



Modeling of near field dilution of heated discharges of sea outfalls

Nihal Yılmaz¹ , Asu İnan^{2*} 

¹Marine and Water Sciences Application and Research Center, Gazi University, Ankara, 06570, Turkey

²Department of Civil Engineering, Gazi University, Ankara, 06570, Turkey

Highlights:

- Heated discharges
- Near field dilution
- Numerical modeling in coastal waters
- CORMIX
- Visual Plumes

Keywords:

- Heated discharges
- Near field dilution
- Numerical modeling

Article Info:

Received: 02.01.2017

Accepted: 18.07.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.416390

Acknowledgement:

This study is a production of the 114Y806 Project entitled Modeling of Near Field Diution of Brine or/and Heated Discharges sponsored by TUBITAK.

Correspondence:

Author: Asu İnan

e-mail:

asuinan@gazi.edu.tr

phone: +903125823219

Graphical/Tabular Abstract

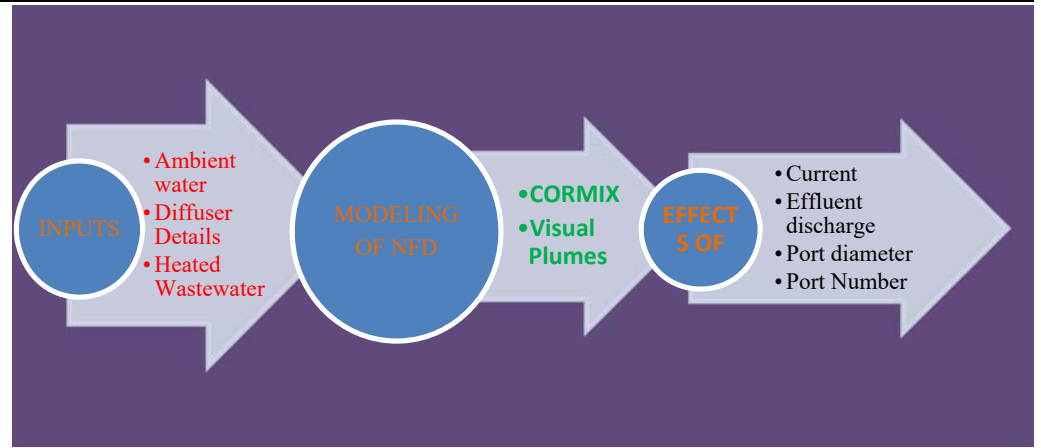


Figure A. Modeling of near field dilution

Purpose:

The main cause of heated water discharges is the use of seawater as a coolant by power plants and industrial manufacturers. Uncontrolled discharges into the ambient sea water having excess heat, have an adverse effect on the ecosystems. In this study, the near field dilution of heated sea water discharges was modeled and the behaviors of pollutant clouds were analyzed using CORMIX (CORMIX2) and Visual Plumes. Following effects of different parameters (total effluent discharge, diffuser length, port details, current) on the near field dilution of heated discharges were investigated with different scenarios waters by numerical models CORMIX2 and Visual Plumes. Sensitivity analysis of the discharge parameters were made comparatively.

Theory and Methods:

Samsun coastal area is selected as a real coastal area to obtain realistic results. The salinity and temperature measurements are used to calculate the density in the ambient water. Wind and wave climates and current pattern are used as input in the models. The predictions of CORMIX and Visual Plumes are compared.

Results:

Near-field dilution modeling is affected by wastewater discharge, current velocity, diffuser length, port diameter and number of ports significantly

Conclusion:

The effects of the wastewater discharge, current velocity, and port details on the near-field dilution are examined. It is checked, for the conditions used in this study, that near-field dilution is greater than 40. Visual Plumes and CORMIX predictions are acceptable and similar for positive buoyancy conditions. Both of them are reliable tools for determination of near field dilution of heated discharges.



Sıcak su deniz deşarjlarının yakın alan dağılımının modellenmesi

Nihal Yılmaz¹ , Asu İnan^{2*} 

¹Gazi Üniversitesi, Deniz ve Su Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi, Ankara, 06570, Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, 06570, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Sıcak su deşarjı
- Yakın alan seyrelmesi
- Kıyı sularında sayısal modelleme

Makale Bilgileri

Geliş: 02.01.2017

Kabul: 18.07.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.416390

Anahtar Kelimeler:

Sıcak su deşarjı,
yakın alan dağılımı,
modelleme

ÖZET

Nükleer santrallerde ve endüstriyel tesislerde soğutma işleminin deniz suyuyla sağlanmasıyla atık termal su açığa çıkar. Alıcı ortamdan daha yüksek sıcaklıkta bulunan kontrolsüz atık su, alıcı ortam ekosisteminin olumsuz yönde etkilenmesine sebep olur. Bu çalışmada sıcak atık suyun yakın alan dağılımları modellenecek, kirlilik bulutlarının davranışları incelenecektir. Bu amaçla CORMIX (CORMIX2) ve Visual Plumes yazılımları kullanılacaktır. Çeşitli parametrelerin (deşarj debisi, difüzör uzunluğu, delik detayları, akıntı) yakın alan dağılımına etki derecelerini belirlemek için hassasiyet analizleri yapılmış, her iki modelin parametrelere karşı hassasiyetleri de karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Çalışma varsayımsal olsa da, gerçekçi sonuçlar elde edebilmek için gerçek bir denizel alanın özellikleri kullanılmıştır. Bu amaçla Samsun denizel alanına yaz mevsimi koşullarında CORMIX (CORMIX2) ve Visual Plumes yazılımları uygulanarak sıcak atık suyun yakın alan dağılımları modellenerek parametrelerin etkileri tartışılmıştır.

Modeling of near field dilution of heated discharges of sea outfalls

H I G H L I G H T S

- Heated discharge
- Near field dilution
- Numerical modeling in coastal waters

Article Info

Received: 02.01.2017

Accepted: 18.07.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.416390

Keywords:

Heated discharges,
near field dilution,
numerical modeling

ABSTRACT

The main cause of heated water discharges is the use of seawater as a coolant by power plants and industrial manufacturers. Uncontrolled discharges into the ambient sea water having excess heat, have an adverse effect on the ecosystems. In this study, the near field dilution of heated sea water discharges was modeled and the behaviors of pollutant clouds were analyzed using CORMIX (CORMIX2) and Visual Plumes. Following effects of different parameters (total effluent discharge, diffuser length, port details, current) on the near field dilution of heated discharges were investigated with different scenarios waters by numerical models CORMIX2 and Visual Plumes. Sensitivity analysis of the discharge parameters were made comparatively. In spite of a hypothetical study, a real coastal area was selected to obtain and discuss realistic conditions. Therefore Samsun coastal area in summer condition was selected and CORMIX2 and Visual Plumes were applied to determine the effects of discharge parameters on near field dilution.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: asuinan@gazi.edu.tr / Tel: +90 312 582 3219

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Gelişen teknolojiyle birlikte artan enerji tüketimi ve enerji talebini karşılamak için pek çok tesis faaliyete girmektedir. Nükleer santraller, termik santraller ve pek çok fabrikada soğutma işleminin suyla sağlanmasıyla atık termal su açığa çıkar. Alıcı ortamdan daha yüksek sıcaklıkta bulunan atık su, alıcı ortam ekosisteminin olumsuz yönde etkilenmesine sebep olur. Yasal düzenlemeler bu olumsuz etkinin minimize edilmesi için sınırlayıcı kıstaslar getirir. Sıcaklığı yükselmiş atık suların içeren suların karmaşık seyrelme hesapları, alıcı ortama ait bir takım kabuller yapılarak basitleştirilebildiği gibi, daha fazla sayıda parametreyi ve detaylı oşinografik verileri göz önüne alan bilgisayar paket program ve modüllerle destekli matematiksel modellerin kullanımı ile de sağlanabilir. Su ile soğutma yapan enerji santrallerinin pek çoğunda soğutma suyu ısı transferi sonrasında sistemi terk eder. Açık devre sistemlerde su alma yapısı ile denizden alınan suyun ısı, soğutulması gereken akışkana transfer edildikten sonra ısınan su tekrar denize deşarj edilir.

