

ALKÜ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ



ALANYA
**ALAADDİN
KEYKUBAT**
ÜNİVERSİTESİ

Cilt:5 Sayı:1 (Ocak-Nisan 2023)

Volume:5 Issue:1 (January-April 2023)

ALKU
JOURNAL of SCIENCE

e-ISSN 2667-7814

Alanya
Alaaddin Keykubat University

DERGİNİN KÜNYESİ / JOURNAL INFO

Derginin Adı / Journal Name: ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi / ALKU Journal of Science

Kısa Adı/ Short Name:

e-ISSN: 2667-7814

Doi prefix: 10.46740/alku.

Yayın Dili / Publication Language : Türkçe / English

Yayın Periyodu / Publication Period: Yılda üç kez (Nisan, Ağustos ve Aralık) / Three times a year (April, August, and December)

Sahibi / Owner: Prof. Dr. Ekrem KALAN, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Rektörü

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü / Publishing Manager: Prof. Dr. Mehmet GÜMÜŞ

Kuruluş / Establishment: ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi tarafından tüm mühendislik bilimleri ve temel bilimler alanında yılda 3 kez yayınlanan hakemli bir dergidir. Dergimizde, Türkçe ve İngilizce dillerinde orijinal araştırma çalışmaları ve derlemeler yayımlanmaktadır. Bu dergi, hakemli ve açık erişimli bir uluslararası mühendislik bilimleri ve temel bilimler dergisidir. Değerlendirme ve yayınlanma süreçlerinde yazarlardan ücret talep edilmez.

ALKU Journal of Science is an international, peer-reviewed journal which is published by Rafet Kayış Engineering Faculty of Alanya Alaaddin Keykubat University in all areas of engineering and basic science. ALKU Journal of Science is a triannually published open access journal operating an online submission and peer review system which allows authors to submit articles online and track their progress. No charges are required from the authors in all of the publication steps.

Dizinler ve Platformlar / Indexing and Platforms: Google Scholar, Cosmos Impact Factor, ResearchBip, Bielefeld Academic Search Engine (BASE), Asos Index, International Innovative Journal Impact Factor(IIJIF), Scientific Indexing Services(SIS)

Web Adresi/ Web address : <https://dergipark.org.tr/tr/pub/alku>

Yayınlayan Kuruluş / Publisher : Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi / Alanya Alaaddin Keykubat University

Makale gönderim ve takip sistemi / Article submission and tracking system: ULAKBİM Dergi Sistemleri, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/alku>

Web barındırma ve teknik destek / Web hosting and technical support: Dergipark Akademik <http://dergipark.gov.tr/>

İletişim / Contact: Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Alanya, Antalya. E-mail: alkufbd@alanya.edu.tr Tel/Phone: 0242 5106060 (2545)

EDİTÖR / EDITOR

Prof. Dr. Mehmet Gümüş, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

YARDIMCI EDİTÖR / ASSOCIATE EDITOR

Dr. Öğr. Üyesi Gökhan Canbolat, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

ALAN EDİTÖRLERİ / SUBJECT EDITORS

Doç. Dr. Derman Vatansever Bayramol, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği. Alanya, Antalya
Subject: Metallurgical and Materials Engineering
Alan: Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

Doç. Dr. Tuğba Aktar Küçükarslan, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya
Subject: Food Engineering
Alan: Gıda Mühendisliği

Doç. Dr. Bertan Beylergil, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya
Subject: Mechanical Engineering
Alan: Makine Mühendisliği

Doç. Dr. İbrahim Tekin, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü. Alanya, Antalya
Subject: Mathematics
Alan: Matematik

Doç. Dr. Burak Saltuk, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği. Alanya, Antalya
Subject: Biosystems Engineering
Alan: Biyosistem Mühendisliği

Dr. Öğr. Üyesi Emrah Irmak, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya
Subject: Electrical-Electrical Engineering
Alan: Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Dr. Öğr. Üyesi Murat Aksel, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Alanya, Antalya
Subject: Civil Engineering
Alan: İnşaat Mühendisliği

Dr. Öğr. Üyesi Cigdem Dülgerbaki, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü. Alanya, Antalya
Subject: Chemistry
Alan: Kimya

Dr. Öğr. Üyesi Aslı Giray, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü. Alanya, Antalya
Subject: Genetic Engineering
Alan: Genetik Mühendisliği

Dr. Öğr. Üyesi Atıl Kurt, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği. Alanya, Antalya
Subject: Industrial Engineering
Alan: Endüstri Mühendisliği

YAYIN VE TEKNİK EDITÖRLERİ / PUBLISHING AND TECHNICAL EDITORS

Arş. Gör. Mustafa Altuğ Peker, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

YAYIN KURULU / PUBLISHING BOARD

Hüseyin AKILLI (Prof. Dr., Çukurova Üniversitesi)

Gökhan APAYDIN (Prof. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi)

Naci ÇAĞLAR (Prof. Dr., Sakarya Üniversitesi)

Hakan ÇELEBİ (Doç. Dr., Aksaray Üniversitesi)

Rossana DIMITRI (Dr., University of Salento)

Tamio ENDO (Prof. Dr., Mie University)

John GELEGENIS (Prof. Dr., Technological Educational Institute of Athens)

Viktor GRIBNIAKN (Prof. Dr., Vilnius Gediminas Technical University)

Anastas IVANOV IVANOV (Doç. Dr., Todor Kableskov Higher School of Transport)

İlker Murat KOÇ (Doç. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi)

Anatoli I POPOV (Prof. Dr., University of Latvia)

Bilsay SÜMER (Dr., Hacettepe Üniversitesi)

Cevat SARIOĞLU (Prof. Dr., Marmara Üniversitesi)

Francesco TORNABENE (Dr., University of Bologna)

Jamal Seyyed Monfared ZANJANI (Dr., University of Twente)

ALKÜ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ 2023:5(1)

ALKU JOURNAL OF SCIENCE 2023:5(1)

İçindekiler / Contents

1. Ultimate Bearing Capacity Calculation of Soil with Finite Element Method / *Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Nihai Zemin Taşıma Kapasitesi Hesabı*
Safa ÇEVİK
.....1-9
2. Farklı Deşarj Türlerinin Seyrelme Verimliliğinin Fiziksel Modelleme Yardımıyla İncelenmesi / *Investigation of Dilution Performance Depending on Discharge Conditions via Physical*
Ahmet KARATAŞ, Murat AKSEL
.....10-23

Ultimate Bearing Capacity Calculation of Soil with Finite Element Method

Safa Çevik^{1*} 

¹Teknik Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş., İstanbul, Türkiye.

*safacevik@gmail.com

Abstract

Ultimate bearing capacity calculation is one of the most important factors to design foundations in geotechnical engineering. In this paper, ultimate bearing capacity values were calculated with finite element and analytical methods and compared. A case study of silo structure is used for ultimate bearing capacity evaluations. On 30 September 1970, 600-ton weight concrete silo suddenly overturned and failure. After failure, in-situ Vane shear test and laboratory tests carried out to determine soil strength parameters for back analysis. In finite element analysis, Plaxis 2D has been used. From analytical method maximum factor of safety $FS= 1,09$ from Terzaghi' s bearing capacity equation and minimum factor of safety $FS= 0,97$ from Meyerhof' s bearing capacity equation. According to finite element analysis results, factor of safety was calculated as $FS=0,64$. All these results indicate that especially for complex and sensitive soil profiles, finite element analysis method may be used instead of analytical method.

Keywords: Factor of Safety, Plaxis 2D, Ultimate Bearing Capacity, Undrained Shear Strength,

Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Nihai Zemin Taşıma Kapasitesi Hesabı

Özet

Geoteknik mühendisliğinde, zemin taşıma gücü hesabı temel tasarımındaki en önemli faktörlerden biridir. Bu çalışmada, zemin taşıma gücü hesapları sonlu elemanlar ve analitik yöntemlerle hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Vaka analizi olarak bir silo yapısı incelenmiştir. 30 Eylül 1970 tarihinde, 600-ton ağırlığındaki silo aniden göçmüştür. Göçmeden sonra arazide Vane kesme deneyi ve laboratuvar deneyleri yapılarak zemin mukavemet parametreleri geri analiz yapılabilmesi için belirlenmiştir. Sonlu elemanlar analizinde Plaxis 2D yazılımı kullanılmıştır. Maksimum göçme güvenlik sayısı Terzaghi taşıma gücü bağıntısına göre $FS= 1,09$, minimum göçme güvenlik sayısı ise Meyerhof taşıma gücü bağıntısına göre $FS= 0,97$ olarak hesaplanmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi analiz sonucuna göre güvenlik sayısı $FS= 0,64$ olarak elde edilmiştir. Tüm bu sonuçlar, özellikle karmaşık ve hassas zemin profilleri için analitik yöntem yerine sonlu elemanlar analizi yönteminin kullanılabilceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Güvenlik Sayısı, Plaxis 2D, Nihai Taşıma Kapasitesi, Drenajsız Kayma Mukavemeti.

1. INTRODUCTION

Bearing capacity calculation is very important for foundation design in geotechnical engineering applications. Beside the bearing capacity calculation, settlement criteria should be also satisfied in foundation design. In this study, bearing capacity failure of concrete silo by Bozozuk (1972) [1] is reevaluated according to developing in bearing capacity factors and finite element analysis method.

On 30 September 1970, concrete silo suddenly overturned due to first time with corn silage. Silo failure occurred with the estimated 600-ton weight. After failure, in-situ field Vane and laboratory tests were carried out for determination of soil strength parameters. The concrete silo dimensions are as follows; diameter of foundation is $B=7,2$ m and height of silo is approximately 21 m. Foundation depth is $D_f=1,52$ m. foundation was constructed over soft clay on a ring foundation. Approximately failure profile of silo foundation is given in Figure 1. Its final slope was measured as 50 degrees from the horizontal surface. The exact location of sliding surface was not determined by Bozozuk (1972) [1]. Estimated failure surface extended to a depth of 7 m from the original ground surface.

Terzaghi (1943), Meyerhof (1963) and Salgado et al. (2004) bearing capacity calculation equations have been used for bearing capacity calculations [2,3,4]. Finite element analysis was carried out with Plaxis 2D. Mohr-Coulomb soil model is used for analysis. Vane correction factor correlations were developed after the publication of Bozozuk (1972) [1]. Bjerrum (1974) [5] and Morris&Williams (1994) [6] suggested vane correction factor correlations which are the function of plasticity index (PI) and liquid limit (LL).

Developments in software technologies allow to calculate engineering calculations reliable and easily. Especially for sensitive soils, this study reveals the importance of finite element method to calculate the bearing capacity of foundation.

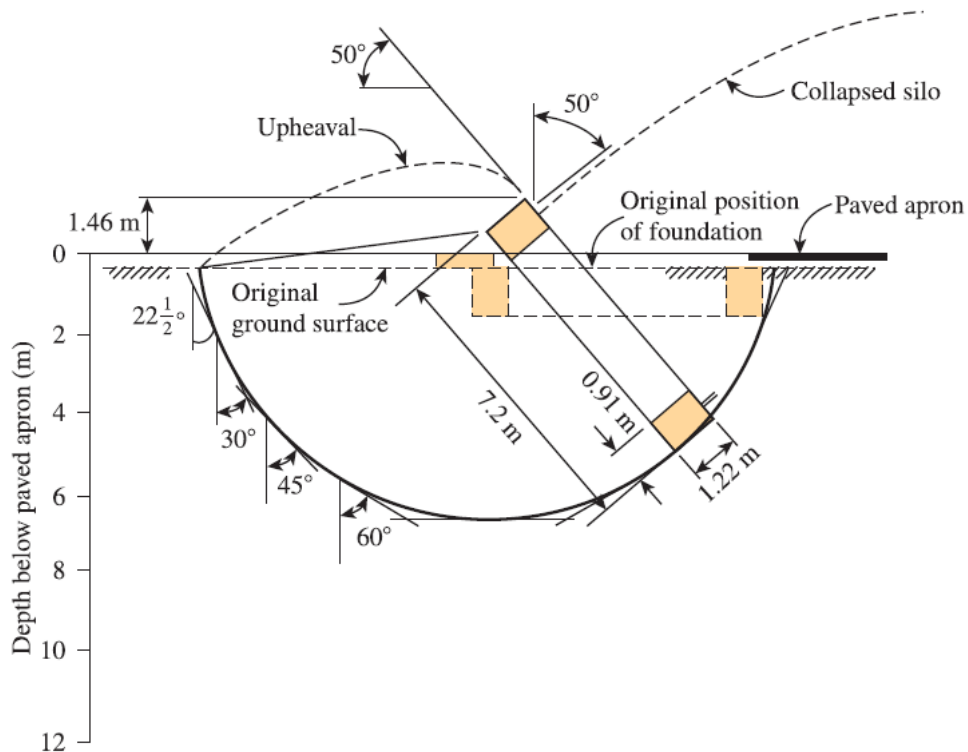


Figure 1. Failure profile of silo based on Bozozuk (1972) [1] (figure has taken from [7])

2. SOIL CONDITIONS

The silo was constructed on very weak and highly compressible clay. After failure of silo, in-situ Vane shear test and laboratory test have been performed to determine engineering properties of soils by Bozozuk (1972) [1]. The soil profile consists of 0,3 m organic soil over 3 m thickness reddish-brown silty clay. Beneath the reddish-brown silty clay, grey silty marine clay continues to end of investigation limit. The grey silty clay contained some black mottling commonly found in the marine clays of the region [1].

