31	2.46	2.46	0.21	0.21
132	0.44	0.44	0.61	0.61	0.02	0.02	0.38	0.38	0.70	0.94	0.02	0.02	0.54	0.48	1.20	1.46	0.09	0.15	0.37	0.22	1.17	1.86	0.05	0.20	0.33	0.33	2.45	2.45	0.16	0.16
138	0.43	0.43	0.98	0.98	0.005	0.005	0.34	0.36	0.95	1.04	0.04	0.02	0.45	0.42	1.25	1.46	0.10	0.13	0.46	0.35	1.27	1.70	0.10	0.22	0.34	0.34	2.61	2.61	0.27	0.27
144	0.39	0.39	0.70	0.70	0.004	0.004	0.57	0.32	0.77	0.84	0.01	0.12	0.50	0.31	0.91	1.38	0.01	0.11	0.56	0.23	1.67	1.60	0.02	0.25	0.40	0.40	2.67	2.67	0.30	0.30
150	0.61	0.61	1.31	1.31	0.20	0.20	0.32	0.20	1.00	0.85	0.01	0.02	0.32	0.45	1.26	1.48	0.15	0.05	0.43	0.33	1.36	1.56	0.09	0.17	0.31	0.31	2.65	2.65	0.23	0.23
156	0.69	0.69	1.13	1.13	0.22	0.22	0.45	0.49	1.03	1.37	0.09	0.07	0.36	0.25	0.87	1.36	0.01	0.04	0.44	0.24	1.64	1.40	0.02	0.10	0.36	0.36	2.56	2.56	0.23	0.23

Tablo A.7. Durum 2 Kesit 0-5-10-15-20 MOC- Star CCM⁺ karşılaştırma Özet Tablosu

t (s)	KESİT 0						KESİT 5						KESİT 10						KESİT 15						KESİT 20					
	H _p STAR (m)	H _b MOC (m)	V _{MOC} (m/s)	V _{STAR} (m/s)	Q _{MOC} (m ³ /s)	Q _{STAR} (m ³ /s)	H _p STAR (m)	H _b MOC (m)	V _{MOC} (m/s)	V _{STAR} (m/s)	Q _{MOC} (m ³ /s)	Q _{STAR} (m ³ /s)	H _p STAR (m)	H _b MOC (m)	V _{MOC} (m/s)	V _{STAR} (m/s)	Q _{MOC} (m ³ /s)	Q _{STAR} (m ³ /s)	H _p STAR (m)	H _b MOC (m)	V _{MOC} (m/s)	V _{STAR} (m/s)	Q _{MOC} (m ³ /s)	Q _{STAR} (m ³ /s)	H _p STAR (m)	H _b MOC (m)	V _{MOC} (m/s)	V _{STAR} (m/s)	Q _{MOC} (m ³ /s)	Q _{STAR} (m ³ /s)
0	1.04	1.04	1.00	1.00	0.37	0.37	0.91	0.91	0.65	0.65	0.22	0.22	0.92	0.92	0.65	0.65	0.22	0.22	1.01	1.01	0.65	0.65	0.22	0.22	1.00	1.00	0.75	0.75	0.12	0.12
6	1.02	1.02	0.75	0.75	0.27	0.27	0.89	0.81	0.75	0.55	0.26	0.17	0.96	0.79	0.52	0.40	0.17	0.15	1.03	1.26	0.65	0.40	0.22	0.14	1.19	1.19	0.30	0.30	0.04	0.04
12	0.93	0.93	0.50	0.50	0.13	0.13	0.96	0.81	0.70	0.55	0.24	0.20	0.98	0.73	0.50	0.35	0.15	0.14	1.01	1.16	0.55	0.38	0.19	0.13	1.01	1.01	0.30	0.30	0.06	0.06
18	0.91	0.91	0.53	0.53	0.15	0.15	0.97	0.95	0.40	0.41	0.11	0.15	0.99	0.78	0.59	0.41	0.19	0.15	1.07	1.09	0.51	0.38	0.18	0.13	1.07	1.07	0.30	0.30	0.06	0.06
24	0.93	0.93	0.53	0.53	0.14	0.14	0.98	0.89	0.40	0.65	0.16	0.24	0.99	0.90	0.39	0.68	0.10	0.26	1.08	1.13	0.57	0.38	0.21	0.14	1.08	1.08	0.30	0.30	0.07	0.07
30	0.94	0.94	0.53	0.53	0.15	0.15	0.99	1.01	0.57	0.68	0.19	0.24	1.05	1.09	0.40	0.65	0.12	0.25	1.13	1.24	0.43	0.35	0.16	0.13	1.14	1.14	0.30	0.30	0.07	0.07
36	0.92	0.92	0.50	0.50	0.14	0.14	1.00	1.15	0.59	0.65	0.19	0.24	0.82	0.81	0.53	0.60	0.17	0.23	1.13	1.14	0.40	0.30	0.14	0.11	1.11	1.11	0.30	0.30	0.08	0.08
42	0.96	0.96	0.47	0.47	0.14	0.14	0.99	1.08	0.59	0.60	0.16	0.22	0.82	0.93	0.57	0.60	0.17	0.23	1.14	1.15	0.50	0.30	0.18	0.11	1.02	1.02	0.63	0.63	0.17	0.17
48	0.98	0.98	0.47	0.47	0.14	0.14	0.99	1.07	0.59	0.60	0.21	0.21	0.84	0.87	0.58	0.60	0.18	0.23	1.02	1.23	0.56	0.35	0.21	0.13	0.86	0.86	0.84	0.84	0.24	0.24
54	1.02	1.02	0.47	0.47	0.15	0.15	0.99	1.05	0.65	0.60	0.14	0.20	1.01	0.88	0.59	0.60	0.15	0.23	0.96	1.18	0.58	0.40	0.21	0.15	0.95	0.95	0.45	0.45	0.13	0.13
60	0.99	0.99	0.50	0.50	0.15	0.15	0.98	1.06	0.70	0.60	0.15	0.20	0.99	0.87	0.63	0.60	0.16	0.23	0.94	1.22	0.58	0.55	0.22	0.20	1.01	1.01	0.30	0.30	0.09	0.09
66	0.97	0.97	0.50	0.50	0.14	0.14	1.00	1.05	0.70	0.65	0.15	0.21	0.96	0.90	0.68	0.68	0.19	0.26	0.91	1.20	0.62	0.60	0.23	0.22	0.95	0.95	0.35	0.35	0.12	0.12
72	0.97	0.97	0.56	0.56	0.15	0.15	0.99	1.03	0.65	0.70	0.17	0.24	0.93	0.91	0.70	0.65	0.19	0.24	0.88	1.25	0.67	0.50	0.25	0.19	0.95	0.95	0.41	0.41	0.14	0.14
78	0.95	0.95	0.63	0.63	0.17	0.17	0.99	1.07	0.70	0.77	0.25	0.25	0.94	0.89	0.66	0.53	0.18	0.20	0.94	1.26	0.69	0.44	0.25	0.16	0.95	0.95	0.45	0.45	0.11	0.11
84	0.94	0.94	0.71	0.71	0.17	0.17	0.99	1.08	0.78	0.73	0.21	0.24	0.94	0.91	0.69	0.53	0.19	0.19	0.97	1.26	0.67	0.48	0.24	0.17	0.95	0.95	0.40	0.40	0.12	0.12
90	0.95	0.95	0.78	0.78	0.18	0.18	0.99	1.10	0.80	0.60	0.23	0.20	0.98	1.08	0.73	0.53	0.20	0.19	0.96	1.27	0.68	0.53	0.25	0.20	0.98	0.98	0.41	0.41	0.13	0.13
96	0.95	0.95	0.77	0.77	0.18	0.18	0.99	1.13	0.90	0.63	0.26	0.20	0.98	1.09	0.74	0.52	0.21	0.19	0.97	1.06	0.72	0.57	0.27	0.21	0.97	0.97	0.48	0.48	0.15	0.15
102	0.95	0.95	0.64	0.64	0.15	0.15	1.00	1.11	0.89	0.64	0.26	0.20	0.97	1.12	0.83	0.52	0.24	0.18	1.00	1.14	0.74	0.57	0.25	0.19	0.97	0.97	0.56	0.56	0.13	0.13
108	0.94	0.94	0.60	0.60	0.15	0.15	0.95	1.06	0.77	0.62	0.17	0.18	0.95	1.12	0.79	0.56	0.23	0.20	1.01	1.15	0.81	0.61	0.27	0.20	0.99	0.99	0.53	0.53	0.16	0.16
114	0.95	0.95	0.60	0.60	0.16	0.16	0.94	1.05	0.73	0.57	0.16	0.16	0.94	1.06	0.70	0.56	0.18	0.19	1.04	1.18	0.79	0.59	0.26	0.19	1.08	1.08	0.47	0.47	0.17	0.17
120	0.96	0.96	0.59	0.59	0.16	0.16	0.95	1.06	0.77	0.53	0.17	0.14	0.96	1.05	0.64	0.53	0.17	0.17	1.05	1.11	0.72	0.54	0.24	0.18	1.09	1.09	0.41	0.41	0.15	0.15
126	0.98	0.98	0.63	0.63	0.18	0.18	1.00	1.05	0.78	0.54	0.17	0.16	0.99	1.07	0.72	0.47	0.20	0.16	1.07	1.09	0.66	0.50	0.21	0.16	1.09	1.09	0.35	0.35	0.13	0.13
132	0.98	0.98	0.59	0.59	0.16	0.16	1.08	0.85	0.66	0.56	0.21	0.17	1.03	1.22	0.77	0.44	0.21	0.13	1.04	1.09	0.71	0.50	0.16	0.16	1.09	1.09	0.30	0.30	0.11	0.11
138	1.01	1.01	0.63	0.63	0.20	0.20	1.09	0.85	0.61	0.57	0.19	0.18	1.04	1.27	0.69	0.42	0.19	0.13	1.03	1.23	0.75	0.47	0.17	0.14	1.09	1.09	0.30	0.30	0.11	0.11
144	1.01	1.01	0.63	0.63	0.20	0.20	1.13	0.85	0.62	0.56	0.19	0.17	1.08	1.22	0.62	0.46	0.17	0.14	1.09	1.25	0.70	0.47	0.16	0.15	1.09	1.09	0.30	0.30	0.10	0.10
150	1.03	1.03	0.63	0.63	0.20	0.20	1.13	0.86	0.63	0.55	0.19	0.17	1.08	1.21	0.62	0.47	0.17	0.15	1.09	1.17	0.64	0.52	0.14	0.15	1.10	1.10	0.30	0.30	0.10	0.10
156	0.99	0.99	0.59	0.59	0.18	0.18	1.11	0.87	0.63	0.52	0.19	0.16	1.09	1.22	0.63	0.45	0.17	0.14	1.10	1.16	0.63	0.50	0.13	0.14	1.11	1.11	0.30	0.30	0.10	0.10

