

Balast Tanklarında Sediman Birikimini Azaltacak Sistemin Optimizasyonuna Yönelik İstatistiksel Yaklaşımlar

Ceren Bilgin Güney

Gemi ve Deniz Teknolojisi Mühendisliği Bölümü, Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

bilgincer@itu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-3445-8688

ÖZET

DeneySEL çalışmalar mühendislik alanında sistem ve yapıların tasarımı, optimizasyonu, tasarımın iyileştirilmesi faaliyetlerinin vazgeçilmez öğelerindendir. Ancak özellikle birden çok faktörün performans ölçümleri üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi amacıyla yapılan deneySEL çalışmalarda elde edilen bulguların işaret ettiği sonuçlar, istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde yorumlanamayabilir. Buna ek olarak, kaynakların (zaman, iş gücü ve maddi kaynaklar vb.) kısıtlı oluşu ise deneySEL çalışmaların en önemli sınırlılıkları arasında yer almaktadır. Bu çalışmada, gemilerin balast tanklarında sediman birikimini azaltmak için geliştirilen pnömatik sistemin çalışma koşullarını belirleyen üç temel faktör ele alınmış ve bu faktörlerin sedimanın azaltılmasına etkisi istatistiksel açıdan irdelenmiştir. Çalışma kapsamında uygulanan klasik istatistiksel yaklaşımlarla, deneySEL veriler istenilen düzeyde anlamlı bir şekilde yorumlanamamıştır. Bu nedenle deney setinden elde edilen veri kümesindeki ilişkileri istatistiksel bir model üzerinden yorumlamak yerine doğrudan veri üzerinden değişkenler arasındaki ilişkinin ortaya çıkarılması değerlendirilmiştir. Bunun için her ne kadar veri kümesindeki veri sayısı sınırlı olsa da Yapay Sinir Ağları (YSA) yaklaşımı uygulanmıştır. YSA girdi setinde veri sayısı bu yaklaşımın doğruluk ölçüsü (accuracy) üzerinde büyük bir öneme sahiptir. Söz konusu deneySEL çalışmada veri setinin sonsuz sayıya çıkarılması teorik olarak mümkün olsa da kaynak kısıtları nedeniyle bunun gerçekleştirilmesi uygulanabilir değildir. Bu nedenle YSA modeli oluşturulurken deneySEL çalışmanın amacı dikkate alınmış ve farklı bir yaklaşım uygulanmıştır. Deney verisinin bir kısmı YSA modelinin eğitim aşamasında kullanılmış, YSA modelinin optimum bir çalışma koşulu önermesi sağlanmıştır. YSA eğitim aşamasına dahil edilmemiş olan deneySEL sonuçlar ise model tarafından önerilen optimum çalışma koşulunun deneySEL olarak karşılaştırılmasında kullanılmıştır. Söz konusu çalışmada YSA optimizasyon için bir araç olarak kullanılmış ve model tarafından önerilen optimum çalışma koşulu, tüm deney verileri arasında sediman birikimini azaltılması açısından en uygun sonucu vermiştir. Bu çalışmada, gemilerin balast tanklarında sediman birikimini azaltmak için geliştirilen sistemin işletme parametresinin optimizasyonu için yapılan deneySEL çalışma sonuçlarının istatistiksel olarak yorumlanmasında yaşanan sorunlar ve YSA kullanılırken uygulanan yaklaşıma yer verilmiştir.

Anahtar kelimeler: YSA, balast sedimanı, balast tankı

Makale geçmişi: Geliş 28/11/2022 – Kabul 11/01/2023

<https://doi.org/10.54926/gdt.1211008>

Statistical Approaches to Optimize the System to Reduce Sediment Accumulation in Ballast Tanks

Ceren Bilgin Güney

Department of Shipbuilding and Ocean Engineering, Faculty of Naval Architecture and Ocean Engineering,
İstanbul Technical University, İstanbul, Türkiye

bilgincer@itu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-3445-8688

ABSTRACT

Experimental studies, which are essential methods in engineering, are powerful techniques in terms of designing structures, optimization, and improvement of design. However, the results illustrated by experimental studies evaluating the effect of multiple factors on measures of performance may not be interpreted as statistically significant. In addition, the limited resources (time, labor and financial resources, etc.) are among the most important limitations of the experimental studies. In this study, three main factors that determine the working conditions of the pneumatic system developed to reduce the sediment accumulation in the ballast tanks of the ships are considered and the effect of these factors on sediment reduction is examined statistically. With the classical statistical approaches applied within the study, the experimental data could not be interpreted in a meaningful way at the desired level. For this reason, instead of interpreting the relationships in the data set obtained from the experimental set through a statistical model, it was determined to reveal the relationship between the variables directly through the data. Therefore, although the number of data in the dataset is limited, the Artificial Neural Networks approach been applied (ANN). The number of input data in the ANN structure set greatly affects the accuracy of this approach. Although it is theoretically possible to increase the data set to an infinite number in the experimental study in question, this is not applicable due to resource limitations, particularly time and labor. Because of that, another application is created when forming the ANN model, considering the purpose of the experimental study. Some of the experimental data is used in the training phase of the ANN model, and the ANN model is provided to suggest an optimal working condition. Experimental results not included in the ANN training phase are used to experimentally compare the optimal working condition proposed by the model. In this study, ANN is used as a tool for optimization and the optimum operating condition suggested by the model provides the best result in terms of sediment accumulation reduction among all experimental data. In this study, the problems experienced in the statistical interpretation of the experimental study results for the optimization of the operating parameter of the system developed to reduce the sediment accumulation in the ballast tanks of the ships and the approach applied when using Artificial Neural Networks (ANN) are discussed

Keywords: ANN, ballast sediment, ballast tank

Article history: Received 28/11/2022 – Accepted 11/01/2023

Kısaltmalar:

IMO: Uluslararası Denizcilik Örgütü

MEPC: Deniz Çevresini Koruma Komitesi

BHB: Başlangıç hava basıncı

ÇS: Çalıştırılma süresi

TS: Çalıştırılma tekrar sayısı

YSA: Yapay Sinir Ağları

1. Giriş

Mühendislik alanında sistem ve yapıların tasarımında, optimizasyonunda ve tasarımın iyileştirilmesi aşamalarında deneysel çalışmalar önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmalarda temel amaç genel olarak girdi değişkenlerinde yapılan anlamlı değişikliklerin çıktı üzerinde oluşturduğu değişimin ne şekilde olduğunun ve nedeninin belirlenmesidir (Özkurt 1999). Bununla birlikte zamansal ve maddi kısıtlar başta olmak üzere kaynakların kısıtlılığı deneysel çalışmayı sınırlandıran en belirleyici parametreler arasında yer almaktadır. Bu kısıtlar elde edilen verilerin analizinde de belirleyici olabilmektedir.

Bu çalışma, balast tanklarında sediman birikimini azaltmak için geliştirilen pnömatik sistem için operasyonel parametrelerin optimizasyonuna yönelik deneysel çalışma sonuçlarının istatistiksel olarak yorumlanmasında karşılaşılan sorunları ve ayrıca yorumlama için uygulanan metodolojiyi sunmaktadır. Bu bağlamda çalışmanın araştırma problemi, sistem tasarlanırken belirlenmiş olan ve sistemin çalışma koşulunu belirleyen faktörlerle balast tankı modelinde kalan sediman miktarı arasındaki ilişkinin istatistiksel açıdan incelenmesidir.

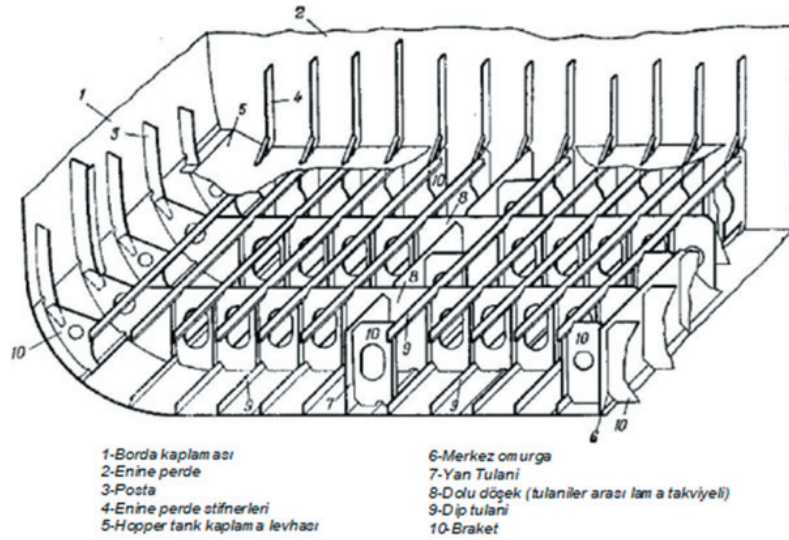
1.1 Balast Sedimanı Problemi

Gemilerde güvenli ve verimli yüzmeye şartlarının sağlanabilmesi, gemilerin ağırlık yönetiminin doğru bir şekilde gerçekleştirilmesine bağlıdır. Yükleme koşullarındaki değişiklikler ve de yakıt ve su tüketimi gibi nedenlerle ortaya çıkan ağırlık kayıplarının, geminin özelliklerine ve de yüzmeye koşullarına bağlı olarak telafi edilmesi gemi güvenliği açısından hayati önem taşımaktadır. Bu kayıpları karşılamak için günümüz gemi inşa teknolojisinde gemilerin yüzdüğü ortamdan alınan balast suyu kullanılmaktadır.

Balast operasyonu büyük ölçüde gemilerin yüklerini boşalttıkları limanda gerçekleşmektedir. Ancak gemiler balast suyu ile birlikte, o anda suda askıda bulunan ve balast sistemlerinden geçebilecek büyüklükteki her şeyi tanklarına almaktadır. Bu nedenle bir çok organizma da gemilerin balast sularıyla birlikte tanklara alınmakta (Wu et al. 2017) ve gemilerle birlikte alındıkları yerden çok daha uzakta bulunan bölgelere taşınmaktadır (European Environment Agency 2021; Grigorovich et al. 2003; Leppäkoski and Gollasch 2006; Wu et al. 2017). Bu türlerin taşınması ise ekoloji, halk sağlığı ve ekonomi üzerinde önemli bir tehdit teşkil etmekte, bazen yıkıcı sonuçlara yol açabilmektedir (Altug et al. 2012; Drake, Doblin, and Dobbs 2007; Glomski 2015; Hallegraeff 2015; McCarthy and Khambaty 1994; Nichols 2001; Raaymakers 2002; Shiganova et al. 2001; Takahashi et al. 2008). Balast tankları organizmalar için balast suyu, tank dibinde biriken sediman-su karışımından oluşan çökelti ve tankların iç yüzeylerinde oluşan biyofilmler olmak üzere üç farklı habitat sunmaktadır (Drake et al. 2007). Bu da taşınabilecek türlerin çeşitliliğini arttırmaktadır.