In the laboratory tests, Atterberg limit test carried out on soil samples. Liquid limit (LL) values are changing range from %59 to %82 and plasticity index (PI) values are changing range from %34 to %52. Average liquid limit is %65 and average plasticity index is %36 (Figure 2).

According to in-situ Vane shear test results, average undrained shear strength was determined as 28 kPa. In finite element analysis, due to changing of undrained shear strength values with depth, idealized undrained shear strength was determined for each range (Figure 2).

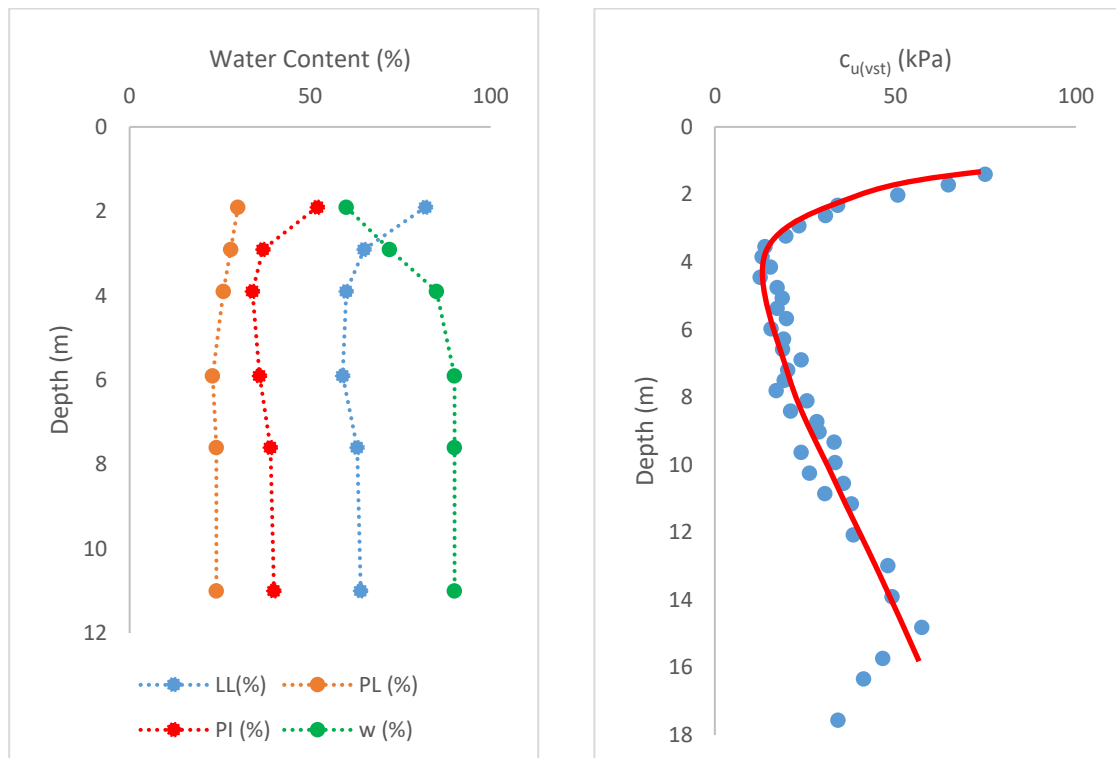


Figure 2. Summary of soil test results [1]

3. BEARING CAPACITY CALCULATION

In this chapter, various bearing capacity calculation methods mentioned. The first researcher about this topic is Terzaghi (1943) has presented a comprehensive theory for the ultimate bearing capacity of shallow foundations [2]. General bearing capacity calculation formula is given in equation (1). Ultimate bearing capacity depends on cohesion (c), overburden pressure (q), soil unit weight (γ), foundation width (B) and friction angle (ϕ). Bearing capacity factors (N_c , N_q , N_γ) are calculated as function of frictional angle and generally given in tables. Equation (1) have been modified for square (Equation (2)) and circular foundations (Equation (3)).

$$q_u = c'N_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma \quad (1)$$

$$q_u = 1,3c'N_c + qN_q + 0,4\gamma BN_\gamma \quad (2)$$

$$q_u = 1,3c'N_c + qN_q + 0,3\gamma BN_\gamma \quad (3)$$

Apart from that, according to developments in ultimate bearing capacity calculations, some researchers as Meyerhof (1963) [3] and Salgado et al. (2004) [4] has given shape and depth factors. In this paper, soil profile has cohesive character. Hence calculation of these factors are given only for cohesive soils in Table 1. Shape and depth factors are calculated as a function of foundation width (B), length (L) and depth (D_f). Also [4] gives special coefficients C_1 and C_2 for calculation of F_{cs} . C_1 and C_2 coefficients are selected from Table 2 with B/L ratio. Therefore, a general bearing capacity may be written in Equation (4).

Table 1. Shape and depth factors

Factor	Meyerhof (1963) [3]	Salgado et al. (2004) [4]
F_{cs}	1+0,2 (B/L)	1+C ₁ (B/L)+C ₂ (D _f /B) ^{0,65}
F_{qs}	1	1
$F_{\gamma s}$	1	1
F_{cd}	1+0,2 (D _f /B)	1+0,27 (D _f /B) ^{0,5}
F_{qd}	1	1
$F_{\gamma d}$	1	1

Table 2. C_1 and C_2 coefficient from Salgado et al. (2004) [4]

B/L	C ₁	C ₂
Circle	0,163	0,210
1,00	0,125	0,219
0,50	0,156	0,173
0,33	0,159	0,137
0,25	0,172	0,110
0,20	0,190	0,090

$$q_u = c'N_c F_{cs} F_{cd} + qN_q F_{qs} F_{qd} + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} \quad (4)$$

F_{cs} , F_{qs} , $F_{\gamma s}$: Shape factors

F_{cd} , F_{qd} , $F_{\gamma d}$: Depth factors

4. ANALYSIS AND CALCULATIONS

4.1 Analytical Calculation

Ultimate bearing capacity calculations are made according to the ultimate bearing capacity calculations described developed by various researchers in previous chapters.

Parameters for ultimate bearing capacity are determined as; soil unit weight $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$, average undrained shear strength from Vane shear test $c_{u,vst} = 28,2 \text{ kPa}$, plasticity index $PI = \%36$, liquid limit $LL = \%60$, foundation depth $D_f = 1,5 \text{ m}$, foundation width $B=L = 7,2 \text{ m}$. Average value of vane shear test correlation factor is determined from Table 3 as $\lambda = 0,71$. Design undrained shear strength $s_u = \lambda c_{u,vst} = 0,71 \times 28,2 \approx 20 \text{ kPa}$. Shape and depth factors calculation is given in Table 4. Bearing capacity factor N_c is determined as 5,7 from Terzaghi (1943) [2] and 5,14 from Meyerhof (1963) [3]. N_q is equal to 1,0 and N_γ is equal to zero. Ultimate bearing capacity calculation results are shown in Table 5.

Table 3. Vane shear test correction factors calculation

Correlation	λ	Reference
$\lambda=1,7-0,54\log(\text{PI})$	0,859597	Bjerrum (1974) [5]
$\lambda=1,18e^{-0,08(\text{PI})}+0,57$ (PI>5)	0,636239	Morris and Williams (1994) $\lambda=f(\text{PI})$ [6]
$\lambda=7,01e^{-0,08(\text{LL})}+0,57$ (LL>20)	0,627691	Morris and Williams (1994) $\lambda=f(\text{LL})$ [6]

Table 4. Shape and depth factors calculation

Coefficient	Meyerhof (1963) [3]	Salgado et al. (2004) [4]
F_{cs}	1,2	1,172
F_{cd}	1,0416	1,123

Table 5. Ultimate bearing capacity calculations

Coefficient	Terzaghi (1943) [2]	Meyerhof (1963) [3]	Salgado et al. (2004) [4]
N_c	5,7	5,14	5,14
N_q	1	1	1
N_γ	0	0	0
F_{cs}	-	1,2	1,17
F_{qs}	-	1	1
$F_{\gamma s}$	-	1	1
F_{cd}	-	1,04	1,12
F_{qd}	-	1	1
$F_{\gamma d}$	-	1	1
q_u (kPa)	175,2	155,2	161,7

4.2 Finite Element Analysis Calculation

Since the silo foundation is circular, in software foundation was modelled as axisymmetrically. Mohr-Coulomb soil model is selected in analysis. The Mohr-Coulomb model is a simple soil model and is used to get a first approximation of the soil behavior. It is a linear elastic perfectly plastic model and used widespread in design. Hooke law is valid for elastic range. The perfectly plastic part is based on failure criterion by Mohr-Coulomb. With plastic behavior, irreversible strains develop while with elastic behavior, the strains will be reversed when unloading. The Mohr-Coulomb model requires six input parameters as Young modulus (E), Poisson's ratio (ν), cohesion (c), soil friction angle (ϕ), dilatancy angle (ψ) and tension-cut off (σ_t) [8].

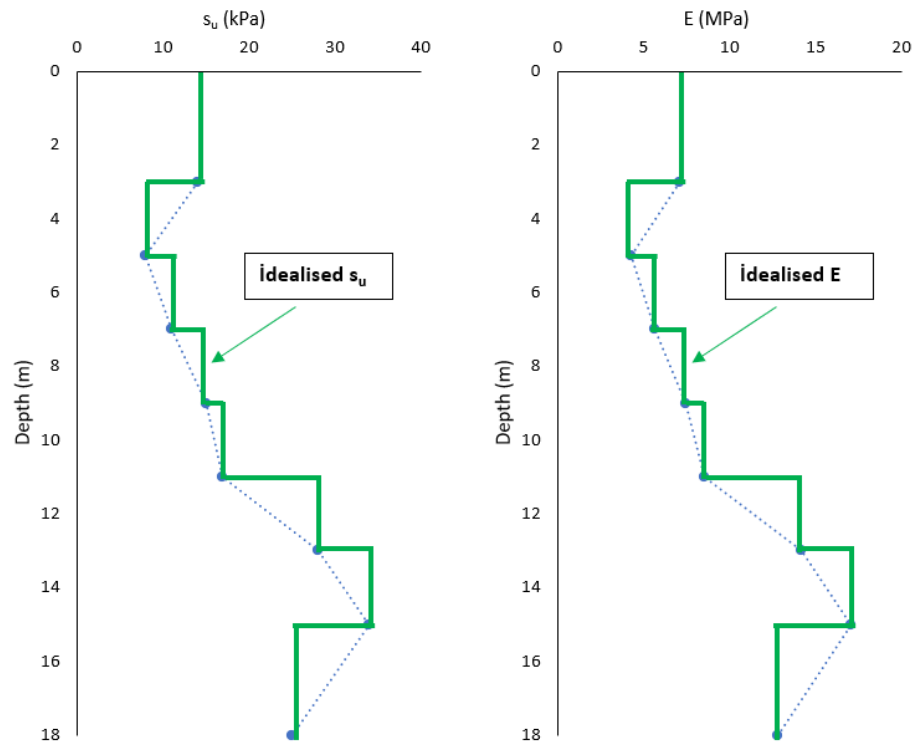
Soil profile is divided by 8 layers due to changing of undrained shear strength. Correction factor $\lambda=0,71$ is applied to determine design undrained shear strength. Soil elasticity modulus is calculated according to Table 6 by formula $E=500 s_u$. Undrained shear strength and elasticity modulus values are shown in Figure 3. Soil parameters are given in Table 7.

Table 6. Elasticity modulus calculation [9]

Plasticity Index	Elasticity Modulus
PI > 30 or organic	$E_s = (100 \text{ to } 500) s_u$
PI < 30 or stiff	$E_s = (500 \text{ to } 1500) s_u$

Table 7. Soil parameters

Layer	Depth (m)	s_u (kPa)	E (MPa)
Clay-1	0-3	14	7,1
Clay-2	3-5	8	4,2
Clay-3	5-7	11	5,6
Clay-4	7-9	15	7,5
Clay-5	9-11	17	8,5
Clay-6	11-13	28	14,2
Clay-7	13-15	34	17
Clay-8	15-18	25	12,7

Figure 3. Undrained shear strength (s_u) and elasticity modulus at soil profile

Finite element model which is created with Plaxis 2D is shown in Figure 4. Construction stages are defined in software and listed below. Silo load 160 kPa is applied to foundation. According to analysis result, total displacements (u) diagram is shown in Figure 5. Total displacement of foundation has been calculated as 33,48 m. Under service load, this deformation is not realistic. Hence very soil big deformations point out to failure of foundation of silo. Maximum Mstage value is calculated as 0,64 in Figure 6. According to this chart, approximate failure of foundation starts from when total displacement is equal to 0,50 m.

