



EUROPEAN JOURNAL OF
**ENGINEERING AND
APPLIED SCIENCES**

ISSN:2652-3412 Volume: 5 Number: 1



European Journal of Engineering and Applied Sciences
<http://dergipark.gov.tr/ejeas>
Volume 5 Number 1, June 2022

European Journal of Engineering and Applied Sciences

Volume: 5 Number: 1 June 2022

Eur J Eng Appl Sci

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/ejeas>

email: ejeas@nku.edu.tr

ISSN: 2651-3412



Owner



On behalf of Tekirdağ Namık Kemal University,
 Dean of Çorlu Faculty of Engineering,
 Prof. Dr. Lokman Hakan TECER

Editor-in-Chief

Prof. Dr. Aysun SAĞBAŞ

Vice Editor

Asst. Prof. Rabia KORKMAZ TAN
 Asst. Prof. Suna Özden ÇELİK
 Dr. Gülen ÖZKULA

Section Editors

Prof. Dr. Hafız ALİSOY
 Assoc. Prof. Dr. Rafet AKDENİZ
 Prof. Dr. Günay YILDIZ TÖRE
 Assoc. Prof. Dr. Koray ÇİFTÇİ
 Assoc. Prof. Dr. Reşat MUTLU
 Assoc. Prof. Dr. Uğur AKYOL

Assoc. Prof. Dr. Erdiñ UZUN
 Asst. Prof. Dr. Ulviye POLAT
 Asst. Prof. Dr. Aylin AKYILDIZ
 Asst. Prof. Dr. Suna Özden ÇELİK
 Asst. Prof. Dr. Rabia KORKMAZ TAN
 Dr. Gülen ÖZKULA

Language Editör

Assoc. Prof. Dr. Ufuk ÇETİN

Namik Kemal University

Turkey

Editorial Board

Prof. Dr. Lokman Hakan Tecer
 Prof. Dr. Gülen İskender
 Prof. Dr. Aşkın Demirkol
 Prof. Dr. Yılmaz Kılıçaslan
 Prof. Dr. Oğuzhan Çiçekoğlu
 Prof. Dr. Gül Kremer
 Prof. Dr. Nevin Çiğdem Gürsoy
 Prof. Dr. Rızvan Erol
 Prof. Dr. Gülgün Kayakutlu
 Prof. Dr. Emine Çokgör
 Asst. Prof. Dr. İsmail Faik Başkaya
 Assoc. Prof. Dr. Kristina Uzuneanu
 Asst. Prof. Dr. Feride Şermin Utku
 Dr. Giusy Lofrano

Namik Kemal University
 Istanbul Technical University
 Sakarya University
 Adnan Menderes University
 Boğaziçi University
 Iowa State University
 Istanbul Technical University
 Cukurova University
 Istanbul Technical University
 Istanbul Technical University
 Boğaziçi University
 "Dunarea de Jos" University of Galati
 Yeditepe University
 University of Salerno

Turkey
 Turkey
 Turkey
 Turkey
 Turkey
 USA
 Turkey
 Turkey
 Turkey
 Turkey
 Turkey
 Romania
 Turkey
 Italy

Correspondance Address

T.N.K.Ü. Çorlu Mühendislik Fakültesi Dekanlığı Silahtarağa Mahallesi Üniversite 1. Sokak No:13 59860
 Çorlu / Tekirdağ, TURKEY
 e-mail: ejeas@nku.edu.tr
 Tel: +90 282 2502300
 Fax: +90 282 2509924

Front & Back Pages Designed by Abdurrahman Özdemir



Yayın hayatına başlarken,

Trakya'nın kalbinde 1992 yılında kurulan Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi'nin "European Journal of Engineering and Applied Sciences (EJEAS)" isimli dergisi yayın hayatına başlıyor. Temel ve uygulamalı mühendislik konularında evrensel düzeyde bilgi üretmek, ürettiği bilgiyle teknolojik gelişmelere yön verebilmek ve bu bilgileri toplumsal faydaya dönüştürmek misyonuna sahip fakültemizin bu ilk sayısı ile yayın hayatına kazandırdığı dergimiz yılda iki kez yayınlanacaktır.

European Journal of Engineering and Applied Science (EJEAS) disiplinler arası alanlarda orjinal araştırma makalelerini, vaka çalışmalarını ve teknik raporları, derleme ve analiz raporlarını yayınlamayı amaçlamaktadır. Yayın ücreti bulunmayan ve bilimsel hakemli araştırma dergisinde Fen ve Mühendislik Bilimlerinde deneysel, teorik veya hesaplamalı Türkçe ve İngilizce hazırlanmış güncel ve özgün bilimsel çalışmalara yer verilecektir. EJEAS konusu aşağıdaki disiplinlerdeki çalışmaları kapsayacaktır, ancak konu kapsamı bunlarla sınırlı tutulmayacaktır:

- Otomasyon ve mekatronik mühendisliği
- Biyomedikal mühendisliği
- Bilgisayar bilimi ve yazılım mühendisliği
- İnşaat mühendisliği ve mimarlık
- Elektrik, elektronik ve telekomünikasyon mühendisliği
- Çevre mühendisliği
- Endüstriyel ve imalat mühendisliği
- Makine mühendisliği
- Malzeme bilgisi
- Tekstil mühendisliği

Dergiye gelen tüm çalışmalar çift-kör hakem değerlendirme sürecinden geçerek uygun bulunanlar yayınlanma sürecine alınacaktır.

Bu ilk sayısıyla yayın hayatına başlayan dergimizin size ulaşmasında emeği geçen herkese teşekkür eder, dergimize yayın hayatında başarılar dilerim.

Prof. Dr. Lokman Hakan TECER

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi Dekanı



Değerli Bilim İnsanları,

“European Journal of Engineering and Applied Sciences (EJEAS)” isimli dergimiz, 2018 yılında yayın hayatına başlamış olup, bilimsel hakemli dergi olarak, Fen ve Mühendislik disiplinlerinde “Türkçe ve İngilizce” hazırlanmış güncel araştırma ve derleme çalışmalarına yer vermekte ve yılda iki sayı olarak yayınlanmaktadır.

Dergimizin ilk yılında, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi'nin farklı disiplinlerinde görev yapmakta olan çok değerli akademisyenleri, gönüllü olarak dergimizin tüm süreçlerine destek vermiştir. Bu durum bizleri daha güçlü kılmış ve çalışmalarımızda sinerji yaratarak, azim ve kararlılığımıza önemli katkı sağlamıştır. Dergimizin ilerleyen sayılarında daha güçlü bir yapı ile daha iyi noktalara ulaşmasını, alana ve literatüre daha fazla katkı sağlayarak tüm dünyadaki bilim insanları tarafından yayın gönderilen bir dergi konumuna gelmesini ümit ediyorum.

Dergimizin bu iki sayısında değerli çalışmalarını bizimle paylaşmış dergimizde yayınlanmasına katkı sağlayan tüm yazarlarımıza, yayınların değerlendirilmesi ve süreç içerisinde her türlü bilgi ve tecrübesi ile bizleri yalnız bırakmayan çok değerli hakemlerimize, makalelerin dergimizde yayınlanma sürecinin başından sonuna kadar özveriyle çalışan alan editörlerimize ve editörler kurulumuza, bu süreçte desteklerini esirgemeyen Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi'nin dekanı sayın Prof. Dr. Lokman Hakan Tecer'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Prof. Dr. Aysun SAĞBAŞ

EJEAS Baş Editörü



Dear Colleagues,

Our “European Journal of Engineering and Applied Sciences (EJEAS)” journal has begun in 2018 as a scientific refereed journal. EJEAS includes up to date Turkish and English language based researches in Science and Engineering and publishes two issues in a year.

In the first year of EJEAS, very valuable academicians of Tekirdag Namik Kemal University have contributed and supported all the processes voluntarily. This made us stronger and with the synergy, it boosted our willingness. I hope that it will achieve better success soon, contribute more to the community, and become a globally recognized journal which publishes journals to entire science community in the world.

For these two issues, I would like to thank our authors who share their studies with us to contribute the journal, our reviewers for assessing the articles with their knowledge and experience, our editors and editorial board for their willingness from the beginning to the end, lastly, dear Dean of Engineering at Tekirdag Namik Kemal University, Prof. Dr. Lokman Hakan Tecer for his ultimate support.

Prof. Dr. Aysun SAĞBAŞ

Editor in-Chief pf EJEAS



CONTENT

Research Articles

1. *Selim TAŞKAYA* 1-8
Serbest Yapı Kimliğindeki İmar Parsellerinde Trigonometrik Yöntemle Bina Oturum Alanı Çıkartma İşlemi
2. *Utku PALAZ, Reşat MUTLU* 9-15
A Two-capacitor Problem with a Memcapacitor and a Conformal Fractional-Order Capacitor Put Together
3. *Veysel AKYÜNCÜ, Yunus Emre AVŞAR* 16-21
Farklı Tipte Uçucu Kül Kullanılarak Üretilen Alkaliyle Aktive Edilmiş Harçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri
4. *Mendi ARAPİ, Reşat MUTLU.* 22-28
Analysis of an Oscillation Circuit with a Linear Time-invariant Inductor and a Capacitor Modelled with Conformal Fractional Order Derivative
5. *Loveth EMEMBOLU, Chinenye IGWEGBE* 29-36
Investigation of Temperature Correlations on Corrosion Inhibition of Carbon Steel in Acid Media by Flower Extract
5. *Kenan ÇINAR* 37-41
Experimental Study on the Energy Absorption Behavior of Syntactic Foam-Filled Thin-Walled Tubes
6. *Taner Mustafa CENGİZ* 49-56
Türkiye'deki Orman Yangın Sayıları ile Güneş Leke Sayılarının Periyodik Analizi
8. *Rıza ATAV, Selma SOYSAL, Fatma YILDIZ* 57-60
Could Dyeing Process Be Eliminated for PES/CO Fabrics Through Recycling?



Reviews

7. *Elçin GÜNEŞ Gül KAYKIOĞLU Asude HANEDAR Yalçın GÜNEŞ*

42-48

Su Kaynakları ve Sedimentlerde Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların (PAH) Kaynakları ve Toksik Etkileri

Araştırma Makalesi

Serbest Yapı Kimliğindeki İmar Parsellerinde Trigonometrik Yöntemle Bina Oturum Alanı Çıkartma İşlemi

Selim Taşkaya^{1, a, *} 

¹ Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Artvin Meslek Yüksekokulu, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin Türkiye, 08000

^a selim_taskaya@artvin.edu.tr

Geliş: 07.03.2022

Kabul: 15.07.2022

DOI: 10.55581/ejeas.1084078

Öz. Serbest yapı nizamındaki imar adaları, uygulama imar planlarındaki ayırık, blok ve bitişik yapı nizamlarının özel halidir. Bu tip yapı nizamları verilerek imar sınırları içindeki alanlarda insani ihtiyaçların karşılanması amacıyla yapılar kurulur. Serbest nizamlı imar parselleri daha çok ayırık ve blok nizamların bir başka türüdür. Bu tip parsellerin bulunduğu alanlarda genellikle sadece adanın toplam inşaat alanı olan emsal değeri verilir. Bu emsal değer üzerinden ilgili kanun ve yönetmelik uyarınca çeşitli yöntem ya da yaklaşımla bina oturum alanı parsel verilir. Bu çalışmada yaklaşım olarak trigonometrik dik iz düşümlerle açı yardımıyla üçgenleme yapılarak parsellerin taban oturum alanları çıkartılmaya çalışıldı. Bu çıkartmalar ile gerekli olan ön, yan ve arka çekim sınırları çeşitli plan örnekleri verilerek nasıl olması gerektiği ortaya konmaya çalışıldı. Bu şekilde arazi üzerinde yer alan bir imar parseline doğru olarak en iyi imar çekme mesafelerini en iyi matematiksel yaklaşımla uygulamaya çalışmak amaç edinilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Serbest Yapı İmar Adası, İmar Durumu, Trigonometrik Yaklaşım.

Removal Building Residence Area with Trigonometric Method in Free Building Identity Zoning Plots

Abstract: The zoning blocks in the free building order are the special case of the separate, block and adjacent building regulations in the implementation zoning plans. Buildings are established in order to meet human needs in areas within the zoning boundaries by giving such building regulations. Free-order zoning parcels are another type of mostly separate and block orders. In areas where such parcels are located, only the precedent value, which is the total construction area of the island, is usually given. Based on this precedent value, the residential area of the building is given to the parcel with various methods or approaches in accordance with the relevant law and regulation. In this study, trigonometric perpendicular projections and triangulation with the help of angles were used to determine the base settlement areas of the parcels. With these stickers, the required front, side and rear shooting limits were tried to be revealed by giving various plan examples. In this way, it is aimed to try to apply the best zoning drawing distances to a zoning parcel on the land with the best mathematical approach.

Keywords: Free Building Reconstruction Island, Zoning Status, Trigonometric Approach

1. Giriş

Toplumsal yaşam, her bakımdan belli bir düzeni (intizamı) zorunlu kıldığından, en ilkelinden en gelişmişine kadar her toplumda, düzeni sağlayacak kurallara gereksinim vardır. Nitekim toplumdaki özel ve kamusal faaliyetler için, her çağda çeşitli kurallar öngörülmüştür. Söz gelimi barınma, beslenme, eğlenme, çalışma gibi her konuya; bu anlamda iktisadi, sosyal

ve kültürel nitelikteki hemen her beşerî faaliyete dair basit ya da gelişkin kurallar konulmuş, düzenlemeler yapılmıştır [1]. Bu noktada, “toprak” (arz / arazi ve arsa) üzerindeki yerleşme ve yapılaşmaya ilişkin muhtelif kurallara, imara dair düzenlemelere de öteden beri rastlanmaktadır [2;3]. Yani yerleşim yerlerini bir düzen içerisinde tutma çabaları yeni değildir [4;5].

* Sorumlu yazar

E-posta adresi: selim_taskaya@artvin.edu.tr (S. Taşkaya)

Bugün gelinen noktada, her ne kadar imar müessesesi ve planlama konusunda farklı yaklaşımlar [6] bulunsada düzenli kentleşmenin planlamadan bağımsız biçimde düşünülmesi pek mümkün görünmediğinden, imar planlaması ve bu faaliyetin temel enstrümanı olan imar planlarının toprak üzerindeki yerleşme ve yapılaşmaya yönelik getirdiği kurullarla, imar düzeninin esas belirleyicisi mertebesine ulaştığı söylenebilir [1]. Planlama sözcük olarak belli bir amaca yönelmiş eylemlerin öğelerinin zaman içerisindeki sırasını ve mekan içerisindeki dağılımlarını düzenleyen süreçtir [7]. Planlama eylemi ekonomik planlama, sosyal planlama, fiziksel planlama olarak sınıflandırılabilir [8]. Örneğin belediyelerin görev, yetki ve sorumluluk sınıırı içerisinde olan alanlarda hazırlanan planlar konusunda karar alma yetkisi, seçimle işbaşına gelen genel karar organı niteliğindeki belediye meclisine tanınmıştır [7]. Belediye meclisinin imar planlarında son sözü söyleyecek yetkili olması, planlamanın temel hak ve özgürlüklerle olan yakın ve yoğun ilişkisinden ötürüdür.

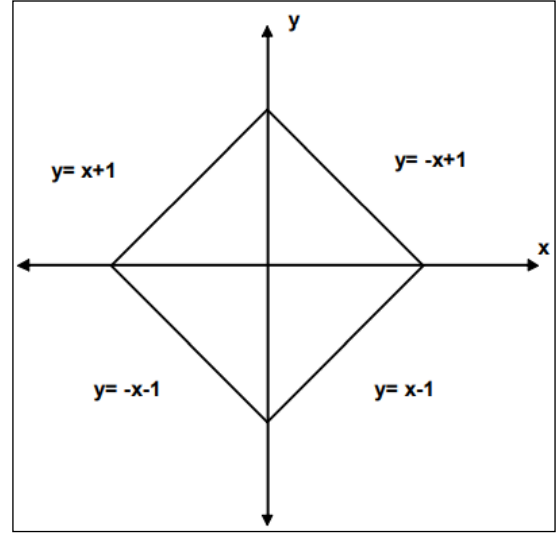
Temel hak ve özgürlükler üzerinde yoğun bir baskı oluşturabilme yeteneğine sahip imar planlama çalışmalarının, bu hak ve özgürlüklerin sahibi olan kişiler tarafından oluşturulmuş olan belediye meclisi tarafından karara bağlanması demokratik bir yönetim anlayışı bakımından doğru bir yaklaşım olduğu gibi planlamanın katılımcı yapısı bakımından da olumlu olmuştur [9]. Esasen imar planları kapsadıkları bölgeye ilişkin olarak hem genel kurullar hem de bu kurulların uygulanmasını gösteren bir şema içeren karmaşık yapı bir işlem türüdür [7]. Planların içtihat ve öğretilerdeki baskın görüşle düzenleyici işlem rejimine tabi kılınması belirli bir bölgede imar ilke ve kurullarının mümkün olan soyutluk düzeyinde ifade edilmesinden kaynaklansa da bu çözümün pratik sonuçlar doğurması nedenine de dayanmaktadır [10]. Kent planlarının bu aşamada üzerinde durulması gerek önemli bir diğer evresi de araştırma ve çözümleme evresidir. Günümüzde kent planlamasının, statik bir kavram olmaktan çıktığı ve hızlı değişimlere ayak uydurmak zorunda olan bir çalışma olduğu kabul edilmektedir [11].

2. Materyal ve Metot

Trigonometri, açı ve mesafe ölçüm yardımıyla kenar bulma işlemidir. Haritacılıkta ise bu tip imar planlarında entegre edilmiş olarak kullanılır. Trigonometrik fonksiyonlar, düzlemde birim çember üzerinde (x, y) noktası için trigonometrik fonksiyonlar $x = \cos a$; $y = \sin a$ olarak tanımlanır. Birim çember üzerindeki (x, y) noktası ile a parametresini eşleştirmenin iki yolu vardır [12]. Ya (cos a, sin a) noktası X eksenini yönünde pozitif yönde a açısı yapan orjinden geçen doğrunun birim çemberi kestiği noktadır ya da saat yönünün tersi yönünde a birim yay uzunluğuna karşılık gelen noktadır [12].

Öklidyen düzlemde sinüs ve kosinüs fonksiyonlarını birim çember üzerindeki (x,y) noktasına bağlı olarak tanımladığımız gibi taksî düzlemde de aynı şekilde tanımlanabilir [12]. Şekil 1.de düzlem bir noktada arazi üzerinde bir noktanın düzlem üzerindeki yerinin saptamada uydulardan faydalanılarak konum bilgisi tespiti yapılır. Birim çember gibi düşünülerek arazi yüzeyi y ve x den koordinat farklarından hem mesafe hem de açı hesaplanması ile birlikte dünya yüzeyinde birim çember olarak istenilen noktanın nereye denk geleceği

matematiksel bulunur. Uzunluk olarak, 1.,2.,3., ya da 4. Bölgelere denk gelen y ve x koordinatlarından birim çember üzerinden alanda yer tayini bulunur. Amaç doğru aplikeyi zeminde yapabilmektir.



Şekil 1. Taksî Birim Çember [12].

$$\sin \alpha \pm \sin \beta = 2 \sin \frac{1}{2}(\alpha \pm \beta) \cos \frac{1}{2}(\alpha \mp \beta) \quad (1)$$

$$\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \cos \frac{1}{2}(\alpha - \beta) \quad (2)$$

$$e^x = 1 + \frac{x}{1!} + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots, \quad -\infty < x < \infty \quad (3)$$

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \cos \frac{n\pi x}{L} + b_n \sin \frac{n\pi x}{L} \right) \quad (4)$$

$$(x + a)^n = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} x^k a^{n-k} \quad (5)$$

Sinüs ve Kosinüs teoremleri aracılığıyla gerek alan gerekse de üçgen iç açılarından 200 graddan toplam iç açıları çıkarılıp üçüncü iç açı bulunabilir. Böylelikle dik iz düşümden istikamet alınarak yukarıdaki fourier ya da trigonometrik formüller yardımıyla öklid kenar belirlenebilir[14].

f ve g fonksiyonları [a, b] aralığında tanımlı reel fonksiyonlar ve $p > 1$ için $\frac{1}{q} + \frac{1}{p} = 1$ olsun [13]. Eğer, $I f^p$ ve $I g^q$ fonksiyonları [a, b] aralığında integrallenebilir ise;

$$\int_a^b I f(x) g(x) I d(x) \leq \left(\int_a^b I f(x) I d(x) \right)^{1/p} \left(\int_a^b I g(x) I d(x) \right)^{1/q} \quad (6)$$

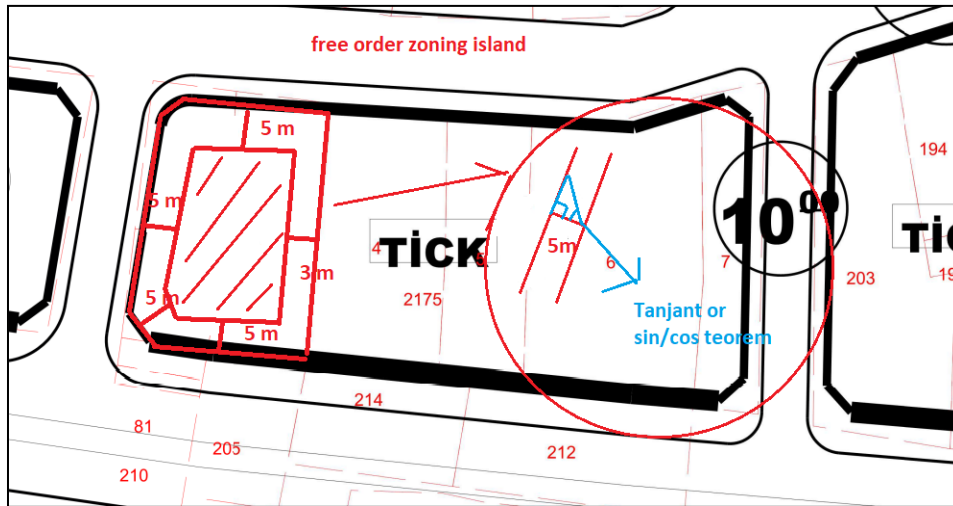
eşitsizliği sağlanır. Bu eşitsizlik literatürde Hölder integral eşitsizliği olarak adlandırılır [15].Bulgular ve Tartışma

Serbest nizam parseller, imar planlarında imar durumu adı verilen imar çapı verme işlemlerinde yoruma oldukça açık kimlik olarak plancı tarafından oluşturulmuş adalardır. Bu adalarda özellikle yan ve arka çekme ölçüleri ayrık ve blok tiplerde olduğu gibi yasal çerçevede verilmeye çalışılır[16].

Bazı adalarda emsal değeri verilebilir bazılarında ise olmayabilir. Emsal değeri verilenlerde yönetmeliğe göre ortalama TAKS (Taban Alan Katsayısı) 0.30 alınarak, Emsalin/TAKS yapılması suretiyle kaç kata denk geldiği bulunabilir [18]. Emsal değeri verilmeyenlerde ise ilgili adanın çevresinde bulunan imar adalarına bakılarak işleme devam edilir. Yükseklik lejantı belli olan adaların gibi yan ve arka çekme ölçüleri uygulanabilir [17]. Eğer yine tüm etrafı serbest nizam şeklinde ise belli bir kat adeti alınarak ölçüler belirlenebilir.

Serbest yapı nizamı digger tüm yapı nizamlarının özelleşmiş

halidir. Arazi üzerinde aplike edilirken bina zemin alanine çıkarımlarında çeşitli matematiksel yaklaşımlarla alana bina oturtulmasında bu işlem yapılır. Kompleks yaklaşım, kümesel, polinomsal ya da burda kullandığımız trigonometric yaklaşımla, imar planları üzerinde emsal ve yükseklik gibi özellikleri belli olan parsellerin zeminde çekme mesafelerini gösterirken sinüsinüsün ya da tanjant gibi teoremlerden baz alınarak düzgün geometrik bir parselin zeminde nasıl yerleştirileceği üzerine irdeleme yapılarak bu tip parsellerde yapı yaklaşma mesafelerinin nasıl ayarlanması gerektiğine bakılmıştır.

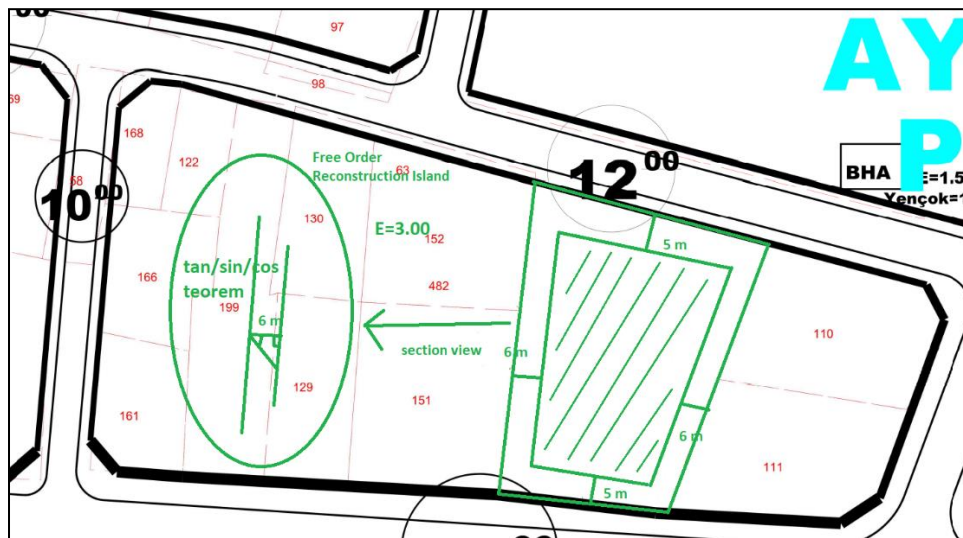


Şekil.2 Serbest Emsalsiz Bir İmar Adası Görüntüsü

Şekil 2.de, imar adasının batısında bulunan bir parsel gözükmemektedir. Planda imar adasının emsali hakkında bilgi verilmemiştir. Bundan dolayı yönetmeliğe göre 4 kata kadar olan parsellerde yan bahçe mesafesi 3 metre olacak şekilde ölçülmelidir [18]. Buna istinaden serbest olan bu adanın ilgili parseli üç tarafı imar yolu olduğu için sabit ön çekme mesafesi 5 metre çekilmiş, yan bahçe mesafesi 4 kat olarak değerlendirilip 3 metre çekilecek şekilde verilmiştir. Eğer parsel sahibi ruhsat alabilir ise 4 kattan fazla kat yapması durumunda kat başına yarım metre artacak şekilde yan çekme ölçüsü artar [19].

Özellikle görüntüde parselin dışından içerisine doğru ölçüm dik hat çekilerek 100 şeklinde yapılması gerekir. 100 grad şeklinde yapıldığı takdirde parselin dış kenar uzunluğundan üçgen yapılarak öklidsel uzaklık sinüs, kosinüs ya da tanjant teoremlerinden bulunarak plan üzerinde manuel taban çıkarımı yapılabilir.

