

Yatay deşarj edilen soğuk-yoğun atıksuların bazı deşarj parametrelerinin belirlenmesi

Determination of some discharge parameters of horizontally discharged cold-dense wastewaters

Naim SEZGİN^{1*} 

¹Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
nsezgin@istanbul.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 22.11.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 06.02.2017

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2017.17136

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Termal kirlilik, okyanus, göl veya nehir gibi sucul alanlarda ortam sıcaklığının insan faaliyetleri sonucunda artması veya azalması olarak tanımlanır. Termal kirliliğe, enerji santralleri, sıvılaştırılmış doğalgaz terminalleri (LNG) ve endüstriyel tesislerin ısıtma veya soğutma amaçlı kullanılan daha sonra alıcı ortamlara deşarj edilen suları neden olur. Alıcı ortamlara deşarj edilen termal atıksuların en önemli kaynaklarından biri LNG gazlaştırma terminallerinden kaynaklanan soğuk sulardır. Soğuk sular genellikle kıyılara deşarj edilirler. Bu sular deşarj edildikleri alıcı ortamlara göre yoğunluklarının yüksek olması nedeniyle bir çeşit negatif yüzen (batan) jetlerdir. Alıcı ortam canlı türlerine olumsuz etkilerinden dolayı soğuk sular, yüksek seviyede seyrelme sağlayacak şekilde deşarj edilmelidir. Bu çalışmada, yatay olarak deşarj edilen soğuk-yoğun suyun birinci seyrelme ve çarpma noktası gibi bazı deşarj parametreleri laboratuvar ortamında dairesel deşarj portu kullanılarak belirlenmiştir. Soğuk-yoğun atıksuyun alıcı ortam içerisindeki davranışını (jet geometrisini) belirlemek için renk maddesi olarak Rhodamin B ilavesi yapılmıştır. Renklendirilmiş soğuk-yoğun atıksuyun anlık fotoğraflarını çekmek için yüksek çözünürlüklü kamera ve atıksu jet merkezinde meydana gelen sıcaklık değişimlerini (seyrelmeler) ölçmek için de hassas termal probalar kullanılmıştır. Farklı atıksu yoğunlukları elde etmek için -3 °C, -5 °C ve -7 °C gibi üç değişik sıcaklık fark değerleri uygulanmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre soğuk su deşarjlarının tabana çökme eğiliminde olan negatif yüzen (batan) jet gibi davrandığı belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada, ortalama normalize edilmiş çarpma noktası mesafesi ve birinci seyrelmenin 2.333 ve 0.491 olduğu bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Termal kirlilik, Yoğun jet, Soğuk su deşarjı, Birinci seyrelme, Negatif yüzen jet

Abstract

Thermal pollution is defined as increase or decrease in temperature of an aquatic environment which may be ocean, lake or river by human influence. A common cause of thermal pollution is the use of water as a cooling and heating system by power plants, liquefied natural gas (LNG) re-gasification terminals and industrial manufacturers. One of the important sources of thermal effluents is cold water discharges, which are mainly originated from LNG re-gasification terminals from open cycle heating units. Cold water can be frequently discharged into coastal waters. Due to its high density, cold water discharge is a kind of negatively buoyant jet. Because of some undesired effects of cold water on receiving water species, should be discharged properly into the marine environment with a high level of initial dilution. Some discharge parameters of horizontally discharged cold-dense wastewater such as initial dilutions, impingement points were determined in a laboratory system using circular port in this study. To determine the behavior of the cold-dense wastewater (wastewater jet geometry) Rhodamine B as a colorant was added to the wastewater. A high-resolution camera was used to take snapshots of the colored cold-dense wastewater. Temperature changes (dilutions) in the cold-dense wastewater jet centerline were detected with sensitive thermal probes. To gain different densities, three discharge temperature differences were used as -3 °C, -5 °C and -7 °C. According to the results of this study, it was determined that the cold water discharges behaved like a negative buoyant jet. In addition, it was calculated that the averages of the normalized impingement point and initial dilution of the cold water were found 2.333 and 0.491, respectively.

