

# YENİLİKÇİ ÖLÇME YÖNTEMLERİ VE TASARIMLAR: MÜHENDİSLİK UYGULAMALARI

**EDİTÖR**

**Dr. Öğr. Üyesi Merivan ŞAŞMAZ**

**YAZARLAR**

**Prof. Dr. K. Turgut GÜRSEL**

**Doç. Dr. Ferit YAKAR**

**Doç. Dr. Özgür DEMİRCAN**

**Doç. Dr. Yunus AKALTUN**

**Doç. Dr. Serpil SAVCI**

**Dr. Öğr. Üyesi İsmail İsa ATABEY**

**Dr. Öğr. Üyesi Musa Faruk ÇAKIR**

**Dr. Öğr. Üyesi Kenan ALTUN**

**Gökçe TOKEL**

**Mesut DAŞTAN**

**Mesut TANER**



**İKSAD**

Publishing House

# YENİLİKÇİ ÖLÇME YÖNTEMLERİ VE TASARIMLAR: MÜHENDİSLİK UYGULAMALARI

## EDİTÖR

Dr. Öğr. Üyesi Merivan ŞAŞMAZ

## YAZARLAR

Prof. Dr. K. Turgut GÜRSEL

Doç. Dr. Ferit YAKAR

Doç. Dr. Özgür DEMIRCAN

Doç. Dr. Yunus AKALTUN

Doç. Dr. Serpil SAVCI

Dr. Öğr. Üyesi İsmail İsa ATABEY

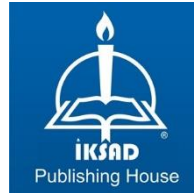
Dr. Öğr. Üyesi Musa Faruk ÇAKIR

Dr. Öğr. Üyesi Kenan ALTUN

Gökçe TOKEL

Mesut DAŞTAN

Mesut TANER



Copyright © 2021 by iksad publishing house  
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced,  
distributed or transmitted in any form or by  
any means, including photocopying, recording or other electronic or  
mechanical methods, without the prior written permission of the publisher,  
except in the case of  
brief quotations embodied in critical reviews and certain other  
noncommercial uses permitted by copyright law. Institution of Economic  
Development and Social  
Researches Publications®  
(The Licence Number of Publisher: 2014/31220)  
TURKEY TR: +90 342 606 06 75  
USA: +1 631 685 0 853  
E mail: iksadyayinevi@gmail.com  
www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.  
Iksad Publications – 2021©

**ISBN: 978-625-8061-01-7**  
Cover Design: İbrahim KAYA  
December / 2021  
Ankara / Turkey  
Size = 16x24 cm

## **İÇİNDEKİLER**

### **EDİTÖRDEN / ÖNSÖZ**

Dr. Öğr. Üyesi Merivan ŞAŞMAZ.....1

### **BÖLÜM 1**

#### **BİLEŞİKLERLE KAPLANMIŞ TOPRAKLAMA ÇUBUKLARININ GEÇİŞ EMPEDANSI ÖLÇÜMLERİ**

*Doç. Dr. Yunus AKALTUN, Mesut DAŞTAN* .....3

### **BÖLÜM 2**

#### **YENİ BİR TEMAS AÇI ÖLÇÜM SİSTEMİ İLE AKRİLİK (PMMA) MALZEMELERİN TUZLU SU İLE ISLANABİLİRLİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

*Dr. Öğr. Üyesi Musa Faruk ÇAKIR* .....27

### **BÖLÜM 3**

#### **KABLO KONTROLLÜ SU ALTI VE OTONOM YÜZEY ARAÇLAR İÇİN PLATFORM GÜVERTESİ TASARIMI**

*Prof. Dr. K. Turgut GÜRSEL, Yük. Müh. Mesut TANER* .....51

### **BÖLÜM 4**

#### **TERMOSET MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN BİRLEŞTİRİLMESİ**

*Doç. Dr. Özgür DEMİRCAN* .....73

## **BÖLÜM 5**

### **KAOTİK OSİLATÖRLERİN ANALOG TABANLI SİSTEMLERLE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

*Dr. Öğr. Üyesi Kenan ALTUN .....89*

## **BÖLÜM 6**

### **KENTSEL DÖNÜŞÜM BETON ATIKLARININ PREFABRİK BETON KAPLAMA ELEMANI ÜRETİMİNDE KULLANIMININ İNCELENMESİ**

*İnş. Yük. Müh. Gökçe TOKEL, Doç. Dr. Ferit YAKAR .....105*

## **BÖLÜM 7**

### **ATIK KULLANIMININ BETON VE HARÇ ÜRETİMİNDE YAŞAM DÖNGÜSÜNE KATKISI**

*Doç. Dr. Serpil SAVCI, Dr. Öğr. Üyesi İsmail İsa ATABEY .....119*

## ÖN SÖZ

Araştırmacılar çeşitli amaçlarla ölçme yöntemleri geliştirmiş ve karakteristik analizler yaparak bilimsel ve teknolojik gelişmelerde bulunmuşlardır. Geliştirilen yöntemler alışılmışın dışına çıkan deney düzenekleri ile olmuştur. Bu yeni yaklaşımlar ölçme yöntemleri ile sınırlı kalmayarak mühendislik uygulamalarında yeni tasarımlar olarak da sık sık karşımıza çıkmaktadır. Bu kitapta bir araya getirilen çalışmalarda çeşitlilik amaçlanarak türlerin en iyi örnekleri derlenmiştir.

Bu kitap yedi bölümden oluşmuştur. Birinci bölümde empedans ölçümünün çeşitli malzemelerde zaman değişimi detaylı bir şekilde “*Bileşiklerle Kaplanmış Topraklama Çubuklarının Geçiş Empedansı Ölçümleri*” başlığıyla verilmiştir. İkinci bölümde ise yeni bir deney düzeneği tasarlanarak temas açıları ıslanabilirlik davranışını anlamak için “Yeni Bir Temas Açısı Ölçüm Sistemi ile Akrilik (PMMA) Malzemelerin Tuzlu Su ile Islanabilirlik Davranışlarının İncelenmesi” başlığı altında verilmiştir. Otonom araçlar, günümüzde kullanıma başlanmış ve gelecekte her yerde görüleceği öngörülen teknolojiler arasındadır. Üçüncü bölümde su altında ve yüzeyinde hareket edebilen otonom araçlar için bir tasarım örneği sunulmuştur. Bölüm başlığı “Kablo Kontrollü Su Altı ve Otonom Yüzey Araçlar İçin Platform Güvertesi Tasarımı” şeklindedir. Kompozit malzemeler için mekanik olmayan birleştirme yöntemleri dördüncü bölümde “Termoset Matrisli Kompozit Malzemelerin Birleştirilmesi” ile anlatılmıştır. Analog tabanlı sistemler için hem model hem de uygulamalar üzerine bir

örnek beşinci bölümde “Kaotik Osilatörlerin Analog Tabanlı Sistemlerle Gerçekleştirilmesi” ile verilmiştir. Altıncı ve yedinci bölümlerde ise kentsel dönüşümlerde ortaya çıkan atık betonların geri dönüşümleri “Kentsel Dönüşüm Beton Atıklarının Prefabrik Beton Kaplama Elemanı Üretiminde Kullanımının İncelenmesi” ve “*Atık Kullanımının Beton ve Harç Üretiminde Yaşam Döngüsüne Katkısı*” başlıkları ile verilmiştir. Her bölümün sorumluluğu ilgili yazarlara aittir.

Bu kitaba değerli çalışmaları ile katkı sunarak kitabın size ulaşmasını mümkün kılan tüm yazarlara ve İKSAD Yayınevine teşekkür ederiz. Bu kitabın yeni ölçme yöntemleri ve tasarım çalışmalarına ilham olmasını temenni ederiz.

Dr. Öğr. Üyesi Merivan ŞAŞMAZ

Aralık, 2021

## **BÖLÜM 1**

### **BİLEŞİKLERLE KAPLANMIŞ TOPRAKLAMA ÇUBUKLARININ GEÇİŞ EMPEDANSI ÖLÇÜMLERİ**

Doç. Dr. Yunus AKALTUN<sup>1</sup> , Mesut DAŞTAN<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik- Elektronik Mühendisliği, Erzincan, Türkiye ORCID ID: 0000-0001-9534-9106

<sup>2</sup> Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik- Elektronik Mühendisliği, Erzincan, Türkiye





## GİRİŞ

Topraklama insan hayatının ve teçhizatın korunmasında kullanılan anahtarlama elemanlarının görevini yerine getirmesi için çok büyük önem teşkil etmektedir. Topraklama değeri farklı işlemler uygulanarak düşürülebilmektedir. Bunlardan en çok kullanılan yöntem topraklamada kullanılan topraklayıcıya paralel topraklayıcı yerleştirmektir. Ama bazı toprak yapılarında bu işlemi gerçekleştirmek zor olduğu için farklı yöntemler uygulanmaktadır. Bunlardan bir tanesi de topraklayıcı etrafına kimyasal eklemektir.

Bu çalışmamızda topraklama geçiş direnç değerinin azaltılmasında kullanılan kimyasalların etkisini gözlemlendi. Kullanılacak kimyasalın zamanla gösterdiği değişim belli bir süre içerisinde incelendi. Belli periyotlarla toprak geçiş direnci ölçümleri alındı. Soğuk hava şartlarında nasıl bir dirençle karşılaşılacak, sıcak hava şartlarında nasıl bir dirençle karşılaşılacak gibi durumların tespiti yapıldı.

Son yıllarda dağıtım sektöründe en çok kullanılan kimyasallar; metalürjik kok kömürü, tuz, gem tozu kimyasallarıdır. Bunların yanında geçiş direncini azaltan sodyum klorür, kalsiyum klorür, bakır sülfat, magnezyum sülfat, potasyum nitrat, bentonit ve karbon karası gibi kimyasallar da mevcuttur.

Bu çalışmada kullanılan kimyasalların 2 tanesi dağıtım sektöründe kullanılan kimyasallardan, 2 tanesi ise topraklama direnci üzerindeki etkisi denenmemiş olan perlit ve karbon karasıdır. Kullanılacak kimyasalların iletkenler üzerinde nasıl bir etki oluşturacağı gözlemlendi. Bu çalışma sayesinde kimyasalların iletkenlerde kazıklar

üzerinde korozyon oluşturup oluşturmayacağı ve oluşturursa ne kadarlık bir deformasyona sebep olacağı gözlemlendi.

Dağıtım tesisleri kurulurken direklerin topraklamasında çoğunlukla maliyetten dolayı galvaniz çelik topraklayıcı kullanılmaktadır. Ama zaman geçtikçe galvaniz çeliklerin direnç değerlerinde önemli değişiklikler yaşandığı bilinmektedir. Kullanacağımız kimyasalların bu galvaniz çelik topraklayıcı üzerinde de etkisi gözlemlendi.

## 1. KAYNAK ÖZETLERİ

Vasilios P. Androvitsaneas et. al. (2015) tarafından yapılan çalışmada 3 farklı topraklama düzeneği kurulmuştur. İlk düzenekte toprak çubuğunun etrafı doğal toprak ile doldurulmuştur, ikincisinde beton ile ve üçüncüsünde de bulamaç bentonit ile doldurulmuştur. Düzeneğin kurulduğu alanda toprak özgül direnci Wenner metoduyla hava şartlarına bağlı olarak 170 ohm m ile 400 ohm m arasında ölçülmüştür. HILO-TEST/EMC-2004 yıldırım akımı simülasyon cihazı kullanılarak bu toprak çubuklarına yıldırım gerilimi uygulanmıştır. Ölçümler 1, 2, 4, 6 ve 8 metre derinliklerinde ölçümler yapılarak toprağın farklı katmanlarındaki toprak geçiş direnci değerleri gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmada Temmuz ayında uygulanan 3 – 11 kV yıldırım darbe gerilimine karşı doğal topraklı çubuğun toprak geçiş direnci 390 ile 490 ohm arasında, bentonit bulamaçlı çubuğun toprak geçiş direnci 210 ile 180 ohm arasında, betonlu çubuğun toprak geçiş direnci 170 ile 130 ohm değerleri arasında olduğu gözlemlenmiştir. Kasım ayında da bu toprak geçiş değerlerinde düşüş olmuş ve doğal topraklı çubuğun toprak geçiş

direnci 260 ile 210 ohm arasında, bentonit bulamaçlı çubuğun toprak geçiş direnci 130 ile 90 ohm arasında, betonlu çubuğun toprak geçiş direnci 130 ile 110 ohm değerleri arasında olduğu saptanmıştır.

Y. Khan et. al. (2010) tarafından yapılan çalışmada 3 farklı topraklama düzeneği kurulmuştur. İlk düzenekte toprak çubuğunun etrafını doğal toprak ile doldurmuştur, ikinci düzenekte çubuğun boyu kadar çubuğun etrafını belirli bir kalınlıkta toprak direnci düşürücü kimyasal ile doldurmuştur, son düzenekte ise çubuğun boyu kadar olmayıp alt kısmından belirli bir yüksekliğe kadar olan kısmını daha geniş kalınlıkta toprak direnci düşürücü kimyasal kullanarak doldurmuştur. İlk düzenekteki elde edilen toprak geçiş direnci değeri, kimyasal malzeme kullanılan ikinci ve üçüncü düzenekler için referans oluşturmuştur. 1.2, 2.4 ve 3.6 metre uzunluklardaki topraklama çubukları ayrı ayrı test edilmiştir ve 2.4 metre uzunluğundaki çubuğun en ekonomik topraklama çubuğu uzunluğu olduğu anlaşılmıştır. Kimyasal malzemenin kullanıldığı düzeneklerde toprak geçiş direncinin doldurulan kimyasalın belli bir miktarına kadar artırımını ile direnç değerinin düştüğü ve sınır değerinden sonra doldurulan kimyasal madde kalınlığının topraklama direncini değiştirmedeği gözlemlenmiştir.

V. P. Androvitsaneas et. al. (2012) tarafından yapılan çalışmada 6 farklı topraklama düzeneği üniversite kampüsüne kurulmuş ve bu düzeneklerde bakır topraklama çubuklarını 5 farklı yardımcı kimyasal madde ile ve bir de doğal toprak ile çevreleyerek sistemler oluşturulmuştur. Birinci düzenekte doğal toprak ikinci düzenekte

bentonit üçüncü düzenekte iletken beton ve diğer üç düzenekte de 3 farklı kimyasal madde kullanılmıştır. Ve bu düzeneklerin maruz kaldığı yağmur miktarı da her 10 dakikada sensörler tarafından kayıt altına alınmıştır. Yapılan ölçümlerde yağışlı mevsimde toprak nemli iken yardımcı kimyasal maddeler içeren düzeneklerin toprak geçiş direncinin bir nebze daha düşük olduğu fakat kurak mevsimde ise topraktaki nemi doğal toprağa göre daha iyi tuttukları için diğer beş farklı kimyasal maddenin toprak geçiş dirençleri çok daha düşük ölçülmüştür. Fakat geçen zamanla birlikte kullanılan 3 farklı kimyasal maddenin tutarlılık göstermediği ve avantajının dezavantaja döndüğü ve yaygın olarak kullanılan bentonit ve iletken beton maddelerinin daha tutarlı sonuç verdiği saptanmıştır.

## **2. KURAMSAL TEMELLER**

### **2.1. Genel Tanımlar**

#### **2.1.1. Elektrik kuvvetli akım tesisleri**

İnsanlar, diğer canlılar ve nesnelere için bazı durumlarda (yaklaşma, dokunma vb.) tehlikeli olabilen ve elektrik enerjisinin üretilmesini, özelliğinin değiştirilmesini, biriktirilmesini, iletilmesini, dağıtılmasını ve mekanik enerjiye, ışığa, kimyasal enerjiye vb. enerjilere dönüştürülerek kullanılmasına olanak sağlayan tesislerdir.

#### **2.1.2. Alçak gerilim (AG)**

Etkin değeri 1000 volt ya da 1000 voltun altında olan fazlar arası gerilimdir.

### **2.1.3. Yüksek gerilim (YG)**

Etkin değeri 1000 voltun üstünde olan fazlar arası gerilimdir.

### **2.1.4. Tehlikeli gerilim**

Etkin değeri alçak gerilimde 50 voltun üzerinde olan, yüksek gerilimde hata süresine bağlı olarak değişen gerilimdir.

### **2.1.5. Toprağa karşı gerilim**

Orta noktası ya da yıldız noktası topraklanmış şebekelerde, bir faz iletkeninin bu noktalara göre potansiyel farkıdır. Bu gerilim faz gerilimine eşittir.

Bunun dışındaki bütün şebekelerde toprağa karşı gerilim, bir faz iletkeninin toprağa temas etmesi durumunda öteki faz iletkenleri ile toprak arasında oluşan gerilimdir. Arıza olan bölgede ark oluşmamışsa, bir fazın toprağa karşı gerilimi fazlar arası gerilim değerine eşittir.

## **2.2. Topraklamaya ilişkin tanımlar**

### **2.2.1. Toprak**

Elektrik potansiyelinin her noktada sıfır olduğu yeryüzünün madde ve yer olarak ifadesidir. Örnek: humuslu toprak, killi toprak, kumlu toprak, çamur, kayalık arazi.

### **2.2.2. Referans toprağı (nötr toprak)**

Topraklama elektrodundan yeterince uzakta olan ve topraklama tesisinin etki alanı dışında kalan yeryüzü bölümüdür. Bu bölümdeki

herhangi iki nokta arasında, topraklama akımının oluşturduğu gerilim ihmal edilecek kadar küçük değerdedir.

### **2.2.3. Topraklama iletkeni**

Topraklanacak bir elemanı ya da tesis bölümünü, bir topraklayıcıya bağlayan toprağın dışında veya yalıtılmış olarak toprağın içinde yerleştirilmiş bir iletkenidir.

Nötr iletkeni veya ana iletken ile topraklayıcı arasındaki bağlantıya bir ayırma bağlantısı, bir ayırıcı ya da bir topraklama bobini veya direnç bağlanmışsa, bu durumda sadece topraklayıcı ile belirtilen cihazlara en yakın toprak tarafındaki bağlantı ucu arasındaki bağlantı, topraklama iletkenidir.

### **2.2.4. Topraklama barası (topraklama birleştirme iletkeni)**

Birden fazla topraklama iletkeninin bağlandığı bir topraklama barasıdır (iletkenidir).Aşağıdaki iletkenler topraklama barası kabul edilmez:

i) Üç fazlı düzenlerde (üç ölçü transformatörü, üç kablo başlığı, üç mesnet izolatörü vb.) her bir cihazın topraklanacak bölümlerini birleştiren topraklama iletkenleri,

ii) Hücre şeklindeki tesislerde, bir hücrenin cihazlarının topraklanacak kısımlarını birleştiren ve hücre içinde kesintisiz olarak yerleştirilmiş olan bir topraklama barasına irtibatlandırılmış topraklama iletkenleri.

### **2.2.5. Topraklama tesisi**

Birbirlerine iletken olarak bağlanan ve sınırlı bir alan içinde yer alan topraklayıcılar ya da aynı görevi yapan (boyasız direk ayakları, zırhlar ve metal kablo kılıfları gibi) metal kısımlar ve topraklama iletkenlerinin tümüdür.

### **2.2.6. Topraklamak**

Elektriksel bakımdan iletken bir parçayı bir topraklama tesisi üzerinden toprakla irtibatlandırmaktır.

### **2.2.7. Topraklama**

Topraklamak amacıyla kullanılan araç, düzen ve yöntemlerin hepsidir.

### **2.2.8. Topraklayıcı (topraklama elektrodu)**

Toprağın içerisinde ve toprakla iletken bir bağlantısı olan veya beton içine yerleşmiş, geniş yüzeyli bağlantılı iletken parçalardır.

## **3. MATERYAL ve YÖNTEM**

### **3.1. Materyal**

#### **3.1.1. Karbon Siyahı**

Topraklama düşürücü olarak kullanacağımız karbon siyahı dağıtım sektöründe yaygın olarak kullanılmamış olan bir kimyasal malzemedir. Karbon siyahı atıl durumdaki lastiklerden üretilmekte olup piroliz yoluyla elde edilmektedir. Atıl durumdaki lastiğin % 20-25 i karbon siyahı olarak elde edilir. Karbon siyahında %95 oranında karbon elementi bulunurken az miktarda da oksijen, hidrojen ve nitojen bulunur. Karbon siyahı plastik sanayinde güçlendirici dolgu



mazlemesi olarak ve boya pigmenti olarak kullanılır. Ülkemizde ihtiyaç duyulan 220-230 bin ton civarındaki karbon siyahı yurt dışından temin edilmektedir. Bilgisayar klavye tuşları, ayakkabı tabanları, bahçe sulamasında kullanılan hortumlar, kapı fitili gibi pek çok yerde kullanılır. Karbon siyahı iyi bir iletken olduğu için statik elektriklenmenin istenmediği yakıt borularında ve benzin kapaklarında kullanılır.

### **3.1.2. Melas**

Melas şeker pancarında elde edilen bir malzemedir. Fabrikasyon kademesinde şekerin fabrikasyona alınamayan son şurubudur. İçeriğinde %50 şeker %20 su bulunur. Bu çalışmada melasın daha çok kıvamlı bir malzeme olma özelliğinden faydalanılmıştır. Çok küçük yapıda olan karbon karası kolaylıkla dağılabilen bir malzemedir. Bu malzemenin dağılmasını önlemek için belli bir kıvama sahip olan melas ile bir karışım oluşturulmuştur.

### **3.1.3. Patates Nişastası**

Patates nişastası bir çok sektörde yapıştırıcı, yapı düzenleyici, kalınlaştırıcı olarak kullanılmaktadır. Düşük derecelerde jelleşme özelliğine sahiptir. Bu çalışmada karbon karası ve melas karışımını bir miktar katılaştırmak için kullanılmıştır.

### **3.1.4. Perlit**

Topraklama düşürücü olarak kullanacağımız perlit asidik özelliklere sahip bir malzemedir. Perlit ısıyla genleşen bir malzemedir. İlk hacminin 20 katına kadar genleşebilmektedir.

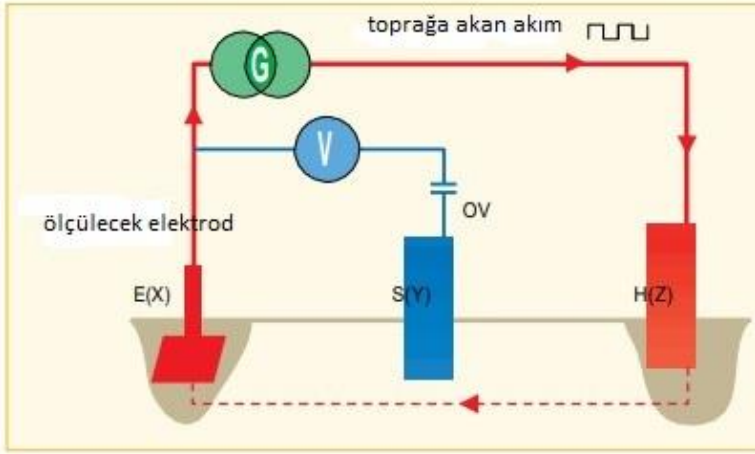
### 3.1.5. Galvanizli Köşebent Profil

Topraklayıcı olarak kullandığımız elektrottur. Bu elektrotların sürekli toprakla temasta olması sebebiyle elektrodun korozyona karşı dayanıklı olması gerekir. Bu dayanımı da sağlamak için galvaniz kaplama yapılmaktadır.

## 3.2. Yöntem

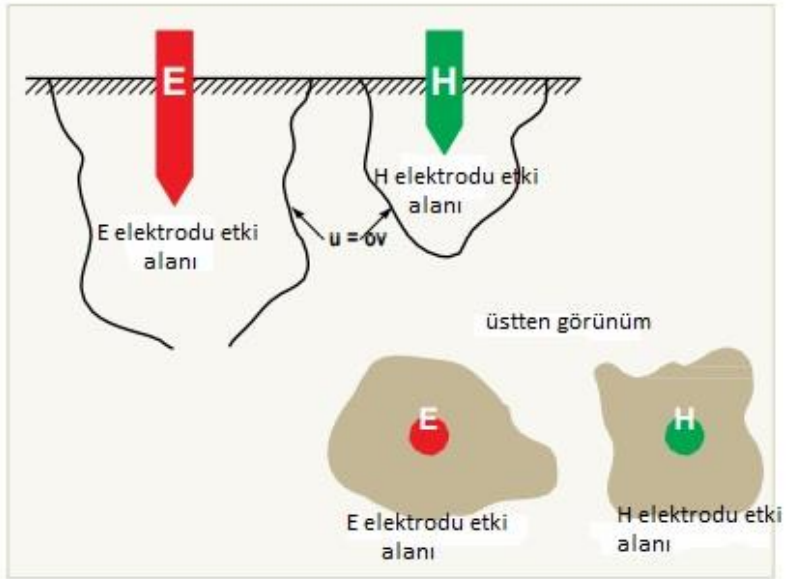
### 3.2.1. Tek Noktadan Bağlı Toprak Elektrodundan Toprak Direnci Ölçümü

Ölçüm prensibinde G jeneratörü ile (I) alternatif akımını H ve E Elektroduna verme şeklinde uygulanır. E ile S arasındaki gerilim seviyesi V ölçülerek, direnç değeri gerilimin akıma bölünmesiyle bulunur.



Şekil 3.1. Tek Noktadan Bağlı Toprak Elektrodundan Toprak Direnci Ölçümü

Hata akımı toprak elektrodu üzerinden toprağa doğru akacaktır. Toprakta uzaklaştıkça , paralel kontak dirençleri sonsuza gitmeye eğilimlidir ki buda eşdeğer direncin sıfıra yakın bir değere gelmesi demektir. Bu da şunu gösterir ki her topraklama noktası etrafında bir etki noktası mevcuttur ve bu etkileme alanının büyüklüğü ve şekli belirsizdir. Topraklama ölçümleri yapılırken, S kazığını ( sıfır V gerilim elektrodu h) diğer topraklama elektrotlarının etki alanlarından uzak bir noktaya koyulması konusunda dikkat edilmelidir.



Şekil 3.2. Topraklama elektrodu etki alanı

Elektrik akımlarının yayılması, Toprak direnci ile doğrudan bağlantı olduğundan, ölçüm esnasında etki alanının dışında olup olunmadığının tespiti zordur. Bu etkiyi ortadan kaldırmak için S elektrodunun yeri değiştirilerek ölçüm sonuçları elde edilmelidir.

### **3.2.2. Karbon Siyahı Toprak Geçiş Direnci Düşürücü Elde Edilmesi**

Kullandığımız karbon siyahı çok küçük parçacıklar halinde olduğu için herhangi bir malzemeyle kıvama getirilmediğinde kalıcı bir etki oluşturmamaktadır. Zamanla dağılmaktadır. Diğer topraklama kimyasallarının aksine suyu tutma özelliği de yoktur. Bu nedenle bu çalışmada karbon siyahının belli bir kıvama gelmesi için melas kullanılmıştır. Bu jelimsi kıvama biraz da katılık sağlamak için de patates nişastası kullanılmıştır. Bu sayede karbon karasının dağılması önlenerek uzun bir süre etki göstermesi sağlanmıştır.

### **3.2.3. Topraklama Elektrodunun Toprağa Yerleştirilmesi**

Dört farklı toprak geçiş direnç düşürücü malzemenin etkisinin uzun bir süre incelenmesi için aynı referans noktasını kullanmak mümkün değildi. Bu nedenle dört farklı topraklama çukuru kazıldı.



**Resim 3.1.**Topraklayıcının toprağa yerleştirilmesi

Topraklama yaptığımız toprağın homojen bir yapıda olmaması nedeniyle referans alacağımız tek bir nokta mevcut değildi. Bu nedenle her kimyasal için ayrı bir referans noktası oluşturulması gerekti. Bu nedenle kimyasal kullanılarak yapılan topraklamanın yanına da referans olması için sadece kazık ve toprağın olduğu bir topraklama yapıldı. Toplamda 8 adet toprak geçiş direnci elde edildi.