Kapalı devre sistemlerde sabit hacimde akışkan ile sürekli olarak sistem soğutmasının sağlanması amaçlanır. Örneğin 2000MW kurulu güçte santral ile tek geçişli soğutma sistemiyle $90\text{m}^3/\text{s}$ su çekilir ve $1\text{m}^3/\text{s}$ kayıp vardır; fakat soğutma kulesi sisteminde $4\text{m}^3/\text{s}$ su çekilir ve kayıp $2\text{m}^3/\text{s}$ dir. Kapalı devre sistemlerin maliyeti, açık devre sistemlerin maliyetinden on kat daha fazla olabildiğinden, büyük alıcı su ortamlarının yakınındaki tesislerde ekonomikliği nedeniyle çoğunlukla açık devre sistemler tercih edilmektedir. Su kullanımını optimize etmek için kışın açık devre, yazın kapalı devre sistemler kullanılabilir. Santrallerin soğutma sularını deşarj ettikleri su ortamında sıcaklık zamanla yükselerek, santral kurulmadan önceki halden farklı bir sıcaklık dengesi oluşur. Termal atık su deşarjı, sudaki canlıların metabolik faaliyetlerinin etkilenmesi ve oksijenin suda çözünürlüğünün azalmasına neden olur. Her balık türü metabolik faaliyetleri için kendine özgü bir sıcaklık dizinine sahiptir. Sıcaklık artışında sıcaklığa dayanıklı türler, yüksek sıcaklıklara hassas türlerin yerini alır. Özellikle nükleer santrallerde sık aralıklarla yaşanan devreden çıkma durumlarında alıcı ortam olumsuz etkilenir [1]. Tesislerde soğutma işlemi sonrası alıcı ortama deşarj edilen sıcaklığı yükselmiş atık suyun deşarjında gerekli seyrelmenin sağlanması ve yasal yükümlülüklerin yerine getirilmesi için difüzörler tasarlanır.

Bu difüzörlerle momentum oluşturularak seyrelmenin artması amaçlanır. Farklı ortam koşullarına göre tercih edilebilecek difüzör tipleriyle olumsuz çevresel etkiler hızla azaltılır. Deşarj borularında taşınan atık suyun denizel alıcı ortama çıkışını sağlayan difüzörün yapısal özellikleri, sabitleştirileceği ve yerleştirileceği doğrultu, belli hidrolik esaslara uyularak ve istenilen nitelikte bir seyrelme elde edilecek şekilde tespit edilmektedir. Difüzörün yer alacağı derinlikteki akıntı özellikleri seyrelme olayı üzerinde

önemli etkisi olan fiziksel bir süreçtir [1]. Atık su denize deşarj edildikten sonra başlangıç seyrelmesi ve dispersiyon yoluyla konsantrasyonu hızla azalır. Fakat seyrelmelerin gerçekleşebilmesi ve kıyıya taşınımın olmaması için alıcı ortamdaki akıntı yapısı ve kıyıya olan mesafe uygun olmalıdır. Bir deniz deşarjı sisteminden beklenen en önemli işlev, ortama verilen madde konsantrasyonlarının, seyrelme yoluyla kıyı kesiminin kullanım amacına bağlı olarak saptanan sınır değerlerin altına düşürülmesidir [2]. Literatürde, denize kıyısı olan bölgelerde deneysel, matematiksel ve saha ölçümleriyle birçok çalışma yapıldığı ve bu çalışmalardan elde edilen veriler doğrultusunda deniz deşarj sistemlerinin ve sistem elemanlarının tasarımının yapıldığı belirtilmektedir. Carvalho vd. tarafından atığa eser boya eklenerek yapılan saha ölçümleri ile akıntı, tabakalaşma ve seyrelme değerleri ölçülmüştür. Ölçümler sonucunda bulut davranışının büyük miktarda yoğunluk tabakalaşmasından etkilenecek belli bir derinlikte tutsaklandığını ve seyrelmenin düşük değerlere sahip olduğu saptanmıştır. Tabakalaşmanın olmadığı durumda bulutun deniz yüzeyine yükseldiği ve seyrelme değerinin arttığı saptanmaktadır [1]. Roberts vd. çalışmalarında; atık su bulutunun yüzeye ulaştığı durumlarda seyrelmelerin yükseldiğini; 600 ile 5400 değerleri arasında değişerek ortalama 1350 değerine ulaştığını göstermişlerdir. Seyrelmedeki farklılığın nedeni, mevsimsel değişimlerle atık suyun alıcı ortamda davranışının değişmesidir [3]. Cheng ve Chou, difüzör boyunca gerçekleşen debi dağılımını analitik, sayısal ve deneysel yöntemlerle çalışmış ve duvar sürtünme katsayısı, delik momentumu gibi parametreler ile delik çapı için değerler saptamışlardır [4]. Difüzörler, birincil seyrelmeyi arttırmak için deniz deşarj sistemlerinden atık suyun alıcı ortama verildiği çıkış kısımlarına yerleştirilmektedir. Seyrelme değerinin ve iletim uzunluğunun yüksek olması için difüzörler yatay doğrultuda yerleştirilir. Difüzör üzerindeki delikler yeterli mesafelerde yerleştirilerek atık su bulutlarının birleşmelerinin engellenmesi amaçlanmaktadır. Nemlioğlu, delik şeklinin hidrolik performansa ve servis ömrüne etkisini deneylerle incelemiştir. Deneyler sonucunda eski tip delik şekilleri yerine çan-ağız veya farklı tip keskin-kenar ağız delik tiplerinin tercih edilmesinin uygun olacağını belirtmiştir. Yapılan deneyler deniz deşarj sistemlerinin hidrolik kapasitelerinin artırılmasıyla atık su deşarj hacim ve kalitesinin artırılabilirliğini göstermektedir [5]. Sıcak suların yoğunluğu deniz suyu yoğunluğundan genellikle küçüktür. Bu nedenle, deniz suyunda yoğunluk tabakalaşması yoksa atık su bulutu deniz yüzeyine ulaşır [6]. Denize boşaltım tasarımı için ısı, tuzluluk ve yoğunluk gibi deniz suyu özellikleri araştırılmalıdır. Boşaltım noktasındaki deniz suyu yoğunluk kesiti, difüzör çıkışlarından boşalan atık su bulutunun davranışını etkilemektedir [2]. Deniz suyunun atık suyla ilk karışımı, atık su jetinin momentumunu yitirmesi ve atık su deniz suyu karışımı yoğunluğunun deniz suyu yoğunluğuna eşit olmasına kadar devam etmektedir. Yoğunluklar eşitlendikten sonra, atık su bulutunun taşınmasında ve yayılmasında akıntılar etkili olmaktadır. Üç-boyutlu optik

lazer sistem (3DLIF) ile bir deniz deşarj sisteminden yerinde ölçümler yapılmış, laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlar matematiksel modellerle karşılaştırılmıştır. [7]. Bu çalışmada sıcak atık suyun yakın alan dağılımları modellenerek deşarj debisi, difüzör uzunluğu, delik detayları, akıntı parametrelerinin birinci seyrelmeye etkileri tartışılmıştır.

2. YAKIN ALAN SEYRELMEŞİ (NEAR FIELD DILUTION)

Deniz ortamında fiziksel karışımdan kaynaklanan seyrelmeler yakın alan seyrelmesi (birinci seyrelme) ve dispersiyona bağlı seyrelme (ikinci seyrelme) olarak iki kısımda incelenmektedir. Birinci seyrelme olarak da adlandırılan yakın alan seyrelmesi difüzör deliklerinden çıkan atık su ile deniz suyunun fiziksel olarak karışması sonucu ortaya çıkan seyrelmeyi ifade etmektedir. Dispersiyona bağlı seyrelme (ikinci seyrelme) ise birinci seyrelme sona erdikten sonra yatayda yerel akıntılarının etkisinde hareketine devam eden atık suyun dispersiyon ve türbülans kaynaklı seyrelmesinden ibarettir. Yatayda ilerlemeye başlayan atık suyun bu hareketi sırasında ortaya çıkan biyokimyasal süreçler vasıtasıyla atık su kaynaklı bakterilerin canlılıklarını yitirmelerinden (bakteriyel inaktivasyon) ileri gelen seyrelme ise bakteriyel inaktivasyona bağlı seyrelme (üçüncü seyrelme) olarak tanımlanmaktadır [8].