Bu problemle mücadele etmek için denizcilikle ilgili uluslararası düzenlemeleri en geniş ölçekte yapan ve Birleşmiş Milletler'e bağlı olan Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO-International Maritime Organization) 2004 yılında 'Gemi Balast Sularının ve Sedimanlarının Kontrolü ve Yönetimi Sözleşmesi'ni imzaya açmış, sözleşme 2017 yılında yürürlüğe girmiştir. Bu sözleşmeyle, zararlı organizmaların ve patojenlerin gemilerin balast suları ve sedimanları yoluyla transferinin sonucunda ortaya çıkabilecek risklerin önlenmesi, en aza indirilmesi ve nihai olarak ortadan kaldırması amaçlanmaktadır (Gollasch and David 2019). Sözleşme balast suyu ve sedimanının uygun şekilde yönetilmesini gerektirmekte, gemilerin balast suyu arıtım sistemleri ile donatılmasını zorunlu kılmaktadır (IMO 2004). Sözleşme aynı zamanda gemilerin sediman alımını ve bu sedimanın birikimini en aza indirecek şekilde tasarlanıp inşa edilmesi gerektiğinin altını çizmektedir. Sözleşmenin yanı sıra, IMO'ya bağlı MEPC (Deniz Çevresini Koruma Komitesi- Marine Environment Protection Committee) tarafından yayınlanan 'G12- Gemi üzerinde sediman kontrolünün sağlanmasına yönelik tasarım ve inşa standartları ile ilgili kılavuz' ile balast tanklarının sediman birikimini en aza indirecek şekilde tasarlanması desteklenmektedir (MEPC 2012).

Gemilerde balast tankları gerek gemi tipine göre gerekse gemi üzerinde bulunduğu yere göre farklı geometrilere sahip kapalı hacimlerdir. Ancak genellikle geminin yapısal bütünlüğünün korunması amacıyla kullanılan enine ve boyuna mukavemeti sağlayacak yapısal elemanlarının yer aldığı (Şekil 1), farklı bir amaç için kullanılmayacak bölgeler balast tankı olarak kullanılmaktadır. Balast suyunun alınması ve boşaltılması esnasında, tankların bu geometrisi akış alanında hızın yavaşlamasına ve bazı noktalarda yerel hızın sifıra düşmesine neden olur. Hızın yavaşladığı veya durduğu bu noktalar sediman birikiminin en çok görülebileceği yerlerdir.



Şekil 1. Klasik bir boyuna sistem dip konstrüksiyonu (Özalp 1977)

Bu çalışmanın öncülü olan çalışmalar da yapısal elemanların, tanktaki akışı etkilediğini ve sediman birikimini arttıracak yönde etkileri olduğunu göstermektedir. (Bilgin Güney, Danışman, and Ertürk Bozkurtoğlu 2020). Biriken bu sediman, başta istilacı türlerin taşınımıyla ilgili risklerin devamı olmak üzere çeşitli problemlere de neden olmaktadır (Bilgin Güney et al. 2016). IMO Sözleşmesi'nin balast suyu deşarj standartları, organizmaları boyutlarına göre iki sınıfa ($10\ \mu\text{m}$ - $50\ \mu\text{m}$ olan ve de $50\ \mu\text{m}$ 'den büyük olan organizmalar) ayırarak beher hacimde bulunabilecek yaşayan organizma sayısını sınırlandırmaktadır (IMO 2004). Oysa birçok deniz organizması, çeşitli yaşam evrelerinde, $10\ \mu\text{m}$ 'den daha küçük boyutlarda bulunabilmektedir ve dip sedimanı, farklı yaşam evrelerinde bulunan bir çok

deniz organizması ve patojenler için balast tankı içinde habitat oluşturabilir (Dong et al. 2021; Lv et al. 2018; Shang et al. 2019; Tang, Shang, and Dobbs 2022; Wu et al. 2019). Bu organizmalar koşulların uygun olması halinde balast suyuna geçerek farklı yerlere taşınabilir ve gerek istila gerekse halk sağlığı açısından risk oluşturabilir. İçerdiği organizmaların yanı sıra kompozisyonunda bulunan ağır metal ve diğer kirleticiler nedeniyle de dip sedimanının oldukça dikkatle ve önemle yönetilmesi gerekmektedir (Feng et al. 2017; Maglić et al. 2017; Valković and Obhodaš 2020).

Dip sedimanın miktarı geminin operasyon karakteristiği ve de balast tanklarının yapısına göre değişiklik göstermekte, bazı gemilerde ihmal edilebilir miktarlardayken bazı gemilerde yüzlerce tona ulaşabilmektedir (Hamer 2002; Johengen et al. 2005). Tanklarda biriken bu ağırlık, yıllar boyunca kümülatif olarak gemilerde yük kapasitesinde azalmaya dolayısıyla gelir kaybına neden olacaktır. Elbette balast suyu arıtma sistemlerinin gemilere takılmasıyla birlikte sediman birikiminin azalması beklenmektedir. Ancak balast sedimanı büyük oranda kil ve silt partiküllerinden oluşmaktadır (Maglić, Zec, and Frančić 2016) bu da çoğu balast suyu arıtım sisteminin 40 µm -50 µm mekanik ön arıtma limitlerinin altındadır (Bilgin Güney 2017). Ayrıca sistemlerin çoğu içerse de bir kısmı mekanik ön arıtma içermemektedir. Balast suyu artma sistemiyle donatılmış 29 gemide yakın zamanda yapılmış olan balast suyu örnekleme çalışmasında örneklerin üçte birinde ince sediman partiküllerinin tespit edilmiş olması da sistemlerin birikimini engellemeyeceğine işaret etmektedir (Bailey et al. 2022).

Balast sedimanı problemi çeşitli boyutlarıyla ortaya konmuş olsa da sediman birikiminin engellenmesi veya giderilmesi yönünde çok az çalışma bulunmaktadır. Yuan vd, (2017) dipte biriken sedimanını tekrar balast suyuna karışmasını sağlamak için su enjeksiyonu yapılmasını önermektedir. Bu yöntemle sedimanın tanktan uzaklaştırılması için sistemin hidrosiklonla desteklenmesi ve de balast suyunun sirküle edilerek hidrosiklondan geçirilmesi gerekmektedir (Yuan, Zhou, and Mei 2017). Pereira vd (2021), balast değişimi sürecinde sedimanın tanktan uzaklaştırılması için iki farklı önlem önermektedir. Önlemlerden biri akışı bozmak ve sediman giderimini artırmak için bir deflektör kullanmasıdır, diğeri ise tank tabanından balast suyu enjeksiyonu ile tortunun askıya alınmasıdır (Pereira et al. 2021). Sediman balast tankından atılmasını kolaylaştırmak için önerilen bir diğer yöntem ise balast suyu boşaltmadan önce pnömatik bir sistem kullanılarak tankın dip bölgesine hava enjeksiyonu yapılmasıdır (Bilgin Güney vd., 2020). Bilgin Güney vd. tarafından yapılmış olan çalışma, mevcut makalenin de öncüllerindedir.

2. Materyal ve Metot

Balast tankları, gemi tipi, gemi kapasitesi ve gemi yapım esaslarına göre farklı yapılarda olabilir, gemide farklı yerlerde bulunabilir (National Research Council 1996). Bu çalışmanın öncülü olan laboratuvar çalışmalarında, boyuna sistem ile inşa edilmiş olan bir tankerde çift dip balast tankında sediman birikiminin en çok görülebileceği bölgenin merkez tülaniye komşu olan bölge olduğu tespit edilmiş (Bilgin Güney et al. 2018a, 2018b), sediman birikimini azaltmak üzere tankın bu bölgesinde çalışacak bir pnömatik bir sistem tasarlanmıştır (Bilgin Güney et al. 2018a, 2020). Bu sistemle balast suyu deşarj edilmeden hemen önce, merkez tülaniye komşu hatta, balast tankının dibine yakın bir dizi noktadan tanka hava verilerek, dibe çökmüş sedimanın hareketlendirilmesi ve tekrar suya karışması, böylece balast suyuyla birlikte tanktan deşarj edilmesi hedeflenmiştir. Tank dibinde sedimanın birikiminde ve bu sedimanın giderilmesinde birçok faktör belirleyicidir. Yapılan deneysel çalışmalar, bu faktörler arasında yer alan ve sistemle ilgili olan operasyonel parametrelerin, sediman birikimi üzerindeki etkisinin anlaşılması ve sistem için optimum çalışma koşullarının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiş, bulgular yayınlanmıştır (Bilgin Güney 2022). Sistemin çalışma koşulları üç faktör ile belirlenmektedir. Bu faktörler ise şunlardır:

- pnömatik sistemle tank dibine verilen havanın basıncı,
- havanın tanka ne kadar süreyle verildiği,
- hava verilme işleminin tekrar sayısı.

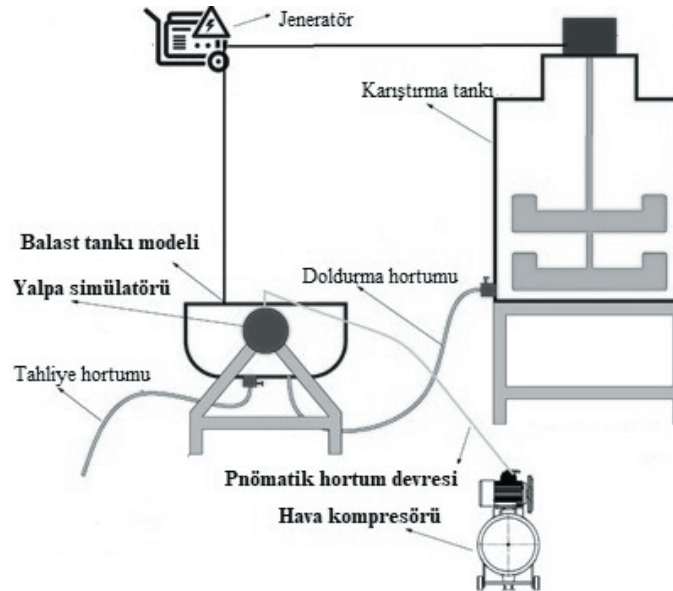
Bu makale, sistemin tasarlanma sürecinde belirlenmiş olan faktörler ile balast tankı modelinde kalan sediman miktarı arasındaki ilişkinin istatistiksel açıdan incelenmesi ve optimum çalışma koşullarının belirlenmesi için yapılmış olan çalışmaları konu almaktadır. Ancak öncesinde, çalışmanın bütünlüğünün sağlanması amacıyla, verilerin elde edilmesi sürecinde yer alan deneysel arka plana kısaca değinilmiştir.