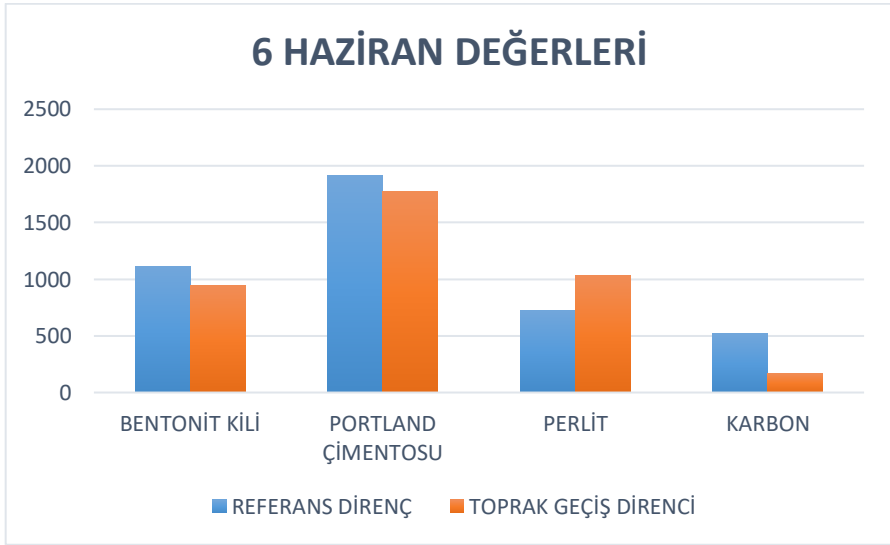
**Resim 3.2.**Topraklayıcının etrafına direnç düşürücünün kalıbının yerleştirilmesi

## **4. BULGULAR, ARAŞTIRMA BULGULARI**

### **4.1. Topraklama Geçiş Direnci Değerleri**

İlk topraklama geçiş direnci ölçümleri 6 Haziran 2021de yapıldı. 4 farklı kimyasal için referans topraklaması ile birlikte 8 sonuç elde

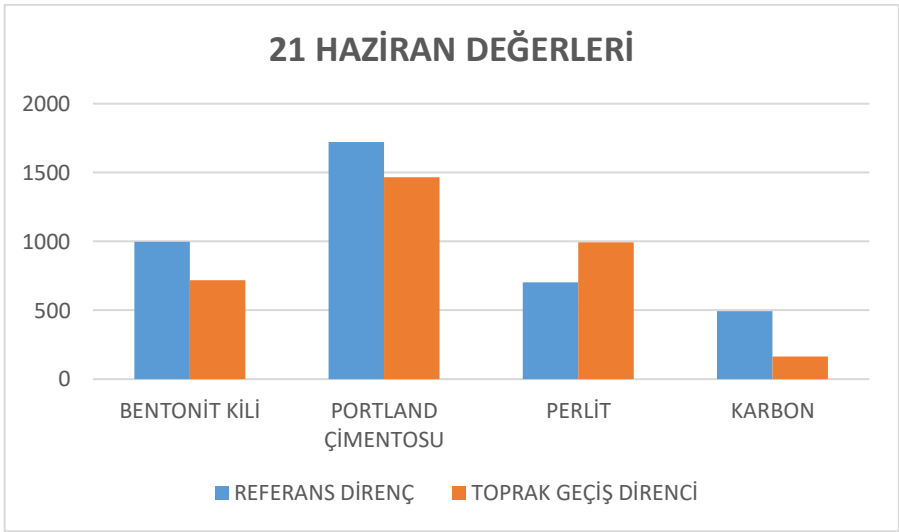
edilmiştir. Elektrik dağıtım sisteminde kullanılan bentonit kili referans topraklama geçiş direnci  $1115\Omega$  iken kimyasal kullanılan geçiş direnci  $941\Omega$  olarak ölçülmüştür. Elektrik dağıtım sisteminde kullanılan diğer kimyasal portland çimentosu referans topraklama geçiş direnci  $1913\Omega$  iken kimyasal kullanılan geçiş direnci  $1774\Omega$  olarak ölçülmüştür. Perlit topraklamasında referans topraklama geçiş direnci  $725\Omega$  iken geçiş direnci  $1033\Omega$  olarak ölçülmüştür. Kullandığımız karbon karası topraklamasında referans topraklama geçiş direnci  $521\Omega$  iken geçiş direnci  $172\Omega$  olarak ölçülmüştür. Alınan bu ilk ölçümlerde perlitin toprak geçiş direncini düşürmediği görülmüştür.



**Grafik 4.1.** 6 Haziran toprak geçiş empedansı

İkinci topraklama geçiş direnci ölçümleri 21 Haziran 2021 de yapıldı. Elektrik dağıtım sisteminde kullanılan kimyasallardan bentonit kili referans topraklama geçiş direnci  $998\Omega$  iken kimyasal kullanılan geçiş

direnci  $720\Omega$  olarak ölçülmüştür. Elektrik dağıtım sisteminde kullanılan diğer kimyasal portland çimentosu referans topraklama geçiş direnci  $1722\Omega$  iken kimyasal kullanılan geçiş direnci  $1466\Omega$  olarak ölçülmüştür. Perlit topraklamasında referans topraklama geçiş direnci  $701\Omega$  iken geçiş direnci  $995\Omega$  olarak ölçülmüştür. Kullandığımız karbon karası topraklamasında referans topraklama geçiş direnci  $494\Omega$  iken geçiş direnci  $166\Omega$  olarak ölçülmüştür. Yağışların etkisiyle hem referans direnç değerlerinde hem de toprak geçiş dirençlerinde bir miktar düşüş görülmektedir.

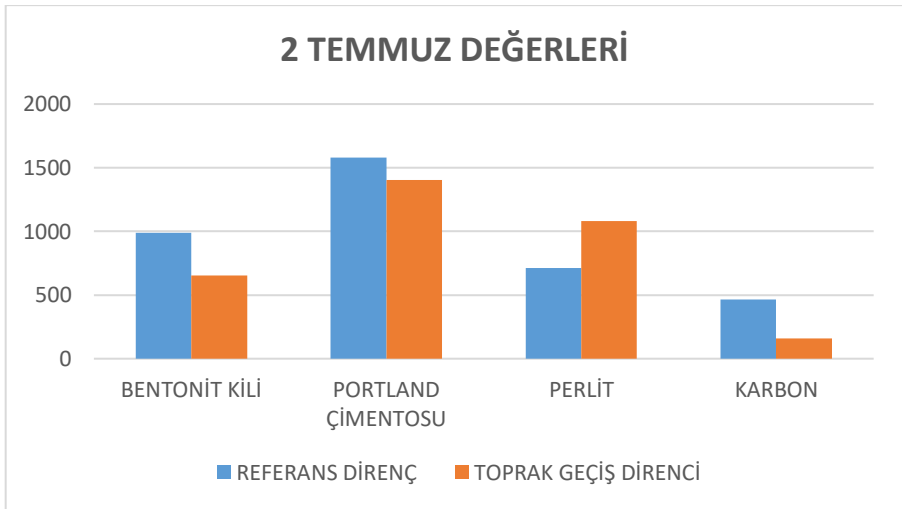


**Grafik 4.2.** 21 Haziran toprak geçiş empedansı

Üçüncü topraklama geçiş direnci ölçümleri 2 Temmuz 2021 de yapıldı. Elektrik dağıtım sisteminde kullanılan kimyasallardan bentonit kili referans topraklama geçiş direnci  $990\Omega$  iken kimyasal kullanılan geçiş direnci  $654\Omega$  olarak ölçülmüştür. Elektrik dağıtım



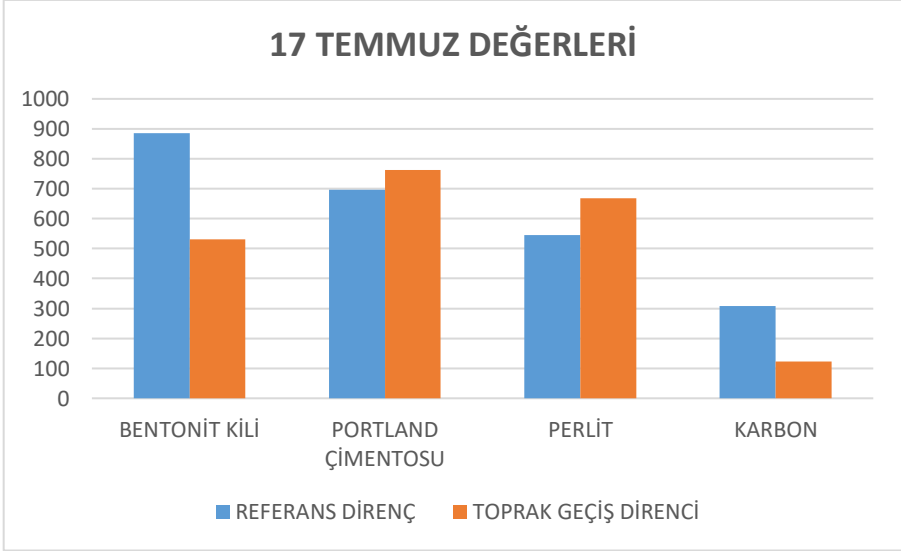
sisteminde kullanılan diğer kimyasalda referans topraklama geçiş direnci  $1578\Omega$  iken kimyasal kullanılan geçiş direnci  $1403\Omega$  olarak ölçülmüştür. Perlit topraklamasında referans topraklama geçiş direnci  $725\Omega$  iken geçiş direnci  $1033\Omega$  olarak ölçülmüştür. Kullandığımız karbon karası topraklamasında referans topraklama geçiş direnci  $521\Omega$  iken geçiş direnci  $172\Omega$  olarak ölçülmüştür.



**Grafik 4.3.** 2 Temmuz toprak geçiş empedansı

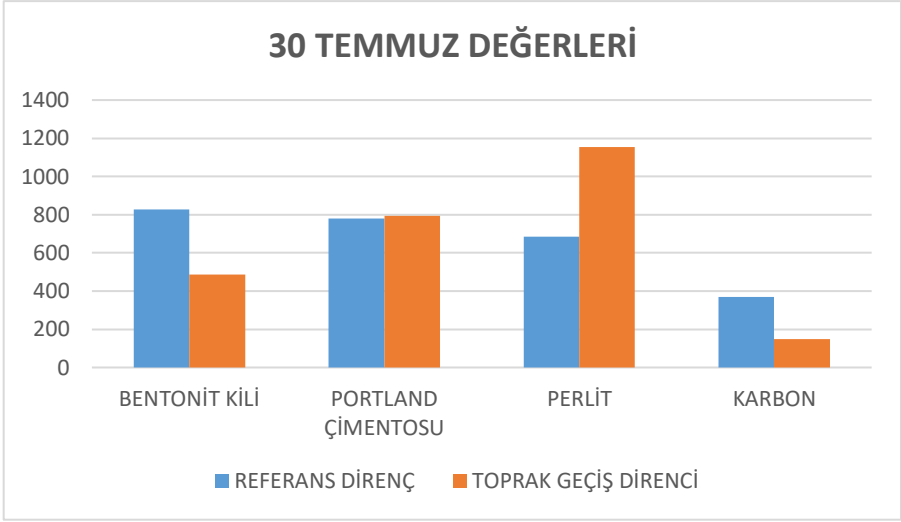
Dördüncü topraklama geçiş direnci ölçümleri 17 Temmuz 2021 de yapıldı. Elektrik dağıtım sisteminde kullanılan kimyasallardan bentonit kili referans topraklama geçiş direnci  $886\Omega$  iken kimyasal kullanılan geçiş direnci  $531\Omega$  olarak ölçülmüştür. Elektrik dağıtım sisteminde kullanılan diğer kimyasal portland çimentosu referans topraklama geçiş direnci  $697\Omega$  iken kimyasal kullanılan geçiş direnci  $763\Omega$  olarak ölçülmüştür. Perlit topraklamasında referans topraklama

geçiş direnci 546 $\Omega$  iken geçiş direnci 668 $\Omega$  olarak ölçülmüştür. Kullandığımız karbon karası topraklamasında referans topraklama geçiş direnci 308 $\Omega$  iken geçiş direnci 123 $\Omega$  olarak ölçülmüştür.



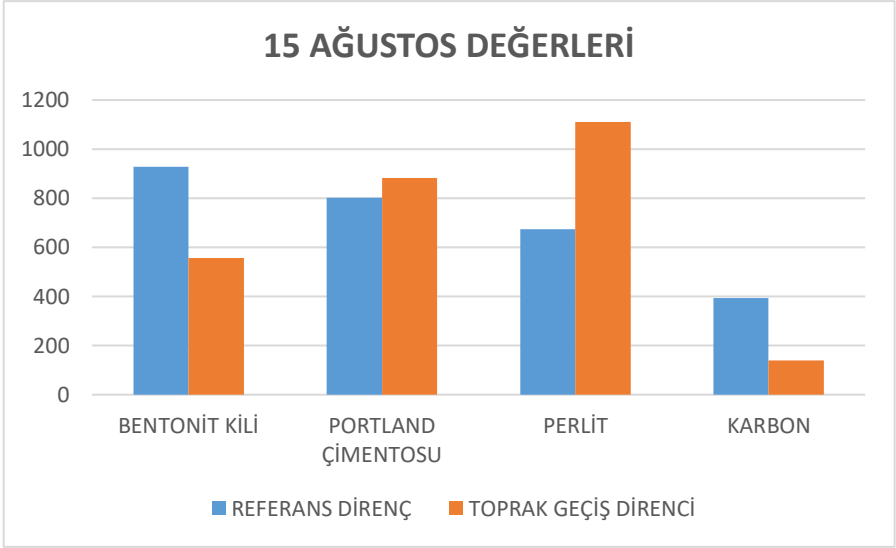
**Grafik 4.4.** 17 Temmuz toprak geçiş empedansı

Beşinci topraklama geçiş direnci ölçümleri 30 Temmuz 2021 de yapıldı. Elektrik dağıtım sisteminde kullanılan kimyasallardan bentonit kili referans topraklama geçiş direnci 929 $\Omega$  iken kimyasal kullanılan geçiş direnci 557 $\Omega$  olarak ölçülmüştür. Elektrik dağıtım sisteminde kullanılan diğer kimyasal portland çimentosu referans topraklama geçiş direnci 802 $\Omega$  iken kimyasal kullanılan geçiş direnci 883 $\Omega$  olarak ölçülmüştür. Perlit topraklamasında referans topraklama geçiş direnci 673 $\Omega$  iken geçiş direnci 1110 $\Omega$  olarak ölçülmüştür. Kullandığımız karbon karası topraklamasında referans topraklama geçiş direnci 393 $\Omega$  iken geçiş direnci 139 $\Omega$  olarak ölçülmüştür.



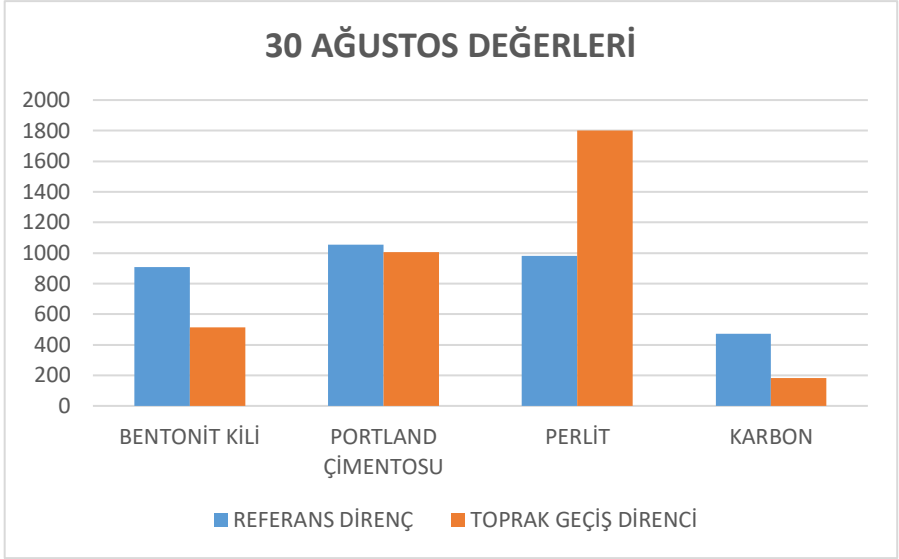
**Grafik 4.5.** 30 Temmuz toprak geçiş empedansı

Altıncı topraklama geçiş direnci ölçümleri 15 Ağustos 2021 de yapıldı. Elektrik dağıtım sisteminde kullanılan kimyasallardan bentonit kili referans topraklama geçiş direnci 826  $\Omega$  iken kimyasal kullanılan geçiş direnci 487 $\Omega$  olarak ölçülmüştür. Elektrik dağıtım sisteminde kullanılan diğer kimyasal portland çimentosu referans topraklama geçiş direnci 779 $\Omega$  iken kimyasal kullanılan geçiş direnci 794  $\Omega$  olarak ölçülmüştür. Perlit topraklamasında referans topraklama geçiş direnci 685 $\Omega$  iken geçiş direnci 1155 $\Omega$  olarak ölçülmüştür. Kullandığımız karbon karası topraklamasında referans topraklama geçiş direnci 370 $\Omega$  iken geçiş direnci 148 $\Omega$  olarak ölçülmüştür.



**Grafik 4.6.** 15 Ağustos toprak geçiş empedansı

Yedinci topraklama geçiş direnci ölçümleri 30 Ağustos 2021 de yapıldı. Elektrik dağıtım sisteminde kullanılan kimyasallardan bentonit kili referans topraklama geçiş direnci  $907\Omega$  iken kimyasal kullanılan geçiş direnci  $512\Omega$  olarak ölçülmüştür. Elektrik dağıtım sisteminde kullanılan diğer kimyasal portland çimentosu referans topraklama geçiş direnci  $1056\Omega$  iken kimyasal kullanılan geçiş direnci  $1004\Omega$  olarak ölçülmüştür. Perlit topraklamasında referans topraklama geçiş direnci  $982\Omega$  iken geçiş direnci  $1800\Omega$  olarak ölçülmüştür. Kullandığımız karbon karası topraklamasında referans topraklama geçiş direnci  $470\Omega$  iken geçiş direnci  $183\Omega$  olarak ölçülmüştür.



**Grafik 4.7.** 30 Ağustos toprak geçiş empedansı

## SONUÇ

15 gün aralıklarla 90 gün boyunca alınan ölçümler neticesinde şu sonuçlar ortaya çıkmıştır.

Perlitli toprağın, referans direnç alınan topraktan ölçüm süresi boyunca daha kötü sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu nedenle Perlit topraklama geçiş direncini düşürmede iyi bir malzeme olmadığı anlaşılmıştır.

Portland çimentosu içerikli bileşik başlangıçta referans toprak değerinden daha iyi değerler vermesine karşılık zaman ilerledikçe ölçülen değerler kötüleşti ve referans toprak değerine yakın sonuçlar vermeye başladı.

Bentonit kili, referans toprak değerinden her ölçümde daha düşük değer vermiştir. %15 ten başlayıp %44 e varan düşüşler görülmüştür.

Karbon karası ve melas karışımında elde ettiğimiz kimyasal ise toprak geçiş direncini düşürmede iyi sonuçlar verdi. Her ölçümde referans toprak değerinden %60-67 arası daha düşük değerler ölçülmüştür.

Sonuç olarak toprak direncini düşürmede bentonit kili ve karbon karası iyi bir çözüm olarak görülmektedir.

## KAYNAKÇA

- Androvitsaneas, V. P. and Gonos, I. F. and Stathopoulos, I.A. (2015) “Experimental study on transient impedance of grounding rods encased in ground enhancing compounds”, Electric Power Systems Research, 139, 109-115.
- Androvitsaneas\*, V.P. and Ganas, I. F. and Stathopoulos, I. A. (2012), “Performance of Ground Enhancing Compounds During the Year”, International Conference on Lightning Protection (ICLP).
- Khan, Y. and Malik, N. H. and Al-Arainy, A. A. and Qureshi, M. I. and Pazheri, F.R. (2010), “Efficient Use of Low Resistivity Material For Grounding Resistance Reduction in High Soil Resistivity Areas”, TENCON IEEE Region 10 Conference, 620-624.
- 21.08.2001 tarihli Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği
- Chauvin Arnoux Group (2013) Topraklama Ölçüm El Kitabı

## BÖLÜM 2

### YENİ BİR TEMAS AÇI ÖLÇÜM SİSTEMİ İLE AKRİLİK (PMMA) MALZEMELERİN TUZLU SU İLE ISLANABİLİRLİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Musa Faruk ÇAKIR<sup>1\*</sup>

---

<sup>1\*</sup> Çankırı Karatekin Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Çankırı, Türkiye. mcakir@karatekin.edu.tr





## GİRİŞ

Akrilik, günlük hayatta kullanılan birçok ürünün hammaddesidir. Akroliğin oksitlenmesi ile oluşan, ortamı rahatsız edici keskin bir kokuya sahip renksiz bir asittir. Bu tür asitlerin ısı ve ışığa maruz kalması ya da metallerle etkileşmesi sonucu ortaya çıkan polimerler de 'akrilik' olarak isimlendirilir. Akroliğin formülü ise  $CH_2=CHCOOH$ 'dür. Akriliklerin kullanım alanları oldukça geniş olup birçok polimerin üretiminde de kullanılmaktadır. Akrilik, yüksek elektrik direnci, iyi termostabilite, hafiflik ve iyi işlenebilirlik gibi mükemmel özellikleri nedeniyle yoğun bir şekilde araştırmacılar tarafından çalışılmıştır (García-Payo, vd, 2010, Kim, vd, 2009, Karhan, 2021a). Bu özellikler, akriliklerin filtrasyon, hava temizleme ve şarj edilebilir piller gibi çeşitli alanlarda giderek daha fazla kullanılmasını sağlamıştır.

Akrilik; endüstride boya, cam, elyaf, iplik, levha, orlon ve pleksiglas gibi ürünlerin yapımında da kullanılmaktadır. Akrilik terimi, plastik ve reçine gibi maddeleri tanımlamak için de kullanılmaktadır; çünkü plastik ve reçine gibi maddeler akrilik bileşiklerin kimyasal senteziyle elde edilebilmektedir. Bu kimyasal sentezler sonucu elde edilen maddelerin yapısı ise saydam, mat, esnek, sert ve yumuşak özellikler taşımaktadır (Budunoğlu, vd, 2011, Cho, vd, 2010, Crick, vd, 2011). Mücevherler, optik malzemeleri, kaplama malzemeleri ve yapı malzemeleri gibi birçok maddenin üretiminde de kullanılan akrilik, sıvı halde de bulunabilmektedir. Akrilik, antimikrobiyal özellikleri olan hijyenik bir madde olması nedeniyle temizlik endüstrisinde

kullanılmaktadır (Freschauf, vd, 2012, Crick, vd, 2011). Çok işlevli akrilik malzemeler süperhidrofobik filmlerin ve kaplamaların imalatı, sıvı iticiliği ve elektriksel iletkenlik (Xue, vd, 2012, Das, vd, 2012), manyetik aktivite (Calcagnile, vd, 2012), şeffaflık (Budunoğlu, 2011), gibi diğer özellikler nedeniyle giderek daha fazla akademik ve endüstriyel çalışmalarda ilgi kazanmaktadır. Güçlü substrat yapışması (Bayer, vd, 2009), mekanik sağlamlık (Schutzius, vd, 2011, Verho, vd, 2011), buzlanmanın önlenmesi (Farhadi, vd, 2011) ve kendi kendine iyileşme (Ionov, vd, 2012) durumları bu malzemelere olan ilgiyi arttırmıştır.

Akrilik malzemeler ipeksi bir yüzeye sahip olmasına rağmen kolay çizilmez. Bu yüzeylerde meydana gelen çizik ve lekeler basit bir şekilde ortadan kaldırılabilir. Akrilik malzemeler kolayca işlenebilir (Jung, vd, 2009), çeşitli sıcak uygulamalarından sonra kolayca şekillendirilebilir. Bu nedenle dekoratif işlemler ve tasarımlar için kullanım kolaylığı sağlar. İç mimarlar ve tasarımcıların sıkça kullandığı malzemelerin hammaddesi olan akrilik, esnek ve estetik bir yapıdadır. Ahşap ve metal gibi birçok malzeme ve ürünle uyum içinde kullanılabilir (Bayer, vd, 2009). Nemli, ıslak ve kirli ortamlarda kullanılabilir. Ayrıca saydam olması sebebiyle ışıklandırma ve aydınlatma sistemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. (He, vd, 2011). Akrilik cam adını verdiğimiz malzemeler PMMA (Polimetil metakrilat) olarak da adlandırılmaktadır. Işık geçirgenliği, hizmet ömrü, her türlü hava koşullarında kullanımı gibi özellikleri ile kendini öne çıkarmaktadır. Ayrıca, yüksek yüzey sertliğine sahip olması da önemli bir parametredir. Akrilik malzemelerin bir diğer faydası ise,

kullanım sonrası %100 geri dönüşüm ile tekrar kullanıma sunulmasıdır. Bu özellikleri ile akrilik malzemeler doğal kaynak israfının da önüne geçmektedir. Akrilik malzemelerde temas açısı belirlenerek birçok uygulama alanlarına yönlendirilmeleri sağlanmaktadır. Temas açısı ölçülerek akrilik malzemelerin ıslanabilirlik davranışları belirlenmektedir.

Islanabilirlik olayı, bir sıvının bir katı üzerine yayılma durumudur. Bu durum temas açısı (CA) adını verdiğimiz sıvı ile katı malzeme arasında oluşan açının ölçülmesiyle belirlenmektedir (Gu, vd, 2016, Karhan, 2021a) ve ıslanabilirlik davranışı temas açısıyla bir anlam kazanmaktadır. Temas açısının değerlerine göre, sıvının su olması durumunda, ıslatılan malzeme hidrofilik veya hidrofobik adını verdiğimiz malzeme gruplarına ayrılabilir. Temas açısı ölçümü, tabanda katı bir yüzeye sahip bir sıvı damlasının teğet (açı) oluşturulmasıyla kolayca gerçekleştirilmektedir. Katı-buhar ve katı-sıvı ara yüzey gerilimlerini belirlemek, temas açısının ölçülmesi ile daha kolay hesaplanabilmektedir (Barışık, vd, 2018). Fakat temas açısına birçok faktör etki etmektedir. Katı malzemenin pürüzlülüğü, kirliliği, damlatılan sıvının cinsi, hacmi, düşme mesafesi, ortamın titreşimi ve sıcaklığı bu faktörlerden bazılarıdır (Karhan, 2021a, Karhan, 2021b).

Bilim insanları süperhidrofilik ve süperhidrofobik malzeme türlerini temas açılarının değerlerine göre tanımladılar. Temas açısının  $160^\circ$  derecenin üstünde olması süperhidrofobik,  $20^\circ$  derecenin altında olması ise süperhidrofilik olarak kabul edilmektedir. Süperhidrofobik

malzemeler, yağa karşı yüksek afiniteye sahipken, suyu tamamen uzaklaştırdığından yağ/su ayırma amacına hizmet etme potansiyeline sahiptirler (Jin, vd, 2011, Schutzius, vd, 2011). Bu malzemeler mevcut malzemelerin performansını değiştirmek veya geliştirmek için biyomalzemeler, inşaat malzemeleri, korozyon önleyici kaplamalar gibi çeşitli mühendislik alanlarında uygulamalar yapılmaktadır. Bir yüzeyde süperhidrofobik ve seçici soğurma özelliklerini gerçekleştirmek için hiyerarşik yapı pürüzlülüğü ve düşük yüzey enerjisi kombinasyonuna sahip olması gerekmektedir. Bu çalışmada akrilik malzeme olarak da bilinen PMMA malzemelerin NaCl çözeltilerinde (tuzlu su) oluşan temas açısı ile ıslanabilirlik davranışları incelenmiştir.

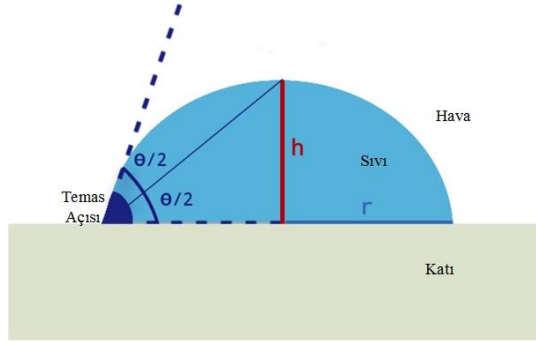
## **1. TEMAS AÇISI VE ISLANABİLİRLİK DAVRANIŞI**

### **1.1. Temas Açısı**

Temas açısı, ıslanabilirlik davranışının belirlenmesinde önemli yer tutan bir değerdir. Bu açı, sıvı ile katı malzeme arasında oluşan açının ölçülmesiyle belirlenmektedir. Ancak bu açığa ortamdaki havanın ve yerçekiminin de etkisi unutulmamalıdır. Aslında temas açısı katı, sıvı ve gaz fazlarındaki malzemelerin yerçekiminin de etkisiyle oluşturduğu açıdır şeklinde de tanımlanabilmektedir. Temas açısının değeri, sıvının molekülleri arasında kohezyon kuvvetleri ile katı sıvı arası adezyon kuvvetlerinin büyüklüğüne bağlıdır. Kohezyon kuvvetler adezyon kuvvetlerden büyüklük olduğunda temas açısı da büyük olmaktadır. Başka bir deyişle, büyük bir temas açısı durumu, sıvı katı çekim kuvvetlerinin düşük olduğunu, belirlemektedir. Temas

açıların hesaplanmasında yarım açı, teğetsel yöntem, Young-Laplace metodu, elips ve polinom metodu gibi yöntemler kullanılmaktadır (Kalantarian, vd, 2009, Karhan, 2022). Bu çalışmada PMMA malzemelerin temas açısı ölçümlerinde yarım açı metodu kullanılmıştır. Yarım açı metodu, katı yüzey üzerinde bulunan damlanın ideal bir kürenin parçası olduğu ve görünümünün bir daire olduğunu kabul etmektedir. Damlanın katı yüzeyde oluşturduğu dik yüksekliği (h) ve damlanın taban yarıçapı (r) olarak alındığında, Eş 1'de gösterildiği gibi temas açısı hesaplanabilmektedir (Gu, vd, 2016, Karhan, vd, 2021). Şekil 1'de yarım açı metoduyla temas açısının ölçümünün şematik gösterimi verilmiştir.

$$\theta = 2 \tan^{-1} \left( \frac{h}{r} \right) \quad (1)$$



**Şekil 1.**  $\theta/2$  yöntemiyle temas açısı ölçümünün şematik gösterimi

Günümüzde birçok temas açısı yaklaşımı (Neumann, vd, 1974, Zisman, vd, 1964), yüzey enerjisinin tespiti için Young denkleminde büyük ölçüde ilham almıştır. Bu yaklaşımlar, mantıksal ve kavramsal olarak bazen farklı fikirlerde olsalar da, bazı temel varsayımları

paylaşmışlardır. Bu yaklaşımların tümü, Young'ın deneysel yüzey enerjisi ve temas açısı denkleminin geçerliliğine dayanmaktadır. Saf sıvıların her zaman kullanılacağı fakat aktif madde çözeltileri veya sıvı karışımların komplikasyonlara neden olacağından kullanılmamasını önerdiler. Islatılan katı yüzey ile damlatılan sıvı arasında fiziksel veya kimyasal reaksiyon olmamasına dikkat edilmesini belirttiler. Ayrıca kullanılan sıvıların sıvı yüzey gerilimlerinin, katı yüzey gerilimlerinden daha yüksek olmasının önemini vurguladılar. Temas açısı değeri, sıvının katı yüzeye düşümünden itibaren zamana bağlı değişimi histeresiz olarak ifade edilmektedir. Ayrıca ilerleyen ve uzaklaşan temas açısı değerleri meydana gelmektedir. Tamamen pürüzsüz bir yüzeyde ilerleyen temas açısı ( $\theta_A$ ) ve uzaklaşan temas açısı ( $\theta_R$ ) cinsinden temas açısı değeri ( $\theta_0$ ), Tadmor tarafından hesaplanmıştır ve Eş 2'de gösterilmiştir (Tadmor, vd, 2004).

$$\theta_0 = \cos^{-1} \left( \frac{\Gamma_A \cdot \cos \theta_A + \Gamma_R \cdot \cos \theta_R}{\Gamma_A + \Gamma_R} \right) \quad (2)$$

Burada  $\Gamma_A$  ve  $\Gamma_B$  değerleri

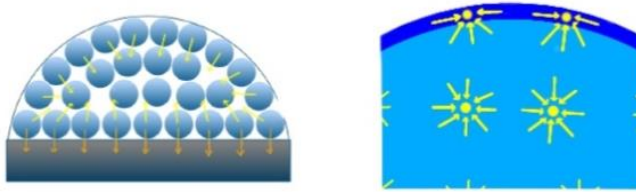
$$\Gamma_A = \left( \sqrt[3]{\frac{\sin^3 \theta_A}{2 - 3 \cdot \cos \theta_A + \cos^3 \theta_A}} \right) \quad \text{ve} \quad \Gamma_R = \left( \sqrt[3]{\frac{\sin^3 \theta_R}{2 - 3 \cdot \cos \theta_R + \cos^3 \theta_R}} \right) \quad \text{şeklinde}$$

ifade edilmektedir.