Deniz deşarj sistemleri aracılığıyla deniz ortamına verilen atık sular ilk olarak atık suyu çevreleyen deniz suyu ile karışmaya başlamaktadır. Bu ilk karışımda atık suyun difüzör deliklerinden çıkarken sahip olduğu enerji önemli bir parametredir. Difüzör deliğinden çıkan atık suların davranışı genel olarak üç hidrolik rejimle karakterize edilmektedir [9]. Bunlar; jet rejimi, jet-bulut rejimi ve bulut rejimidir. Atık su, difüzör deliğinden çıkarken sahip olduğu hızından ötürü bir momentuma sahiptir. Atık suyun momentumu sebebiyle oluşturduğu akım rejimi jet akımı veya jet rejimi olarak adlandırılır. Atık suyun difüzör deliğinden çıkış hızı ne derece büyük olursa momentumu da o derece büyük olacağından jet rejimi o kadar etkin olacaktır. Atık suyun momentum etkisiyle oluşturduğu jet rejimi atık su-deniz suyu arasındaki yoğunluk farkının baskın kuvvet olduğu ortamlarda jet-bulut rejimine veya yoğunluk jetine dönüşür. Atık su-deniz suyu arasındaki yoğunluk farkı sıfır oluncaya kadar atık su, su kütlesi içerisinde yoğunluk jeti olarak yükselmeye devam eder ve yoğunlukların eşitlendiği bir eş-yoğunluk noktasından sonra atık suyun düşey hareketi sona ererek yatayda bir bulut şeklinde hareket etmeye başlar. Atık suyun yatayda bir bulut olarak hareket ettiği bölge konveksiyon-difüzyon bölgesi olarak adlandırılır. Başlangıç enerjisi tamamen ortadan kalkan atık su, akıntı etkisi ile hareket etmeye başlar. Bu hareket sırasında türbülans ve difüzyon sebebiyle atık su ile deniz suyu birbiriyle karışmaya devam eder [9]. Atık suyun düşey hareketi sonlanıncaya kadar deniz suyu ile karışması sonucu meydana gelen seyrelme ilk seyrelme veya birinci seyrelme olarak tarif edilir [10]. Birinci

seyrelme, atık su ile deniz suyu yoğunluklarının eşitlenerek yükselmenin sona erdiği “eş yoğunluk yüksekliğine” (tutsaklanma seviyesi) kadar devam eder. Birincil seyrelme üç faktöre bağlı olarak gerçekleşir: Difüzörden çıkan atık suyun momentumuna bağlı olarak deniz suyuyla karışması, deniz suyuyla atık suyun yoğunluk farklarına bağlı olarak atık su tarlasının su kolonu içerisinde yükselmesi, akıntı etkilerinin sebep olduğu atık su-deniz suyu girişimleri. Deniz ortamı sıcaklık ve tuzluluk profili bakımından üniform bir yapıya sahip ise su kolonu içerisinde bir eş-yoğunluk noktası olmayacağından, atık su deniz yüzeyine kadar yükselecektir. Atık suyun deşarj edildiği derinlik arttıkça, atık su ve deniz suyunun temas ettiği ara yüzey alanı da artacağından birinci seyrelme değeri daha sığ deşarjlara veya tutsaklanma halinin gerçekleştiği durumlara göre daha büyük olacaktır. Difüzör delik çapı küçüldükçe, atık su jetinin çıkış hızı artacağından atık suyun başlangıç enerjisi daha büyük olacak ve bu durumda daha büyük birinci seyrelme değerleri ortaya çıkacaktır.

2.1. Yakın Alan Dağılımının Modellenmesi (Modeling of Near Field Dilution)

Birinci seyrelmeyi tahmin edebilmek için çok sayıda model geliştirilmiştir. Bu modellerden bazıları durgun, üniform ve tabakalaşma durumunun gözlenmediği su ortamları için birinci seyrelmeyi tahmin edebilmektedir. Deniz deşarjı tasarımı için geliştirilmiş oldukça kompleks bilgisayar yazılımları da mevcuttur. Bu çalışmada CORMIX ve Visual Plumes modelleri irdelenecektir. CORMIX, deşarj sistemleri tasarımı ve karışım bölgesinin analizlerini yapmak hazırlanmış bilgisayar temelli tasarım programıdır [11]. Debi ve çevre koşullarının verilerine göre hidrodinamik benzeştirme yapar. Her tab, farklı veri gruplarını temsil eder (Kirlenici özellikleri, alıcı ortam özellikleri, debi özellikler vb.). CORMIX Version 10.0, dört temel hidrodinamik benzeştirme modelinden oluşmaktadır: CORMIX1, CORMIX 2, CORMIX3 ve DHYDRO. CORMIX1, batık ve su yüzeyinde tekil delikten çıkan kirlenici kaynaklarının analizinde, CORMIX2 batık çoklu delikten çıkan kirlenicilerin analizinde, CORMIX3 yüzeysel debilerin analizinde, DHYDRO tuzlu ve/veya sediman debilerinin analizinde kullanılmaktadır. CORMIX, farklı debi koşullarında, her çeşit alıcı su ortamları için (nehirler, göller, rezervuarlar, nehir ağzı ve kıyı suları) hidrodinamik karışım prosesini niteliksel (akım sınıflandırması vb.) ve niceliksel (seyrelme oranı, bulut eğrisini vb.) modellemeye yarayan bir programdır [11]. CORMIX, jet integral modeli olup kütle ve momentumun korunumu prensibine dayanır ayrıca uzunluk ölçekli sınıflandırma ile integral yaklaşımını birlikte kullanır böylece sınır etkileşimini ve yakın alan için stabil olmayan durumları da göz önüne alabilir. CORMIX modelinde kullanılan eşitlikler literatürde bulunabilir [12]. Visual Plumes yazılımı da seyrelme ve karışım bölgesi modellenmesi ve analizi yapabilmektedir [13]. Visual Plumes Windows tabanlı bir modeldir. Visual Plumes sürüklenme bölgesi projesi hipotezini içeren Lagrangian modeldir. Model, dağılım bulutunun kararlı olduğunu

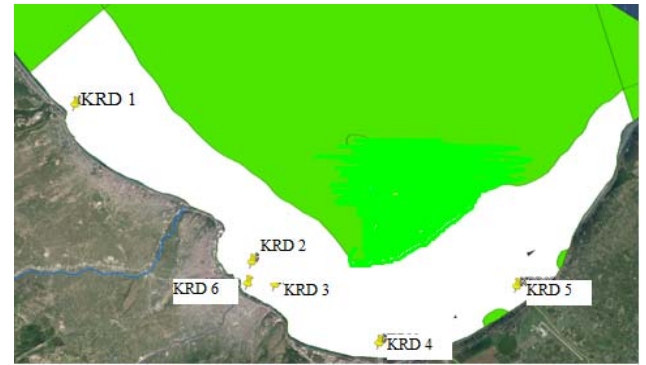
varsayar. Momentum ve kütle korunumu için eşitlikler bulut yörüngelerinin her bir adımı için program içinde çözülür [14]. Program tahminleri seyrelme, yükselme, çap ve diğer bulut değişkenlerini içerir. Visual Plumes paket modelleme programı, birincil karışım bölgesinin seyrelme karakteristiği ve geometrisini irdeleyerek; alıcı ortama deşarj edilen atık suyun deşarj hattı tasarımı, tahmin ve analizlerini yapmaktadır. Visual Plumes programını kullanarak gerekli verilerin girilmesi için üç ayrı girdi grubu vardır: Çevresel ortam verileri, deşarj yapısı ve çıkış karakteristikleri [13].