Keywords: Thermal pollution, Dense jet, Cold water discharge, Initial dilution, Negatively buoyant jet.

1 Giriş

Enerji (Güç) santralleri ve sıvılaştırılmış doğalgazın tekrar gazlaştırıldığı (LNG- liquefied natural gas (LNG) re-gasification terminals) tesisler gibi birçok endüstriyel tesisin atıksuları sıcak veya soğuk atıksulardır [1]-[3]. Termal kirliliğe neden olan bu atıksular, sucul ortamlarda yaşayan ve ortam sıcaklığında meydana gelecek olan değişikliklere karşı biyolojik duyarlılığı olan pek çok sucul organizmalarda bazı olumsuz etkilere sebep olmaktadır [4]-[7]. Sucul organizmalar özel termal koşullara bağlı olarak yaşadıklarından su sıcaklığının artması veya azalması bu canlılar üzerinde yoğun yaşamsal strese veya ölümlere bile neden olabilmektedir [8],[9].

Endüstriyel tesislerin çoğu sıcak atıksu deşarj ettiğinden dolayı son zamanlarda pek çok araştırmacı da bu tip termal atıksuların deşarjı için etkin bir metot geliştirmeye ilgili çalışmalar yapmaktadır. Oysaki LNG gazlaştırma terminalleri gibi bazı

endüstriyel tesislerden soğuk-yoğun (soğuk) atıksular alıcı ortamlara deşarj edilmektedir [10],[11]. Dünya genelinde 116 adet ülkemizde ise 2 adet LNG gazlaştırma terminali bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, 685 bin Nm³/sa. doğal gaz sevkiyat kapasitesi ve her biri 85.000 m³ kapasiteli 3 adet depolama tankına sahip ve 1994 yılında BOTAŞ tarafından kullanılmaya başlanan ve Tekirdağ-Marmara Ereğlisi'ndeki tesisidir. İkincisi ise 140.000 m³ kapasiteli 2 adet tam sızdırmaz LNG depolama tankı ve 6 milyar m³/yıl yüksek basınç tekrar gazlaştırma ve sevk kapasitesi bulunan ve Aliağa-İzmir'de Egegaz tarafından 2006 yılında işletmeye açılan LNG terminalidir. Açık çevrim (open-cycle) ısıtma şeklinde işletilen bu proseslerde tipik olarak -5 °C soğutulmuş ve 8000 m³/sa. gibi debi değerlerinde soğuk sular alıcı ortamlara deşarj edilmektedir [12]-[14]. Bu şekilde yüksek miktarlarda ısıtma suyu için okyanuslar, denizler, büyük nehirler ve göller gibi su kaynakları kullanılmaktadır. Aynı zamanda bu su kaynakları üretilen soğuk atıksuların deşarjı için alıcı ortam olarak da

yapılmış ve deneysel çalışmaların özeti Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'den de görüldüğü gibi, Reynolds sayıları, R , 1943 ila 2140 arasında değişmektedir. Çoğunlukla soğuk su deşarjları türbülanslıdır. Burada, yapılan deneysel çalışmalarda da türbülans amaçlanmıştır. Fakat deneysel çalışmaların fiziksel koşullarından ötürü bu çalışmada bazı deneylerde $R < 2000$ gibi laminer Reynolds sayıları oluşmuştur. Diğer taraftan, Snyder [27], Isaacson ve diğ. [28], Roberts ve diğ. (a, b ve c) [29]-[31], ve Roberts ve Snyder [32] tarafından pozitif yüzen jetler üzerine yapılan seri deneyler sonucundan eğer $R > 300$ koşulu sağlanıyorsa, seyrelme ve geometrik parametrelerin Reynolds sayısından bağımsız olduğunu göstermiştir. Deneysel çalışmada kullanılan iz maddesi konsantrasyonu, deney tankının fiziksel özellikleri ve deneylerin fotoğraflanma şartları Sezgin [26] tarafından yapılan önceki çalışmadaki gibidir.