Tablo A.8. Durum 3 Kesit 0-5-10-15-20 MOC- Star CCM⁺ karşılaştırma Özet Tablosu

t (s)	KESİT 0						KESİT 5						KESİT 10						KESİT 15						KESİT 20					
	H ₀ STAR (m)	H ₀ MOC (m)	V _{MOC} (m/s)	V _{STAR} (m/s)	Q _{MOC} (m ³ /s)	Q _{STAR} (m ³ /s)	H ₀ STAR (m)	H ₀ MOC (m)	V _{MOC} (m/s)	V _{STAR} (m/s)	Q _{MOC} (m ³ /s)	Q _{STAR} (m ³ /s)	H ₀ STAR (m)	H ₀ MOC (m)	V _{MOC} (m/s)	V _{STAR} (m/s)	Q _{MOC} (m ³ /s)	Q _{STAR} (m ³ /s)	H ₀ STAR (m)	H ₀ MOC (m)	V _{MOC} (m/s)	V _{STAR} (m/s)	Q _{MOC} (m ³ /s)	Q _{STAR} (m ³ /s)	H ₀ STAR (m)	H ₀ MOC (m)	V _{MOC} (m/s)	V _{STAR} (m/s)	Q _{MOC} (m ³ /s)	Q _{STAR} (m ³ /s)
0	0.51	0.51	2.40	2.40	0.77	0.77	0.51	0.51	1.70	1.70	0.65	0.65	0.90	0.90	1.50	1.50	0.52	0.52	0.71	0.71	1.60	1.60	0.44	0.44	0.55	0.55	1.90	1.90	0.40	0.40
6	0.62	0.62	2.78	2.78	0.83	0.83	0.55	0.51	2.24	2.00	0.83	0.74	0.94	0.70	1.44	1.67	0.52	0.60	0.75	0.75	2.03	1.78	0.61	0.53	0.55	0.55	2.00	2.00	0.52	0.52
12	0.66	0.66	2.68	2.68	0.75	0.75	0.60	0.63	2.66	2.18	0.98	0.81	0.97	0.70	1.42	1.88	0.53	0.70	0.80	0.67	2.04	1.85	0.59	0.54	0.60	0.60	2.00	2.00	0.52	0.52
18	0.64	0.64	2.60	2.60	0.78	0.78	0.55	0.73	2.67	2.30	0.99	0.85	0.40	0.94	2.37	2.10	0.90	0.80	0.85	0.64	1.98	1.95	0.59	0.59	0.63	0.63	2.10	2.10	0.59	0.59
24	0.58	0.58	2.70	2.70	0.78	0.78	0.58	0.67	2.62	2.30	0.94	0.83	0.47	0.78	2.60	2.19	0.99	0.83	0.88	0.80	2.25	2.09	0.65	0.61	0.69	0.69	2.19	2.19	0.66	0.66
30	0.51	0.51	2.75	2.75	0.83	0.83	0.57	0.62	2.68	2.35	0.91	0.80	0.47	0.65	2.61	2.24	0.99	0.85	0.93	0.79	2.21	2.10	0.71	0.67	0.71	0.71	2.30	2.30	0.71	0.71
36	0.50	0.50	2.70	2.70	0.81	0.81	0.49	0.60	2.73	2.40	0.90	0.79	0.42	0.61	2.67	2.35	0.99	0.87	0.43	0.75	2.52	2.30	0.93	0.85	0.77	0.77	2.35	2.35	0.80	0.80
42	0.48	0.48	2.70	2.70	0.76	0.76	0.46	0.53	2.71	2.38	0.89	0.79	0.37	0.56	2.72	2.40	0.98	0.86	0.42	0.66	2.63	2.32	0.97	0.86	0.74	0.74	2.50	2.50	0.85	0.85
48	0.63	0.63	2.77	2.77	0.83	0.83	0.44	0.49	2.70	2.45	0.89	0.81	0.36	0.49	2.71	2.37	0.92	0.81	0.43	0.59	2.70	2.38	1.00	0.88	0.74	0.74	2.45	2.45	0.83	0.83
54	0.62	0.62	3.00	3.00	0.90	0.90	0.50	0.47	2.75	2.50	0.91	0.83	0.48	0.46	2.70	2.60	0.89	0.86	0.53	0.51	2.71	2.40	1.00	0.89	0.72	0.72	2.60	2.60	0.60	0.60
60	0.62	0.62	3.20	3.20	0.96	0.96	0.54	0.60	2.94	2.50	0.97	0.83	0.48	0.57	2.74	2.60	0.90	0.86	0.53	0.46	2.70	2.40	1.00	0.89	0.72	0.72	2.70	2.70	0.68	0.68
66	0.58	0.58	2.70	2.70	0.86	0.86	0.58	0.66	3.14	2.65	1.01	0.85	0.48	0.67	2.90	2.60	0.96	0.86	0.51	0.54	2.73	2.40	0.87	0.77	0.73	0.73	2.85	2.85	0.71	0.71
72	0.65	0.65	3.00	3.00	0.96	0.96	0.55	0.68	2.80	2.60	0.84	0.78	0.50	0.72	3.08	2.70	1.02	0.89	0.47	0.67	2.86	2.55	0.97	0.87	0.72	0.72	2.90	2.90	0.73	0.73
78	0.68	0.68	3.00	3.00	0.96	0.96	0.60	0.49	2.95	2.58	0.80	0.70	0.47	0.47	2.87	2.68	0.95	0.88	0.47	0.75	3.03	2.68	1.00	0.88	0.73	0.73	2.90	2.90	0.70	0.70
84	0.66	0.66	3.00	3.00	0.96	0.96	0.59	0.65	2.99	2.60	0.81	0.70	0.48	0.61	2.93	2.70	0.94	0.86	0.47	0.48	2.90	2.70	0.96	0.89	0.76	0.76	2.95	2.95	0.77	0.77
90	0.51	0.51	3.00	3.00	0.90	0.90	0.56	0.67	3.00	2.55	0.81	0.69	0.56	0.66	2.98	2.80	0.92	0.87	0.53	0.58	2.93	2.78	0.97	0.92	0.72	0.72	2.90	2.90	0.81	0.81
96	0.50	0.50	3.00	3.00	0.90	0.90	0.44	0.65	3.00	2.55	0.81	0.69	0.38	0.64	2.99	2.80	0.93	0.87	0.43	0.64	2.96	2.80	0.98	0.92	0.79	0.79	2.90	2.90	0.81	0.81
102	0.55	0.55	3.00	3.00	0.90	0.90	0.43	0.53	3.00	2.50	0.81	0.68	0.37	0.54	3.00	2.85	0.93	0.88	0.43	0.64	2.99	2.75	0.99	0.91	0.76	0.76	2.90	2.90	0.78	0.78
108	0.56	0.56	3.00	3.00	0.90	0.90	0.52	0.49	3.00	2.55	0.81	0.69	0.40	0.49	3.00	2.89	0.93	0.90	0.49	0.55	2.99	2.89	0.87	0.84	0.81	0.81	2.90	2.90	0.78	0.78
114	0.55	0.55	3.20	3.20	1.02	1.02	0.56	0.52	3.00	2.58	0.90	0.77	0.48	0.50	3.00	2.90	0.93	0.90	0.48	0.49	3.00	2.90	0.90	0.87	0.84	0.84	2.95	2.95	0.80	0.80
120	0.55	0.55	3.20	3.20	1.02	1.02	0.55	0.54	3.15	2.58	0.95	0.77	0.48	0.52	3.00	2.90	0.93	0.90	0.47	0.49	3.00	2.90	0.90	0.87	0.79	0.79	2.95	2.95	0.83	0.83
126	0.54	0.54	3.20	3.20	1.02	1.02	0.48	0.58	3.19	2.70	0.96	0.81	0.42	0.59	3.12	2.90	0.97	0.90	0.45	0.50	3.00	3.00	0.90	0.90	0.80	0.80	2.95	2.95	0.86	0.86
132	0.48	0.48	3.20	3.20	1.02	1.02	0.47	0.55	3.20	2.80	0.96	0.84	0.37	0.57	3.17	2.90	0.98	0.90	0.40	0.58	3.09	2.95	0.93	0.89	0.81	0.81	2.90	2.90	0.81	0.81
138	0.54	0.54	3.40	3.40	1.09	1.09	0.54	0.53	3.20	2.60	0.96	0.78	0.40	0.53	3.19	2.85	0.99	0.88	0.45	0.58	3.15	3.00	0.95	0.90	0.81	0.81	2.90	2.90	0.81	0.81
144	0.54	0.54	3.40	3.40	1.02	1.02	0.54	0.48	3.35	2.70	1.01	0.81	0.42	0.48	3.20	2.90	0.99	0.90	0.47	0.54	3.18	3.05	0.95	0.92	0.81	0.81	2.95	2.95	0.83	0.83
150	0.52	0.52	3.30	3.30	1.06	1.06	0.58	0.56	3.39	2.80	1.02	0.84	0.47	0.57	3.32	2.90	1.03	0.90	0.46	0.48	3.19	3.05	0.96	0.92	0.83	0.83	3.00	3.00	0.84	0.84
156	0.55	0.55	3.40	3.40	1.09	1.09	0.55	0.54	3.32	2.78	1.00	0.83	0.49	0.55	3.37	3.00	1.05	0.93	0.48	0.56	3.29	3.10	0.99	0.93	0.85	0.85	3.05	3.05	0.85	0.85

