



**Trakya Üniversitesi  
Mühendislik Bilimleri Dergisi**

**Cilt: 24      Sayı: 2      Aralık      2023**

**TRAKYA  
UNIVERSITY  
JOURNAL OF  
ENGINEERING  
SCIENCES**

**Volume: 24    Number: 2    December 2023**

**Trakya Univ J Eng Sci**

<http://dergipark.gov.tr/tujes>  
[tujes@trakya.edu.tr](mailto:tujes@trakya.edu.tr)

**ISSN 2147-0308**

# **Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**

**Cilt: 24**

**Sayı: 2**

**Aralık**

**2023**

# **Trakya University Journal of Engineering Sciences**

**Volume: 24**

**Number: 2**

**December**

**2023**

# **Trakya Univ J Eng Sci**

<http://dergipark.gov.tr/tujes>  
[tujes@trakya.edu.tr](mailto:tujes@trakya.edu.tr)

**ISSN 2147-0308**

**Dergi Sahibi / Owner**

Trakya Üniversitesi Rektörlüğü, Fen Bilimleri Enstitüsü Adına  
On behalf of Trakya University Rectorship, Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Prof. Dr. Hüseyin Rıza Ferhat KARABULUT

**Yayın Kurulu Üyeleri / Editorial Board Members**

**Baş Editör / Editor-in-Chief**

Doç. Dr. Önder AYER Makine Mühendisliği Trakya Üniversitesi

**Alan Editörleri / Co-Editors**

Prof. Dr. Hacı Ali GÜLEÇ Gıda Mühendisliği Trakya Üniversitesi  
Doç. Dr. Esmâ MIHLAYANLAR Mimarlık Trakya Üniversitesi  
Doç. Dr. Hasan Faik KARA Mimarlık Trakya Üniversitesi  
Doç. Dr. Gökhan KAÇAR Genetik ve Biyomühendislik Trakya Üniversitesi  
Doç. Dr. Gürkan İRSEL Makine Mühendisliği Trakya Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Selin ARABULAN Mimarlık Trakya Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Altan MESUT Bilgisayar Mühendisliği Trakya Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Emir ÖZTÜRK Bilgisayar Mühendisliği Trakya Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Gökhan KOÇYIĞIT Elektrik-Elektronik Müh. Trakya Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Sezer ULUKAYA Elektrik-Elektronik Müh. Trakya Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Pınar Aydan DEMİRHAN Makine Mühendisliği Trakya Üniversitesi

**Danışma Kurulu / Editorial Advisory Board**

Prof. Dr. Hüseyin Erol AKATA Makine Mühendisliği İstanbul Aydın Üniversitesi  
Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN EKER Makine Mühendisliği Yıldız Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU Makine Mühendisliği Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Naci GENÇ Elektrik-Elektronik Müh. Yüzüncü Yıl Üniversitesi  
Prof. Dr. Özer GÖKTEPE Tekstil Mühendisliği Namık Kemal Üniversitesi  
Prof. Dr. Türkan GÖKSAL ÖZBALTA İnşaat Mühendisliği Ege Üniversitesi  
Prof. Dr. M. Bahattin TANYOLAÇ Biyo-mühendislik Ege Üniversitesi  
Prof. Dr. Pelin ONSEKİZOĞLU BAĞCI Gıda Mühendisliği Trakya Üniversitesi  
Prof. Dr. İsa CAVİDOĞLU Gıda Mühendisliği Yüzüncü Yıl Üniversitesi  
Doç. Dr. Yılmaz KALKAN Elektrik-Elektronik Müh. Adnan Menderes Üniversitesi  
Doç. Dr. Cemil ÖZYAZGAN İnşaat Mühendisliği Kırklareli Üniversitesi  
Doç. Dr. Orhan ARKOÇ Jeoloji Mühendisliği Kırklareli Üniversitesi  
Doç. Dr. Timur KAPROL Mimarlık Namık Kemal Üniversitesi  
Doç. Dr. Ümit HÜNER Makine Mühendisliği Kırklareli Üniversitesi  
Dr. Aslı Günay BULUTSUZ Makine Mühendisliği Yıldız Teknik Üniversitesi  
Assoc. Prof. Dr. Jiri SOBOTKA Mechanical Engineering Technical University of Liberec  
Assoc. Prof. Dr. Regita BENDIKIENE Mechanical Engineering Kaunas University of Technology  
Assist. Prof. Dr. Tomasz JACHOWICZ Polymer Processing Lublin University of Technology  
Assist. Prof. Dr. Mirosław SZALA Mechanical Engineering Lublin University of Technology  
Assist. Prof. Dr. Balazs BOKOR Mechanical Engineering Budapest Univ. of Tech. Econ.  
Assist. Prof. Dr. Eldhose IYPE Chemical Engineering BITS Pilani  
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ERGEN Mimarlık Siirt Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Hamza F. CARLAK Elektrik-Elektronik Müh. Akdeniz Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Sedat BİNGÖL Makine Mühendisliği Dicle Üniversitesi

***Dizgi / Design***

Dr. Öğr. Üyesi Gökhan KOÇYİĞİT

***İletişim Bilgisi / Contact Information***

Address : Trakya Üniversitesi, Enstitüler Binası, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balkan Yerleşkesi, 22030, Edirne / TÜRKİYE  
Web site : <http://dergipark.gov.tr/tujes> E-mail : [tujes@trakya.edu.tr](mailto:tujes@trakya.edu.tr)  
Tel : +90 284 2358230 Fax : +90 284 2358237

***Baskı / Publisher***

Trakya Üniversitesi Matbaa Tesisleri / Trakya University Publishing Centre

## İÇİNDEKİLER / CONTENTS

### ARAŞTIRMA MAKALELERİ / RESEARCH ARTICLES

#### MOBİL ROBOTLAR İÇİN ROS KULLANILARAK 2B SLAM ALGORİTMALARININ KARŞILAŞTIRILMASI

##### Comparison of 2D Slam Algorithms Using ROS for Mobile Robots

İrem MERTYÜZ, Oğuz YAKUT, Beyda TAŞAR

29-38

#### FARKLI DUYULUR ISI DEPOLAMA MADDELERİNİN DEŞARJ PERİYODUNA ETKİLERİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

##### Experimental Investigation of the Effects of Different Sensible Heat Storage Materials On Discharge Period

Berrin YILMAZ, Evren OSMA

39-47

#### UYUMLU KESİRLİ MERTEBEDEN TÜREVLE MODELLENEN KONDANSATÖRÜN SPICE MODELİ VE PARALEL R-L-C<sub>∞</sub> DEVRESİNİN SİMÜLASYONUNDA KULLANIMI

##### Spice Model of A Capacitor Modelled Using Conformal Fractional Order Derivative and Its Usage in Simulation of a Parallel R-L-C<sub>∞</sub> Circuit

Ertuğrul KARAKULAK, Reşat MUTLU

49-56

#### EDİRNE-TÜRKİYE İKLİM KOŞULLARINDA FOTOVOLTAİK VE FOTOVOLTAİK/TERMAL SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI PERFORMANS ANALİZİ

##### Comparative Performance Analysis of Photovoltaic and Photovoltaic/Thermal Systems in Edirne-Turkey Climatic Conditions

Hacer AKHAN, Semiha ÖZTUNA, Doğan ERYENER, Berrin YILMAZ, Mustafa Kemalettin BÜYÜKAKIN, Kadir AYDIN

57-70

#### ERKEN CUMHURİYET DÖNEMİNDE İSTANBUL'DA YAKIT DEPOLAMA TESİSLERİ

##### Fuel Storage Terminals in Istanbul During the Early Republican Period

Burcu ÖZGÜVEN

71-84

# MOBİL ROBOTLAR İÇİN ROS KULLANILARAK 2B SLAM ALGORİTMALARININ KARŞILAŞTIRILMASI

İrem MERTYÜZ<sup>1\*</sup>, Oğuz YAKUT<sup>1</sup>, Beyda TAŞAR<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Mekantronik Mühendisliği ABD, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, TÜRKİYE

**Makale Künye Bilgisi:** Mertyüz, İ., Yakut, O., Taşar B., (2023). Mobil Robotlar İçin ROS Kullanılarak 2B SLAM Algoritmalarının Karşılaştırılması, *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(2), 29-38.

## Öne Çıkanlar

- Mobil robotlarda kullanılan sensör çeşitlerine ve sayısına göre seçilecek SLAM yöntemi farklı olabilir.
- SLAM uygulamalarına oluşturulan haritaların görselleri kullanılarak performans değerlendirilmesi yapılabilir.
- Uygun SLAM yönteminin seçilmesi için mevcut donanıma göre en doğru sonucu veren algoritma Hector SLAM olmuştur

Makale Bilgileri	Öz
<b>Makale Tarihiçesi:</b> Geliş: 21 Ağustos 2023 Kabul: 4 Aralık 2023	Bu çalışmada iç mekânlarda kullanılmak üzere tasarlanan mobil robotlar için eş zamanlı konum belirleme ve haritalama (Simultaneous Localization and Mapping - SLAM) algoritmalarının uygulamaları gerçekleştirilmiştir. SLAM uygulamaları ROS kullanılarak Turtlebot3 Burger Robot ile yapılmıştır. Robot üzerine monte edilen ışın algılama ve mesafe ölçme sensörü (Laser Imaging Detection and Ranging LIDAR) sensör verisi kullanılarak GMapping, Hector SLAM, Frontier SLAM ve Karto SLAM olmak üzere dört farklı SLAM algoritması tasarlanan bir parkur içerisinde çalıştırılmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen haritalarla her algoritmanın yapısal benzerlik indeksi (Structural Similarity Index – SSIM) değeri hesaplanarak haritaların kalite ve doğruluğu analiz edilmiştir.
<b>Anahtar Kelimeler:</b> GMapping; Hector; Karto; Frontier; SSIM	

## COMPARISON OF 2D SLAM ALGORITHMS USING ROS FOR MOBILE ROBOTS

Article Info	Abstract
<b>Article History:</b> Received: August 21, 2023 Accepted: December 4, 2023	In this study, the applications of simultaneous localization and mapping (SLAM) algorithms were carried out for mobile robots designed to be used indoors. SLAM applications were made with Turtlebot3 Burger Robot using ROS. Using the Laser Imaging Detection and Ranging – LIDAR sensor data mounted on the robot, four different SLAM algorithms, namely GMapping, Hector SLAM, Frontier SLAM and Karto SLAM, were run in a designed track. The quality and accuracy of the maps were analyzed by calculating the Structural Similarity Index (SSIM) value of each algorithm with the maps obtained from the experimental studies.
<b>Keywords:</b> GMapping; Hector; Karto; Frontier; SSIM	

## 1. Giriş

Günümüzde özellikle iç mekanlarda çalışan mobil robotlar için navigasyon önemli bir problemdir. Bu nedenle robotun ortamı tanıyabileceği haritalama ve bu harita içerisinde kendini konumlandırma işlemlerini gerçekleştirebilen SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) algoritmaları geliştirilmektedir. Harita, bilinmeyen bir ortamın görselleştirilmesine ve navigasyon için robotun yolunu ayarlamasına yardımcı olur. Haritanın sağladığı bir diğer önemli avantaj, navigasyon sırasında robotun pozunu tahmin ederken hatayı en aza indirmeye yardımcı olmasıdır (Singandhupe, A., & La, H. M., 2019). Sensörlerden alınan veri türüne göre farklı SLAM algoritmaları bulunmaktadır (Zamora, E., & Yu, W., 2013). SLAM çözümünde mobil robotlarda genellikle LIDAR sensör verisi kullanılmaktadır. LIDAR'ın yanında IMU ve kamera sensörleriyle de çalışmalar yapılmaktadır.

Robotik alanındaki uygulamalarda popüler bir sistem olan ROS (Robot Operating System) SLAM uygulamaları için de gelişmiş bir yapı sunmaktadır. İçerisinde bulunan kütüphaneler ve sensör modelleri robotik uygulamalar için büyük çözümler sağlamaktadır. Hem simülasyon üzerinde hem de gerçek uygulamalarda ROS yapısı kullanılarak çeşitli SLAM teknikleri üzerinde çalışılabilmektedir (Kiran, B., Karthikeyan, S., Pasha, M. S., Manjunatha, K. N., Kumar, S. M., & Moras, S. V., 2022).

ROS içerisinde erişilebilen SLAM tekniklerinin gerçek uygulamalarda nasıl performans gösterdiği ve sonuçların doğruluğu otonom mobil robotların geliştirilmesinde ayrı bir araştırma konusudur (Filipenko, M., & Afanasyev, I., 2018) (Giubilato, R., Chiodini, S., Pertile, M., & Debei, S., 2019).

Bu çalışmada iç mekanlarda bir asistan robot olarak geliştirilecek olan robot için ön çalışma olarak ROS uyumlu SLAM algoritmalarıyla çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalar için bir parkur tasarlanarak Turtlebot3

Burger Robot kullanılmıştır. ROS uyumlu SLAM algoritmalarından sadece LIDAR sensörü kullanılarak GMapping, Hector SLAM, Karto SLAM ve Frontier SLAM uygulamaları gerçekleştirilerek performansları değerlendirilmiştir. Literatürdeki çalışmaların çoğunluğu simülasyon üzerinde yapılarak performans değerlendirilmesi simülasyon sonuçlarına göre yapılmaktadır. Bu çalışmada gerçek bir robot üzerinde ve iç mekanda uygulamanın gerçekleştirilmesi ile algoritmalarının performansı daha doğru gözlemlenmiştir. Algoritmaların birbirine göre değerlendirmesinde ise ölçüt olarak SSIM (Structural Similarity Index Metric) kullanılmıştır. Bu yöntemle maliyetsiz ve popüler olan görüntü işleme tekniği kullanılarak haritaların değerlendirilmesi sağlanmıştır. Oluşturulan harita görüntüleri SSIM tekniği ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak model bir ortamda algoritmaların sadece LIDAR verisiyle oluşturduğu harita modelleri ve modellerin gerçek ortama benzerliği nicel olarak değerlendirilerek bu çalışma kapsamına uygun algoritma önerisi yapılmıştır.

## 2. Önceki Çalışmalar

SLAM algoritmalarının performans ve kalitesi için yapılan çalışmalarda araştırmacılar üç veya dört farklı metodu kullanarak değerlendirme yapmışlardır. Çalışmalarda mekan seçimi ve kullanılan robotun özelliklerinin farklı olması seçilen metodun performansını etkilemektedir. Bu kriterleri göz önüne alarak yapılan çalışmalara bakıldığında (Santos, J. M., Portugal, D., & Rocha, R. P., 2013)'te LIDAR sensör verisiyle birden fazla SLAM algoritmasının karşılaştırılması kentsel arama ve kurtarma için SLAM tekniği önerme hedefiyle yapılmıştır. Algoritmaların karşılaştırılmasında farklı yöntemler kullanılmaktadır. Ölçüm metriklerine göre değerlendirme yapmanın yanında anlık olarak CPU yüküne bakılarak karşılaştırma yapılmaktadır (Bhargava, M., Mehta, R., Adhikari, C. D., & Sivanathan, K., 2021)(Rojas-Fernández, M., Mújica-Vargas, D., Matuz-Cruz, M., &

López-Borreguero, D., 2018). Benzer bir çalışmada (Yagfarov, R., Ivanou, M., & Afanasyev, I., 2018) ölçüm metriği olarak ADNN (Average Distance to the Nearest Neighbour) en yakın komşuya ortalama mesafesi kullanılmıştır. Harita görselleri üzerinde OpenCV kullanılarak duvar çizgilerini daraltma ve hizalama işlemi yapıldıktan sonra karşılaştırma yapılmıştır. Değerlendirmeyi hem harita kalitesi hem de yörünge takibi açısından yapan araştırmacılar (Nguyen, Q. H., Johnson, P., & Latham, D., 2022) RMSE (Root Mean Square Error) değerini ölçüm metriği olarak kullanmıştır. Kapalı ortamda dört çekişli bir robot için navigasyon sistemi geliştiren (Zhao, J., Liu, S., & Li, J., 2022 ) çalışmada üç farklı haritalama etkileri karşılaştırılmış ve sonuçta Karto SLAM uygulanmasına karar vermişlerdir. (Aerts, P., Demester E., 2017) 'in yaptığı çalışma benzer çalışmalardan farklı olarak algoritmaların değerlendirmesini yer gerçeği ile değil de haritaların birbirini kıyaslayarak yapmış olmasıdır. Haritaların birbirine dayalı olarak güçlü ve zayıf yönlerini keşfedebilmek için bu yöntemi kullanmıştır. Algoritmaların analizi üzerine yapılan (Dhaoui, R., 2022)'de ki tez çalışmasında harita kalitesi için ölçüm metriği olarak ICP (Iterative Closest Point) ve SSIM kullanmıştır. Ayrıca lokalizasyon doğruluğunu ölçerek algoritmanın kalitesini değerlendirmiştir. (Sankalprajan, P., Sharma, T., Perur, H. D., & Pagala, P. S. , 2020)'de 2B SLAM algoritmalarının yanında 3B SLAM algoritmalarının uygulamalarını da gerçek bir kara aracı prototipi üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Araç üzerindeki derinlik algılama kamerası, LIDAR ve IMU sensörleriyle veri işlemesi sağlanmıştır. Elde sonuçlarda 2B LIDAR sensörüyle yapılan GMapping metodunun daha iyi sonuç verdiğini gözlenmiştir. Hem simülasyondan elde edilen haritalar hem de gerçek zamanlı deneylerden elde edilen haritalar SSIM metriği ile değerlendirilmiştir. Simulasyondan elde edilen SSIM benzerlik oranı Gmapping, Hector ve RTAB-

Map metodlarında daha yüksek çıkarken Karto SLAM da deneysel sonuç daha iyi çıkmıştır.

SLAM sistemleri RGB, RGB-D, stereo kameralar ile IMU ölçümleri gibi farklı sensörler için de geliştirilmektedir. Özellikle kameraların daha ucuz olması bu problem için araştırma alanını da artırmaktadır. Bu nedenle kamera verisiyle çalışan ve sadece görsel SLAM üzerinde araştırma yapan birçok çalışma vardır (Giubilato, R., Chiodini, S., Pertile, M., & Debei, S. , 2019). Aynı zamanda çoklu sensör yapıyla alınan veri kümelerinin SLAM sorununa tutarlı bir çözüm sağladığı düşünülmektedir (Sharafutdinov, D. ve diğerleri, 2023). Ayrıca uzun mesafeler için daha iyi sonuçlar verebilen ve 2B SLAM'in yerini alabilecek görsel SLAM teknikleri geliştirilmektedir. ( Merzlyakov, A., & Macenski, S., 2021)'de bu tekniklerden üç tanesiyle çoklu sensör veri kümesi kullanarak karşılaştırma yapmışlardır.

Yapılan çalışmalar iç ve dış mekanlardaki robotlar için uzun vadeli kararlılık, ölçeklenebilirlik, sensör sapmaları ve yanlış kalibrasyonlar, hesaplama ve bellek gereksinimleri, dinamik nesnelere, belirsiz sahneler ve doğruluk gereksinimlerini sağlayabilecek SLAM yöntemlerini sunmak amaçındadır.

### 3. Yöntem

Bu çalışmada SLAM yöntemlerinin performansını gerçek zamanlı ve bir robot üzerinde iç mekanda uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılacak olan Turtlebot3 Burger robot ile araştırılan ve uygulanan SLAM yöntemleri bu bölümde açıklanmıştır. İlk etapta sadece LIDAR sensör verisiyle çalışılmıştır. Yöntemlerin seçimi ise kullanılan sensör ile uyumu, iç mekan içerisindeki performansı ve popülerlik nedenleriyle yapılmıştır.

#### A. GMapping SLAM

Son yıllarda yaygın olarak kullanılan Gmapping (Grid-Mapping), LIDAR sensöründen alınan verilerle ve



odometri bilgisini kullanan lazer tabanlı olarak SLAM sağlayan bir ROS paketidir. Rao-Blacwellized Parçacık Filtresi tabanlıdır ve 2 boyutlu ızgara doluluk haritası oluşturur (Grisetti, G., Stachniss, C., & Burgard, W., 2007). Izgara doluluk haritası, çalışma ortamını 2 boyutlu hücrelere bölerek sensör verilerinin bu hücrelere olasılıksal şekilde doluluk veya boşluk değerinin atanmasıyla oluşturulur. Bu sayede robot oluşturulan haritayı kullanarak otonom hareketini sağlayabilmektedir.

Rao-Blackwellized Parçacık Filtresinin temel yapısı şu şekildedir:

Robot hareketi  $x_{1:t} = x_1, \dots, x_t$ , ortama ait gözlemler  $z_{1:t} = z_1, \dots, z_t$ , robotun odometri ölçümleri  $u_{1:t-1} = u_1, \dots, u_{t-1}$  ve harita  $m$  olmak üzere robotun konumu  $p(x_{1:t}, m | z_{1:t}, u_{1:t-1})$  tahmin edilir. Bu sayede robotun yörüngesinin tahmini ve aynı zamanda yörüngeyi kullanarak haritanın hesaplanması sağlanabilir. Haritalar çoğunlukla robotun poz tahminine bağlı olduğundan bu yaklaşımla verimli bir sonuç elde edilmektedir.

### B. Hector SLAM

Hector-SLAM algoritması tarama-eşleştirme tabanlı haritalama yöntemidir. Izgara tabanlı algoritmalarından farklı olarak odometri bilgisine ihtiyaç duymaz. Bu nedenle yuvarlanma özellikleri sergileyen insansız hava araçları gibi hava robotlarında ve engebeli arazilerde çalışan kara robotlarında kullanıldığında avantaj sağlamaktadır. Ancak düşük oranlı taramalar mevcut olduğunda sorun yaşanabilir. Algoritma

tarama-eşleştirme problemini çözmek için Gauss-Newton yöntemini kullanır.

Bu yöntemle lazer taramasının uç noktalarının hizalamasını bulur. Yüksek hassasiyetli LIDAR' a ihtiyaç duyulur. 3 boyutlu haritalar oluşturulabilir (Kohlbrecher, S., Von Stryk, O., Meyer, J., & Klingauf, U., 2011). Bu metod ile yüksek çözünürlüklü, yüksek performanslı sahip haritalar oluşturulabilir. Algoritmanın hatasız döngü kapatma özelliği yoktur.

### C. Karto SLAM

Karto SLAM çeşitli mobil robotlarda yüksek performanslı ve ta özellikli SLAM olarak kategorize edilmiştir. GPS entegrasyonu içermesi sebebiyle koordinatların depolanması şekliyle robotun konumunun hesaplanması kolaylaşabilmektedir. Karto SLAM Cholesky Matrisi kullanan bir grafik optimizasyon yöntemidir. Grafiğin ortalaması, haritayı temsil etmek için kullanılır ve her düğüm, robot yörüngesinin bir konum noktasını ve sensör ölçümünün veri setini temsil eder [20]. Grafik optimizasyon yöntemi diğer yöntemlere göre geniş ortamlarda daha avantajlıdır.

Hector SLAM sadece LIDAR sensörü desteklerken Karto SLAM, LIDAR, kamera ve GPS sensörlerini de desteklemektedir. Bu sayede mobil robotlar, insansız hava araçları ve kara araçlarında kullanılabilir. Daha az işlem gücü ve daha az bellek gerektirir. Ancak Hector SLAM'a kıyaslandığında hata olasılığı daha yüksektir.

**Tablo 1.** SLAM yöntemlerinin karşılaştırılması

SLAM	Yöntem	Algoritma	Odometri Kullanımı
Gmapping	Parçacık filtresi	FastSLAM	Evet
Hector SLAM	Kalman filtresi	EKF	Hayır
Karto SLAM	Optimizasyon	Graph SLAM	Evet
Frontier SLAM	Optimizasyon	Sınır keşfi	Evet

#### D. Frontier SLAM

Frontier SLAM Geniş Öncelikli Arama (Breadth-First Search – BFS) algoritması gibi çalışmaktadır (Bhargava, M. vd., 2021). Geniş Öncelikli Arama algoritması ağaç yapısı benzeri veri yapılarında genişlemeyi temsil eden bir algoritmadır. Bir başlangıç düğümünden başlayarak her seviyedeki düğümleri ziyaret eder ve aşama aşama alt seviyelere iner. Genellikle en kısa yol problemleri ve ağaç gezinme gibi durumlarda kullanılmaktadır. Benzer yapıda çalışan ve ağaç düğümlerinin yerine fiziksel dünyayı keşfeden Frontier SLAM ise robotlar ve otonom sistemlerin keşfedilmemiş bölgeleri tespit edilmesinde kullanılmaktadır.

Frontier SLAM belirli bir alana odaklanarak robotun çevresindeki alanı tarar ve alanın sınırlarını belirler. Bu seçim genellikle robotun pozisyonuna veya sınırın büyüklüğüne göre yapılır.

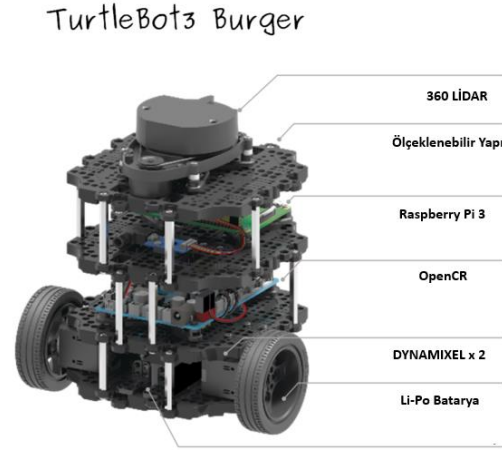
Seçilen sınıra gitmek için robotun hareket planı oluşturulur ve robot harekete geçirilir. Robot seçilen sınıra gittiğinde, sensörleri kullanarak sınırı tarar ve haritalar. Bu sırada, robotun pozisyonu da güncellenir. Sensör verileri kullanılarak, robotun çevresindeki alan için bir harita oluşturulur. Bu haritada bilinmeyen alanlar ‘sınır (frontier)’ olarak adlandırılır. Sınırlar, robotun keşfetmesi gereken alanları belirler.

Sınırlar belirlendikten sonra, robot hangi sınırı keşfetmek için seçeceğine karar verir.

Diğer metotlarda robotun çevresini taramak yerine robotun çevresindeki alana dair bir harita oluşturulmaktadır. Genellikle LIDAR ve kamera sensörü ile çalışmaktadır.

#### 4. Sistem Kurulumu

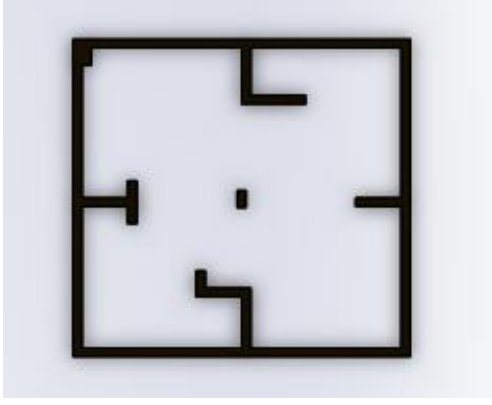
Tüm deneysel çalışmalarda ve simülasyon çalışmalarında Turtlebot3 Burger robotu kullanıldı. Bu robot OpenCR şirketi tarafından geliştirilmiştir ve ROS ile uyumlu çalışmaktadır. Robota ait donanımsal yapı Şekil 1’de gösterilmiştir.



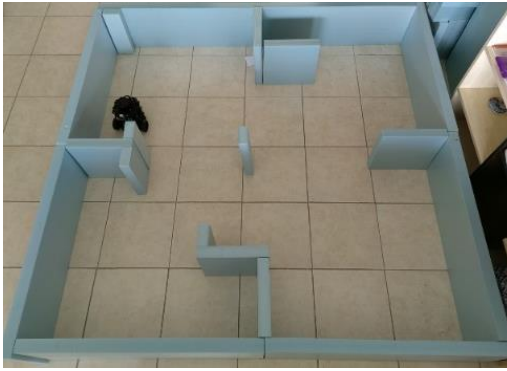
Şekil 1. Turtlebot3 Burger Robotu (ROBOTIS)<sup>1</sup>

Asistan robot iç mekan uygulamalarında çalışacağı için ilk çalışmalarda basit bir kapalı ortam oluşturularak robotla deneysel çalışmalar yapılması amaçlandı. Bu nedenle algoritmaların değerlendirilmesi için Şekil 2’de gösterilen robotun çalıştırılacağı 180 cm x 180 cm boyutunda kare şeklinde bir parkur tasarlandı. Parkur tasarımında robotun farklı açılardaki engelleri nasıl değerlendirdiğini görmek için 30 cm ve 10 cm genişliğinde labirent benzeri bir yapı kuruldu. Kullanılan tüm parçaların boyu robotun boyunu geçecek şekilde 30 cm olarak tasarlandı. Bu yapıyla robotun girebileceği dar alanlar oluşturuldu.

<sup>1</sup><http://emanual.robotis.com/docs/en/platform/turtlebot3/overview>



Şekil 2. Parkur tasarımı



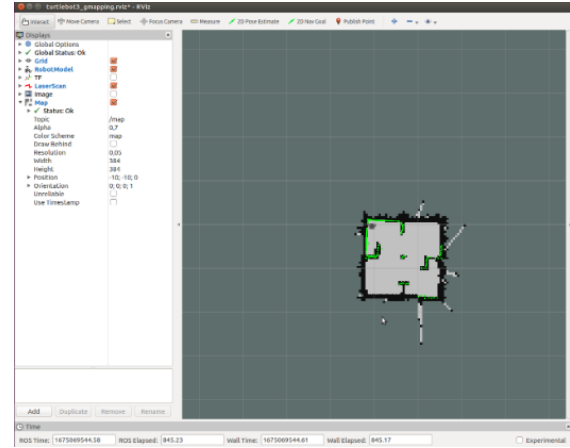
Şekil 3. Parkur

Tasarlanan parkur gerçek iç mekan uygulamalarında kullanılmak üzere Şekil 3'te gösterildiği gibi hazırlandı. LIDAR sensörün veri alımında hata oluşmaması için mat yüzeye sahip bir malzeme kullanıldı. Tüm duvar kalınlıkları eşit olacak şekilde hazırlandı ve birleşme alanlarındaki açıklıkların oluşması engellendi. Bütün algoritmalar aynı başlangıç konumu üzerinde başlatılarak bu parkur içerisinde çalıştırıldı.