2.1 Çalışmanın Deneysel Arka planı

2.1.1 Deney sistemi ve prosedürü

Deney sisteminin ana bileşenleri balast seyri simüle etmek üzere tasarlanmış olan bir yalpa simülatörü, balast tankı modeli ve pnömatik sistemdir (Şekil 2). Sediman birikimini azaltmak üzere geliştirilmiş olan pnömatik sistem bir hava kompresörü ve bir pnömatik hortum devresinden oluşmaktadır. Yapılan çalışmalarda var olan bir tankerin çift dip yapısının 1/20 ölçeğinde modeli kullanılmıştır (Şekil 3).

Deneylerde kullanılan yapay balast suyu ise, 5 g/L bentonit kili içecek şekilde, deney sisteminin içerisinde yer alan karıştırma tankında hazırlanarak balast tankı modeline doldurulmuştur. Gerçek koşullarda balast suyu ile tanka alınan sediman deniz dibinde suya doymuş halde olduğundan, musluk suyu ve bentonit kiliyle hazırlanan yapay balast suyu, her bir seyir simülasyonunun başlangıcından önceki 24 saat boyunca, balast suyu hazırlama tankında karıştırılmıştır. Deney sisteminin kesintisiz olarak çalışmasının sağlanabilmesi için, sistem jeneratörle desteklenmiştir.



Şekil 2. Deney sistemi (Bilgin Güney 2022)

Söz konusu çalışmada pnömatik temizleme sistemin veriminin farklı çalışma koşulları altında incelenmesi amaçlandığı için, bu koşulların değiştiği deney setleri oluşturulmuştur. Her bir deney seti birbirini takip eden üç balast seyri simülasyonundan meydana gelmiştir. Bir seyir model ölçeğinde 24 saat yani 1 gün olarak belirlenmiştir. Modelin ölçeği $1/\lambda$ olduğunda, model ile gerçek geminin zamanı

arasındaki ilişkinin $t/\lambda^{1/2}$ olduğu, yani model zamanının, gerçek gemi zamanına göre, ölçeğin kare kökü kadar daha hızlı aktığı bilinmektedir. Buna bağlı olarak, deneylerde kullanılan ölçek dikkate alındığında, model süresinin gerçek gemi süresinden $20^{1/2} \approx 4,5$ kat daha hızlı aktığı görülmektedir. Sonuç olarak 24 saatlik deney süresinin gerçek gemi ölçeğinde ~ 108 saate karşılık geldiği söylenebilir.



Şekil 3. Balast tankı modeli ve pnömatik hortum devresi (Bilgin Güney 2022)

Her bir deney setinde operasyon parametreleri farklı kombinasyonlarda uygulanmıştır (Tablo 1).

Çalışma koşullarını belirleyen operasyon parametreleri şunlardır:

Başlangıç hava basıncı (BHB): Pnömatik sistemle verilen havanın başlangıç basıncını ifade etmektedir.

Çalıştırılma tekrar sayısı (TS): Her bir deney setinde yer alan üçer günlük seyir simülasyonlarının kaçının sonunda balast suyu deşarj edilirken pnömatik sistemin çalıştırıldığını ifade etmektedir.

Çalıştırılma süresi (ÇS): Pnömatik sistemin tanka ne kadar süreyle hava verdiğini ifade etmektedir.

Tablo 1. Operasyon parametreleri (Bilgin Güney 2022)

Çalıştırma Tekrar Sayısı (TS)	T1: Pnömatik sistem 1 kere çalıştırılmıştır (3. seyir simülasyonunun sonunda) T2: Pnömatik sistem 2 kere çalıştırılmıştır (2., ve 3. seyir simülasyonlarının sonunda) T3: Pnömatik sistem 3 kere çalıştırılmıştır (1., 2., ve 3. seyir simülasyonlarının sonunda)
Başlangıç Hava Basıncı (BHB):	2 bar 4 bar 6 bar
Çalıştırma Süresi (ÇS)	30 s 90 s

Deney setlerini oluşturan her bir simülasyon sonunda yapay balast suyu modelden tahliye edilmiş, bir sonraki seyir simülasyonu için tekrar doldurulmuştur. Üçüncü seyir simülasyonunun sonunda set tamamlandığı için model tekrar doldurulmamıştır. Her bir deney seti tamamlandıktan sonra tankta kalan toplam sediman miktarı, bölmelerde kalan toplam katı maddenin kuru ağırlığının tespiti ile belirlenmiştir. Bir deney setinde üç balast seyrini, sediman alımını ve ölçümü için toplam 14 günlük süreye ihtiyaç duyulmuştur. Bu süreci özetleyen örnek program Tablo 2 ile sunulmuştur.

Tablo 2. Deney setleri için çalışma planı

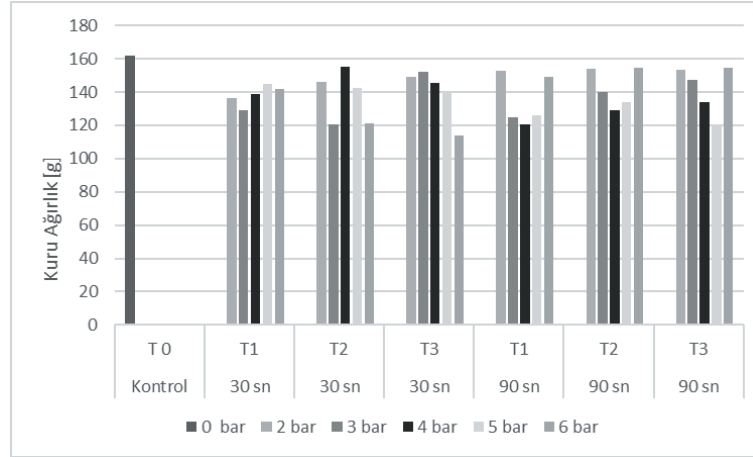
Gün	Yapılan işlem
Pazartesi	- Yeni başlayacak setin 1. Balast seyri için yapay balast suyunun hazırlanması - Bir önceki hafta tamamlanan deney setinin sonunda tankta kalan sedimanın kurutma için beherlere alınması ve etüve konulması - 14 gün önce başlatılmış olan deney setinin sedimanın tartılması (etüvdeki 7 günlük bekleme tamamlandığı beherler)
Salı	- Modelin temizlenmesi ve yeni deney seti için hazırlanması - 1. Balast seyrinin başlatılması - 2. Balast seyri için yapay balast suyunun hazırlanması
Çarşamba	- 1. Balast seyri sonunda tankın deşarjı - 2. Balast seyrinin başlatılması (yapay balast suyu deşarj kalıntısının üstüne alınır) - 3. Balast seyri için yapay balast suyunun hazırlanması
Perşembe	- 2. Balast seyri sonunda tankın deşarjı - 3. Balast seyrinin başlatılması (yapay balast suyu deşarj kalıntısının üstüne alınır)
Cuma	3. Balast seyri sonunda tankın deşarjı
Cumartesi	Sedimanın modelde bekletilmesi
Pazar	Sedimanın modelde bekletilmesi

Deney setlerinin sonunda modelde kalan sediman miktarının belirlenmesi için, model bölmelerinden toplanan sediman önceden tartımı yapılmış olan beherlere alınmıştır. Sedimanın toplanabilecek kıvamda olması için iki günlük bekleme süresine ihtiyaç duyulmuştur. İki günlük bekleme sonunda modelin içindeki 24 bölmenin dibinde kalan kalıntı, önceden tartılmış 24 farklı behere alınmış, bu beherler etüvde 103-105°C sıcaklıkta sabit ağırlık elde edilene kadar kurutulmuştur. Modelde üç seyir simülasyonu sonunda birikmiş olan toplam katı madde, toplanan sedimandaki buharlaştırma kalıntısının yani beherdeki ağırlık artışının hassas teraziyile ölçülmesiyle tespit edilmiştir. Etüvde bekleyen sedimanın içeriğindeki suyun tamamen buharlaşması ve geriye kalan kuru maddenin sabit ağırlığa gelmesi, her bir bölmeden alınan sediman miktarına ve içerisinde mevcut olan suyun oranına göre değişmektedir. Ancak 7 günlük etüvde bekleme sonuna tüm beherlerin sabit tartıma geldiği tespit edilmiştir. Bu nedenle beherler etüvde 103-105°C sıcaklıkta 7 gün süre ile bekletilmiştir.

Yapay balast suyunun hazırlanmasıyla başlayan her bir deney seti, modelde kalan sediman kalıntısının etüve konulması ile bir haftada tamamlanmıştır. Ancak her bir setin kalıntısının ölçülmesi için beherlerin etüvde bir hafta beklemesi gerekmiştir. Sonuç olarak her bir deney setinin başlatılmasıyla, set sonuna tankta kalan sedimanın tartılabilmesi arasında 14 günlük süreye ihtiyaç duyulmuştur. Çalışma boyunca kontrol seti dışında toplam 30+1 operasyon parametresi kombinasyonu için deneyler yapılmıştır. Bunlardan otuzu sistemin önceden belirlenmiş parametreler ile çalıştırılması ile gerçekleştirilmiş biri ise çalışmada optimum olarak bulunan çalışma koşulunun test edilmesi için yapılmıştır.

2.1.2 Deneysel çalışma sonuçları

Kontrol deneyi sonunda modelde 161,62 g sediman kaldığı tespit edilmiştir. Pnömatik sistemin çalıştırıldığı bütün setlerde sediman miktarında bir azalma olduğu gözlenmiştir (Şekil 4). Tüm setler arasında en düşük sediman ağırlığı (114,08 g) ise pnömatik sistemin her üç seyrin sonunda (T3), 6 bar başlangıç hava basıncıyla 30 sn süreyle çalıştırıldığı deney seti sonunda elde edilmiştir (Bilgin Güney 2022).



Şekil 4. Sediman kuru ağırlığının deney parametrelerine göre aldığı değerler

Ancak çalışmanın bağımsız değişkenlerini oluşturan operasyonel parametrelerin, çalışmanın bağımlı değişkeni olan sediman miktarı üzerinde karmaşık bir etkisi olduğu görülmektedir (Şekil 4). Örneğin tüm setler arasında hem en büyük hem en düşük sediman miktarı pnömatik sistemin her bir seyrin simülasyonu sonunda (T3) 6 bar başlangıç hava basıncı (BHB) ile çalıştırıldığında elde edilmiştir. Sistem 6 bar BHB ile 30 sn'lik çalışma süresiyle (ÇS) çalıştırıldığında tekrar sayısının artması sediman miktarında daha büyük düşüş sağlamıştır. Ancak BHB 6 bar olduğunda sistem 90 sn süreyle çalıştırıldığında bu durum tam tersi yönde gerçekleşmiştir, tekrar sayısı arttıkça sediman miktarındaki düşüş azalmıştır. Bu ilişki diğer basınç değerlerinde daha da karmaşık hale gelmektedir.