Young denkleminin geçerli olması katı yüzeylerin sert, pürüzsüz ve homojen olmasını gerektirmektedir.

## 1.2. Islanabilirlik Davranışı

Islanabilirlik davranışı, ilk olarak Young (Gu, vd, 2016, Law, vd, 2016) tarafından tanımlanan bir teknik terimdir. Malzemenin yüzeyi ile sıvı damlası arasındaki temas açısı, malzemenin ıslanabilirlik davranışını açıklayan en önemli unsurdur. Sıvı damlası malzemeye damlatıldığında, sıvının molekülleri damlacığın içinde birbirlerini çekmektedir. Yüzeydeki moleküller ise sadece yüzeyin altındaki moleküller tarafından çekilmektedirler. Bu durum, yüzey moleküllerinin potansiyel enerjilerinin içindeki moleküllere göre daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak sıvının yüzeyindeki moleküller daha sıkışık ve daha yoğun bir katman oluşturmaktadır ve sıvı damlası serbest hale geldiğinde küre şeklini almaktadır. Damlatıldığı yüzeyde ise küre şeklini korumaya devam etmesini yüzey gerilimi adını verilen enerjiler sağlamaktadır. Şekil 2’de yüzey gerilimlerinin oluşumu şematik olarak gösterilmiştir.

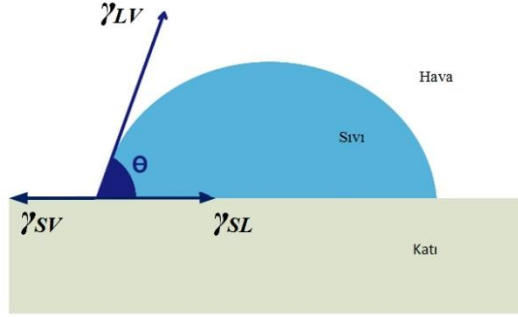


**Şekil-2** Yüzey gerilimleri ile damlacığın küresel oluşumunun şematik gösterimi

Yüzey enerjisi ile yüzey gerilimi aynı ifadelerin farklı fiziksel nedenlerle açıklanması olayıdır. Yüzey gerilimi ifadesini sıvılar için kullanırken, yüzey enerjisi ifadesini de katılar için kullanmak daha doğru bir yaklaşımdır. Temas açısı oluşurken aynı zamanda yüzey



gerilimleri de meydana gelmektedir. Sıvı –Hava ( $\gamma_{LV}$ ), Katı-Sıvı ( $\gamma_{SL}$ ) ve Katı–Hava ( $\gamma_{SV}$ ) olmak üzere üç çeşittir. Şekil 3’de bir damlanın temas açısı ve yüzey gerilimleri gösterilmiştir.



Şekil 3. Durağan damlanın temas açısı ve yüzey gerilimleri

Temas açısı ile yüzey gerilimleri arasındaki bağıntı Eş. 3’de verilmiştir. Bu denklem aynı zamanda Young Denklemi adını alarak ıslanabilirlik davranışının temelini oluşturmaktadır (Law, vd, 2016).

$$\gamma_{SV} = \gamma_{SL} + \gamma_{LV} \cdot \cos \theta \quad (3)$$

Young Denklemi’ni kullanarak sıvıların katı yüzeylerdeki yüzey enerjileri hesaplanabilmektedir. Young temas açısı denkleminden türetilen ve Fowkes tarafından önerilen, katı yüzey enerjilerinin hesabında kullanılmak üzere Eş.4 oluşturulmuştur (Evcin, vd, 2018).

$$\gamma_S(1 + \cos \theta) = 2 \cdot \left[ \sqrt{\gamma_S^d \cdot \gamma_k^d} + \sqrt{\gamma_S^p \cdot \gamma_k^p} \right] \quad (4)$$

Yukarıdaki denklemde;

$\gamma_S$ =Damlatılan sıvının serbest yüzey enerjisi ( $\text{mJ/m}^2$ )

$\gamma_s^d$  = Damlatılan sıvının disperse serbest yüzey enerjisi (mJ/m<sup>2</sup>)

$\gamma_k^d$  = Katı yüzeyin disperse serbest yüzey enerjisi (mJ/m<sup>2</sup>)

$\gamma_s^p$  = Damlatılan sıvının polar serbest yüzey enerjisi (mJ/m<sup>2</sup>)

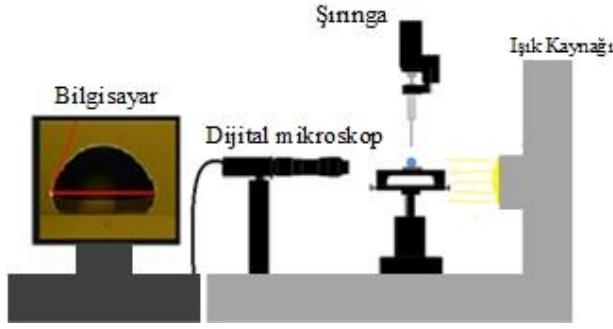
$\gamma_k^p$  = Katı yüzeyin polar serbest yüzey enerjisi (mJ/m<sup>2</sup>) ifade etmektedir.

Katı malzemelere damlatılan sıvı ile oluşan temas açısının değerine göre katı maddelerin ıslanabilirlik karakterleri ortaya çıkmaktadır. Temas açısı değeri 90° nin altında ( $\theta < 90^\circ$ ) ise katı malzeme hidrofilik özellik, 90° nin üstünde ise ( $\theta > 90^\circ$ ) hidrofobik özellik göstermektedir. Temas açısı değeri sıfır ( $\theta = 0^\circ$ ) tam ıslanma ve Temas açısı değeri  $\theta = 180^\circ$  olduğunda ise ıslanma davranışının olmadığı anlaşılmaktadır.

Young denklemi, pürüzsüz katı yüzeylerde ıslatma davranışlarının incelenmesinde kullanılırken, pürüzlü bir yüzeyin ıslatılmasında Wenzel (homojen ıslatma) ve Cassie-Baxter (heterojen ıslatma) olmak üzere iki farklı ıslatma modeli kullanılmaktadır (Law, vd, 2016). Wenzel modelinde sıvının pürüzlü katı yüzeyi tamamen ıslattığı fikrini benimsemektedir. Yani sıvı ile yüzey arasında hapsolmuş gaz olmadığını kabul etmektedir (Wenzel, vd, 1936). Pürüzlülük, katı yüzeyin ıslatma özelliğini artırmaktadır. Cassie-Baxter modeli homojen olmayan pürüzlü katı yüzeyler ile karakterize edilmektedir. Başka bir deyişle havanın yüzey pürüzleri arasındaki vadilerde hapsoldüğü, böylece damlanın katı ve havanın kompozit bir yüzeyinde kaldığı durumu ifade etmektedir.

## 2. TEMAS AÇI ÖLÇÜM SİSTEMİ

Ölçüm sistemi yazılım ve donanım olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Donanım bölümündeki malzemelerin bazı aparatları 3D yazıcı kullanarak yapılmıştır. Sonuçta şekil 4’de şematik gösterimi ve şekil 5’da uygulamasını gösterdiğimiz temas açısı ölçüm sistemi gerçekleştirilmiştir. Sistemde numunenin yerleştirildiği bölüm 3 boyutlu hareket edebilecek şekilde 3D yazıcıdan geliştirilen aparatlarla yapılmıştır. Dijital mikroskop bu mekanizma ile ayarlanarak net görüntüler elde edilmiştir.

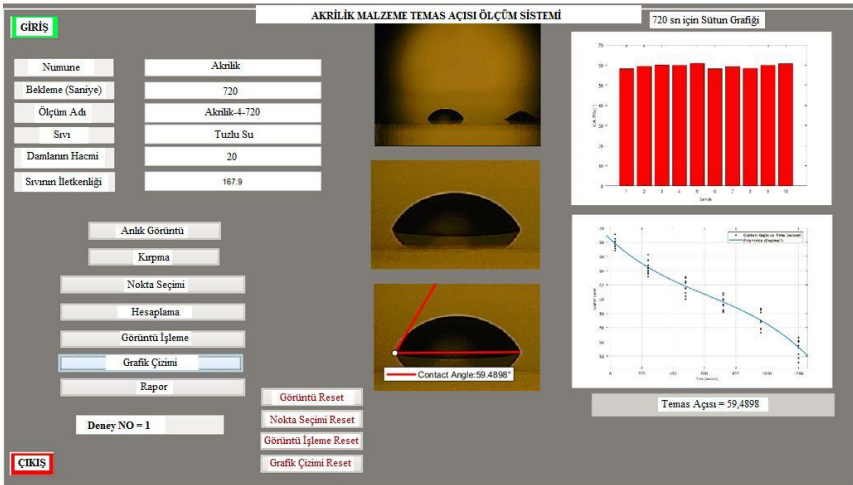


Şekil 4. Temas açısı ölçüm sistemi şematik gösterimi



Şekil 5. Temas açısı ölçüm sistemi

Yazılım bölümü ise dijital mikroskop yardımıyla alınan damlacık temas açısı görüntülerinin temel görüntü işleme teknikleri kullanılarak işlendiği, temas açısı değerlerinin hesaplandığı ve sonuçların rapor edildiği kısımdır. Bu bölümde MATLAB-GUI kullanılarak hazırlanmış kullanıcı arayüzü bulunmaktadır. Temas açısı ölçüm sisteminin kontrolü ve analiz verilerinin elde edilmesi yine hazırlanan arayüz sayesinde gerçekleştirilmiştir. Temas açısı ölçüm sisteminin kullanıcı arayüzü Şekil 6'de gösterilmiştir.



Şekil 6. Temas açısı ölçüm sisteminin kullanıcı arayüz görünümü

## 2.1. Akrilik Numunelerin Hazırlanması ve Temas Açısı Ölçümlerinin Gerçekleştirilmesi

Temas açısı ölçümü yapılacak akrilik numuneler  $5*20*30 \text{ mm}^3$  ölçülerinde hazırlanmıştır. Akrilik malzemelerin tuzlu su (NaCl çözeltisi) ile ıslanabilirlik davranışını incelemek için 2,4 M (molarite) tuzlu su çözeltisi kullanılmıştır. Tuzlu su çözeltisi hazırlarken su

olarak saf su kullanılmıştır. Bu çalışmada damlacık sıvısı olarak 2.4 M ve 167,9 mS/cm iletkenliğe sahip tuzlu su çözeltisi kullanılmıştır. Temas açısı ölçümü yapılacak akrilik numunelerin yüzey pürüzlülükleri, (Ra) Mitutoyo SJ-410 marka profilometre ile ölçülmüştür. Akrilik numunelerin ortalama yüzey pürüzlülüğü  $Ra=0,015\mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür. Bu değer, akrilik numunenin yüzeyinin pürüzlülük değerinin çok küçük olduğunu ifade etmektedir.

Temas açısı değerleri ölçülmeden önce numunelerin temas yüzeyinin temiz olması gerekmektedir. Bu yüzden her bir ölçümden önce % 99 saflıkta alkol ile temizlenmiştir. Temas açısı ölçümleri yapılırken akrilik numuneler ile damlatılmış tuzlu suyun oluşturduğu temas açısı görüntülerinin elde edilmesinde Celestron 44308 marka dijital mikroskop kullanılmıştır. Temas açısı ölçüm sisteminin görüntü işleme kısmı; dijital mikroskop ile alınan görüntülerin, temas açısı ölçümü için hazırlandığı bölümdür. Burada MATLAB ile hazırlanan yazılım ve görüntü işleme teknikleri kullanılmıştır. Temas açısı hesaplamada durağan damla (Sessile Drop) yöntemi kullanılmıştır. Akrilik yüzeydeki damlacığın taban çizgisi, sağ, sol ve tepe uç noktaları belirlendikten sonra görüntü işleme teknikleri ve yarım açı (half angle) metodu kullanılarak temas açısı hesaplanmıştır.

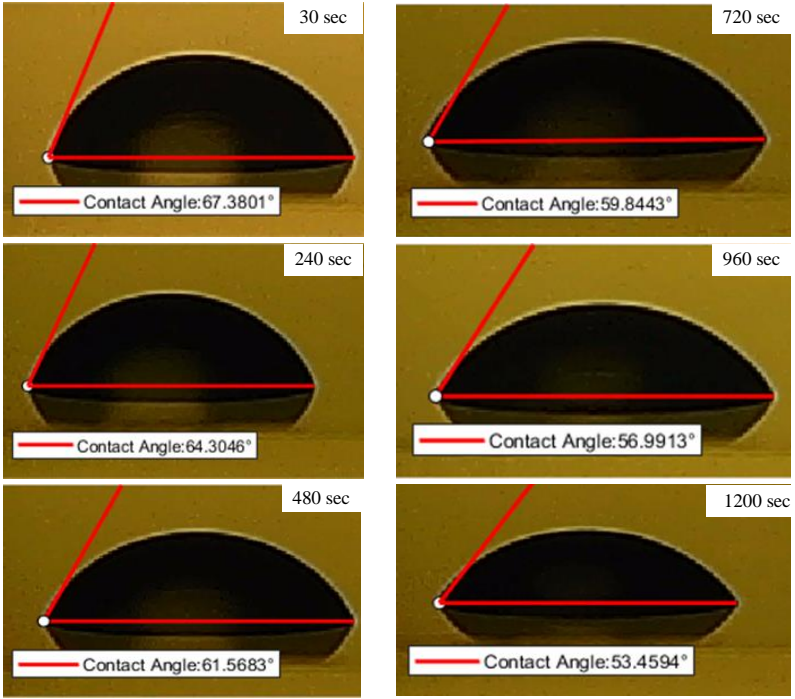
### 3. DENEYSEL SONUÇLAR

Hazırlanan arayüz yardımıyla yüzey üzerine bırakılan damladan istenilen zaman aralıklarında görüntü alınabilmektedir. Arayüz sisteminde numune adı, damlanın damlatılmasından kaç sn sonra görüntü alınacağı, damla hacmi, vb bilgiler girildikten sonra görüntü,

istenilen zamanda digital mikroskop yardımıyla elde edilmektedir. Damla görüntüsü ekrana geldiğinde, kırpma, nokta seçimi, hesaplama ve görüntü işleme butonları kullanılarak ölçüm için gerekli işlemler yapılabilmektedir. Damlanın görüntüsü üzerinde üç nokta belirlenip temas açısı hesaplanmaktadır.

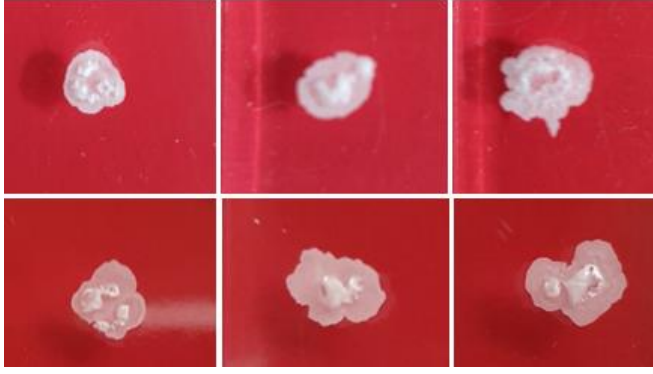
Akrilik numune hazırlanıp gerekli temizleme işlemi yapıldıktan sonra, temas açısı ölçüm sistemine el değmeden uygun bir şekilde yerleştirilmiştir. 2,4 M tuzlu su sistem üzerindeki şırınga yardımıyla 20 mikrolitre hacminde numune üzerine damlatılmıştır. Temas açısı ölçümü yapılırken “Sessile Drop” yöntemi kullanılmıştır. Akrilik numuneye 2,4 M tuzlu su damlatıldıktan sonra, 30 sn, 240 sn, 480 sn, 720 sn, 960 sn ve 1200 sn aralıklarla temas açısı ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçme işlemi her bir damla için 10 kez tekrar edilmiştir.

Her bir bekleme zamanı için yapılan 10 defa ölçümün ortalaması alınarak temas açısı değerleri elde edilmiştir. Aşağıdaki şekil 7’de bekleme zamanlarına göre elde edilen temas açısı görüntüleri gösterilmiştir.



Şekil 7. Bekleme sürelerine göre temas açı şekilleri

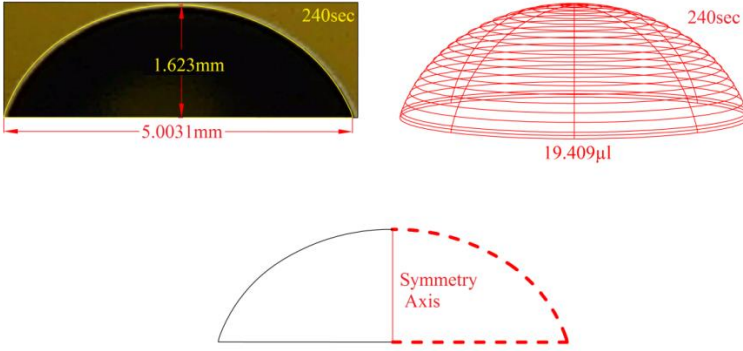
Akrilik malzeme üzerine damlatılan tuzlu su yaklaşık 56 dakika sonra buharlaşarak yüzeyde sadece tuz yığın ve halkaları kalmıştır. Yüzey üzerinde kalan tuz yığınları şekil 8’de gösterildiği gibi farklı formlarda oluşmuştur. Damlalardaki suyun buharlaşması sonucunda, akrilik numune üzerinde kalan tuz kristallerinin şekli birbirlerine benzememektedir. Tuz yığınlarının merkeze doğru yoğunluk gösterdiği gözlemlenmiştir.



**Şekil 8.** Akrilik numune üzerinde tuzlu su damlalarında su buharlaştıktan sonra tuz kristallerinin görünümü

Her bir damla için AUTOCAD programı ile damlaların yükseklik ve taban çizgileri hesaplanmıştır. Başlangıçta 30 sn bekleme süresi sonrasında taban çizgisi=5,038 mm ve yükseklik=1,693 mm değerindeyken, 1200 sn bekleme süresi sonrasında ise taban çizgisi=5,00231 mm ve yükseklik=1,312 mm değerine düşmüştür. Diğer bekleme sürelerinde ise tabanda yayılma belli bir süre devam etmiş ve taban çizgisi maksimum değerine 720 sn bekleme süresinde 5,460 mm değerine ulaşmıştır. Daha sonra özellikle buharlaşmanın da etkisiyle azalma eğilimine girmiştir. AUTOCAD programı kullanılarak damlanın 240 sn bekleme süresi sonrasında yükseklik=1,6228 mm, taban çizgisi=5,0031 mm ve damlanın hacmi=19,409  $\mu$ l hesaplanmıştır. Ayrıca damlanın yüksekliğe göre simetrik olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum Şekil 9'de gösterilmiştir.





**Şekil 9.** AUTOCAD programı kullanılarak 240 sn bekleme süresi için damlanın simetri durumu ve hacmi

## SONUÇLAR

Akrilik numunelerin 2.4 M tuzlu su ile temas açıları ölçüleri belirlenen zamanlarda ölçülmüştür. Temas açısı değerlerine göre akrilik malzemeler, tuzlu su damlatma durumunda hidrofilik karakter göstermektedir. Hidrofilik özellik, damlanın damlatılmasından sonra bekleme süresiyle artmaktadır. Süre arttıkça temas açısının ve damlanın yüksekliğinin buharlaşmayla birlikte düştüğü, temas yüzey uzunluğunun da yayılmanın devam etmesiyle arttığı ve 720 sn den azaldığı gözlemlenmiştir. Her bir belirlenen bekleme zamanları sonrasındaki damla şekillerinin görüntüsü analiz edildiğinde yüksekliğe göre simetrik olduğu belirlenmiştir. Bu durumun akrilik malzemelerin yüzey pürüzlülüğünün homojen olmasından kaynaklandığı ve Cassie - Baxter modeline uygun olduğu anlaşılmaktadır. Su molekülleri tamamen buharlaştıktan sonra katı yüzeyde tipik olarak tuz kristali formunun, yığın ve halka benzeri biriktiği gözlemlenmiştir. Tuz kristallerinin biçimleri katı-sıvı

etkileşim gücüne, buharlaşma oranına ve ilk tuz konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir. Zayıf bir katı-sıvı etkileşim gücü için, tuzun tamamı bir yığın halinde birikmektedir. Bunun sebebi ise damlacıkların buharlaşma sırasında küçülmesi ve damla içerisindeki tuz kristallerinin damla merkezine doğru hareket etmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. 6 farklı damlanın akrilik numune üzerindeki tam buharlaşma ve sadece yüzeyde tuz kristallerinin kalma süresi 56 dakika civarındadır. Ayrıca hiç bir tuz yığın formu birbirine benzememektedir. Temas açısı ve bekleme zamanı arasındaki ilişki doğrusala yakın bir değişim göstermiştir. Bu değişime ortamın sıcaklığı, damlatılan sıvının molaritesi yerçekimi katı maddenin yüzey pürüzlülüğü etki etmektedir.

## KAYNAKÇA

- García-Payo M. C., Essalhi M., Khayet M., (2010). “Effects of PVDF-HFP concentration on membrane distillation performance and structural morphology of hollow fiber membranes”. *Journal of Membrane Science*, 347, 209–219, DOI: 10.1016/j.memsci.2009.10.026
- Kim J-U., Park S-H., Choi H-J., Lee W-K., Lee J-K., Kim M-R., (2009). “Effect of electrolyte in electrospun poly(vinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene) nanofibers on dye-sensitized solar cells”. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 93, 803–807, DOI: 10.1016/j.solmat.2008.09.045
- Karhan, M., (2021). “Experimental investigation of wettability and evaporation for the surface of PMMA dielectric material used in high-voltage applications and outdoor electrical applications”, *Appl. Phys. A* 127, 462. <https://doi.org/10.1007/s00339-021-04630-6>
- Budunoglu, H., Yildirim, A., Guler, M.O., Bayindir, M., (2011). “Highly transparent, flexible, and thermally stable superhydrophobic ORMOSIL aerogel thin films”, *ACS Appl. Mater. Interface* 3, 539–545.
- Cho, K.L., Liaw, I.I., Wu, A.H.F., Lamb, R.N., (2010). “Influence of roughness on a transparent superhydrophobic coating”, *J. Phys. Chem. C* 114, 11228–11233.
- Crick, C.R., Parkin, I.P., (2011). “Superhydrophobic silica films on glass formed by hydrolysis of an acidic aerosol of tetraethylorthosilicate”, *J. Mater. Chem.* 21, 9362–9366.
- Freschauf, L.R., Sharma, J.H., Khine, M., (2012). “Shrink-induced superhydrophobic and antibacterial surfaces in consumer plastics”, *PLoS ONE* 7 (2012) e40987.
- Crick, C.R., Ismail, S., Pratten, J., Parkin, I.P., (2011). “An investigation into bacterial attachment to an elastomeric superhydrophobic surface prepared via aerosol assisted deposition”, *Thin Solid Films* 519, 3722–3727.

- Xue, C.-H., Chen, J., Yin, W., Jia, S.-T., Ma, J.-Z., (2012). “Superhydrophobic conductive textiles with antibacterial property by coating fibers with silver nanoparticles”, *Appl. Surf. Sci.* 258, 2468–2472.
- Das, A., Schutzius, A., Bayer, I.S., Megaridis, C.M., (2012). “Superoleophobic and conductive carbon nanofiber/fluoropolymer composite films”, *Carbon* 50, 1346–1354.
- Calcagnile, P., Fragouli, D., Bayer, I.S., Anyfantis, G.C., Martiradonna, L., Cozzoli, P.D., et al., (2012). “Magnetically driven floating foams for the removal of oil contaminants from water”, *ACS Nano* 6, 5413–5419.
- Budunoglu, H., Yildirim, A., Guler, M.O., Bayindir, M., (2011). “Highly transparent, flexible, and thermally stable superhydrophobic ORMOSIL aerogel thin films”, *ACS Appl. Mater. Interface* 3, 539–545.
- Bayer, I.S., Brown, A., Steele, A., Loth, E., (2009). “Transforming anaerobic adhesives into highly durable and abrasion resistant superhydrophobic organoclay nanocomposite films: a new hybrid spray adhesive for tough superhydrophobicity”, *Appl. Phys. Express* 2, 125003–125006.
- Schutzius, T.M., Tiwari, M.K., Bayer, I.S., Megaridis, C.M., (2011). “High strain sustaining, nitrile rubber based, large-area, superhydrophobic, nanostructured composite coatings”, *Compos. Part A – Appl. Sci. Manuf.* 42, 979–985.
- Verho, T., Bower, C., Andrew, P., Franssila, S., Ikkala, O., Ras, R.H.A., (2011). “Mechanically durable superhydrophobic surfaces”, *Adv. Mater.* 23, 673–678.
- Farhadi, S., Farzaneh, M., Kulinich, S.A., (2011). “Anti-icing performance of superhydrophobic surfaces”, *Appl. Surf. Sci.* 257, 5927–6320.
- Ionov, L., Synytska, A., (2012). “Self-healing superhydrophobic materials”, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 14, 10497–10502.
- Jung, Y.C., Bhushan, B., (2009). “Mechanically durable carbon nanotube-composite hierarchical structures with superhydrophobicity, self-cleaning, and lowdrag”, *ACS Nano* 3, 4155–4163.

