



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

06.07.2003

uygun

Prof. Dr. Cuma Bayat

DOKTORA TEZİ

130851

SOĞUK DEŞARJDA BİRİNCİ SEYRELMEİNİN İNCELENMESİ

Semih NEMLİOĞLU
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman
Prof.Dr.Cuma BAYAT

TEMMUZ – 2003

**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İSTANBUL

**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Bu çalışma 25.07.2003 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Cuma BAYAT
Danışman

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Mehmet BERKÜN

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Mehmet BORAT

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Ahmet DEMİR

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Tuncer ÇELİK

ÖNSÖZ

İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'na Doktora Tezi olarak sunduğum “**Soğuk Deşarjda Birinci Seyrelmenin İncelenmesi**” başlıklı çalışmamın her aşamasında yüksek ilgi, bilgi aktarımı ve tavsiyelerini her an sunan, çalışmanın oluşturulması için hemen hemen hiç bir olanak yokken İ.Ü. Çevre Mühendisliği Bölümü'ne Hidrolik Laboratuvarı'nı kurarak böyle bir çalışmanın yapılabilir hale getirilmesinde her türlü yardımı gösteren tez danışmanım Sayın Hocam Prof.Dr.Cuma BAYAT'a en içten teşekkürlerimi sunar, İ.Ü. Araştırma Fonu tarafından bu çalışmanın gerçekleştirilebilmesi için proje oluşturarak çalışmanın üst düzeye getirilmesinde çok büyük emeği geçtiği için de ayrıca minnettarlığımı ifade etmek isterim. Bu çalışmanın oluşturulabilmesi için öncelikle lisans ve yüksek lisans eğitimimde danışmanım olmuş bulunan, tez konum hakkındaki ilk temel bilgi ve becerilerimi sağlamış olan, bu çalışma boyunca da değerli katkılarını esirgemeyen K.T.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Sayın Hocam Prof.Dr. Mehmet BERKÜN'e teşekkürü borç bilirim. İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Sayın Prof.Dr. İzzet ÖZTÜRK'e yardımlarından dolayı teşekkür ederim. Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde yardımlarını esirgemeyen İ.Ü. Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü sayın öğretim üyelerine, çalışma arkadaşlarıma, İstanbul Üniversitesi mensubu olan ve olmayan katkısı bulunan diğer bütün öğretim üyesi ve çalışanlarına, yardımcı olan diğer bütün kişi ve kuruluşlara en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme de teşekkür ederim.

İstanbul, Temmuz, 2003

Semih NEMLİOĞLU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
Önsöz.....	II
İçindekiler.....	III
Şekil Listesi.....	VI
Tablo Listesi.....	X
Özet.....	XIII
Summary.....	XIV
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Isıl Deşarjın Çevresel Etkileri.....	1
1.2. Isıl Deşarjla İlgili Mevzuat.....	5
1.3. Isıl Deşarj Bakımından Türkiye Denizleri.....	7
1.4. LNG Terminallerinin Dünyadaki Konumu.....	9
1.5. Deşarj Tipleri.....	10
1.6.Deşarj Tesisinin Genel Yapısı.....	13
1.7. Deşarj Yapıları Aracılığıyla Atıksu Deşarjı.....	16
1.8. Yayıcı Hidroliği.....	18
1.8.1. Dışa Akış.....	18
1.8.2. Boru İçinde Akış.....	20
1.8.3. Yayıcı İç Hidroliği.....	21
1.8.4. Temel Eşitlikler.....	22
1.8.5. Debi İncelemesi.....	23
1.8.5.1. Enerji Eşitliği.....	23
1.8.5.2. Deliklerde Akış.....	23
1.9. Homojen Alıcı Su Ortamı İçine Birinci Seyrelme.....	26
1.9.1. Yarık (Çizgisel) Saçakların Yüzey Seyrelmesi.....	28
1.9.2. Dairesel Jetlerin ve Saçakların Seyrelmesi.....	30
1.9.3. Alıcı Ortam Sıvısı ile Aynı Yoğunluktaki Çıkış Suyu.....	32
1.10. Deşarj Tesislerinin Geliştirilmesi İçin Yapılan Çalışmalar.....	32
1.11. Isıl Deşarj İçin Tekil Jet Davranışlarının Belirlenmesi.....	35
2. MALZEME VE YÖNTEM.....	38
2.1. Deneylerin Yapılışı.....	39
2.1.1. Deneylerde Yapılan Kabuller.....	41
2.2. Deneysel Verilerin Değerlendirilmesi.....	41
2.2.1. Sıcaklık Dağılımı.....	41
2.2.2. Jet Yörüngeleri.....	41
2.2.3. Jet Merkezi Koordinatları.....	42
2.3. Deneylerde Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar.....	43
2.3.1. Deneylerde Kullanılan Cihaz ve Esas Ekipmanlar.....	43
2.3.2. Yan Ekipmanlar.....	43
2.4. Deneylerde Kullanılan Cihaz ve Ekipmanların Özellik ve Duyarlılıkları.....	43
2.4.1. Pleksiglas Deney Tankı.....	43
2.4.2.Soğutucu-Isıtıcı Dijital Su Banyosu.....	45
2.4.3. Peristaltik Pompa.....	45

2.4.4. Dijital Debi Ölçer.....	45
2.4.5. Sıcaklık Ölçer Data Logger.....	46
2.4.6. Portatif Sıcaklık Ölçer.....	46
2.4.7. Yoğunluk Ölçer.....	46
2.4.8. Dijital Kamera.....	48
2.4.9. Kronometre.....	48
2.4.10. Prop Taşıma Aparatı.....	48
2.4.11. Deşarj Delikleri.....	49
 3. BULGULAR.....	 50
3.1. Yatay Delik ile Soğuk Deşarj.....	50
3.1.1. Yatay Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Merkezi Boyunca Sıcaklık Dağılımları..	50
3.1.2. Yatay Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Yörüngeleri.....	54
3.2. 30° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarj.....	57
3.2.1. 30° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Merkezi Boyunca Sıcaklık Dağılımları.....	57
3.2.2. 30° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Yörüngeleri.....	61
3.3. 45° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarj.....	64
3.3.1. 45° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Merkezi Boyunca Sıcaklık Dağılımları.....	64
3.3.2. 45° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Yörüngeleri.....	68
3.4. 60° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarj.....	71
3.4.1. 60° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Merkezi Boyunca Sıcaklık Dağılımları.....	71
3.4.2. 60° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Yörüngeleri.....	75
3.5. 90° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarj.....	78
3.5.1. 90° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Merkezi Boyunca Sıcaklık Dağılımları.....	78
3.5.2. 90° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Yörüngeleri.....	82
3.6. Deşarj Deliği Açısına Bağlı Sıcaklık Değişimleri.....	84
3.7. Deşarj Deliği Açısına Bağlı Birinci Seyrelme Değişimleri.....	90
 4. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	 96
4.1. Yatay Delik ile Soğuk Deşarj.....	96
4.1.1. Yatay Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Merkezi Boyunca Sıcaklık Dağılımları..	96
4.1.2. Yatay Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Yörüngeleri.....	96
4.2. 30° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarj.....	97
4.2.1. 30° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Merkezi Boyunca Sıcaklık Dağılımları.....	97
4.2.2. 30° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Yörüngeleri.....	98
4.3. 45° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarj.....	99
4.3.1. 45° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Merkezi Boyunca Sıcaklık Dağılımları.....	99
4.3.2. 45° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Yörüngeleri.....	99
4.4. 60° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarj.....	100

4.4.1. 60° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Merkezi Boyunca Sıcaklık Dağılımları.....	100
4.4.2. 60° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Yörüngeleri.....	101
4.5. 90° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarj.....	102
4.5.1. 90° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Merkezi Boyunca Sıcaklık Dağılımları.....	102
4.5.2. 90° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Yörüngeleri.....	103
4.6. Deşarj Deliği Açısına Bağlı Olarak Sıcaklık Dağılımları ve Birinci Seyremlerin Karşılaştırılması.....	103
4.7. Soğuk Su Deşarjının Çok Delikli Yayıcı ile Yapılmasının Proje Kriterleri Bakımından Değerlendirilmesi.....	104
4.8. Soğuk Su Deşarjı Sonuçlarının Türkiye İçin Genel Değerlendirilmesi.....	107
5. KAYNAKLAR.....	109
6. ÖZGEÇMİŞ.....	118



TC YATIRIM MENKUL DEĞERLER A.Ş.
YATIRIM MENKUL DEĞERLER A.Ş.

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1. Karadeniz (Trabzon) deniz suyu yüzey sıcaklığının zamana bağlı değişimi.....	7
Şekil 2. Marmara Denizi (İstanbul) deniz suyu yüzey sıcaklığının zamana bağlı değişimi.....	8
Şekil 3. Ege Denizi (İzmir) deniz suyu yüzey sıcaklığının zamana bağlı değişimi...	8
Şekil 4. Akdeniz (Antalya) deniz suyu yüzey sıcaklığının zamana bağlı değişimi...	9
Şekil 5. Deniz kıyısına evsel atıksuyun kısa deşarjı (Karadeniz, Trabzon).....	11
Şekil 6. Yüzeyde kapanlanma.....	12
Şekil 7. Arada kapanlanma.....	12
Şekil 8. Yoğun deşarj.....	12
Şekil 9. Açık ağızlı bir borudan denize deşarj.....	13
Şekil 10. Bir deşarj tesisinin şematik çizimi.....	14
Şekil 11. İç hıza göre çap daraltması yapılmış bir yayıcı.....	14
Şekil 12. Çan ağızlı bir delik.....	15
Şekil 13. Dört tip yükselticisiz ve yükselticili deşarj tesisi yayıcı borusu düzenlemesi.....	15
Şekil 14. Çizgi kaynak halini alan atıksu jetleri.....	17
Şekil 15. Ardışık yayıcı deliklerinin hidrolik parametreleri.....	22
Şekil 16. Akıntıya dik deşarj edilmiş saçak için iki boyutlu akış rejimleri.....	28
Şekil 17. Kararlı akıntı içinde çizgisel saçakların minimum yüzeysel seyrelmeleri.	29
Şekil 18. Düzgün yayılı, durgun su içerisinde çakışan dairesel jetler için merkez hattı sabit seyrelme değerlerinin eşdeğer çizgileri.....	30
Şekil 19. Aynı yoğunlukta su içerisine deşarj edilmiş dairesel ve çizgisel jetlerin merkez hattı seyrelmeleri.....	32
Şekil 20. Soğuk su deşarjında deşarj deliğinin şematik çizimi.....	38
Şekil 21. Pleksiglas deney tankı.....	44
Şekil 22. Soğutucu-ısıtıcı dijital su banyosu.....	47
Şekil 23. Peristaltik pompa.....	47
Şekil 24. Dijital debi ölçer.....	47
Şekil 25. Sıcaklık ölçer data logger.....	47
Şekil 26. PT100 sıcaklık sensörü.....	47
Şekil 27. Aparata bağlı sıcaklık sensörleri.....	47
Şekil 28. Portatif sıcaklık ölçer.....	47
Şekil 29. Yoğunluk ölçer.....	47
Şekil 30. $F_0 = 9,0$, $\theta_0 = 0^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	50
Şekil 31. $F_0 = 17,3$, $\theta_0 = 0^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	51
Şekil 32. $F_0 = 21,8$, $\theta_0 = 0^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	51
Şekil 33. $F_0 = 35,3$, $\theta_0 = 0^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	51
Şekil 34. $F_0 = 52,3$, $\theta_0 = 0^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	52

Şekil 35. $F_0 = 70,4$, $\theta_0 = 0^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	52
Şekil 36. $F_0 = 88,5$, $\theta_0 = 0^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	52
Şekil 37. $F_0 = 132,3$, $\theta_0 = 0^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	53
Şekil 38. $F_0 = 9,0$ ila $132,3$ için ve $\theta_0 = 0^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı	53
Şekil 39. $F_0 = 9,0$ ila $132,3$ için ve $\theta_0 = 0^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımının yasal kriter ile ilgili bölümü.....	54
Şekil 40. $\theta_0 = 0^\circ$ açısında $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet dağılımları.....	55
Şekil 41. $\theta_0 = 0^\circ$ açısında $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet içi sıcaklık ölçüm koordinatları.....	56
Şekil 42. $F_0 = 9,0$ ila $132,3$ için ve $\theta_0 = 0^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için sıcaklık ölçümü yapılan jet merkez eksenini koordinatları.....	57
Şekil 43. $F_0 = 8,7$, $\theta_0 = 30^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	58
Şekil 44. $F_0 = 19,1$, $\theta_0 = 30^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	58
Şekil 45. $F_0 = 21,2$, $\theta_0 = 30^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	58
Şekil 46. $F_0 = 32,9$, $\theta_0 = 30^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	59
Şekil 47. $F_0 = 48,6$, $\theta_0 = 30^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	59
Şekil 48. $F_0 = 65,8$, $\theta_0 = 30^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	60
Şekil 49. $F_0 = 83,2$, $\theta_0 = 30^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	60
Şekil 50. $F_0 = 155,5$, $\theta_0 = 30^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	60
Şekil 51. $F_0 = 8,7$ ila $155,5$ için ve $\theta_0 = 30^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	61
Şekil 52. $F_0 = 8,7$ ila $155,5$ için ve $\theta_0 = 30^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımının yasal kriter ile ilgili bölümü.....	61
Şekil 53. $\theta_0 = 30^\circ$ açısında $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet dağılımları.....	62
Şekil 54. $\theta_0 = 30^\circ$ açısında $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet içi sıcaklık ölçüm koordinatları.....	63
Şekil 55. $F_0 = 8,7$ ila $155,5$ için ve $\theta_0 = 30^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için sıcaklık ölçümü yapılan jet merkez eksenini koordinatları.....	64
Şekil 56. $F_0 = 9,2$, $\theta_0 = 45^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	65
Şekil 57. $F_0 = 17,7$, $\theta_0 = 45^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	65
Şekil 58. $F_0 = 22,8$, $\theta_0 = 45^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	65
Şekil 59. $F_0 = 35,1$, $\theta_0 = 45^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	66

Şekil 60. $F_0 = 52,9$, $\theta_0 = 45^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	66
Şekil 61. $F_0 = 68,8$, $\theta_0 = 45^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	66
Şekil 62. $F_0 = 92,1$, $\theta_0 = 45^\circ$, $\theta_0 = 45^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	67
Şekil 63. $F_0 = 138,2$, $\theta_0 = 45^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	67
Şekil 64. $F_0 = 9,2$ ila $138,2$ için ve $\theta_0 = 45^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	67
Şekil 65. $F_0 = 9,2$ ila $138,2$ için ve $\theta_0 = 45^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımının yasal kriter ile ilgili bölümü.....	68
Şekil 66. $\theta_0 = 45^\circ$ açısında $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet dağılımları.....	69
Şekil 67. $\theta_0 = 45^\circ$ açısında $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet içi sıcaklık ölçüm koordinatları.....	70
Şekil 68. $F_0 = 9,2$ ila $138,2$ için ve $\theta_0 = 45^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için sıcaklık ölçümü yapılan jet merkez eksenini koordinatları.....	71
Şekil 69. $F_0 = 7,6$, $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	72
Şekil 70. $F_0 = 16,6$, $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	72
Şekil 71. $F_0 = 25,2$, $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	72
Şekil 72. $F_0 = 34,2$, $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	73
Şekil 73. $F_0 = 52,9$, $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	73
Şekil 74. $F_0 = 68,8$, $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	73
Şekil 75. $F_0 = 88,1$, $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	74
Şekil 76. $F_0 = 145,1$, $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	74
Şekil 77. $F_0 = 7,6$ ila $145,1$ için ve $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	74
Şekil 78. $F_0 = 7,6$ ila $145,1$ için ve $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımının yasal kriter ile ilgili bölümü.....	75
Şekil 79. $\theta_0 = 60^\circ$ açısında $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet dağılımları.....	76
Şekil 80. $\theta_0 = 60^\circ$ açısında $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet içi sıcaklık ölçüm koordinatları.....	77
Şekil 81. $F_0 = 7,6$ ila $145,1$ için ve $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için sıcaklık ölçümü yapılan jet merkez eksenini koordinatları.....	78
Şekil 82. $F_0 = 20,4$, $\theta_0 = 90^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın düşey dağılımı.....	79
Şekil 83. $F_0 = 26,8$, $\theta_0 = 90^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın düşey dağılımı.....	79
Şekil 84. $F_0 = 39,0$, $\theta_0 = 90^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın düşey dağılımı.....	79

Şekil 85. $F_0 = 47,3$, $\theta_0 = 90^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın düşey dağılımı.....	80
Şekil 86. $F_0 = 66,4$, $\theta_0 = 90^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın düşey dağılımı.....	80
Şekil 87. $F_0 = 238,3$, $\theta_0 = 90^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın düşey dağılımı.....	80
Şekil 88. $F_0 = 20,4$ ila $238,3$ için ve $\theta_0 = 90^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın düşey dağılımı.....	81
Şekil 89. $F_0 = 20,4$ ila $238,3$ için ve $\theta_0 = 90^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımının yasal kriter ile ilgili bölümü.....	81
Şekil 90. $\theta_0 = 90^\circ$ açısında $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet dağılımları.....	82
Şekil 91. $F_0 = 7,6$ ila $9,2$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$, 30° , 45° ve 60° için sıcaklık dağılımı karşılaştırması.....	84
Şekil 92. $F_0 = 16,6$ ila $19,1$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$, 30° , 45° ve 60° için sıcaklık dağılımı karşılaştırması.....	85
Şekil 93. $F_0 = 21,2$ ila $25,2$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$, 30° , 45° ve 60° için sıcaklık dağılımı karşılaştırması.....	85
Şekil 94. $F_0 = 32,9$ ila $35,2$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$, 30° , 45° ve 60° için sıcaklık dağılımı karşılaştırması.....	86
Şekil 95. $F_0 = 48,6$ ila $52,9$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$, 30° , 45° ve 60° için sıcaklık dağılımı karşılaştırması.....	87
Şekil 96. $F_0 = 65,8$ ila $70,4$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$, 30° , 45° ve 60° için sıcaklık dağılımı karşılaştırması.....	87
Şekil 97. $F_0 = 83,2$ ila $92,1$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$, 30° , 45° ve 60° için sıcaklık dağılımı karşılaştırması.....	88
Şekil 98. $F_0 = 132,3$ ila $155,5$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$, 30° , 45° ve 60° için sıcaklık dağılımı karşılaştırması.....	89
Şekil 99. $F_0 = 7,6$ ila $9,2$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$, 30° , 45° ve 60° için birinci seyrilmelerin karşılaştırması.....	90
Şekil 100. $F_0 = 16,6$ ila $19,1$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$, 30° , 45° ve 60° için birinci seyrilmelerin karşılaştırması.....	91
Şekil 101. $F_0 = 21,2$ ila $25,2$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$, 30° , 45° ve 60° için birinci seyrilmelerin karşılaştırması.....	91
Şekil 102. $F_0 = 32,9$ ila $35,2$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$, 30° , 45° ve 60° için birinci seyrilmelerin karşılaştırması.....	92
Şekil 103. $F_0 = 48,6$ ila $52,9$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$, 30° , 45° ve 60° için birinci seyrilmelerin karşılaştırması.....	93
Şekil 104. $F_0 = 65,8$ ila $70,4$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$, 30° , 45° ve 60° için birinci seyrilmelerin karşılaştırması.....	93
Şekil 105. $F_0 = 83,2$ ila $92,1$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$, 30° , 45° ve 60° için birinci seyrilmelerin karşılaştırması.....	94
Şekil 106. $F_0 = 132,3$ ila $155,5$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$, 30° , 45° ve 60° için birinci seyrilmelerin karşılaştırması.....	95

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 1. LNG terminallerinin Dünyadaki dağılımı.....	10
Tablo 2. Saf suyun yoğunluğunun sıcaklıkla değişimi.....	13
Tablo 3. Saf suyun yoğunluk değerleri (Anton Paar DMA 4500).....	48
Tablo 4. $\theta_0=0^\circ$ ve $\Delta T_0=-5^\circ\text{C}$, $d_0=1\text{ cm}$ için gerçekleştirilen deneyler.....	50
Tablo 5. $F_0=9,0$, $\theta_0=0^\circ$, $\Delta T_0=-5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	50
Tablo 6. $F_0=17,3$, $\theta_0=0^\circ$, $\Delta T_0=-5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	51
Tablo 7. $F_0=21,8$, $\theta_0=0^\circ$, $\Delta T_0=-5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	51
Tablo 8. $F_0=35,2$, $\theta_0=0^\circ$, $\Delta T_0=-5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	51
Tablo 9. $F_0=52,3$, $\theta_0=0^\circ$, $\Delta T_0=-5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	52
Tablo 10. $F_0=70,4$, $\theta_0=0^\circ$, $\Delta T_0=-5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	52
Tablo 11. $F_0=88,5$, $\theta_0=0^\circ$, $\Delta T_0=-5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	52
Tablo 12. $F_0=132,3$, $\theta_0=0^\circ$, $\Delta T_0=-5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	53
Tablo 13. $\theta_0=30^\circ$ ve $\Delta T_0=-5^\circ\text{C}$, $d_0=1\text{ cm}$ için gerçekleştirilen deneyler.....	57
Tablo 14. $F_0=8,7$, $\theta_0=30^\circ$, $\Delta T_0=-5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	58
Tablo 15. $F_0=19,1$, $\theta_0=30^\circ$, $\Delta T_0=-5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	58
Tablo 16. $F_0=21,2$, $\theta_0=30^\circ$, $\Delta T_0=-5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	58
Tablo 17. $F_0=32,9$, $\theta_0=30^\circ$, $\Delta T_0=-5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	59
Tablo 18. $F_0=48,6$, $\theta_0=30^\circ$, $\Delta T_0=-5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	59
Tablo 19. $F_0=65,8$, $\theta_0=30^\circ$, $\Delta T_0=-5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	60
Tablo 20. $F_0=83,2$, $\theta_0=30^\circ$, $\Delta T_0=-5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	60
Tablo 21. $F_0=155,5$, $\theta_0=30^\circ$, $\Delta T_0=-5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	60
Tablo 22. $\theta_0=45^\circ$ ve $\Delta T_0=-5^\circ\text{C}$, $d_0=1\text{ cm}$ için gerçekleştirilen deneyler.....	64
Tablo 23. $F_0=9,2$, $\theta_0=45^\circ$, $\Delta T_0=-5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	65
Tablo 24. $F_0=17,7$, $\theta_0=45^\circ$, $\Delta T_0=-5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	65
Tablo 25. $F_0=22,8$, $\theta_0=45^\circ$, $\Delta T_0=-5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	65

Tablo 26. $F_0 = 35,1$, $\theta_0 = 45^\circ$, $\theta_0 = 45^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	66
Tablo 27. $F_0 = 52,9$, $\theta_0 = 45^\circ$, $\theta_0 = 45^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	66
Tablo 28. $F_0 = 68,8$, $\theta_0 = 45^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	66
Tablo 29. $F_0 = 92,1$, $\theta_0 = 45^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	67
Tablo 30. $F_0 = 138,2$, $\theta_0 = 45^\circ$, $\theta_0 = 45^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	67
Tablo 31. $\theta_0 = 60^\circ$ ve $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$, $d_0 = 1$ cm için gerçekleştirilen deneyler.....	71
Tablo 32. $F_0 = 7,6$, $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	72
Tablo 33. $F_0 = 16,6$, $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	72
Tablo 34. $F_0 = 25,2$, $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	72
Tablo 35. $F_0 = 34,2$, $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	73
Tablo 36. $F_0 = 52,9$, $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	73
Tablo 37. $F_0 = 68,8$, $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	73
Tablo 38. $F_0 = 88,1$, $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	74
Tablo 39. $F_0 = 145,1$, $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı.....	74
Tablo 40. $\theta_0 = 90^\circ$ ve $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$, $d_0 = 1$ cm için gerçekleştirilen deneyler.....	78
Tablo 41. $F_0 = 20,4$, $\theta_0 = 90^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın düşey dağılımı.....	79
Tablo 42. $F_0 = 26,8$, $\theta_0 = 90^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın düşey dağılımı.....	79
Tablo 43. $F_0 = 39,0$, $\theta_0 = 90^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın düşey dağılımı.....	79
Tablo 44. $F_0 = 47,3$, $\theta_0 = 90^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın düşey dağılımı.....	80
Tablo 45. $F_0 = 66,4$, $\theta_0 = 90^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın düşey dağılımı.....	80
Tablo 46. $F_0 = 238,3$, $\theta_0 = 90^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın düşey dağılımı.....	80
Tablo 47. $F_0 = 7,6$ ila $9,2$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$ 'ye göre 30° , 45° ve 60° sıcaklık farklılıklarının yüzde olarak karşılaştırması.....	84
Tablo 48. $F_0 = 16,6$ ila $19,1$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$ 'ye göre 30° , 45° ve 60° sıcaklık farklılıklarının yüzde olarak karşılaştırması.....	85
Tablo 49. $F_0 = 21,2$ ila $25,2$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$ 'ye göre 30° , 45° ve 60° sıcaklık farklılıklarının yüzde olarak karşılaştırması.....	

Tablo 50. $F_0 = 32,9$ ila $35,2$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$ 'ye göre 30° , 45° ve 60° sıcaklık farklılıklarının yüzde olarak karşılaştırması.....	86
Tablo 51. $F_0 = 48,6$ ila $52,9$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$ 'ye göre 30° , 45° ve 60° sıcaklık farklılıklarının yüzde olarak karşılaştırması.....	87
Tablo 52. $F_0 = 65,8$ ila $70,4$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$ 'ye göre 30° , 45° ve 60° sıcaklık farklılıklarının yüzde olarak karşılaştırması.....	88
Tablo 53. $F_0 = 83,2$ ila $92,1$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$ 'ye göre 30° , 45° ve 60° sıcaklık farklılıklarının yüzde olarak karşılaştırması.....	88
Tablo 54. $F_0 = 132,3$ ila $155,5$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$ 'ye göre 30° , 45° ve 60° sıcaklık farklılıklarının yüzde olarak karşılaştırması.....	89
Tablo 55. $F_0 = 7,6$ ila $9,2$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$ 'ye göre 30° , 45° ve 60° birinci seyrelme farklılıklarının yüzde olarak karşılaştırması.....	90
Tablo 56. $F_0 = 16,6$ ila $19,1$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$ 'ye göre 30° , 45° ve 60° birinci seyrelme farklılıklarının yüzde olarak karşılaştırması.....	91
Tablo 57. $F_0 = 21,2$ ila $25,2$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$ 'ye göre 30° , 45° ve 60° birinci seyrelme farklılıklarının yüzde olarak karşılaştırması.....	92
Tablo 58. $F_0 = 32,9$ ila $35,2$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$ 'ye göre 30° , 45° ve 60° birinci seyrelme farklılıklarının yüzde olarak karşılaştırması.....	92
Tablo 59. $F_0 = 48,6$ ila $52,9$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$ 'ye göre 30° , 45° ve 60° birinci seyrelme farklılıklarının yüzde olarak karşılaştırması.....	93
Tablo 60. $F_0 = 65,8$ ila $70,4$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$ 'ye göre 30° , 45° ve 60° birinci seyrelme farklılıklarının yüzde olarak karşılaştırması.....	94
Tablo 61. $F_0 = 83,2$ ila $92,1$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$ 'ye göre 30° , 45° ve 60° birinci seyrelme farklılıklarının yüzde olarak karşılaştırması.....	94
Tablo 62. $F_0 = 132,3$ ila $155,5$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$ 'ye göre 30° , 45° ve 60° birinci seyrelme farklılıklarının yüzde olarak karşılaştırması.....	95

SOĞUK DEŞARJDA BİRİNCİ SEYRELMEİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Isıl işlem yapılan pek çok tesiste atık ısının uygun şekilde ortamdan uzaklaştırılmasında çok delikli yayıcı borusu olan termaldeşarj tesislerinden yararlanılmaktadır. Ancak, alıcı su ortamındaki (okyanus, deniz, göl, nehir vb.) canlılar sıcaklık değişikliklerinden olumsuz yönde etkilenebildiğinden, ortam sıcaklığının çok az değişmesine izin verilmekte ve yasal düzenlemelerledeşarj tesislerinde çeşitli kriterlerin yerine getirilmesi öngörülmektedir. Termaldeşarjların bu yasal düzenlemelerdeki sıcaklık kriterlerine uyması için çeşitli teknikler geliştirilmiştir ve daha yenilerinin de geliştirilmesine gereksinim duyulmaktadır.

Bu çalışmada, ısıldeşarj tiplerinden biri olan ve çoğunlukla LNG terminallerinden (sıvılaştırılmış doğalgazı gazlaştırma terminalleri) kaynaklanan, yayıcıdandeşarjı yapılan tekil bir soğuk su jetinin alıcı ortam içerisindeki davranışlarının belirlenmesi ve projelendirme kriteri olarak elde edilen verilerin değerlendirilmesi amaçlandı. Bu amaçla, Türkiye'ye özgü sıcaklık aralıklarında elverişsiz durum göz önünde tutularak, farklı yoğunluksal Froude sayılarına göre soğukdeşarjda kirlilik kaynağına göre jet merkezi koordinatları ve bu koordinatlarındaki minimum birinci seyrelme değerleri elde edildi. Soğukdeşarjda jetin hareket eğiliminin çökme yönünde olduğu belirlendi. Deşarjın yatay olması halinde çökmenin jet yörüngesini kısaltması nedeniyledeşarj deliğinin su yüzeyine doğru eğim verilmesi durumu incelendi. Deneyler 0°, 30°, 45°, 60° ve 90° açıları kullanılarak yukarı eğim verilmiş daireseldeşarj deliği ile laboratuvar modeli üzerinde gerçekleştirildi. Alıcı su ortamı sıcaklık ve yoğunluk bakımından üniform ve durgun seçildi.

Alıcı su ortamında yasal olarak izin verilen sıcaklık değişimi değerleri yazın 1°C, kışın 2°C ve saatlik 0,5°C'tır. Bu çalışma sonucunda, alıcı su ortamına -5°C sıcaklık farkı ile soğuk sudeşarjı gerçekleştirildiğinde,deşarj deliğinin yataya göre açısı $\theta_0 = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ ve 60° olması halinde, başlangıç Froude sayısı 7-155 aralığında, sağlanması gereken birinci seyrelme $S_1=5$ değerinin yatay uzaklığın delik çapına oranının $x/d_0=5-20$ aralığında ve $S_1=10$ seyrelmesinin $x/d_0=20-40$ aralığında sağlandığı belirlendi. Birinci seyrelme değerlerinindeşarj deliği açısının artışına bağlı olarak aynı yatay uzaklıklarda artış gösterdiği de belirlendi. $\theta_0 = 0^\circ$ birinci seyrelme değerlerine göre $\theta_0 = 30^\circ, 45^\circ$ ve 60° için birinci seyrelme değerlerindeki minimum artış miktarlarının sırasıyla %11, %13 ve %60 olduğu hesaplandı. Ayrıcadeşarj deliği açısının 90° olması halinin sığ koşullarda güvenilir sonuçlar vermediği ve kirliliğindeşarj noktasında birikebildiği belirlendi.

Anahtar Kelimeler: Soğuk Su Deşarjı, Termal Deşarj, Deniz Deşarjı, Birinci Seyrelme, Yoğun Jet, Saçak.

INVESTIGATION OF THE INITIAL DILUTION OF COLD WATER DISCHARGE

SUMMARY

Thermal outfalls with multi-port diffusers are used in many heat processes having facilities for the disposal of waste heat including effluents. Because of the ambient temperature changes caused by thermal outfalls and resulting undesirable effects on receiving water (ocean, marine, lake, river, etc.) organisms, environmental laws permit very limited changes in the receiving water ambient temperature with established criteria. Many discharge techniques have been developed for thermal outfalls in order to be suitable for related regulations. Some newly developed discharge techniques are still needed.

The aim of this study was to investigate the behavior of singular cold water discharge jet in receiving water and project criteria of a thermal discharge type multi-port diffuser, which especially originated from LNG (liquefied natural gas) regasification terminals and to evaluate the related data. Discharged cold-water jet centerline coordinates from the jet origin and minimum initial dilution data in these coordinates were calculated using different densimetric Froude numbers according to Turkey's unsuitable sea water temperature conditions. Cold water jets tended to sink in the receiving ambient water. Because of the fact that, precipitation of horizontal discharged cold-water when jet trajectory was shortened, effects of the inclination of discharge port according to the receiving water surface were investigated. Experiments were made using a circular port with 0°, 30°, 45°, 60°, and 90° vertical inclination angles in a laboratory model. Uniformity of the receiving water temperature and density was adjusted.

Receiving water temperature change legal permission limit values are 1°C in winter, 2°C in summer and 0.5°C in 1 hour period. Under -5°C cooled water discharge in the receiving water ambient conditions using initial densimetric Froude numbers between $F_o = 7-155$, and using horizontal upper port inclination angles $\theta_o = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$, and 90° , it was determined that legally necessary initial dilution value $S_1 = 5$ could be obtained at $x/d_o = 5-20$ (x : Horizontal distance from port, d_o : Port diameter), and $S_1 = 10$ could be obtained at $x/d_o = 20-40$. At the same horizontal distances port angle inclination from horizontal to vertical increased the initial dilution of cold water discharge. It was calculated that initial dilution values of $\theta_o = 30^\circ, 45^\circ$, and 60° port angles were higher than initial dilution values of $\theta_o = 0^\circ$ with minimum increase rates 11%, 13% and 60% respectively. In shallow conditions with 90° port angle reliable dilution results could not be obtained and thermal pollution accumulated at the discharge source.

Keywords: Cold Water Discharge, Thermal Discharge, Marine Outfall, Initial Dilution, Dense Jet, Plume, Multi-port Diffuser.

1. GİRİŞ

Isıl işlem yapan büyük kapasiteli tesislerde atık ısının uzaklaştırılması gereksinim duyulan bir işlemdir. Termik ve nükleer elektrik santralleri, büyük fabrikalar gibi tesislerde çoğunlukla su kullanılarak soğutma işlemi yapılmaktadır. Su, tesis içerisinde ısı kaynaklarında dolaştırılarak atık ısıyı bünyesine aldıktan sonra, genellikle kapalı devre çalışan soğutma kulelerine veya açık devre çalışan deşarj tesislerine gönderilerek atık ısının uzaklaştırılması sağlanmaktadır. Gerek ekonomikliği, gerekse kolay tasarımı ve işletilmesi nedeniyle doğal veya yapay büyük ve uygun su kütlelerinin bulunduğu yerlerde ısı deşarj tesisleri atık ısının uzaklaştırılmasında önemli bir seçenek olarak değerlendirilmektedir.

Atık ısı çıkış suyu sadece soğutma suyunda olduğu gibi sıcaklığı yükselmiş su (sıcak deşarj) olarak ortaya çıkmaz. Sıvılaştırılmış doğalgaz (LNG: Liquefied Natural Gas) depolama tesisi gazlaştırma ünitelerinde, sıvılaştırılmış doğalgazın yeniden gaz haline çevrilmesindeki ısı işlemlerde de su kullanılmakta ve sıcaklığı düşürülmüş çıkış suyu (soğuk deşarj) ortaya çıkmaktadır [1].

Kapalı devre su çevrim sistemlerinin maliyeti, açık devre sistemlerinin on katı kadar daha pahalı olabildiğinden, büyük alıcı su ortamlarının yakınındaki tesislerde çoğunlukla ekonomikliği nedeniyle açık devreli sistemler tercih edilmektedir [2, 3]. Isıl deşarj okyanus, deniz, göl, nehir ve yapay göllere yapılabilmektedir. Deşarj tesislerinde büyük su kütlelerinden su alma yapısı ile ısı işleme uğratılacak su alındıktan sonra, tesis çıkışında alınan noktadan kıyıya göre daha uzak bir kısma boşaltım yapılmaktadır.

1. 1. Isıl Deşarjın Çevresel Etkileri

Özellikle termik santrallerde, açık devre soğutma işlemleri için çok büyük miktarda (10 ila 30 m³/sn) soğutma suyu kullanılmaktadır [2]. Böyle bir debiyle açık devre soğutma suyu sıcaklığı 8°C ila 10°C artmaktadır. Benzer şekilde, LNG terminallerinde de örneğin, -162°C sıcaklıktaki sıvı doğalgazın gazlaştırılması için 4000 ila 12000 m³/saat'lik debi ile denizden 5 m derinlikten açık devre ile su çekilerek yine deniz ortamına sıcaklığı 3°C ila 10°C (ortalama 6°C) azaltılmış su bırakılmaktadır [4]. Bu şekilde sıcaklığı değişerek termal bir atık kimliği kazanan sıcaklık dönüştürme sularının yeniden alındıkları ortama deşarjı, gerekli önlemler alınmadığı durumlarda önemli seviyede ısıl kirlenme riski oluşturabilmektedir. Alıcı ortamdan çekilen suya, tesislerin içinde mikroorganizma ve su bitkilerinin üremesine engel olunması amacıyla genellikle klor vb. katılması da ek bir çevresel risk taşıyabilmektedir. Marmara Ereğlisi LNG Terminali'nde tesis içerisindeki açık çevrim yaptırılan deniz suyuna katılan 1 ppm konsantrasyonlu klor bu duruma bir örnek olarak gösterilebilir.

Termal kirlenme, alıcı su ortamında biyolojik olarak başlıca iki tip olumsuz etkiye yol açmaktadır. Bunlar, sudaki canlıların metabolik faaliyetlerinin etkilenmesi (artması veya azalması) ve oksijenin suda çözünürlüğünün azalmasıdır. Diğer bir önemli etki de denizden su alma hattı ile tesislerin ısıl çevrim devrelerine pompalanan deniz suyu içindeki canlıların uğradığı fiziksel hasarlardır.

Çevre sıcaklığı biyolojik süreçler için büyük önem taşır. Sıcaklık artışı halinde sıcaklığa dayanıklı türler, yüksek sıcaklıklara hassas türlerin yerini alır. Biyolojik topluluktaki bu tür bir yer değiştirme, ani sıcaklık artışları (veya düşüşleri) olmadığı sürece fazla zararlı olmayabilir. Özellikle nükleer elektrik santrallerinde sık aralıklarla oluşan devreden çıkma durumlarının bu tesislerde kullanılan deniz deşarjları aracılığı ile deniz ortamı üzerindeki olumsuz etkileri daha fazladır. Bu tür periyodik devreden çıkmalar sonucu yaşanan ani sıcaklık değişimleri ısıl kirlenmenin en fazla zarar veren halidir. Sualtı bitkileri ve hayvanlarının, su içindeki mevsimsel değişikliklere uyum sağlaması pek kolay olmamaktadır [5, 6].

Termal sular, sadece balıkların termal ölümüne yol açmakla kalmaz, aynı zamanda canlı bedeninde çeşitli iç rahatsızlıklara da neden olabilir. Ortam sıcaklığının değişmesinin ardından deniz canlılarında solunum, metabolizma, gelişme, davranış, üreme kapasitesindeki değişiklikler ve diğer işlevsel rahatsızlıklar sıkça gözlenir. Bunun bir sonucu olarak, deniz organizmalarının toksik maddeler, parazitler ve hastalıklara dayanımı zayıflar.

Sıcaklığın sualtı canlıları üreme olayında da çok kritik bir rol oynadığı bir gerçektir. Bir çok balık türünün sonbaharda sıcaklık düşerken, diğer türlerin ise ilkbaharda yumurtladıkları bilinmektedir. Yükselen sıcaklık ile hormonları mevsimsel gelişmeye uğrar ve kritik derecede dişi balığın yumurta dökmesini sağlar. Kabuklu deniz hayvanlarında, bu yumurta dökme, çok ani olmakta, hayvan, suyun kritik dereceye ulaşmasıyla birkaç saat içinde yumurtlamaktadır. Sıcaklık aynı zamanda balığın yumurtlama süresinde de kesin kontrol sahibi olmaktadır. Örneğin, ringa balığı 28°C'de 47 gün içinde yumurtlar, 14,4°C'de ise bu süre 8 gün düşer. Alabalık, 2,8°C'de 165 gün içinde yumurtlar, sıcaklık 12,2°C'ye çıkınca bu süre 32 güne düşer. Buna rağmen, yüksek sıcaklık yumurtanın normal gelişimine engel olabilir.

Yale Üniversitesi'nden Grace E. Pickford'un gözlemlerine göre "Bazı kritik sıcaklık noktalarının altında veya üstündeki derecelerde bazı balık türleri hiç bir üreme yapmayabilir" [5]. Örneğin, 22,2°C'de veya daha üstünde kırmızı alabalık yumurta geliştiremez. Sazan balığı ise 20°C ila 23,9°C sıcaklık aralığında yumurtalarda hücre çoğalması önlenmekte; Neomysis'te, sıcaklık 7,2°C'ye çıkınca yumurta dökme olayı kesilmekte; çok enteresan bir durum olarak, küçük kabuklu hayvanlarda (gammurus) 7,8°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda sadece dişi yavru çıkmaktadır [5].

Sıcaklık metabolizmayı etkiler; sıcaklığın çoğalmasıyla metabolizma hızlanır. Van't Hoff prensibine göre sıcaklığın yükselmesi ile kimyasal reaksiyonlara ve sıcaklık derecesine göre değişmesine karşılık, genellikle metabolizma hızı yükselen her derecenin iki katına çıkmaktadır. Metabolizma yükselmesi sonucunda hayvanın oksijen ihtiyacı artmakta ve solunum hızı yükselmektedir. Toronto Üniversitesi'nde som balığı türü ile yapılan deneylerde, bu balıkların yaşayabileceği su sıcaklığının maksimuma çıkarıldığında, bunların oksijen tüketimlerinin dört kata çıktığı, öldürücü 26°C sıcaklığa çıkıldığında ise oksijen ihtiyacının durmadan arttığı belirlenmiştir [5]. Göl alabalıkları türünde ise 15,6°C'de maksimum bulunmuş, 25°C'de ise ölmüşlerdir. Her iki deneyde de balıklar öldürücü noktaya gelinceye kadar bazal metabolizmalarında durmadan yükselme görülmüştür. Kalp atışları genellikle organizma üzerindeki metabolik veya solunum zorlukları konusunda bir gösterge görevi görür. Istakoz ve benzerleri ile yapılan deneylerde, bunların kalp atışları su sıcaklığı 4°C'de iken dakikada 30 vuruşa, 22°C'de 125 vuruşa ve 35°C'de yine düşerek 65 vuruşa, sonunda da öldürücü noktaya varmıştır. Sona doğru kalp atışlarındaki düşüş, sıcaklığın verdiği baskı altında hayvandaki zayıflama işaretidir.

Yüksek sıcaklıklı sularda balıkların solunum zorlukları, kandaki hemoglobinin oksijene karşı isteksizliği, daha etkisiz oksijen taşıması ile ortaya çıkar. Aslında oksijen ihtiyacının artmış olması, buna karşılık artan sıcaklık ile oksijen almadaki yetersizlik, balıkları az oksijen ile yaşamaya alıştırmıştır. Örneğin, sazan balığı 0,6°C'de her litre suda 0,5 miligram kadar düşük oksijenle yaşayabilirken, suyun sıcaklığı 35°C'ye çıkarıldığında en az 1,5 mg oksijene ihtiyaç gösterir. Diğer balıklar 4°C'de litrede 1 ila 2 mg arası oksijen harcarlarken, 18,3°C'de yaşamak için 3 ila 4 mg, hatta 5 mg tüketme ihtiyacı gösterirler.