3 Bulgular ve tartışma

3.1 Soğuk-Yoğun atıksu geometrisi

Durgun ve homojen (tabakasız) alıcı su ortamına üç farklı ve yüksek yoğunluksal Froude sayıları ile deşarj edilen soğuk-yoğun atıksular, başlangıçta bir momentumun baskın olduğu yatay bir akış oluşturmuş ve daha sonra yörüngeleri yavaş yavaş tabana doğru yönelerek negatif yüzen bir yoğun akış meydana getirmiştir. Momentum etkili soğuk-yoğun atıksu tabana çarptıktan sonra sıçramış ve sonra yoğunluk akıntısı oluşturmuştur. Sıcaklık farklılıklarıyla yatay deşarj edilen soğuk-yoğun atıksuyun deşarj anında çekilen resimleri sırasıyla Şekil 2, 3 ve 4'te verilmiştir.

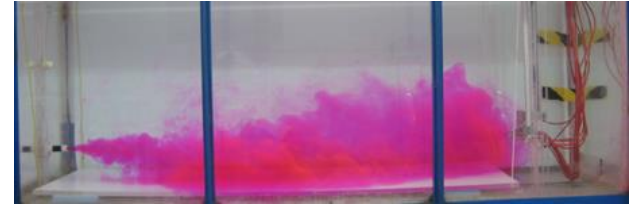
Şekil 2, 3 ve 4'te verilen resimler incelenerek soğuk-yoğun atıksuyun ana jet gövdesinin tabandan itibaren çıkabileceği tepe yüksekliği, y_t , belirlenmiştir. Yine resimlerden tabana çarptıktan sonra oluşan yoğunluk akıntısının deşarj kaynağından uzaklaştıkça, üst düzey yüksekliğinin belirlenen tepe noktasından daha da yüksekte olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun deşarj başlangıcında sıcaklığı tam olarak ayarlanamamış küçük bir kısmının hareketinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca, yoğunluk akıntısının yüksekliğinin belirlenmesi bu çalışma da amaçlanmamıştır.

Soğuk-yoğun atıksu jetlerinin aynı ölçekli dış yüzey fotoğraflarının incelenmesinde, sabit momentum şartlarında

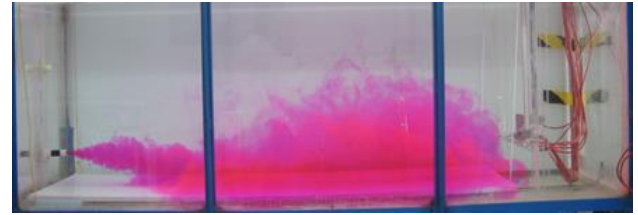
sıcaklık farklarının artmasına bağlı olarak negatif yüzerliliğin arttığı belirlenmiştir. Bundan dolayı, sıcaklık farkının artmasına rağmen, soğuk atıksu jetlerinin çarpma noktasının deşarj kaynağına olan yatay uzaklığı, x_i azalmıştır. Farklı sıcaklıkta deşarj edilen soğuk su jetlerinin normalize edilmiş x_i/dF değerlerinin ise, $\Delta T_0 = -3^\circ\text{C}$, -5°C ve -7°C sıcaklıkları için sırasıyla 2.262, 2.304 ve 2.424 olarak birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 2: $\Delta T_0 = -3^\circ\text{C}$ için deşarj anı resmi.



Şekil 3: $\Delta T_0 = -5^\circ\text{C}$ için deşarj anı resmi.



Şekil 4: $\Delta T_0 = -7^\circ\text{C}$ için deşarj anı resmi.

3.2 Soğuk-Yoğun atıksu merkez eksen yörüngesi

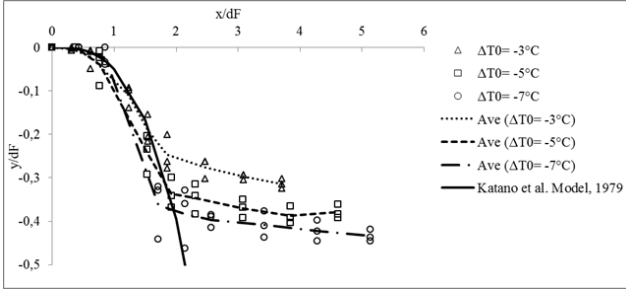
Normalize edilmiş soğuk-yoğun atıksu jetlerinin merkez eksen yörüngeleri Şekil 5'te verilmiştir. Üç farklı sıcaklık için verilen merkez yörüngeleri, beklendiği gibi, sigmoidal şekle uygun davranmışlardır.