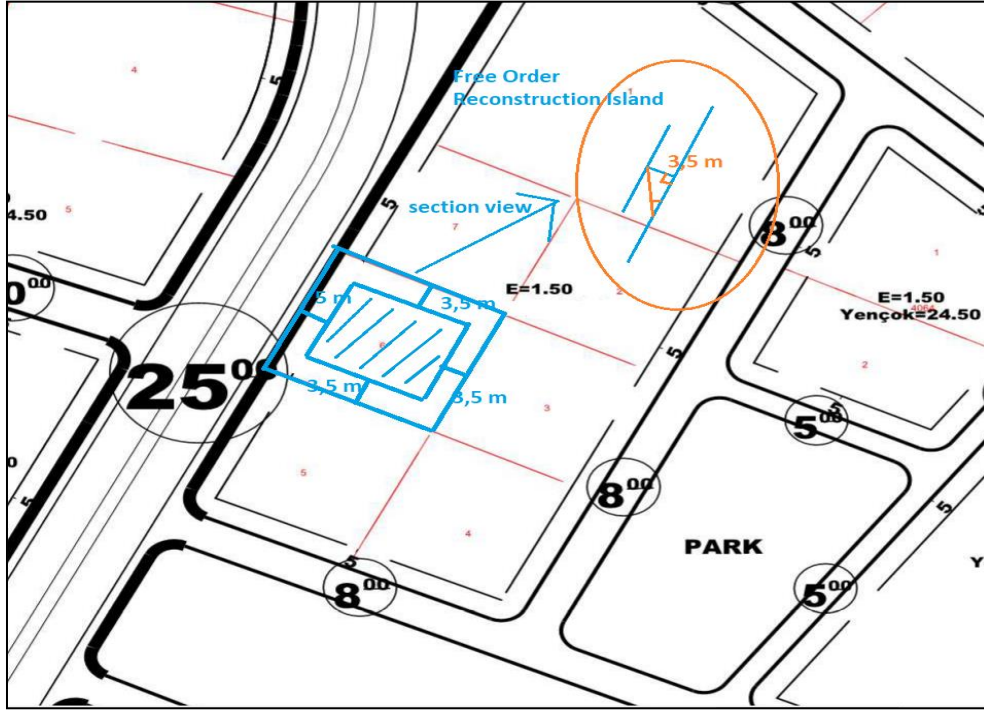
Yan kesit olarak serbest parselde yan çekme mesafesi belli olmadığından belli bir bina kat yüksekliği ve daire baz alınarak pisagor ya da talesten parselin trigonometrik olarak yan bahçesi belirlenir.



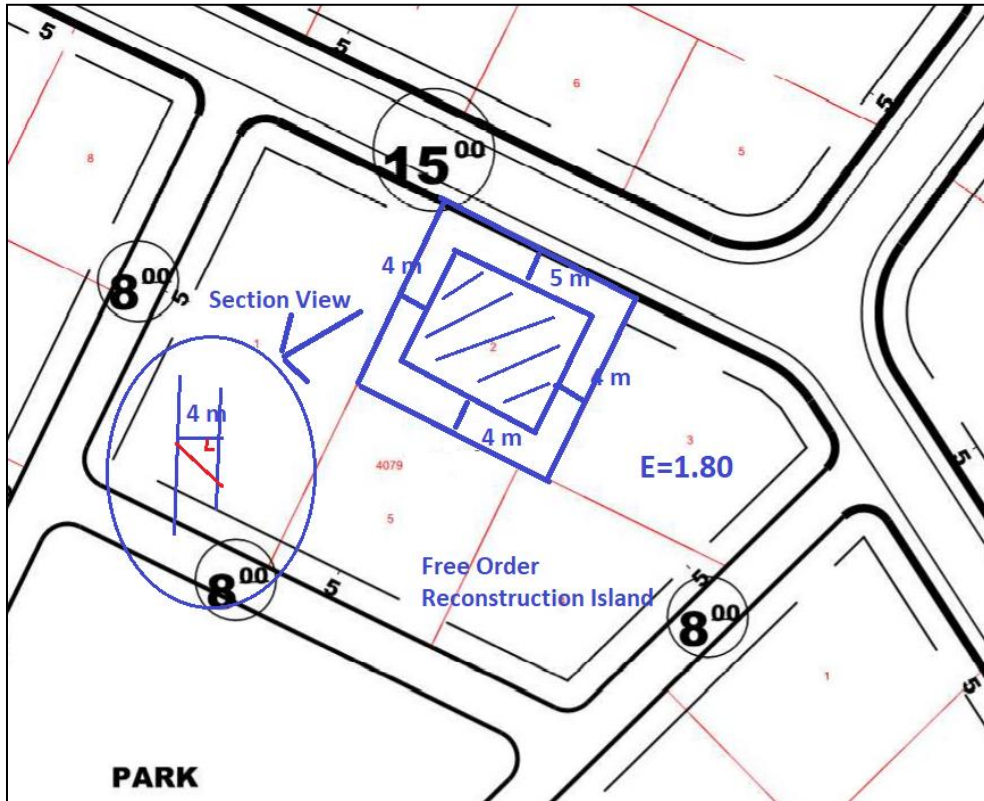
Şekil 3. Emsali üç olan serbest imar adasından bir görüntü

Şekil 3.de kuzey ve güney doğrultulu iki tarafa cephesi olan bir imar parseline imar durumu verilmiştir. Serbest bir imar adası olmasına rağmen emsal değeri belli olduğundan kat adedi bulunarak çekme ölçüleri hesaplanabilmiştir. Emsal/0.30 dan ilgili parselde 10 kata kadar imar durumu verilebilir ibaresi çıkmaktadır. İlgili ön ölçüler sabit 5 metre olarak kaç kat olursa olsun alınabileceğinden, yan bahçelerde bu kat adet sayısı daha fazla önem arz edecektir [20]. Plan

üzerinden dik iz düşümle sinüs ve kosünüs formüllerinden maksimum geriye doğru çekilebilecek miktar hesaplanabilecektir. İster integral olarak fourierden bulunsun isterse de tanjant teoreminden aynı sonuca ulaşılabacaktır. Yani, sına açısı ile açısı belli olan bir noktadan sin ya da cos formülünden parselin ön ya da yan yan bahçesini belirlemek temel problem doğru çözüme biçimidir.



Şekil 4. Serbest Nizam Emsali Belli Olan Tek Cepheli Parsel Görüntüsü



Şekil 5. Serbest Nizamda Toplam İnşaat Miktarı Belli Bir İmar Adası Görüntüsü

Şekil 4.de yine farklı bir emsalde nasıl hareket edilmesi gerekli sorusuna örnek oluşturacak bir parsel şeklinde serbest nizamda 1.50 emsale sahip kimlikli bir imar parseline nasıl izin alınmasına bakılmıştır. Bu durumda bir kere parselin bir cephesinin imar yoluna baktığı anlaşılacaktır. Parselin görüldüğü yol tarafı hiçbir zaman arka tarafı olmayacaktır. Yani, arka bahçe ölçüsü içerisinde yol görünmeyecektir.

EMSAL/TAKS=KAT ADEDİ

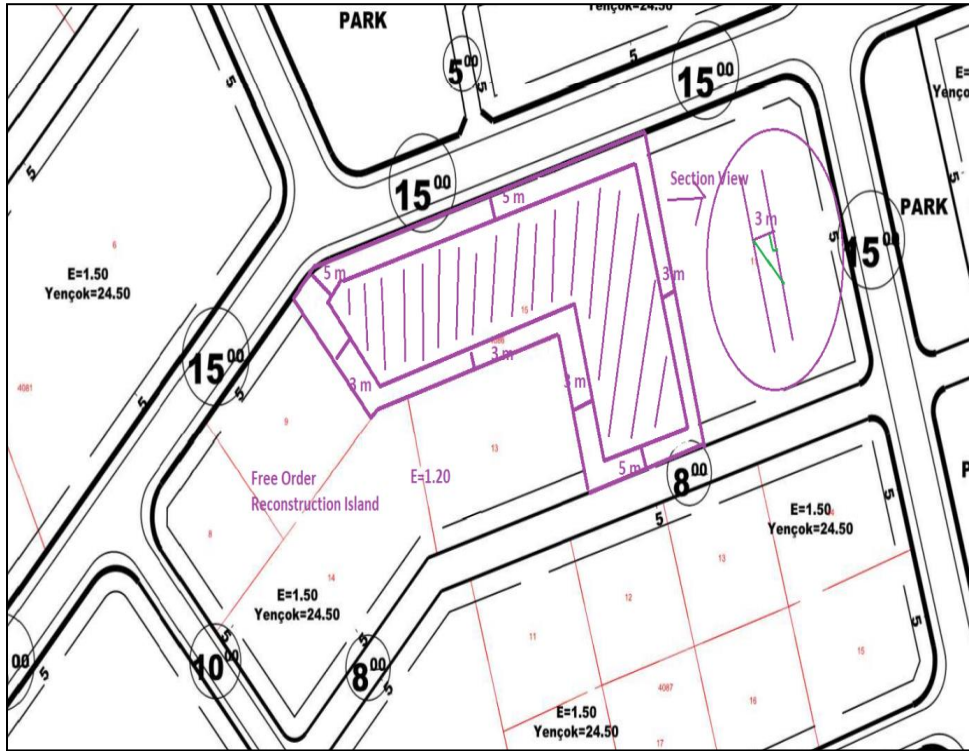
Formülünden hareketle ortalama 5 kata denk gelecek şekilde ölçüleri belirlenecek ve sonra trigonometrik yaklaşımla taban alan çıkarımı yapılacaktır. Yönetmeliğe göre 4 kattan sonra kat başına yarım metre artacak şekilde arka ve yan bahçe ölçüleri belirlenecektir (Planlı tip imar yönetmeliği, 2017). Maksimum şekilde serbest nizamdaki bir imar parseline yan ve arka ölçüleri 3.5 metre olacak şekilde hesabı verilip, 100 grad düşmeler ile 3k-4k-5k üçgeni gibi değerlendirilerek geriye doğru manuel taban alan çıkarımı yapılacaktır.

Şekil 5.de bulunan parsel yine bakıldığında tek bir noktaya

imar yolu vardır. Kaç kat olursa olsun ön tarafından tabi istikametindeki yapılaşma yok olarak değerlendirildiğinde 5 metre geriye doğru gelecektir. Yan ve arka ölçüleri 6 kat olarak değerlendirilerek maksimum 4 metre olacak şekilde değerlendirilmiştir. Yine özellikle yan kesit görüntüsünden;

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \cos \frac{n\pi x}{L} + b_n \sin \frac{n\pi x}{L} \right) \quad (7)$$

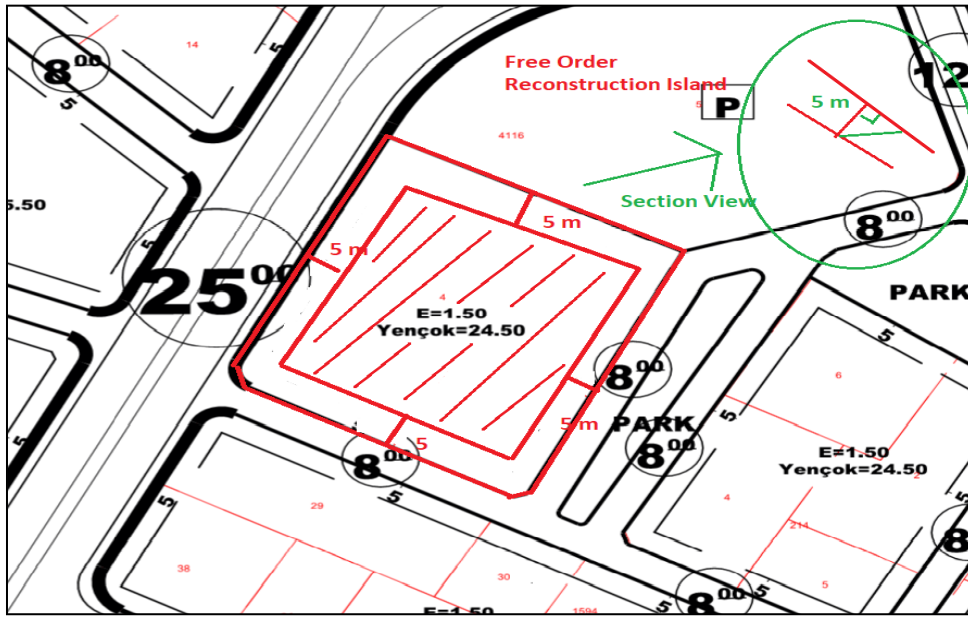
Dizi ve seri olarak orantılı şekilde artacağı gösterilmeye çalışılmıştır. Amaç 100 gradlık iz düşümler ile en iyi mesafeli çıkarımı sağlayabilmektir. İmar adası gösteriminde emsal 1.80 olduğundan, maksimum kat yüksekliğinden çekilebilecek en azami yan ve arka çekme mesafelerinin gösteriminden kat azalmasında bu çekme mesafesinin azalacağı görülür. Yan çekme kesit gösteriminden 100 graddan baz alınarak eksi 200 grad toplamdan geriye kalan 100 grad üçgen iç açılırları toplamı olduğundan trigonometrik unsurlarla açı mesafeden bu çekme mesafesinin iki bağlantısı bulunur. Bu şekilde imar çapı arazide aplane edilir.



Şekil 6. Serbest Nizamda L şeklinde Bir İmar Parselinin Oturum Alanı Gösterimi

Şekil 6.da L şeklinde olan bir kapalı konveks şekildedeki parsel çift tarafında imar yolu olduğu için yönetmeliğe göre 5 metre çekilmiştir. Serbest nizamlı imar adalarında adanın sadece emsali olup olmadığı ilgilendirir. Kimliğinde hangi alan olduğu sorusuna bakılmaz. Amaç doğru inşaat kullanım alanının taban ve tamamında gösterilmesidir. Emsal değeri belli olduğundan 4 kata kadar maksimum alınarak yan

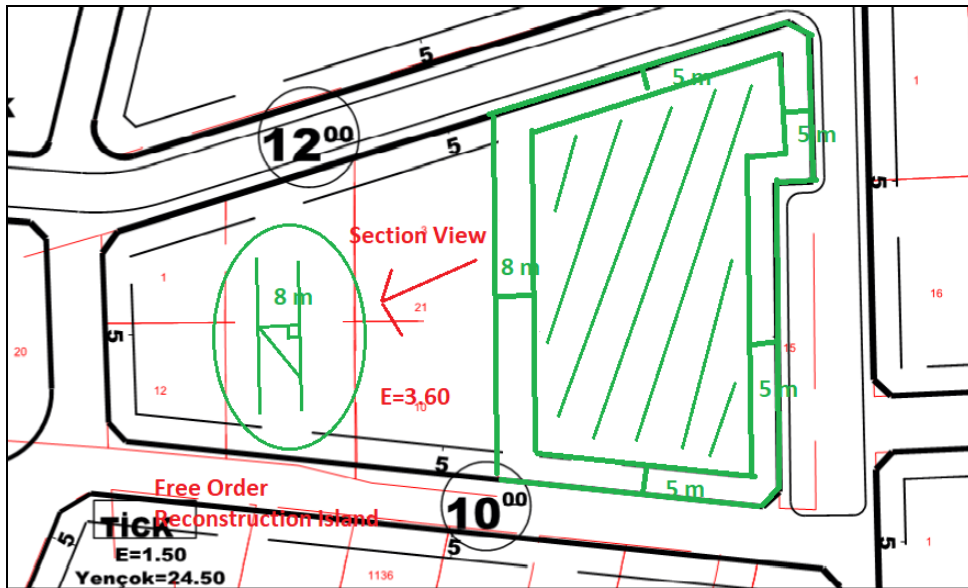
mesafeleri belirlenmiştir. Arka ve yan ölçüler asgari 3 metre olacak paralel birlikte bir artış olarak değerlendirilmesi ön görülmüştür [18]. Parselin kesit olarak planda gösterilen kısmında yan bahçe mesafesi 4 kat baz alınarak bir dik üçgen yapılarak hipotenüsten kosinüs ya da sinus ile iz düşüm çekilerek alanda yapılacak işlem gösterilmiştir



Şekil 7. Serbest Nizam Bir İmar Parselinde İstisnai Olarak Hmax in Verildiği Görüntü

Şekil 7.de imar adası iki tane parselden birinin park, diğerinin ise inşaat yapılacak bir parsel olduğu gözükmemektedir. Emsal değerine ekstra olarak inşaatın çıkma durumunda 24.50 metreye kadar yapılacağı ve bu yükseklik boyunca en fazla 1.50 emsalin kullanılacağı anlaşılır. Emsal yüz ölçüm değeri ise parselin tapu alanının ilgili değer ile çarpımından elde edileceği anlaşılır. Bundan dolayı 5'er metre çekme suretiyle

100 gradlık iz düşümler sinüs ya da kosinüs hesaplarından bulunur. Amaç imarlı bir sahada yüksekliği belli olsun ya da olmasın sadece emsali belli olan noktalarda arazi üzerinde kat adedi belli olmayan parselin bir kat baz alınarak imar çapının verilerek, kat artarsa ona göre artıp ya da azalacağı hususunun mimari proje öncesi göstermektir.



Şekil 8. Serbest Nizamda 12 Kata Denk Gelebilecek Parsel Görüntüsü

Şekil 8.de büyük olan bir parselin sadece kesit olarak en önemli kısmı elastik olarak kat adedine göre çekilecek olan yan ölçüsüdür. Emsalinden 12 kat hesaplaması ile 8 metre şekilde azami çekilmesi hesaplanacağı ortaya çıkacaktır

$$\sin \alpha \pm \sin \beta = 2 \sin \frac{1}{2}(\alpha \pm \beta) \cos \frac{1}{2}(\alpha \mp \beta) \quad (8)$$

$$\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \cos \frac{1}{2}(\alpha - \beta) \quad (9)$$

Formüllerinden sistematik bir orantıyla elastik şekilde artıp

azalacağı anlaşılacaktır. Yani, plandaki görüntünün arazi üzerinde açı ve mesafe ile parselin dıştan içeriye doğru nasıl çekilmesi gerektiği gösterilmiştir. İmar planları kadastral altlıklar doğrultusunda meydana gelir. Şehir merkezlerinde bitişik, yeni yerleşime açılan yerlerde ise özellikle ayrı ve blok yapı nizamlarında parseller oluşur. Plan tadilatı ile özellikle yüksek kata elverişli zemine sahip parsellerde önemli soru zemine bina oturtulurken yan bahçe ve arka bahçelerin nasıl çekilmesi gerektiğidir. Bununla doğru olabilmesi için mutlaka doru matematik ile ancak yapılması gerektiği temel amaçtır. Örneklerde de kaç kat üzerinden baz alınarak nasıl

çekilmelerin yapılacağı gösterilmiştir. Planlı tip alanlar yönetmeliğine ne kadar metre çekilmesi gerektiği gösterilmiştir.

Tablo 1. Çekme mesafelerinin kat adetlerine göre gösterimi

Kat Adedi	Ön Bahçe (m)	Yan Bahçe (m)	Arka Bahçe (m)
4	5	3	3
5	5	3.5	3.5
6	5	4	4
7	5	4.5	4.5
8	5	5	5
9	5	5.5	5.5
10	5	6	6
11	5	6.5	6.5
12	5	7	7
13	5	7.5	7.5
14	5	8	8
15	5	8.5	8.5

Serbest yapı kimliğine sahip imar parsellerinde aynen digger ayrık, blok ya da bitişik nizamlarda olduğu gibi planlı alanlar tip imar yönetmeliğine göre bu üç nizam türünün ortak kompleks yapısı olduğundan aynen ön, yan ve arka çekme mesafeleri digger yapı şekilleri gibi kat aedine göre uygulanmaktadır. Bu yapı tipindeki sadece fark baz alınarak yapılacak kata göre yan ve arka çekmelerin uygulanmasıdır. Yani, plandaki ve tablodaki gösterimlerden şu anlaşılmalıdır. Bir imar planında yer alan ayrık, blok ve bitişik parsellerin özel hali olan serbest yapı özelliğinde yer alan parselde zeminde oturumu alanının gösteriminde imar çapı verilirken planlı alanlar da yer aldığından planlı alanlar tip imar yönetmeliğine göre bahçe mesafelerinin, açığı ve uzunluk kavramlarından matematiksel nasıl bulunması gerektiği üzerine inceleme yapılmıştır.

3. Sonuç ve Öneriler

Serbest nizam imar parselleri, ayrık ve blok nizamların özel durumudur. Özel durum olduğundan azami ve asgari bahçe ölçüleri orantılı şekilde artış ya da azalışlarını farklı yaklaşımla hesaplanabilecektir. Özellikle çalışmadaki plan görüntülerinden farklı şekillerde verilen parsellerde konveks olduklarından dik iz düşümlerinin dik grad olacak şekilde kapalı bir hale gelmesi ile trigonometrik hesaplardan yararlanarak bir imar durumunun nasıl olması gerektiği gösterilmeye çalışıldı. Özellikle belediyelerde, bu plan özel hallerinde yan ve arka ölçüler yönetmelik doğrultusunda bir

kol gibi artış ve azalmanın farklı bir yaklaşımla nasıl olması gerektiği ortaya konmaya çalışıldı. Yükseklik ve emsal oranları sadece plan üzerinde işlenmiş olan bu tip parsellerde yan ve arka çekmeler belli bir kat yüksekliği baz alınarak onun altı ve üzerinde kat adedi yapılacaksa zemin üzerinde çekme işleminin ne ölçüde olacağı belirtilmektedir. Mimari proje yapılandırılmasında temel nokta olan imar çapı alınması esnasında, nasıl bir imar çapı hesaplanması yönünden irdeleme yapılarak mimari ve haritacılık sektörü literatürüne katkı verilmeye çalışılmıştır.

Yazar Katkısı

Veri iyileştirme -Selim Taşkaya(ST); Biçimsel analiz - ST; Araştırma - ST; Deneysel performans - ST; Veri toplama - ST;

Veri işleme - ST; Literatür taraması - ST; Yazan - ST; İnceleme ve düzenleme - ST.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazar, bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve/veya yayınlanması ile ilgili olarak herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemiştir.

Kaynaklar

- [1] Yılmaz, S., (2021). İmar Planlarının Hukuki Rejimi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kamu Hukuku Anabilim dalı, Doktora Tezi, Ankara.
- [2] Nolon, J.R., (2006). "Comparative Land Use Law: Patterns of Sustainability", Pace Environmental Law Review, Vol.23, p.862.
- [3] Alterman, R., (2013). "Planning Laws, Development Controls, and Social Equity: Lessons for Developing Countries", The World Bank Legal Review, Vol.5, November, p.344.
- [4] Yayla, Y., (1975). Şehir Planlamasının Başlıca Hukuki Meseleleri ve İstanbul Örneği, İÜ Yay., İstanbul, s.10.
- [5] Jacquignon, L., (1967). Le Droit de l'Urbanisme, Paris, p.6-7'den nak. Ibid.
- [6] Arıkan, Y.E., (1999). "Planlama Kurumunun Yeniden Yapılandırılması İçin Yeni Bir Çerçeve Arayışı", Metropolitan Alanlar Planlama Sorunları I. Sempozyum Bildirileri, 15-16 Ekim 1998, Yıldız Teknik Üniversitesi Yay., İstanbul, s.311.
- [7] Topal, H.K., (2019). İmar Planları Aracılığı ile Mülkiyet Hakkının Sınırlanması, Yaşar Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Özel Hukuk Anabilim dalı, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- [8] Arkon, C., (2006). Şehir Planlama/Tasarım Sözlüğü, Meta Basım, İzmir.
- [9] Çolak, N., (2014). İmar Hukuku, İstanbul, Gözden Geçirilmiş ve Genişletilmiş 2. Baskı, s.277.
- [10] Tekinsoy, M. A., (2008). İmar Planlarının Hukuksal Niteliği, İmar Planı İptalinin bu Plana Dayanılarak Verilmiş Ruhsatlar Üzerindeki Etkisi, Ankara Barosu Dergisi, Yıl 66, sayı 2 Bahar, ss. 46-56, s.56.
- [11] Çiçek, K., (2016). İmar Planı Değişikliklerinin Usul ve Esasları, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kamu Hukuku Anabilim dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [12] Öztürk, İ., (2008). Bazı Öklid Olmayan Düzlemlerde Trigonometrik Fonksiyonların İncelenmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Matematik Bölümü, Geometri Anabilim dalı, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.
- [13] Demir, Ş., (2021). Trigonometrik Konveks Fonksiyonlar İçin İntegral Eşitsizlikleri, Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Matematik Anabilim dalı, Doktora Tezi, Ordu.
- [14] Anonim Yayınları, (2021). Matematik Trigonometri Ders Notları.
- [15] Mitrovic, D.S.; Pecaric, J.; Fink, A.M., (1993).

Classical and new inequalities in analysis. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 740pp.

[16] Taşkaya, S., (2021a). Konut Ticari İmar Adalarında Mesafe Yaklaşımına Göre İmar Çapı Gösterimi, Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırmalar Dergisi, Cilt:10, Sayı:3, Sayfa:217-228.

[17] Taşkaya, S., (2021b). Yükseklik Katsayıları Sadece Lejant Olarak İşlenmiş İmar Adalarında Mesafe Yöntemi İle İmar Çapı Belirlenmesi, Tasarım Mimarlık ve Mühendislik Dergisi, Cilt:2, Sayı:1, Sayfa:36-45.

[18] Planlı Tip İmar Yönetmeliği, (2017). Resmi Gazete Tarihi:03.07.2017, Sayısı:30113.

[19] Taşkaya, S., (2021c). Ticari İmar Adalarında Mesafe Yaklaşımına Göre İmar Çapı Gösterimi, İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt:3, Sayı:3, Sayfa:204-211.

[20] Taşkaya, S., (2021d). Akaryakıt İmar Adalarında Mesafe Yaklaşımına Göre İmar Çapı Gösterimi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt:2, Sayı:2, Sayfa:51-59.

Research Article

A Two-capacitor Problem with a Memcapacitor and a Conformal Fractional-Order Capacitor Put Together

Utku Palaz^{1, a, *} , Reşat Mutlu^{2, b} 

¹ Telecommunications Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Birmingham, Birmingham, UK, BT15 2TT

² Electronic and Communication Engineering Department, Çorlu Engineering Faculty, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, Turkey, 59860

^a utkupalaz@gmail.com, ^b rmutlu@nku.edu.tr

Received: 10.05.2022

Accepted: 27.06.2022

DOI:1055581/ejeas.1115102

Abstract: Fractional-order capacitors and memcapacitors have become a major research area in recent decades. Analog applications of both circuit elements are getting more common. In literature, the conformal fractional derivative (CFD) is getting lots of interest due to its easiness to use and to comprehend. Some supercapacitors have already been modeled with the conformal fractional derivative. Two-capacitor problem is an important problem in physics. Recently, a two-capacitor problem with a CFD capacitor and a linear time-invariant (LTI) capacitor has been examined. To the best of our knowledge, a circuit, which is made of a CFD capacitor and a memcapacitor, has not been analyzed in the literature yet. In this study, a two-capacitor problem, a circuit, which consists of a CFD capacitor and a memcapacitor, has been examined using simulations for the first time in literature. It is found that the circuit is in ever transient state.