Suyun sıcaklığı balığın iştahı, sindirim organları büyümesi ile çok ilgilidir. Sıcaklığın iştahı ayarlaması ve yiyeceklerin vücut ağırlığına dönüştürülmesi ve vücut ağırlığının artması, yumurtlama gücünü çoğaltır. Örneğin, kahverengi alabalığın yiyecek tüketme gücü 10°C ila 15,6°C'de en yüksek noktasındadır. Bu noktada balık o kadar faaldir ki, aldığı yiyeceğin büyük bir oranı vücut fonksiyonlarının yapılması için harcanır.

Balığın hareketlerinin özellikle suyun sıcaklığı ile ilişkili olduğu ortadadır. Örneğin, som balığının bir cinsi 15,6°C'de, 1,7°C'de yüzdüğü hızdan iki katı daha fazla ve hızlı yüzer. Fakat bu sıcaklık derecesi 15,6°C'nin üstüne çıktığı zaman hızı düşer. Dere alabalığı ise daha karmaşık bir tepki gösterir. Suyun derecesine göre paralel aktivite görülür. 9,4°C ila 18,9°C'de aktivitesi en aza düşer ve yine 18,9°C'nin üzerinde 25°C'ye kadar yine bir aktivite yükselmesi ve ölüm gelir. Laboratuvar araştırmaları yüksek sıcaklıklarda balığın yüzme hızında düşme ile beslenme yeteneğinde azalma belirlenmiştir. 17,2°C'de küçük balıkları takip etmesi zayıflamakta, 21°C'de ise hiç bir yiyecek yakalayamamaktadırlar.

Sıcaklık, balıkların ömürlerine olduğu kadar üremelerine de etki yapmakta, yüksek sıcaklık kısa, yorucu ve çok hızlı bir büyüme sağlarken, düşük sıcaklık yavaş fakat en iyi sonucu vermektedir. Ancak, balık normalde bulunması gereken sıcaklığın daha altında yaşamayı sürdürürse mevsimsel sıcaklık değişikliklerine göre oluşan üreme süreci içine girmeyebilmektedir.

Doğanın iyi bir yönü olarak, balıklar çok fazla su ısısının etkisi altında kalmış değildir. Daha henüz bilinmeyen bir nedenle su ısısının değişimlerine (eğer çok ani olmamışsa) uyum sağlamayı başarırlar. Genellikle sualtı canlıları yavaş yavaş yükselen ısıya, düşen ısıdan daha çabuk alışmaktadır.

Sıcaklık şartlarına alışma devresi maksimum 20 gün içerisinde olmalıdır. Kuzey Amerika'da bir çok balığın dayanabildiği en yüksek sıcaklık derecesi 25°C ila 36,1°C'dir. Sıcaklığın neden olduğu direkt ölümün nedenleri bilinmemekte, bir çok araştırmacıya göre yüksek sıcaklık sinir sistemi ya da solunum sistemi, hücre protoplazmasının durması ve enzimlerin etkisiz hale gelmesine etki ederek ölüme yol açmaktadır.

ABD sularında buhar kirlenmesi ile olan direkt ölümlere rastlanmıştır. 1968 yazında Cape Cod kanalında yeni tamamlanmış bir elektrik santralinin deneme çalışmaları sırasında 26,7°C'ye alışmış ringa suyun birden 33,9° ila 35°C'ye çıkması ile sürüler halinde telef olmuşlardır. Aynı şekilde, 1963 kışında Hudson Nehri üstündeki Indian Point Nükleer elektrik Santrali, çok miktarda balığın ölmesine yol açmıştır. Kışlayan balıklar santralden birden çıkan ısının cazibesi ile motorların gücüne kapılıp ölmüşlerdir.

Çok sıcak yaz günlerinde atık ısı bulunan sular çok fazla plankton üretir. Bu planktonlar solunumları ve ölünce de çürümeleri ile suyun oksijenini tüketirler. Nehir ağızlarındaki sıcak sularda tomurcuklanan algler kabuklu hayvanların (midye, istiridye gibi) filtre organlarını tıkayarak ölümlerine yol açarlar. Aynı şekilde de denizaneları aşırı büyüyerek bu tip suları yüzme ve diğer sporlarda kullanılmaz durumda bırakmakta, bitkilerin büyümesi ve çoğalması sığ suları tıkamaktadır. Isı ve kanalizasyon atıklarının bulunduğu sulardan tutulan balıklar taşıdıkları bakteriler nedeniyle hastalık yapıcı özellik taşıyabilmektedirler.

Su sıcaklığının azalması sonucunda bitkisel su canlılarında fotosentez hızında büyük düşüşler gözlenmiştir. 0-20°C arasında gerçekleştirilen deneylerde 20°C sıcaklık 5°C'lık aralıklarla azaltıldığında bu sıcaklık aralığında yaşayan *Skeletonema costatum* 8° ve 2°C'a düşürülen sıcaklıkta 20°C'daki fotosentez hızı sırasıyla % 16 ve % 40

azalmıştır [7]. Benzer şekilde sıcaklık azalması sonucu besin zincirinin en alt kademesinde bulunan tek hücreli canlılar da az üremekte, ürememekte ya da ölmektedirler (örneğin protozoa) [8]. Alabalıkların yumurtadan çıkma süreleri sıcaklığın azalmasıyla aşırı uzayabilmektedir [9].

Sıcaklık değişimi sürekli hale getirilmişse su canlılarının uyum sağlaması olasıdır. Ancak, sıcaklık değişimine neden olan tesisin 1-2 gün gibi ısıtma işlemi durdurup yeniden çalışması özellikle nehirlerde orijinal sıcaklığın yeniden oluşmasını sağlar. Ancak, bu durumda su canlılarının eski sıcaklığa yeniden uyum sağlamaları gerekir. Tesisin ısıtma işlemi yeniden başlayarak periyodik çalışma ve durması sonucu sıcaklık değişimlerine fauna ve floranın uyum göstermesi olanaksızdır [9].

Isıl kirlilik özellikle yüzeysel sularda daha etkili olmaktadır. Akarsular ve haliçler bu nedenle ısıtma kirliliğinden daha fazla etkilenebilmekte, balık ölümleri, oksijen dengesinin bozulması, su bitkilerinin etkilenmesi gibi durumlar söz konusu olmaktadır [10].

Soğuk su ile karşılaşan deniz canlılarında da çeşitli olumsuz durumlarla karşılaşabilmektedir. En açık durum yaşama ortamındaki tür sayısındaki azalmadır. Soğuk su ortamında yaşayabilen deniz canlıları sıcak ortama göre çok daha sınırlı olduğundan soğuğa uyum gösteremeyen canlılar ya göç etmekte, ya ölmekte, ya da çoğalamamaktadırlar. Çok açık bir şekilde güneyde Akdeniz'den başlanarak kuzeyde Karadeniz'e doğru ilerlendikçe su sıcaklığının azalmasına paralel olarak canlı türlerinde sayısında azalması durumuyla karşılaşmaktadır. Bu tür durumların yapay olarak oluştuğu soğuk deşarj bölgelerinde oluşmaması için de soğuk suyun alıcı ortama kontrollü bir şekilde bırakılması gerekmektedir.

Görüleceği üzere atık ısı alıcı ortam suyunun sıcaklığını ister yükseltsin, isterse düşürsün yaşama ortamındaki canlılar üzerinde az ya da çok zararlı etkiler gösterebilmekte ve yalnızca canlıların kendisi üzerinde etkili olmayıp soyun devamlılığını da tehdit edebilmektedir. Bu zararlı etkilerin önlenmesi amacıyla alıcı ortama atık ısıtma suyun yüzeyden verilmemesi tek bir noktadan boşaltım yapılmaması ve ortam sıcaklığında oluşabilecek değişimin sınırlı tutulması kabul görmüş kriterlerdir.

1.2. Isıl Deşarjla İlgili Mevzuat

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde (SKKY) [11] termal deşarjlarda birinci seyrelme sonunda ilk karışım bölgesi sınırındaki sıcaklık artışının yaz aylarında 1°C, kış aylarında ise 2°C'yi geçmemesi öngörülmektedir. Aynı yönetmeliğe göre termal deşarj

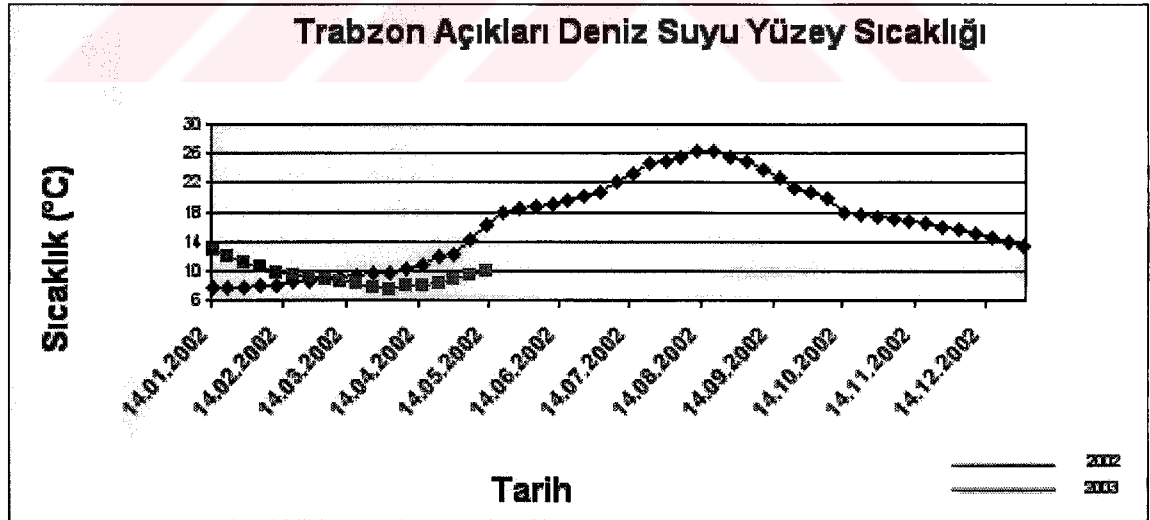
hattı ile deşarj edilecek suların maksimum sıcaklığı da 35°C'yi aşmamalıdır. Su Ürünleri Yönetmeliği'ne [12] göre “su ürünleri istihsal yerlerine deşarj edilen, sıcaklığı alıcı ortam sıcaklığını, akarsularda 3°C'den fazla, deniz ve iç sularda 2°C'den fazla, bir (1) saatlik zaman aralığında yapılan ölçümlerde ise, 0,5°C'den fazla değiştiren atık sular alıcı suya verilemez”. Yine aynı yönetmeliğe göre, su ürünleri üretimi yapılan sulara deşarj edilecek sularda kabul edilebilir maksimum klor (serbest) konsantrasyonu 0,01 mg/l olarak verilmektedir. Ayrıca, Akdeniz'in Kara Kökenli Kaynaklardan Kirlenmeye Karşı Korunması Protokolü [13] Türkiye tarafından kabul edilmiş ve bu protokol içerisinde ısı deşarjının da kontrol altına alınması öngörülmüştür. Bu protokol 22 Ağustos 2002 tarih ve 24854 sayılı Resmi Gazete'de 2002/4545 “Akdeniz'in Deniz Ortamı ve Kıyı Bölgesinin Korunması Sözleşmesi”ne, “Akdeniz'de Gemilerden ve Uçaklardan Boşaltma veya Denizde Yakmadan Kaynaklanan Kirliliğin Önlenmesi ve Ortadan Kaldırılması Protokolü”ne, “Akdeniz'in Kara Kökenli Kaynaklardan ve Faaliyetlerden Dolayı Kirlenmeye Karşı Korunması Protokolü”ne ve “Akdeniz'de Özel Koruma Alanları ve Biyolojik Çeşitliliğe İlişkin Protokol”e Katılmamız Hakkında Karar” olarak yayımlanarak kararlar yenilenmiştir. Bu kararda da sıcaklığın kontrol altına alınmasını içeren hükümler bulunmaktadır.

Benzer şekilde “Karadeniz Deniz Çevresinin Kara Kökenli Kaynaklardan Kirlenmeye Karşı Korunmasına Dair Protokol” [14] ile Türkiye termal deşarjın kontrolünü ve sınırlandırılmasını taahhüt etmiştir. Diğer taraftan, ABD'deki ısı deşarj ile ilgili mevzuatta da kriterler benzer şekilde olup [15, 16] denizde ortama göre maksimum sıcaklık değişiminin kışın 4°F (2,22°C), yazın 1,5°F (0,83°C) ve değişim hızının her mevsim için 1°F/saat (0,56°C/saat) olması öngörülmektedir. ABD içerisinde Temiz Su Yasası'nın (The Clean Water Act) uygulamaları eyaletler arasında farklılıklar gösterebilmektedir. Bu farklılıklar içerisinde resmen soğuk deşarjın kısıtlandığı hal New York eyaleti mevzuatında bulunmaktadır [17]. ABD'de Federal Su Kirliliği Kontrolü Yasası [18] ısı kirliliği önlenmesi gereken parametreler arasında saymakta, termal çıkış suyu miktarının ve sıcaklığının kontrol altında bulundurulmasını öngörmektedir (İlgili Yasa, Bölüm 16). ABD'de Su Kalitesi Standartları mevzuatında da [19] ısı deşarjların sınırlandırılması öngörülmektedir. US. EPA'nın su kalitesi kriterlerinde sıcaklık kriterinin düzenlenmesi için su ortamında yaşayan canlı türlerine göre işlem yapılması belirtilmiştir [20]. Isıl değişimin olası zarar verme şekilleri, yerleri örnekleri ve yardımcı olabilecek yerel sınır değer belirleme yöntemleri ile birlikte US EPA tarafından açıklanmış [21] ve kısıtlı sürekli sıcaklığı değişiminden daha çok ani sıcaklık değişiminin etkili olduğu vurgulanmıştır.

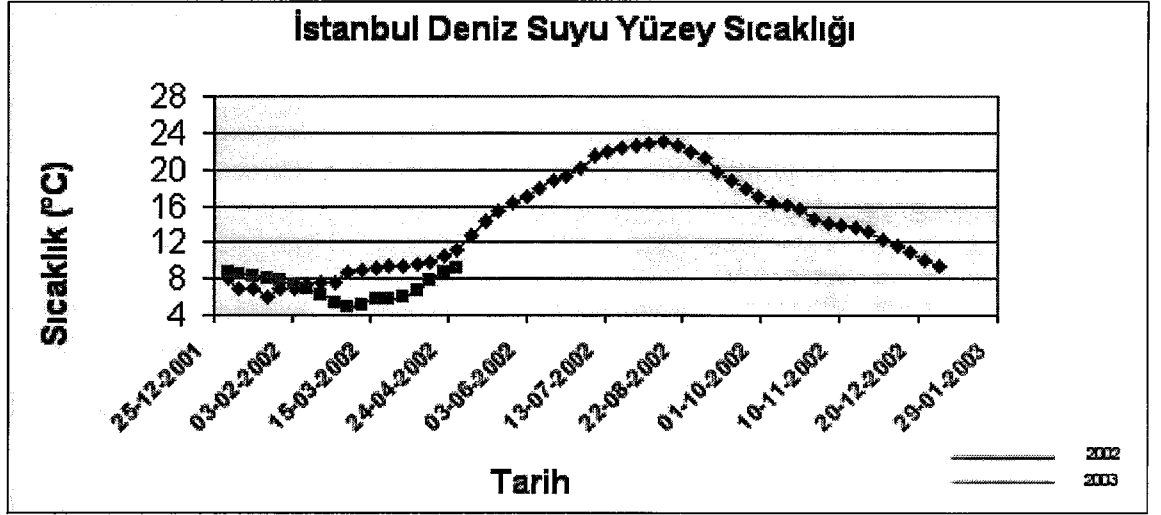
Sıvılaştırılmış doğalgaz (LNG) depolama tesislerinde gazlaştırma amacıyla kullanılan açık devre deniz suyu ısıtma (buharlaştırma) sistemlerinin dönüş hattından denize verilen yaklaşık 5°C soğumuş suları için gerekli yayıcı boruların tasarımı da yukarıdaki kriterler esas alınabilir. SKKY'de sıcak deşarj için kısıtlamalar getirilmekle birlikte, soğuk deşarja net bir kısıtlama getirilmemiş olması su ortamındaki canlıların yaşamını kötü yönde etkileyebilecek bu faktör üzerinde araştırma yapılmasını zorunlu kılmaktadır.

1.3. Isıl Deşarj Bakımından Türkiye Denizleri

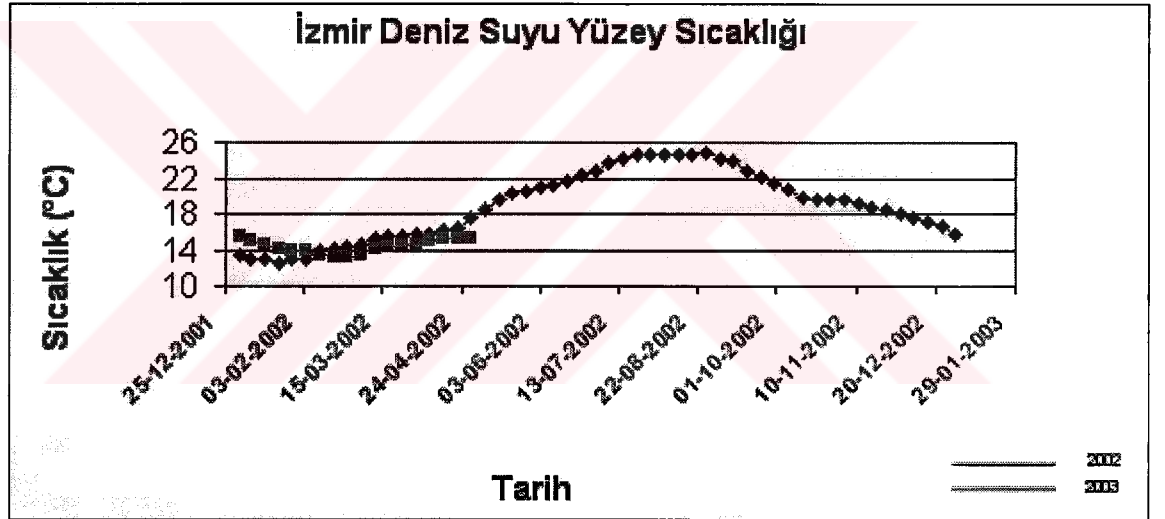
Türkiye, üç tarafının denizlerle çevrili olması ve dört denize kıyısı bulunması nedeniyle ısıl deşarj ile ilgili işlemlerde ekonomik açıdan en avantajlı yöntemlerden biri olan deniz suyu açık devre sistemlerinin kullanılması bakımından çok yüksek bir potansiyele sahiptir. Özellikle enerji gereksiniminin artması ile birlikte termik santral, nükleer elektrik santrali ve sıvılaştırılmış doğal gaz terminali gibi sıcak ve soğuk deşarj gerçekleştirilen büyük tesisler halen kurulmuş veya planlama aşamasındadır. Ancak, elbette ki bu tür tesisler kurulurken alıcı ortamın kesinlikle korunması gerekmektedir. Denizlerdeki canlıların korunabilmesi için özellikle yıllık sıcaklık değişiminin bilinmesine gereksinim vardır. Isıl deşarjda yüzey suyu kullanılarak yine sığ ortama deşarj yapıldığından yüzey suyu sıcaklığı bu konuda en önemli parametrelerden biridir. Bir denizin sıcaklık değişiminin en fazla olduğu kısmı olan yüzey suyu sıcaklığı incelendiğinde örneğin Karadeniz’de 6,6°C ila 26,7°C arasında sıcaklık değişimi olduğu görülür [22]. Yüzey suyu sıcaklıklarının uydu yardımıyla uzaktan algılama yöntemi sonucu 2002 yılı Türkiye denizlerindeki deniz suyu yüzey sıcaklık değişimleri ele alındığında Şekil 1 ile 4’ten de [23] görüleceği üzere yaklaşık olarak Karadeniz (Trabzon) için 6,5° ila 25°C, Marmara Denizi (İstanbul) için 4,5° ila 23°C, Ege Denizi (İzmir) için 12,5° ila 24,5°C ve Akdeniz (Antalya) için 16° ila 27°C aralığında olduğu belirlenmiştir. Görüleceği üzere kuzeydeki Karadeniz ve Marmara Denizi daha soğuk olduklarından soğuk deşarja, güneydeki Ege Denizi ve Akdeniz daha sıcak olduklarından sıcak deşarja karşı daha hassastırlar. Bu hassaslık soğuk deşarj için kış ayları, sıcak deşarj için yaz aylarında daha fazladır. Özellikle bu hassas durumlarda alıcı ortamların korunabilmesi için deşarj yapılarından yararlanılması ekolojik dengenin daha az etkilenmesinde yardımcı olabilecektir.



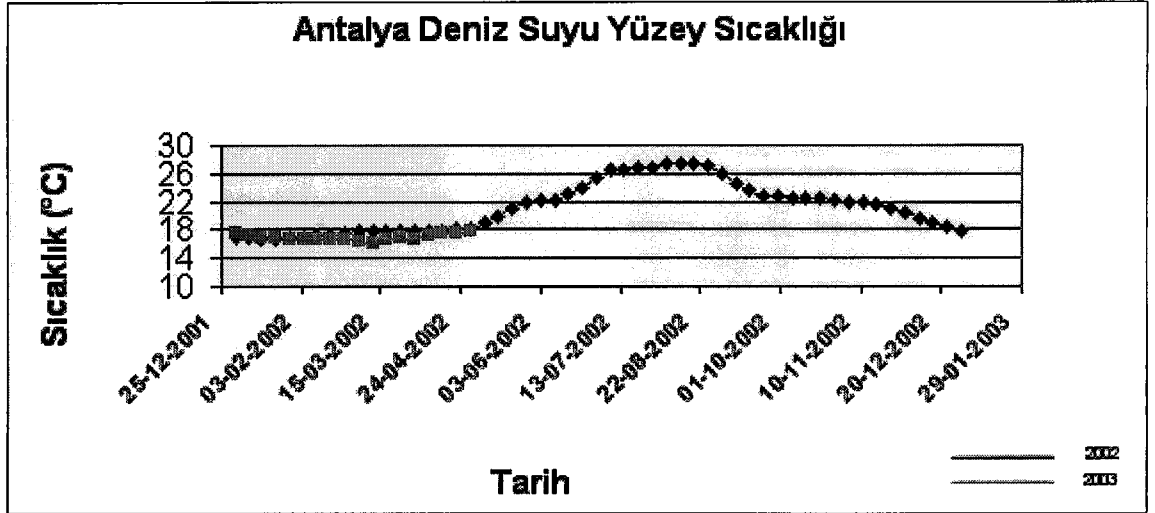
Şekil 1. Karadeniz (Trabzon) deniz suyu yüzey sıcaklığının zamana bağlı değişimi



Şekil 2. Marmara Denizi (İstanbul) deniz suyu yüzey sıcaklığının zamana bağlı değişimi



Şekil 3. Ege Denizi (İzmir) deniz suyu yüzey sıcaklığının zamana bağlı değişimi



Şekil 4. Akdeniz (Antalya) deniz suyu yüzey sıcaklığının zamana bağlı değişimi

1.4. LNG Terminallerinin Dünyadaki Konumu

Doğalgazın sıvılaştırılarak taşınması, kaynak nokta ile istekte bulunulan nokta arasında boru hatları olmaksızın iletimin sağlandığı alternatif bir taşıma yöntemidir. Bu yöntemde doğalgaz önce sıvılaştırma tesislerinde yüksek basınç altında ısıtılma işlemi de yardımıyla soğutularak sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) haline getirilmektedir. LNG tankerlere yüklenerek alıcının bulunduğu noktaya taşınmakta ve LNG terminallerine tankerlerden aktararak depolanmaktadır. Sıvı haldeki doğalgaz su kullanılarak gazlaştırılmakta ve ortam sıcaklığına getirilerek şebekelere ulaştırılmaktadır. Doğalgaz kaynağının bulunduğu nokta ile istek olan nokta arasında boru hattı bulunmaması ve dolayısıyla coğrafi zorlukların deniz yoluyla kolayca aşılabilmesi, doğalgazın depolanabilme olanağının da bulunması nedeniyle boru hatları ile taşımadan biraz daha pahalı olmakla birlikte tercih edilen taşıma yöntemlerinin başında gelmektedir. Bu yöntem, sıvılaştırılmış doğal gazın gazlaştırılması işlemleri sırasında LNG terminallerinde deniz suyu kullanılarak soğutulmuş suyun tekrar denize deşarj edilmesi nedeniyle soğuk su deşarjının en büyük kaynağını oluşturmaktadır. Diğer taraftan doğalgazın üretildiği yerde sıvılaştırılması (Gas to Liquids (GTL)) işleminde de deniz suyu kullanılarak sıcak su deşarjı gerçekleştirilmektedir.

LNG terminalleri çoğunlukla denize kıyısı fazla ve coğrafi engebeleri çok olan boru hattı maliyetlerinin çok yüksek olabildiği ülkelerde kurulmuştur. Bu tesisleri en çok kullanan ülkelerin başında Japonya gelmektedir. 1969 yılından itibaren kurulmaya başlanan LNG terminallerinin 22 Mart 2003'te ülkelere göre dağılımları Tablo 1'de verilmiştir [24]. Tablo 1'de kapatılmış oldukları için her ikisi de 1978 kurulmuş yılı olan ancak daha sonra kapatılan Cove Point ve Elba Adası LNG terminalleri yer almamaktadır. Türkiye'de BOTAŞ tarafından Marmara Ereğlisi LNG Terminali 1994 yılında kurulmuş ve Aliaga LNG Terminali 2004'te hizmete girmesi planlanmaktadır

[4]. Soğuk deşarjlar Marmara Ereğlisi'nde savak ile şelale şeklinde gerçekleştirilmekte, Aliğa'da ise deniz deşarjı tesisi ile gerçekleştirilecektir.

Tablo 1. LNG terminallerinin Dünyadaki dağılımı

Ülke, LNG Terminali Sayısı	LNG Terminalinin Adı	Kuruluş Yılı
A.B.D., 2 tane	Everett	1971
	Lake Charles	1982
Belçika, 1 tane	Zeebrugge	1987
Fransa, 2 tane	Fos-sur-Mer	1972
	Montoir-de-Bretagne	1980
Güney Kore, 2 tane	Pyeong Taek	1986
	Incheon	1996
İspanya, 3 tane	Barcelona	1970
	Huelva	1988
	Cartagena	1989
İtalya, 1 tane	Panigaglia	1971
Japonya, 22 tane	Negishi	1969
	Senboku I	1972
	Sodegaura	1973
	Senboku II	1977
	Tobata	1977
	Chita I	1977
	Himeji I	1979
	Chita II	1983
	Himashi-Niigata	1984
	Himeji II	1984
	Himashi-Ohgishima	1984
	Futtsu	1985
	Yokkaichi (Kawagoe)	1987
	Yanai	1990
	Shin-Oita	1990
	Yokkaichi	1991
	Fukuoka	1993
	Hatsukaichi	1996
	Sodeshi	1996
	Kagoshima	1996
	Shin-Minato	1997
	Kawagoe	1997
	Ohgishima I	1998
Tayvan, 1 tane	Yung-An	1990
Türkiye, 1 tane	Marmara Ereğlisi	1994
Yunanistan, 1 tane	Revithousa	1999

1.5. Deşarj Tipleri

Alıcı su ortamına atıksuyun uygun bir şekilde verilmesi deşarj (boşaltım) olarak ifade edilmektedir. Atıksu deşarjı için alıcı ortam olarak kullanılan okyanus, deniz, göl, nehir, baraj ve yapay göl vb. ortamlara deşarj kıyıdan (kısa deşarj) veya kıyıdan uzakta (uzun veya derin deşarj) olmak üzere başlıca iki tipte gerçekleştirilmektedir. Kısa deşarj doğrudan alıcı ortamın kıyısına bırakma şeklinde gerçekleştirilebildiği gibi (Şekil 5 [25]), bir savaktan şelale şeklinde yüksekte bırakma veya alıcı ortam içerisine su yüzeyinden 1-2 m aşağıya yerleştirilmiş boru veya kanal ile de gerçekleştirilebilmektedir. Uzun deşarj ise deşarj yapıları kullanılarak gerçekleştirilen, çevresel, hidrolik ve statik inceleme gerektiren bir deşarj tipidir. İleri derecede arıtılmış atıksuların veya çevreyle etkileşimi zararsız kabul edilen miktardaki çıkış sularının deşarjında kısa deşarj tercih edilebilmektedir. Ancak, çevresel açıdan kontrollü deşarjın

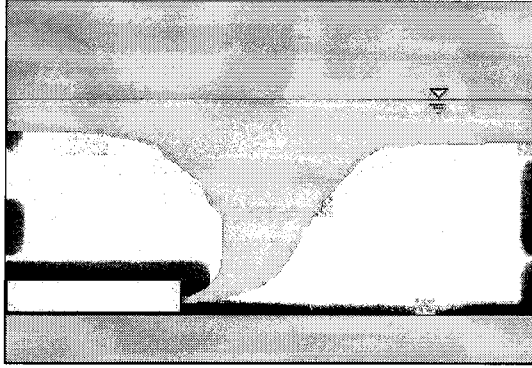
gerektiği durumlarda kısaca deşarj yapıları olarak isimlendirilen uzun/derin deşarj tesisleri kullanılmaktadır.



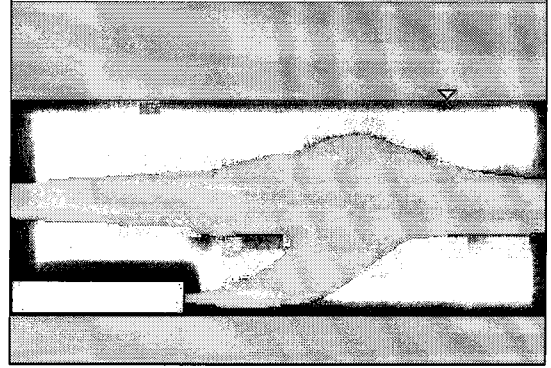
Şekil 5. Deniz kıyısına evsel atıksuyun kısa deşarjı (Karadeniz, Trabzon)

Deşarj edilen suyun (veya diğer akışkanın) alıcı ortam içerisinde zararsız olabilmesi için korunması amaçlanan bölgeden yeterince uzakta izin verilen kirlilik parametrelerinin kirliliğin yeterince seyreltilerek sağlanması gerekmektedir. Deşarjın amaçlandığı şekilde çevreye zarar vermemesinin sağlanması tamamen atıksuyun alıcı ortam içerisindeki davranışına bağlıdır. Her iki akışkanın yoğunluk, sıcaklık, tuzluluk değerleri, alıcı ortamın düşey yoğunluk tabakalaşması, atıksuyun ilk hızı yönü, alıcı ortamın akıntılı olup olmaması, akıntı varsa yönü ve hızı vb. bir çok parametre deşarjı yöneten etkenlerdir. En elverişsiz koşulların başında gelen durgun ve sıcaklık, yoğunluk, tuzluluk bakımından homojen alıcı ortam içerisine deşarj karşılaşılabilecek olumsuz çevresel koşulların engellenmesi bakımından mutlaka incelenmesi gerek bir durumu oluşturmaktadır. Bu koşullar altında atıksuyun deşarjı sonrasında difüzyon (yayılım) olayını çoğunlukla yoğunluk yönetir. En klasik durum olan yatay deşarj halinde Şekil 6’da görüldüğü gibi atıksu yoğunluğu alıcı ortamından az ise yüzeyde kapanlanma (tutulma) gerçekleşir [26]. Atıksu hafif ancak deşarj derinliği çok fazla ve/veya alıcı ortam suyunda düşey tabakalaşma varsa Şekil 7’deki gibi arada kapanlanma gerçekleşir, atıksu ilk hızını kaybederek alıcı ortam ile atıksu karışımının yoğunlukları fark edilmez hale gelerek su kütlelerinin arada kalması durumu oluşur. Eğer atıksu yoğunluğu alıcı ortam suyu yoğunluğundan fazla ise Şekil 8’deki gibi atıksu derhal çöker ve “yoğun deşarj” adını alır. İlk iki durum ile evsel atıksuyun deniz vb. daha yoğun ortamlara deşarjında veya alıcı ortam suyunun sıcak su haline getirildiği sıcak deşarjında karşılaşılmaktadır. LNG terminallerinden deşarj edilen soğuk su [27], deniz suyundan tatlı su elde edilen tesislerden çıkan [28] ve tuz madenlerinin yıkanmasından tuzlu su [29], maden işleme çalışmalarından çıkan yoğun atıksuların

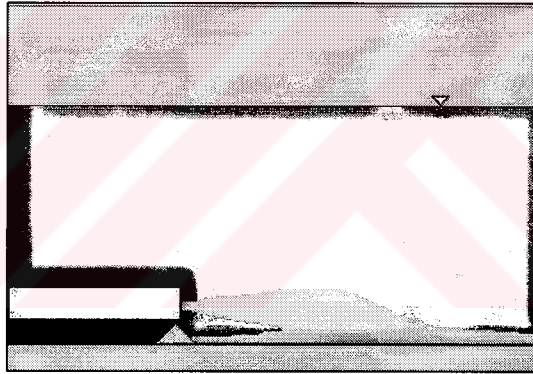
(örneğin alçıtaşı veya bakır cevheri yıkama suları) deşarjı halinde yoğun deşarj durumu oluşmaktadır. Soğuk deşarjda soğuk suyun alındığı ortamdan daha yoğun olmasını sağlayan durum 4°C 'tan başlayarak suyun sıcaklığa bağlı olarak yoğunluğunun azalmasıdır. Tablo 2'de saf suyun yoğunluğunun sıcaklıkla değişimi verilmiştir [30].



Şekil 6. Yüzeyde kapanlanma



Şekil 7. Arada kapanlanma

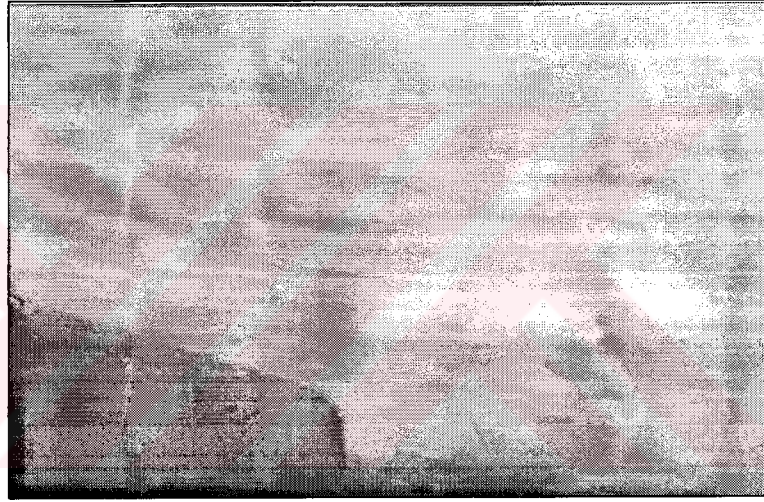


Şekil 8. Yoğun deşarj

Deşarj şeklinin oluşmasında atıksuyun veriliş şekli de etkilidir. Deşarj, Şekil 9'daki [31] gibi açık boru ağzı gibi çok büyük tekil bir delikten gerçekleştirilebildiği gibi, kutu kesitli veya yarıklı şeklindeki bir veya birden fazla delikle de gerçekleştirilebilmektedir. Ancak, deşarj edilen atıksu kütlesinin merkezinde en fazla kirlilik konsantrasyonu oluşarak alıcı ortam suyu ile karışım bu bölgede gerçekleşemediği için seyrelmesinin kolaylaştırılması gerekir ve deşarj tesislerinden yararlanılır.

Tablo 2. Saf suyun yoğunluğunun sıcaklıkla değişimi

Sıcaklık T (°C)	Yoğunluk ρ (g/cm ³)	Sıcaklık T (°C)	Yoğunluk ρ (g/cm ³)	Sıcaklık T (°C)	Yoğunluk ρ (g/cm ³)	Sıcaklık T (°C)	Yoğunluk ρ (g/cm ³)
1	0,999927	11	0,999634	21	0,998022	31	0,995372
2	0,999968	12	0,999526	22	0,997801	32	0,995057
3	0,999992	13	0,999406	23	0,997569	33	0,994734
4	1	14	0,999273	24	0,997327	34	0,994403
5	0,999992	15	0,999129	25	0,997075	35	0,994063
6	0,999968	16	0,998972	26	0,996814	36	0,993716
7	0,99993	17	0,998804	27	0,996544	37	0,993360
8	0,999877	18	0,998625	28	0,996264	38	0,992997
9	0,999809	19	0,998435	29	0,995976	39	0,992626
10	0,999728	20	0,998234	30	0,995678	40	0,992247

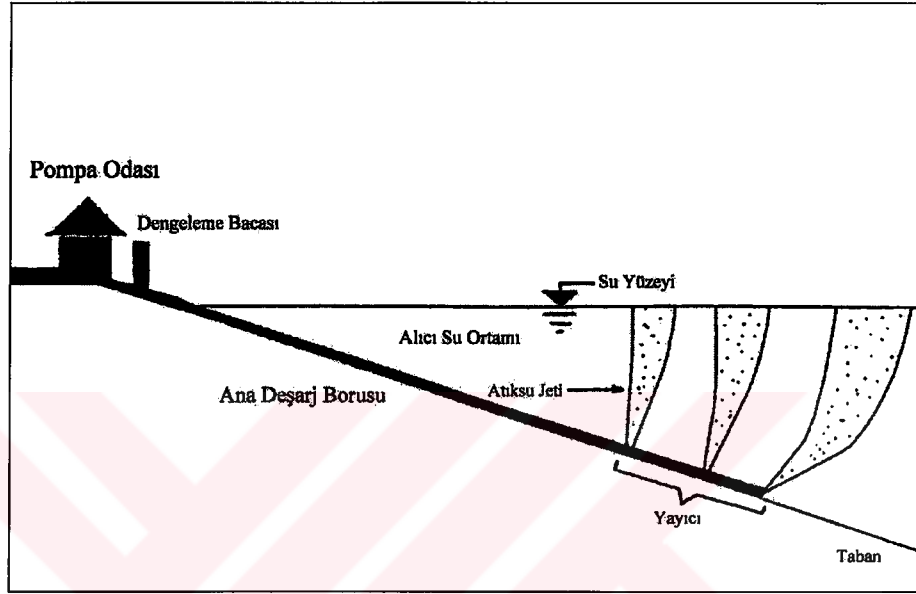
**Şekil 9.** Açık ağızlı bir borudan denize deşarj

1.6. Deşarj Tesisinin Genel Yapısı

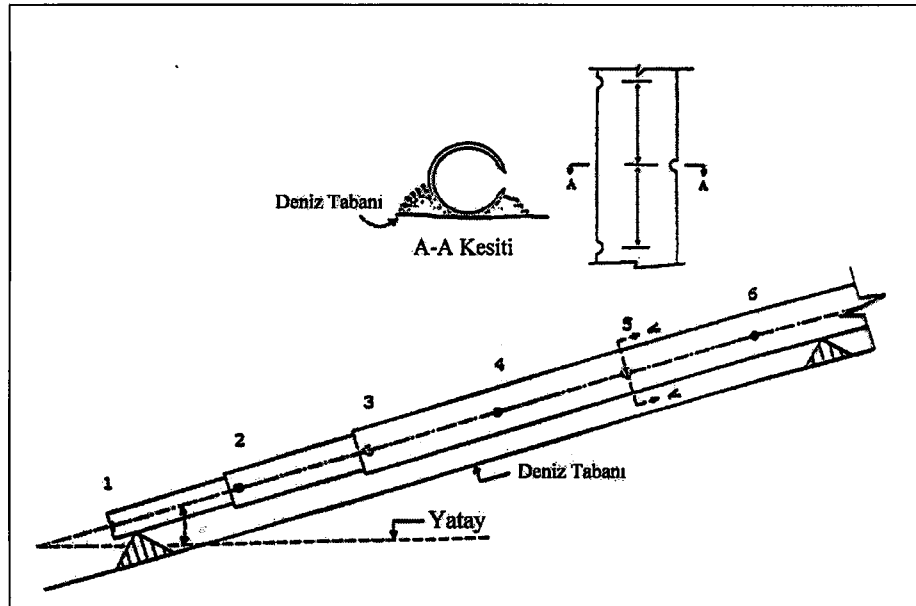
Atıksu deşarjının başlıca amacı büyük bir alıcı su kütlesi içinde çıkış suyunun karışmasıdır. Sadece açık ağızlı deşarj yeterli karışmayı sağlayamadığından pek çok araştırmacı tarafından atıksuyun etkin bir şekilde seyreltilmesi için “yayıcı” (difüzör) geliştirilmiştir [31]. Şekil 10’da bir deşarj tesisinin genel görünümü ve Şekil 11’de yayıcı detayı verilmiştir. Yayıcı, çoğunlukla sabit çaplı bir dizi deliği genellikle yan yüzlerin birinde veya her iki tarafında bulunan deşarj boru hattının sonunda bulunan çok delikli bir borudur (örnek: [32]). Yayıcı boru çapı ve delik büyüklükleri boru boyunca her delikten eşit debilerin çıkışını sağlayacak şekilde düzenlenmiştir ve aksi belirtilmedikçe daireseldir. Akışın hidrolik veriminin ayarlanabilmesi için silindirik olan “keskin kenarlı” delik tipi, daha verimli olan borunun iç cidarında delik genişletilerek yumuşak geçişin sağlandığı “çan ağızlı” [33] delik tipi gibi delik çeşitleri

Yükseköğretim Bakanlığı
T.C. MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI
T.C. YÜKSEKÖĞRETİM ANKARA
T.C. YÜKSEKÖĞRETİM ANKARA

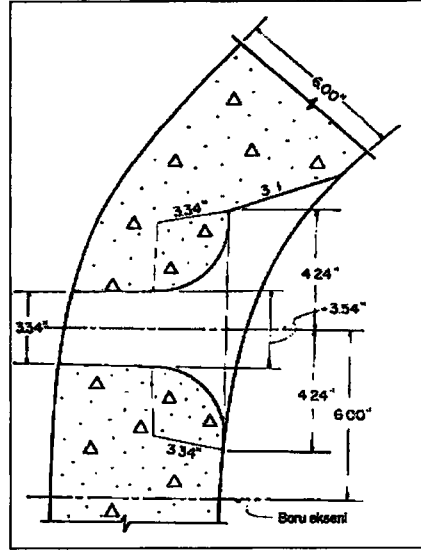
arasından tercih yapılmaktadır. Yayıcı, “çıkış ucu” (özel şekilli delik) (İngilizce “port”) olarak adlandırılan uzatılmış özel delikler aracılığıyla deniz vb. alıcı su ortamına atıksuyun boşaltılmasını sağlar. Pek çok deşarj yapısının delikleri yayıcı boru üzerine açılmıştır (Şekil 12). Diğerlerinde ise atıksu, daha küçük borulardan veya “yükseltici boru”lardan (İngilizce “riser”) (yukarı doğru yükseltilmiş boru) geçerek yayıcıdan dışarı çıkar. Yükseltici boru içermeyen ve içeren bazı deşarj tesisi yayıcıları Şekil 13’te verilmiştir [34].