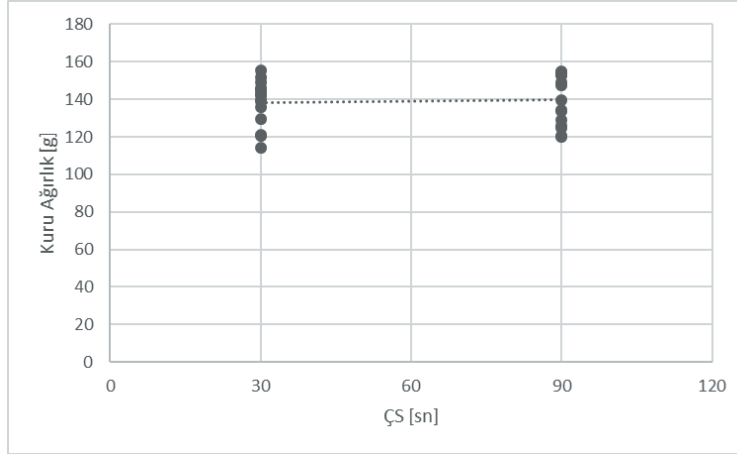
3. Deneysel çalışma sonuçlarının yorumlanması

3.1. Deney Sonuçlarının Ön Analizi

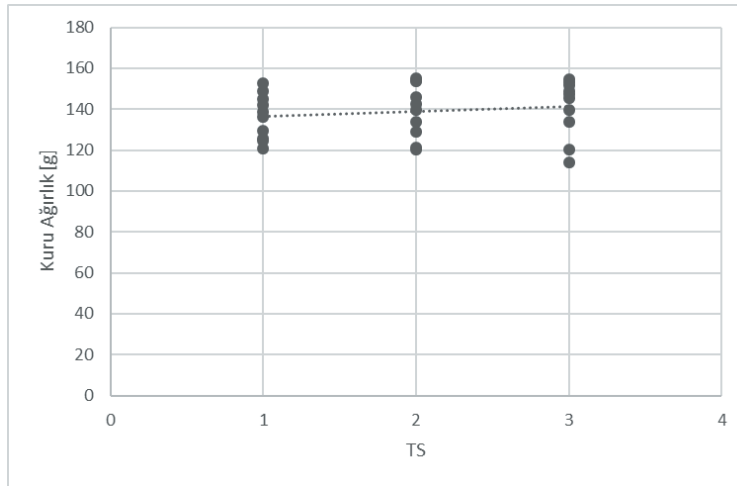
Oluşturulan deney setinden kesikli ve sürekli olmak üzere iki tür veri elde edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmanın bağımsız değişkenleri (TS, BHB, ÇS) kesikli veri setlerini oluştururken, bağımlı değişkeni (sedimanın kuru ağırlığı) sürekli veri setini oluşturmaktadır (Şekil 5-7). Çalışmada hangi değişkenin bağımlı değişken üzerinde ne kadar ağırlığa sahip olduğu bilinmediğinden ve literatürde benzer bir çalışma bulunmadığından bağımsız değişkenler öncelikle eşit ağırlıklı olarak kabul edilmiştir.

Sediman kuru ağırlığının (bağımlı değişken) pnömatik sistemin çalıştırılma süresine (bağımsız değişken) göre değişimi Şekil 5 ile verilmektedir. Bu grafik incelendiğinde, çalışmanın bağımlı değişkeninin, söz konusu bağımsız değişkeninin her iki değerinde de (30 sn ve 90 sn çalışma süresi için) benzer aralıkta (120-160 g) kümelendiği tespit edilmiştir. Sediman kuru ağırlığının (bağımlı değişken) pnömatik sistemin çalıştırılma tekrar sayısına (bağımsız değişken) göre değişimi ise Şekil 6'da yer almaktadır. Bu grafik de yine bağımlı değişkenin, bağımsız değişken olan tekrar sayılarının her değerinde aynı aralıklarda kümelendiği göstermektedir. Şekil 5'te ve Şekil 6'da gösterilen grafiklerden anlaşılacağı

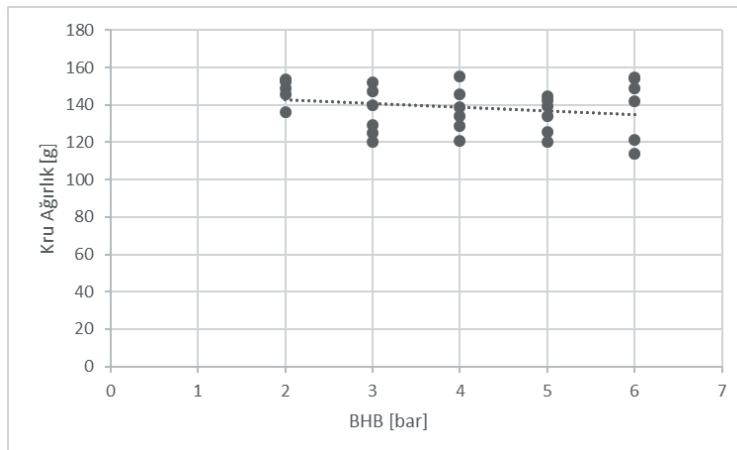
üzere her iki bağımsız değişkenin aldığı değer, bağımlı değişken olan sediman miktarı üzerindeki etkisinde farklılık görülememektedir. Bu durum sisteme verilen başlangıç hava basıncı olan BHB bağımsız değişkeninin etkisinde ise az da olsa değişiklik göstermektedir. Başlangıç hava basıncının değeri 2 bar olduğunda sediman miktarı daha yüksek bir aralıkta kümelenmişken, 5 bar olduğunda daha düşük bir aralıkta kümelenmiştir (Şekil 7). Ancak yine de bu grafikten bağımsız değişken olan BHB'nın bağımlı değişken olan sediman kuru ağırlığı üzerine genel bir çıkarım yapmak mümkün değildir.



Şekil 5. Sediman kuru ağırlığının sistemin çalıştırılma süresine göre dağılımı



Şekil 6. Sediman kuru ağırlığının sistemin çalıştırılma tekrarı sayısına göre dağılımı



Şekil 7. Sediman kuru ağırlığının sistemin başlangıç hava basıncına göre dağılımı

Sonuç olarak sediman miktarının bağımsız değişkenlerden her biriyle ilişkisini veren bu grafikler incelendiğinde, bağımlı ve her bir bağımsız değişken arasında lineer bir ilişki olmadığı görülmektedir. Diğer bir ifadeyle rastlantısal bir değişken olan sediman miktarının davranışı lineer bir model kullanılarak kestirilememektedir. Bu durumda da bağımsız değişkenlerin sediman miktarına olan etkisindeki farklılıklardan anlamlı bir sonuca ulaşılamamaktadır. Diğer taraftan Şekil 4'te açıkça görüldüğü üzere her üç bağımsız değişkenin farklı kombinasyonlarının etkileşimi farklı sonuçlara yol açmaktadır. Bu durum, deney sonuçları ile elde edilen değerlerin istatistiksel olarak incelenmesini gerektirmektedir. Bu çalışmayla bağımsız değişkenlerle bağımlı değişken arasındaki korelasyonun varlığı irdelenmiştir.

3.2. Deney Sonuçlarının İstatistiksel Analizi

İstatistiksel bir çıkarım yapabilmek için hipotez testlerinden yararlanılır. Bunun için öncelikle sıfır hipotezi ve bu hipoteze karşı olan araştırma hipotezi oluşturulur. Pnömatik sistemle ilgili belirlenmiş olan faktörlerin, tankta kalan sediman miktarı üzerindeki etkisinin araştırıldığı deneysel çalışmada elde edilen veri kümesinin istatistiksel analizi için çalışma kapsamında aşağıdaki hipotezler oluşturulmuştur:

H₀ Hipotezi (Sıfır Hipotezi): 'Çalıştırma tekrar sayısı', 'çalıştırma süresi' ve 'başlangıç hava basıncı' süreksiz bağımsız değişkenleri ile yapılan deneylerde gözlenen ve beklenen sediman azalması arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

H₁ Hipotezi (Karşıt Hipotez): 'Çalıştırma tekrar sayısı', 'çalıştırma süresi' ve 'başlangıç hava basıncı' süreksiz bağımsız değişkenleri ile yapılan deneylerde gözlenen ve beklenen sediman azalması arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar vardır.

Başka bir ifadeyle yapılacak istatistik değerlendirmeler sonucunda faktörlerdeki farklılıklarla sediman miktarının değişimi arasında istatistiksel bir ilişki yoksa sıfır hipotezi geçerli olacaktır. Diğer durumda yani faktörlerdeki değişimlerle sediman miktarının değişimi arasındaki ilişki istatistiksel açıdan anlamlı ise H₁ hipotezi kabul edilecektir.

Hipotez testinde kullanılan yöntemlerden bir tanesi varyans analizidir. Ancak analizin yapılabilmesi için belli varsayımlar vardır. Bu varsayımlara göre veri kümesi normal dağılımda bulunmalıdır ve de birden fazla veri kümesi varsa, bunların varyansları homojen olmalıdır.

Çalışmanın başında bağımsız değişkenlerle bağımlı değişken arasındaki ilişkilerin genel durumunu görmek amacıyla ilk önce Pearson regresyon analizi uygulanmış ve Tablo 3'te görülen sonuçlar elde edilmiştir. Pearson korelasyon katsayısı r , -1 ile 1 arasında değerler alabilir. Bu değer sıfırdan ne kadar uzaksa, değişkenler arasındaki doğrusal ilişki o kadar güçlüdür (Edwards 1984). Çalışma kapsamında gerçekleştirilen regresyon analizi sonucunda Tablo 3'te görüldüğü üzere Pearson Korelasyon Katsayısı 0,27 bulunmuştur ve bu değer bağımsız değişkenlerle bağımlı değişken arasındaki ilişkinin zayıf ilişki olduğunu göstermektedir.

Tablo 3. Ceteris paribus durumunda çoklu regresyon analizi sonuçları

Regresyon İstatistiği Özeti	
Pearson Korelasyon Katsayısı (r)	0.27
Açıklayıcılık Katsayısı (R^2)	0.08
Örneklem Büyüklüğü	30

Ardından dağılımın parametrik olmadığı göz önünde bulundurularak Spearman regresyon analizi uygulanmış ancak değişkenler arasında yine anlamlı bir korelasyonun olmadığı görülmüştür (Tablo 4).