Keywords: Memcapacitor, Conformable Fractional Order Capacitor, Two-capacitor Problem, Circuit Analysis, Circuit Theory.

Memkapasitör ve Konformal Fraksiyonel Dereceli Kondansatörün Bir Araya Getirildiği İki Kapasitör Problemi

Öz: Kesirli mertebeli kondansatörler ve memkapasitörler son yıllarda önemli bir araştırma alanı haline geldi. Her iki devre elemanının analog uygulamaları giderek yaygınlaşmaktadır. Literatürde, uyumlu kesirli türev (UKT), kullanımı ve anlaşılması kolay olması nedeniyle çok ilgi görmektedir. Bazı süperkondansatörler zaten uyumlu kesirli türev ile modellenmiştir. İki kondansatör problemi fizikte önemli bir problemdir. Son zamanlarda, bir UKT kondansatörü ve bir lineer zamanla değişmeyen (LZD) kondansatörü ile bir iki kondansatör problemi incelenmiştir. Bildiğimiz kadarıyla, literatürde henüz bir UKT kondansatör ve bir memkapasitörden oluşan bir devre incelenmemiştir. Bu çalışmada, literatürde ilk kez simülasyonlar kullanılarak bir UKT kondansatörü ve bir memkapasitörden oluşan bir devre, bir - iki kondansatörlü bir problem incelenmiştir. Devrenin sürekli geçici rejimde olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Memkapasitör, Kesir Dereceli Kondansatör, İki Kondansatör Problemi, Devre Analizi, Devre Teorisi.

1. Introduction

Fractional order derivatives have become a hot research area especially in the recent years [1-3]. Their application areas have been increasing continuously [1-4]. The search to find new fractional derivatives continues since their initial

prediction [1, 2]. The conformal fractional derivative (CFD) is one of the last found fractional derivatives [5]. It is easier to understand than the other types of the fractional derivatives [5, 6]. In addition to that, it has a physical interpretation which the others lack [7]. A review on using fractional derivatives in

* Corresponding author

E-mail address: utkupalaz@gmail.com (U. Palaz)

electrical circuits can be found in [8]. Supercapacitors have already been modeled using fractional order derivatives in [9-12]. The CFD has become very popular and been used to model supercapacitors [13-15]. The CFD capacitors and analysis of their usage with other circuit elements have emerged as a study area [13-15].

Following the discovery of the nonlinear circuit element memristor [16], existence of the memcapacitive and meminductive systems have also been predicted [17, 18]. The memcapacitor is a subbranch of the memcapacitive systems [17]. A memcapacitor has a flux-dependent capacitance and a zero-crossing hysteresis curve when it is excited with an AC signal [17, 19]. Its usage with other circuit elements and its emulators has also become a hot topic [20-23]. The search for different types of memcapacitors continues [24-33]. They have already been employed in chaotic circuits [34-37]. There are also memcapacitor-based oscillator circuits examined in the literature [38-39]. The stored energy of a memcapacitor is examined in [40-41]. Two capacitor problem is a well-known physical problem, it can be found even in undergrad textbooks [42], and it is still studied [43-48]. A memcapacitor-an LTI capacitor problem is examined in [48]. Recently, a CFD capacitor- an LTI capacitor problem is examined in [15]. To the best of our knowledge, a two-capacitor problem which consists of a memcapacitor and a CFD capacitor have not been examined in literature yet. In this study, the problem has been examined using the memcapacitor model used in [39, 40, 48]. Such an analysis may be needed to model capacitive behavior of living tissues [4]. Simulations have been done to analyze the circuit's behavior using Simulink™ toolbox of MATLAB.

The remainder of the paper is organized as follows. In the second section, Conformal Fractional Derivative and CFD Capacitor Model are briefly told. In the third section, the memcapacitor model used in this paper is given. In the fourth section, the differential equation which describes the two-capacitor problem with a CFD Capacitor and a memcapacitor are derived. The simulations are given in the fifth section. The paper is finished with the conclusion section.

2. The Conformal Fractional Derivative and the CFD Capacitor Model

In the literature, the fractional calculus [2-4] is reported to be able to model fractional order elements. The conformal fractional derivative has been developed in recent decade and it has emerged as a popular fractional order derivative method [5-7]. It is easy to use and to understand compared to the other types of fractional derivatives [5-7]. In [5], the general description of Conformal Fractional Derivative (CFD) is given as

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

where $\frac{d^\alpha f(t)}{dt^\alpha}$ is the fractional derivative, and $t^{1-\alpha}$ is the time coefficient depending on the fractional order coefficient α .

Some capacitors can be modeled using fractional order

derivatives [9-15]. The constitutional law of a capacitor modeled with the conformal fractional derivative is written as

$$\begin{aligned} i_c(t) &= C_\alpha \frac{d^\alpha V_C(t)}{dt^\alpha} = C_\alpha V'_C(t)t^{1-\alpha} \\ &= C_\alpha \frac{dV_C(t)}{dt}t^{1-\alpha} \end{aligned} \quad (2)$$

where C_α is the CFD capacitor coefficient, $i_c(t)$ is the capacitor current, and $v_c(t)$ is capacitor voltage.

The circuit symbol of a CFD capacitor is shown in Figure 1.

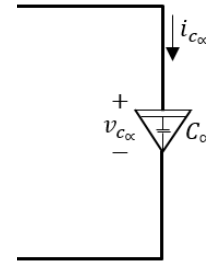


Figure 1. The CFD capacitor symbol

3. The Memcapacitor Model

A Memcapacitive systems and memcapacitors have been described in [17]. Memcapacitors have become a hot research topic in recent decade [18]. A voltage-controlled memcapacitor model is given as

$$q_m(t) = C(\lambda(t))V_{mc}(t) \quad (3)$$

$$\frac{d\lambda(t)}{dt} = V_{mc}(t) \quad (4)$$

where $\lambda(t)$ is the memcapacitor flux, which is the integral of memcapacitor voltage by respect to time.

A memcapacitor flux is written as either

$$\lambda(t) = \int_{-\infty}^t V_{mc}(\tau) d\tau \quad (5)$$

or

$$\lambda(t) = \int_0^t V_{mc}(\tau) d\tau + \lambda_0 \quad (6)$$

where λ_0 is the initial flux of the memcapacitor at $t=0$.

Literature has different types of memcapacitors [18]. Their emulator circuits have been examined in [20-23]. Often, phenomenological models are used for their study [18, 19]. An explanation for hysteresis curve of the small signal memcapacitor circuits have been given using the model in [19]. The following memcapacitor phenomenological model given in [48] is also used in this study. More about the model and its zero-crossing voltage-charge hysteresis loop can be found in [48]. The memcapacitor symbol is shown in Figure 2. For the polarity shown in Figure 2, the memcapacitance of the memcapacitor is given as

$$C_m(\lambda) = C_0 + K\lambda(t) \quad (7)$$

where C_0 is the minimum memcapacitor memcapacitance and K is the flux coefficient of the memcapacitor.

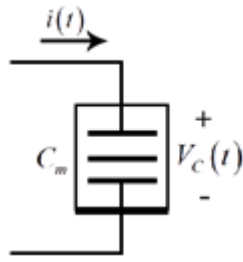


Figure 2. The Memcapacitor symbol

The minimum memcapacitor memcapacitance is calculated at $\lambda = 0$

$$C(0) = C_0 \tag{8}$$

The memcapacitor has been assumed to have a saturation mechanism in [57]. Therefore,

$$0 \leq \lambda \leq \lambda_{SAT} \tag{9}$$

where λ_{SAT} is the maximum value of the memcapacitor flux.

The maximum memcapacitance occurs at $\lambda = \lambda_{SAT}$ and given as:

$$C_{SAT} = C_0 + K\lambda_{SAT} \tag{10}$$

Therefore, the memcapacitance ranges from C_0 to C_{SAT} :

$$C_0 \leq C(\lambda(t)) \leq C_{SAT} \tag{11}$$

The memcapacitor current can be found as

$$i_m(t) = \frac{dq_m(t)}{dt} = \frac{d}{dt}((C_0 + K\lambda(t))V_{mc}(t))$$

$$i_m(t) = C_0 \frac{dV_{mc}(t)}{dt} + K\lambda'(t)V_{mc}(t) + K\lambda(t) \frac{dV_{mc}(t)}{dt} \tag{12}$$

Since $\frac{d\lambda(t)}{dt} = V_{mc}(t)$, the memcapacitor current turns into:

$$i_m(t) = (C_0 + K\lambda(t)) \frac{dV_{mc}(t)}{dt} + KV_{mc}^2(t) \tag{14}$$

4. Examination of the Memcapacitor- the CFD Capacitor Circuit

Recently, two new two-capacitor problems have been examined [15, 48]. A memcapacitor with an LTI capacitor, whose circuit is shown in Figure 3, has been examined in [48]. A CFD with an LTI capacitor, whose circuit is shown in Figure 4, has been examined in [15]. A circuit, which consists of a memcapacitor and a CFD capacitor, is shown in Figure 5. The circuit is lossless since it has no resistance. Perhaps, such a circuit can also be used to model memcapacitive and fractional order behavior of the living tissue when they coexist [4].

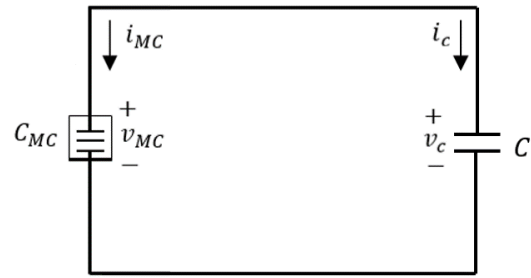


Figure 3. The memcapacitor-the LTI capacitor circuit examined in [48].

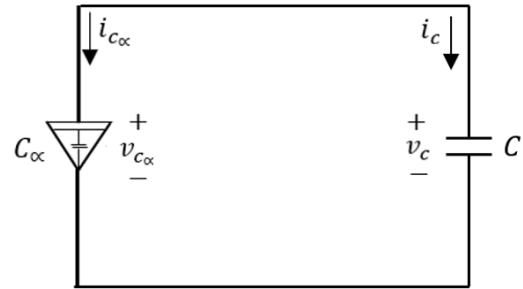


Figure 4. The CFD capacitor-the LTI capacitor circuit examined in [15].

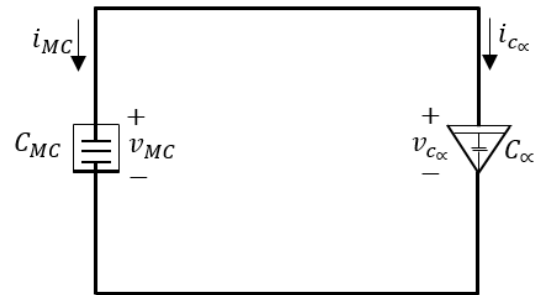


Figure 5. The CFD capacitor-the memcapacitor circuit. Using Kirchoff's current law:

$$i_{MC} = -i_{C_\alpha} \tag{15}$$

Using Kirchoff's voltage law:

$$V_{C_\alpha}(t) = V_{MC}(t) \tag{16}$$

Eq. (17) is written with using Eq. (2) and Eq. (12)

$$C_\alpha \frac{dV_{C_\alpha}(t)}{dt} t^{1-\alpha} + \frac{d}{dt}((C_0 + K\lambda(t))V_{MC}(t)) = 0 \tag{17}$$

$$C_\alpha \frac{dV_{C_\alpha}(t)}{dt} t^{1-\alpha} + \frac{d}{dt}((C_0 + K\lambda(t))V_{C_\alpha}(t)) = 0 \tag{18}$$

$$C_\alpha \frac{dV_{C_\alpha}(t)}{dt} t^{1-\alpha} + C_0 \frac{dV_{C_\alpha}(t)}{dt} + K\lambda(t) \frac{dV_{C_\alpha}(t)}{dt} + K(V_{C_\alpha}(t))^2 = 0$$

$$\frac{dV_{C_\alpha}(t)}{dt} (C_\alpha t^{1-\alpha} + C_0 + K\lambda(t)) + K(V_{C_\alpha}(t))^2 = 0 \tag{19}$$

When $V_{C_\alpha}(t) = \lambda'(t)$ and $\frac{dV_{C_\alpha}(t)}{dt} = \lambda''(t)$ are used, the simplified equation is found as:

$$\lambda''(t)(C_\alpha t^{1-\alpha} + C_0 + K\lambda(t)) + K(\lambda'(t))^2 = 0 \quad (20)$$

$$C_\alpha(\lambda''(t))t^{1-\alpha} + C_0(\lambda''(t)) + K\lambda(t)(\lambda''(t)) + K(\lambda'(t))^2 = 0$$

$$(\lambda''(t))(C_\alpha t^{1-\alpha} + C_0 + K\lambda(t)) + K(\lambda'(t))^2 = 0 \quad (21)$$

The differential equation does not have any analytical solution. That's why a simulation program is employed for its solution in the next section.

5. Simulations of the Memcapacitor-the CFD Capacitor Circuit

Since a numerical solution for Eq. (21) could not be found, Simulink is used to analyze the two-capacitor problem. The Simulink block diagram of the circuit which is shown in Figure 6 made using Eq.s (5), (15), and (19) and the parameters given in Table 1. A Matlab function is used to obtain the term of $t^{1-\alpha}$ needed for the CFD. The voltage of the CFD capacitor or the memcapacitor, the current of the CFD capacitor, the current of the memcapacitor, the charge of the memcapacitor, and flux of the memcapacitor are obtained with the Simulink simulation and given in Figures 7-11.

After a sufficiently long time, the memcapacitor gets saturated and its memcapacitance value becomes equal to C_{SAT} . In this case, the circuit turns into a two-capacitor problem, which can be considered to consist of a constant capacitor, whose capacitance is equal to C_{SAT} , and the CFD capacitor.

The circuit waveforms are simulated for $\alpha = 0.3, 0.6,$ and 1 . The simulation parameters are given in Table 1.

Table 1 The circuit parameters and the memcapacitor initial conditions.

Parameter	Value
K	0.5 F / Wb
C_0	0.5 mF
C_{SAT}	2.5 mF
C_α	0.05 F
$V_{C_\alpha}(0)$	1 V
$V_{MC}(0)$	1 V

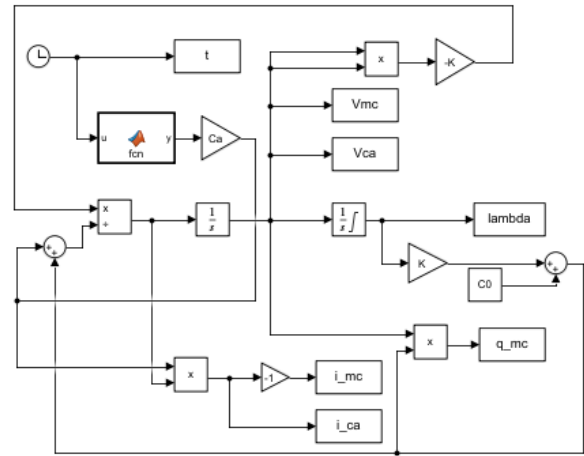


Figure 6. Simulink block diagram

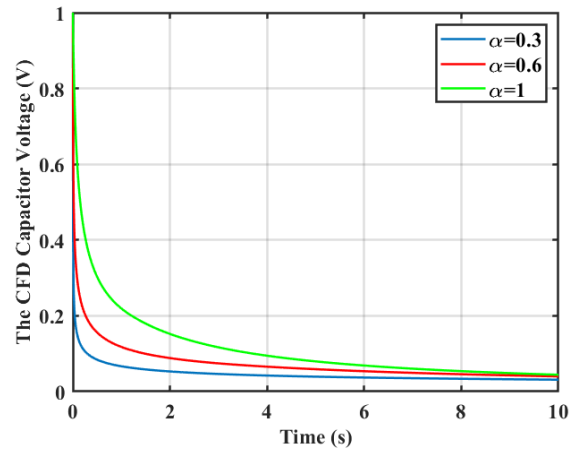


Figure 7. The voltage of the CFD capacitor or memcapacitor for three different α values

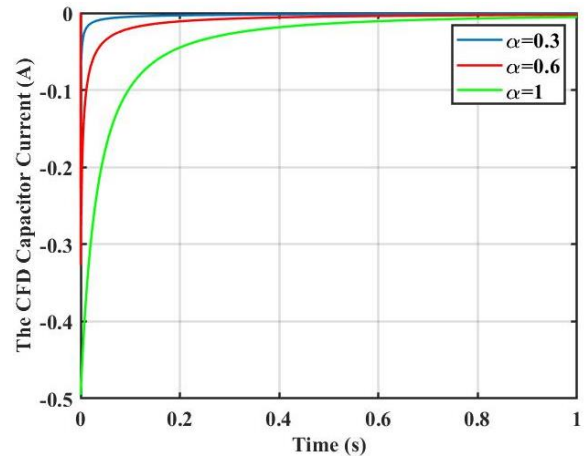


Figure 8. The current of the CFD capacitor for three different α values

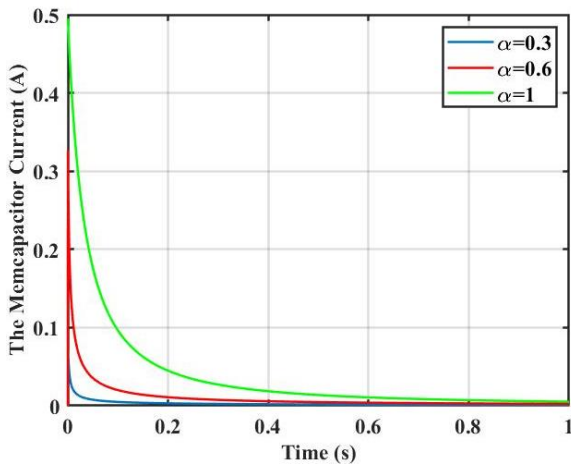


Figure 9. The current of the memcapacitor for three different α values

As the memcapacitor capacitor charges, the CFD discharges as shown in Figures 8 and 9. The current of the memcapacitor capacitor reaches its maximum value while the CFD current reaches its minimum value after a sufficiently enough time since their polarities are opposite. The charging and discharging curves look like exponential functions even though they are not. When α increases, the curves discharges quicker. The quickest discharge curve is obtained for $\alpha = 1$. Furthermore, the CFD

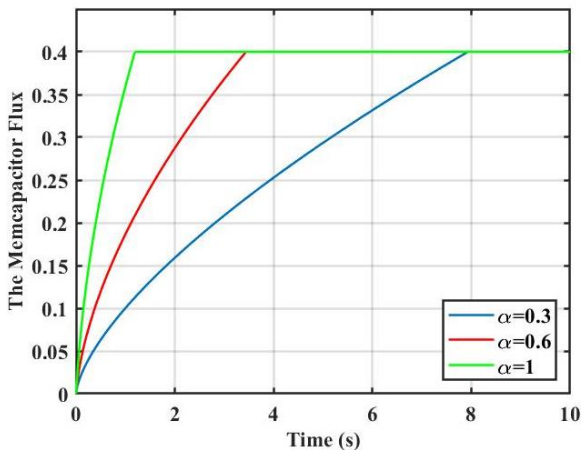


Figure 10. The flux of the memcapacitor for three different α values

capacitor behaves as an LTI capacitor when $\alpha = 1$ applied because the time value equals 1 at this condition. Thus, the outputs of the designed capacitor give the same outputs as an LTI capacitor. Also, for $\alpha = 1$, the problem turns into the memcapacitor-the capacitor problem given in [48].

The flux of the memcapacitor for three different α values is shown in Figure 10. The flux of the memcapacitor shows that the memcapacitor saturates if a sufficiently long time passes, the element flux remains constant during saturation, and this saturation is dependent on α as shown in Figure 10. The saturation time decreases when α increases. It becomes the lowest for $\alpha = 1$.

The memcapacitor charge has interesting dynamics as shown in Figure 11. First, it increases, and it starts decreasing after

the memcapacitor saturates and the dynamics continuous since the equivalent capacitance starts varying due to the CFD capacitor's time dependent term. The circuit is in ever transient state due to the CFD capacitor. After the saturation occurs, the circuit can be regarded as consisting of a CFD capacitor and an LTI capacitor as examined in [15]. After saturation, the tangent, and the peak value of the memcapacitor charge is dependent on α as shown in Figure 11. The peak value of the memcapacitor charge is the highest for $\alpha = 1$. The memcapacitor charge has the highest descent for $\alpha = 1$. The memcapacitor charge curves appears to start merging when time increases.

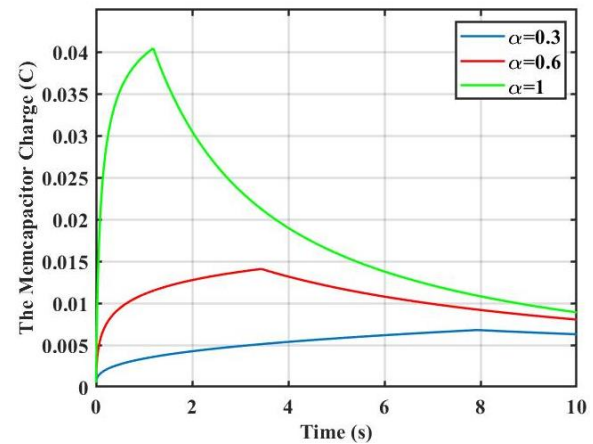


Figure 11. The charge of the memcapacitor for three different α values

6. Conclusion

Memcapacitors and CFD capacitors have been becoming a prevalent research area for years. Both capacitor models cannot be described using the constitutive law of an LTI capacitor. The two-capacitor problem examined here is a nonlinear problem and it has no analytical solution even though a simple phenomenological memcapacitor model is used. That's why the Simulink toolbox of MATLAB is used to simulate the derived circuit equation. It has been found that a time dependent charge sharing dynamics exists between two capacitors. The dynamics also depend on the power exponent of the CFD capacitor. If a sufficient time passes, the memcapacitor flux and capacitance become constant and the problem turns into an LTI capacitor and a CFD capacitor problem. The circuit can be thought as in ever transient state due to the CFD capacitor's time dependent capacitance.

New kinds of circuit elements like memcapacitors, CFD capacitors, and the combinations of these circuit elements need to be analyzed in detail to understand their behaviors well and to use them efficiently. The results reported in this study may find usage in the biological circuits where the memcapacitor and the CFD capacitors may exist together.

Author Contribution

Data curation – None (N); Formal analysis Utku Palaz (UP), Reşat Mutlu (RM); Investigation – RM; Experimental Performance - N; Data Collection – UP; Processing - UP; Literature review – UP, RM; Writing – UP, RM; Review and editing – UP, RM;

Declaration of Competing Interest

The authors declared no conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

References

- [1] I. Podlubny, *Fractional differential equations: an introduction to fractional derivatives, fractional differential equations, to methods of their solution and some of their applications*, Elsevier, 1998.
- [2] X. J. Yang, *General fractional derivatives: theory, methods, and applications*, Chapman and Hall/CRC, 2019.
- [3] A. Babiarez, A. Czornik, J. Klamka, and M. Niezabitowski, "Theory and applications of non-integer order systems," *Lecture Notes Electrical Engineering*, 407, 2017.
- [4] T. J. Freeborn, "A survey of fractional-order circuit models for biology and biomedicine," *IEEE Journal on emerging and selected topics in circuits and systems*, vol. 3, no. 3, pp. 416-424, 2013.
- [5] R. Khalil, M. al Horani, A. Yousef, M. Sababheh, "A new definition of fractional derivative," *J. Comput. Appl. Math.*, vol. 264, pp. 65–70, 2014.
- [6] T. Abdeljawad, T, "On conformable fractional calculus," *Journal of computational and Applied Mathematics*, vol. 279, pp. 57-66, 2015.
- [7] D. Zhao, M. Luo, "General conformable fractional derivative and its physical interpretation," *Calcolo*, vol. 54, no. 3, pp. 903-917, 2017.
- [8] R. Sikora, "Fractional derivatives in electrical circuit theory—critical remarks," *Archives of Electrical Engineering*, vol. 66, no. 1, pp. 155-163, 2017.
- [9] M. Lewandowski, M. Orzyłowski, "Fractional-order models: The case study of the supercapacitor capacitance measurement," *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*, vol. 65, no. 4, pp. 449-457, 2017.
- [10] R. Kopka, "Estimation of supercapacitor energy storage based on fractional differential equations," *Nanoscale research letters*, vol. 12, no. 1, pp. 636, 2017.
- [11] T. J. Freeborn, A. S. Elwakil, and A. Allagui, "Supercapacitor fractional-order model discharging from polynomial time-varying currents," in *2018 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, May 2018, pp. 1-5.
- [12] T. J. Freeborn, B. Maundy, A. S. Elwakil, "Measurement of supercapacitor fractional-order model parameters from voltage-excited step response," *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, vol. 3, no. 3, pp. 367-376, 2013.
- [13] E. Piotrowska, "Analysis the conformable fractional derivative and Caputo definitions in the action of an electric circuit containing a supercapacitor," *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments*, vol. 10808, p. 108081T, International Society for Optics and Photonics, 2018.
- [14] A. A. H. A. Mohammed, K. Kandemir, R. Mutlu, "Analysis of Parallel Resonance Circuit Consisting of a Capacitor Modelled Using Conformal Fractional Order Derivative Using Simulink," *European Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 3, no. 1, pp 13-18.
- [15] U. Palaz, R. Mutlu, "Two Capacitor Problem with an LTI Capacitor and a Capacitor Modelled Using Conformal Fractional Order Derivative," *European Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 4, no. 1, pp. 8-13, 2021.
- [16] D. B. Strukov, G. S. Snider, D. R. Stewart, and R. S. Williams, "The missing memristor found," *Nature (London)*, vol. 453, pp. 80-83, 2008.
- [17] M. Di Ventra, Yu. V. Pershin and L. O. Chua "Circuit Elements with Memory: Memristors, memcapacitors and meminductors" *Proc. IEEE*, vol. 97, pp. 1717–1724, 2009.
- [18] Y. V. Pershin, J. Martinez-Rincon, and M. Di Ventra, "Memory circuit elements: from systems to applications," *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, vol. 8, no. 3, pp. 441-448, 2011.
- [19] E. Karakulak, R. Mutlu, "Explanation of Hysteresis Curve of a Flux- dependent Memcapacitor (Memory-capacitor) Using Taylor Series and Parametric Functions," in *6th International Advanced Technologies Symposium*, 2011, pp. 419-422.
- [20] M. Madsar, Y. Babacan, K. K. Çiçek, "FCS Based Memcapacitor Emulator Circuit," *Journal of the Institute of Science and Technology*, vol. 10, no. 1, pp. 112-117, 2020.
- [21] M. Konal, F. Kacar, and Y. Babacan, "Electronically controllable memcapacitor emulator employing VDCCs," *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 140, 153932, 2021.
- [22] A. G. Radwan, and M. E. Fouda. "Memcapacitor: Modeling, Analysis, and Emulators," *On the Mathematical Modeling of Memristor, Memcapacitor, and Meminductor*, pp. 151-185, 2015, Springer, Cham.
- [23] D. Biolek, and V. Biolkova, "Mutator for transforming memristor into memcapacitor," *Electronics letters*, vol. 46, no. 21, pp. 1428-1429, 2010.
- [24] J. Martinez-Rincon, M. Di Ventra, and Y. V. Pershin, "Solid-state memcapacitive system with negative and diverging capacitance," *Physical Review B*, vol. 81, no. 19, pp. 195430, 2010.
- [25] M. Krems, Y. V. Pershin and M. Di Ventra, "Ionic Memcapacitive Effects in Nanopores" *Nano letters*, vol. 10, no. 7, pp. 2674-2678, 2010.
- [26] Y. V. Pershin and M. Di Ventra, "Memory effects in complex materials and nanoscale systems", *Advances in Physics*, vol. 60, pp. 145-227, 2011.