## 5. Deneysel Çalışmalar

Robotik uygulamalarda sıkça kullanılan ROS sisteminin birden fazla mevcut sürümleri bulunmaktadır. Bu sürümler farklı destek paketlerini içermekte ve farklı donanımsal yapıları desteklemektedir. Bu versiyonlardan en çok yaygın olarak kullanılanı ROS Kinetic sürümüdür. Bu sürümün güncelleştirilmesi durdurulmuş olmasına rağmen sağladığı programsal özellikler nedeniyle

çalışmaların ilk adımı çoğunlukla bu versiyonla sağlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında da kullanılan robotun üzerindeki donanımsal yapı ve iç mekana uygun seçilen SLAM algoritmalarının desteklenmesi nedeniyle ROS'un Kinetic Sürümü ile çalışılmıştır. Bunun için Ubuntu 16.04 işletim sistemi kullanılmıştır. Robotun haberleşmesi Raspberry Pi 3B+ Modeli kullanılarak sağlandı. Sensör olarak sadece robot üzerindeki 2B LIDAR kullanıldı. Robotun hareketi esnasında LIDAR verilerine göre oluşturulan harita modeli Rviz denilen ROS Görselleştirme aracıyla gözlemlendi. Rviz, sensörlerden alınan verilerin görselleştirilmesinde kullanılan simülasyon aracıdır. Robotun gözünden görülen verileri sunmaktadır. Şekil 4'te robot parkur içerisinde haritalama yaparken Rviz de oluşturulan model gösterilmiştir. Tüm algoritmalar bu veri takibi yapılarak harita modelleri kaydedilmiştir.



Şekil 4. Rviz Haritalama Görşeli

ROS düğümler(nodes) denilen yazılımlar tarafından yürütülür ve bu düğümler arasında bir mesaj alışverişi yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında parkur üzerinde deneysel çalışma yapılırken yürütülen tüm düğümler ve bu düğümler arasındaki iletişim ağı Şekil 4'te Rqt Grafik ile gösterilmiştir.

Gmapping algoritması için oluşturulan bu grafik ROS çalışma yapısını ve iletişim modelini de göstermektedir.



aynı şekilde değerlendirmek kolay olmayabilir. Ayrıca farklı sensörlerden alınan bilgilerin de işlenmesiyle harita modeli daha iyi ve ayırt edemeyecek seviyede oluşturulabilir. Bu nedenle sadece gözle değerlendirme yapılmayıp SSIM algoritması kullanılarak haritaların doğruluğu sayısal olarak belirlenmiştir. Bunun için oluşturulan harita görüntülerinin boyutları eşitlenmiştir.

**Tablo 2.** SLAM Metotlarının SSIM Değerleri

SLAM Algoritmaları	SSIM Değeri
Gmapping	0,8696
Hector	0,8733
Karto	0,7039
Frontier	0,8645

Tablo 2’de gösterilen sayısal değerler haritaların parkur modeliyle benzerlik ölçümü hesabıyla bulunan değerlerdir. Bulunan sonuçlara göre bu çalışma kapsamında en iyi harita görseli Hector SLAM ile oluşturulmuştur. Gmapping SLAM ile oluşturulan modele bakıldığında parkur modelini aşan gri çizgiler bulunmaktadır. Bunlar LIDAR verisinin iyi işlenememesinden kaynaklı oluşan sonuçlardır. Benzer görüntü Frontier SLAM ile de oluşmuştur. Karto SLAM ile oluşan modelde ise robotun hareketi boyunca parkur sınırlarını kaydırarak oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bu da sonuçta harita modelinin doğruluğunu etkilemiştir.

## 6. Sonuç

Bu çalışma, asistan olarak tasarlanacak robotun iç mekan uygulamaları için yapılan ön çalışmalardan birini içermektedir. İlk olarak sadece LIDAR verisiyle yapılan deneysel çalışmayla haritalamanın ve uygulanabilecek algoritmaların sonuçları gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en iyi modeli Hector SLAM oluşturmuştur. Gmapping ve Frontier SLAM ise çok yakın değerde yine iyi sonuçlar vermiştir. En kötü modeli ise Karto SLAM oluşturmuştur. Ancak sonuçlar sadece bir parkur ve bir

sensör verisiyle değerlendirildiği için algoritmanın genel kalitesini değerlendirmede yeterli olmayacaktır. Gelecek çalışmalarda LIDAR verisinin yanında kamera sensörü de eklenerek 2B SLAM teknikleriyle görsel SLAM tekniklerinin performans değerlendirmesi yapılacaktır.

Çalışma sonucunda elde edilen değerlere genel olarak bakıldığında sonuçlar birbirine çok yakındır. Kullanılan sensör düzeneği nedeniyle çıkan bu sonuçta farklı bir parkur ortamında da algoritmaların aynı etkiyi göstermesi beklenmektedir. Gelecek çalışmalarda bu algoritmalarının performansının farklı sensörler eklenmesinin yanında farklı parkurlar üzerinde de benzer etki gösterip göstermediği üzerine yapılan çalışmalar sunulacaktır.

Yapılan deneysel çalışmaların değerlendirmesi SSIM yönteminin yanında farklı performans değerlendirme yöntemleriyle de ölçerek sonuçlar gelecek çalışmalarda karşılaştırılacaktır.

## 7. Kaynaklar

- Aerts, P., Demester E. (2017). Benchmarking of 2D-Slam Algorithms. A Validation fort he TETRA Project Ad Usum Navigantium.
- Bhargava, M., Mehta, R., Adhikari, C. D., & Sivanathan, K. (2021, July). Towards development of performance metrics for benchmarking SLAM algorithms. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1964, No. 6, p. 062115). IOP Publishing.
- Dhaoui, R. (2022). Vergleich LIDAR-basierter 2D-SLAM-Algorithmen auf ein TurtleBot3 auf Basis des Robot Operating Systems (ROS).
- Filatov, A., Filatov, A., Krinkin, K., Chen, B., & Molodan, D. (2017, November). 2d slam quality evaluation methods. In 2017 21st Conference of

- Open Innovations Association (FRUCT) (pp. 120-126). IEEE.
- Filipenko, M., & Afanasyev, I. (2018, September). Comparison of various slam systems for mobile robot in an indoor environment. In 2018 International Conference on Intelligent Systems (IS) (pp. 400-407). IEEE.
- Giubilato, R., Chiodini, S., Pertile, M., & Debei, S. (2019). An evaluation of ROS-compatible stereo visual SLAM methods on a nVidia Jetson TX2. *Measurement*, 140, 161-170.
- Grisetti, G., Stachniss, C., & Burgard, W. (2007). Improved techniques for grid mapping with rao-blackwellized particle filters. *IEEE transactions on Robotics*, 23(1), 34-46.
- Kiran, B., Karthikeyan, S., Pasha, M. S., Manjunatha, K. N., Kumar, S. M., & Moras, S. V. (2022, December). Design and Development of Autonomous Mobile Robot for Mapping and Navigation System. In 2022 IEEE Pune Section International Conference (PuneCon) (pp. 1-5). IEEE.
- Kohlbrecher, S., Von Stryk, O., Meyer, J., & Klingauf, U. (2011, November). A flexible and scalable SLAM system with full 3D motion estimation. In *2011 IEEE international symposium on safety, security, and rescue robotics* (pp. 155-160). IEEE.
- Merzlyakov, A., & Macenski, S. (2021, September). A comparison of modern general-purpose visual SLAM approaches. In *2021 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)* (pp. 9190-9197). IEEE.
- Nguyen, Q. H., Johnson, P., & Latham, D. (2022). Performance Evaluation of ROS-Based SLAM Algorithms for Handheld Indoor Mapping and Tracking Systems. *IEEE Sensors Journal*, 23(1), 706-714.
- Rojas-Fernández, M., Mújica-Vargas, D., Matuz-Cruz, M., & López-Borreguero, D. (2018, February). Performance comparison of 2D SLAM techniques available in ROS using a differential drive robot. In 2018 International Conference on Electronics, Communications and Computers (CONIELECOMP) (pp. 50-58). IEEE.
- Sankalprajan, P., Sharma, T., Perur, H. D., & Pagala, P. S. (2020, June). Comparative analysis of ROS based 2D and 3D SLAM algorithms for Autonomous Ground Vehicles. In *2020 International Conference for Emerging Technology (INCET)* (pp. 1-6). IEEE.
- Santos, J. M., Portugal, D., & Rocha, R. P. (2013, October). An evaluation of 2D SLAM techniques available in robot operating system. In 2013 IEEE international symposium on safety, security, and rescue robotics (SSRR) (pp. 1-6). IEEE.
- Sara, U., Akter, M., & Uddin, M. S. (2019). Image quality assessment through FSIM, SSIM, MSE and PSNR—a comparative study. *Journal of Computer and Communications*, 7(3), 8-18.
- Sharafutdinov, D., Griguletskii, M., Kopanev, P., Kurenkov, M., Ferrer, G., Burkov, A., ... & Tsetserukou, D. (2023). Comparison of modern open-source visual SLAM approaches. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 107(3), 43.
- Singandhupe, A., & La, H. M. (2019, February). A review of slam techniques and security in autonomous driving. In 2019 third IEEE international conference on robotic computing (IRC) (pp. 602-607). IEEE.

- Wang, Z., Bovik, A. C., Sheikh, H. R., & Simoncelli, E. P. (2004). Image quality assessment: from error visibility to structural similarity. *IEEE transactions on image processing*, 13(4), 600-612.
- Xuexi, Z., Guokun, L., Genping, F., Dongliang, X., & Shiliu, L. (2019, July). SLAM algorithm analysis of mobile robot based on LIDAR. In 2019 Chinese Control Conference (CCC) (pp. 4739-4745). IEEE.
- Yagfarov, R., Ivanou, M., & Afanasyev, I. (2018, November). Map comparison of LIDAR-based 2d slam algorithms using precise ground truth. In 2018 15th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV) (pp. 1979-1983). IEEE.
- Zamora, E., & Yu, W. (2013). Recent advances on simultaneous localization and mapping for mobile robots. *IETE Technical Review*, 30(6), 490-496.
- Zhao, J., Liu, S., & Li, J. (2022). Research and Implementation of Autonomous Navigation for Mobile Robots Based on SLAM Algorithm under ROS. *Sensors*, 22(11), 4172.

# FARKLI DUYULUR ISI DEPOLAMA MADDELERİNİN DEŞARJ PERİYODUNA ETKİLERİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Berrin YILMAZ<sup>1\*</sup>, Evren OSMA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trakya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Edirne, TÜRKİYE

<sup>2</sup>Saygın Makina Tesisat San. Ve Tic. Ltd. Şti., Merkez / Edirne, TÜRKİYE

**Makale Künye Bilgisi:** Yılmaz, B., Osma, E. (2023). Farklı Duyulur Isı Depolama Maddelerinin Deşarj Periyoduna Etkilerinin Deneysel Araştırılması, *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 24(2), 39-47

## Öne Çıkanlar

- Isıl enerji depolama, enerjinin korunumu ve verimli kullanılabilmesi için önemlidir.
- Su ve nanoakışkan bünyesinde ısı depolama yapıldığında, kullanım suyuna aktarılabilen ısı, gliserin ve ısı transfer yağına göre daha yüksektir.
- Su ve nanoakışkan için depolama ünitesi merkezi sıcaklıkları, gliserin ve ısı transfer yağına göre çok daha düşüktür.

Makale Bilgileri	Öz
<b>Makale Tarihiçesi:</b> Geliş: 20 Ekim 2023 Kabul: 11 Aralık 2023	Enerji depolanması, yeryüzünde mevcut olan fosil temelli enerji kaynaklarının artan endüstriyelikle birlikte hızlıca ve kontrolsüzce tüketilmesi sonucu ciddi boyutlara ulaşan bir enerji krizi nedeni ile önemli hale gelmiştir. Enerji; mekanik, kimyasal, biyolojik, manyetik ve termal (ısı) enerji olarak depolanabilmektedir. Isıl enerji depolama, enerjinin korunumu ve verimli kullanılması için önemli teknolojiler arasında yer almaktadır. Düşük sıcaklıklı ısı üretimi, depolanması ve binalarda kullanım amaçlı sıcak su ihtiyacını temin üzere bir ısıtma sistemi tasarlanmış ve çeşitli deneyler yürütülmüştür. Bu çalışmada; ısı enerji depolama ünitesine ayrı ayrı yerleştirilmiş olan dört duyulur ısı depolama maddesinin (su, gliserin, sentetik yağ ve alümina) enerji kaynağı ile enerji ihtiyacının uyuşmadığı dönemlerde deşarj periyotlarındaki deneysel sonuçları verilmiştir. Bu amaçla, 1.2 l/dk kullanım suyu musluk debisi değerinde; ısı depolama ünitesinden çekilen ısıların, depolama ünitesinden çevreye olan ısı kayıplarının, kullanım suyu çıkış sıcaklıklarının, depo merkezi sıcaklığının depolama maddelerine göre değişimleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.
<b>Anahtar Kelimeler:</b> Enerji; Duyulur Isı Depolama; Deşarj Periyodu.	

## EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF DIFFERENT SENSIBLE HEAT STORAGE MATERIALS ON DISCHARGE PERIOD

Article Info	Abstract
<b>Article History:</b> Received: October 20, 2023 Accepted: December 11, 2023	Energy storage has become important due to an energy crisis that has reached serious dimensions as a result of rapid and uncontrolled consumption of fossil-based energy resources which are available on earth with increasing industrialization. Energy can be stored as mechanical, chemical, biological, magnetic and thermal energy. Thermal energy storage is one of the important technologies which takes place for the conservation and efficient use of energy.
<b>Keywords:</b> Energy; Sensible Heat Storage; Discharge Period.	A heating system was designed for low-temperature heat generation, storing low-temperature heat and supplying hot water needed for domestic use and certain experiments were carried out. In this study, the experimental outcomes (results) of four sensible heat storage materials (water, glycerol, synthetic oil and alumina) which took place separately in a thermal energy storage unit were given during discharge periods when the energy source could not be sufficient for the energy need. For this purpose, at a tap flow rate of 1.2 l/min, the changes in the heat amounts drawn out of heat storage unit, heat losses from the heat storage unit to the ambient air, the changes of the domestic water outlet temperatures, central temperatures in the heat storage unit were evaluated comparatively.



## 1. Giriş

Günümüzde enerjiyle ilgili birçok araştırma ve geliştirme çalışmaları enerjinin korunumu, verimli enerji kullanımı ve enerji tasarrufu üzerinde yoğunlaşmıştır. Enerjinin üretimi kadar gerektiği anda hazır halde kullanılacak şekilde depolanması da önemlidir. Enerjiyi istediğimiz zaman kullanabilmek için onu saklamaya enerji depolama denir. Böylelikle, güneş enerjisi gibi yalnız belirli zamanlarda enerji verebilen yenilenebilir enerji kaynaklarının enerjisini depolayarak, enerji üretimi ile talebi arasında doğabilecek fark giderilebilir ve yardımcı enerji kaynağına duyulan ihtiyaç azaltılabilir.

Enerji depolama yöntemlerinden birisi olan ısı enerji depolama, enerjinin korunumu ve enerjinin verimli kullanılması için önemli teknolojilerden birisidir ve duyulur ısı depolama, gizli ısı depolama, termokimyasal ısı depolama olmak üzere genel hatlarıyla üç ana başlıkta toplanmaktadır. Isıtma ve soğutma uygulamalarına uygun olması ana avantajlarından birisidir.

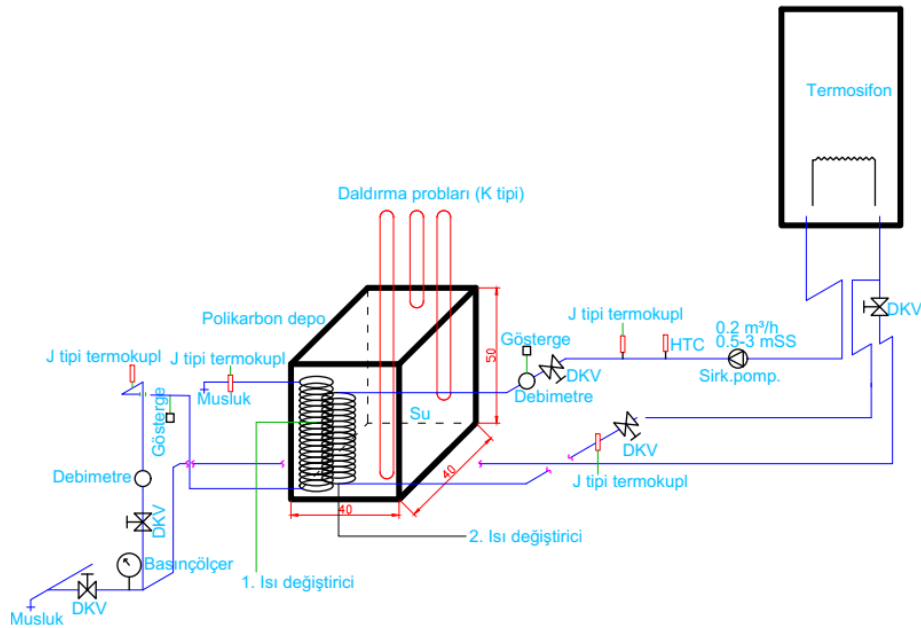
Literatürde, ısı enerji depolamaya yönelik olarak pek çok çalışma mevcuttur. Karaçavuş ve Can (2010), Edirne iklim şartlarında, mahal ısıtması ve kullanım amaçlı sıcak su temini için güneş enerjisinin toprak altında duyulur ısı olarak mevsimlik depolandığı bir ısıtma sistemi ile deneysel çalışmalar yapmıştır. Toplam ısı ihtiyacının %69 ısıtma sisteminden karşılanmıştır. Gao vd. (2020), su ve parafin (RT55) aracılığıyla, iki sıcak su tankının deşarj ve şarj döngüleri durumunda gizli ve duyulur ısı depolayabilme kapasitesini araştırmıştır. Araştırma sonucunda duyulur ısı depolama açısından, suyun duyulur ısı depolama kapasitesinin parafine göre gözle görülür ölçüde daha iyi olduğu saptanmıştır. Meister ve Beausoleil-Morrison (2021), Kanada'daki bir konutun ısıtma ve de sıcak su gereksinimini karşılamak için güneş enerjisinin mevsimlik depolandığı bir ısıtma sistemi ile deneysel çalışmalar yapmıştır. Deneysel

sonuçları; konutun ısıtma ve sıcak su gereksiniminin %68'ini karşılayabildiğini ortaya koymuştur. Khair ve Duwairi (2021), yaptıkları bir araştırmada, doymuş bir gözenekli ortama gömülü hâlde bulunan  $Al_2O_3$ 'ün grafitle oluşturduğu yapıyı (nanoakışkan) vakum tüplü güneş kollektöründe ısı depolama açısından teorik olarak ele almıştır. Araştırmada elde edilen sonuçlara göre; aynı koşullar altında bulunan saf suya oranla nanoakışkan kullanımı kollektörün ısı performansını ciddi derecede arttırmıştır. Lugolole vd. (2019), içinde ayçiçeği yağı ve iki farklı boyutta (10,5 mm ve 31,9 mm çaplı) çakıl taşları bulunan bir ısı enerji depolama tankında, deşarj periyoduna bağlı olarak duyulur ısı enerjideki değişimleri farklı debilerde incelemiştir. Araştırmacılar, elde ettikleri sonuçlara göre; özellikle ekserji bağlamında, büyük boyuttaki çakıl taşlarının hangi debide olursa olsun çok daha avantajlı olduğunu tespit etmişlerdir. Ahmed vd. (2019), duyulur-gizli ısı birleşik bir ısı enerji depolama sistemi tasarlamış ve bu sistemin orta sıcaklık uygulamalarında ısı ve ekonomik değerlendirmesini nümerik açıdan ele almıştır. Nümerik çalışma sonuçlarına göre; birleşik ısı enerji depolama sistemini, optimum performans ve maliyet açısından göz önüne alınan geleneksel sistemlere göre daha uygulanabilir bir seçenek olarak belirlemişlerdir. Ndukwa vd. (2020), hem rüzgâr gücü ve güneş enerjisi destekli bir kurutucuda hem de sadece güneş enerjisi destekli bir kurutucuda patates dilimlerini kurutmaya yönelik bir deney gerçekleştirmiştir. Her iki kurutucu da ısı enerji depolama maddesi olarak gliserinle ve de gliserinsiz olarak ayrı ayrı teste tâbi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre gliserin bir ısı enerji depolama maddesi olarak, özellikle rüzgâr gücüyle birlikte kullanıldığında kurutma süresini ciddi ölçüde kısaltmıştır. Kalaiarasi vd. (2020), yüksek kalitedeki sentetik bir yağ olan Therminol-55'in ısı depolama etkilerini araştırmak amaçlı bir deney yapmıştır. Bunun için yeni tipte düzlemsel havalı bir güneş kollektörü söz konusu sentetik yağla değişik hava debilerinde ve geleneksel

düzlemsel havalı bir güneş kollektörü de sentetik yağ kullanılmadan, yani ısıl enerji depolama maddesi olmadan iki ayrı deneye tâbi tutulmuştur. Böylece araştırmacılar her iki kollektör arasında bir karşılaştırma yapma fırsatı bulmuştur. Karşılaştırma sonuçlarına göre Therminol-55'in kullanıldığı deneylerde, hava debisi 0.017 kg/s'den 0.028 kg/s'ye çıkartıldığında güneş kollektörünün verimi gün içerisinde bir pik noktaya (%70.8) ulaşmıştır. Lotfi vd. (2021) yaptıkları deneysel bir çalışmada gliserini çeşitli nanoparçacıklarla (CuO-Cu<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub>, grafen) süspansiyon oluşturacak şekilde çeşitli derişimlerde karıştırmıştır. Deneysel çalışma sonucunda gliserin-CuO-Cu<sub>2</sub>O ve gliserin-grafen süspansiyonları ısıl iletkenlik bakımından gözle görülür bir iyileşme sergilerken; gliserin-SiO<sub>2</sub> süspansiyonu ısıl iletkenlik açısından ciddi bir etki sağlayamamıştır. Khair ve Duwairi (2021), yaptıkları bir araştırmada, doymuş bir gözenekli ortama gömülü hâlde bulunan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün grafitle oluşturduğu yapıyı (nanoakışkan) vakum tüplü güneş kollektöründe ısıl depolama açısından teorik olarak incelemiştir. aştırmada elde edilen sonuçlara göre; aynı koşullar altında bulunan saf suya oranla nanoakışkan kullanımı kollektörün ısıl performansını

ciddi derecede arttırmıştır. Lentswe vd. (2022), güneş ışığının olmadığı saatlerde hem ısıl enerji depolayıcı hem de ocak olarak görev yapan bir güneş ocağının şarj ve deşarj periyotlarındaki durumlarını deneysel olarak incelemiştir. Deşarj periyodunda; değişik debi değerlerinde suyun, ayçiçeği yağına göre ortalama enerji ve ekserji oranları olarak daha avantajlı olduğunu tespit etmişlerdir.

Düşük sıcaklıklı ısı üretimi, depolanması ve binalarda kullanım amaçlı sıcak su ihtiyacını temin etmek üzere bir ısıtma sistemi tasarlanmış ve çeşitli deneyler yürütülmüştür. Bu çalışmada; ısıl enerji depolama ünitesine ayrı ayrı yerleştirilmiş olan dört duyulur ısı depolama maddesinin (su, gliserin, sentetik yağ ve alümina) enerji kaynağı ile enerji ihtiyacının uyuşmadığı dönemlerde deşarj periyotlarındaki deneysel sonuçları verilmiştir. Bu amaçla 1,2 l/dk kullanım suyu musluk debisi değerinde; ısı depolama ünitesinden çekilen ısıların, depolama ünitesinden çevreye olan ısı kayıplarının, kullanım suyu çıkış sıcaklıklarının, depo merkezi sıcaklığının depolama maddelerine göre deşişimleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 1. Deneysel tesisatın şematik gösterimi

## 2. Gereç ve Yöntem

Düşük sıcaklıklı ısı üretimi, depolanması ve binalarda kullanım amaçlı sıcak su ihtiyacını temin etmek üzere bir ısıtma sistemi tasarlanmış ve çeşitli deneyler yürütülmüştür.

### 2.1. Deney Tesisi

Deney tesisatında; ısı değiştiricilerden geçen su debisini ayarlamak için dört DKV (debi kısma vanası), bir termosifon, depolama ünitesi olarak içinde ısı değiştiricileri muhafaza eden bir solid polikarbon depo, biri termosifondan depolama ünitesine ısı aktarımı için diğeri de depolama ünitesinden kullanım suyuna ısı aktarımı için iki ısı değiştiricisi, bir basınçölçer, bir HTC (hava tahliye cihazı), kullanım suyu elde etmek için bir musluk, ısı değiştiricilerdeki debileri tespit edebilmek için iki debimetre ve bunlara ait göstergeler ile yedi termokupl ile bir de sirkülasyon pompası bulunmaktadır (Şekil 1) Osma (2023).

Isı depolama ünitesi 400mm×400mm×500mm boyutlarında olup 8 mm kalınlığında solid polikarbon üretilmiş ve ısı iletim katsayısı, 0,18 W/mK'dir. Termosifon, 65 l su kapasitesine sahip olup Demirdöküm markasının DT 3 modelidir.

Deneylerde, çeşitli boyutlarda ve K tipi ve J tipi olmak üzere ORDEL marka termokupllar kullanılmıştır. Termokuplların elemanları NiCr-Ni'den meydana gelmiş olup, termokupllar mineral izolelidir. Termokuplların dış koruyucu çapı 3 mm'dir ve kablo boyu da 3 m'lik silikondan oluşmaktadır.

Termosifondan ısı depolama ünitesine ısı aktarımında iç çapı 6,54 mm ve dış çapı 7,94 mm bakır borulardan oluşan bir ısı değiştiricisi kullanılmıştır. Isı değiştiricisi, sarım çapı 350 mm olmak üzere 20 sarımdan ve 400 mm yükseklikten oluşmaktadır. Aracı akışkan olan suyu sirküle ettirebilmek için üç güç kademesi içeren, maksimum 110°C'ye kadar akışkan pompalayabilen,

50 Hz frekansında çalışan bir sirkülasyon pompası kullanılmıştır.

Kullanım suyu, iç çapı 6.54 mm ve dış çapı da 7.94 mm olan bir ısı değiştiricisi aracılığı ile ısıtılmıştır. Bu ısı değiştiricisi sarım çapı 350 mm olmak üzere 20 sarımdan oluşmaktadır ve yüksekliği 400 mm'dir.

Güneş kolektörlerinde, ısı aktarımı için aracı akışkan olarak deneysel çalışmalarda sıklıkla kullanılan maddelerin, depolama ünitesi içinde depolama kapasitesi araştırılmak üzere yapılan deneylerde ısı depolama maddesi olarak sırası ile su, nanoakışkan, gliserin ve ısı transfer yağı seçilmiştir Osma (2023). Nanoakışkanı meydana getiren nanoparçacık olarak; ekonomik, deneysel çalışmalarda sıklıkla kullanılan ve stabilitesi kuvvetli (uzun süre kararlılığını koruyabilen) bir nanoparçacık olduğundan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tercih edilmiştir. Safılık oranı %99,9 olan 40mmboyutundaki küresel Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparçacığı hacimsel olarak %1 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su nanoakışkanı elde edilmesinde kullanılmıştır.

### 2.2. Deneyler

Enerji kaynağı ile enerji ihtiyacının uyuşmadığı dönemlerde bir ısı depolama ünitesinin deşarj periyodunu araştırmak üzere deneyler yapılmıştır. Her bir depolama maddesi için eşit şartlarda deneyler yapabilmek için başlangıçta termosifon aracılığıyla depolama ünitesi merkezi sıcaklığı 60°C'ye çıkarılmış ve sistem termosifon tarafından ısı depolama ünitesine ısı girişine kapatılmıştır Osma (2023). Sonrasında kullanım suyu musluğu açılmış ve her bir depolama maddesi için 1,2 l/dk kullanım suyu musluk debisi değerleri altında 29 (yirmi dokuz) dakikalık süreçte depolama ünitesi içerisindeki sıcaklıklarla beraber kullanım suyu sıcaklığının bu süreçte değişimi birer dakikalık zaman aralıklarıyla kayıt altına alınmıştır.

### 2.3. Isı Depolama Ünitesinin Enerji Dengesi

Deney tesisatında bulunan ısı depolama ünitesinin genel enerji dengesi aşağıdaki gibi verilebilir (Şekil 2) Osmo (2023).

$$\dot{Q}_{dep}(t) = \dot{Q}_{gir}(t) - \dot{Q}_{kul}(t) - \dot{Q}_{kay}(t) \quad (1)$$

Eşitlikte;  $\dot{Q}_{gir}(t)$  depolama ünitesine ısı taşıyıcı ile aktarılan ısııl gücü (kW),  $\dot{Q}_{kul}(t)$  depolama ünitesinden sıcak su kullanımı ile çekilen ısııl gücü (kW),  $\dot{Q}_{kay}(t)$  depolama ünitesinden çevresine olan kayıp ısııl gücü (kW) ve  $\dot{Q}_{dep}(t)$  depolama ünitesinde depo edilen ısııl gücü (kW) ifade etmektedir.

