Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences
(*Anadolu Çevre ve Hayvancılık Bilimleri Dergisi*)
DOI: https://doi.org/10.35229/jaes.1290453

JAES
Year: 8, No: 3, 2023 (415-420)
AÇEH
Yıl: 8, Sayı: 3, 2023 (415-420)

ARAŞTIRMA MAKALESİ **RESEARCH PAPER**

Deniz Deşarjından Yatay Deşarj Edilmiş Tekil Soğuk Su Jetlerinin Çarpma Noktası Seyrelmesinin US EPA Visual Plumes-UM3 Modeli ile İncelenmesi

Uğur Emre TEMELLİ[1] Naim SEZGİN[2] Bilge ÖZDOĞAN CUMALI[2] Semih NEMLİOĞLU[2*]

[1]*İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, Sivil Savunma ve İtfaiyecilik Programı, İstanbul, Türkiye*

[2]*İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye*

Geliş Tarihi: *30.04.2023* ***Kabul Tarihi:*** *14.06.2023* ***Basım Tarihi:*** *30.09.2023*

Atıf yapmak için: **Temelli,. U.E. Sezgin, N., Özdoğan Cumalı, B. & Nemlioğlu S. (2023).** Deniz Deşarjından Yatay Deşarj Edilmiş Tekil Soğuk Su Jetlerinin Çarpma Noktası Seyrelmesinin US EPA Visual Plumes-UM3 Modeli ile İncelenmesi. *Anadolu Çev. ve Hay. Dergisi,* ***8***(3), 415-420. https://doi.org/10.35229/jaes.1290453

How to cite: **Temelli,. U.E. Sezgin, N., Özdoğan Cumalı, B. & Nemlioğlu S. (2023).** Investigation of Impact Point Dilution of Horizontally Discharged Singular Cold Water Jets from Marine Outfall Using by US EPA Visual Plumes-UM3 Model. *J. Anatolian Env. and Anim. Sciences,* ***8***(3), 415-420. https://doi.org/10.35229/jaes.1290453

*: https://orcid.org/0000-0002-9938-4651
: https://orcid.org/0000-0002-6894-0723
: https://orcid.org/0000-0003-3614-5861
: https://orcid.org/0000-0001-7579-7120

***Sorumlu yazarın:**
Semih NEMLİOGLU
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34320, Avcılar, İstanbul, Türkiye
✉: snemli@iuc.edu.tr

Öz: Deniz suyu birçok endüstride termik işlemlerin soğutma ve ısıtma işlemlerinde kullanılabilmektedir. Sıcak proseslerde daha yaygın olan soğutma işlemidir ve soğutma suyu kullanımına ihtiyaç duyulur. Bununla birlikte, yeniden gazlaştırma operasyonları gibi bazı endüstrilerde ısıtma da önemli bir süreçtir. Özellikle, açık çevrimli deniz suyuyla ısıtma sistemleri, sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) alım terminallerinde yaygın olarak kullanılabilmektedir. Bu sistemlerden soğuk su deşarjları oluşur ve bunlar deniz ortamına geri dönerler. Soğuk su deşarjları, deniz organizmaları arasında soğuk şokuna ve hipotermiye neden olabilir. Soğuk su deşarjlarının olumsuz etkilerinden dolayı, deniz ortamındaki soğutulmuş deniz suyunun seyreltilmesi için soğuk su deşarj sistemleri kullanılabilir. Soğuk su deşarjları, boru hattı sistemleri de dahil olmak üzere tek portlu veya çok portlu difüzörler olarak tasarlanabilir. Deşarj edilen soğuk su, denizde negatif yüzer jetler olarak davranırlar. Negatif yüzer soğuk su deşarjlarının uygun şekilde seyreltilmesini sağlamak zorlu bir konudur ve ayrıntılı bir tanımlama aşaması gerektirir. Soğuk su gibi yoğun jetler, deniz ortamında dibe batma eğilimindedirler. Dolayısıyla, tasarım çalışmalarında dikkate alınan soğuk su jetinin birinci seyrelmesini taban ile jet arasında oluşan etkileşim önemli ölçüde etkiler. Difüzör, tabana yeterince yakın yerleştirildiğinde jet ile taban arasındaki sınır etkileşimi artacaktır. Bu tip durumlarda, sınır etkileşiminin çarpma noktası seyrelmesi üzerine etkisinin belirlenmesi gerekir. Bu çalışmada, deneysel olarak gerçekleştirilen iki farklı difüzör yüksekliği ile aynı koşullarda USEPA VP-UM3 sayısal modeli kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda USEPA VP-UM3 modelinden elde edilen çarpma noktası seyrelmelerinin, soğuk su deşarjı tasarımında yaklaşık %44 daha konservatif bölgede kaldığı belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Çarpma noktası seyrelmesi, deniz deşarjı, soğuk su deşarjı, visual plumes, yoğun jet.