Tablo A.9. Durum 4 Kesit 0-5-10-15-20 MOC- Star CCM⁺ karşılaştırma Özet Tablosu

t (s)	KESİT 0						KESİT 5						KESİT 10						KESİT 15						KESİT 20					
	H ₀ STAR (m)	H ₀ MOC (m)	V ₀ MOC (m/s)	V ₀ STAR (m/s)	Q ₀ MOC (m ³ /s)	Q ₀ STAR (m ³ /s)	H ₅ STAR (m)	H ₅ MOC (m)	V ₅ MOC (m/s)	V ₅ STAR (m/s)	Q ₅ MOC (m ³ /s)	Q ₅ STAR (m ³ /s)	H ₁₀ STAR (m)	H ₁₀ MOC (m)	V ₁₀ MOC (m/s)	V ₁₀ STAR (m/s)	Q ₁₀ MOC (m ³ /s)	Q ₁₀ STAR (m ³ /s)	H ₁₅ STAR (m)	H ₁₅ MOC (m)	V ₁₅ MOC (m/s)	V ₁₅ STAR (m/s)	Q ₁₅ MOC (m ³ /s)	Q ₁₅ STAR (m ³ /s)	H ₂₀ STAR (m)	H ₂₀ MOC (m)	V ₂₀ MOC (m/s)	V ₂₀ STAR (m/s)	Q ₂₀ MOC (m ³ /s)	Q ₂₀ STAR (m ³ /s)
0	1.28	1.28	1.55	1.55	0.56	0.56	1.22	1.22	1.50	1.50	0.56	0.56	1.17	1.17	1.45	1.45	0.54	0.54	1.11	1.11	1.40	1.40	0.54	0.54	1.15	1.15	1.40	1.40	0.54	0.54
6	1.45	1.45	1.65	1.65	0.54	0.54	1.40	1.41	1.54	1.35	0.57	0.50	1.40	1.35	1.49	1.30	0.55	0.48	1.30	1.30	1.44	1.25	0.56	0.48	1.38	1.38	1.10	1.10	0.42	0.42
12	1.70	1.70	1.60	1.60	0.53	0.53	1.60	1.51	1.63	1.40	0.60	0.52	1.50	1.46	1.53	1.20	0.57	0.44	1.45	1.41	1.48	1.25	0.57	0.48	1.46	1.46	1.15	1.15	0.44	0.44
18	1.45	1.45	1.60	1.60	0.53	0.53	1.53	1.70	1.61	1.45	0.59	0.54	1.55	1.54	1.60	1.25	0.59	0.46	1.51	1.49	1.52	1.35	0.59	0.52	1.46	1.46	1.20	1.20	0.46	0.46
24	1.48	1.48	1.65	1.65	0.56	0.56	1.51	1.45	1.60	1.50	0.59	0.56	1.50	1.69	1.61	1.25	0.59	0.46	1.51	1.55	1.58	1.35	0.61	0.52	1.46	1.46	1.20	1.20	0.46	0.46
30	1.59	1.59	1.70	1.70	0.57	0.57	1.60	1.55	1.64	1.50	0.61	0.56	1.58	1.46	1.60	1.35	0.59	0.50	1.53	1.67	1.60	1.35	0.62	0.52	1.48	1.48	1.20	1.20	0.46	0.46
36	1.40	1.40	1.70	1.70	0.57	0.57	1.44	1.63	1.69	1.45	0.61	0.52	1.38	1.60	1.63	1.25	0.60	0.46	1.35	1.46	1.60	1.35	0.62	0.52	1.34	1.34	1.20	1.20	0.46	0.46
42	1.20	1.20	1.65	1.65	0.54	0.54	1.32	1.48	1.70	1.35	0.61	0.49	1.40	1.64	1.67	1.20	0.62	0.44	1.39	1.63	1.63	1.40	0.63	0.54	1.40	1.40	1.20	1.20	0.46	0.46
48	1.40	1.40	1.60	1.60	0.50	0.50	1.40	1.36	1.66	1.35	0.57	0.46	1.24	1.53	1.69	1.20	0.63	0.44	1.45	1.63	1.66	1.40	0.64	0.54	1.26	1.26	1.15	1.15	0.44	0.44
54	1.73	1.73	1.55	1.55	0.51	0.51	1.60	1.53	1.62	1.35	0.60	0.50	1.54	1.47	1.67	1.25	0.62	0.46	1.47	1.56	1.69	1.40	0.65	0.54	1.45	1.45	1.15	1.15	0.44	0.44
60	1.37	1.37	1.50	1.50	0.51	0.51	1.43	1.71	1.57	1.35	0.56	0.49	1.44	1.60	1.63	1.25	0.59	0.45	1.45	1.54	1.67	1.40	0.65	0.54	1.41	1.41	1.17	1.17	0.45	0.45
66	1.66	1.66	1.40	1.40	0.48	0.48	1.61	1.36	1.51	1.40	0.56	0.52	1.58	1.69	1.58	1.25	0.57	0.45	1.53	1.64	1.64	1.40	0.63	0.54	1.48	1.48	1.18	1.18	0.46	0.46
72	1.67	1.67	1.60	1.60	0.53	0.53	1.65	1.65	1.43	1.35	0.53	0.50	1.57	1.37	1.53	1.30	0.57	0.48	1.54	1.66	1.59	1.45	0.59	0.54	1.48	1.48	1.15	1.15	0.43	0.43
78	1.68	1.68	1.55	1.55	0.53	0.53	1.59	1.57	1.56	1.40	0.55	0.49	1.59	1.65	1.45	1.35	0.54	0.50	1.49	1.39	1.54	1.35	0.57	0.50	1.60	1.60	1.20	1.20	0.44	0.44
84	1.78	1.78	1.75	1.75	0.58	0.58	1.69	1.64	1.55	1.45	0.56	0.52	1.56	1.49	1.53	1.40	0.57	0.52	1.65	1.65	1.47	1.35	0.55	0.50	1.67	1.67	1.33	1.33	0.49	0.49
90	1.55	1.55	1.92	1.92	0.63	0.63	1.75	1.72	1.70	1.60	0.61	0.58	1.75	1.62	1.55	1.50	0.57	0.56	1.70	1.44	1.52	1.45	0.56	0.54	1.64	1.64	1.45	1.45	0.54	0.54
96	1.35	1.35	2.02	2.02	0.69	0.70	1.42	1.60	1.87	1.60	0.67	0.58	1.50	1.67	1.67	1.50	0.60	0.54	1.60	1.62	1.54	1.47	0.57	0.54	1.70	1.70	1.48	1.48	0.55	0.55
102	1.90	1.90	1.93	1.93	0.62	0.62	1.80	1.56	1.99	1.65	0.72	0.59	1.80	1.64	1.82	1.48	0.66	0.53	1.75	1.63	1.64	1.48	0.61	0.55	1.70	1.70	1.48	1.48	0.53	0.53
108	2.00	2.00	1.97	1.97	0.67	0.67	2.00	2.02	1.95	1.75	0.70	0.63	1.90	1.68	1.95	1.65	0.70	0.59	1.75	1.66	1.78	1.52	0.64	0.55	1.70	1.70	1.58	1.58	0.57	0.57
114	1.90	1.90	2.10	2.10	0.71	0.71	1.90	1.96	1.96	1.85	0.71	0.67	1.85	2.06	1.95	1.61	0.70	0.58	1.80	1.76	1.91	1.61	0.69	0.58	1.75	1.75	1.61	1.61	0.58	0.58
120	2.00	2.00	2.00	2.00	0.64	0.64	2.02	1.93	2.07	1.90	0.75	0.69	1.95	1.92	1.96	1.72	0.72	0.64	1.90	2.06	1.94	1.72	0.72	0.64	1.85	1.85	1.72	1.72	0.62	0.62
126	1.90	1.90	1.98	1.98	0.63	0.63	2.00	2.03	2.02	1.93	0.73	0.69	1.97	1.95	2.04	1.70	0.76	0.63	1.92	1.88	1.95	1.70	0.70	0.61	1.89	1.89	1.70	1.70	0.63	0.63
132	1.90	1.90	1.97	1.97	0.67	0.67	2.00	1.91	1.99	2.05	0.72	0.74	1.96	2.04	2.02	1.85	0.75	0.70	2.00	1.98	2.02	1.72	0.75	0.64	1.95	1.95	1.90	1.90	0.70	0.70
138	1.90	1.90	2.01	2.01	0.70	0.70	2.00	1.93	1.97	1.95	0.73	0.72	1.86	1.91	2.00	1.75	0.74	0.65	2.02	2.04	2.02	1.70	0.75	0.63	1.95	1.95	1.85	1.85	0.68	0.68
144	1.47	1.47	2.15	2.15	0.77	0.77	1.62	1.92	2.00	1.90	0.74	0.70	1.65	1.95	1.98	1.70	0.73	0.63	1.80	1.92	2.00	1.70	0.74	0.63	1.87	1.87	1.75	1.75	0.65	0.65
150	1.27	1.27	2.11	2.11	0.63	0.63	1.50	1.63	2.12	1.87	0.76	0.67	1.65	1.94	2.00	1.67	0.72	0.60	1.72	1.97	1.99	1.67	0.71	0.60	1.77	1.77	1.65	1.65	0.59	0.59
156	1.55	1.55	2.05	2.05	0.65	0.65	1.50	1.59	2.11	1.79	0.78	0.66	1.62	1.74	2.09	1.61	0.77	0.60	1.67	1.94	1.99	1.63	0.74	0.60	1.65	1.65	1.58	1.58	0.58	0.58

A.5. Khi- Kare (χ^2) Bağımsızlık Testi

Khi-kare bağımsızlık testi, değişkenlerden en az birinin nominal ya da ordinal olması durumunda kullanılan ve iki değişken arasında ilişki olup olmadığını tespit etmeye yarayan bir testtir [68].

a- Khi-kare bağımsızlık testinin test hipotezlerinin kurulması;

Khi-kare bağımsızlık testinin hipotezleri,

H_0 : İki değişken birbirinden bağımsızdır ya da iki değişken arasında ilişki yoktur

H_1 : İki değişken bağımsız değildir ya da iki değişken arasında ilişki vardır şeklinde kurulmaktadır.

b- Ki-Kare bağımsızlık testinin test istatistiğinin hesaplanması;

Khi-kare bağımsızlık test istatistiği Denklem A.1'e göre hesaplanmıştır.

$$\chi^2_{hes} = \sum_{i=1}^n \frac{(f_0 - f_i)^2}{f_i} \quad (A.1)$$

Şeklinde hesaplanmaktadır. Formülde yer alan,

f_0 : kontenjans tablosunda yer alan gözlenen frekansları,

f_i : kontenjans tablosundaki her gözlenen frekansa karşılık olarak hesaplanan beklenen frekansları sembolize etmektedir[68].

Karakteristikler yöntemi ve Star CCM⁺ ile hesaplanan değerlerin istatistik analizleri pearson ki-kare testleri kullanılarak yapılmıştır. Star CCM⁺ programı ile 4 farklı durum için hesaplanan Q debi (m³/s) verilerinin birbiri ile uyumluluğunu ortaya koymak amacıyla istatistiki olarak uygunluk testine ihtiyaç duyulmuştur. Bu sebeple pearson Ki-Kare testi kullanılmış olup Ki-Kare dağılımı için 135 adet veri alınmış olup, frekans grup sayısı 8, serbestlik derecesi 7 alınarak %5 hata olasılığıyla çalışılmıştır. Ki-kare testine ait Durum 1, Durum 2, Durum 3, ve Durum 4 için ayrı ayrı yapılmış olup Tablo A.10.'da verilmiştir.