Belirli bir zaman aralığında ısı depolama ünitesinin enerji dengesi Eşitlik 2’de verilmiştir.

$$\sum_{t=t_0}^{t=t} m_d C_{p,d} dT_d = \int_{t_0}^t [\dot{Q}_{gir}(t) - \dot{Q}_{kul}(t) - \dot{Q}_{kay}(t)] dt \quad (2)$$

Eşitlikte;  $m_d$  depolama ünitesi içindeki duyulur ısı depolama maddesinin kütesini (kg),  $C_{p,d}$  depolama ünitesi içindeki duyulur ısı depolama maddesinin özgül ısıısını (kJ/kgK),  $T_d$  depolama ünitesi içindeki duyulur ısı depolama maddesinin ortalama sıcaklığını (°C) ifade etmektedir.

Enerji kaynağı ile enerji ihtiyacının uyuşmadığı deşarj periyodu için ısı depolama ünitesine giren ısııl güç  $\dot{Q}_{gir}(t) = 0$  dır.

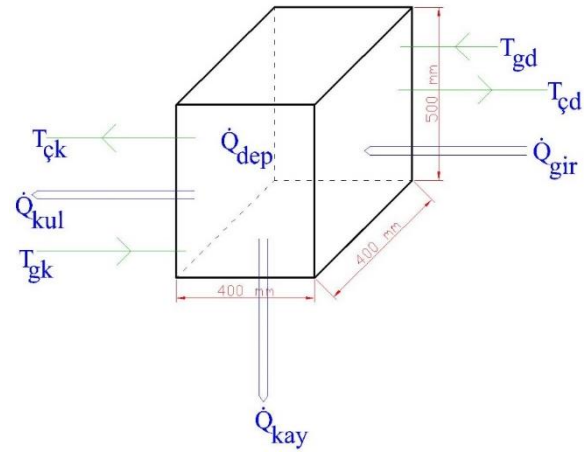
Depolama ünitesinden sıcak su kullanımı ile çekilen ısııl güç;  $\dot{m}_{kul}$  kullanım suyunun kütesel debisini (kg/s),  $C_{p,kul}$  kullanım suyunun özgül ısıı değerini (kJ/kgK),  $T_{çk}$  kullanım suyunun depolama ünitesinden çıkış sıcaklığını (°C) ve  $T_{gk}$  de kullanım suyunun depolama

ünitesine giriş sıcaklığını (şebeke suyu sıcaklığı) (°C) simgelemek üzere Eşitlik 3 ile verilmiştir.

$$\dot{Q}_{kul}(t) = \dot{m}_{kul} C_{p,kul} [T_{çk}(t) - T_{gk}(t)] \quad (3)$$

Depolama ünitesinden çevresine olan kayıp ısııl güç;  $U_d$  depo içerisindeki toplam ısııl transfer katsayısı (W/m<sup>2</sup>K),  $A_d$  depo yüzey alanı (m<sup>2</sup>),  $T_d$  depo içerisindeki depolama maddesinin ortalama sıcaklığı (°C),  $T_{çev}$  çevre (ortam) sıcaklığı (°C) olmak üzere aşağıdaki eşitlik ile verilmiştir.

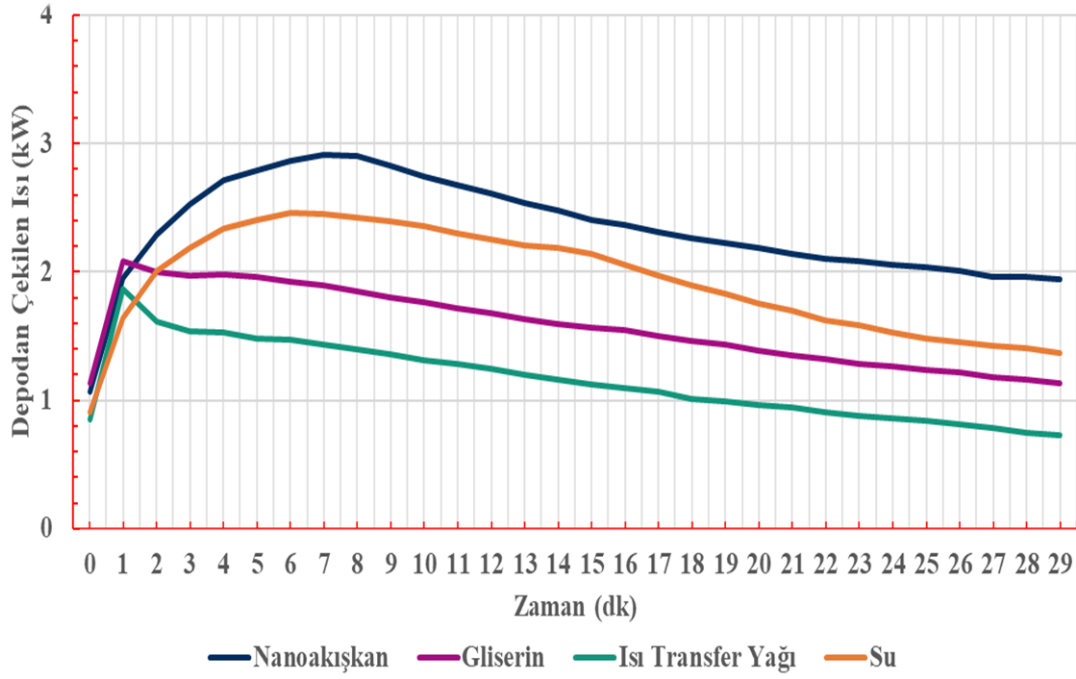
$$\dot{Q}_{kay}(t) = U_d A_d [T_d(t) - T_{çev}(t)] \quad (4)$$



Şekil 2. Isı depolama ünitesi genel enerji dengesi

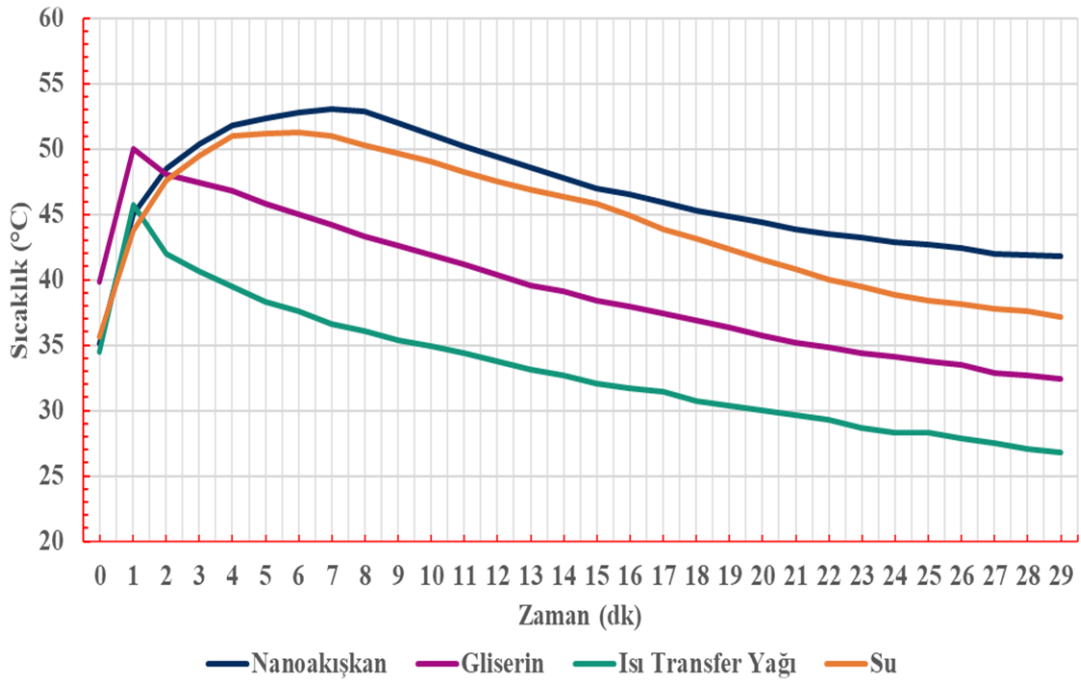
### 3. Bulgular ve Tartışma

Ölçüm değerleri ve bu değerler yardımı ile her bir depolama maddesi için kullanım suyu ile ısı depolama ünitesinden çekilen ısııl hesaplanmıştır (Şekil 3). Şekilden görüldüğü üzere, depolama maddesi nanoakışkan ve su olduğunda; depolama ünitesinden çekilen ısı, diğer iki depolama maddesine göre daha yüksek değerdedir. Bu; ısı depolama ünitesi içindeki depolama maddelerinin ısııl yayılım ve ısııl iletim katsayılarının sonucudur. Nanoakışkanın ısııl yayılım ve ısııl iletim katsayısı en yüksek değerdedir. Sözü geçen değerlerin sıralaması su, gliserin ve yağdadır.



Şekil 3. 1,2 l/dk'lık kullanım suyu musluk debisinde depolama ünitesinden çekilen ısı

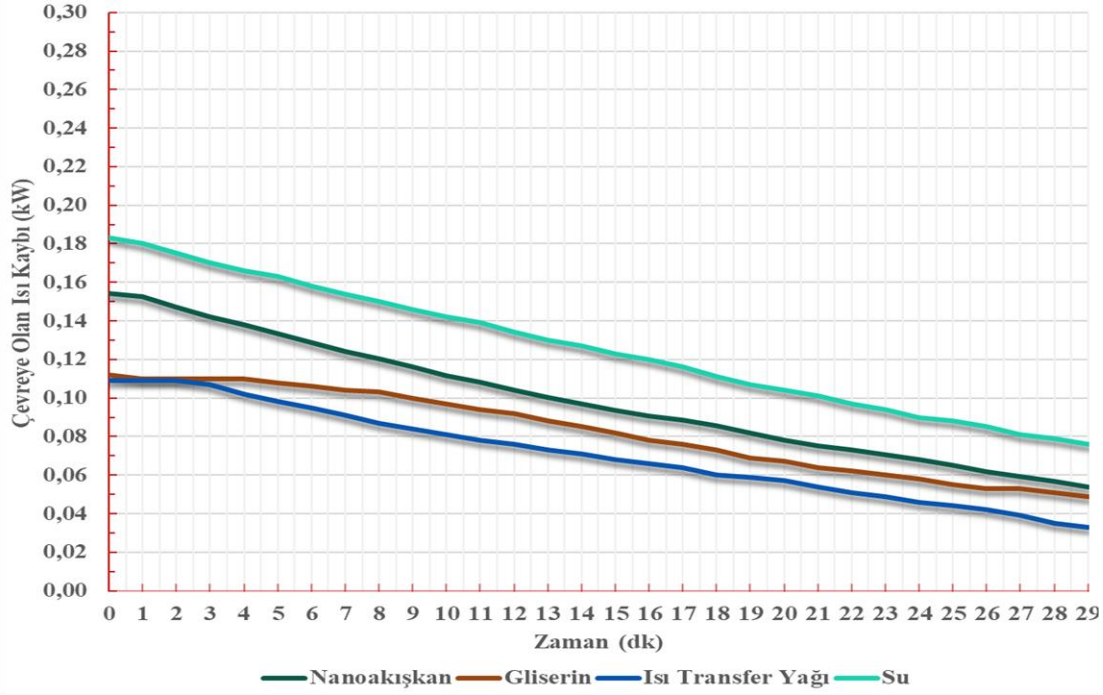
Kullanım suyu çıkış sıcaklığının depolama debisinde, ilgili deney boyunca kullanım suyu çıkış maddelerine göre değişimi Şekil 4'de, verilmiştir. sıcaklığı açısından nanoakışkandan yararlanmak diğer Şekilden görüldüğü üzere 1,2 l/dk'lık musluk depolama maddelerine göre daha avantajlıdır.



Şekil 4. 1,2 l/dk kullanım suyu musluk debisinde kullanım suyu çıkış sıcaklığının depolama maddelerine göre değişimi

Depolama ünitesinden çevreye olan ısı kaybı, her depolama maddesine özgü deney boyunca değişimi Şekil 5.'de verilmiştir. İlgili şekle göre; suyun ve nanoakışkanın kullanıldığı deneylerde depolama ünitesinden çevreye olan ısı kaybı diğer iki depolama maddesine göre daha yüksektir. Bu beklenen bir sonuç olmuştur zira su ve nanoakışkanın ısı iletim ve ısıl yayılım katsayıları ısı transfer yağı ve gliserine göre

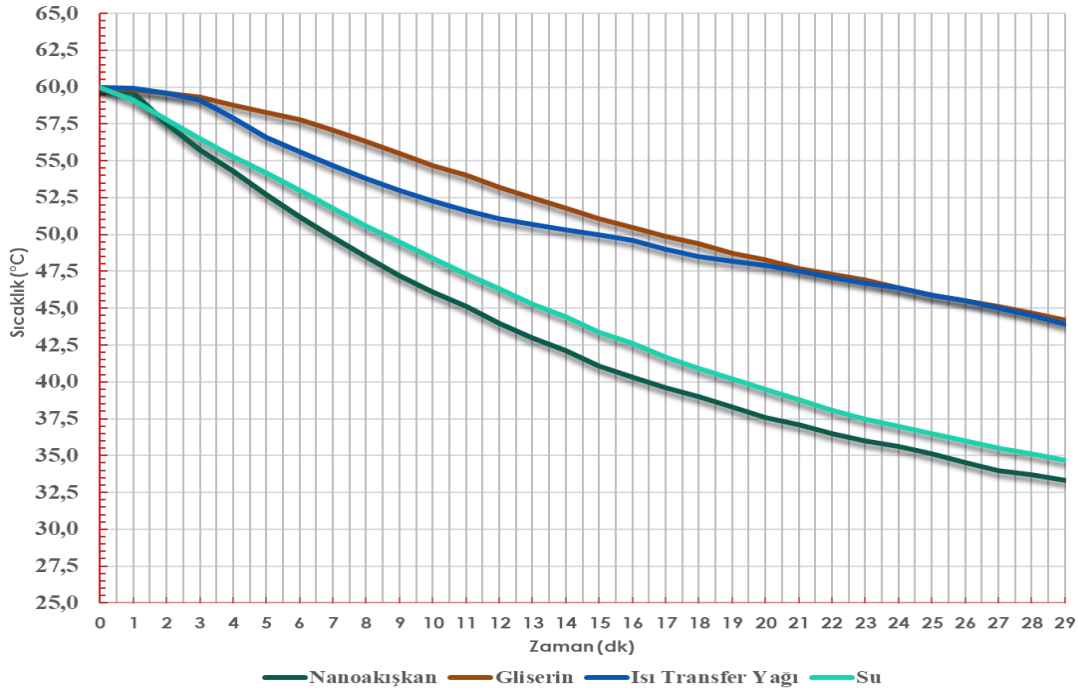
daha yüksektir. Böylece, depolama ünitesi içindeki ısı, su ve nanoakışkanda daha etkin ve hızlı bir yayılım göstermiş olup depolama ünitesi yüzeylerinde de daha yüksek sıcaklıklar oluşmasına sebep olmuştur. Doğal olarak yüzeylerden çevreye olan ısı kayıpları da bu iki depolama maddesinin kullanıldığı deneylerde daha yüksek değerlere sahip olmuştur.



Şekil 5. 1,2 l/dk'lık kullanım suyu musluk debisinde depolama ünitesinden çevreye olan ısı kaybının depolama maddelerine göre dağılımı

Depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları Şekil 6.'da sunulmuştur. İlgili şekilde görüldüğü üzere; su ve nanoakışkan için depolama ünitesi merkezi sıcaklıklarının, gliserin ve ısı transfer

yağına göre çok daha fazla düştüğü açıktır. Bunun nedeni, suyun ve nanoakışkanın ısı iletim ve ısıl yayılım katsayılarının yüksek olmasıdır.



Şekil 6. Depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları

#### 4. Sonuçlar ve Değerlendirme

Düşük sıcaklıklı ısı üretimi, depolanması ve binalarda kullanım amaçlı sıcak su ihtiyacını temin etmek üzere tasarlanan ısıtma sisteminde deneyler yapılmıştır. Deneylerde ısı depolama maddesi olarak sırası ile su, nanoakışkan, gliserin ve ısı transfer yağı kullanılmıştır. Enerji kaynağı ile enerji ihtiyacının uyuşmadığı deşarj periyodu için deneysel ölçüm ve ölçüm değerleri ile hesaplanan sonuçlar sunulmuştur Osma (2023).

- Su ve nanoakışkan bünyesinde ısı depolama yapıldığında, kullanım suyuna aktarılabilen ısı, gliserin ve ısı transfer yağına göre daha yüksek olmaktadır. Çünkü gerek suyun gerekse de nanoakışkanın ısı depolayabilme yeteneği gliserin ve ısı transfer yağına göre daha yüksektir.
- Kullanım suyu elde edilmesi sırasında; nanoakışkan 1,2 l/dk debide kullanım suyu çıkış sıcaklıkları açısından diğer depolama maddelerine göre daha üstündür.
- Suyun ve nanoakışkanın karakteristik deneyleri boyunca; hem kullanım suyuna daha çok ısı aktarıldığı için hem de çevreye olan ısı kayıpları

daha fazla olduğundan, depolama ünitesi merkezi sıcaklıkları bu iki depolama maddesinde daha ciddi bir düşüşe uğramaktadır.

#### Teşekkür

Yazarlar, Duyulur Isı Depolamada Nanoakışkan Kullanımının Deneysel Araştırılması isimli TÜBAP 2017/117 numaralı proje için Trakya Üniversitesi'ne teşekkürlerini sunar.

#### Referanslar

- Ahmed N., Elfeky K. E., Wang, Q. W., Lu L., (2019). Thermal and economic evaluation of thermocline combined sensible-latent heat thermal energy storage system for medium temperature applications. Evolutionary algorithms for solving multi-objective problems. *Energy Conversion and Management*, 189, 14-23.
- Gao Y., He F., Meng X., Zhang M., Yan L., Gao W., Xu T., (2020). Thermal performance analysis of sensible and latent heat thermal energy storage

- tanks: A contranstive experiment. *Journal of Building Engineering*, 101713, 1-10.
- Kalaiarasi G., Velraj R., Vanjeswaran M. N., Ganesh Pandian N., (2020). Experimental analysis and comprasion of flat plate solar air heater with and without integrated sensible heat storage. *Renewable Energy*, 150, 255- 265. doi: 10.1016/j.renene.2019.12.116
- Karaçavuş B., Can A., (2010). Thermal and economical analysis of an underground seasonal storage heating system in Thrace. *Energy and Buildings*, 41 (1), 1-10.
- Khair M. B., Duwairi H. M., (2021). Solar energy storage in evacuated tubes solar collector using nanofluid embedded in a saturated porous media in the fully developed region: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluid embedded in graphite as a saturated porous media. *AIMS Energy*, 9 (4), 854-881.
- Lentswe K., Mawire A., Owusu P., (2022). Experimental energetic and exergetic performance of a combined solar cooking nd thermal energy storage system. *Energies*, 15 (22), 1-19.
- Lotfi M., Heyd R., Bakak A., Hadaoui A., Koumina A., (2021). Experimental measurements on the thermal conductivity of glycerol-based nanofluids with different thermal contrasts. *Journal of Nanomaterials*, 1-9.  
doi: 10.1155/2021/3190877
- Lugolole R., Okello D., Nyeinga K., Mawire A., Lentswe K. A., Shobo A. B., (2019). Experimental analyses of sensible heat thermal energy storage systems during discharging. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 35, 117-130.
- Meister C., Beausoleil-Morrison I., (2021). Experimental and modelled performance of a building-scale solar thermal system with seasonal storage water tank. *Solar Energy*, 222, 145-159.
- Ndukwu M. C., Onyenwigwe D., Abam F. I., Eke A. B., Dirioha C., (2020). Development of a low-cost wind-powered active solar dryer integrated with glycerol as thermal storage. *Renewable Energy*, 154, 553-568.  
doi: [10.1016/j.renene.2020.03.016](https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.03.016)
- Osma E., (2023). Duyulur Isı Depolamada Nanoakışkan Kullanımının Deneysel Araştırılması. (Yayımlanmamış doktora tezi). Trakya Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne  
<https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=kIrIdtdJ31bRgjb6fHvMUbit-c6UloGdPKvNcf4lKTmTkjByN-Pnljh70ZmXaoX7>.





# UYUMLU KESİRLİ MERTEBEDEN TÜREVLE MODELLENEN KONDANSATÖRÜN SPICE MODELİ VE PARALEL R-L- $C_\alpha$ DEVRESİNİN SİMÜLASYONUNDA KULLANIMI

Ertuğrul KARAKULAK<sup>1\*</sup>, Reşat MUTLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tekirdağ, TÜRKİYE

<sup>2</sup>Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Çorlu, Tekirdağ, TÜRKİYE

**Makale Künye Bilgisi:** Karakulak, E., Mutlu, R. (2023). Spice Model of a Capacitor Modelled Using Conformal Fractional Order Derivative and its Usage in Simulation of a Parallel R-L- $C_\alpha$  Circuit, *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(2), 49-56.

## Öne Çıkanlar

- Spice modeling of a capacitor modeled using the conformal fractional derivative.
- Simulation results of R-L- $C_\alpha$  circuit.

Makale Bilgileri	Öz
<b>Makale Tarihçesi:</b> Geliş: 26 Kasım 2023 Kabul: 6 Aralık 2023	Kesirli Mertebeden Türev (KMT) ile elektrik devrelerinin ve devre elemanlarının modellenmesi 20. yüzyılda ortaya çıkmıştır ve devre elemanlarının modellenmesinde de kullanılmıştır. Son yıllarda Kesirli Mertebeden Türev popüler bir yöntem haline gelmiştir. Literatürdeki bazı çalışmalarda superkapasitörler başarılı şekilde modellenmiştir. Yine de KMT kondansatörleri barındıran devreler için analitik bir çözüm bulmak oldukça zordur. Devre simütörleri analizi zor devrelerin analitik çözümlerini bulma konusunda başarılıdır. KMT kondansatörler henüz bir Spice modeline sahip değildir. Bu çalışmada KMT kondansatör Spice modeli LTspice programında oluşturuldu. Ayrıca model paralel R-L- $C_\alpha$ devresinin simülasyonu için kullanıldı. Simülasyon sonuçları verildi.
<b>Anahtar Kelimeler:</b> Kesirli Mertebeden Türev; Uyumlu Kesirli Mertebeden Türev; Devre Modelleme; Spice Model.	

## SPICE MODEL OF A CAPACITOR MODELLED USING CONFORMAL FRACTIONAL ORDER DERIVATIVE AND ITS USAGE IN SIMULATION OF A PARALLEL R-L- $C_\alpha$ CIRCUIT

Article Info	Abstract
<b>Article History:</b> Received: November 26, 2023 Accepted: December 16, 2023	Fractional-order (FO) components have emerged as a necessary method to model electrical and electronic circuits in the 20th century. In recent decades, the conformable fractional derivative has become a very popular mathematical tool. In the literature, it is used to model supercapacitors successfully. However, it is usually difficult to find analytical solutions for the circuits having a CFD capacitor. Circuit simulation programs make it easy to inspect the circuits hard to analyse. A CFD capacitor does not have a spice model yet. In this study, the Spice model of a CFD capacitor is constructed in the LTspice program. The model is also used to simulate an R-L- $C_\alpha$ parallel circuit with a CFD capacitor. Its simulation results are given.
<b>Keywords:</b> Fractional Order Derivatives; Conformal Fractional Derivative; Circuit Modeling; Spice Model	

## 1. Introduction

The possibility and the existence of the Fractional derivatives (FDs) were first discussed in the 17th century (Ross 1977). There are various types of fractional-order derivatives (FODs) (Podlubny 1998). Riemann–Liouville, Atangana-Baleanu, Caputo, Grünwald-Letnikov, and Atangana-Baleanu are some of the widely known FDs (Podlubny 1998). The solution of fractional-order differential equations is laborious (Podlubny 1998). The conformal fractional derivative abbreviated as CFD was proposed in (Khalil, Horani, Yousef and Sababheh 2014). It has many similar properties to ordinary derivatives (Abdeljawad 2015). Due to these properties, which make its usage easier (Khalil 2014, Abdeljawad 2015), and having a physical interpretation (Zhao and Luo 2017), it has become a hot research area. The FDs have already been used to analyze electrical circuits as early as 1890 century (Ross 1977). FDs are nowadays more commonly used for modeling systems, and designing filters, controllers, etc. (Babiarz, Czornik, Klamka and Niezabitowski 2017, Karakulak 2023, Morales and Lainez 2016, Devecioğlu and Mutlu 2022, Kilbas, Srivastava, and Trujillo 2006, Yang 2019). Recently, FDs have been used to model batteries (Alagöz and Alisoy 2018, Sikora 2017). The usage of FODs in the circuit theory has been reviewed in (Sikora 2017). The transient solution of a fractional-order (FO) circuit modeled by Caputo FD and CFD has been made in (Piotrowska and Rogowski 2017). A fractional electrical circuit in (Piotrowska 2019) has also been solved using sinusoidal signals for Caputo and conformable fractional derivatives. Pseudo-fractional order circuit elements can be done using linear circuit elements (Tsimokou, Kartci, Koton, Herencsar and Psychalinos 2018). Using opamps, their behavior in the frequency domain can be obtained (Koseoglu, Deniz, Alagoz, and Alisoy 2022).

Capacitors are not ideal circuit elements. Their behavior varies as a function of frequency and

capacitors made of different materials behave differently and must have different circuit models. All circuit elements should have SPICE models. In literature, various Spice models of capacitors made of different materials or for different operation conditions do exist. Supercapacitors are becoming more important each day. The supercapacitors have a lot of different spice models (Iordache et al. 2013). Modeling and simulation of supercapacitors are examined in (Fărcaș, Petreus, Ciocan and Palaghiță 2009). The temperature dependence of the Supercapacitor circuit parameters with temperature is studied in (Gualous, Bouquain, Berthon, and Kauffmann 2003). Electrical circuits of the electrochemical capacitors are developed in (Miller 1999). Accurate modeling of supercapacitors for DC operation regime can be found in (Ionescu, Vasile, and Negroiu 2015). The parallel usage of a Valve Regulated Lead Acid (VRLA) cell and supercapacitor for use as a hybrid vehicle peak power buffer is examined in (Bentley, Stone, and Schofield 2005). Investigation of a supercapacitor model is made by the LTspice program (Martynyuk, Parasa and Makaryshkin 2010). The self-discharging of double-layer capacitors is examined in (Pantazica, Drumea, and Marghescu 2017). Zubieta model of supercapacitors and their real behavior are compared in (Negroiu, 2016). A comprehensible PSpice supercapacitor model is given in (Ciocan, Fărcaș, Grama, and Tulbure 2016). The circuit simulation programs used for modeling supercapacitors are compared in (Johansson and Andersson 2008)

FODs can also be used to model some supercapacitors. A FO impedance model of a supercapacitor presented in (Lewandowski and Orzyłowski 2017) has been used to evaluate an IEC measurement standard. The energy of a supercapacitor is estimated with a FO model in (Kopka 2017). The circuit parameters of a supercapacitor are found by utilizing experimental data and the effect of various current discharge waveforms on the device parameters is examined (Freeborn,

Maundy, and Elwakil 2018). The FO circuit parameters of a supercapacitor were measured by applying a step voltage (Freeborn 2013). Because of its time-dependent nature, it is hard to analyze the conformable fractional differential equations of circuits that have CFD capacitors (Tariboon and Ntouyas 2016, Morales-Delgado Gómez-Aguilar, and Taneco-Hernandez 2018). A CFD capacitor has been examined under DC and AC excitations and its solutions were found to have the incomplete gamma function for the AC supply case and the problems examined were simulated with Matlab (Palaz and Mutlu 2021a). A parallel resonance circuit with a CFD has been analyzed with simulations using Simulink in (Mohammed, Kandemir, Mutlu 2020). A two-capacitor problem in which the circuit possesses Linear Time-Invariant (LTI) and CFD capacitors was inspected using simulations (Palaz and Mutlu 2021a). Simulink simulations are time-consuming (Mohammed 2020, Palaz and Mutlu 2021b). Instead of dealing with such difficult and time-consuming solutions, a circuit program can be used to analyze circuits with CFD capacitors. The CFD is much simpler than the other FODs. Since the CFD can also be used to model supercapacitors, the CFD capacitor like every other circuit component needs a Spice model so that its circuits can be analyzed easily, quickly, and accurately. To the best of our knowledge, there is no spice model prepared for a CFD capacitor in literature. In this paper, a CFD capacitor Spice model has been made and used to simulate some circuits with the CFD capacitor. The circuit simulation programs like LTspice are easy to use and one can simulate circuits accurately in a short time. In this study, the CFD capacitor Spice model is made using the LTspice program since it is readily available without any cost and widely used to make models of emerging circuit components like memristors (Babacan 2017, Karakulak and Mutlu 2020). The spice model of the CFD capacitor is used to simulate a parallel R-L- $C_\alpha$  circuit. Considering the fact that the circuit should also be simulated in negative

starting times, the value of the time variable is obtained by feeding a capacitor with a DC current by means of a ramp signal. The CFD capacitor model is made and modeled successfully.