Investigation of Impact Point Dilution of Horizontally Discharged Singular Cold Water Jets from Marine Outfall Using by US EPA Visual Plumes-UM3 Model

***Corresponding author:**
Semih NEMLİOGLU
Istanbul University-Cerrahpasa, Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, 34320, Avcılar, Istanbul, Türkiye
✉: snemli@iuc.edu.tr

Abstract: Seawater can be used in many industries for cooling and heating of thermal processes. Cooling is more common in hot processes and requires the use of cooling water. However, in some industries, such as regasification operations, heating is also an important process. In particular, open-loop seawater heating systems can be widely used in liquefied natural gas (LNG) receiving terminals. Cold water discharges occur from these systems, and they return to the marine environment. Cold water discharges can cause cold shock and hypothermia among marine organisms. Because of the negative effects of cold water discharges, cold water discharge systems can be used to dilute chilled seawater in the marine environment. Cold water outfalls can be designed as single port or multiport diffusers, including pipeline systems. The discharged cold water behaves as negatively buoyant jets in the sea. Ensuring proper dilution of negatively buoyant cold water discharges is a challenge and requires a detailed identification step. Dense jets, such as cold water, tend to sink to the bottom in the marine environment. Therefore, the interaction between the bottom and the jet significantly affects the initial dilution of the cold water jet, which is considered in the design studies. The boundary interaction between the jet and the bottom will increase if the diffuser is placed close enough to the bottom. In such cases, the effect of boundary interaction on impact point dilution needs to be determined. In this study, the results obtained using the US EPA VP-UM3 numerical model under the same conditions with two different diffuser elevations performed experimentally were compared. As a result of this study, it was determined that the impact point dilutions obtained from the US EPA VP-UM3 model remained in the more conservative region of approximately 44% in the cold water discharge design.

Keywords: Cold water discharge, dense jet, impact point dilution, marine outfall, visual plumes.

GİRİŞ

Endüstriyel faaliyetlerde ısıl (termal) işlemler faaliyetin durumuna göre birçok alanda uygulanmaktadır. Termik santraller gibi sıcak işlemlerde soğutma suyuna ihtiyaç duyulurken, soğuk işlemlerde ise ısıtmaya ihtiyaç duyabilmektedir. Uygulama alanlarında termal faaliyetler açısından sıcak koşul daha yaygın olarak karşımıza çıksa da sıvılaştırılmış doğal gazın (LNG: Liquefied Natural Gas) yeniden gazlaştırılması işlemlerinin gerçekleştirildiği tesisler olan LNG tesisleri gibi çok önemli endüstriyel uygulamalar soğuk koşullarda gerçekleştirilmektedirler. Dolayısıyla, bu tip soğuk işlemlerin yer aldığı proseslerde önemli miktarda ısıtma suyuna ihtiyaç duyulmaktadır. LNG terminallerinde yeniden gazlaştırma faaliyetlerini gerçekleştirmek için ısıtma proseslerinde, düşük inşaat ve işletme maliyetleri nedeniyle çoğunlukla deniz suyu kullanılmakta ve bu ısıtma sistemi açık devre olarak çalıştırılmaktadır (BOTAŞ, 2012a; BOTAŞ, 2012b). LNG açık devre ısıtma proseslerinde, deniz suyu, proseste gerçekleştirilen ısı alışverişi nedeniyle soğumakta ve örneğin 8000 m^3/saat gibi büyük bir su debisi ile tipik olarak -5°C soğutulmuş su kütleleri oluşturabilmektedir (Kellogg Limited, 1986). Bu kadar büyük miktardaki soğuk su, tekrar alındığı ortama yani denizlere geri deşarj edilmektedir. Deniz gibi alıcı ortamlara deşarj edilen soğuk suların bu ortamlarda yaşayan organizmalar üzerinde (özellikle balık gibi soğukkanlı türlerin hipotermisi gibi) bazı istenmeyen etkileri bulunmaktadır (Hart & Fuller, 1974; Steemann Nielsen, 1975; Artuz, 1994). Diğer yandan, soğuk su deşarjları aynı zamanda tesis içinde organizma girişini önleyici klor gibi bazı kimyasalları da içerebilmektedir (Kellogg Limited, 1986; Artuz, 1992). İstenmeyen çevresel etkileri yeterince azaltmak için birçok durumda soğuk su deniz deşarjları tercih edilebilmektedir. Soğuk atıksuyun deşarjının çevreye olumsuz etkilerinin kontrol altında tutularak çevrenin korunabilmesi için hızlı ve iyi bir karışım sağlanarak deniz ortamında seyreltilmesi gerekmektedir.