Tablo 4. Spearman sıra korelasyon katsayıları

	ÇS	TS	BHB
Sediman Kuru Ağırlığı	0.073	0.165	-0.188

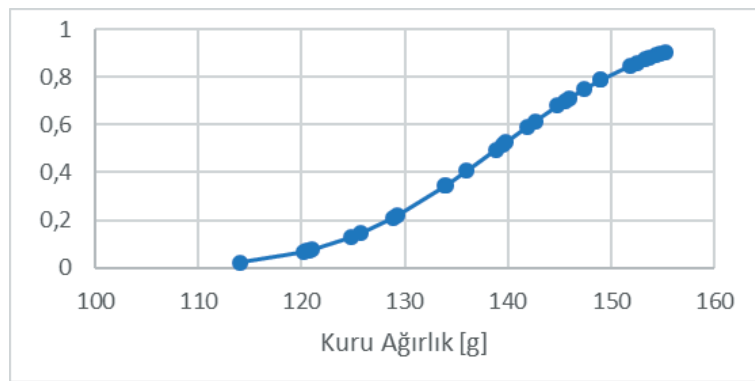
Regresyon analizlerinde istatistiksel olarak anlamlı sonuçların elde edilememesinden sonra veri kümesinin normal dağılımda olup olmadığını kontrol etmek için önce Tablo 5'teki betimsel istatistik üretilmiş ve daha sonra bu bilgiler kullanılarak en çok kullanılan normallik testler arasında yer Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk normallik testleri uygulanmıştır (Rani Das and Rahmatullah Imon 2016). Bu testlerden elde edilen sonuçlarda (Tablo 6) sedimanın kuru ağırlığının normal dağılımda olduğu görülmüştür ve Şekil 8'deki normal dağılım grafiği elde edilmiştir.

Tablo 5. Sediman Kuru Ağırlığına ilişkin betimsel istatistik bilgileri

Örneklem Büyüklüğü	30
Ortalama	138.97
En Küçük Değer	114.08
En Büyük Değer	155.28
Varyans	156.69
Standard Sapma	12.52
Standart Hata	2.29
%95 Güven Aralığı Değeri	4.48
Güven Aralığı Alt Sınır	134.49
Güven Aralığı Üst Sınır	143.45
Hata Payı	2.24

Tablo 6. Normal dağılım testi (yanılma düzeyi $\alpha=0.05$)

	test değeri	tablo değeri
Kolmogorov-Smirnov	0.112	0.242 ($\alpha=0.05$)
Shapiro-Wilk	0.923	0.927 ($\alpha=0.05$)


Şekil 8. Sedimanın kuru ağırlığının dağılım grafiği

Varyans analizi için gerekli diğer koşulda deney kümeleri arasında farklılık olup olmadığının belirlenmesi diğer bir ifadeyle varyansların homojenliği varsayımdır. Bunun kontrolü için uygulanan testlerden biri F testidir. F testi, birbirinden bağımsız faktörlerin normal dağılımda olduğu varsayımlarda kullanılan bir parametrik testtir (Archdeacon 1994). Bu çalışmada da kesikli değişkenlerle sürekli değişken arasındaki korelasyonu tam olarak anlayabilmek için F-testi üzerinden varyans analizi tek faktörlü, iki faktörlü ve üç faktörlü olarak ayrı ayrı uygulanmıştır (Tablo 7-9).

Yapılan varyans analizleri sonucunda tek değişkenli varyans analizlerinde sıfır hipotezi geçerli iken iki değişkenli varyans analizlerinde sıfır hipotezi reddedilmektedir. Üçlü varyans analizinde hata toplamları sıfır olduğu için anlamlı sonuç elde edilememektedir.

Tablo 7. Tek faktörlü varyans analizi sonuçlar

Tek Yönlü Varyans Analizi (Bağımsız Değişken: Çalışma Süresi, Bağımlı Değişken: Sediman Kuru Ağırlığı)						
	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F testi değeri	F testi tablo değeri	Karşılaştırma
Toplam	4543.9048	29	156.6864			
Gruplar için Kareler Toplamı	9.4650	1	9.4650	0.0584	3.6823	$F_{test} < F$ ($\alpha=0.05, 1.28$)
Kareler Toplamı Hatası	4534.4399	28	161.9443			
<i>Sıfır hipotezi geçerlidir. Karşılaştırılan gruplar arasında ve karşılaştırılan grupların ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamaktadır.</i>						
Tek Yönlü Varyans Analizi (Bağımsız Değişken: Çalıştırma Tekrar Sayısı, Bağımlı Değişken: Sediman Kuru Ağırlığı)						
	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F testi değeri	F testi tablo değeri	Karşılaştırma
Toplam	4543.9048	29	156.6864			
Gruplar için Kareler Toplamı	111.8883	2	55.9442	0.3408	3.3541	$F_{test} < F$ ($\alpha=0.05, 2.27$)
Kareler Toplamı Hatası	4432.0165	27	164.1488			
<i>Sıfır hipotezi geçerlidir. Karşılaştırılan gruplar arasında ve karşılaştırılan grupların ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamaktadır.</i>						
Tek Yönlü Varyans Analizi (Bağımsız Değişken: Başlangıç Hava Basıncı, Bağımlı Değişken: Sediman Kuru Ağırlığı)						
	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F testi değeri	F testi tablo değeri	Karşılaştırma
Toplam	4543.9048	29	156.6864			
Gruplar için Kareler Toplamı	742.3704	4	185.5926	1.2205	2.7587	$F_{test} < F$ ($\alpha=0.05, 4.25$)
Kareler Toplamı Hatası	3801.5345	25	152.0614			
<i>Sıfır hipotezi geçerlidir. Karşılaştırılan gruplar arasında ve karşılaştırılan grupların ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamaktadır.</i>						

Her üç ölçüt grubundaki veri kümelerine ilişkin değişkenlerin süreklilik göstermemesi nedeniyle sonuçlar beklenildiği gibi elde edilmiştir. Diğer bir ifadeyle belirli bir değer aralığında kümelenen (Şekil 5-7) tek bağımsız değişken söz konusu olduğunda bağımlı değişken ile korelasyon oluşmamaktadır. Üç ölçüt grubunun herhangi ikisine ilişkin iki bağımsız kesikli değişken söz konusu olduğunda sediman ağırlığı ile korelasyon oluşmaktadır. Üç bağımsız kesikli değişken ile bağımlı değişken arasında klasik istatistiksel bakış açısıyla anlamlı bir ilişki bulunamamıştır.

Tablo 8. İki faktörlü varyans analizi sonuçları

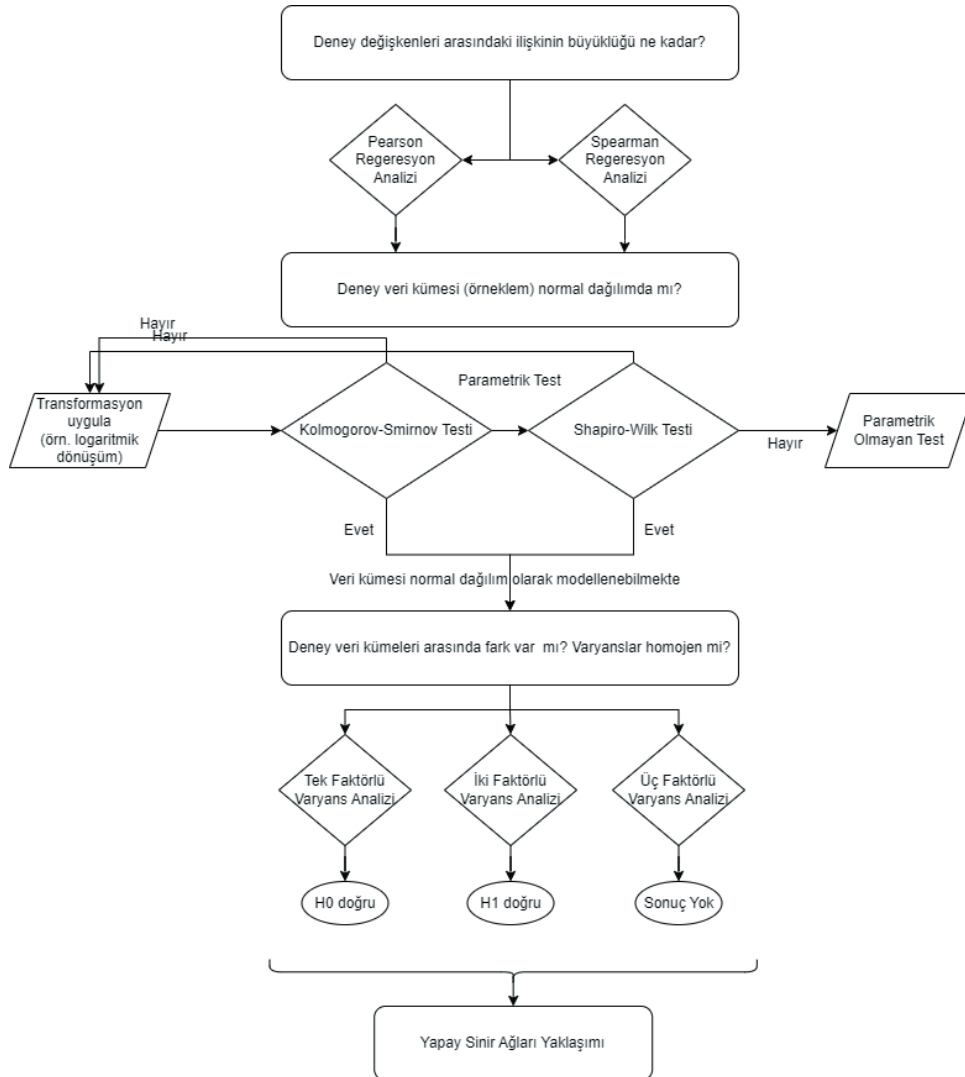
Çift Yönlü Varyans Analizi (Bağımsız değişkenler: BHB ve ÇS, Bağımlı Değişken: Sediman Kuru Ağırlığı)						
	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F testi değeri	F testi tablo değeri	Karşılaştırma
1. Faktör için Kareler Toplamı	9.4650	1	9.4650	0.1141	4.3512	$F_{test} < F$ ($\alpha=0.05, 1,20$)
2. Faktör için Kareler Toplamı	742.3704	4	185.5926	2.2371	2.8661	$F_{test} < F$ ($\alpha=0.05, 4,20$)
Her 2 Faktör için Kareler Toplamı	2132.8148	4	533.2037	6.4270	2.8661	$F_{test} > F$ ($\alpha=0.05, 4,20$)
Gruplar için Kareler Toplamı	1659.2546	20	82.9627			
Kareler Toplamı Hatası	4543.9048	29	156.6864			
<i>Sıfır hipotezi geçerli değildir. Her iki faktörün birlikte sediman kuru ağırlığı değişimi üzerine etkisi bulunmaktadır.</i>						
Çift Yönlü Varyans Analizi (Bağımsız değişkenler: TS ve ÇS, Bağımlı Değişken: Sediman Kuru Ağırlığı)						
	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F testi değeri	F testi tablo değeri	Karşılaştırma
1. Faktör için Kareler Toplamı	9.4650	1	9.4650	0.1141	4.2597	$F_{test} < F$ ($\alpha=0.05, 1,20$)
2. Faktör için Kareler Toplamı	111.8883	2	55.9442	0.6743	3.4028	$F_{test} < F$ ($\alpha=0.05, 4,20$)
Her 2 Faktör için Kareler Toplamı	96.8782	2	48.4391	0.5839	3.4028	$F_{test} > F$ ($\alpha=0.05, 4,20$)
Gruplar için Kareler Toplamı	4325.6733	24	180.2364			
Kareler Toplamı Hatası	4543.9048	29	156.6864			
<i>Sıfır hipotezi geçerli değildir. Her iki faktörün birlikte sediman kuru ağırlığı değişimi üzerine etkisi bulunmaktadır.</i>						
Çift Yönlü Varyans Analizi (Bağımsız değişkenler: TS ve BHB, Bağımlı Değişken: Sediman Kuru Ağırlığı)						
	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F testi değeri	F testi tablo değeri	Karşılaştırma
1. Faktör için Kareler Toplamı	111.8883	2	55.9442	0.6743	3.6823	$F_{test} < F$ ($\alpha=0.05, 1,20$)
2. Faktör için Kareler Toplamı	742.3704	4	185.5926	2.2371	3.0556	$F_{test} < F$ ($\alpha=0.05, 4,20$)
Her 2 Faktör için Kareler Toplamı	916.4987	8	114.5623	1.3809	2.6408	$F_{test} > F$ ($\alpha=0.05, 4,20$)
Gruplar için Kareler Toplamı	2773.1474	15	184.8765			
Kareler Toplamı Hatası	4543.9048	29	156.6864			
<i>Sıfır hipotezi geçerli değildir. Her iki faktörün birlikte sediman kuru ağırlığı değişimi üzerine etkisi bulunmaktadır.</i>						