Construction stages:

- Phase 1: Initial phase

- Phase 2: Construction of silo
- Phase 3: Application 160 kPa building load

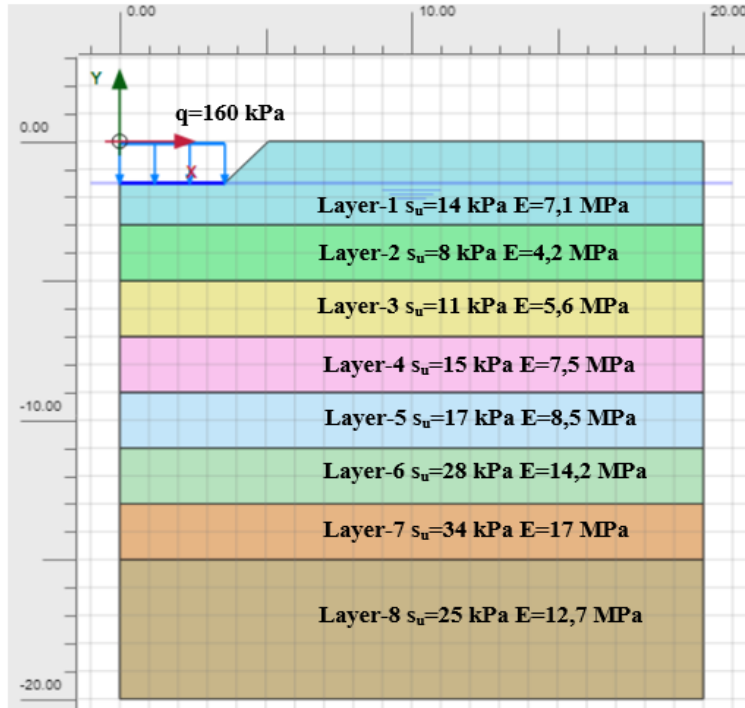


Figure 4. Plaxis 2D analysis model

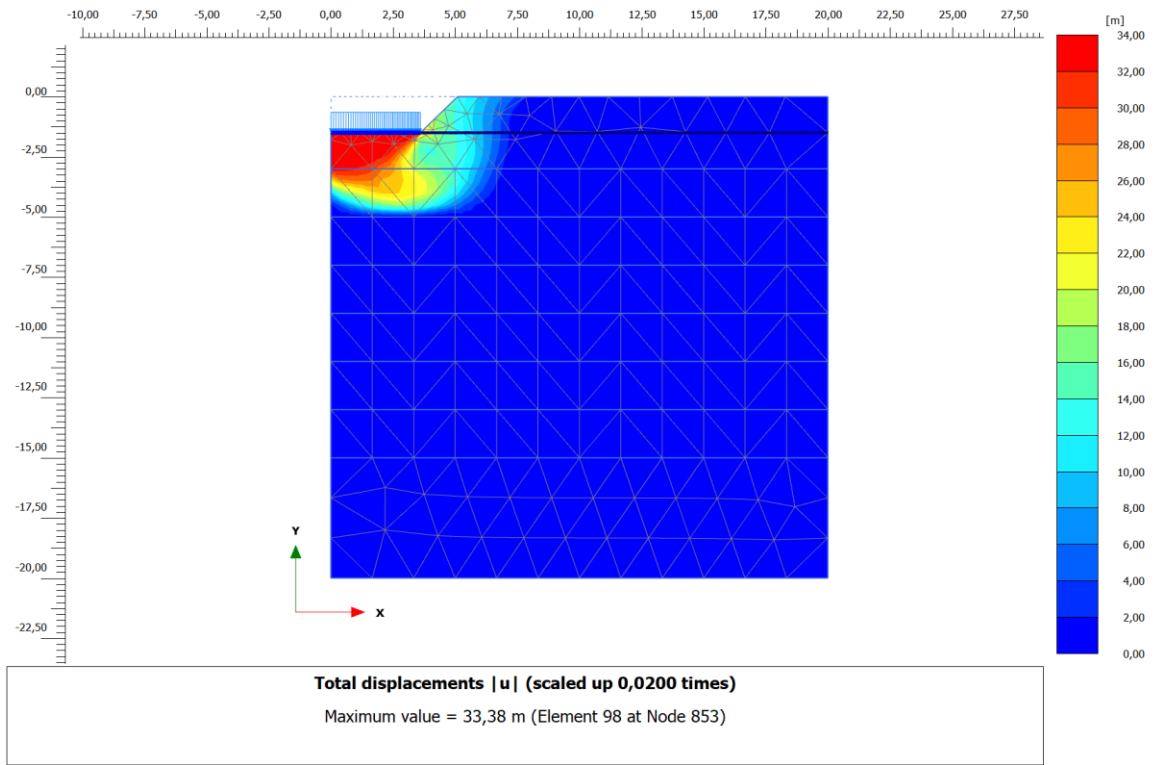


Figure 5. Analysis result- total displacement contours

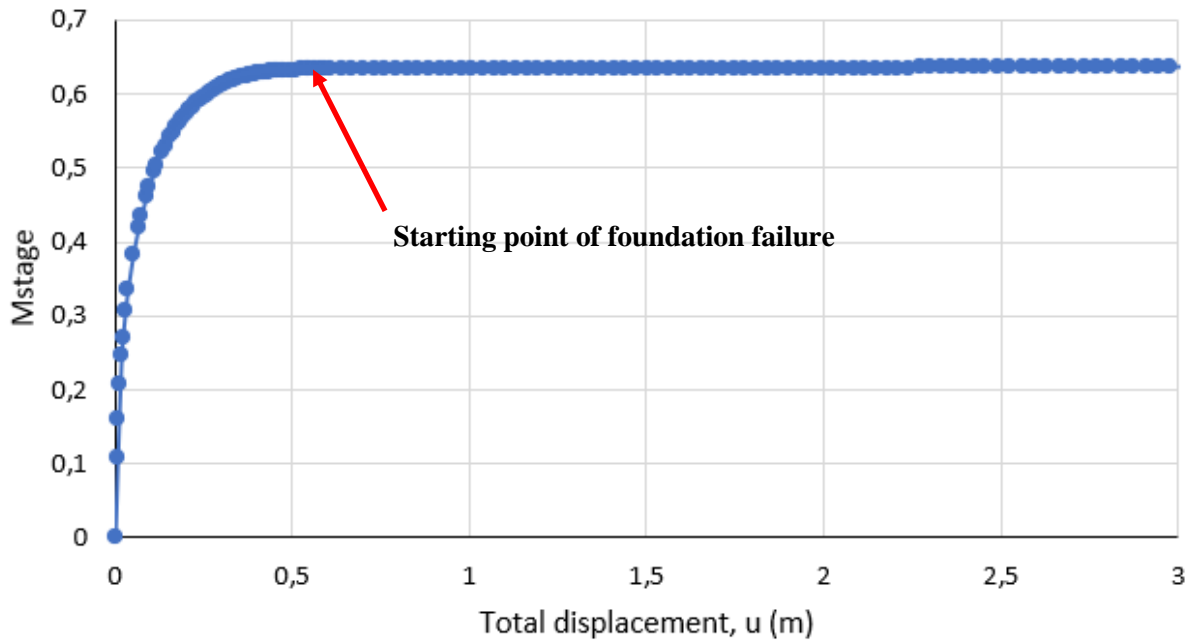


Figure 6. Mstage- total displacement chart

5. RESULTS

Bearing capacity calculation results are presented in this chapter. Factor of safety (FS) is calculated as ratio of ultimate bearing capacity to maximum pressure. Factor of safety (FS) values are calculated FS= 1,09 from Terzaghi’ s bearing capacity equation, FS= 0,97 from Meyerhof’ s bearing capacity equation, FS= 1,01 from Salgado et al. bearing capacity equation and FS= 0,64 from Plaxis 2D analysis result. The results are summarized in Figure 7.

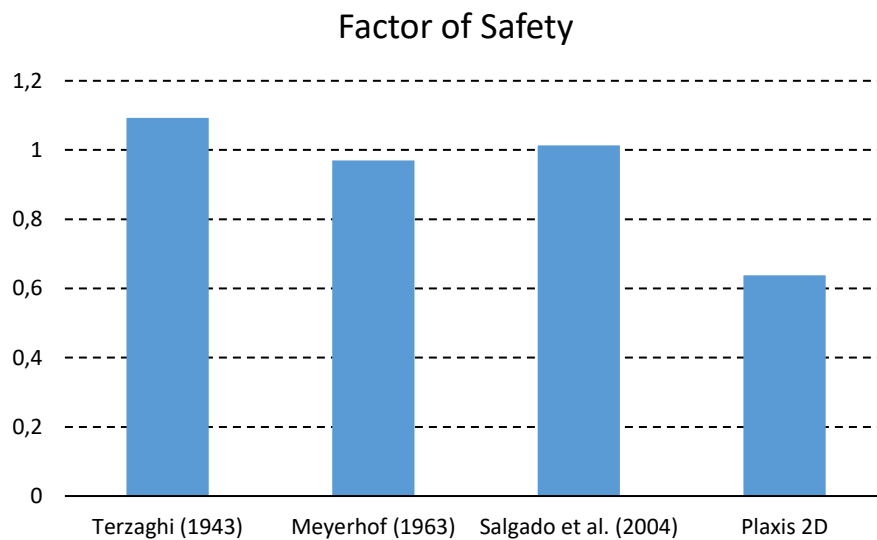


Figure 7. Factor of safety (FS) calculations

6. CONCLUSION

In this paper, ultimate bearing capacity calculation reevaluated according to analytical and finite element method. Bozozuk (1972) [1] is selected as case study for this purpose. On 30 September 1970, silo suddenly overturned and failure with approximately 600-ton weight. Maximum pressure was observed as 160 kPa while silo failure. After failure, in-situ Vane shear test and laboratory tests carried out to determine soil strength for design. Soil profile consists of very weak and high compressible clay layer. Vane shear test corrections for design undrained shear strength value are calculated from Bjerrum (1974) [5] and Morris&Williams (1994) [6] correlations. Terzaghi (1943) [2], Meyerhof (1963) [3] and Salgado et al. (2004) [4] bearing capacity equations and finite element analysis software Plaxis 2D is used for bearing capacity calculations. Analytical method solution values are calculated close to each other about $FS=1,0$. Minor differences for analytical solutions occurred from bearing capacity factors, shape and depth factors. Minimum factor of safety is calculated as $FS=0,64$ from finite element analysis result. Finite element result remains safe side for ultimate bearing capacity calculation. Advantages of finite element method are summarized below:

- Soil profile can be divided sub-layers according to soil parameters
- Ground water table level considered sensitively
- Deformation parameters of soil are defined

Because of the safest result for examined case study from finite element method, author suggests to use finite element analysis method for complex and sensitive soil profiles instead of analytical method. In future studies, this paper can be contributed by using finite element method for different soil properties and geometries.

REFERENCES

- [1] Bozozuk, M. (1972). Foundation Failure of the Vankleek Hill Tower Site, Proceedings, Specialty Conference on Performance of Earth and Earth-Supported Structures, Vol. 1, Part 2, pp. 885–902.
- [2] Terzaghi, K. (1943). Theoretical Soil Mechanics, John Wiley & Sons, New York.
- [3] Meyerhof, G.G. (1963). Some recent research on the bearing capacity of foundations, Canadian Geotechnical Journal, 1(1): 16. <https://doi.org/10.1139/t63-003>
- [4] Salgado, R., A. V. Lyamin, S. W. Sloan, H. S. Yu (2004). Two and three-dimensional bearing capacity of foundations in clay, Geotechnique, 54(5): 297. <https://doi.org/10.1680/geot.2004.54.5.297>
- [5] Bjerrum, L. (1974). Problems of Soil Mechanics and Construction on Soft Clays, Norwegian Geotechnical Institute, No. 110, Oslo.
- [6] Morris, P.M., Williams, D.J., (1994). Effective Stress Vane Shear Strength Correction Factor Correlations, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 31, No. 3, pp. 335-342. <https://doi.org/10.1139/t94-041>
- [7] Das, B.M., Sivakugan, N. (2019). Principles of Foundation Engineering, Cengage Learning, USA.
- [8] Bentley (2020). Plaxis 2D-Reference Manual, October.
- [9] Bowles, J.E., (1997). Foundation Analysis and Design, McGraw- Hill Book Company, New York.