Soğuk su deşarjının istenen miktarda seyreltilmesinde debinin büyüklüğüne ve ihtiyaca bağlı olarak tek delikli veya çok delikli difüzöre sahip soğuk su deniz deşarjı sistemleri kullanılmaktadır. Soğuk su deşarjı bir tür termal atık boşaltımı olup, alıcı su kütlesine kıyasla daha yüksek yoğunluğu nedeniyle bir tür yoğun jettir (yani negatif yüzen jettir) (Bayat vd., 2003; Sezgin, 2018). Yoğun jet, alıcı ortamın dibine batma eğilimindedir (Roberts vd., 1997; Nemlioglu & Roberts, 2006). Soğuk su jetinin bu dibe çökelme eğilimi nedeniyle, sınırlı bir su sütunu yüksekliğinde iyi karıştırma ve seyrelme sağlamak zordur. Yoğun jet merkez ekseni yörüngesini artırmak için deşarj deliğinin yukarı yönlendirilmesi yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bununla birlikte, kıyıdan uzakta bulunan bazı yeni LNG alım terminalleri de bulunmaktadır. Bazı soğuk su deşarjı yapan tesislerin de soğuk suyu seyreltebilecek kadar büyük derinliklere ulaşabilen iskeleleri bulunabilmektedir. Böylesi tabandan yeterince yüksek bir konumlarda deniz yüzeyine yakın soğuk suyu deşarjları mümkün olabilir. Sınırlı bir su derinliğinde soğuk sularını seyreltmek için deniz tabanındaki eğimli nozül yerine, batık yatay olarak yerleştirilmiş deşarj deliğinden (deliklerinden) soğuk su deşarjı yöntemi tercih edilebilir. Tabanın varlığı, sınırlı bir su derinliğinde seyrelmeyi kısıtlayan bir faktördür (Malacic vd., 2008; Shao & Law, 2011). Deşarj ve taban arasındaki uzaklık azaldığında sınır etkileşimi artabilmektedir. Deşarj deliği, tabana fazla yakın yerleştirilirse yoğun jetin taban ile dinamik bir etkileşimi (yani Coanda etkisi) gerçekleşebilir. Örneğin yoğun jet oluşturulan deniz suyu tuzsuzlaştırma tesislerinin yoğun jetlerinde de tıpkı soğuk su deşarjında olduğu gibi iyi bir karışım istenir ve yoğun jet deşarjlarında Coanda etkisi istenmez. Ne var ki, yoğun jet-taban etkileşiminin ilk seyreltme üzerindeki etkileri konusunda çok sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır. Öte yandan, yatay olarak boşaltılan soğuk su ilk seyreltme ve tabana bağlanma ilişkisi, yoğun jetler ile ilgili araştırmaların daha az çalışılan bir konudur (Nemlioglu & Sezgin, 2014). Ancak, Nemlioglu & Sezgin (2014) yatay deşarj edilmiş soğuk su ile taban derinliğinin birinci seyrelme ile ilişkisini incelemiştir. Az sayıdaki yoğun atıksu deşarjı çalışmalarının mevcudiyeti, deşarj tesisi tasarımında diğer tip deşarjlara benzeşim yapılması yoluyla ve/veya sayısal modelleme programları ile senaryo incelemeleri yapılması şeklinde tasarım çözümlerinin oluşturulmasına neden olmaktadır.

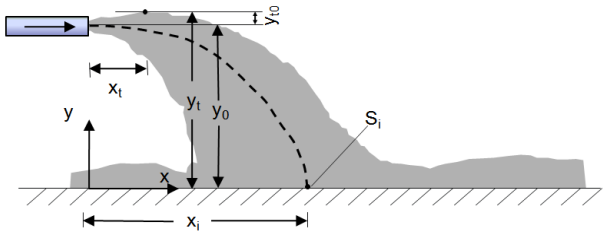
Deniz deşarjı su jetlerinin hidrodinamik incelemelerinde kabul görmüş resmi mercilerce onaylı Cormix, VISJET, US EPA Visual Plumes (VP) vb. belli başlı sayısal modelleme programları pratikte yaygın olarak özellikle pozitif yüzen jetleri olan evsel atıksu deşarjlarının tasarımında yaygın olarak kullanılabilmektedir (Doneker & Jirka, 2001; Roberts & Tian, 2004; Lee & Chu, 2003; Shao & Law, 2006). Örneğin US EPA VP paket programındaki UM3 modeli (VP-UM3) evsel atıksuyun deşarjının gerçek dağılımı ve fiziksel deney ölçümleri ile elde edilen seyrelme ve jet geometrik parametrelerinin karşılaştırılmasında kayda değer bir başarıya sahiptir (Frick, 2004). Yine VP-UM3 modeli, sıcak su deşarjının hidrodinamiğinin incelenmesinde gerek laboratuvar fiziksel deneysel çalışmaları ile sayısal model çalışmalarının karşılaştırılmasında (Djamaa, 2016; Temelli vd., 2017) ve hatta sıcak su deşarjının pratikte az örneği görülen yeni bakış açılı deşarj tasarımlarının incelenmesinde (Ozdogan Cumali & Nemlioglu; 2022) etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Bu başarılı sayısal modelin (VP-UM3) soğuk su deşarjında da kullanılabilirliğinin incelenmesi soğuk su deşarj tesislerinin tasarımını daha başarılı ve kolay hale getirebileceğinden önemlidir.

Bu çalışmada, Nemlioğlu & Sezgin (2014) tarafından yükseltilmiş ve batık bir deşarjdan yüzeye yakın

yatay olarak boşaltılan soğuk suda taban derinliğinin etkisinin incelendiği deneysel çalışma sonuçları ile aynı koşullarda US EPA VP-UM3 modelindeki benzeşimin çarpma noktası seyrelmesi ve jet geometrik parametrelerinin sonuçlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır.