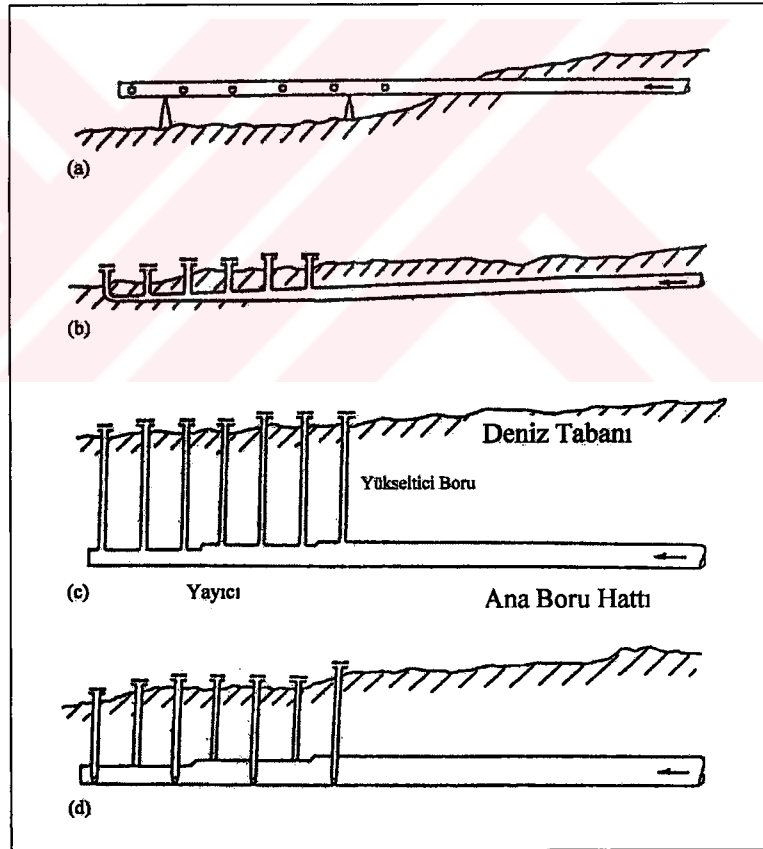
Şekil 10. Bir deşarj tesisinin şematik çizimi



Şekil 11. İç hıza göre çap daraltması yapılmış bir yayıcı



Şekil 12. Çan ağızlı bir delik



Şekil 13. Dört tip yükselticisiz ve yükselticili deşarj tesisi yayıcı borusu düzenlemesi

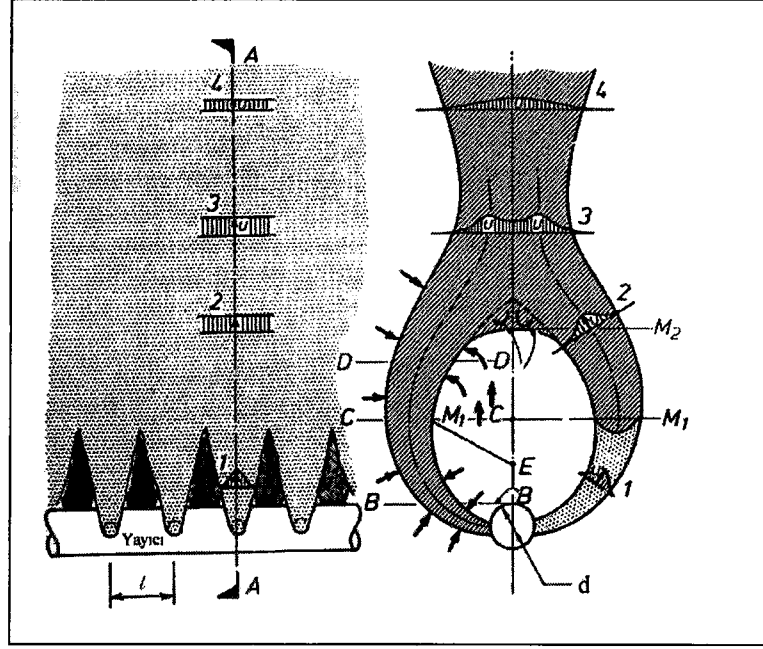
1.7. Deşarj Yapıları Aracılığıyla Atıksu Deşarjı

Evsel atıksu akımı yayıcı deliklerinden geçtikten sonra etrafındaki deniz suyundan daha hafif olduğundan bu salt kaldırma kuvveti etkisi nedeniyle yükselme eğilimindedir. “Saçak” (İngilizce “plume”) terimi bu yüzdürme etkilerinin birincil önemi olduğu çıkış suyu şeklini tanımlamak için kullanılır. Diğer taraftan, çıkış suyu akımından çıkış sırasında momentum (hız) etkilerinin karışma işleminde daha önemli olduğu durumlarda “jet” teriminin kullanılması tercih edilir. Yüzen (kaldırma kuvveti etkisi altındaki) bir jet, belirli bir yörüngeyi kat ettikten sonra saçak halini alır.

Saçak veya jet, durgun su yüzeyine doğru yükselirken çıkış suyu, alıcı ortam suyu ile karışır. “Seyrelme” terimi, atıksu için şu şekilde ifade edilebilir: Eğer geniş bir kaptaki 1000 ml temiz deniz suyuna 10 ml çözünebilir bir sıvı (örneğin atıksu) eklenirse, bu sıvının seyrelmesi 1001:1’dir denir veya geleneksel bir yaklaşımla sadece saçak veya jetin seyrelmesi 101’dir denir. Saçak veya jetin çekirdek kısmındaki atıksuyun alıcı su ortamı ile karışma olanağı daha az olduğundan jetin merkez ekseninde seyrelme daima minimum kalacaktır. Temkinli bir yaklaşım olarak denize deşarj edilen bir atıksuyun seyrelmesi merkezdeki karışım olarak ifade edilir.

Yüzen bir jette ortalama seyrelme dairesel bir jet için teorik olarak merkez eksenindeki değerin 1,74 katı; iki boyutlu (çizgisel veya yarı) jet için ise merkez eksenindeki değerin $\sqrt{2}$ katıdır [35]. İlk bakışta diziler halinde dairesel delikler bulunan bir yayıcıda yarı halindeki bir jetin ele alınma nedeni açık olmayabilir. Ancak, ayrı ayrı deliklerden belirli derinlikte deşarj edilen jetler arasında kesin bir değeri aşması koşuluyla ayrı kalarak varlıklarını sürdürebilirler. Aksi taktirde, jetler yayıcı boyunca birleşme eğiliminde olup hemen hemen deşarj borusunun her iki tarafından dışarı akış yapan uzun yarıklar halini almaktadır. Şekil 14’te bir dizi nokta kaynak olan jetlerin birleşmesi görülmektedir [36].

Bir jetin veya saçığın içerisine aktığı alıcı deniz suyu ortamının başlıca iki grup halinde sınıflandırılır: 1. Durgun veya hareketli; 2. Sabit yoğunluklu veya derinlikle artan yoğunluklu. Homojen veya doğrusal yoğunluk tabakalaşması durumlarında yüzen üç ve iki boyutlu (eğimli) jetlerin durgun alıcı su ortamındaki karışımları için deneysel olarak doğrulanmış teorik çözümler bulunmaktadır. Bazı sonuçlar hareketli alıcı su ortamları için elde edilmiş, bazı teorik çalışmalar ise değişken yoğunluk tabakalaşması olan alıcı su ortamları için yapılmıştır.



Şekil 14. Çizgi kaynak halini alan atıksu jetleri

Uygun tasarım ve yerel koşullarla birlikte atıksu deşarjı dikkate alındığında yoğunluk tabakalaşması olan bir alıcı suyun tek özelliği çıkış suyunun asla su yüzüne ulaşmayabileceğidir. Böyle durumlarda batmış bir atıksu tarlası oluşur. Çıkış suyunun daha derindeki alıcı ortam suyuna karışması nedeniyle, karışmış çıkış suyu ile alıcı ortam suyu yoğunluklarının eşit olduğu ara bir derinlikte batık çıkış suyu tarlası oluşur. Yükselen bir jet veya saçak, bu seviyeyi aşar aşmaz sonrasında sahip olduğu daha büyük bağıl yoğunluk nedeniyle çöker ve sonunda bu derinlikte dağılır.

Atıksuların denize deşarjında açık ağızlı bir boru yerine yayıcı kullanılması nedeni, yüzeye doğru yükselen yüzen bir jetin birinci seyrelmesinin daha fazla olmasıdır. Açık denize bakan bir sahil durumunda, atıksu bulutu yayılmadan ve/veya akıntılarla başka bölgelere sürüklenmeden önce çıkış suyunun yüksek bir birinci seyrelmeye ulaşması istenir. Suyu az olan bir haliç ele alındığında, ilk seyrelme ne olursa olsun çıkış suyu er ya da geç haliç boyunca düzgün yayılı (üniform) dağılacağı için yüksek bir ilk seyrelme düzeyinin çok önemi olmayabilir.

Bir deniz deşarjı sistemine giren atıksuyun geçtiği aşamalar 6 bölüme ayrılabilir:

1. Boru ve yayıcı içinde akış,
2. Delikten kısa bir uzaklıkta bulunan (yaklaşık delik çapının 6 katı kadar) “akış oluşum bölgesi”nde jet akışı,
3. Seyrelmiş atıksuyun alıcı suyun yüzeyine doğru yükselirken “oluşmuş akım bölgesi”ndeki akışı,
4. Ya batık ya da deniz yüzeyinde veya yüzeyine yakın homojen bir atıksu tarlası gelişimi,
5. Çıkış suyunun arta kalan yüzücülüğünden (yüzen dağılım) ötürü alıcı su ortamının yüzeyinde seyrelmiş çıkış suyunun taşması,
6. Yayılma veya taşınım gibi deniz hareketleri nedeniyle atıksu dağılımı (dispersiyon).

1.8. Yayıcı Hidroliği

1.8.1. Dışa Akış

Özgül ağırlık ve sıvıların yoğunluğu sırasıyla γ ve ρ ifade edilir. “d” alt indisi bu anlatım boyunca atıksu (deşarj) için kullanıldı. Alıcı (ortam) suyun yoğunluğu, su sütunu boyunca sabit olduğu varsayılarak, a alt indisi ile ifade edilmiştir.

Atıksuyun denize deşarjında önemli bir terim aşağıdadır:

$$g'_o = \left(\frac{\gamma_a - \gamma_d}{\gamma_a} \right) g \equiv \left(\frac{\rho_a - \rho_d}{\rho_a} \right) g \quad (1)$$

Burada g yerçekimi ivmesidir. “g” ivmesi kavramı, bir vakum içerisine düşen bir kütlenin g kadar ivmelenmesine benzerdir. Benzer bir şekilde, g'_o büyüklüğü, sürtünme direnci olmayan bir sıvı içerisinde geçebilecek yüzen bir cismin yukarı doğru ivmelenmesiyle ilişkilidir.

Çıkış suyu, bir deliğin d_o minimum çapından (alanı a_o) alıcı suya geçer. $0 < C_c \leq 1$ olan bir C_c büzülme katsayısı ile orantılı, a_o 'dan küçük, minimum alanı a_e olan delikten geçen bir sıvı kavramı akışkanlar mekaniğindeki yaygın bir kavramdır. Sonuç olarak:

$$a_e = C_c a_o \quad (2)$$

Eşitlik 2'nin iki alanın çapları cinsinden ifadesi aşağıdadır:

$$d_e = \sqrt{C_c} d_o \quad (3)$$

Delikten geçen deşarj debisi:

$$q_o = u_e a_e \quad (4)$$

Burada u_e minimum jet alanı bölgesinde büzüşmüş delikteki ortalama jet hızıdır. Etkin yoğunluksal Froude sayısı aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$F_e = \frac{u_e}{\sqrt{g'_o d_e}} \quad (5)$$

Yoğunluksal Froude sayısı aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$F_o = \frac{u_o}{\sqrt{g'_o d_o}} \quad (6)$$

Burada:

$$u_o = q_o / a_o \quad (7)$$

Parametre tanımları aşağıdadır:

$$B'_e = \frac{h / d_e}{F_e^2} \quad (8)$$

Burada h su derinliğidir. Daha sonra:

$$B'_e = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta m g'_o h}{\frac{1}{2} \Delta m u_e^2} \right) \quad (10)$$

Eşitlik 10'da yazılan durumda B'_e 'nin yüzen kütlenin potansiyel enerjisinin kinetik enerjisine oranını temsil ettiği açıktır. Jetlerin ve saçakların daha önceki tartışması sonrasında, B'_e dışarı akıntının jet benzeri mi, yoksa saçak benzeri mi olduğunu belirleyen kullanışlı bir parametre olarak ortaya çıkar. Yüzdürme etkilerinin

baskın olması nedeniyle saçak tanımlaması yapılır ve saçakta B'_e değerinin karşılaştırılmalı olarak büyük değerlerde olduğu görülür.

B'_e parametresi alışlageldiği üzere, atıksuların deniz deşarjlarında biraz değiştirilmiş olarak aşağıdaki şekilde isimlendirilir:

$$B_e = \frac{h/d_e}{F_e} \quad (11)$$

B'_e 'nde olduğu gibi B_e 'nin büyük değerleri saçaklarla ve küçük değerleri jetlerle ilgilidir.

B_e 'ye benzer olarak aşağıdaki parametreyi belirlemek uygundur:

$$B_o = \frac{h/d_o}{F_o} \quad (12)$$

Liseth [37] ABD Pasifik Okyanusu kıyıları deniz deşarjları için genellikle F_o 'nun başlıca değerinin 15-30 aralığında değiştiğini, üst değerlerinin 40-50 bölgesinde olduğunu bildirmiştir. Delikler arası izin verilen ortalama uzaklık l 'dir. Liseth aynı Pasifik Okyanusu kıyıları deniz deşarjları için h/d_o parametresinin 100-700 genel değer aralığında olduğunu, ancak h/l aralığının 2 ile 75 (ikinci değer seyrek görülen yüksek bir değerdir) değiştiğini belirtmiştir. B_o parametresi bu deşarj yapıları için kayda değer bir şekilde kararlı olup, genellikle maksimum değeri 20 olmakla birlikte 15 ile 18 arasında değiştiği bildirilmiştir.

1.8.2. Boru İçinde Akış

Borunun akış kapasitesi taşıyabildiği su hacmini ifade eder. Boru kapasitesi ağırlıklı borunun pürüzlülüğüne bağlıdır. Diğer etkenler ise borunun uzunluğu, alanı ve eğimidir.

Borunun deşarj hesaplarında pürüzlülüğü hesaba katmanın birkaç yolu vardır. Burada ikisi ele alınmıştır. Hesaba katma ölçülerinden birincisi, ϵ_* ile temsil edilen boru duvarının ortalama pürüzlülük yüksekliğini içerir. İkinci hesaba katma ölçüsü ise sadece ϵ_* ile zayıf bir bağlantısı olan Manning pürüzlülük faktörü n olarak isimlendirilir. n faktörü pürüzlülük yüksekliğinden doğrudan elde edilemez, ancak dolaylı olarak boru debi kapasitesi ölçümlerinden elde edilebilir. Böylesine bir belirlemede farklı boru malzemeleri için farklı n değerleri verilir.

1.8.3. Yayıcı İç Hidroliği

Yayıcı hidrolik tasarımı bilgisayarda çabukça gerçekleştirilebilen bir hesaplar dizisi olarak oluşturulabilir. Yayıcı tasarımı için uygun eşitlikler geliştirilmiştir ve tasarımın doğru yapılabilmesi için sağlanması gereken koşullar oluşturulmuş ve çözüm yöntemleri ana hatlarıyla ortaya konulmuştur. Bu çalışmada sunulan işlemler Brooks'un [38] genel hesaplama kalıbı ile aynıdır.

Yayıcı tasarımında toplam çıkış suyu debisinin yayıcı boyunca çeşitli deliklerden eşit olarak akması gerekir. Ancak bu şartın sağlanması neredeyse imkansızdır. Çünkü, yayıcıya gönderilen debinin değişkenliği ve su derinliğinin değişken olması sonucunda ortam basıncının da derinlikle değişim göstermesi yayıcı boyunca debi farklılıklarına neden olur. Düzgün bir atıksu debi dağılımının olabilmesi için uygulamada çok az olasılık vardır. Ancak, tüm derinlikler üzerindeki dış basıncın eşitlenebilmesi için yayıcı sabit derinlikli bir bölgede uzatılabilir.

Yayıcı boyunca bütün derinliklerde düzgün bir debi dağılımının sağlanması önemli bir zorunluluktur. Ancak bu sağlanması gereken tek kriter değildir. En az 3 hidrolik kural daha vardır [39]:

1. Akıntıyla taşınan katı maddelerin yayıcı içine birikiminin önlenmesi için yeterli akış hızı sağlanmalıdır. Pratikte konuşmak gerekirse, düşük debiler için bunu sağlamak çok zor gözükmektedir. Bu düşük akış hızlarında 0,6 ila 0,9 m/sn aralığında maksimum debiler için sağlanmalıdır. Bu hız aralığı düşük debiler sırasında biriken herhangi bir maddeyi sökmek içindir. Sökebilecek akış hızı, kesin konuşmak gerekirse, atıksuyun arıtılma seviyesinin bir fonksiyonudur. Atıksuyun arıtım seviyesi partikül boyutunun belirlenmesine yardımcı olur. Çökelti, yayıcının kıyıda en uzaktaki uç kısmında özel bir sorundur ve çoğunlukla yeterli akış hızının sağlanması ve bakım yapılabilmesi için yayıcının en ucuna özel delikler yerleştirilir.
2. Toplam hidrolik kaybının olabildiğince az tutularak bu boru hattının kıyıdaki ucunda basınç enerjisi seviyesini ve ihtiyaç duyulan pompalama miktarı en aza indirilmelidir. Sistem pompa içermesi enerji kullanımını, işletme ve bakım zorunluluklarına neden olur.
3. Bütün delikler tam dolu olarak atıksu deşarjı yapmalıdır. Yani, yayıcı kullanımda iken yayıcıdan içeri deniz suyu akışı olmamalıdır. Brooks [38] tüm derinliklerde $F_e > 1$ şartı sağlandığında içeri akışın önlenebileceğini belirtmiştir.

Eşit delik akışı gereksiniminin yeterli olmasıyla ilgili iki önemli konu ve yukarıdaki üç gereklilik deneysel araştırmalarla ortaya çıkarılmıştır:

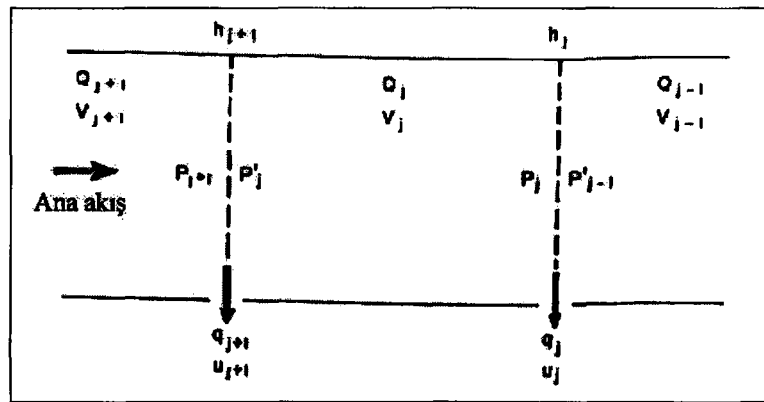
1. Kıyıdan uzaklaştıkça bir veya daha fazla adımda yayıcı boru çapının daraltılmalıdır.
2. Kıyıya uzaktan itibaren borudaki delik alanları toplamı yayıcı boru en kesit alanının 1/2 ila 2/3'ünü aşmamalıdır.

Eğer bu mümkün değilse, özel koşullar nedeniyle, tasarım aralığındaki debiler için bütün deliklerden eşit akışlar olması için kıyıdan en uzaktaki deliklerdeki minimum hızları sağlayacak şekilde (ilk üç kriterden 1 numaralı olan koşul) daha yüksek debilerin olması, bu durumda daha iyidir.

1.8.4. Temel Eşitlikler

Yayıcı delikleri açık deniz tarafından başlanarak sırayla numaralandırılmalıdır; j indisi bu amaçla kullanılır. “j” no’ lu deliğin (en küçük) çapı d_j ’dir ve bu noktadaki boru çapı (yayıcı boyunca değişebilir) D_j ’dir. Bu çapların alanları sırasıyla a_j ve A_j ’dir. Delikler arasındaki uzaklık l ’dir.

“j” no’ lu deliğin hemen su kaynağı tarafındaki boru debisi Q_j ve bu delikten geçen debi q_j ’dir. Bu debilerin hızları sırasıyla V_j ve u_j ’dir. “j” no’ lu deliğin hemen su kaynağı tarafındaki boru içi ortalama basıncı p_j ’dir. Sözü geçen ve diğer değişkenler Şekil 15’te gösterilmiştir.



Şekil 15. Ardışık yayıcı deliklerinin hidrolik parametreleri

“j” no’ lu deliğin üzerindeki su sütunu yüksekliği h_j ’dir. Yataydaki referans düzlemi deniz yüzeyi olarak alınırsa herhangi bir deliğin deniz seviyesinden yüksekliği - h_j ’dir. Bu derinlikteki ortam basıncı, o derinlik üzerindeki suyun özgül ağırlığı sabit varsayılarak $\gamma_a h_j$ ’dir; ancak, genel halde basınç p_{aj} ile ifade edilecektir.

1.8.5. Debi İncelemesi

1.8.5.1. Enerji Eşitliği

Akışkanlar mekaniğinde yararlı veya mekanik enerji, potansiyel enerji, kinetik enerji ve basınç enerjisidir. Ancak, böylesi bir akışkanlar mekaniğinde enerji dikkate alınmaz; dikkate alınan hali birim ağırlık başına enerji veya hidrolik yüküdür. Potansiyel, kinetik veya basınç enerjileri ise bu durumda sırasıyla referans yüksekliği, hız yüksekliği ve basınç yüksekliği olarak belirtilir. Bu üç terimin toplamı ise toplam hidrolik yük olarak bilinir.

Akışkanlar mekaniğinde enerji eşitliği başlangıç toplam hidrolik yükünün son toplam hidrolik yük artı yük kaybı şeklinde oluşturulur. Yararlı enerji miktarı, başlangıçtan son konumuna taşınan sıvının tek bir birim ağırlığı başına ısıya dönüşmüştür.

1.8.5.2. Deliklerde Akış

Çok delikli boru (yayıcı) içinden j no’lu delikten deniz ortamına doğru dışarı akış durumu düşünüldüğünde enerji eşitliği aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$-h_j + \frac{V_j^2}{2g} + \frac{p_j}{\gamma_d} = -h_j + \frac{u_j^2}{2g} + \frac{p_{aj}}{\gamma_d} + k_1 \frac{u_j^2}{2g} \quad (13)$$

Burada g yerçekimi ivmesi, k_1 boyutsuz yersel veya küçük yük kaybı katsayısıdır. Eşitlik 13’teki son terim daha sonra yersel yük kaybı olarak gösterilirse, bu eşitlik aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$u_j = \sqrt{1/(1+k_1)} \sqrt{2g} \sqrt{E_j} \quad (14)$$

Burada,

$$E_j = \frac{p_j - p_a}{\gamma_d} + \frac{V_j^2}{2g} \quad (15), \text{ var olan (net) hidrolik yükün bir ölçüsüdür.}$$

Delikten çıkan debi,

$$q_j = C'_{Dj} a_j u_j \quad (16)$$

Burada C'_{Dj} , j numaralı delikteki büzülme katsayısıdır. Eşitlik 14 ve 16 birleştirilerek deşarj katsayısı yazılabilir:

$$C_{Dj} = C'_{Dj} / \sqrt{1 + k_1} \quad (17)$$

$$q_j = C_{Dj} a_j \sqrt{2g} \sqrt{E_j} \quad (18)$$

Tam dolu akış halinde j numaralı çan ağızlı delik için deneysel “deşarj katsayısı” C_{Dj} eşitliği [38] aşağıdadır:

$$C_{Dj} = 0,975 \left\{ 1 - \frac{V_j^2 / 2g}{E_j} \right\}^{3/8} \equiv 0,975 \{1 - J\}^{3/8} \quad (19)$$

Bu eşitlik sadece delik (nozül) 4:1 büzülme oranının veya daha büyük olması durumunda ve sadece $d_j < 0,1D_j$ koşulu için kullanılabilir. Farklı delikler için V_j ve E_j farklı olacağı için C_{Dj} değerinin de yayıcı boyunca değişken olacağı açıktır.

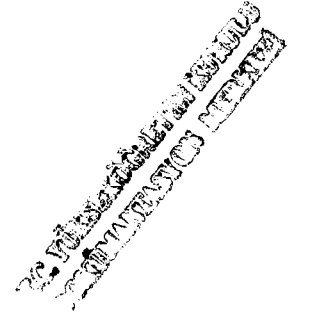
Yayıcıdan çıkan debi incelendiğinde, su kaynağı (yukarı) tarafından delikten deliğe çalışmak akış yönündeki (aşağı) tarafta çalışmaktan çok daha kolaydır. Sonuç olarak, yukarıdaki bir noktadaki (j+1) koşulların elde edilebilmesi için, hemen aşağıdaki noktanın koşullarının bilindiği varsayılır. Örneğin Şekil 15’te görüldüğü gibi, daha sonra şunların bilindiği varsayılır: Debiler Q_{j-1} , q_j , Q_j ; hızlar V_{j-1} , u_j ve V_j ; basınçlar p'_{j-1} ve p_j ; delik merkezi terfi yükseklikleri h_j ve h_{j+1} .

“j” no’ lu boru kısmında enerji denklemi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$h_{j+1} + \frac{V_j^2}{2g} + \frac{p'_j}{\gamma_d} = h_j + \frac{V_j^2}{2g} + \frac{p_j}{\gamma_d} + h_{lj} \quad (20)$$

Sadeleştirilirse:

$$h_{j+1} + \frac{p'_j}{\gamma_d} = h_j + \frac{p_j}{\gamma_d} + h_{lj} \quad (21)$$



Eşitlik 21'in sağ tarafındaki son ifade yük kaybı (sürekli yük kaybı) olup, başlangıçta bilinmez. Eşitlik 21'deki hemen bilinen terimler, h_{j+1} , h_j ve p_j/γ_d olup, sürekli yük kaybı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir (boru pürüzlülüğünden kaynaklı yük kaybının yanı sıra, belli boru bölümlerinin de (örneğin muayene bacası) yük kayıplarını içermesi zorunludur):

$$h_{lj} = f_j \frac{1}{D_j} \frac{V_j^2}{2g} \quad (22)$$

22 formülündeki f_j borunun oransal pürüzlülüğü ve Reynolds sayısının bir fonksiyonu olarak Darcy-Weisbach sürtünme faktörüdür. Oransal pürüzlülük ϵ^*/D_j oranıdır ve Reynolds sayısı aşağıda verilmiştir:

$$R_j = \frac{V_j D_j}{\nu} \quad (23)$$

Burada ν akan sıvının kinematik viskozitesidir. f_j 'nin belirlenmesi bilinen ϵ^*/D_j ve R_j değerleri ile Moody diyagramı [40] kullanılarak gerçekleştirilir. Moody diyagramı standart akışkanlar mekaniği kitaplarında [41, 42] verilmiştir. f_j

bilindiğinden yük kaybı belirlenebilir ve sonra $\frac{p'_j}{\gamma_d}$ eşitlik 21'den elde edilebilir. Bir yayıcıdaki akış analizi yapıldığında, ana debi bir delikten geçerken ana debinin toplam hidrolik yükünün sabit olduğu varsayımı kabul edilebilir. Şekil 15 göz önünde bulundurularak aşağıdaki eşitlik yazılabilir:

$$\frac{V_{j+1}^2}{2g} + \frac{p_{j+1}}{\gamma_d} = \frac{V_j^2}{2g} + \frac{p'_j}{\gamma_d} \quad (24)$$

Burada sağ taraf bilinmektedir. Eşitlik 15'in sağ tarafı ile Eşitlik 24'ün sol tarafı karşılaştırıldığında $j+1$ no'lu deliğin dışındaki ortam basıncı p_{aj+1} 'in bilindiği varsayımı ile E_{j+1} 'in bilindiği görülür. Fakat, $V_{j+1}^2/2g$ ifadesi bilinmemektedir ve Eşitlik 19'daki C_{Dj+1} için bu terime gereksinim vardır. İlk deneme olarak, $V_j^2/2g$, Eşitlik 19'daki $V_{j+1}^2/2g$ yerine kullanılarak C_{Dj+1} 'in bir ilk yaklaşık değerinin belirlenmesi için kullanılabilir. Daha sonra, q_{j+1} 'e ilk yaklaşım Eşitlik 18 kullanılıp hesaplama yapılarak belirlenebilir.

$$Q_{j+1} = Q_j + q_{j+1} \quad (25)$$

V_{j+1} 'e ilk yaklaşık değer ise süreklilik denklemi kullanılarak aşağıdaki şekilde elde edilebilir:

$$V_{j+1} = Q_{j+1} / \left(\frac{\pi}{4} D_{j+1}^2 \right) \quad (26)$$

$V_{j+1}^2/2g$ için ikinci bir yaklaşım daha sonra bulunmaktadır ve işlem tekrarlanabilir. Yeterli sayıdaki tekrarlama işlemi istenen V_{j+1} 'in küçük farklılıkları

değerleri için ardışık olarak gerçekleştirilerek elde edilir. Pek çok durumda, delikteki deşarj borudaki debinin sadece küçük bir miktarını oluşturur ve ilk deneme kullanımı Eşitlik 19'daki gerçek açık deniz tarafındaki hız yüksekliği yeterlidir.

Burada tarifi yapılan işlemler borunun kıyı tarafına doğru sürdürülebilir. Bütün seri için doğal başlangıç yeri kıyıdan en uzaktaki deliktir. Bu delikte hesaplamalara başlamak için E_1 değeri için bir kabul yapılmalıdır. Genel bir delik halinde, aşağıdaki süreklilik denklemi ile elde edilerek hesaplanmış boru akış hızına Eşitlik 19'un kullanılmasıyla kabul edilen hız yüksekliği uyması için önceden bazı yinelemeler yapılması gereklidir.

$$Q_1 = q_1 \quad (27)$$

Hesaplamalar kıyı tarafına doğru kıyı tarafındaki en son deliğe (N no'lu delik) ulaşılıncaya kadar adım adım sürdürülür. Yayıcından akan toplam deşarj debisi bütün deliklerdeki debilerin toplamı oluncaya kadar veya basitçe proje debisi ile deliklerdeki deliklerin toplamı birbirine eşit oluncaya kadar ($Q = Q_N$) hesaplamalar sürdürülür. Ayrıca p_N basınç değeri de önemli bir büyüklüktür.

Her bir delikte daha önce belirtilen kriterlerin kontrolü gerçekleştirilir. Örneğin, açık deniz tarafına doğru ara bir noktada delik alanları toplamı bu bölgedeki boru en kesit alını aşarsa boru alanının artırılması gerekebilir.

1.9. Homojen Alıcı Su Ortamı İçine Birinci Seyrelme

Homojen bir alıcı su ortamı, deniz suyu yoğunluğunun derinlikle değişiminin ihmal edilebildiği, yayıcının yerleştirileceği bir bölge anlamına gelmektedir. Bu durum karışmış tabakanın ilgilenilen derinlik boyunca dağılım göstereceği ve ayrıca, göreceli olarak yayıcının belki de sığ bir su ortamında olduğu anlamına gelmektedir. Karşılaştırmalı olarak 27 m (modern deşarj yapıları için) derinlikli sığ bir su derinliğinde (okyanus koşullarına göre belirtilmiştir) bile yaz koşullarında sıcaklıklar arasında ve dolayısıyla yüzey ve taban arasında yoğunluklarda farklılıklar bulunmaktadır [43].

Burada ele alınan durum, yüzeye doğru yüzen çıkış suyunun yükselmesi sırasında çıkış suyunun ortam suyu olarak sürüklenmesidir. Ancak, karışımın yüzücülüğü asla ortaminkine ulaşmadığından çıkış suyu karışımı daima yüzeye doğru yükselir. Derinlik ve mevsimlerle ilgili koşullar üst üste gelip yüzeyden tabana kadar

gerçekten alıcı okyanus ortam yoğunluğu sabit olduğunda homojen bir alıcı su ortamı için işlemler gerçekleştirilebilir.

Gel-git etkileri gibi değişken akıntılar içerisinde atıksu deşarjı problemi ne teorik, ne de deneysel olarak yeterince üzerinde çalışılmıştır. Bu sorun herhangi bir açı ile yayıcıya gelen kararlı akıntılar dikkate alınarak çözülmektedir.

Sabit yoğunluklu karlı hareket eden alıcı sular içerisinde atıksu deşarjının birinci seyrelmesi altı büyüklük ile belirlenir. Bunlardan ilki “birim yüzücülük akısı” olup, aşağıdaki formül ile ifade edilir:

$$b = g'_0 q \quad (30)$$

Burada q yayıcının birim boyundaki debidir ve g'_0 Eşitlik 1’de tanımlanmıştır. İkinci büyüklük ise önemli tek dinamik parametre olan ve aşağıdaki eşitlikle tanımlanan Froude sayısıdır:

$$F = u^3 / b \quad (31)$$

Burada u akıntı hızıdır. Akıntının boru hattı ile yaptığı açı θ ile temsil edilmektedir ve ilgilenilen başlıca üçüncü büyüklüktür.

Dördüncü büyüklük ise aşağıdadır:

$$\bar{S} = u h / q \quad (32)$$

$\bar{S}$, birim akıntı ve ele alınan çıkış suyu deşarjı oranından kaynaklanan, bütün çıkış suyunun ortalama, iki boyutlu seyrelmesidir. Beşinci büyüklük “M” kaynağın (düşey) momentumun alıcı ortam akıntısına oranıdır. Sonuncu büyüklük L_2/h olup, burada L_2 yayıcının boyudur.

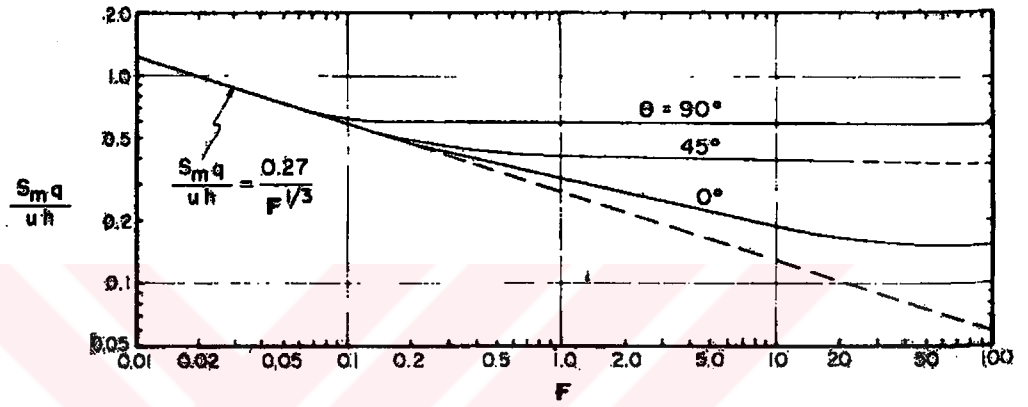
Dik ($\theta=90^\circ$) bir akıntı içindeki sonsuz uzunluktaki bir saçağın üç tane akış rejimi olduğu Roberts tarafından bulunmuştur [31]. Bu birbirinden ayrı rejimler Şekil 16’dan da görüldüğü gibi F değer aralığı ile karakterize edilirler. Ancak, herhangi bir gerçek atıksu deşarjı durumu sonlu uzunluklu bir yayıcı içerir. İki ve üç boyutlu hallerdeki bütün akıntı şekilleri kavramsal olarak $\theta=90^\circ$ için oldukça farklıdır. Üç boyutlu hal için, çıkış suyu yanal olarak dağılır, fakat iki boyutlu durumda bu mümkün değildir.

iken normalleştirilmiş seyrelme sonuçlarında görünür bir farklılık yoktur. Küçük F değerleri için asimptotik çözüm aşağıdadır:

$$S_m q / u h = 0,27 / F^{1/3} \quad (34)$$

Eşitlik 34 aşağıdaki şekilde yeniden yazılabilir:

$$S_m = 0,27 \frac{b^{1/3} h}{q} \quad (35)$$



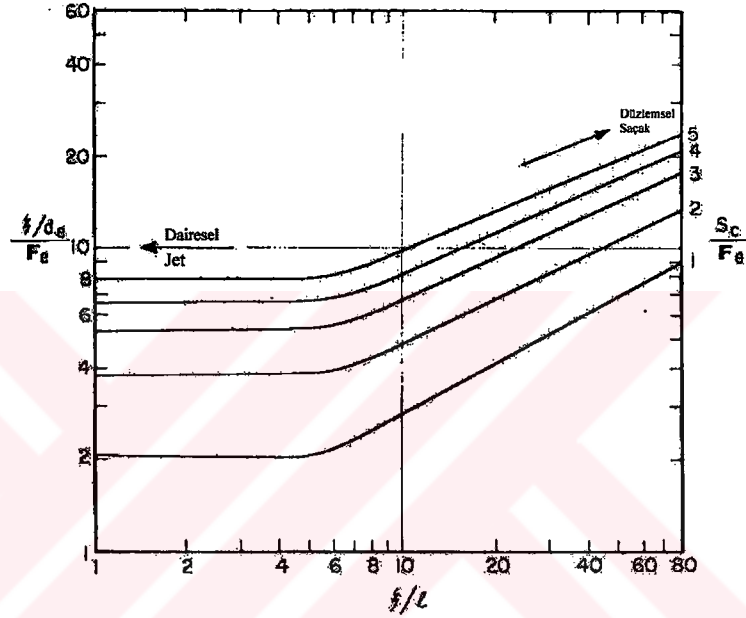
Şekil 17. Kararlı akıntı içinde çizgisel saçakların minimum yüzeysel seyrelmeleri

Bekleneceği üzere akıntı hızı ortadan kalkar. Şekil 17'den açıkça görüldüğü üzere fark edilebilir bir akıntı olması halinde Eşitlik 35'in kullanımı (veya eşdeğeri Eşitlik 34) çıkış suyunun ilk seyrelmesini büyük ölçüde olduğundan küçük tahmin edilmesine neden olur. Roberts'ın çalışmasından önce akıntının (ve üç boyutluluğun) ilk seyrelmeye etkisi göz ardı edilerek ilk seyrelme modelleri kullanıldığı için bu önemli bir sonuçtur. Bu durum $F \leq 0,1$ için Eşitlik 35'teki uygulama Şekil 17'de açıkça görülmektedir.

Roberts kendi sonuçlarını benzer deneyler gerçekleştiren (ancak esas olarak iki boyutlu) diğer araştırmacılarıkiyle ancak M 'yi ihmal etmeden karşılaştırdı. Artan M 'nin etkisi S_m 'yi artırdı, fakat karşılaştırmalı artış F 'nin artışıyla azaldı.

1.9.2. Dairesel Jetlerin ve Saçakların Seyrelmesi

Momentum etki ettiği halde çıkış suyunun seyrelmesi Liseth'in [37, 45, 46] durgun veya çok hafif hareketli alıcı sulardaki sonuçları temel alınarak uygulanabilir. Liseth'in iki boyutlu verileri Roberts [47] tarafından yeniden çizilmiş ve Şekil 18'de verilmiştir. Bu şekildeki ξ değişkeni deliğin merkezini başlangıç noktası alan yukarı doğru pozitif olan düşey bir koordinattır. Bu değişkenin üst sınırı su yüzeyidir ve burada delik ile deniz tabanı arasındaki göreceli küçük uzaklık ihmal edilebilirse $\xi=h$ 'dir.



Şekil 18. Düzgün yayılı, durgun su içerisinde çakışan dairesel jetler için merkez hattı sabit seyrelme değerlerinin eşdeğer çizgileri

Şekil 18'in sol tarafına gidildikçe merkez hattındaki seyrelme S_c , h/l 'ye bağlıdır. Bu bölge birbirine komşu yayıcı deliklerden çıkan jetlerin birbirine karışmadığı bölgedir. Ancak, $h/l > 5$ için komşu jetlerin etkileşimi vardır. Akış yörünge çiziminin sağ tarafına doğru o kadar uzundur ki, karışmış çıkış suyundaki yüzücülük etkileri etkili olur. Sonuç olarak Şekil 18'in sağ tarafı saçak oluşumundan sorumlu kısımdır. Çeşitli deliklerden çıkan jetlerin genişlemesine birbirine karışımı nedeniyle bu bölge, aynı zamanda yarı (çizgisel) saçak halinden de sorumludur. Sonuç olarak Şekil 18'de verilen çizgiler ile yarı saçaklar için tahmin edilmiş değerlere yaklaşım yapılabilir.

Durgun sudaki iki boyutlu bir saçak için merkez hattı seyrelmesi değişimi aşağıdaki gibidir:

$$S_e = 0,42b^{1/3}\xi / q \quad (36)$$

Eşitlik 36, Şekil 18'deki çizimin sağ sınırına yakın veri çizgilerine mükemmel bir şekilde uymaktadır. Çıkış suyunun minimum seyrelmesi yüzeyde veya yüzeye yakın bölgede olabilir ve bu değer aşağıda verilmiştir:

$$S_m = 0,29b^{1/3}h / q \quad (37)$$

Eşitlik 36'da $\xi=h$ ayarlamasının S_m değerinin gerçek değerinden fazla tahmin edilmesine yol açtığı açıktır. Bu değer farklılığı tıkanma sorununu artırır. Seyrelmiş çıkış suyu bulutu su sütununun yukarı kısmında yer aldığından, saçak yükselmesinin ikinci aşaması, salt seyrelme suyunun ortamı işgal etmesi ile ilgili değildir. Tıkanma nedeniyle, S_e ve S_m 'nin birbirine eşdeğer olarak düşünülmesi doğru değildir. S_m/S_e oranı $\xi=h$ için 0,69'dur.

Durgun veya hafifçe hareketli alıcı sudaki dairesel bir jeti merkez hat seyrelmesi Roberts tarafından [44] aşağıdaki şekilde verilmiştir:

$$\frac{S_e}{F_e} = 0,107 \left[\frac{\xi / d_e}{F_e} \right]^{5/3} \quad (38)$$

Sadece $\xi/l < 5$ için dairesel bir jet veya saçak ayrı kalır (birbirine girişim yapmaz), bu kural burada uygulanır. Ayrıca, bir saçak için aşağıdaki şekilde yaklaşım yapılabilir:

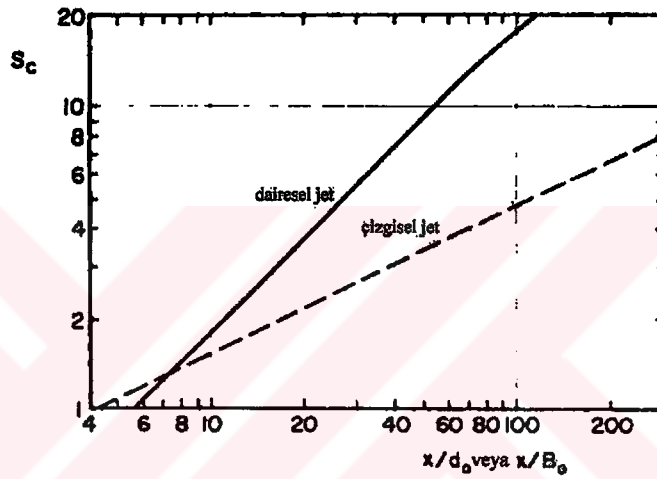
$$\frac{\xi / d_e}{F_e} \geq 20 \quad (39)$$

Eğer yukarıdaki iki kural yeterli ise Eşitlik 38 Şekil 18'in sol tarafındaki sonuçların genişletilmesinde kullanılabilir.