Tablo 2: Deneysel çalışmaların özeti.

Deney Numarası	T_0 (°C)	T_a (°C)	ρ_0 (kg/m ³)	ρ_a (kg/m ³)	D (mm)	y_0 (mm)	v (x10 ⁻⁶) (m ² /s)	U (m/s)	R*	F
CJ $\Delta T_0 = -3$ (1)	22.3	25.3	998.068	997.258	5	110	0.951	0.407	2140.6	64.7854
CJ $\Delta T_0 = -3$ (2)	22.3	25.3	998.068	997.258	5	110	0.951	0.407	2140.6	64.7854
CJ $\Delta T_0 = -3$ (3)	22.3	25.3	998.068	997.258	5	110	0.951	0.407	2140.6	64.7854
CJ $\Delta T_0 = -5$ (1)	20.3	25.3	998.503	997.258	5	110	0.997	0.407	2041.5	52.0619
CJ $\Delta T_0 = -5$ (2)	20.3	25.3	998.503	997.258	5	110	0.997	0.407	2041.5	52.0619
CJ $\Delta T_0 = -5$ (3)	20.3	25.3	998.503	997.258	5	110	0.997	0.407	2041.5	52.0619
CJ $\Delta T_0 = -7$ (1)	18.3	25.3	998.803	997.258	5	110	1.048	0.407	1943.7	46.7348
CJ $\Delta T_0 = -7$ (2)	18.3	25.3	998.803	997.258	5	110	1.048	0.407	1943.7	46.7348
CJ $\Delta T_0 = -7$ (3)	18.3	25.3	998.803	997.258	5	110	1.048	0.407	1943.7	46.7348

*: Deneysel çalışmaların tamamında gözlemlenen akış rejimi türbülanslıdır.

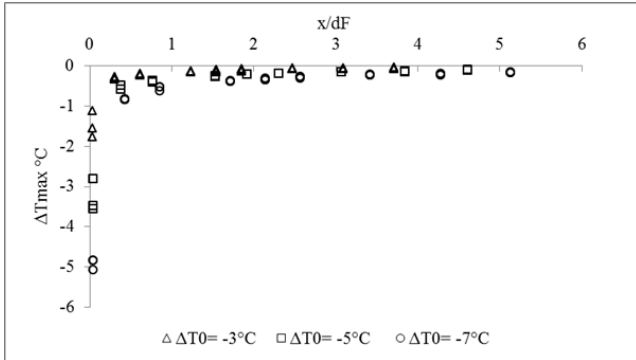
Serbest soğuk-yoğun atıksu jetleri Katano ve diğ. [25] çalışmasındaki gibi, tabana doğru çökme hareketi yapmışlardır. Çarpma (etki) noktasında tabana değen soğuk-yoğun atıksu jetleri, bu noktadan sonra tabanda yoğunluk akıntısı oluşturarak taban üzerinde yaklaşık yatay olarak ilerlemişlerdir. Soğuk atıksu jetlerinin yoğun jet olarak davranması nedeniyle, jet merkez ekseninin çarpma noktası öncesi ve sonrası davranışlarının Bayat ve diğ. [20] ve Shao ve Law [33] çalışmaları ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5: Soğuk-yoğun atıksu jet merkez eksenleri.

3.3 Soğuk-Yoğun atıksu seyrelmeleri

Yatay deşarj edilen farklı sıcaklıktaki soğuk-yoğun atıksu jetlerinin merkez eksenlerinde oluşan maksimum sıcaklık farklarının (ΔT_{max}) yatay uzaklığa bağlı olarak değişimleri Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6'daki verilere göre soğuk-yoğun atıksu jetlerinin merkez eksenlerinde meydana gelen maksimum sıcaklık farklarının nozülenden yatay uzaklığa bağlı olarak üç sıcaklık için de hızla azaldığı belirlenmiştir.