- Bayer, I.S., Brown, A., Steele, A., Loth, E., (2009). "Transforming anaerobic adhesives into highly durable and abrasion resistant superhydrophobic organoclay nanocomposite films: a new hybrid spray adhesive for tough superhydrophobicity", *Appl. Phys. Express* 2, 125003–125006.
- He, Z., Ma, M., Lan, X., Chen, F., Wang, K., Deng, H., (2011). et al., "Fabrication of a transparent superamphiphobic coating with improved stability", *Soft Matter* 7, 6435–6443.
- Gu, H., Wang, C., Gong, S., Mei, Y., Li, H., and Ma, W., (2016). "Surface and Coatings Technology", vol. 292, pp. 72-77. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.03.014>
- Barışık M., (2018). "Silika yüzeylerin ıslanma hareketlerinin moleküler dinamik ile modellenmesi", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 33:1 337-344 DOI: 10.17341/gazimmfd.406805
- Karhan, M., (2021). "A Discrete Cosine Transform Based Approach to Analysis of Evaporation Rate and Wettability for Dielectric Materials' Surfaces", *Gazi Journal of Engineering Sciences*, vol.7, no.2, pp. 160-168. doi:<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2021.02.09>
- Jin, J., Wang, X., Song, M., (2011). "Graphene-based nanostructured hybrid materials for conductive and superhydrophobic functional coatings", *J. Nanosci. Nanotechnol.* 11, 7715–7722.
- Schutzius, T.M., Bayer, Tiwari, I.S., M.K., Megaridis, C.M., (2011). "Novel fluoropolymer blends for the fabrication of sprayable multifunctional superhydrophobic nanostructured composites", *Ind. Eng. Chem. Res.* 50, 11117–11123.
- Kalantarian, A., David, R., and Neumann, A.W., Langmuir, (2009). vol. 25, no. 24, pp. 14146-14154.
- Karhan, M., (2022). "Analysis of Wettability Characteristics in the Absence of the Electric Field and Under HVDC using Designed and Implemented an Experimental Platform for Contact Angle Measurement", *Braz J Phys* 52, 9 <https://doi.org/10.1007/s13538-021-01019-x>

- Gu, H., Wang, C., Gong, S., Mei, Y., Li, H., and Ma, W., (2016). "Surface and Coatings Technology", vol. 292, pp. 72-77. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.03.014>
- Karhan, M., Çakır, M.F., Arslan, Ö., (2021). "Investigation of the effect of roughness value on the wettability behavior under electric field in XLPE materials used in medium and high voltage applications", *Electrical Engineering*, 103, 3225–3238. <https://doi.org/10.1007/s00202-021-01326-1>
- Neumann, A. W., Good, R. J., Hope, C. J., (1974). Sejpal, M. J *Colloid Interface Sci*, 49, 291.
- Zisman, W. A. (1964). *Contact Angle, Wettability and Adhesion* (Adv. Chem. Ser. No. 43), American Chemical Society, Washington, DC.
- Tadmor, R., (2004). "Line energy and the relation between advancing, receding and Young contact angles", *Langmuir* 20 (18), 7659–7664
- Law, K.Y., and Zhao H., (2016). *Surface Wetting: Characterization, Contact Angle, and Fundamentals*, Switzerland: Springer,
- Evcin, A., Ersoy B., Uygunoğlu, T., Güneş İ., (2018). "Farklı mineral katkıların epoksi zemin kaplama malzemesinin ıslanmazlığına ve yüzey enerjisine etkisi". *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 33:2, 81-590 DOI: 10.17341/gazimmfd.416368
- Wenzel, R.N., (1936). "Resistance of solid surfaces to wetting by water", *Ind. Eng. Chem.* 28 (1936) 988–994.



## BÖLÜM 3

### KABLO KONTROLLÜ SU ALTI VE OTONOM YÜZEY ARAÇLAR İÇİN PLATFORM GÜVERTESİ TASARIMI

Prof. Dr. K. Turgut GÜRSEL<sup>1</sup>

Yük. Müh. Mesut TANER<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, Gemi İnşaatı Programı, İzmir-Türkiye; turgut.gursel@deu.edu.tr;  
ORCID NO: 0000-0002-9681-680X.

<sup>2</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, Gemi İnşaatı Programı, İzmir-Türkiye; mesut.taner@deu.edu.tr;  
ORCID NO: 0000-0002-4904-2098.





## GİRİŞ

Denizlerde jeolojik, jeofizik ve sismik araştırmalar ile deniz tabanının altındaki katmanlarda petrol ve doğal gaz rezervi araştırmaları, deniz dibi yzey yapısı, her turlu mhendislik ve kazı projeleri geleneksel olarak araştırma gemileri veya kucuk gemiler tarafından yurutulmektedir. Ancak, denizin altındaki katmanlar arasındaki petrol, doğal gaz ve diğer maden yataklarının araştırılmasında, jeolojik, jeofizik ve sismik çalışmalarda yuksek cozunurluklu goruntulerin elde edilmesi, deniz dibine cok yakin bolgelerden sonar cihazları ile tarama yapılmasına bağlıdır.

Tam boyu  $L=30$  m ve hatta  $L=20$  m'den kucuk olan araştırma gemilerinin fiziksel olarak çalışamayacağı sığ sularda da deniz araştırmalarının yoğun bir şekilde yurutulmesi gerekmektedir. Ayrıca araştırma gemilerinin yakıt ve personel giderleri başta olmak uzere, bakım-onarım, amortisman ve diğer giderleri genellikle cok yuksek değerlere ulaştığından deniz araştırma projelerinin butçeleri aşırı derecede buyumekte ve bazı durumlarda araştırmanın kısıtlanması gerekebilmektedir.

Sonuç olarak, deniz ve deniz dibi araştırmalarının sürdürulmesi için cok daha farklı ve spesifik araç, sistem ve ekipmanlarına gereksinim vardır. Yuksek enerji verimliliğine sahip otonom araçlarla bu tür araştırmaları yaparak, işletme ve araştırma maliyetlerini dusurmek, ölçüm doğruluğunu arttırmak, çalışma sürelerini kısaltmak, yaşam ve kaza riskini azaltmak mümkündür.

Günümüzde bu işlevleri ayrı ayrı yerine getiren otonom ve kablo kontrollü su altı ve yüzey deniz araçları bulunmaktadır. Bu tip çalışmalar için önce ROV (Remotely Operated underwater Vehicle) adı verilen Kablo-kontrollü Sualtı Araçları (KSA) geliştirilmiştir. Bunu, ASV (Autonomous Surface Vehicle) adı verilen Otonom Yüzey Araçları (OYA) ve AUV kısaltması ile isimlendirilen (Autonomous Underwater Vehicle) Otonom Sualtı Araçları (OSA) izlemiştir (Şekil 1-3).



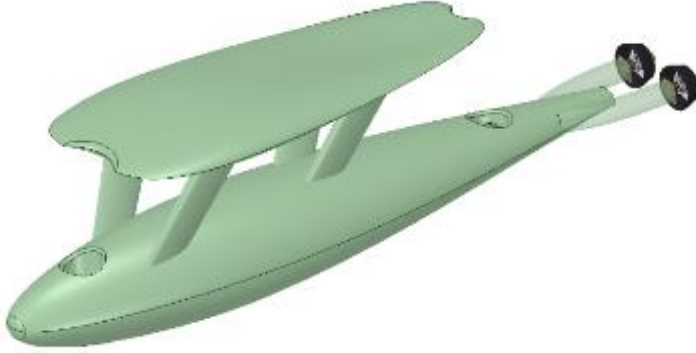
**Şekil 1.** Kablo-kontrollü Sualtı Aracı (KSA) ([www.ecagroup.com](http://www.ecagroup.com))



**Şekil 2.** Otonom Yüzey Aracı (OYA) ([www.ysi.com/hycat](http://www.ysi.com/hycat))



**Şekil 3.** Otonom Sualtı Aracı (OSA) ([www.unmannedsystemstechnology.com](http://www.unmannedsystemstechnology.com))

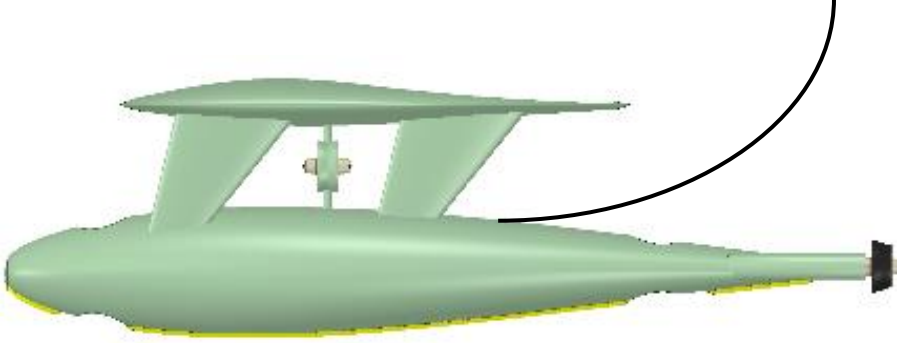


**Şekil 4.** Otonom Yüzey ve Sualtı Aracı'nı (OYSA) perspektif görünümü

Farklı ya da aynı üreticiler tarafından üretilen söz konusu bu üç farklı tip deniz aracı, yani KSA (ROV), OYA (ASV) ve OSA (AUV) yüzeyde ve su altında yürütülecek benzer veya farklı görev ve araştırmalar için kullanılmaktadır. Ancak, yüksek maliyetli bu araçların birbirlerinin yerine kullanılmaları mümkün olmadığından, araştırma kurumları ya çalışmalarına belirli sınırlamalar getirerek bu araçlardan sadece birini edinmekte veya oldukça yüksek maliyetli bu üç aracı da almak zorunda kalmaktadırlar. Ayrıca, genellikle bu araçların donanımları, yazılımları ve kullanım prosedürleri farklı yapılarda olduğu için kullanıcı kuruluşta, farklı uzman personel görevlendirilmekte ve kuruluş, her bir aracın bakımı ve onarımı için ayrı bir bütçe ayırmaktadır.

Yukarıda belirtilen üç farklı tip deniz aracının yürüttüğü kapsamlı görevlerin eksiksiz olarak çalışmalarımıza konu olan tek bir araç ile gerçekleştirilmesi mümkün olacaktır. Bunun için, araç uygun modüllerden oluşmaktadır ve aracın tüm modüler formları ile sevk

ekipmanları, navigasyon ve ölçüm sistemleri uyumlu bir yapıda tasarlanmış ve patent başvurusu da yapılmıştır (Şekil 4-5).



**Şekil 5.** Otonom Yüzey ve Sualtı Aracı'nı (OYSA) yandan görünümü

Konuya ilişkin uzun yıllardan beri yapılmakta olan temel çalışmaları kısaca değerlendirdiğimizde, Alotta ve diğ. (2013) bir proje kapsamında geliştirilen Otonom Sualtı Aracı'nın (OSA, AUV) kendisinden beklenen performans ve görev tanımı gereği istenen spesifikasyonlara göre, Kablo-kontrollü Sualtı Araçları'nın (KSA, ROV) yüksek manevra kabiliyetini korumakla beraber, bir OSA'nın tipik özelliklerine de sahip olmak zorunda olduğunu vurgulamışlardır.

Joung ve diğ. (2009) çalışmalarında, geliştirilmekte olan bir OSA'nın gövde direncini belirlemek için hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD, Computational Fluid Dynamics, CFD) simülasyonlarından yararlanmışlardır. Toplam direnci azaltmak için OSA gövde profilinin optimizasyonu da bu çalışmada tartışılmakta, ayrıca ticarî bir HAD yazılım paketi kullanılarak gerçekleştirilen kavramsal tasarımda OSA'nın form optimizasyonunun mümkün olduğu gösterilmektedir.

Fangxi ve diğ. (2011) bu çalışmalarında tipik Myring formuna sahip olan otonom sualtı araçlarında direnç hesaplamaları için uygun türbülans modelinin belirlenmesini hesaplamalı akışkanlar dinamiği yönteminden yararlanarak gerçekleştirilmişler ve deney sonuçları ile yapılan karşılaştırma sonucunda direnç tahmini için SST (Shear Stress Transport)  $k-\omega$  iki eşitlikli viskoz türbülans modelinin en uygun model olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Li ve Bachmayer (2013) yayımladıkları bildiride, Newfoundland ve Labrador'un açık deniz, yani ağır okyanus şartlarında çalışmaya elverişli olacak şekilde geliştirilmiş bir otonom yüzey deniz aracını tanıtmışlardır. Oliveira ve diğ. (2003) yayımladıkları bildiride, bir prototip otonom yüzey aracı için çoklu hızlı (multirate) bir navigasyon sisteminin tasarımında yer alan temel adımları irdemişlerdir. Brizzolara ve diğ. (2011) araştırmalarında yüksek hızda düşük direnç değerleri elde etmek için optimize edilmiş geleneksel formda olmayan SWATH (Small-Waterplane-Area-Twin-Hull) teknelerden yeni bir seriye ait iki otonom deniz yüzey aracının konsept tasarımlarını sunmuşlardır. Begovic ve diğ. (2015) tarafından yayımlanan çalışmada ise SWATH konseptinin farklı hidrodinamik yönleri ele alınmış, avantajları ve bu dizaynla ortaya çıkan kritik konular tartışılmıştır. Ayrıca ayrıntılı çekme tankı sayısal direnç analizleri SST  $k-\omega$  türbülans modeli kullanılarak gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar fizikî çekme tankı testleri ile doğrulanmıştır.

Araştırmaya konu olan araç, modüler olarak üretilmekte ve ihtiyaç doğrultusunda hem otonom su altı ya da otonom yüzey aracı olarak

hem de kablo kontrollü su altı ve yüzey deniz aracı olarak hizmet verebilme yeteneğine sahiptir. Dolayısıyla farklı araçların görev ve fonksiyonlarını üstlenecek bu tek araç, su altı ve yüzey araştırmalarında önemli derecede esneklik sağlarken, uzman personel açısından “kullanıcı dostu” ortak bir arayüze sahip olacak ve böylelikle kullanıcı durumundaki araştırma kurumları ve mühendislik firmalarının proje ve araştırma maliyetlerinin etkili bir şekilde düşürülmesine olanak sağlayacaktır. Ayrıca su altındaki ve üstündeki operasyonlarda enerji tasarrufu sağlamaya yönelik özel bir forma sahip olacaktır ki, bu özellik araştırmalar için batarya kapasitesi kadar öne çıkan önemli bir özelliktir.

Bu çalışmada, teknik ve akademik personele ihtiyaç duyulmadan, yüksek çözünürlüklü ve üç boyutlu deniz tabanı morfolojik-jeolojik-jeofizik yapısını araştırmak ve haritalarını hazırlamak, inşaat ve işletme aşamalarında ise kıyı ve açık deniz sörveyleri yapmak için maksimum 10 kn hıza sahip olacak şekilde çok amaçlı su altı ve su üstü araştırma aracı geliştirilirken, biyotaklit yönteminden de yararlanılarak bu araçlarda kullanılabilen uygun aero-hidro dinamik özellikler taşıyan altı farklı tip platform güvertesi tasarlanarak karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu amaçla, bu altı farklı platform güverte tipinin su altı ve su üstü yani hem hava hem de su ortamında hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analizleri yapılmış ve gerekli aero-hidro dinamik form iyileştirmelerinden sonra, en düşük direnç oluşturan form seçilerek tasarım tamamlanmıştır.

## 1. MATERYAL VE YÖNTEM

Su üstü ve su altında hareket eden araçların tasarımlarında temel amaç, minimum toplam dirence ve yüksek sevk verimine sahip olan formları üretmektir. Çünkü sualtında hareket eden nesnelere, yalnızca viskoz direnç kuvvetine maruz kalırlarken su üstünde hareket edenler, hem viskoz hem de dalga direncine de maruz kalırlar. Bundan dolayı otonom sualtı, fakat özellikle otonom yüzey araçları, viskoz ve dalga direnci açısından uygun hidrodinamik forma ve yüzey özelliklerine sahip olmak zorundadırlar.

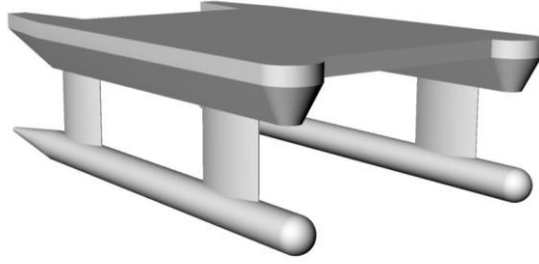
Bu araştırmada, çok amaçlı hem su altında hem de su üstünde görev yapabilecek bir deniz aracının ana gövdesine takılıp çıkarılabilecek nitelikte bir platform güvertesi tasarlanmıştır. OYA'da güverte görevi yaparak, ölçüm ve kontrol sistemi ile donanımlarını taşıyacak olan platform, KSA'da ise aynı zamanda üst koruyucu çerçeve görevi yapacak ve sephiye ile benzeri elemanların monte edildiği bir taşıyıcı olacaktır.

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen tüm simülasyonlarda uygulanacak olan HAD analizlerini doğrulamak için, Begovic ve diğ. (2015) isimli kaynakta yayımlanan SWATH yat modeline eşdeğer bir model hazırlanarak analiz edilmiş ve simülasyonlardan elde edilen sonuçlar bu yat modelinin Begovic ve diğ. (2015) tarafından gerçekleştirilen deneyleriyle başarılı bir şekilde doğrulanmıştır (Şekil 6-11). Bu kapsamda ilgili araştırmada kullanılan yatın sayısal ve çekme deneyi uygulanan fiziksel modeli Şekil 6 ve 7'de verilmektedir. Şekil 8'de bu çalışma kapsamında modellenen SWATH tekne

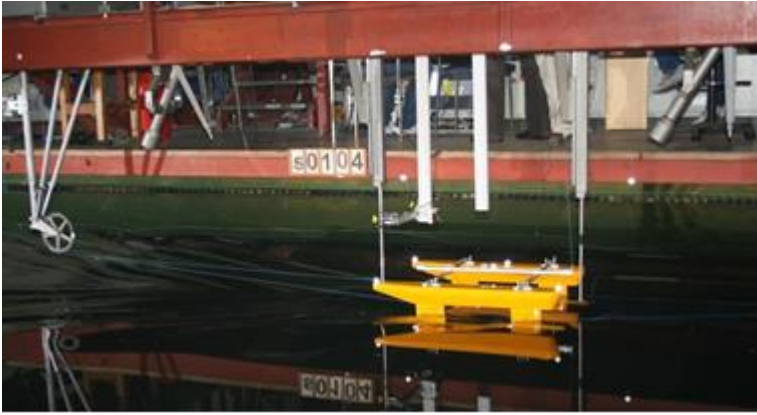


gövdesi, Şekil 9’da bu teknenin içinde analiz edildiği domain ve Şekil 10’da ise ağ yapısı oluşturulan SWATH yat modeli görülmektedir. Begovic ve diğ. (2015) isimli eserde verilen fiziksel çekme deneyi sonuçları ile bu çalışma kapsamında modellenen SWATH teknenin gerçekleştirilen sayısal toplam direnç analizi sonuçları Şekil 11’de verilmekte olup her iki grup sonucun birbiriyle çok iyi bir uyum içinde olduğunu anlaşılmaktadır.

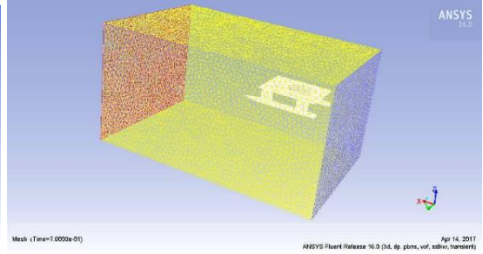
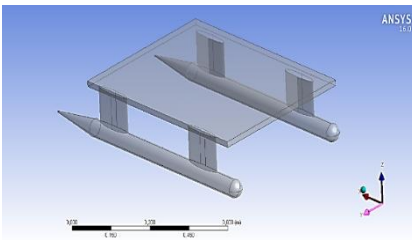
Araştırma kapsamında gerçekleştirilen sayısal analizlerde STAR-CCM+ yazılımının “*Shear Stress Transport k- $\omega$  türbülans modeli*” (SSTKW-Menter) uygulanmıştır (Şekil 8-11) (Menter, 1994). SSTKW-Menter türbülans modeli, türbülanslı kayma gerilmesinin taşıma etkilerini hesaplamak için modifiye edilmiş bir türbülanslı viskozite formülasyonu içerdiğinden, bu modelleme türü ters basınç gradyanında girdaplanma ve akım hatları ayrışmasının başlangıç ve gelişme aşaması ile büyüklüğünü doğru bir şekilde belirleyebilmektedir (Menter, 1994). Ayrıca bu türbülans modeli, cidara yakın bölgelerde standart  $k-\omega$  türbülans modelini ve fakat cidara uzak bölgelerde ise dönüştürülmüş  $k-\varepsilon$  modelini aktive eden bir karışım fonksiyonunu içerdiğinden türbülans analizlerinde oldukça başarılı sonuçlar vermektedir (Menter, 1994; Gürsel ve Taner, 2019).



Şekil 6. Begovic ve diğ. (2015) isimli eserde tasarlanan SWATH tekne modeli

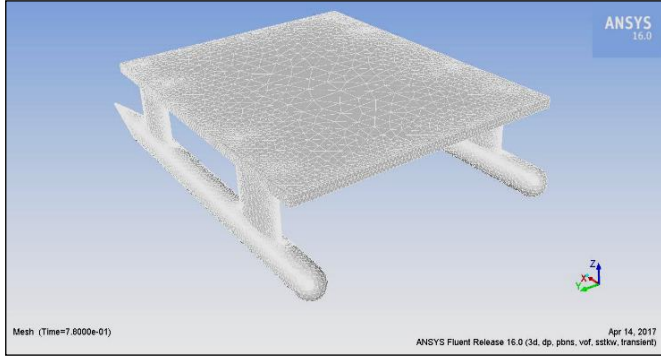


Şekil 7. Fiziksel modelin direnç deneyi (Begovic ve diğ., 2015)

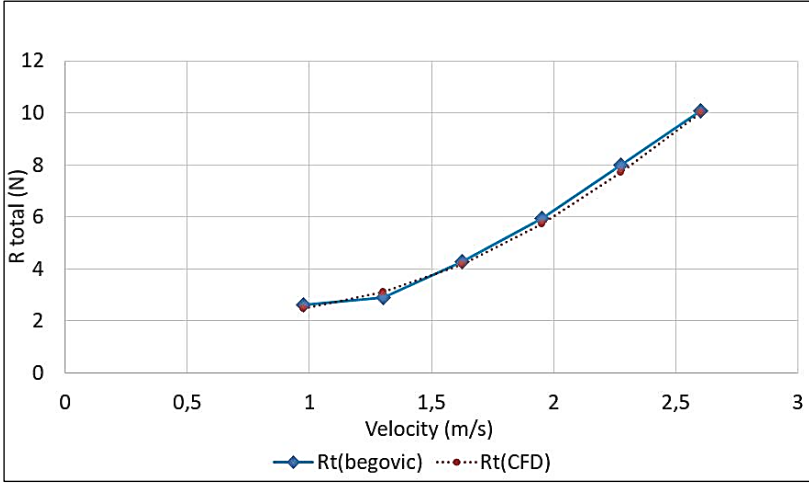


Şekil 8. Modellenen SWATH tekne gövdesi

Şekil 9. Modele ait tanımlı analiz hacmi (domain)



**Şekil 10.** Ağ yapısı oluşturulan SWATH tekne modeli



**Şekil 11.** SWATH tekneye ait çekme deneyi (Begovic ve diğ., 2015) ve HAD analizi ile belirlenen toplam direnç değerleri

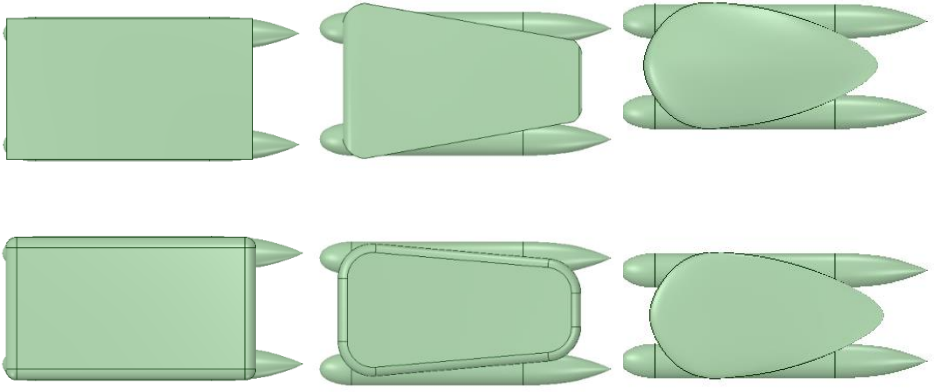
Bu deniz aracının KSA ve OYA olarak kullanımında sırasıyla hem üst çerçeve hem de güverte görevi görecektir bir platformun tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu tasarım uygulaması, hem hava hem de deniz ortamında görev alacağı için aero-hidrokinamik tasarım formu öne çıkmaktadır. Bu amaçla, biyotaklit (biomimicry) yönteminden de yararlanılarak su altı ve su üstü deniz araçlarında kullanılabilecek

uygun aero-hidrokinamik özellikler taşıyan üretimi kolay altı farklı geometriye sahip platform güvertesi belirlenerek karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir (Şekil 12-19).

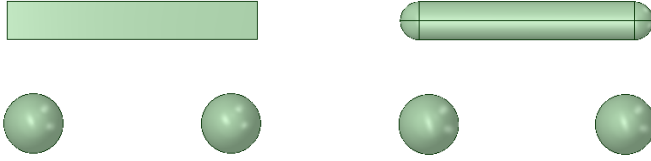
Biyotaklit veya biyomimikri kavramı, “problemlerle karşılaşan insanın, bunların çözümünde, doğanın işleyişini, modellerini, sistemlerini, süreçlerini ve bileşenlerini inceleyerek bazen esinlenmek bazen de taklit etmek suretiyle yeni çözümler” veya çözümler için ipuçları bulması çabası olarak tanımlanabilir (Genç, 2013). Bunun için uygun geometrik formlar ile iki “yassı sırtlı deniz kaplumbağası (*Natator depressa*)” formunu içeren altı farklı platform güverte tipinin su altı ve su üstü yani hava ve su ortamında hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analizleri yapılmış ve gerekli aero-hidrokinamik form iyileştirmelerinden sonra, en düşük direnç oluşturan form belirlenerek üretim aşamasına geçilmiştir (Şekil 12-19).



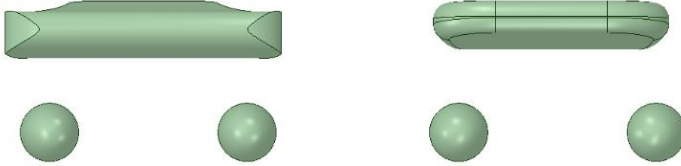
**Şekil 12.** Yassı sırtlı deniz kaplumbağası (*Natator depressa*)  
([www.cms.int/iosea-turtles](http://www.cms.int/iosea-turtles))



**Şekil 13.** Tasarlanan platform güverte tiplerinin üstten görünümü, Tip-1-6.



**Şekil 14.** Tasarlanan platform güverte tiplerinin önden görünümü, Tip-1-2.



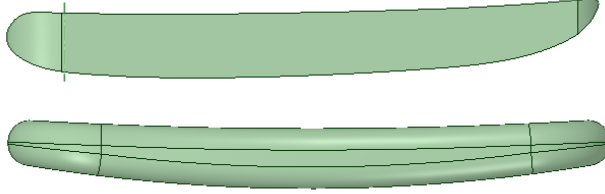
**Şekil 15.** Tasarlanan platform güverte tiplerinin önden görünümü, Tip-3-4.



**Şekil 16.** Tasarlanan platform güverte tiplerinin önden görünümü, Tip-5-6



Şekil 17. Tasarlanan platform güverte tiplerinin yandan görünümü, Tip-1-2



Şekil 18. Tasarlanan platform güverte tiplerinin yandan görünümü, Tip-3-4

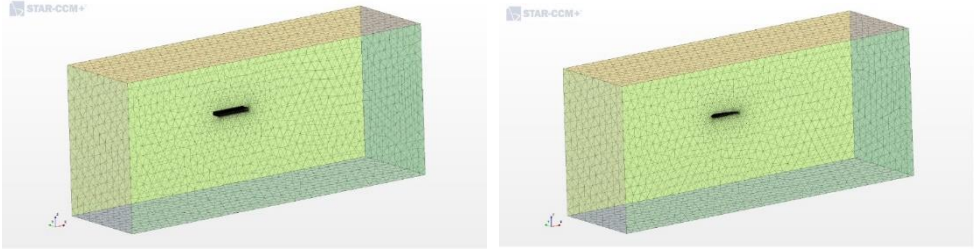


Şekil 19. Tasarlanan platform güverte tiplerinin yandan görünümü, Tip-5-6

## 2. MODELLERİN ANALİZİ

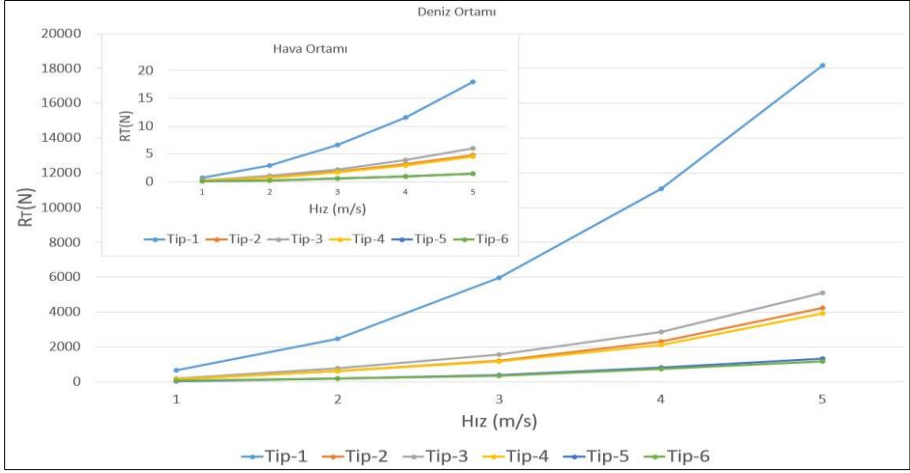
Tüm modellerin analizleri Şekil 20’de verilen benzer domainlerde tamamlanmıştır. Bu analiz sonuçlarına göre elde edilen direnç değerleri Şekil 21’de görülmektedir. Deniz ortamına ait direnç analiz sonuçları Tablo 1’de değerlendirilmiş ve hidrodinamik açıdan en iyi

tasarımın biyotaklit yöntemiyle elde edilen Tip-6 ve daha sonra da Tip-5 ile belirlenen güverte formlarına ait olduğu anlaşılmıştır (Şekil 13,16,19). En olumsuz sonuçlara sahip dikdörtgenler prizması formundaki Tip-1'e ait güverte tasarımında, yalnızca köşe ve ayrıtlar yuvarlatılarak Tip-2 formu türetilmiş ve direnç değerlerinde %76,4'lük bir iyileşme sağlanarak maliyet bakımından en iyi form elde edilmiştir (Şekil 13,14,17). Şekil 13,15 ve 18'de görülen Tip-3 ve -4'e ait güverte formlarındaki direnç değerlerindeki düşüşler sırasıyla % 72 ve 78,6'lık oranlara ulaşmıştır. Hava ortamındaki direnç değerleri de 830-1.015 kat daha az olup tamamen benzer eğilime sahiptir (Şekil 21).