Bu durumda bağımsız değişkenlerle bağımlı değişkenler arasındaki ilişkinin kurulabilmesi için alternatif arayışa geçilmiştir. Deney setinden elde edilen veri kümesindeki ilişkileri istatistiksel bir model

üzerinden yorumlamak yerine doğrudan veri üzerinden değişkenler arasındaki ilişkinin ortaya çıkarılması değerlendirilmiştir. Bunun için her ne kadar veri kümesindeki veri sayısı sınırlı olsa da Yapay Sinir Ağları yaklaşımı uygulanmıştır. Deneysel çalışma sonuçlarını yorumlamak için uygulanan istatistiksel betimleme süreci Şekil 9 ile özetlenmiştir.

Tablo 9. Üç faktörlü varyans analizi sonuçları

Üç Faktörlü Varyans Analizi (Bağımsız değişkenler: TS, ÇS ve BHB; Bağımlı Değişken: Sediman Kuru Ağırlığı)			
	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması
BHB	742.3704	4	185.5926
ÇS	9.4650	1	9.4650
TS	111.8883	2	55.9442
BHB & TS	916.4987	8	114.5623
TS & ÇS	96.8782	2	48.4391
BHB & ÇS	2132.8148	4	533.2037
BHB & ÇS & TS	533.9893	3	114.4519
Gruplar için Kareler Toplamı	4543.9048	29	156.6864
Kareler Toplamı Hatası	0.0000	5	0.0000



Şekil 9. Deneysel çalışma sonuçlarının istatistiksel betimlenme süreci

3.3 Yapay Sinir Ağları Yaklaşımının Uygulanması (YSA)

Yapay Sinir Ağları, insan beyni gibi öğrenme, hafızaya alma ve öğrendiklerini yeni bilgiler üretecek biçimde genelleme, değişkenler arasındaki ilişkileri ortaya koyma yeteneklerine sahip bilgisayar yazılımlarıdır (Yazıcı et al. 2007). YSA yaklaşımı birçok alanda başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Örneğin, Ma vd. (2022) çift yakıtlı deniz motoru emisyonlarının ve performansının tahmini ve optimizasyonu için kullanılırken, Danişman (2014) bu yaklaşımı katamaranlarda yarı gövde dalga girişim direncinin azaltılması çalışmalarında, Guo vd. (2020) su ürünleri yönetimi için alg patlaması risk tahmini çalışmalarında, Amin vd (2019) Hazar Denizi dip sedimanı üzerinde polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) oluşumunun tahmininde, Yonsel vd. (2014) bir karar verme aracı olarak balast suyu elektroklorinasyon sistemi için yaptıkları çalışmalarda kullanmışlardır.

YSA yaklaşımı ile birçok durumda sistemin davranışını taklit etmek mümkündür. Normal şartlarda YSA yaklaşımında çok sayıda girdi kullanılmaktadır. Ancak bu deneysel çalışmada en önemli kısıtlardan bir tanesi olan zaman, girdi sayısını sınırlandırmaktadır. Bu nedenle YSA modeli oluşturulurken farklı bir uygulamaya gidilmiştir. Mevcut 30 set deney verisinin 20 tanesi MatLab yazılımıyla YSA modelinin eğitim aşamasında kullanılmış, YSA modelinin optimum bir çalışma koşulu önermesi sağlanmıştır. YSA eğitim aşamasına dahil edilmeyen 10 deneysel sonuç ise model tarafından önerilen optimum çalışma koşulunun deneysel olarak karşılaştırılması için kullanılmıştır (Bilgin Güney 2022).

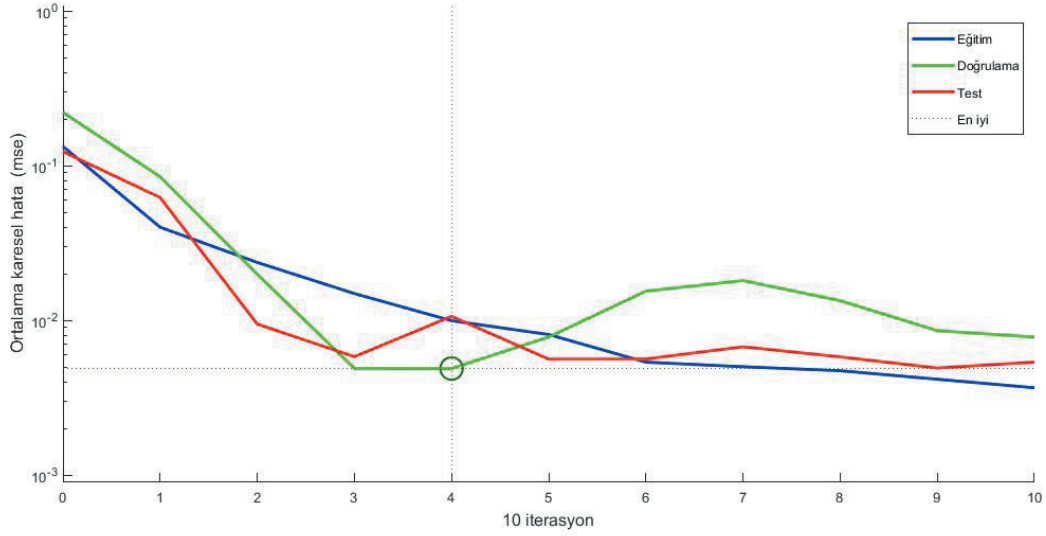
Eğitim aşamasında ve karşılaştırma aşamasında kullanılan deney seti kombinasyonları Tablo 8 ile verilmektedir. Bu Tabloda 'e' YSA modelinde eğitim aşamasında girdi olarak kullanılan deney setlerinin bağımlı değişken kombinasyonlarını, 'K' ise YSA ile önerilen optimum koşulu karşılaştırmak için kullanılan deneysel sonuçların bağımlı değişken kombinasyonlarını temsil etmektedir. YSA eğitimine tabloda yer almamakla birlikte, yapılmış olan iki kontrol deneyi setinin sonucu da girdi olarak eklenmiştir, (Yani TS=0, (BHB=0, ÇS=0=)

Tablo 8. YSA modelinde girdi olarak ve karşılaştırmak için kullanılan değişken kombinasyonlar

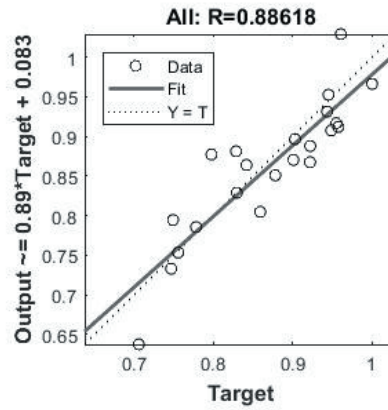
Çalışma Süresi (ÇS)	Tekrar Sayısı (TS)	Başlangıç Hava Basıncı (BHB)				
		2 bar	3 bar	4 bar	5 bar	6 bar
30 sn	T1	e	K	e	K	e
	T2	e	K	e	K	e
	T3	e	K	e	K	e
90 sn	T1	e	K	e	e	e
	T2	e	K	e	e	e
	T3	e	K	e	K	e

Eğitim sürecinde giriş datasının azlığı nedeniyle zorluklarla karşılaşmış ve en iyi korelasyonu veren eğitimdeki ağırlık katsayıları kullanılarak YSA oluşturulmuştur. Şekil 10'da eğitim sürecinin yakınsaması en küçük kareler metoduyla gösterilmektedir. En iyi sonuca 40. iterasyonda ulaşılmış olsa da eğitim süreci 100. iterasyona kadar sürdürülmüştür. YSA eğitimi Tablo 8'de "e" ile belirtilen bu 20 set deney verisiyle %88 doğrulukla (*accuracy*) tamamlanmıştır. Eğitimin ve doğrulama çalışmasının regresyon analizi görülmektedir. Buna göre YSA %88 doğrulukla deneyleri temsil edebilmektedir (Şekil 11).

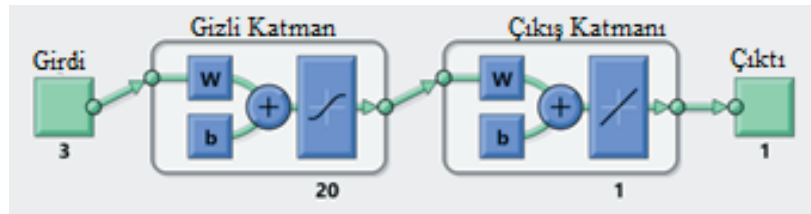
Eğitim tamamlandıktan sonra optimizasyon için MatLab Sinir Ağları araç kutusunda yer alan ve az sayıda girdi verisiyle başarılı sonuçlar verebilen (Danişman 2014) 'The Scaled Conjugate Gradient Algorithm' alt programı kullanılmıştır. Gizli katmanda 20 adet nöron kullanılmıştır, YSA giriş datası 20 örnek ve 3 parametre içerir, çıkış datası ise bir tanedir (Şekil 12).