MATERYAL VE METOT

Yatay yerleştirilmiş tekil dairesel bir deşarj deliğinden alıcı ortam suyunun -5°C soğutulmuş halinin soğuk su jetleri olarak tabandan iki farklı yükseklikten durgun ve yoğunluk tabakalaşması olmayan alıcı ortama deşarjının fiziksel laboratuvar modeli ile incelendiği Nemlioglu & Sezgin (2014) çalışmasından alınan merkez eksen seyrelmeleri ve jet geometrik parametreleri, bu çalışmada aynı deşarj koşulları altında US EPA VP-UM3 sayısal modeli sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deney koşulları sayısal modelde girdi olarak kullanılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan soğuk su jetinin parametrelerine ait görsel Şekil 1' de verilmiştir. Çalışmada kullanılan deneysel katsayılar ise Tablo 1' de sunulmuştur. Tablo 1'de açıklamaları sunulan deneysel katsayılar Şekil 1'de gösterilen jet geometrisine (C_1,…C_4) ve seyrelmesine (C_5) ait normalize edilmiş parametre değerlerine karşılık gelen kısaltmalardır ve fiziksel modeller ile sayısal modellerin karşılaştırılmasında kullanılmıştır. VP-UM3 modeline girdiler oluşturan ve deneysel çalışmanın detaylı özetinin yer aldığı bilgiler Tablo 2' de gösterilmiştir (Nemlioglu & Sezgin, 2014).



Şekil 1. Yatay deşarj edilmiş soğuk su jeti tanımlamaları çizimi (Nemlioglu & Sezgin, 2014).
Figure 1. Definition sketch for horizontally discharged cold water jet (Nemlioglu & Sezgin, 2014).

Tablo 1. Deneysel katsayılar (normalize edilmiş).
Table 1. Experimental coefficients (normalized).

Parametre	Eşitlik	Katsayı
Tabana göre jetin tepe yüksekliği	y_t/dF =	C_1
Deşarj deliği merkezine göre jet tepe yüksekliği	y_{t0}/dF =	C_2
Jet tepe yüksekliğinin deşarj deliğine uzaklığı	x_t/dF =	C_3
Çarpma noktasının deşarj deliğine uzaklığı	x_i/dF =	C_4
Çarpma noktası seyrelmesi	S_i/F =	C_5

Deşarj koşullarının deneysel, sayısal model ve gerçek tasarım arasındaki oransal benzeşimin yapılmasında kullanılan yoğunluksal Froude (F) sayısı Eşitlik 1'den bulunmuştur (Bayat vd., 2003). Eşitlik 1'de verilen yoğunluk farkı, Δρ Eşitlik 2'den ve soğuk suyun alıcı ortamda seyrelmeleri, S, Eşitlik 3' ten hesaplanmıştır:

$$F = \frac{u}{\sqrt{g \cdot d \cdot |\Delta\rho / \rho_0|}} \quad (1)$$

$$\Delta\rho = \rho_0 - \rho_a \quad (2)$$

$$S = \Delta T_0 / \Delta T_{max} \quad (3)$$

Burada, u, akış hızı (m/s), d deşarj deliği çapı (mm), g, yerçekimi ivmesi (g=9,81 m/s^2), ρ_0, deşarj edilen akışkanın (soğuk su) yoğunluğu (kg/m^3), ρ_a, alıcı ortam akışkanın yoğunluğu (kg/m^3), Δρ, yoğunluk farkı olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, ΔT_{max}, yerel jet en kesiti içindeki maksimum sıcaklıklar farkını, ΔT_0, ($\Delta T_0 = T_a - T_0$), başlangıç sıcaklık farkını, T_a, alıcı ortam sıcaklığını ve T_0, deşarj edilen soğuk su sıcaklığını (°C) ifade etmektedir.

Tablo 1'de verilen normalize edilmiş deneysel katsayılar (C_1….C_5), Şekil 1'de yatay ve düşey uzaklıklar ile çarpma noktası seyrelmesinin, Si, d ve F değerleri ile normalize edilmesi ile bulunmuştur. Deneysel çalışmada kullanılan diğer eşitlikler ve detayları Nemlioğlu & Sezgin (2014) çalışmasında verildiği gibidir. Nemlioğlu & Sezgin (2014) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmada, hacim akısının (debi) seyrelme ve jet tepe yüksekliği üzerindeki etkisinin ihmal edilebilmesi için yoğunluksal Froude sayısının, F≥20 olması gerektiği belirtilmiştir (Roberts & Toms, 1987). Bu nedenle, söz konusu çalışmada 60 civarında F değerleri kullanıldığı ifade edilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Deney koşulları özeti (Nemlioglu & Sezgin, 2014).
Table 2. Summary of experimental conditions (Nemlioglu & Sezgin, 2014).