CORMIX'te dinamik taban etkileri hesaplamalara dâhil edilir. Bu etkiler tabanda yüksek kirlenici konsantrasyonlarına neden olur. Özellikle bentik bölgelerdeki yasal karışım bölgesindeki analizler için önemlidir. Visual Plumes'de ise dinamik bulut eklentileri ihmal edilir. Yakın alan dağılımında debi çıkışına yakın bölgede yerel bir sınır irdelenmez, sonsuz bir su kütlesi kabul edilir. Visual Plumes'un en önemli kısıtlamalarından biri bu özelliktir. CORMIX, jet integral, uzunluk ölçek, integral ve pasif difüzyon yaklaşımlarını kullanarak 30 bölgesel akım modülü ve yüzlerce akım sınıfı ile çalışmaktadır. Visual Plumes ise jet-integral, uzunluk ölçek ve pasif difüzyon yaklaşımları ile çalışır. Bünyesinde üç jet integral modeli (UM, UDKHG, PDS) ve bir uzunluk ölçek modeli (RSB) barındırır. Bu modeller, dinamik eklentiler olmadan stabil yakın alan dağılımlarında kullanılır. Debi stabilitesi belirlenmemektedir. Visual Plumes'de stabil olmayan ve eklentili debi koşulları, yoğunluk akıntıları irdelenmemektedir. CORMIX, zengin akım sınırlandırmasına ve debi stabilitesi analizine sahiptir. Yapay zekâ kullanılarak verilerin uyumları kontrol edilir. Verilerin sağlıklı olması karışım alanı karakteristiklerinin doğru tahmin edilmesini sağlar. Kural tabanlı bir programdır ve 2000 civarında kural içerir. Bu kurallara göre deşarj debisi, alıcı ortam ve model seçimi yapılır. Ayrıca kurallar raporlanır. Visual Plumes'de ise raporlama prosedürü yoktur. Hangi modelin uygulanacağı veya veri-kabul uyumu ile ilgili rehberlik yoktur. Her iki model de benzer jet integral yaklaşımlarını kullanır: Yakın alan bölgesinde, stabil bir ortamda, dinamik eklentilerin olmadığı, yoğunluk akıntılarının karışımının yasal karışım bölgesinde önemli olmadığı durumlarda benzer sonuçlar verir. Visual Plumes'u taban eklentili akımlarda ve yoğunluk akıntılarının söz konusu olduğu karışımlarda kullanmak uygun değildir. Oysa CORMIX her iki durumda da kullanılabilir. CORMIX taban eklentili akım ve

yoğunluk akıntı karışım koşullarında uygulanabilen kural tabanlı raporlama yapabilen bir modeldir. Her iki model de derin deniz deşarjları için uygundur, çünkü bu durumda yakın alan dağılımı önceliklidir ve dinamik taban eklentileri yoktur [15].

3. ÇALIŞMA ALANI: SAMSUN KÖRFEZİ (STUDY AREA: SAMSUN BAY)

TÜBİTAK-MAM 'Kıyı Geçiş Sularının Modellemesi' projesi kapsamında Samsun Körfezi kıyısız alanında 1 Mayıs 2015- 1 Mayıs 2016 tarihleri arasında aylık olarak sıcaklık ve tuzluluk miktarları ölçülmüş ve bölgenin rüzgâr, dalga ve akıntı iklimleri modellenmiştir [16, 17]. Bu çalışmada bu veriler girdi olarak kullanılmıştır. Çalışma alanı Şekil 1'de KR_D_8-Samsun (kıyı) hassas su kütlesi alanını kapsamaktadır. Bu alanda altı adet izleme noktası belirlenmiş ve noktaların isimleri, enlem/boylam olarak koordinatları ve ölçümlenen su derinlikleri Tablo 1'de listelenmiştir [16]. Tablo 2'de Samsun denizel alanında ölçümlerden elde edilen sıcaklık, tuzluluk ve onların fonksiyonu olarak belirlenen deniz suyu yoğunluklarının mevsimsel ortalama değerleri gösterilirken, Tablo 3'te aylık en yüksek ve en düşük değerleri gösterilmektedir.



Şekil 1. Samsun (Kıyı) Körfezi çalışma alanı
(Study area in Samsun (Coastal) Bay) [16]

4. DEŞARJ PARAMETRELERİNİN YAKIN ALAN SEYRELMEŞİNE ETKİLERİ (EFFECTS OF DISCHARGE PARAMETERS ON NEAR FIELD DILUTION)

Bu çalışmada, termal atık suların yakın alan dağılımlarının modellenmesi için Visual Plumes ve CORMIX modelleri kullanılmıştır. Çoklu çıkışlı batık difüzör çalışılacağından

Tablo 1. Samsun (Kıyı) Körfezi çalışma noktaları (Study coordinates in Samsun (coastal) Bay) [16]

| İsim | Derinlik (m) | Koordinat (enlem/boylam) | İsim | Derinlik (m) | Koordinat (enlem/boylam) |
|-------|--------------|--------------------------------|-------|--------------|--------------------------------|
| KRD01 | -8 | 41°22'28.16"K 36°14'6.87"D | KRD04 | -15 | 41°15'0.48"K 36°26'39.12"D |
| KRD02 | -9.5 | 41°17'29.28"K 36°21'31.86"D | KRD05 | -8 | 41°16'44.24"K 36°32'10.65"D |
| KRD03 | -10.5 | 41°16'47.58"K 36°22'28.50"D | KRD06 | -4.8 | 41°16'49.44"K 36°21'22.98"D |

CORMIX modelinin alt modüllerinden olan CORMIX2 modeli uygulanmıştır. CORMIX2 ve Visual Plumes programları kullanılarak deşarj parametrelerinin (akıntı hızı, deşarj debisi, delik sayısı, delik çapı ve difüzör uzunluğu) yakın alan seyrelmesine etkileri tartışılıp elde edilen tahminlerden iki model arasındaki farklılık ve benzerlikler irdelenmiştir.

Farklı ülkelerde farklı su kalitesi standartları mevcuttur. Ancak kriterler birbirlerinden etkilenmekle birlikte buldukları coğrafi konumdaki denizlerin özelliklerine bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir [18, 19]. Bu çalışmada, Türkiye sınırlarındaki bir alan üzerinde çalışıldığından kurgulanan senaryolardaki değerler Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nin Madde 33 ve 35'de derin deniz deşarjları için izin verilen değerler temel alınarak belirlenmiştir [20, 21]. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nin Madde 35'de ilk seyrelme değerinin 40'ın altında olmaması, tercihen de 100 olması ifade edilmektedir. Bu çalışmada yakın alan seyrelmesinde bu değerleri elde edebilmek için hangi parametrelerin daha hassas olduğu ve hangi yönde değişiklik yapılması gerektiği belirlenmeye çalışılmıştır. Pik değerler ise yaz mevsiminde Temmuz ayında, kış mevsiminde ise Ocak ayında ölçülmüştür. Deşarj parametrelerinin karşılaştırılması için Samsun denizel alanı Temmuz ayı koşulları seçilmiştir. Rüzgâr hızı $U_w=7\text{m/s}$, yönü ise Kuzey Doğu'dur, akıntı hızı ise ortalama $U=15\text{cm/s}$ alınarak senaryolar oluşturulmuştur [22]. Deşarj borusu boyu 1300m olarak alınmıştır. Su derinliği 20m seçilmiştir 20m'ye kadar olan derinliklerde su yoğunluğu derinlik boyunca uniform kabul edilebilir. Derinlik daha fazla olduğunda derinliğe bağlı olarak yoğunluk değişmektedir [23]. Bu çalışmada Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ndeki [20, 21] sınır değerler temel alınarak ortama verilebilecek en yüksek kirletici miktarlarının deşarjı senaryolaştırılarak alıcı ortam için en kritik durumlar irdelenmeye çalışılmıştır. Samsun denizel

alanına Temmuz ayı koşullarında sıcak su deşarj edilmesi durumunda temel alınan özellikler Tablo 3'te verilmiştir [22]. Bu çalışmada akıntı hızı, deşarj debisi, delik sayısı, delik çapı ve difüzör uzunluğu değişimlerinin yakın alan seyrelmesine etkileri üzerinde durulacağından analizlerde bu parametreler dışındaki parametrelerin Tablo 4'te verilen değerleri sabit tutulacaktır. Difüzörün akıntıya dik olacak şekilde konumladığı kabul edilmiştir. Delikler akıntı ile aynı yönde ve tek yönlü olarak konumlandırılmıştır. Böylelikle momentum akısının etkisi maksimize edilmiş ve o koşullar altında yakın alan seyrelmesinin artırılması hedeflenmiştir.

4.1. Akıntı Hızının Yakın Alan Seyrelmesine Etkisi (Effect of Current Velocity on the Near Field Dilution)

Çalışmanın bu bölümünde diğer parametreler sabit tutularak akıntının yakın alan seyrelmesine etkisine bakılmıştır. Şekil 2'de akıntı hızı ile yakın alan seyrelmesi arasındaki ilişki verilmiştir. Alıcı ortam durgunken, yani akıntı hızı sıfır olduğunda CORMIX2 çok düşük yakın alan seyrelme değeri vermektedir. Akıntı hızı arttıkça her iki model birbirine yaklaşık tahminler yapmaktadır. Akıntı hızı 15cm/s 'den daha büyük olduğunda, akıntı hızı arttıkça yakın alan seyrelme değerleri CORMIX2'de, Visual Plumes'e göre daha belirgin bir artış göstermektedir.