Farklı Deşarj Türlerinin Seyrelme Verimliliğinin Fiziksel Modelleme Yardımıyla İncelenmesi

Ahmet Karataş^{1*} , Murat Aksel² 

^{1,2}Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye.

*karatass.ahmett@gmail.com

Özet

Sanayileşmenin artmasıyla beraber su kıyılarına çeşitli tesisler kurulmaktadır. Bu tesisler, deniz ekosistemini olumsuz yönde etkilediği bazı durumlar vardır. Bunlardan biri de ısı deşarjlarıdır. Yapılan ısı deşarjlar deniz ekosisteminde olumsuzluklar yaratabilmektedir. Isıl deşarjların oluşma nedeni; enerji santralleri, Demir-Çelik fabrikaları gibi tesislerin soğutma işlemini yapmak için deniz gibi büyük su kütlelerini soğutucu olarak kullanmalarıdır. Bu tür olumsuzlukların oluşmaması için deşarj suyunun sıcaklığına bağlı olarak alıcı ortamın sıcaklık değişimi yasalar ile kısıtlanmıştır. Bundan dolayı en iyi seyrelmeyi ve en ekonomik olan sistemin belirlenmesi önem kazanmıştır. Bunu öğrenebilmek için 3 farklı sistem laboratuvar ortamında test edilmiştir. İlk deneyde serbest düşen jetler, ikinci deneyde su yüzeyinden suya paralel jetler oluşturulmuş ve üçüncü deneyde ise su yüzeyine ikincil bir hazne yapılarak üç delikten deşarj yapılmıştır. Jetlerin oluşturduğu termal bulutlar incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Termal Deşarj, Deniz Deşarjı, Seyrelme, Fiziksel Model

Investigation of Dilution Performance Depending on Discharge Conditions via Physical Modelling

Abstract

With the increase of industrialization, various facilities are being established on the water shores. There are some cases when these facilities negatively affect the marine ecosystem. One of them is thermal discharges. Thermal discharges can create negativities in the marine ecosystem. The reason for the occurrence of thermal discharges is that facilities such as power plants, iron and steel factories use large bodies of water such as the sea as a coolant to perform the cooling process. In order to prevent the occurrence of such negativities, the temperature change of the receiving medium depending on the temperature of the discharge water is restricted by law. Therefore, it has become important to determine the best dilution and the most economical system. In order to learn this, 3 different systems have been tested in a laboratory environment. In our first experiment, free falling jets, in our second experiment, jets parallel to the water were created from the water surface, and in our third experiment, a secondary reservoir was made on the water surface and discharged through three holes. Thermal clouds formed by jets have been studied.

Keywords: Thermal Discharge, Sea Discharge, Dilution, Physical Model

1. GİRİŞ

Suların dünyamızın %71'lik kısmını oluşturduğu, yeryüzünde bulunan su miktarı 1,34 milyon km³ olduğu bilinmektedir. Bu büyük su kütesinin %97,5'u tuzlu sudan, %2,5'u ise tatlı sudan oluşmaktadır [1]. Gerek ülkemizde gerekse Dünyada yapılan çalışmalarda küresel iklim değişikliği ve ekolojik ayak izinin etkileri doğal ve yenilenebilir enerji kaynaklarının optimum şekilde kullanılması gerektiğini ortaya koyuyor. Birleşmiş Milletler Dünya Su Geliştirme raporuna göre, Dünya'da 2 milyar insanın suya doğrudan erişiminin olmadığı raporlanmıştır. Aynı raporda Küresel ısınma, Nüfus artışı ve Enerji ihtiyacının artmasından kaynaklı olarak 2050 yılına kadar su talebinin %55 oranında artacağı belirtilmiştir [2]. Sıcaklıkların yükselmesi ve iklim değişikliğinden kaynaklanan buharlaşmanın artması, deniz suyunun musilaj oranının artırmasında etkili olan sebeplerdendir. Bundan dolayı Marmara Denizi'ne ısıl deşarj yapmak yasaklanmıştır. Su ortamı fiziksel, kimyasal ve içindeki canlıların değerine göre birincil ve ikincil biyolojik bölgelere ayrılmaktadır. Sulardan sürekli yararlanılabilmek için bu kaynakların korunması oldukça önemlidir.

Isıl deşarj diğer adıyla sıcak su deşarjı, termik santraller, endüstriyel tesisler ve nükleer santraller gibi tesislerin prosesi soğutma amacıyla kullandıkları soğutma suyunu denize bırakmasıdır. Bu sıcak su deşarjı, çevresel olası etkileri nedeniyle tartışmalı bir konudur. Sıcak su deşarjı, proseslerin yüksek sıcaklıklarla işlem yapan tesisler genellikle deniz, göl, akarsu gibi su kaynaklarının kıyısında konumlandırılarak soğutma faaliyetlerinde suyun soğutma kapasitesinden faydalanır. Bu tesislerde soğutma sonrası ısıl kirliliğe sahip su alıcı ortam içine (göl, deniz, akarsu vb.) deşarj edilir. Sıcak su deşarjının deniz ekosistemini olumsuz etkilediği bilinmektedir. Bu olumsuz etkiler planktonların aşırı çoğalması, deniz suyunda bulunan oksijen seviyesinde değişikliklere, deniz çayırları habitatlarının yok olması olarak tespit edilmiştir. Yaşanan bu değişiklikler deniz yaşamı için potansiyel olarak zararlıdır. Su içerisinde yaşayan bazı canlılar yüksek sıcaklığa karşı hassas olmasından dolayı ısıl değişikliklere neden olan bir deşarj yapıldığı durumda sıcaklığa karşı dayanıklı olan canlılar, sıcaklığa karşı dayanıklı olmayan canlıların yerini almaya başlar. Özellikle sık aralıklarla termal deşarj yapan termik nükleer elektrik santralleri gibi tesisler deşarj ortamında olumsuz etkiler bırakabilmektedir. Bu nedenle, çoğu ülkede sıcak su deşarjına yönelik sıkı düzenlemeler ve kontroller vardır. [3, 4].

Bu olumsuz etkilerin azaltılması amacıyla yasal mevzuatlar geliştirilmiştir ve alıcı ortam kapasitesine bağlı olarak limit değerler tanımlanmıştır. Bu limit değerlerle uyumlu deşarj yapılması gerekli olup diğer yandan bölgesel koşullar ve ekonomik maliyetler gözetildiğinde kıyıya en yakın konumdan (sığ su bölgesinde veya kıyıda) deşarj yapılması gerekebilir. Özellikle 2018/14 sayılı "Atıksu Arıtma/Derin Deniz Deşarjı Tesisi Proje Onayı Genelgesi" öncesinde yapılan tesislerde ekonomik şartlar ön planda tutularak kıyıda deşarj uygulaması tercih edilmiştir. Kapalı devre sistemlerinin maliyetinin, açık devre sistemlerin maliyetinden çok fazla olmasından kaynaklanan ekonomik koşullardan dolayı büyük su kütlelerinin kıyısında bulunan tesislerde açık devre sistemler kullanılmaktadır. Deşarj edilen termal su, su ekosisteminde ısı değişim toleransı düşük olan sucul canlılar bulunmasından dolayı alıcı ortamın sıcaklığının değişmesi canlıların habitatını ve üremelerini olumsuz etkilemektedir [5, 6]. Bundan dolayı gerek ülkemizde gerekse dünyada atık ısının alıcı ortama verilmesi için limit değerler mevzuatlarla belirlenmiştir. 31.12.2004 tarihli ve 25687 sayılı "Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği" hükümleri çerçevesinde düzenlenmiştir. Bu yönetmeliğe göre alıcı ortamın kapasitesine bakılmaksızın deşarj edilen suyun sıcaklığı en fazla 35 °C olmak zorundadır. Alıcı ortam ile yapılan termal deşarj arasındaki fark yaz aylarında (Haziran - Eylül arası) 1°C 'yi aşmaması, diğer aylarda ise 2°C 'yi aşmaması gerekmektedir. Ancak alıcı ortamın sıcaklığı 28°C üzerinde olduğu durumlarda deşarj edilen suyun alıcı ortam sıcaklığını 3°C 'den fazla artırmayacak şekilde deşarj yapılırsa, deşarj sıcaklığına herhangi bir sınırlama getirilmeden deşarj yapılmasına izin verilebilir [7]. Ancak bu limit değerler yakın kıyı bölgesinden yapılan deşarjlarda sağlanamayabilmektedir. Yakın kıyı bölgesinden yapılan sığ su deşarjlarının seyrelme süreçleriyle ilgili yapılan çalışmalarda termal bulut yoğunluk tabakalaşmasından etkilenerek belli bir bölgede kaldığını ve seyrelmenin az olduğunu, tabakalaşmanın olmadığı durumlarda ise seyrelmenin arttığı bulunmuştur [8]. Roberts ve diğerlerinin yaptıkları çalışmalarda; termal suyun yüzeye yaklaştığı durumlarda seyrelme değerinin 600-5400 ppm arasında

değiştiğini ortalama 1350 ppm değerine ulaştığını göstermiş, elde edilen değerlerin mevsimsel değişimle atık suyun alıcı ortamdaki davranışını etkilediğini bulmuşlardır [9]. Kanberli yapmış olduğu çalışmada; seyrelme ve iletim uzunluğunun yüksek olması için difüzörler yatay doğrultuda konulması gerektiğini bulmuştur[10]. Bu çalışmada durgun haldeki bir su kütlesi alıcı ortam kabul edilerek $\Delta T=+ 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ sabit sıcaklık farkı ile çıkış kesitleri kurgulanarak sıcak su deşarjı yapılmış, sıcak su bulutunun seyrelmesi süreci çeşitli noktalara yerleştirilen sıcaklık ölçüm problemleri ile incelenmiştir.

Deneylerde yapılan çalışma termal suyun deniz içine batık jet ve kıyından düşü şeklinde deşarjının karşılaştırıldığı bir çalışmadır. Bu durum karşılaştırması deniz içi soğutma suyu deşarjının seyrelme performansının iyileştirilmesi amacıyla hangi deşarj yönteminin seyrelme açısından daha verimli olduğunu göstermektedir. Deşarj sistemlerinin tasarımında ve deşarj kontrolü yönetmeliklerinde durumun değerlendirilmesi açısından önemlidir.

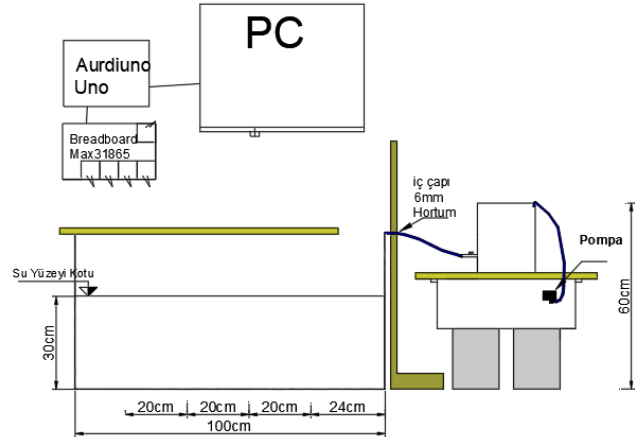
2. MALZEME VE METOT

2.1 Deney Sistemi

Deneylerde kullanılan sistem, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölüm laboratuvarında kurulmuştur. Deney sistemi bir adet deşarj yükleme tankı, alıcı ortam olarak hizmet veren büyük tank, sabit su seviyesi tutulmasına imkân sağlayan taşma sistemi ve basma pompası, deşarj borusu ve çeşitli noktalarda kurulu olan ve her bir senaryoda çalışmada yerleşim planı daha sonraki alt bölümde sunulacak PT100 sıcaklık ölçüm problemleri ve bu problemlerden veri iletiminde ve kaydında kullanılan bilgisayar altyapısını kapsamaktadır. Deney sistemine ait görsel Şekil 1’de sunulmaktadır.