- [27] M. D. Goldflam, T. Driscoll, B. Chapler, O. Khatib, N. Marie Jokerst, S. Palit, and M. D. Ventra, "Reconfigurable gradient index using VO₂ memory metamaterials," *Applied Physics Letters*, vol. 99, no. 4, 044103, 2011.
- [28] R. K. Singh, and K. Mamta, "An account of spin memristive and memcapacitive systems: Next generation memory devices," *IOSR Journal of Applied Physics (IOSR-JAP) e-ISSN: 2278-4861*, vol. 6, no. 3, pp. 07-23, 2014.
- [29] D. Park, P. Yang, H. J. Kim, K. Beom, H. H. Lee, C. J. Kang, and T. S. Yoon, "Analog reversible nonvolatile memcapacitance in metal-oxide-semiconductor memcapacitor with ITO/HfO_x/Si structure," *Applied Physics Letters*, vol. 113, no. 16, pp. 162102, 2018.
- [30] A. K. Khan, and B. H. Lee, "Monolayer MoS₂ metal insulator transition based memcapacitor modeling with extension to a ternary device," *AIP Advances*, vol. 6, no. 9, pp. 095022, 2016.
- [31] J. Flak, and J. K. Poikonen, "Solid-state memcapacitors and their applications," *In: Memristor Networks*, Springer, Cham, pp. 585-601, 2014.
- [32] Y. Shen, G. Wang, Y. Liang, S. Yu, and H. H. C. Iu, "Parasitic memcapacitor effects on HP TiO₂ memristor dynamics," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 59825-59831, 2019.
- [33] J. Sun, E. Lind, I. Maximov, H. Q. Xu, "Memristive and Memcapacitive Characteristics of a Au/Ti-HfO₂-InP/InGaAs Diode," *Electron Device Letters, IEEE*, vol.32, no.2, pp.131-133, Feb. 2011.
- [34] J. Martinez-Rincon, and Y. V. Pershin, "Bistable nonvolatile elastic-membrane memcapacitor exhibiting a chaotic behavior," *IEEE transactions on electron devices*, vol. 58, no. 6, pp. 1809-1812, 2011.
- [35] Z. Hu, Y. Li, L. Jia, and J. Yu, "Chaotic oscillator based on voltage-controlled memcapacitor," in *International Conference on Communications, Circuits and Systems (ICCCAS)*, July 2010, pp. 824-827.
- [36] K. Rajagopal, A. Akgul, S. Jafari, and B. Aricioglu, "A chaotic memcapacitor oscillator with two unstable equilibriums and its fractional form with engineering applications," *Nonlinear Dynamics*, vol. 91, no. 2, pp. 957-974, 2018.
- [37] F. Yuan, G. Wang, and X. Wang, "Chaotic oscillator containing memcapacitor and meminductor and its dimensionality reduction analysis," *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, vol. 27, no. 3, pp. 033103, 2017.
- [38] M. E. Fouda, and A. G. Radwan, "Resistive-less memcapacitor-based relaxation oscillator," *International Journal of Circuit Theory and Applications*, vol. 43, no. 7, pp. 959-965, 2015.
- [39] Ş. Ç. Yener, R. Mutlu, "Small signal model of memcapacitor-inductor oscillation circuit," in *Electric Electronics, Computer Science, Biomedical Engineerings' Meeting (EBBT)*, 2017, pp. 1-4.
- [40] F. Tulumbacı, Ş. Ç. Yener, R. Mutlu, "Stored Energy and the Charging Energy Efficiency in a Memcapacitor Circuit," in *6th International Conference on Electrical Engineering and Electronics*, 2020.
- [41] K. U. Demasius, A. Kirschen, and S. Parkin, "Energy-efficient memcapacitor devices for neuromorphic computing," *Nature Electronics*, vol.4, no.10, pp. 748-756 , 2021.
- [42] D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Fundamentals of physics*, John Wiley & Sons, 2013.
- [43] RA. Powell, "Two-capacitor problem: A more realistic view," *American Journal of Physics*, vol. 47, pp. 460-462, 1979.
- [44] S. M. Al-Jaber, S. K. Salih, "Energy consideration in the two-capacitor problem," *European Journal of Physics*, vol. 21, pp. 341, 2000.
- [45] W. J. O'Connor, "The famous 'lost' energy when two capacitors are joined: a new law?" *Physics Education*, vol. 32, pp. 88, 1997.
- [46] A. M. Sommariva, "Solving the two-capacitor paradox through a new asymptotic approach," *IEE Proceedings Circuits, Devices and Systems*, vol. 150, pp. 227-231, 2003.
- [47] TC. Choy, "Capacitors can radiate: Further results for the two-capacitor problem," *American Journal of Physics*, vol. 72: pp. 662-670, 2004.
- [48] R. Mutlu, O. Ç. Akin, "The memcapacitor-capacitor problem," *2nd International Conference on Computing in Science and Engineering Proceedings*, 2011

Araştırma Makalesi

Farklı Tipte Uçucu Kül Kullanılarak Üretilen Alkaliyle Aktive Edilmiş Harçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Veysel Akyüncü^{1, a, *}, Yunus Emre Avşar^{1, b}

¹ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye, 59860

^a vakyuncu@nku.edu.tr, ^b yeavsar@nku.edu.tr

Geliş: 02.06.2022

Kabul: 09.06.2022

DOI: 10.55581/ejeas.1125144

Öz: Çimento üretimi sırasında atmosfere salınan karbondioksit (CO₂), küresel ısınmaya neden olan önemli faktörlerden biridir. Bu nedenle, çimento tüketimini azaltmak amacıyla farklı malzemelerin kullanımı önem kazanmıştır. Bu amaçla alkalilerle aktive edilmiş malzemelerin (AAM) kullanımı oldukça yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada; yüksek fırın cürufu (YFC) ve 2 farklı tipte uçucu kül (UK) ile üretilen alkaliyle aktive edilmiş harçların fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Harçlar; Tunçbilek Termik Santrali'nden temin edilen F sınıfı UK ile Çayırhan Termik Santrali'nden elde edilen C sınıfı UK, CEN referans kumu, YFC, sodyum hidroksit (NaOH), distile su ve kimyasal katkı maddesi kullanılarak üretilmiştir. Su/bağlayıcı ve kum/bağlayıcı oranı sırasıyla 0.5 ve 3 olarak alınmıştır. UK; YFC ile ağırlıkça %0, %10, %20, %30 ve %40 oranlarında yer değiştirilerek kullanılmıştır. Alkaliyle aktive edilmiş harç numunelerinin 1. serisine; 28 gün boyunca 21±1 °C'de sızdırmazlık kürü, 2. serisine ise 2 gün boyunca 105±5 °C'de ısıl kür ve 26 gün boyunca 21±1 °C'de sızdırmazlık kürü uygulanmıştır. Alkaliyle aktive edilmiş harç numunelerinin yayılma değeri, ağırlıkça su emme oranı, boşluk oranı, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda 1. ve 2. seride YFC100'e en yakın basınç dayanımı UKF10'da elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Alkalilerle aktive edilmiş malzeme, Yüksek fırın cürufu, Uçucu kül, Fiziksel ve mekanik özellikler.

Physical and Mechanical Properties of Alkali Activated Mortars Produced Using Different Types of Fly Ash

Abstract: Carbon dioxide (CO₂) released into the atmosphere during cement production is one of the important factors causing global warming. Therefore, the use of different materials has gained importance to reduce cement consumption. For this purpose, the use of alkali-activated materials (AAM) is becoming widespread. The physical and mechanical properties of alkali-activated mortars produced with blast furnace slag (BFS) and 2 different types of fly ash (FA) were investigated in this study. Mortars were produced by using F class FA from Tunçbilek Thermal Power Plant and C class FA from Çayırhan Thermal Power Plant, CEN reference sand, BFS, sodium hydroxide (NaOH), distilled water, and chemical additives. The water/binder and sand/binder ratios were taken as 0.5 and 3, respectively. FA was used by replacing 0%, 10%, 20%, 30%, and 40% by weight of BFS. For 1st series of alkali-activated mortar samples sealing cure was applied at 21±1 °C for 28 days. For 2nd series of alkali-activated mortar samples the thermal cure was applied at 105±5 °C for 2 days, and the sealing cure was applied at 21±1 °C for 26 days. The workability, water absorption ratio by weight, void ratio, flexural strength, and compressive strength of the alkali-activated mortar samples were determined. As a result of the study, the closest compressive strength to YFC100 was obtained for UKF10 in the 1st and 2nd series.

Keywords: Alkali-activated materials, Blast furnace slag, Fly ash, Physical and mechanical properties

* Sorumlu yazar

E-mail adresi: vakyuncu@nku.edu.tr (V. Akyüncü)

1. Giriş

Beton, günümüzün en önemli yapı malzemesi olup dünya genelinde her yıl 10 milyar tondan fazla üretilmektedir [1]. Beton; basınç dayanımının yüksek olması, yangına ve paslanmaya karşı dayanıklı olması, hammadde temini için az enerji gerektirmesi, rijit yapıya sahip olması, bakımının kolay olması, bileşenlerinin kolay temin edilebilmesi ve ucuz olması gibi birçok avantaja sahiptir [2]. Ancak bunların yanında bünyesinde birtakım dezavantajlar da bulundurmaktadır. En büyük dezavantajı, betonda bağlayıcı olarak kullanılan Portland çimentosunun (PÇ) üretimi aşamasında açığa çıkan karbondioksit (CO₂) miktarıdır. Yaklaşık 1 ton PÇ üretimi, atmosfere yaklaşık 1 ton CO₂ salınmasına neden olmaktadır. Bu da 1 m³ beton üretiminde yaklaşık 400 kg PÇ kullanıldığı için havaya yaklaşık 400 kg CO₂ salındığı anlamına gelmektedir. Çimento endüstrisinin, Dünya çapında açığa çıkan CO₂ miktarının yaklaşık %6-7'sinden sorumlu olduğu tahmin edilmektedir [1, 3].

Günümüzde yoğun enerji tüketimi ve olumsuz çevresel etkilerinden dolayı mümkün olduğunca az çimento tüketimi amacıyla farklı malzeme kullanımı önem kazanmıştır. Bu amaçla alkalilerle aktive edilmiş materyallerin (AAM) kullanımı oldukça yaygınlaşmaktadır. AAM; alüminosilikat içerikli katı materyaller (yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı, metakaolin vb.) ile alkali çözeltilerin (Na₂SiO₃, NaOH vb.) reaksiyona girmesi sonucu meydana gelmekte [4] ve çimentoya alternatif, çevre dostu bir malzeme olma özelliği taşımaktadır [5]. Cüruf, çeşitli metal endüstrilerinde yan ürün olarak elde edilen atık maddelerdir [6]. Yüksek fırın cürufunun (YFC) yüksek miktarda kalsiyum oksit (CaO) içeriğinden ötürü kendi kendine hidrolik bağlayıcılık özelliği oldukça fazladır. Bu özelliği ile PÇ'ye en yakın yapay puzolandır [7]. Uçucu kül (UK); pulvarize kömürle çalışan termik santrallerde yanma neticesinde elde edilen bir yan ürün olan çok ince kalıntılardır [8].

Literatür incelendiğinde, geopolimer harç/beton üretiminde en çok kullanılan malzemelerin YFC ve UK olduğu görülmektedir [9-17]. Yazdı ve ark. [9], oda koşullarında kür edilmiş UK ve YFC bazlı AAM'nin içyapı ve mekanik özelliklerini incelemiştir. UK'nin ileri yaşlardaki puzolanik aktivitesinden ötürü 28 günlük dayanımının daha fazla olduğu, ağırlıkça eşit oranlarda UK ile YFC bazlı karışımların YFC bazlı karışımlardan daha yoğun bir içyapıya sahip olmasından dolayı UK'nin dayanım artışında daha etkin rol oynadığı ve YFC bazlı karışımlarda bazı kristal yapıların görüldüğü tespit edilmiştir. Hu ve ark. [10], alkaliyle aktive edilmiş UK bazlı harçların basınç dayanımı ve gözenek yapısı üzerinde alkali dozajı, UK içeriği ve buhar kürünün etkisini araştırmıştır. Buhar kürünün, basınç dayanımı üzerinde çok az etki gösterdiği görülmüştür. Ayrıca alkali dozajının ve UK içeriğinin artmasıyla basınç dayanımlarının azaldığı tespit edilmiştir. Hadi ve ark. [11], YFC yerine çeşitli yapay puzolan ikame edilmiş geopolimer betonun özelliklerini incelemiştir. UK oranındaki artışın priz başlangıç-bitiş süresi ile yayılma değerini artırırken basınç dayanımını azalttığı ve söz konusu özellikler bazında YFC ile birlikte kullanılacak en uygun yapay puzolanın UK olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca UK ikameli YFC'nin ortam kürleme koşulları altında prekast yapıya ek olarak yerinde inşaat için uygun bir geopolimer

beton bağlayıcısı olduğu ve ısı kütür gerekliliğini ortadan kaldırdığı görülmüştür.

Nath ve Sarker [12], UK bazlı geopolimer harcın priz süresi, işlenebilirlik ve erken basınç dayanımı özellikleri üzerinde YFC'nin etkisini incelemiştir. UK oranındaki artışın işlenebilirlik ile priz başlangıç-bitiş süresini artırırken basınç dayanımını azalttığı ve ısı kütür işleminin 28 günlük basınç dayanımını yaklaşık 20 MP'a artırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca iç yapı incelemelerinde UK oranındaki artışın jel kompaktlığını azalttığı görülmüştür. Kürklü [13], ısı kütür süresinin (5, 24, 48, 168 saat) YFC/UK bazlı geopolimer harcın özelliklerine etkisini incelemiştir. Genel olarak ısı kütür süresindeki artış, su emme oranını azaltmıştır. 5 saatlik ısı kütür sonrası su emme oranında kaydedeğer farklılık gözlenmezken, 24 saat ve üzeri ısı kütür sonrasında UK artışı su emme oranını artırmıştır. UK artışı yoğunluğu ve basınç dayanımını azaltmıştır. Ayrıca, 168 saatten fazla ısı kütürün basınç dayanımını düşürdüğü görülmüştür. Mohammed ve ark. [14], YFC ve UK bazlı geopolimerin özellikleri üzerinde UK oranı ve Na₂SiO₃/bağlayıcı oranının etkisini incelemiştir. Basınç dayanımı, tüm UK oranlarında Na₂SiO₃ miktarındaki artış ile belli bir değere kadar arttıktan sonra sabit kalmakta olup tüm Na₂SiO₃ miktarlarında UK oranındaki artış ile azalmaktadır. Su emme oranında ise basınç dayanımındaki değişimin tam tersi gözlenmiştir. Jang ve ark. [15], süper akışkanlaştırıcı alkaliyle aktive edilmiş UK/YFC macunlarının özelliklerini incelemiştir. UK oranındaki artışın basınç dayanımını azalttığı, %0-%30 UK oranının otojen büzülme nedeniyle hızlı priz ve çatlamaya sebep olduğu, polikarboksilat bazlı süperakışkanlaştırıcının priz geciktirici etki gösterdiği ve işlenebilirliği naftalin bazlı süper akışkanlaştırıcıdan daha iyi geliştirdiği tespit edilmiştir. Ayrıca düşük UK içeriğinin daha yoğun hidrasyon ürünleri matrisi oluşumuna yol açtığı gözlemlenmiştir. Shang ve ark. [16], UK oranının UK/YFC bazlı geopolimer harcın özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. UK oranındaki düşüşün priz süresini hızlandırdığı ve erken dayanımı artırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca akışkanlık, priz süresi, mukavemet gelişimi, hacim kararlılığı ve klorür geçirimsizliği açısından optimum UK oranının %80 olduğu görülmüştür. Chi ve Huang [17], alkaliyle aktive edilmiş UK/YFC bazlı harçların bağlanma mekanizması ve özelliklerini incelemiştir. UK/YFC oranının harçların bağlanma mekanizması ile özelliklerini etkileyen önemli bir faktör olduğu ve optimum UK/YFC oranının %50/%50 olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca kuruma büzülmesi dışında AAM harçlarının basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve su emme gibi özelliklerinin referans harca göre geliştiği görülmüştür.

Bu çalışmada enerji tasarrufu ve sıfır karbon salınımı ile beton endüstrisinde çevre dostu sürdürülebilir üretime katkı sağlanması amaçlanmıştır. AAM üretiminde UK kullanımı, endüstriyel atıkların bertarafı açısından oldukça önemlidir. Bu durum inşaat sektöründe sürdürülebilir üretime yönelimi artıracak ve başta hava kirliliği olmak üzere çevresel sorunların en aza indirilmesine katkı sağlayacaktır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada F ve C tipi UK'nin alkaliyle aktive edilmiş harçlar üzerindeki etkileri fiziksel ve mekanik özellikler

bakımından karşılaştırılarak incelenmiştir. UK; YFC ile ağırlıkça %0, %10, %20, %30 ve %40 oranlarında yer değiştirilerek kullanılmıştır.

2.1. Materyal

Çalışmada kullanılan YFC, İSDEMİR çelik fabrikasından temin edilmiştir. Kullanılan YFC'nin özgül ağırlığı 2.91 olarak belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan F sınıfı UK; Tunçbilek Termik Santrali'nden (Kütahya), C sınıfı UK ise Çayırhan Termik Santrali'nden (Ankara) tedarik edilmiştir. UK'nin kimyasal ve fiziksel özellikleri sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1 UK'nin kimyasal özellikleri

Bileşim(%)	Tunçbilek	Çayırhan	TS639	ASTM C 618	
				F	C
SiO ₂	58.59	49.13	-	-	-
Al ₂ O ₃	21.89	15.04	-	-	-
Fe ₂ O ₃	9.31	8.25	-	-	-
S+A+F	89.79	72.42	>70	>70	>50
CaO	4.43	13.2	-	-	-
MgO	1.41	4.76	<5	<5	<5
Na ₂ O	0.24	2.2	-	<1.5	<1.5
K ₂ O	1.81	1.76	-	-	-
SO ₃	0.41	3.84	<5	<5	<5
KK*	1.39	0.72	<10	<12	<6

*KK; Kızdırma kaybı

Tablo 2 UK'nin fiziksel özellikleri

Özellik	F	C
Özgül ağırlık	2.26	2.36
90 mikron elek bakiyesi (%)	5.15	6.7
45 mikron elek bakiyesi (%)	24.2	24.5

Harç üretiminde TS EN 196-1 [18] standardına uygun CEN referans kumu kullanılmıştır. CEN referans kumu; yüksek miktarda SiO₂ barındıran (en az %98 oranında) doğal bir kum olup izometrik ve yuvarlak taneciklere sahiptir [18]. CEN referans kumu elek analizi Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3 CEN referans kumu elek analizi

Kare Göz Açıklığı (mm)	Kümülatif Elekte Kalan (%)
2	0
1.6	7±5
1	33±5
0.5	67±5
0.16	87±5
0.08	99±5
2	0

Deneyisel çalışmada kullanılan 10M sodyum hidroksitin (NaOH) kimyasal kompozisyonu Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4 NaOH'in kimyasal kompozisyonu

Kimyasal Adı	Sodyum Hidroksit (Kostik)
Kimyasal Formülü	NaOH
Molekül Ağırlığı	40 gr/mol
Asidimetrik	≥97
Na ₂ CO ₃	≤1
Cl	<0.01
SO ₄	≤0.01
Ağır Metal	≤0.002
Al	≤0.002
Fe	≤0.002

2.2. Metot

Hazırlanan karışım, 40×40×160 mm boyutlarındaki yüzeyleri yağlanmış kalıplara aktarılmıştır. Taze harç numuneleri, sarsma tablası yardımı ile sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma işleminin ardından kalıplar streç filmle sarılmıştır. Toplam 9 harç serisi üretilmiş olup her harç serisinin 1. serisi; 28 gün boyunca 21±1°C'de sızdırmazlık kürü işlemine (Şekil 1), 2. serisi ise 2 gün boyunca 105±5°C'de ısıl kür ve 26 gün boyunca 21±1°C'de sızdırmazlık kürü işlemine tabi tutulmuştur. 28 günün ardından streç filmden çıkarılan numuneler üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Sızdırmazlık kürü işlemi

Harç serilerinin üretiminde 900 gr bağlayıcı kullanılmış olup kum/bağlayıcı oranı; 3, su/bağlayıcı oranı; 0.5, solüsyon/bağlayıcı oranı; 0.4 ve bağlayıcı ağırlığınca akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanım oranı; %2'dir.

Numunelerin kodlanması ve malzemelerin kullanım oranı Tablo 5'de verilmiştir. UKC30; %30 oranında (270 gr) C sınıfı UK, %70 oranında (630 gr) YFC kullanıldığı anlamına gelmektedir.

Tablo 5 Numunelerin kodlanması ve malzemelerin kullanım oranı

Harç Serisi	UK	YFC
	%	%
YFC100	0	100
UKC10	10	90
UKC20	20	80
UKC30	30	70
UKC40	40	60
UKF10	10	90
UKF20	20	80
UKF30	30	70
UKF40	40	60

Harç serilerine ait malzeme miktarları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6 Harç serilerine ait malzeme miktarları

Harç Serisi	UK	YFC	Kum	Su	Sol.*	KK**
	gr	gr	gr	gr	gr	gr
YFC100	0	900				
UKC10	90	810				
UKC20	180	720				
UKC30	270	630				
UKC40	360	540	2700	450	360	18
UKF10	90	810				
UKF20	180	720				
UKF30	270	630				
UKF40	360	540				

*Sol.; Solüsyon, **KK; Kimyasal katkı

Çalışma kapsamında üretilen numuneler üzerinde TS EN 1015-3 standardı uyarınca yayılma tablası deneyi [19], ağırlıkça su emme ve boşluk oranı tayini (Denklem 1 ve Denklem 2), TS EN 196-1 standardı uyarınca eğilme deneyi [18] ve TS EN 196-1 standardı uyarınca basınç deneyi [18] gerçekleştirilmiştir. Denklem 1 ve Denklem 2'de ASEO; ağırlıkça su emme oranı (%), BO; boşluk oranı (%), FKA; fırın kurusu ağırlık (gr), DYKA; doymun yüzey kuru ağırlık (gr), SA; su içindeki ağırlık (gr) ve d; suyun yoğunluğudur (gr/cm³).

$$ASEO = \frac{(DYKA - FKA)}{FKA} \times 100 \quad (1)$$

$$BO = \frac{(DYKA - FKA)}{(DYKA - SA)/d} \times 100 \quad (2)$$

3. Deneysel Sonuçlar

Çalışma kapsamında üretilen taze harçların yayılma değeri 10.1-11.7 cm arasında değişmektedir. Çalışma kapsamında üretilen harç serilerinin 1. ve 2. serilerinden elde edilen fiziksel ve mekanik deney sonuçları sırasıyla Tablo 7 ve Tablo 8'de verilmiştir.

Tüm serilerde ağırlıkça su emme oranı ve boşluk oranı

sonuçları benzerlik göstermiştir. Harç serilerine ait ağırlıkça su emme oranı tayini sonuçları Şekil 2'de verilmiştir.

Tablo 7 1. Serinin fiziksel ve mekanik deney sonuçları

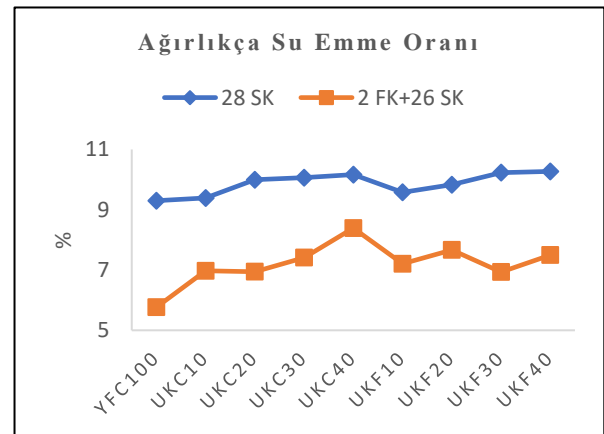
Kür Koşulu	Harç Serisi	ASEO	BO	ED*	BD**
		%	%	MPa	MPa
28 SK	YFC100	9.29	17.79	6.2	22.5
	UKC10	9.39	17.77	5.3	24.5
	UKC20	9.99	18.65	4.9	26.5
	UKC30	10.06	18.77	5.0	21
	UKC40	10.16	19.08	4.6	20
	UKF10	9.57	18.15	6.1	34
	UKF20	9.82	18.01	5.6	26.2
	UKF30	10.23	18.5	4.7	19.8
	UKF40	10.27	18.34	4.0	11.9

*ED; eğilme dayanımı, **BD; basınç dayanımı

Tablo 8 2. Serinin fiziksel ve mekanik deney sonuçları

Kür Koşulu	Harç Serisi	ASEO	BO	ED*	BD**
		%	%	MPa	MPa
2 FK+26SK	YFC100	5.76	11.22	6.4	42.1
	UKC10	6.97	13.29	4.3	27.3
	UKC20	6.94	13.27	4.4	26.9
	UKC30	7.41	14.2	4.8	27.9
	UKC40	8.39	15.53	3.8	22.5
	UKF10	7.2	13.65	3.9	29.3
	UKF20	7.66	14.1	3.8	24.4
	UKF30	6.93	12.61	3.2	18.2
	UKF40	7.49	13.42	3.7	18.7

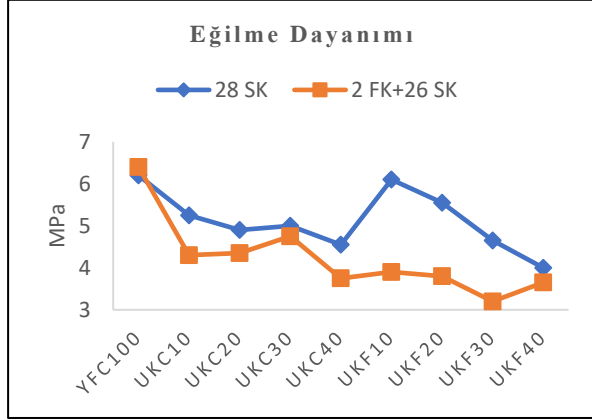
*ED; eğilme dayanımı, **BD; basınç dayanımı

**Şekil 2.** Ağırlıkça su emme oranı tayini sonuçları

Şekil 2 incelendiğinde; 1. seri için C ve F sınıfı UK oranındaki artış ile birlikte su emme oranı artmıştır. 2. seri için C sınıfı UK oranındaki artış, ağırlıkça su emme oranını artırmıştır. En düşük su emme oranı YFC100, en yüksek su emme oranı ise UKC40 harç serisine aittir. Isıl kür uygulanan tüm harç

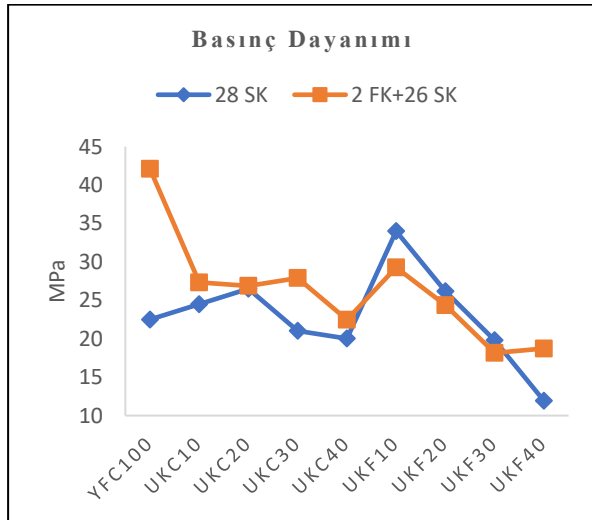
serilerinin ağırlıkça su emme oranı, ısıl kür uygulanmayan serilere göre azalmıştır.