1.9.3. Alıcı Ortam Sıvısı ile Aynı Yoğunluktaki Çıkış Suyu

Çıkış suyu ile alıcı ortam sıvısı yoğunlukları aynı olduğunda, bir göle atıksu akışında olduğu gibi, Froude sayısı (Eşitlik 6) sonsuz olur. Böyle bir durum Şekil 18’de gösterilmemiştir, fakat Şekil 19’da verilmiştir. Durgun koşullar için olan bu çizim, hem dairesel (x/d_0), hem de yarık (x/B_0) jetleri içermektedir. “x” jetin kat ettiği uzaklık, d_0 dairesel jetin başlangıçtaki çapı ve B_0 başlangıçtaki toplam yarık genişliğidir. Yarık çıkış suyu deşarjı için kullanılmadığından B_0 aşağıdaki eşitlikten elde edilebilir:

$$Bo = \left(\frac{\pi}{4} d_0^2 \right) / l \quad (40)$$



Şekil 19. Aynı yoğunlukta su içerisine deşarj edilmiş dairesel ve çizgisel jetlerin merkez hattı seyrilmeleri

1.10. Deşarj Tesislerinin Geliştirilmesi İçin Yapılan Çalışmalar

Deşarj tesisleri, başta denizlere ve okyanuslara evsel atıksuların uygun bir şekilde verilebilmesi için geliştirildiğinden en yoğun çalışmalar bu konu üzerinde gerçekleştirildi. Alıcı ortam, daha yoğun olan tuzlu su, deşarj edilecek atıksu ise daha küçük yoğunluklu tatlı su olduğundan, gerçekleştirilen incelemelerde çok yoğun ortam içerisine az yoğun akışkanın verildiği durum üzerinde duruldu. Daha önce de kullanılmakla birlikte denize deşarj yapılarının tasarımı ile ilgili bilgileri bir araya getiren çalışma Rawn, Bowerman ve Brooks tarafından [33] gerçekleştirildi. Bu çalışma bir deşarj tesisinin tasarımı için gerekli kriterlerin çoğunu ve formülleri içermektedir. Tasarım için gerekli eşitliklerin geliştirilmesi konusu ayrıca Cederwall tarafından da çalışıldı [48,49].

Bir deşarj tesisinin çevresel kriterlere uygun bir şekilde çalışabilmesi için bazı parametrelerin önceden bilinmesi veya tahmin edilmiş olması gerekir. Bunlardan bazıları deşarj tesisi yayıcısından çıkan suyun dairesel jet mi, çizgisel jet mi (girişim hali) olduğu, deşarj edilen atıksuyun jet mi, saçak mı şeklinde aktığı, jet yörüngesinin yükselme veya çökme eğiliminde olduğu, yani jetin yüzücü veya yüzücü olmayan (yoğun jet) tipte olduğu, tabakalı alıcı su ortamında jetin arada kapanıp kapanmadığı, atıksuyun jet yörüngesinin yatay ve düşey nüfuzu, ulaşabildiği son noktaların belirlenmesi, jet içerisinde kirliliğin dağılımı ve seyrelmesi, girişim olmadığı durumda dairesel jet merkezinde oluşan en düşük seyrelme miktarlarının belirlenmesi, jetler arası girişim olduğunda çizgisel (yarık) jet merkezinde oluşan minimum seyrelmenin belirlenmesi, akıntı olması durumunda açığa bağlı saçak hareketlerinin ve seyrelme etkileşiminin belirlenmesidir. Bir deşarj tesisinin düzgün olarak çalışabilmesi ve bulunduğu ortamda zarar görmeden kalabilmesi için incelenmesi gereken çevresel faktörlerle ilişkili olmayan faktörlerden bazıları ise şunlardır: Yayıcı içerisine akış durumu ve önlenmesi, akışın dalga, gel-git ve akıntılardan etkilenmesinin belirlenmesi ve önleme teknikleri, debi düzensizlikleri veya aşırı debi durumlarına özel deşarj deliği ve yayıcı tiplerinin belirlenmesi, boru içerisinde çökelti oluşumunun ve tıkanmaların önlenmesi, boru hattının sabitliğinin sağlanması, dayanımın sağlanması ve korozyona karşı koyma bakımından boru malzemesinin incelenmesi başlıca diğer konular arasında yer almaktadır.

Denize deşarj yapılarının düzgün çalışabilmeleri için öncelikle iç hidroliğinin detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmiştir. Özellikle bütün deşarj deliklerinde dolu akışın sağlanması, deniz suyu akışın bulunmadığı noktalara akarak tıkanıklıklara neden olabileceğinden bu durumun önlenmesi için yayıcı iç hidroliği üzerine pek çok deneysel ve teorik inceleme gerçekleştirilmiştir. Örneğin, Nemlioğlu [50] tarafından ve Berkün ve Nemlioğlu [51] tarafından yayıcı iç hidroliğinin ilk delikteki toplam hidrolik yük, yayıcı boru iç yüzeyi pürüzlülüğü ve eğimdeki değişimlerin yayıcı iç hidroliğini etkilenme miktarları teorik olarak incelendi. Yayıcı boru içerisinde evsel atıksu akıtılması gerçekleştirildiğinde zamanla sürekli değişiklik gösteren pürüzlülük parametresinin hidrolik etkileşimi yine Berkün ve Nemlioğlu [52] tarafından incelendi. Bu etkileşimlerin çeşitli hatalara neden olabileceği gerçekleştirilen bazı çalışmalarda görüldü. Nemlioğlu [53] tarafından tasarım ve yapım aşamasında oluşabilecek bazı hatalar belirtildi. Özellikle deşarj tesisinin ilk kuruluşu aşamasında yayıcıya tasarlandığı debiden daha az debi ulaşması sonucu oluşabilecek olumsuz durumların önüne geçilebilmesi için deşarjın zamana bağlı olarak planlı gerçekleştirilmesi gerektiği Nemlioğlu ve Berkün [54] tarafından ortaya konuldu. Yine Nemlioğlu [55, 56, 57] tarafından iç hidrolik verileri ile ilgili özellikle delik tipinin değiştirilmesi ile hidrolik verimi düşük yayıcısı olan deşarj tesislerinde, kullanım ömrünün etkin bir şekilde artırılabilceği belirtildi.

Isıl deşarj ile ilgili çalışmalarda özellikle nükleer elektrik santralleri ve termik santrallerin açık devre soğutma sularının alıcı ortama sıcak su deşarjı şeklindeki işlemleri üzerine duruldu. Bu tesislerin kullanılmaya başlanması ile daha çok ısıl kirlenme kavramı ortaya çıkmaya başladığından, ilk çalışmalar daha çok sıcak su deşarjı

için gerçekleştirildi veya gerçekleştirilecek ısıtma yapan tesislerin çıkış sularının alıcı su ortamındaki etkilerinin belirlenmesi ve soğutma suyu kaynakları üzerinde daha yoğun çalışmalar yapıldı [58]. Isıl kirliliğin gerçek bir çevre sorunu olarak ortaya iyice çıkması sonucunda bu kirlilik türünün ortadan kaldırılabilmesi için öncelikle ısıtılmış suyun deşarj hesaplamalarının yapılması gerekti. Isıl deşarj ile ilgili işlemlerde sıcak su alıcı ortamın çoğunlukla yüzeyinde kaldığından özellikle akarsu ve diğer su kütlelerinde akıntı halindeki ısıtılmış yüzey suyunun alıcı su ortamındaki davranışı incelendi. Zeller, Hoopes ve Rohlich [59] tarafından kararlı yanal akıntı halinde ısıtılmış yüzey jetleri, Sharp [60] tarafından ise yüzen yüzey deşarjının kararsız dağılımını incelendi, Motz ve Benedict [61] tarafından ise ısıtılmış deşarjlar için yüzey jet modeli üzerinde çalışıldı. Her deşarj yapısı farklı ortamlar içerisinde bulunduğu için doğru olan işlem, her deşarj tesisi için deneysel model çalışması ve/veya arazi ölçümlerinin gerçekleştirilerek tasarımı yapılan tesisin kendine has verilerinin elde edilmesidir [31]. Bu amaçla sıcak su deşarjı tesisi ile ilgili yerinde gerçekleştirilen çalışmalar arasında termik santral deşarj tesisleri için Parr ve Sayre'nin [3] ve Yurteri'nin [62] çalışmaları pek çok çalışma arasında örnek olarak gösterilebilir. Diğer taraftan, Jirka [2] tarafından gerçekleştirilen özetleyici çalışma ile sıcak su deşarj yapılarının çizgisel jet halinde gerçekleştirdikleri deşarj incelenerek çeşitli tipteki yayıcılar içerisinde delikleri yayıcıya dik olan klasik yayıcı tipinin alıcı ortamda akıntı olması halinde en iyi seyrelmeyi sağladığı belirlendi. Bu çalışmada sıcak deşarjın, denize evsel atıksu deşarjından yaklaşık on kat daha büyük bir debiyle gerçekleştirildiği özelliği vurgulandı. Ayrıca, yine Jirka tarafından evsel atıksu için geliştirilmiş yayıcı sistemlerine göre elde edilen verilerin, yayıcıdan akış tahminlerinin yapılmasında yardımcı olabileceği gösterildi.

Soğuk su deşarjı ise sıcak deşarja göre daha yeni bir kavram olup çok daha az incelenmiş bir konudur. Böylesine az incelenmiş olmasında, soğuk suyun alıcı su ortamından yoğun olarak “yoğun jet” şeklinde deşarj edilmiş olması da etkili faktörlerden biridir. Yoğun jet pratikte daha az kullanım alanına sahip olduğundan, evsel atıksuyun deniz ortamına deşarjında ortaya çıkan “yüzen jet” verilerine oranla daha az araştırma konusu olmuştur.

Soğuk deşarj ile ilgili en kayda değer çalışma Fry ve Adams [63] tarafından gerçekleştirildi. Bu çalışmada, homojen sıcaklıktaki alıcı su ortamında, düşük basınç nedeniyle soğuyarak çökelen jetlerin kısıtlı bölgedeki deşarjı incelendi. Isıl deşarj, evsel atıksu deşarjına göre daha sığ ortamlarda gerçekleştirildiği için jetin hareket eğiliminin önce engellenmemiş, sonra da sığ ortamda engellenmiş davranışının belirlenmesi ve böylece kirliliğin nereye taşındığının ve taşınma sonucunda yeterince seyrelip seyrelmediğinin bilinmesi gerekmektedir. Evsel atıksu jetlerinin davranışının belirlenebilmesi için pek çok çalışma yapılmıştır. Sharp ve Moore [64] tarafından yapılan bir çalışmada, yüzen çıkış sularının akıntıya deşarjı halinde seyrelmesi tahmin edildi. Davidson ve Pun [65] tarafından ise deşarj edilen su kütlesinin durgun ve hareketli alıcı ortamlardaki yörüngelerinin belirlenmesi üzerinde çalışıldı. Türbülanslı karışan yatay deşarj edilmiş jetlerin tabakalı alıcı su ortamındaki davranışları Fernando, Johnstone ve Zangrando [66] tarafından incelendi. Rajaratnam ve Langat [67] tarafından ise türbülanslı dairesel jetlerin çizgisel olarak yanal akıntı içerisindeki

karışım bölgeleri belirlendi. Bemporad [68] tarafından ise tabakalı ve akıntılı alıcı ortam içerisindeki dairesel yüzen jetin benzeşimini gerçekleştirildi ve tabakaların oluşturulmasında sıcaklık farklılıklarından yararlanıldı. Guo ve Sharp [69] tarafından yüzen koşullarda dairesel jetlerin ve karışımlarının karakteristikleri belirlendi ve özellikle jetlerin içerisindeki hız değişimlerinden yararlanıldı.

Görüldüğü gibi deşarj koşullarının çeşitliliği oldukça fazladır. Ancak, özellikle akıntılı durumlarda, akarsu gibi mevsimsel akış değişiklikleri çok olan alıcı ortamlarda yine de model değerleri ile gerçek ölçümler arasında özellikle hızlar bakımından farklılıklar bulunabilmektedir [70]. Model ile gerçek değerlerin uyuşmadığı durumda, kararsız akış hallerinde atıksu kütlesi davranışının tahmin edilebilmesi gerekmektedir. Anwar [71] tarafından kararsız ve kararlı akıntılar için bu belirsizlik yüzeysel saçakların dağılımı ısı koşulları altında belirli hale getirilmeye çalışıldı. Yayıcının yakınındaki verilerin pek çok çalışmada esas alınmasına karşılık Blumberg, Ji ve Ziegler [72] tarafından uzak bölge çevrinti modeli kullanılarak, deşarj tesisi saçaklarının modellenmesinde farklı bir yaklaşım izlendi. Uzaklık etkileşimi ile ilgili diğer bir yaklaşım da derinliğin fazla olması ve akıntı bulunması hali olarak Mendez-Diaz ve Jirka [73] tarafından yüzen saçaklar için incelendi. Isaacson, Koh ve Brooks'un [74] çalışmasında olduğu gibi bir deşarj tesisinden çıkan jetlerin model deneyleri ve ortamdaki seyrelme sonuçlarına göre model geliştirilmesi mümkündür. Fakat, öncelikle jetlerin tekil kalarak daha yüksek seyrelme seviyesine ulaşmaları tercih edilmelidir ve jetlerin ayrık olduğu durumlar için jet davranışlarının belirlenmesinin daha yararlı olduğu söylenebilir. Bu kavramın önemi nedeniyle, tek delikten deşarj edilen jetlerin hidrodinamik sınıflandırılması Jirka ve Doneker [75] tarafından gerçekleştirildi. Ancak, Jirka ve Akar [76] tarafından ayrıca çok delikli yayıcı deşarjları da incelenerek konu pekiştirildi.

1.11. Isıl Deşarj İçin Tekil Jet Davranışlarının Belirlenmesi

Isıl deşarj sonucunda bir su jetinin alıcı su ortamında davranışının belirlenebilmesi bir dizi jet oluşturacak yayıcının tasarımını doğrudan etkileyeceği için ister sıcak su deşarjı, isterse soğuksu deşarjı olsun son derece önemlidir. Bu amaçla sıcak su deşarjının yörüngesinin ve dolayısıyla nüfuzunun belirlenmesi ile ilgili bir dizi teorik çalışma yapan Pantokratoras tarafından deşarj deliğinin yukarı [77] ve aşağı [78] eğim verilmiş halleri incelendi. Bu çalışmalardan biricisinde alıcı ortam sıcaklığının $T_a > 10^\circ\text{C}$ ve termal deşarj için Pantokratoras tarafından değişikliğe uğratılmış Froude sayısı $F_a > 8$ için jetin yatay nüfuz uzaklığının bulunabileceği belirlenmiştir. Bundan daha küçük ortam sıcaklığı değerlerinde ise sıcaklık bakımından su yoğunluğu farklılıkları, lineerliği önleyecek büyüklüğe ulaştığından bu yaklaşımla net bir sonuç çıkarılamayacağı belirlenmiştir. Bu çalışmanın gösterdiği önemli bir özellik, deşarj edilen jetin birinci seyrelmesini sağlayan hareketinin tamamlanmasından önce mümkün olan en uzun yörüngenin seçilerek en yüksek seyrelmeye ulaşılabilmesidir. Sıcak su deşarjında hareket eğilimi yatay deşarj halinde suyun alındığı ortama ısıtılarak verildiği halde yukarı doğrudur. Yukarı doğru hareket eğiliminin olduğu durumda, deşarj deliğine aşağı doğru eğim verilmesi halinde homojen alıcı ortam içerisinde, eğer tabana

doğru yeterince yer varsa, jet yörüngesinin uzatılabileceği Pantokratoras'ın yukarıda belirtilen ikinci çalışmasında verilmiştir.

Bu yaklaşım yönteminin tam tersi homojen alıcı su ortamı içerisine aynı özellikli soğuk su deşarjı için de düşünülebilir. Alıcı su ortamı içerisine daha büyük yoğunluklu atıksu verilme şekli düzenlemelerinde jetin yatay hareket etmesinin tabana çarparak önlenebilmesi ve dolayısıyla yörüngesinin uzatılarak seyrelmenin artırılması yönünde araştırmacılar tarafından bazı çalışmalar yapıldı. Yoğun jetin, deşarj deliğinin yukarı yönlendirilmesinin seyrelme bakımından olumlu sonuç vereceği düşüncesi ile gerçekleştirilen çalışmalarda deliğin yatayla yaptığı açı $\theta_0 = 90^\circ$ seçilerek dik deşarj durumunda jet davranışı Morton [79] tarafından incelendi. Morton'un bu çalışması ile normalde hareket edeceği yönün aksine yönlendirildiğinde deşarj edilen su kütlelerinin “zorlanmış saçak” haline geldiği ortaya konulmuştur. Zorlanmış saçığın düşey hareketinin önce yukarı doğru bir hareket daha sonra deşarj deliği üzerine çökme şeklinde gerçekleştiği ise Turner [80] tarafından tuzlu suyun tatlı suya deşarjı ile gerçekleştirilen deneylerle belirlendi. Bu çalışmada jetin yukarı doğru hareketinin periyotlar şeklinde gerçekleşen su yüzeyine doğru en üst koordinatının sabit olmayıp değişken olduğu ortaya konuldu. Abraham [81] tarafından aynı konu üzerinde gerçekleştirilen çalışmada Froude sayısına bağlı olarak su jetinin ulaşabileceği yüksekliğin tahmin edilmesine çalışıldı. Ancak bu zor bir iş olmakla birlikte seyreltilmesi istenen kirlilik kendi kaynağı üzerine çökme eğilimi gösterdiğinden tercih edilmesi pek uygun olmayan bir yöntemdir. Yukarı yönlendirilmiş yoğun jetin daha hafif ortamdaki hareketini daha da zorlaştıran alıcı ortamdaki lineer tabakalaşma durumunu inceleyen Fox [82] tarafından yukarı doğru hareketin gerçekleşmesinin jet hızının yüksek olmasına bağlı olduğu ortaya konuldu. Seyrelme bakımından verimli sonuçlar elde edilebilmesi için “yüzücü olmayan”, çok yoğun tuzluluğu olan suyun deniz suyuna deşarjını inceleyen James, Vergana ve Kim [29] tarafından yeterince derinde ve yüksek Froude sayısı ile istenen seyrelme değerine ulaşılabilceği belirtildi. Durgun ortamda gerçekleştirilen bu deneysel çalışmaların aksine, yüzücü olmayan dairesel jetlerin yukarı dik olarak yönlendirilmiş halde iken yanal akıntı etkisi altında düşey çökmesinin önlenebildiği (Holly, Jr. ve Grace, Jr. [83]) ve ancak yatay uzaklığa bağlı olarak istenen seyrelmenin sağlanabileceği Moawad ve Rajaratnam [84] tarafından deneysel bir çalışma ile ortaya konuldu.

Yoğun jetlerin yanal hareket etmiş olmasının, salt yatay veya düşey hareket etmiş olmasından seyrelme bakımından daha verimli sonuç vermiş olması nedeniyle deşarj deliğinin $0^\circ < \theta_0 < 90^\circ$ olacak şekilde yukarı eğim verilmesinin uygun olacaktır. Bu düşünce ile eğik yoğun su jetlerinin başlangıç çalışmalarından bir kısmı Zeitoun, McIlhenny ve Reid [85] tarafından gerçekleştirilmiştir. Zeitoun, durgun akışkan içinde 30° , 45° , 60° ve 90° 'lik jetlerinin yatay hareketlerini incelemiş ve 60° 'lik eğimin çıkış suyu saçığı merkez yörüngesi boyunca en uzun yörüngeyi verdiğini belirlemiştir. Yoğun jet için akıntılı ortamda $\theta_0 = 60^\circ$ ve 90° için Roberts ve Toms [28] tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda akıntıya doğrudan deşarj gerçekleştirilmediğinde 60° 'de yüksek seyrelmenin elde edildiği, kirliliğin kendi üzerine düşerek çakışma olmadığı belirlendi. Bu sonuçlardan yararlanılarak yine Roberts ve Toms [86]

tarafından $\theta_0 = 60^\circ$ ile yukarı yönlendirilmiş deşarj delikleri olan yoğun deşarj yayıcısı incelendi. Bu incelemede Güney Afrika Cumhuriyeti'nin Duban kentinde okyanusa endüstriyel yoğun atıksu deşarjı yapan bir deşarj tesisinde deşarj deliğine yukarı verilen açının gerçek koşullarda yararlı olduğu ortaya konuldu. Diğer taraftan, böylesine işlemin ısı işlem yapılmış bir deşarjın hesaplamasında ısı genleşmenin etkisinin göz ardı edilmesinin yanlış sonuçlara neden olabileceği Tatom [87] tarafından gerçekleştirilen teorik çalışmada vurgulandı. Bunun sonucunda ısı deşarjın hangi türü olursa olsun deşarjın seyrelme ve yörünge hesaplarının suyun ısı genleşmesinden etkilenebileceği göz önünde bulundurularak, ısı olmayan deşarj hesap ve deneylerinden yararlanılmakla birlikte, mutlaka ısı deşarjın kendi deney ve hesaplarının geliştirilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır [88].

Soğuk su deşarjı alıcı ortam içerisinde çökme eğiliminde olduğundan sıcak su deşarjı yörünge hesaplarından yararlanılması olanaksızdır. Diğer taraftan soğuk deşarjda ısı işlem söz konusu olduğu için diğer yoğun deşarj seyrelme ve yörünge hesaplamalarının kullanılması da hatalara neden olabileceğinden uygun görülmemektedir. Bu konu ile ilgili gerçekleştirilen çalışmaların yeterli olmayışı, özellikle LNG terminallerinden kaynaklanan büyük miktardaki soğuk suyun deşarjının seyrelme ihtiyacının artarak çizgisel değil de tekil jetler ile sağlanması gerekliliği bu konunun daha detaylı bir şekilde incelenmesi ihtiyacını ortaya koymaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada, durgun alıcı su ortamı içerisine soğutularak deşarj edilen yoğun su jetinin dairesel deşarj deliği başlangıç açısı yataya göre $\theta_0 = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ ve 90° olarak yukarı yönlendirilmiş hal için jet davranışı, yörüngeleri, sıcaklık farkı dağılımı ve seyrelme değerleri elde edildi.

Bu çalışmada alıcı su ortamı gerek yoğunluk, gerekse sıcaklık bakımından homojen (üniform) ve durgundur. Alıcı su ortamının durgun olması, çoğunlukla her türlü hareketin söz konusu olabildiği haller içerisinde seyrelmenin az gelişim gösterebildiği en olumsuz durumlardan birini oluşturmaktadır. Alıcı su ortamını bir pleksiglas deney tankı içerisindeki su, soğuk su deşarjını ise $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ sıcaklık farkı verilmiş ve rodamin B iz maddesi eklenerek 0,1g/L konsantrasyonu olan çözelti temsil etti. Her iki su ortamı da şebeke suyundan hazırlandı. Kullanılan iz maddesi Prasad marka olup eşdeğeri Merck marka rodamin B ile erime noktaları karşılaştırılarak saflık değeri kontrol edildi. 0,1 g/L rodamin B çözeltisi ile çözeltinin hazırlandığı şebeke suyu yoğunlukları arasında yoğunluk ölçer cihaz ile kontrol yapıldı ve önemli bir fark bulunamadı. Ancak, daha yoğun iz maddesi konsantrasyonları ile hazırlanan deşarj sularındaki yoğunluk şebeke suyuna göre daha fazla olduğundan henüz ısıtma işlemi görmeden deşarj sırasında tabana çökme eğilimi görüldü ve yanıtıcı olmaması bakımından daha yüksek iz maddesi konsantrasyonları tercih edilmedi. Seçilen iz maddesi konsantrasyonu fotoğraflamanın gerçekleştirilebileceği kadar renk zıtlığını da sağladı.

2.1. Deneylerin Yapılışı

Deney tankına doldurulan şebeke suyunun sıcaklığı alıcı ortam suyu sıcaklığı T_a olarak portatif sıcaklık ölçer ile ölçüldü. Deşarj edilecek rodamin B ile renklendirilmiş, alıcı su ortamı ile aynı özellikli su $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ olacak şekilde T_0 sıcaklığına kadar su banyosunda soğutuldu. Hem su banyosundaki, hem de deney tankındaki suların yoğunlukları ρ_0 ve ρ_a yoğunluk ölçer ile okundu. Deşarjın gerçekleştirileceği F_0 sayısının sağlanabilmesi için u_0 başlangıç hızı hesaplandı. Deşarj edilecek su, deney tankı ile su banyosu arasındaki sıcaklık kayıplarının dengelenebilmesi için üç yollu bir vana kullanılarak deşarj öncesinde deşarj debisi q ile geri devir yaptırıldı. Pompalamada peristaltik pompa kullanıldı. Debinin tam doğru olması için deşarj hattı içerisine yerleştirilmiş olan bir debi ölçerden yararlanıldı. Üç yollu vana içerisindeki PT100 sıcaklık sensörü ile T_0 sıcaklığına ulaşıp ulaşılmadığı kontrolü yapılarak, sıcaklık kayıplarının giderilmesine yetecek kadar su banyosu daha da soğutuldu. Vana içindeki sıcaklık sensörü kararlı bir şekilde T_0 sıcaklığını gösterdiğinde deşarj işlemine başlandı.

Sıcaklığın T_0 değerine getirildiği süre içerisinde tankta oluşabilecek sıcaklık değişiminin eşit dağılımının sağlanabilmesi için tank içindeki su karıştırılarak homojenize edildi. Tank içerisine yerleştirilmiş 7 tane PT100 sıcaklık sensörünün kalibrasyonu için sıcaklık ölçer cihazı (data logger) T_a alıcı ortam sıcaklığı ölçümü yapılarak değer sapmaları düzeltildi. Bu 7 tane PT100 sıcaklık sensörü biri jet merkezinde olmak üzere jet en kesiti düzlemine dik gelecek şekilde y eksenini boyunca birbirlerine 1,8 cm uzaklıkta deşarj deliğine dik olarak prop taşıma aparatına yerleştirildi. Başlangıç koşulu olarak delik üzerindeki su yüksekliği $h = 50$ cm, dairesel keskin kenarlı (kalın et kalınlıklı) delik çapı $d = 1$ cm olacak şekilde 1/20 ölçeği esas alınarak deneye başlandı. Bu ölçek, gerçek boyuttaki $d = 20$ cm delik çaplı bir soğuk

deşarj yapan bir yayıcı borunun su yüzeyinin 10 m altında yerleştirildiği duruma karşılık gelmektedir.

Kronometre çalıştırılarak üç yollu vana akış geri devirden deney tankına yönlendirildi. Tank yüksekliğinin yarı seviyesinde sabitlenmiş bir dijital kamera ile her 3 saniyede bir x-z eksenini kapsayan iki boyutlu fotoğraf çekimi gerçekleştirildi. Bu aşamada sıcaklık sensörleri tank içerisinde jetin ulaşmadığı bir noktada tutuldu. Jet kararlı şeklini aldıktan sonra veya su yüzeyine veya tabana çarptıktan sonra, sıcaklık sensörler jetin kaynağına en uzak noktasında jet merkezi içerisine sokularak data logger ile sıcaklık ölçümleri yapılmaya başlandı. Jetin yatay bileşeni olduğunda yatay, olmadığında düşey eksenindeki belirli uzaklıklarda jet içerisinde sıcaklık okumaları gerçekleştirildi. Bu sıradadeşarj sürekli gerçekleştirildi. En genel durum olan yatay bileşenin olduğu durumda jetin ulaştığı en uzak nokta içerisine sokulan sıcaklık sensörleri x ekseninde sabitlendikten sonra görsel olarak yaklaşık belirlenen jet merkezi içerisine sokularak sıcaklık okuması gerçekleştirildi. Daha sonra jet en kesiti içerisinde z eksenı boyunca yukarı aşağı hafif kaydırmalar yapılarak soğuk su jetinin en düşük ve kararlı olarak elde edilen sıcaklık okuması değerleri 7 sensör için de kaydedilir ve bu noktanın x,z koordinatları elde edilir. Bu işlemler sırasında en düşük değerin elde edilmesinde esas olarak kabul edilen sıcaklık sensörü jetin $y=0$ cm olan ve x eksenı üzerinde hareket ettirilen merkezdeki sıcaklık sensörüydü. Deşarj kaynağına daha yakın diğer ölçüme x ekseninde deliğe doğru yaklaşıp konum sabitlemesi yapıldıktan sonra z eksenı boyunca benzer görsel jet merkezi belirleme ve hassas olarak koordinat ve sıcaklık değerlerinin elde edilmesi şeklinde işleme devam edildi. Bir kez sıcaklık okuması gerçekleştirildikten sonra jetin çok genişleyerek saçaklaştığı durumlarda, bulunan koordinattan daha uzaktaki merkez eksen sıcaklık okuması bilindiğinden, bu değerden daha düşük bir değer aranmış olması, hatalı sıcaklık okuması durumunu engelledi. Sıcaklık okumaları jet kaynağından başlanarak önce 5 cm, sonra 10 cm ve daha sonra 20 cm aralıklarla gerçekleştirildi. Deşarj deliğinden en uzak ölçüm noktasının belirlenmesinde jetin merkez koordinatının belirlenemediği ve/veya su yüzeyine çarparak şeklinin değiştiği noktalardan kaynağa daha yakın nokta tercih edildi. Deşarj deliğinde sıcaklık ölçümü merkezdeki sensörün delikten içeri giremediği $\theta_0=0^\circ$ durumu hariç diğer açılarda kaynağa en yakın nokta olan 1 cm uzaklıkta yapıldı. Her deney ikişer kez gerçekleştirildi.

Gerçekleştirilen deneyler sonucunda soğuk su jet merkezi boyunca ısı kirliliğinin birinci seyrelme ifadesi S_1 aşağıdaki eşitlikte verildiği gibidir:

$$S_1 = \frac{\Delta T_o}{\Delta T_{maks}} \quad (43)$$

Burada ΔT_o alıcı ortamadeşarj edilen sıcaklık farkı ($\Delta T_o = T_a - T_o$, T_a = alıcı ortam sıcaklığı, T_o =deşarj sıcaklığı); ΔT_{maks} jetin her hangi bir kesitindeki en yüksek sıcaklık farkı değeridir (jet merkezinde oluşur).

2.1.1. Deneylerde Yapılan Kabuller

Bu çalışmanın gerçekleştirilebilmesi için bazı kabuller yapılarak bu şartların sağlanmasına özen gösterildi. Bu kabuller aşağıdadır:

Deneylerin gerçekleştirildiği akışkanlar sıkıştırılamazdır. Deneyler sırasında deşarj edilen akışkan ve alıcı ortam akışkanını partikül madde içermemektedir. Deşarj edilen ve alıcı ortam akışkanları ısı ve yoğunluk bakımından homojendir. Akım tamamıyla türbülanslıdır. Moleküler taşınım, türbülanslı taşınımın yanında ihmal edilebilir. Bu durumda Reynolds sayısına bağımlılık yoktur. Boyuna türbülanslı taşınım, boyuna advectif taşınım ile karşılaştırıldığında küçüktür. Akım bölgesi boyunca basınç hidrostatiktir. Jet yörüngesinin eğim açısı küçüktür. Diğer bir deyişle, jetin yerel karakteristik genişliğinin jetin eğrilik yarı çapına oranı küçüktür. Eğim açısının etkisi ihmal edilebilir seviyededir. Her bir jet yörüngesinin normal doğrultudaki enkesitindeki hız profilleri benzerlik göstermektedir. Bu çalışmada yaklaşık 6,2d uzunluğunda kabul edilen akım oluşum bölgesi de jet yörüngesine katıldı ve hareket başlangıcı akım oluşma bölgesi sonu değil, doğrudan deliğin kendisi olarak benimsendi.

2.2. Deneysel Verilerin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada elde edilen veriler başlıca üç ana gruptur:

- Sıcaklık dağılımı
- Jetin yörüngesi
- Jet merkez koordinatları

2.2.1. Sıcaklık Dağılımı

Sıcaklık sensörlerinin su jetinin içerisine sokularak elde edilen sıcaklık dağılımları, birbirine paralel 7 tane sensörün jetin merkezinin geometrik merkezi ile çakışık olup olmadığının belirlenmesinde kullanıldı. Sıcaklık ölçümleri sırasında jette bir miktar şekil bozukluğu oluşabildiğinden, bu çalışmada sadece merkezi oluşturan orta noktadaki sıcaklık verileri kullanıldı.

2.2.2. Jet Yörüngeleri

İçerisine iz maddesi katılarak alıcı ortam içerisinden neredeye ulaştığı rahatça gözlemlenebilir hale getirilen jetin, deşarjına başladığı andan, kararlı bir hal alıncaya kadar elde ettiği şekillerin her 3 saniyede bir jet boy kesiti boyunca fotoğraflanması sonu iki boyutlu x-z eksenine göre jet yörüngeleri elde edildi. Bu fotoğraflama işlemi sonucunda elde edilen görüntüler birbiri peşi sıra görüntülenerek bir film gibi jetin

kararlı hale gelinceye kadar ve kararlı hale geldikten sonra izlediği yörünge ve jet-saçak oluşumu durumu incelendi. Fotoğraflama sonucunda jet yukarı doğru yönlendirildiği zaman oluşan tepe noktasına ulaşıncaya kadar veya su yüzeyine çarparak yapay bir tepe noktası oluşturuncaya kadar jet gövdesinden ana akış yönü dışına küçük akışlar gözleniyorsa bu tip akışlar “saçak” olarak değerlendirildi, bu tür ikincil akışların son derece az görüldüğü geçiş koşulları “saçak/jet” olarak, bunun dışında kalan deşarj edilen su kütlelerinin tek parça olarak hareket ettiği durum ise “jet” olarak kategorize edildi. Su yüzeyine çarparak oluşan tepe noktası, bu çalışmada “yapay tepe noktası” olarak isimlendirildi.

Ayrıca, fotoğraflamanın dışında deneyin yapılışı sırasında deşarj edilen su kütlelerinin yukarıdan x-y düzlemi boyunca gözlenmesi ve sıcaklık ölçümleri sırasında sıcaklık sensörlerindeki ölçümlerin minimum sıcaklık değerini kararsız bir şekilde gösterdiği, sıcaklık sensörlerinde minimum sıcaklık ölçümünün gerçekleştiği sensörün sabit ve x eksenineyle çakışık kalmadığı durumlara “salınımlı” belirlenmesi yapıldı.

2.2.3. Jet Merkezi Koordinatları

Belirli x/do uzaklıklarında jet enkesiti yataya ve birbirlerine paralel yerleştirilmiş jet kaynağına dik 7 adet sıcaklık sensörü ile z eksenine boyunca jet enkesitinin yukarıdan aşağıya doğru taranması sonucunda minimum sıcaklıkların elde edildiği koordinatlar deneme yanılma yöntemiyle elde edildi. Bu koordinatların tam olarak nerede oluştuğunun bulunmasında görsel olarak tepe noktasına ulaşıncaya kadar jetin geometrik merkezinde olup olmadığı kontrolü yapılarak sıcaklık ölçümlerinin minimum olduğu koordinatlar daha büyük bir kesinlikle belirlenebildi.

Jetin tepe noktasından daha sonraki kaynaktan daha uzak sıcaklık ölçümleri sırasında jet iyice dağılarak sıcaklık farklılıklarının son derece az bir değişim gösterdi. Aynı zamanda jet kütlelerinin dağılması ve deney tankına çarpması sonucu geometrik merkezin bulunması da söz konusu olamadı. Bu durumda jet merkez koordinatları sıcaklık değerlerinin aynı enkesit içinde jetin alt ve üst kısımlarına yaklaşıldıkça artış göstermeye başladığı noktalara göre yaklaşık orta nokta belirlenmeye çalışılarak jet merkez koordinatı elde edildi.

Ayrıca, jetin su yüzeyine çarptığı yapay tepe noktası durumlarında jette bir miktar şekil değişimi olabildiğinden yine tepe noktası sonrası jet merkezi koordinatlarının kesinliğinde küçük bir miktar sapma olabildi. Bundan başka, jetin çok düşük hızlarla hareket ettiği saçak, salınımlı halinde sıcaklık ölçümlerinin gerçekleştirilmesi sırasında su kütlelerine sıcaklık sensörleri yaklaştırıldığında sensörlerden kaynağa doğru uzaklaşma eğilimi gösterebildiğinden, yine tepe noktası sonrası merkez koordinatlarında küçük bir sapma olabildi.

Jet içinde sıcaklık ölçümlerinin gerçekleştirilmesinde sensörlerin su içerisine sokulması dışında henüz başka bir yöntem bulunamadığı için, jetlerle ilgili diğer çalışmalarda olduğu gibi bu çalışmada da jet merkez koordinatlarının belirlenmesinde hızın daha düşük olduğu tepe noktası sonrası koordinatlarında az da olsa bir sapma olması kabul edildi.

2.3. Deneylerde Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar

2.3.1. Deneylerde Kullanılan Cihaz ve Esas Ekipmanlar

- Pleksiglas deney tankı (en x boy x yükseklik: 80 x 200 x 115 cm)
- Soğutucu ısıtıcı dijital su banyosu
- Peristaltik pompa
- Dijital debi ölçer
- Sıcaklık ölçer data logger (8 adet PT100 sıcaklık sensörlü)
- Portatif sıcaklık ölçer
- Yoğunluk ölçer
- Dijital kamera
- Kronometre
- Prop taşıma aparatı
- Deşarj delikleri (teflon)

2.3.2. Yan Ekipmanlar

- Ölçek levhası
- Çeşitli çaplarda silikon hortumlar
- Hortum için izolasyon malzemesi
- Su terazisi (80 cm)
- Gravimetrik açılı ölçer
- Fotoğraf makinesi sehpası
- Hassas terazi
- Manyetik karıştırıcı
- Sirkülasyonlu ısıtıcı

2.4. Deneylerde Kullanılan Cihaz ve Ekipmanların Özellik ve Duyarlılıkları

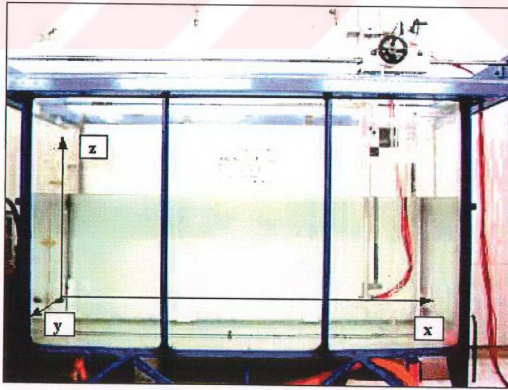
2.4.1. Pleksiglas Deney Tankı

Pleksiglas deney tankı boyutları içten içe en x boy x yükseklik: 76,5cm x 196cm x 119,5cm üst yüzeyi açık diğer bütün yüzeyleri pleksiglas levhalardan üretilmiş, çelik çerçeve ile desteklenmiş bir su deposudur. Deney tankı Şekil 21’de görülmektedir. Tank, sol yan yüzeyinde 3 tane, taban merkezinde 1 tane olmak üzere toplam 4 ayrı 1cm

iç çaplı deşarj noktasına sahip olup, bu çalışmada yan yüzeyin en altındaki deşarj noktası kullanıldı. Teflondan üretilmiş olan deşarj noktalarına çeşitli çap, açı ve delik tiplerinde deşarj deliği monte edilebilir özelliktedir. Deşarj noktası üç eksenli bir vana ile pompadan gelip debi ölçerden geçen deşarj hattına bağlıdır. Tabandaki 4 tane 1 1/4 inç çaplı küresel vana ile boşaltım sağlanmaktadır. Tankın doldurulmasında kullanılan şehir şebeke suyu dışarıdan 2 tane hortumlu bağlantı borusu ile ulaştırılmaktadır. Deney tankı içerisindeki su seviyesinin deşarj sırasında sabit kalabilmesi için deşarj edilen debinin aynısının peristaltik pompa ile aynı anda çekilmesini sağlayan deşarj noktasından en uzaktaki sağ arka köşe yerleştirilmiş bir dip savak bulunmaktadır.

Deney tankının içerisinde sıcaklık ölçümlerinde kullanılan PT100 sıcaklık sensörlerinin her yönde hareket ettirilebilmesini sağlayan üç eksenli prop taşıma aparatı eklenmiştir. Bu aparat üzerinde z eksenli yükseklik okumalarının gerçekleştirildiği bir metre bulunmaktadır. Ayrıca x ekseninde de bir metre vardır. Aparat ile sensörler kaydırıldıkça bulunan konumu gösteren bir parça ile x eksenindeki konum belirlenebilmektedir.

Tankın arka yüzeyi beyaz bir fon haline getirilmiştir ve diğer tüm yüzeyler saydamdır. Üst yüzey ise atmosfere açıktır. Fotoğraflamada algılamanın kolaylaşması için x ve z eksenleri tank üzerinde işaretlenmiştir. Perspektif nedeniyle jet boyutlarının yanlış ölçülmemesi için tank içerisine x eksenine üzerine bir ölçek levhası yerleştirilmiştir. Ölçek levhasının üzerinde en büyüğü 10 cm olan kareler bulunmaktadır. Tankı destekleyen çelik çerçevenin yere oturan kısımları yükseklik ayarlı ayaklardan oluştuğundan tankın su terazisinden yardımıyla tankın düzeçlenmesi sağlanmıştır.



Şekil 21. Pleksiglas deney tankı

2.4.2. Soğutucu-Isıtırıcı Dijital Su Banyosu

Su banyosu,deşarj edilecek olan rodamın B çözeltisinin sıcaklığının ayarlanması ve homojen olarak sabit tutulması amacıyla kullanıldı. PolyScience markadır. Cihaz Şekil 22’de görülmektedir. 28 litre hacimli bir haznesi ve hazne içinde homojenliği sağlayan karıştırıcı pompası vardır. Cihaz, $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$ hassasiyette hazne içindeki sıvının sıcaklığını ayarlayabilmekte, ayarlama işlemi $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$ hassasiyetle dijital olarak otomatik kontrol edilebilmektedir. Sıcaklık kontrolü hem ısıtma, hem de soğutma ile sağlanabilmektedir. Cihazın sıcaklık sensörü dört kanallı RTD probu olup Gallenkamp kalorimetrenin cıvalı termometresi ile kalibrasyonu kontrol edilmiş ve sapma belirlenmemiştir.

2.4.3. Peristaltik Pompa

Peristaltik pompanın markası ve modeli Cole-Parmer Masterflex’tir. Şekil 23’te görülmektedir. Pompa dijital debi kontrollü olup Masterflex hortum kullanılarak 120 ila 4000 mL/dakika debi aralığında istenen debilerde rodamın B çözeltisinin su banyosundan deney tankına aktarılmasında kullanıldı. Pompa kapalı bir sistemle çalışıp aktardığı sıvı ile doğrudan bağlantı halinde olmayan bir sisteme sahiptir. Bu nedenle istenen debinin akıtılmasında, su kaynağı depodaki su seviyesinin değişimiyle oluşan basınç değişikliklerinden hemen hemen hiç etkilenmemektedir. Bu özellikten ve dijital debi ölçerden yararlanılarak sabit basınç ve debi ile istenendeşarj sağlandı. Pompanın iki tane başlığı olup aynı anda aynı debiyi iki farklı kanalda akıtabilme özelliğine sahiptir. Bu özelliğinden yararlanılarak tek pompa ile aynı anda tank içine istenendeşarj yapılırken, dip savaktan dadeşarj edilen debi ile aynı miktarda su çekilerek tank içindeki su seviyesinin sabit kalması sağlandı. Bütün hortumlar silikon olup, sünger yapılı İzocam izolasyon malzemesi ile pompa başlığı içindeki hariç bütün hortumlar ısılsı olarak yalıtıldı.