**Şekil 20.** Tip-1 ve -6'ya ait tanımlı analiz hacimleri (domain)

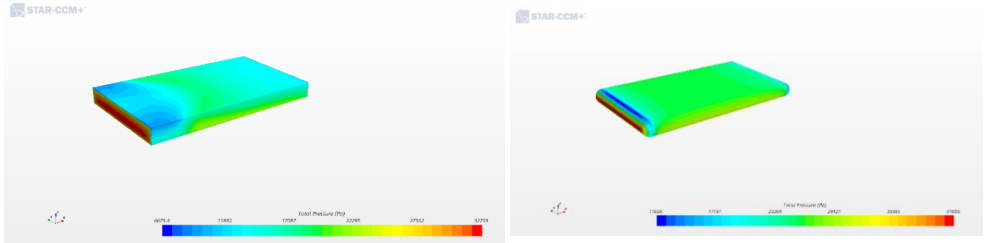
Şekil 22 ve 23'de Tip-1,-2,-4 ve -6'ya ait modellerin üzerindeki basınç dağılımları (Pa) ve Şekil 24 ve 25'te de Tip-1,-2,-3 ve -6'ya ait modellerin türbülanslı kinetik enerji dağılımları verilmektedir. Diğer modellerde de benzer dağılımlar görülmektedir. Basınç ve türbülanslı kinetik enerji dağılımları homojen ve mutlak değer olarak da düşük ise hidrodinamik direnç değerleri de o oranda düşük gerçekleşmektedir (Şekil 21-25).



Şekil 21. Tüm modellerin HAD analizlerinin toplam direnç sonuçları

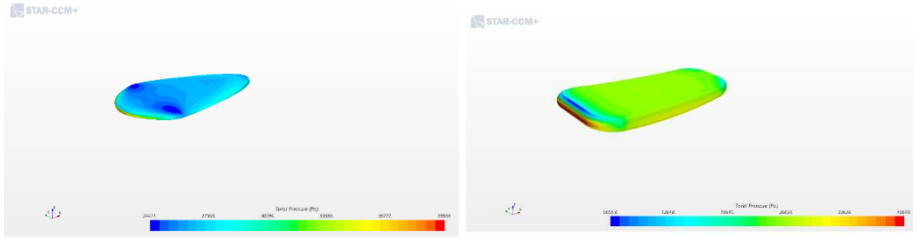
Tablo 1. Güverte tiplerinde deniz ortamında toplam dirence bağlı iyileşme oranları

Güverte	Tip-1	Tip-2	Tip-3	Tip-4	Tip-5	Tip-6
$R_T$ (kN); $v=5$ m/s	18,2	4,3	5,1	3,9	1,4	1,2
$R_T / R_{T-Tip-1}$ (%)	0	76,4	72	78,6	92,3	93,4
Değerlendirme		Maliyet bakımından en iyi form			Hidrodinamik açıdan iyi form	Hidrodinamik açıdan en iyi form

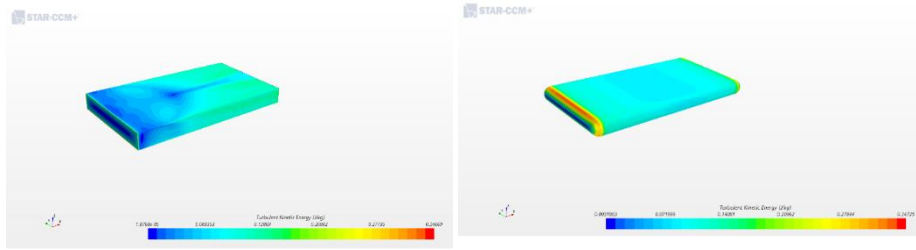


Şekil 22. Tip-1 ve -2'ye ait toplam basınç (Pa) dağılımı

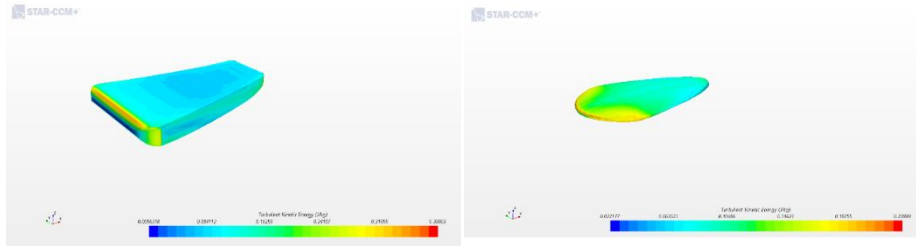




**Şekil 23.** Tip-4 ve -6'ya ait toplam basınç (Pa) dağılımı



**Şekil 24.** Tip-1 ve -2'ye ait türbülanslı kinetik enerji dağılımı



**Şekil 25.** Tip-3 ve -6'ye ait türbülanslı kinetik enerji dağılımı

## SONUÇ

Bu çalışma, deniz dibinin jeomorfolojik, jeolojik ve jeofiziksel yapısı ile denizlerin altındaki yerküre katmanları ve bunun yanı sıra denizlerin oşinografik karakteristikleri üzerinde araştırmalar yapmaya elverişli bir su altı ve yüzey aracı geliştirmeyi amaçlamaktadır. Bu araçta teknik personele ihtiyaç duyulmadan, yüksek çözünürlüklü ve

üç boyutlu deniz tabanı ve katman yapısını araştırmak, haritalarını hazırlamak, inşaat ve işletme aşamalarında ise kıyı ve açık deniz sörveyleri yapmak mümkün olacaktır. Bu nedenle, tasarım formu olarak SWATH tekne tipine benzer bir form seçildiğinden uygulanacak HAD yöntemini doğrulayabilmek için Begovic ve diğ. tarafından geliştirilen SWATH tekne modeli belirlenerek, modellenip analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar deney sonuçları ile başarılı bir şekilde doğrulanmıştır. Bu aşamadan sonra tasarlanan platform güverte modelleri hazırlanarak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Tüm modeller eşit hacimsel deplasmana sahip olup, ticarî bir yazılım olan STAR CCM+ kullanılarak aynı koşullarda analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, en uygun tasarımın en düşük direnç değerleri gösteren ve biyotaklit yöntemi aracılığıyla oluşturulan yassı deniz kaplumbağası modellerine ait Tip-6 ve 5 isimli modeller olduğu, diğer Tip 2-4 isimli modellerin birbirlerine yakın sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır. Tip-1 modeli dikdörtgenler prizması şeklinde bir geometrik yapıya sahip olup çok elverişsiz bir tasarım olarak ortaya çıkmaktadır. Bu modelin benzeri Tip-2 isimli model olup sadece köşe ve ayrıtları yuvarlatılarak direnç değerleri yaklaşık %77 oranında düşürülmüştür. Direnç değerlerindeki düşüş Tip-6'da %94'e yaklaşmaktadır. Diğer modellerde bu oran %72-92,5 arasında değişmektedir. Bu çalışmadan çıkan sonuç bir kez daha göstermektedir ki, orta ve/veya yüksek akışkan akışına maruz cisimlerde tüm köşe ve yüzeylerin mümkün mertebe büyük

yarıçaplarla yuvarlatılması zorunluluğu bulunmaktadır. Aksi takdirde akım uzun süre laminer niteliğini korurken, ayrılmalar (separasyonlar) da gerçekleşmektedir. Bu sonuçlara göre seçilen güverte Tip-6 formunda olacaktır ve seri üretim şartlarında üretim maliyetlerinde önemli düşüşler beklenebilir.

Bu bağlamda, üretilecek prototipin; deniz bilimleri, kıyı mühendisliği, deniz altı madenciliği, deniz üstü ve altı inşaat sektörü, liman, kıyı ve deniz sınır güvenliği alanlarında etkin kullanımı söz konusu olduğundan, araç genel olarak sanayi ve savunma sektörü için katma değeri çok yüksek bir ürün niteliğindedir.

## KAYNAKÇA

- Allotta, B., Pugi, L., Bartolini, F., Costanzi, R., Ridolfi, A., Monni, N., Natalini, M. (2013). The THESAURUS project, a long range AUV for extended exploration, surveillance and monitoring of archeological sites. In V International Conference on Computational Methods in Marine Engineering ECCOMAS MARINE (Vol. 2013).
- Begovic, E., Bertorello, C., Mancini, S. (2015). Hydrodynamic performances of small size SWATH craft. *Brodogradnja/Shipbuilding*, 66 (4).
- Brizzolara, S., Bovio, M., Federici, A., Vernengo, G. (2011). Hydrodynamic Design of a Family of Hybrid SWATH Unmanned Surface Vehicles. Sea Grant College Program, Massachusetts Institute of Technology.
- Fangxi S., Lianhong Z., Zhiliang W., Leping W. (2011). On Resistance Calculation for Autonomous Underwater Vehicles. *Advanced Materials Research Vols. 189-193 pp 1745-1748*.
- Genç, M. (2013). Doğa, Sanat ve Biyomimetik Bilim, Sanatta Yeterlik Eseri Çalışması Raporu, Güzel Sanatlar Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Gürsel, K.T., Taner, M. (2019). Hydrodynamic Potential Improvement of Pontoon Boats, *Naval Engineers Journal*, June 2019; No. 131-2.
- <https://www.cms.int/iosea-turtles/en/species/flatback> (Erişim tarihi: 15.09.2021)
- <https://www.ecagroup.com/en/solutions/h1000-rov-remotely-operated-vehicle> (Erişim tarihi: 15.09.2021)
- [https://www.unmannedsystemstechnology.com/wp-content/uploads/2016/09/Bluefin-Sand-shark - AUV.jpg](https://www.unmannedsystemstechnology.com/wp-content/uploads/2016/09/Bluefin-Sand-shark-AUV.jpg) (Erişim tarihi: 15.09.2021)
- <https://www.ysi.com/hycat> (Erişim tarihi: 15.09.2021)
- Joung T., Sammut K., He F., Lee S. (2009). A Study on the Design Optimization of an AUV by using Computational Fluid Dynamic Analysis, *Proceedings of the Nineteenth International Offshore and Polar Engineering Conference Osaka, Japan, June 21-26. ISBN 978-1-880653-53-1 (Set); ISSN 1098-618*.

- Li, Z., Bachmayer, R. (2013). The development of a robust Autonomous Surface Craft for deployment in harsh ocean environment. In 2013 OCEANS-San Diego (pp. 1-7). IEEE.
- Menter, F. (1994). Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications. AIAA Journal, 1598-1605.
- Oliveira, P., Pascoal, A., Norte-Piso, T. (2003). On the design of multirate complementary filters for autonomous marine vehicle navigation. In GCUV2003-1st IFAC Workshop on Guidance and Control of Underwater Vehicles.

## **BÖLÜM 4**

### **TERMOSET MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN BİRLEŞTİRİLMESİ**

Doç. Dr. Özgür DEMİRCAN<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi  
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Samsun, ozgur.demircan@omu.edu.tr,  
ORCID No: 0000-0001-8235-3966.



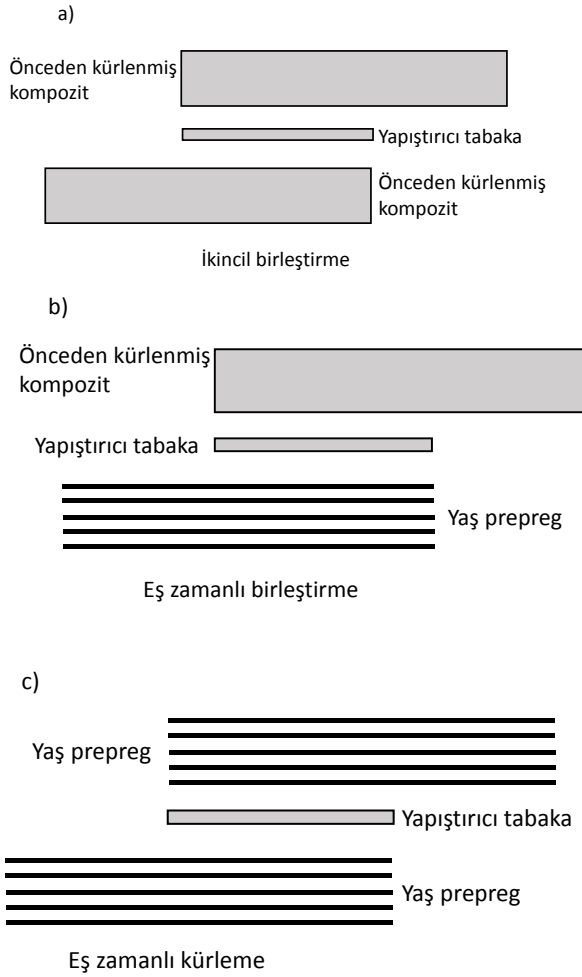
## 1. GİRİŞ

Polimer malzemeler, son yıllarda önemli gelişmeler göstererek günlük yaşamımızda ve endüstrinin hemen her dalında kullanılan malzemeler haline gelmişlerdir. Polimerler, yapıları gereği çelik ve diğer konvansiyonel malzemelerden farklıdırlar ve onların avantajlı yanları ön plana çıkartılarak kullanım alanları giderek genişlemektedir. Termoset matrisli elyaf takviyeli kompozitler endüstrinin birçok kolunda kullanılmaktadır ve geniş yüzeyli malzeme ihtiyacında hafifliği ve mukavemetinin yüksek olması sebebiyle avantajlı konumdadır. Yalnız geniş yüzeye sahip olması için bazı durumlarda birleştirme ihtiyacı duyulmaktadır. Termoset matrisli kompozit malzemelerin geleneksel (mekanik) birleştirme işlemlerinde malzeme ile bağlantı elemanı arasında korozyon oluşması, kompozit malzeme de meydana gelen deformasyondan biridir ve istenilmeyen bir durumdur. Bu yüzden termoset matrisli kompozit malzemelerin geleneksel birleştirme yöntemlerinin dışında, özel metotlar kullanılarak birleştirilmesi güncel araştırma konusudur.

## 2. KULLANILAN ÖZEL METODLAR

Kompozit plakalar arasında yapıştırma tabakalı bağlantılar üretilirken farklı seçenekler vardır. İkincil bağlanma ve birlikte bağlanma en yaygın işlemlerdir (Şekil 1). Birlikte kütleme veya birlikte yapıştırma genellikle ikincil yapıştırma yerine tercih edilir, çünkü parça sayısı ve/veya kütleme döngüsü azaltılır (Renart vd., 2015).





**Şekil 1.** Kompozit yapıştırıcılar arasında bağlantılar üretmek için kullanılan en yaygın imalat işlemleri (Renart vd., 2015)

Bazı araştırmalarda, yüksek bir bağlantı mukavemeti elde etmek için bağ hattı kalınlığının 0,2-0,4 mm arasında olması gerektiği sonucuna varmıştır (Renart vd., 2015).

Bir diğer yapıştırma metodu termoset ve termoplastik kompozit malzemeyi tek bir malzeme yaparak hibrit kompozit olarak

üretilesidir. Bu amaçla, birleştirme işleminden önce, termoset bileşenlerinin bir termoplastik tabaka ile kaplanması gerekir (Abouhamzeh vd., 2019).

Birlikte kürleştirme ve hibrit bir ara katmanın (Abouhamzeh vd., 2019) uygulanması ile de kompozitleri birbirlerine bağlama uygulaması yapılabilir. Birlikte kürleştirme yönteminde, termoset malzeme, termoplastik bir yüzey kaplaması yapmak için hem mekanik hem de kimyasal olarak uyumlu olması gereken bir termoplastik film ile kürleştirilir. Alternatif olarak, bir sıkıştırma kalıplama işlemi ile bir elyaf kumaş (örneğin cam) ile emprenye edilmiş bir termoplastik filminden oluşan bir karma ara katman kullanılabilir (Ageorges vd., 2001). Termoplastik ara katmanın, termoset ile aynı kürlenme döngüsünde bulunmadığından, termoset materyali ile kimyasal olarak uyumlu olması gerekmez. Bu durumda, herhangi bir termoset/termoplastik malzeme kombinasyonunun kullanılması mümkün olmaktadır. Bununla birlikte, hibrit ara katman, istenen birleştirme mukavemeti için yeterli mekanik kilitleme sağlayamayabilir.

### **3. KONU İLE İLGİLİ YAPILAN BAZI ÇALIşMALAR**

Bu yapılan araştırmayla termoset kompozit malzemelerin birbirlerine yapıştırılması için kullanılan farklı yöntemler irdelenmiştir.

Abouhamzeh vd., 2019 yaptıkları çalışmada polimer kompozitlerde yapıştırarak bağlama işlemindeki yüksek sıcaklıklar nedeniyle, termoset kısmının malzeme tepkisinin değişmesi ve özelliklerinin bozulması durumunu incelemişlerdir. Havacılık endüstrisinde

kullanılan Karbon fiber epoksi kompozitlerden yapılan numuneler üzerinde deneysel ölçümler yapılmıştır. Malzeme özellikleri, TGA, DSC ve DMTA dahil farklı teknikler kullanılarak ölçülmüştür. Son olarak, malzeme mukavemetindeki azalma mekanik testlerle belirlenmiştir. Deneysel değerlendirmelere dayanarak, malzemenin dayanıklılığı ve hibrit bağlantısının bozulmayı en aza indirmesi için olası iyileştirmeler önerilmiştir (Abouhamzeh vd., 2019).

Ageorges vd., 2001 yaptıkları çalışmada karbon fiber (CF) ile güçlendirilmiş polieterimid (PEI) ve CF ile güçlendirilmiş epoksi laminatlar arasındaki direnç kaynağı kullanılarak bağlantısının araştırılmasını yapmışlardır. Süreci simüle etmek için ısı transferi, konsolidasyon ve termal bozunum içeren üç boyutlu bir geçici sonlu elemanlar modeli (FEM) kullanılmıştır. Termoplastik (TP) ve termoset (TS) sistemleri arasında mekanik kilitleme sağlamak için esas olarak bir tarafta PEI ile emprenye edilmiş bir cam elyaf (GF) kumaşından ve diğer tarafta epoksi reçinesiyle karıştırılmış bir hibrit ara katman üretilmiştir. Maksimum kesme kayma dayanımına (LSS) dayanan "optimal" direnç kaynak süresi üç güç seviyesi için belirlendi ve FEM tarafından öngörülen bağlanma elde etmek için gereken zamanla ilişkilendirildi. İşleme parametreleri ile ilgili olarak konsolidasyon kalitesi ve hasar mekanizmaları tartışıldı (Ageorges vd., 2001).

Xie vd., 2016 yaptıkları çalışmada hem termoplastik bağlayıcı ile birleşmeyi hem de prepreg ara katmanını birleştiren yeni bir konsept önerilmiş ve termoset kompozit yapılarının kaynaklanarak bağlanması

için araştırma yapmışlardır. Üç farklı termoplastik bağlayıcı, elektrik dirençli bir katman elde etmek için yardımcı bir ortam oluşturmak üzere sırasıyla karbon fiber takviyeli epoksi (CF/Epoksi) kompozit laminatların yüzeyine yerleştirilerek birlikte kürleştirildi. İki bağlayıcı film arasına sıkıştırılmış tek bir karbon fiber kumaş tabakası ile sıkıştırılarak kalıplanmış olan karbon fiber takviyeli bağlayıcı (CF/Bağlayıcı) ön-hazırlanmış ara kat, ısıtma elemanı olarak tasarlanmıştır. Çift konsol kiriş (DCB) numuneleri, CF/Epoxy kompozit laminatların füzyon bağlanmasıyla üretildi. Termoplastik bağlayıcıların ve CF/Bağlayıcı prepreg ara tabakalarının Mod I interlaminar kırılma tokluğu (GIC) ve kırılma yüzeyinin morfolojisi üzerindeki etkisi sırasıyla çift konsol kiriş ve taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Sonuçlar, dimi dokuma kumaş ısıtma elemanı kullanılarak AX8900 bağlayıcı kaynaklı numuneler için, 1879.6 J/m<sup>2</sup>'lik bir maksimum ortalama delaminasyon dayanımı GIC'nin elde edildiğini göstermektedir (Xie vd., 2016).

Lubineau vd., 2021 yaptıkları derlemede ikincil birleştirme ile bağlanmış termoset bazlı kompozit malzemelerin yüzey hazırlama stratejilerini incelemiştir. Mekanik kilitleme, adsorpsiyon/kimyasal bağlanma ve difüzyon gibi farklı bağlama mekanizmaları irdelenmiştir. Kompozit yapıştırıcılarda veya bağlantıda heterojenlik yaratmak, bağlantı performansının etkin şekilde olmasını sağlar (Lubineau vd., 2021).

Dong vd., 2021 yaptıkları derlemede termoset kompozit malzemelerin kaynak edilmesini incelemiştir. Elektrik direnç kaynağı ve

ultrasonik kaynak ile birleştirilen termoset kompozit malzemeler araştırılmıştır. Elektrik direnç kaynağında termoplastik reçineyi eritmek ve uygun basınç altında kaynak işlemini tamamlamak için sistemdeki ısıtma elemanı elektrikleştirilerek ısı oluşur (Dong vd., 2021).

Eş zamanlı birleştirilmiş hibrit termoplastik-termoset kompozitlerin arayüzündeki proses-mikroyapı ve özellik ilişkisi Zanjani vd., 2021 tarafından incelenmiştir. İşlem sıcaklığının yayılma süreci ve sonuç olarak arayüz kalınlığına, mikro yapı ve mekanik performans üzerine önemli bir etkiye sahip olduğu gözlemlendi (Zanjani vd., 2021).

Yapıştırıcıyla birleştirilmiş doğal fiber kompozit-çelik hibrit laminatların deneysel çalışması Ramakrishnan vd., 2021 tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada ticari epoksi ve doğal kauçuk paslanmaz çelik ve keten elyaf takviyeli kompoziti yapıştırmak için kullanılmıştır. Tek bindirme bağlantı testi sonuçları epoksi yapıştırıcının doğal kauçuk yapıştırıcıya göre daha sağlam bağlantı yaptığını göstermiştir (Ramakrishnan vd., 2021).

Elektrik direnç kaynağı teknolojisi ile fiber takviyeli polimerik kompozitlerin yapışması Xiong vd., 2021 tarafından yapılan derleme ile irdelenmiştir. Bu çalışmada değerlendirme yöntemleri, kapsamlı hasar modları, kaynak arayüzü davranışı ve arayüzün mikroskobik değerlendirmesi ayrıntılı olarak incelenmiştir. Mikro-nano karbon malzemeleri içeren ve olanaklar sunan implantlar gelecekteki uygulamalar için sistematik olarak karşılaştırılmıştır. Son olarak

sürekli elektrik direnç kaynağı teknolojisi tanıtılmıştır (Xiong vd., 2021).

Metal yapıların üzerinde düşük çevrim zamanları ile eş zamanlı kurlenmiş termoset kompozitlerin yüksek hacimli arabalar için uygulamaları Thomas vd., 2021 tarafından araştırılmıştır. Bu çalışmada iki farklı yapıştırıcı kullanılmıştır. Matriks emdirilmiş tek yönlü elyaf takviyeli yarı mamul bir ürünün metalik bir yüzey üzerine bağlanma gücü tek bindirme bağlantı testi ile değerlendirilmiştir. Test edilen malzemelerin enerji absorplamaları hesaplanmış ve takviyesiz metal profilleriyle karşılaştırılmıştır (Thomas vd., 2021).

Yüzey hazırlama işlemlerinin farklı yapıştırıcılar kullanılarak CFRP-PA6 bağlanmış bağlantılara etkisi Dallali vd., 2021 tarafından araştırılmıştır. Sonuçları:1) Maksimum hidrojen basıncının artması, doğrusal parçalanmanın artması riskini arttırır. 2) Yumuşak yapıştırıcıya göre sert yada rijit yapıştırıcı daha iyi yapışma sağlar. 3) Alev işlemi PA6'nın yüzey enerjisini iyileştirdi ve ardından parçalanma sınır basıncını arttırdı. 4) Alevle muamele edilen RCA-2000 yapıştırıcı bağlantının yüksek dayanımını sağlayan bir yapıştırıcı olarak raporlanmıştır (Dallali vd., 2021).

Epoksi-polietereterketon (PEEK) bazlı kompozitlerde ultrasonik kaynak işlemindeki kaynak kuvveti ve titreşim genliğinin etkisini Tsiangou vd., 2021 araştırmıştır. Kaynak kuvvetinin veya titreşimlerin genliğinin azaltılması, bağlantı tabakası ile CF/epoksi yapıştırıcı arasındaki ısıtma süresinde ve maksimum sıcaklıklarda bir artışa

neden oldu. En yüksek mukavemetli olan CF/epoksi yapıştırıcıda bile ısıl bozulmalar gözlemlenmiştir (Tsiangou vd., 2021).

Yüzey depolimerizasyonuna bağlı olarak arayüzey kaynağı ve mühendislik termosetlerinin yeniden işlenmesi (Yu vd., 2021) tarafından incelenmiştir. Malzeme önce bir alkol çözücüyeye batırılır bağ değişim reaksiyonları için katalizör ile karıştırılır. Yüksek sıcaklıklarda ara yüzey kaynağı sırasında, çözücü moleküller, polimer zincirlerini kısa parçalara ayırır, bu da yüzey malzemelerinin kısmen depolimerize edilmesini sağlar. Zincir segmentleri daha sonra ağıdan ayrılır ve yeniden arayüze bağlanır. Kaynak ve çözücüyeye batırılma süreleri gibi proses parametreleri pratik mühendislik uygulamaları için optimum kaynak işleminin yapılmasını sağlar (Yu vd., 2021).

Kızılötesi hibrit kaynak için termoset kompozitin yüzey modifikasyonu Perrin vd., 2021 tarafından araştırılmıştır. Bu makalede polietereterketon (PEEK)in potansiyeli araştırılmıştır. Amorf (PEEK A) ve yarı kristalli (PEEK SC) polimerleri, termoset kompozit üzerine ara katman malzemeleri olarak birlikte kürlenmiştir. Atmosferik plazma işlemini içeren bir yüzey hazırlığı PEEK ve benzeri malzemeler için uygun yapışma özelliklerine sahip ara katman olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Plazma işleminin yüzey özelliklerine etkisi ve yüzey morfolojisi deneysel olarak da karakterize edilmiştir (Perrin vd., 2021).

Epoksi-polietereterketon (PEEK) bazlı kompozitlerde ultrasonik kaynak işlemindeki ısınma süresinin etkisini Tsiangou vd., 2021 araştırmıştır. Bu araştırmada karbon fiber (CF)/epoksi, birlikte

kürlenmiş bir PEI ile farklı ısıtma zamanlarında CF/polietereterketon (PEEK) ultrasonik olarak kaynaklanmıştır. %10'dan daha kaynak mukavemetinin azalması ile sonuçlanan bir dizi ısıtma zamanı tespit edildi (Tsiangou vd., 2021).

Termoplastik hibrit ara katmanı ile kaynak için hazırlanan termoset kompozitlerin termal ve mekanik özellikleri Wang vd., 2021 tarafından araştırılmıştır. Karbon fiber takviyeli epoksi (CF/Epoksi) kompozitlerin birleştirilmesinde plastikleştirici bir granülün kullanımı esas alınmıştır. Granülün bir tarafında zengin bir reçine ve diğer tarafı 1, 2, 3 veya 4 parça cam elyaf ile güçlendirilmiş polieterimid (GF/PEI) prepregler ve bir parça cam kumaş son kat olarak karbon fiber epoksi kompozite istiflenmiştir. Sonuçta plastikleştirici granülün CF/Epoksi kompozitlerin özelliklerini zayıflatmadan termal bozulmanın etkisini etkili bir şekilde hafiflettiği görülmüştür (Wang vd., 2021).

CF/epoksi laminatın ve 6063 Al alaşımının elektrik direnç kaynağı ile oluşan bağlantının morfolojik, mekanik ve arayüzey özellikleri Su vd., 2021 tarafından araştırılmıştır. 6 dakikalık kaynak süresi sonunda en fazla 19.18 MPa tek bindirme bağlantı testi sonuçları elde edilmiştir (Su vd., 2021).



## SONUÇLAR

Bu yapılan araştırmayla termoset kompozit malzemelerin birbirlerine yapıştırılması için kullanılan farklı yöntemler irdelenmiştir. Termoset kompozitlerin birbirlerine yapıştırılabilmesi için, yapıştırıcı, ultrasonik kaynak, elektrik direnç kaynağı, endüksiyon ile kaynak, lazer kaynak gibi farklı yöntemler kullanılmaktadır.