Harç serilerine ait eğilme dayanımı deneyi sonuçları Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Eğilme dayanımı deneyi sonuçları

Şekil 3 incelendiğinde; 1. seri için C ve F sınıfı UK oranındaki artış, eğilme dayanımını azaltmıştır. En yüksek eğilme dayanımı 6.1 MPa olup UKF10 harç serisinden elde edilmiştir. YFC100 ve UKF10 harç serilerinin eğilme dayanımı birbirine yakın değere sahiptir. 2. seri için en yüksek eğilme dayanımı 4.8 MPa olup UKC30 harç serisinden elde edilmiştir. Bu değer, YFC100 harç serisine ait eğilme dayanımından %25 düşüktür. Isıl kür işlemi, YFC100 harç serisi hariç eğilme dayanımında azalmaya sebep olmuştur. En düşük azalma miktarı UKC30 harç serisine aittir. Ayrıca F sınıfındaki düşüşün C sınıfına kıyasla daha fazla olduğu görülmektedir. Harç serilerine ait basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Basınç dayanımı deneyi sonuçları

Şekil 4 incelendiğinde; 1. seri için C sınıfı UK oranındaki artış basınç dayanımını (UKC20)'ye kadar artırmıştır. 1. seride en yüksek basınç dayanımı 34 MPa olup UKF10 harç serisinden elde edilmiştir. Bu değer, YFC100 harç serisinin basınç dayanımından %51 fazladır.

2. seri için UK oranındaki artış, basınç dayanımını azaltmıştır. En yüksek basınç dayanımı 29.3 MPa olup UKF10 harç serisinden elde edilmiştir. Bu değer, YFC100 harç serisinin

basınç dayanımından %30 azdır. Isıl kür işlemi, YFC100 harç serisinde %87 oranında basınç dayanım artışı sağlamıştır.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- 28 gün sızdırmazlık kürü işlemi uygulanan numunelerde C ve F sınıfı UK oranındaki artış ile birlikte su emme oranı artmıştır. Isıl kür uygulanan tüm harç serilerinin ağırlıkça su emme oranı, ısıl kür uygulanmayan serilere göre azalmıştır. 2 gün ısıl kür ve 26 gün sızdırmazlık kürü işlemi uygulanan numunelerde C sınıfı UK oranındaki artış ağırlıkça su emme ve boşluk oranını artırmıştır. En düşük su emme ve boşluk oranı YFC100'e, en yüksek su emme ve boşluk oranı ise UKC40'a aittir.
- 28 gün sızdırmazlık kürü işlemi uygulanan numunelerde C ve F sınıfı UK oranındaki artış, eğilme dayanımını azaltmıştır. En yüksek eğilme dayanımı UKF10'dan elde edilmiş olup (6.1 MPa) YFC100'ün eğilme dayanımına yakın değere sahiptir.
- 2 gün ısıl kür ve 26 gün sızdırmazlık kürü işlemi uygulanan numunelerde C ve F sınıfı UK oranındaki artış eğilme ve basınç dayanımını azaltmıştır. F sınıfının eğilme ve basınç dayanımı, C sınıfına göre daha düşüktür. En yüksek eğilme dayanımı YFC100'den sonra UKC30'a (4.8 MPa), en yüksek basınç dayanımı ise UKF10'a aittir (29.3 MPa).
- 28 gün sızdırmazlık kürü işlemi uygulanan numunelerde basınç dayanımı bakımından YFC100'e göre UKC10 ve UKC20'de sırasıyla %9 ve %18 oranında artış meydana gelirken UKC30 ve UKC40'ta sırasıyla %7 ve %11 oranında azalış meydana gelmiştir. En yüksek basınç dayanımı 34 MPa (UKF10), en düşük basınç dayanımı ise 12 MPa'dır (UKF40).
- YFC100'e ısıl kür uygulanması, basınç dayanımında %87 oranında artış sağlamıştır.
- 2 gün ısıl kür ve 26 gün sızdırmazlık kürü işlemi uygulanan numunelerde en yüksek eğilme ve basınç dayanımı C sınıfından elde edilmiştir. Bu durum; CaO oranının C tipi UK'de daha yüksek olması, ısıl kür işleminin alkalinyonu hızlandırması ve CaO'nun ısıl kür işleminde daha yüksek aktiviteye sahip olması ile açıklanabilir.

Yazar Katkısı

Veri iyileştirme - Veysel Akyüncü (VA), Yunus Emre Avşar (YEA), Biçimsel analiz - VA, YEA; Araştırma - VA, YEA; Deneysel performans - VA, YEA; Veri toplama - VA, YEA; Veri işleme - VA, YEA; Literatür taraması - VA, YEA; Yazan - VA, YEA; İnceleme ve düzenleme - VA, YEA.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve/veya yayınlanması ile ilgili olarak herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemiştir.

Kaynaklar

- [1] Meyer, C. (2009). The greening of the concrete industry. *Cement and Concrete Composites*, 31, 601-605.
- [2] Erdoğan, T. Y. (2015). Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., 6-8.
- [3] Provis, J. L., & Deventer, J. S. J. (2014). Alkali activated materials: state of the art report.
- [4] Rodrigue, A., Duchesne, J., Fournier, B., & Bissonnette, B. (2018). Influence of added water and fly ash content on the characteristics, properties and early-age cracking sensitivity of alkali-activated slag/fly ash concrete cured at ambient temperature. *Construction and Building Materials*, 171, 929-941.
- [5] Alanazi, H., Hu, J., & Kim, Y. R. (2019). Effect of slag, silica fume, and metakaolin on properties and performance of alkali-activated fly ash cured at ambient temperature. *Construction and Building Materials*, 197, 747-756.
- [6] Tokyay M., & Erdoğan, K. (2009). Cürüfler ve Cürüflü Çimentolar. TÇMB.
- [7] Erdoğan, T. Y. (2015). Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., 205-212.
- [8] Baradan, B. (2015). Beton. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, 34-42.
- [9] Yazdi, M. A., Liebscher, M., Hempel, S., Yang, J., & Mechtcherine, V. (2018). Correlation of microstructural and mechanical properties of geopolymers produced from fly ash and slag at room temperature. *Construction and Building Materials*, 191, 330-341.
- [10] Hu, X., Shi, C., Shi, Z., & Zhang, L. (2019). Compressive strength, pore structure and chloride transport properties of alkali-activated slag/fly ash mortars. *Cement and Concrete Composites*, 104.
- [11] Hadi, M. N. S., Farhan, N. A., & Sheikh, M. N. (2017). Design of geopolymer concrete with GGBFS at ambient curing condition using Taguchi method. *Construction and Building Materials*, 140, 424-431.
- [12] Nath, P., & Sarker, P. K. (2014). Effect of GGBFS on setting, workability and early strength properties of fly ash geopolymer concrete cured in ambient condition. *Construction and Building Materials*, 66, 163-171.
- [13] Kürklü, G. (2016). The effect of high temperature on the design of blast furnace slag and coarse fly ash-based geopolymer mortar. *Composites Part B: Engineering*, 92, 9-18.
- [14] Mohammed, B. S., Haruna, S., Mubarak bn Abdul Wahab, M., & Liew, M. S. (2019). Optimization and characterization of cast in-situ alkali-activated pastes by response surface methodology. *Construction and Building Materials*, 225, 776-787.
- [15] Jang, J. G., Lee, N. K., & Lee, H. K. (2014). Fresh and hardened properties of alkali-activated fly ash/slag pastes with superplasticizers. *Construction and Building Materials*, 50, 169-176.
- [16] Shang, J., Dai, J. G., Zhao, T.J., Guo, S. Y., Zhang, P., & Mu, B. (2018). Alternation of traditional cement mortars using fly ash-based geopolymer mortars modified by slag. *Journal of Cleaner Production*, 203, 746-756.
- [17] Chi, M., & Huang, R. (2013). Binding mechanism and properties of alkali-activated fly ash/slag mortars. *Construction and Building Materials*, 40, 291-298.
- [18] TS EN 196-1. (2016). Çimento deney yöntemleri-Bölüm 1: Dayanım tayini.
- [19] TS EN 1015-3. (2000). Kagir harcı-Deney metotları-Bölüm 3: Taze harç kıvamının tayini (yayılma tablası ile).

Research Article

Analysis of an Oscillation Circuit with a Linear Time-invariant Inductor and a Capacitor Modelled with Conformal Fractional Order Derivative

Mendi Arapi^{1, a, *}, Reşat Mutlu^{1, b}

¹ Department of Electronics and Telecommunication Engineering, Corlu Engineering Faculty, Tekirdag Namik Kemal University, Tekirdag, Turkiye, 59860

^a mendiarapi123@gmail.com, ^b rmutlu@nku.edu.tr

Received: 05.06.2022

Accepted: 05.07.2022

DOI: 10.55581/ejeas.1126234

Abstract: Fractional order circuit elements are being examined by researchers unremittingly. They are ever becoming more popular in the literature. The Conformable Fractional Derivative has been proposed and gained importance in the last decade. Examination of an LC tank circuit or an LC oscillator can be found in almost all undergrad physics books. There's a considerable number of studies on fractional-order capacitor circuits but, to the best of our knowledge, examination of an oscillator made of a linear time-invariant inductor and a supercapacitor modeled with Conformable Fractional Derivative has not been found in literature. In this paper, a lossless oscillator circuit containing a linear time-invariant inductor and a supercapacitor modeled with Conformable Fractional Derivative is examined for the first time in the literature. Natural response of the circuit has been found analytically. Its behavior has been illustrated with simulations for different initial conditions.

Keywords: Circuit analysis, Conformable Fractional Derivative, Fractional Order Circuit, Natural response, Oscillation circuit, Supercapacitor.

Lineer Zamanla Değişmeyen Endüktörlü ve Uyumlu Kesirli Dereceli Türev ile Modellenmiş Kondansatörlü Bir Salınım Devresinin Analizi

Öz: Kesirli dereceli devre elemanları araştırmacılar tarafından aralıksız olarak incelenmektedir. Literatürde giderek daha popüler hale gelmektedirler. Son on yılda Uyumlu Kesirli Türev önerilmiş ve oldukça önem kazanmıştır. Bir LC tank devresinin veya bir LC osilatörünün incelenmesi, neredeyse tüm lisans fizik kitaplarında bulunabilir. Kesirli mertebeden kondansatör devreleri üzerine çok sayıda çalışma var olmasına rağmen, bildiğimiz kadarıyla, doğrusal zamanla değişmeyen bir endüktörden ve Uyumlu Kesirli Türev ile modellenmiş bir süper kondansatörden yapılmış bir osilatörün incelenmesi literatürde bulunmamaktadır. Bu makalede, literatürde ilk defa Uyumlu Kesirli Türev ile modellenmiş bir süper kondansatör ve lineer zamanla değişmeyen bir endüktör içeren kayıpsız bir osilatör devresi incelenmiştir. Devrenin doğal tepkisi analitik olarak bulunmuştur. Devrenin davranışı, farklı başlangıç koşulları için benzetimlerle gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Devre Analizi, Doğal Yanıt, Kesirli Dereceden Devreler, Salınım devresi, Süperkondansatör, Uyumlu Kesirli Türev.

* Corresponding author

E-mail address: mendiarapi123@gmail.com (M. Arapi)

1. Introduction

In the late 17th century, among the classical calculus another branch of mathematics, Fractional Calculus (FD), which analyzes integrals and derivatives of non-integer order, has come to the spotlight [1]. Many mathematicians such as Liouville, Riemann and Holmgren have contributed to the progress of it [1-3]. It is an ongoing research area to seek out new fractional derivatives (FDs) [4-6]. Some applications of FDs for various systems are examined in [1-2, 4-10]. There are different definitions of FDs. Some well-known FDs are Riemann-Liouville, Caputo, Hadamard, and Weyl FDs [6]. In the Caputo approach, the derivative of a constant is zero While in Riemann-Liouville definition, the derivative of a constant is not zero [7]. All FDs satisfy the linearity property although mathematical features such as chain and product rules cannot be used. Some of the FD's drawbacks have caused another innovative approach and, in [11], the Conformable Fractional Derivative (CFD) has been suggested. This definition is satisfying the standard derivative rules. The CFD is easier to use than the Caputo and other fractional derivatives. It has analytical solutions and is easier to compute than the other FDs. Because of these properties, the CFD definition became quite popular and preferable to use in modeling fractional order (FO) systems [12]. FO derivatives have been used to model some supercapacitors. The CFD has already been used modeling electric components such as capacitors, inductors and memristors [13-16]. The capacitance of a supercapacitor is measured using a Fractional order model in [17]. In [18], due to the time dependent nature of FO models, it is shown that a FO supercapacitor model can be used to estimate its energy. The parameters of a commercial supercapacitor are determined from experimental data using a FO model [19]. Using the step voltage response of a supercapacitor, its FO model parameters are obtained [20]. Due to its time-dependency, it is hard to analyze the electrical circuits having a CFD capacitor or a supercapacitor modelled with the CFD [21]. A CFD capacitor's behavior under DC and sinusoidal waveforms are examined with incomplete gamma functions in [22]. A two-capacitor problem with a linear time-invariant (LTI) capacitor and a CFD capacitor has been inspected in [23]. A parallel resonant circuit is analyzed with Simulink since it does not have any analytical solutions [24]. Some FO modeled RC and LC electrical circuits are found in [25]. Examination of LC tank circuits is found in every physics book [26]. Such a circuit is lossless and the simplest circuit showing oscillation. A tank circuit is obtained in [27] by replacing the LTI capacitor with a memcapacitor and its analysis is given with perturbation theory. Such an LC tank circuit can also be modified replacing the LTI capacitor with a CFD capacitor and, to the best of our knowledge, it has not been examined in the literature yet. In this study, a lossless tank circuit, which consists of an LTI inductor and a CFD capacitor, has been examined analytically. An analytical solution is found. Its simulation results for different initial conditions have been given.

The paper is organized as the follows. Model of the CFD capacitor is given in the second section. Circuit The differential equation, which describes the oscillation circuit, is given and solved in the third section. The simulated

waveforms, which are obtained with MATLAB, are presented in the fourth section. The paper is concluded with the last section.

2. The CFD Capacitor Constitutional Law

Before giving the constitutional law of the CFD capacitor or the supercapacitor, first the definition of the Conformable Fractional order Derivative (CFD) must be given as done in [11]. Definition 1. For a given function $f: [0, \infty) \rightarrow \mathbb{R}$, the conformable derivative of f for order α , is defined by:

$$(T_\alpha f)(t) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{f(t + \varepsilon t^{1-\alpha}) - f(t)}{\varepsilon} \tag{1}$$

For all $t > 0$ and $0 < \alpha \leq 1$ and if f is differentiable for given α and $\lim_{t \rightarrow 0^+} (T_\alpha f)(t)$ exist, it is defined as:

$$(T_\alpha f)(0) = \lim_{t \rightarrow 0^+} (T_\alpha f)(t) \tag{2}$$

If the function f is α differentiable at $t_0 > 0$, $0 < \alpha \leq 1$, then f is continuous at t_0 and satisfies the condition:

$$(T_\alpha f)(t) = t^{1-\alpha} \frac{df(t)}{dt} \tag{3}$$

An LTI capacitor constitutional law is given as:

$$i_c(t) = C \frac{dv_c(t)}{dt} \tag{4}$$

To model a capacitor with the Conformal fractional Derivative, the following the constitutional law is obtained with replacing the ordinary derivative with the CFD:

$$i_c(t) = C_\alpha \frac{dv_c^\alpha(t)}{dt^\alpha} = C_\alpha t^{1-\alpha} \frac{dv_c(t)}{dt} \tag{5}$$

$i_c(t)$, $v_c(t)$, C_α and α are capacitor's current, voltage, capacitance and fractional order.

3. Analysis of the L-C $_\alpha$ Tank Circuit

Natural response of the well-known LC tank circuit shown in Figure 1.a shows oscillatory behavior if there is energy stored with one or both of the circuit elements. In this study, the LTI capacitor C in Figure 1.a is placed with a CFD capacitor to obtain the L-C $_\alpha$ tank circuit shown in Figure 1.b.

The differential equation, which describes the circuit in Figure 1.b must be derived. Starting by applying Kirchhoff's voltage and current laws,

$$v_{C_\alpha} - v_L = 0 \tag{6}$$

$$i_{C_\alpha} + i_L = 0 \tag{7}$$

where v_{C_α} , v_L , i_{C_α} , and i_L are respectively the CFD capacitor voltage, the inductor voltage, the CFD capacitor current, and the inductor current.

Using the constitutive laws of the elements:

$$v_L(t) = L \cdot \frac{di_L(t)}{dt} \tag{8}$$

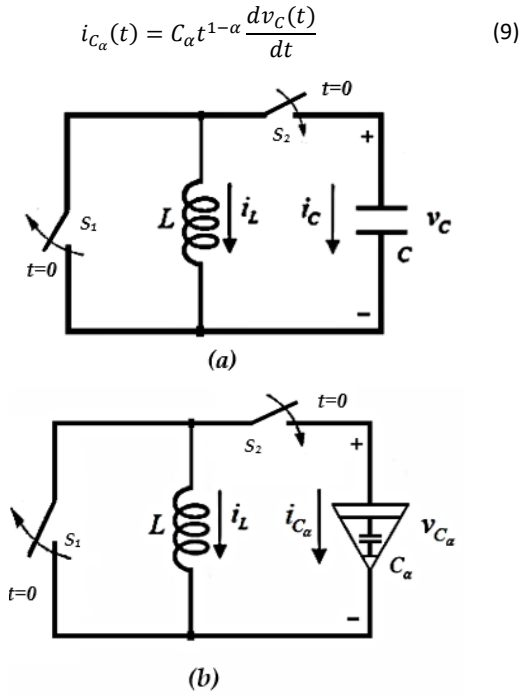


Figure 1. LC Tank Circuit modeled with a) an LTI capacitor and b) a CFD capacitor

By combining the Eqs. 8 and 9, the differential equation, which describes the circuit, is obtained as

$$v_C(t) - v_L(t) = 0 \quad (10)$$

$$v_C - L \frac{di_L(t)}{dt} = 0 \quad (11)$$

$$i_L(t) = -i_C(t) = -Ct^{1-\alpha} \frac{dv_C(t)}{dt} \quad (12)$$

$$v_C(t) + L \frac{d}{dt} \left(Ct^{1-\alpha} \frac{dv_C(t)}{dt} \right) = 0 \quad (13)$$

$$v_C(t) + LC \left((1-\alpha)t^{-\alpha} \frac{dv_C(t)}{dt} + t^{1-\alpha} \frac{d^2v_C(t)}{dt^2} \right) = 0 \quad (14)$$

$$LCt^{1-\alpha} \frac{d^2v_C(t)}{dt^2} + LC(1-\alpha)t^{-\alpha} \frac{dv_C(t)}{dt} + v_C(t) = 0 \quad (15)$$

Such a differential equation is named as Sturm-Liouville [28]. Wolfram|Alpha, an online symbolic calculator, is used for its solution. The differential equation solution is given as

$$v_C(t) = \alpha + (1+\alpha)^{-\frac{\alpha}{\alpha+1}} c_1 (CL)^{-\frac{\alpha}{2(\alpha+1)}} t^{\frac{\alpha}{2}} \Gamma\left(\frac{1}{1+\alpha}\right) J_{-\frac{\alpha}{\alpha+1}}\left(\frac{2t^{\frac{\alpha+1}{2}}}{(\alpha+1)\sqrt{LC}}\right) + (\alpha+1)^{-\frac{\alpha}{\alpha+1}} c_2 (CL)^{-\frac{\alpha}{2(\alpha+1)}} t^{\frac{\alpha}{2}} \Gamma\left(\frac{\alpha}{1+\alpha} + 1\right) J_{\frac{\alpha}{\alpha+1}}\left(\frac{2t^{\frac{\alpha+1}{2}}}{(\alpha+1)\sqrt{LC}}\right) \quad (16)$$

Here $J_\nu(x)$ is the Bessel function of the first kind of order ν . In this solution, the Bessel function order is given as non-integer and it is singular at $x=0$. More about the Bessel function can be found in [29]. The series expansion of the Bessel function around $x = 0$ can be expressed as

$$J_\nu(x) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m! \Gamma(m + \nu + 1)} \left(\frac{x}{2}\right)^{2m+\nu} \quad (17)$$

where $\Gamma(x)$ is the Complete Gamma function. It is an important function used to calculate factorials [29].

The Complete gamma function is given by the integral definition as

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} y^{x-1} e^{-y} dy \quad (18)$$

Let's define the following parameters:

$$A = (\alpha + 1)^{-\frac{\alpha}{\alpha+1}} (CL)^{-\frac{\alpha}{2(\alpha+1)}} \Gamma\left(\frac{1}{1+\alpha}\right) \quad (19)$$

$$B = (\alpha + 1)^{-\frac{\alpha}{\alpha+1}} (CL)^{-\frac{\alpha}{2(\alpha+1)}} \Gamma\left(\frac{\alpha}{1+\alpha} + 1\right) \quad (20)$$

Then, Eq. 16 turns into

$$v_C(t) = c_1 A J_{-\frac{\alpha}{\alpha+1}}\left(\frac{2t^{\frac{\alpha+1}{2}}}{(\alpha+1)\sqrt{LC}}\right) + c_2 B J_{\frac{\alpha}{\alpha+1}}\left(\frac{2t^{\frac{\alpha+1}{2}}}{(\alpha+1)\sqrt{LC}}\right) \quad (21)$$

c_1 and c_2 are the integral constants of the solution of the differential equation, which must be found. The given initial conditions of the energy storing elements are used for defining the constants. In the expression found for the CFD capacitor voltage in the circuit, the Bessel functions are used as series for simplicity and the initial conditions $v_C(0)$ and $i_L(0)$ are used at $t=0$ instant. To determine c_1 , at $t = 0$, the initial condition $v_C(0)$ is substituted in Eq.16:

$$v_C(0) = c_1 A \cdot 0 \cdot \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m! \Gamma\left(m - \frac{\alpha}{\alpha+1} + 1\right)} \cdot \left(\frac{0}{(\alpha+1)\sqrt{LC}}\right)^{2m - \frac{\alpha}{\alpha+1}} + c_2 B \cdot 0 \cdot \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m! \Gamma\left(m + \frac{\alpha}{\alpha+1} + 1\right)} \cdot \left(\frac{0}{(\alpha+1)\sqrt{LC}}\right)^{2m + \frac{\alpha}{\alpha+1}} \quad (22)$$

The following expression is undetermined since it turns into "zero times infinity"

$$v_c(0) = \begin{cases} 0 & \text{form } = 1,2,3,4\dots \\ c_1 A \frac{1}{\Gamma\left(\frac{1}{\alpha+1}\right)} (0 \cdot \infty) (LC)^{\frac{\alpha}{2(\alpha+1)}} (\alpha+1)^{\frac{\alpha}{\alpha+1}} & + 0 \text{ form } = 0 \end{cases} \quad (23)$$

By taking the limit of the term that causes singularity at $t=0$ for $m=0$,

$$\lim_{t \rightarrow 0} (t^{\frac{\alpha}{2}} \cdot t^{-\frac{\alpha}{2}}) = \lim_{t \rightarrow 0} t^0 = 1 \quad (24)$$

Therefore, using the limit at $t=0$,

$$v_c(0) = c_1 (\alpha+1)^{-\frac{\alpha}{\alpha+1}} (LC)^{-\frac{\alpha}{2(\alpha+1)}} \Gamma\left(\frac{1}{\alpha+1}\right) \frac{1}{\Gamma\left(\frac{1}{\alpha+1}\right)} (LC)^{\frac{\alpha}{2(\alpha+1)}} (\alpha+1)^{\frac{\alpha}{\alpha+1}} \Rightarrow c_1 = v_c(0) \quad (25)$$

To determine c_2 , at $t = 0$,

$$i_c(0) = i_L(0) \quad (26)$$

By differentiating $v_c(t)$,

$$\frac{dv_c}{dt} = \frac{d}{dt} \left[c_1 A \cdot t^{\frac{\alpha}{2}} \cdot \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m! \Gamma\left(1 - \frac{\alpha}{\alpha+1} + 1\right)} \left(\frac{t^{\frac{\alpha+1}{2}}}{(\alpha+1)\sqrt{LC}}\right)^{2m - \frac{\alpha}{\alpha+1}} + c_2 B \cdot t^{\frac{\alpha}{2}} \cdot \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m! \Gamma\left(1 + \frac{\alpha}{\alpha+1} + 1\right)} \left(\frac{t^{\frac{\alpha+1}{2}}}{(\alpha+1)\sqrt{LC}}\right)^{2m + \frac{\alpha}{\alpha+1}} \right] \quad (27)$$

Using Eq. 9, the CFD capacitor current can be expressed as

$$\begin{aligned} (t) &= C_\alpha t^{1-\alpha} \frac{dv_c}{dt} = C_\alpha t^{1-\alpha} \frac{d}{dt} \left[c_1 A \cdot t^{\frac{\alpha}{2}} \cdot \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m! \Gamma\left(m - \frac{\alpha}{\alpha+1} + 1\right)} \left(\frac{t^{\frac{\alpha+1}{2}}}{(\alpha+1)\sqrt{LC}}\right)^{2m - \frac{\alpha}{\alpha+1}} + c_2 B \cdot t^{\frac{\alpha}{2}} \cdot \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m! \Gamma\left(m + \frac{\alpha}{\alpha+1} + 1\right)} \left(\frac{t^{\frac{\alpha+1}{2}}}{(\alpha+1)\sqrt{LC}}\right)^{2m + \frac{\alpha}{\alpha+1}} \right] \\ \Rightarrow i_c(t) &= C_\alpha t^{(1-\alpha)} \left[c_1 A \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m! \Gamma\left(m - \frac{\alpha}{\alpha+1} + 1\right)} (Y \cdot m(\alpha+1) \cdot t^{(m(\alpha+1)-1)}) + c_2 B \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m! \Gamma\left(m + \frac{\alpha}{\alpha+1} + 1\right)} (Z \cdot ((m(\alpha+1) + \alpha) \cdot t^{(m(\alpha+1)+\alpha-1)}) \right] \\ \Rightarrow i_c(t) &= C_\alpha \left[c_1 A \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m! \Gamma\left(m - \frac{\alpha}{\alpha+1} + 1\right)} (Y \cdot m(\alpha+1) \cdot t^{(m(\alpha+1)-\alpha)}) + c_2 B \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m! \Gamma\left(m + \frac{\alpha}{\alpha+1} + 1\right)} (Z \cdot (m(\alpha+1) + \alpha) \cdot t^{(m(\alpha+1))}) \right] \end{aligned} \quad (28)$$