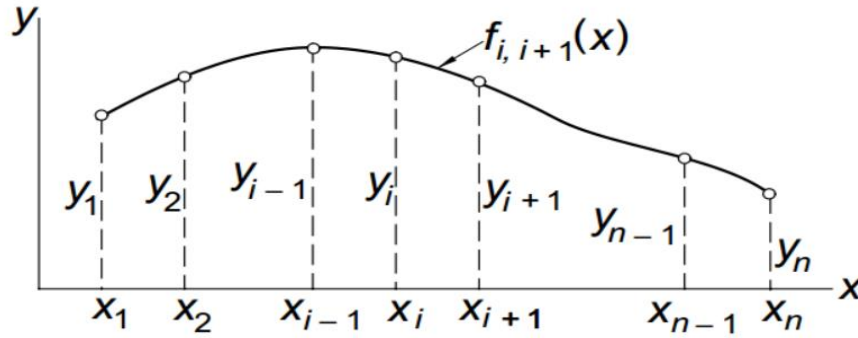
Tablo A.10. Durum 1-2-3-4'e göre Ki-Kare testi istatistik sonuçları

	Durum 1			Durum 2			Durum 3			Durum 4		
Sıra No	Debi Sınıf aralığı x10 ⁻³	MOC Dağılımı f _o	Star CCM++ Dağılımı f _o	Debi Sınıf aralığı x10 ⁻³	MOC Dağılımı f _o	Star CCM++ Dağılımı f _o	Debi Sınıf aralığı x10 ⁻³	MOC Dağılımı f _o	Star CCM++ Dağılımı f _o	Debi Sınıf aralığı x10 ⁻³	MOC Dağılımı f _o	Star CCM++ Dağılımı f _o
1	3.51-53.50	22	20	3.9-79.0	6	6	402.80-470.0	2	2	420.0-469.0	13	23
2	53.51-103.50	31	35	79.9-119.0	10	9	482.80-550.0	4	5	470.0-500.0	3	12
3	103.51-153.50	27	29	119.9-159.0	33	46	562.8-630.0	3	4	510.0-550.0	19	37
4	153.51-203.50	22	22	159.9-190.0	35	30	642.8-710.0	7	13	560.0-600.0	37	23
5	203.51-253.50	25	23	199.9-239.0	36	34	722.8-790.0	13	19	605.0-640.0	22	16
6	253.51-303.50	6	4	239.9-279.0	13	8	802.8-870.0	27	47	650.0-690.0	11	13
7	303.51-353.50	1	1	279.9-319.0	1	1	882.8-950.0	38	33	695.0-740.0	20	6
8	353.51-404.86	1	1	319.9-368.0	1	1	962.8-1088.0	41	12	740.0-780.0	10	5
χ^2	0.446<14.07			1.912<14.07			12.402<14.07			13.775<14.07		

Durum 1, Durum 2, Durum 3 ve Durum 4 için Ki-Kare dağılımı incelendiğinde test istatistikleri serbestlik derecesine göre hesaplanan kritik değer $\chi^2=14.07$ den küçük olduğu için hipotez uygun bulunmuştur. Bu durum karakteristikler yöntemi ile STAR CCM⁺ programı çıktılarının birbiriyle uyumlu sonuçlar gösterdiği saptanmıştır.

A.6. Kübik Spline Fonksiyonları ile H_p ve $V_{akış}$ Grafiklerinin Çizilmesi

Kesin veri noktaları arasındaki ara değerleri tahmin etmek için kullanılmaktadır. Önce verilen veri noktalarından tam olarak geçen bir fonksiyon uydurulmakta ve daha sonra bu fonksiyonlar kullanarak ara değerler değerlendirilmektedir [69]. Kübik spline hesap esasına dayalı grafik Şekil A.14'te verilmiştir.

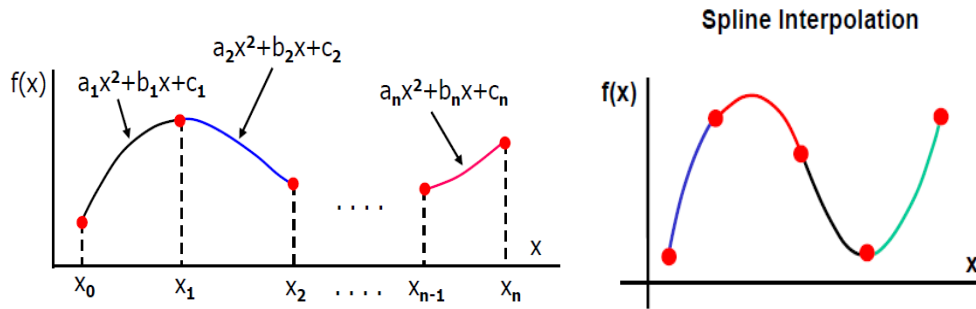


Şekil A.14 Kübik spline hesap grafiği [70]

Kübik spline hesap esaslarına ait denklem;[71]

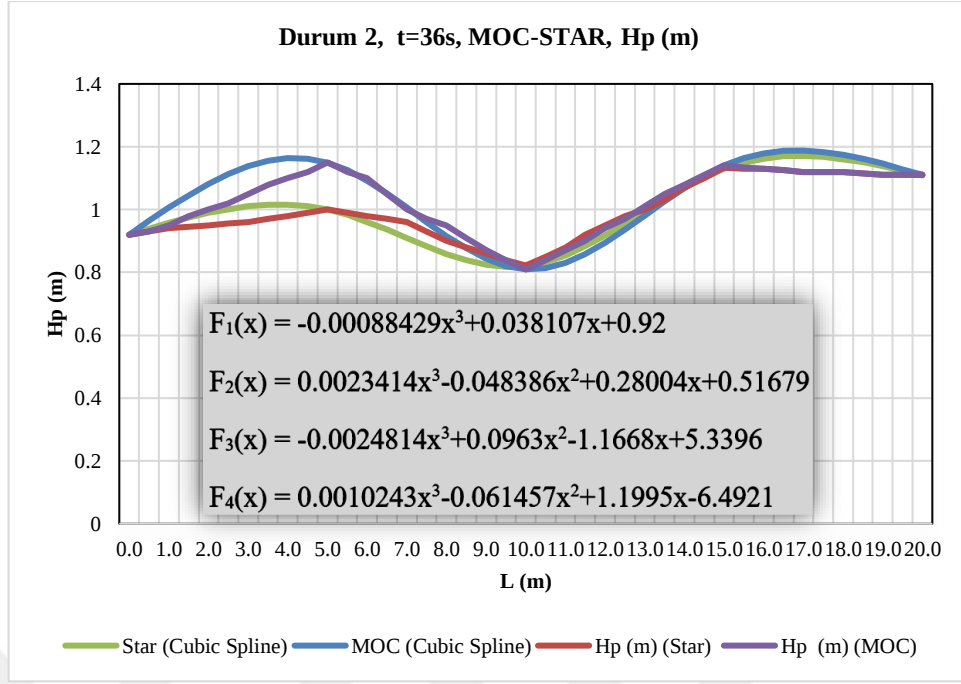
$$f_{i,i+1}(x) = \frac{k_i}{6} \left[\frac{(x - x_{i+1})^3}{x_i - x_{i+1}} - (x - x_{i+1})(x_i - x_{i+1}) \right] - \frac{k_{i+1}}{6} \left[\frac{(x - x_i)^3}{x_i - x_{i+1}} - (x - x_i)(x_i - x_{i+1}) \right] + \frac{y_i(x - x_{i+1}) - y_{i+1}(x - x_i)}{x_i - x_{i+1}} \quad (A.2)$$

Cubic spline fonksiyonun grafiksel gösterimi Şekil A.15'te verilmiştir.

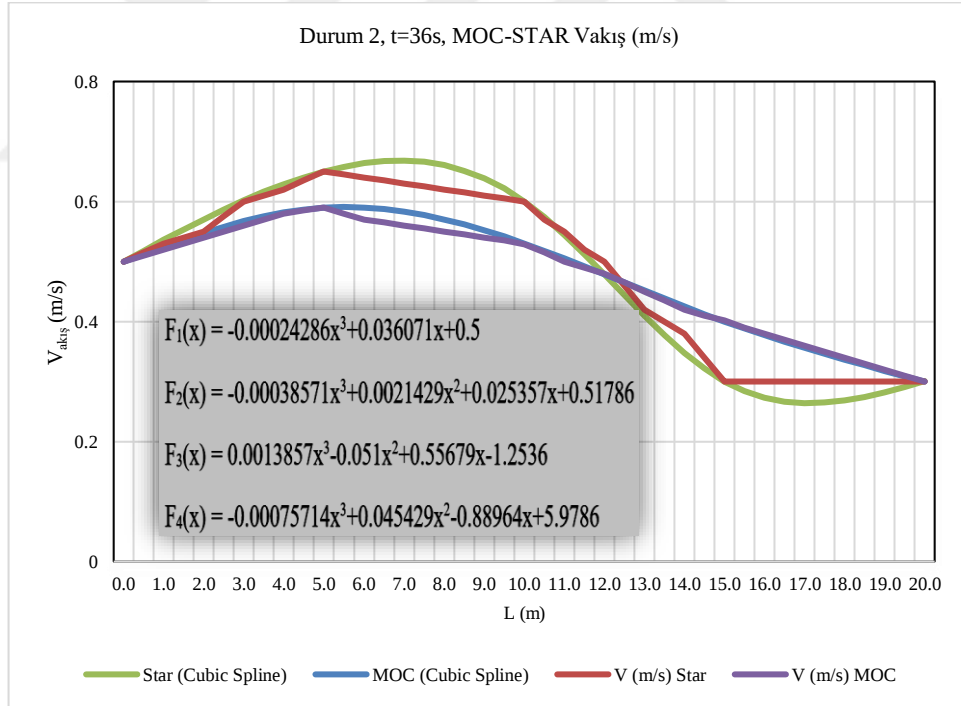


Şekil A.15 Spline fonksiyon grafikleri

Her iki yöntem (MOC ve Star CCM⁺) ile hesaplanarak karşılaştırma yapılan piyezometre yükseklikleri ile akış hızlarına ait fonksiyonlardan Star CCM⁺ programı verileri kullanılarak cubic spline function grafikleri oluşturulmuş olup, Durum 2'ye ait t=36 s H_p -L, $V_{akış}$ -L grafikleri Şekil A.16 ve Şekil A.17'de verilmiştir.



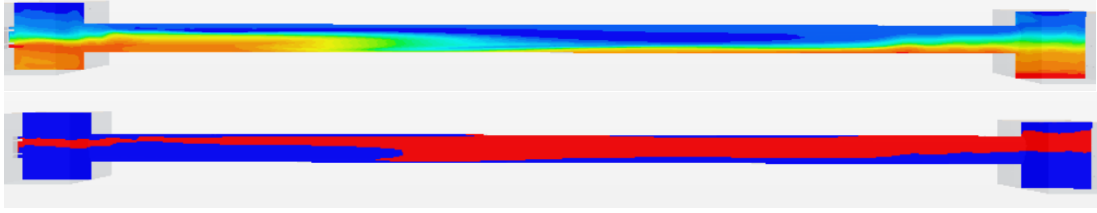
Şekil A.16 t=36s Durum 2 Hp-L, MOC-STAR grafiği



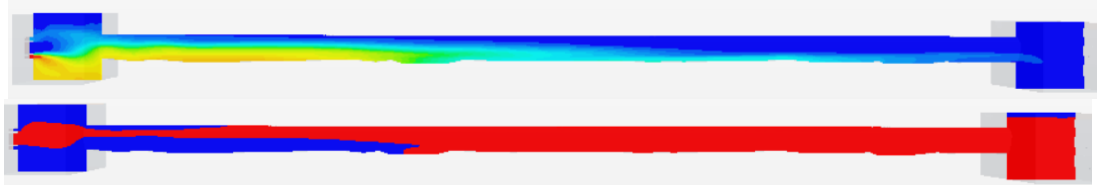
Şekil A.17 t=36s Durum 2 Vakış-L, MOC-STAR grafiği