Şekil 1. Deney Sistemi



Şekil 2. Deney sisteminin kesiti

Deneyde alıcı ortam olarak sabit su derinliğine (30cm) ve sıcaklığına (17°C) sahip bir dikdörtgen kesitli plaksiglass malzemeden imal edilmiş tank kullanılmıştır. Tankın boyutları 100cm x 50cm x 40cm'dir. Atıksu olarak sabit sıcaklıkta (32°C) su alıcı ortama deşarj edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada deşarj hortumunun çapı 6mm olarak belirlenmiştir. Atık suyun deşarj edildiğinde termal bulut davranışının izlenebilmesi amacıyla deşarj suyuna suda çözünebilir kırmızı renkte mürekkep ilave edilmiştir. Deşarj edilecek su ile deşarj tankının arasındaki bağlantıyı kesmek için deşarj tankında vana kullanılmıştır. Deşarj edilen suyun debisini ölçmek için arduino kontrollü debimetre deşarj hortumu üzerine takılmıştır. Bu sayede deşarj debisi ortalama 1,88lt/dk olarak ölçülmüştür. Deşarj tankındaki suyun karışması ve sıcaklığının homojen olması için 2 adet sobo marka wp-4880 model pompa kullanılmaktadır. Bu pompaların adeti saate 600L su basma kapasitesine sahiptir. Problemlerin konumlarının değişmemesi için "T" şeklinde yapılmış prob tutacağı tasarlanmıştır. Deneyde 5 adet prob senaryoya özgü olarak farklı konumlarda yerleştirilmiştir. Yerleştirilen ilk prob deşarj hortumunun çıkış noktasına olan uzaklığı 24cm olacak şekilde konumlandırılmıştır, kalan problemler ise birbirlerine 20cm aralıklarla alıcı ortam olarak

kullanılan deney tankının içerisine eşit aralıklarla yerleştirilmiştir. Böylelikle deşarj jetlerinin oluşturduğu termal bulutlun zamana bağlı sıcaklığının değişimi izlenmiştir. P1, P2, P3, P4 ve P5 noktalarındaki problemlerden elde edilen veriler bilgisayara kaydedilmiştir. Deşarj edilecek suyun sabit bir kottan alıcı ortama verilebilmesi için ‘‘L’’ şeklinde yapılmış deşarj hotumu ayağının üzerine 50cm yüksekliğinde 11mm çapında bir delik açılmıştır. Deneyin gerçekleştirilmesi için yapım hazırlıkları boyunca geçen sürede tanktaki suyun sıcaklığının homojen olarak dağılması için deneye başlamadan önce karıştırıcı çubuk yardımı ile su karıştırılıp termal tabakalaşmanın önlenmesi amacıyla homojenize edilmiştir. Tanka dik bir şekilde yerleştirilmiş dijital kamera ile deney süreci video kaydına alınmıştır. Video kaydı sayesinde termal bulutların izlediği yörünge izlenmiştir. Deneylerin değerlendirme aralığı, yansımaya bağlı girişimin etkisinin ortadan kaldırılması amacıyla ilk çıkış yapan jetin meydana getirdiği termal bulutun çıkışı ile tankın uzak çeperine çarptığı andaki zamana kadar geçen süre kadar seçilmiştir. Deneylerde 3 farklı senaryo çalışması gerçekleştirilmiştir.

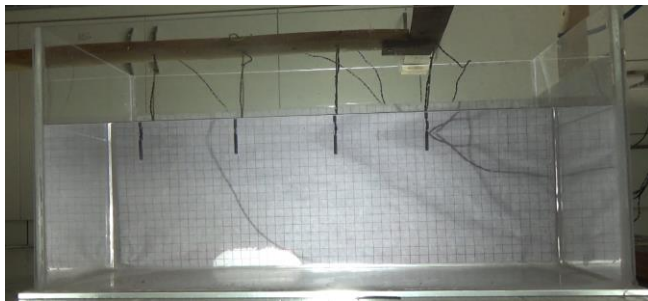
2.2 Senaryolar

Deney sistemi kurulduktan sonra üç farklı bölgeden deşarj yapılarak, ilgili deşarjın uygun izlenebileceği şekilde de ölçüm problemleri yerleştirilmiştir. Her senaryo için detaylı açıklamalar sonraki alt bölümlerde verilmektedir.

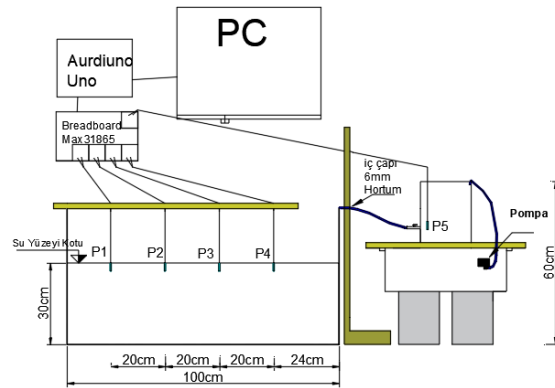
Senaryo Adı	Deşarj Biçimi	Deşarj Yüksekliği	Açıklama
Senaryo 1	Serbest Düşü (SD)	50cm	Su yüzeyine 20 cm yükseklikten serbest düşü ile yapılan deşarj
Senaryo 2	Yüzeye Paralel Deşarj (YPD)	30cm	Su yüzeyine paralel olarak yapılan deşarj
Senaryo 3	Geniş Açıklıkla Deşarj (GAD)	30cm	Su yüzeyine paralel olarak geniş açıklıkla yapılan deşarj

2.2.1 Senaryo 1 Serbest Düşü

Senaryo 1’de kullanılan yerleşimini gösteren fotoğraf Şekil 3.a’da, yerleşimin açıklamalı çizimi de Şekil 3.b’de verilmektedir. Termal su dolu tanktaki serbest yüzey kotu deşarj ortamı olarak kullanılan deney tankının tabanına göre + 0,90m olacak şekilde doldurulmuştur. Deneyde 4 adet sıcaklık ölçüm probu tankın içerisinde, 1 adet prob ise deşarj tankının içerisinde olmak üzere toplamda 5 prob kullanılmıştır. Atık suyun hava ile temasını ve su yüzeyine çarptırılarak dağılmasını sağlayıp daha fazla ısıl seyrelme oluşturulmak istenmiştir. Deney sırasında ortam ile ilgili bilgiler Tablo 1’ verilmiştir.



Şekil 3.a. Deney Sisteminin Görünümü



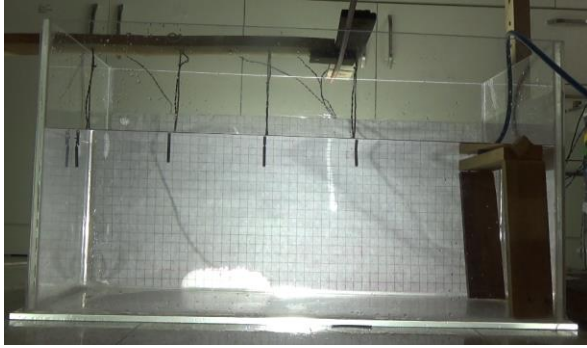
Şekil 3.b. Şematik Açıklaması

Tablo 1. Senaryo 1 çalışma koşulları

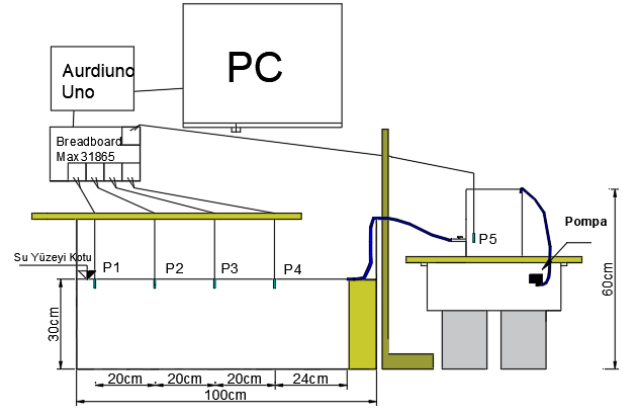
Parametre	Birim	Değer
Ortam (Laboratuvardaki İç Ortam Hava) Sıcaklığı	C°	20,6
Deşarj Edilen Su Sıcaklığı	C°	31,8
Alıcı Ortam Sıcaklığı	C°	17,06
Atık Suyun Musluk Kotu (Yere Göre)	cm	77
Atık Su Kotu (Yere Göre)	cm	90
Tanktaki Suyun Kotu	cm	32
Deşarj Edilen Su ile Tanktaki Suyun Kot Farkı	cm	58
Deşarj Hortumunun Yerden Yüksekliği	cm	52,5
Deşarj Edilen Hortum Çapı	mm	6
İlk Probu Jet Çıkış Noktasına Olan Uzaklığı	cm	24
Nem	%	33
Tanktaki Suyun İletkenliği	$\mu\text{S}/\text{cm}$	332
Atık suyun İletkenliği	$\mu\text{S}/\text{cm}$	386

2.2.2 Senaryo 2 Yüzeyle Paralel Deşarj

Senaryo 2’de kullanılan yerleşimini gösteren fotoğraf Şekil 4.a’da, yerleşimin açıklama çizimi de Şekil 4.b’de verilmektedir. Su yüzeyine paralel ısıtma yapılan bu deneyde deşarj hortumunun sabit durması için 30cm kotunda tahtadan yapılmış bir aparat kullanılmıştır. Bu aparat sayesinde deşarj hortumunun her zaman aynı konumda kalması sağlanmıştır. Bu senaryo kapsamında deney sistemine ait detaylı açıklamalar Tablo 2 de sunulmuştur.



Şekil 4.a. Deney Sisteminin Görünümü



Şekil 4.b. Şematik Açıklaması

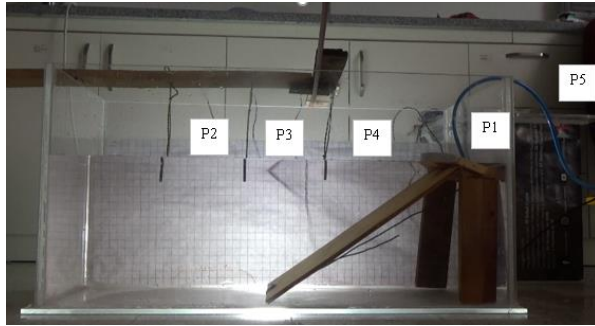
Tablo 2. Senaryo 2 çalışma koşulları

Parametre	Birim	Değer
Ortam (Laboratuvardaki İç Ortam Hava) Sıcaklığı	C°	18,1
Deşarj Edilen Su Sıcaklığı	C°	32,16
Alıcı Ortam Sıcaklığı	C°	16,98
Atık Suyun Musluk Kotu (Yere Göre)	cm	36
Atık Su Kotu (Yere Göre)	cm	60
Tanktaki Suyun Kotu	cm	32

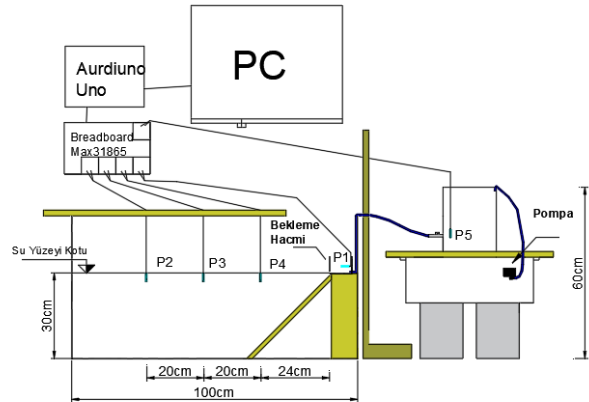
Deşarj Edilen Su ile Tanktaki Suyun Kot Farkı	cm	28
Deşarj Hortumunun Yerden Yüksekliği	cm	32
Deşarj Edilen Hortum Çapı	mm	6
İlk Probu Jet Çıkış Noktasına Olan Uzaklığı	cm	24
Nem	%	33
Tanktaki Suyun İletkenliği	$\mu\text{S}/\text{cm}$	332
Atık suyun İletkenliği	$\mu\text{S}/\text{cm}$	374

2.2.3 Senaryo 3 Geniş Açıklıkla Deşarj

Senaryo 3'te kullanılan yerleşimini gösteren fotoğraf Şekil 5.a'da, yerleşimin açıklamalı çizimi de Şekil 5.b'de verilmektedir. Senaryo 3 için kavanoz kapağının etrafını su sızdırmaz bant ile sarılarak bir hazne yapılmıştır. 37mm genişliğinde olan su sızdırmaz bant üzerine 7mm çapında 3 adet delik delinmiştir. Üç deliğin orta noktası ile aynı ekseninde olan 12mm çapında deşarj hortumunun girebileceği bir delik açılmıştır. Bu sayede 3,5cm yüksekliğinde 8,5cm çapında ikincil bir hazne elde edilmiştir. Atıksu tankından gelen atıksu yapmış olduğumuz ikincil haznede birikmesi ile deşarj suyunun hava ile temas süresi artırılmıştır. Atık suyun dibe çökmesini engellemek ve yayılımını artırmak için 30 derecelik açı ile bir tahta plaka koyulmuştur. Deşarj tankının içerisinde 3 tane sıcaklık sensörü, ikincil haznenin içinde 1 tane sıcaklık sensörü ve atıksu tankının içerisinde 1 tane sıcaklık sensörü olmak üzere toplamda 5 tane sıcaklık sensörü kullanılmıştır. Yerleştirilen ilk prob deşarj hortumunun ucuna uzaklığı 24cm olacak şekilde, kalan problemler 20cm aralıklarla yerleştirilmesi ile problemler deney tankının içerisine yerleştirilmiştir.