## KAYNAKÇA

- Abouhamzeh, M., Sinke, J. 2019. Effects of fusion bonding on the thermoset composite, *Composites Part A*, Vol: 118, pp: 142–149.
- Ageorges, C., Ye, L. 2001. Resistance welding of thermosetting composite/thermoplastic composite joints. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol: 32 (11), pp: 1603–1612.
- Ageorges, C., Ye, L., Hou, M. 2001. Advances in fusion bonding techniques for joining thermoplastic matrix composites: A review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol: 32 (6), pp: 839–857.
- Cui, X., Tian, L., Wang, D. S., Dong, J. P. 2021. Summary of thermosetting composite material welding, *Journal of Physics: Conference Series*, pp: 1765-1771.
- Dallali, M., Gigliotti, M., Laine, E., Grandidier, J. C., Henry, N., Effects of surface preparation on bond behaviour CFRP-to-PA6 bonded joints using different adhesives, *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol: 46, pp: 33496-33510.
- Li, G., Yin, L., Wang, D., Xiong, X., Zhao, P., Tan, C. 2021. The thermal and mechanical properties of thermosetting composites prepared for welding by the improved TP hybrid interlayer, *Journal of Adhesion Science and Technology*, DOI: 10.1080/01694243.2021.1964171, pp: 1-19.
- Perrin, H., Mertz, G, Senoussaoui, N. L., Borghini, L., Klein, S., Vaudemont, R. 2021. Surface functionalization of thermoset composite for infrared hybrid welding, *Functional Composite Materials*, Vol: 2-10, pp: 1-15.
- Ramakrishnan, K. R., Sarlin, E., Kanerva, M., Hokka, M. 2021. Experimental study of adhesively bonded natural fibre composite–steel hybrid laminates, *Composites Part C: Open Access*, Vol: 5, pp: 100157-100167.
- Renart, J., Costa, J., Sarrado, C., Budhe, S., Turon, A., Rodríguez-Bellido, A. 2015. Mode I fatigue behaviour and fracture of adhesively-bonded fibre-reinforced polymer (FRP) composite joints for structural repairs, University

- of Girona, Girona, Spain; 2 AIRBUS Operations, Madrid, Spain, pp:121-146.
- Shi, X., Luo, C., Lu, H., Yu, K. 2021. Interfacial welding and reprocessing of engineering thermosets based on surface depolymerisation *Surfaces and Interfaces*, Vol: 26, pp: 101368-101380.
- Thomas, R., Handtke, S., Wehler, S., Fischer, F., Gude M. 2021. Co-curing of thermoset composites on metal structures with reduced cycle times for high-volume car applications, *Materials Today: Proceedings*, Vol: 34, pp: 280–287.
- Tsiangou, E., Freitas, S. T., Benedictus, R., Villegas, I. F. 2021. On the sensitivity of the ultrasonic welding process of epoxy- to polyetheretherketone (PEEK)-based composites to the welding force and amplitude of vibrations, *Composites Part C: Open Access*, Vol: 5, pp: 100141-100153.
- Tsiangou, E., Kupski, J., Freitas, S. T., Benedictus, R., Villegas, I. F. 2021. On the sensitivity of ultrasonic welding of epoxy- to polyetheretherketone (PEEK)-based composites to the heating time during the welding process, *Composites: Part A*, Vol: 144, pp: 106334-106347.
- Xie L., Liu H., Wu W., Abliz D., Duan Y., Li D. 2016. Fusion bonding of thermosets composite structures with thermoplastic binder co-cure and prepreg interlayer in electrical resistance welding, *Materials and Design*, Vol: 98, pp: 143–149.
- Xiong, X., Wang, D., Wei, J., Zhao, P., Ren, R, Dong, J., Cui, X. 2021. Resistance welding technology of fiber reinforced polymer composites: a review, *Journal of Adhesion Science and Technology*, Vol: 35:15, pp: 1593-1619.
- Yang, J., He, J., Wang, Z., Zhao, B., Su, W. 2021. The resistance welding of CF/epoxy laminate and 6063Al alloy: morphology, mechanical property and interface evolution, *Journal of Adhesion Science and Technology*, DOI: 10.1080/01694243.2021.1970982, pp: 1-16
- Yudhanto, A., Alfano, M., Lubineau, G., 2021. Surface preparation strategies in secondary bonded thermoset-based composite materials: A review, *Composites: Part A*, Vol: 147, pp: 106443-106466.

Zanjani, J. S. M., Baran, I. 2021. Co-Bonded hybrid thermoplastic-thermoset composite, interphase: Process-microstructure-property correlation, Materials, Vol: 14, pp: 291-308.



## **BÖLÜM 5**

### **KAOTİK OSİLATÖRLERİN ANALOG TABANLI SİSTEMLERLE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

Dr. Öğr. Üyesi Kenan ALTUN<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler MYO, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Sivas, Türkiye. kaltun@cumhuriyet.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-7419-1901>



## GİRİŞ

Tasarım amaçlarına bağılı olarak elektronik devre tasarımı ayrık devre elemanları, ASIC, FPGA ve FPAA kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bunlar arasında, FPAA, yeniden yapılandırılabilir dinamik yapısıyla analog fonksiyonları kullanarak uygulanmasından dolayı öne çıkmaktadır. FPAA'nın esnek ve yeniden yapılandırılabilir yapısı, analog dinamik sistemlerin tasarımında onu daha verimli ve ekonomik kılar (Anadigm, 2021). Günümüzde, analog dinamik sistem devre tasarımlarında, daha verimli, ekonomik, yeniden yapılandırılabilir ve yeniden programlanabilir devre platformu olan FPAA kullanılmaktadır. Elektronik devre tasarımında yeniden programlanabilir yapılara olan ilgi ve çalışmalar özellikle son yıllarda artmaktadır. Analog tabanlı yeniden programlanabilir FPAA yapılar, ayrık devre elemanları kullanılarak gerçekleştirilen analog tabanlı devrelerin daha kolay gerçekleştirimini sağlayan tasarım platformudur. FPAA, gerçekleştirilen sistemler üzerinde devre çalışırken bile esnek çalışma imkanı sağlar. Bu durum tasarım esnasında kullanıcıya büyük zaman kazandırmasının yanında parametre değişimlerinin incelenmesine de olanak sağlar. Özellikle kaotik sistem tasarımında ihtiyaç duyulan ayrık devre elemanları ve hassas parametre değerlerinin basit ve ekonomik bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlar. Ayrıca kaotik sistem üzerinde parametre ve başlangıç değerlerinin değişimlerinin kolaylıkla izlenmesine ve değerlendirilmesine olanak verir. Benzer çalışma karakteristiklerini ayrık devre elemanları kullanarak gerçekleştirmek oldukça zor bazen de imkansız olabilir. Analog tabanlı sistemlerin ayrık devre elemanları

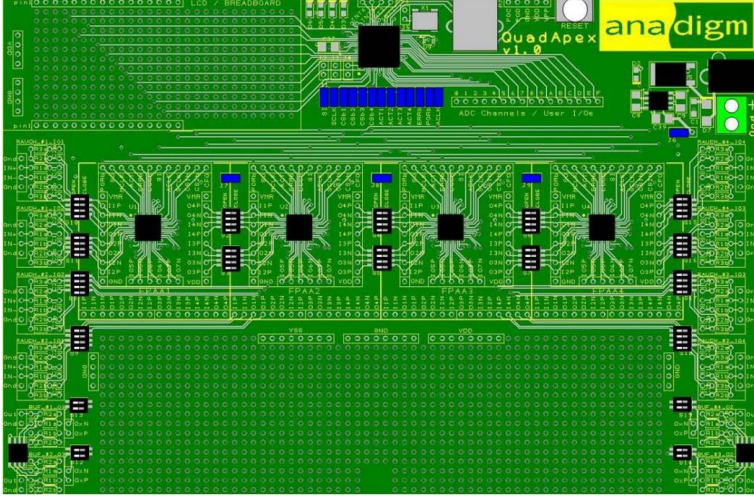


ile tasarımının uzun zaman alması, zor ve pahalı olması programlanabilir analog tabanlı devre yapılarına olan ihtiyacı ortaya çıkarmıştır. Bu çalışmalar neticesinde FPAA yapılar ortaya konmuştur (D'mello vd., 1998). FPAA yapılar, analog ve analog-dijital devreler için doğruluk, düşük maliyet, hızlı tasarım teknikleri gibi avantajlar sunmaktadır. FPAA yapılar; analog tabanlı sistemler, analog işletme işleme, biyomedikal sensör ölçümleri gibi birçok uygulamada kullanılabilir (Onursoy, 2018; Yıldırım Dalkıran, 2011; Sun, 2004; Roberts, 2004; Koziol vd., 2012; Cooklev vd., 2013; Shah vd., 2016; Vinayakamoorthy vd., 2014; Yin vd., 2015; Sukumaran vd., 2012; Cheng vd., 2013). Bu uygulamalar içerisinde, özellikle kaos tabanlı sinyal üreteçlerinin tasarımına olan ilgi son zamanlarda artmaktadır. Kaos tabanlı sistemlerin dinamik denklemleri incelendiğinde, içerisinde bulunan doğrusal olmayan devre elemanları ve standart değerlerde üretilmiş değerlerden farklı pasif devre elemanları ile gerçekleştirilmesi zordur. Ayrıca çoğu zaman bu devre elemanlarının tedarik edilmesindeki zorluklar kaos tabanlı çalışmaların deneysel olarak gerçekleştirilmelerini engellemiştir (Pehlivan, 2007; Çetinel 2010; Yang, 2004). Tüm bu nedenlerden dolayı kolay kullanım imkanı sunan, arayüzü ile kolaylıkla programlama imkanı sağlayan FPAA yapılar kaos tabanlı sistemlerin de gerçekleştiriminde kolay, hızlı ve esnek bir çalışma imkanı sunar (Riaz vd., 2008).

## **ANALOG TABANLI SİSTEMLER**

FPAA yapılar, Anadigm™ firması tarafından üretilen 5 Volt ve 3.3 Volt yapılandırılabilir analog diziler sunmaktadır. Şekil 1'de

içerisinde dört adet çip bulunduran AN231K04-QUAD 3.3 Volt geliştirme kartına ait devre yapısı verilmiştir.



Şekil 1. Anadigm AN231K04-QUAD 3.3 volt geliştirme platformu.

FPAAs tasarımı Anadigm Designer 2™ bilgisayar arayüz programı kullanılarak gerçekleştirilir. Şekil 2’de gösterildiği gibi tasarım esnasında devrede bulunan analog fonksiyonlar arayüz programında tanımlı CAM’ler (Configurable Analog Module-Yapılandırılabilir Analog Modül) kullanılarak gerçekleştirilir. Arayüzün kullanımı sürükle-bırak yöntemi ile kontrol edilir ve kullanımı kolaydır. FPAAs platformu üzerinde analog bir devre tasarlanmadan önce sayısal analizi yapılarak devrenin dinamik sahasının belirlenmesi gerekir. Bunun nedeni FPAAs yapılarının  $\pm 2V$  satürasyon aralığında sinyal çıkışı üretebilmesidir. Sayısal analiz sonucu, gerekiyorsa yeniden ölçeklendirme yapılarak sinyallerin FPAAs dinamik sahasına indirgenmesi gerekir.

CAM	Description	Vers...	Approv...	
ADC-SAR	Analog to Digital Converter (SAR)	(*)	Yes	
Comparator	Comparator	(*)	Yes	
DelayLine	Programmable Delay	(*)	Yes	
DeltaSigmaM...	2nd order delta sigma modulator	(*)	No	
Differentiator	Inverting Differentiator	(*)	Yes	
Divider	Divider	(*)	Yes	
FilterBilinear	Bilinear Filter	4.0.6	Yes	
FilterBiquad	Biquadratic Filter	3.1.3	Yes	
FilterBiquadP...	Biquadratic Filter with Independent P...	(*)	Yes	
FilterDCBlockLP	DC Blocking HPF with Optional LPF	(*)	Yes*	
FilterLowFre...	Low Corner Frequency Bilinear LPF (...)	(*)	Yes*	
FilterVoltage...	Voltage Controlled Filter	(*)	Yes*	
GainHalf	Half Cycle Gain Stage	(*)	Yes	
GainHold	Half Cycle Inverting Gain Stage with ...	(*)	Yes	
GainInv	Inverting Gain Stage	(*)	Yes	
GainLimiter	Gain Stage with Output Voltage Limiti...	(*)	Yes*	
GainPolarity	Gain Stage with Polarity Control	(*)	Yes	
GainSwitch	Gain Stage with Switchable Inputs	(*)	Yes	
GainVoltageC...	Voltage Controlled Variable Gain Stage	(*)	Yes	
Hold	Sample and Hold	(*)	Yes	
HoldVoltageC...	Voltage Controlled Sample and Hold	(*)	Yes	
Integrator	Integrator	(*)	Yes	
IntegratorHold	Window Integrator with Hold	(*)	Yes	
Multiplier	Multiplier	(*)	Yes	
MultiplierFite...	Multiplier with Low Corner Frequency...	(*)	Yes*	
OscillatorSa...	Sawtooth and Square Wave Oscillator	0.0.5	Yes	
OscillatorSine	Sinewave Oscillator	(*)	(*)	
OscillatorSin...	Sinewave FSK Oscillator	(*)	(*)	
OscillatorTri...	Triangle and Square Wave Oscillator	(*)	(*)	
PeakDetect	Peak Detector	(*)	No	
PeakDetect2	Peak Detector	1.1.2	Yes*	
PeakDetectExt	Peak Detector (External Caps)	(*)	Yes*	

Şekil 2. Anadigm Designer 2 yazılımında kullanılan cam listesi.

Ölçeklendirme işleminden sonra analog devre Anadigm Designer 2 ara yüzündeki CAM'ler kullanılarak tasarlanır ve geliştirme kartına yüklenir. Çıkış olarak belirlenen pinler aracılığıyla elde edilen sonuçlar sayısal analiz sonuçları ile karşılaştırılabilir. Deneysel uygulamalarını gerçekleştirdiğimiz kaotik üreteçlerde, Anadigm tarafından üretilen AN231K04-QUAD4 tipi FPAA QuadApex geliştirme kartı kullanılmıştır. Geliştirme panelinin +1.5 V'luk saturasyon seviyesinden dolayı,  $x_1$ ,  $x_2$  ve  $x_3$  'ün voltaj aralıkları yeniden hesaplanmıştır. FPAA'daki deneysel çalışmadan önce,

yeniden ölçeklendirilmiş ve önerilen sistem SIMULINK'te test edilmiştir.

Deneyisel çalışmalar AN231K04-QUAD4 geliştirme kartının bir veya iki FPAA bloğu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Arayüz programı Anadigm Designer 2’de kullanılan ve üç girişli toplam ve tek kutuplu alçak geçiren filtre içeren SUMFILTER bloklarında, sistemin Laplace dönüşümleri alınarak integratör olarak kullanılması sağlanır. Sisteminin PWL çıkış fonksiyonu kullanıcı tanımlı bir TRANSFER FUNCTION bloğu ile gerçekleştirilir. Kaotik sistemlerde kazançlar GAINHALF bloğundan elde edilir. İki girişli ve karşılaştırmalı GAINSWITCH blok kullanılarak anahtarlama yapılmaktadır. SUMINVERTER bloğu, sistemde sinyalin terslenmesinde kullanılır. Ayrıca sabit ve eşik değerlerinin elde edilmesinde DC VOLTAGE SOURCE bloğu kullanılır.

## **BULGULAR VE TARTIŞMA**

### **Rössler Kaotik Üretcin FPAA Uygulaması**

Dinamik denklemleri Denklem 1 ile verilen Rössler kaotik sisteminin FPAA kullanılarak gerçekleştirilmiş ve elde edilen  $x_1-x_2$ ,  $x_2-x_3$ ,  $x_1-x_3$  düzlemindeki kaotik çekerin faz uzay gösterimi,  $x_1-x_2-x_3$  dinamikleri zaman eksenini gösterimi, arayüz tasarımı kurulumu ve FPAA donanımı Şekil 3’de verilmiştir.



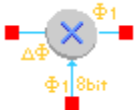
$$\dot{x} = -y - z \quad (1)$$


$$\dot{y} = x + ay$$

$$\dot{z} = zx - zc + b$$

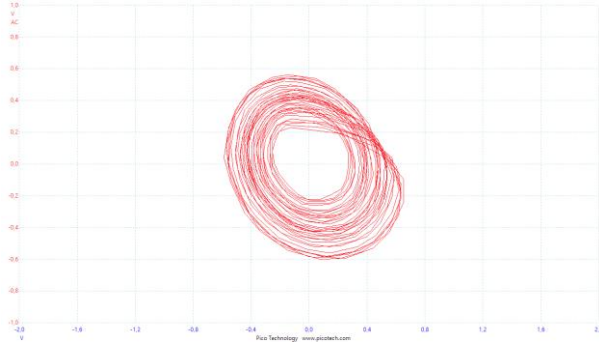
Tablo 1’de FPAA tasarımında kullanılan CAM bloklara ait açıklamalar verilmiştir. Buna göre Rössler kaos üretici gerçekleştirilirken AN231K04-QUAD4 geliştirme kartının bir FPAA platformu kullanılmıştır. Arayüz programı Anadigm Designer 2’de kullanılan ve üç girişli toplayıcı ve tek kutuplu alçak geçiren filtre içeren SUMFILTER bloklarında sistemin laplace dönüşümleri kullanılarak bloğun integratör olarak kullanılması sağlanır. MULTIPLIER bloğu çarpma işleminin elde edilmesi için kullanılır.

**Tablo 1.** Anadigm Designer 2 programı blok şemaları.

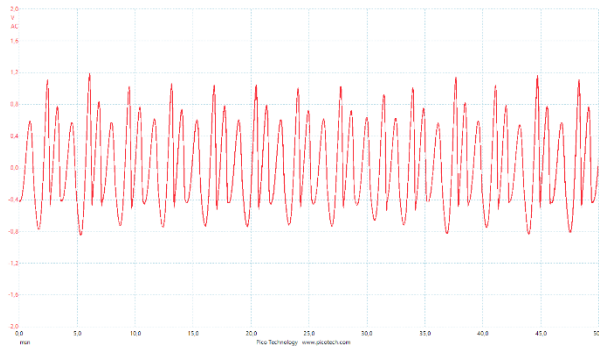
SUMFILTER BLOCK		SUMFILTER bloğu ile girişindeki matematiksel ifade, alçak geçiren filtre olarak kullanılan blok sayesinde, Laplace dönüşümü yapılan kaos sistem dinamikleri $x_1$ , $x_2$ ve $x_3$ ifadelerinin elde edilmesinde kullanılmaktadır.
GAINHALF BLOCK		Bu çalışmada tersleme modunda çalıştırılan GAINHALF bloğu, 0.01 ile 100 arasında ayarlanabilen bir kazanç sağlar.
MULTIPLIER		Girişindeki sinyaller için çarpma işlemini gerçekleştirmektedir.

<p>DC VOLTAGE SOURCE BLOCK</p>		<p>DC VOLTAGE SOURCE bloğu, FPAA1'de Rössler kaotik jeneratörünün sabit değerlerini sağlar.</p>
--------------------------------	---	---

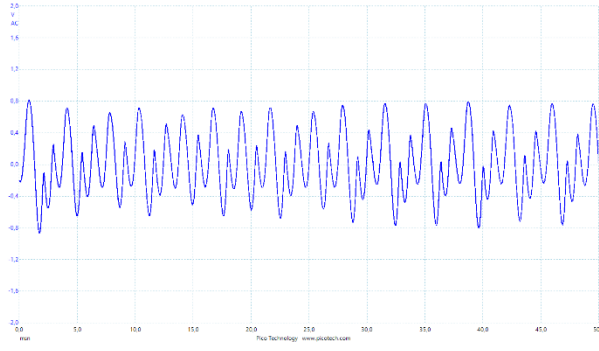
Rössler Kaotik Sistemine ait deneysel sonuçlar Şekil 3'de verilmiştir. Burada gerçekleştirilen çalışma ile FPAA geliştirme kartı çıkış terminallerinden X ve Y dinamiğine ait sonuçlar bilgisayar tabanlı dijital osiloskop kullanılarak elde edilmektedir.



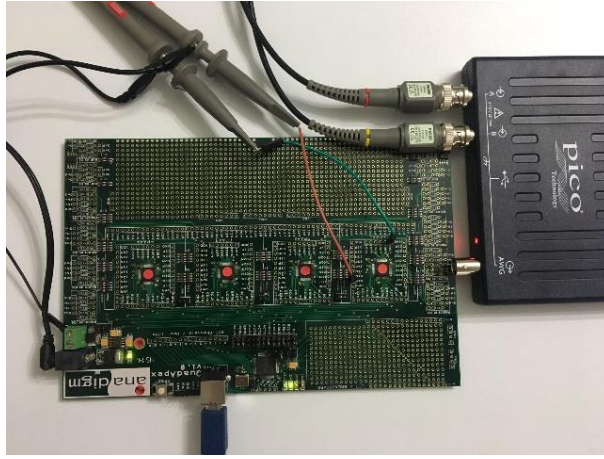
(a)



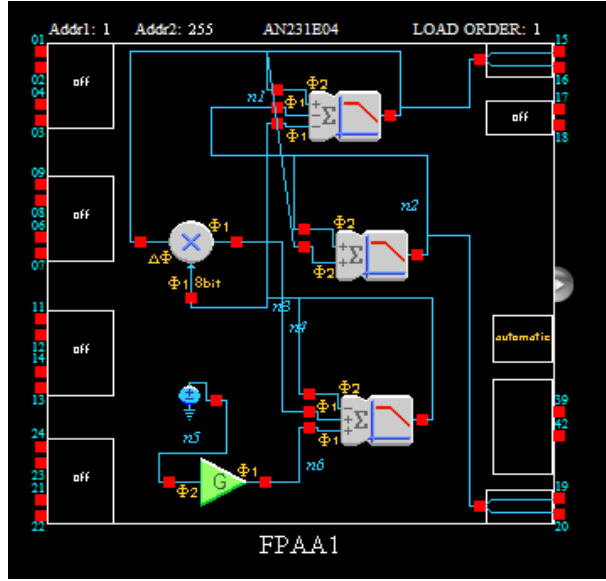
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 3. Rössler kaos sinyal üreticisine ait; a)  $x_1$ - $x_2$  faz uzay gösterimi, b)  $x_1$  dinamiği zaman domeni gösterimi, c)  $x_2$  dinamiği zaman domeni gösterimi, d) AN231K04-QUAD4 FPAA geliştirme kartı PicoScope osiloskop ile kurulan deney düzeneği, e) Anadigm Designer 2 blok şeması.

Programlanabilir ve yeniden yapılandırılabilir donanımlar içerisinde FPAA, esnek yapıları ve doğrudan analog çıkış vermeleri sayesinde, özellikle kaos tabanlı çalışmalar için dikkat çekici olmuştur. Kaos sinyallerinin ayrık devre elemanları kullanılarak gerçekleştirilen devre yapıları ile FPAA gerçekleştirimi arasında uygulama kolaylığı ve tasarım hızı bakımından önemli avantajları vardır. Diğer taraftan sayısal tabanlı sistemlerde ise kaos karakteristiklerinin uzun zamanda periyodik olmaları FPAA'lerin kaos tabanlı güvenilir haberleşme sistemlerinde kullanılmasını zorunlu kılar.



## Modifiye Lorenz Kaotik Üretcin FPAA Uygulaması

Modifiye edilmiş Lorenz sisteminin FPAA konfigürasyonunda aşağıdaki şekilde uygulanacak şekilde yeniden ölçeklendirilmiştir.

$$\begin{aligned}\dot{X}_1 &= -X_1 + S_{11}X_1 + S_{12}X_2 \\ \dot{X}_2 &= -X_2 + S_{21}X_1 + S_{22}X_2 + N_{23}X_3 \\ \dot{X}_3 &= -X_3 + S_{33}X_3 + N_{31}X_1\end{aligned}\tag{2}$$

$$Y_1 = 1/2 [|X_1 + 1| - |X_1 - 1|]$$

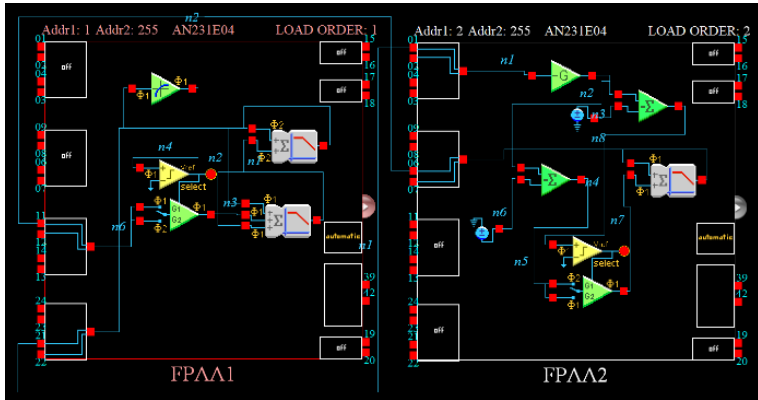
$$X_1=x_1, X_2=x_2, X_3=x_3, Y_1=y_1, S_{11}=s_{11}, S_{12}=s_{12}, S_{13}=s_{13}, \\ S_{21}=s_{21},$$

$$S_{33}=s_{33}, I_3=i_3, N_{23}=n_{23}, N_{31}=n_{31}$$

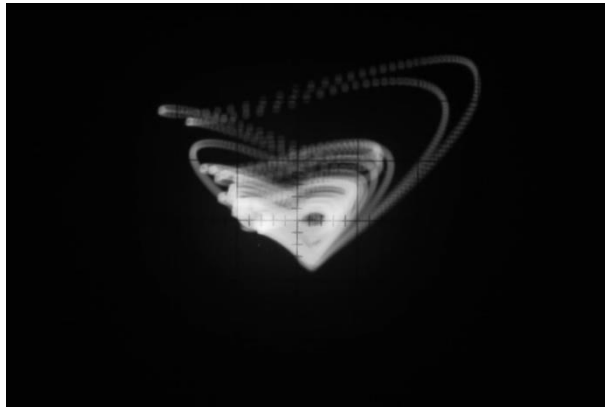
$$N_{23} = \begin{cases} +1; Y_1 \geq 0 \\ -1; Y_1 < 0 \end{cases}, \quad N_{23}=sgn(Y_1)$$

$$N_{31} = \begin{cases} +1; (X_1 - I_3) \geq 0 \\ -1; (X_1 - I_3) < 0 \end{cases}, \quad N_{31}=sgn(X_1 - I_3)$$

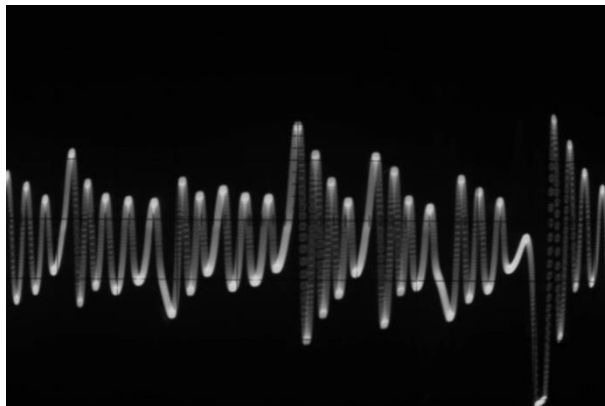
Şekil 4'de, önerilen modifiye Lorenz sisteminin FPAA uygulama şeması, sırasıyla  $x_1(t)$  ve  $x_3(t)$  dinamiklerinin  $(x_1-x_3)$  düzlem ve zaman tepkilerinde kaotik çeker gösterimi verilmektedir.



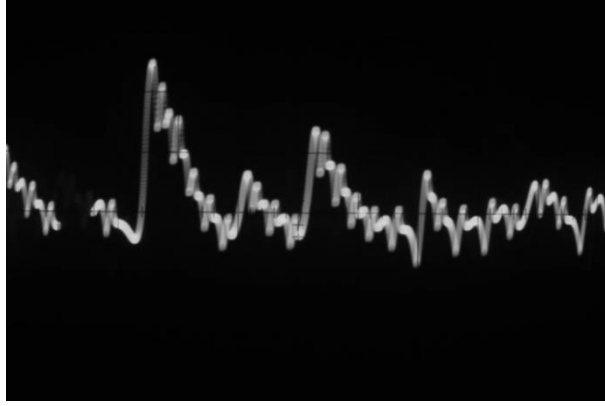
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4. Modifiye Lorenz benzeri sistemin FPAA tabanlı uygulaması: (a) FPAA uygulama şeması, (b)  $(x_1-x_3)$  düzleminde kaotik çeker gösterimi, (c)  $x_1(t)$  dinamiğinin zaman cevabı, (d)  $x_3(t)$  dinamiğinin zaman cevabı.