4.2. Debinin Yakın Alan Seyrelmesine Etkisi (Effect of Discharge on the Near Field Dilution)

Debi ve yakın alan seyrelmesi arasındaki ilişki Şekil 3'te gösterilmektedir. Kirletici yoğunluğu, alıcı ortam yoğunluğundan düşük olduğundan tüm debi koşullarında kirletici yüzeye ulaşmaktadır. Debi miktarı artarken seyrelme miktarı azalmaktadır ancak debi arttıkça yoğunluk Froude sayısı (Fr^*) artmakta ve akım tipi değişmektedir. Yoğunluk Froude Sayısı (Fr^*) Eş. 1'de verilmiştir.

Tablo2. Samsun denizel alanı mevsimsel ortalama değerler (Seasonal average values for Samsun coastal area) [20]

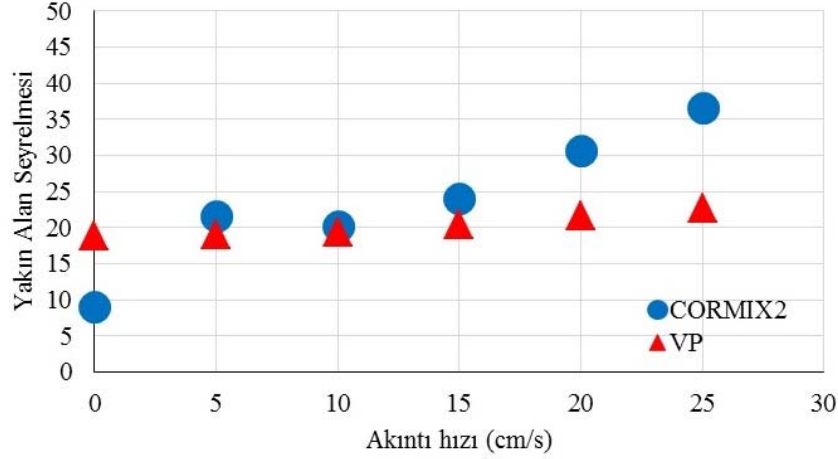
| | Sıcaklık T($^{\circ}\text{C}$) | Tuzluluk S(ppt) | Yoğunluk $\rho(\text{kg/m}^3)$ |
|-------|----------------------------------|-----------------|--------------------------------|
| YAZ | 24,3 | 18,80 | 1011,35 |
| KIŞ | 10,0 | 17,50 | 1013,33 |
| BAHAR | 12,5 | 17,34 | 1012,84 |
| GÜZ | 18,6 | 17,51 | 1011,80 |

Tablo 3. Samsun denizel alanı aylık en yüksek ve en düşük değerler
(Monthly maximum and minimum values for Samsun coastal area) [20]

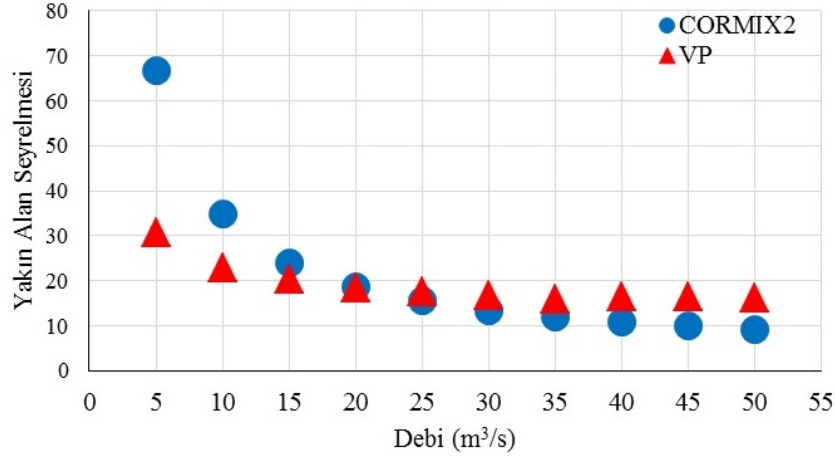
| | Sıcaklık T($^{\circ}\text{C}$) | Tuzluluk S(ppt) | Yoğunluk $\rho(\text{kg/m}^3)$ |
|--------|----------------------------------|-----------------|--------------------------------|
| Temmuz | 25,1 | 19,2 | 1011,42 |
| Ocak | 9,1 | 16,8 | 1012,90 |

Tablo 4. Sıcak su deşarjı için baz deşarj özellikleri (Basic discharge characteristics for thermal wastewater) [22]

| | | | |
|------------------|---------------------------|-------------------------|---|
| Delik sayısı | $\#_{\text{delik}}=41$ | Kirletici tuzluluğu | $S_{\text{kir}}=0$ |
| Delik çapı | $D=0,5\text{m}$ | Kirletici yoğunluğu | $P_{\text{kir}}=994,03\text{kg/m}^3$ |
| Delik yüksekliği | $H_D=1\text{m}$ | Kirletici sıcaklığı | $T_{\text{kir}}=35\text{ }^{\circ}\text{C}$ |
| Deşarj debisi | $Q=15\text{m}^3/\text{s}$ | Difüzör borusu uzunluğu | $L_d=100\text{m}$ |



Şekil 2. Akıntı hızı ile yakın alan seyrelmesi arasındaki ilişki (Current velocity vs. near field dilution)



Şekil 3. Debi ile yakın alan seyrelmesi arasındaki ilişki (Discharge vs. near field dilution)

$$Fr^* = \frac{u}{\sqrt{gd \frac{\rho_a - \rho_0}{\rho_a}}} \quad (1)$$

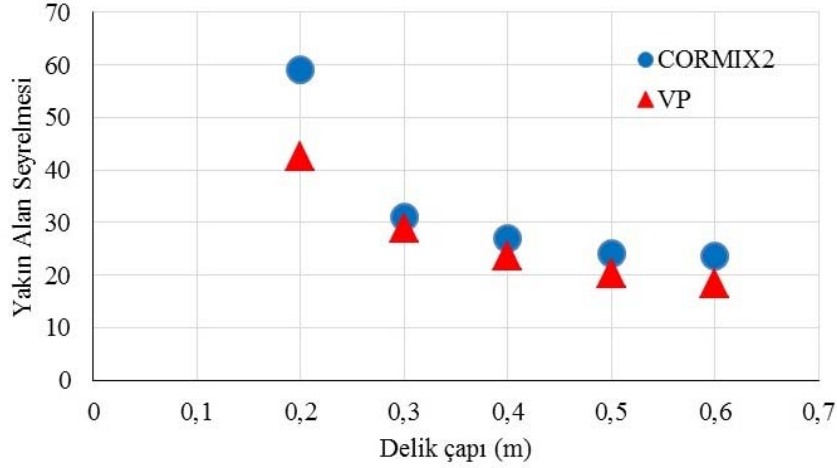
Burada u jet hızını, g yerçekimi ivmesini, d jet çapını, ρ_a alıcı ortam yoğunluğunu, ρ_0 kirlenici yoğunluğunu simgelemektedir. Debi $15 \text{ m}^3/\text{s}$ 'den daha büyük değerler aldığı anda her iki model yakın alan seyrelmesi için benzer tahmin değerleri vermekte iken, debinin $15 \text{ m}^3/\text{s}$ 'den daha küçük olduğu durumlarda tahminler farklılaşmaktadır. Debi değişiminin etkisini CORMIX2 daha çok hissetmektedir.