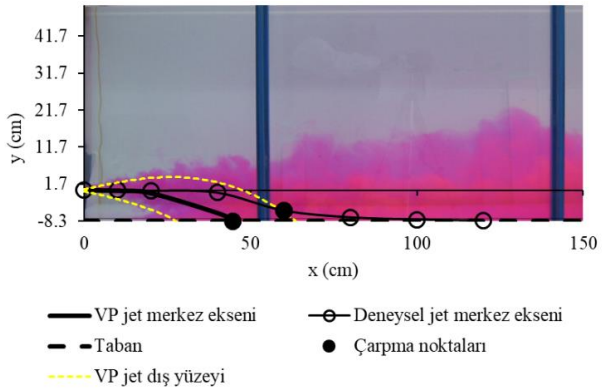
Deney Adı	y_0 (cm)	T_0 (°C)	T_a (°C)	ρ_0 (kg/m^3)	ρ_a (kg/m^3)	D (mm)	ν (x10^{-6}) (m^2/s)	u (m/s)	R	F
CJ8.3-01	8,3	14,4	19,4	999,58	998,65	5	1,1267	0,407	1808,1	60,28
CJ8.3-02	8,3	14,3	19,3	999,59	998,67	5	1,1297	0,407	1803,3	60,45
CJ8.3-03	8,3	15,0	20,0	999,49	998,52	5	1,1094	0,407	1836,3	59,03
CJ11-01	11	14,3	19,3	999,59	998,67	5	1,1297	0,407	1803,3	60,45
CJ11-02	11	14,3	19,3	999,59	998,67	5	1,1297	0,407	1803,3	60,45
CJ11-03	11	14,3	19,3	999,59	998,67	5	1,1297	0,407	1803,3	60,45

Bu çalışmada, deneysel çalışma ile sayısal model sonuçlarının karşılaştırılması için normalize edilmiş olarak yerel soğuk su jet yörünge uzunlukları (L/dF) ile seyrelmelerin (S/F) grafikleri verilmiştir. Dolayısıyla, seyrelmeler yörünge uzunluklarının bir fonksiyonu olarak hesaplanmıştır.

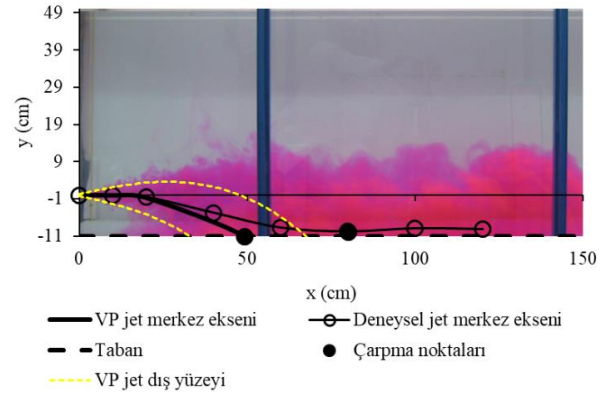
BULGULAR

Yatay deşarj edilen soğuk su jetlerinin tabana çarpma noktasına kadar olan birinci seyrelmelerinin deneysel ve sayısal model olarak karşılaştırıldığı bu çalışmada, deneysel çalışmalarda elde edilen deney sonu

anlık görüntüleri Şekil 2 (y_0=8,3 cm) ve 3'te (y_0=11 cm) verilmiştir. Deneysel çalışmalarda oluşan jet merkez eksinleri, yerel sıcaklıkların belirlenmiş yatay uzaklıklardaki enkesit içi sıcaklık ölçümleri için yapılan düşey tarama ile elde edilmiştir. Ayrıca, bu çalışma kapsamında elde edilen ve deneysel verilerle aynı koşullarda çalıştırılan US EPA VP-UM3 sayısal model çıktıları olan jet merkez eksen ve jet sınır çizgileri Şekil 2 ve 3'te gösterilmiştir. Her iki şekil incelendiğinde, jet sınır koşulları için genel olarak deneysel görseller ile sayısal model çıktılarının aynı eğilim gösterdiği (çarpma noktasına kadar), ancak sayısal modelden elde edilen çarpma noktasının deneysel değerlere göre deşarj noktasından yatay uzaklık olarak daha erken tabana ulaştığı belirlenmiştir. Dolayısıyla, jet merkez eksen yörünge uzunlukları sayısal modelde daha erken tabana yöneldiği için deneysel çalışmada elde edilen jet yörüngelerine göre daha kısa bulunmuştur.



Şekil 2. y_0=8,3 cm nozül-taban mesafesi için soğuk su jetinin anlık görüntüsü.
Figure 2. Cold water jet instantaneous image for y_0=8.3 cm nozzle-bottom distance.



Şekil 3. y_0=11 cm nozül-taban mesafesi için soğuk su jetinin anlık görüntüsü.
Figure 3. Cold water jet instantaneous image for y_0=11 cm nozzle-bottom distance.