This paper is ordered as follows. In the second section, the definition of CFD and a CFD capacitor model, which is modified for negative starting times, are introduced. In the third section, its LTspice model is presented. In the fourth section, the simulation results of a parallel R-L- $C_\alpha$  circuit supplied with a sinusoidal voltage source are given. The study is finished with the conclusion section.

## 2. Material and Method Conformal Fractional Derivative and CFD Capacitor Constitutional Law

Çalışmada, üst yüzeyinden üniform bir “ $q(x)$ ” yayılı The description of the CFD is presented in (Yang 2019) as the follows:

$$\frac{d^\alpha f(t)}{dt^\alpha} = f'(t)t^{1-\alpha} = \frac{df(t)}{dt}t^{1-\alpha} \quad (1)$$

More information about CFD is given in (Alagöz and Alisoy 2018). If a capacitor model is made using CFD, its constitutive law is expressed as

$$i_c(t) = C_\alpha \frac{d^\alpha v_c(t)}{dt^\alpha} = C_\alpha v_c(t)t^{1-\alpha} = C_\alpha \frac{dv_c(t)}{dt}t^{1-\alpha} \quad (2)$$

where,  $i_c(t)$  and  $V_c(t)$  are the CFD capacitor current, the CFD capacitor voltage, and the CFD capacitor coefficient.

If time  $t$  is negative,  $t^{1-\alpha}$  is not defined in real numbers and that's why the circuit is not solvable. To overcome this problem, the CFD model is modified shifting  $t^{1-\alpha}$  to  $t=t_0$  as

$$i_c(t) = C_\alpha \frac{d^\alpha v_c(t-t_0)}{dt^\alpha} = C_\alpha \frac{dv_c(t-t_0)}{dt}(t-t_0)^{1-\alpha} = C_\alpha \frac{dv_c(t)}{dt}(t-t_0)^{1-\alpha} \quad (3)$$

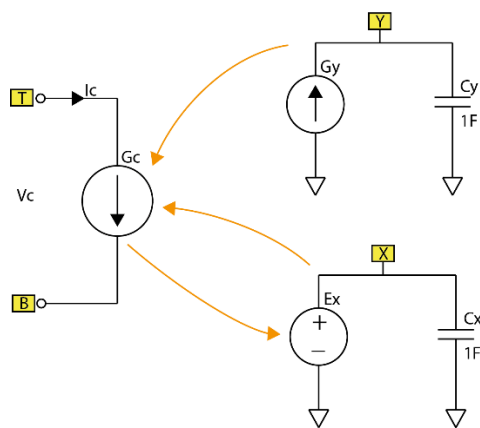
### 3. The LTspice Model of a CFD Capacitor

In this section, the Spice model of the CFD capacitor has been made using LTspice simulator environment. The LTspice code of the CFD capacitor model is presented in Table 1.

**Table 1.** The Spice code of the CFD capacitor.

<pre> * CFD Capacitor SPICE Model .SUBCKT CFD T B S .params C=100n alp=0.1  * Capacitor current function .func I_VRel(V1,V2) = {pow(V1,(1-1alp))*V2*C}  *Current source and a capacitor to calculate time Gb 0 XSV value={1} Cb XSV 0 {1} .ic V(XSV) = {-0.001}  *Voltage source and a capacitor to calculate capacitor *current Ea 0 X value={V(TE,BE)} Ca X 0 {1} .ic V(X) = {0.001}  * Current source representing capacitor Gmem TE BE value={I_VRel(V(XSV,0),I(Ca))} .ENDS CFD </pre>
--

The CFD capacitor block scheme is illustrated in Figure 1. A current source is used to represent the CFD capacitor current and another DC current source and an LTI capacitor are used to produce a ramp signal whose



**Figure 1.** Block Scheme of The CFD Capacitor Model.

voltage is equal to the time variable and to be used to calculate the time-dependent term  $t^{1-\alpha}$ . This CFD capacitor model has four pins. Pin Y is used to calculate the time  $t$  while Pin S is used to calculate the time-dependent capacitance of the CFD capacitor.

### 4. Simulation Results of a Parallel R-L- $C_\alpha$ Circuit With LTspice Model

In this study, a parallel R-L- $C_\alpha$  circuit supplied with an AC current source shown in Figure 2.a. which had been simulated in (Mohammed 2020), is also examined using the LTspice model made in the last section. The differential equation describing the circuit is given as follows:

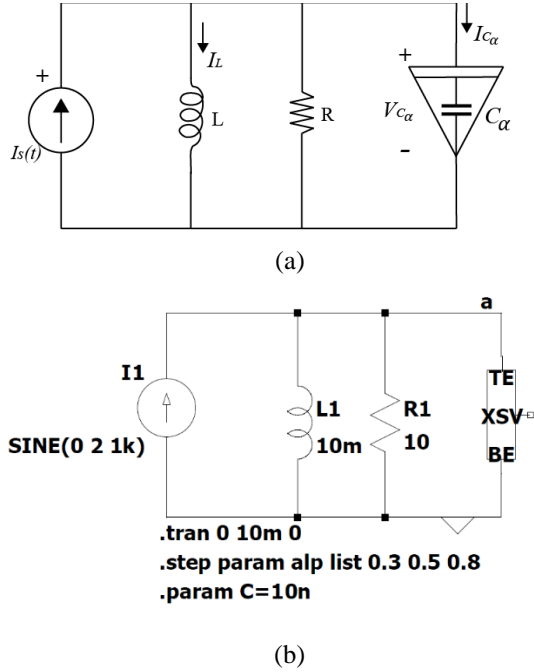
$$i_s(t) = I_m \sin(\omega t) = I_m \sin(2\pi f t) = LC_\alpha t^{1-\alpha} \frac{d^2 i_L(t)}{dt^2} + \frac{L}{R} \frac{di_L(t)}{dt} + i_L(t) \quad (4)$$

The LTspice CFD model and the examined circuit can be seen in Figure 2.b. The simulation parameters used are presented in Table 2. The simulation of the circuit is made for  $\alpha=0.3$ , 0.5, and 0.8. The voltages and current of the CFD capacitor in the R-L- $C_\alpha$  circuit for  $\alpha=0.5$  are presented in Figure 3. The currents of the CFD capacitor and the inductor in the R-L- $C_\alpha$  circuit for  $\alpha=0.5$  are presented in Figure 4.

Such a circuit is always in a transient state due to the time-dependent term of  $t^{1-\alpha}$ . That's why the voltage and current of the CFD capacitor are not periodic as shown in Figures 3 and 4. The behavior of the CFD capacitor current can be seen in Figure 5 for three different  $\alpha$  values. The value of  $\alpha$  defines the system's transient and damping behavior as shown in Figure 3. When  $\alpha$  increases, the circuit starts acting similar to an LTI R-L-C parallel circuit. Since  $\alpha$  is close to one, the CFD capacitor model starts behaving as if a time-invariant capacitor. At low values of  $\alpha$ , the circuit waveforms demonstrate almost negative damping behavior. When  $\alpha$  increases, the envelope of the

oscillation of voltage rises more quickly as shown in Figure 5.

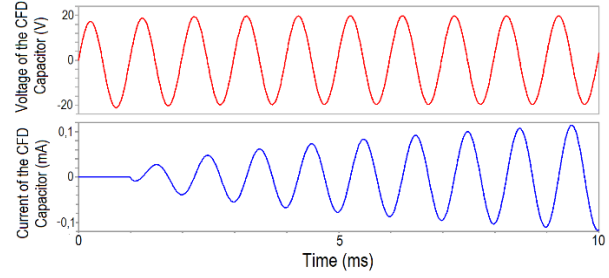
In (Mohammed 2020), the system is simulated using Simulink and more information about the behavior of the circuit can be found therein. The similar waveforms given in (Mohammed 2020), using Simulink are also obtained with LTspice.



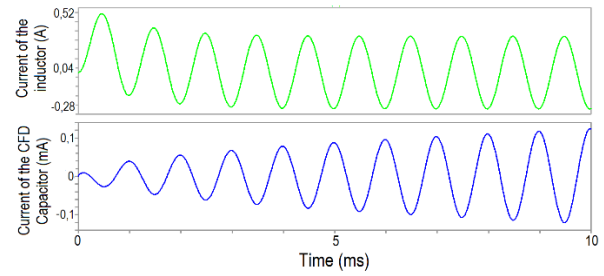
**Figure 2.** a) The  $R - L - C_\alpha$  parallel circuit, and b) The same circuit set up on the LTspice.

**Table 2.** The parameters and the initial conditions of the parallel R-L- $C_\alpha$  circuit.

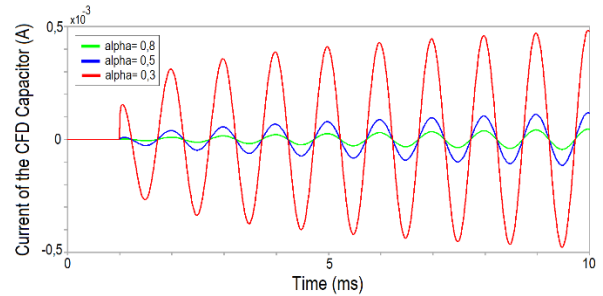
	Parameter	Value
The resistance of the resistor	$R$	10 Ohm
The inductance of the inductor	$L$	10 mH
The capacitance coefficient of the CFD capacitor	$C_\alpha$	$10 \text{ nF} / \text{s}^{1-\alpha}$
The initial voltage of the CFD capacitor	$V_{C_\alpha}(0)$	0 V
The initial current of the inductor	$i_L(0)$	0 A
The amplitude of the sinusoidal current source	$I_m$	2 A
The frequency of the sinusoidal current source	$f$	1 kHz



**Figure 3.** The voltage and current of the CFD capacitor in the  $R - L - C_\alpha$  circuit for  $C_\alpha=10 \text{ nF} / \text{s}^{1-\alpha}$ ,  $R=10 \text{ Ohm}$ ,  $L=10 \text{ mH}$ ,  $f=1 \text{ kHz}$ ,  $I_m=2 \text{ Amper}$ , and  $\alpha=0.5$ .



**Figure 4.** The currents of the inductor and the CFD capacitor in  $R - L - C_\alpha$  for  $C_\alpha=10 \text{ nF} / \text{s}^{1-\alpha}$ ,  $R=10 \text{ Ohm}$ ,  $L=10 \text{ mH}$ ,  $f=1 \text{ kHz}$ ,  $I_m=2 \text{ Amper}$ , and  $\alpha=0.5$ .



**Figure 5.** Currents of the  $C_\alpha$  in the  $R - L - C_\alpha$  circuit for  $C_\alpha=10 \text{ nF}$ ,  $R=10 \text{ Ohm}$ ,  $L=10 \text{ mH}$ ,  $f=1 \text{ kHz}$ ,  $I_m=2 \text{ Amper}$ , and  $\alpha =0.3, 0.5$ , and  $0.8$ .

## 5. Conclusions

Every circuit element needs a spice circuit model so that its best performance can be taken by the circuit designers. Models of some capacitors can be made with FODs. The CFD is easier to use than other FDs and has been gaining lots of attention in recent years. In the literature, the constitutive law of some capacitors has already been modeled with the CFD equation.

Although it is a linear circuit element, due to its time dependency, the circuits, that possess it, are difficult to analyze and they usually lack analytical solutions. The circuit simulation programs like LTspice are easy to use and one can simulate circuits accurately in a short time. However, in literature, its Spice model has not existed before. In this paper, a CFD capacitor LTspice model has been successfully made, and it is used to simulate and examine an R-L- $C_\alpha$  parallel circuit. The CFD capacitor LTspice model which is given here can be used to analyze circuits such as those given in (Martynyuk 2010, Pantazica 2017, Negroiu 2016, Ciocan 2016, Johansson and Andersson 2008, Palaz and Mutlu 2021a, Palaz and Mutlu 2021b, Palaz and Mutlu 2022a, Palaz and Mutlu 2022b, Arapi and Mutlu 2022) without using sophisticated and time-consuming analytical methods.

The value of  $1-\alpha$  parameter in Equation (2) becomes 0 for  $\alpha=1$ . In this case, the CFD capacitor is expected to behave as an LTI capacitor. However, it was observed that the LTspice simulator had difficulty finding a solution for the  $\alpha = 1$  value during the simulations and could not complete the simulation tasks. The reason has been diagnosed as  $t^{1-\alpha}$  being  $0^0$  indeterminate at  $t=0$  when  $\alpha=1$  or  $1-\alpha=0$ . It had been observed that the model works smoothly for alpha values between 0 and 1. If  $\alpha=1$ , an LTI capacitor should be used instead of the CFD model in LTspice.

### Referanslar


- Abdeljawad, T. (2015). On conformable fractional calculus. *Journal of computational and Applied Mathematics*, 279, 57-66.
- Alagöz, B. B., & Alisoy, H. (2018). Estimation of reduced order equivalent circuit model parameters of batteries from noisy current and voltage measurements. *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*, 6(4), 224-231.
- Arapi, M., & Mutlu, R. (2022). Analysis of an Oscillation Circuit with a Linear Time-invariant Inductor and a Capacitor Modelled with Conformal Fractional Order Derivative. *European Journal of Engineering and Applied Sciences*, 5(1), 22-28.
- Babacan, Y. (2017, July). Memristor: Three MOS transistors and one capacitor. *In IEEE Conference Paper*.
- Babiarz, A., Czornik, A., Klamka, J., & Niezabitowski, M. (2017). Theory and applications of non-integer order systems. *Lecture Notes Electrical Engineering*, 407.
- Bentley, P., Stone, D. A., & Schofield, N. (2005). The parallel combination of a VRLA cell and supercapacitor for use as a hybrid vehicle peak power buffer. *Journal of power sources*, 147(1-2), 288-294.
- Ciocan, I., Farcăș, C., Grama, A., & Tulbure, A. (2016, October). An improved method for the electrical parameters identification of a simplified PSpice supercapacitor model. *In 2016 IEEE 22nd International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)* (pp. 171-174). IEEE.
- Devecioğlu, İ., & Mutlu, R. (2022). A Conformal Fractional Derivative-based Leaky Integrate-and-Fire Neuron Model. *Sakarya University Journal of Science*, 26(3), 568-578.
- Fărcaș, C., Petreuş, D., Ciocan, I., & Palaghiță, N. (2009, September). Modeling and simulation of supercapacitors. *In 2009 15th International Symposium for Design and Technology of Electronics Packages (SIITME)* (pp. 195-200). IEEE.
- Freeborn, T. J., Elwakil, A. S., & Allagui, A. (2018, May). Supercapacitor fractional-order model discharging from polynomial time-varying

- currents. In *2018 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)* (pp. 1-5). IEEE.
- Freeborn, T. J., Maundy, B., & Elwakil, A. S. (2013). Measurement of supercapacitor fractional-order model parameters from voltage-excited step response. *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, 3(3), 367-376.
- Gualous, H., Bouquain, D., Berthon, A., & Kauffmann, J. M. (2003). Experimental study of supercapacitor serial resistance and capacitance variations with temperature. *Journal of power sources*, 123(1), 86-93.
- Ionescu, C., Vasile, A., & Negroiu, R. (2015, October). Accurate modeling of supercapacitors for DC operation regime. In *2015 IEEE 21st International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)* (pp. 303-306). IEEE.
- Iordache, M., Dumitriu, L., Perpelea, M., Sîrbu, I. G., & Mandache, L. (2013). SPICE-like Models for Nonlinear Capacitors and Inductors. *International Journal Of Computers & Technology*, 12(2), 3228-3240.
- Johansson, P., & Andersson, B. (2008). Comparison of simulation programs for supercapacitor modelling. *Master of Science Thesis. Chalmers University of Technology, Sweden*.
- Karakulak, E., & Mutlu, R. (2020). SPICE Model of Current Polarity-Dependent Piecewise Linear Window Function for Memristors. *Gazi University Journal of Science*, 33(4), 766-777.
- Karakulak, E. (2023). Conformable fractional-order derivative based adaptive FitzHugh-Nagumo neuron model. *Journal of Electrical Engineering*, 74(4), 282-292.
- Khalil, R., Al Horani, M., Yousef, A., & Sababheh, M. (2014). A new definition of fractional derivative. *Journal of computational and applied mathematics*, 264, 65-70.
- Kilbas, A. A., Srivastava, H. M., & Trujillo, J. J. (2006). *Theory and applications of fractional differential equations* (Vol. 204). Elsevier.
- Koseoglu, M., Deniz, F. N., Alagoz, B. B., & Alisoy, H. (2022). An effective analog circuit design of approximate fractional-order derivative models of M-SBL fitting method. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 33, 101069.
- Kopka, R. (2017). Estimation of supercapacitor energy storage based on fractional differential equations. *Nanoscale research letters*, 12(1), 636.
- Lewandowski, M., & Orzyłowski, M. (2017). Fractional-order models: The case study of the supercapacitor capacitance measurement. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*, 65(4), 449-457.
- Makaryshkin, D. A. (2010). Investigation of the Supercapacitor Mathematical Model by Means of LTspice IV. In *Xth International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET'2010)*.-Lviv-Slavsko, Ukraine (pp. 40-42).
- Mohammed, A. A. H. A., Kandemir, K., & Mutlu, R. (2020). Analysis of parallel resonance circuit consisting of a capacitor modelled using conformal fractional order derivative using Simulink. *European Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3(1), 13-18.
- Morales-Delgado, V. F., Gómez-Aguilar, J. F., & Taneco-Hernandez, M. A. (2018). Analytical solutions of electrical circuits described by fractional conformable derivatives in Liouville-



- Caputo sense. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 85, 108-117.
- Moreles, M. A., & Lainez, R. (2016). Mathematical modelling of fractional order circuits. arXiv preprint *arXiv:1602.03541*.
- Negroiu, R., Svasta, P., Vasile, A., Ionescu, C., & Marghescu, C. (2016, October). Comparison between Zubieta model of supercapacitors and their real behavior. In *2016 IEEE 22nd International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)* (pp. 196-199). IEEE.
- Palaz, U., & Mutlu, R. (2021). Analysis of a Capacitor Modelled with Conformable Fractional Derivative Under DC and Sinusoidal Signals. *Celal Bayar University Journal of Science*, 17(2), 193-198.
- Palaz, U., & Mutlu, R. (2021). Two capacitor problem with a lti capacitor and a capacitor modelled using conformal fractional order derivative. *European Journal of Engineering and Applied Sciences*, 4(1), 8-13.
- Palaz, U., & Mutlu, R. (2022). A Two-capacitor Problem with a Memcapacitor and a Conformal Fractional-Order Capacitor Put Together. *European Journal of Engineering and Applied Sciences*, 5(1), 9-15.
- Palaz, U., & Mutlu, R. (2022). Energy Consideration of a Capacitor Modelled Using Conformal Fractional-Order Derivative. *Kocaeli Journal of Science and Engineering*, 5(2), 117-125.
- Pantazica, M., Drumea, A., & Marghescu, C. (2017, October). Analysis of self discharge characteristics of electric double layer capacitors. In *2017 IEEE 23rd International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)* (pp. 90-93). IEEE.
- Piotrowska, E., & Rogowski, K. (2017, October). Analysis of fractional electrical circuit using Caputo and conformable derivative definitions. In *Conference on Non-integer Order Calculus and Its Applications* (pp. 183-194). Springer, Cham.
- Piotrowska, E. (2019). Analysis of fractional electrical circuit with sinusoidal input signal using Caputo and conformable derivative definitions. *Poznan University of Technology Academic Journals. Electrical Engineering*, (97), 155-167.
- Podlubny, I. (1998). Fractional differential equations: an introduction to fractional derivatives, fractional differential equations, to methods of their solution and some of their applications. *Elsevier*.
- Ross, B. (1977). The development of fractional calculus 1695–1900. *Historia Mathematica*, 4(1), 75-89.
- Sikora, R. (2017). Fractional derivatives in electrical circuit theory—critical remarks. *Archives of Electrical Engineering*, 66(1), 155-163.
- Tariboon, J., & Ntouyas, S. K. (2016). Oscillation of impulsive conformable fractional differential equations. *Open Mathematics*, 14(1), 497-508.
- Tsirimokou, G., Kartci, A., Koton, J., Herencsar, N., & Psychalinos, C. (2018). Comparative study of discrete component realizations of fractional-order capacitor and inductor active emulators. *Journal of Circuits, Systems and Computers*, 27(11), 1850170.
- Yang, X. J. (2019). General fractional derivatives: theory, methods and applications. *Chapman and Hall/CRC*.
- Zhao, D., & Luo, M. (2017). General conformable fractional derivative and its physical interpretation. *Calcolo*, 54(3), 903-917.

# EDİRNE-TÜRKİYE İKLİM KOŞULLARINDA FOTOVOLTAİK VE FOTOVOLTAİK/TERMAL SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI PERFORMANS ANALİZİ

Hacer AKHAN<sup>1\*</sup>, Semiha ÖZTUNA<sup>1</sup>, Doğan ERYENER<sup>1</sup>, Berrin YILMAZ<sup>1</sup>, Mustafa Kemalettin BÜYÜKAKIN<sup>1</sup>, Kadir AYDIN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Trakya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Ahmet Karadeniz Yerleşkesi, Edirne 22030, Türkiye

**Makale Künye Bilgisi:** Akhan, H., Öztuna, S., Eryener, D., Yılmaz, B., Büyükakın, M.K., Aydın, K. (2023) Edirne-Türkiye İklim Koşullarında PV ve PV/T Sistemlerinin Karşılaştırmalı Performans Analizi, *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(2), 57-70.

## Öne Çıkanlar

- Fotovoltaik ve Fotovoltaik/Termal sistemlerinin performans analizi
- Fotovoltaik/Termal sisteminin elektrik üretimi Fotovoltaik sistemine göre daha fazladır.
- Edirne-Türkiye iklim koşulları için Fotovoltaik ve Fotovoltaik/Termal sistemleri deneysel olarak incelenmiştir.

Makale Bilgileri	Öz
<b>Makale Tarihiçesi:</b> Geliş: 27 Kasım 2023 Kabul: 14 Aralık 2023	Fotovoltaik (PV) panellerin ideal çalışma sıcaklığı 25°C 'dir. Fotovoltaik paneldeki her 1°C sıcaklık artışı, elektrik üretimini %0,45 oranında azaltır. Bu durumda PV panellerdeki ısı enerjisini faydalı enerjiye dönüştürmek ve PV paneli soğutulmuş verim artışı sağlamak için Fotovoltaik/Termal (PV/T) sistemler geliştirilmiştir. Bu çalışmada PV ve PV/T sistemlerinin performansı Edirne-Türkiye iklim koşullarında karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Şebekeden bağımsız PV ve PV/T sistemleri kurulumu yapılarak sistemler deneysel olarak incelenmiştir. PV/T sisteminde PV panel güneş enerjili hava ısıtma kolektörüne entegre olarak kurulmuştur. Sistemlerden ölçülen veriler ile enerji üretimleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Sonuçlar, incelenen zaman diliminde PV/T sisteminin elektrik üretiminin normal PV sistemine göre %55 daha fazla olduğunu göstermiştir. Güneş enerjili hava ısıtıcısı, ısıtma sezonu boyunca 1091 kWh termal enerji üretmiştir.
<b>Anahtar Kelimeler:</b> Güneş enerjisi; PV; PV/T; Off-grid.	

## COMPARATIVE PERFORMANCE ANALYSIS OF PHOTOVOLTAIC AND PHOTOVOLTAIC/THERMAL SYSTEMS IN EDİRNE-TURKEY CLIMATIC CONDITIONS

Article Info	Abstract
<b>Article History:</b> Received: November 27, 2023 Accepted: December 14, 2023	The ideal operating temperature of photovoltaic (PV) panels is 25°C. Every 1°C temperature increase in the photovoltaic panel reduces electricity production by 0.45%. In this case, PV/T systems have been developed to convert the heat energy in PV panels into useful energy and increase efficiency by cooling the PV panel. In this study, the performance of PV and PV/T systems was analysed comparatively under Edirne-Turkey climatic conditions. Off-grid PV and PV/T systems were installed, and the systems were examined experimentally. In the PV/T system, the PV panel is integrated into the solar air heating collector. The data measured from the systems and energy production were examined comparatively. The results showed that the electricity production of the PV/T system was 55% higher than that of the regular PV system during the studied period. The solar air heater produced 1091 kWh of thermal energy during the heating season.
<b>Keywords:</b> Solar energy; PV; PV/T; Off-grid.	

## 1. Giriş

Tüm Dünya'da olduğu gibi Türkiye'de de elektrik tüketimi her geçen gün artmaktadır. Başta nüfus artışı olmak üzere, elektrikli aletlerin ve teknoloji ürünlerinin giderek daha yaygın kullanılması, sanayinin büyümesi, hızlı tren, metro gibi elektrikli motora sahip ulaşım araçlarının yaygınlaşması, yüksek hava sıcaklıkları olan günlerde klima kullanımının her geçen yıl daha çok ev ve iş yerinde serinleme yöntemi olarak kullanılması ile tarımsal sulama için daha çok elektrik tüketimi gibi birçok etken nedeniyle elektrik tüketimi hemen her yıl artmaktadır. Meskenlerdeki elektrik tüketiminin %20'den fazla paya sahip olduğu ülkemizde, elektrik üretiminin yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanarak mikro ölçekte yapılabilmesi Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının hedeflerinden birisi olmuştur. Bu aşamada binalarda, güneş enerjisi ile elektrik üretiminde kullanılan PV sistemleri önem kazanmaktadır. Bunun yanında eş zamanlı olarak hem elektrik hem de ısı üretimi sağlayan PV/T sistemleri de ön plana çıkmaktadır. Sıcaklık artışı PV panel verimini azaltan bir faktördür. PV paneldeki her 1°C sıcaklık artışı elektrik üretimini %0,45 düşürmektedir. Bu durum karşısında PV panelde elde edilen bu ısıdan faydalanmak ve fotovoltaik paneli soğutmak amacı ile PV/T sistemler önem kazanmaktadır. PV/T sistemlerinde bir yandan PV panelin soğutulması ile verim artışı sağlanırken, diğer yandan ısı enerjisi elde edilmektedir.

Literatürde PV ve PV/T sistemleri üzerine yapılmış çalışmalar yer almaktadır. Raghuraman, performanslarını analiz etmek için düz plakalı güneş kolektörlerinin ve PV/T kolektörlerinin tek boyutlu modelini oluşturdu. Raghuraman, toplayıcıların performansını artırma yöntemlerini inceledi (Pattabiraman, 1981). Bhattarai, Ruobing ve Jie farklı karakteristiklerin PV/T toplayıcıları üzerindeki etkisini araştırdı (Bhattarai, 2013, Ruobing vd., 2015, Jie vd. 2006). Çiftçi vd. yaptıkları çalışmada dikey hibrit PV/T

güneş enerjili kurutucuyu deneysel ve nümerik olarak incelemişlerdir (Çiftçi vd., 2021). Yazılım olarak Fluent kullanılmıştır ve dikey PV/T içerisindeki ısı transferi incelenmiştir. PV/T kolektörler ayrıca kanatlı ve kanatsız olarak incelenmiştir. Deneysel sonuçlar göstermiştir ki kanatlı PV/T kolektörlerin termal verimi kanatsız kolektörlere göre daha yüksek çıkmıştır. Balakumar vd. (2022) gerçekleştirdikleri çalışmada, mikro ölçekli akıllı hibrit sistemlerinde kullanılmak üzere, PV enerjisi üreten tüketen sistemler için yaklaşım önerilmiştir (Balakumar vd., 2022). Bu yaklaşımın, PV kullanımını geliştirdiği ve PV üreten tüketicinin kar sağlamasına yardım ettiği belirtilmiştir. Fotovoltaik/termal sistemin dört konfigürasyonunun performansı, enerji dengesi kavramına dayalı olarak Hegazy tarafından teorik olarak incelenmiştir (Hegazy, 2000). Tiwari ve arkadaşları, New Delhi'nin iklim koşulları altında doğal ve mekanik olarak havalandırılan PV/T sistemin üzerine çalışma sunmuştur (Tiwari, 2006). Tiwari ve Sodha, bölgedeki (New Delhi) kaplamasız ve camlı hibrit PV/T hava kolektörlerinin genel performansını değerlendirmek için sayısal bir simülasyon gerçekleştirdi (Tiwari ve Sodha, 2006). Morteza pour ve ark. PV/T sisteminin iki konfigürasyonunun performans değerlendirmesini analitik ve deneysel olarak incelemiştir (Morteza pour vd., 2012). Bir PV/T tasarımı, en aza indirilmesi gereken Yaşam Döngüsü Giderleri gibi bazı önemli ekonomik endeksler açısından dikkatle incelenmelidir (Morteza pour vd., 2011). Araştırmacılar, mekan ısıtma (Sukamongkol vd., 2010, Rajoria, 2016) ve kurutma işlemleri (Fterich vd., 2018, Tiwari vd., 2017) dahil olmak üzere farklı kullanım uygulamalarına sahip PV/T sistemleri üzerine çalışmalar yapmıştır. Cezayir'in iklim koşulları altında Slimani ve ark. PV/T ve PV sistemlerini karşılaştırdı (Slimani vd., 2017).