Where

$$Y = \left(\frac{1}{(\alpha + 1)\sqrt{LC}} \right)^{\left(2m - \frac{\alpha}{\alpha + 1}\right)} \quad (29)$$

$$Z = \left(\frac{1}{(\alpha + 1)\sqrt{LC}} \right)^{\left(2m + \frac{\alpha}{\alpha + 1}\right)} \quad (30)$$

Substituting $t=0$ in equation (28),

$$i_c(t) = C_\alpha \left[c_1 A \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m! \Gamma\left(m - \frac{\alpha}{\alpha + 1} + 1\right)} (Y \cdot m(\alpha + 1) \cdot 0^{(m(\alpha + 1) - \alpha)}) + c_2 B \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m! \Gamma\left(m + \frac{\alpha}{\alpha + 1} + 1\right)} (Z \cdot (m(\alpha + 1) + \alpha) \cdot 0^{(m(\alpha + 1))}) \right] \quad (31)$$

The following expression is undetermined since it turns into “Zero to the power of zero”:

$$i_c(t) = \begin{cases} 0 & \text{for } m = 1, 2, 3 \\ 0 + c_2 B \frac{1}{\Gamma\left(\frac{\alpha}{\alpha + 1} + 1\right)} \left(\frac{1}{(\alpha + 1)\sqrt{LC}} \right)^{\frac{\alpha}{\alpha + 1}} \cdot \alpha \cdot 0^0 & \text{for } m = 0 \end{cases} \quad (32)$$

In order to get rid of the indeterminate form, taking the limit as time variable approaches to zero of $t^{(m(\alpha + 1))}$ as follows

$$\lim_{t \rightarrow 0} (t^0) = 1 \quad (33)$$

Therefore, using the limit at $t=0$, the second coefficient c_2 is found as

$$i_c(0) = c_2 C_\alpha (\alpha + 1)^{-\frac{\alpha}{\alpha + 1}} (LC)^{-\frac{\alpha}{2(\alpha + 1)}} \Gamma\left(\frac{\alpha}{\alpha + 1} + 1\right) \frac{1}{\Gamma\left(\frac{\alpha}{\alpha + 1} + 1\right)} \alpha \left(\frac{1}{(\alpha + 1)\sqrt{LC}} \right)^{\frac{\alpha}{\alpha + 1}} \quad (34)$$

$$\Rightarrow c_2 = \frac{i_c(0)}{\alpha C_\alpha (\alpha + 1)^{-\frac{\alpha}{\alpha + 1}} (LC)^{-\frac{\alpha}{2(\alpha + 1)}}} \quad (35)$$

The capacitor current for $t=0$ instance is related to Eq. 7 with the inductor current at that instance. Therefore,

$$i_c(0) = -i_L(0) \quad (36)$$

Finally, the equation of the CFD capacitor voltage can be rearranged as:

$$v_c(t) = v_c(0) \cdot A \cdot t^{\frac{\alpha}{2}} \cdot J_{-\frac{\alpha}{\alpha + 1}} \left(\frac{2t^{\frac{\alpha + 1}{2}}}{(\alpha + 1)\sqrt{LC}} \right) - \left(\frac{i_L(0)}{\alpha C_\alpha (\alpha + 1)^{-\frac{\alpha}{\alpha + 1}} (LC)^{-\frac{\alpha}{\alpha + 1}}} \right) \cdot B \cdot t^{\frac{\alpha}{2}} \cdot J_{\frac{\alpha}{\alpha + 1}} \left(\frac{2t^{\frac{\alpha + 1}{2}}}{(\alpha + 1)\sqrt{LC}} \right) \quad (37)$$

4. Circuit waveforms

In this section, using Eq. 37, the plots of the inductor current and the CFD voltage of the tank circuit are given in Figures 2-4. All simulations are made for the parameters given in Table 1 and three different initial conditions. A short investigation of the waveforms it is concluded that the amplitude of the super-capacitors voltage is decreasing as the time progresses although the amplitude of its current is increasing with respect to time. This is caused by the time-dependent term $t^{1-\alpha}$. It can be thought that the equivalent capacitor capacitance increases by time and this results in falling down of the circuit’s characteristic impedance, and an increase in the circulation current. For low values of α , the effect of the CFD capacitor is more dominant and this results in higher CFD capacitor current amplitudes. Another interesting result is that when α becomes 1 (integer order), the $L-C_\alpha$ tank circuit is oscillating with the same amplitude as the well-known LC circuit with the LTI components.

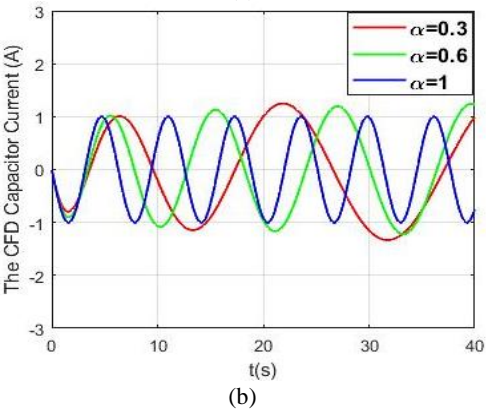
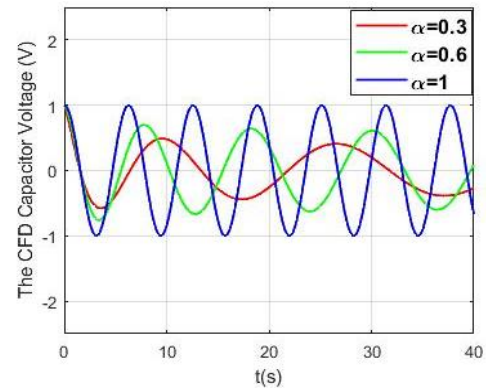


Figure 2. a) v_c and b) i_c vs. time (t) for $v_c(0) = 1$ V and $i_L(0) = 0$ A.

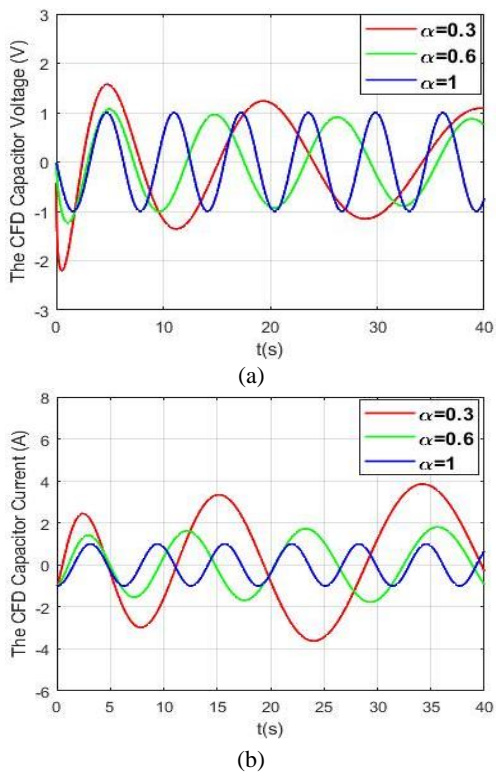


Figure 3. a) v_C and b) i_C vs. time (t) for $v_C(0) = 0\text{ V}$ and $i_L(0) = 1\text{ A}$.

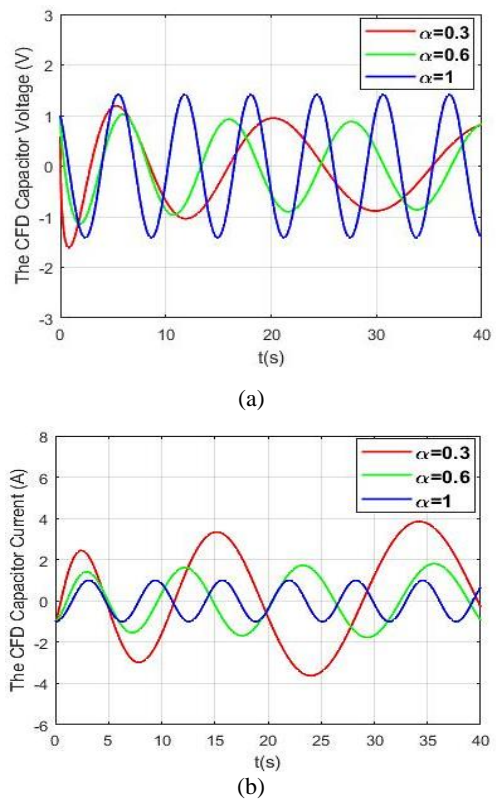


Figure 4. a) v_C and b) i_C vs. time (t) for $v_C(0) = 1\text{ V}$ and $i_L(0) = 1\text{ A}$.

Table 1 The circuit parameters

Parameter	Value
C_α	$1\text{ F/s}^{1-\alpha}$
L	1 H

If the circuit with a more realistic super capacitor model were to be analyzed, a series resistor had to be added to it, and, then, the current would go down to zero due to the power dissipation within the resistor. An inductor with a core gets saturated if its current gets sufficiently high enough. During saturation, the solution given in the last section and the waveforms given in this section cannot be used to analyze such a circuit.

5. Conclusions

The combination of every circuit element with others must be examined analytically. Analysis of physical and engineering systems modelled with FDs have become a hot research area with promising applications. The CFD is much simpler than other FDs. Some supercapacitors can be modeled with CFD. The CFD capacitor’s combination with an inductor has been examined in this study. Its analytical solution has been found using the Bessel functions of the first kind of order and the Complete Gamma function. Using simulation, the behavior of $L-C_\alpha$ tank circuit for different initial conditions is examined. The solution given here is important from the circuit theory point of view. It may help to tank circuit and undamped oscillator designers. Also, it may find usage in other areas if there is an electrical and mechanical analogy existing.

The results given here presents a lossless $L-C_\alpha$ tank circuit. In such a case, the amplitude of the CFD capacitor and the LTI inductor currents keeps increasing. The damping and analysis of an $R-L-C$ circuit is of great importance and can be found in all circuit theory books. As a future work, we suggest that, by adding a series resistor to the circuits, the analytical solution and behaviour of an $R-L-C_\alpha$ circuit can be examined.

Author Contribution

Formal analysis – Mendi Arapi (MA)-Reşat Mutlu (RM); Investigation – RM; Experimental Performance - none; Data Collection – MA; Processing – MA; Literature review – RM; Writing – MA, RM; Review and editing – MA, RM;

Declaration of Competing Interest

The authors declared no conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

References

[1] Mainardi. F. (2018). Fractional Calculus: Theory and applications. *Mathematics* ,6 (9),145.

[2] Oldham. B. K., Spainer. J. (1974). Theory and Applications of Differentiation and Integration to Arbitrary Order. Academic Press.

[3] Ross.B. B. (1977). The development of fractional calculus, *Historia Mathematica*,4(1),75-89.

[4] Podlubny.I. (1998). Fractional differential equations: an introduction to fractional derivatives, fractional differential equations, to methods of their solution and some of their applications, Elsevier.



[5]Yang. J. X. (2019). General fractional derivatives: theory, methods, and applications, Chapman and Hall/CRC.

[6] Kilbas. A . A., H. M. Srivastava, J. J. Trujillo. (2006). Theory and Applications of Fractional Differential Equations, Elsevier.

- [7] Hilfer. R. (2000). Application of Fractional Calculus in Physics. World Scientific Publishing.
- [8] Amirian. M., Jamali. Y. (2019). The Concepts and Applications of Fractional Order Differential Calculus in Modelling of Viscoelastic Systems,47(4),249-276.
- [9] VOSIKA. B. Z., Lazovic M. G., Misevic. N. G., SIMIC. B. J. (2013) Fractional Calculus Model of Electrical Impedance Applied to Human Skin,8(4), 1-12.
- [10] Atangana. A. (2017). Fractional Operators with constant and variable order with Application to Geo Hydrology. Academic Press.
- [11] Khalil. R., Horani. A. M., Yousef. A., Sababheh. M. (2014). A new definition of fractional derivative, *J. Comput. Appl. Math.*,1(264), 65–70.
- [12] Abdeljawad. T. (2015). On conformable fractional calculus, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 1(279), 57-66.
- [13] Kahouli. O., Elloumi. M., Naifar. O., Alsaif. H., Kahouli. B., Bouteraa. Y. (2022). Electrical Circuits Described by General Fractional Conformable Derivative,10(851070).
- [14] Piotrowska. E. (2019). Analysis of fractional Electrical Circuit with sinusoidal input signal using Caputo and Conformable Derivative definitions, 67(4), 155-167.
- [15] Piotrowska. E. (2018). Analysis the conformable fractional derivative and Caputo definitions in the action of an electric circuit containing a supercapacitor, *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments*, 10808, 549-558.
- [16] Banchuin. R., Tan. W. K. A. (2021). On The Fractional Domain Analysis of HP TiO₂ Memristor Based Circuits with Fractional Conformable Derivative,8(1),1-42.
- [17] Lewandowski, M., & Orzyłowski, M. (2017). Fractional-order models: The case study of the supercapacitor capacitance measurement. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*, 65(4), 449-457.
- [18] Kopka, R. (2017). Estimation of supercapacitor energy storage based on fractional differential equations. *Nanoscale research letters*, 12(1), 1-10.
- [19] Freeborn, T. J., Elwakil, A. S., & Allagui, A. (2018, May). Supercapacitor fractional-order model discharging from polynomial time-varying currents. In *2018 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)* (pp. 1-5). IEEE.
- [20] Freeborn, T. J., Maundy, B., & Elwakil, A. S. (2013). Measurement of supercapacitor fractional-order model parameters from voltage-excited step response. *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, 3(3), 367-376.
- [21] Delgado. M. V. F., Aguilar J. F. G., Hernandez. M. A. T. (2018). Analytical solutions of electrical circuits described by fractional conformable derivatives in Liouville-Caputo sense. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 85, 108-117.
- [22] Palaz. U., Mutlu. R. (2021). Analysis of a Capacitor Modelled with Conformable Fractional Derivative Under DC and Sinusoidal Signals, *Celal Bayar University Journal of Science*, 17(2), 193-198.
- [23] Palaz. U., Mutlu. R. (2021). Two Capacitor Problem with an LTI Capacitor and a Capacitor Modelled Using Conformal Fractional Order Derivative, *European Journal of Engineering and Applied Sciences*, 4(1), 8-13.
- [24] Mohammed. A. A. H. A. Kandemir. K., Mutlu. R. (2020). Analysis of Parallel Resonance Circuit Consisting of a Capacitor Modelled Using Conformal Fractional Order Derivative Using Simulink, *European Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3(1), 13-18.
- [25] Aguliar. G., Hernandez. R., Garcia. R., Calderon. (2014). Fractional RC and LC Electrical circuit, 15(2), 311-319.
- [26] Halliday. D., Resnick. R., Walker. J. (2013). Fundamentals of physics, John Wiley & Sons.
- [27] Yener. Ş. Ç., Mutlu. R. (2017). Small signal model of memcapacitor-inductor oscillation circuit, in *Electric Electronics, Computer Science, Biomedical Engineerings' Meeting (EBBT)*, 2017 (pp. 1-4).
- [28] “L*C*(x^(1-a))y'+L*C(1-a)*(x^(-a))*y'+y=0 - Wolfram|Alpha.”
https://www.wolframalpha.com/input/?i=L*C*%28x%5E%281-a%29%29*y%27%27%2BL*C*%281-a%29*%28x%5E%28-a%29%29*y%27%27%2By%3D0
 (accessed Jun. 04, 2022).
- [29] Koepf. W. (2008). Solving Differential Equations in Terms of Bessel Functions,2008 (pp. 39-46).
- [30] Davis, P. J. (1959). "Leonhard Euler's Integral: A Historical Profile of the Gamma Function". *American Mathematical Monthly*,66 (10),849-869.

Research Article

Investigation of Temperature Correlations on Corrosion Inhibition of Carbon Steel in Acid Media by Flower Extract

Loveth Nwanneka Emembolu^{1, a, *} , Chinenye Adaobi Igwegbe^{1, b} 

¹ Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Nnamdi Azikiwe University, Awka, Nigeria, 420110

^a ln.emembolu@unizik.edu.ng, ^b ca.igwegbe@unizik.edu.ng

Received: 08.06.2022

Accepted: 25.07.2022

DOI: 10.55581/ejeas.1127813

Abstract: Temperature relationships of Vigna subteranea flower (VSFE) extract on the corrosion of carbon steel in 2.0 M H₂SO₄ at 303-323 °K was studied by weight loss method. The obtained results show that VSFE extract acts as inhibitor for carbon steel in H₂SO₄ solution. The inhibition efficiency was found to increase with increase in VSFE extract concentration but decreased with acid concentration and temperature, which is suggestive of physical adsorption mechanism although chemisorption may play a part. The adsorption of VSFE onto the carbon steel surface was found to follow the Langmuir adsorption isotherm. The correlation coefficient (R²) ranging from 0.9992 ≥ R² ≥ 0.9715 was obtained. Both kinetic parameters (activation energy, pre-exponential factor, enthalpy of activation and entropy of activation) and thermodynamics of adsorption (enthalpy of adsorption, entropy of adsorption and Gibbs free energy) were evaluated and discussed from the effect of temperature on the corrosion and inhibition processes.

Keywords: Acid corrosion, Carbon steel, Inhibition, Temperature correlations, Vigna subteranea flower extract

Bitki Ekstraktı ile Asidik Ortamda Karbon Çeliğinin Korozyon İnhibasyonu Üzerine Sıcaklık Korelasyonunun İncelenmesi

Öz: Vigna subteranea çiçeği (VSFE) ekstraktının karbon çeliğinin korozyonunda sıcaklık ilişkisi 303-323 °K'de 2 M H₂SO₄ kullanılarak ağırlık kaybı metodu ile incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, VSFE karbon çeliği için H₂SO₄ çözeltisinde inhibitör gibi davranmaktadır. İnhibisyon veriminin VSFE ekstraktı konsantrasyonunun artışı ile arttığı, asit konsantrasyonu ve sıcaklıkla azaldığı belirlenmiştir. Buna göre, bir kısım kemisorpsiyon söz konusu olsa da, fiziksel adsorpsiyon mekanizması baskın bulunmuştur. VSFE'nin karbon çeliği yüzeyinde adsorpsiyonunun Langmuir adsorpsiyon isotermine uyduğu belirlenmiştir. Korelasyon katsayısının (R²) 0.9992 ≥ R² ≥ 0.9715 aralığında olduğu bulunmuştur. İki kinetik parametre de (aktivasyon enerjisi, pre-eksponansiyel faktör, aktivasyon entalpisi ve aktivasyon entropisi) ve adsorpsiyon termodinamiği (adsorpsiyon entalpisi, adsorpsiyon entropisi ve Gibbs serbest enerjisi) değerlendirilmiş ve inhibisyon prosesi ve korozyona sıcaklık etkisi açısından tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Asit korozyonu, Karbon çeliği, İnhibisyon, Sıcaklık korelasyonu, Vigna subteranea çiçeği ekstraktı

* Corresponding author

E-mail address: ln.emembolu@unizik.edu.ng (L. N. Emembolu)

1. Introduction

Carbon steel has its application in Engineering construction, as well as in chemical and allied industries for holding alkalis, acids and salt solutions due to its availability, cheap and simple construction. Sequel to this carbon steel disintegrates when it comes in contact with the above industrial conditions [1, 2] and [3]. The consequences of the chemicals on metals can be reduced or protected efficiently by application natural inhibitors. According to a study of Ugi, et al, [4], H₂SO₄ is one of the major chemical used globally in almost all the industries like paper bleaching, cellulose fibers, pharmaceuticals, sugar bleaching, fertilizers, automobile batteries, water and coloring agents, sulfonation agents, treatment, amino acid intermediates, steel manufacturing, iron and steel pickling, gasoline, regeneration of ion exchange resins. Tetraoxosulphate VI acid popularly known as Sulfuric acid (H₂SO₄) is an important mineral acid that has substantial application in many fields has led researchers to investigate its effect of corrosion inhibitors. Furthermore, it is used in pickling solution for steel alloys. Influence of temperature on acidic corrosion and corrosion inhibition of iron and steel especially in H₂SO₄ solutions has acknowledged by a numerous investigations and researchers recently. The dependence of temperature on inhibitor efficiency (η) and the evaluation of thermodynamic data obtained for the corrosion process both in absence and presence of inhibitors was instrumental to some inferences regarding the inhibition mechanism [5-8]. The objective of this current work is to assess the influence of temperature on carbon steel corrosion in 2.0 M H₂SO₄ solutions in the absence and presence of different concentrations of *Vigna subteranea* flower extract using gravimetric method. Different thermodynamic variables for inhibitor adsorption on carbon steel surface were estimated and discussed. Kinetic parameters for carbon steel corrosion in absence and presence of the studied inhibitors were evaluated and interpreted.

2. Materials and Methods

2.1 Materials and Solution Preparation

Carbon steel sheets were sourced from Awka, Nigeria. The Carbon steel sheet was subsequently cut into coupons of 4 x 7 x 0.17cm polished, degreased and cleaned for further use as previous described in [9]. All reagents, chemicals used were of analytical grade and double distilled water was used for preparing solutions. The concentrated plant flower extracts were used for the preparation of inhibitor test solutions in the concentration range of 0.1mol/100 ml solution of 2.0 M H₂SO₄.

2.2 Sourcing of Plant Shells and Preparation of Extracts

The flower extracts used in this study were derived from *Vigna subteranea* plant sourced locally in Enugu state. The

flowers were plucked and collected for analysis. Two hundred grams of sun dried and powdered flower were extracted with 95% ethanol at room temperature for 48hrs. The extracts were concentrated until the solvents were totally removed. The concentrated extracts were kept for advance use [10].

2.3 Weights Loss Measurements

The corrodent concentration was 0.2 mols and the volume of the test solution used was 100 ml. All tests were carried out in aerated solutions. The difference between the weight at a given time and the initial weight of the coupons was taken as the weight loss which was used to evaluate the corrosion rate and inhibition efficiency for carbon steel with different inhibitor concentrations as:

2.3.1 Corrosion Rate (CR)

The corrosion rate (CR) was calculated using Equation (1) [13, 14]

$$CR = \frac{M_1 - M_2}{At} \quad (1)$$

Where M₁ is weight in (mg) before immersion, M₂ is weight in (mg) after immersion, A is area in (cm²) of the specimen, and t is the exposure time in (hours).

2.3.2 Inhibition efficiency ($\eta\%$)

The inhibition efficiency ($\eta\%$) of the extract was estimated using Equation (2); [12, 13]

$$\eta\% = \left[\frac{W_{blank} - W_{inh}}{W_{blank}} \right] \times 100 \quad (2)$$

Where W_{blank} and W_{inh} are weight losses in the absence and presence of inhibitor respectively.

The degree of surface coverage (θ) was computed from equation (3); [14]:

$$\theta = 1 - \frac{W_{inh}}{W_{blank}} \quad (3)$$

3. Results and Discussion

3.1 Effect of Temperature on Corrosion Rate Carbon Steel

The data of corrosion rate were obtained using Equation (1). The calculated values of corrosion rates of carbon steel in free and inhibited concentrations of VSFE extracts at varying temperatures are presented in Table 1. The data indicates that the rate of corrosion increases with increase in temperature and decrease on addition of inhibitors in all cases studied. The results of corrosion rates of carbon steel in 2.0 M H₂SO₄ are shown in Table 1 follows Arrhenius reactions since increase in temperature progressively increases corrosion rate. Assuming the rate of corrosion of

carbon steel against the concentration of inhibitors is in line with the kinetic relationship according to [7] then,

$$\log CR = \log K + A \log C_{inh} \quad (4)$$

Where k is the rate constant and is equal to CR at inhibitor concentration of unity, A is the reaction constant and a measure of inhibitor effectiveness and C_{inh} is the concentration of the VSFE extract. The plots of Figure 1 provides information on how the kinetic parameters (K and A) were evaluated from Equation (4) and presented in Table 2

Table 1 Calculated values of corrosion rates ($\text{mg}/\text{cm}^2\text{hr}$) and inhibition efficiencies of carbon steel in 2.0 M H_2SO_4

Inhibitor	Con. Inh. (g/l)	CR ($\text{mg}/\text{cm}^2\text{hr}$)			η (%)		
		303 °K	323 °K	343 °K	303 °K	323 °K	343 °K
VSFE	0	26.5	28.5	30.7	-	-	-
	0.2	16.5	19.5	21.3	37.7	31.6	30.0
	0.4	14.1	17.5	17.5	47.2	38.6	41.7
	0.6	10.3	14.2	15.5	62.3	50.9	48.3
	0.8	9.1	12.5	13.5	66.0	56.1	55.0
	1	7.4	9.5	12	73.6	63.2	60.0

The values of reaction constant A from Table 2 were all negative implying that the rate of corrosion process is inversely proportional to the inhibitor concentration, that is gradual increase in concentration of the extracts cause improvement in the inhibitor efficiency and effectiveness. This can be attributed to high negative value of constant A due to alteration of CR and extract concentration reproducing enhanced inhibitive properties for all the inhibitors studied. Furthermore, constant values of A can be used in comparing the inhibitive performance of two acids at varying temperatures. A values were negative at all temperatures revealing the active nature of H_2SO_4 . Also, progressive increase in temperature points to increase in inhibitory activity of VSFE extract. Table 2 equally disclose that the values of k rises as the temperature moves up progressively.

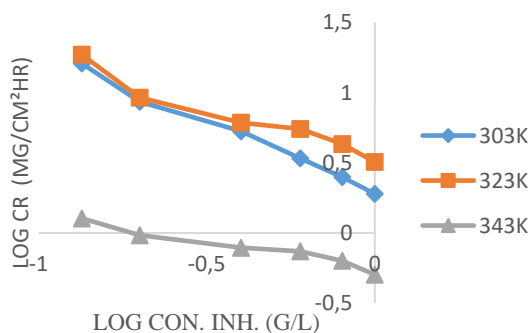


Figure 1. Plot of $\log CR$ versus $\log C_{inh}$ of carbon steel corrosion in 2.0 M H_2SO_4 containing VSFE extract at varying temperatures.