EK B. DURUM 2-3-4 SEDİMENT/ATIKSU AKIŞ BOYKESİTLERİ

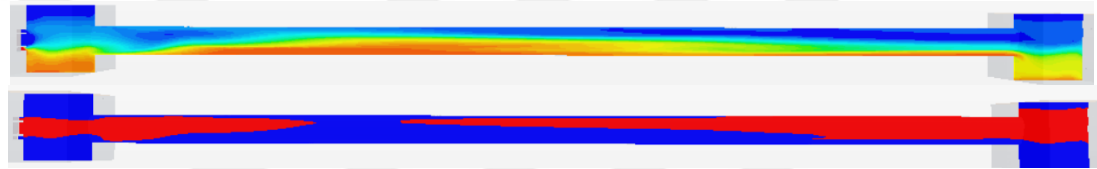
EK B.1. Durum:2,400X600mm, 1/500



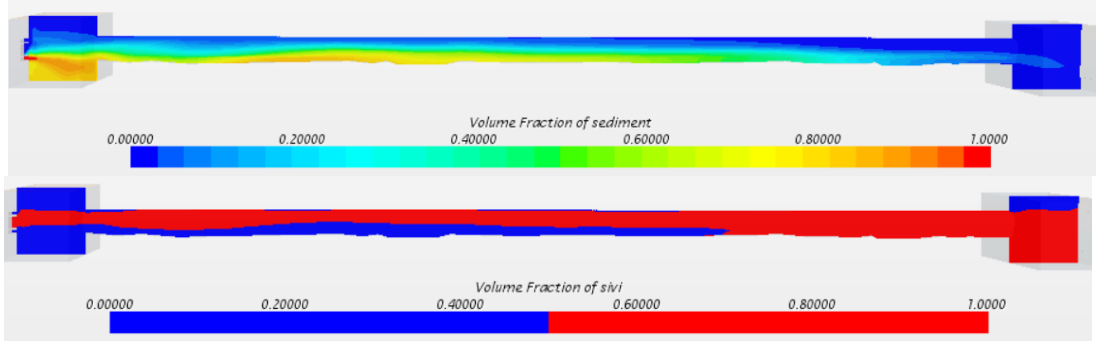
(a) beton, kararsız akım düz sediment



(b) beton, kararsız akım dalgalı sediment



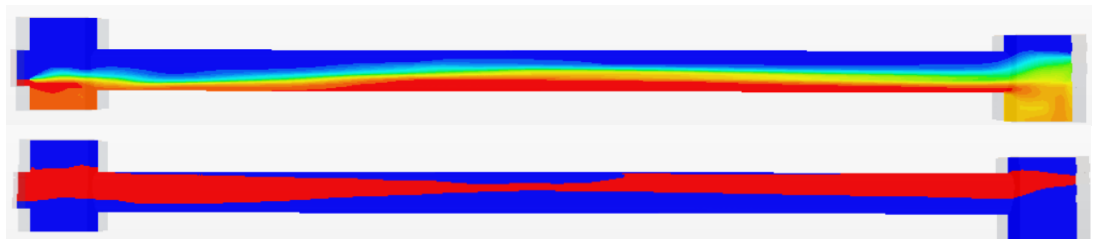
(c) çelik, kararsız akım düz sediment



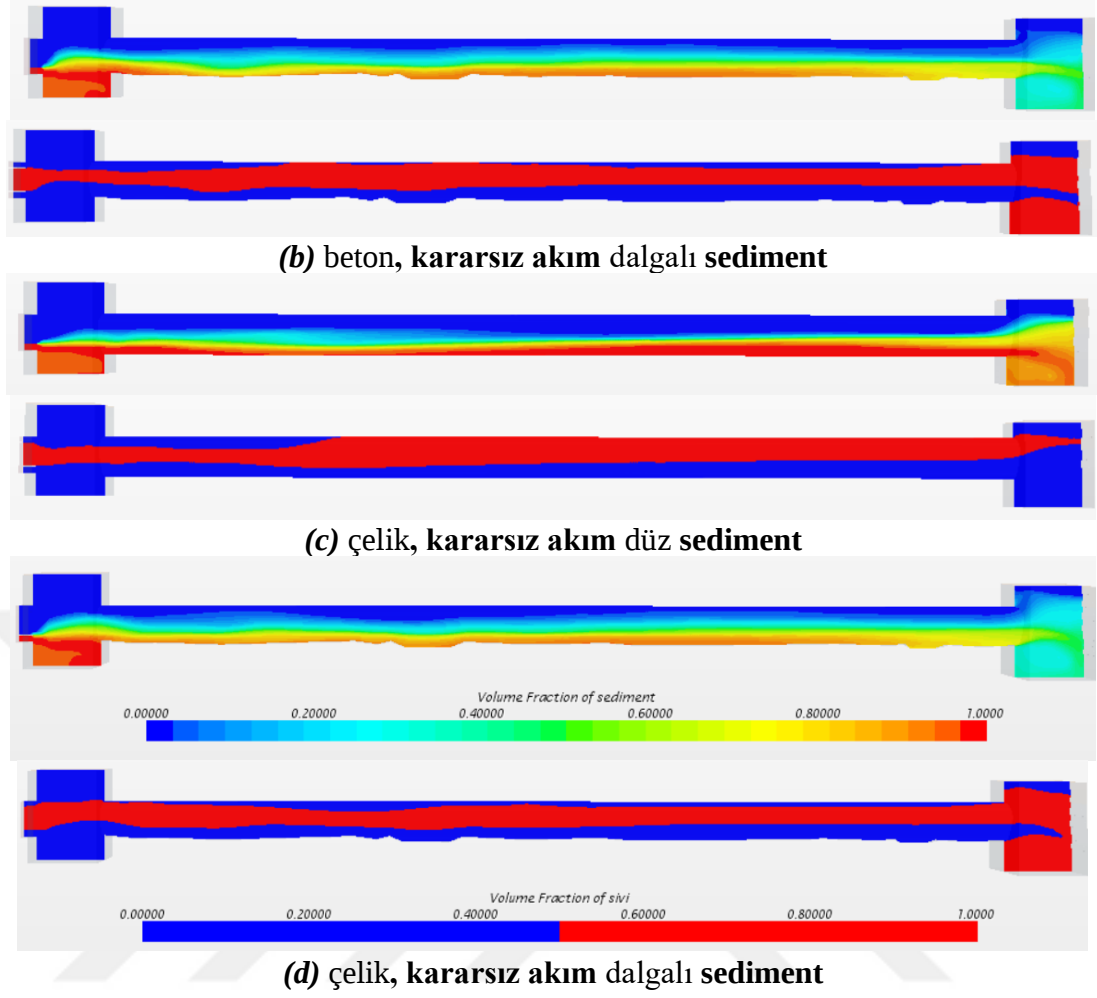
(d) çelik, kararsız akım dalgalı sediment

Şekil B.1 Durum:2, 400x600 mm, 1/500 (a) **beton**, kararsız akım **düz** sediment (b) **beton**, kararsız akım **dalgalı** sediment (c) **çelik**, kararsız akım **düz** sediment (d) **çelik**, kararsız akım **dalgalı** sediment tabanlı boruda sediment (üst) ve atıksu (alt) akışı

EK B.1. Durum:2,600X800mm, 1/500



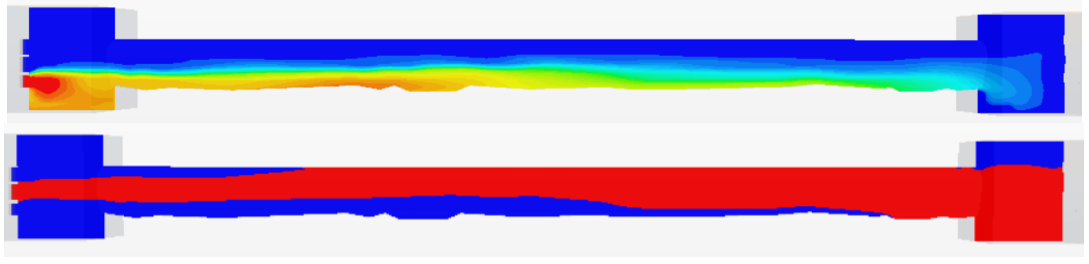
(a) beton, kararsız akım düz sediment



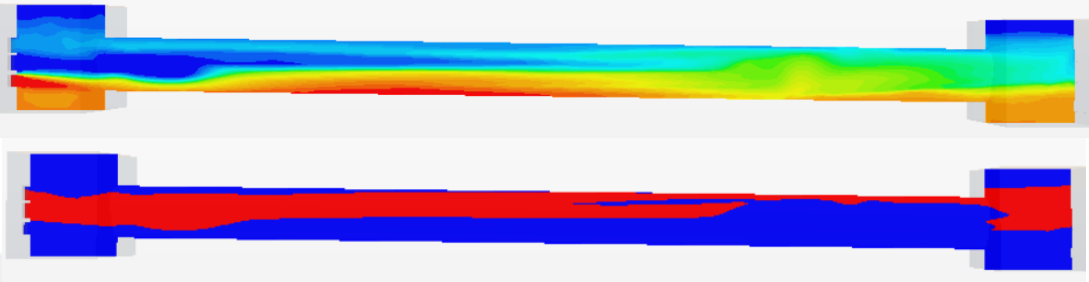
Şekil B.2 Durum:2, 600x900 mm, 1/500 (a) **beton**, kararsız akım **düz** sediment (b) **beton**, kararsız akım **dalgali** sediment (c) **çelik**, kararsız akım **düz** sediment (d) **çelik**, kararsız akım **dalgali** sediment tabanlı boruda sediment (üst) ve atıksu (alt) akışı

EK B.1. Durum:2,800X1200mm, 1/500

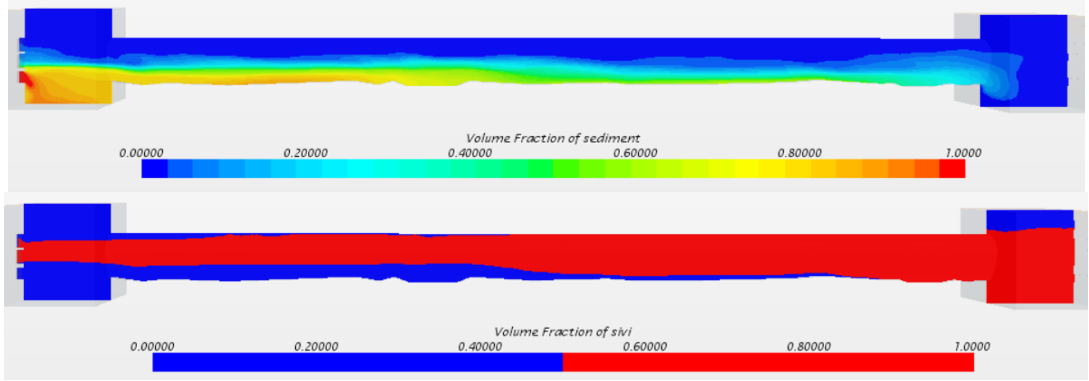




(b) beton, kararsız akım **dalgalı** sediment



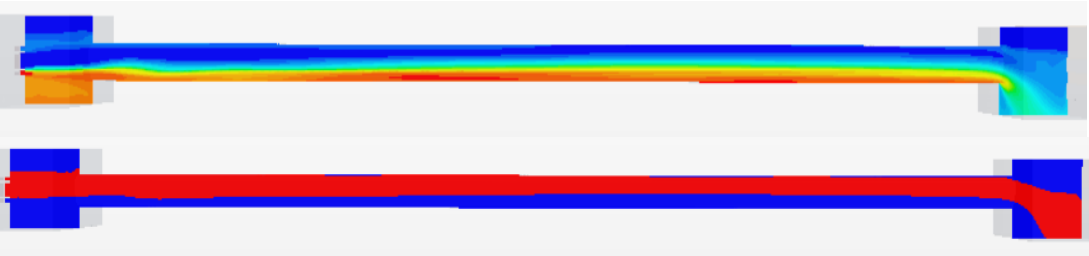
(c) **çelik**, kararsız akım **düz** sediment