Şekil 5.a. Deney Sisteminin Görünümü



Şekil 5.b. Şematik Açıklaması

Tablo 3. Senaryo 3 çalışma koşulları

Parametre	Birim	Değer
Ortam (Laboratuvardaki İç Ortam Hava) Sıcaklığı (°C)	C°	18,1
Deşarj Edilen Su Sıcaklığı (°C)	C°	31,98
Alıcı Ortam Sıcaklığı (°C)	C°	16,9
Atık Suyun Musluk Kotu (Yere Göre) (cm)	cm	36
Atık Su Kotu (Yere Göre) (cm)	cm	60
Tanktaki Suyun Kotu (cm)	cm	32
Deşarj Edilen Su ile Tanktaki Suyun Kot Farkı (cm)	cm	28
Deşarj Hortumunun Yerden Yüksekliği (cm)	cm	32

Deşarj Edilen Hortum Çapı (mm)	mm	6
İlk Probu Jet Çıkış Noktasına Olan Uzaklığı(cm)	cm	24
Nem (%)	%	33
Tanktaki Suyun İletkenliği	µS/cm	332
Atık suyun İletkenliği	µS/cm	374

2.3 DENKLEMLER

Deneylerde elde edilen zamana bağlı sıcaklık değerleri bilgisayara aktarıldıktan sonra seyrelme yüzdesi hesaplanırken aşağıda (1) denkleminde gösterildiği gibi; P1, P2, P3, P4 poplarından elde edilen verilerin zamana bağlı sıcaklık değişimleri hesaplanmış, daha sonra elde edilen atık suyun sıcaklığına (P5 probundan elde edilen sıcaklık verilerinin ortalama değerine) bölünmüştür. Elde edilen bu oran, 100 ile çarpılarak yüzdeler elde edilmiştir. Tüm senaryolarda jet çıkış noktasına (hortumunun çıkış noktasına) sabit uzaklıkta olan P2, P3 ve P4 problemlerinin olduğu bölgelerdeki seyrelme yüzdeleri karşılaştırılabilmesi için aşağıda (2) denklem kullanılmıştır. Senaryo 1’ de bulunan P2, Senaryo 2’ de bulunan P2, Senaryo 3’ te bulunan P2 problemlerinin birim zamana bağlı grafikleri Şekil 14’te gösterilmiştir. Jetin çıkış ve deşarj tankının çeperine değdiği toplam sürenin problemlerinin deney esnasında gönderdiği hem sıcaklık hem de zaman verilerinin n. saniyedeki süre ile bölünmesiyle elde edilmiştir. P3 ve P4 problemleri içinde aynı teknik kullanılmıştır, P3 problemlerinin birim zamana bağlı seyrelme grafikleri Şekil 13’te ve P4 problemlerinin birim zamana bağlı seyrelme grafikleri Şekil 12’de gösterilmiştir. Şekil 7, Şekil 9 ve Şekil 11’de problemlerinin konuma göre ortalama seyrelme yüzdeleri verilmiştir.

$$S_t = \frac{(P_A - P_t)}{P_A} \cdot 100 \quad (1)$$

S_t : seyrelme yüzdesi, P_A : atık suyun sıcaklığı, P_t : probun ölçtüğü değerlerin zamansal değerini ifade etmektedir.

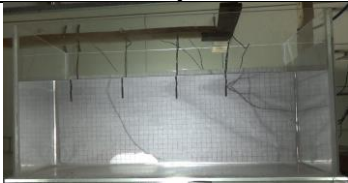
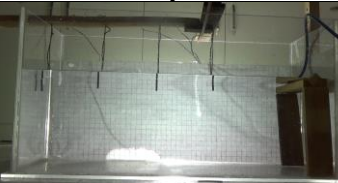
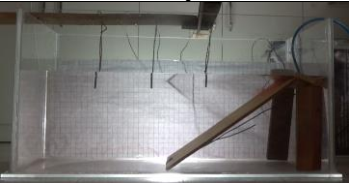
$$t/T_t = \frac{t_n}{t} \quad (2)$$


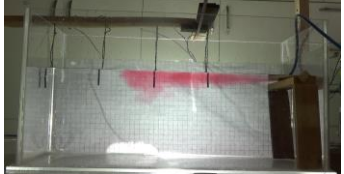
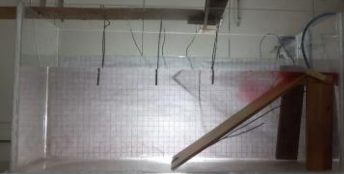

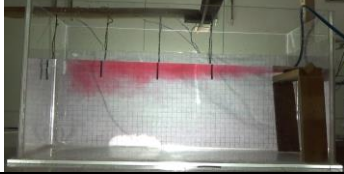
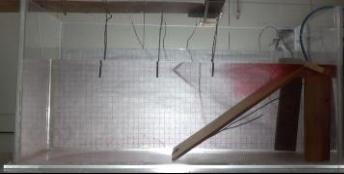

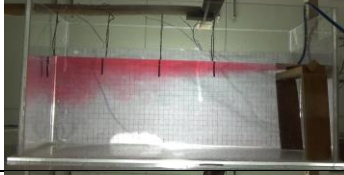
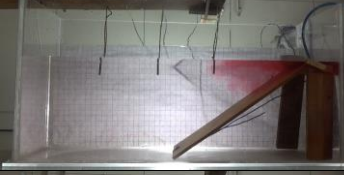

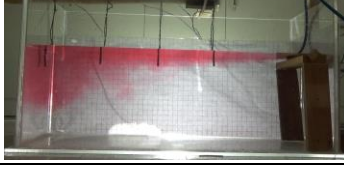
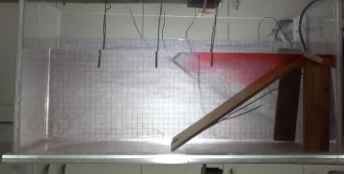

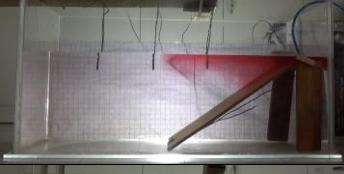
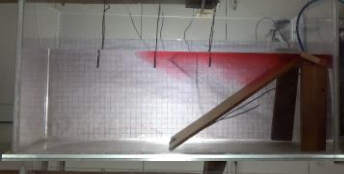


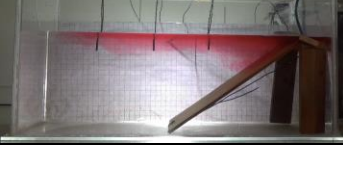
t/T_t : birim zaman, t_n : deneyde problemlerinin veri gönderdiği herhangi bir zaman t : deney süresi

3. BULGULAR

Tüm senaryolarda jet çıkış anı $t=0$ sn olarak kabul edilerek, 10 saniye aralıklarla deney düzeneğinin fotoğrafları tankın çeperine çarptığı ana kadar çekilip Tablo 4’te gösterilmiştir.

Tablo 4. Deney süresince zamana bağlı olarak termal bulutların görünüşü

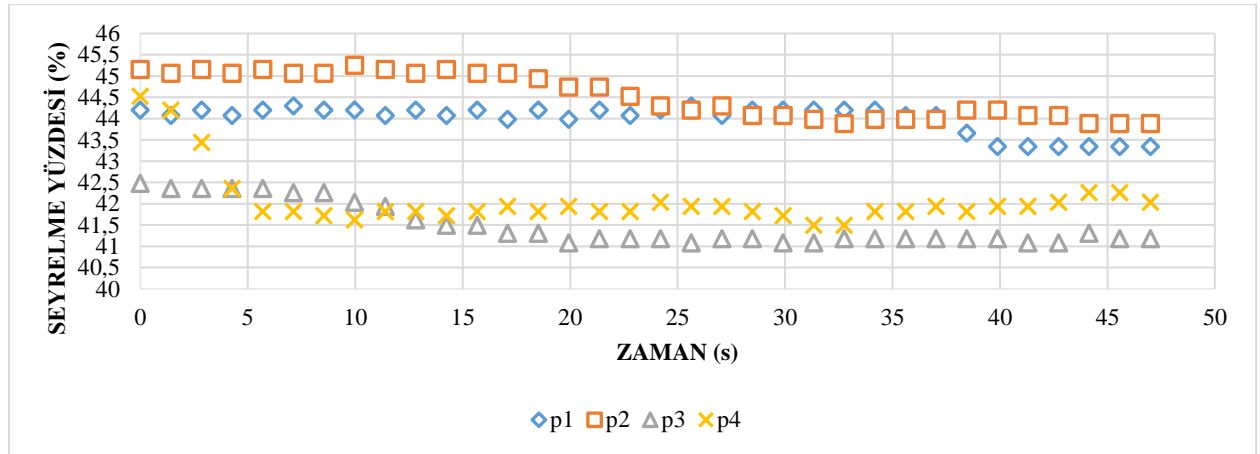
	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
$t = 0$ sn			

t = 10 sn			
t = 20 sn			
t = 30 sn			
t = 40 sn			
t = 50 sn			
t = 60 sn			
t = 70 sn			
t = 80 sn			
t = 90 sn			

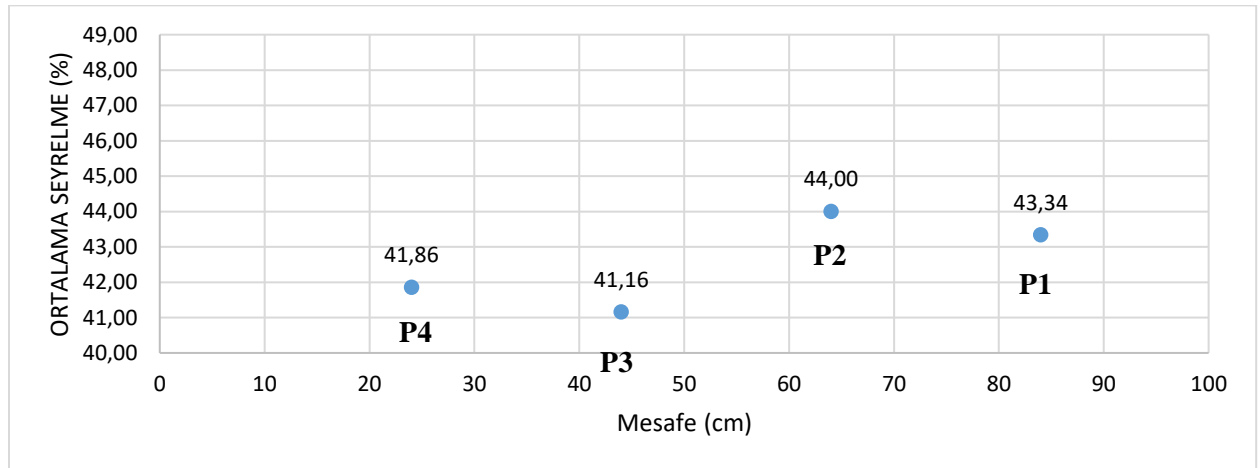


3.1 Senaryo 1 Bulgular

Senaryo 1 su yüzeyine serbest düşüş deşarj deneyinde yapılan deneysel çalışmalarla elde edilen veriler Şekil 6 ve Şekil 7 gösterilmiştir. Zamana bağlı seyrelme grafikleri Şekil 6'da gösterilmiştir. Atık su bulutunun ilk çarptığı sıcaklık sensörünün (P4 sıcaklık sensörü) seyrelme oranı zamanla %44,5'ten başlayıp %42'de, P3 konumunda seyrelme oranı %42,4'ten başlayıp %41,2'de, P2 konumunda seyrelme oranı %45,2'den başlayıp %44'te, P1 konumunda seyrelme oranı %44,2'den başlayıp %43,4'te bitmiştir. Jet çıkış noktasından uzaklaştıkça P4, P3, P2, P1 sıcaklık sensörlerinin konumlarındaki ortalama seyrelme Şekil 7'te gösterilmiştir. Senaryo 1 deneyinin sonucunda seyrelmenin en fazla %44 oranında P3 sıcaklık sensörünün konumunda gerçekleştiği ve seyrelmenin en az %41,16 oranında P2 konumunda gerçekleştiği belirlenmiştir. P4 konumunda seyrelmenin, P3 konumunda seyrelmeye oranla az olmasının sebebi, P4 sıcaklık sensörünün termal bulutların içerisinde kalmamasından kaynaklıdır. P2 konumunda seyrelmenin, P1 konumundaki seyrelmeden fazla olmasının sebebi, P1 sıcaklık sensörünün deşarj tankının çeperine yakın olmasıdır.