## SONUÇ

Çalışmada karmaşık dinamik sistemlere sahip Rössler ve Modifiye Lorenz kaotik üreteçlerin analog tabanlı platformda benzetim ve deneysel uygulaması gerçekleştirilmiştir. Kaotik sistemlerin başlangıç değeri ve parametre hassasiyetine rağmen elde edilen sonuçlar benzetim sonuçları ile örtüşmektedir. Bu nedenle analog tabanlı FPAA yapıların doğruluğu, analog tabanlı diğer yapılar için de kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca birçok analog tabanlı sistemlerin alanda yapılacak denemeler ile sistemin gelişmesine ve uygulanabilirliğinin de artırılmasına önemli katkılar sunmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Anadigm: www.anadigm.com (Ekim 2021).
- Cheng, X., Yin, T., Wu, Q., Jia, Y., Yang, H., 2013. A cmos field programmable analog array for intelligent sensory application, *International Conference on Field Programmable Logic and Applications (FPL)*, 2-4 September 2013, Porto, Portugal, pp. 1-4.
- Cooklev, T., Stanchev, L., Chen, C., 2013. Wireless cloud architecture based on thin clients and ontologies, *IEEE 56th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS)*, 4-7 August 2013, Columbus, OH, USA, pp. 884-887.
- Çetinel, G., 2010. Kaotik Haberleşme Sistemlerinde Gözü Kapalı Kanal Denkleştirme. Sakarya Üniversitesi, Doktora Tezi, Sakarya, 121p.
- D'mello, D. R., Gulak, P. G. 1998. Design Approaches to Field-Programmable Analog Integrated Circuits. In *Field-Programmable Analog Arrays* Springer, Boston, MA. (pp. 7-34).
- Koziol, S., Hasler, P., Stilman, M., 2012. Robot Path Planning Using Field Programmable Analog Arrays. *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 14-18 May 2012, Saint Paul, MN, USA, pp. 1747-1752.
- Onursoy, V., 2018. Çok Amaçlı FPAA Tabanlı Sistem Geliştirme Platformu Tasarımı. Erciyes Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 111p.
- Pehlivan, İ., 2007. Yeni Kaotik Sistemler: Elektronik Devre Gerçeklemeleri, Senkronizasyon ve Güvenli Haberleşme Uygulamaları. Sakarya Üniversitesi, Doktora Tezi, Sakarya, 220p.
- Riaz A., Ali M., 2008. Chaotic Communications, their applications and advantages over traditional methods of communication. *Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing, 2008. CNSDSP 2008. 6th International Symposium on*, IEEE, 21-24.
- Roberts, T. 2004. Using field-programmable analog to build adaptable RFID readers. *RF DESIGN*, 27, 44-50.
- Shah, S., Hasler, J., Kim, S., Lal I., Kagle, M., Collins, M., 2016. Demonstration of a Remote FPAA System for Research and Education., *International*

- Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, 22-25 May 2016, Montreal, QC, Canada, pp. 1441-1441.
- Sukumaran, D., Enyi, Y., 2012. A low-power, reconfigurable smart sensor system for EEG acquisition and classification, *IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems (APCCAS)*, 2-5 December 2012, Kaohsiung, Taiwan, pp. 9-12.
- Sun, Y. 2004. *Wireless Communications Circuits and Systems*. IET.
- Vinayakamoorthy, K., Sivasankar, S., Eswaran, P., Neelakandan, J., 2014. Design and Implementation of ASIC for Weather Monitoring Application Using FPAA and FPGA, *Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT)*, 10-11 July 2014, Kanyakumari, India, pp. 365-369.
- Yang T., 2004. A survey of chaotic secure communication systems. *International journal of computational cognition*, 2(2):81-130.
- Yıldırım Dalkıran, F., 2011. Kaotik Sistem Tasarımında Programlanabilir Analog Dizi Uygulamaları. Erciyes Üniversitesi, Doktora Tezi, Kayseri, 217p.
- Yin, T., Cheng, X., Xin, F., Wu, Q., Wang, F., Yang, H., 2015. A Smart Sensory Platform Based on Field Programmable Analog Array, *IEEE Sensors*, 1-4 November 2015, Busan, South Korea. pp. 1-4.

## BÖLÜM 6

### KENTSEL DÖNÜŞÜM BETON ATIKLARININ PREFABRİK BETON KAPLAMA ELEMANI ÜRETİMİNDE KULLANIMININ İNCELENMESİ \*

İnşaat Yüksek Müh. Gökçe TOKEL<sup>1</sup>, Doç. Dr. Ferit YAKAR<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, gokce.tokel@erdogan.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7712-1642.

<sup>2</sup> Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, ferit.yakar@gop.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9045-3841.

\* Bu çalışma, "KENTSEL DÖNÜŞÜM BETON ATIKLARININ PREFABRİK BETON KAPLAMA ELEMANI ÜRETİMİNDE KULLANILMASI" adlı Yüksek Lisans çalışmasından üretilmiştir.

Çalışma, "INTERNATIONAL 19 MAY INNOVATIVE SCIENTIFIC APPROACHES CONGRESS-V" kongresinde özet bildiri olarak sunulmuştur.



## **GİRİŞ**

Ülkemizde meydana gelen doğal afetler sonucu yıkılan veya yönetmelik ve şehir planlamasına uygun olmayan yapılar, kentsel dönüşüm ile hem daha kaliteli hem de ihtiyacı karşılayabilecek sayıdaki konutlara dönüştürülmektedir. Kentlerdeki bu yeni yapım çalışmalarına ek olarak kent içinde trafik yoğunluğunun daha düşük olduğu yollar, meydanlar, park yerleri ve peyzaj alanlarında prefabrik beton kaplama elemanlarının (PBKE) kullanımı artmaktadır. Bu kaplama elemanları üretiminde diğer beton ürünlerinde olduğu gibi miktar olarak en fazla agregaya ihtiyaç duyulmaktadır. Kentsel dönüşüm çalışmalarında da ciddi miktarda beton içeren yıkıntı atığı ortaya çıkması ve bu yıkıntı atıklarının agrega olarak geri dönüştürülüp kullanılabilmesi sağlandığında, PBKE üretiminde hem çevresel hem de ekonomik açıdan fayda sağlanacaktır.

### **1. KENTSEL DÖNÜŞÜM**

Kentsel dönüşüm; kaçak yapıların imar planlarına uygun bir şekilde dönüştürülmesi, doğal afetlerden doğrudan etkilenebilecek alanlardaki yapıların doğal şartlara uygun hale getirilmesi, kent ortasında kalan şehir yaşamını sakıncalı duruma düşüren alanların şehir yaşamına uygun şekilde dönüştürülmesi, işlevini yitirmiş tarihi mekânların dönüştürülmesi konularını içermektedir (Anonim, 2012).

Kentsel dönüşüm çalışmaları ile yıkılan yapılardan hacimce en fazla paya sahip beton atıkları, depolandıkları alanda görüntü kirliliğine ve zamanla doğa ile sürekli temas halinde olduğu için hava, toprak ve su kirliliğine; her geçen gün atıkların depolanması gereken alanlara



ihtiyacın artmasıyla da arazi kirliliğine neden olmaktadır. Bu çevresel sorunların yanı sıra atıkların taşıma ücretleri, depolama alanı ücretleri ve çeşitli vergiler sebebi ile de ekonomik sorunlar meydana gelmektedir. Beton atıklarının meydana getirdiği çevresel ve ekonomik problemlerin azaltılması amacıyla geri dönüştürülerek kullanılabilme çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmaları; yıkıntılardan elde edilen beton atıklarının geri dönüşüm agregası (GDA) olarak beton üretiminde kullanılması, yürüyüş yollarında, kaldırımlarda, asfalt ve beton yollarda alt yapı malzemesi olarak kullanılması, gabion malzemesi olarak kullanılması, drenaj sisteminde ve kanalizasyon borularında yataklama, gömlekleme ve geri dolgu malzemesi olarak kullanılması ve erozyon önleyici olarak kullanılması gibi örneklendirebiliriz. Bu çalışmada beton atıklarından elde edilen geri dönüşüm agregasının prefabrik beton kaplama elemanında kullanılabilirliği araştırılmıştır.

## **2. PREFABRİK BETON KAPLAMA ELEMANLARI (PBKE)**

Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Şartnamesi Kısım 316'da Prefabrik Beton Kaplama Elemanları tanımı; "Yol, yaya kaldırımı, meydan, park gibi açık alanlarda; depo, garaj, park alanı vb. araç trafiğine açık ya da kapalı alanlarda zemine döşenmek amacıyla betondan imal edilen yapı elemanlarıdır." olarak yapılmıştır. Bu yapı elemanları, birbirine kenetlenmiş rijit parçalardan oluşması nedeni ile rijit kaplama kategorisine dâhil edilirken alttaki tabakalara dokunma yüzeyleri sayesinde yükü alt tabakalara iletmesi yönüyle elastik davranış göstermekte ve esnek kaplama niteliği de taşımaktadır.

PBKE, trafik yoğunluğunun fazla olmadığı cadde, sokak, mahalle arası yollarda yol üst yapısı kaplama elemanı olarak ve park bahçe gibi estetiğin ön plana çıktığı alanlarda ise çevre düzenlemesi amacıyla kullanılmaktadır. Prefabrik beton kaplama elemanları da diğer beton türevi ürünlerinde olduğu gibi; agrega, çimento, karışım suyu ve çimento kütlesinin % 5'ini geçmeyecek kimyasal katkılardan meydana gelmektedir (Karayolları Teknik Şartnamesi, 2013).

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

Kentsel dönüşümden elde edilen beton atıklarının geri dönüşümü ile hem ekonomik hem de çevresel fayda sağlanması amacıyla yürütülen bu çalışmada; KGM Teknik Şartnamesi ve TS2824 EN1338 Şartnamesine göre, PBKE içerisinde kullanılan agrega, %0 (Şahit Numune), %25 %50 ve %100 oranında GDA ikame edilerek prefabrik beton kaplama elemanları üretilmiştir. Bu kaplama elemanları, yine aynı şartnamede yer alan deneylere tabi tutularak sonuçları incelenmiştir.

Geri dönüşüm agregaları, Tokat ilinde bulunan ve kentsel dönüşüm amacıyla yıkılmış, beton dayanım sınıfı C9 olarak tespit edilmiş olan beton atıklarından temin edilmiştir. Yaklaşık 40-50 cm çapında toplanan beton atıkları, malzeme giriş kısmı kırıcı, malzeme çıkış kısmı elek olan sabit konkasör ile kırılarak 0,5-2 mm, 2-4 mm ve 4-8 mm çapındaki agregalara dönüştürülmüştür. Önceki araştırmalarda 0-2 mm kalınlığındaki çok ince GDA tanelerinin betonun su miktarını, boşluk oranını, porozitesini, geçirimliliğini artırdığı, dayanımını ve

dayanıklılığını ise düşürdüğü belirtilmektedir (Memişoğulları, 2019). Bu nedenle üretimde 0,5-2 mm arasındaki malzeme kullanılmamıştır. Çimento olarak 42,5 MPa Portland Çimentosu, karışım suyu olarak içilebilir şebeke suyu kullanılmıştır.

Uygun boyutlara getirilen agrega, çimento ve su miktarları kg olarak Tablo 1.'de gösterildiği gibi kullanılmıştır.

El ile hazırlanan beton harçları parke makinesinin presleme bölümüne yerleştirilerek 150 bar hidrolik basınç ile presleme ve mekanik vibrasyon yaparak kalıbın şeklini alması sağlanmıştır. Deney amaçlı yapılan numunelere 4mm kalınlığında yüzey kaplaması yapılmamıştır. Üretimi tamamlanan kaplama elemanları 24 saatlik priz alma sürecinden sonra 7 günlük dayanımını sağlayana kadar kür havuzunda bekletilmiştir.

**Tablo 1:** 1 m<sup>3</sup> Beton Harcı İçin Malzeme Miktarları

Numune	GDA Kaba	GDA İnce	DA Kaba	DA İnce Agrega	Çimento	Su
% 25 GDA % 75 DA	9	19	27	57	17,5	10,5
% 50 GDA % 50 DA	18	38	18	38	17,5	10,5
% 100 GDA % 0	36	76	0	0	17,5	10,5

28 günlük dayanımı sağlayan kaplama elemanlarına şartnamelerde belirtilen, boyut ve görünüş, mukavemet tayini (yarmada çekme dayanımı), su emme tayini, aşınmaya karşı direnç tayini, buz çözücü

tuz etkisiyle donma çözülmeye karşı direnç tayini deneyleri yapılmıştır (TS EN 2824-1338, 2009).

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

### 4.1. Boyut Değerlendirmeleri

Boyut değerlendirmeleri KGM Teknik Şartnamesi ve TS 2824 EN 1338'de belirtildiği gibi şahit numuneye göre standartları kontrol edilerek yapılmıştır. Şahit numune ve GDA'lı numune sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2:** Şahit Numune ve GDA'lı Numune Boyutları

Numune	Ortalama Genişlik a (mm)	Ortalama Uzunluk b (mm)	Ortalama Kalınlık d (mm)
<b>Tolerans</b>	±3	±3	±2
Şahit numune	165	195	54
% 25 GDA	165	195	52
% 50 GDA	165	195	50
% 100 GDA	165	194	46

Doğal agregalı beton parke numuneleri ile GDA'lı numuneler birbirine yakın sonuçlar vermiştir. GDA'nın işlenebilirliği olumsuz etkilemesine rağmen; PBKE üretimi, yüksek basınç ve titreşim ile yapıldığı ve numunelerin üretilen kalıbın şeklini alması nedeniyle boyut ve görünüş bakımından büyük farklar yaratmamıştır. Oluşan kalınlık farkları ise; yüksek basınç altında çimento harcının sıkışarak

hacim kaybına neden olmasından ve çimento hamuru içerisindeki kapiler boşluklardaki kimyasal olarak bağlanmamış suyun zamanla buharlaşmasıyla hamurun hacimsel şekil değiştirmesi kuruma büzülmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Arioğlu vd., 2006).

## 4.2. Dayanım Değerlendirmeleri

Bilgisayar kontrollü otomatik beton pres makinesinde kırılan numunelerin dayanımları Tablo 3'te verilmiştir.

**Tablo 3:** Şahit Numune ve GDA'lı Numune Dayanım Değerleri

Numune	Ortalama Dayanım (N/mm <sup>2</sup> )
Şahit numune	3,95
% 25 GDA	2,46
% 50 GDA	1,51
% 100 GDA	1,36

Şartnameye göre ortalama dayanım 3,6MPa'dan, tek numune sonuçlarından hiçbiri 2,9 MPa'dan küçük olmamalıdır. Şartı sağlamadığı için numuneler dayanım olarak uygun değildir. Mukavemet kaybında; GDA olarak kullandığımız betonun dayanımının çok düşük olması, agregayı saran çimentonun basınç altında hacim kaybına uğramasıyla parke içerisinde boşluk oluşturması, GDA'nın taze betonun su ihtiyacını artırmasının etkili olduğu düşünülmektedir.

### 4.3. Su Emme Değerlendirmeleri

GDA ve şahit numuneler için su emme deney sonuçları Tablo 4’de listelenmiştir.

**Tablo 4:** Şahit Numune ve GDA’lı Numune Su Emme Değerleri

Numune	Ortalama Su Emme
Şahit numune	4,34
% 25 GDA	6,57
% 50 GDA	8,36
% 100 GDA	10,41

Şartname kriterlerine göre; kütlece su emme ( $A_w$ ) < % 6 şartı sağlanamadığı için numuneler su emme açısından uygun değildir. Kriterin sağlanamamasında, GDA yüzeyinin daha pürüzlü ve boşluklu olması, ayrıca bünyesindeki çimento hamurunun fazla su emmesinin etkili olduğu düşünülmektedir.

### 4.4. Aşınmaya Karşı Direnç Değerlendirmeleri

GDA ve şahit numuneler için aşınmaya karşı direnç tayini sonuçları Tablo 5’te listelenmiştir;

**Tablo 5:** Şahit Numune ve GDA'lı Numune Aşınmaya Karşı Direnç Değerleri

Numune	Ortalama Aşınım
Şahit numune	20,0
% 25 GDA	25,1
% 50 GDA	26,3
% 100 GDA	27,8

Şartname kriterlerine göre; aşınma boyu  $(l) < 23$  mm şartı sağlanamadığı için numuneler aşınmaya karşı direnç tayini sonuçları açısından uygun değildir. 4 mm yüzey kaplaması yapılmayan ve 20 mm aşınma çıkan şahit numunelerin standart üretiminde 13-15 mm aşınma görülmektedir. Bundan yola çıkarak numunelere yapılan yüzey kaplamasının aşınmaya karşı fayda sağladığı söylenebilir. Ayrıca numunelerin yüzey pürüzlülüğünün olmasının ve agreganın çimento harcı ile iyi aderans sağlayamamasının yüzey aşınmalarını olumsuz yönde etkilediği düşünülmektedir.

#### **4.5. Buz Çözücü Tuz Etkisiyle Donma-Çözölmeye Karşı Direnç Değerlendirmesi**

GDA ve şahit numuneler buz çözücü tuz etkisiyle donma çözölmeye karşı direnç tayini sonuçları hesaplanıp Tablo 6'da verilmiştir.

**Tablo 6:** Şahit Numune ve GDA'lı Numune Kütle Kaybı Değerleri

Numune	Ortalama Birim Alandaki Kütle Kaybı (kg/m <sup>2</sup> )
Şahit numune	0,42
% 25 GDA	1,00
% 50 GDA	1,10
% 100 GDA	1,18

Şartname kriterlerine göre; kütle kaybı (kg/m<sup>2</sup>) < % 1,00; tek numune sonuçlarından hiçbiri %1,5'dan büyük olmamalıdır. Numunelerde kopmalar yüzeyden başlamaktadır. Yüzey kaplaması yapılmadığı için yüzey pürüzlülüğü nedeniyle boşluklar oluşmakta ve çözelti ile dolarak donma esnasında hacim artışından dolayı aşınarak kopmaktadır.

#### 4.6. Genel Değerlendirme

Şartname kriterlerinin sağlanamamasında genel olarak; atık durumda elde ettiğimiz beton sınıfının ortalama C9 olması, dayanımı düşük olan beton atıklarının, parke makinasının 150 bar hidrolik basıncı altında ufalanmasıyla parke içerisinde ve yüzeyinde boşluklar oluşturması, agrega yüzeyini saran çimento harcının basınç altında ufalanması ile hacim kaybına neden olması, agrega yüzeyini saran çimento harcının su emme miktarının fazla olması, beton atıkları içerisindeki agregaların aşınmış olması nedenleri etkili olduğu düşünülmektedir. Daha iyi sonuçlar elde edilebilmesi amacıyla; dayanımı artırmak için beton sınıfı daha yüksek olan atık betonlar



tercih edilebilir, daha yüksek teknoloji ve ekipman ile temizlenmiş agrega kullanılabilir, fayda maliyet analizlerine göre daha düşük oranlı karışımlar ile standartlar yakalanabilir, şartname sınırlarını geçmeyecek şekilde su geçirimsizlik katkıları kullanılabilir.

Artan dünya nüfusu ihtiyacına yönelik yapıların büyük çoğunluğunu beton ve beton türevi ürünler oluşturmaktadır. Beton ürünlerinin de % 75'e yakınına doğal agregaların oluşturması nedeniyle kıt kaynaklar ile sınırsız ihtiyaçların karşılanması zaman içerisinde mümkün olmayacaktır. Bu nedenle sınırsız olmayan doğal kaynak kullanımının yerini alternatif ürünler almalıdır. Hali hazırda devam eden çalışmalara ek olarak beton ürünlerinin geri dönüştürülerek kullanılması yaygınlaştırılmalı ve teşvikler sağlanarak üretici tarafından cazip hale getirilmelidir.

## KAYNAKÇA

- Anonim (2012). 6306 sayılı Afet Riskli Yapıların Yenilenmesi Hakkında Kanunu, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Yayın No: 6306, Ankara
- Arioğlu, E., Arioğlu N. ve Yılmaz, A. (2006) Beton Agregaları Bilgi Föyleri. Evrim Yayınevi, 303, İstanbul.
- Karayolları Teknik Şartnamesi (2013) Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Memişoğulları, M. (2019) Prefabrik Beton Yapı Malzemelerinin Geri Dönüşüm Agregası Olarak Beton Parke Yapımında Kullanılabilirliğinin Araştırılması (Yüksek Lisans Tezi), Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- TS EN 2824-1338 (2009) Zemin Döşemesi İçin Beton Kaplama Blokları Gerekli Şartlar ve Deney Metotları Bölüm 2: Malzemelere Ait Genel Özellikler. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.



## **BÖLÜM 7**

### **ATIK KULLANIMININ BETON VE HARÇ ÜRETİMİNDE YAŞAM DÖNGÜSÜNE KATKISI**

Doç. Dr. Serpil SAVCI<sup>1</sup>, Dr. Öğr. Üyesi İsmail İsa ATABEY<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Yozgat Bozok Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Yozgat, Türkiye, serpil.savci@yobu.edu.tr, ORCID ID:0000-0003-2015-2223.

<sup>2</sup> Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Nevşehir, Türkiye, ismailatabey@nevsehir.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-7026-5579



## GİRİŞ

Geçmiş yıllar boyunca, çevresel bozulma ile ilgili endişeler, enerji tüketimi ve malzeme sıkıntısı, ürünlerin çevresel etkisini çıkarmayı ve dögüsel ekonomi ilkelerine geçişi hedefleyen yaşam dögüsü yaklaşımlarının geliştirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Sürdürülebilir inşaata odaklanma; binaların işletme aşaması, enerji talebi, kaynaklar, emisyonlar, atık üretimi, bakımı ve kullanım ömrünün sonu aşamaları anlamına gelmektedir. Bu nedenle yapı ürünlerinin tüm yaşam dögüleri boyunca çevresel etkilerinin değerlendirilmesine yönelik araştırmalar yoğunlaştırılmıştır. Ham madde alımından atığın ortadan kaldırılmasına kadar ürün ve hizmetlerin çevresel etkilerini değerlendiren bir yaklaşım olan yaşam dögüsü değerlendirmesi yeni anlayışlar sağlamaktadır. Bu nedenle, özellikle inşaat sektöründe harçların sürdürülebilirliği ile ilgili olarak yaşam dögüsü değerlendirmesi çalışmalarının sağladığı bilgileri anlamak, eleştirel bir şekilde değerlendirmek ve uygulamak için artan bir ihtiyaç vardır. Binaların çevresel, sosyal ve ekonomik unsurlarla ilgili sürdürülebilirlik değerlendirmesi için başka araçlar da kullanılabilir. Bununla birlikte, çevresel boyut dünya çapında en çok kullanılan ve standartlaştırılmış yöntemdir (Santos ve ark., 2021).

Yapı malzemelerinin olumsuz çevresel etkisini azaltmak için çeşitli seçenekler göz önünde bulundurulurken CO<sub>2</sub> emisyonunun azaltılması için en önemli fırsatlardan birinin düşük karbonlu çimento kullanmak olduğu akademisyenler ve iş dünyası tarafından genel kabul görmektedir. Beton endüstrisinde uygulamada çimentoya ek atık toz

malzemelerin kullanımının artırılması bu seçeneklerden biridir (Teixeira ve ark., 2019).

Dünya çapında, çimentonun büyük bir kısmı beton ve harç üretiminde tüketilmektedir. Üretilen her bir ton çimento için, yaklaşık olarak bir ton sera gazı açığa çıkmakta ve bu da dünya çapında salınan tüm sera gazlarının toplam %8'ine tekabül etmektedir. Bu salınan sera gazlarının önemli bir kısmını, çimento klinkerinin yüksek sıcaklıkta işlenmesi oluşturmaktadır. Bu nedenle, çimento üretiminin mevcut oranda devam ettirilmesi durumunda, çimentoya alternatif malzemeler getirilmediği sürece, dünya çapında ekolojik sistemlerde geri dönüşü olmayan zararlara neden olabilir (Huseien ve Shah, 2020).

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD); ürünlerin hammaddelerinin elde edilmesi, üretimi, yapıya uygulanması, kullanılması ve ürünün kullanımının sona ermesi ile geri dönüşümü ya da yok edilmesi gibi süreçleri içine alan bir döngü boyunca oluşmuş ve olası çevre etkilerinin değerlendirilmesidir (Tuna Taygun, 2005).

Bu kitap bölümünde, farklı sektörlerde ait atık tozların (atık seramik tozu, atık cam tozu, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu) yaşam döngüsüne katkı sunması açısından beton ve harç üretiminde değerlendirme yöntemleri üzerinde durulmuştur.

## **BETON VE HARÇLARIN ÖZELLİKLERİ**

Beton; agrega, çimento, su ve gerektiğinde bazı katkı maddelerinin birlikte karılmasıyla elde edilen yapı malzemesidir. Çimento, su ve ince agreganın karışımından oluşan malzemeye ise harç denilmektedir

(Erdoğan, 2007). Yaygın kullanılan harçlar ise, en az bir mineral bağlayıcı (aglomera) ve bir agrega (doğal veya yapay kum) ile su ile yoğrularak üretilen gözenekli malzemelerdir. Tarih öncesi dönemden bu yana yapı malzemesi olarak toprağın ve milattan önce kireç harçlarının kullanıldığına dair kayıtlar vardır. 19. yüzyılın ortalarından itibaren, yavaş yavaş toprak ve kirecin yerini çimento bazlı harçlar almıştır. Harç formülasyonunda killi toprak, alçı, kireç (hava, hidrolik, doğal veya formüle edilmiş) veya çimento gibi çok sayıda bağlayıcı uygulanabilir ve çeşitli teknik özelliklere sahip kompozitler üretilebilir. Harç bağlayıcı üretiminde yer alan enerji, hammadde çıkartılmasına, öğütme işlemlerine, ısıl işleme ve ilgili nakliyeye bağlıdır. Geleneksel (çevresel etkileri yüksek) üretim ve nakliye için daha az enerji gerektiren alternatif bağlayıcıların, yerini alması teknik ve sosyal açıdan avantajlı olacaktır (Santos ve ark., 2021).

Aynı zamanda, harçlarda doğal kum yerine geri dönüştürülmüş agregaların kullanılması da fayda sağlayabilir. Bu, ham maddenin çıkarılmasında, ısıl işlem için enerji tüketiminde ve depolama için daha düşük atık hacminde bir azalmaya yol açacaktır. Katı atık yönetimindeki ilerlemeler, bilim adamlarının, inşaat malzemeleri üretiminde geleneksel hammaddelerin yerini alacak veya bunlara eklenecek alternatif malzemeler çalışmalarıyla sonuçlanmıştır (Santos ve ark., 2021).

Beton dünya çapında yaygın olarak kullanılması sebebi ile çevresel etkisinin azaltılması ve özelliklerinin iyileştirilmesi için çimentoya ek malzemelerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Çevresel etkiyi azaltmak için



benimsenen çok sayıda strateji vardır ve en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri, kısmen çimentoyu ek bir malzeme ile yer değiştirmektir. Çimentoya ek bileşenler genellikle atık seramik tozu, atık cam tozu, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi puzolanik reaktiviteye sahip malzemelerden (kendi başına bağlayıcılığı olmayan veya çok az olan ancak başka bir bağlayıcı ile kullanıldığında reaksiyona giren malzemeler) oluşur. Bu tür malzemeler uygun oranda çimento ile karıştırıldığında betonun geç dayanım ve dayanıklılık özelliklerini iyileştirmektedir (Onn ve ark., 2019).

## **YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRME GEREKSİNİMLERİ**

Dünya’da sudan sonra en çok kullanılan malzeme betondur. İnşaat sektörü, litosferden elde edilen minerallerin yaklaşık %60’ını, yani doğal kaynak açısından küresel madenlerin %24’ünü tüketmektedir. Portland çimentosunun üretimi sırasında atmosfere salınan CO<sub>2</sub> emisyonu nedeniyle, üretim için daha az enerji tüketen, atık minimizasyonu sağlayan, geri dönüştürülebilir mühendislik malzemeleri kullanılarak inşaat sektörünün sürdürülebilirliğinin iyileştirilmesi gerekliliğini açıkça göstermektedir. Betonun CO<sub>2</sub> ayak izini azaltmak için en uygun yaklaşımlardan birisi, klinkerin, özellikle endüstriyel yan ürünler (uçucu kül, yüksek fırın cürufu, silis dumanı vb.) ve/veya doğal kaynaklar yerine kullanılan geri dönüştürülmüş malzemeler (atık cam ve plastik malzemeler vb.) olan alternatif malzemelerle yer değiştirmesidir (Taygun ve Balanlı, 2005).

Plastik keşfinden bu yana, gıda ambalajlarında, tıbbi uygulamalarda ve diğer kullanımlarda dayanıklılığı, uzun ömürlülüğü, hafifliği ve

korozyon direnci nedeniyle kullanıcılar arasında gözde bir malzeme olmuştur. Polietilen tereftalat (PET) ve Poli vinil klorir (PVC) yaygın olarak kullanılmasına ve topluma sayısız şekilde fayda sağlamasına rağmen, bir dizi potansiyel insan sağlığı ve çevresel risk oluşturmaktadır. Bazı kirleticiler, buldukları yapı ürünleri ve insan sağlığına olan etkileri Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Bazı Kirleticiler, Buldukları Yapı Ürünleri ve İnsan Sağlığına Olan Etkileri (Taygun ve Balanlı, 2005).

Bazı Kirleticiler	Yapı Ürünleri	İnsan Sağlığı Üzerine Etkiler
Asbest	Bazı tavan ve döşeme kaplamalar, Yalıtım ürünleri, eski sıva.	Akciğer kanseri, plevra tümörü, mezotelyoma.
Polivinil Klorür (PVC)	Kaplama, çatı örtüleri, doğrama profilleri, duvar kağıdı, oluk, elektrik döşemesi, boru.	Baş dönmesi, baygınlık, bitkinlik, sinirlilik, baş ağrısı, bulantı, gözlerde yanma, uyku düzensizliği, bellek yitimi, işitme bozuklukları, parmaklarda kan dolaşımı sorunları, kanın pıhtılaşmaması, çarpıntı, kalp krizi, bağışıklık sistemi zayıflığı, üreme organları sorunları, karaciğer, beyin, akciğer, mide, lenf kanseri
Radon	Granit, tuğla, alçı, agrega, beton,	Akciğerde tümör

Yaşam döngüsü değerlendirmesi, hem tasarım aşamasında hem de yaşam döngüsü yönetimi sırasında sürdürülebilirliğe yönelik mühendislik çözümlerinin bilimsel arka planını sağlamak için en aktif

olarak düşünölen araçlardan biri haline gelmiştir. Yaşam döngüsü değerdendirilmesi, bir ürünün tüm yaşam döngüsüyle bağlantılı olarak, hammadde çıkarma ve satın alma, enerji ve malzeme üretimi ve imalatı, kullanım ve kullanım ömrü sonu arıtma ve nihai imhaya kadar tüm çevresel etkileri incelemek üzere tasarlanmıştır. Sürdürülebilir inşaat sektörünün taleplerinin karşılanmasında yaşam döngüsü değerdendirilmesi yaklaşımına ihtiyaç duyulmuştur (Demirel ve ark., 2019).