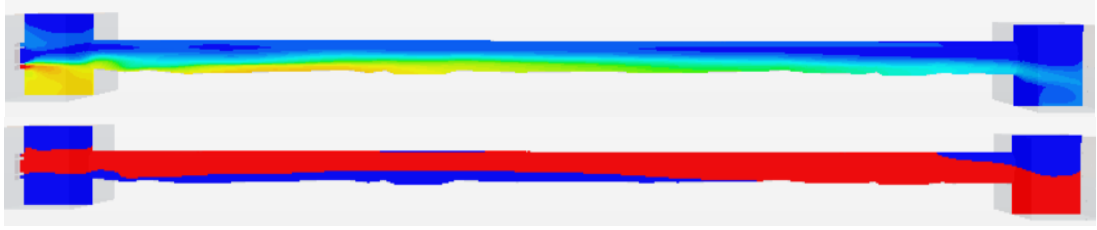
(d) **çelik**, kararsız akım **dalgalı** sediment

Şekil B.3 Durum:2, 800x1200 mm, 1/1500 (a) **beton**, kararsız akım **düz** sediment (b) **beton**, kararsız akım **dalgalı** sediment (c) **çelik**, kararsız akım **düz** sediment (d) **çelik**, kararsız akım **dalgalı** sediment tabanlı boruda sediment (üst) ve atıksu (alt) akışı

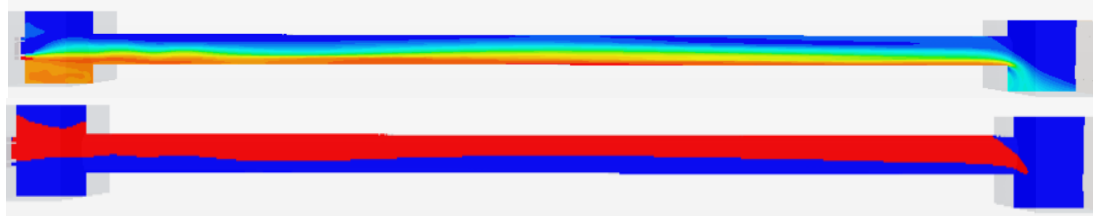
EK B.2. Durum:3, 400x600 mm, 1/500



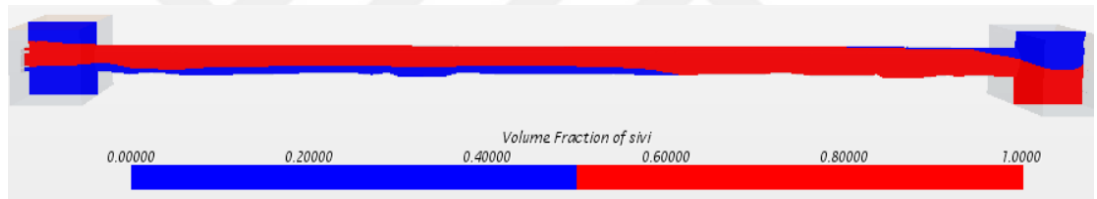
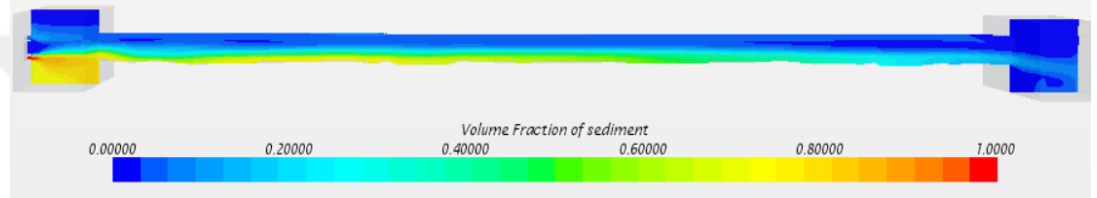
(a) **beton**, kararsız akım **düz** sediment



(b) beton, kararsız akım **dalgalı** sediment



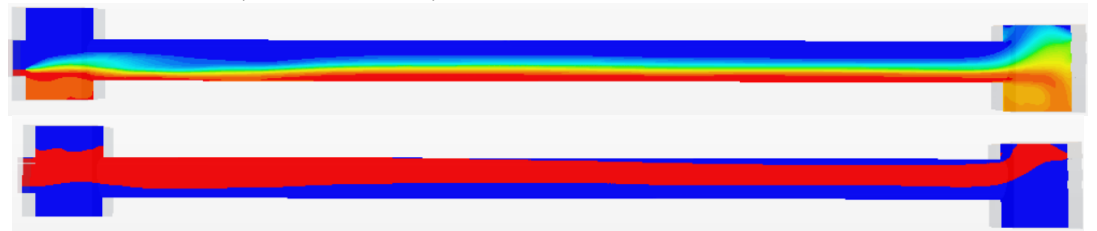
(c) **çelik**, kararsız akım **düz** sediment



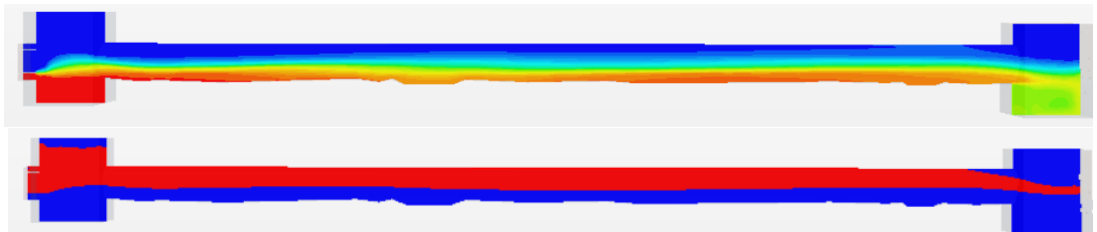
(d) **çelik**, kararsız akım **dalgalı** sediment

Şekil B.4 Durum:3, 400x600 mm, 1/500, (a) **beton**, kararsız akım **düz** sediment (b) **beton**, kararsız akım **dalgalı** sediment (c) **çelik**, kararsız akım **düz** sediment (d) **çelik**, kararsız akım **dalgalı** sediment tabanlı boruda sediment (üst) ve atıksu (alt) akışı

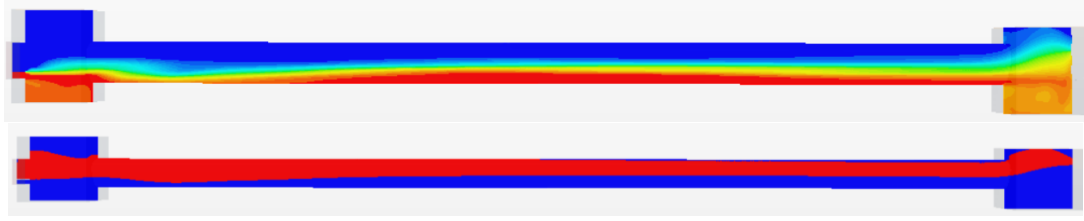
EK B.2. Durum:3, 600x900 mm, 1/500



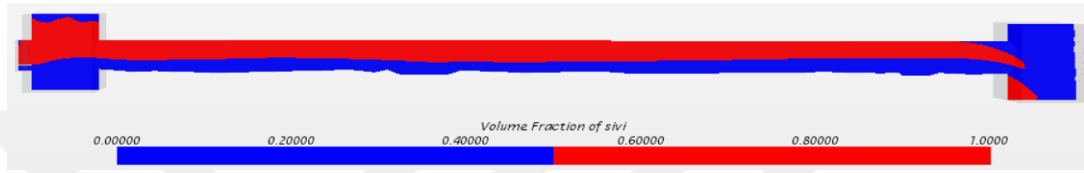
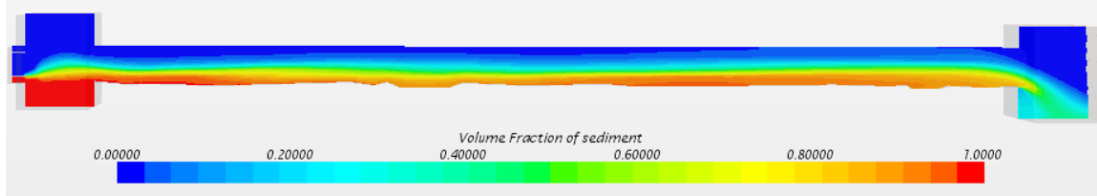
(a) beton, kararsız akım **düz** sediment



(b) beton, kararsız akım **dalgalı** sediment



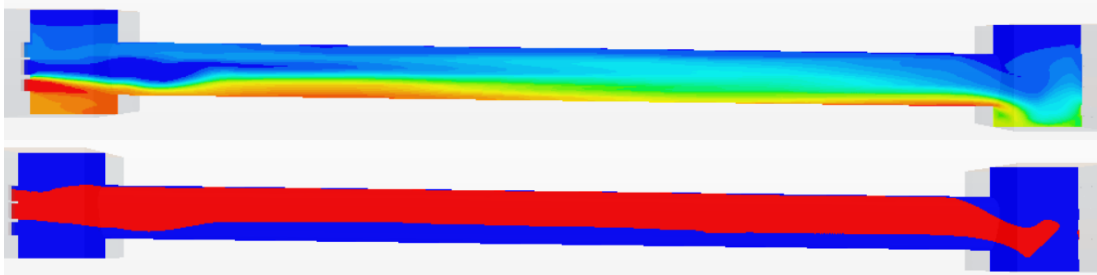
(c) **çelik**, kararsız akım **düz** sediment



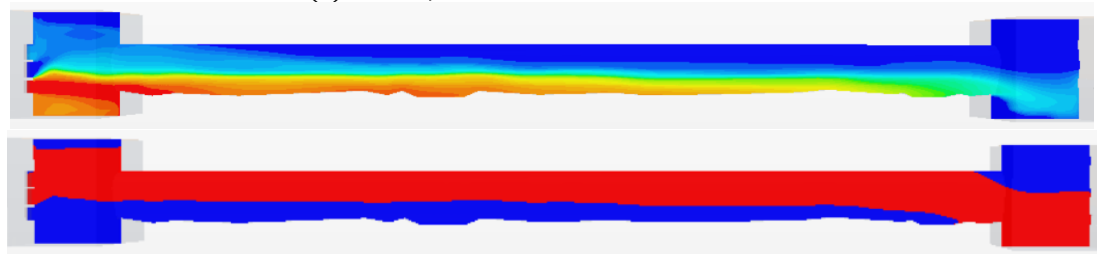
(d) **çelik**, kararsız akım **dalgalı** sediment