Bu çalışmada; şebekeden bağımsız PV ve PV/T sistemlerinin kıyaslamalı analizi yapılmıştır. Her iki sistem Trakya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yenilenebilir Enerji Sistemleri Test sahasında

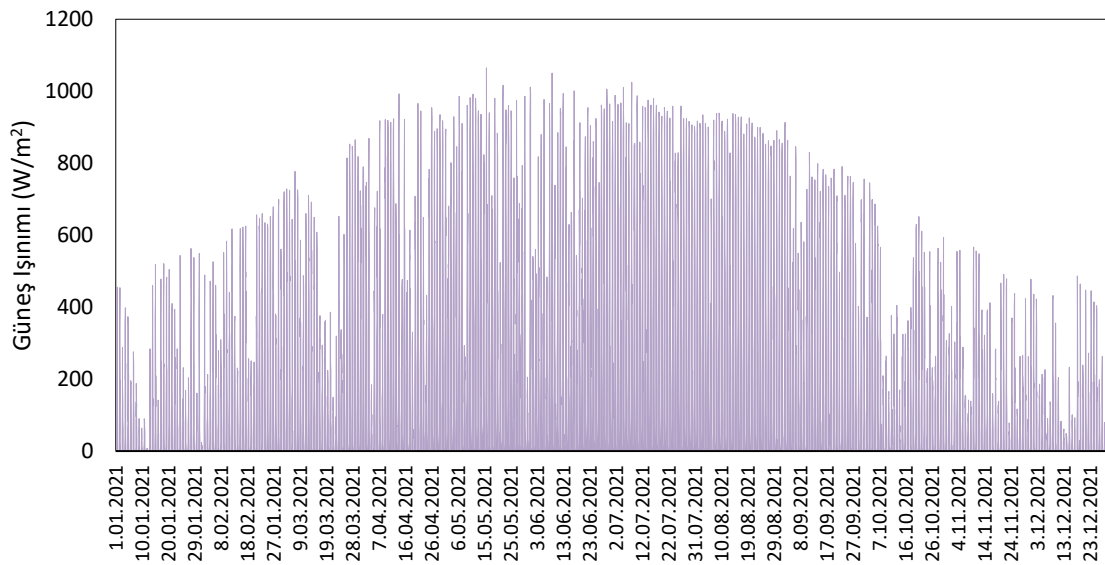
kurulmuştur. Çalışmada, termal panel olarak delikli emici panele sahip havalı güneş kolektörü kullanılmıştır. Uzun dönem ölçümler yardımı ile hem elektrik hem de termal enerji üretimleri değerlendirilmiştir. Edirne iklim koşullarında hangi sistemin performansının daha yüksek olacağı belirlenip, iki yıllık deneysel çalışmalar sonucunda ölçülen verilerle yapılan analizler ile kanıtlanmıştır. Yapılan çalışma, Edirne ve benzer iklim koşullarında konumlanan binaların elektrik ve ısı enerjisini üretecek sistem uygulamaları için bir kılavuz olacaktır. Ayrıca hava sızdırmalı kolektör uygulamalarının önemli bir kısmının duvarda olması nedeniyle, bugüne kadar çatı tipi bir hava sızdırmalı PV/T uygulaması ne yazık ki test edilmemiştir. Oysa bu konu çatı uygulamaları ve berberine hibrit uygulamalar bakımında önemlidir. Dolayısıyla bu projede ile hava sızdırmalı PV/T çalışmalarına da ayrı bir katkı sağlanmıştır.

## 2. Materyal ve yöntem

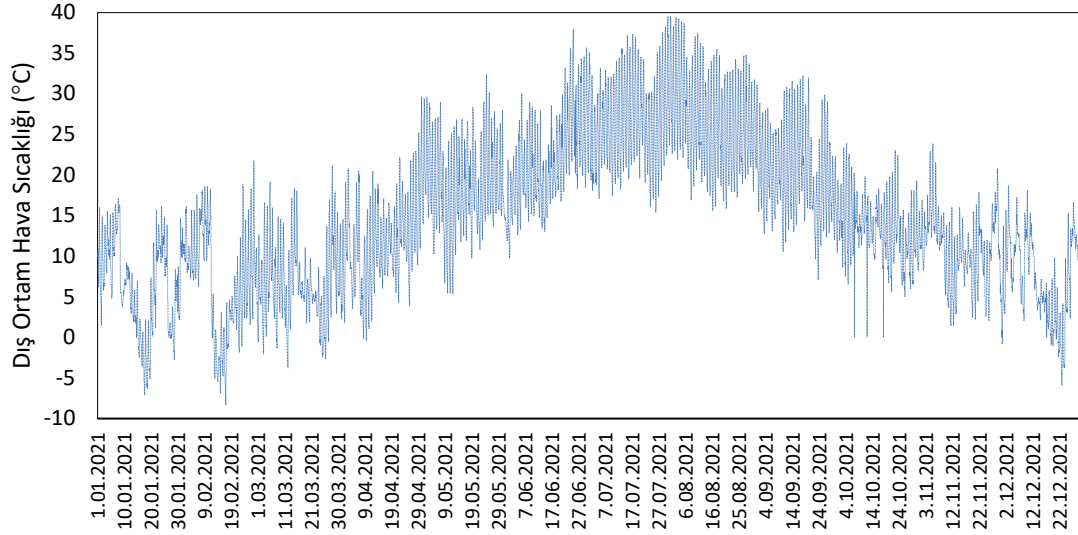
### 2.1. Kurulum yapılan bölgenin özellikleri

Sistem kurulumu yapılacak bölgenin ve sahanın güneş enerjisi potansiyeli açısından değerlendirilmesi gerekmektedir. Kurulumun yapıldığı Edirne ilinde bulunan Trakya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yenilenebilir Enerji Sistemleri test sahasında meteoroloji istasyonu ile güneş ışınımı, dış ortam sıcaklığı, rüzgar hızı ve yönü, dış ortam nem değeri verileri ölçülmüştür. Şekil 1'de Edirne 2021 yılı ortalama güneş ışınımı, Şekil 2'de Edirne 2021 yılı ortalama hava sıcaklığı diyagramları yer almaktadır.

Edirne 1400 ile 1450 kWh-m<sup>2</sup>/yıl ortalama radyasyon değerleri ile güneş enerji sistemi kurulmasına da imkân vermektedir (Trakya Kalkınma Ajansı, 2012). Yaz döneminde 30°C'nin altına düşmeyen sıcaklıklarla, haziran ayında m<sup>2</sup> 'ye düşen en yüksek radyasyon değerlerine ulaşırken, temmuz ayında ise en uzun güneşlenme süresi görülmektedir.



Şekil 1. Edirne 2021 yılı ortalama güneş ışınımı



**Şekil 2.** Edirne 2021 yılı ortalama hava sıcaklığı

Yapılan ölçümlerde görüldüğü üzere, güneş ışınım değerleri fevkalade iyidir. Güneş ışınımı ise anlık olarak 1200 Watt/m<sup>2</sup> değerine kadar çıkmakta ve PV sistemleri için iyi bir potansiyel söz konusudur. Bununla birlikte hava sıcaklığının da yaz aylarında 40°C 'ye kadar ulaştığı dolayısıyla yüksek ışınlımla birlikte bu durumun PV ısınmasında ve elektrik üretim verimliliğinin azalmasında önemli bir rol oynadığı gözlenmiştir. Bu bakımdan PV/T sistemleri ideal olmamakla birlikte verimlilik artırıcı bir fonksiyona sahip olmaktadır.

## 2.2. Sistem özellikleri

### 2.2.1 Teori

PV panellerin çıkış gücü hava koşullarından, güneş ışınlımından ve panel sıcaklığından oldukça etkilenir. Çalışma gerilimi  $V_{PV}$  (V) ve akımı  $I_{PV}$  (A), PV modül üzerine düşen güneş ışınlımına, ortam sıcaklığına ve PV modülün malzeme özelliklerine bağlı olarak PV panelin güç çıkışını belirler. PV panelin çıkış gücü  $P$  (W), Eşitlik 1 ile ifade edilir.  $N_{PV}$  (adet), PV panel sayısıdır.

$$P_{PV} = V_{PV} \times I_{PV} \times N_{PV} \quad (1)$$

$T_c$  (°C) ortalama panel sıcaklığının fonksiyonu olarak ifade edilen PV panel verimliliği ( $\eta_{PV}$ ) Eşitlik 2 ile ifade edilir.

$$\eta_{PV} = \eta_r [1 - \beta_p (T_c - T_r)] \quad (2)$$

Denklemden yer alan  $\eta_r$ ,  $T_r$  (°C) referans sıcaklığındaki (=25°C) verimdir.  $\beta_p$ , sıcaklık katsayısıdır.  $T_c$  (°C) ortalama panel sıcaklığı, ortalama aylık ortam sıcaklığı  $T_a$  (°C) ile ilişkilidir (Retscreen, 2005) ve Eşitlik 3 ile ifade edilir.

$$T_c - T_a = (219 + 832 \bar{K}_t) \frac{NOCT-20}{800} \quad (3)$$

Denklemden  $NOCT$  (°C) nominal çalışma PV panel sıcaklığı,  $\bar{K}_t$  ortalama aylık hava açıklık indeksidir.  $\eta_r$ ,  $NOCT$  ve  $\beta_p$ , PV panelin türüne bağlıdır. Poli-kristal PV malzeme için  $\eta_r = 11$ ,  $NOCT=45^\circ\text{C}$  ve  $\beta_p=0,4$  %/°C 'dir (Retscreen, 2005).

Havalı kolektörden birim alan başına termal ısı çıkışı oranı Eşitlik 4 ile hesaplanmaktadır.

$$\dot{q} = \dot{m} C_p (T_c - T_g) / A_{PV/T} \quad (4)$$

Denklemden  $\dot{m}$  havanın kütleli debisi,  $C_p$  (J/kg°C) havanın özgül ısınma ısısı,  $T_c$  (°C) hava çıkış sıcaklığı,  $T_g$  (°C) hava giriş sıcaklığı ve  $A_{PV/T}$  (m<sup>2</sup>) kolektör alanıdır.

PV/T sistem termal verimi Eşitlik 5 ile, elektriksel verimi Eşitlik 6 ile ifade edilir.  $G_{SR}$  ( $W/m^2$ ) güneş ışınımıdır.

$$\eta_{th} = [\dot{m} C_p (T_c - T_g)] / (A_{PV/T} G_{SR}) \quad (5)$$

$$\eta_e = (V I) / (A_{PV/T} G_{SR}) \quad (6)$$

PV/T modüllerinin toplam verimliliği, elektriksel ve termal verimlerin toplamı Eşitlik 7 ile hesaplanır (Dag ve Koçar, 2020)

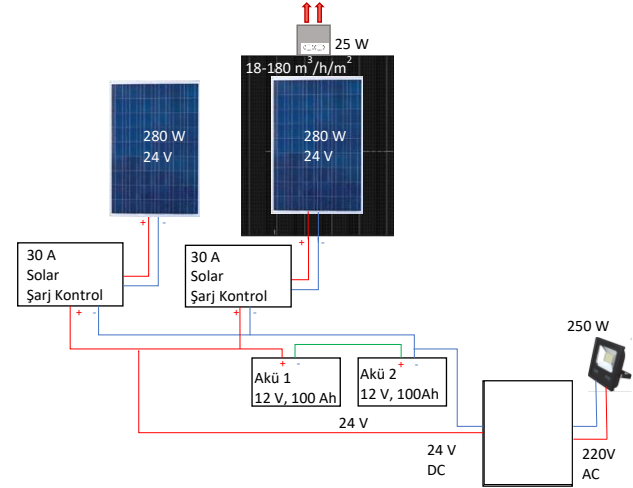
$$\eta_{total} = \eta_{th} + \eta_e \quad (7)$$

### 2.2.1 Deney tesisatı

Uygulaması yapılan olan PV sistemi iki farklı konfigürasyona sahiptir. Birinci konfigürasyonda PV tek başına referans güneş paneli olarak yer alırken ikinci konfigürasyonda ise PV paneli bir delikli emici panele sahip havalı güneş kolektörüne entegre olarak test edilmektedir. İncelenen PV ve PV/T sistemleri fotoğrafları Şekil 3'te, tesisat şemaları Şekil 4'te yer almaktadır. Tablo 1'de PV ve PV/T enerji sistemleri elemanları ve özellikleri görülmektedir. Fotovoltaik/termal sisteminin diğer bir önemli bileşeni delikli emici panele sahip havalı güneş toplayıcısıdır. Normalde binaların dış cephelerine monte edilen, metal malzemeden üretilmiş bir cephe kaplama sistemidir. Sistemin en önemli elemanı güneş enerjisini emen delikli paneldir. Emici panel, güneş ışınımı etkisiyle ısınmakta ve üzerindeki çok sayıda özel tasarımı milimetrik delikleri sayesinde, dış havayı ısıtarak iç ortama göndermektedir. Dolayısıyla bu yapısı nedeniyle kolektör PV/T uygulamaları için ideal sistemlerden birisi olarak kullanılmaktadır. Delikli emici paneli sistem binaların dış cephe ve çatılarına uygulanan hava ısıtmada kullanılan sistemdir ve çatı uygulamaları, konutlarda iç ortam havası ısıtma, endüstriyel tesislerde hacim ısıtma ve sıcak proses havası üretimi için kullanılmaktadır.



Şekil 3. PV ve PV/T sistemleri



Şekil 4. PV ve PV/T sistem şemaları

Tablo 1. PV ve PV/T enerji sistemleri elemanları

Sistem Elemanı	Özellik
Fotovoltaik sistem	
Polikristal güneş paneli (PV)	280 W, 24 V
Şarj Kontrol Cihazı	30 A
Fotovoltaik Termal (PV/T) Sistem	
Polikristal fotovoltaik panel	280 W, 24 V
Hava sızdırmalı güneş kolektörü	5 m <sup>2</sup>
Fan	
Şarj kontrol cihazı	30 A
Fan hız kontrol cihazı	
Akü	100 ah, 12 V
İnverter	1200 W, 24 V
AC led projektörler (Direnç, yük)	50 – 100 -100 W (kombinasyonları)
Veri kaydediciler	

Fotovoltaik (PV) ve fotovoltaik/termal (PV/T) sistemler tam güneşe bakacak şekilde 10° eğim açısı ile konumlandırılmıştır. Türkiye için yapılan çalışmalarda %25 e kadar çatı eğimi görülmektedir. Literatürde çatı ile ilgili yapılan çalışmalarda çatı eğimleri 10° ve 40°

arasında değişmektedir. Sistemde Türkiye'deki çatı eğimi simüle edilmiştir (Guirguisa vd. 2007, Alptekin vd. 2014). Tablo 2'de PV panellerin, Tablo 3'te havalı güneş kolektörünün teknik özellikleri yer almaktadır. Her iki sistemde de aynı özellikte PV panel kullanılmıştır. Veri kaydedicinin ve PV/T sistemde kullanılan fanın tükettiği enerji şebekeden sağlanmıştır.

**Tablo 2.** PV panel teknik özellikleri

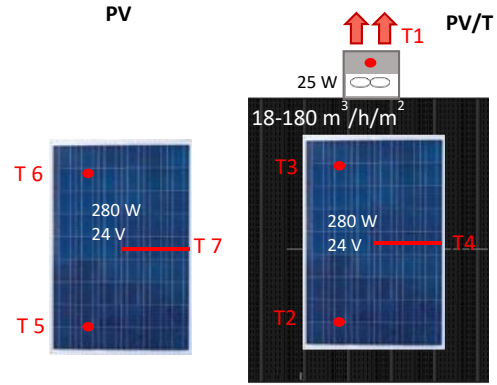
Özellik	Değer
Hücre Tipi	Polikristal
Hücre dizilişi	60 (60x1)
Boyutlar	1640x990x35 mm
Ağırlık	19 kg
Ön kaplama	3,2 mm temperli cam
Çerçeve malzemesi	Alaşımlı alüminyum
J-box	IP67
Kablo	4 mm <sup>2</sup> (IEC)/12AWG(UL), 900 mm
Nominal Max. Güç	280 W
Optimum Çalışma Gerilimi	31,2 V
Optimum Çalışma Akımı	8,97 A
Açık Çevrim Gerilimi (Voc)	37,8 V
Kısa Çevrim Akımı (Isc)	9,50 A
Modül verimi	%19
Çalışma Sıcaklığı	-40°C~+85°C
Güç Toleransı	0 ~ 5 W

**Tablo 3.** Havalı güneş kolektörünün teknik özellikleri

Özellik	Değer
Kolektör emiciliği	0,92
Kolektör alanı	5 m <sup>2</sup>
Kolektör oryantasyonu	0° azimut
Hava debisi max (1m <sup>2</sup> 'deki)	180 m <sup>3</sup> /h /m <sup>2</sup>

Meteoroloji istasyonu verileri, güneş ışınımı, dış ortam sıcaklığı, rüzgar hızı ve yönü, dış ortam nem değeri verileri ölçümleri, PV sistem ve PV/T sistem enerji üretim değerleri eş zamanlı olarak ölçülüp, kayıt

edilmiştir. Sistemlere monte edilen sıcaklık sensörleri veri kaydedici cihazlara bağlanarak ölçülen değerler kaydedilerek depolanmıştır. 7 adet sıcaklık sensörlerinin sistemlere montajı yapılmıştır. Sıcaklık sensörleri veri kaydedici cihazlara bağlanarak ölçülen değerler kaydedilerek depolanmıştır. Şekil 5'te sıcaklık ölçüm noktaları görülmektedir. Tablo 4'te sıcaklık ölçüm noktaları açıklanmıştır. Ölçümlerde -100 °C ile 100 °C arasında, ± 0,5 hassasiyetle ölçüm yapan özel yapım J tipi termokupllar kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan tüm veriler dakikada bir yapılan ölçümlerle elde edilmiştir. Dakikalık veriler saatlik, günlük, aylık ve yıllık verilerin elde edilmesinde kullanılmıştır. Tablo 5'te deneysel kurulumda kullanılan veri kaydedicilerin teknik özellikleri yer almaktadır.



**Şekil 5.** Sıcaklık ölçüm noktaları

**Tablo 4.** Sıcaklık ölçüm noktaları

Ölçüm noktası	Açıklama
T1	PV/T, kolektör hava çıkış sıcaklığı
T2	PV/T, PV alt arka yüzey sıcaklığı
T3	PV/T, PV üst arka yüzey sıcaklığı
T4	PV/T, PV alt hava sıcaklığı
T5	PV, PV alt arka yüzey sıcaklığı
T6	PV, PV üst arka yüzey sıcaklığı
T7	PV, PV alt hava sıcaklığı

**Tablo 5.** Kullanılan sensörlerin ve veri kaydedicinin teknik özellikleri

Özellik	Değer
<b>Graphtech GL240</b>	
Kanal sayısı	10
Ölçüm	Voltaj, Sıcaklık, Nem
Maksimum örnekleme	10 ms/1 kanal
Ölçüm aralığı	

Gerilim	20, 50, 100, 200, 500 mV, 1, 2, 5, 10, 20, 50 V, and 1-5 V /F.S.
Sıcaklık	Termokupl: K, J, E, T, R, S, B, N, W (WRe5-26)
Nem	0...100%
Ölçüm doğruluğu	
Gerilim	0.1 % of F.S.
Sıcaklık	± 1.7 °C (J tipi) -100 °C < T ≤ 100 °C için
<b>Solar DL Veri kaydedici</b>	
Akü girişi	9-65V DC – 150A
Panel girişi	0-150V DC – 60A
Örnekleme süresi	50 ms
Kayıt sıklığı	1 s
Doğruluk	%98
Ölçüm	Akım, Gerilim, Sıcaklık

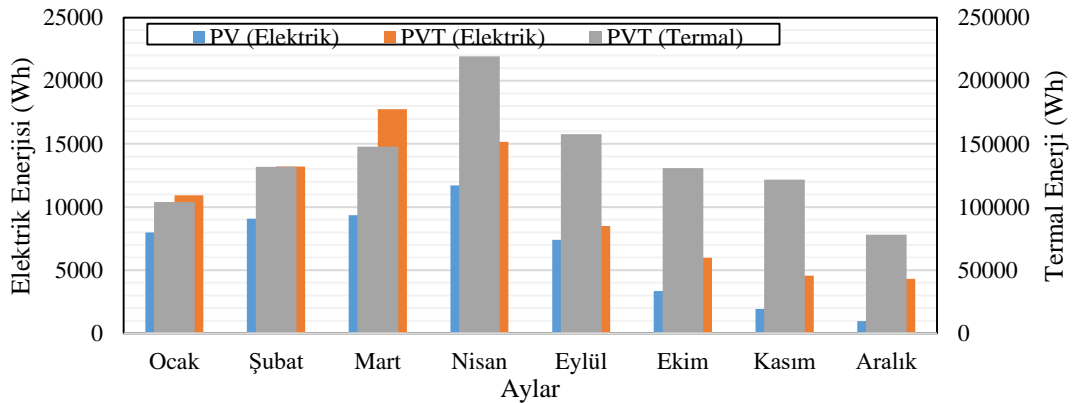
### 3.2. Bulgular ve tartışma

Fotovoltaik sistem ve Fotovoltaik / Termal sistem enerji üretim değerleri eş zamanlı olarak ölçülüp, kaydedildi. Sistemler eş zamanlı olarak devrede olduğu eşit iklim ve işletme koşullarında ölçülen verilerden faydalanılarak, PV ve PV/T sistemler için enerji üretimi, güç profilleri ve sistem performansları belirlendi ve performansları kıyaslandı. Tablo 6'da 2021 yılı yaz dönemi dışındaki aylar için PV ve PV/T sistemlerinin elektrik ve PV/T sisteminin termal enerji üretimleri yer almaktadır. Aralık ayı için enerji üretim değerlerinin diğer aylara kıyasla düşük olmasının sebebi, sistem arızalarından dolayı bazı günlerde ölçüm

yapılamamasıdır. PV ve PV/T 2021 yılı için Şekil 7'de şubat ayı, Şekil 8'de kasım ayı ve Şekil 9 ve Şekil 10'da 4 Kasım 2021 tarihindeki PV ve PV/T sistemlerinin akım, gerilim ve üretilen güç değerleri görülmektedir. Şekil 11 ve Şekil 12'de 4 Kasım 2021 tarihindeki PV/T ve PV sistemlerindeki panel sıcaklık değerleri ve güneş ışınımı yer almaktadır. Şekil 13'te 4 Kasım 2021 tarihinde ölçülen değerlere göre iki PV panel arasında maksimum 10°C sıcaklık farkı olduğu görülmektedir. Diyagramdan görüldüğü gibi gün içerisinde sıcaklık farkı değişmektedir. Şekil 14'te Kasım 2021 ayı ölçümleri dikkate alındı ise iki panel arasındaki sıcaklık farkının 14,5°C'ye ulaştığı görülmektedir.

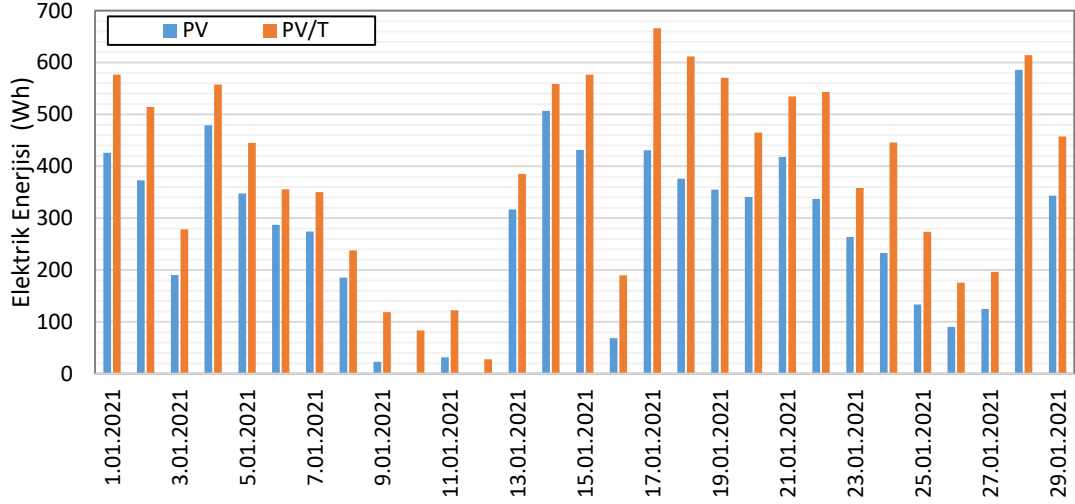
**Tablo 6.** PV ve PV/T sistemlerinin enerji üretimleri

Aylar (2021)	Elektrik Üretimi (Wh)		Termal Enerji Üretimi (Wh)
	PV	PV/T	PV/T
Ocak	7976	10929	104030
Şubat	9084	13207	131926
Mart	9349	17760	147832
Nisan	11702	15171	219423
Eylül	7406	8493	157650
Ekim	3338	5983	130929
Kasım	1935	4562	121650
Aralık	955	4317	78081
Toplam	51745	80422	1091521

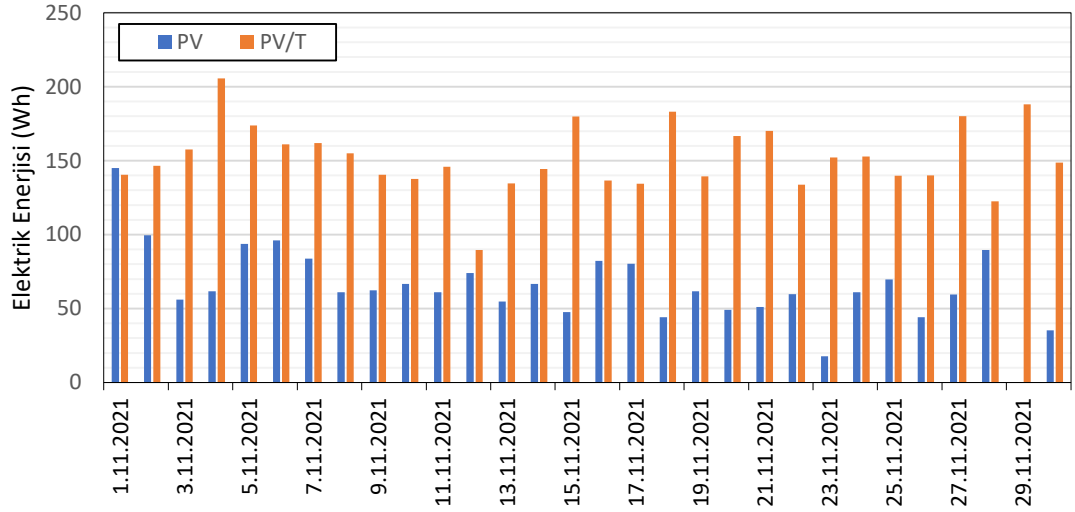


**Şekil 6.** 2021 yılı yaz dönemi dışındaki aylar için PV ve PV/T sistemlerinin elektrik ve PV/T sisteminin termal enerji üretimleri

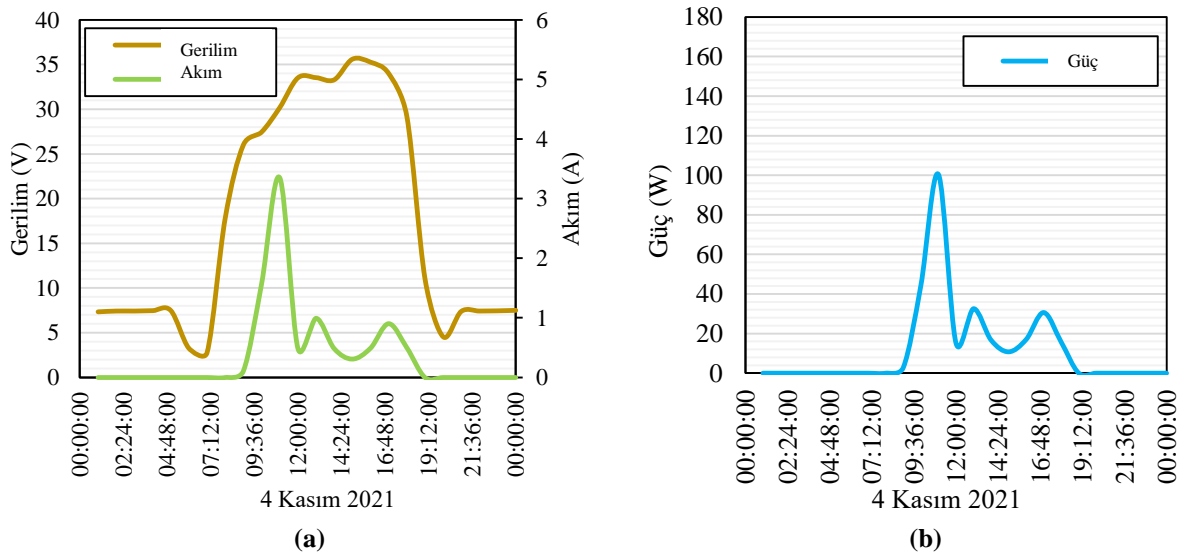




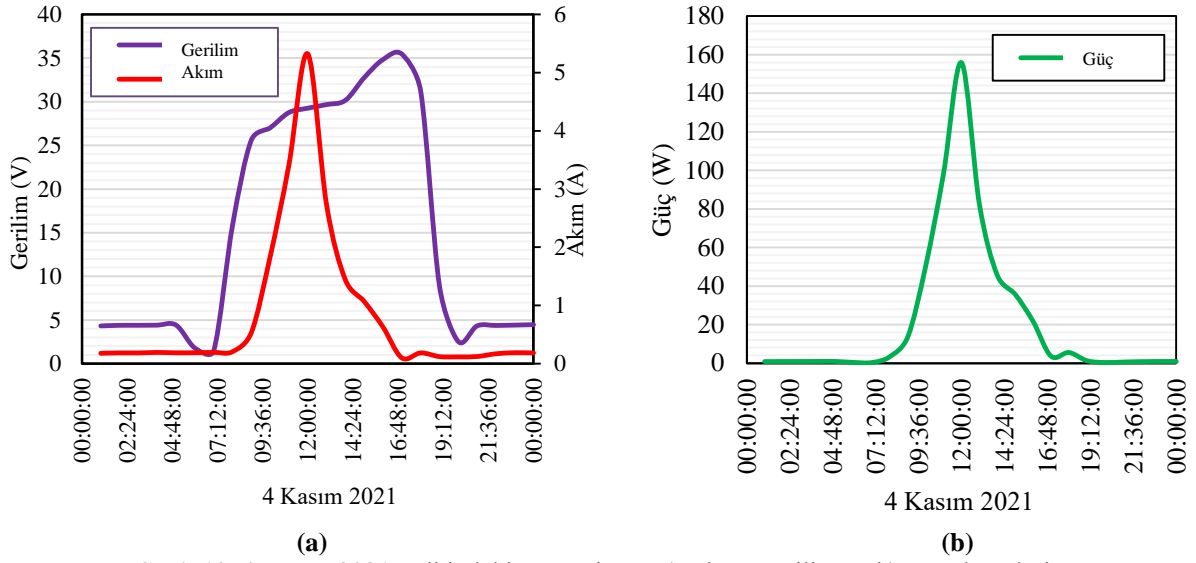
Şekil 7. PV ve PV/T 2021 yılı ocak ayı günlük bazda enerji üretimleri