Bu çalışmada, USEPA VP-UM3 sayısal modelinden jet geometrisine ve seyrelmeye ait değerlerden elde edilen katsayılar ile deneysel olarak belirlenen katsayıların karşılaştırılması Tablo 3'te sunulmuştur. Tablo 3'te verilen katsayıların değerleri incelendiğinde her iki taban yüksekliği için C_1 deneysel sonuçların model çıktılarından ortalama olarak yaklaşık %38, C_2 için yaklaşık %70 ve C_3 için %42 daha büyük olduğu belirlenmiştir. Jet geometrisini belirleme açısından önemli olan bu parametrelerin (C_1, C_2 ve C_3 katsayılarının) deneysel değerlerde daha yüksek olması US EPA VP-UM3 de akış jetinin daha erken aşağıya yönelmesinin bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Çarpma noktasının deşarj deliğine olan yatay uzaklığının normalize edilmiş katsayı olan C_4 için benzer şekilde deneysel değerler sayısal model verilene göre daha yüksek olarak hesaplanmış ancak bu parametrede taban yüksekliğinin jet çarpma noktası yatay uzaklığına olan etkisi beklendiği gibi daha net gözlemlenmiştir. y_0=8,3 cm taban yüksekliğinde ortalama fark yaklaşık %26 iken y_0=11 cm'de bu fark yaklaşık %38 olmuştur. Ayrıca, Tablo 3'te verilen ve çarpma noktası normalize edilmiş seyrelme değerlerini ifade eden C_5 katsayılarının yine deneysel sonuçları sayısal model sonuçlarından ortalama olarak yaklaşık %44 daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde VP-UM3 sayısal modelinin deneysel değerlerle aynı büyüklüklere ulaşabilmesi için deşarj noktasının tabandan ve su yüzeyinden daha fazla derinliğe ihtiyaç duyduğu veya başka bir ifade ile sayısal modelin çevresel açıdan daha korumacı bir yaklaşım sergilediği söylenebilir.

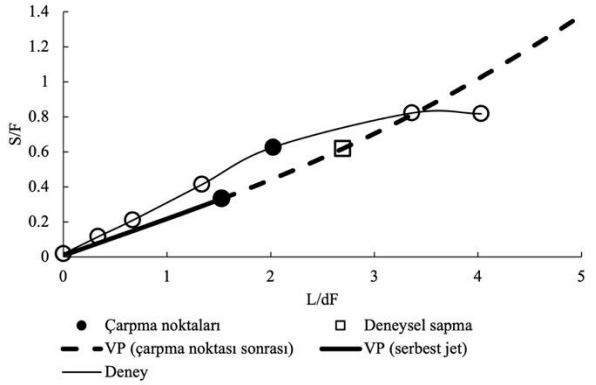
Bu çalışma kapsamında soğuk su jetinin merkez yörüngeleri de karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırılmalar için sayısal modelden elde edilen soğuk su jeti yerel yörünge uzunlukları (yerel merkez eksen noktasının deşarj deliği merkezinden eksenel uzunluğu) ile bu yerel enkesitteki jet merkez eksen seyrelmeleri normalize edilmiş olarak Şekil 4 ve 5'te verilmiştir.

Şekil 4 ve 5'e göre deneysel L/dF-S/F eğrilerinin artış eğilimleri şu şekildedir: 1. Deşarj noktasından çarpma noktası öncesine kadar "serbest jet" bölgesinde L/dF-S/F eğrileri büyüyerek artış eğilimindedir, 2. Çarpma noktası öncesinde L/dF-S/F eğrileri artış miktarı azalmıştır, 3. Çarpma noktasında ve sonrasında jet tabana çarparak şekil değiştirmiş ve taban üzerinde "yoğunluk akıntısı" oluşmuştur; bu bölgede L/dF-S/F eğrileri azalan hızla artış göstermiştir. Diğer taraftan, US EPA VP-UM3 sayısal modeli jet-taban etkileşimini hesaplayamadığı için L/dF-S/F eğrileri sürekli olarak "serbest jet" bölgesindeki şekilde büyüyerek artış eğilimi göstermiştir. Şekil 4 ve 5'te bu durum, VP-UM3 L/dF-S/F eğrilerinin tabana çarpma sonrasında seyrelme gerçek değeri ile gösterilemediğinden çarpma noktası sonrası kesikli çizgi şeklinde gösterilmiştir. VP-UM3 L/dF-S/F eğrileri çarpma noktası S/F seyrelmelerinin, L/dF değerleri deneyseldeki yörünge uzunluklarından daha kısa kalmasına bağlı olarak konservatif tarafta kalmış bir şekilde, daha küçük seyrelme değerlerine sahip oldukları belirlenmiştir.

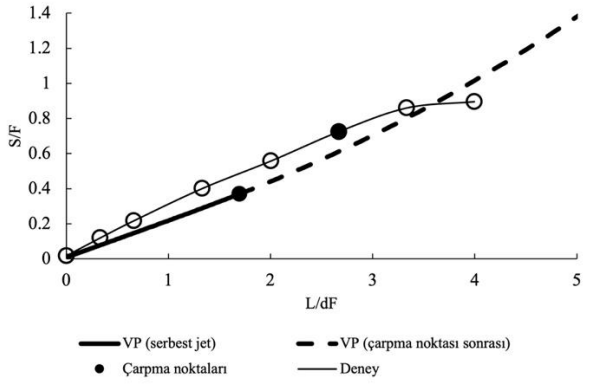
Tablo 3. Soğuk su jeti geometrik ve seyrelme katsayılarının karşılaştırılması.
Table 3. The comparison of cold water jet geometrical and dilution coefficients.