Table 2 Kinetic parameters for corrosion of carbon in 2.0 MH_2SO_4

Inhibitor	Temp (K)	Kinetic parameters	
		A	K
VSFE	303	-0.5834	0.8527
	323	-0.4483	1.0044
	343	-0.4201	1.0844

3.2 Influence of Temperature on Inhibition Efficiency (η %)

Table 1 presents the relationship between η (%) with VSFE extract concentrations at different temperatures in 2.0 M of H_2SO_4 . The result of Table 1 reveals that in the presence of H_2SO_4 the inhibition efficiency increased with increase in the inhibitor concentrations. This is attributed to the adsorption of inhibitor molecules on the carbon steel/solution interface thereby preventing the activity of the aggressive environment. The effect of temperature on inhibition efficiency of the inhibitor at all concentrations and temperatures studied showed a significant increase in the inhibitor efficiency as the temperature rises to 343K. Chemical adsorption mechanism was proposed due the fact that increase in temperature leads to increasing efficiency. Inhibition efficiency was calculated from Equation (2). Due to several transformations resulting from rapid etching and desorption as well as inhibitor decomposition and/or rearrangement on the surface of the metal, the effect of temperature on the inhibited acid-metal reaction is highly complex. Although, close observation revealed that some inhibitors can work efficiently at high temperature or low temperature [15-18] with acid-metal systems.

3.3 Adsorption Considerations

The experimental data for *Vigna subteranea* flower extract generated from Equation (3) was fitted into Langmuir adsorption isotherm and a number of expressions were obtained for the isotherm at equilibrium. It is important to note the degree of surface coverage θ differs with the concentrations of the inhibitors at all temperatures investigated [19]. Langmuir adsorption isotherm model, can be expressed mathematically as in Equation (5); [6, 19-21].

$$\frac{C}{\theta} = \frac{1}{K_{ads}} + C \quad (5)$$

Where C is the inhibitor bulk concentration in g/l , K_{ads} is the equilibrium constant of adsorption.

Figure 2 represents the plot of $\log (C/\theta)$ versus $\log C$ signifying that the adsorption of the plant extracts is in line with Langmuir isotherm. The adsorption parameters were calculated and presented in Table 3. The adsorption isotherm used has correlation coefficients (R^2) ranging from $0.9992 \geq R^2 \geq 0.9715$ with slope almost equal to 1. K_{ads} rises

with rise in temperature [22] as seen in Table 3.

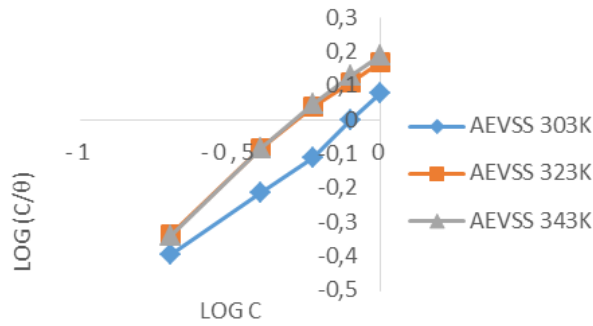


Figure 2. Langmuir adsorption isotherm for carbon steel corrosion in H_2SO_4

Table 3 Adsorption parameters obtained from Langmuir adsorption isotherm

Inhibitor	Temp (K)	Adsorption parameters		
		R^2	K_{ads}	slope
VSFE	303	0.9969	0.1827	2.4909
	323	0.9964	0.3431	1.3573
	343	0.9915	0.0749	3.9510

Technique 1

The free energy of adsorption (ΔG_{ads}) was related to equilibrium constant (K) of the inhibitor constituents by applying Equation (6) [23, 24] and shown in

$$K_{ads} = \frac{1}{C_{H_2O}} \exp\left(\frac{-\Delta G_{ads}^\circ}{RT}\right) \quad (6)$$

The plot gives a linear relationship as indicated in Figure 3 with ΔH_{ads} as intercept and putting the values of ΔH_{ads} obtained into Equation (7) the values of ΔS_{ads} with other thermodynamic properties studied were computed at all temperatures.

3.4 Thermodynamic Studies

The universally accepted thermodynamic adsorption parameters include the heat of adsorption (ΔH_{ads}) the entropy of adsorption (ΔS_{ads}), and the free energy of adsorption (ΔG_{ads}). These parameters can be calculated using different mathematical methods depending on the values of K_{ads} from adsorption isotherms, at different temperatures:

Where C_{H_2O} is the concentration of water molecules (mol/L) at metal/solution interface, K_{ads} is the equilibrium constant signifying the strength between adsorbate and adsorbent [25]. Then, the obtained ΔG_{ads} values were plotted against T (Figure 3) in accordance with the basic equation [26]:

$$\Delta G_{ads} = \Delta H_{ads} - T\Delta S_{ads} \quad (7)$$

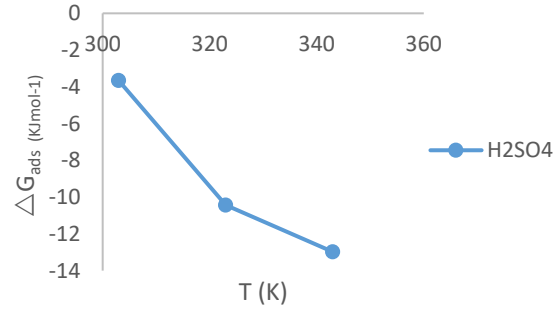


Figure 3. Plot of ΔG_{ads} against T

Technique 2

The K_{ads} depends on temperature as can be seen from Equation (8) below;

$$K_{ads} = \exp\left(\frac{\Delta S_{ads}}{T}\right) \exp\left(-\frac{\Delta H_{ads}}{RT}\right) \quad (8)$$

Rewriting Equation (8):

$$\log K_{ads} = \frac{\Delta S_{ads}}{2.303R} - \frac{\Delta H_{ads}}{2.303RT} \quad (9)$$

Here, plot of K_{ads} against $1/T$ Figure 4 gives a straight line slope of $-\frac{\Delta H_{ads}}{2.303R}$. By putting the calculated values of ΔH_{ads} into Equation (9) the data for ΔS_{ads} was equally computed for all temperatures. Then the values of ΔS_{ads} and ΔH_{ads} was combined using Equation (7) to get ΔG_{ads} values.

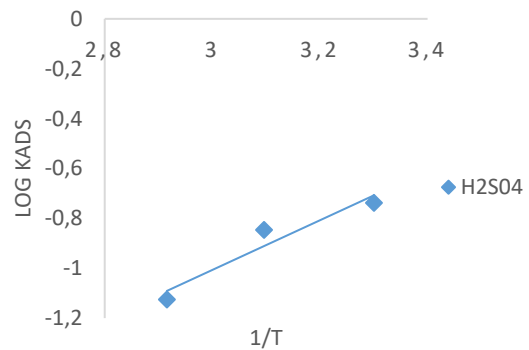


Figure 4. Plot of K_{ads} against $1/T$

Technique 3

Gibbs-Helmholtz Equation [27, 28]

$$\left[\frac{\partial(\Delta G_{ads}/T)}{\partial T}\right]_p = -\frac{\Delta H_{ads}}{T^2} \quad (10)$$

Integrating (10);

$$\int \frac{\partial(\Delta G_{ads})}{T} = -\int \frac{\Delta H_{ads}}{T^2} dT \quad (11)$$

Equation (11) can be gotten from Equation (10) as

$$\frac{\Delta G_{ads}}{T} = \frac{\Delta H_{ads}}{T} + constant \quad (12)$$

The relationship between $\Delta G_{ads}/T$ and $1/T$ gives a straight line with ΔH_{ads} as the slope Figure 5. The free energy of adsorption ΔG_{ads} was computed as done in technique 1 from Equation (6). Then Equation (7) was used to calculate ΔS_{ads} and other thermodynamic parameters as in technique 1 for the all the systems and presented in Table 4.

Technique 4

The heat of adsorption was computed using Van Hoff equation [29-31]:

$$\log K_{ads} = -\frac{\Delta H_{ads}}{2.303RT} + constant \quad (13)$$

Also, Figure 4 denotes the correlation Equation (13) with a straight line slope of ΔH_{ads} in 2.0 M H₂SO₄ solutions. Equations (6) and (7) were used to evaluate ΔG_{ads} and ΔS_{ads} accordingly.

Technique 5

By adding ΔG_{ads} term in Equation (6), the terms in Equation (6) equals that in Equation (7) and a new expression was obtained as shown below

$$K_{ads} = \frac{1}{C_{H_2O}} \exp \left[\frac{\Delta S_{ads}}{T} - \frac{\Delta H_{ads}}{RT} \right] \quad (14)$$

Eq. (14) can be rewritten as;

$$\log K_{ads} = \left[-\log C_{H_2O} + \frac{\Delta S_{ads}}{2.303R} \right] - \frac{\Delta H_{ads}}{2.303RT} \quad (15)$$

Equation (15) is comparable with Eq. (9) except the intercept, where a new term was introduced in the intercept of Equation (15), this is $C_{H_2O} - \log$ [32]. Figure 4 also represents the relation in Equation (15). Although it can be used to compute ΔH_{ads} whereas ΔS_{ads} and ΔG_{ads} can be evaluated from Equations (6 and 7). Hence forward, the negative values of ΔG_{ads} reveals the spontaneous nature of the extracts on the carbon steel surface [33-35]. The occurrence of endothermic process, results in decrease of ΔG_{ads} (becomes more negative) with increasing temperature which favours inhibitor adsorption on the metal surface. Additionally, the heat of adsorption (ΔH_{ads}) provides a useful information on the mechanism of inhibitor adsorption. (ΔH_{ads}) shows positive values for all the range of temperatures studied showing that the corrosion inhibition of carbon steel in 2.0 M H₂SO₄ solutions proceeds by chemical adsorption for the studied inhibitor species on the metal surface [36-38]. The negative ΔS_{ads} values was complemented with decrease in the entropy energy change

which occurs whenever the adsorption process is exothermic [39-41]. The effect of temperature can be clearly established using Arrhenius and transition state equations (Equations 16 and 17) [42-44].

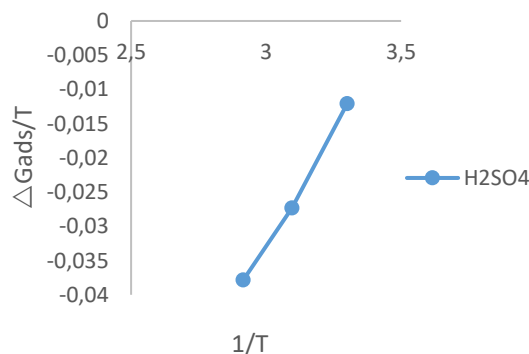


Figure 5. Plot of $\Delta G_{ads}/T$ against $1/T$

$$\log CR = \log A - \frac{E_a}{2.303RT} \quad (16)$$

Where, A is the pre-exponential factor, E_a is the activation energy, R is the universal gas constant, T is the absolute temperature. Figure 6 gives a linear relationship between $\log CR$ versus $1/T$. from which the E_a values were evaluated. The entropy of activation, ΔS° , the enthalpy of activation ΔH° , were obtained using Transition state Equation (17) [42].

$$\log \left(\frac{CR}{T} \right) = \left[\log \left(\frac{R}{Nh} \right) + \left(\frac{\Delta S^*}{2.303R} \right) \right] - \frac{\Delta H^*}{2.303RT} \quad (17)$$

N is the Avogadro number, h is the Planck constant. A plot of $\log (CR/T)$ versus $1/T$ as shown in Figure 7 gives a straight line with a slope of $(-\Delta H^*/2.303 R)$ and an intercept of $\log (R/Nh + \Delta S^\circ/2.303 R)$ from which the values of ΔH^* and ΔS^* were deduced.

The gradual addition of VSFE extract causes increase in activation energy to a value lower than that of the blank solution implying that the action of VSFE extract on carbon steel corrosion in 2.0 M H₂SO₄ solutions was through chemical adsorption. The values of E_a are bigger than the values of ΔH^* indicating that the process involves gaseous reaction which cause reduction in reaction volume. The negative values entropy of activation (ΔS^*) in the absence and presence of inhibitor show that the activated complex in the rate determining step represents an association rather than dissociation, meaning that, a decrease in disordering takes place on going from reactants to the activated complex [43]. The more negative (ΔS^*) is the high the inhibition efficiency.

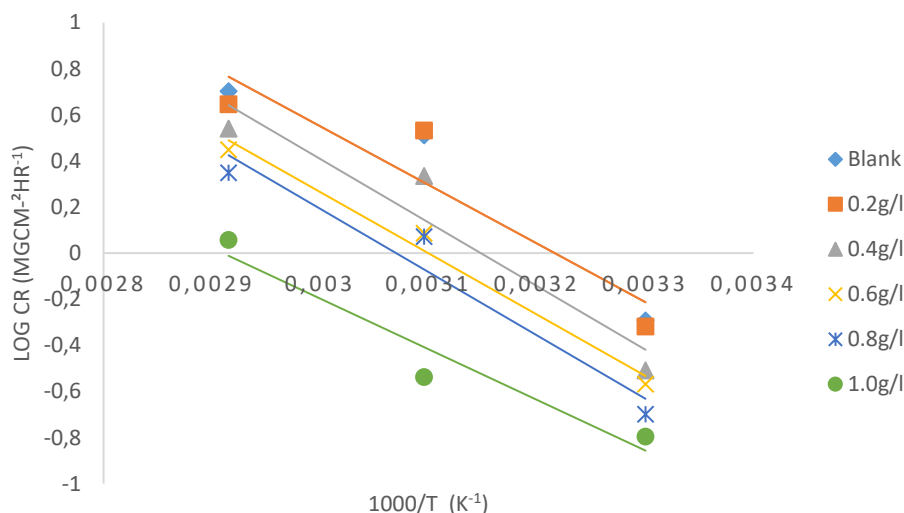


Figure 6. Arrhenius plots of log CR against $1/T$ for carbon steel in H_2SO_4

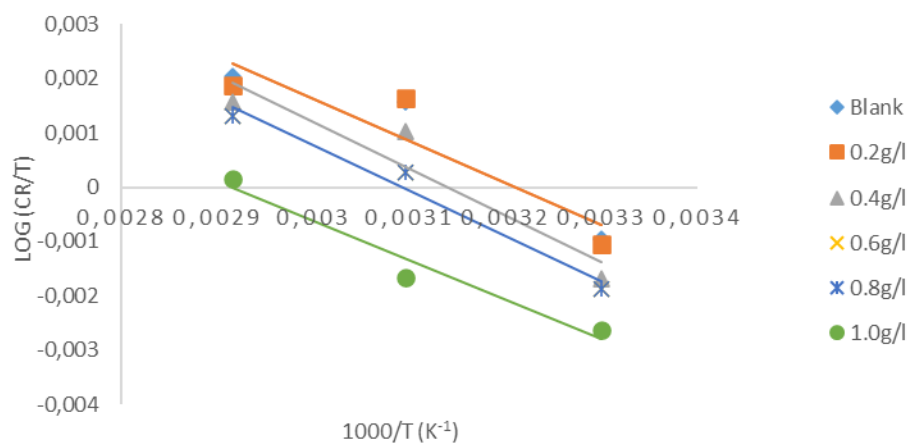


Figure 7. Transition state plot of log CRT against $1/T$ for carbon steel in H_2SO_4

4. Conclusions

The inhibition efficiency of *Vigna subteranea* flower extract in 2.0M H_2SO_4 , increases with increasing extract concentration and solution temperature. The extract inhibits carbon steel corrosion in H_2SO_4 at all inhibitor concentrations and solution temperatures. The retarding action of *Vigna subteranea* flower extract in 2.0M H_2SO_4 , were done by adsorption of the extract species on carbon steel surface. The adsorption process is spontaneous and obeys Langmuir adsorption isotherm in H_2SO_4 at all temperatures studied. Thermodynamic data for both inhibitor adsorption and carbon steel corrosion proposes the existence of chemical adsorption for the inhibitor species on carbon steel from H_2SO_4 solution.

Author Contribution

Data curation - Author Name Surname(NS); Formal analysis - NS; investigation - NS; Experimental Performance - NS; Data Collection - NS; Processing - NS; Literature review - NS; Writing - NS; review and editing - NS.

Declaration of Competing Interest

The authors declare no conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

References

- [1] Loto, R. T. (2016). Electrochemical analysis of the corrosion inhibition properties of 4-hydroxy-3-methoxybenzaldehyde on low carbon steel in dilute acid media. *Cogent Engineering*, 3(1), 242 -107. <http://dx.doi.org/10.1080/23311916.2016.1242107>
- [2] Abdel-Fattah, A. A., Megahed H. E., Ali A. A. and Syam, S. M. (2016). Inhibitive Action of Polymeric Surfactants on the Corrosion of C- steel in 0.5M HCl. *Benha Journal of Applied Sciences*, 1, 176 – 183.
- [3] Qusay Jawad A., Dhafer Zinad S., Rawaa Dawood Salim, Ahmed A Al-Amiery, Tayser Sumer Gaaz, Mohd S. Takri and Abdul Amir Kadhum H. (2019). Synthesis, Characterization, and Corrosion Inhibition Potential of Novel Thiosemicarbazone on Mild Steel in Sulfuric Acid Environment. *Coatings*. 9, DOI: 10.3390/coatings9110729

- [4] Ugi, B. U., Uwah, I. E., and Okafor P. C. (2016). Sulphuric Acid Corrosion of Mild Steel in Leave Extracts of *Cnidioscolus aconitifolius* Plant. *Chemical and Process Engineering Research*, 46, 35-41.
- [5] Pandian B. R., Afidah A. R., Hasnah O, and Khalijah A. (2011). Inhibitive effect of *Xylopia ferruginea* extract on the corrosion of mild steel in 1 M HCL medium. *IJMMM*, 18(4), 413. DOI: 10.1007/s12613-011-0455-4.
- [6] Eiman A., Mohammad R., Ghasem B., Bahram R., Mohammad M., Milad M. (2018). Glycyrrhiza glabra leaves extract as a green corrosion inhibitor for mild steel in 1 M hydrochloric acid solution: Experimental, molecular dynamics, Monte Carlo and quantum mechanics study. *Journal of Molecular Liquids*, 255, 185–198.74
- [7] Ehteram Noor A. (2007) Temperature Effects on the Corrosion Inhibition of Mild Steel in Acidic Solutions by Aqueous Extract of Fenugreek Leaves. *Int. J. Electrochem. Sci.*, 2, 996 – 1017.
- [8] Sachin H.P., Praveen B. M., and Abd Hamid S.B. (2013). Corrosion Inhibition of Zinc by a New Inhibitor in Hydrochloric Acid Medium. *Research Journal of Chemical Sciences*, 3(11), 82-89.
- [9] Emembolu, L. N. (2019). Inhibition of Plant Leaf Extracts on Aluminum and Mild Steel in Acidic and Alkaline Media Using different techniques, PhD, Nnamdi Azikiwe university, Awka.
- [10] Acharya M., Singh Chouhan J., Dixit A. and Gupta D. K. (2013). Green Inhibitors for Prevention of Metal and Alloys Corrosion: An Overview. *Chemistry and Materials Research*, 3(6), 16-24.
- [11] Nkuzinna O.C., Menkiti M.C., Onukwuli O.D., Mbah G.O., Okolo B.I., Egbujor M.C., Government R.M. (2014). Application of factorial design of experiment for Optimization of inhibition effect of acid extract of *Gnetium Africana* on copper corrosion. *Natural resources*, 5, 299- 307.
- [12] Ayman Atta M., Gamal El-Mahdy A., Hamad Al-Lohedan A. and Sami Al-Hussain A. (2014). Corrosion Inhibition of Mild Steel in Acidic Medium by Magnetite Myrrh Nano composite. *Int. J. Electrochem. Sci.*, 9, 8446 – 8457.
- [13] Ejikeme P.M., Umana S.G. and Onukwuli O.D. (2012). Corrosion inhibition of Aluminum by *Treculia africana* leaves extract in acid medium. *Portugaliae Electrochemical Acta*, 30(5), 317 – 328. DOI: 10.4152/pea201205317
- [14] Obot I.B., Obi-Egbedi N.O. (2009) Ginseng Root: A new Efficient and Effective Eco-Friendly Corrosion Inhibitor for Aluminum Alloy of type AA 1060 in Hydrochloric Acid Solution. *Int. J. Electrochem. Sci.*, 4, 1277 – 1288.
- [15] Ating E.I., Umoren S.A., Udousoro I.I., Ebenso E.E., and Udoh A.P. (2010). Leaves extract of *Ananas sativum* as a green corrosion inhibitor for aluminum in hydrochloric acid solutions. *Green chemistry Letters and Reviews*, 3(2), 61-68.
- [16] Khaled K.F. (2010). Electrochemical investigation and modeling of corrosion inhibition of aluminum in molar nitric acid using some sulphur-containing amines. *Corrosion Science*, 52, 2905–2916.
- [17] Khaled K.F. and Al-Mobarak N.A. (2012). A Predictive model for corrosion inhibition of mild steel by Thiophene and its derivatives using artificial neural network. *Int. J. Electrochem.*, 7, 1045-1059.
- [18] Emembolu L. N. and Igboke P.K. (2020a). Inhibition capability of *Dennettia tripetala* leaves extract on low carbon steel in 4 M HCL solutions. *Journal of basic and applied research international*, 26(1), 23-35.
- [19] Chetouani A., Hammouti B. and Benkaddour M. (2004). Corrosion inhibition of iron in hydrochloric acid solution by jojoba oil. *Pigment & Resin Technology*, 33(1), 26–31. DOI 10.1108/03699420410512077
- [20] Bothi Raja P., Kaleem Qureshi A., Abdul Rahim A., Osman Khalijah Awang H. (2013). Neolamarckia cadamba alkaloids as eco-friendly corrosion inhibitors for mild steel in 1 M HCl media. *Corrosion Science*, 69, 292–301.
- [21] Oguzie E.E., Enenebeaku C.K., Akalezi C.O., Okoro S.C., Ayuk A.A., Ejike E.N. (2010) Adsorption and corrosion-inhibiting effect of *Dacryodis edulis* extract on low-carbon steel corrosion in acidic media. *Journal of Colloid and Interface Science*, 349, 283–292.
- [22] Emembolu L. N., Onukwuli O. D., Okafor V. N. (2020). Characterization and Optimization study of *Epiphyllum oxypetalum* extract as corrosion inhibitor for mild steel in 3 M H₂SO₄ solutions. *World Scientific News*, 145, 256-273.
- [23] Onukwuli O.D., Anadebe V.C. and Okafor C. S. (2020), Optimum prediction for inhibition efficiency of *Sapium ellipticum* leaf extract as corrosion inhibitor of aluminum alloy (aa3003) in hydrochloric acid solution using electrochemical impedance spectroscopy and response surface, methodology, *Bull. Chem. Soc. Ethiop.*, 34(1), 175-191. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/bcse.v34i1.17>
- [24] Mourya P., Sitashree Banerjee, Singh M.M. (2014). Corrosion inhibition of mild steel in acidic solution by *Tagetes erecta* (Marigold flower) extract as a green inhibitor. *Corrosion Science*, 85, 352–363.
- [25] Uwah I.E., Okafor P.C., Ebiekpe V.E. (2013). Inhibitive action of ethanol extracts from *Nauclea latifolia* on the corrosion of mild steel in H₂SO₄ solutions and their adsorption characteristics. *Arabian Journal of Chemistry*, 6, 285–293.
- [26] Subhadra G., Saraswati G., Jaisankar P., Singh J.K., Elango A. (2012). A comprehensive study on crude methanolic extract of *Artemisia pollens* (Asteraceae) and its active component as effective corrosion inhibitors of mild steel in acid solution. *Corrosion Science*, 60, 193–204.
- [27] Joseph Ezeugo N.O. (2018). Optimization of corrosion inhibition of *Picralima nitida* seed extracts as a green corrosion inhibitor for zinc in 0.5 M H₂SO₄. *International Journal of Chemical Studies*, 6(4), 2080-2088.

- [28] Al-Otaibi M.S., Al-Mayouf A.M., Khan M., Mousa A.A., Al-Mazroa S.A., Alkathlan H.Z. (2014). Corrosion inhibitory action of some plant extracts on the corrosion of mild steel in acidic media. *Arabian Journal of Chemistry*, 7, 340–346.
- [29] Arukalam I.O., Madufor I. C. and Ogbobe O., Oguzie E. E. (2014). Hydroxyl propyl methylcellulose as a polymeric corrosion inhibitor for aluminum. *Pigment & Resin Technology*, 43(3), 151–158.
- [30] Emembolu L. N., Oba, S. N., Umembamalu C. J. (2022), Determination of Temperature Effects on Inhibition of Carbon Steel in Acid Media by flower Extracts. *In Faculty of Engineering International Conference on Waste in green Economy for Sustainable Industrial Development* (pp. 106 – 116), Unizik, Awka.
- [31] Aoufir Y., Sebhaoui El J., Lgaz H., El Bakri Y., Zarrouk A., Bentiss F., Guenbour A., Essassi E.M., Oudda H. (2017). Corrosion inhibition of carbon steel in 1M HCl by 1,5-benzodiazepine derivative: *Experimental and molecular modeling studies*. JMES, 8(6), 2161-2173.
- [32] Uchegbu R. I., Ngozi – Olehi L. C., Mbadiugha C. N., Ahuchogu A. A. and Ogbuagu O. E. (2015). Phytochemical evaluation by GC-MS analysis of the seeds of *mucuna flagellipes* extract. *Journal of Natural Sciences Research*, 5(12),
- [33] Olorunmaiye K.S, Apeh L.E., Madandola H.A, Oguntoye M.O. (2019). Proximate and Phytochemical Composition of African Mahogany (*Azelaia africana*) seed and African mesquite (*Prosopis africana*) pod. *J. Appl. Sci. Environ. Manage.*, 23(2), 249–252.
- [34] Ali A., Falih S., Yousif N., Rezgar R., Kamal I. (2017). Modeling and Optimization of Structural Steel Corrosion Inhibition using Barely Grass Extract as Green Inhibitor. *American Journal of Environmental Engineering*, 7(4), 73-81. DOI: 10.5923/j.ajee.20170704.01
- [35] Ihebrodike M.M., Nwandu M.C., Okeoma K.B., Nnanna L.A., Chidiebere M.A., Eze F.C., & Oguzie, E.E. (2017). Experimental and theoretical assessment of the inhibiting action of *Aspilia africana* extract on corrosion of Aluminum alloy AA 3003 in hydrochloric acid. *J. Mat. Sci.*, 47, 2559-2572. DOI 10.1007/s10853-011-6079-2.S
- [36] Aprael Yaro S., Anees Khadom A. & Rafal Wael K. (2013). Apricot juice as green corrosion inhibitor of mild steel in phosphoric acid. *Alexandria Engineering Journal*, 52, 129-135.
- [37] Tsoeunyane M. G., Makhatha M. E., and Arotiba O. A. (2019). Corrosion Inhibition of Mild Steel by Poly (butylene succinate)-L-histidine Extended with 1, 6-diisocynatohexane Polymer Composite in 1 M HCl. *International Journal of Corrosion*, Article ID 7406409, <https://doi.org/10.1155/2019/7406409>.
- [38] Eddy N.O. & Ebenso E.E. (2008). Adsorption and inhibitive properties and of ethanol extract of *Musa Sapientum* peels as a green corrosion inhibitor for mild steel in H₂SO₄. *Afri. J. Appl. Chem*, 2(6), 1 –9.
- [39] Abel Negm A., Nadia Kandle G., Emad A., Badr, A. (2012). Mohammed Mohammed, Gravimetric and electrochemical evaluation of environmentally friendly nonionic corrosion inhibitors for carbon steel in 1 M HCl. *Corrosion science*, 65, 94-103.
- [40] Iroha N. B., Nnanna L. A. (2019). Electrochemical and Adsorption Study of the anticorrosion behavior of Cefepime on Pipeline steel surface in acidic Solution. *J. Mater. Environ. Sci.*, 10(10), 898-908.
- [41] Emembolu L. N. and Onukwuli O. D. (2019). Effect of *Dialium guineense* extracts on the corrosion inhibition of aluminum in alkaline solutions. *J. Mater. Environ. Sci.*, 10(6). 495-509.
- [42] Mobin M., Rizvi M., Olasunkanmi L. O., and Ebenso E. E. (2017). Biopolymer from Tragacanth Gum as a Green Corrosion Inhibitor for Carbon Steel in 1 M HCl Solution. *ACS Omega*. 2, 3997–4008. DOI: 10.1021/acsomega.7b00436
- [43] Wang X., Jiang H., Zhang D., Li Hou, Zhou W., (2019), Solanum lasiocarpum L. Extract as Green Corrosion Inhibitor for A3 Steel in 1 M HCl Solution, *Int. J. Electrochem. Sci.* 14: 1178 – 1196, DOI: 10.20964/2019.02.06.