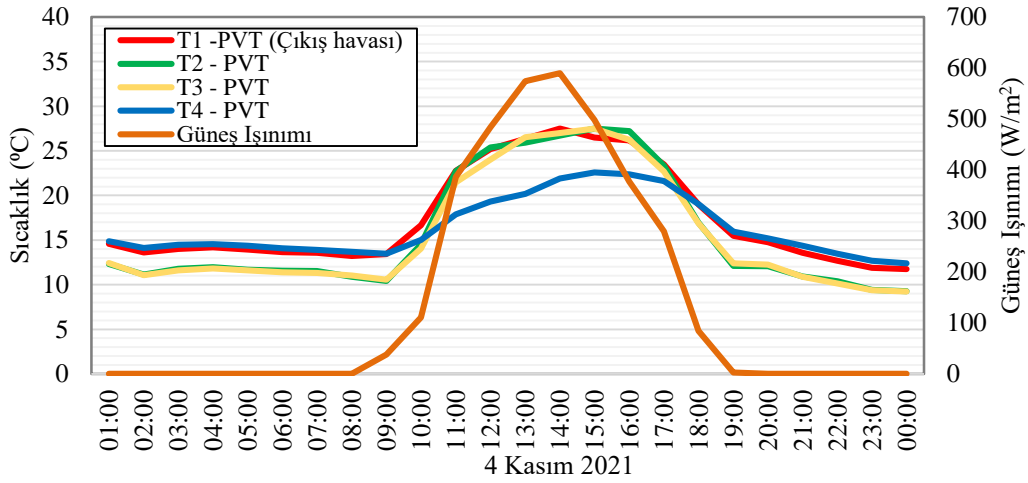
Şekil 8. PV ve PV/T 2021 yılı kasım ayı günlük bazda enerji üretimleri



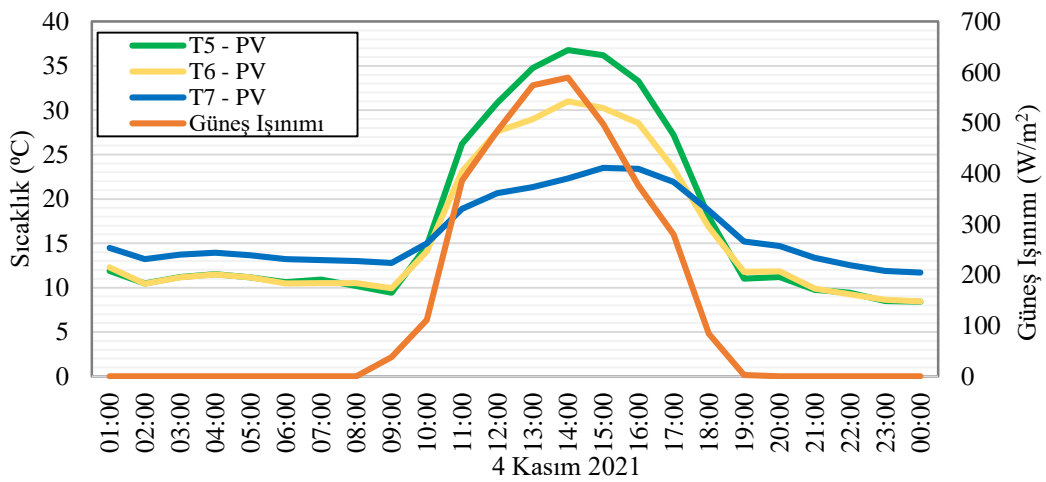
Şekil 9. 4 Kasım 2021 tarihindeki PV sistem a) Akım, gerilim ve b) Güç değerleri



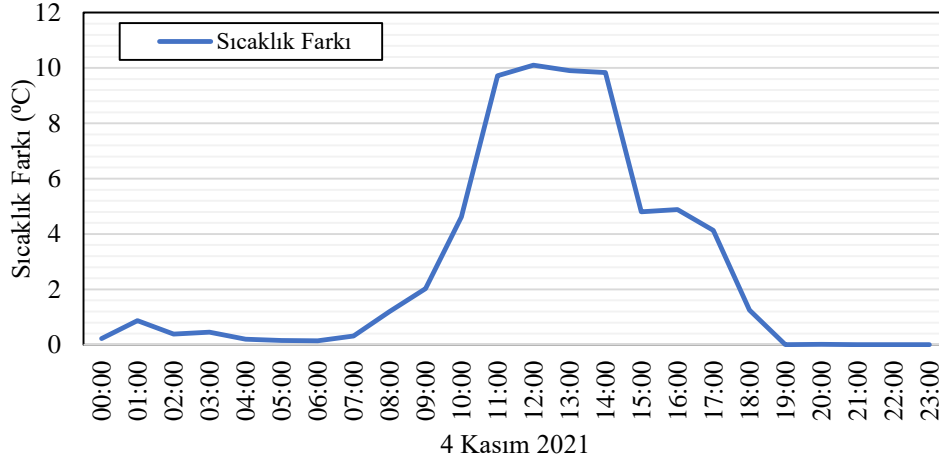
Şekil 10. 4 Kasım 2021 tarihindeki PV/T sistem a) Akım, gerilim ve b) Güç değerleri



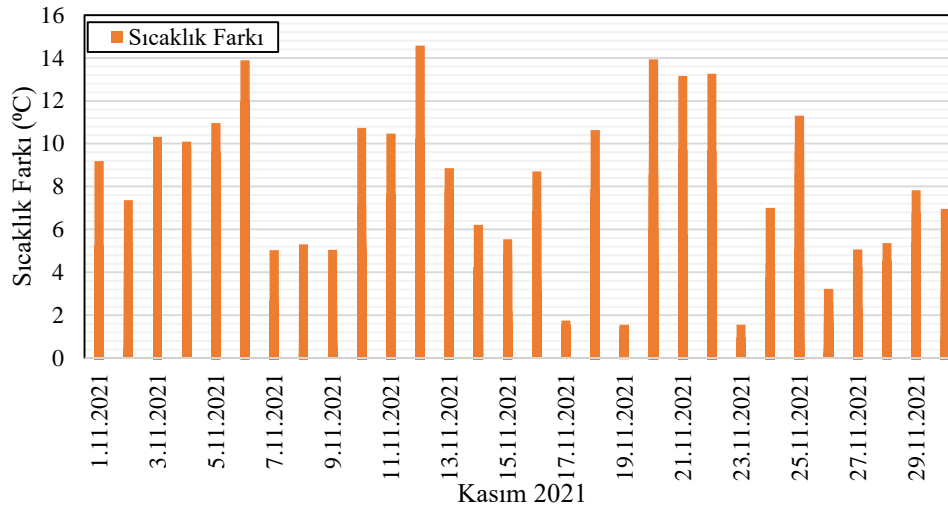
Şekil 11. 4 Kasım 2021 tarihindeki PV/T sistem sıcaklık değerleri ve güneş ışınımı



Şekil 12. 4 Kasım 2021 tarihindeki PV/T sistem sıcaklık değerleri ve güneş ışınımı



Şekil 13. 4 Kasım 2021 tarihinde gün boyunca PV ve PV/T sistem panel sıcaklıkları farkı

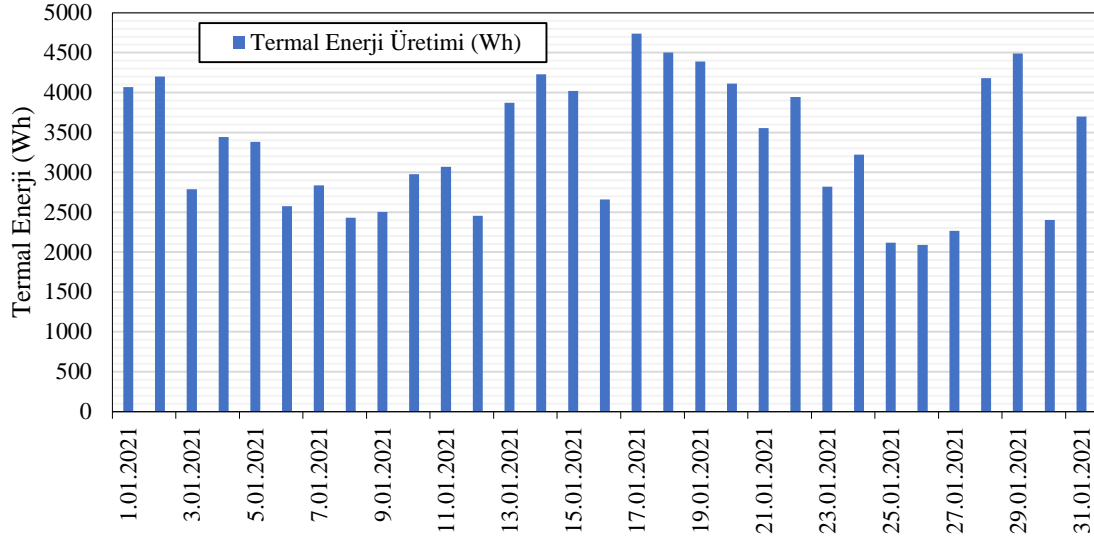


Şekil 14. Kasım 2021 ayı boyunca PV ve PV/T sistem panel sıcaklıkları farkı

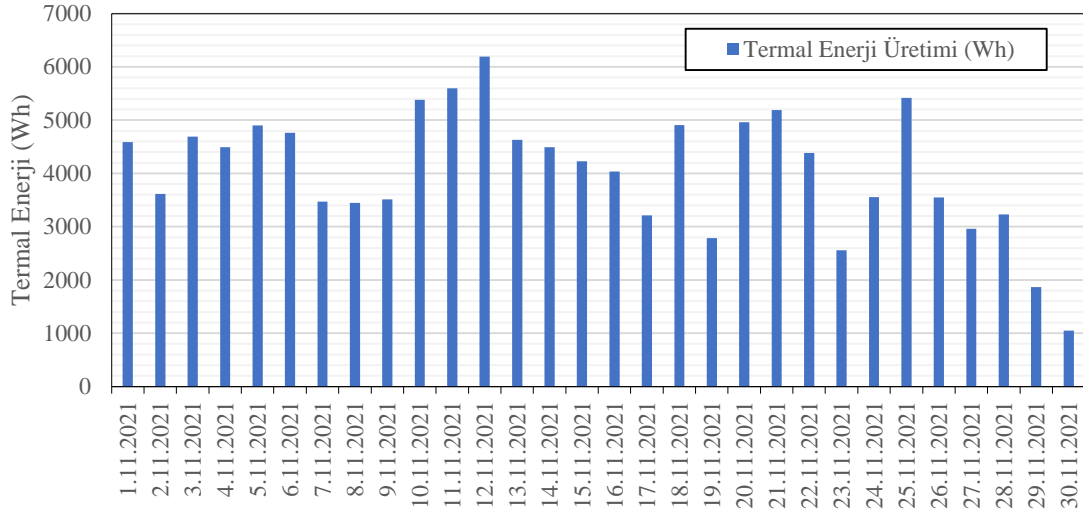
Hibrit sistemin elektrik üretim performansları incelendiğinde, beklenildiği üzere PV/T sistemi PV sistemine göre yıllık bazda %55 oranında daha fazla elektrik üretimi yaptığı görülmektedir. Bu değer literatürde elde edilen değerlerle uyum içerisindedir. Soğutma etkisi iki yönde gerçekleşmektedir, soğutma yapılan panelin ürettiği güç belirgin olarak artarken, her saat diliminde gerçekleşen enerji üretimi de artmaktadır.

Sistemin termal performansı Şekil 15 ve Şekil 16'da verilmiştir. Yaz dönemi dışında PV/T sistem termal

kolektörünün ürettiği ısı enerjisi 1.091.521 Wh değerindedir. Bu çalışmada çatı tipi uygulaması yapıldığı için eğim 10 derecedir ve kış aylarında yüksek miktarda ısı toplanmasına engel teşkil etmektedir. Eğim açısının 60-90 derece arasında olması halinde, örneğin bir duvar uygulaması, bu durumda kolektörün sağlayacağı termal enerji 2-3 misli artacaktır (Eryener ve Akhan, 2015). Bununla birlikte elde edilen sonuç iyi olarak kabul edilebilecek seviyededir.



Şekil 15. 2021 yılı ocak ayı günlük bazda termal enerji üretimleri

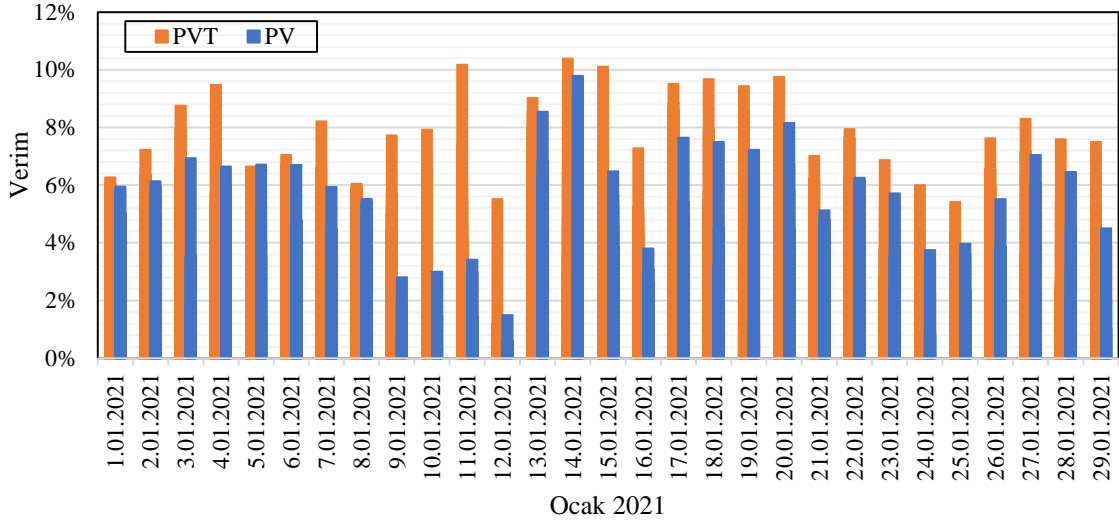


Şekil 16. 2021 yılı kasım ayı günlük bazda termal enerji üretimleri

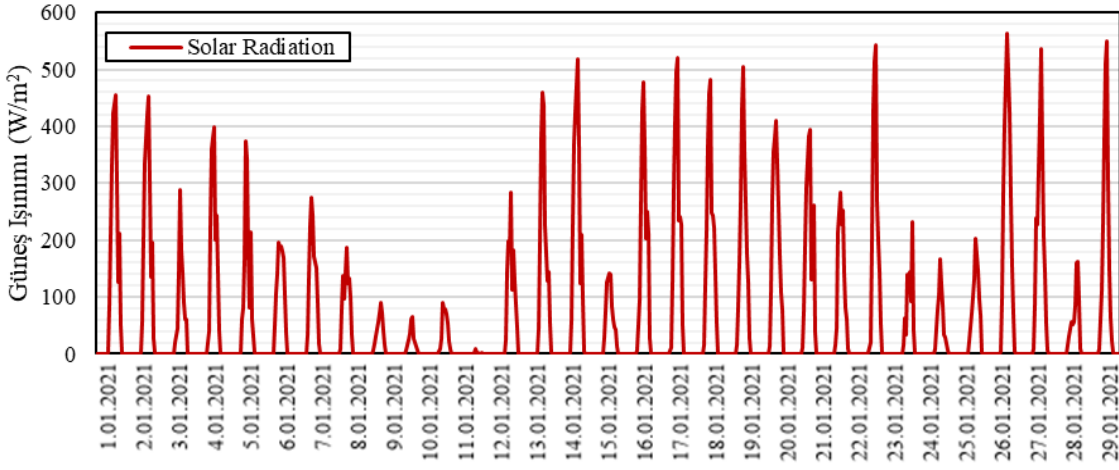
Soğutmada çok önemli bir husus, kullanılan fan debisinin etkisidir. Normal olarak debi arttıkça soğutma etkinliği artmaktadır, ancak deneyler sırasında bu etki incelenmemiştir, sabit bir debi üzerinden sistem çalıştırılmıştır çünkü sistemde çok sayıda parametre vardır ve bunların etkin incelenmesi için bazı temel fonksiyonlar sabit tutulmuştur. İlerleyen zamanlarda

farklı debiler için soğutma etkinliğinin değişimi incelenecektir.

Şekil 17 a ve b'de 2021 Ocak ayı için PV ve PV/T sistemlerinin verimleri ve güneş ışıınımlı değerleri yer almaktadır.



(a)



(b)

Şekil 17. 2021 Ocak ayı için a) PV ve PVT sistemlerinin verimleri, b) Güneş ışınımı

## 5. Sonuç

Çalışma kapsamında yapılan analizlerde Edirne ilinde küçük ölçekli üretim uygulamalarında elektrik üretimi PV/T için 80.422 kWh, PV için 51.745 kWh olarak belirlenmiştir. Eş zamanlı olarak PV/T sistem ile 1.091.521 kWh termal enerji üretimi sağlanmıştır. Analiz sonuçlarına dayanarak Edirne ve benzer iklim koşullarında konumlanan binaların elektrik ihtiyacını karşılamak için PV/T sistemlerin daha uygun olduğu görülmektedir. 2021 yılı PV/T sistemi elektrik üretimi %55 oranında daha fazla gerçekleşmiştir. İşletme koşulları, yani tüketim noktasındaki süreklilik burada da belirleyici bir rol oynamaktadır. PV/T sisteminde yer alan güneşle hava ısıtma sistemi normalde ayrı bir sistemdir ve pahalıdır. PV/T sistemi normal PV

sistemine göre daha fazla elektrik üretir ancak sadece elektrik üretimi için PV soğutmasının yapılması toplam sistem maliyetinde önemli bir artışa neden olmaktadır. Dolayısıyla aynı bina da ısı ihtiyacının olması durumunda PV/T sistemi anlamlı hale gelmektedir. PV/T sistemi verimli çalışmaktadır. Ancak sistemin uygulanması ısı ihtiyacı olması halinde daha maliyet etkin olacaktır. Özellikle günümüzde mekanlarda temiz hava kullanımının önemi tam olarak anlaşılmıştır. Burada kullanılan termal kolektör sıcak hava üretme özelliğine sahiptir, dolayısıyla hem mekanik havalandırma hem de ısıtma olarak sistemin kullanıldığı yerde çifte fayda sağlayabilir, bu açıdan yapılabilirliği yüksek olan bir sistemdir. Ancak termal ihtiyacın olmadığı durumda, soğutma sayesinde

elektrik üretiminde sağlanan ilave verimlilik artışı ile sağlanan faydanın ekonomik geri dönüşü, maliyetler nedeniyle uzun olacaktır.

### Teşekkür

Bu çalışma, Trakya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (TÜBAP) tarafından finanse edilmiştir (Proje No: 2020/31).

### Kaynaklar

AEO. Annual Energy Outlook 2018 with projections to 2050. <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/AEO2018.pdf>.

Alptekin, G.A., Bostancıoğlu E., Kasapoğlu E. (2014). İklim bölgelerine bağlı olarak çatı eğimlerinin değerlendirilmesi. 7. Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu, Yıldız Teknik Üniversitesi.

Avezov, R.R., Akhatov, J.S., Avezova, N.R. (2011). A review on photovoltaic-thermal (PV-T) air and water collectors. *Appl Sol Energy*, 47,169–83.

Balakumar, P., Vinopraba, T., Sankar, S., Santhoshkumar, S. ve Chandrasekaran K. (2022). Smart Hybrid Microgrid for Effective Distributed Renewable Energy Sharing of PV Prosumers. *Journal of Energy Storage*, 49(104033), 1-21.

Bhattarai, S., et al. (2013). Comparative study of photovoltaic and thermal solar systems with different storage capacities: performance evaluation and economic analysis. *Energy*, 61, 272-82.

Clean Energy Project Analysis Third Edition, Minister of Natural Resources Canada 2001 - 2005

Çiftçi, E., Khanlari, A., Sözen, A., Aytaç, İ. ve Tuncer, A., (2021). *Renewable Energy*, 180, 410-423.

Dag HI, Kocar G.(2020). Experimental investigation on performance parameters affecting the efficiency

of water type PV/thermal collectors with modified absorber configurations. *J Polytech.*, 0900, 915–31. <https://doi.org/10.2339/politeknik.724033>.

Eryener, D., Akhan, H. (2015). The performance of first transpired solar collector installation in Turkey. 4th International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry (SHC) 2015. 91, 442-449.

Fterich, M., Chouikhi, H., Bentaher, H., Maalej, A. (2018). Experimental parametric study of a mixed-mode forced convection solar dryer equipped with a PV/T air collector. *Sol Energy*, 171, 751–60.

Guirguisa, N.M., Abd El-Aziz, A.A., Nassief, M.M. (2007). Study of wind effects on different buildings of pitched roofs. *Desalination*, 209(1–3), 190-198

Hegazy, A.A. (2000). Comparative study of the performances of four photovoltaic/ thermal solar air collectors. *Energy Convers Manage.*, 41(8),861–81.

Jie, J., et al. (2006). Effect of fluid flow and packing factor on energy performance of a wall-mounted hybrid photovoltaic/water-heating collector system. *Energy Build.*, 38(12),1380-7.


Mortezapour, H., Ghobadian, B., Khoshtaghaza, M.H., Minaei, S. (2012). Performance analysis of a two-way hybrid photovoltaic/thermal solar collector. *J Agric Sci Technol*, 14, 767–80.

Pattabiraman, R. (1981). Analytical predictions of liquid and air photovoltaic/thermal, flat-plate collector performance. *J Sol Energy Eng.*, 103(4), 291-8.

Rajoria, C.S., Agrawal, S., Chandra, S., Tiwari, G.N., Chauhan, D.S. (2016). A Novel investigation of building integrated photovoltaic thermal (BiPV/T) system: a comparative study. *Sol Energy*, 131, 107–18.

- Ruobing, L., et al. (2015). Performance evaluation of new type hybrid photovoltaic/ thermal solar collector by experimental study. *Appl Therm Eng.*, 75, 487-92.
- Slimani, M.E.A., Amirat, M., Kurucz, I., Bahria, S., Hamidat, A., Chaouch, W.B. (2017). A detailed thermal-electrical model of three photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid air collectors and photovoltaic (PV) module: Comparative study under Algiers climatic conditions. *Energy Convers Manag.*, 133, 458–76.
- Sukamongkol, Y. (2010). Chungpaibulpatana S, Limmeechokchai B, Sripadungtham P. Condenser heat recovery with a PV/T air heating collector to regenerate desiccant for reducing energy use of an air conditioning room. *Energy Build*, 42, 315–25.
- Thrace Development Agency, (2012). TR21 Thrace Region Energy Report. 466 [https://www.trakyaka.org.tr/upload/Node/33092/xfiles/enerji\\_raporu.pdf](https://www.trakyaka.org.tr/upload/Node/33092/xfiles/enerji_raporu.pdf).
- Tiwari, A., Sodha, M.S., Chandra, A., et al. (2006). Performance evaluation of photovoltaic/ thermal solar air collector for composite climate of India. *Sol Energy Mater Sol Cells*, 90(2), 175–89.
- Tiwari, A., Sodha, M.S. (2007). Parametric study of various configurations of hybrid PV/ thermal air collector: experimental validation of theoretical model. *Sol Energy Mater Sol Cells*, 91, 17–28.
- Tiwari, S., Tiwari, G.N. (2017). Energy and exergy analysis of a mixed-mode greenhouse type solar dryer, integrated with partially covered N-PV/T air collector. *Energy*, 128, 183–95.

# ERKEN CUMHURİYET DÖNEMİNDE İSTANBUL'DA YAKIT DEPOLAMA TESİSLERİ

Burcu ÖZGÜVEN <sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup> Trakya Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Edirne, TÜRKİYE

**Makale Künye Bilgisi:** Özgüven, B., (2023). Erken Cumhuriyet Döneminde İstanbul'da Yakıt Depolama Tesisleri, *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(2), 71-84.

## Öne Çıkanlar

- Yirminci yüzyıl başlarına ait Osmanlı ve Cumhuriyet dönemi İstanbul şehir istatistiklerinde, üretim tesislerinde kullanılan motor gücüne ilişkin veriler sayesinde sanayi tesislerinde kullanılan yakıt türü belirlenmektedir.
- Kıyı alanlarında erken Cumhuriyet döneminde etkin olan akaryakıt ve kömür depolarının özellikleri tespit edilmektedir.
- Bu alanlarda meydana gelen çeşitli sorunlar İstanbul'un modernleşme aşamasında bölgesel karakteristiği dönüştürmektedir.

Makale Bilgileri	Öz
<b>Makale Tarihiçesi:</b> Geliş: 2 Aralık 2023 Kabul: 21 Aralık 2023	Erken Cumhuriyet döneminde üretim tesislerinin enerji gereksinimini karşılamak amacıyla İstanbul'da çeşitli yakıt depoları inşa edilmiştir. Bunlardan Silahtarağa Termik Santralında ve fabrika buharlı makinelerinde kullanılan kömür deniz yoluyla getirilerek Boğaz limanlarında depolanır. Yanıcı, patlayıcı maddeler, zehirli gaz, toz ve koku ya da yüksek gerilim hatları türünden çeşitli tehlikeler barındıran tesislerin yer aldığı bölgeler 'tehlikeli alanlar' olarak tanımlanmaktadır. Bu açıdan, Çubuklu'da yer alan depolar ile Sovyet gaz depoları benzer özellikler göstermektedir.
<b>Anahtar Kelimeler:</b> Tehlikeli alanlar; Kuruçeşme kömür depoları; Çubuklu gaz depoları	Makalede yakıt depolarının İstanbul'daki konumları ve birer 'tehlikeli alan' olarak çevreyle kurdukları mekânsal ilişki ele alınmaktadır. Kentsel endüstrinin bir parçası olan yakıt depoları bulunduğu bölgesel karakterin değişimini tetiklemiştir. Araştırmada modernleşme sürecinde enerji tesislerinin kentsel çevrede meydana getirebileceği yarar ve zararların aktarımı hedeflenmektedir. Sanayide üretim ve verimliliğe dayalı gelişim kadar, hava kirliliği, mülkiyet sorunları gibi kent sakinleri tarafından ödenen toplumsal bedel kentlerin modernleşme aşamasında ortaya çıkmaktadır.

## FUEL STORAGE TERMINALS IN ISTANBUL DURING THE EARLY REPUBLICAN PERIOD

Article Info	Abstract
<b>Article History:</b> Received: December 2, 2023 Accepted: December 21, 2023	In the early Republican Period fuel depots in Istanbul were constructed to supply energy to the industry. Coal was brought by vessels to the Silahtarağa Thermal Reactor or to factory steam engines, whereas coal storage proceeded around the Bosphorus ports. As a term, 'hazardous areas' define locations where combustible, flammable materials, gases, dust, and vapours exist, or where extremely dangerous machinery such as high voltage lines are installed. Tanks around Çubuklu and the Soviet tanks represent mutual characteristics.
<b>Keywords:</b> Hazardous areas; Kuruçeşme coal storage; Çubuklu gas storage	Location of the fuel depots in Istanbul are investigated in the article, as the spatial relations among the hazardous areas and environment are taken into consideration. As an element of the urban industry, fuel depots triggered the transformation of the environmental character. The research aims at giving an account of the advantages and disadvantages of fuel depots in the urban environment. As the development based on the production and productivity of industry, social cost paid by the inhabitants, such as air pollution and ownership problems emerge during the modernization process of cities.



## 1. Giriş

Hammadde, nakliyat, uygun pazar alanları, sermaye ve yetişmiş işgücü gibi etmenlerin yanı sıra, kullanılan enerjinin miktarı ve türü de endüstriyel etkinliklerin sürdürülmesi için gerekli unsurlar arasındadır. Temelleri Osmanlı'nın son döneminde atılan, Cumhuriyet'in ilk yıllarında makine ve ekipmanları güncellenerek verimlilik düzeyleri artırılan çeşitli sanayi girişimleri, otuzlu yıllarda üretim kapasitesini yükseltmiş, dokuma, dericilik ve askeriye yönelik imalat dışında İstanbul'da yeni sanayi kolları gündeme gelmiştir (Milli İktisat ve Tasarruf Cemiyeti, 1930). 1929-39 yılları arası kurulan fabrikalar Haliç kıyıları başta olmak üzere Kazlıçeşme- Yedikule, Zeytinburnu, Bakırköy sahil şeridi üzerinde, kısmen Boğaz'ın Rumeli ve Anadolu kıyıları ile Kartal- Maltepe çevresinde yoğunlaşmıştır. Sanayi tesislerinin önemli bir bölümünde, trafo şebekesi bağlantılı elektrikten, bir bölümünde ise benzin, mazot gibi petrol türevi yakıt ile çalışan elektrik motorlarından enerji sağlanmaktadır. Şehirde depolanan ve dağıtılan akaryakıt, endüstri dışında, sayısı giderek artan motorlu taşıtlar için de gereklidir. İstanbul'da petrol ithal eden şirketler ve dağıtım kuruluşları tarafından örgütlenen depolar ve benzin istasyonlarıyla akaryakıt dağıtımını gerçekleştirilir.