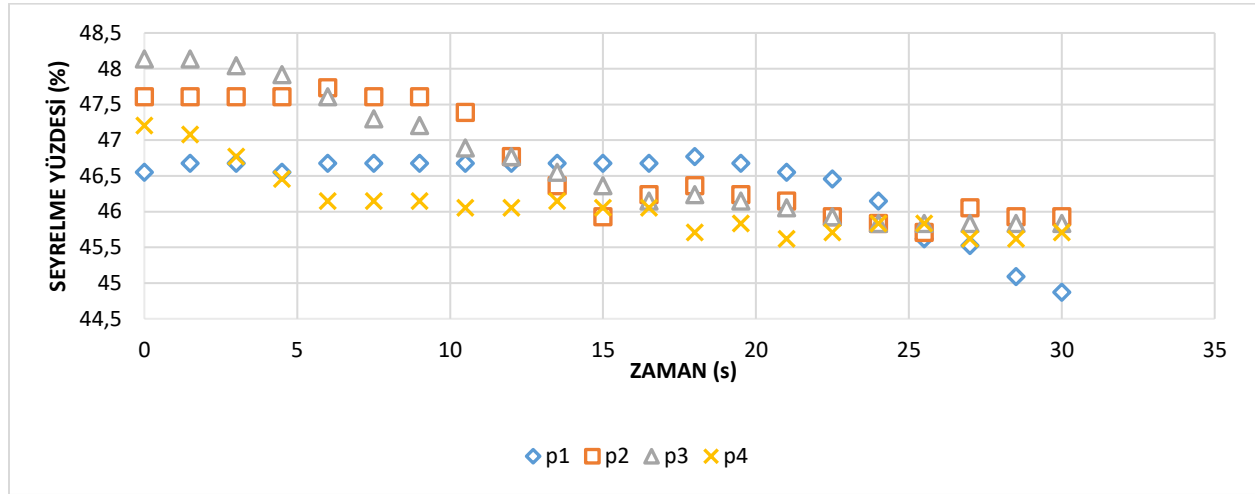
Şekil 6. Senaryo 1 de P1, P2, P3, P4 Sıcaklık sensörlerinin buldukları noktalarındaki zamana bağlı seyrelme yüzdeleri



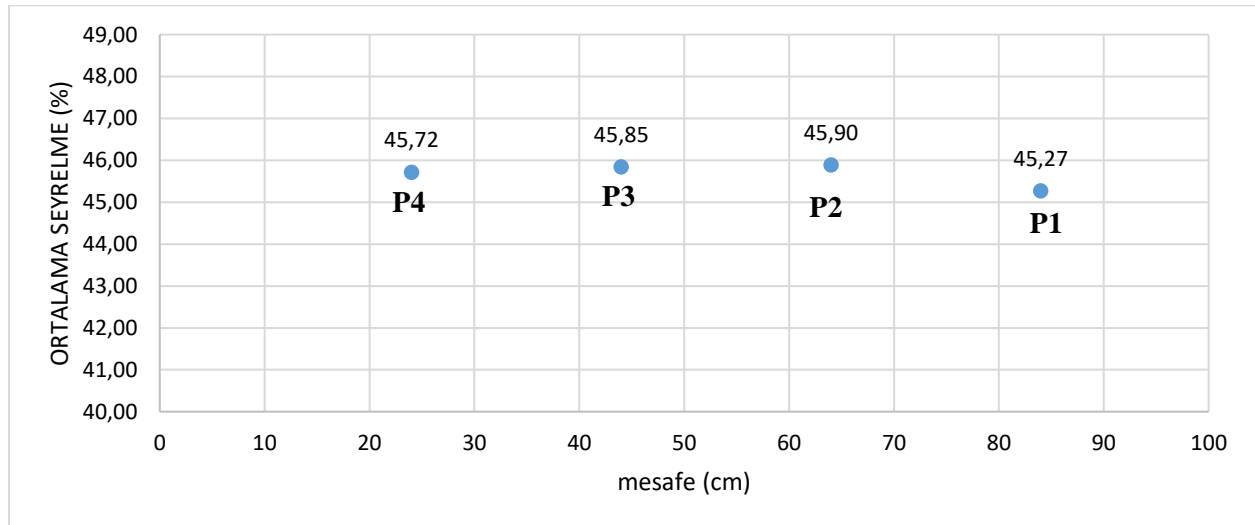
Şekil 7. Problemlerin buldukları noktalarındaki ortalama seyrelme yüzdeleri

3.2 Senaryo 2 Bulgular

Senaryo 2 su yüzeyine paralel ısı deşarj deneyinde yapılan deneysel çalışmalarla elde edilen veriler Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilmiştir. Zamana bağlı seyrelme grafikleri Şekil 8'de gösterilmektedir. Atık su bulutunun ilk çarptığı sıcaklık sensörünün (P4 sıcaklık sensörü) seyrelme oranı %47,2'den başlayıp %45,8'de, P3 konumunda seyrelme oranı %48'den başlayıp %45,9'da, P2 konumunda seyrelme oranı %47,5'den başlayıp %46'da, P1 konumunda seyrelme oranı %46,5'te başlayıp %44,9'da bitmiştir. Jet çıkış noktasından uzaklaştıkça P4, P3, P2, P1 sıcaklık sensörlerinin konumlarındaki ortalama seyrelme Şekil 9'da gösterilmiştir. Senaryo 2 deneyi sonucunda seyrelmenin en fazla %45,9 oranında P3 konumunda gerçekleştiği ve seyrelmenin en az %45,27 oranında P1 konumunda gerçekleştiği belirlenmiştir. Teorik ve deneysel tutarlılık sağlanmıştır. P1 noktasında seyrelmenin az olmasının nedeni, çeper ile P1 sıcaklık sensörü arasındaki mesafenin çok az olmasıdır.



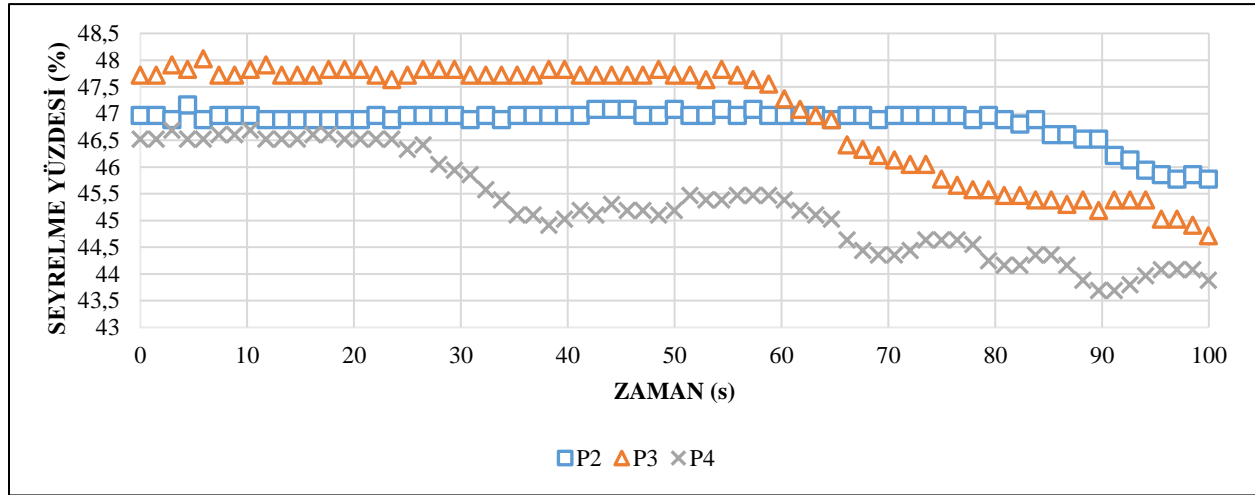
Şekil 8. Senaryo 2 'de P1, P2, P3, P4 Sıcaklık sensörlerinin buldukları noktalardaki zamana bağlı seyrelme yüzdeleri



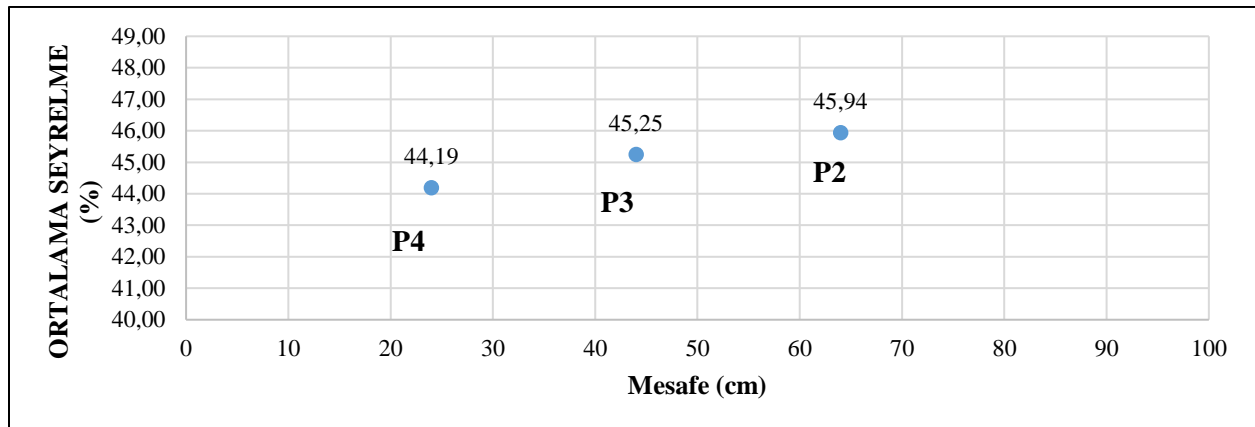
Şekil 9. Probların buldukları noktalardaki ortalama seyrelme yüzdeleri

3.3 Senaryo 3 Bulgular

Senaryo 3 Geniş Açıklıkla Deşarj deneyinde elde edilen veriler Şekil 10 ve Şekil 11’de gösterilmiştir. Zamana bağlı seyrelme grafikleri Şekil 10’da gösterilmiştir. Atık su bulutunun ilk çarptığı sıcaklık sensörünün (P4 sıcaklık sensörü) seyrelme oranı %46,5’tan başlayıp %43,8’de, P3 konumunda seyrelme oranı %48’den başlayıp %44,9’da, P2 konumunda seyrelme oranı %47’den başlayıp %45,8’de bitmiştir. Jet çıkış noktasından uzaklaştıkça P4, P3, P2, P1 sıcaklık sensörlerinin konumlarındaki ortalama seyrelme Şekil 11’de gösterilmiştir. Senaryo 3 deneyinin sonucunda seyrelmenin en fazla %45,94 oranında P2 konumunda gerçekleştiği ve seyrelmenin en az %44,19 oranında P4 konumunda gerçekleştiği belirlenmiştir. Jet çıkış noktasından uzaklaştıkça seyrelmenin artması gerekmektedir. Senaryo 3’te teorik ve deneysel tutarlılık sağlanmıştır.

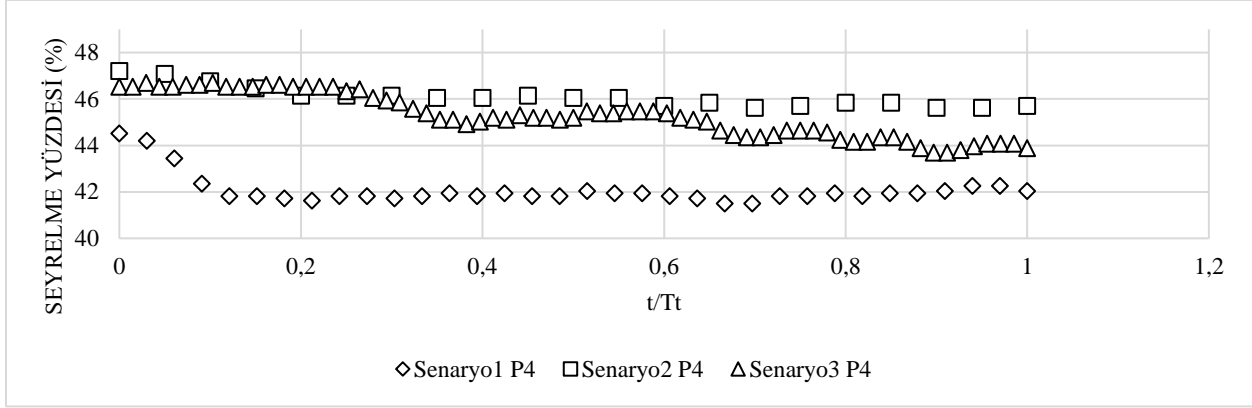


Şekil 10. Senaryo 3'te P2, P3, P4 Sıcaklık sensörlerinin buldukları noktalardaki zamana bağlı seyrelme yüzdeleri