Şekil 10. Eğitim iterasyonları



Şekil 11. YSA eğitim sonucu (Bilgin Güney 2022)



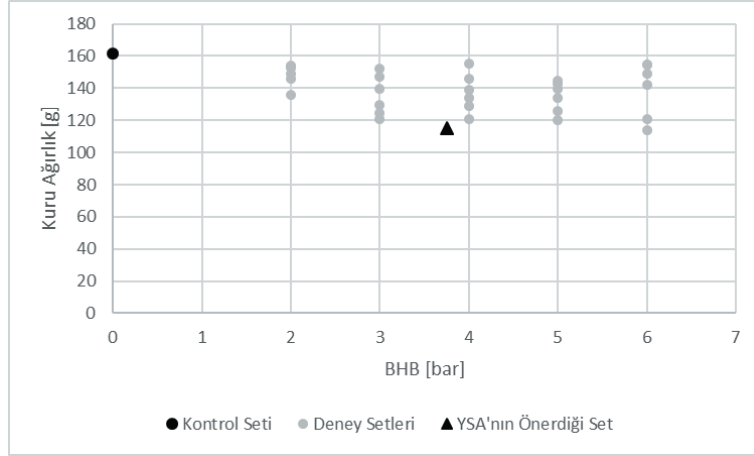
Şekil 12. YSA modelinin yapısı

Bu YSA'nın test ve doğrulama çalışması nümerik olarak değil, YSA eğitiminde herhangi bir şekilde kullanılmamış olan ek deneysel verilerle karşılaştırılarak yapılmıştır. Bu veriler Tablo 8'de "K" ile belirtilen 10 set deney verisidir.

YSA optimizasyonu sonucunda sistemin 3.7 bar başlangıç hava basıncı (BHB) ile üç seyirlik simülasyonda sadece bir kere (T1) 52 sn süreyle çalıştırılması önerilmiştir. Pnömatik sistem, YSA'nın önerdiği koşullarla çalıştırılarak 3 seyir simülasyonundan oluşan bir set deney daha yapılmıştır. Bu set sonunda tank modelinde 115.11 gr sediman kaldığı tespit edilmiştir.

Bu değer Tablo 8 ile verilen gerek eğitim aşamasında kullanılan deney setleri (yani "e"), gerekse herhangi bir şekilde sayısal modele dahil edilmeyen ama karşılaştırma için kullanılan deneysel veriler

(yani “K”) kontrol aşamasında elde edilmiş olan en düşük değerle hemen hemen aynıdır (Şekil 13). Aralarında sadece ~1g fark bulunmaktadır (Tablo 9). Bu fark sedimanın tank boyunca 24 bölmenin her birinden tek tek elle toplandığı düşünüldüğünde ihmal edilebilecek seviyededir.



Şekil 13. Bütün setlerden elde edilmiş olan sediman ağırlıkları

Diğer taraftan önerilen koşullara bakıldığında, gerek başlangıç hava basıncının daha düşük olması gerekse tekrar sayısının az olması gemi üzerindeki pratik uygulamalar açısından daha tercih edilebilir koşullardır (Bilgin Güney 2022).

Tablo 9. En iyi sonuç veren deney seti ile YSA'nın önerdiği setin karşılaştırılması

	BHB	TS	ÇS	Kalan sediman
En iyi sonuç veren set	6 bar	3	30 s	114.08 g
YSA'nın önerdiği set	3.7 bar	1	52 s	115.11 g

4. Sonuçlar ve tartışma

Deneysel çalışmalar araştırma geliştirme faaliyetlerinin vazgeçilmez öğelerindedir. Ancak deneysel çalışmalardan elde edilecek verilerin yorumlanabilmesi, deney tasarımı kadar önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle birden çok faktörün performans ölçümleri üzerindeki etkisini verimli bir şekilde değerlendirilmesi gerektiğinde deneysel olarak elde edilmiş olan verilerin işaret ettiği sonuçlar, istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde yorumlanamayabilir. Yapılmış olan bu çalışmada da deneysel veriler önemli sayısal sonuçlar gösterirken, sistemin çalışma parametrelerinin sonuçlarının birbirine olan etkisi istatistiksel analizde görülemediğinden, deneysel sonuçlar istatistiksel olarak istenilen düzeyde anlamlı bir şekilde yorumlanamamıştır. Bu durumda deneylerden elde edilen veri kümesinde fiziksel bir korelasyondan bahsedilemezken, Şekil 4'teki deney sonuçlarına dayanarak matematiksel bir korelasyondan bahsedilebilir.

Birçok durumda Yapay Sinir Ağları (YSA) yaklaşımı ile sistemin davranışını taklit etmek mümkündür. Bir YSA modelinin temel amacı, eğitim seti tarafından tanımlanan model uzayı içinde yer alan girdi vektörünün/vektörlerinin çıktı değerini/değerlerini tahmin etmektir. YSA modelinin başarımını gösteren ölçütlerinden birisi doğruluk (*accuracy*) ölçütüdür. Çalışma kapsamında oluşturulan YSA modelinin doğruluk ölçütü çalışmanın girdi veri kümesindeki veri sayısının az olması nedeniyle ne kadar anlamlı ve güvenilir olduğu tartışmaya açıktır. Bilindiği üzere yapay sinir ağlarında girdi veri sayısı sınırlı olması durumunda öğrenme girdi verisine aşırı uyumlu (*overfitting*) olacak biçimde sonuçlar

üretebilmektedir. Bu tür durumlarda klasik yaklaşım yerine genelde cross-validation yaklaşımı tercih edilmektedir. Ancak cross-validation yaklaşımı da aşırı uyumlu olmayı (overfitting) engelleyememekte, yalnız modelin doğruluğu hakkında daha objektif sonuçlar vermektedir.

Her ne kadar çalışmanın odağını klasik istatistiksel yaklaşım oluştursa da kesin hesaplama yaklaşımıyla anlamlı biçimde ortaya çıkarılamayan değişkenler arasındaki ilişkiler esnek hesaplama tekniğiyle ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Çalışma kapsamında esnek hesaplama tekniği olarak yapay sinir ağı yaklaşımı optimizasyon yöntemi olarak uygulanmıştır.

Diğer taraftan deneysel çalışmanın sınırlamaları nedeniyle, her bir gerçek yaşam parametresinin sonuçlar üzerindeki etkisini ayrı ayrı ölçmek mümkün değildir. Örneğin bu çalışmada bağımsız değişkenlerin kombinasyon sayısının artırılmasıyla bağımlı değişken veri kümesinin eleman sayısı teorik olarak sonsuza çıkartılabilir. Ancak her bir deney setinden sonuç almak için ihtiyaç duyulan süre değerlendirildiğinde bunun pratik olarak uygulanmasının mümkün olmadığı açıkça görülmektedir.

Bu çalışmaya da konu olan deneysel çalışmanın asıl amacın pnömatik sistemin balast tankındaki sedimanı maksimum seviyede giderecek çalıştırılma koşullarının en optimal kombinasyonun tespiti olduğu göz önünde bulundurulmuş, YSA modelinin doğruluk değerini arttıracak sayıda girdi verisi başta zaman ve iş gücü gibi kaynak kısıtları nedeniyle deneysel olarak üretilemeyeceği için farklı bir uygulamaya gidilmiştir.

Mevcut deneysel verilerin bir kısmı YSA eğitim aşamasında kullanılırken bir kısmı YSA optimizasyonu sonucunda önerilen çalışma koşulunun karşılaştırılmasında kullanılmıştır, yani YSA'nın test ve doğrulama çalışması nümerik olarak değil, YSA eğitiminde kullanılmamış olan ek deneysel verilerle karşılaştırılarak yapılmıştır. Optimizasyon sonucunda önerilen pnömatik sistemin çalıştırılma koşulları da YSA eğitiminde kullanılmayan bir kombinasyondur. Bu kombinasyonla elde edilen deneysel sonuç, tüm deney sonuçlarıyla kıyaslandığında (deney hassasiyetinde ihmal edilebilir bir farkla) en düşük sediman miktarıyla eşdeğer bir sonuç vermiştir. Ancak optimizasyon sonucunda önerilmiş olan çalışma koşullarının kombinasyonu, eş değer sonucu veren kombinasyona göre uygulamada daha tercih edilebilir bir kombinasyondur.

Teşekkür

Deneysel çalışma İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (İTÜ-BAP-41718) kapsamında desteklenen 'Balast Tanklarında Sediman Birikimini Azaltacak Pnömatik Temizleme Sistemi Optimizasyonu' başlıklı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Yazar, YSA çalışması sırasında değerli yorumları ve katkıları için Doç. Dr. Devrim Bülent Danışman'a teşekkür eder.

Referanslar

Altug, Gulsen, Sevan Gurun, Mine Cardak, Pelin S. Ciftci, and Samet Kalkan. 2012. "The Occurrence of Pathogenic Bacteria in Some Ships' Ballast Water Incoming from Various Marine Regions to the Sea of Marmara, Turkey." *Marine Environmental Research* 81:35–42. doi: 10.1016/j.marenvres.2012.08.005.

Archdeacon, Thomas. 1994. *Correlation and Regression Analysis: A Historian's Guide*. University of Wisconsin Press.

Bailey, Sarah A., Torben Brydges, Oscar Casas-Monroy, Jocelyn Kydd, R. Dallas Linley, Robin M. Rozon, and John A. Darling. 2022. "First Evaluation of Ballast Water Management Systems on Operational Ships for Minimizing Introductions of Nonindigenous Zooplankton." *Marine Pollution Bulletin* 182:113947. doi: 10.1016/J.MARPOLBUL.2022.113947.

Bilgin Güney, Ceren. 2017. *BALAST SUYU ARITIM SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ*. İstanbul.

Bilgin Güney, Ceren. 2022. "Optimization of Operational Parameters of Pneumatic System for Ballast Tank Sediment Reduction with Experimental and ANN Applications." *Ocean Engineering* 259:111927. doi: 10.1016/J.OCEANENG.2022.111927.

Bilgin Güney, Ceren, Devrim Bülent Danışman, and Şafak Nur Ertürk Bozkurtoğlu. 2020. "Reduction of Ballast Tank Sediment: Evaluating the Effect of Minor Structural Changes and Developing a Pneumatic Cleaning System." *Ocean Engineering* 203. doi: 10.1016/j.oceaneng.2020.107204.