Erken Cumhuriyet yıllarında İstanbul'da sanayi alanlarına enerji sağlayan ve yakıt olarak kullanılan petrol ve türev maddeleri nasıl temin edilmekte ve nerede depolanmaktadır? Bu sorunun ardında kentsel ulaşımına dair bir problem bulunmaktadır; zira şehirde nakliyat ve dağıtım işlevlerinin örgütlenebileceği karayolları henüz motorlu taşıtların işleyebileceği teknik kaliteye ulaşamamıştır. Gerek kömür, gerekse petrol ürünlerinin dağıtımını bu nedenle kıyıları üzerinden gerçekleştirilmektedir. Böylece erken Cumhuriyet döneminde sanayi alanları ve enerji tesisleri kentin kıyı alanlarında yoğunlaşmakta, kentin modernleşme

sürecinde yakıt alanlarının yerleşimi önemli sorunlar barındırmaktadır.

### 1.1 Yöntem

Bu çalışmada, yakıt depolama alanlarının inşa edildiği bölgelerin 'tehlikeli alanlar' olarak gelişim süreci irdelenmekte, bu tür alanların erken Cumhuriyet döneminde kentsel konumları incelenmektedir. Araştırma yöntemi olarak, İstanbul'da erken Cumhuriyet döneminde sanayi tesislerine ilişkin makineleşme verileri üzerinden kömür ve akaryakıtın endüstrideki kullanım hacmi incelenmiş, yakıt dağıtım alanında faaliyet gösteren kuruluşlar belirlenmiş, bu kuruluşların depolama alanlarının şehir içindeki yerleri ve faaliyetleri kapsamında İstanbul'da inşa edilen yakıt depolama tesisleri ele alınmıştır. Araştırmada erken Cumhuriyet döneminde endüstriyel gelişime katkı veren tesislere yoğunlaşmış, geç Osmanlı dönemine ait, büyük ölçüde kentsel işlevleri karşılayan gazhane yapıları metnin çerçevesine katılmamıştır. Çalışmanın kaynakları arasında dönemsel raporlar, uzmanların kaleme aldığı tespitler, arşiv belgeleri, haritalar, İstanbul Belediyesi tarafından yayınlanan kurumsal kaynaklar ile basında yayınlanan haber ve görüşler ele alınmıştır.

### 2. İstanbul'da Sanayi Kuruluşlarının Dağılımı

Osmanlı'nın son döneminden itibaren, kömür ve akaryakıt sanayide kullanılmaktadır. Yirminci yüzyıl başlarına ait Osmanlı istatistiklerde üretim tesislerinde kullanılan motor gücüne ilişkin veriler mevcuttur. Bu verilerden Osmanlı sanayi tesislerinde ağırlıklı hangi tür yakıtın kullanıldığı anlaşılmaktadır. Sanayinin desteklenmesi amacıyla kabul edilen 1 Kânunuevvel 1329 (14 Aralık 1913) tarihli 'Teşvik-i Sanayi Muvakkatı Kanunundan' yararlanan ülke çapındaki "264 sanayi kuruluşundan yüzde 93,9'unun muharrik güç (motor gücü) kullandığı" belirtilir (Ökçün, 1984, 29-30). 1913-15 yılı Osmanlı Sanayi İstatistiklerine dayanarak "en az on işçi istihdam eden ve makine

gücüyü üretim yapan” toplam 117 adet kuruluşun 63’ü İstanbul’da bulunmaktadır (Ökçün, 1984, 18-19). Başlıca yakıt kaynağı kömür olan buhar makineleri toplam makinelerin yüzde 40,6’sı, içten yanmalı ve akaryakıt kullanan makinelerin sayısı yüzde 35’idir. “Sadece İstanbul’daki fabrikalarda” bulunan ve 1913 yılından itibaren şehir elektriğinden yararlanan elektrikli motorlar toplam motor sayısının henüz yüzde 21’ini oluşturmaktadır (Ökçün, 1984, 29-30). Motorlar için başlıca yakıt İstanbul’a dışarıdan getirilen petrol ve türevlerinden elde edilmekte, ürünün bir bölümü Anadolu’daki sanayi tesislerine sevk edilmektedir.

On dokuzuncu yüzyıl sonlarına doğru Zonguldak rezervlerinin bilinmesine rağmen, sanayi tesisleri için yüksek verimli taş kömürü, maliyete ve lojistiğe bağlı nedenlerle yurtdışından sağlanmıştır (Özeken, 1944). 1913’ten sonra İstanbul’da elektrik enerjisi kullanıma girdiğinde şehre sevk edilen kömürün en büyük alıcısı Alibeyköy’de kurulan Silahtarağa Termik Santralidir. Ancak Haliç tabanının yükselmesi sonucu kömür mavnalarının Alibeyköy kıyılarına ulaşımı bir sorun haline gelmiştir. Birinci Dünya Savaşı ve mütareke döneminde şehrin karşılaştığı çeşitli sorunlara rağmen, üretim tesisleri, bazı okullar ve kamu binaları abonelik sistemiyle elektrik şebekesine bağlanmış; Cumhuriyetin ilk yıllarından itibaren, elektrik kullanımı faaliyete kaldığı yerden devam etmiştir.

Geç Osmanlı döneminde Eyüp, Balat ve Fener kıyılarında kurulan askeri dokuma fabrikaları, un değirmenleri ve yağ karıştırma atölyeleri gibi tesislere, 1929 yılından itibaren yeni işkolları katılarak ‘İstanbul’un sanayi merkezi’ olarak adlandırılan ‘Haliç mıntıkası’ oluşur. Fabrika ve ticari tesisler Unkapanı’ndan Eyüp Bahariye’ye, Kasımpaşa’dan Sütlüce’ye uzanan kıyı kesiminde yoğunlaşır. Haliç mıntıkası, kıyı nakliyatının yanı sıra Silahtarağa merkezli elektrik santral şebekesinin düzenlendiği başlıca alandır (Akşam, 20 Haziran 1929; İstanbul Telefon Müdürlüğü, 1936, 12-13). Endüstride ve

kamusal tesislerde kullanılan elektrik enerjisi, erken Cumhuriyet endüstri yapılanmasını geç Osmanlı döneminden belirgin biçimde ayrıştırır. Milli İktisat ve Tasarruf Cemiyeti’ tarafından düzenlenen 1930 tarihli Sanayi Kongresinde ‘Sanayi siyaseti’ başlıklı değerlendirme raporunda, üretim tesislerinde makineleşmenin önemine vurgu yapılmaktadır: “Modern sanayi makineli sanayidir. Makineli sanayi hem el sanayiine göre daha kolaydır ve hem de ihtisas mecburiyeti el sanayiinde olduğu gibi şamil değildir, dardır. Mamefih ilave edelim (...) modern dar ihtisas tamamen fenne dayanan bir ihtisastır ve derindir” (Nizamettin Ali, 1930). 1932 yılı verilerine göre, Türkiye’de ‘Teşvik-i Sanayii Kanunundan’ yararlanan 1473 kuruluşun 1295 adeti, yani yaklaşık yüzde 88’i ‘kuvve-i muharrike’ (motor gücü) kullanmakta, bunun yüzde 44’ü enerjiyi tesis dışından almakta, yüzde 54’ü enerjiyi tesis koşullarında üretmekte, yüzde 2’lik bölüm ise “her iki usulü” benimsemektedir. Türkiye çapında motor gücü kullanan fabrikalarda hangi yakıt tipinin tercih edildiği de belirtilmiştir: ‘Buhar ile müteharrik’ (termik) motor gücünden yararlanan tesisler yüzde 14 (185 adet); yağ ve benzin ile işletilenler yüzde 17 (227 adet) oranındadır; tüm tesisler arasında yüzde 42 ile (540 adet) ‘elektrikli müteharrik motor’ en yoğun kullanıma karşılık gelir. 1932 yılına ait bir başka tespit Türkiye’de endüstri tesislerinin toplam motor gücü kapasitesinin 104 bin, 1933 yılında toplam 200 bin beygir kuvvetinde olduğu belirlenmiştir (Hasan Halet, 1933, 15). 28 Mayıs 1927 tarihli 1055 numaralı ‘Teşvik-i Sanayi Kanunu’ kapsamında himaye gören tesislerin 1932 yılına ait faaliyetlerine dair anket sonuçları da rapor halinde özetlenir (Devlet Arşivleri, 1933). Buna göre, Türkiye’de teşvikten yararlanan tüm kuruluşların yüzde 34’ünü, yani yaklaşık üçte birini barındıran İstanbul, Türk sanayisinin öncü kenti konumundadır.

1936- 1941 yılları arasında tutulan İstanbul Şehri İstatistik Yıllığında, 1936’da İstanbul’da sayısı 350

civarında bulunan sanayi kuruluşunun yüzde 85'inin motor gücünden yararlandığı belirlenir (İstanbul Şehri İstatistik Yıllığı, 1944, 157-176). 1941 yılında sanayi kuruluşlarının toplam sayısı 309'a düşmekle birlikte motor gücünden yararlananların oranı yüzde 90'ın üzerine çıkar. Madencilik, gıda ve kimya sanayi gibi birçok alanda motor gücünün kullanımı yüzde yüze yaklaşmışken, sadece pamuklu dokuma tesislerinde motor gücü kullanmayan kuruluş sayısının motor gücü kullananlara göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. İkinci dünya savaşı ortamının çevre ülkelerinde oluşturduğu koşullar dikkate alındığında, ithal yakıtın kısıtlandığı ve şehirde mekanik tesisata bağımlı sanayi kuruluşlarının ekonomik krize girdiği anlaşılmaktadır.

Endüstri alanları çevresindeki yerleşik nüfusa ilişkin veriler şehir istatistiklerinden izlenebilir. 1929-46 arası fabrikalara işgücü öncelikle çevredeki yerleşimlerden temin edilir. Haliç'teki tesislerde çalışanlar Fatih, Eyüp, Defterdar ve Rami'deki mahallelerden, Alibeyköy ve Kağıthane Köylerinden fabrikalara erişir. Sanayi bölgesinin yer aldığı bir diğer alan Rumeli yönüne demiryolu bağlantısının önem kazandığı Yedikule- Bakırköy arasındaki Marmara sahil şerididir (Anonim, 1935; Demirağ, 1957). Burada da Cumhuriyet öncesi kurulan askeri mühimmat, deri ve dokuma fabrikalarına yenileri eklenmiştir. İstanbul'a dışarıdan gelen işgücü, Kazlıçeşme ya da askeri karakterini giderek kaybeden Zeytinburnu çevresinde fiili konut alanları oluşturur. Galata'dan Beşiktaş'a ve Kuruçeşme'ye uzanan, buradan İstinye ve Büyükdere'ye varan Boğazın Rumeli sahili, fabrika ve depolama tesisleriyle adeta sanayiye tahsis edilmiştir. Bunu Üsküdar'dan Beykoz'a uzanan Anadolu yakası sahillerindeki fabrika ve depolama alanları ile Şark Demiryollarının geçtiği Marmara'nın Anadolu kıyıları, özellikle Kartal çevresi izler. Sanayi tesisleri hazır iskelelerden yararlandığı gibi, büyük ölçekli her bir fabrikanın özel iskelesi mevcuttur. Rumeli tarafında işgücü Boğaz köyleri çevresine yerleşirken, Anadolu yakasında 1930'ların ortalarında yoğun ve plansız

gecekondu mahalleleri meydana gelir (İstanbul Şehri İstatistik Yıllığı, 1944). Cumhuriyetin ilk yıllarından itibaren, hem hükümet hem de belediye yakıt temin ve dağıtım sorununa yönelik çözüm arayışına girmiştir. Sanayi faaliyetinin sürdürülmesi bakımından enerji sadece İstanbul için değil, ülke sanayisinin gelişimi için de vazgeçilmez konuma sahiptir; zira birçok hammadde kalemi İstanbul'da mamul mala dönüştürülerek Anadolu'ya sevk edilmektedir.

İstanbul'da akaryakıt sanayi tesisleri dışında, sayıları giderek artan motorlu araç sürücülerini tarafından da talep görülür. Benzinin perakende satış hacmi İstanbul'da taşıtların artan sayısına, sanayi kuruluşlarının nakliyat gücüne ve merkezi alanlarındaki faaliyete bağlı olarak gelişmektedir. 1920 yılında düzenlenen Pathfinder araştırmasında, abartılı bir ifade kullanılarak, şehirde "otomobil bulunmadığı" belirtilirken, 1931 yılında 87 farklı markadan 2270 adet motorlu taşıt (708 adet özel otomobil, 1070 taksi, 115 otobüs ve 377 adet kamyon-kamyonet), ayrıca 134 adet motosiklet tespit edilmiştir (Johnson, 2000, 152; İstanbul Şehri İstatistik Yıllığı, 1932, 158-159). 1934 yılına gelindiğinde İstanbul'da 1621 binek otomobil, 601 yük kamyonu ve 4 otobüs olmak üzere şehirdeki toplam motorlu araç sayısı 2226 adettir İstanbul Şehri İstatistik Yıllığı, 1936, 187). Benzin istasyonları şehrin belli başlı noktalarında göze çarpar. Taksim, Beşiktaş, Eminönü, Kadıköy gibi merkezi noktalarda Sokoni Vakum ile Neft Sindikat tarafından benzin istasyonları kurulmuştur (Cumhuriyet 29 Eylül 1936; Cumhuriyet, 29 İKincikânun 1944). 1926 ile 1943 yılları arası hazırlanan Pervititch haritaları ile dönemin basınında yer alan bilgilerden şehir içi benzin istasyonlarının konumları tespit edilmektedir.

### 3. İstanbul'da Yakıt Depolama Alanları

Otuzlu yıllardan itibaren 'tehlikeli alanlar' (hazardous areas) terimi, çeşitli yanıcı, patlayıcı, zehirli gaz ve koku üreten, yüksek gerilim hatları gibi ölümcül tehlikeleri barındıran endüstriyel tesislerin yer aldığı,

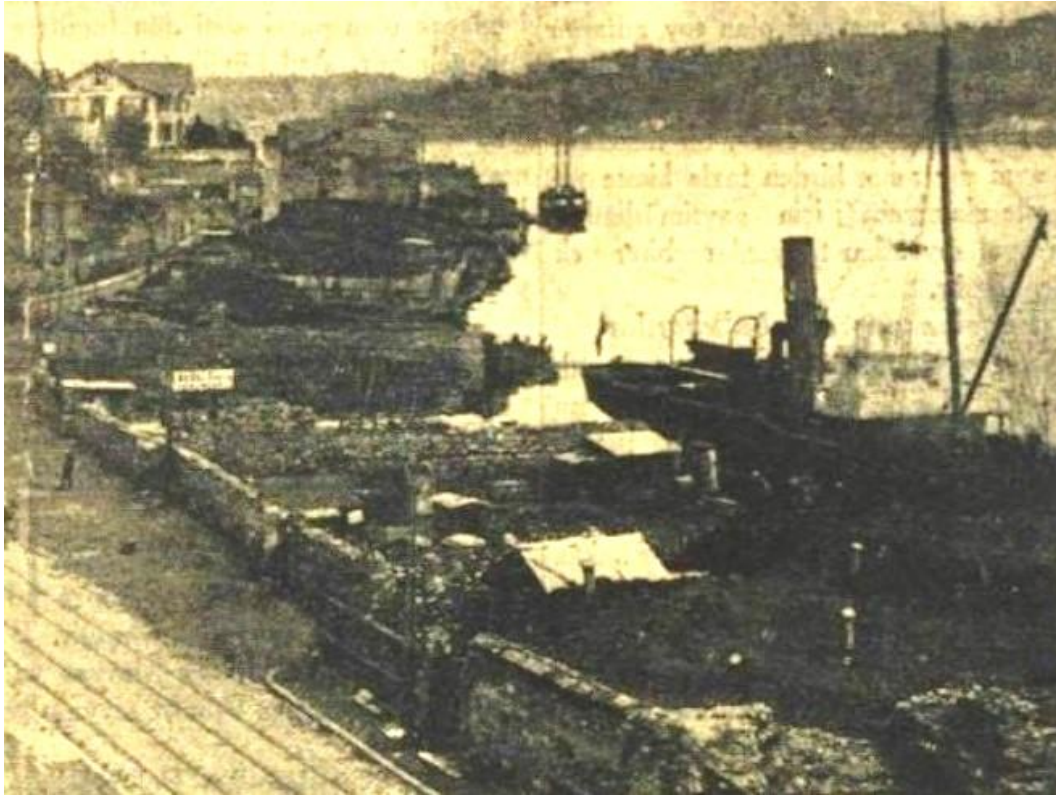
konut alanlarından soyutlanmış, ancak kentle ulaşım bağlantısının kurulduğu bölgeleri tarif etmek amacıyla kullanılmaktadır (MacMillan 1998, Korver 1994). ABD, İngiltere ve Almanya gibi sanayileşmiş ülkelerde, madenlerde kömür tozu ya da sıkışmış gazların meydana getirdiği felaketler sonrası, otuzlu yıllarda 'tehlikeli alanlar' tanımlanarak sınıflandırılmış, ilk standartlar oluşturulmuştur. Türkiye'de 1938 yılında "yanıcı madde depo ve tesisatının ıslahı" gündeme geldiğinde "Avrupa'da gümrük gaz depolarına ait talimatnameler" dikkate alınarak eski yönetmelik güncellenir (Cumhuriyet, 19 Nisan 1938). Yeni yönetmelikte "Serviburnu, Çubuklu ve Kartal'da gümrüksüz olarak depolanan akaryakıtın" oluşturduğu risk göz önüne alınmaktadır. Yakıt maddelerinin depolanması ve dağıtımı, kentsel ilişkileri ve mekânsal biçimlenmeyi beraberinde getirir. Zira patlayıcı ve tahrip edici etkiye sahip, petrol türevi yakıtlar ile yakın çevresinde sağlık riski barındıran kömür depoları giderek çevreden yalıtılmış alanlar

meydana getirmektedir. Bu alanların yakın çevresi de tesisin genel karakteristiğine uymaya yöneltilmektedir.

### 3.1. Kuruçeşme Kömür Depoları

Boğaz kıyılarında, Sarayburnu, Kasımpaşa, Kireçburnu, Unkapanı ve Üsküdar gibi kıyı alanlarında birçok kömür deposu bulunmakla birlikte, yirmili yıllardan itibaren kentsel tüketimin önemli bir bölümü Kuruçeşme'deki depolardan karşılanır (Müller-Wiener, 1998, 106). Eski Şehremini Cemil Topuzlu'nun iddiasına göre, Kuruçeşme sahili, işgal dönemine ait bir düzenleme sonucu "kömür depoları ile dolmuştur" (Topuzlu, 1994, 189). Eski konak arsalarında kurulan Kuruçeşme kömür depoları, yarattığı çevre kirliliği ve mülkiyet karmaşası gibi çeşitli sorunlara karşın 1980'lere kadar işlevini sürdürür (RESİM-1).

1930 Sanayi Kongresinde kömür nakliyatındaki yüksek maliyetten söz edilir: "Zonguldak'tan gelmiş olan kömürün vapurdan çıkarılıp Boğaziçi'nde bir depoya



RESİM-1: Kuruçeşme Kömür Depoları (kaynak: Cumhuriyet, 30 Nisan 1936.)

*konması ve bu depodan yakıt alan bir vapura verilmesi ton başına ortalama iki liraya mal olmaktadır. Halbuki (...) mükemmel yükleme ve boşaltma araçlarıyla donanmış bir deponun düzenlenmesi ile masraflar indirilebilir”* (Hadi, 1930, 433). Madenciler Encümeni de aynı kongreye sundukları raporda, İstanbul’da yükleme boşaltma işlemlerinin “*mihaniki (mekanik) araçlarla ve sabih (yüzer) stoklarla*” gerçekleştirilmesi gerekliliğine değinir (Milli İktisat ve Tasarruf Cemiyeti, 1930, 455). Üretim alanında faaliyet gösteren çeşitli grupların liman hizmetlerindeki eksikliğe parmak basmalarına rağmen, kömür boşaltma işlemi İstanbul’da belirli noktalarda ve geleneksel yöntemlerle sürdürülmektedir.

Kömür depoları Kuruçeşme İskelesi ile Defterdar Burnu arasındaki sahil şeridinde yer alır. İskele tarafında Osman Reis Camii, Karakol ve yıkılmış bir hamam bulunur. ‘Keşfiyat ve İnşaat Türk Anonim Şirketi’ tarafından 1926 yılında hazırlanan ‘Rumeli Ciheti’ haritalarından 1/500 ölçekli B 16-2 numaralı paftada Arnavutköy yakınındaki kıyıda ‘Sarraf Burnu’ ile tramvay yolunun arkasında ‘Aya Yani (Kilisesi) Çıkmazı’ işaretlenmiştir; B 16-4 numaralı paftada bitişik nizam depo arsalarının duvarla ayrıldığı ve bu düzenin Arnavutköy tarafındaki ‘Sarraf Burnu’na kadar uzandığı görülmektedir (Keşfiyat, 1926). Depolama işlevine tahsis edilerek ‘depo adası’ (ya da ‘kömür adası’) olarak işaretlenen ‘Kuruçeşme Adası’ ile Kuruçeşme kıyı şeridi Osmanlı’nın son yıllarında hazırlanan haritalarda gösterilmiştir (Necip Bey haritası HRT\_470). Yirmili yıllarda sayısı artan depo işletmecileri arasında ticari kuruluşlar ve bireysel yatırımcılar bulunmaktadır (Koral Türk, 2007, 208-9).

Bununla birlikte, Kuruçeşme’deki kömür depoları ‘tehlikeli alanlara’ özgü birçok riski barındırır. Kömür tozlarından, gürültü ve kokudan rahatsız olan çevre sakinleri önce Sıhhi ve İçtimai Muavenet Vekilliğine (Sağlık ve Sosyal Yardım Bakanlığına) şikâyet dilekçesi verir. Taleplerden sonuç alamayınca, çevre

sakinleri hukuk yoluna başvurur (Cumhuriyet, 19 Teşrinievvel 1924; Cumhuriyet, 15 Mayıs 1957). Dava sonucunda Kuruçeşme sakinleri haklı bulunmakla birlikte, depolarda faaliyet devam eder, hatta kırklı yılların sonlarında kıyı şeridinde kömür yükleme boşaltma işlemi için devasa vinçler satın alınır ve kurulur. Çevre kirliliğine, sağlık sorunlarına, mülkiyet karmaşasına, şikâyet ve davalara rağmen, Kuruçeşme’de yükleme, boşaltma, depolama işlemleri on yıllar boyunca sürer. Barındırdığı fiziki riskler nedeniyle, Kuruçeşme depoları zamanla çevresinden soyutlanmış, ‘tehlikeli alana’ dönüşmüştür. Kömüre ek olarak, kıyıda akaryakıt depoları ve çeşitli sanayi tesisleri de inşa edilmiş, bir dönem bahçeli yalıların yer aldığı tarihi sahil şeridi, mekânsal planlama yapılmadan, fiilen sanayi bölgesi haline gelmiştir.

Ellili yıllarda kömür depolama işlevinin Haydarpaşa, Beykoz ya da Zeytinburnu gibi çevresel bölgelere kaydırılması görüşülse de, şehre sevk edilen kömürün dörtte üçü Kuruçeşme depolarından dağıtıldığından bu tasarı gerçekleştirilemez. Depoların karşısında bulunan ‘Kömür Adası’ 1957 yılında sportif amaçlar doğrultusunda el değiştirir. Kuruçeşme depolarının faaliyeti, enerji kaynağı olarak kömürün eski etkinliğinin kalmadığı 1989 yılına kadar devam eder (Cumhuriyet, 5 Ağustos 1989). Bu dönemde depolar ve mekanik tesisat sökülür, kıyı şeridi İstanbul Anakent Belediyesi tarafından yeşil alana dönüştürülür.

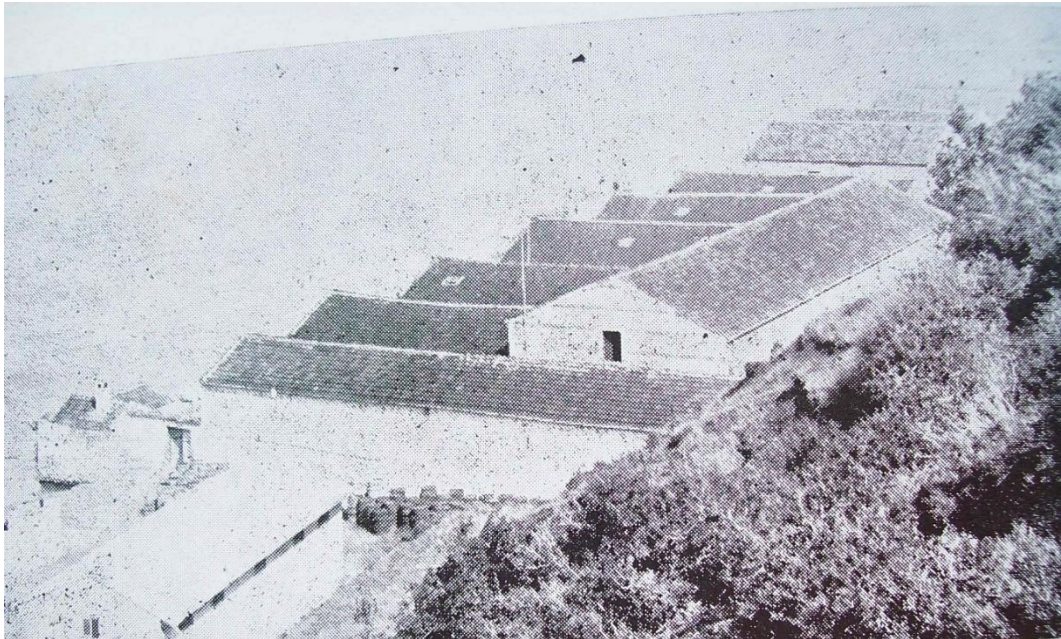
### 3.2. Petrol ve Petrol Türevi Depolama Alanları

Kömür depolarının yanı sıra, İstanbul’da petrol ürünleri depolama ve dolun tesisleri on dokuzuncu yüzyıl sonlarından itibaren önem kazanmıştır. 1888 ve 1906 yıllarına ait hükümler ile akaryakıt depolama hakkı şehremanetlerine verilir (Osman Nuri, 1928, 519) Bu hükümler, 1297 tarihli (1881-82) ‘Müşteil maddelerin muhafazası, gazların usulü hıfzı hakkındaki kararname’ ile 22 Şevval 1305- 20 Haziran 1304 (2 Temmuz 1888) tarihli ‘Gaz ve ispiroto ambarlarına dair talimatname’ ile ‘Devairi belediyece ihdas edilecek gaz depolarına dair

4 Teşrinievvel 1322 (17 Ekim 1906) tarihli nizamnamedir. Petrol depolama hizmetleri İstanbul Şehremaneti (Belediyesi) için önemli yatırım potansiyeli oluşturur. 1880'li yılların başlarında inşa edilen, kısaca 'gaz depoları' olarak tarif edilen eski Çubuklu depoları kârgir, kırma çatılı, içerdiği petrol türevi malzemenin riskleri ve depolama özellikleri dikkate alınmaksızın inşa edilmiş binalardır. Günümüzde Çubuklu'da halen varlığını sürdüren tesis hakkında Cumhuriyet öncesinde kroki çizim ve haritalar mevcuttur: 1298 (1882-83) tarihli 'Çubuklu civarı gaz deposu arazisi haritası' İBB Atatürk Kitaplığı Harita demirbaş no: 4040 ve no. 4035; 1326 tarihli (1910-11) 'Çubuklu gazhane deposu planı', Atatürk Kitaplığı Harita demirbaş no: 4036-4037. Belediyeye ait gaz deposu, çizgisel planlı dikdörtgen bir blok, üç iskele ve çevre binalar (Depots de Petrole) ile birlikte 1914 yılında 'ana depo' olarak belirlenir (Başar, 1929, 42; Müller-Wiener, 1998, 135). Necip Bey haritasında, bu alan iskele ile 'Chantiers', 'Jandins dermen' olarak işaretlenmiştir (İBB Taksim Atatürk Kitaplığı, HRT\_416). 1925 yılında Sovyet Neft

Sindikat'ın Çubuklu ve Umuryeri'nde depolarının bulunduğu belirtilmektedir (RESİM-2).