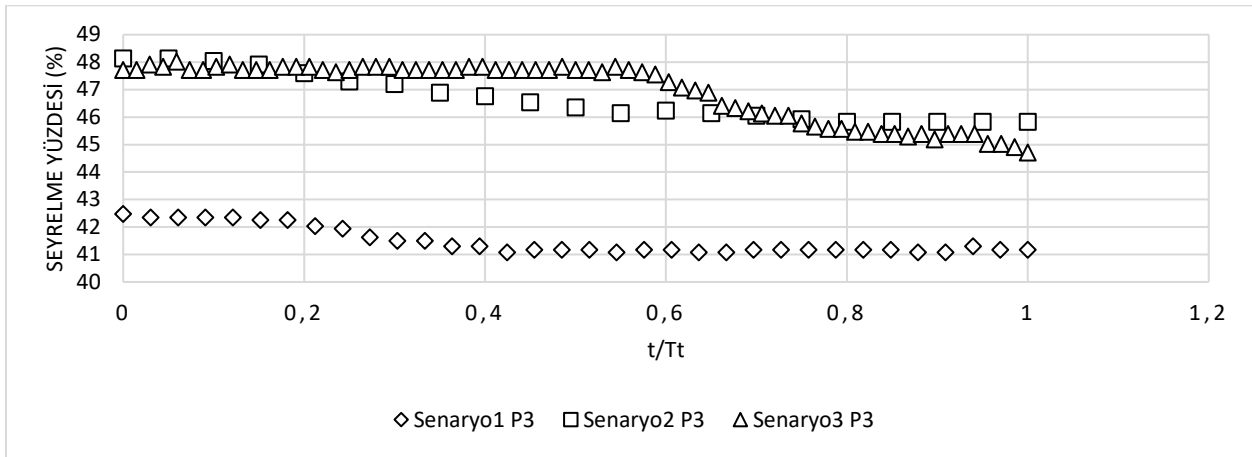


Şekil 11. Senaryo 3'te problemlerin buldukları noktalardaki ortalama seyrelme yüzdeleri

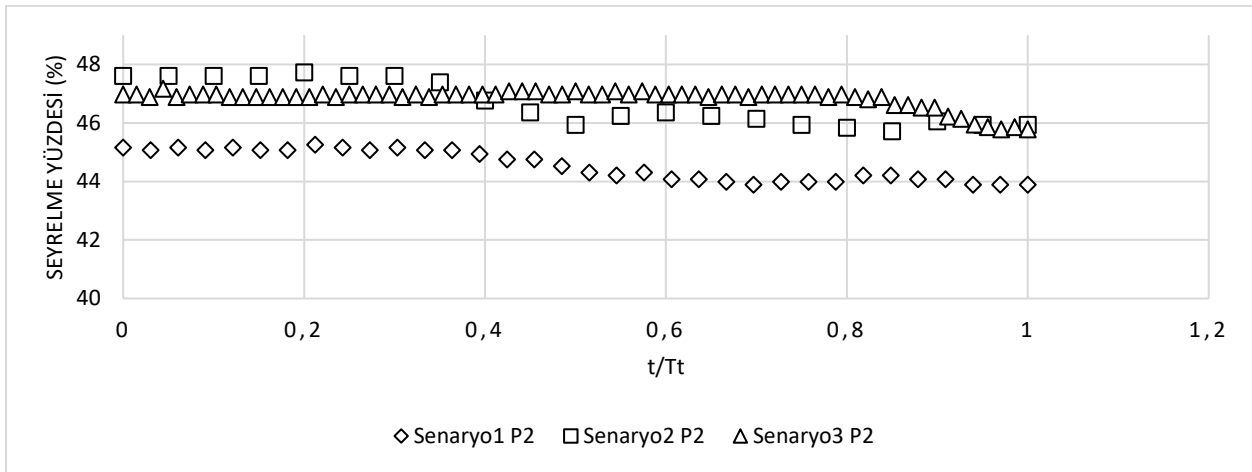
Sıcaklık sensörlerinin su jetinin içerisine konularak elde edilen sıcaklık verileri, birbirine paralel sıcaklık sensörlerinin jetin merkezinde olduğu kabul edildi. Sıcaklık ölçümleri sırasında hem termal bulut hem de problemlerde oluşabilecek şekil bozuklukları ihmal edildi. Suyun sıcaklığının homojen dağıldığı kabul edilmiştir.



Şekil 12. Tüm senaryoların karşılaştırmalı seyrelme durumu



Şekil 13. Tüm senaryoların karşılaştırmalı seyrelme durumu



Şekil 14. Tüm senaryoların karşılaştırmalı seyrelme durumu

4. TARTIŞMA

Yapılan deneysel çalışma kapsamında yapılan üç farklı senaryoya göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Deneysel sistemi tasarlanırken tank çeperine termal bulutlar çarptığı anda senaryo tamamlanmış olacak. Tablo 4'te görüldüğü gibi senaryoların zamana bağlı termal bulutların konumu gösterilmiştir. Senaryo 1'de 47 saniyede 80cm, Senaryo 2'de 30 saniyede 76cm, Senaryo 3'te 100 saniyede 76cm yol almıştır. Senaryo 1'de oluşan jetlerin hızı 0,0172m/s, Senaryo 2'de oluşan jetlerin hızı 0,0253m/s, Senaryo 3'te oluşan jetlerin hızı ise 0,0076m/s olarak hesaplanmıştır. Jetlerde, itici güç akışkanın momentumu ve termal bulutlarda ise atık su ile deşarj tankının içerisinde bulunan sıvıların yoğunluk farkları etkilidir. Alıcı ortama yapılan deşarjlarda, jet momentumu ve yüzdürme kuvvetleri etkilidir. Başlangıçta akım çıkış jetinin momentumu ile hareket eder ancak momentumunu kaybeden sıcak su bulutu, alıcı ortamdaki sıcaklık farkından kaynaklanan yoğunluk farkı sebebiyle yüzdürme kuvvetlerinin etkisinde seyrelme sürecini tamamlar. Carvalho vd. (2002) tarafından işaret edildiği gibi kıyıdan yapılan sığ su bölgesindeki deşarjın seyrelmesinin derinden yapılan deşarja göre sınırlı kaldığı deneylerde de ölçülmüştür. Yapılan çalışmalara göre en iyi seyrelmenin su yüzeyine paralel (Senaryo 2) şekilde yapılan deşarj olduğu saptanmıştır. Bunun nedeni yatayda oluşturulan jetlerin momentumunun yüksek olması ve bu yüksek momentumun katı yüzeylerle etkileşiminin sınırlı olması ile sürekliliğini koruyabilmesi ve böylece termal bulutların daha fazla alana dağılmasıdır. Bundan dolayı atık su daha fazla alana yayılarak hava ile temas yüzey alanı artırılmış, temas alanı arttığı için seyrelme oranı da artmıştır. Eşdeğer sıcaklık farkında serbest düşüş ile deşarj (Senaryo 1) yapılması durumunda jetler potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüşmesi nedeni ile daha düşük kota doğru daha hızlı jetler oluşacak ve suyun dibine doğru hız kazanacak, jetin yataydaki momentumundan kaynaklanan yatayda da bir hız elde edecektir. Yerçekimi kuvveti etkisiyle suyun dibine senaryo 2'den daha fazla batarak termal bulutların daha derine ulaşmasını sağlamıştır. Bundan dolayı seyrelme yüzeye paralel (senaryo 2) ve geniş açıklıkla deşarj ile deşarj senaryolarından daha az seyrelme sağladığı ölçülmüştür. Senaryo 3'te verilen durumda sıcak su kütlesi küçük bir hacimde birikerek tank içine geçiş yaptığından birikme bölgesinde sıcaklık zamansal olarak artmıştır. İkincil haznede açılan üç tane deliğin alanı, hortumun kesit alanından büyük olduğu için $Q=V.A$ formülünden debinin sabit olduğu bilindiğine göre hız ve alan ters orantılıdır. Senaryo 3'te çıkış noktasının alanı büyük olduğu için atık suyun hızı Senaryo 1 ve Senaryo 2'ye göre daha düşüktür. Bundan dolayı oluşan jetlerin momentumu düşüktür, termal bulutun yayılması daha az olduğu için seyrelme senaryo 2'ye göre daha az, Senaryo 1' göre daha fazladır. Deneysel çalışma sonucunda Senaryo 2'nin en fazla, Senaryo 1' in en az seyrelme sağladığı görülmüştür. Termal deniz deşarjında sıcak suyun ölü bölge oluşturularak beklemesine engel olunmalıdır. Sıcak su deşarjında alıcı ortama çıkış yapan jetin ilk hareket bölgesinde (senaryo 2 P4 ve P3 problemleri) seyrelme oranı hesaplanmıştır ancak bu bölgede jetin hızından kaynaklı olarak sıcak su bulutu dağılamamakta ve problemlerin ölçebileceği bir hacim oluşturulamamaktadır. Bu tür jet deşarjında ölçüm ve izleme noktalarının bölgesel durum ve deşarj olan sıcak su jetinin etki mesafesi gözetilerek planlanması önem arz etmektedir.

5. SONUÇLAR

Deneylerle elde edilen bulgulara ve mevcut literatür ile yapılan karşılaştırmalara istinaden aşağıdaki sonuçlar ön plana çıkmaktadır. Termal seyrelme veriminin iyileştirilmesi için deneysel çalışmalar ve saha ölçümleri karşılaştırmalı durumlar için limitlidir. Bu konuda daha fazla araştırma yapılmasına gerek vardır. Deneylerde kullanılan deşarj ortamının sınırlı bir alıcı ortam olması uzun süreli deşarj durumundaki olası etkilerin gözlenmesine imkân sağlamamaktadır ve bu durum ileri araştırma konularında mutlaka ele alınması gereken bir noktadır. Su yüzeyine paralel şekilde hareket eden bir sıcak su jeti ve oluşturduğu bulutun seyrelme durumu diğer alternatiflere göre daha iyi olduğu ölçülmüştür. Bunu nedeninin hava ile temas süresi daha fazla ve hızı da diğer senaryolardan daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Derinden yapılacak bir deşarjın eşdeğer bir derinlik kısmında yüzeye paralel yapılması ile ilgili çalışmalara önem verilmesi çevrenin korunması açısından önemlidir.

6. TEŞEKKÜR BÖLÜMÜ

Deney sisteminde kullanılan sıcaklık sensörlerinin temin edilmesi konusunda bize yardımcı olan Envita Su Analiz Sistemleri Ltd. Şti. şirketinin sahibi Sayın İbrahim BOSTANCI 'ya teşekkür eder ticari hayatında başarılarının devamını dileriz.

REFERANSLAR

- [1] Zuuh. (2023, ocak 8). Zuuh Web Sitesi: <https://www.zuuh.net/deniz-nedir-ozellikleri/> adresinden alındı
- [2] The United Nations World Water Development Report (WWDR) 2021, published by UNESCO on behalf of UN-Water
- [3] Nemlioğlu, S. (2003). Soğuk Deşarjda Birinci Seyrelmenin İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-7.
- [4] Djamaa, F. (2016). Sığ Sulara Boşaltım Yapan Isıl Deniz Deşarjlarının Birinci Seyrelmesinin İncelenmesi. Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [5] Inan, Asu & Yılmaz, Nihal. (2018). Sıcak su deniz deşarjlarının yakın alan dağılımının modellenmesi. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University. 33. 875-886. 10.17341/gazimmfd.416390.
- [6] Gürpınar, E., 1995, Çevre Sorunları, 3. Baskı, Der Yayınları, No.74, İstanbul.
- [7] Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği. (2004, 31 Aralık). Resmi Gazete (Sayı: 25687).
- [8] Carvalho, J.L.B., Roberts, P.J.W., Ronaldo, J. (2002). Field Observations of Ipanema Beach Outfall. Journal of Hydraulic Engineering, 128(2),151-160.
- [9] Roberts, P. J. W. (1999). Modelling Mamala BayOutfall Plumes.I: Near Field.Journal of Hydraulic Engineering, 125(6),564-573.
- [10] Kanberli, M. (2003). Deniz Deşarjında Seyrelme Modellemesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2-7.
- [11] Alıcı Ortamlara Atıksu Deşarj Standartları ve Kirletme. (2011,31 Aralık). Resmî Gazete
- [12] Gefen A. Consequences of imbalanced joint-muscle loading of the femur and tibia: from bone cracking to bone loss. In: Leder RS, editor. 25th Annual International Conference of the IEEE: Engineering in Medicine and Biology Society. Proceedings; 2003 Sep 17-21; Cancun (Mexico): IEEE; 2003; 1827-1830.
- [13] Mow, V. C., Gu, W. Y. and Chen, F. H. (2005). Structure and Function of Articular Cartilage and Meniscus. In: Mow, V. C. & Huiskes, R. (eds.) Basic Orthopaedic Biomechanics & Mechano-Biology. 3rd ed. Philadelphia, USA: Lippincott Williams & Wilkins.