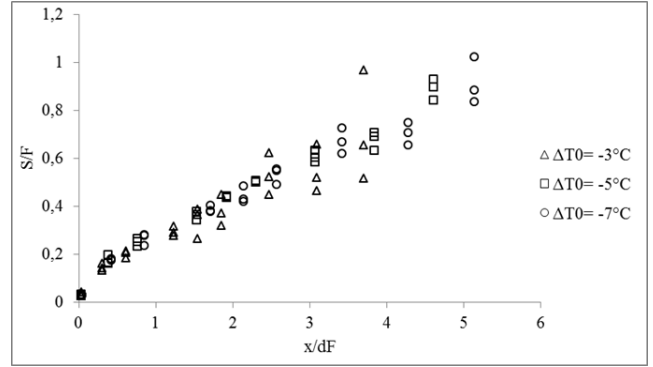


Şekil 6: Soğuk-Yoğun atıksu jetlerinin sıcaklık farklılaşmaları.

Normalize edilmiş birinci seyrelmenin, S/F, yatay uzaklığa bağlı olarak değişimi Şekil 7'de verilmiştir. Çarpma noktasına kadar üç farklı sıcaklıkta verilen soğuk-yoğun atıksu deşarjlarının normalize edilmiş birinci seyrelme değerleri (S/F) birbirlerine çok yakın olarak tespit edilmiştir. Çarpma noktasından sonra ise bu değerlerin dağınık olduğu (Şekil 7'de görüldüğü gibi) belirlenmiştir.

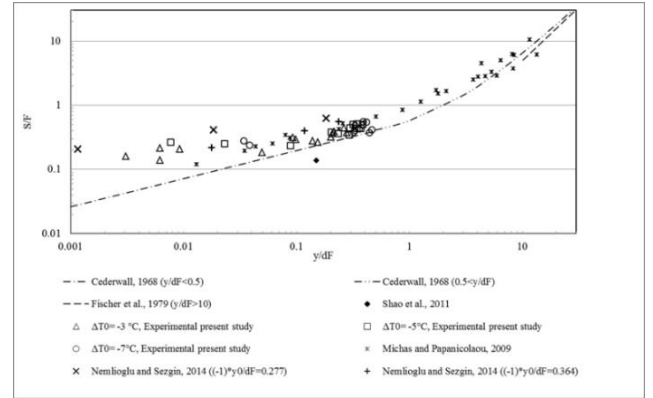
Farklı sıcaklıklarda homojen (tabakasız) ve durgun alıcı ortama yatay deşarj edilen soğuk-yoğun atıksu jetlerinin normalize edilmiş deneysel seyrelmeleri literatürde bulunan $y/dF \sim S/F$ dağılımındaki deneysel sonuçları ile Şekil 8'de karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma yapılırken, negatif yüzen soğuk su jetlerinin, pozitif yüzen jetlerin eksenel simetriği olduğu kabul edilerek y/dF değerlerinin mutlak değerleri kullanılmıştır. Şekil 8'den de görüldüğü gibi bu çalışmada elde edilen seyrelme değerlerinin, Nemlioglu ve Sezgin [2] ve Michas ve Papanicolaou [34] çalışmaları ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. Yine aynı şekilde, Shao ve diğ. [33] çalışmasında

elde edilen seyrelme değerlerinin ise bu çalışmada elde edilen seyrelme değerlerinden daha küçük olduğu görülmektedir.



Şekil 7: Soğuk-Yoğun atıksu jetlerinin birinci seyrelmeleri

Ayrıca, bu çalışma da elde edilen seyrelme değerlerinin Fischer ve diğ. [35] tarafından önerilen seyrelme modelinin kullanım aralığı ile uyumsuz olduğu, ancak Cederwall [36] modellerinin geçiş bölgesi olan $y/dF \sim 0.5$ civarında ise son derece uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 8: Soğuk-Yoğun atıksu seyrelmelerinin karşılaştırılması.