4.3. Delik Çapının Yakın Alan Seyrelmesine Etkisi (Effect of Port Diameter on the Near Field Dilution)

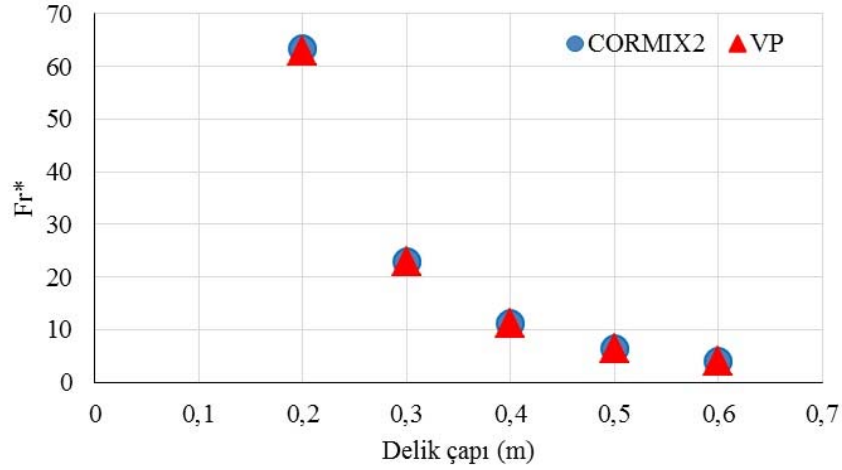
Delik çapı, kirlenicinin delikten çıkış hızını ve yoğunluk Froude sayısını etkiler. Delik çapı küçüldükçe, çıkış hızı artar, bu da kirlenicinin momentumunu artırır. Momentumun artması ile yakın alan seyrelmesinin de artması beklenir. Şekil 3'te delik çapı ile yakın alan seyrelmesi arasındaki ilişki gösterilmektedir. Şekil 3'te

delik çapı arttıkça birinci seyrelmenin azaldığı görülmektedir. Delik çapı $0,2 \text{ m}$ olduğunda CORMIX2 modelinin yakın alan seyrelme tahmini, Visual Plumes modelininkinin yaklaşık $1,5$ katıdır. Ancak delik çapı daha da büyüdüğünde her iki modelin tahminleri birbirine çok yakın hale gelmektedir. Delik çapı arttıkça artışın etkisi, yakın alan seyrelmesi üzerinde azalmaya başlamaktadır, zira grafikte asimptotik davranış gözlenmektedir. Delik çapı $0,1 \text{ m}$ olarak denendiğinde CORMIX2 geçerliliğini yitirmekte ve hata vermektedir.

Tasarım açısından bakıldığında ise delik çıkış hızlarının belirli aralıklarda tutulması beklenir. Bu da delik çapı için kontrol mekanizmasının kurulmasını beraberinde getirir. Şekil 4'te görüldüğü gibi delik çapı arttıkça hız düşeceğinden yoğunluk Froude sayısı da küçülecektir. Yoğunluk Froude sayısının 10 'dan az olmaması beklenmekle birlikte, tasarımda 20 'den büyük olması tercih edilmektedir. Bu örnek için tasarım yapılırken delik çapının $0,4 \text{ m}$ 'ye eşit veya daha küçük olması düşünülmelidir.



Şekil 4. Delik çapı ile yakın alan seyrelmesi arasındaki ilişki (Port diameter vs. near field dilution)



Şekil 5. Delik çapı ve Fr* arasındaki ilişki (Port diameter vs. Fr*)

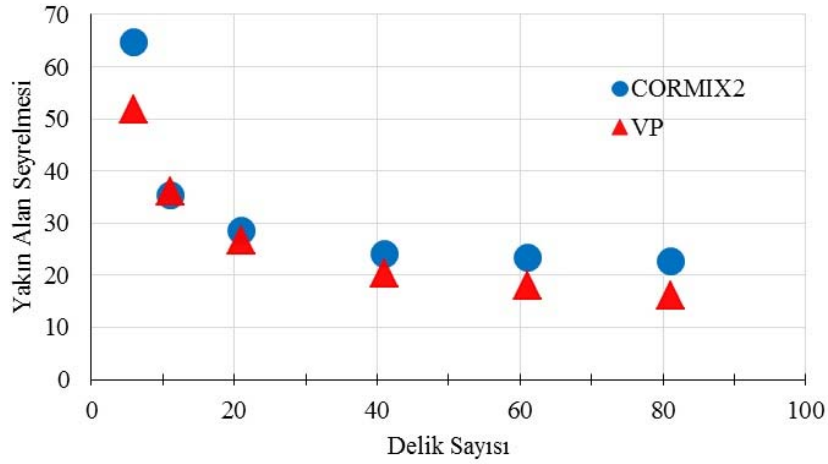
4.4. Delik Sayısının Yakın Alan Seyrelmesine Etkisi (Effect of Number of Ports on the Near Field Dilution)

Difüzör uzunluğu sabit olup delik sayısı artarken yakın alan seyrelmesi ve yoğunluk Froude sayısı azalır. Delik sayısı ve yakın alan seyrelmesi arasındaki ilişki Şekil 5’de gösterilmektedir. Literatürde tasarım için genellikle önerilen su derinliği ve delik aralığı arasında önerilen ilişkiler şu şekildedir: Şaşırtmacalı difüzörler için delik aralığı, su derinliğinin altıdan birinden büyük, tek yönlü difüzörler için delik aralığı, su derinliğinin üçte birinden büyük olmalıdır. Bu sınırlamanın amacı kirletici bulutunun davranışının çizgisel kaynaklı olmasını önlemektir. Literatürde delik aralığının su derinliğine oranı 0,3 veya daha küçükse çizgisel kaynak, 1’den büyükse noktasal kaynak olduğu kabul edilir [23]. Sabit difüzör uzunluğunda delik sayısı arttıkça, delik aralığı küçülecek ve yakın alan seyrelmesi azalacaktır. Bu davranış noktasal kaynaklı kirletici ile çizgisel kaynaklı kirletici arasındaki davranış farkını da açıklayacaktır. Çizgisel kaynaklı kirletici koşullarında atık su bulutları girişime uğrayacaktır. Şekil

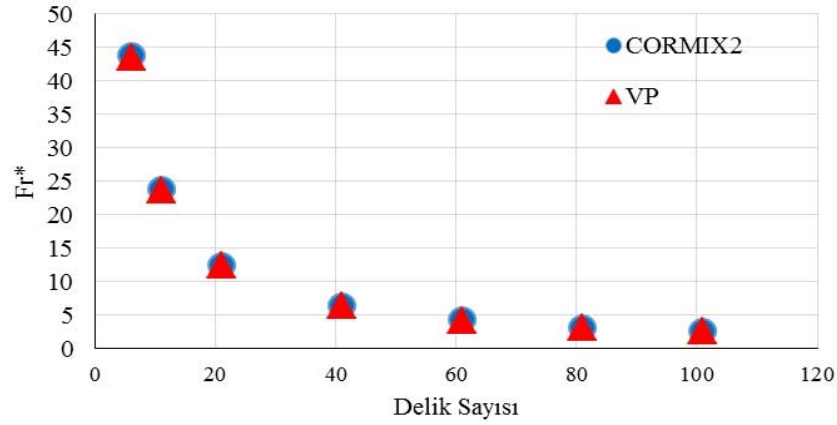
5’den görüldüğü gibi delik sayısı belli bir değere ulaştığında fonksiyon asimptotik bir biçim almakta, bu da bu değerden daha fazla delik sayısının yakın alan seyrelme değerinde değişiklik yaratmayacağını ifade etmektedir [9]. Bu asimptotik davranış kirletici kaynağının çizgisel kaynağa dönüştüğü anlamına gelmektedir.

Şekil 5’de delik sayısı 101 olduğunda CORMIX2 modeli yakın alan seyrelmesini 73,7 olarak vermektedir. Ancak tahmin hatalıdır. Bu girdiler kullanıldığında CORMIX2 programı uyarı vermekte ve analizin noktasal kirletici kaynaklarının yapıldığı CORMIX1’e kullanıcıyı yönlendirmektedir. Şekil 6’da sabit difüzör uzunluğunda delik sayısı ile yoğunluk Froude sayısı arasındaki ilişki gösterilmektedir.

Bu örnek için delik sayısı 40’tan fazla olduğunda yoğunluk Froude sayısı çok küçülmüş ve delik sayısının artık yoğunluk Froude sayısını etkilemediği gözlenmiştir. Bu örnekte delik sayısının 20’den daha az tutulması ile yoğunluk Froude sayısının 10’un altına düşmesi önlenabilir.