	C_1			C_2			C_3			C_4			C_5		
Deney Adı	Deney	VP	Farklılık* (%)	Deney	VP	Farklılık* (%)	Deney	VP	Farklılık* (%)	Deney	VP	Farklılık* (%)	Deney	VP	Farklılık* (%)
CJ8.3-01	0,70	0,40	43,17	0,42	0,12	71,36	1,48	0,82	44,99	1,99	1,48	25,79	0,45	0,33	26,60
CJ8.3-02	0,63	0,39	37,66	0,36	0,12	66,39	1,28	0,81	36,83	1,99	1,47	25,87	0,64	0,33	48,04
CJ8.3-03	0,62	0,40	34,90	0,34	0,12	64,09	1,38	0,80	41,97	2,03	1,49	26,67	0,79	0,34	57,50
CJ11-01	0,82	0,48	41,37	0,46	0,12	73,92	1,46	0,81	44,52	2,65	1,64	38,10	0,50	0,37	25,91
CJ11-02	NA	0,48	NA	NA	0,12	NA	NA	0,81	NA	2,65	1,64	38,10	0,84	0,37	56,20
CJ11-03	0,76	0,48	36,76	0,40	0,12	70,00	1,41	0,81	42,59	2,65	1,64	38,10	0,79	0,37	53,26

NA: Mevcut değil.
*: Fark (%) = (Deneysel-VP)*100/Deneysel



Şekil 4. y_0= 8,3 cm için yörünge uzunluklarına göre yerel seyrelme karşılaştırması.
Figure 4. The comparison of local dilutions by trajectory lengths for y_0= 8.3 cm.



Şekil 5 y_0= 11 cm için yörünge uzunluklarına göre yerel seyrelme karşılaştırması.
Figure 5. The comparison of local dilutions by trajectory lengths for y_0= 11 cm.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, tekil dairesel bir delikten durgun ve tabakasız alıcı su ortamına, tabandan farklı yüksekliklerde yatay olarak deşarj edilen soğuk suların deneysel ve US EPA VP-UM3 sayısal modeli ile jet geometrisi ile merkez eksen ve çarpma noktası seyrelme sonuçları karşılaştırılmıştır. Pratikte çoğunlukla denize deşarj edilen evsel atıksuların veya sıcak suların deşarjı gibi pozitif yüzen atıksu jetlerinin deşarjı sistemlerinin tasarımında kullanılan US EPA VP-UM3 sayısal modeli, bu çalışmada, negatif yüzen jet olan soğuk su deşarjının modellemesindeki uygulanabilirliği incelenmiştir.

Deneysel çalışma ile aynı koşullarda çalıştırılan VP-UM3 sayısal modelinin çıktılarının karşılaştırmalı olarak incelendiği bu çalışma sonucunda, VP-UM3 sayısal modelinin soğuk su jetinin, yatay deşarjında fiziksel laboratuvar modelindeki jetlere göre kısa mesafede çökeldiği tespit edilmiştir. Bu durumun bir neticesi olarak da jetin tabana çarpma noktasının deşarj noktasına göre daha kısa bir yatay uzaklıkta oluştuğu belirlenmiştir. Bu durumda, VP-UM3 sayısal model hesaplamaları ile bulunan soğuk su merkez eksen yörünge uzunlukları, deneysel olarak elde edilen yörünge uzunluklarına göre daha kısa kalmıştır. Deneysel çalışmada gözlemlenen daha uzun jet yörüngesinin bir sonucu olarak (soğuk su jeti deniz suyu içerisine daha fazla difüze olduğu için) deneysel çarpma noktası seyrelmeleri VP-UM3 sayısal model seyrelmelerine göre yaklaşık %44 daha büyük olduğu hesaplanmıştır. Yani, soğuk su deşarjında VP-UM3 sayısal modelinin tabana çarpma noktasında oluşan seyrelme değerleri daha konservatif tarafta kalmış ve bu modelin gerektiğinde soğuk suların denize deşarj sistemlerinin tasarımda kullanılabilir olduğu söylenebilir. Bununla birlikte, deneysel ve model sonuçları birbirinden %44 gibi büyük bir farklılık göstermesi US EPA VP-UM3 sayısal modelinin çevresel anlamda önemli ölçüde güvenli (koruyucu) tarafta kalınmakla birlikte, daha ekonomik difüzör tasarımları için bu modelin soğuk su deşarjlarına uyarlanmış modifikasyonlarının geliştirilmesinin önemli olduğu düşünülmektedir. US EPA VP-UM3 sayısal modelinin soğuk su deşarjında aynı başlangıç koşullarında deneysel seyrelme sonuçlarına göre aynı yerel konumlarda daha düşük seyrelmeler hesaplaması hedeflenen seyrelme için daha büyük boyutlarda tasarım yapılmasına neden olabilmesi bir zayıflık gibi düşünülse de böyle bir tasarımın beklenenden daha yüksek seyrelmelere neden olması çevre korunması açısından UM3 modelinin bir üstünlüğü olarak görülebilir.