2.4.4. Dijital Debi Ölçer

Cihazın markası ve modeli McMillan S-112’dir. Şekil 24’te görülmektedir. Peristaltik pompa tarafından ayarlanan debinin kontrol edilmesi ve hassas debi ayarlamalarının yapılması amacıyla kullanıldı. Debi ölçer pirinçten yapılmış olup içinden geçen sıvının türbinini döndürmesi tekniği ile ölçüm yaptığından sıcaklık değişimlerinden az etkilenme özelliği vardır. Çalışma aralığı 200 ila 5000 mL/dakika, sıcaklık hassasiyeti $\leq \pm 0,2$, ölçüm doğruluğu $\leq \pm 1\%$ ’dir. Sonuçlar dijital olarak göstergesinden elde edilir.

2.4.5. Sıcaklık Ölçer Data Logger

Sıcaklık ölçer data logger (veri kaydedici) cihazının markası ve modeli Lufft Opus 200'dür. Şekil 25'te görülmektedir. Sıcaklık ölçer, deney tankının ve içine deşarj edilen jetin sıcaklığının ölçülmesinde kullanıldı. 8 tane sensör kanalı bulunan cihazın biri deşarj hattı içinde üç yollu vana öncesine yerleştirilmiş, diğer yedi tanesi üç eksenli prop taşıma aparatına bağlı toplam sekiz tane PT100 sıcaklık sensörü vardır. Tank içerisindeki sıcaklık sensörleri tekil olarak Şekil 26'da aparata bağlı halde Şekil 27'de görülmektedir. Çalışmada, PT100 sensörleri biri jetin x eksenine çakışmış halde birbirlerine uzaklıkları 18 mm olacak şekilde yatay ve paralel olarak aparata sabitlendiler. Cihaza bağlantı 5 m boyunda 3 yollu kablolar ile sağlanmaktadır. PT 100 sıcaklık sensörlerinin ölçümü istenen ortama temas ettiğinde ölçümü gerçekleştiren metal kısımları 4 mm çapında, 3 cm boyundadır. Jet içi ölçümleri propların jete dik olarak deşarj edilen suyun içine sokulması şeklinde gerçekleştirildi. Sensörlerin veri aktarma hızı en fazla 15 sn'dir. Sonuçlar dijital olarak elde edilir. Cihazın ölçüm aralığı -200°C ila +450°C olup, hassasiyeti 0,02°C'tır. Cihazın okuma hassasiyetinin sağlanabilmesi için referans bir değere göre kalibrasyonunun kontrol edilmesi gereklidir. Kalibrasyon, cihaz açıldıktan sonra aynı ortamda bulunan sıcaklık sensörlerinin okumalarının kontrolü, kalibrasyonu kontrol edilmiş bir portatif sıcaklık ölçer ile sensörlerin ölçtüğü sıcaklık değerlerinin hatasız olarak elde edilmesi ve düzeltme faktörü olarak işleme sokulması şeklinde gerçekleştirildi.

2.4.6. Portatif Sıcaklık Ölçer

Portatif sıcaklık ölçer cihazının markası ve modeli Jenway TDSmeter'dir. Bu cihaz ile toplam çözünmüş katı ölçümü ve sıcaklık ölçümü gerçekleştirilebilmektedir. Ancak, bu çalışmadaki deneylerde yalnızca sıcaklık ölçümü için kullanıldı. Sıcaklık ölçümü $\pm 0,1^\circ\text{C}$ hassasiyetli NTC tipi bir Jenway PCT101 sıcaklık probu ile gerçekleştirilir. Cihaz, dijital göstergelidir ve Şekil 28'de görülmektedir.

2.4.7. Yoğunluk Ölçer

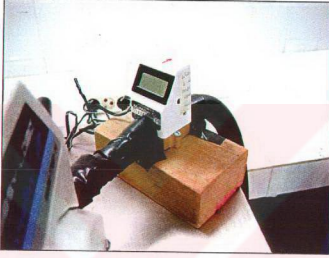
Yoğunluk ölçer cihazının markası ve modeli Anton Paar DMA 4500'dür. Şekil 29'da görülmektedir. Bu cihaz haznesine alınan yaklaşık 1 mL sıvı örneğin g/cm^3 biriminde yoğunluk ölçümünü gerçekleştirir. Cihaz ile aynı zamanda numunenin sıcaklık ölçümü de yapılabilmektedir. Bu çalışmada, deşarjın gerçekleştirildiği alıcı ortam suyu ve deşarj edilen rodamin B çözeltisinin sıcaklığa bağlı olarak yoğunlukları belirlendi. Bu yöntemle yoğunluksal Froude sayısı F_0 'ın tam olarak elde edilmesi sağlandı. Cihazın yoğunluk ölçüm aralığı 0 ila 3 g/cm^3 , çözünürlüğü 0,00001 g/cm^3 , hassasiyeti $\pm 0,00005 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Cihaz, örneğin istenen sıcaklıkta 0,03°C hassasiyetle yoğunluk ölçümünü sağlatabilecek sıcaklık ayarlama düzeneğine sahiptir. Bu özelliği sayesinde bu çalışmada deşarj suyu ve alıcı ortam suyu örneklerinin alındıkları andaki sıcaklıklardaki yoğunluklarının elde edilebilmesi mümkün oldu. Sonuçlar dijital olarak elde edilir. Cihazın saf su için elde ettiği yoğunluk değerleri Tablo 3'te verilmiştir.



Şekil 22. Soğutucu-ısıtıcı dijital su banyosu



Şekil 23. Peristaltik pompa



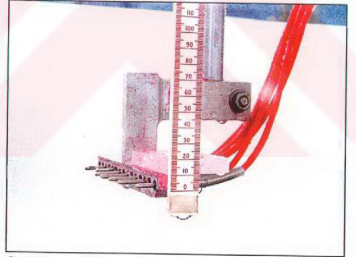
Şekil 24. Dijital debi ölçer



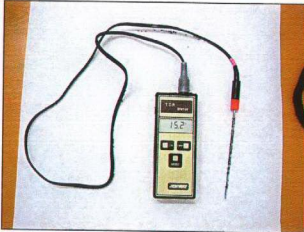
Şekil 25. Sıcaklık ölçer data logger



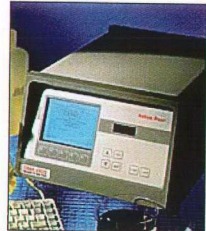
Şekil 26. PT100 sıcaklık sensörü



Şekil 27. Aparata bağlı sıcaklık sensörleri



Şekil 28. Portatif sıcaklık ölçer



Şekil 29. Yoğunluk ölçer

Tablo 3. Saf suyun yoğunluk değerleri (Anton Paar DMA 4500)

Sıcaklık T (°C)	Yoğunluk ρ (g/cm ³)	Sıcaklık T (°C)	Yoğunluk ρ (g/cm ³)	Sıcaklık T (°C)	Yoğunluk ρ (g/cm ³)
1	0,99990	11	0,99960	21	0,99799
2	0,99994	12	0,99950	22	0,99777
3	0,99996	13	0,99938	23	0,99754
4	0,99997	14	0,99924	24	0,99730
5	0,99996	15	0,99910	25	0,99704
6	0,99994	16	0,99894	26	0,99678
7	0,99990	17	0,99877	27	0,99651
8	0,99985	18	0,99859	28	0,99623
9	0,99978	19	0,99840	29	0,99594
10	0,99970	20	0,99820	30	0,99564

2.4.8. Dijital Kamera

Dijital kameranın markası ve modeli Sanyo VPC-MZ2'dir. Deşarj sırasında jet hareketlerinin sürekli fotoğraflanması ve bilgisayar ortamında incelenmesinde dijital kamera kullanıldı. Fotoğraflar tank içerisine yerleştirilmiş ölçek levhası sayesinde ölçektir. Fotoğraflama her 3 sn'de bir gerçekleştirildiğinden, jet hareketinin aşamaları elde edilebildi. Kamera üç ayaklı bir sehpa üzerinde sabitlenerek deney tankının yarı yüksekliğinde fotoğraflama gerçekleştirilerek fotoğraflama kusurlarının en aza indirgenmesi sağlandı.

2.4.9. Kronometre

Kronometrenin markası ve modeli Casio, 344 AB-20'dir. Fotoğrafların eşit zaman aralıklarında çekilmesinde ve deneyin zaman kontrolünde kullanıldı. Dijitaldir ve 1 milisaniye hassasiyetindedir.

2.4.10. Prop Taşıma Aparatı

Prop taşıma aparatı aynı anda 7 adet sıcaklık sensörünü deney tankı içerisinde istenen her noktaya üç boyutlu olarak taşıyabilme özelliğine sahiptir. Tankın üstüne sabitlenmiş olan aparat ile x eksenı boyunca taşıyıcı çelik millerin üzerindeki hareket 0,01 mm hassasiyetli bilyeli yüksükler ile gerçekleştirilebilmektedir. Aparat, tanktaki x eksenı ölçeğini oluşturan metreya bir gösterge ile bağlıdır. Ayrıca z eksenı için de bir metre bulunmakta olup, merkezdeki sıcaklık sensörü deşarj deliğinin orta noktasına getirilip referans düzlemi belirlendikten sonra su seviyesi bu metre ile istenen su yüksekliği sağlanıncaya kadar tank su doldurularak hassas bir seviye kontrolü sağlanabilmektedir.

2.4.11. Deşarj Delikleri

Deneylerin gerçekleştirilmesi sırasında deşarj edilen su ile tank içerisindeki suyun birbirleriyle karşılaşmadan önce, deşarj edilen suyun deşarj noktasına ulaştırılması sırasında deşarj hattından özellikle deney tankı içerisinde ısı kazanımı yüksek ve kararsız olduğundan ısı izolasyonunun sağlanabilmesi amacıyla 0° , 30° , 45° ve 60° açılı deşarj delikleri kullanıldı. Deşarj delikleri teflondan yapılmışlardır.

3. BULGULAR

3.1. Yatay Delik ile Soğuk Deşarj

3.1.1. Yatay Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Merkezi Boyunca Sıcaklık Dağılımları

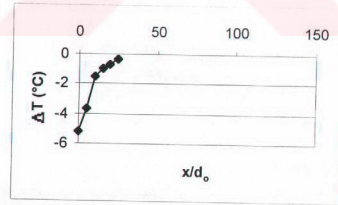
Delğin $\theta_0 = 0^\circ$ açısı ile yatay hali için gerçekleştirilen deneylerin özeti Tablo 4'te verilmiştir. Gerçekleştirilen soğuk deşarj deneyleri sırasında jet merkez eksenine içerisine sıcaklık sensörü sokulması ile elde edilmiş olan jetlerin merkez eksenlerindeki boyuna sıcaklık dağılımları grafik olarak Şekil 30 ile 37'de verilmiştir. Elde edilmiş olan jet merkez eksenine boyuna sıcaklık dağılımları aynı zamanda Tablo 5 ile 12'de sayısal olarak verilmiştir. Gerçekleştirilen soğuk deşarjlar, delğin açısı $\theta_0 = 0^\circ$ için F_0 sayısına bağlı olarak boyutsuz x/d_0 yatay uzaklığına bağlı olarak jet merkezlerindeki sıcaklık dağılımları Şekil 38 ile 39'da toplu şekilde görülmektedir.

Tablo 4. $\theta_0 = 0^\circ$ ve $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$, $d_0 = 1$ cm için gerçekleştirilen deneyler

Sıra No	F_0	q (ml/dak.)	T_0 ($^\circ\text{C}$)	T_a ($^\circ\text{C}$)	Jet tipi
1	9,0	250	5,3	10,5	Saçak, salınlımlı
2	17,3	450	4,5	9,6	Saçak
3	21,8	425	2,8	7,8	Saçak
4	35,2	930	4,8	9,8	Saçak/Jet
5	52,3	1445	5,0	10,1	Jet
6	70,4	1925	5,0	10,0	Jet
7	88,5	2560	5,5	10,6	Jet
8	132,3	4000	6,0	11,1	Jet

Tablo 5. $F_0 = 9,0$, $\theta_0 = 0^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenine boyunca sıcaklığın yatay dağılımı

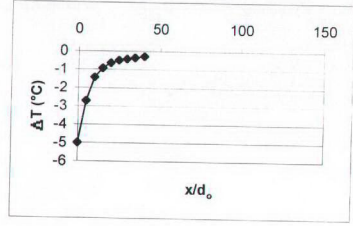
x/d_0	ΔT ($^\circ\text{C}$)
0	-5,22
5	-3,71
10	-1,54
15	-0,96
20	-0,71
25	-0,35



Şekil 30. $F_0 = 9,0$, $\theta_0 = 0^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenine boyunca sıcaklığın yatay dağılımı

Tablo 6. $F_0 = 17,3$, $\theta_0 = 0^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksen boyuncası sıcaklığın yatay dağılımı

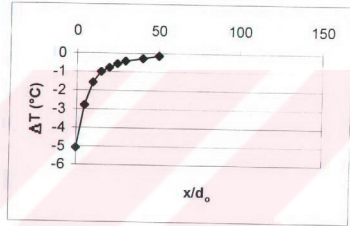
x/d_0	ΔT ($^\circ\text{C}$)
0	-5,01
5	-2,69
10	-1,42
15	-0,92
20	-0,66
25	-0,50
30	-0,46
35	-0,37
40	-0,30



Şekil 31. $F_0 = 17,3$, $\theta_0 = 0^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksen boyuncası sıcaklığın yatay dağılımı

Tablo 7. $F_0 = 21,8$, $\theta_0 = 0^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksen boyuncası sıcaklığın yatay dağılımı

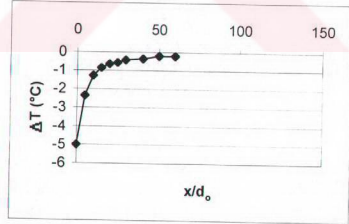
x/d_0	ΔT ($^\circ\text{C}$)
0	-5,11
5	-2,79
10	-1,54
15	-1,00
20	-0,77
25	-0,60
30	-0,45
40	-0,31
50	-0,18



Şekil 32. $F_0 = 21,8$, $\theta_0 = 0^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksen boyuncası sıcaklığın yatay dağılımı

Tablo 8. $F_0 = 35,2$, $\theta_0 = 0^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksen boyuncası sıcaklığın yatay dağılımı

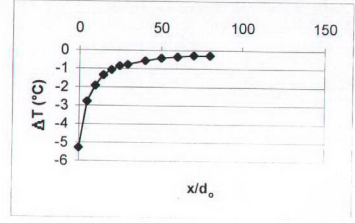
x/d_0	ΔT ($^\circ\text{C}$)
0	-5,01
5	-2,33
10	-1,28
15	-0,89
20	-0,67
25	-0,55
30	-0,42
40	-0,37
50	-0,24
60	-0,18



Şekil 33. $F_0 = 35,2$, $\theta_0 = 0^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksen boyuncası sıcaklığın yatay dağılımı

Tablo 9. $F_0 = 52,3$, $\theta_0 = 0^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılımlı

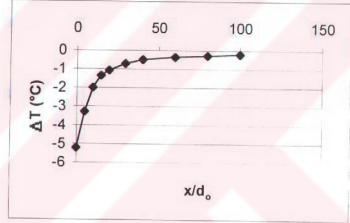
x/d_0	$\Delta T (^{\circ}\text{C})$
0	-5,27
5	-2,77
10	-1,93
15	-1,33
20	-1,07
25	-0,86
30	-0,76
40	-0,58
50	-0,43
60	-0,36
70	-0,32
80	-0,29



Şekil 34. $F_0 = 52,3$, $\theta_0 = 0^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılımlı

Tablo 10. $F_0 = 70,4$, $\theta_0 = 0^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılımlı

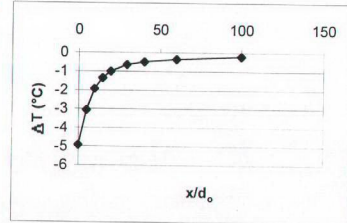
x/d_0	$\Delta T (^{\circ}\text{C})$
0	-5,20
5	-3,31
10	-1,98
15	-1,38
20	-1,04
30	-0,71
40	-0,52
60	-0,33
80	-0,26
100	-0,20



Şekil 35. $F_0 = 70,4$, $\theta_0 = 0^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılımlı

Tablo 11. $F_0 = 88,5$, $\theta_0 = 0^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılımlı

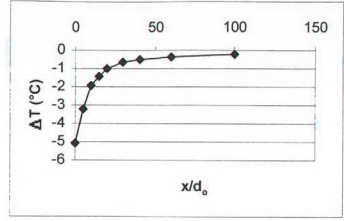
x/d_0	$\Delta T (^{\circ}\text{C})$
0	-4,92
5	-3,05
10	-1,96
15	-1,34
20	-1,00
30	-0,66
40	-0,51
60	-0,34
100	-0,22



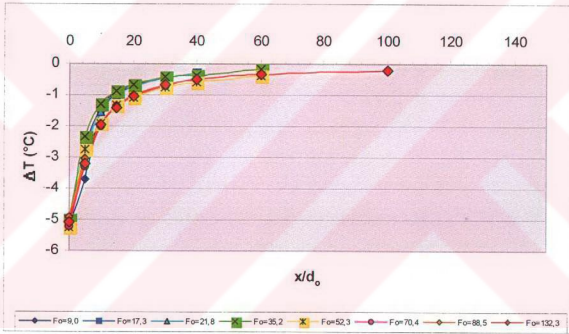
Şekil 36. $F_0 = 88,5$, $\theta_0 = 0^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılımlı

Tablo 12. $F_o = 132,3$, $\theta_o = 0^\circ$, $\Delta T_o = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılımlı

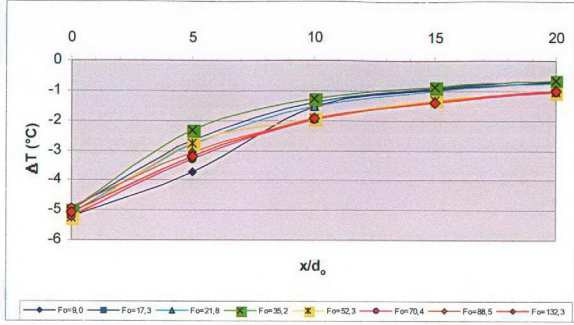
x/d_o	ΔT ($^\circ\text{C}$)
0	-5,07
5	-3,19
10	-1,94
15	-1,42
20	-1,03
30	-0,66
40	-0,50
60	-0,33
100	-0,21



Şekil 37. $F_o = 132,3$, $\theta_o = 0^\circ$, $\Delta T_o = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılımlı



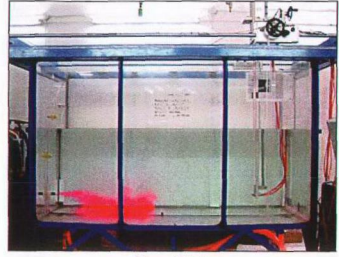
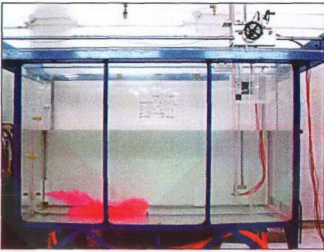
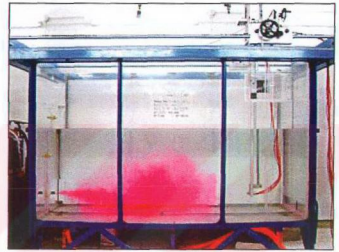
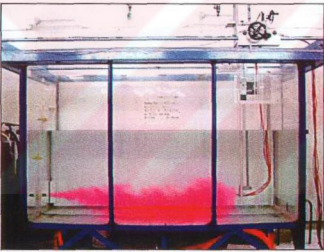
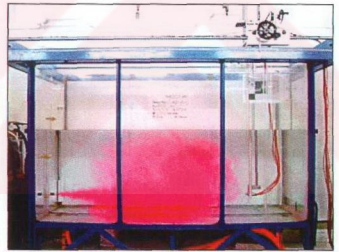
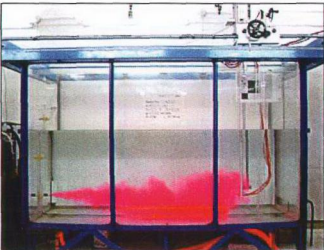
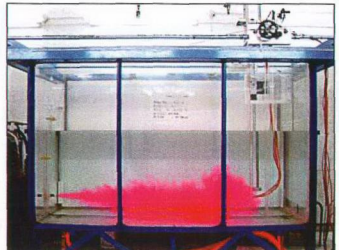
Şekil 38. $F_o = 9,0$ ila $132,3$ için ve $\theta_o = 0^\circ$, $\Delta T_o = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılımlı



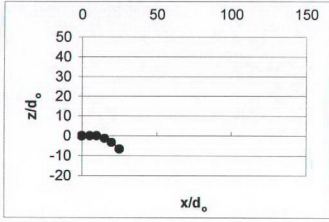
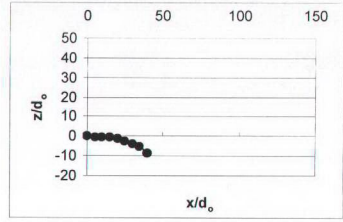
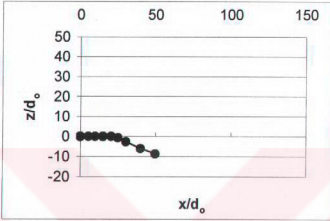
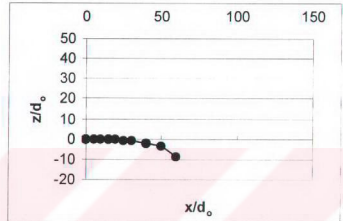
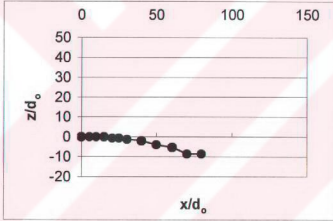
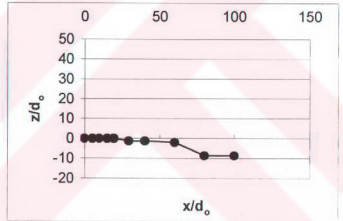
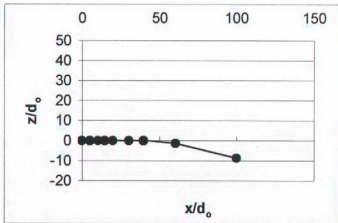
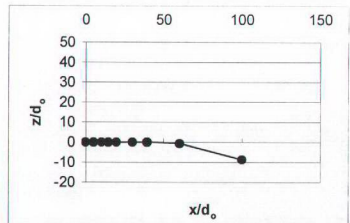
Şekil 39. $F_0=9,0$ ila $132,3$ için ve $\theta_0=0^\circ$, $\Delta T_0=-5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılımının yasal kriter ile ilgili bölümü

3.1.2. Yatay Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Yörüngeleri

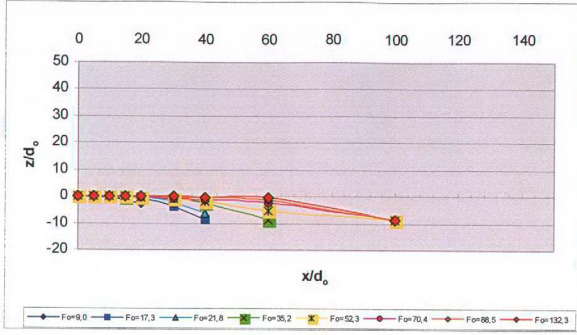
Şekil 40'ta $\theta_0=0^\circ$ için seri fotoğraflama ile Froude sayısına bağlı olarak elde edilmiş jetlerin karakteristik şekilleri verilmiştir. Şekil 41'de sıcaklık ölçümlerinin gerçekleştirildiği jet merkez eksenlerinin koordinatları verilmiştir. Sıcaklık ölçümlerinin gerçekleştirildiği koordinatlar toplu olarak Şekil 42'de sunulmuştur.

 $F_0 = 9,0$  $F_0 = 17,3$  $F_0 = 21,8$  $F_0 = 35,2$  $F_0 = 52,3$  $F_0 = 70,4$  $F_0 = 88,5$  $F_0 = 132,3$

Şekil 40. $\theta_0 = 0^\circ$ açısında $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet dağılımları


 $F_0 = 9,0$

 $F_0 = 17,3$

 $F_0 = 21,8$

 $F_0 = 35,2$

 $F_0 = 52,3$

 $F_0 = 70,4$

 $F_0 = 88,5$

 $F_0 = 132,3$

Şekil 41. $\theta_0 = 0^\circ$ açısında $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet içi sıcaklık ölçüm koordinatları



Şekil 42. $F_0 = 9,0$ ile $132,3$ için ve $\theta_0 = 0^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için sıcaklık ölçümü yapılan jet merkez eksen koordinatları

3.2. 30° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarj

3.2.1. 30° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Merkezi Boyunca Sıcaklık Dağılımları

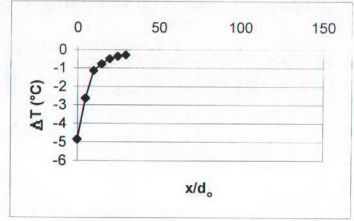
Deşarj deliğinin yataya göre $\theta_0 = 30^\circ$ açısı ile yukarı yönlendirildiği durumda, deşarj sıcaklığı alıcı ortam suyu sıcaklığından -5°C küçük olan durum için gerçekleştirilen deneylerin özeti Tablo 13'te verilmiştir. Gerçekleştirilen soğuk deşarj deneyleri sırasında jet merkez eksenine sıcaklık sensörü sokulması ile elde edilmiş olan jetlerin merkez eksenlerindeki boyuna sıcaklık dağılımları grafik olarak Şekil 43 ile 50'de verilmiştir. Elde edilmiş olan jet merkez eksen boyuna boyuna sıcaklık dağılımları aynı zamanda Tablo 14 ile 21'de sayısal olarak verilmiştir. Gerçekleştirilen soğuk deşarjlar, deliğin açısı $\theta_0 = 30^\circ$ için F_0 sayısına bağlı olarak boyutsuz x/d_0 yatay uzaklığına bağlı olarak jet merkezlerindeki sıcaklık dağılımları Şekil 51 ile 52'de toplu bir şekilde görülmektedir.

Tablo 13. $\theta_0 = 30^\circ$ ve $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$, $d_0 = 1$ cm için gerçekleştirilen deneyler

Sıra No	F_0	q (ml/dak.)	T_0 ($^\circ\text{C}$)	T_a ($^\circ\text{C}$)	Jet tipi
1	8,7	270	6,0	11,2	Saçak, salımlı
2	19,1	594	6,3	11,4	Saçak
3	21,2	425	2,8	7,9	Saçak
4	32,9	952	5,0	10,4	Saçak/Jet
5	48,6	1220	4,0	9,2	Jet
6	65,8	1709	4,3	9,5	Jet
7	83,2	2034	4,0	9,0	Jet
8	155,5	3800	4,0	9,0	Jet

Tablo 14. $F_0 = 8,7$, $\theta_0 = 30^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı

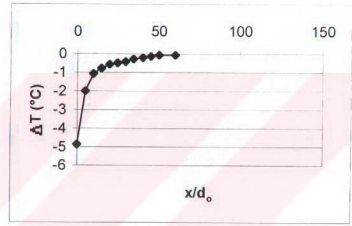
x/d_0	$\Delta T (^{\circ}\text{C})$
0	-4,88
5	-2,65
10	-1,18
15	-0,80
20	-0,53
25	-0,38
30	-0,31



Şekil 43. $F_0 = 8,7$, $\theta_0 = 30^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı

Tablo 15. $F_0 = 19,1$, $\theta_0 = 30^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı

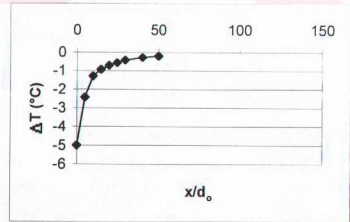
x/d_0	$\Delta T (^{\circ}\text{C})$
0	-4,86
5	-1,98
10	-1,11
15	-0,80
20	-0,59
25	-0,54
30	-0,44
35	-0,32
40	-0,23
45	-0,18
50	-0,11
60	-0,08



Şekil 44. $F_0 = 19,1$, $\theta_0 = 30^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı

Tablo 16. $F_0 = 21,2$, $\theta_0 = 30^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı

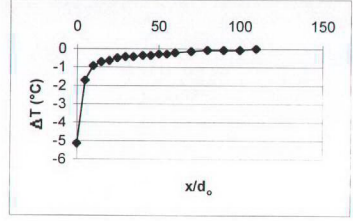
x/d_0	$\Delta T (^{\circ}\text{C})$
0	-5,03
5	-2,40
10	-1,29
15	-0,95
20	-0,68
25	-0,56
30	-0,44
40	-0,28
50	-0,24



Şekil 45. $F_0 = 21,2$, $\theta_0 = 30^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı

Tablo 17. $F_0 = 32,9$, $\theta_0 = 30^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı

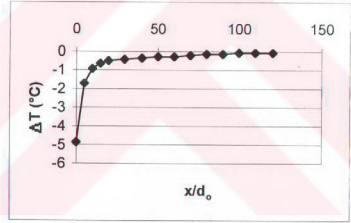
x/d_0	ΔT ($^\circ\text{C}$)
0	-5,16
5	-1,75
10	-0,93
15	-0,74
20	-0,62
25	-0,52
30	-0,46
35	-0,43
40	-0,39
45	-0,34
50	-0,30
55	-0,27
60	-0,21
70	-0,14
80	-0,09
90	-0,06
100	-0,06
110	-0,04



Şekil 46. $F_0 = 32,9$, $\theta_0 = 30^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı

Tablo 18. $F_0 = 48,6$, $\theta_0 = 30^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı

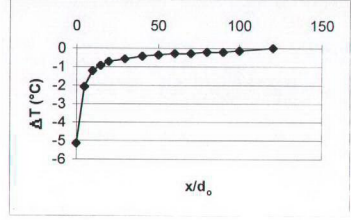
x/d_0	ΔT ($^\circ\text{C}$)
0	-4,87
5	-1,69
10	-0,93
15	-0,65
20	-0,54
30	-0,41
40	-0,34
50	-0,31
60	-0,26
70	-0,20
80	-0,14
90	-0,12
100	-0,09
110	-0,05
120	-0,05



Şekil 47. $F_0 = 48,6$, $\theta_0 = 30^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı

Tablo 19. $F_o = 65,8$, $\theta_o = 30^\circ$, $\Delta T_o = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılımları

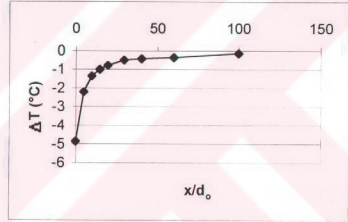
x/d_o	$\Delta T (^{\circ}\text{C})$
0	-5,16
5	-2,09
10	-1,22
15	-0,95
20	-0,71
30	-0,55
40	-0,43
50	-0,36
60	-0,31
70	-0,27
80	-0,21
90	-0,19
100	-0,11
120	-0,04



Şekil 48. $F_o = 65,8$, $\theta_o = 30^\circ$, $\Delta T_o = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılımları

Tablo 20. $F_o = 83,2$, $\theta_o = 30^\circ$, $\Delta T_o = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılımları

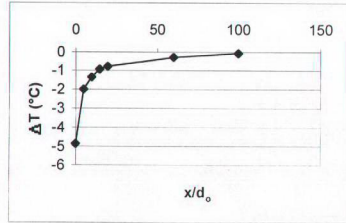
x/d_o	$\Delta T (^{\circ}\text{C})$
0	-4,86
5	-2,23
10	-1,36
15	-1,01
20	-0,80
30	-0,52
40	-0,43
60	-0,35
100	-0,12



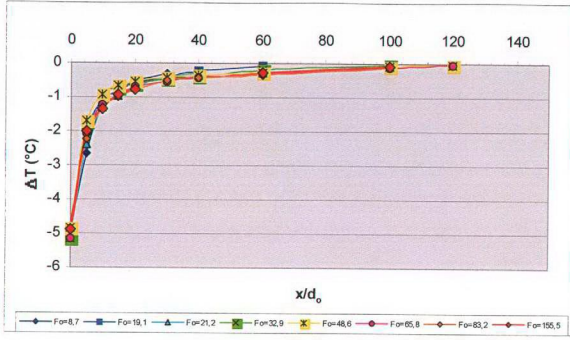
Şekil 49. $F_o = 83,2$, $\theta_o = 30^\circ$, $\Delta T_o = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılımları

Tablo 21. $F_o = 155,5$, $\theta_o = 30^\circ$, $\Delta T_o = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılımları

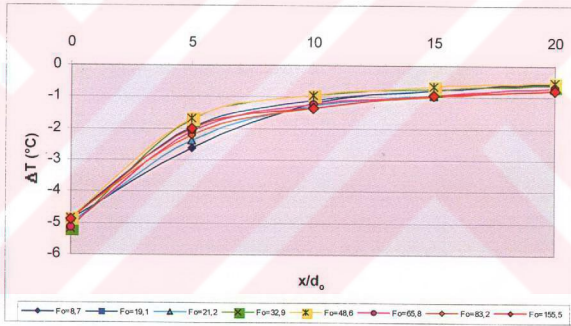
x/d_o	$\Delta T (^{\circ}\text{C})$
0	-4,89
5	-2,01
10	-1,34
15	-0,93
20	-0,78
60	-0,28
100	-0,09



Şekil 50. $F_o = 155,5$, $\theta_o = 30^\circ$, $\Delta T_o = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılımları



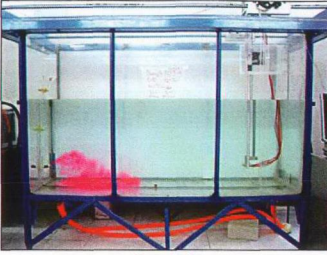
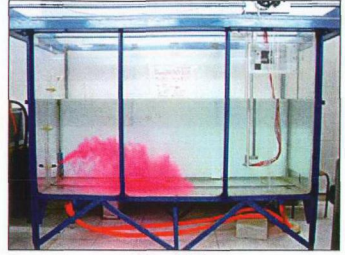
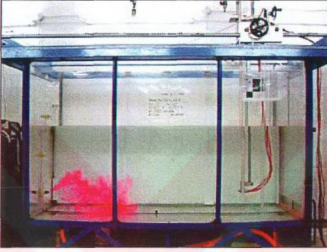
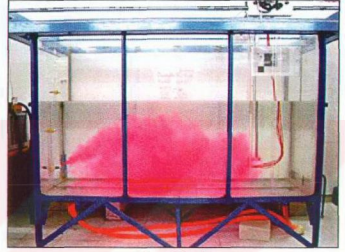
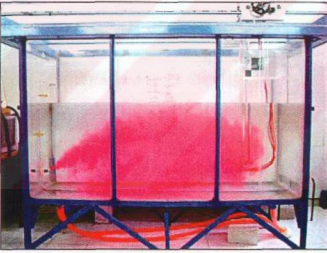
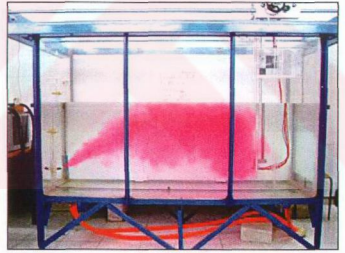
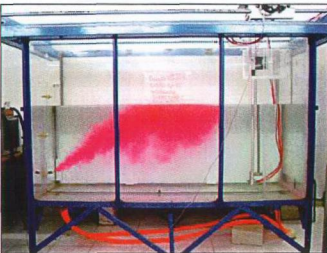
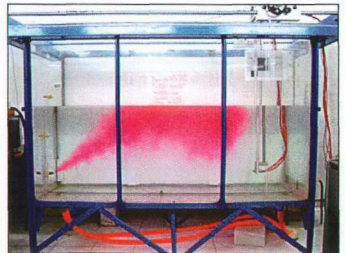
Şekil 51. $F_0 = 8,7$ ila $155,5$ için ve $\theta_0 = 30^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılımları



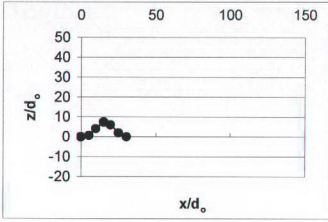
Şekil 52. $F_0 = 8,7$ ila $155,5$ için ve $\theta_0 = 30^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılımlarının yasal kriter ile ilgili bölümü

3.2.2. 30° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Yörüngeleri

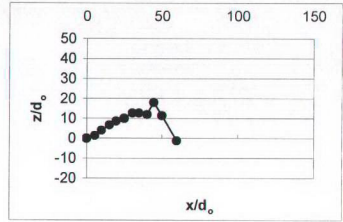
Şekil 53'te $\theta_0 = 30^\circ$ için seri fotoğraflama ile Froude sayısına bağlı olarak elde edilmiş jetlerin karakteristik şekilleri verilmiştir. Şekil 54'te sıcaklık ölçümlerinin gerçekleştirildiği jet merkez eksenlerinin koordinatları verilmiştir. Sıcaklık ölçümlerinin gerçekleştirildiği koordinatlar toplu olarak Şekil 55'te sunulmuştur.


 $F_0 = 8,7$

 $F_0 = 19,1$

 $F_0 = 21,2$

 $F_0 = 32,9$

 $F_0 = 48,6$

 $F_0 = 65,8$

 $F_0 = 83,2$

 $F_0 = 155,5$

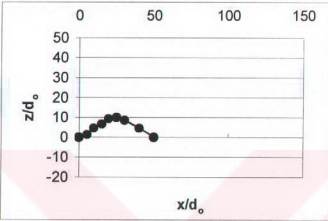
Şekil 53. $\theta_0 = 30^\circ$ açısında $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet dağılımları



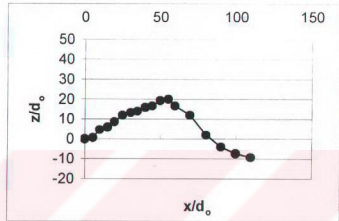
$F_0 = 8,7$



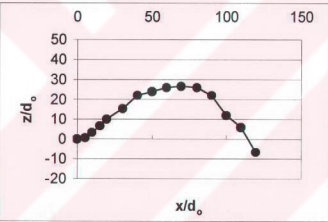
$F_0 = 19,1$



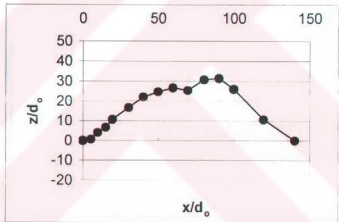
$F_0 = 21,2$



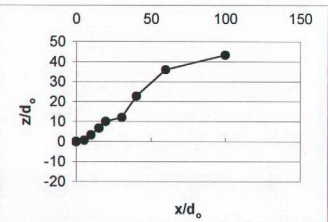
$F_0 = 32,9$



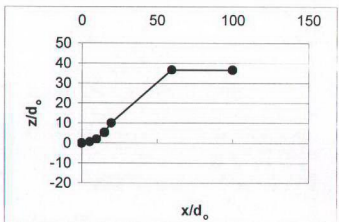
$F_0 = 48,6$



$F_0 = 65,8$

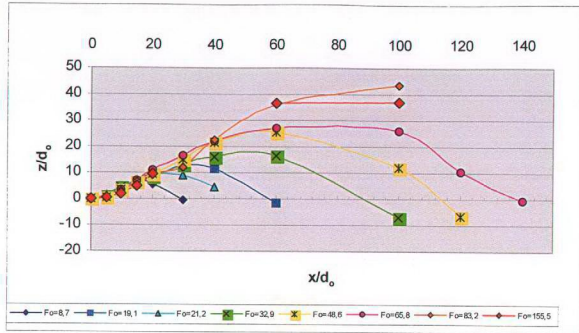


$F_0 = 83,2$



$F_0 = 155,5$

Şekil 54. $\theta_0 = 30^\circ$ açısında $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet içi sıcaklık ölçüm koordinatları



Şekil 55. $F_0 = 8,7$ ile $155,5$ için ve $\theta_0 = 30^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için sıcaklık ölçümü yapılan jet merkez eksen koordinatları

3.3. 45° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarj

3.3.1. 45° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Merkezi Boyunca Sıcaklık Dağılımları

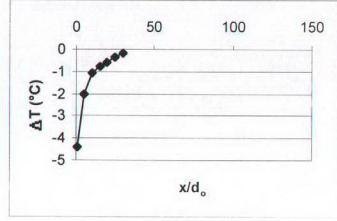
Deşarj deliğinin yataya göre $\theta_0 = 45^\circ$ açısı ile yukarı yönlendirildiği durumda, deşarj sıcaklığı alıcı ortam suyu sıcaklığından -5°C küçük olan durum için gerçekleştirilen deneylerin özeti Tablo 22'de verilmiştir. Gerçekleştirilen soğuk deşarj deneyleri sırasında jet merkez eksenine sıcaklık sensörü sokulması ile elde edilmiş olan jetlerin merkez eksenlerindeki boyuna sıcaklık dağılımları grafik olarak Şekil 56 ila 63'te verilmiştir. Elde edilmiş olan jet merkez eksen boyunca boyuna sıcaklık dağılımları aynı zamanda Tablo 23 ila 30'da sayısal olarak verilmiştir. Gerçekleştirilen soğuk deşarjlar, deliğin açısı $\theta_0 = 45^\circ$ için F_0 sayısına bağlı olarak boyutsuz x/d_0 yatay uzaklığına bağlı olarak jet merkezlerindeki sıcaklık dağılımları Şekil 64 ila 65'te toplu bir şekilde görülmektedir.