## **STANDARTLAR VE YÖNERGELER**

Avrupa’da, sürdürülebilirlik kapsamında, inşaat performansının değerdendirilmesi ile ilgili standartlar yayınlanarak Tablo 2’de verilmiştir. Yaşam döngüsü analizinin benimsenmesi ve geliştirilmesi ISO 14040 serisi standartların yayınlamasıyla sonuçlanırken, yaşam döngüsü analizi çalışmaları için teknik rehberlik amaçlayan standartlar ISO 14000 serisinde ele alınmıştır (ISO, 2017).

ISO 14000 çevre ile etkileşim içinde olan kuruluşların faaliyetlerinden, ürünlerinden veya hizmetlerinden gelen unsurları ve çevresel yönleri tanımlamaktadır (Moraes ve ark., 2010).

Yaşam döngüsü, bir ürünün veya hizmetin beşikten mezara izlenmesi anlamına gelmektedir. ISO 14040’a göre yaşam döngüsü analizi yöntemi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bu alanlar;

1. Ürün veya hizmetin değışik yaşam döngüsü evrelerinde çevre ile olan ilişkisinin tanımlanarak, geliştirilmesi ve iyileştirilmesinde,

2. Özel sektör veya kamuda, stratejik planlama yapılırken, öncelik belirlemede, ürün ve hizmetlerin tasarımında veya mevcut var olan tasarımların yenilenmesi konularına karar verilmesinde,
3. Çevresel performans göstergeleri ile ilgili, ölçüm tekniklerini de içerecek şekilde kamu politikası oluşturulmasında,
4. Çevre etiketi ve çevresel bildireler gibi pazarlama araçlarının geliştirilmesinde (Gültekin ve Çelebi, 2016).

**Tablo 2.** Yaşam Döngüsü Değerlendirme Standartları (Teixeira ve ark., 2019).

Standart	Amaç
ISO 14040:2006	İlkeler ve Çerçeve
ISO 14044:2006 + A1:2017	Gereksinimler ve Yönergeler
ISO 14006:2020; ISO 14062:2002	Yaşam Döngüsü Analizi Hakkında Teknik Rehberlik Raporları
ISO 14020:2000; ISO 14063:2020	Çevresel Performans İletişimi
ISO 14025:2006; ISO 21930:2017; EN 15804:2012 + A2:2019	Çevresel Ürün Beyanı Gereksinimleri
ISO 14064-1:2018; ISO 14064-2:2019; ISO 14064-3:2019	Sera Gazı Raporlaması ve Azalma
EN 15643-1:2010; EN 15643-2:2011; EN 15643-4:2012 EN 15643-3:2012	Binalar Üzerindeki Çevresel, Sosyal ve Ekonomik Performans Değerlendirmelerine İlişkin Yönergeler
EN 15978:2011	Hesaplama Metodları

“Harçlar için agregalar” ile ilgili Avrupa standardı EN 13139 (2002), üretim için geri dönüştürülmüş agregaların kullanımına izin vermektedir. Bunun yanı sıra duvar harçları ve inşaat ve yıkım

atıklarından gelen agregaların ince tane dağılımına sahip olanların geri dönüşümünü mümkün kılmaktadır. Doğal agreganın geri dönüştürülmüş agrega ile değiştirilmesi, depolama sahasına atılan miktarının azaltılmasına ve aynı zamanda bir dizi çevresel fayda anlamına gelen doğal kaynakların korunmasına olanak sağlamaktadır. Bununla birlikte, çevresel faydaların gerçek bir değerlendirmesi, bu tür faydaları doğru bir şekilde ölçmek için araçların kullanılmasını gerektirir. Yaşam döngüsü analizleri de çevresel etkileri analiz etmek için ideal bir araçtır. İnsan faaliyetlerinin çevresel etkilerini ölçmekte ve karşılaştırmakta, farklı stratejilerin çevresel profiline genel bir bakış sunmakta, ayrıca tüm seçeneklerin çevresel etkilerinin bir karşılaştırmasını yapmaktadır (Cuenca-Moyano ve ark., 2017).

### **ATIK SERAMİKLERİN YAŞAM DÖNGÜSÜNE KATKISI**

Son zamanlarda, inşaat sektöründen gelen katı atıklar da dahil olmak üzere çimentoya alternatif malzemelerin kullanımı hızla artmıştır. Bu atık malzemeler, uygun yapı malzemesi taleplerini karşılayabilen, çevre dostu, bol, düşük enerji tüketimi, sıfır maliyet ve mükemmel bağlayıcı özellikleri gibi avantajları nedeniyle tercih edilmektedir. Bu atık malzemelerin yeniden kullanılması doğal kaynakları korur, sürdürülebilirliğe katkıda bulunur ve bu atıkların düzenli depolama alanlarına dökülmesini engeller. Çimento yerine çeşitli endüstriyel atıkların kullanılmasına rağmen, atıkların ekonomisi, istikrarı, dayanıklılığı, çevresel duyarlılığı ve sürdürülebilirliği gibi bazı temel teknik özelliklerin ele alınması gerekmektedir (Samadi ve ark., 2020).

İtalyan Makine ve Ekipman Üreticileri Birliği, 2018 yılında Dünya çapında farklı türlerde seramik ve karo üretiminin yaklaşık 13,7 milyar m<sup>2</sup> olduğunu rapor etmiştir (Giacomini, 2018). Tipik olarak seramik endüstrisinde malzemelerin yaklaşık % 30'u çöpe atılmaktadır. Bu seramik atıklar, hem kimyasal hem de fiziksel olarak zorlu çevre koşullarına dayanıklıdır. Bu nedenle, dünya çapındaki seramik endüstrisi, seramik atıklarının atılmasına bir alternatif bulma yoluna gitmiştir. Seramik atıklarının beton ve harçta yeniden kullanılması enerji tasarrufu sağlamaktadır. Aynı zamanda yapılan çalışmalarda sürdürülebilir ve çevre dostu seramik atıkların harcın mekanik özelliklerini ve dayanıklılığını geliştirmedeki rolü vurgulanmıştır. Harçta çimento yerine geri dönüştürülmüş seramik atığının kullanılması sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltmış ve çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamıştır (Samadi ve ark., 2020).

Son yıllarda çimentoya alternatif bağlayıcı arayışında atık seramiklerin geopolimer harç üretiminde kullanımı da araştırılmaktadır. Atabey ve Bayer Öztürk (2021) tarafından yapılan, çimentosuz olarak %100 seramik sağlık gereci atığı kullanılarak üretilen çalışmada çimentolu harçlara yakın dayanım özellikleri elde etmişlerdir. Böylece ıskartaya ayrılan vitrifiye (Mutfak ve banyoda kullanılan lavabo, klozet, rezervuar, duş teknesi, bide ve pisuar vb.) ürünler atık olmaktan çıkmış ve atıkların harç üretiminde kullanılmasıyla yaşam döngüsüne katılmıştır.

Li ve ark. (2020), atık seramik tozunu çimento ile yer değiştirerek kullanmıştır. %20 oranında çimento ile atık seramik tozu yer

değişiminde yüksek dayanım değerleri elde ederek uygun kullanım oranı olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca %20 yer değişiminin beton üretiminde %9,6'lık ekonomik bir fayda sağlayarak çimento üretiminde %6'6 lık bir azalmaya sebep olacağını tahmin etmektedirler.

Seramik atıklarının yeniden kullanımının CO<sub>2</sub> emisyonlarını önemli ölçüde azaltabileceği, enerji tasarrufu sağlayabileceği, toplam elektrik ve yakıt tüketimini azaltabileceği ve böylece dünya çapında kullanılabilirliği ile sonuçlanacağı için seramik atık kullanımının, sürdürülebilir ve düşük maliyetli bir yapı malzemesi olarak çevre dostu kabul edilebileceği söylenebilir (Samadi ve ark., 2020). Böylece seramik sektörü atıkları hem çimentoya ek malzeme olarak hem de çimentosuz harç üretim yöntemlerinde (alkalilerle aktivasyon) kullanılarak katı atıkların yaşam döngüsüne dahil edilmesine katkı sunabilir.

## **ATIK CAMLARIN YAŞAM DÖNGÜSÜNE KATKISI**

Cam hayatın her alanında tabaklardan, pencerelere, ekranlardan tıbbi ve elektronik cihazlara kadar yaygın olarak kullanılan malzemelerden birisidir. Teknik olarak, özel eleme ve temizlemeden sonra, toplanan atık cam ürünleri, yeni cam ürünleri üretmek için yeniden eritilebilir. Ancak, birden fazla türü, rengi ve kirlilikleri nedeniyle, atık cam genellikle bir çöp sahasına gömülür veya sadece bir yerde stoklanır. Sadece kaynakların israfına neden olmakla kalmaz, aynı zamanda çevreyi ve dünyayı da kirletir. Her yıl dünya çapında astronomik miktarda atık camın çöpe atıldığı ve bazı ülkelerde geri dönüşüm

oranının nispeten düşük olduğu bilinmektedir. Atık cam, bertarafı küresel bir sorun olan katı atıkların önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Kimyasal içeriğindeki silis bakımından zengin atık camların kullanımı küresel ölçekte büyük bir atık haline geldiği için çimentoya alternatif bağlayıcı üretiminde göz ardı edilmemesi gerekmektedir (Du ve Tan, 2017). Birleşmiş Milletler, dünyada yıllık elde edilen katı atık miktarının 200 milyon ton olduğunu, bunun %7'sini atık camın oluşturduğunu tahmin etmektedir. Türkiye için ise 120000 ton olduğu bunun ancak 80000 tonunun geri dönüştürülebildiği belirtilmektedir (Topçu ve Canbaz, 2004). Bu nedenle biriken atık camların tamamen tüketilmesi için katma değerli ürünlerin geliştirilmesi zorunludur. Atık camları inşaat sektöründe kullanılması, beton maliyetini düşürür, çimento veya doğal agrega üretimi sırasında CO<sub>2</sub> emisyonundan kaynaklanan çevresel stresi azaltır ve araziye atık camın gömülerek bertarafını engellemiş olur (Dong, 2021).

Ekolojik ve sürdürülebilirlik gereksinimlerine uymak için günümüzde ikincil veya yenilenebilir hammaddelerin kullanımı büyük önem taşımaktadır ve doğal kaynaklardan veya geri dönüştürülmüş tüketim sonrası nesnelere malzemelerinin üretimi giderek daha fazla değerlendirilmektedir. Bazı çalışmalar, yalıtım panelleri elde etmek için polietilen tereftalat (PET) veya tekstil liflerinin geri dönüştürülmesi olasılığını gösterirken, diğerleri biyo kullanımına odaklanmıştır. Özellikle atık camların geri dönüşümünden, köpüklü malzemelerin üretimine odaklanan çalışmalar da bulunmaktadır (Cozzarini ve ark., 2020).



Camlar, çevre dostu sayılabilecek bir strateji olarak beton üretiminde potansiyel olarak kullanılabilen önemli atık ürünlerdir. Dünyada her yıl birkaç milyon ton cam şişe atılmaktadır. Bu atıkların bir kısmı zaten cam üreticileri tarafından geri dönüştürülmüştür. Bununla birlikte, renk çeşitliliği, camdaki kusurlar ve işleme maliyetleri nedeniyle tüm cam atıklarının geri dönüştürülmesi mümkün değildir. Şişelerden elde edilen toz haline getirilmiş cam atıklarının, görünüşte kristal olmayan biçimde önemli miktarda Al ve Si içerebileceği tespit edilmiştir. Bu özellikler cam atığı muhtemel puzolanik veya çimento benzeri bir madde yapar. Bu nedenle beton üretiminde agrega olarak kullanılması, çimentoya ek olarak kullanılarak kendisi için uygun bir alternatif sunmaktadır (Huseien ve ark., 2020). Tucker ve ark. (2018) piyasa değeri düşük bir ürün olan camın, puzolan olarak kullanıldığında geleneksel beton dayanıklılığı ve mukavemet gereksinimlerine ulaşma kabiliyeti, bu uygulamanın daha büyük ölçekte ekonomik olarak uygulanabilir olup olamayacağını araştırılmasına yol açtığını belirtmişlerdir. Geleneksel beton mukavemet gereksinimlerinin karşılanmasına ek olarak, Jiang ve ark. (2014), bir yaşam döngüsü değerlendirmesi aracılığıyla, geleneksel beton üretiminden kaynaklanan çevresel etkilerin (örneğin, karbon emisyonları ve enerji kullanımı), cam tozunun çimento ile beraber olarak kullanıma dahil edildiğinde azaldığını belirtmişlerdir. Atabey ve Ay (2021). Atık cam tozu ile çimentosuz alkali aktivasyon yöntemi ile harçlar üretmişlerdir. Böylece %100 cam tozundan oluşan bağlayıcı ile daha fazla atık camın harçlarda kullanılabilmesi ön görülmüştür.

Çalışmalardan da anlaşılacağı gibi yaşam döngüsü değerlendirmesi, üretim teknolojilerinin çevresel uygulanabilirliğini bütünsel bir şekilde değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Hossain ve ark., 2020).

## **UÇUCU KÜLLERİN YAŞAM DÖNGÜSÜNE KATKISI**

Beton, sayısız amaçlar için kullanılan bir yapı malzemesidir. Sürdürülebilirlik açısından beton endüstrisi ile ilgili en önemli konulardan birisi, çimento üretiminden kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonlarıdır. Klinker üretimi sırasında meydana gelen reaksiyonlarda kullanılan yakıt, CO<sub>2</sub> emisyonlarını oluşturmaktadır. Günümüzde artan çevresel bilince paralel olarak ulusal ve uluslararası çalışmalar da giderek artmaktadır. Beton ve çimentonun aşırı kullanımı çevresel etkilerini de beraberinde getirmektedir. Bu nedenle beton ve çimento sektörü büyük miktarda doğal kaynak kullanımı ve enerji tüketimi ile beraber çimento üretimi kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonu sebebi ile eleştirilmektedir. Bu durum üretici ve araştırmacıları alternatif üretim yollarının geliştirilmesine yöneltmiştir (Tangüler ve ark., 2015).

İş adamları ve akademisyenler tarafından geliştirilen inşaat malzemeleri hakkındaki bir rapora göre, CO<sub>2</sub> emisyonunun azaltılması için en önemli fırsatlardan birinin düşük karbonlu çimento kullanmak olduğunu göstermiştir (Tomkins, 2009).

Beton endüstrisinin çevresel etkisini azaltmak için çeşitli seçeneklerin göz önünde bulundurulması gerekir ve çimentoya ilave malzemelerin kullanımının arttırılması bunlardan biridir. Bununla birlikte, yüksek

hacimlerde uçucu kül eklenmesi, düşük kalsiyum hidroksit içeriğine sahip hidratlı bağlayıcıların oluşumuna yol açmaktadır. Bu da beton alkalinitesini azalmakta ve daha az dayanıklı malzemelere yol açabilmektedir (Teixeira ve ark., 2019). Bu nedenle kısmi oranda çimento ile uçucu kül yer değişimi beton ve harçlarda uygun dayanım ve dayanıklılık koşullarının sağlanması için önemlidir.

Günümüzde yenilenebilir kaynakların kullanımı örneğin orman sektöründeki biyokütlelerden enerji üretimi giderek artmaktadır. Biyokütle yanma ile enerjiye dönüştürülmekte ve bu durum da uçucu kül üretimi gibi büyük bir çevresel probleme yol açmaktadır. Uçucu kül, çok yüksek maliyet gerektiren bir çevresel kirleticidir. Sonuç olarak, betonda çimento yerine kullanılması, yüksek hacimli çimento kullanılması ile ilgili sorunları en aza indirebilir (Teixeira ve ark., 2019).

Literatürde uçucu külün çevresel ve ekonomik faydalarını ortaya koyan çok sayıda çalışma vardır. Çelik ve ark. (2015), uçucu kül ile beton üretiminin, geleneksel portland çimentosu betonuna kıyasla teknik ve çevresel avantajları ile sayısız uygulamada uzun yıllardır başarıyla kullanıldığını ve kullanımının zamanla artmaya devam etmesi beklendiğini ifade etmektedirler. Seto ve ark. (2017), uçucu kül, atık ürün olarak üretildiği için nasıl kullanıldığına bakılmaksızın partikül madde emisyonlarını azaltmak ve hava kalitesini iyileştirmek için toplanması gerektiğini ifade etmektedirler. Uçucu külün atık olarak toplanmasının çevresel etkisinin, genel beton yaşam döngüsünün çevresel etkisine kıyasla nispeten çok küçük olduğu

varsayılmaktadır. Marsh (2003) ve Rivera ve ark. (2015), uçucu küller toplam çimento içeriğinin kütlece %15-30'u olarak kullanılır, ancak son zamanlarda yüksek hacimli uçucu kül betonunun geliştirilmesiyle %50'den fazla değiştirme seviyelerine ve yapısal uygulamalarda kullanıma izin verildiğini belirtmiştir. Bu durum uçucu külün yaşam döngüsüne katılım oranını arttırmıştır.

## **YÜKSEK FIRIN CÜRUFUNUN YAŞAM DÖNGÜSÜNE KATKISI**

Puzolanik reaktiviteye sahip öğütölmüş granüle yüksek fırın cürufu optimum miktarda çimento ile birleştirildiğinde betonun daha sonraki yaş dayanım ve dayanıklılık özelliklerini iyileştirebileceği bilinmektedir. Yüksek fırın cürufu, demir üretim sürecinin bir ürünü olan cüruftan üretilir. Demir yapımında kullanılan yüksek fırın, demir cevheri, kok ve kalker karışımları ile beslenen 2000 °C'ye kadar sıcaklıklarda çalışır. Demir cevheri daha sonra demire dönüştürülür ve yüksek fırının dibine çökerken, kalan malzemeler demirin üzerinde yüzen bir cüruf oluşturur. Yüksek fırın cürufu daha sonra hızla su ile söndürülür ve bu prosesi kurutma ve daha ince toz formuna öğütme takip eder. Böylece elde edilen yüksek fırın cürufu amorf/camsı faza sahiptir ve çimento gibi özellikler sergiler (Onn ve ark., 2019).

Literatürde yapılan çalışmalarda cüruf ile üretilen bağlayıcıların çevresel etkileri vurgulanmıştır. Shi ve ark. (2006), yüksek sıcaklıkta kür uygulanmadan herhangi bir özel işlem gerektirmediği için cüruf esaslı alkali ile aktive edilmiş bağlayıcı kullanmanın çok pratik olduğunu bildirmiştir. Turgut (2012) çimento kullanılmadan üretilen

alkali ile aktive edilen tuğlanın çevre dostu bir yapı malzemesi olarak önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir. Faleschini ve ark. (2014), agrega olarak elektrik ark fırın cürufu kullanımının geleneksel betona kıyasla ile %100 cüruf ikame edilmesi ile üretilen betonun etkilerini karşılaştırmış ve 1 ton doğal agreganın emisyonu %35 oranında artırdığını tespit etmiştir. Nedeljkovi'c ve ark. (2020), atık cürufun çimento yerine ikame edilmesinin hem çevresel fayda sağlayacağını hem de firmalara yeşil kimya ve döngüsel ekonomi sağlayacağı ifade edilmiştir.

## SONUÇ

Yaşam döngüsü analizinin, endüstride ürün ve proses geliştirmede uygulanması, proses ve ürünün çevresel yükünün düşürülmesini sağlayabilmektedir. Endüstriler, yaşam döngüsü analizi uygulamasıyla, hammadde, enerji, işçilik vb. giderlerini en aza indirerek, zaman ve paradan tasarruf edecek, aynı zamanda çevresel açıdan da önemli bir ilerleme sağlayacaklardır.

Ürünü oluşturan hammaddelerin edinimi ile başlayan yapı ürünlerinin yaşam döngüsü, ürünün kullanımının sona ermesi sonucu yok edilmesi veya geri dönüşümü ile bitmektedir. Bu süreçte de çevreye olan etkiler önem kazanmıştır. Yaşam döngüsü modelleri ile kısıtlı olan kaynakların verimli bir şekilde kullanılması ve gelecek nesillere aktarılması sürdürülebilirlik açısından önemlidir.

Portland çimentosunun üretimi sırasında atmosfere aşırı derecede sera gazı salınımı gerçekleşir. Bu durum çevreyi kirletir ve iklim değişikliğine de katkıda bulunur. Yapılacak olan çalışmalarda, bu tür

olumsuz çevresel etkileri azaltmak ve sürdürülebilir kalkınmayı iyileştirmek için alternatif yeşil inşaat malzemeleri sürekli olarak araştırılmalıdır.

İnşaat sektörü hammaddelerin ana tüketicilerinden biridir ve kaynakların tükenmesine yol açmaktadır. Özellikle bölgesel atıkların bulunduğu çevrede kullanılması, nakliye ile oluşacak enerji ve zaman kayıplarını azaltacak ve çimento kullanımını azaltarak yaşam döngüsüne katkısını arttıracaktır. Çimentoya ek bileşenlerin artan kullanımı, küresel CO<sub>2</sub> emisyonlarında olası bir azalma sunmaktadır. Ayrıca beton ve harçlarda dayanım ve dayanıklılık kaybı oluşmaksızın atıkların sisteme dahil edilmesi yaşam döngüsüne katkının olumsuz bir yönünün oluşmasının da önüne geçmektedir. Son yıllarda üretim özellikleri araştırılan alkali ile aktive edilmiş harçlar da atıkların büyük oranda geri dönüşümüne katkı sunmaktadır. Böylece daha fazla atığın inşaat sektöründe ham madde olarak kullanılması bu atıkların yaşam döngüsüne katılma oranlarını arttıracaktır.

## **KAYNAKÇA**

Atabey, İ. İ., & Ay, Cemre (2021). Kalsiyum Alüminat Çimentosunun Farklı Kür Koşullarında Atık Cam Tozu Esaslı Geopolimer Harçların Fiziksel ve

- Mekanik Özelliklerine Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 184-189.
- Atabey, İ. İ., Bayer Oztürk, Z. (2021). Seramik Sağlık Gereci Atıklarının Geopolimer Harç Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *International Journal of Engineering Research and Development*, 13 (1) , 212-219 .
- Cozzarini, L., Marsich, L., Ferluga, A., Schmid, C., (2020). Life cycle analysis of a novel thermal insulator obtained from recycled glass waste. *Developments in the Built Environment* 3, 100014.
- Cuenca-Moyano, G. M., Zanni, S., Bonoli, A., Valverde-Palacios, I., (2017). Development of the life cycle inventory of masonry mortar made of natural and recycled aggregates, *Journal of Cleaner Production* 140, 1272-1286.
- Demirel, S., Öz, H. Ö., Güneş, M., Çiner F., Adm, S., (2019). Life-cycle assessment (LCA) aspects and strength characteristics of self-compacting mortars (SCMs) incorporating fly ash and waste glass PET, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 24:1139–1153.
- Dong, W., Li, W., Tao, Z., (2021). A comprehensive review on performance of cementitious and geopolymeric concretes with recycled waste glass as powder, sand or cullet, *Resources, Conservation & Recycling* 172, 105664.
- Du H. and Tan, K. H. (2017). “Properties of high volume glass powder concrete,” *Cem. Concr. Compos.*, vol. 75, pp. 22–29.
- Erdoğan, Turhan Y. (2007). *Beton*. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim.
- Giacomini, P., (2018). World production and consumption of ceramic tiles. *Ceram. World Rev.* 85, 54-62.
- Gültekin, A. B., Çelebi, G., (2016). Yaşam Döngüsü Değerlendirme Yöntemi Kapsamında Yapı Ürünlerinin Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Model Önerisi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3, 1-36.
- Jiang, M., Chen, X., Rajabipour, F., & Hendrickson, C. T. (2014). Comparative life cycle assessment of conventional, glass powder, and alkali-activated slag concrete and mortar. *Journal of Infrastructure Systems*, 20(4), 04014020.

- Hossain, M. U., Wang, L., Chen, L., Tsang, D. C. W., Ng, S. T., Chi Sun Poon, C. S., Viktor Mechtcherine (2020). Evaluating the environmental impacts of stabilization and solidification technologies for managing hazardous wastes through life cycle assessment: A case study of Hong Kong, *Environment International* 145, 106139.
- Huseien, G. F., Hamzah, H. K., Sam, A. R. M., Khalid, N. H. A., Kwok Wei Shah, K. W., Dan Paul Deogrescu, D. P., Mirza, J., (2020). Alkali-activated mortars blended with glass bottle waste nano powder: Environmental benefit and sustainability, *Journal of Cleaner Production* 243, 118636.
- Huseien, G.F., Shah, K.W., (2020). Durability and life cycle evaluation of selfcompacting concrete containing fly ash as GBFS replacement with alkali activation. *Construct. Build. Mater.* 235, 117458.
- ISO 14044:2006+A1:2017. Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines, 2006, Geneva, Switzerland.
- Li, L., Liu, W., You, Q., Chen, M., & Zeng, Q. (2020). Waste ceramic powder as a pozzolanic supplementary filler of cement for developing sustainable building materials. *Journal of Cleaner Production*, 259, 120853.
- Marsh, B. (2003). High-volume fly ash concrete. *Concrete* 37 (4), 54-55.
- Moraes, C. A. M., Kieling, A. G., Caetano, M. O., Gomes, L. P., (2010). Life cycle analysis (LCA) for the incorporation of rice husk ash in mortar coating, *Resources, Conservation and Recycling* 54, 1170–1176.
- Nedeljković, A., Stojmenović, M., Gulicovski, J., Ristić, N., Milićević, S., Krstić, J., & Kragović, M. (2020). Waste Slag from Heating Plants as a Partial Replacement for Cement in Mortar and Concrete Production. Part I—Physical–Chemical and Physical–Mechanical Characterization of Slag. *Minerals*, 10(11), 992.
- Onn, C. C., Mo, K. H., Radwan, M. K., Liew, W. H., Ng, C. G., & Yusoff, S. (2019). Strength, carbon footprint and cost considerations of mortar blends with high volume ground granulated blast furnace slag. *Sustainability*, 11(24), 7194.



- Rivera, F., Martínez, P., Castro, J., & López, M. (2015). Massive volume fly-ash concrete: A more sustainable material with fly ash replacing cement and aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 63, 104-112.
- Samadi, M., Huseien, G. F., Mohammadhosseini, H., Lee, H. S., Lim, N. H. A. S., Tahir, M. M., Alyousef, R., (2020). Waste ceramic as low cost and eco-friendly materials in the production of sustainable mortars, *Journal of Cleaner Production* 266, 121825.
- Santos T., Almeida J., Silvestre J. D., Faria F., (2021). Life cycle assessment of mortars: A review on technical potential and drawbacks, *Construction and Building Materials* 288, 123069.
- Seto, K. E., Churchill, C. J., & Panesar, D. K. (2017). Influence of fly ash allocation approaches on the life cycle assessment of cement-based materials. *Journal of Cleaner Production*, 157, 65-75.
- Shi, C., Krivenko, P.V., Roy, D. (2006). *Alkali-activated Cements and Concretes*. Taylor and Francis, New York, USA.
- Tangüler, M., Gürsel, P., Meral, Ç., (2015). Türkiye’de Uçucu Küllü Betonlar için Yaşam Döngüsü Analizi, 9. Ulusal Beton Kongresi, Antalya.
- Tuna Taygun, G. (2005). Yapı ürünlerinin yaşam döngüsü değerlendirmesine yönelik bir model önerisi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Turgut, P. (2012). Manufacturing of building bricks without portland cement. *J. Clean. Prod.* 37, 361-367.
- Tucker, E. L., Ferraro, C. C., Laux, S. J., & Townsend, T. G. (2018). Economic and life cycle assessment of recycling municipal glass as a pozzolan in portland cement concrete production. *Resources, Conservation and Recycling*, 129, 240-247.
- Taygun, G. T., Balanlı, A., (2005). Yaşam Döngüsü Süreçlerinde Yapı Ürünü-Çevre Etkileşimi, *YTU Arch. Fac. e-Journal*, 1,1.
- Teixeira, E. R., Mateus R., Camões, A., Branco, F. G., (2019). Quality and durability properties and life-cycle assessment of high volume biomass fly ash mortar, *Construction and Building Materials* 197, 195–207.

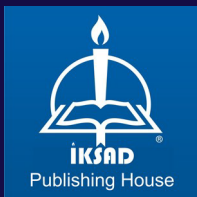
Tomkins, C. D., *Redefining What's Possible for Clean Energy by (2020)*. Gigaton Throwdown, San Francisco, 2009.

Topçu I. B., Canbaz, M. (2004). Properties of concrete containing waste glass, *Cem. Concr. Res.*, 34, 2, 267–274.









**ISBN: 978-625-8061-01-7**