KAYNAKLAR

Artuz, I. (1992). Marine pollution, (in Turkish), Istanbul Technical University, *Faculty of Naval Architecture and Ocean Engineering Press*, ***1464***, Istanbul, Turkey.

Bayat, C., Nemlioglu, S., Altuncu, F.F. & Berkun, M. (2003). 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*, Poster No. A58, Antalya, Turkey.

BOTAŞ (2012a). *BOTAS Marmara Ereğlisi LNG Terminal Official Data 2012*, (in Turkish), Marmara Ereğlisi, Tekirdağ.

BOTAŞ (2012b). *BOTAS Aliaga LNG Terminal Official Data 2012*, (in Turkish), Aliağa, İzmir.

Djamaa, F. (2016). *Sığ sulara boşaltım yapan ısıl deniz deşarjlarının birinci seyrelmesinin incelenmesi.* Istanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul, Türkiye, 415s.

Doneker, R.L. & Jirka, G.H. (2001). CORMIX-GI systems for mixing zone analysis of brine wastewater disposal, *Desalination*, ***139***(1-3), 263-274. DOI: 10.1016/S0011-9164(01)00318-6

Frick, W.E. (2004). Visual Plumes mixing zone modeling software. *Environmental Modelling & Software*, ***19***(7-8), 645-654. DOI: 10.1016/j.envsoft.2003.08.018

Hart, Jr. C.W. & Fuller, S.L.H. (Eds) (1974). Pollution ecology of freshwater invertebrates, *Academic Press Inc.*, New York. DOI: 10.1002/iroh.19780630232

Kellogg Limited, M.W. (1986). BOTAS LNG Terminal Marmara Ereglisi Environmental Impact Report, Kellogg Job No. 5377, Greenford, Middlesex, U.K.

Lee, J.H.W. & Chu, V.H. (2003). *Turbulent jets and plumes: a Lagrangian approach, Vol. 1, Kluwer Academic Publishers*, Boston. DOI: 10.1007/978-1-4615-0407-8

Malacic, V., Faganeli, J. & Malej, A. (2008). *Environmental impact of LNG terminals in the Gulf Trieste (Northern Adriatic)*, In: Coskun, H.G., Cigizoglu, H.K., Maktav, M.D. (eds) Integration of Information for Environmental Security. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, 375-395p, Springer, Dordrecht. DOI: 10.1007/978-1-4020-6575-0_25

Nemlioglu, S. & Roberts, P.J.W. (2006). Experiments on dense jets using three-dimensional laser-induced fluorescence (3DLIF), *MWWD 2006 - 4th International Conference on Marine Wastewater Disposal and Marine Environment*, Abstracts, 227.

Nemlioglu, S. & Sezgin, N. (2014). Water depth effects on initial dilution of horizontally discharged cold water from an elevated outfall. *International Journal of Global Warming*, ***6***(2/3), 284-294. DOI: 10.1504/IJGW.2014.061022

Ozdogan Cumali, B. & Nemlioglu, S. (2022). Initial dilution improvement of thermal wastewater outfall singular jets by nozzle inclination for decrement of sea water evaporation. *Int. J. Global Warming*, ***28***(2), pp.170-184. DOI: 10.1504/IJGW.2022.126061

Roberts, P.J. & Tian, X. (2004). New experimental techniques for validation of marine discharge models. *Environmental Modelling & Software*, ***19***(7-8), 691-699. DOI: 10.1016/j.envsoft.2003.08.005

Roberts, P.J.W. & Toms, G. (1987). Inclined dense jets in flowing current. *J. Hydraul. Eng*. ASCE ***113***(3), 323-341. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9429(1987)113:3(323)

Roberts, P.J.W., Ferrier, A. & Daviero, G. (1997). Mixing in inclined dense jets, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, ***123***(8), 693-699. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9429(1997)123:8(693)

Sezgin, N. (2018). Yatay deşarj edilen soğuk-yoğun atıksuların bazı deşarj parametrelerinin belirlenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, ***24***(3), 494-499. DOI: 10.5505/pajes.2017.17136

Shao, D. & Law, A.W.K. (2011). Boundary impingement and attachment of horizontal offset dense jets, *Journal of Hydro-Environment Research*, ***5***(1), 15-24. DOI: 10.1016/j.jher.2010.11.00

Shao, D.D. & Law, A.W. (2006). Desalination discharges in shallow coastal waters, *MWWD 2006-4th International Conference on Marine Wastewater Discharges and Coastal Environment*, Abstracts, 6-11 November, Antalya, MEM Ajans, Istanbul, 269-270.

Steemann Nielsen, E. (1975). *Marine photosynthesis with special emphasis on the ecological aspects*, Elsevier Oceanography Series, 13, Elsevier Scientific Publishing Company, New York.

Temelli, U.E., Sezgin, N., Djamaa, F. & Nemlioglu, S. (2017). An investigation on initial dilution of thermal wastewater discharges into shallow receiving waters with 60° inclination. *Desalination and Water Treatment*, ***93***, 355-360. DOI: 10.5004/dwt.2017.21503