Soğuk-yoğun atıksuların yatay deşarjında kullanılan bazı parametrelerin (C_1, \dots, C_5) hesaplanan sonuçları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3: Deneysel parametrelerin özeti.

Deneysel No	C1	C2	C3	C4	C5
C $\Delta T_0 = -3$ (1)	0.639	0.299	1.410	2.160	0.408
C $\Delta T_0 = -3$ (2)	0.722	0.382	1.284	2.314	0.427
C $\Delta T_0 = -3$ (3)	0.694	0.355	1.345	2.314	0.577
Ortalama	0.685	0.345	1.346	2.262	0.471
C $\Delta T_0 = -5$ (1)	0.664	0.242	0.883	2.304	0.499
C $\Delta T_0 = -5$ (2)	0.630	0.207	0.868	2.304	0.501
C $\Delta T_0 = -5$ (3)	0.729	0.307	0.956	2.304	0.507
Ortalama	0.674	0.252	0.902	2.304	0.502
C $\Delta T_0 = -7$ (1)	0.497	0.157	0.740	2.353	0.483
C $\Delta T_0 = -7$ (2)	0.571	0.236	0.818	2.567	0.555
C $\Delta T_0 = -7$ (3)	0.506	0.166	0.824	2.353	0.459
Ortalama	0.524	0.186	0.794	2.424	0.499
General	N.A	N.A	N.A	2.33	0.491

Her bir ΔT_0 değerleri için hesaplanan katsayıların ortalamaları da aynı tabloda verilmiştir. C_4 ve C_5 deneysel katsayıları için ortalama olarak hesaplanan değerler sırasıyla 2.333 ve 0.491 olarak belirlenmiştir. Ortalama C_4 ve C_5 değerleri Bayat ve diğ. [20] çalışmasında yer alan sırasıyla 1.5, 0.5 (F=40 için) ve 1.0, 0.49 (F=60 için) ile benzerdir. Fakat, Shao ve Law [33] çalışmasındaki deneysel verilerden hesaplanan C_4 sonuçları 0.851-1.21 ve C_5 sonucu ise 0.154 olup, bu çalışmada sunulan sonuçlardan daha düşük olduğu belirlenmiştir. Shao ve Law [33] C_4 ve C_5 sonuçlarının daha düşük olmasının nedeninin, deşarj nozulü merkezinin tabana aşırı yakın olması ile oluşan yüksek coanda etkisi (coanda etkisi; hızlı ilerleyen bir akımın doğru bir yol izlemek yerine, yakınındaki bir yüzeye yapışarak ilerlemesi) ve deneysel ölçüm yöntemlerindeki farklılık olduğu düşünülmektedir.

4 Sonuçlar

Durgun alıcı ortama yatay olarak deşarj edilen soğuk-yoğun atıksuların bazı deşarj parametrelerinin deneysel olarak sıcaklık farklılaşmalarına bağlı olarak belirlendiği bu çalışmada:

1. Soğuk-yoğun atıksu jetlerinin negatif yüzen jetler gibi davrandığı ve tabana çarpma noktasından sonra ise yoğunluk akıntısı oluşturduğu görülmüştür. Ayrıca çarpma noktasının deşarj kaynağına yatay uzaklığının, sabit momentum şartlarında sıcaklık farklılaşmasının artmasına rağmen azaldığı, buna karşılık normalize edilmiş x_1/dF değerlerinin ise birbirine çok yakın olduğu belirlenmiştir,
2. Soğuk-yoğun atıksu jetlerinin normalize edilmiş merkez eksen yörüngelerinin birbirine yakın olduğu ve çarpma noktasına kadar Katano ve diğ. [25] modeli ile uyumlu oldukları tespit edilmiştir,
3. Yatay deşarj edilen soğuk-yoğun atıksu jetlerinin merkez eksenlerinde sıcaklık farklarının nozulden yatay uzaklığa bağlı olarak azaldığı görülmüştür,
4. Atıksuların alıcı ortama deşarjında önemli parametrelerden olan C_4 ve C_5 parametreleri, bu çalışmada ortalama 2.333 ve 0.491 olarak bulunmuş ve Bayat ve diğ. [20] çalışmasında yer alan sırasıyla 1.5, 0.5 (F=40 için) ve 1.0, 0.49 (F=60 için) değerleri ile benzerlik göstermiştir,
5. Deneysel çalışmalardan elde edilen ve gerekli dönüşümleri yapılan $y/dF \sim S/F$ dağılımları literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda, Nemlioglu ve Sezgin [2] ve Michas ve Papanicolaou [34] çalışmalarındaki $y/dF \sim S/F$ dağılımları ile uyumlu olduğu görülürken, Shao ve Law [33] çalışmasında belirtilen değerlerle kayda değer bir uyum tespit edilememiştir. Ayrıca deneysel sonuçlar, Cederwall [36] modellerinin $y/dF \sim 0.5$ geçiş bölgesi civarında uyum gösterirken Fischer [35] çalışmasında verilen $y/dF > 10$ aralığının altında kaldığı için bu modellerle uyumu belirlenememiştir.

5 Kaynaklar

- [1] John JEA. "Thermal pollution: a potential threat to our aquatic environment" *Boston College Environmental Affairs Law Review*, 1(2), 287-298, 1971.

- [2] Nemlioglu S, Sezgin N. "Water depth effects on initial dilution of horizontally discharged coldwater from an elevated outfall". *International Journal of Global Warming*, 6(2-3), 284-294, 2014.
- [3] Verones F, Hanafiah MM, Pfister S, Huijbregts MJ, Pelletier GJ, Koehler A. "Characterization factors for thermal pollution in freshwater aquatic environments". *Environmental Science & Technology*, 44(24), 9364-9369, 2010.
- [4] Madden N, Lewis A, Davis M. "Thermal effluent from the power sector: an analysis of once-through cooling system impacts on surface water temperature". *Environmental Research Letters*, 8, 1-8, 2013.
- [5] Langford TE. *Thermal discharges and pollution*. Editors: Steele J, Thorpe S, Turekian K. Encyclopedia of Oceanic Sciences 1st Ed. New York, USA, Academic Press, 2001.
- [6] De Vries P, Tamis JE, Murk AJ, Smit MGD. "Development and application of a species sensitivity distribution for temperature-induced mortality in the aquatic environment". *Environmental Toxicology and Chemistry*, 27, 2591-2598, 2008.
- [7] Hester ET, Doyle MW. "Human impacts to river temperature and their effects on biological processes: a quantitative synthesis". *Journal of the American Water Resources Association*, 47, 571-587, 2011.
- [8] Beitinger TL, Bennett WA, McCauley RW. "Temperature tolerances of North American Freshwater Fishes exposed to dynamic changes in temperature". *Environmental Biology of Fishes*, 58, 237-275, 1999.
- [9] Caissie D. "The thermal regime of rivers: a review". *Freshwater Biology*, 51, 1389-1406, 2006.
- [10] Kikkert GA, Davidson MJ, Nokes RI. "Inclined Negatively Buoyant Discharges". *Journal of Hydraulic Engineering*, 133, 545-554, 2007.
- [11] Saeedi M, Aliabadi Farahani A, Abessi O, Bleninger T. "Laboratory studies defining flowregimes for negatively buoyant surface discharges into crossflow". *Environmental Fluid Mechanics*, 12, 439-449, 2012.
- [12] Boru Hatları ile Petrol Taşıma AŞ. (BOTAS). "BOTAS LNG Terminal Marmara Ereğlisi Environmental Impact Report". Ankara, Türkiye, 5377, 1986.
- [13] Nemlioglu S, Sezgin N. "Use of duckbill valve on horizontal cold water discharge initial dilution". *6th International Perspectives on Water Resources & the Environment Conference (IPWE 2013)*, İzmir, Turkey, 7-9 January 2013.
- [14] Wikipedia. "List of lng Terminals". https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_LNG_terminals (02.02.2017).
- [15] Artuz I. "Marine Pollution (in Turkish)". Istanbul Technical University Faculty of Naval Architecture and Ocean Engineering Press No: 1464, Istanbul, Turkey, 1992.
- [16] Hart Jr CW, Fuller SLH. "Pollution Ecology of Freshwater Invertebrates". New York, USA, Academic Press Inc., 1974.
- [17] Nielsen E. *Marine Photosynthesis with Special Emphasis on the Ecological Aspects*. New York, USA, Elsevier Scientific Publishing Company, 1975.
- [18] Sherman B. "Scoping Options for Mitigating Cold Water Discharges From Dams". CSIRO Land and Water, Australia, Canberra Consultany Report 00/21, 2000.
- [19] Öztürk İ. *Deniz Deşarjı Tesisleri Tasarımı*. İstanbul, Türkiye, Su Vakfı, 2011.