1924 tarihli İstanbul Ticaret ve Sanayi Odası Raporunda "Türkiye'de petrol ithal olunabilecek tankların bulunduğu yegâne yer, yalnız İstanbul'dur. Bundan dolayı memleketin her tarafında sarf edilen petrolün büyük bir kısmı İstanbul'a getirilir ve buradan memleketin diğer yerlerine sevk edilir" ifadesiyle dolun tesislerinin konumuna işaret edilir (Anonim, 2006, 53-54). Petrol ürünlerinin dışalım Osmanlı'nın son yıllarında başlamışsa da, bu alanda Sovyetlerle 1927'de ticaret anlaşması imzalanır. 1933 yılında doksan bin ton hacmindeki ithalatta yer alan kuruluşlar arasında, Sovyet petroleri satış temsilcisi Neft Sindikat yüzde 46,85 ile Türkiye'nin petrol ithalatında birinci sıradadır. Rafine edilen Bakü ve Grozni petroleri, kuruluş tarafından Batum Limanı çıkışlı gemilerle Boğaz iskelelerinde boşaltılmaktadır (Bilgiç, 2019, 161; Akten, 2004).1933 yılındaki belirlemeye göre, İstanbul pazarında petrol ürünü ithal eden kuruluşlardan Romanya petroleri temsilcisi Şteaua Romana (Etoile Romaine) yüzde 28,65'lik, ABD'li



**RESİM-2:** Osmanlı Dönemi Çubuklu Gaz Depoları (kaynak: T.C. Dâhiliye Vekâleti, Mahalli İdareler Umum Müdürlüğü, (1933). Belediyeler. İstanbul: Holivut Matbaası.)

büyük sermayedar Sokoni Vakum (Socony Vacuum) yüzde 18,16'lık ve çokuluslu girişim olarak Shell (The Asiatic Petroleum Co. Ltd.) yüzde 6,34'lük paya sahiptir (Lokman, 1933, 100).

### 3.2.1. Sokoni Vakum Depoları

İthalatçı kuruluşlar arasında “*Standard Oil tröstünün doğu ülkelerindeki*” satış birimi olan, New York merkezli Sokoni Vakum Şirketi (Socony- Vacuum Corp.) Karadeniz kıyıları, Akdeniz limanları ile Orta Doğu arasında geniş dağıtım ağı kurmuştur. Kuruçeşme'deki 860 tonluk üç deponun yanı sıra, 11 Sokoni Vakum deposu Osmanlı döneminde Serviburnu'nda yer alır (Lokman, 1933, 98-99; Necip Bey haritası, Taksim Atatürk Kitaplığı, HRT\_415). Yirmili yıllarda Beykoz'un kuzeyindeki Umuryeri çevresinde Standard Oil Kumpanyasına ait küçük bir petrol limanı ve “*muhkem bir iskele*” inşa edilir (Başar, 1929, 42). Diğer şirketlerin de depo kurmasıyla, Umuryeri bir dolun alanına dönüşmektedir.

Serviburnu ile Anadolu Kavağı arasında yer alan Umuryeri Limanı, on yedinci ve on sekizinci yüzyıllarda kireç kuyularıyla anılan bir bölge olup 1819 tarihli Kauffer- Barbie de Bocage haritasında ‘müstahkem mevki’ olarak işaretlenmiştir (Hovhannesyan, 1997, 58). 1916 tarihli Erkan-ı Harbiye haritasına göre, Serviburnu- Umuryeri arasındaki alanda çevreyle bağlantı, deniz taşımacılığı dışında, Haydarpaşa'dan uzanan ‘telgraf hattı’ ve patika yolla sağlanabilmektedir (İstanbul Boğazı ve civarı haritası, 1911/1327). Dik yamaçların denize ulaştığı bu yalıtılmış alan, petrol ürünleri gibi yanıcı ve patlayıcı yakıtı depolamak için oldukça elverişlidir. 1922'de hazırlanan Umuryeri kıyısını gösteren haritada depolar, iskeleler ve çeşitli tesisler işaretlenmiş, ancak çevrede herhangi bir yerleşim alanına yer verilmemiştir (İBB Taksim Atatürk Kitaplığı Hrt\_006553M).

Yirmili yıllardan itibaren Sokoni Vakum Şirketi, Samsun, İzmir gibi merkezlerde yer alan depolama

tesisleri sayesinde petrol ürünleri dağıtımını gerçekleştirir (Lokman, 1933, 97-98). Gaz tenekesi dolun altyapısına sahip olan Sokoni Vakum, rakipleriyle karşılaştırıldığında dağıtımda avantajlı durumdadır. Benzin istasyonlarında da kurumsal temsiliyeti bulunan kuruluş İstanbul'da toplam 56 bin tonluk benzin, gazolin, motorin, mazot ve madeni yağlar içeren on beş adet depoya sahiptir. Karadeniz'e seyreden gemilere yakıt ikmali düzenlenmiştir. Beykoz civarındaki akaryakıt depoları 1935 yılındaki patlama nedeniyle zarar görmüş olsa da tamir edilen tesisin işlevi devam eder (Doğaner, 1991, 130; Ulutaş, 2020; Cumhuriyet, 17 Mayıs 1935).

### 3.2.2. Şteaua Romana Depoları

Otuzlu yıllarda İstanbul'da petrol dağıtım alanında faaliyet gösteren bir diğer kuruluş, Romanya petrollerinin satış temsilcisi Şteaua Romana Şirkettir (Lokman, 1933, 99). Romanya'nın “*Campina şehrinde işlem gören petrol ve türevlerini*” depolamak amacıyla, şirket tarafından Kartal'da toplam 3600 ton kapasiteli üç adet tank kurulmuş, buna daha sonra Ortaköy deposu da eklenmiştir. Girişimci Yeşua Behar tarafından, benzin, gazyağı, madeni yağ gibi petrol ürünleri depolamak amacıyla Umuryeri'nde “*2060 ton kapasiteli yedi adet tank*” tesis edilir (Lokman, 1933, agy; Koraltürk, 2013, 18-20). Bu bölgede ham petrol işlemek üzere kurulan ‘Türkiye Neft Sanayii Türk Anonim Şirketi’ tarafından ‘tasfiyehane’ (arıtma tesisi) açılmış, şirkete ait üç tank yerleştirilmiştir (Lokman, 1933, agy). Aynı şirketle bağlantılı bir diğer dağıtım kuruluş olan Firuzan Ali (Arsan) Gaz Deposu, Pervititch 1931 tarihli 1/1000 ölçekli 67 numaralı Üsküdar paftasında işaretlendiği şekliyle, Üsküdar Paşalimanı kıyısında, dörtgen betonarme bloklardan oluşan kıyı tesisinde faaliyet gösterir. ‘Türk Petrol Limitet Şirketinin’ de Haydarpaşa rıhtımında 9 bin ton kapasiteli üç adet tankı vardır. 1930 tarihli 2 numaralı Pervititch Haydarpaşa paftasında gösterilen mazot tankları Haydarpaşa tesisleriyle ilişkilendirilmiş

olmalıdır. Bu kuruluşla bağlantılı akaryakıt ve gaz depolama tesislerinin tümü şehrin belli başlı iskelelerine yakın konumda inşa edilmiştir. Otuzlu yılların sonlarında akaryakıt, Serviburnu, Çubuklu, Ortaköy, Üsküdar ve Kartal gibi İstanbul'un farklı alanlarında depolanabilmektedir (Cumhuriyet, 19 Nisan 1938).

### 3.2.3. Çubuklu Gaz Depoları

Bakü, Grozni ve Maykop bölgesinden sevk edilen petrol, Batum'da işlenip Sovyet şirketi tarafından İstanbul'a getirilmektedir. Gemilerle dağıtım yapan Sovyet ağının Türkiye'deki satışından 'Neft Sindikat Şirketi' sorumludur (Nazaroff, 1941, 81-89). Kuruluşun İstanbul dışında Ankara, İzmir, Samsun, Adana, Mersin gibi merkezlerde şubeleri vardır. Yakın coğrafyada bulunmasına ve pazar hacminin yaklaşık yarısına sahip olmasına rağmen, otuzlu yıllara kadar Neft Sindikat tarafından kapsamlı bir depolama tesisi inşa edilmemiştir (Lokman, 1933, 97). Kuruluş 1931 yılında Kuruçeşme- Arnavutköy arasındaki sahil şeridinin bir bölümünde akaryakıt dağıtım tesisi kurmaya hazırlanır. Zira kömür depolarının bulunduğu Kuruçeşme çevresi, yukarıda da belirtildiği gibi, yakıt sevkiyat bölgesi haline gelmiştir. Neft Sindikat deposu, yüzyıl başlarında yanarak ortadan kalkan ve 'Aleksander Karatodori Paşa arsaları' olarak bilinen eski yalı arsasında kurulmuştur (Atalan, 2015). Tesiste akaryakıt kaplara aktarılır; "kapların lehimlenmesi, çakılması", kamyonlarla şehir içi dağıtım gibi hizmetler yürütülür. Arsa aynı zamanda "ihraç iskelesi" olarak düzenlenmiştir (Cumhuriyet, 24 Mart 1931). Neft Sindikat'a ait diğer dağıtım tesisi Üsküdar ve Balaban İskeleleri arasındaki Çöp İskelesi civarında işareetlenmiştir.

Cumhuriyetin ilk yıllarından itibaren İstanbul Belediyesi, petrol ithalatçısı şirketlere doğrudan depolama hizmeti sunmak üzere girişim başlatır. Osmanlı'dan kalan Çubuklu tesisleri, yetersiz olmakla

birlikte, Belediye için önemli gelir potansiyeli oluşturmaktadır. Depolama gereksinimi dikkate alınarak, Neft Sindikat Şirketinin bağlı bulunduğu Sovyet Soyuz Neft Şirketi ile Belediye arasında Çubuklu'da 8500 ton hacminde gaz depoları kurulumuna ilişkin mukavelename 1931 yılında Belediye Meclisinde kabul edilir. Depolar on beş yıl kullanıldıktan sonra Belediyeye devredilecektir (Cumhuriyet, 10 Mayıs 1931; Bilgiç, 2019, 204). Depolama imkanını güncellemek amacıyla, 54.851 lira harcanarak Çubuklu'da üç yeni tank inşa edilir. Hatta Sokoni Vakum depolarının bulunduğu Çubuklu Caddesi çevresindeki bir diğer arazi 1934 yılında Belediye tarafından satın alınır (İBB Taksim Atatürk Kitaplığı Hrt\_005301).

Belediye, depoların karayolu bağlantısını desteklemek üzere, Anadolu kıyısındaki Boğaz yollarının tamirini gündeme getirir. 1929 yılında Üsküdar- Beykoz Caddesi kapsamında ele alınan yol inşaatı, olasılıkla, mevcut iz takip edilerek, Çubuklu'ya kadar ilerler. İnşaatın düşük kalitedeki malzeme ve işçilikle uygulanmasına karşın, Üsküdar'a ulaşan ve işlek olmayan bir yol motorlu araçlara açılır (Akşam, 1 Teşrinievvel 1929). 1935 yılında yolun 'beş yıllık yol programı' kapsamına alınacağı ve şose olarak Paşabahçe'ye uzatılacağı bildirilse de, otuzların sonlarında, Beylerbeyi- Çengelköy- Çubuklu yolu asfalt olarak yeniden programa alınır ve inşaat kırklı yıllara kadar devam eder (Cumhuriyet, 21 Haziran 1939).

Çubuklu tesisini güncellemek amacıyla yapılan 1931 yılı mukavelenamesi sonrasında yeni depo inşaatının beklendiği hızda sonuç vermediği anlaşılır. Kurulan depolar ile Belediye rıhtımının 1936 yılı mart ayında çıkan sert fırtınadan zarar görmesi de girişimin yavaşlamasına neden olur (Cumhuriyet, 20 Mart 1936).

Bununla birlikte, gerek hükümet, gerekse yerel yönetim Türkiye'de tröst kurma eğilimine karşı önlem



almaktadır. Petrol ve ürünleri dağıtımını örgütlenirken, kimi zaman birbiriyle mücadele eden, kimi zaman ortaklaşa fiyat belirleyen iki rakip sermaye grubu arasında denge kurulması amaçlanır. Vali ve Belediye Başkanı Üstündağ, depolar sayesinde oluşacak *“serbest piyasa rekabetinin girişimciler açısından yararlı olacağına”* vurgu yapar (Cumhuriyet, 22 Mayıs 1936; Anonim, 1936, 474-489). Belediye ile Sovyet kuruluşu arasında varılan anlaşma sonucu *“bir milyon lira değerinde muazzam bir depo silsilesi tesisatının”* Belediye adına kurulacağı ilan edilir. Böylece Neft Sindikat ortaklığı ile toplam 8000 metrekupluk on dokuz adet petrol tankının temeli atılır. Yerleşkede ayrıca *“ambarlar, yazıhaneler, teneke fabrikası, depoda çalışacaklara mahsus ikametgâh ve sair binalar”* planlanır. Yapılan mukavele uyarınca *“gaz depoları, gaz tasfiye fabrikası ve gaz tanklarının inşası”* Soyuz Neft firması tarafından işleme alınır (Cumhuriyet, 17 Haziran 1936; Cumhuriyet, 7 Ağustos 1936; Anonim, 1937, 537- 544). Tesiste benzin, uçak benzini, gaz, madeni yağlar ve benzeri petrol türevi ürünler depolanacaktır. Bu dönemde Neft Sindikat ‘larsen’ (Larssen) tipi *“özel çelik kazıklardan oluşan bir rıhtım ile iki iskele”* inşasına girer. Tüm tesisin

yapımı 1938 yılında tamamlanır (Altay, 1939, 215; 9.4.1953 tarihli TBMM tutanağı).

On biri bitişik konumda, sekizi kuzeydeki lineer arsada kıyıya paralel konumda yer alan toplam on dokuz dairesel tank eski Belediye depolarının bulunduğu alanın güneyinde inşa edilmiştir (RESİM-3). İkinci Dünya Savaşı'nın bölgedeki en sıcak günlerinin yaşandığı 1940 yılı ocak ayında Reiscumhur İsmet İnönü imzalı kararnamede, Soyuz Neft Eksport kurumu Türkiye şubesinin *“yabancı şirketler tarafından ele geçirilmeden”* Petrol Limited Şirketi tarafından satın alındığı belirtilir. Devam eden savaş koşulları içinde, Sovyetler ile yapılan anlaşma uyarınca *“Çubuklu'da vücuda getirdiği tesisattan mütevellit bilimum hukuk ve vekaibin ve mutasarrıfı bulunduğu menkul ve gayrimenkullerle petrol müşterileri ve sair mallar ve kara ve deniz vasıtalarının acilen ve yabancı şirketler eline geçmesine mahal verilmeden ceman 600,000 Türk lirası bedel mukabilinde Petrol Limited Şirketi tarafından devren iktisap ve mubayaa”* edilmesi karara bağlanır (Devlet Arşivleri, Tarih: 15.1.1940). *“Neft Sindikat Şirketinin tasfiyesi sonucu”* Petrol Limited Şirketi 1940 yılında kurulmuş olup 1941 yılında Bakanlar Kurulu kararıyla ‘Petrol Ofisi A.Ş.’ ye dönüşür. Böylece *“petrol satın almak, ithal etmek, stok*



RESİM-3: Çubuklu Gaz Depoları (Foto: YAZAR, çekildiği tarih:2019)

*kurmak, dağıtım yapmak, depo tesis etmek*” gibi çeşitli hizmetler kurumun görev alanına verilmiştir (Devlet Planlama Teşkilatı, 1990). Kuzeydeki arsada yer alan sekiz depo seksenli yıllarda yıkılmış olup burada bir turizm tesisi kurulmuştur. Geri kalan on bir silindirik metal depo ile yan tesisler, zaman içinde ortaya çıkan yıkım çabalarına karşın, Çubuklu Feribot İskelesine bakan dik sırtta varlığını sürdürmektedir. Depolar grubu 1930’lu yılların endüstriyel teknolojisini yansıtmakla birlikte Türkiye’de varlığını sürdüren en eski petrol depolama tesisleri arasındadır.

Çubuklu depoları, 1882-84 yılları arası Bakü ve Tsaritsin’de (günümüzde Volgograd) inşa edilen metal petrol depolarıyla büyük ölçüde benzer özellikler sergilemektedir. Özellikle Robert, Ludvig ve Alfred Nobel kardeşlerin Branobel Şirketi kapsamında tesis edilen dairesel kesitli depolar İsveçli mühendis Karl Wilhelm Hagelin tarafından 1880’li yıllarda fotoğraflarla belgelendirilmiştir (Grundmann, 2013, foto:13, 14, 15). Volgograd’da İdil Nehri kıyısında konumlanan söz konusu depolar ile Çubuklu depoları benzer biçime sahiptir. Düşeyde konumlandırılmış petrol tankları, Bakü-Grozni boru hattını inşa eden ve sonraki yıllarda Rus konstrüktivizm akımına ilham veren ünlü mühendis ve mucit Vladimir Shukhov’un (1853-1939) tasarımlarına atfedilir (Tomlow, 2014). Sovyetler Birliği’nde Bakü başta olmak üzere çeşitli bölgelerde inşa edilen petrol deposu tipinin Çubuklu’da da tekrarlanmış olması mümkündür.

#### **4. Sonuç**

Endüstri bölgelerinde kurulan, ya da yakıt üretim ve depolama işlemlerinden kaynaklanan yanma, patlama, parlama, gaz sızıntısı, tozlaşma, zehirli gaz, kötü koku gibi çeşitli riskler içeren alanlar, uluslararası ölçekte ‘tehlikeli alanlar’ (hazardous areas) olarak tarif edilmektedir. Çevre sakinlerinin sağlığına yönelik çeşitli sorunlar meydana getiren bu tür tesislere kentsel

merkezlerden ve konut alanlarından uzak arsalar tahsis edilmiştir.

Kuruçesme kıyılarında yirminci yüzyıl başlarına kadar varlığını sürdüren konutlar ve yalılarının yerine depolar inşa edilmiştir. Yerleşimlerden uzak ve Beykoz kıyılarında tesis edilen petrol depoları da, yanıcı-patlayıcı özellikleri nedeniyle yüksek risk içeren kuruluşlardır. Yakıt depolama tesisleri çevresel mekânı belirli ölçüde sınırlayan ve kimliğini değiştiren alanlara dönüştürmüştür.

‘Tehlikeli alanlar’, içinde yer aldıkları kentsel çevre için çekici olmaktan uzak ve tehlikelidir; görevliler dışında yakındaki konutlarda ikamet eden bulunmamaktadır. Bu bölgeler, sanayi karakteri taşımaya rağmen, işçi konutlarıyla kurulan ilişki nedeniyle Haliç ya da Kazlıçesme-Yedikule gibi belirli ölçüde sınırlanan sanayi alanlarından ya da ticaretin yoğunlaştığı bölgelerden farklılaşır.

Kuruçesme depoları kırklı yıllarda Boğaziçi’nin kentsel peyzajına yabancı, devasa vinçlerin ve kesif kömür kokusunun hüküm sürdüğü, çevresindeki konutların ise sahipleri tarafından terkedildiği bir yakıt depolama bölgesine dönüşmüştür. Umurbey ve Çubuklu depoları ise çevreden yalıtılmış olarak kıyıda varlığını sürdürür, ancak yakıtın yanıcı patlayıcı özelliği nedeniyle gerek Umurbey, gerekse Çubuklu bölgesi, vatandaşların kıyı kullanımının engellendiği, uzak ve yalıtılmış birer mevki haline gelir.

Sonuçta, sanayi bölgelerinde toplumsal kalkınma amacıyla başvuru alan verimlilik eksenli gelişim kadar, hava kirliliği, mülkiyet değişimi gibi çok yönlü sorunlar karşısında ödenen toplumsal bedel, kentlerin modernleşme aşamasında meydana çıkan önemli, ancak birbiriyle çelişen etmenlerdir. Bu durum kentsel gelişim aşamasında sıkça karşılaşılan toplumsal bir açmazı işaret etmektedir.

## Kaynaklar

- Başar, A. H. (1929). İstanbul Limanı 1929. İstanbul: Akşam Matbaası.
- Bilgiç, E. (2019). Rus Arşiv Kaynakları Işığında 1923-1939 Arası Türk- Sovyet Ekonomik İlişkileri. (Yayınlanmamış Doktora Tezi) Marmara Üniversitesi/ Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Devlet Planlama Teşkilatı (1990). Petrol Ürünleri. Ankara: T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Yayın no. DPT: 2206- Ö.İ.K.
- Doğaner, S. (1991). İstanbul Limanı: Kuruluş, Gelişim ve İşlevleri. Bülten- Bulletin, İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü. 8, 115-144.
- Demirağ, K. (1957). Haliç Mıntıkasında Gıda Maddeleri Sanayii (Yayınlanmamış Mezuniyet Tezi). İstanbul Üniversitesi/ Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü.
- Grundmann, G., & Richter, M. (2013). Fifteen unique albumen prints of the Nobel Brothers' Oil Producing Company in Baku, Tzaritsin and Saratov (1882-1884). Branobel International Research- Innovative Conference-2 Proceedings. URL: [https://www.researchgate.net/profile/Guenter-Grundmann/publication/263503977\\_Fifteen\\_unique\\_albumen\\_prints\\_of\\_the\\_Nobel\\_Brothers%27\\_7\\_Oil\\_Producing\\_Company\\_in\\_Baku\\_Tzaritsin\\_and\\_Saratov\\_1882-1884/links/53e1f2da0cf24f90ff65a6d9/Fifteen-unique-albumen-prints-of-the-Nobel-Brothers-Oil-Producing-Company-in-Baku-Tzaritsin-and-Saratov-1882-1884.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Guenter-Grundmann/publication/263503977_Fifteen_unique_albumen_prints_of_the_Nobel_Brothers%27_7_Oil_Producing_Company_in_Baku_Tzaritsin_and_Saratov_1882-1884/links/53e1f2da0cf24f90ff65a6d9/Fifteen-unique-albumen-prints-of-the-Nobel-Brothers-Oil-Producing-Company-in-Baku-Tzaritsin-and-Saratov-1882-1884.pdf) (Erişim 15 Kasım 2023)
- Hadi (1930). Türkiye'de Madenler ve Madencilik. 1930 Sanayi Kongresi, Raporlar- Kararlar- Zabıtlar (içinde). Ankara: Milli İktisat ve Tasarruf Cemiyeti Umum Merkezi, 433.
- Hasan Halet (1933). Cumhuriyet Türkiye'si- Elektrikli Türkiye. İstanbul: Fazilet Matbaası.
- Hovhannesyan, S. S. (1997). Payitaht İstanbul'un Tarihçesi. İstanbul: Tarih Vakfı Yurt Yayınları.
- İstanbul Belediyesi İstatistik Müdürlüğü (1932). İstanbul Şehri istatistik yıllığı, 1930-31. İstanbul: İstanbul Belediye Matbaası.
- İstanbul Belediyesi İstatistik Müdürlüğü (1936). İstanbul Şehri istatistik yıllığı, 1932-33. İstanbul: İstanbul Belediye Basımevi.
- İstanbul Belediyesi Neşriyat ve İstatistik Müdürlüğü (1944). İstanbul Şehri istatistik yıllığı, 1939-43. İstanbul: İstanbul Belediyesi Neşriyat ve İstatistik Müdürlüğü.
- İstanbul Telefon Müdürlüğü (1936). Kılavuz, 22inci Bası 1936. İstanbul: Ekspres Basımevi.
- Johnson, C. R. (2000). İstanbul 1920 (çev. Sönmez Taner). İstanbul: Tarih Vakfı Yurt Yayınları.
- Koraltürk, M. (2007). Ahmet Hamdi Başar'ın Hatıraları- Meşrutiyet, Cumhuriyet ve Tek Parti Dönemi. İstanbul: İstanbul Bilgi Üniversitesi Yayınları.
- Koraltürk, M. (2013). Enerji Dolu 80 Yıl. İstanbul: Turcas Kültür Yayınları.
- Korver, W.O.E. (1994). Classifying Explosion Prone Areas for the Petroleum, Chemical and Related Industries. New Jersey: Noyes Publications.
- Lokman, K. (1933). Türkiye Petrol Madenleri. Ankara: Kitap Yazarlar Kooperatifi.

MacMillan, A. (1998). *Electrical Installations in Hazardous Areas*. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Milli İktisat ve Tasarruf Cemiyeti (1930). *1930 Sanayi Kongresi, Raporlar- Kararlar- Zabıtlar*. Ankara: Milli İktisat ve Tasarruf Cemiyeti Umum Merkezi.

Müller-Wiener, W. (1998). *Bizans'tan Osmanlı'ya İstanbul Limanı* (Çev. E. Özbek). İstanbul: Tarih Vakfı Yurt Yayınları.

Nazaroff, A. (1941). *The Soviet Oil Industry*. *The Russian Review*, 1 (1), 81-89.

Nizamettin Ali (1930). *Sanayi Siyaseti*. 1930 Sanayi Kongresi, Raporlar- Kararlar- Zabıtlar (içinde). Ankara: Milli İktisat ve Tasarruf Cemiyeti Umum Merkezi, 709.

Osman Nuri (1928). *İstanbul Belediyesi'nin yedi senelik icraatı ve imarâtı*. İstanbul Şehremaneti Mecmuası. 4 (45), 517-532.

Ökçün, G. (1984). *Osmanlı Sanayii 1913-15 İstatistikleri*. İstanbul: hil.

Özeken A. A. (1944). *Ereğli Kömür Havzası Tarihi Üzerinde bir Deneme*. İstanbul Üniversitesi Hukuk Fakültesi Mecmuası, 9 (3-4), 516-563.

Tomlow, J. (2014). *Steel Grid Towers by Shukhov-Rationality in Structural Design, Assamblage and Safety at Work*. Tokyo: Proceedings of the 2010 DOCOMOMO Isc. URL: [https://www.academia.edu/39874619/Proceedings\\_of\\_the2010\\_DOCOMOMO\\_ISC\\_Technology\\_Seminar\\_in\\_Tokyo\\_14](https://www.academia.edu/39874619/Proceedings_of_the2010_DOCOMOMO_ISC_Technology_Seminar_in_Tokyo_14) (Erişim Tarihi: 27.1.2023).

Topuzlu, C. (1994). *İstibdat- Meşrutiyet- Cumhuriyet Devirlerinde 80 Yıllık Hatıralarım* (ilk baskı: 1951). İstanbul: Arma Yayınları,

Ulutaş, S. (2020). *İstanbul'da Gaz Depoları Sorunu: Çubuklu ve Standard Oil Kumpanyası*. *Journal of History School*, XLVIII, 3670-3692.

### **Basın Kaynakları**

Kömür tevzii muzırır sıhhat değildir. *Cumhuriyet*, 19 Teşrinievvel 1924.

İstanbul'un Sanayi Merkezi- Haliç'te yeni birkaç fabrika açılıyor. *Akşam*, 20 Haziran 1929.

Üsküdar- Beykoz yolu yakında ikmal ediliyor. *Akşam*, 1 Teşrinievvel 1929.

(Daver), A. Hem Nalına, Hem Mıhına: Zavallı Kuruçeşme. *Cumhuriyet*, 24 Mart 1931.

Şehir Meclisinde masraf bütçesi müzakere ediliyor- Gaz depoları hakkındaki mukavele kabul edildi. *Cumhuriyet*, 10 Mayıs 1931.

Gaz depolarında bir infilak oldu. *Cumhuriyet*, 17 Mayıs 1935.

Gaz depoları tamir ediliyor. *Cumhuriyet*, 20 Mart 1936.

Neft sendikası yeni gaz depoları yapıyor. *Cumhuriyet*, 22 Mayıs 1936.

Çubuklu'da yapılan petrol tankları. *Cumhuriyet*, 17 Haziran 1936.

Çubuklu'daki gaz depoları. *Cumhuriyet*, 7 Ağustos 1936;

İlan- Nakil. *Cumhuriyet*, 29 Eylül 1936.

Yanıcı madde depo ve tesisatının ıslahı. *Cumhuriyet*, 19 Nisan 1938.

Asfalt yollar- Beylerbeyi- Çubuklu yolu asfalt olacak. *Cumhuriyet*, 21 Haziran 1939.

İlan- Açık Arttırma ile Fevkalade Satış. *Cumhuriyet*, 29 İkincikânun 1944.

Onar, S. S. (Ord. Prof. Dr.). Şehir ve umumi menfaat için mülkiyet hakkının takyidleri, bizde verdiği neticeler. Cumhuriyet, 15 Mayıs 1957.

Umumiye Matbaasında tab olunmuştur. Url: <https://archives.saltresearch.org/handle/123456789/122035>

Kuruçeşme parkı tapu bekliyor. Cumhuriyet, 5 Ağustos 1989.

### Arşiv Kaynakları

1298 (1882-83) tarihli Çubuklu civarı gaz deposu arazisi haritası: İBB Atatürk Kitaplığı Harita demirbaş no: 4040 ve no. 4035.

1326 tarihli (1910-11) Çubuklu gazhane deposu planı: Atatürk Kitaplığı Harita demirbaş no: 4036-4037.

'Keşfiyat ve İnşaat Türk Anonim Şirketi' 'Rumeli Ciheti' paftaları (1926): İBB Taksim Atatürk Kitaplığı, HRT\_Gec\_1354 ve 1357.

Necip Bey haritası, Taksim Atatürk Kitaplığı, HRT\_415.

Necip Bey Haritası: Taksim Atatürk Kitaplığı, HRT\_416.

Necip Bey Haritası, Taksim Atatürk Kitaplığı, HRT\_470

İBB Taksim Atatürk Kitaplığı Hrt\_005301.

İBB Taksim Atatürk Kitaplığı Hrt\_006553M

Devlet Arşivleri (BCA) Tarih: 26.9.1933, Fon kodu: 24-136-9.

Devlet Arşivleri, Tarih: 15.1.1940, Dosya Ek: 212-35, Yer Bilgisi: 89-128-5.

9.4.1953 tarihli TBMM tutanağı: Url.: <https://www.tbmm.gov.tr/tutanaklar/TUTANAK/TBMM/d09/c021/tbmm09021065.pdf> (erişim tarihi: 11.09.2019)

Salt Arşiv. Erkan-ı Harbiye Haritaları İstanbul Boğazı ve civarı haritası (1911/1327). Erkan-ı Harbiye- i