Bilgin Güney, Ceren, Devrim Bülent Danışman, Şafak Nur Ertürk Bozkurtoğlu, and Fatma Yonsel. 2018a. "Determination of Sediment Accumulation Pattern in A Double Bottom Ballast Tank Model." *Brodogradnja/Shipbuilding* 69(2):55–67. doi: 10.21278/brod69204.

Bilgin Güney, Ceren, Devrim Bülent Danışman, Şafak Nur Ertürk Bozkurtoğlu, and Fatma Yonsel. 2018b. "Determination of Sediment Distribution in a Lab-Scale Ballast Tank Model." Pp. 815–26 in *INT-NAM 2018 3rd International Naval architecture and Maritime Symposium*, edited by A. D. Alkan. İstanbul.

Bilgin Güney, Ceren, Şafak Nur Ertürk Bozkurtoğlu, Devrim Bülent Danışman, and Fatma Yonsel. 2016. "Another Challenge: Sediments of The Ballast Tanks." in *1st International Congress on Ship and Marine Technology; "Green Technologies."* İstanbul.

Danışman, Devrim Bülent. 2014. "Reduction of Demi-Hull Wave Interference Resistance in Fast Displacement Catamarans Utilizing an Optimized Centerbulb Concept." *Ocean Engineering* 91:227–34. doi: 10.1016/J.OCEANENG.2014.09.018.

Dong, Ying, Haoran Zhang, Huixian Wu, Junzeng Xue, Yanan Liu, and Xiaodong Jiang. 2021. "Invasion Risk to Yangtze River Estuary Posed by Resting Eggs in Ballast Sediments from Transoceanic Ships." *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 545. doi: 10.1016/j.jembe.2021.151627.

Drake, Lisa A., Martina A. Doblin, and Fred C. Dobbs. 2007. "Potential Microbial Bioinvasions via Ships' Ballast Water, Sediment, and Biofilm." *Marine Pollution Bulletin* 55(7–9):333–41. doi: 10.1016/j.marpolbul.2006.11.007.

Edwards, Allen L. 1984. *An Introduction to Linear Regression and Correlation*. 2nd ed. W.H. Freeman.
European Environment Agency. 2021. "Pathways of Introduction of Marine Non-Indigenous Species to European Seas." Retrieved (<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/trends-in-marine-alien-species-1/assessment>).

Glomski, LeeAnn M. 2015. *Zebra Mussel Chemical Control Guide - ERDC/EL TR-15-9*.

Gollasch, Stephan, and Matej David. 2019. *Ballast Water: Problems and Management*. Second Edi. Elsevier Ltd.

Grigorovich, Igor A., Robert I. Colautti, Edward L. Mills, Kristen Holeck, Albert G. Ballert, and Hugh J. MacIsaac. 2003. "Ballast-Mediated Animal Introductions in the Laurentian Great Lakes: Retrospective and Prospective Analyses." *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 60(6):740–56. doi: 10.1139/f03-053.

Guo, Jiu hao, Yahong Dong, and Joseph H. W. Lee. 2020. "A Real Time Data Driven Algal Bloom Risk Forecast System for Mariculture Management." *Marine Pollution Bulletin* 161:111731. doi: 10.1016/J.MARPOLBUL.2020.111731.

- Hallegraeff, Gustaaf M. 2015. "Transport of Harmful Marine Microalgae via Ship's Ballast Water: Management and Mitigation with Special Reference to the Arabian Gulf Region." *Aquatic Ecosystem Health and Management* 18(3):290–98. doi: 10.1080/14634988.2015.1027138.
- Hamer, John P. 2002. "Ballast Tank Sediments." *Invasive Aquatic Species of Europe. Distribution, Impacts and Management* 232–34. doi: 10.1007/978-94-015-9956-6_24.
- IMO. 2004. *International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments. International Maritime Organization.* doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- Johengen, Thomas, David Reid, Gary Fahnenstiel, Hugh Maclsaac, Fred Dobbs, Martina Doblin, Greg Ruiz, Philip Jenkins, and Philip T. Jenkins. 2005. *Assessment of Transoceanic NOBOB Vessels and Low-Salinity Ballast Water as Vectors for Non-Indigenous Species Introductions to the Great Lakes.*
- Leppäkoski, E., and S. Gollasch. 2006. *Risk Assessment of Ballast Water Mediated Species Introductions - a Baltic Sea Approach. Report Prepared for HELCOM, Helsinki, Finland.*
- Lv, Baoyi, Yuxue Cui, Wen Tian, Jing Li, Bing Xie, and Fang Yin. 2018. "Abundances and Profiles of Antibiotic Resistance Genes as Well as Co-Occurrences with Human Bacterial Pathogens in Ship Ballast Tank Sediments from a Shipyard in Jiangsu Province, China." *Ecotoxicology and Environmental Safety* 157:169–75. doi: 10.1016/J.ECOENV.2018.03.053.
- Ma, Cheng, Chong Yao, En Zhe Song, and Shun Liang Ding. 2022. "Prediction and Optimization of Dual-Fuel Marine Engine Emissions and Performance Using Combined ANN with PSO Algorithms." *International Journal of Engine Research* 23(4):560–76. doi: 10.1177/1468087421990476.
- Maglić, Lovro, Damir Zec, and Vlado Frančić. 2016. "Ballast Water Sediment Elemental Analysis." *Marine Pollution Bulletin* 103(1–2):93–100. doi: 10.1016/j.marpolbul.2015.12.042.
- McCarthy, S. A., and F. M. Khambaty. 1994. "International Dissemination of Epidemic *Vibrio Cholerae* by Cargo Ship Ballast and Other Nonpotable Waters." *Applied and Environmental Microbiology* 60(7):2597–2601.
- MEPC. 2012. *RESOLUTION MEPC.209 (63) 2012 Guidelines on Design and Construction to Facilitate Sediment Control on Ships (G12).* Vol. 209.
- National Research Council. 1996. *Stemming the Tide: Controlling Introductions of Nonindigenous Species by Ships' Ballast Water.* Washington, DC: The National Academies Press.
- Nichols, D. 2001. "Implications of the Introduction and the Transfer of Non-Indigenous Marine Species with Particular Reference to Canadian Marine Aquaculture." School of Graduate Studies, Marine Studies, Memorial University of Newfoundland.
- Özalp, Teoman. 1977. *Gemi Yapısı ve Elemanları.* İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi Yayınları.
- Özkurt, Özlem. 1999. "Deney Tasarımları ve İstatistiksel Veri Analizleri." İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Pereira, Lucas Soares, Liang Yee Cheng, Gabriel Henrique de Souza Ribeiro, Pedro Henrique Saggioratto Osello, Fabio Kenji Motezuki, and Newton Narciso Pereira. 2021. "Experimental and Numerical Studies of Sediment Removal in Double Bottom Ballast Tanks." *Marine Pollution Bulletin* 168. doi: 10.1016/j.marpolbul.2021.112399.

Raaymakers, Steve. 2002. "The Ballast Water Problem : Global Ecological , Economic and Human Health Impacts Paper Presented at the Dubai , UAE 16-18 Dec 2002." 1–22.

Rani Das, Keya, and A. H. .. Rahmatullah Imon. 2016. "A Brief Review of Tests for Normality." *American Journal of Theoretical and Applied Statistics* 5(1):5. doi: 10.11648/j.ajtas.20160501.12.

Sayyad Amin, Javad, Hossein Rajabi Kuyakhi, and Alireza Bahadori. 2019. "Prediction of Formation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAHs) on Sediment of Caspian Sea Using Artificial Neural Networks." *Petroleum Science and Technology* 37(18):1987–2000. doi: 10.1080/10916466.2018.1496111.

Shang, Lixia, Zhangxi Hu, Yunyan Deng, Yuyang Liu, Xinyu Zhai, Zhaoyang Chai, Xiaohan Liu, Zifeng Zhan, Fred C. Dobbs, and Ying Zhong Tang. 2019. "Metagenomic Sequencing Identifies Highly Diverse Assemblages of Dinoflagellate Cysts in Sediments from Ships' Ballast Tanks." *Microorganisms* 7(8):1–28. doi: 10.3390/microorganisms7080250.

Shiganova, T. A., Z. A. Mirzoyan, E. A. Studenikina, S. P. Volovik, I. Siokou-Frangou, S. Zervoudaki, E. D. Christou, A. Y. Skirta, and H. J. Dumont. 2001. "Population Development of the Invader Ctenophore Mnemiopsis Leidyi, in the Black Sea and in Other Seas of the Mediterranean Basin." *Marine Biology* 139(3):431–45. doi: 10.1007/s002270100554.

Takahashi, C. K., N. G. G. S. Lourenço, T. F. Lopes, V. L. M. Rall, and C. a M. Lopes. 2008. "Ballast Water: A Review of the Impact on the World Public Health." *Journal of Venomous Animals and Toxins Including Tropical Diseases* 14(3):393–408. doi: 10.1590/S1678-91992008000300002.

Tang, Ying Zhong, Lixia Shang, and Fred C. Dobbs. 2022. "Measuring Viability of Dinoflagellate Cysts and Diatoms with Stains to Test the Efficiency of Facsimile Treatments Possibly Applicable to Ships' Ballast Water and Sediment." *Harmful Algae* 114:102220. doi: 10.1016/J.HAL.2022.102220.

Wu, Huixian, Chen Chen, Qiong Wang, Junda Lin, and Junzeng Xue. 2017. "The Biological Content of Ballast Water in China: A Review." *Aquaculture and Fisheries* 2(6):241–46. doi: 10.1016/J.AAF.2017.03.002.

Wu, Huixian, Chen Shen, Qiong Wang, Richard B. Aronson, Chen Chen, and Junzeng Xue. 2019. "Survivorship Characteristics and Adaptive Mechanisms of Phytoplankton Assemblages in Ballast Water." *Journal of Oceanology and Limnology* 37(2):580–88. doi: 10.1007/s00343-019-7288-9.

YAZICI, Ayşe Canan, Ersin ÖĞÜŞ, Seyit ANKARALI, Sinan CANAN, Handan ANKARALI, and Zeki AKKUŞ. 2007. "Yapay Sınır Ağlarına Genel Bakış." *Türkiye Klinikleri Tıp Bilimleri Dergisi* 27(1):65–71.

Yonsel, Fatma, Ceren Bilgin Guney, and Devrim Danisman Bulent. 2014. "A NEURAL NETWORK APPLICATION FOR A BALLAST WATER ELECTROCHLORINATION SYSTEM Fatma." *Fresenius Environmental Bulletin* 23(12b):3353–61.

Yuan, Han, Peilin Zhou, and Ning Mei. 2017. "Numerical and Experimental Investigation on the Ballast Flushing System." *Ocean Engineering* 130(December 2016):188–98. doi: 10.1016/j.oceaneng.2016.12.003.