Tablo 22. $\theta_0 = 45^\circ$ ve $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$, $d_0 = 1$ cm için gerçekleştirilen deneyler

Sıra No	F_0	q (ml/dak.)	T_0 ($^\circ\text{C}$)	T_a ($^\circ\text{C}$)	Jet tipi
1	9,2	270	5,8	10,8	Saçak, salınlımlı
2	17,7	520	5,5	10,7	Saçak, salınlımlı
3	22,8	470	3,0	8,0	Saçak
4	35,1	965	5,0	10,2	Saçak/Jet
5	52,9	1540	5,5	10,7	Jet
6	68,8	1715	4,3	9,3	Jet
7	92,1	2210	4,8	9,8	Jet
8	138,2	4000	5,3	10,5	Jet

Tablo 23. $F_0 = 9,2$, $\theta_0 = 45^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı

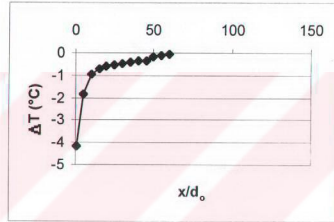
x/d_0	$\Delta T (^\circ\text{C})$
1	-4,43
5	-2,00
10	-1,05
15	-0,78
20	-0,59
25	-0,37
30	-0,18



Şekil 56. $F_0 = 9,2$, $\theta_0 = 45^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı

Tablo 24. $F_0 = 17,7$, $\theta_0 = 45^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı

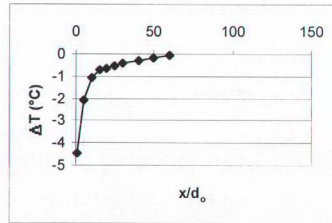
x/d_0	$\Delta T (^\circ\text{C})$
1	-4,16
5	-1,87
10	-0,98
15	-0,70
20	-0,57
25	-0,54
30	-0,50
35	-0,43
40	-0,39
45	-0,36
50	-0,21
55	-0,10
60	-0,07



Şekil 57. $F_0 = 17,7$, $\theta_0 = 45^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı

Tablo 25. $F_0 = 22,8$, $\theta_0 = 45^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı

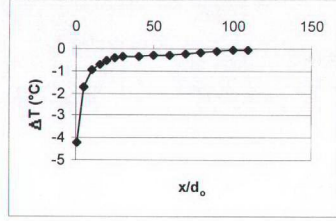
x/d_0	$\Delta T (^\circ\text{C})$
1	-4,47
5	-2,10
10	-1,07
15	-0,74
20	-0,65
25	-0,56
30	-0,44
40	-0,31
50	-0,17
60	-0,08



Şekil 58. $F_0 = 22,8$, $\theta_0 = 45^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı

Tablo 26. $F_0 = 35,1$, $\theta_0 = 45^\circ$, $\theta_0 = 45^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı

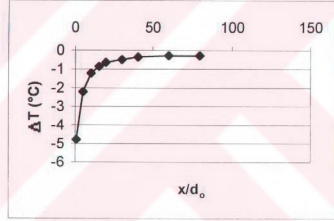
x/d_0	$\Delta T (^{\circ}\text{C})$
1	-4,26
5	-1,73
10	-0,96
15	-0,71
20	-0,56
25	-0,44
30	-0,38
40	-0,35
50	-0,32
60	-0,31
70	-0,25
80	-0,18
90	-0,12
100	-0,09
110	-0,07



Şekil 59. $F_0 = 35,1$, $\theta_0 = 45^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı

Tablo 27. $F_0 = 52,9$, $\theta_0 = 45^\circ$, $\theta_0 = 45^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı

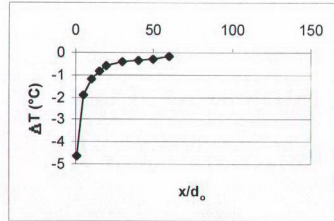
x/d_0	$\Delta T (^{\circ}\text{C})$
1	-4,82
5	-2,19
10	-1,23
15	-0,88
20	-0,68
30	-0,52
40	-0,38
60	-0,31
80	-0,26



Şekil 60. $F_0 = 52,9$, $\theta_0 = 45^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı

Tablo 28. $F_0 = 68,8$, $\theta_0 = 45^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı

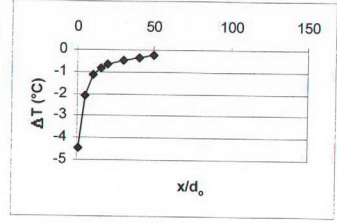
x/d_0	$\Delta T (^{\circ}\text{C})$
1	-4,62
5	-1,92
10	-1,17
15	-0,84
20	-0,61
30	-0,42
40	-0,35
50	-0,29
60	-0,20



Şekil 61. $F_0 = 68,8$, $\theta_0 = 45^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı

Tablo 29. $F_o = 92,1$, $\theta_o = 45^\circ$, $\Delta T_o = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılımı

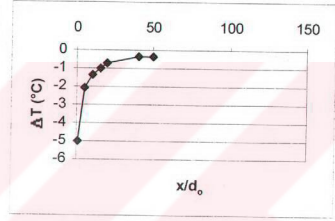
x/d_o	$\Delta T (^{\circ}\text{C})$
1	-4,49
5	-2,10
10	-1,15
15	-0,82
20	-0,67
30	-0,51
40	-0,36
50	-0,21



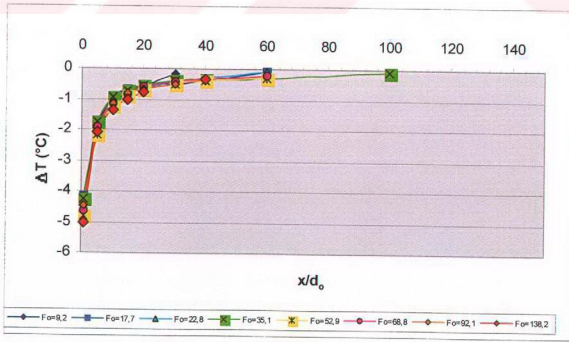
Şekil 62. $F_o = 92,1$, $\theta_o = 45^\circ$, $\Delta T_o = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılımı

Tablo 30. $F_o = 138,2$, $\theta_o = 45^\circ$, $\Delta T_o = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılımı

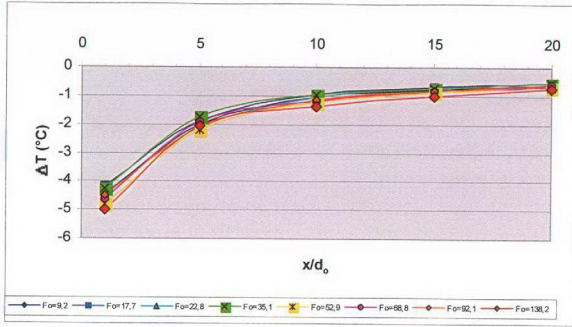
x/d_o	$\Delta T (^{\circ}\text{C})$
1	-5,02
5	-2,07
10	-1,36
15	-1,02
20	-0,75
40	-0,33
50	-0,34



Şekil 63. $F_o = 138,2$, $\theta_o = 45^\circ$, $\Delta T_o = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılımı



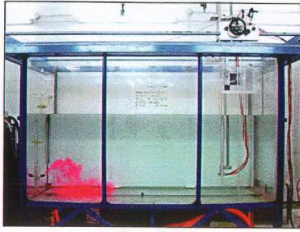
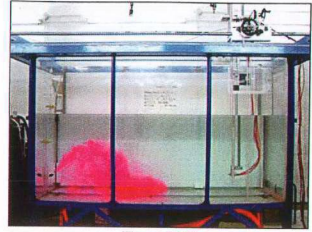
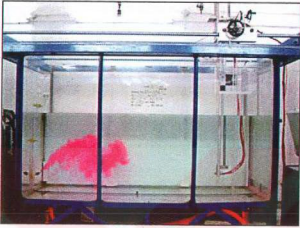
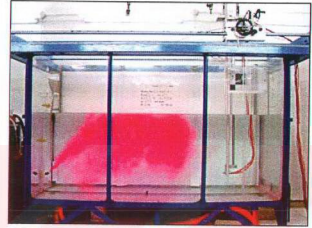
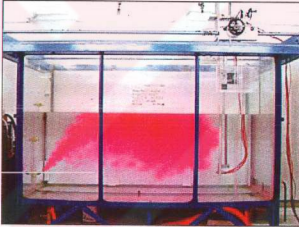
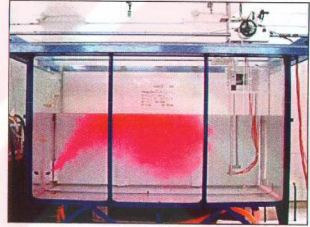
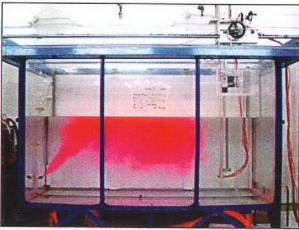
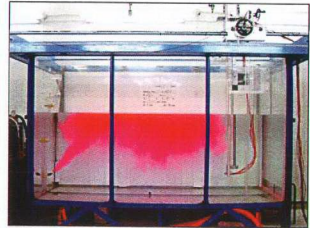
Şekil 64. $F_o = 9,2$ ila $138,2$ için ve $\theta_o = 45^\circ$, $\Delta T_o = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılımı



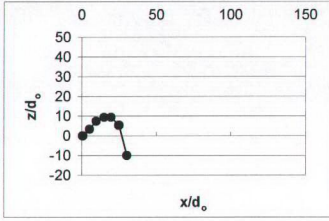
Şekil 65. $F_o = 9,2$ ila $138,2$ için ve $\theta_o = 45^\circ$, $\Delta T_o = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılımlarının yasal kriter ile ilgili bۆlümü

3.3.2. 45° Yukarı Yۆnlendirilmiř Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Yۆrüngeleri

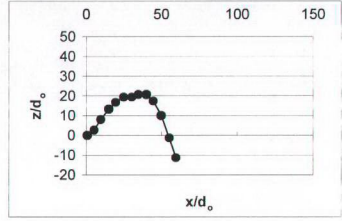
Şekil 66'da $\theta_o = 45^\circ$ için seri fotoğraflama ile Froude sayısına bağlı olarak elde edilmiş jetlerin karakteristik şekilleri verilmiştir. Şekil 67'de sıcaklık ۆlçümlerinin gerçekteştirildiği jet merkez eksenlerinin koordinatları verilmiştir. Sıcaklık ۆlçümlerinin gerçekteştirildiği koordinatlar toplu olarak Şekil 68'de sunulmuştur.


 $F_o = 9,2$

 $F_o = 17,7$

 $F_o = 22,8$

 $F_o = 35,1$

 $F_o = 52,9$

 $F_o = 68,8$

 $F_o = 92,1$

 $F_o = 138,2$

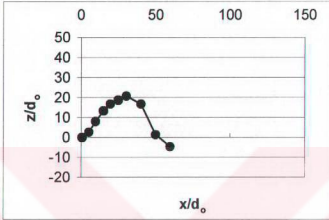
Şekil 66. $\theta_o = 45^\circ$ açısında $\Delta T_o = -5^\circ\text{C}$ için jet dağılımları



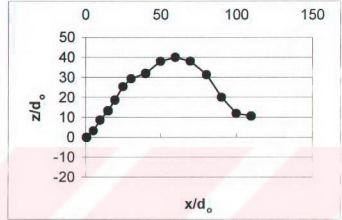
$F_0 = 9,2$



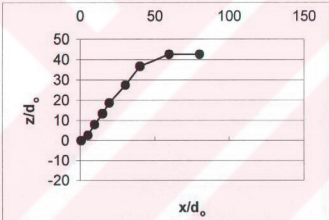
$F_0 = 17,7$



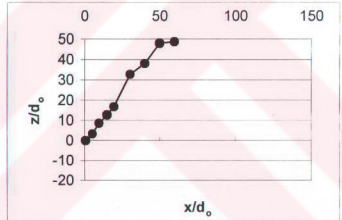
$F_0 = 22,8$



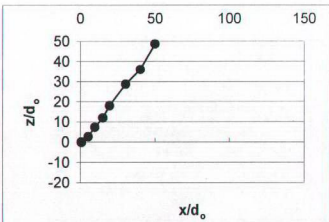
$F_0 = 35,1$



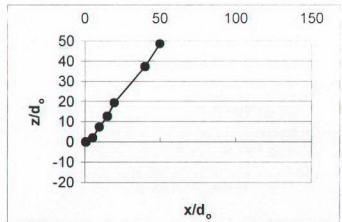
$F_0 = 52,9$



$F_0 = 68,8$

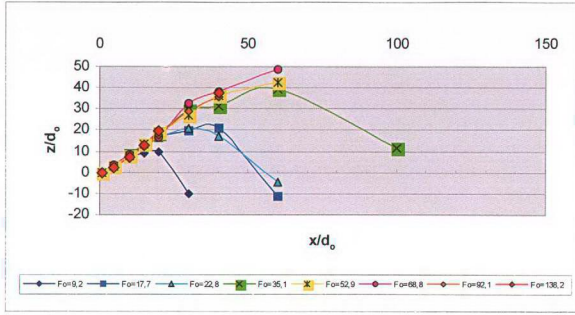


$F_0 = 92,1$



$F_0 = 138,2$

Şekil 67. $\theta_0 = 45^\circ$ açısında $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet içi sıcaklık ölçüm koordinatları



Şekil 68. $F_0 = 9,2$ ila $138,2$ için ve $\theta_0 = 45^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için sıcaklık ölçümü yapılan jet merkez eksen koordinatları

3.4. 60° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarj

3.4.1. 60° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Merkezi Boyunca Sıcaklık Dağılımları

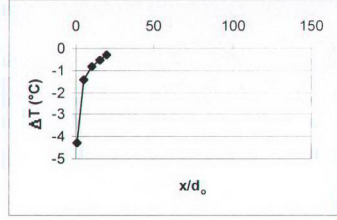
Deşarj deliğinin yataya göre $\theta_0 = 60^\circ$ açısı ile yukarı yönlendirildiği durumda, deşarj sıcaklığı alıcı ortam suyu sıcaklığından -5°C küçük olan durum için gerçekleştirilen deneylerin özeti Tablo 31’de verilmiştir. Gerçekleştirilen soğuk deşarj deneyleri sırasında jet merkez eksenine sıcaklık sensörü sokulması ile elde edilmiş olan jetlerin merkez eksenlerindeki boyuna sıcaklık dağılımları grafik olarak Şekil 69 ila 76’da verilmiştir. Elde edilmiş olan jet merkez eksen boyuna boyuna sıcaklık dağılımları aynı zamanda Tablo 32 ila 39’da sayısal olarak verilmiştir. Gerçekleştirilen soğuk deşarjlar, deliğin açısı $\theta_0 = 60^\circ$ için F_0 sayısına bağlı olarak boyutsuz x/d_0 yatay uzaklığına bağlı olarak jet merkezlerindeki sıcaklık dağılımları Şekil 77 ila 78’de toplu bir şekilde görülmektedir.

Tablo 31. $\theta_0 = 60^\circ$ ve $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$, $d_0 = 1$ cm için gerçekleştirilen deneyler

Sıra No	F_0	q (ml/dak.)	T_0 ($^\circ\text{C}$)	T_a ($^\circ\text{C}$)	Jet tipi
1	7,6	160	3,0	8,3	Saçak, salınlımlı
2	16,6	390	3,8	8,7	Saçak, salınlımlı
3	25,2	700	4,8	10,0	Saçak
4	34,2	860	4,3	9,3	Saçak/Jet
5	52,9	1430	5,0	9,9	Jet
6	68,8	1855	4,8	9,9	Jet
7	88,1	2485	5,3	10,3	Jet
8	145,1	4000	5,0	10,1	Jet

Tablo 32. $F_0 = 7,6$, $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılımları

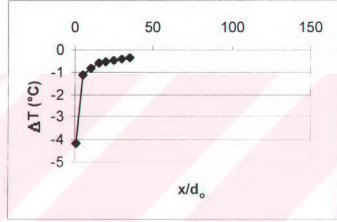
x/d_0	$\Delta T (^{\circ}\text{C})$
1	-4,28
5	-1,43
10	-0,84
15	-0,56
20	-0,29



Şekil 69. $F_0 = 7,6$, $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılımları

Tablo 33. $F_0 = 16,6$, $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılımları

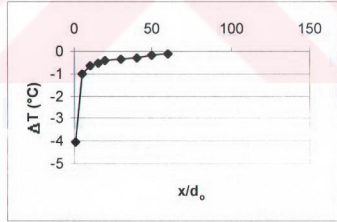
x/d_0	$\Delta T (^{\circ}\text{C})$
1	-4,16
5	-1,12
10	-0,83
15	-0,60
20	-0,52
25	-0,46
30	-0,43
35	-0,35



Şekil 70. $F_0 = 16,6$, $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılımları

Tablo 34. $F_0 = 25,2$, $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılımları

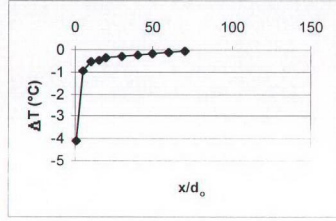
x/d_0	$\Delta T (^{\circ}\text{C})$
1	-4,07
5	-1,03
10	-0,66
15	-0,53
20	-0,40
30	-0,34
40	-0,28
50	-0,21
60	-0,10



Şekil 71. $F_0 = 25,2$, $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılımları

Tablo 35. $F_0 = 34,2$, $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı

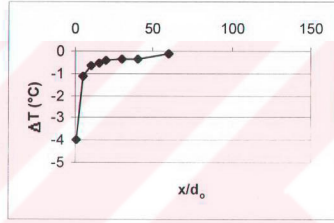
x/d_0	$\Delta T (^\circ\text{C})$
1	-4,09
5	-0,94
10	-0,54
15	-0,45
20	-0,35
30	-0,30
40	-0,25
50	-0,21
60	-0,15
70	-0,06



Şekil 72. $F_0 = 34,2$, $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı

Tablo 36. $F_0 = 52,9$, $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı

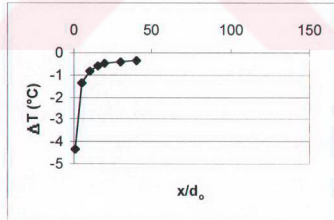
x/d_0	$\Delta T (^\circ\text{C})$
1	-4,01
5	-1,13
10	-0,66
15	-0,54
20	-0,45
30	-0,38
40	-0,33
60	-0,13



Şekil 73. $F_0 = 52,9$, $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı

Tablo 37. $F_0 = 68,8$, $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı

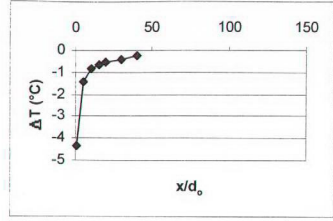
x/d_0	$\Delta T (^\circ\text{C})$
1	-4,32
5	-1,38
10	-0,84
15	-0,58
20	-0,48
30	-0,40
40	-0,34



Şekil 74. $F_0 = 68,8$, $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın yatay dağılımı

Tablo 38. $F_0 = 88,1$, $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılımları

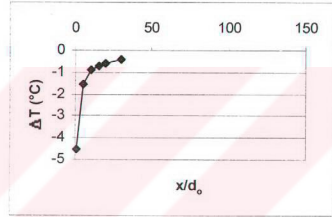
x/d_0	$\Delta T (^\circ\text{C})$
1	-4,36
5	-1,41
10	-0,85
15	-0,65
20	-0,52
30	-0,41
40	-0,26



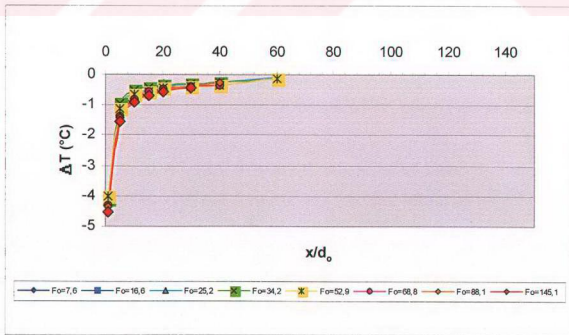
Şekil 75. $F_0 = 88,1$, $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılımları

Tablo 39. $F_0 = 145,1$, $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılımları

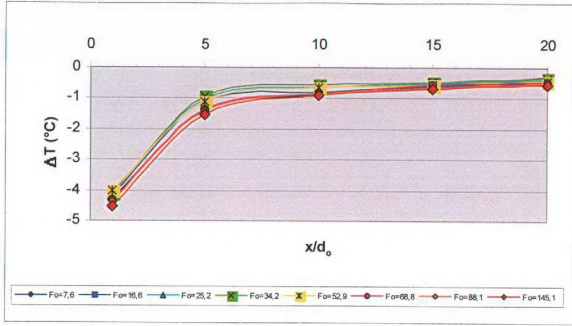
x/d_0	$\Delta T (^\circ\text{C})$
1	-4,53
5	-1,54
10	-0,90
15	-0,69
20	-0,57
30	-0,42



Şekil 76. $F_0 = 145,1$, $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılımları



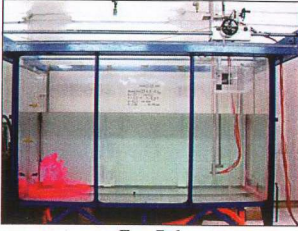
Şekil 77. $F_0 = 7,6$ ila $145,1$ için ve $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılımları



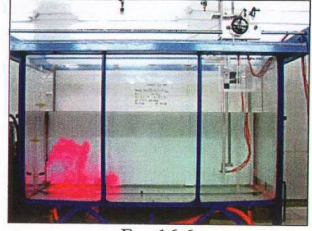
Şekil 78. $F_0=7,6$ ila $145,1$ için ve $\theta_0=60^\circ$, $\Delta T_0=-5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılımlarının yasal kriter ile ilgili bōlümü

3.4.2. 60° Yukarı Yōnlendirilmiř Delik ile Sođuk Deřarjda Jet Yōrūngeleri

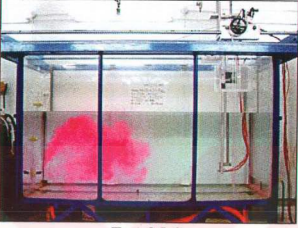
Şekil 79'da $\theta_0=60^\circ$ için seri fotoğraflama ile Froude sayısına bağlı olarak elde edilmiş jetlerin karakteristik şekilleri verilmiştir. Şekil 80'de sıcaklığ ölçūmlerinin gerēekleřtirildiđi jet merkez eksenlerinin koordinatları verilmiştir. Sıcaklığ ölçūmlerinin gerēekleřtirildiđi koordinatlar toplu olarak Şekil 81'de sunulmuştur.



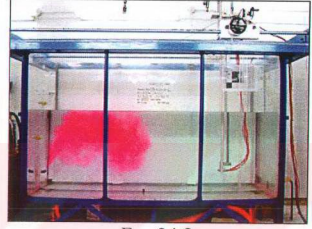
$F_0 = 7,6$



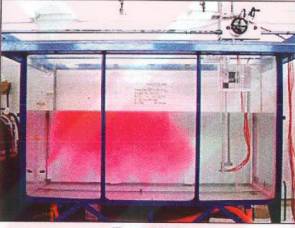
$F_0 = 16,6$



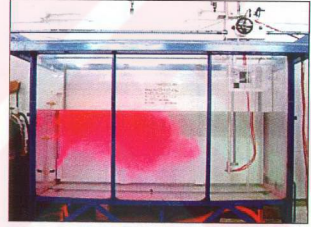
$F_0 = 25,2$



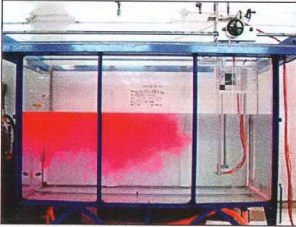
$F_0 = 34,2$



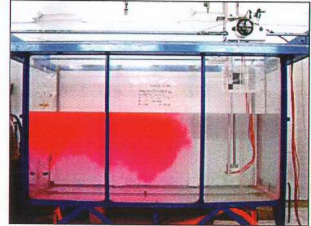
$F_0 = 52,9$



$F_0 = 68,8$

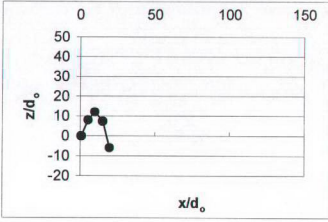


$F_0 = 88,1$

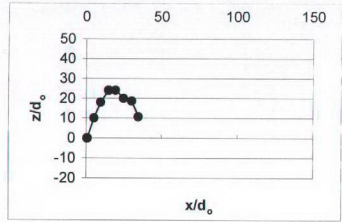


$F_0 = 145,1$

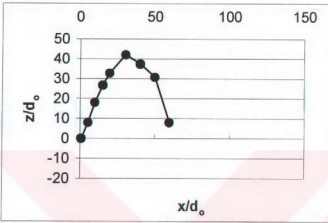
Şekil 79. $\theta_0 = 60^\circ$ açısında $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet dağılımları



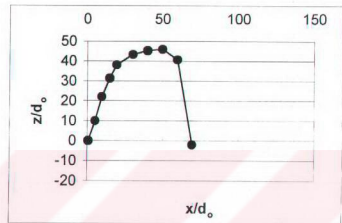
$F_0 = 7,6$



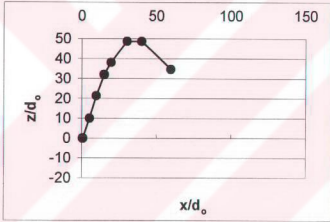
$F_0 = 16,6$



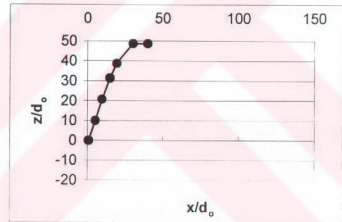
$F_0 = 25,2$



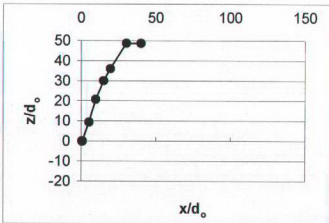
$F_0 = 34,2$



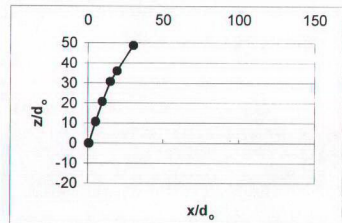
$F_0 = 52,9$



$F_0 = 68,8$

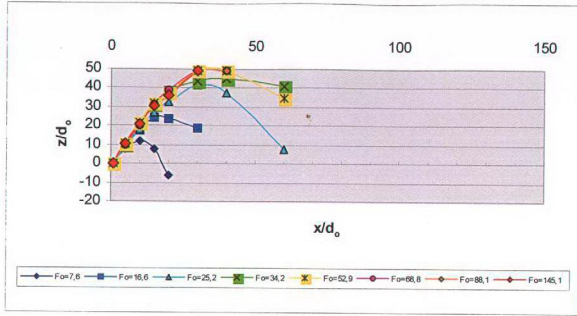


$F_0 = 88,1$



$F_0 = 145,1$

Şekil 80. $\theta_0 = 60^\circ$ açısında $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet içi sıcaklık ölçüm koordinatları



Şekil 81. $F_0 = 7,6$ ila $145,1$ için ve $\theta_0 = 60^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için sıcaklık ölçümü yapılan jet merkez eksen koordinatları

3.5. 90° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarj

3.5.1. 90° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Merkezi Boyunca Sıcaklık Dağılımları

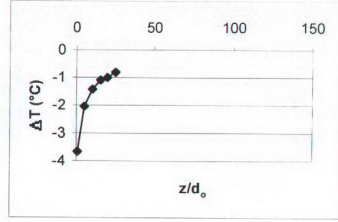
Deşarj deliğinin yataya göre $\theta_0 = 90^\circ$ açısı ile yukarı yönlendirildiği durumda, deşarj sıcaklığı alıcı ortam suyu sıcaklığından -5°C küçük olan durum için gerçekleştirilen deneylerin özeti Tablo 40'ta verilmiştir. Gerçekleştirilen soğuk deşarj deneyleri sırasında jet merkez eksenine sıcaklık sensörü sokulması ile elde edilmiş olan jetlerin merkez eksenlerindeki boyuna sıcaklık dağılımları grafik olarak Şekil 82 ila 87'de verilmiştir. Elde edilmiş olan jet merkez eksen boyunca sıcaklık dağılımları aynı zamanda Tablo 41 ila 46'da sayısal olarak verilmiştir. Gerçekleştirilen soğuk deşarjlar, deliğin açısı $\theta_0 = 90^\circ$ için F_0 sayısına bağlı olarak boyutsuz z/d_0 düşey uzaklığına bağlı olarak jet merkezlerindeki sıcaklık dağılımları Şekil 88 ila 89'da toplu bir şekilde görülmektedir.

Tablo 40. $\theta_0 = 90^\circ$ ve $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$, $d_0 = 1$ cm için gerçekleştirilen deneyler

Sıra No	F_0	q (ml/dak.)	T_0 ($^\circ\text{C}$)	T_a ($^\circ\text{C}$)	Jet tipi
1	20,4	380	2,5	7,7	Saçak, salınmımlı
2	26,8	500	2,5	7,5	Saçak/Jet
3	39,0	750	2,5	7,6	Jet
4	47,3	870	2,3	7,4	Jet
5	66,4	1240	2,5	7,8	Jet
6	238,3	4000	2,0	7,2	Jet

Tablo 41. $F_0 = 20,4$, $\theta_0 = 90^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın düşey dağılımı

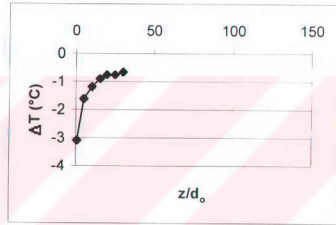
x/d_0	z/d_0	$\Delta T (^{\circ}\text{C})$
0	1	-3,66
0	5	-2,06
0	10	-1,44
0	15	-1,10
0	20	-1,01
0	25	-0,80



Şekil 82. $F_0 = 20,4$, $\theta_0 = 90^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın düşey dağılımı

Tablo 42. $F_0 = 26,8$, $\theta_0 = 90^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın düşey dağılımı

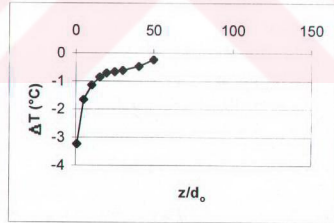
x/d_0	z/d_0	$\Delta T (^{\circ}\text{C})$
0	1	-3,10
0	5	-1,63
0	10	-1,19
0	15	-0,91
0	20	-0,77
0	25	-0,77
0	30	-0,68



Şekil 83. $F_0 = 26,8$, $\theta_0 = 90^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın düşey dağılımı

Tablo 43. $F_0 = 39,0$, $\theta_0 = 90^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın düşey dağılımı

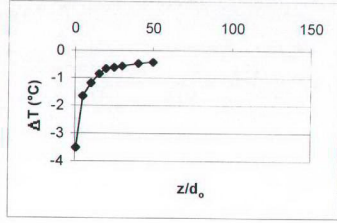
x/d_0	z/d_0	$\Delta T (^{\circ}\text{C})$
0	1	-3,22
0	5	-1,65
0	10	-1,12
0	15	-0,84
0	20	-0,72
0	25	-0,66
0	30	-0,60
0	40	-0,46
0	49,5	-0,26



Şekil 84. $F_0 = 39,0$, $\theta_0 = 90^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenini boyunca sıcaklığın düşey dağılımı

Tablo 44. $F_0 = 47,3$, $\theta_0 = 90^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın dűşey dağılımları

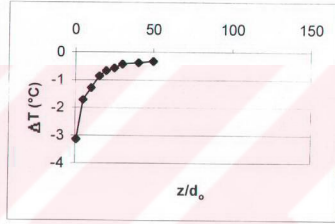
x/d_0	z/d_0	ΔT ($^\circ\text{C}$)
0	1	-3,52
0	5	-1,69
0	10	-1,18
0	15	-0,85
0	20	-0,69
0	25	-0,61
0	30	-0,56
0	40	-0,46
0	49,5	-0,41



Şekil 85. $F_0 = 47,3$, $\theta_0 = 90^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın dűşey dağılımları

Tablo 45. $F_0 = 66,4$, $\theta_0 = 90^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın dűşey dağılımları

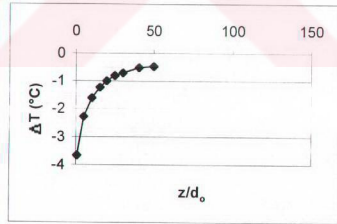
x/d_0	z/d_0	ΔT ($^\circ\text{C}$)
0	1	-3,12
0	5	-1,70
0	10	-1,27
0	15	-0,88
0	20	-0,65
0	25	-0,58
0	30	-0,45
0	40	-0,39
0	49,5	-0,34



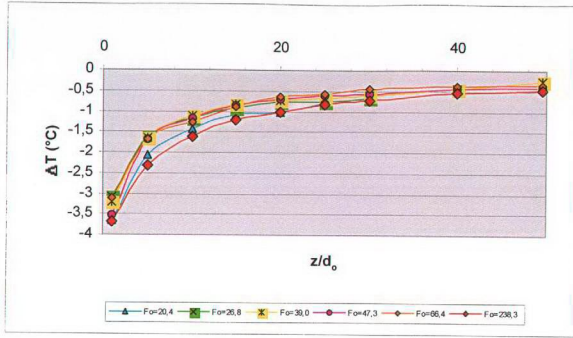
Şekil 86. $F_0 = 66,4$, $\theta_0 = 90^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın dűşey dağılımları

Tablo 46. $F_0 = 238,3$, $\theta_0 = 90^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın dűşey dağılımları

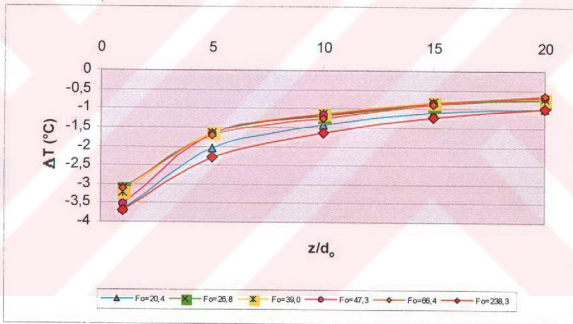
x/d_0	z/d_0	ΔT ($^\circ\text{C}$)
0	1	-3,69
0	5	-2,31
0	10	-1,63
0	15	-1,22
0	20	-1,00
0	25	-0,82
0	30	-0,74
0	40	-0,53
0	49,5	-0,48



Şekil 87. $F_0 = 238,3$, $\theta_0 = 90^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın dűşey dağılımları



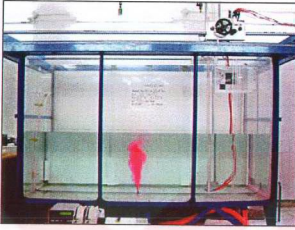
Şekil 88. $F_0 = 20,4$ ila $238,3$ için ve $\theta_0 = 90^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın dūşey dağılı mı



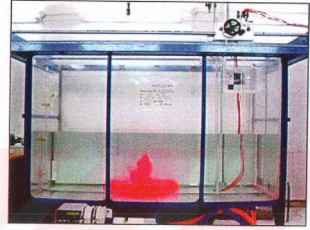
Şekil 89. $F_0 = 20,4$ ila $238,3$ için ve $\theta_0 = 90^\circ$, $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet merkez eksenı boyunca sıcaklığın yatay dağılı mı nın yasal kriter ile ilgili bölümü

3.5.2. 90° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Yörüngeleri

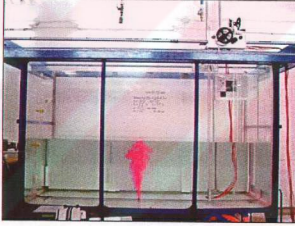
Şekil 90'da $\theta_0=90^\circ$ için seri fotoğraflama ile Froude sayısına bağlı olarak elde edilmiş jetlerin karakteristik şekilleri verilmiştir. Jetin iki ayrı kararlı hali olduğundan (a) ile çökme öncesi, (b) ile çökme sonrası durumları verilmiştir. $\theta_0=90^\circ$ için jet tamamiyle dairesel ve simetrik olduğundan jet ekseninde bir sapma olmamıştır. Bu nedenle jet içerisinde sıcaklık ölçümlerinin gerçekleştirildiği koordinatlar grafik halinde sunulmamıştır.



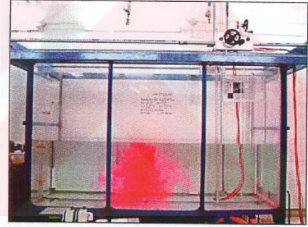
$F_0 = 20,4$ çökme öncesi



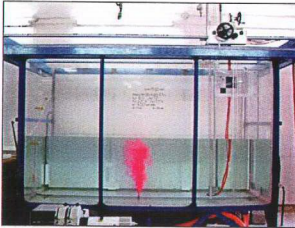
$F_0 = 20,4$ çökme sonrası



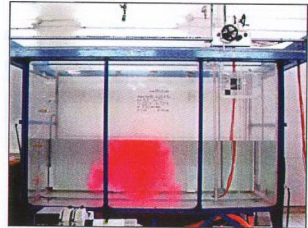
$F_0 = 26,8$ çökme öncesi



$F_0 = 26,8$ çökme sonrası

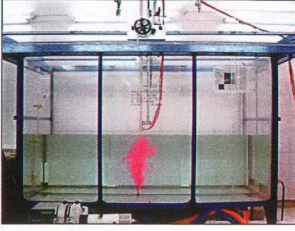


$F_0 = 39,0$ çökme öncesi

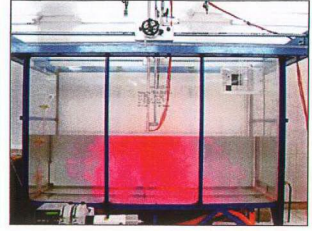


$F_0 = 39,0$ çökme sonrası

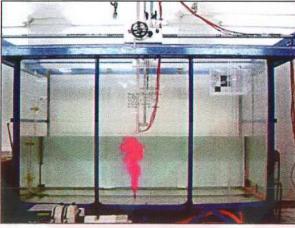
Şekil 90. $\theta_0 = 90^\circ$ açısında $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet dağılımları (devamı arka sayfadadır)



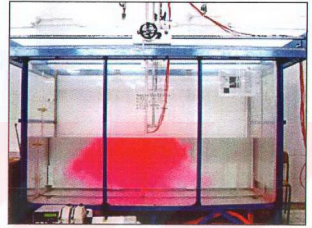
$F_0 = 47,3$ çökelme öncesi



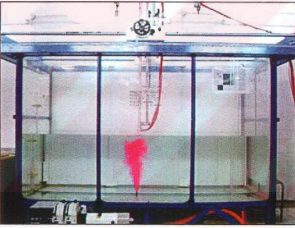
$F_0 = 47,3$ çökelme sonrası



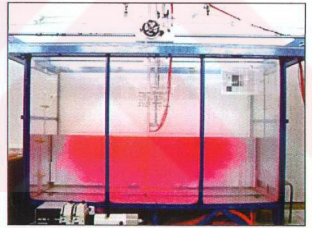
$F_0 = 66,4$ çökelme öncesi



$F_0 = 66,4$ çökelme sonrası



$F_0 = 238,3$ çökelme öncesi

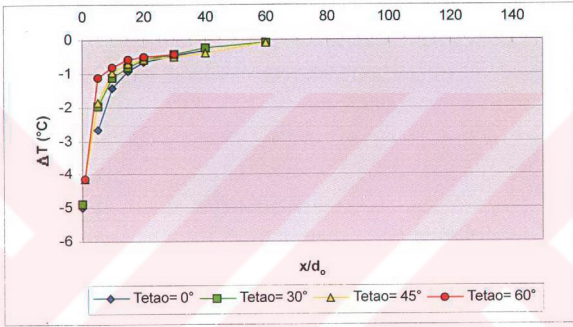


$F_0 = 238,3$ çökelme sonrası

Şekil 90. $\theta_0 = 90^\circ$ açısında $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için jet dağılımları (başlangıcı ön sayfadadır)

3.6. Deşarj Deliği Açısına Bağlı Sıcaklık Değişimleri

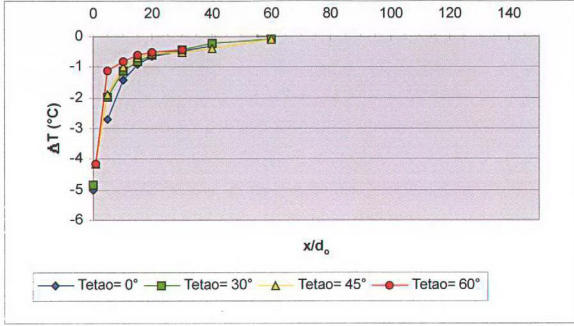
Deşarj deliği açısının yukarı yönlendirilmesi sonucunda başlangıç Froude sayılarına bağlı olarak yatay uzaklığa göre sıcaklık değişimleri toplu halde $\theta_0 = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ ve 60° için Şekil 91 ile 98'de verilmiştir. Bu grafikteki sıcaklık farkı değerlerinin yatay deşarja göre farklılık yüzdeleri Tablo 47 ile 54'te verilmiştir. Farklılık yüzdelerinin negatif olduğu durumlar o noktada incelenen açıdaki ΔT değerinin yatay deşarjdaki değerden daha küçük olduğunu, pozitif sonuç ise aksi durumu ifade etmektedir. Yatay bileşeni bulunmadığından $\theta_0 = 90^\circ$ verileri bu şekiller ve tablolarda yer almamaktadır.