Şekil 6. Delik sayısı ve yakın alan seyrelmesi arasındaki ilişki (Number of ports vs. near field dilution)



Şekil 7. Delik sayısı ve Fr* arasındaki ilişki (Port number vs. Fr*)

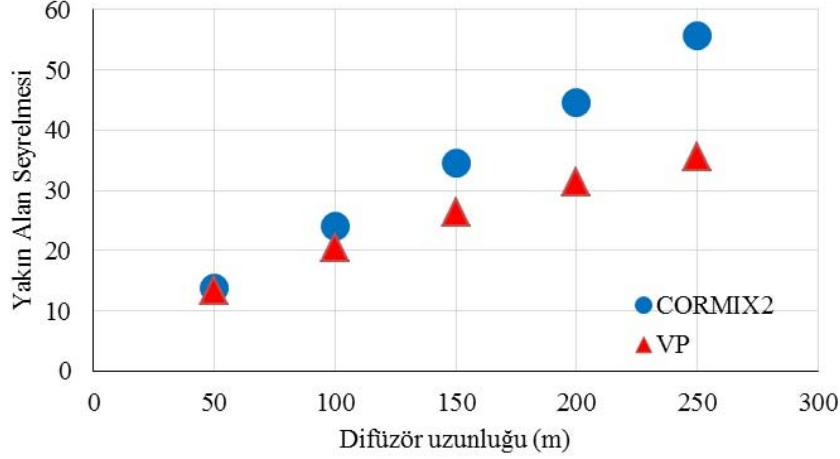
4.5. Difüzör Uzunluğunun Yakın Alan Seyrelmesine Etkisi (Effect of Diffusor Length on the Near Field Dilution)

Difüzör uzunluğu arttıkça yakın alan seyrelme miktarı da artacaktır. Şekil 7'de difüzör uzunluğu ve yakın alan seyrelmesi arasındaki ilişki verilmektedir. Her iki modelde de difüzör uzunluğu ile yakın alan seyrelmesi arasındaki doğrusal ilişki görülmektedir. Difüzör uzunluğunun yakın alan seyrelmesine etkisi birim boydaki hacim akısının yakın alan seyrelmesine olan etkisindedir. Birim boydaki hacim akısı azaldıkça yakın alan seyrelme miktarı artacaktır. Bu durumda sabit deşarj debisi için difüzör uzunluğu artırılarak yakın alan seyrelmesi artırılır. Şekil 7'de CORMIX2 ve Visual Plumes modellerinin difüzör uzunluğunu hissedişlerindeki farklılık görülmektedir. Difüzör uzunluğu arttıkça CORMIX2 modeli, difüzör uzunluğundaki değişimi daha belirgin hissetmektedir.

4.6. Yaz ve Kış Mevsimlerinde Alıcı Ortam Parametrelerinin Tasarıma Etkileri (Effects of Parameters Ambient Water in Summer and Winter)

Bu çalışmada Ocak ve Temmuz aylarındaki alıcı ortama verilebilecek maksimum sıcaklıktaki kirletici özellikleri Su

Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nin Tablo 23'te derin deniz deşarjları için izin verilen değerler temel alınarak belirlenmiştir. Alıcı ortama verilebilecek maksimum kirletici sıcaklığı 35°C ve ortam ve kirletici arasındaki maksimum sıcaklık farkı da 10°C'dir. Termal deşarjlarda birinci seyrelme sonunda ilk karışım bölgesi sınırındaki sıcaklık artışı yaz aylarında 1°C, kış aylarında ise 2°C'yi geçemez [20]. Bu nedenle aynı difüzör farklı mevsim koşullarında farklı işletme değerleri ile çalıştırılmaktadır. Tablo 5'de alıcı ortamın Temmuz 2015 ve Ocak 2016 ayları için ölçülmüş tuzluluk ve sıcaklık değerleri bulunmaktadır [16]. Alıcı ortamın sıcaklık farklılığından dolayı, ortama verilebilecek kirleticinin de sıcaklık değerleri farklı olmaktadır. Kirletici ile alıcı ortam arasındaki sıcaklık farkı 9,9°C ile sınırlandırılmıştır. Yoğunluklar, sıcaklık ve tuzluluğun fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada yaz koşulları modellere uygulanmıştır. Yaz değeri için de Temmuz ayındaki pik değerler modellere girdi olarak girilmiştir. Alıcı ortamın su sıcaklığı ve alıcı ortama verilebilecek maksimum sıcaklık göz önüne alındığında kirletici sıcaklığı 35°C ile sınırlandırılmıştır. CORMIX2 modeli yaz ve kış koşullarını karşılaştırmak için kullanılırken difüzör özellikleri ve deşarj debisi Tablo 3'te verilen değerlerle çalıştırılmıştır. Alıcı ortam ve alıcı



Şekil 8. Difüzör uzunluğu ve yakın alan seyrelmesi arasındaki ilişki (Diffusor length vs. near field dilution)

Tablo 5. Samsun denizel alanı pik değerler (Extreme values for Samsun coastal area) [16]

| | $T_{\text{alıcı}} (^{\circ}\text{C})$ | $S_{\text{alıcı}} (\text{ppt})$ | $\rho_{\text{alıcı}} (\text{kg/m}^3)$ | $T_{\text{kir}} (^{\circ}\text{C})$ | $\rho_{\text{kir}} (\text{kg/m}^3)$ | $T_{\text{c(nfd)}} (^{\circ}\text{C})$ |
|--------|---------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| Temmuz | 25,1 | 19,2 | 101142 | 35 | 994,09 | 0,4104 |
| Ocak | 9,1 | 16,8 | 1012,90 | 19 | 998,41 | 0,1457 |

ortama bağlı kirlenici özellikleri ve birinci seyrelme sonunda ilk karışım bölgesi sınırındaki sıcaklık artışı Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 4'ün en sağ sütununda yakın alan seyrelme bölgesindeki sıcaklık artışları gösterilmektedir. Bu değerleri CORMIX2 modelinin raporlama bölümünde sunmaktadır. Tasarım yapılırken bu değerlerin, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nin [20] öngördüğü yakın alan seyrelme bölgesindeki mevsimsel olarak değişen sıcaklık artış limit değerlerinin altında olması hedeflenir. Tablo 4'te yaz koşulunda birinci seyrelme bölgesinde $T_{\text{c(nfd)}}=0,4104^{\circ}\text{C} < T_{\text{c(nfd)max}}=1^{\circ}\text{C}$; kış koşulunda birinci seyrelme bölgesinde $T_{\text{c(nfd)}}=0,1457^{\circ}\text{C} < T_{\text{c(nfd)max}}=2^{\circ}\text{C}$ şartlarının sağlandığı görülmektedir.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Günümüzde artan tüketimi ve enerji talebini karşılamak için faaliyete giren pek çok tesiste, soğutma işlemi sonrası sıcaklığı yükselmiş atık su denize deşarj edilmektedir. Alıcı ortamdaki daha yüksek sıcaklıkta deşarj edilen atık su alıcı ortam ekosisteminin olumsuz yönde etkilenmesine sebep olmamalıdır. Su sıcaklığının artması, sudaki kimyasal tepkimeleri hızlandırırken ekolojik ortama da zarar vermektedir. Bu nedenle ulusal ve uluslararası mevzuatlar bu etkiyi sınırlayıcı şartlar getiren hükümler içermektedir. Termal atık suyun yakın alan dağılımlarını modellemek için CORMIX2 ve Visual Plumes yazılımları kullanılmıştır. Kirlenici bulutlarının davranışları incelenmiş, denizel ortam özelliklerinin (akıntı hızı ve yönü), deşarj parametrelerinin (deşarj debisi, delik çapı, delik sayısı, difüzör uzunluğu) etkileri hassasiyet analizleri yapılarak karşılaştırılabilir olarak irdelenmiştir. Termal atık suların deşarjı için yapılacak difüzör tasarımında, yakın alan seyrelmesine etkileri göz önünde bulundurularak deşarj parametrelerinin

belirlenmesinde izlenecek yol gösterilmiştir. Kıyısal su alanı olarak Karadeniz'de Samsun (Kıyı) Körfezi seçilmiştir. Samsun denizel alanı için tuzluluk ve sıcaklık değerleri 'TÜBİTAK MAM 'Kıyı ve Geçiş Sularının Modellenmesi' projesi kapsamında yapılan saha ölçümlerinden, akıntı ve rüzgâr özellikleri ise aynı proje kapsamındaki modelleme çalışmalarından elde edilmiştir. [16]. Bu veriler yakın alan dağılım modellemesinde girdi olarak kullanılmıştır. Yaz mevsimi değerleri alınırken pik sıcaklıklara ulaşılan Temmuz ayının verileri kullanılmıştır. Sıcaklığı yükselmiş atık su alıcı ortamda seyrelirken yükselir. Sıcaklığı yükselmiş atık su deşarjında yazın 1°C , kışın 2°C değişime izin verilen yasal kriterlerin sağlanması özellikle yaz aylarında güçleşmektedir. Ayrıca farklı mevsimlerdeki işletme kirlenici özelliklerinin üzerinde durulmuştur. Her iki model de yakın sonuçlar vermekte olup farklar ihmal edilebilecek düzeydedir. Ancak grafikler incelendiğinde CORMIX2'nin görece daha büyük değerler verildiği gözlenmektedir. CORMIX2'nin Visual Plumes'a göre en büyük avantajı taban sınırını göz önünde bulundurmasıdır. Ayrıca akım stabil olsa da olmasa da çözüm yapabilmektedir. Çözüm yöntemlerindeki bu farklar tahminlere de yansımaktadır.