Şekil B.5 Durum:3, 600x900 mm, 1/500, (a) **beton**, kararsız akım **düz** sediment (b) **beton**, kararsız akım **dalgalı** sediment (c) **çelik**, kararsız akım **düz** sediment (d) **çelik**, kararsız akım **dalgalı** sediment tabanlı boruda sediment (üst) ve atıksu (alt) akışı

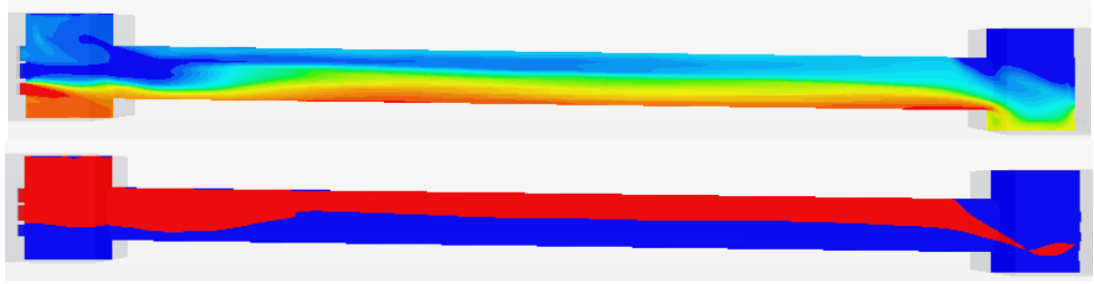
EK B.2. Durum:3, 800x1200 mm, 1/500



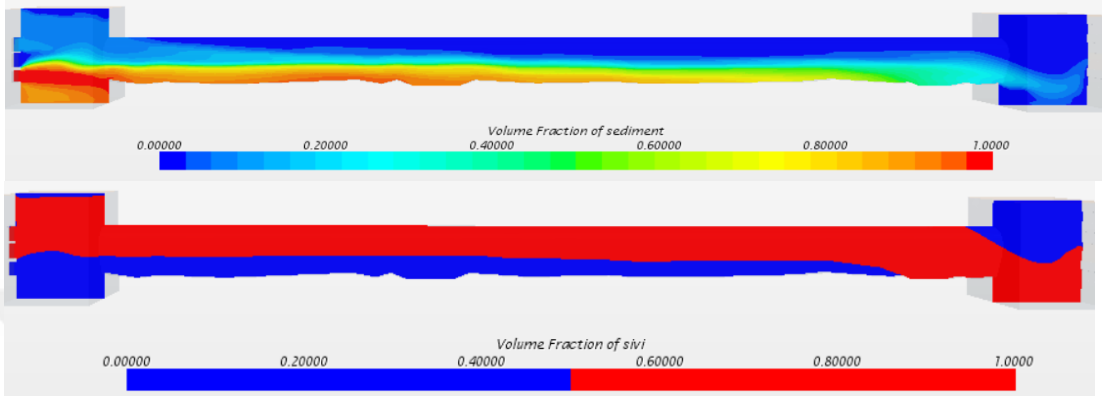
(a) **beton**, kararsız akım **düz** sediment



(b) **beton**, kararsız akım **dalgalı** sediment



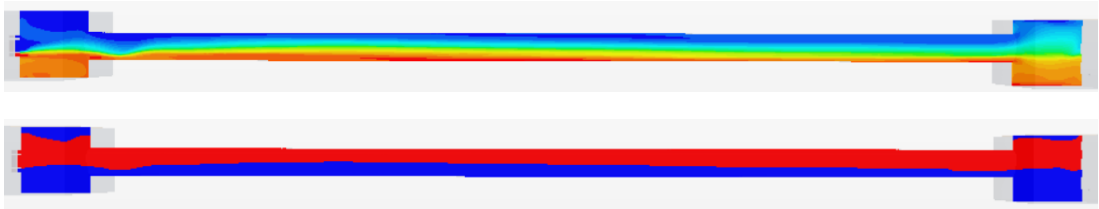
(c) **çelik**, kararsız akım **düz** sediment



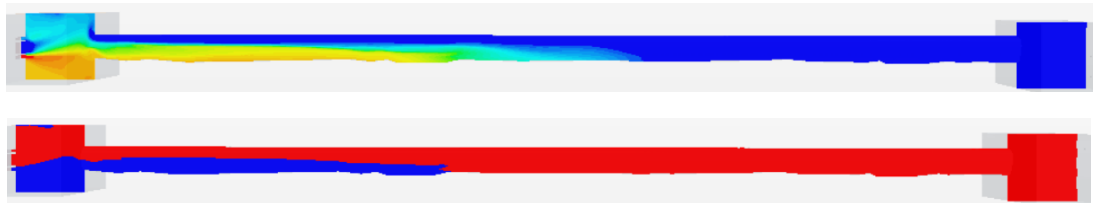
(d) **çelik**, kararsız akım **dalgalı** sediment

Şekil B.6 Durum:3, 800x1200 mm, 1/1500, (a) **beton**, kararsız akım **düz** sediment (b)**beton**, kararsız akım **dalgalı** sediment(c) **çelik**, kararsız akım **düz** sediment (d) **çelik**, kararsız akım **dalgalı** sediment *tabanlı boruda sediment (üst) ve atıksu (alt) akışı*

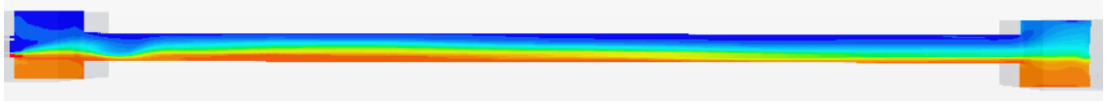
EK B.3. Durum:4,400x600mm, 1/1500



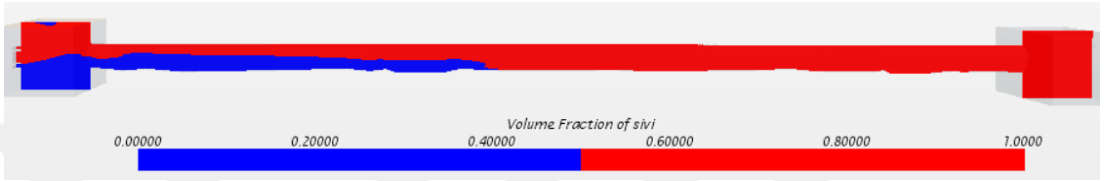
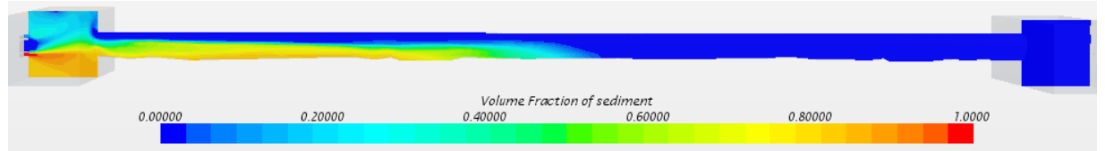
(a) beton, kararsız akım **düz** sediment



(b) beton, kararsız akım **dalgalı** sediment



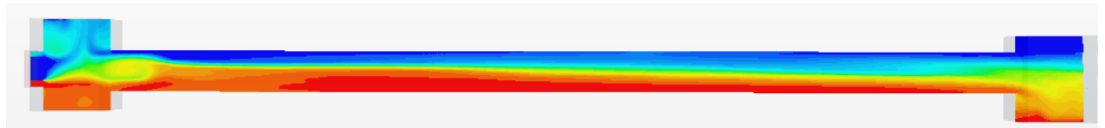
(c) **çelik, kararsız akım düz sediment**



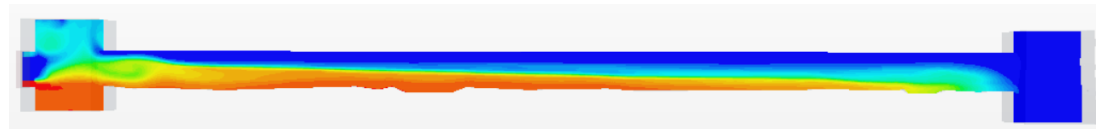
(d) **çelik, kararsız akım dalgalı sediment**

Şekil B.7 Durum:4, 400x600 mm, 1/500, (a) **beton, kararsız akım düz sediment** (b) **beton, kararsız akım dalgalı sediment** (c) **çelik, kararsız akım düz sediment** (d) **çelik, kararsız akım dalgalı sediment** tabanlı boruda sediment (üst) ve atıksu (alt) akışı

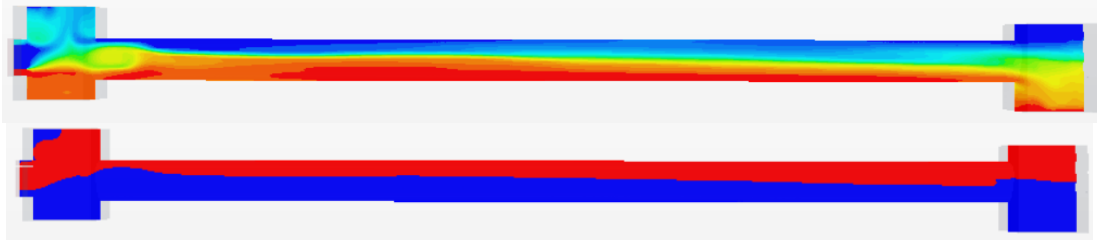
EK B.3. Durum:4,600x900mm, 1/1500



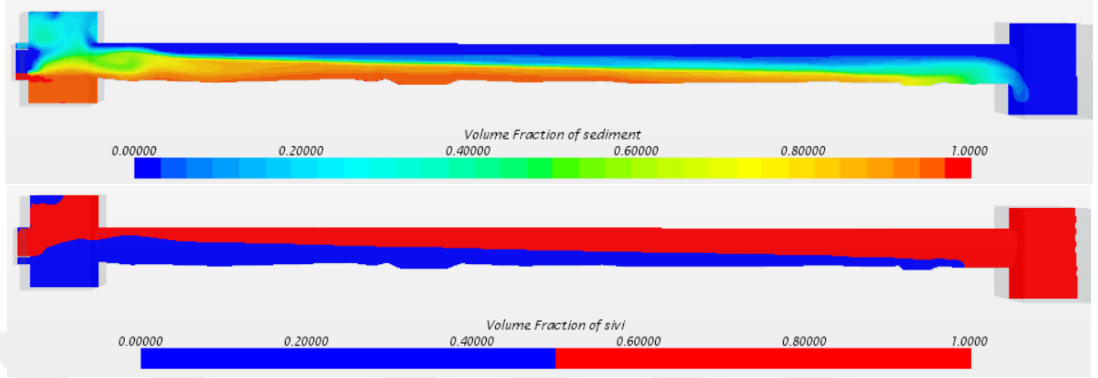
(a) **beton, kararsız akım düz sediment**