Şekil 91. $F_0 = 7,6$ ila $9,2$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ ve 60° için sıcaklık dağılımı karşılaştırması

Tablo 47. $F_0 = 7,6$ ila $9,2$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$ 'ye göre $30^\circ, 45^\circ$ ve 60° sıcaklık farklılıklarının yüzde olarak karşılaştırması

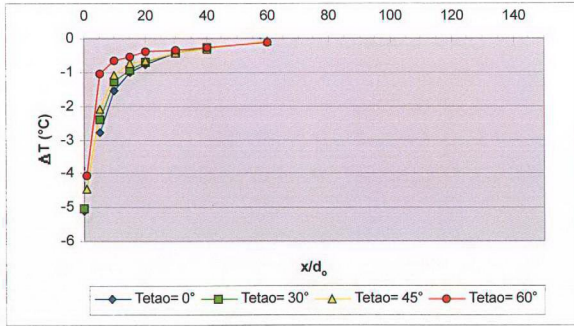
x/d_0	$\theta_0 = 0^\circ$ %	$\theta_0 = 30^\circ$ %	$\theta_0 = 45^\circ$ %	$\theta_0 = 60^\circ$ %
5	0	-29	-46	-62
10	0	-23	-32	-45
15	0	-16	-19	-41
20	0	-26	-17	-60
Ortalama	0	-23	-29	-52



Şekil 92. $F_0 = 16,6$ ila $19,1$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ ve 60° için sıcaklık dağılımı karşılaştırması

Tablo 47. $F_0 = 16,6$ ila $19,1$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$ 'ye göre $30^\circ, 45^\circ$ ve 60° sıcaklık farklılıklarının yüzde olarak karşılaştırması

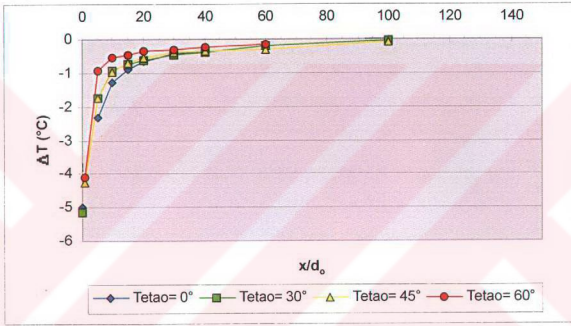
x/d_0	$\theta_0 = 0^\circ$ %	$\theta_0 = 30^\circ$ %	$\theta_0 = 45^\circ$ %	$\theta_0 = 60^\circ$ %
5	0	-26	-30	-58
10	0	-22	-31	-41
15	0	-13	-24	-35
20	0	-11	-14	-22
30	0	-4	8	-8
40	0	-22	31	-
Ortalama	0	-16	-10	-33



Şekil 93. $F_0 = 21,2$ ila $25,2$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ ve 60° için sıcaklık dağılımı karşılaştırması

Tablo 49. $F_0 = 21,2$ ila $25,2$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$ 'ye göre 30° , 45° ve 60° sıcaklık farklılıklarının yüzde olarak karşılaştırması

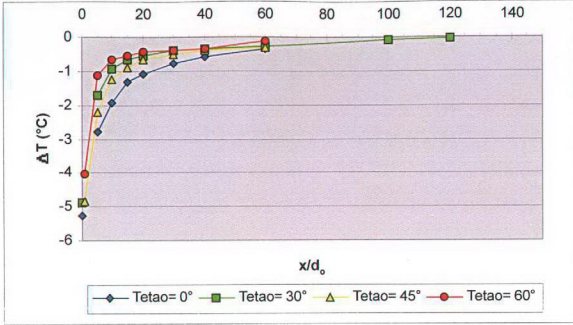
x/d_0	$\theta_0 = 0^\circ$ %	$\theta_0 = 30^\circ$ %	$\theta_0 = 45^\circ$ %	$\theta_0 = 60^\circ$ %
5	0	-14	-25	-63
10	0	-16	-31	-57
15	0	-6	-27	-48
20	0	-11	-16	-48
30	0	-1	-2	-24
40	0	-10	0	-11
Ortalama	0	-10	-17	-42



Şekil 94. $F_0 = 32,9$ ila $35,2$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$, 30° , 45° ve 60° için sıcaklık dağılımı karşılaştırması

Tablo 50. $F_0 = 32,9$ ila $35,2$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$ 'ye göre 30° , 45° ve 60° sıcaklık farklılıklarının yüzde olarak karşılaştırması

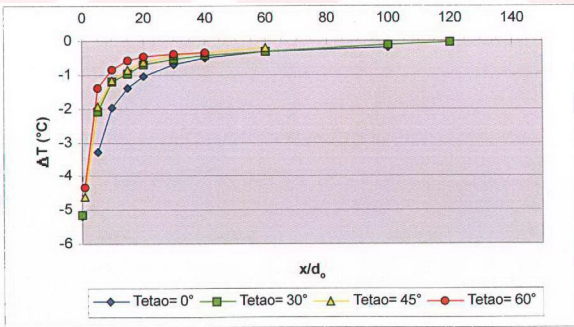
x/d_0	$\theta_0 = 0^\circ$ %	$\theta_0 = 30^\circ$ %	$\theta_0 = 45^\circ$ %	$\theta_0 = 60^\circ$ %
5	0	-25	-26	-60
10	0	-27	-25	-58
15	0	-17	-20	-49
20	0	-7	-16	-48
30	0	10	-10	-29
40	0	4	-5	-32
60	0	14	69	-19
Ortalama	0	-7	-5	-42



Şekil 95. $F_0 = 48,6$ ila $52,9$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ ve 60° için sıcaklık dağılımı karşılaştırması

Tablo 51. $F_0 = 48,6$ ila $52,9$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$ 'ye göre $30^\circ, 45^\circ$ ve 60° sıcaklık farklılıklarının yüzde olarak karşılaştırması

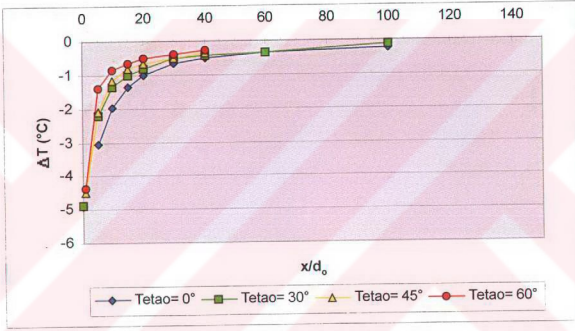
x/d_0	$\theta_0 = 0^\circ$ %	$\theta_0 = 30^\circ$ %	$\theta_0 = 45^\circ$ %	$\theta_0 = 60^\circ$ %
5	0	-39	-21	-59
10	0	-52	-36	-66
15	0	-52	-34	-59
20	0	-50	-37	-58
30	0	-46	-32	-50
40	0	-42	-34	-43
60	0	-28	-14	-64
Ortalama	0	-44	-30	-57



Şekil 96. $F_0 = 65,8$ ila $70,4$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ ve 60° için sıcaklık dağılımı karşılaştırması

Tablo 52. $F_o = 65,8$ ila $70,4$ aralığında $\theta_o = 0^\circ$ 'ye göre 30° , 45° ve 60° sıcaklık farklılıklarının yüzde olarak karşılaştırması

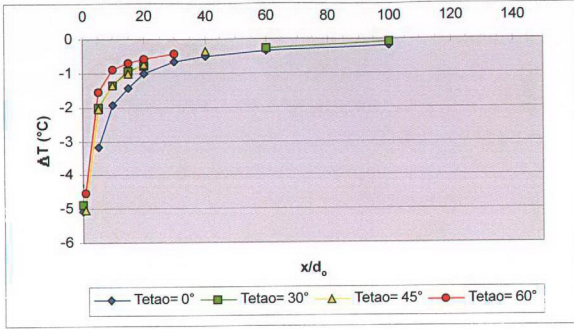
x/d_o	$\theta_o = 0^\circ$ %	$\theta_o = 30^\circ$ %	$\theta_o = 45^\circ$ %	$\theta_o = 60^\circ$ %
5	0	-37	-42	-58
10	0	-39	-41	-58
15	0	-31	-39	-58
20	0	-32	-41	-54
30	0	-23	-42	-44
40	0	-17	-34	-36
60	0	-5	-38	-
100	0	-45	-	-
Ortalama	0	-29	-40	-51



Şekil 97. $F_o = 83,2$ ila $92,1$ aralığında $\theta_o = 0^\circ$, 30° , 45° ve 60° için sıcaklık dağılımı karşılaştırması

Tablo 53. $F_o = 83,2$ ila $92,1$ aralığında $\theta_o = 0^\circ$ 'ye göre 30° , 45° ve 60° sıcaklık farklılıklarının yüzde olarak karşılaştırması

x/d_o	$\theta_o = 0^\circ$ %	$\theta_o = 30^\circ$ %	$\theta_o = 45^\circ$ %	$\theta_o = 60^\circ$ %
5	0	-27	-31	-54
10	0	-31	-41	-57
15	0	-25	-39	-51
20	0	-21	-34	-48
30	0	-21	-23	-38
40	0	-16	-29	-49
60	0	1	-	-
100	0	-45	-	-
Ortalama	0	-23	-33	-49



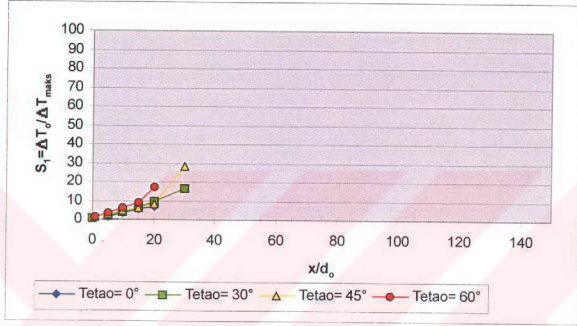
Şekil 98. $F_o = 132,3$ ila $155,5$ aralığında $\theta_o = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ ve 60° için sıcaklık dağılımı karşılaştırması

Tablo 54. $F_o = 132,3$ ila $155,5$ aralığında $\theta_o = 0^\circ$ 'ye göre $30^\circ, 45^\circ$ ve 60° sıcaklık farklılıklarının yüzde olarak karşılaştırması

x/d_o	$\theta_o = 0^\circ$ %	$\theta_o = 30^\circ$ %	$\theta_o = 45^\circ$ %	$\theta_o = 60^\circ$ %
5	0	-37	-35	-52
10	0	-31	-30	-54
15	0	-35	-29	-52
20	0	-24	-27	-44
30	0	-	-	-37
40	0	-	-34	-
60	0	-17	-	-
100	0	-60	-	-
Ortalama	0	-34	-31	-48

3.7. Deşarj Deliği Açısına Bağlı Birinci Seyrelme Değişimleri

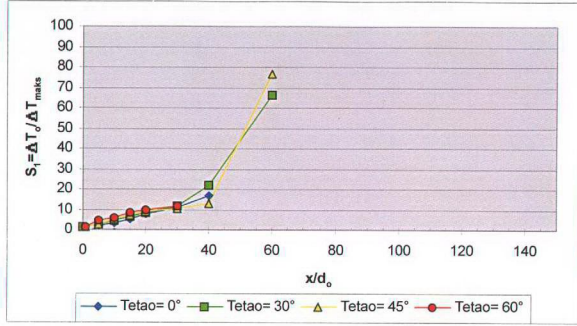
Deşarj deliği açısının yukarı yönlendirilmesi sonucunda başlangıç Froude sayılarına bağlı olarak yatay uzaklığa göre minimum birinci seyrelme S_1 değişimleri toplu halde $\theta_0 = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ ve 60° için Şekil 99 ile 106'da verilmiştir. Bu grafiklerdeki birinci seyrelme değerlerinin yatay hal ile farklılık yüzdeleri Tablo 55 ile 62'de verilmiştir.



Şekil 99. $F_0 = 7,6$ ila $9,2$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ ve 60° için birinci seyrelmelerin karşılaştırması.

Tablo 55. $F_0 = 7,6$ ila $9,2$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$ 'ye göre $30^\circ, 45^\circ$ ve 60° birinci seyrelme farklılıklarının yüzde olarak karşılaştırması

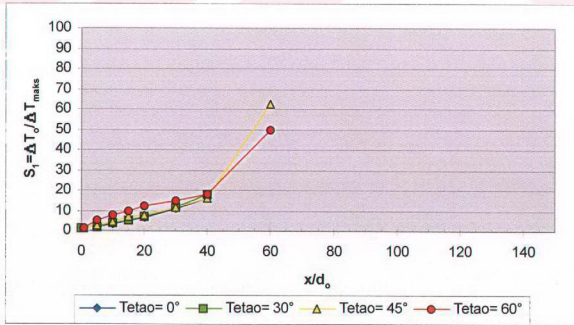
BİRİNCİ SEYRELME					BİRİNCİ SEYRELMEİNİN YATAY DEŞARJA GÖRE YÜZDESEL FARKLILIKLARI				
x/d_0	$\theta_0 = 0^\circ$	$\theta_0 = 30^\circ$	$\theta_0 = 45^\circ$	$\theta_0 = 60^\circ$	x/d_0	$\theta_0 = 0^\circ$ %	$\theta_0 = 30^\circ$ %	$\theta_0 = 45^\circ$ %	$\theta_0 = 60^\circ$ %
5	1,3	1,9	2,5	3,5	5	0	40	86	160
10	3,3	4,3	4,8	6,0	10	0	31	47	83
15	5,2	6,3	6,5	8,9	15	0	19	23	71
20	7,1	9,5	8,5	17,5	20	0	34	21	147
					Ortalama	0	31	44	115



Şekil 100. $F_0 = 16,6$ ila $19,1$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ ve 60° için birinci seyrelmelerin karşılaştırması

Tablo 56. $F_0 = 16,6$ ila $19,1$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$ 'ye göre $30^\circ, 45^\circ$ ve 60° birinci seyrelme farklılıklarının yüzde olarak karşılaştırması

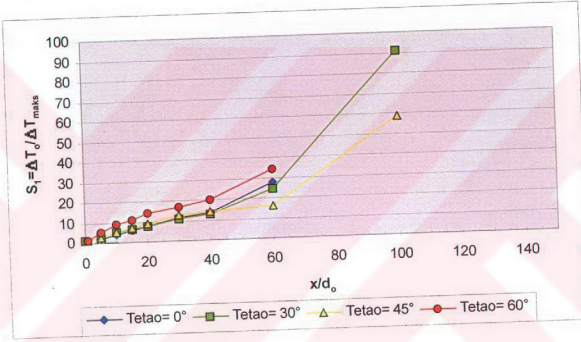
BİRİNCİ SEYRELME					BİRİNCİ SEYRELMEİNİN YATAY DEŞARJA GÖRE YÜZDESEL FARKLILIKLARI				
x/d_o	$\theta_0 = 0^\circ$	$\theta_0 = 30^\circ$	$\theta_0 = 45^\circ$	$\theta_0 = 60^\circ$	x/d_o	$\theta_0 = 0^\circ$ %	$\theta_0 = 30^\circ$ %	$\theta_0 = 45^\circ$ %	$\theta_0 = 60^\circ$ %
5	1,9	2,5	2,7	4,5	5	0	36	44	140
10	3,5	4,5	5,1	6,0	10	0	28	44	70
15	5,4	6,3	7,1	8,4	15	0	15	31	55
20	7,6	8,5	8,8	9,7	20	0	13	16	28
30	10,9	11,4	10,1	11,8	30	0	5	-7	8
40	16,9	21,7	13,0	-	40	0	28	-23	-
					Ortalama	0	21	17	60



Şekil 101. $F_0 = 21,2$ ila $25,2$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ ve 60° için birinci seyrelmelerin karşılaştırması

Tablo 57. $F_0 = 21,2$ ila $25,2$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$ 'ye göre 30° , 45° ve 60° birinci seyrelme farklılıklarının yüzde olarak karşılaştırması

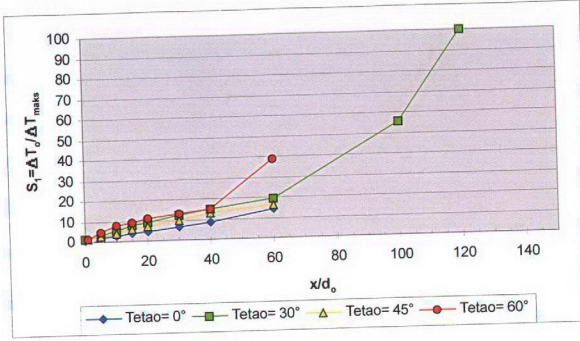
BİRİNCİ SEYRELME					BİRİNCİ SEYRELMEİN YATAY DEŞARJA GÖRE YÜZDESEL FARKLILIKLARI				
x/d_0	$\theta_0 = 0^\circ$	$\theta_0 = 30^\circ$	$\theta_0 = 45^\circ$	$\theta_0 = 60^\circ$	x/d_0	$\theta_0 = 0^\circ$ %	$\theta_0 = 30^\circ$ %	$\theta_0 = 45^\circ$ %	$\theta_0 = 60^\circ$ %
5	1,8	2,1	2,4	4,9	5	0	16	33	171
10	3,2	3,9	4,7	7,6	10	0	19	44	133
15	5,0	5,3	6,8	9,5	15	0	6	36	90
20	6,5	7,4	7,8	12,5	20	0	13	19	91
30	11,2	11,4	11,5	14,7	30	0	1	2	31
40	16,1	17,9	16,1	18,2	40	0	11	0	13
					Ortalama	0	11	22	88



Şekil 102. $F_0 = 32,9$ ila $35,2$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$, 30° , 45° ve 60° için birinci seyrelmelerin karşılaştırması

Tablo 58. $F_0 = 32,9$ ila $35,2$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$ 'ye göre 30° , 45° ve 60° birinci seyrelme farklılıklarının yüzde olarak karşılaştırması

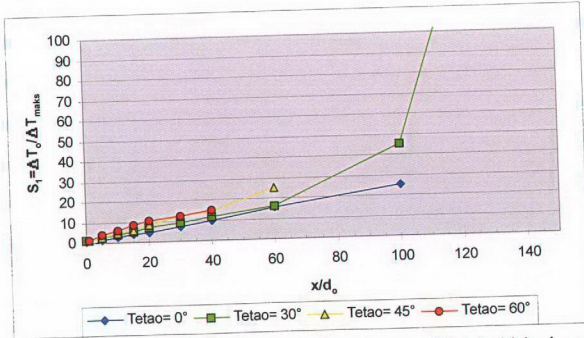
BİRİNCİ SEYRELME					BİRİNCİ SEYRELMEİN YATAY DEŞARJA GÖRE YÜZDESEL FARKLILIKLARI				
x/d_0	$\theta_0 = 0^\circ$	$\theta_0 = 30^\circ$	$\theta_0 = 45^\circ$	$\theta_0 = 60^\circ$	x/d_0	$\theta_0 = 0^\circ$ %	$\theta_0 = 30^\circ$ %	$\theta_0 = 45^\circ$ %	$\theta_0 = 60^\circ$ %
5	2,1	2,9	2,9	5,3	5	0	34	35	148
10	3,9	5,4	5,2	9,3	10	0	38	34	139
15	5,6	6,8	7,0	11,1	15	0	20	25	98
20	7,5	8,1	8,9	14,5	20	0	7	19	93
30	11,9	10,9	13,2	16,7	30	0	-9	11	40
40	13,5	13,0	14,3	20,0	40	0	-4	6	48
60	27,8	24,4	16,4	34,5	60	0	-12	-41	24
					Ortalama	0	11	13	84



Şekil 103. $F_0 = 48,6$ ila $52,9$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ ve 60° için birinci seyrelmelerin karşılaştırması

Tablo 59. $F_0 = 48,6$ ila $52,9$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$ 'ye göre $30^\circ, 45^\circ$ ve 60° birinci seyrelme farklılıklarının yüzde olarak karşılaştırması

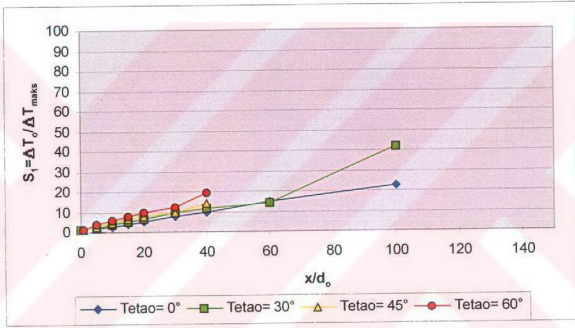
BİRİNCİ SEYRELME					BİRİNCİ SEYRELMEİNİN YATAY DEŞARJA GÖRE YÜZDESEL FARKLILIKLARI				
x/d_0	$\theta_0 = 0^\circ$	$\theta_0 = 30^\circ$	$\theta_0 = 45^\circ$	$\theta_0 = 60^\circ$	x/d_0	$\theta_0 = 0^\circ$ %	$\theta_0 = 30^\circ$ %	$\theta_0 = 45^\circ$ %	$\theta_0 = 60^\circ$ %
5	1,8	3,0	2,3	4,4	5	0	64	26	146
10	2,6	5,4	4,1	7,6	10	0	107	57	194
15	3,8	7,8	5,7	9,3	15	0	106	51	146
20	4,7	9,3	7,4	11,2	20	0	100	59	140
30	6,6	12,3	9,7	13,2	30	0	86	47	99
40	8,6	14,9	13,2	15,2	40	0	73	53	76
60	13,9	19,2	16,1	38,5	60	0	38	16	177
					Ortalama	0	82	44	140



Şekil 104. $F_0 = 65,8$ ila $70,4$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ ve 60° için birinci seyrelmelerin karşılaştırması

Tablo 60. $F_0 = 65,8$ ila $70,4$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$ 'ye göre 30° , 45° ve 60° birinci seyrelme farklılıklarının yüzde olarak karşılaştırması

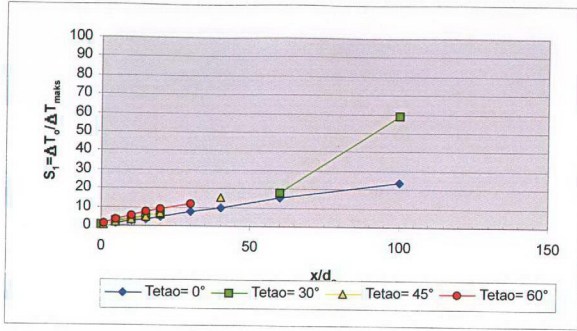
BİRİNCİ SEYRELME					BİRİNCİ SEYRELMEİNİN YATAY DEŞARJA GÖRE YÜZDESEL FARKLILIKLARI				
x/d_0	$\theta_0 = 0^\circ$	$\theta_0 = 30^\circ$	$\theta_0 = 45^\circ$	$\theta_0 = 60^\circ$	x/d_0	$\theta_0 = 0^\circ$ %	$\theta_0 = 30^\circ$ %	$\theta_0 = 45^\circ$ %	$\theta_0 = 60^\circ$ %
5	1,5	2,4	2,6	3,6	5	0	59	72	139
10	2,5	4,1	4,3	6,0	10	0	63	69	137
15	3,6	5,3	6,0	8,7	15	0	45	64	140
20	4,8	7,1	8,2	10,5	20	0	48	70	119
30	7,0	9,1	12,0	12,5	30	0	29	71	78
40	9,6	11,6	14,5	14,9	40	0	21	51	55
60	15,4	16,1	25,0	-	60	0	5	63	-
100	25,0	45,5	-	-	100	0	82	-	-
					Ortalama	0	44	66	111



Şekil 105. $F_0 = 83,2$ ila $92,1$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$, 30° , 45° ve 60° için birinci seyrelmelerin karşılaştırması

Tablo 61. $F_0 = 83,2$ ila $92,1$ aralığında $\theta_0 = 0^\circ$ 'ye göre 30° , 45° ve 60° birinci seyrelme farklılıklarının yüzde olarak karşılaştırması

BİRİNCİ SEYRELME					BİRİNCİ SEYRELMEİNİN YATAY DEŞARJA GÖRE YÜZDESEL FARKLILIKLARI				
x/d_0	$\theta_0 = 0^\circ$	$\theta_0 = 30^\circ$	$\theta_0 = 45^\circ$	$\theta_0 = 60^\circ$	x/d_0	$\theta_0 = 0^\circ$ %	$\theta_0 = 30^\circ$ %	$\theta_0 = 45^\circ$ %	$\theta_0 = 60^\circ$ %
5	1,6	2,2	2,4	3,6	5	0	37	45	117
10	2,6	3,7	4,4	5,9	10	0	44	71	131
15	3,7	5,0	6,1	7,7	15	0	33	64	106
20	5,0	6,3	7,5	9,6	20	0	26	50	92
30	7,6	9,7	9,9	12,3	30	0	27	30	62
40	9,9	11,8	13,9	19,2	40	0	19	40	94
60	14,7	14,5	-	-	60	0	-1	-	-
100	22,7	41,7	-	-	100	0	83	-	-
					Ortalama	0	34	50	100



Şekil 106. $F_o = 132,3$ ila $155,5$ aralığında $\theta_o = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ ve 60° için birinci seyrelmelerin karşılaştırması

Tablo 62. $F_o = 132,3$ ila $155,5$ aralığında $\theta_o = 0^\circ$ 'ye göre $30^\circ, 45^\circ$ ve 60° birinci seyrelme farklılıklarının yüzde olarak karşılaştırması

BİRİNCİ SEYRELME					BİRİNCİ SEYRELMEİNİN YATAY DEŞARJA GÖRE YÜZDESEL FARKLILIKLARI				
x/d _o	$\theta_o = 0^\circ$	$\theta_o = 30^\circ$	$\theta_o = 45^\circ$	$\theta_o = 60^\circ$	x/d _o	$\theta_o = 0^\circ$ %	$\theta_o = 30^\circ$ %	$\theta_o = 45^\circ$ %	$\theta_o = 60^\circ$ %
5	1,6	2,5	2,4	3,2	5	0	59	54	107
10	2,6	3,7	3,7	5,6	10	0	45	43	116
15	3,5	5,4	4,9	7,3	15	0	53	40	107
20	4,9	6,5	6,7	8,8	20	0	32	38	80
30	7,6	-	-	12,0	30	0	-	-	58
40	10,0	-	15,2	-	40	0	-	52	-
60	15,2	18,2	-	-	60	0	20	-	-
100	23,8	58,8	-	-	100	0	147	-	-
					Ortalama	0	59	45	94

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Durgun alıcı su ortamı içerisine $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ soğutularak dairesel delik çapı $d=1\text{cm}$ ve delik üzerindeki su yüksekliği $h= 50\text{ cm}$ olacak şekilde gerçekleştirilen soğukdeşarj deneylerinde,deşarj deliğinin yatayla yaptığı açı $\theta_0= 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ ve 90° için her bir deneyin ikişer kez tekrarlanarak elde edilen verilerin aritmetik ortalamalarının karşılaştırması aşağıda verilmektedir.

4.1. Yatay Delik ile Soğuk Deşarj

4.1.1. Yatay Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Merkezi Boyunca Sıcaklık Dağılımları

Delğin $\theta_0= 0^\circ$ açısı ile yatay gerçekleştirilen soğukdeşarj deneyleri sırasında jet merkez eksenı içerisine sıcaklık sensörü sokulması ile elde edilmiş olan jetlerin merkez eksenlerindeki boyuna sıcaklık dağılımları grafik olarak Şekil 30 ila 37'den de görüldüğü gibi sıcaklık farkı kaynaktan uzaklaştıkça hızlı bir azalma gösterdi. Gerçekleştirilen soğukdeşarjlar, delğin açısı $\theta_0= 0^\circ$ için ilk hızın artması ile birlikte yükselen F_0 sayısına bağlı olarak x/d_0 yatay uzaklığına bağlı olarak kaynaktan daha uzakta seyrermekle birlikte, Şekil 38 ila 39'dan da görüldüğü gibi bütün deneylerdeki sıcaklık değerlerinin değişimi birbirlerine son derece yakındır. Düşük hızlarda ısıl kirlilik daha kısa uzaklıkta seyrermekte, yüksek hızlıdeşarjlarda ise kirliliğin seyrermesi su kütlesi daha fazla ötelendikten sonra eşdeğer seviyeye ulaşmaktadır. Ancak, yasal kriter olan $\Delta T= -1^\circ\text{C}$ değerine $F_0= 9$ ila 35 arasında yaklaşık $x/d_0= 15$; $F_0= 52$ ila 132 arasında $x/d_0= 20$ gibi küçük değerlerde ulaşmaktadır. Tesislerin ani duruşlarındaki sınır ısıl kirlilik değeri $\Delta T= -0,5^\circ\text{C}$ değerine ise $F_0= 9$ ila 35 arasında yaklaşık $x/d_0= 25$ ila 30 ; $F_0= 52$ ila 132 arasında yaklaşık $x/d_0= 40$ uzaklığında ulaşıldı.

4.1.2. Yatay Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Yörüngeleri

Şekil 40'ta görüldüğü gibi, delğin yatay olduğu bütün bu deneylerin sonunda yataydeşarj edilen soğuk jetlerin hiç birinde tepe noktası oluşmayıp, jetlerin her zaman çökme hareketi yaptıkları belirlendi. Jetlerin ilk hızları ile doğru orantılı olarak x eksenı boyunca çökelmeye başlama noktalarınındeşarj başlangıcına olan uzaklığı artış gösterdi. İlk hızın düşük olduğu durumlarda saçaklaşma söz konusu oldu, diğer değişkenler sabit iken hız artırılıp yoğunluksal Froude sayısı F_0 büyütüldükçedeşarj edilen su kütlesi daha dar bir şekil alarak x ekseninde daha uzak noktalarda çökelmeye başladı. Jetlerin üst yüzeyleri daha düzgün şekilli oluştu ve alt yüzeylerinde ise özellikle ilk hızı düşük olanlarda esas çökme noktasına ulaşılmadan önce ana kütleden aşağı çökelen küçük kısımlar oluştu ve saçaklaştı. Tekrar deneyler yaklaşık olarak birbirleri üzerinde çakışmış yörüngeler oluşturdular. Jetteki saçaklaşma durumu $F_0= 9$ ila 21 arasında gerçekleşti. $F_0= 9$ ila 17 değerli jetler x ekseninden sapma göstererek sürekli bir sağa sola salınım yaptılar. Bu durum hızın artmasıyla $F_0= 17$ değerinde daha az meydana geldi. Başlangıç hızının daha yüksek olduğu $F_0= 35^\circ$ 'te saçak ile jet arasında geçiş devresi oluştu. $F_0= 52$ ila 132 arasındaki değerlerde soğuk sudeşarjının jet şeklinde davrandığı ve saçaklaşmanın oluşmadığı görüldü.

Yatay soğuk jetlerde jetin çökelererek tabana çarpmasının ardından akış tabanda sürüklenme şeklinde sürdü. Tabana çarptıktan sonra jet hızının azalması sayesinde su yüzeyine doğru yükselerek saçaklaşma eğilimi gösterdi. Bu durum ilk hızın düşük olduğu durumlarda daha belirgin şekilde gerçekleşirken, ilk hız arttıkça jet daha çok saçılmaksızın tabanda kütsel olarak sürüklenme hareketi yaptı. Jet içerisindeki sıcaklık ölçümlerinde jetin doğal akışı bir engele çarparak değiştiği için, Şekil 41’de görüldüğü gibi jet merkez ekseninde gerçekleştirilen sıcaklık ölçümleri daha çok jetin engele çarpmadığı noktalarda gerçekleştirildi ve ölçüm yapılan noktaların koordinatları verildi. Sıcaklık ölçümlerinin gerçekleştirildiği koordinatlar toplu olarak Şekil 42’de görülmektedir. Jet merkezi koordinatları tüm jetlerde $\theta_0=0^\circ$ için yaklaşık $x/d_0=20$ değerine kadar yörünge aynıdır. Daha yavaş olan jetler daha erken çöktü ve daha hızlı olan jetler hızlarına bağlı olarak bir miktar daha yatay yörüngelerini sürdürebildiler. Jet yörüngelerinin çakışık olduğu bu uzaklık aynı zamanda yasal kriter $\Delta T = -1^\circ\text{C}$ değerinin sağlandığı noktaya karşılık gelmektedir.

$\theta_0=0^\circ$ için $\Delta T = -5^\circ\text{C}$ için yasal kriterlerin sağlanması mümkün olmakla birlikte, istenen seyrelme değerinin sağlanabilmesi için yayıcı borunun tabana yerleştirildiği düşünülürse, aşağı doğru çökmekte olan jetin yeterince seyrelebilmesi için sadece yatay uzaklığa değil düşey olarak ta tabana doğru bir açıklığa gereksinim gösterdiği belirlendi. Özellikle $F_0 = 35$ ’e kadar enerjisi yüksek olamayan saçak olma eğilimindeki düşük hızlı jetlerin yeterince seyrelebilmesi için bu deneylerin gerçekleştirilmesi sırasında kullanılan $z/d_0 = -10$ değerini sağlaması yararlı olabilecektir. Atıksuyun yatay soğuk deşarjda sıcaklık bakımından yeterince seyrelese bile jetin tabanda kalma eğilimi nedeniyle, hem diğer kirlitici parametrelerin yeterince seyreldesinde sorunlar olabileceği, korunması amaçlanan alıcı ortam tabanının korunmasında iyi yönde etkisi az olabilir. Aynı zamanda jet, tabana mutlaka çarptığı için özellikle hızın yüksek olduğu durumlarda çarpma etkisi nedeniyle de canlı yaşamını olumsuz etkileme ve tabanı oyma yoluyla boru hattının dengesinin bozulmasına ve dolayısıyla tesisin hasar görmesine neden olabilecek özelliği olabildiğinden, yatay soğuk deşarj daha az tercih edilebilecek bir yol olarak ortaya çıkmaktadır.

4.2. 30° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarj

4.2.1. 30° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Merkezi Boyunca Sıcaklık Dağılımları

Delğin $\theta_0 = 30^\circ$ açısı ile açısı ile yukarı yönlendirilmiş halinde gerçekleştirilen soğuk deşarj deneyleri sırasında jet merkez eksenlerindeki boyuna sıcaklık dağılımları grafik olarak Şekil 43 ila 50’den de görüldüğü gibi sıcaklık farkı kaynaktan uzaklaştıkça hızlı bir azalma gösterdi. Gerçekleştirilen soğuk deşarjlar, delğin açısı $\theta_0 = 30^\circ$ yukarı doğru yükseltilmiş hal için, ilk hızın artması ile birlikte yükselen F_0 sayısına bağlı olarak x/d_0 yatay uzaklığına göre kaynaktan daha uzakta seyrelemekle birlikte, Şekil 51 ve 52’den de görüldüğü gibi bütün deneylerdeki sıcaklık değerlerinin değişimi birbirlerine son derece yakındır. Düşük hızlarda ısı kirlilik daha kısa uzaklıkta seyrelemekte, yüksek hızlı deşarjlarda ise kirliliğin seyreldesi su kütlesi daha fazla

ötelendikten sonra eşdeğer seviyeye ulaşmaktadır. Ancak, yasal kriter olan $\Delta T = -1^\circ\text{C}$ değerine $F_o = 8$ ila 155 arasında yaklaşık $x/d_o = 10$ ila 15 gibi küçük değerlerde ulaşıldı. Tesislerin ani duruşlarındaki sınır ısırlırlık değeri $\Delta T = -0,5^\circ\text{C}$ değeri ise $F_o = 8$ ila 155 arasında yaklaşık $x/d_o = 25$ ila 30 arasında oluştu.

Yatay uzaklığa göre soğuk deşarjın seyrelmesi, deliğın $\theta_o = 30^\circ$ yukarı yönlendirilmiş halinde, deliğın yatay olduğı $\theta_o = 0^\circ$ halinde incelenen bütün F_o sayılarından daha iyi sonuç verdi.

4.2.2. 30° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Yörüngeleri

Şekil 53'te görüldüğü gibi deliğın $\theta_o = 30^\circ$ yukarı yönlendirilmiş halinde deneyler sırasında jet hareketlerinde başlıca üç tip eğilim olduğı görüldü:

Birinci grup olarak, $F_o = 8$ olan deneylerde x eksenı boyunca jet zaman zaman sağa sola salınım yaparak doğrusal ekseninden şaştı. Bu durum, $F_o = 8$ ila 155 arasındaki bu çalışmadaki incelemelerde hızın en yavaş olduğı en küçük $F_o = 8$ değeriinde ortaya çıktı; hızın artırıldığı diğer durumlarda $\theta_o = 30^\circ$ açısı için salınım olmadığı görüldü. Salınımlı haldeki bu soğuk deşarj kütleleri saçak şeklindedir.

İkinci grubu oluşturan deşarjlar $F_o = 18-33$ arasındaki değeri aldı, x eksenı boyunca jet doğrusal hareket etti ve su yüzeyine ulaşamadı, normal tepe noktasına sahip su kütleleri oluşturdular. Bu gruptaki deşarjlar herhangi bir engelle karşılaşmadıkları için serbestçe hareket ettiler. Deşarjlar $F_o = 18$ ila 20 arasında saçak, $F_o = 33$ 'te saçak/jet şeklinde sınıflandırıldılar.

Üçüncü grup jetler ise $F_o = 47-155$ arasındaki deneylerde oluştular. Bu jetler, başlangıç hızlarının büyüklüğü nedeniyle su yüzeyine çarptıktan sonra aşağı yöneldiler. F_o değeri küçük olanların başlangıç hızları da küçük olduğundan, su yüzeyine ulaşmaları daha uzun süre aldı ve bu sürede x eksenı boyunca daha fazla yol kat ettiklerinden su yüzeyi ile çakışma uzaklıkları F_o sayısının büyük olduğı jetlerden daha büyük oldu.

Bütün deneyler sırasında jetleri üst yüzeyleri daha düzgün şekiller oluştururken alt yüzeyinden sürekli tabana doğru bir saçaklaşma söz konu oldu. Bu durum ilk hızın daha küçük olduğı durumlarda daha büyük boyutta gerçekleşti. Aşağı doğru saçaklanma durumu $F_o = 63$ ve daha büyük değeri için jetin tepe noktasına ulaştıktan

sonra aşağı iniş devresinde gerçekleşti. Deşarjlar “at kuyruğu” şeklini aldılar. Diğer taraftan jetlerin hareketlerine başladıkları kısımda, çıkış hızının daha etkin olduğu, jet hareketinin oluşum bölgesinde aşağı doğru saçaklaşmanın hiç oluşmadığı bir bölge bulunmaktadır. Bu kısım F_o sayısının artmasıyla büyüdü. $F_o = 8-155$ arasında gerçekleştirilen deneylerin hiç birinde $\theta_o = 30^\circ$ yukarı yönlendirilmiş hali için kirlilik deşarj yönüne doğru geri dönmedi.

Şekil 55’te görüldüğü gibi, deliğin $\theta_o = 30^\circ$ açısı ile yukarı yönlendirildiği halde, deşarj sıcaklığı alıcı ortam suyu sıcaklığından -5°C küçük olan durum için bütün deneyler sonunda jetlerin ilk hızla doğru orantılı olarak z eksenı boyunca yükselme miktarlarının arttığı, ancak bir tepe noktasına ulaştıktan sonra veya su yüzeyine çarptıktan sonra tabana kadar indikleri belirlendi.

4.3. 45° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarj

4.3.1. 45° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Merkezi Boyunca Sıcaklık Dağılımları

Şekil 56-65’ten de görüldüğü gibi $\theta_o = 45^\circ$ için sıcaklık dağılımları $\theta_o = 30^\circ$ ’dekilere benzerlik göstermektedir. Yasal kriter olan $\Delta T = -1^\circ\text{C}$ değerine $F_o = 9$ ila 35 arasında yaklaşık $x/d_o = 10$; $F_o = 52$ ila 138 arasında yaklaşık $x/d_o = 15$ gibi küçük değerlerde ulaşıldı. Tesislerin ani duruşlarındaki sınır ısı kirlilik değeri $\Delta T = -0,5^\circ\text{C}$ değerine ise $F_o = 9$ ila 138 arasında yaklaşık $x/d_o = 25$ ila 30 arasında oluştu.

Yatay uzaklığa göre soğuk deşarjın seyrelmesi, deliğin $\theta_o = 45^\circ$ yukarı yönlendirilmiş halinde, deliğin yatay olduğu $\theta_o = 0^\circ$ ve 30° halinde incelenen bütün F_o sayılarından daha iyi sonuç verdi.

4.3.2. 45° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Yörüngeleri

Şekil 66’da görüldüğü gibi deliğin $\theta_o = 45^\circ$ yukarı yönlendirilmiş halinde deneyler sırasında jet hareketlerinde başlıca üç tip eğilim olduğu görülmüştür:

Birinci grup olarak, $F_o = 9$ ila 17 olan deneylerde x eksenı boyunca jet zaman sağa sola salınım yaparak doğrusal ekseninden şaştı. Bu durum, $F_o = 9$ ila 138 arasındaki bu çalışmadaki incelemelerde hızın en yavaş olduğu $F_o = 9$ ila 17 değerlerinde ortaya çıktı; hızın artırıldığı diğer durumlarda $\theta_o = 45^\circ$ açısı için salınım olmadığı görüldü. Salınımlı haldeki bu soğuk deşarj kütleleri saçak şeklindedir.

İkinci grubu oluşturan deşarjlar $F_0 = 22$ olup, x eksenini boyunca jet doğrusal hareket etti ve su yüzeyine ulaşamadı, normal tepe noktasına sahip su kütleleri oluşturdular. Bu gruptaki deşarjlar herhangi bir engelle karşılaşmadıkları için serbestçe hareket ettiler. Deşarjlar $F_0 = 9$ ila 22 arasında saçak, $F_0 = 35$ saçak/jet şeklinde sınıflandırıldılar.

Üçüncü grup jetler ise $F_0 = 35-138$ arasındaki deneylerde oluştular. Bu jetler, başlangıç hızlarının büyüklüğü nedeniyle su yüzeyine çarptıktan yapay tepe noktası oluşturduktan sonra aşağı yöneldiler. F_0 değeri küçük olanların başlangıç hızları da küçük olduğundan, su yüzeyine ulaşmaları daha uzun süre aldı ve bu sürede x eksenini boyunca daha fazla yol kat ettiklerinden su yüzeyi ile çakışma uzaklıkları F_0 sayısının büyük olduğu jetlerden daha büyük oldu.

Bütün deneyler sırasında jetleri üst yüzeyleri daha düzgün şekiller oluştururken alt yüzeyinden sürekli tabana doğru bir saçaklaşma söz konusu oldu. Bu durum ilk hızın daha küçük olduğu hallerde daha büyük boyutta gerçekleşti. Aşağı doğru saçaklanma durumu $F_0 = 68$ ve daha büyük değerler için jetin tepe noktasına ulaştıktan sonra aşağı iniş devresinde gerçekleşti. Deşarjlar “at kuyruğu” şeklini aldılar. Diğer taraftan jetlerin hareketlerine başladıkları kısımda, çıkış hızının daha etkin olduğu, jet hareketinin oluşum bölgesinde aşağı doğru saçaklaşmanın hiç oluşmadığı bir bölge bulunmaktadır. Bu kısım F_0 sayısının artmasıyla büyüdü. $F_0 = 9-68$ arasında gerçekleştirilen deneylerin hiç birinde $\theta_0 = 45^\circ$ yukarı yönlendirilmiş hali için kirlilik deşarj yönüne doğru geri dönmedi. Ancak $F_0 = 92$ değerinde önemsiz miktarda, $F_0 = 138$ değerinde ise önemli miktarda deşarj deliğine su yüzeyine çarpan jetin geriye doğru kama oluşturarak kirliliği kendi üzerine bıraktı.

Şekil 68’de görüldüğü gibi, deliğin $\theta_0 = 45^\circ$ açısı ile yukarı yönlendirildiği halde, deşarj sıcaklığı alıcı ortam suyu sıcaklığından -5°C küçük olan durum için bütün deneyler sonunda jetlerin ilk hızla doğru orantılı olarak z eksenini boyunca yükselme miktarlarının arttığı, ancak bir tepe noktasına ulaştıktan sonra veya su yüzeyine çarptıktan sonra tabana kadar indikleri belirlendi.

4.4. 60° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarj

4.4.1. 60° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Merkezi Boyunca Sıcaklık Dağılımları

Şekil 69-78’den de görüldüğü gibi $\theta_0 = 60^\circ$ için sıcaklık dağılımları $\theta_0 = 30^\circ$ ve 45° ’dekilere benzerlik göstermektedir. Yasal kriter olan $\Delta T = -1^\circ\text{C}$ değerine $F_0 = 7$ ila 52 arasında yaklaşık $x/d_0 = 5$ ila 10; $F_0 = 68$ ila 145 arasında yaklaşık $x/d_0 = 10$ gibi küçük

değerlerde ulaşılmıştır. Tesislerin ani duruşlarındaki sınır ısırlırlık değeri $\Delta T = -0,5^{\circ}\text{C}$ değeri ne ise $F_0 = 7$ ila 145 arasında yaklaşık $x/d_0 = 15$ ila 20 arasında oluştı.

Yatay uzaklığa göre soğuk deşarjın seyrelmesi, deliğın $\theta_0 = 60^{\circ}$ yukarı yönlendirilmiş halinde, deliğın yatay olduğu $\theta_0 = 0^{\circ}$, 30° ve 45° halinde incelenen bütün F_0 sayılarından daha iyi sonuç verdi.

4.4.2. 60° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Yörüngeleri

Şekil 79’da görüldüğü gibi deliğın $\theta_0 = 60^{\circ}$ yukarı yönlendirilmiş halinde deneyler sırasında jet hareketlerinde başlıca iki tip eğilim olduğu görüldü:

Birinci grup olarak, $F_0 = 7$ ila 16 olan deneylerde x eksenı boyunca jet zaman sağı sola salınım yaparak doğrusal ekseninden şaştı. Bu durum, $F_0 = 7$ ila 145 arasında bu çalışmadaki incelemelerde hızın en yavaş olduğu $F_0 = 7$ ila 16 değerlerinde ortaya çıktı; hızın artırıldığı diğır durumlarda $\theta_0 = 60^{\circ}$ açısı için salınım olmadığı görüldü. Salınlımlı haldeki bu soğuk deşarj kütleleri saçak şeklindedir. Bu deşarj kütleleri bir tepe noktasına ulaştıktan sonra çöktüler.

İkinci grubu oluştıran deşarjlar $F_0 = 25$ olup, x eksenı boyunca jet, doğrusal hareket etti ve su yüzeyine çarparak yapay tepe noktasına ulaştığı su kütleleri oluşturdular. Bu gruptaki deşarjlar saçak şeklinde olmaya devam ettiler. Deşarjlar $F_0 = 7$ ila 25 arasında saçak, $F_0 = 34$ saçak/jet şeklinde sınıflandırıldılar.