- [20] Bayat C, Nemlioglu S, Altuncu FF, Berkun M. "Experimental scaling originated differences in cold water outfall design". *MESAEP & SECOTOX 12th International Symposium on Environmental Pollution and its Impact on Life in the Mediterranean Region*, Antalya, Turkey, 4-8 October 2003.
- [21] Malacic V, Faganeli J, Malej A. "Environmental Impact of LNG Terminals in the Gulf Trieste (Northern Adriatic)". Editors: Coskun HG. et al., *Integration of Information for Environmental Security*. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, 375-395, Netherlands, Springer, 2008.
- [22] Davis LR. *Fundamentals of Environmental Discharge Modeling*. New York, NY, USA, CRC Press, 1998.
- [23] Pincince AB, List EJ. "Disposal of brine into an estuary". *Journal Water Pollution Control Federation*, 45(11), 2335-2344, 1973.
- [24] Roberts PJW, Toms G. "Inclined dense jets in flowing current". *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 113, 323-341, 1987.
- [25] Katano N, Kawamura H, Wada A, Suzuki K, Tanaka K. "Experimental Study on Diffusion of Buoyant Jet of Cold Water". Abiko Research Laboratory of Central Research Institute of Electric Power Industry, Tokyo, Japan, 1979.
- [26] Sezgin N. "Investigation of horizontal cold water discharge initial dilutions at various temperature differences using duckbill valve". *Desalination and Water Treatment*, 6, 2437-2445, 2016.
- [27] US Environmental Protection Agency. "Guideline for fluid modeling of atmospheric diffusion". Rep. No. EPA-600/8/81/009, N.C. USA, 1981.
- [28] Isaacson MS, Koh RCY, Brooks NH. "Plume dilution for diffusers with multiport risers". *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 109, 199-220, 1983.
- [29] Roberts PJW, Snyder WH, Baumgartner DJ. "Ocean outfalls. I: Submerged waste field formation". *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 115, 1-25, 1989a.
- [30] Roberts PJW, Snyder WH, Baumgartner DJ. "Ocean outfalls. II: Spatial evolution of submerged wastefield". *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 115, 26-48, 1989b.
- [31] Roberts PJW, Snyder WH, Baumgartner DJ. "Ocean outfalls. III: Effect of diffuser design on submerged wastefield". *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 115, 49-70, (1989c).
- [32] Roberts PJW, Snyder WH. "Hydraulic model study for Boston outfall. I: riser configuration". *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 119, 970-987, 1993.
- [33] Shao D, Law AWK. "Boundary impingement and attachment of horizontal offset dense jets". *Journal of Hydro-environment Research*, 5, 15-24, 2011.
- [34] Michas SN, Papanicolaou PN. "Horizontal round heated jets into calm uniform ambient". *Desalination*, 248, 803-815, 2009.
- [35] Fischer B, List JE, Imberger J, Brooks HN. *Mixing in Inland and Coastal Waters*. New York, USA, Academic Press, Inc., 1979.
- [36] Cederwall K. "Hydraulics of marine wastewater disposal". Report No. 42, Chalmers Institute of Technology, Goteborg, Sweden, Scientific Report 42, 1968.