(b) **beton, kararsız akım dalgalı sediment**



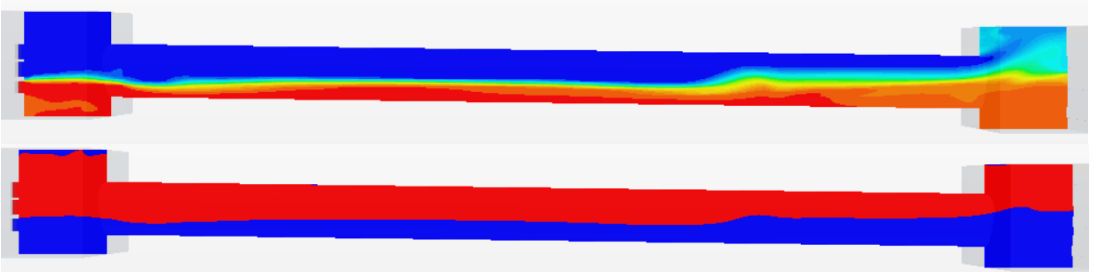
(c) **çelik**, kararsız akım **düz** sediment



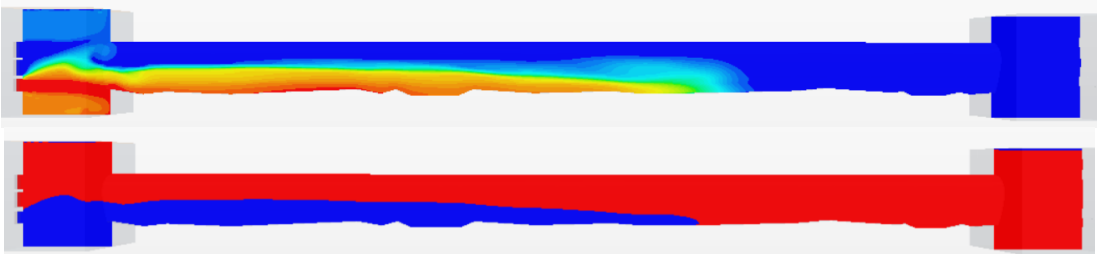
(d) **çelik**, kararsız akım **dalgalı** sediment

Şekil B.8 Durum:4, 600x900 mm, 1/500 (a) **beton**, kararsız akım **düz** sediment (b) **beton**, kararsız akım **dalgalı** sediment (c) **çelik**, kararsız akım **düz** sediment (d) **çelik**, kararsız akım **dalgalı** sediment tabanlı boruda sediment (üst) ve atıksu (alt) akışı

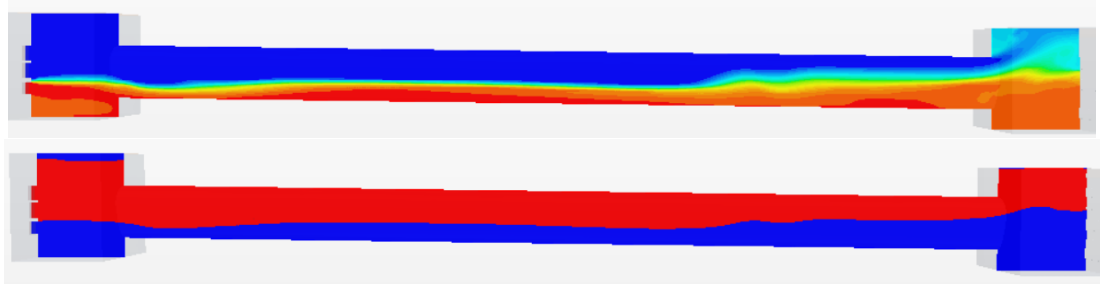
EK B.3. Durum:4,800x1200mm, 1/1500



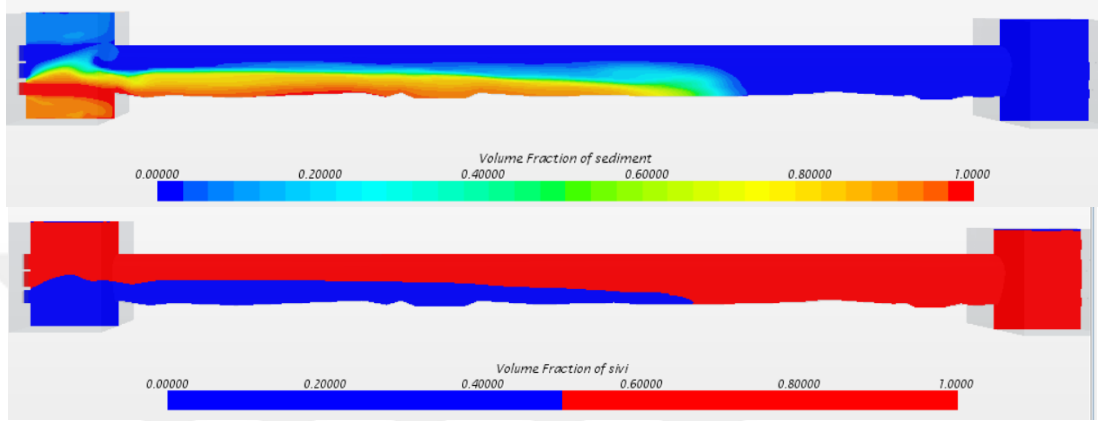
(a) **beton**, kararsız akım **düz** sediment



(b) **beton**, kararsız akım **dalgalı** sediment



(c) **çelik**, kararsız akım **düz** sediment



(d) **çelik**, kararsız akım **dalgalı** sediment

Şekil B.9 Durum:4, 800x1200 mm, 1/1500 (a) **beton**, kararsız akım **düz** sediment (b) **beton**, kararsız akım **dalgalı** sediment (c) **çelik**, kararsız akım **düz** sediment (d) **çelik**, kararsız akım **dalgalı** sediment tabanlı boruda sediment (üst) ve atıksu (alt) akışı

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Esin ACAR
Doğum Yeri ve Yılı :
Medeni Hali :
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta :

Eğitim Durumu

Lise :Burdur Cumhuriyet Lisesi, 1999
Lisans :Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği
Bölümü, 2003
Yüksek Lisans :Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği
Bölümü, 2008

Mesleki Deneyim

Kurum bilgisi	:Uzman Yapı Denetim- Kontrol Mühendisi	2003-2004
Kurum bilgisi	:Dinamik Yapı Denetim- Kontrol Mühendisi	2004-2005
Kurum bilgisi	:ADO Enerji Üretim – Planlama Baş Mühendisi	2005-2012
Kurum bilgisi	:Burdur Başak Tarımsal Danışman.-Yön. Kur. Bşk.	2013-2014
Kurum bilgisi	:Artvin Çoruh Üniversitesi-Öğretim Görevlisi	2014-.....

Yayınları

SCI-Exp., SSCI ve AHCI Kapsamı Dışındaki Uluslararası İndekslerce Taranan Dergilerde Yayınlanan Makaleler

- A.1 Acar, E. Artvin İlinin Hidroelektrik Santraller Bakımından Değerlendirilmesi. Karadeniz Araştırmaları,2017, 56, 185-199.
A.2 Acar, E. Doğu Karadeniz Bölgesindeki Hidroelektrik Santrallerin (HES) Kapasite Faktörlerinin Değerlendirilmesi. Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi, 2020, 2, 296-307.
A.3 Acar, E. Lise Mezuniyet Alanlarının Öğrenci Başarısına Etkisi ve Sonuçlarının Değerlendirilmesi: Borçka Acarlar Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü Örneği. Yalvaç Akademi Dergisi, 2020, 1, 17-34.
A.4 Acar, E. Türkiye'deki Rüzgar Ve Hidroelektrik Enerji Potansiyellerinin Karşılaştırılması ve Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi: Söylemez Hes Ve İtepe Res Örneği. International Journal of Engineering and Innovative Research, 2020, 1, 8-23.

Türündeki Bilimsel Bir Kitapta En Az Bir Bölümün Yazarlığı

- A.1 Acar, E. Doğu Karadeniz'in Su Potansiyeli: Artvin Örneği. Doğu Karadeniz'de Toplumsal Araştırmalar,2018, 223-238.

Uluslararası Bir Kurum/Kuruluş Tarafından Düzenlenmiş, Hakemli Bir Kongre/Sempozyum 'da Sunulmuş ve Kongre Bildiriler Kitabında veya Bildiriler CD'sinde Yer Alan Bir Tam Tebliğ

A.1 Acar, E. Artvin İlindeki Hidroelektrik Santrallerin Önemi. Uluslararası Artvin Sempozyumu,2018.

A.2 Acar, E.,Kılıçer, S.T., Akıncı, H. Artvin İli Kemalpaşa İlçesi Çamdere ve Karaosmaniye Derelerinin Taşkın Risklerinin Değerlendirilmesi. Uluslararası Artvin Sempozyumu, Artvin, 2018.

A.3 Kılıçer, S.T., Acar, E., Akıncı, H. Artvin İli Hopa İlçesi Sundura Deresinin Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Hec-Ras Modeli Kullanılarak Taşkın Alanlarının Belirlenmesi. Uluslararası Artvin Sempozyumu, Artvin, 2018.

A.4 Acar, E. The Evaluation Of The Effect Of Manning Roughness Coefficient On Open Channel Hydrolics With HEC-RAS. International Civil Engineering and Architecture Conference 2019, Trabzon, Türkiye,2019,1.

A.5 Akıncı, H., Kılıçer, S.T., Acar, E. Sundura Deresinin (Hopa, Artvin) Taşkın Yayılım Alanlarının Belirlenmesi. 2. Uluslararası 19 Mayıs Yenilikçi Bilimsel Yaklaşımlar Kongresi, Samsun, 2019.

A.6 Acar, E. Determination Of The Capacity Factors Of Dam Hydroelectric Powerplants (HEPP) in Eastern Black Sea Region. International Civil Engineering and Architecture Conference 2019, Trabzon, Türkiye, 2019,1.

Uluslararası İndekslerce Taranan Dergiler Dışında Ulusal Hakemli ve Süreli Dergilerde Yayınlanan Makaleler

A.1 Acar, E. Yenilenebilir Enerji: Türkiye'deki Hidroelektrik Santraller. Yeni Türkiye Dergisi, Yenilenebilir Enerji özel sayısı, 2021, 118, 115-124.

Ulusal Bir Kurum/Kuruluş Tarafından Düzenlenen Hakemli Bir Kongre/Sempozyum'da Sunulmuş ve Konferans Bildiri Kitabında veya Bildiriler CD'sinde Yer Alan Basılmış Bir Tam Tebliğ

A.1 Acar, E., Doğan, A. Türkiye'nin Rüzgar ve Hidroelektrik Enerji Potansiyeli ve Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi. VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES 2008, 2008.

Tamamlanmış Bir Araştırma Projesinde Araştırmacı Olarak Görev

A.1 Arhavi, Hopa ve Borçka İlçelerinin Heyelan Duyarlılık ve Taşkın Risk Haritalarının Üretilmesi, Yükseköğretim Kurumları tarafından destekli bilimsel araştırma projesi, 2017- 04.2019.