$F_0 = 34$ -145 arasındaki deneylerde deşarj edilen su kütlesi jet halindedir ve çok kısa bir uzaklık içerisinde yapay tepe noktasına ulaştıktan sonra aşağıya doğru çökmektedir. F_0 değeri küçük olanların başlangıç hızları da küçük olduğundan, su yüzeyine ulaşmaları daha uzun süre aldı ve bu sürede x eksenı boyunca daha fazla yol kat ettiklerinden su yüzeyi ile çakışma uzaklıkları F_0 sayısının büyük olduğu jetlerden daha büyük oldu. Ancak, $\theta_0 = 60^{\circ}$ açısı için su derinliğı çok kısıtlı kaldığından daha yatay olan delik açıları kadar etkili koordinat etkileşimi gerçekleşmedi.

Bütün deneyler sırasında jetleri üst yüzeyleri daha düzgün şekiller oluştıırken alt yüzeyinden sürekli tabana doğru bir saçaklaşma söz konusu oldu. Bu durum ilk hızın daha küçük olduğu durumlarda daha büyük boyutta gerçekleşti. Aşağı doğru saçaklanma durumu $F_0 = 52$ ve daha büyük değerler için jetin tepe noktasına ulaştıktan sonra aşağı iniş devresinde gerçekleşti. Deşarjlar “at kuyruğı” şeklini aldılar. Diğır

tarafından jetlerin hareketlerine başladıkları kısımda, çıkış hızının daha etkin olduğu, jet hareketinin oluşum bölgesinde aşağı doğru saçaklaşmanın hiç oluşmadığı bir bölge bulunmaktadır. Bu kısım F_0 sayısının artmasıyla büyüdü. $F_0 = 7-34$ arasında gerçekleştirilen deneylerin hiç birinde $\theta_0 = 60^\circ$ yukarı yönlendirilmiş hali için kirlilik deşarj yönüne doğru geri dönmedi. Ancak, $F_0 = 53$ değerinde önemsiz miktarda, $F_0 = 68$ değerinden başlayarak ise önemli miktarda deşarj deliğine su yüzeyine çarpan jetin geriye doğru kama oluşturarak kirliliği kendi üzerine bırakması söz konusudur.

Şekil 81’de görüldüğü gibi, deliğin $\theta_0 = 60^\circ$ açısı ile yukarı yönlendirildiği halde, deşarj sıcaklığı alıcı ortam suyu sıcaklığından -5°C küçük olan durum için bütün deneyler sonunda jetlerin ilk hızla doğru orantılı olarak z eksenini boyunca yükselme miktarlarının arttığı, ancak bir tepe noktasına ulaştıktan sonra veya su yüzeyine çarptıktan sonra tabana kadar indikleri belirlendi.

4.5. 90° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarj

4.5.1. 90° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Merkezi Boyunca Sıcaklık Dağılımları

Deliğin $\theta_0 = 90^\circ$ açısı ile yukarı yönlendirilmiş halde gerçekleştirilen soğuk deşarj deneyleri sırasında jet merkez eksenlerindeki boyuna sıcaklık dağılımları grafik olarak Şekil 82 ila 87’den de görüldüğü gibi sıcaklık farkı kaynaktan uzaklaştıkça hızlı bir azalma gösterdi. Gerçekleştirilen soğuk deşarjlar, deliğin açısı $\theta_0 = 90^\circ$ yukarı doğru yükseltilmiş hal için, ilk hızın artması ile birlikte yükselen F_0 sayısına bağlı olarak z/d_0 düşey uzaklığına göre kaynaktan daha uzakta seyrelmekle birlikte, Şekil 88 ve 89’den de görüldüğü gibi bütün deneylerdeki sıcaklık değerlerinin değişimi birbirlerine son derece yakındır. Düşük hızlarda ısı kirlilik daha kısa uzaklıkta seyrelmekte, yüksek hızlı deşarjlarda ise kirliliğin seyrelmesi su kütlesi daha fazla ötelendikten sonra eşdeğer seviyeye ulaşmaktadır. Ancak, yasal kriter olan $\Delta T = -1^\circ\text{C}$ değerine $F_0 = 20$ ila 238 arasında yaklaşık $z/d_0 = 15$ ila 20 gibi küçük değerlerde ulaşılmıştır. Tesislerin ani duruşlarındaki sınır ısı kirlilik değeri $\Delta T = -0,5^\circ\text{C}$ değerine ise $F_0 = 20$ ila 26 arasında sınırlı derinlikte ulaşamadı, seyrelmiş değerler yüksek kaldı. $F_0 = 39$ ila 238 $\Delta T = -0,5^\circ\text{C}$ değeri yaklaşık $z/d_0 = 30$ ila 40 arasında oluştu.

Yatay bileşeni olan diğer açılardaki deşarj deliklerinin soğuk deşarj seyrelme değerlerine göre soğuk deşarjın seyrelmesi, deliğin $\theta_0 = 90^\circ$ dik olarak yukarı yönlendirilmiş halinde, deliğin yatay olduğu $\theta_0 = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ ve 60° halinde incelenen bütün F_0 sayılarından daha farklı kategoride sonuç verdi. Ancak, kirliliğinin tamamının kendi üzerine çökmesi olumsuz bir özelliğidir.

4.5.2. 90° Yukarı Yönlendirilmiş Delik ile Soğuk Deşarjda Jet Yörüngeleri

Şekil 90'da görüldüğü gibi deliğin $\theta_0 = 90^\circ$ yukarı yönlendirilmiş halinde deneyler sırasında z eksenine göre tam simetrik akış oluşmaktadır. Jet hareketlerinde her zaman kendi üzerine çökmenin olduğu, önce su kütesinin yukarı akışı (şekillerde a şıkkı) olan ve daha sonra kendi üzerine çöküşün gerçekleştiği (şekillerde b şıkkı) hepsi iki aşamalı başlıca iki tip eğilim olduğu görüldü:

Birinci grup olarak, $F_0 = 20$ olan deneylerde z ekseni boyunca jet zaman zaman sağa sola salınım yaptı. Ancak, bu salınım şekli yatay ve eğimli soğuk deşarj durumlarından farklı olarak doğrusal ekseninden şaşmaya neden olmayıp, jetin yan yüzlerinin çökme aşamasında sağa sola düşmesi şeklinde gerçekleşti. Daha önceki yüzeye doğru hareketinde ise su kütlesi simetrik kaldı. Hızın artırıldığı diğer hallerde $\theta_0 = 90^\circ$ açısı için çökme sırasında salınım olmadığı görüldü. Salınlı haldeki soğuk deşarj kütleleri saçak şeklinde oluştu. Bu deşarj kütleleri bir tepe noktasına ulaştıktan sonra çökmüşlerdir. Su kütlesi klasik "gül" şeklindedir. Ancak bu ilk grupta tepe noktasının olduğu z yüksekliği aşırı değişkenlik göstermektedir ve kararsız şekil oluşturmaktadır.

İkinci grubu oluşturan deşarjlarda $F_0 = 26$ ila 238 olup, z ekseni boyunca jet doğrusal hareket etti ve su yüzeyine çarparak yapay tepe noktasına ulaştığı su kütleleri oluşturdular. Bu gruptaki deşarjlar $F_0 = 26$ için saçak/jet şeklinde, daha büyük F_0 değerleri için jet şeklindedir.

$F_0 = 39-238$ arasındaki deneylerde deşarj edilen su kütlesi jet halindedir ve çok kısa bir uzaklık içerisinde yapay tepe noktasına ulaştıktan sonra aşağıya doğru çökmektedir. F_0 değeri küçük olanların başlangıç hızları da küçük olduğundan, su yüzeyine ulaşmaları daha uzun süre aldı ve bu sürede x ekseni boyunca daha fazla yol kat ettiklerinden su yüzeyi ile çakışma uzaklıkları F_0 sayısının büyük olduğu jetlerden daha büyük oldu.

4.6. Deşarj Deliği Açısına Bağlı Olarak Sıcaklık Dağılımları ve Birinci Seyrelmelerin Karşılaştırılması

Soğuk su deşarjında tekil jet incelendiğinde, aynı cins su ortamı içerisinde verilen atık ısının seyreltme yöntemiyle bertaraf edilebildiği görüldü. Verilen negatif sıcaklık farklılığının klasik olarak yatay deşarjı halinde seyrelmesinin mümkün olduğu, sıcaklığın alıcı ortam içerisinde dağılarak sönmülenebildiği belirlendi. $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ başlangıç koşulu için yasal olarak alıcı ortamda izin verilen elverişsiz sıcaklık değişimi izin değerleri sürekli deşarj için 1°C ve 1 saatlik anlık değişim için $0,5^\circ\text{C}$ olduğu göz önünde tutulduğunda, elverişsiz birinci seyrelme değerleri de sırasıyla $S_1 = 5$ ve $S_1 = 10$

olmaktadır. Başlangıç yoğunluksal Froude sayısı 7,6-155,5 aralığında $S_1 = 5$ koşulu gerçekleştirilen bütün deneylerde yatay uzaklık $x/d_0 = 5-20$ aralığında, $S_1 = 10$ koşulu ise $x/d_0 = 20-40$ aralığında sağlandı. Yataya göre yukarı doğru açı verilmesi halinde birinci seyrelmenin daha etkin olarak sağlandığı, kısa bir yatay uzaklık içerisinde açı arttıkça seyrelme değerinin de arttığı belirlendi. Birinci seyrelme değerleri $\theta_0 = 0^\circ$ esas alındığında, diğer açılardaki bu değerlere göre yüzde olarak artış miktarları $\theta_0 = 30^\circ$, 45° ve 60° için sırasıyla %11-44, %13-66 ve %60-140'tır.

4.7. Soğuk Su Deşarjının Çok Delikli Yayıcı ile Yapılmasının Proje Kriterleri Bakımından Değerlendirilmesi

Bu çalışmanın konusunu oluşturan soğuk su deşarjının kıyıya tek bir kaynaktan verilmesi yerine alternatif olarak alıcı su ortamına tabandan çok delikli yayıcı boru ile verilmesinin çevresel açıdan olumlu tarafta kaldığı görüldü. Sıcaklığın kısa uzaklıklarda ortam sıcaklığına yaklaşabilmesi, gerek sıcaklığın seyrelmesinin yasal kriterleri sağlaması açısından ve gerekse kirliliğin kısa bir uzaklık içerisinde etkisiz hale gelebilmesi bakımından, çok delikli yayıcıların soğuk su deşarjında kullanımının yararlı olduğunun açık göstergelerini oluşturmaktadır. Bu çalışmanın sonucunda ortaya çıkan sonuçlar yayıcı borunun üzerindeki deliklerin yatay olarak yerleştirildiği klasik kullanımının su jeti tabana doğru çöktüğünden ve her zaman delik ile taban arasında yeterli boşluk bulunamayabileceğinden tek başına yeterli olmasının güç olduğunu göstermektedir. Yatay deşarj, ancak tıpkı maden atıksularının bir daha yükselmek ve seyrelmemek üzere alıcı ortam tabanına bırakıldığı durumlardaki gibi deniz vb. büyük su kütlelerindeki açık su tarafına doğru fazla eğimli durumlarda daha kolay kullanılabilir bir seçenek olabilir.

Deşarj deliğinin yatayla su yüzeyine doğru yukarı yaptığı açı $\theta_0 = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ ve 90° değerleri ile yapılan deneyler, soğuk deşarjın tamamının hız etkisi ile kontrol edilen yoğun deşarjlar olduklarını ortaya koydu. Yatay deşarj edilen jetlerin tamamının hiç bir şekilde yukarı hareket etmeksizin sürekli çökmesi, deliğe yukarı açı verilmesi halinde bile ilk hızın düşey bileşeni ile yukarı yükselip sonra tekrar aşağı çökmesi, jetlerin tamamen hız etkisi ile hareket ettiği sonucuna varılmasına neden oldu. Soğuk su deşarjında oluşan bu yoğun jetlerin sadece ilk hız etkisi ile başlangıç hareketini gerçekleştirdiğinin en büyük göstergelerinden biri de $\theta_0 = 90^\circ$ halinde bile jetlerin yukarı doğru yükseldikten sonra mutlaka aşağı doğru çökmesidir. Üstelik çökme sonucunda jet kendi kaynağı üzerine düştüğünden ısı seyrelme gerçekleştiği halde bu kirliliğin veya başka bir kirlilik türünün kendi üzerine yığılma eğilimi göstermesi seyreltme yapmak üzere tasarımı gerçekleştirilen bir tesisin başarımlarını tehlikeye sokabilecek özelliğe sahiptir. Ayrıca, $\theta_0 = 90^\circ$ halinde jet çapı deşarj borusu üzerinde genişlediği ve jet su yüzeyine çarparak tabana doğru geri geldiğinde sürekli genişleme eğilimi gösterdiğinden, yan yana yerleştirilecek deşarj deliklerinde kirliliğin üst üste binmesi durumu oluşabileceğinden tasarımın başarıya ulaşması veya kirliliğin üst üste binmesinin önlenmesi için delikler arasındaki uzaklığın çok fazla tutularak ekonomiklikten uzaklaşılması da olumsuz faktörler arasında sayılabilir.

Soğuk deşarjda yatay ve düşey seçenekleri yerine deliğin yukarı doğru yönlendirildiği $\theta_0 = 30^\circ$, 45° ve 60° seçenekleri ele alındığında daha olumlu tarafta kalındığı sonucu ortaya çıktı. Yukarı doğru eğim verilmiş deliklerin kullanıldığı soğuk deşarj ile hem deşarjın gerçekleştirildiği su kütlesinden daha etkin yararlanma sağlanabilirken, diğer taraftan da sıcaklık dışındaki başka kirlilik parametrelerinin yatay hale göre daha yüksek bir seyrelmenin sağlanması ve daha uzun bir yörüngenin oluşması, yararlı özelliklerdir. Diğer taraftan, kirliliğin tamamen veya kısmen kendi üzerine çökmemesi, jetin düşey halin aksine daha kararlı bir akış hali alması da eğimli deşarjın olumlu özellikleri arasında yer almaktadır. Yukarı eğimli deşarjın diğer bir olumlu yönü de su yüzeyine çarpılarak yapay tepe noktası oluşsa bile seyrelmenin yüksek seviyede oluşabilmesi ve kirliliğin ilk hız etkisi ile kaynaktan uzağa taşınmıyor olmasıdır. Bu durum ilk hızın yardımıyla kirliliğin istenen yöne gönderilebilmesi özelliğinden yararlanılabilmesini de sağlayabilmektedir.

Seyrelme bakımından yukarı eğimli deşarjların karşılaştırılması sonucunda $\theta_0 = 60^\circ$ delik açısının en verimli seçenek olduğu, $\theta_0 = 45^\circ$ ikinci, $\theta_0 = 30^\circ$ üçüncü en iyi seyreltme verimine sahip oldukları belirlendi. Bu durumda eğimin artmasıyla birlikte su sütunundan daha kısa yatay uzaklıklarda daha fazla yararlanılması durumu söz konusu olmaktadır.

Eğimin artırılması yayıcı borunun hemen yanındaki su kütlesinin seyrelmede etkin olarak kullanımını sağlarken diğer taraftan yine eğimin yüksek olduğu $\theta_0 = 60^\circ$ 'de daha fazla olmak üzere $\theta_0 = 45^\circ$ ve 60° delik açılarında deşarj kaynağına doğru deneylerin gerçekleştirildiği aralıklarda deşarj deliği üzerindeki su yüksekliği $h = 50 \cdot d_0$ koşulu altında, yüksek yoğunluksal Froude sayılarında oluşan kamalar kirliliğin kendi üzerine geri dönebileceği bir durumu işaret etmektedir. Ancak $\theta_0 = 30^\circ$ 'de geriye doğru bir kama gerçekleştirilen deney aralığı içerisinde rastlanmamıştır. $\theta_0 = 30^\circ$ 'de diğer açılara göre su yüzeyine daha küçük bir düşey hız bileşeni olması nedeniyle jetin yavaş gelişi ve çarpma sonucu oluşan yayılmanın açının da küçüklüğü yardımıyla kaynak tarafına yönelmemesi nedeniyle bu durum olduğu düşünülebilir. Isıl deşarjın özellikle sığ sulara gerçekleştirilmesinin daha fazla tercih edilen bir durum olduğu düşünülürse, $\theta_0 = 30^\circ$ 'nin sığ koşullara daha uygun olduğu seçeneği sırasıyla 45° ve 60° 'nin izlediği belirtilebilir. Ama derinliğin daha fazla olduğu deşarj noktalarında daha dik açılar ve özellikle en verimli olan $\theta_0 = 60^\circ$ de kullanılabilir.

Bu çalışmanın en önemli sonuçlarından birisi de verilen ısı kirliliğinin daima jet merkezinde maksimum değerde olmasıdır. Bu özellik, soğuk deşarjın dışındaki deşarj edilen diğer kirlilik tiplerine sahip jetlerde de bulunan bir özelliktir. Doğal olarak alıcı ortam ile deşarj edilen jet arasındaki karışımın en az olduğu kısım merkezde oluşmaktadır. Bu özelliğin soğuk su deşarjında da olduğunun bilinmesi, jetlerin birbirleri üzerine girişim yapması sonucunda seyrelme veriminin düşmesinin önlenmesinde etkin önlemlerin alınmasına yardımcı olabilecektir. Verilen kirliliğin jet merkezinde maksimum düzeyde olması, su kütlesinin salınım yapması veya çıkış deliği

normal ekseninden yörüngesinin sapması hallerinde de sürdü. Bu nedenle, yan yana olan jetlerin birbirlerine çarparak kirlilik yığılması olmasında en elverişsiz durumu jet merkezlerinin çakışması durumu oluşturmaktadır. Bu elverişsiz durumdan kaçınılması için deşarj edilen jetin kararlı bir akış sergilediği salınımın olduğu veya normal eksenden sapmanın bulunduğu düşük hızların oluşmaması sağlanmalıdır.

Deşarj edilen su kütlelerinin birbirleri üzerine yığılarak seyrelme veriminin azalması tehlikesinde etkili olan parametre sadece delik açısının dikliği ve jetin çökme özelliği değildir; aynı zamanda, yan yana olan deliklerdeki jetlerin de birbirlerine karışması önemli ve engellenmesi gereken bir durumdur. Yan yana bulunan deliklerdeki jetlerin birbirlerine karışmasının önlenmesi için delikler arası uzaklığın jet genişliklerinden daha fazla olması ve deliklerin zikzak şeklinde yayıcıya yerleştirilmesi seçeneklerinin yanı sıra, yayıcıya dik eksene göre salınım ve/veya sapma yapan su jeti halinden de uzakta kalmak gereklidir. Bu çalışmada gerçekleştirilen bütün açılarda düşük hızlarda az ya da çok salınım ile karşılaşılabilirdiğinden, salınımın hiç gerçekleşmediği $F_0 = 40$ değerinin tasarımlarda en küçük değer olarak seçilmesinin daha uygun olabileceği görülmektedir. Bu değer aynı zamanda saçak/jet geçiş evresine karşılık geldiğinden deşarj edilen su kütlesinin saçaklaşarak kararsız ve kısa uzaklıkta fazla genişleyerek yan delikten çıkan deşarjla karışma riskinin olduğu durumdan uzakta kalınmasına yardımcı olabilecektir.

Bu çalışmada incelenen tüm açılarda alıcı ortama verilen -5°C ısı kirlilik için diğer veriler sabit kalmak kaydıyla ilk çıkış hızının yüksek olduğu en büyük yoğunluksal Froude sayılarında dolayısıyla yüksek debilerde bile soğuk deşarjın seyrelmesinin çalışılan aralıkta kütleden az etkilendiği görülmüştür. Bu durum, özellikle 30° , 45° ve 60° için kabul edilebilir kaynaktan ötelenme sonunda istenen seyrelmenin elde edilebileceğini göstermektedir. Isıl atıksuların deşarj debileri evsel vb. atıksu debilerine göre yaklaşık hem on kat kadar daha büyük, hem de daha sığ ortamlara deşarj edildiklerinden bu sonuç son derece önemlidir. Bu sayede, yüksek debiye ve daha kısıtlı derinliğe rağmen verimli bir seyrelmenin elde edilmesi çok delikli yayıcı boru kullanılan deşarj tesisleri ile gerçekleştirilebilecektir.

Bu çalışmanın sonucunda elde edilen seyrelme ve yörünge değerleri sadece çok delikli yayıcıların tek bir deliğinde değil, aynı zamanda başka bir deşarj seçeneği olarak derin su ortamında tek delik ile gerçekleştirilecek soğuk su deşarjlarının tasarımında kullanılabilir.

4.8. Soğuk Su Deşarjı Sonuçlarının Türkiye İçin Genel Değerlendirilmesi

Özellikle LNG terminallerinde ısıtma işlemleri sonucunda ortaya çıkan büyük miktardaki soğuk suyun deşarjı ile ilgili uygun bertaraf yöntemleri arasında bu çalışma kapsamında ele alınan alıcı su ortamına tabandan deşarjın uygun seçenekler arasında yer alabileceği ortaya çıktı. Bu durum, yazın 1°C, kışın 2°C ve saatlik 0,5°C değişime izin verilen yasal kriterlerin sağlanmasında -5°C için gerçekleştirilen deneyler ile açıkça ortaya konuldu. Özellikle, Türkiye’de kış aylarında oluşabilecek olumsuz koşulların göz önünde bulundurulduğu bu çalışmada, alıcı ortam sıcaklık aralığının 7°C ila 11°C olduğu şartlarda deneyler gerçekleştirildi. Bu deney şartları, Marmara Ereğlisi kıyısındaki LNG terminalinde kullanılan Marmara Denizi su sıcaklığı olan 6°C ila 26°C aralığının kış şartlarına karşılık gelen kısmına denk düşmektedir. Benzer sıcaklık değişim aralığına sahip olan Karadeniz’in Türkiye kıyılarında da etkili olan bu sıcaklık aralığında LNG terminali soğuk su çıkışının yeterli miktarda seyrelebileceği görüşü ortaya çıkmaktadır. Türkiye’deki diğer kıyılarda deniz suyu sıcaklığı değişim aralığı daha yüksek değerlere ulaşabildiğinden çevresel açıdan daha olumlu tarafta kalılabilmektedir. Ancak, bütün bu çevresel değerlendirmelerin olumsuz koşullardan birisi olan durgun su koşullarında yapıldığı göz önünde bulundurularak yerel koşullar nedeniyle kirliliğin birikebildiği körfez, haliç vb. yapılar, koruma bölgesine dik akıntılar gibi seyrelme şartlarını zorlayıcı etmenler bulunabileceğinden başta denizler olmak üzere, bütün alıcı su ortamları için mutlaka yerel çalışmalar gerçekleştirilerek soğuk deşarjın yapıp yapılmayacağına karar verilmelidir. Sayılan bu ve benzeri özel şartların dışında ise istenen sıcaklık seyrelmesinin küçük bir bölgede yeterince seyrelebildiği bu çalışma sonucunda ortaya çıkarıldığından, çevre etki değerlendirme çalışmalarının uygun sonuç vermesi koşuluyla, soğuk su deşarjı tesislerinde özellikle yayıcı boru kullanımının olumlu tarafta kaldığı, yasal kriterlerin sağlanmasında yararlı olabileceği görülmektedir. Yasal koşulların sağlanmasında en olumlu sonuçlar, deşarj deliklerinin yukarı doğru 60° açı yaptığı durum olduğu, kirliliğin kaynağın kendisi üzerine çökme eğilimi gösterebildiği durumlarda sırasıyla 45° ve 30° yukarı delik eğiminin tercih edilebileceği ortaya çıkarıldı. Özel bir durum olarak, çok derin bir deşarjın maliyetinin göze alınması durumunda Karadeniz’in yüzeyden başlayarak 150 m’den daha derin bölgelerinde aerobik yaşam bulunmadığı bilindiğinden, soğuk deşarjda yüzeye çıkışın gözlenmediği yatay deşarj deliklerinin 150 m’den daha derinde kullanılması kirliliğin tabanda seyretililebildiği seçeneğin değerlendirilebileceği söylenebilir. Diğer taraftan 90°’lik deşarj da yüksek bir seyrelmeyi sağlasa da, gerek akış rejiminin düzenli olmayışı, gerek sığ alıcı ortam koşullarında kısıtlı yarar göstermesi ve gerekse deşarj kaynağına doğru kirliliğin çökebilmesi ve plan düzleminde çok genişleyerek yandaki deşarj kaynakları ile birleşerek seyrelme veriminin azalabilmesi nedeniyle, hem çevresel açıdan, hem de yasal açıdan güvenilir bir seçenek değildir. Yataya dik deşarj, derinlikler ve deşarj delikleri arası açıklıklar çok büyük olduğu, jetler arası çakışmanın önemsiz olduğu, düşük şiddetli soğuk deşarj durumlarında, ancak ikincil bir alternatif olabilir.

Özellikle deniz vb. büyük alıcı su ortamlarına çevresel etkileşimin azaltılması, seyrelme miktarının deşarj edilen debinin büyüklüğünden az etkilenmesi, Türkiye'deki en soğuk denizlerde bile çevresel açıdan olumlu tarafta kalabilecek sonuçlar elde edilmesi nedeniyle, yayıcı boru kullanılan soğuk deşarj tesislerinin kullanımının özellikle yukarı doğru eğim verilmiş deşarj delikleri ile birlikte uygulanması Türkiye için çevresel ve yasal bakımdan olumlu olabilir. Soğuk deşarjda suya eklenebilen tesis içi canlı faaliyetlerinin engellenmesinde kullanılan klor vb. katkı maddelerinin de deşarj sırasında seyreltilmesine gereksinim duyulabilir. Bu tür maddelerin alıcı ortama verilmesinde yasal kriterlerin sağlanmasında, deşarj tesislerinde yayıcı boru kullanılmasının yararı olabilir. Soğuk su deşarjı tesisi kullanılmasının çevresel kriterlerin sağlanmasında yeterli olduğu kararına varılması için, her deşarj tesisinde yapılması gerektiği gibi, mutlaka yerel koşulların sağlandığı laboratuvar modeli ve/veya yerinde gerçekleştirilen ölçümlerle doğrulanmış daha detaylı çalışmalar da yapılmalıdır.



5. KAYNAKLAR

1. ÖZTÜRK, İ., 2000, Atıksu Ön Arıtma ve Deniz Deşarjı Sistemleri, 2. Baskı, İTÜ Rektörlüğü Sayı: 1570, İstanbul.
2. JIRKA, G. H., 1982, Multiport Diffusers for Heat Disposal: A Summary, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 108, No. HY12, 1425-1468.
3. PARR, A. D., and SAYRE, W. W., 1979, Power Plant Diffuser-Pipe System, Journal of the Environmental Engineering, ASCE, Vol. 105, No. EE6, 1075-1093.
4. BOTAŞ, 2003, BOTAŞ Marmara Ereğlisi LNG Terminali 2003 Yılı Verileri, Marmara Ereğlisi, Tekirdağ.
5. GÜRPINAR, E., 1995, Çevre Sorunları, 3. Baskı, Der Yayınları, No. 74, İstanbul.
6. ARTÜZ, İ., 1992, Deniz Kirlenmesi, T.C. İstanbul Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Sayı: 1464, İstanbul Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi Ofset Baskı Atölyesi, İstanbul.
7. STEEMANN NIELSEN, E., 1975, Marine Photosynthesis with Special Emphasis on the Ecological Aspects, Elsevier Oceanography Series, 13, Elsevier Scientific Publishing Company, New York, New York.
8. Editors: HART, Jr., C. W., and FULLER, S. L. H., 1974, Pollution Ecology of Freshwater Invertebrates, Academic Press Inc., New York, New York.
9. EDMUNDS, S., and LETEY, J., 1973, Environmental Administration, McGraw-Hill Book Company, New York, New York.
10. LORAINE, J. A., 1972, The Death of Tomorrow, William Clowes & Sons Limited, London, Great Britain.
11. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 1988, 4.9.1988 Tarihli ve 19919 Sayılı Resmi Gazete.

12. Su Ürünleri Yönetmeliği, 1995, 10.3.1995 Tarihli ve 22223 Sayılı Resmi Gazete.
13. Akdeniz'in Kara Kökenli Kaynaklardan Kirlenmeye Karşı Korunması Protokolü, 1987, 18.3.1987 Tarihli ve 19404 Sayılı Resmi Gazete.
14. Karadeniz Deniz Çevresinin Kara Kökenli Kaynaklardan Kirlenmeye Karşı Korunmasına Dair Protokol, 1994, 6.3.1994 Tarihli ve 21869 Sayılı Resmi Gazete.
15. Federal Power Commission, 1968, Typical Electric Bills-1967, United States Government Printing Office, Washington D. C.
16. PARKER, F. L., and KRENKEL, P. A., 1970, CRC Physical and Engineering Aspects of Thermal Pollution, CRC Press, Cleveland, Ohio.
17. United States Environmental Protection Agency, 1988, Temperature Water Quality Standards Summaries: A Compilation of State/Federal Criteria, EPA/440/5/88023, Office of Water Regulations and Standards, Washington D.C.
18. United States Federal Water Pollution Control Act, 2002, As Amended Through P. L. 107-303, November 27, 2002, Washington D.C.
19. US. Water Quality Standards Regulation, 1998, Federal Register: July 7, 1998, Volume 63, Number 129, 36741-36806.
20. United States Environmental Protection Agency, 2002, National Recommended Water Quality Criteria: 2002, EPA-822-R-02-047, Office of Water, Office of Science and Technology, (4304T), Washington D.C.
21. United States Environmental Protection Agency, 1986, Quality Criteria for Water, United States Environmental Protection Agency Office of Water Regulations and Standards, EPA/ 5-86-001, Washington D.C.
22. BAYKUT, F., AYDIN, A., ve ARTÜZ, İ., 1982, Bilimsel Açıdan Karadeniz, İstanbul Üniversitesi Yayınları, Sayı: 3004, Mühendislik Fakültesi No: 1, Fatih Yayınevi Matbaası, İstanbul.

23. Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı, 2003, Resmi Kayıtları, İstanbul.
24. MAISONNIER, G., 2003, LNG Center, The LNG & GTL Portal, <http://gmaiso.free.fr/lng/>.
25. NEMLİOĞLU, S., 1996, Yaşanabilir Yerleşmenin Sağlanması Denize Deşarj Yapılarının Etkisinin Trabzon Örneğinde İncelenmesi, Yayınlanmamış Sunu, Üniversite Öğrencileri Arası Habitat II Yarışması, İstanbul.
26. HANSEN, J. A., and JENSEN, P., 1978, Hydrographic and Hydraulic Marine Outfall Design, Reprinted From: WHO Training Course on Coastal Pollution Control, Held under the Auspices of Danida, Vol. III, Danida Danish International Development Agency, Copenhagen, Denmark.
27. M. W. Kellogg Limited, 1986, BOTAS LNG Terminal Marmara Ereglisi Environmental Impact Report, Kellogg Job No. 5377, Greenford, Middlesex, U.K.
28. ROBERTS, P. J. W., and TOMS, G., 1987, Inclined Dense Jets in Flowing Current, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 113, No. 3, 323-341.
29. JAMES, W. S., VERGANA, I., and KIM, K., 1983, Dilution of a Dense Vertical Jet, Journal of Environmental Engineering, ASCE, Vol. 109, No. 6, 1273-1283.
30. Ed. WEAST, R. C., 1989, CRC Handbook of Chemistry and Physics, 56th Edition, CRC Press, Cleveland, Ohio, USA.
31. GRACE, R. A., 1978, Marine Outfall Systems Planning, Design and Construction, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
32. MCNOWN, J. S., 1954, Mechanics of Manifold Flow, Transactions, ASCE, Vol. 119, 1103-1142, with discussion.
33. RAWN, A. M., BOWERMAN, F. R., and BROOKS, N. H., 1960, Diffusers for Disposal of Sewage in Sea Water, Journal of the Sanitary Engineering Division, ASCE, Vol. 86, No. SA 2, 65-105.

34. CHARLTON, J. A., 1985, Sea Outfalls, Chapter 3, 79-128, Developments in Hydraulic Engineering, Ed. Novak, P., Elsevier, London.
35. BROOKS, N. H., 1973, Dispersion in Hydrologic and Coastal Environments, U.S. E.P.A. Publication 660/3-73010.
36. WOOD, I. R., BELL, R. G., and WILKINSON, D. L., 1993, Ocean Disposal of Wastewater, Advanced Series on Ocean Engineering-Volume 8, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore.
37. LISETH, P., 1970, Mixing of Merging Buoyant Jets from a Manifold in Stagnant Receiving Water of Uniform Density, University of California, Berkeley, Hydraulic Engineering Laboratory, Technical Report HEL 23-1 (November).
38. BROOKS, N. H., 1970, Conceptual Design of Submarine Outfalls-II: Hydraulic Design of Diffusers, California Institute of Technology, W. M. Keck Laboratory of Hydraulics and Water Resources, Technical Memorandum 70-2 (January).
39. KOH, R. C. Y., and BROOKS, N. H., 1975, Fluid Mechanics of Waste-Water Disposal in the Ocean, 187-211, Annual Review of Fluid Mechanics, Vol. 7, Annual Reviews, Inc., Palo Alto, Calif.
40. MOODY, L. F., 1944, Friction Factors for Pipe Flow, Transactions, ASME, Vol. 66, 671-684, with discussion.
41. MILLER, D. S., 1971, Internal Flow a Guide to Losses in Pipe and Duct Systems, The British Hydromechanics Research Association, Cranfield, Bedford, England.
42. SÜMER, B. M., ÜNSAL, İ., ve BAYAZIT, M., 1983, Hidrolik, Birsen Yayınevi, İstanbul.
43. STEWART, R. E., PUTNAM, H. D., JONES, R. H., and LEE, T. N., 1971, Diffusion of Sewage Effluent from Ocean Outfall, Journal of Sanitary Engineering Division, ASCE, Vol. 97, No. 4, 485-503.

44. ROBERTS, P. J. W., 1977, Dispersion of Buoyant Waste Water Discharged from Outfall Diffusers of Finite Length, California Institute of Technology, W. M. Keck Laboratory of Hydraulics and Water Resources, Report No. KH-R-35 (March).
45. LISETH, P., 1973, Mixing of Merging Buoyant Jets from a Manifold in Stagnant Receiving Water of Uniform Density, 921-934, Advances in Water Pollution Research, Editor Jenkins, S. H., Pergamon Press, New York.
46. LISETH, P., 1976, Wastewater Disposal by Submerged Manifolds, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 102, No. HY1, 1-14.
47. ROBERTS, P. J. W., 1975, The Diffusion of Buoyant Effluent from Outfall Diffusers of Finite Length-Progress Report, California Institute of Technology, W. M. Keck Laboratory of Hydraulics and Water Resources, Technical Memorandum 75-1 (August).
48. CEDERWALL, K., 1964, Flow Distributions, Dimensioning of Diffusers, (in Swedish), Chalmers Institute of Technology, Gothenburg, Sweden.
49. STERREGAARD, B., 1971, Diffuser Design, Internal Report No. 24, Danish Isotope Center, Copenhagen, Denmark.
50. NEMLİOĞLU, S., 1996, Deniz Deşarjı Yayıcıları İç Akış Hidrolik Parametrelerinin ve Yayıcı Özelliklerinin Boyutlandırma Üzerindeki Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
51. BERKÜN, M., ve NEMLİOĞLU, S., 1995, Deniz Deşarjı Yayıcıları İç Akış Hidrolik Parametrelerinin ve Yayıcı Özelliklerinin Boyutlandırma Üzerindeki Etkisi, TMMOB İnşaat Mühendisliği XIII. Teknik Kongresi, Ankara, 499-512.
52. BERKÜN, M., ve NEMLİOĞLU, S., 1996, Deniz Deşarjı Yayıcı Hidroliğinde Deşarj Katsayısı, Sürtünme Katsayısı ve Atık Su Yoğunluğu İlişkilerinin İncelenmesi, I. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, Samsun, 191-194.
53. NEMLİOĞLU, S., 1999, Deniz Deşarjı Yapılarında Oluşabilen Hatalar, Kent Yönetimi İnsan ve Çevre Sorunları Sempozyumu'99, İstanbul, 244-251.

54. NEMLIOĞLU, S., ve BERKÜN, M., 1995, Deniz Deşarjı Yapılarında Proje Debinin Çıkış Ucu Adedi ve Ek Debi ile Düzenlenmesi, Kırsal Çevre ve Ormancılık Sorunları Araştırma Derneği Karadeniz'in Kirlenmesi ve Korunması Kongresi, Trabzon, 95-100.
55. NEMLIOĞLU, S., 1996, Boru Et Kalınlığının Artırılması Yöntemiyle Keskin Kenarlı Çıkış Uçlu Deniz Deşarjı Yayıcılarının Hidrolik Veriminin Artırılması, I. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, Samsun, 203-206.
56. NEMLIOĞLU, S., 2001, Improvement of Low Hydraulic Performance of Sea Outfalls Using Bell Mouthed Ports in the Black Sea, Fresenius Environmental Bulletin, Vol.10, No.4, 392-395.
57. NEMLIOĞLU, S., 2002, Marine Outfall Lifetime Improvement by Changing Port Type of Diffuser Pipe in the Black Sea, Fresenius Environmental Bulletin, Vol.11, No. 9b, 647-651.
58. SPENCER, W., and BRUCE, J., 1961, Cooling Water for Steam Electric Stations on Tidewater, Transactions, ASCE, Vol. 126, Part III, 280-305.
59. ZELLER, R. W., HOOPEs, J. A., and ROHLICH, G. A., 1971, Heated Surface Jets in Steady Crosscurrent, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 97, No. HY9, 1403-1426.
60. SHARP, J. J., 1971, Unsteady Spread of Buoyant Surface Discharge, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 97, No. HY9, 1471-1492.
61. MOTZ, L. H., and BENEDICT, B. A., 1972, Surface Jet Model for Heated Discharges, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 98, No. HY1, 181-199.
62. YURTERİ, C., 1992, Hydrothermal Studies of the Aliaga Thermal Power Station, 1157-1164, Environmental Issues and Waste Management in Energy and Minerals Production, Eds. Singhal, R. K., Mehrotra, A. K., Fytas, K., and Collins J., A. A. Balkema, Rotterdam, Brookfield.
63. FRY, D., and ADAMS, E. E., 1983, Confined Radial Buoyant Jet, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 109, No. 9, 1185-1202.

64. SHARP, J. J., and MOORE, E., 1987, Estimation of Dilution in Buoyant Effluents Discharged into a Current, *Proc. Instn. Civ. Engrs., Part 2*, Vol. 83, March, 181-196.
65. DAVIDSON, M. J., and PUN, K. L., 2000, Locating Discharge Trajectories in Still and Moving Ambient Fluids, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 126, No. 7, 513-524.
66. FERNANDO, H. J. S., JOHNSTONE, H., and ZANGRANDO, F., 1991, Interfacial Mixing Caused by Turbulent Buoyant Jets, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 117, No. 1, 1-20.
67. RAJARATNAM, N., and LANGAT, J. K., 1995, Mixing Region of Circular Turbulent Wall Jets in Cross Flows, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 121, No. 10, 694-698.
68. BEMPORAD, G. A., 1994, Simulation of Round Buoyant Jet in Stratified Flowing Environment, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 120, No. 5, 529-543.
69. GUO, Z. R., and SHARP, J. J., 1996, Characteristics of Radial Jets and Mixing under Buoyant Conditions, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 122, No. 9, 495-502.
70. Eds. GUNNERSON, C. G., and FRENCH, J. A., 1996, *Wastewater Management for Coastal Cities*, Second Edition, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany.
71. ANWAR, H. O., 1992, Spread of a Surface Plume in Unsteady and Steady Flows, *Proc. Instn. Civ. Engrs. Wat., Marit. & Energy*, Vol. 96, June, 95-102.
72. BLUMBERG, A. F., JI, Z. G., and ZIEGLER, C. K., 1996, Modeling Outfall Plume Behavior Using Far Field Circulation Model, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 122, No. 11, 610-616.
73. MENDEZ-DIAZ, M. M., and JIRKA, G. H., 1996, Buoyant Plumes from Multiport Diffuser Discharge in Deep Coflowing Water, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 122, No. 8, 428-435.

74. ISAACSON, M. S., KOH, R. C. Y., and Brooks, N. H., 1983, Plume Dilution for Diffusers with Multiport Risers, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 109, No. 2, 199-220.
75. JIRKA, G. H., and DONEKER, R. L., 1991, Hydrodynamic Classification of Submerged Single-Port Discharges, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 117, No. 9, 1095-1112.
76. JIRKA, G. H., and AKAR, P. J., 1991, Hydrodynamic Classification of Submerged Multiport-Diffuser Discharges, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 117, No. 9, 1113-1128.
77. PANTOKRATORAS, A., 1998, Horizontal Penetration of Inclined Thermal Buoyant Water Jets, *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, Elsevier, Vol. 25, No. 4, 561-569.
78. PANTOKRATORAS, A., 1999, Vertical Penetration of Inclined Heated Water Jets Discharged Downward, *Journal of Environmental Engineering*, ASCE, Vol. 125, No. 4, 389-393.
79. MORTON, B. R., 1959, Forced Plumes, *J. Fluid Mech.*, 5, Part 1, 151-163.
80. TURNER, J. S., 1966, Jets and Plumes with Negative or Reversing Buoyancy, *J. Fluid Mech.*, Vol. 26, Part 4, 779-792.
81. ABRAHAM, G., 1967, Jets with Negative Buoyancy in Homogeneous Fluid, *J. Hydr. Res.*, Vol. 5, No. 4, 235-248.
82. FOX, D. G., 1970, Forced Plume in a Stratified Fluid, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 75, No. 33, 6818-6835.
83. HOLLY, Jr., F. M., and GRACE, Jr., J. L., 1972, Model Study of Dense Jet in Flowing Fluid, *Journal of the Hydraulics Division*, ASCE, Vol. 98, No. HY11, 1921-1933.
84. MOAWAD, A. K., and RAJARATNAM, N., 1998, Dilution of Multiple Nonbuoyant Circular Jets in Crossflows, *Journal of the Environmental Engineering*, ASCE, Vol. 124, No. 1, 51-58.

85. ZEITOUN, M. A., MCILHENNY, W. F., and REID, R. O., 1970, Conceptual Designs of Outfall Systems for Desalination Plants, Res. And Devel. Progress Rep. No. 550, Office of Saline Water, U.S. Department of Interior, Washington, D.C.
86. ROBERTS, P. J. W., and TOMS, G., 1988, Ocean Outfall Systems for Dense and Buoyant Effluents, Journal of Environmental Engineering, ASCE, Vol. 114, No. 5, 1175-1191.
87. TATOM, F. B., 1985, Errors from Using Conservation of Buoyancy Concept Plume Computations, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 111, No. 6, 1005-1009.
88. BAYAT, C., NEMLİOĞLU, S., ve ALTUNCU, F., 2003, Durgun ve Üniform Ortamlara Termal Deşarj Halinde Jet Davranışı ve Sıcaklık Dağılımının Araştırılması, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliği, Araştırma Projesi Kesin Raporu, Proje No: 1632/30042001, İstanbul.

6. ÖZGEÇMİŞ

Semih Nemlioğlu 18 Haziran 1970'te Trabzon'da doğdu. İlkokul, ortaokul ve lise eğitimini Trabzon'da tamamladıktan sonra Eylül 1988'de Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde eğitimine başladı. Şubat 1994'te inşaat mühendisliği lisans eğitimini tamamlayan Nemlioğlu, Eylül 1994'te başladığı Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalındaki yüksek lisans eğitimini tamamlayarak Temmuz 1996'da inşaat yüksek mühendisi olarak mezun oldu.

Eylül 1996'da İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında doktora eğitimine başlayan Semih Nemlioğlu, aynı Anabilim Dalında Mayıs 1997'den beri araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. Askerlik görevini 2000 yılında Malatya'da tamamlayan Nemlioğlu, bekardır ve İngilizce bilmektedir.