6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Pozitif kaldırma durumunda (kirlenici yoğunluğunun alıcı ortam yoğunluğundan daha düşük olması hali) momentum akısının etkisinden ötürü seyrelme miktarı artacağından yatay jetler tercih edilmektedir. Bu çalışmada da yakın alan seyrelme miktarını maksimize edebilmek için difüzörün üzerindeki delik konfigürasyonu bu şekilde düzenlenmiştir. Akıntı hızı arttıkça yakın alan seyrelmesi artmaktadır, ancak bu artış miktarı CORMIX2'de daha belirgin bir biçimde gözlenmektedir. Debi etkisi kirlenici atık suyunun

yoğun olup olmasına bağlıdır. Debi arttıkça hafif atık suda (pozitif kaldırma) seyrelme azalırken, yoğun suda (negatif kaldırma) seyrelme artar. Debi artmasıyla yakın alan seyrelme mesafesi artmaktadır. Debi miktarı, yoğunluk Froude sayısını etkilerken akım tipini de değiştirmektedir. Bu çalışmada CORMIX2 ve Visual Plumes modelleri ile hafif atık su durumunda, debi arttıkça yakın alan seyrelmesinin azaldığı görülmüş ve iki yazılımın debi etkisini hangi oranda hissettiği grafiksel olarak sunulmuştur. CORMIX2 modelinin seyrelme tahminleri, Visual Plumes modelinin tahminlerinden genellikle daha büyüktür. Büyük debilerde CORMIX2 ve Visual Plumes tahminleri birbirine daha çok yaklaşmaktadır. Delik çapı arttıkça birinci seyrelme miktarı azalmaktadır. Her iki model de delik çapının değişimiyle yakın alan seyrelme değerleri için çok yakın sonuçlar vermektedir. Delik çapı, doğrudan kirleticinin delikten çıkış hızını doğrudan etkileyeceğinden yoğunluk Froude sayısını da etkiler. Yoğunluk Froude sayısı arttıkça, yakın alan seyrelmesi de artar. Yoğunluk Froude sayısının 10'dan az olmaması beklenmekle birlikte, tasarımda 20'den büyük olması tercih edilmektedir. Çalışmadaki senaryolarda yoğunluk Froude sayısının da nasıl değiştiği kontrol edilmiştir. Sabit difüzör uzunluğunda, delik sayısı artarken delik aralığı küçülür, yakın alan seyrelmesi ve yoğunluk Froude sayısı azalır. Ancak çizgisel kaynaklı kirletici koşullarında atık su bulutları/jetleri girişime uğrayacaktır. Delik sayısı belli bir değere ulaştığında fonksiyon asimptotik bir biçim almakta, bu da bu değerden daha fazla delik sayısının çizgisel kaynaklı seyrelme davranışında değişiklik yaratmayacağını ifade etmektedir. Difüzör uzunluğu arttıkça seyrelme miktarı da artmaktadır. Her iki model bu konuda aynı yönde tahminler yapmakla birlikte CORMIX2 modeli, Visual Plumes modeline göre daha hassastır. Mevsimsel değişiklikler alıcı ortamın tuzluluk ve sıcaklık değerlerini etkiler. Alıcı ortam ile kirletici arasındaki sıcaklık farkının ekolojik etkiler göz önünde bulundurularak 10°C ile sınırlandırılması gerektiğinden yıl boyunca aynı sıcaklıkta atık su deşarj edilemez. O nedenle yaz ve kış mevsimlerinde işletme deşarj özellikleri farklı olmak zorundadır.

Bu çalışmanın sonucunda, tasarımlarda sıcak atık suyun yakın alan seyrelmesini maksimize etmek için birim boydaki hacimsel akıyı düşürecek uzunlukta difüzör, noktasal kaynak oluşturacak sayıda delik, yoğunluk Froude sayısının limitlerini sağlayacak delik çapı önerilmektedir. Çalışmada derin deniz deşarjı ve pozitif kaldırma koşulları söz konusu olduğundan parametrelere hassasiyetleri farklı ölçülerde olsa da her iki modelin de başarı ile uygulanabileceği görülmüştür.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmada, TÜBİTAK 1002 Programı kapsamında 114Y806 kodlu 'Tuzlu ve/veya Sıcak Su Deniz Deşarjları Yakın Alan Dağılımının Modellenmesi' adlı projeden elde

edilen bulgulardan yararlanılmıştır. Projeye desteklerinden ötürü TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Acar G., Sıcak ve Tuzlu Suların Yakın Alan Seyrelmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2014.
2. Kanberli M., Deniz Deşarjında Seyrelme Modellemesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2003.
3. Roberts P.J.W., Ferrier A., Daviero G., Mixing in inclined dense jets, Journal of hydraulic engineering ASCE, 123 (8), 693-699, 1997.
4. Cheng R.Y., Chou H.T., Outflow Distribution along Multiple-port Diffusers, Proc. Natl. Sci. Council. ROC (A), 25 (2), 94-101, 2001.
5. Nemlioğlu S., Soğuk Deşarjda Birinci Seyrelmenin İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2003.
6. UNEP, Desalination Resource and Guidance Manual For Environmental Impact Assessments, 2008.
7. Odgaard J., Analytical Dilution Models, Coastal Pollution Control, Volume I, DANIDA & WHO, 1976.
8. Yalçın Ö.B., Derin Deniz Deşarjı ile Deşarj Edilen Atık suların Alıcı Ortamda Tutsaklanması Durumunda Bakteri Konsantrasyonunun Tahmini ve Belirsizliklerin İncelenmesi, Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, 2011.
9. Wood I., Bell R., Wilkinson D., Ocean Disposal of Wastewater, Adv. Series on Ocean Engineering 8, World Scientific Publication, Singapore, 1993.
10. Öztürk İ., Atıksu Ön Arıtma ve Deniz Deşarj Sistemleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 1996.
11. Doneker R.L., Jirka G.H., Cormix User Manual, U.S. Environmental Protection Agency, 2007.
12. Morelissen R., Van der Kaaij, T., Bleninger T., Dynamic Coupling of Near Field and Far Field Models for Simulating Effluent Discharges, Water Science & Technology, 67 (10), 2210-2220, 2013.
13. Frick W.E., Roberts P.J.W., Davis L.R., Keyes J., Baumgartner D.J., Geroge K.P., Dilution Models for Effluent Discharges, 4th Edition (Visual Plumes), U.S. Environmental Protection Agency, Athens, Georgia, 2001.
14. Frick W.E., Visual Plumes Mixing Zone Modeling Software, Environmental Modeling and Software, 19, 645-654, 2004.
15. CORMIX, www.mixzon.com, Yayın tarihi: 2016, Erişim tarihi: 10 Aralık 2016.
16. Balas L., TÜBİTAK MAM Kıyı ve Geçiş Sularının Modellenmesi, Gazi Üniversitesi, Deniz ve Su Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi, Ankara, 2016.
17. Numanoğlu Genç A., Modeling of sediment transport processes in Alara, Turkey, Journal of the Faculty of

- Engineering and Architecture of Gazi University, 31 (3), 545-553, 2016.
18. USEPA, National Pollutant Discharge Elimination System: Final Regulations To, Establish Requirements for Cooling Water Intake Structures at Existing Facilities and Amend Requirements at Phase I Facilities; Final Rule, Environmental Protection Agency, 79 (158), 2014.
 19. WHO, Guidelines for safe Recreational Water Environments 1, Coastal and Fresh Waters, 2003.
 20. SKKY, Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği, Resmi Gazete, Yayın Tarihi: 31.12.2004, No: 25687, Madde 35, 2004.
 21. SKKY, Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği, Resmi Gazete, Yayın Tarihi: 13.02.2008, No: 26786, Madde 33, 2008.
 22. İnan A., Tuzlu ve/veya Sıcak Su Deniz Deşarjları Yakın Alan Dağılımının Modellenmesi, TÜBİTAK 1002 Proje No: 114Y806, Gazi Üniversitesi, Deniz ve Su Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi, Ankara, 2016.
 23. Roberts P.J.W., Salas H.J., Reiff F.M., Libhaber M., Labbe A., Thomson J.C., Marine Wastewater Outfalls and Treatment Systems, IWA Publishing, Londra, İngiltere, 2011.