Research Article

Experimental Study on the Energy Absorption Behavior of Syntactic Foam-Filled Thin-Walled Tubes

Kenan Cinar^{1, a, *} 

¹Department of Mechanical Engineering, Corlu Engineering Faculty, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, Turkey, 59860

^a kcinar@nku.edu.tr

Received: 08.06.2022

Accepted: 04.07.2022

DOI: 10.55581/ejeas.1127903

Abstract: Thin-walled profiles with different core structures have been utilized to obtain lightweight energy absorbers. In this paper, syntactic foams introduced aluminum tubes. Syntactic foams are composed of epoxy resin and expanded glass granules. The energy absorption behavior of empty tubes and syntactic foam-filled tubes are studied through quasi-static axial compression tests. The effects of the interaction between the tube and the foam on the deformation mode are analyzed in the aspect of several parameters such as specific energy absorption, energy absorption effectiveness, initial peak load, and average load. It is found that the addition of syntactic foam to the aluminum tube increases the specific absorbed energy by 42 %.

Keywords: Aluminum tube, Crashworthiness, Expanded glass, Syntactic foam

Boşluklu Köpük Dolgulu İnce Duvarlı Tüplerin Enerji Absorpsiyon Davranışı Üzerine Deneysel Çalışma

Öz: Hafif enerji emiciler elde etmek için farklı çekirdek yapılarına sahip ince cidarlı profiller değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, boşluklu köpükler alüminyum tüplere doldurulmuştur. Boşluklu köpükler, epoksi reçine ve geliştirilmiş camdan oluşturulmuştur. Boş tüplerin ve boşluklu köpük dolgulu tüplerin enerji absorpsiyon davranışı, statik eksenel sıkıştırma testi ile araştırılmıştır. Tüp ve köpük arasındaki etkileşim ve bunun deformasyon modu üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Spesifik enerji absorpsiyonu, enerji absorpsiyon etkinliği, ilk tepe yük, ortalama yük gibi çeşitli parametreler karşılaştırılmıştır. Geliştirilen boşluklu köpüğün alüminyum boruya ilavesi spesifik enerji absorpsiyonunda %42 iyileştirme sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum boru, Boşluklu köpük, Çarpışmaya Dayanıklılık, Genleştirilmiş cam

1. Introduction

Energy absorption is a significant phenomenon for saving the life of passengers during crashes. Kinetic energy during a crash should be dissipated via plastic deformation, fracture, friction, etc. In this regard, thin-walled structures like tubes are commonly used to absorb energy [1].

To improve the energy absorption capacity of thin-walled structures, different kinds of foam such as metallic foams [2-12], polymeric foams [13-17], syntactic foams [18-22], and aluminum honeycombs [23, 24] are introduced to the thin-

walled structures without meaningful increase in total weight. In addition to foam filling, the interaction between the foam and the tube wall has a positive effect to improve the energy absorption capacity. Total energy absorption capacity is greater than the sum of the energy absorption capacities of the tube and the foam alone due to the interaction effect [13, 17]. Yalcin and Genel [13] considered two polymeric foam-filled Aluminum tube specimen configurations including uniform and radially-graded density foam to show the interaction effect. The axial crushing test results revealed that radially-graded foam filling improves the energy absorption capacity

* Corresponding author
E-mail address: kcinar@nku.edu.tr (K. Cınar)

due to the squeezed foam between inward parts of the folds. Toksoy and Guden [17] noted the same phenomenon and pointed out that the deformation of the filler between folds exceeds the plateau stress of the foam.

To dissipate more kinetic energy by expanding the plastic deformation zone without losing weight efficiency, tubes filled with honeycomb structures [23, 24]. Zhang et al. [24] used six different honeycomb structures between two circular tubes. It was shown that the kagome core gave the best energy absorption. Zarei and Kröger [23] used a multi-design optimization technique to maximize the energy absorption capacity with less weight for the honeycomb core tubes. It was found that the same energy as that of the empty tube has been absorbed by the filled tube with a 14% reduction in weight.

To improve the energy absorption capacity and specific energy absorption (SEA) different aluminum foam cores were considered [2, 3, 10, 11, 20, 21]. Song et al. [2] used bio-inspired foam cores in aluminum and carbon-reinforced polymer tubes. Holes were introduced to the foams inspired by cornstalk. Dynamic and quasi-static tests were conducted. According to test results, specimens with holes improved the SEA values as compared to filled tubes. A similar study was performed by Li et al. [21]. They also used double circular and square tubes including aluminum foam. Dimensions of the inner tube were found to have a significant effect on the structural crashworthiness. The ex-situ ordered aluminum cellular structure is used as a foam material in the study of Wang et al. [10]. Altin et al. [3] investigated the effect of foam fill ratio on the energy absorption performance of the aluminum foam-filled circular tubes. Alumina hollow spheres were dispersed inside the aluminum to obtain syntactic foam, and thin-walled aluminum tubes were prepared by inserting these foams into empty tubes [20]. During axial compression, foam-filled tubes were deformed by concertina mode, which was different from the diamond mode of tubes and the brittle deformation characteristic of the foam. Interaction between foam and the tube increased with deformation, and syntactic foam-filled one gave higher SEA values.

Axially [8, 12, 15] and radially [13] graded foams were also evaluated to explore interaction effect and thus energy absorption capacity. It was found that functionally graded foam-filled tubes enhance the SEA more than the uniform-filled tubes [8, 12, 15]. This effect can be explained by the rising in the plateau stress of the functionally graded foams, which comes from the higher plastic energy damping in layers of graded structures [12]. Cui et al. [15] proposed a functionally graded foam model, including density gradient functions such as logarithmic, square root, linear, quadratic, and cubic through-thickness direction. It was shown that convex gradients perform better than concave gradients in terms of SEA, the performance of these foams can be enhanced by increasing the density difference.

To develop lightweight energy-absorbing structures, aluminum tubes were filled with syntactic epoxy foams [22]. Higuchi et al. [22] used acrylonitrile copolymer micro-balloons with epoxy resin to fill the aluminum tubes. According to the static and dynamic test results, the structure developed led to higher energy absorption capacity. Zhang et al. [18] developed low-cost syntactic foams using fly ash

cenospheres in the rigid polyurethane foams. It is found that when the relative density is below 0.29 the cenosphere size marginally affects the compression response.

In the light of previous studies such as [23], circular tubes outperformed as compared to the square and rectangular tubes concerning energy absorption capacity. Thus, circular aluminum tubes were considered in the study. The expanded glasses were introduced to the epoxy matrix as a core material. Aluminum tubes were filled with the developed syntactic foam.

2. Materials and Manufacturing

Syntactic epoxy foams are composed of expanded glass particles and an epoxy binder. Expanded glasses are a white inorganic material made from recycled glass, in the form of small porous spheres [25]. Thanks to its porous structure, it can be used to manufacture lightweight syntactic foam cores. Epoxy resin system MGS R285/H285 was preferred as the matrix material for binding expanded glasses. The properties and the sizes of the expanded glasses and epoxy resin are given in Table 1. Syntactic foam samples were manufactured through mechanical mixing. Firstly, resin and its hardener are mixed at a ratio of 100/40 by weight for five minutes. The expanded glasses were added to the mixture of resin system and mixed gently until ensuring homogeneity. A conventional turning machine was used to prepare samples to their final dimensions after demolding. The samples included expanded glasses with a mass fraction of 56%. The foam material had an 18 mm outer diameter and 25 mm height. The aluminum tube had a 20 mm outer diameter, 1 mm thickness, and 25 mm height. The mechanical properties of the aluminum material (6060-T6) are given in Table 2. Three samples were produced for each configuration. Samples manufactured are shown in Figure 1 with their designations. SF, BT, and FFT correspond to syntactic foam, base tube, and foam-filled tube, respectively.



Figure 1. Samples manufactured

3. Results and Discussions

Figure 2 shows the load-displacement curves and crushing behavior of the base tube, the syntactic foam, and the foam-filled tube under the quasi-static compression test. The total compression displacement was 20 mm but the values considered were up to the compaction region. There are three stages in the curves for all samples; linear region, plateau region, and densification (compaction) region. The images were captured at the beginning of the initial failure (a, d, g), at the plateau region (b, e, h), and around 16 mm (c, f, i). Buckling of the tube wall initiated the deformation of the base

tube (d). The collapse mode of the base tube was diamond mode (non-symmetrical deformation), which related to diameter over thickness ratio.

Table 1 Mechanical and physical properties of the resin system and the expanded glass.

Cured resin (MGS R285/H285) [26]	
Properties	Values
Tensile strength, (MPa)	70-80
Compressive strength (MPa)	120–140
Elastic modulus, (GPa)	3.2
Poisson's ratio	0.36
Shear modulus (GPa)	1.18
Density (g/cm ³)	1.20
Expanded glass [25]	
Density (kg/m ³)	230
Crush strength (MPa)	1.5-2.5
Particle size (mm)	1-2

Table 2 Mechanical and physical properties of the aluminum tube material.

Properties	Values
Yield strength, (MPa)	195
Tensile strength, (MPa)	230
Elastic modulus, (GPa)	69
Poisson's ratio	0.33
Percent elongation at break%	12

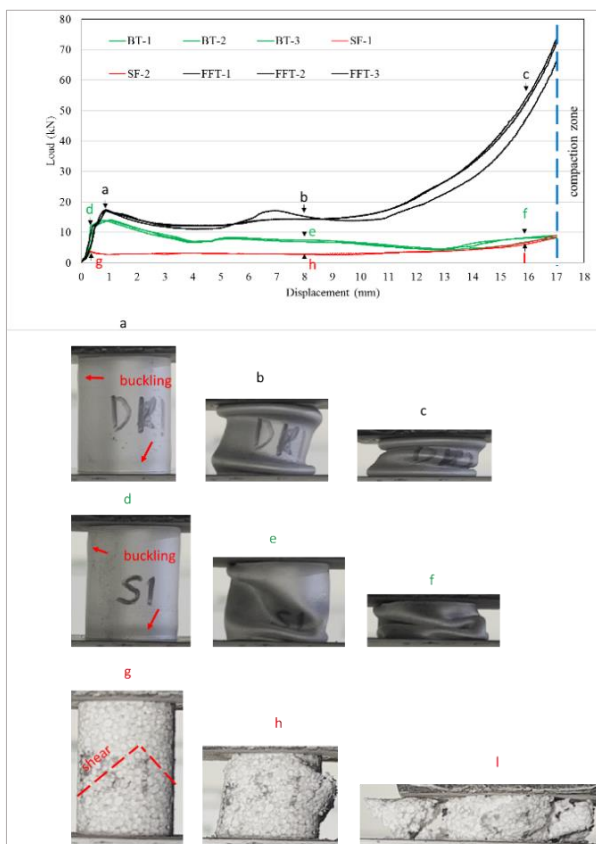


Figure 2. Load-displacement curves under a compression test

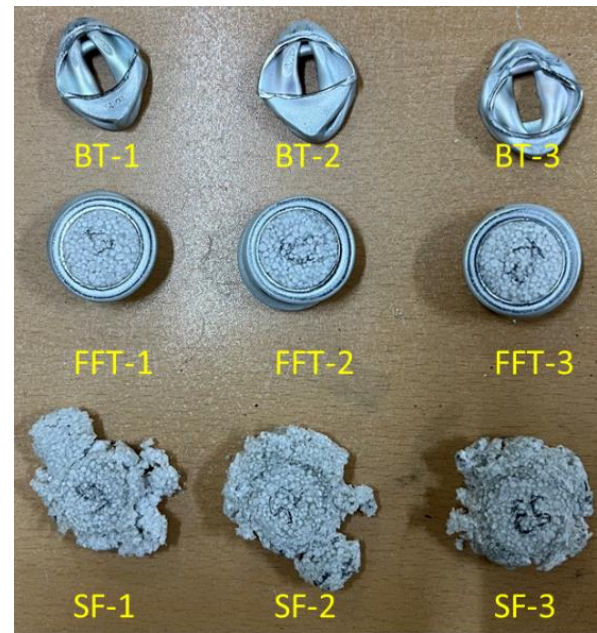


Figure 3. The top view of the samples after the tests

The collapse mode of the diamond changed to ring/concertina mode (b, c) as the syntactic foam was introduced to the base tube as shown in Figure 2. Shear deformation is the failure initiation in the syntactic foams (g). Then the collapse continues with the separation of material from the sample (h, l). The collapse modes can be seen in Figure 3, which is captured after tests from the top view. Diamond mode for base tube, ring mode for foam-filled tube, and material separation can be also seen in Figure 3. Tube confined the foam material to prevent separation in foam-filled tube configuration. The initial peak load value of FFT samples was higher than the base tube but the difference between the initial peak load value and the average plateau load is lower than the base tube, which is preferable.

To show the interaction effect between the foam and the base material, the sum of load values of the base tube and the syntactic foam was compared to the foam-filled tube. There was a difference in the energy absorption capacity between the foam-filled tube, and the sum of the base tube and syntactic foam, which is shown in Figure 4 in yellow color.

The foam-filled tube had a higher energy absorption capacity (EAC) than the sum of the base tube and the syntactic foam, which is an indication of the interaction effect between the tube wall and the foam. The yellow region starts from compression of 3 mm. Up to 3 mm, the crushing of expanded glasses occurs, after that point expansion of the foam constraint by the tube wall and absorbed energy increases. It should be noted that the load value exceeds the initial peak value for FFT samples after 11 mm. Most of the absorbed energy occurred after this compression value.

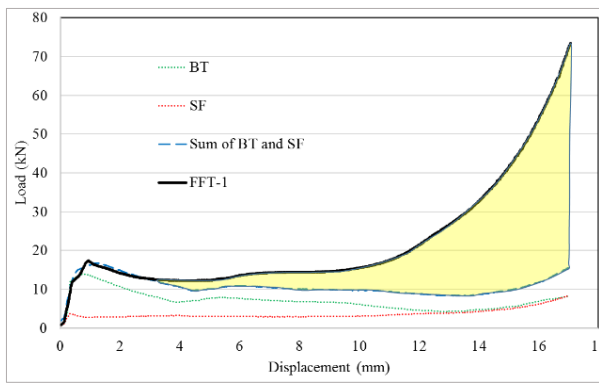


Figure 4. Interaction effect between foam material and the tube wall

To observe the shape of the deformation, samples were cut and polished. Micrographs were captured from the cross-section of the samples, as shown in Figure 5. The microvoids inside the expanded glasses and macro voids between the expanded glasses can be seen in Figure 1a, which was captured before testing. Micrographs captured after testing show that spheres were crushed and elongated. It is also observed that foam material is confined in fold clearance (Figure 5b). There was bulging at the top of the samples after unloading due to elastic recovery of the epoxy material.

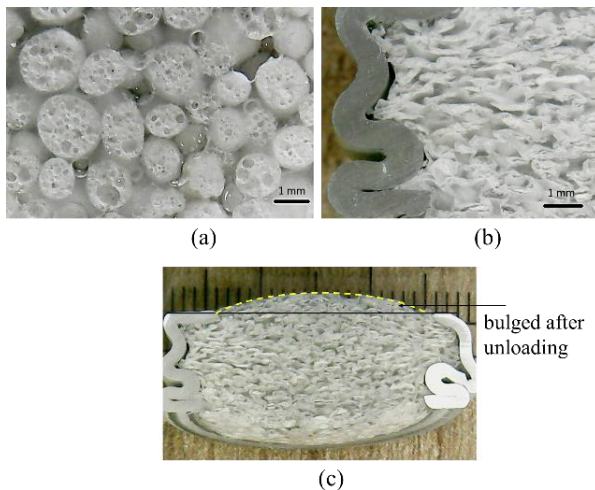


Figure 5. Micrograph views of the samples (a) before the compression test, (b) after the compression test, and (c) elastic recovery

Figure 6 shows specific absorbed energy and absorbed energy values. The addition of syntactic foam in the aluminium tube enhanced the specific absorbed energy (SAE) by 42 % and absorbed energy (AE) by 188 %.

4. Conclusion

To improve the energy absorption capacity and specific energy absorption a syntactic foam was developed using an epoxy resin system and expanded glasses. The samples produced included expanded glasses of 56% mass fraction. There was a difference in the energy absorption capacity between the foam-filled tube and the sum of the base tube and the syntactic foam.

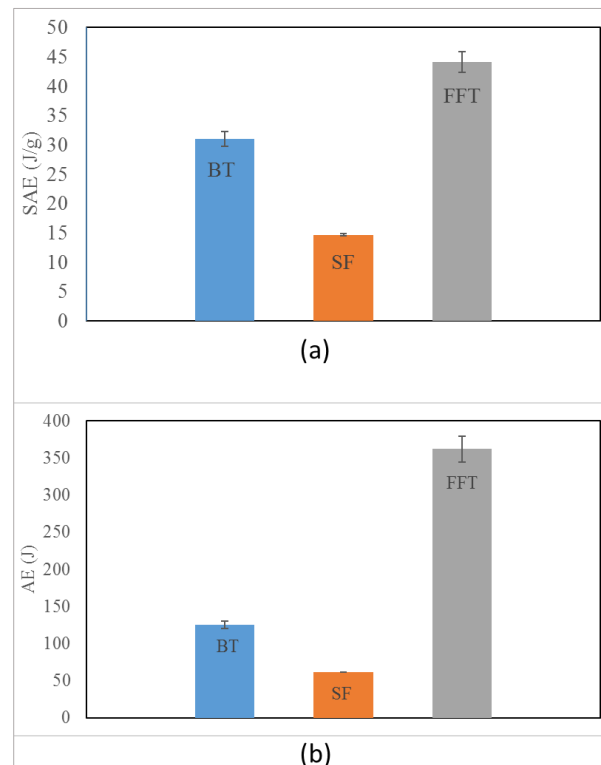


Figure 6. Comparison of (a) specific absorbed energy and (b) absorbed energy

The foam-filled tube had a higher energy absorption capacity (EAC) than the sum of the base tube and the syntactic foam, which is an indication of the interaction effect between the tube wall and the foam. Tube confined the foam material to prevent separation in foam-filled tube configuration. As a result, the addition of the syntactic foam to the aluminium tube enhanced the specific absorbed energy by 42 %.

Author Contribution

Data curation – Kenan Çinar (KÇ); Formal analysis - KÇ; investigation - KÇ; Experimental Performance - KÇ; Data Collection - KÇ; Processing - KÇ; Literature review - KÇ; Writing - KÇ; review and editing - KÇ.

Declaration of Competing Interest

The authors declared no conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

References

- [1] Xu, F., Zhang, X., & Zhang, H. (2018). A review on functionally graded structures and materials for energy absorption. *Engineering structures*, 171, 309–325.
- [2] Song, J., Xu, S., Xu, L., Zhou, J., & Zou, M. (2020). Experimental study on the crashworthiness of bio-inspired aluminum foam-filled tubes under axial compression loading. *Thin-walled structures*, 155, 106937.
- [3] Altin, M., Güler, M. A., & Mert, S.K. (2017). The effect of percent foam fill ratio on the energy absorption capacity of axially compressed thin-walled multi-cell square and circular tubes. *International journal of mechanical sciences*, 131–132, 368–379.

- [4] An, X., Gao, Y., Fang, J., Sun, G., & Li, Q. (2015). Crashworthiness design for foam-filled thin-walled structures with functionally lateral graded thickness sheets. *Thin-walled structures*, 91, 63–71.
- [5] Yin, H., Wen, G., Liu, Z., & Qing, Q. (2014). Crashworthiness optimization design for foam-filled multi-cell thin-walled structures. *Thin-walled structures*, 75, 8–17.
- [6] Kılıçaslan, C. (2015). Numerical crushing analysis of aluminum foam-filled corrugated single- and double-circular tubes subjected to axial impact loading. *Thin-walled structures*, 96, 82–94.
- [7] Hou, S., Li, Q., Long, S., Yang, X., & Li, W. (2009). Crashworthiness design for foam filled thin-wall structures. *Materials and design*, 30, 2024–2032.
- [8] Li, G., Zhang, Z., Sun, G., Xu, F., & Huang, X. (2014). Crushing analysis and multi objective optimization for functionally graded foam-filled tubes under multiple load cases. *International journal of mechanical sciences*, 89, 439–452.
- [9] Lia, Z., Chen, R., & Lu, F. (2018). Comparative analysis of crashworthiness of empty and foam-filled thin walled tubes *Thin-walled structures*, 124, 343–349.
- [10] Wang, H., Su, M., & Hao, H. (2020). The quasi-static axial compressive properties and energy absorption behavior of ex-situ ordered aluminum cellular structure filled tubes. *Composite structures*, 239 112039
- [11] Sun, G., Wang, Z., Yu, H., Gong, Z., & Li, Q. (2019). Experimental and numerical investigation into the crashworthiness of metal foam- composite hybrid structures. *Composite structures*, 209, 535-547.
- [12] Mohammadiha, O., & Ghariblu, H. (2016). Crush behavior optimization of multi-tubes filled by functionally graded foam. *Thin-walled structures*, 98, 627–639.
- [13] Yalçın, M. M., & Genel, K. (2019). On the axial deformation characteristic of PVC foam-filled circular aluminium tube: Effect of radially-graded foam filling. *Thin-walled structures*, 144, 106335.
- [14] Ali Ghamarian, A., Zarei, H.R., & Abadi, M.T. (2011). Experimental and numerical crash worthiness investigation of empty and foam-filled end-capped conical tubes. *Thin-walled structures*, 49, 1312–1319.
- [15] Cui, L., Kiernan, S., & Gilchrist, M. D. (2009). Designing the energy absorption capacity of functionally graded foam materials. *Materials science and engineering a*, 507, 215–225.
- [16] Zarei, H.R., & Ghamarian, A. (2014). Experimental and numerical crashworthiness investigation of empty and foam-filled thin-walled tubes with shallow spherical caps. *Experimental mechanics*, 54, 115–126.
- [17] Toksoy, A. K., & Güden, M. (2005). The strengthening effect of polystyrene foam filling in aluminum thin-walled cylindrical tubes. *Thin-walled structures*, 43, 333–350.
- [18] Zhang, B., Fan, Z., Hu, S., Shen, Z., & Ma, H. (2019). Mechanical response of the fly ash cenospheres/polyurethane syntactic foams fabricated through infiltration process. *Construction and building materials*, 206, 552–559.
- [19] Meng, J., Liu, T. W., Wang, H. Y., Dai, & L. H. (2021). Ultra-high energy absorption high-entropy alloy syntactic foam. *Composites Part B*, 207, 108563.
- [20] Su, M., Wang, H., & Hao H. (2019). Axial and radial compressive properties of alumina-aluminum matrix syntactic foam filled thin-walled tubes. *Composite structures*, 226, 111197.
- [21] Wang, L., Zhang, B., Zhang, J., Jiang, Y., Wang, W., & Wu, G. (2021). Deformation and energy absorption properties of cenosphere-aluminum syntactic foam-filled tubes under axial compression. *Thin-walled structures*, 160, 107364.
- [22] Higuchi, M., Saka, T., Fujimoto, K., & Adachi, T. (2012). Energy absorption of thin-walled circular tube filled with syntactic epoxy foam subjected to axial compression. *Journal of jsem*, 12, 133-138.
- [23] Zarei, H., & Kröger, M. (2008). Optimum honeycomb filled crash absorber design. *Materials and design*, 29, 193–204.
- [24] Zhang, Z., Liu, S., & Tang, Z. (2011). Comparisons of honeycomb sandwich and foam-filled cylindrical columns under axial crushing loads. *Thin-walled structures*, 49(9), 1071-1079.
- [25] STIKLOPORAS, expanded glass technical data sheet, (2017).
- [26] HEXION® Specialty Chemicals, Laminating Resin MGS® L 285 Hardeners MGS® 285-287 Technical data sheet.

Derleme Makalesi

Su Kaynakları ve Sedimentlerde Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların (PAH) Kaynakları ve Toksik Etkileri

Elçin GÜNEŞ^{1, a}, Gül KAYKIOĞLU^{1, b}, Asude HANEDAR^{1, c}, Yalçın GÜNEŞ^{1, d, *}

¹Çevre Mühendisliği Bölümü, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye, 59860
^aegunes@nku.edu.tr, ^bgkaykioglu@nki.edu.tr, ^cahanedar@nku.edu.tr, ^dygunes@nku.edu.tr

Geliş: 17.06.2022

Kabul: 05.07.2022

DOI:10.55581/ejeas.1132393

Öz: PAH'lar, iki veya daha fazla aromatik halkayı bünyesinde bulunduran, yarı uçucu organik bileşiklerdir. Su ortamlarında PAH konsantrasyonları ve etkileri son yıllarda üzerinde önemle durulan konuların başında gelmektedir. Sedimentler, su ortamındaki en önemli PAH rezervuarlarından. Bu nedenle sedimentler, sucul ekosistemlerinin su kalitesinin kirliliklerinin değerlendirmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. PAH'lar organik bileşiklerin tam yanmamasından dolayı oluşmakta ve çeşitli kaynaklardan alıcı ortamlara ulaşabilmektedirler. PAH'lar çevre ve insan sağlığı açısından zararlı etkilere sahiptir ve endüstriyel gelişme ile doğal ortamlardaki PAH konsantrasyonlarında önemli artışlar olmuştur. Sanayi-yoğun havzalarda kentleşme ve endüstrileşmeden dolayı PAH miktarlarının yüksek olması beklenmektedir. Amerikan Çevre Koruma Ajansı (USEPA) tarafından belirlenen 16 öncelikli PAH türünün su kaynaklarında ve sedimentlerde izlenmesi, PAH'ların su ve sedimentlerdeki konsantrasyonlarının belirlenmesi ve PAH-toksosite ilişkisini ortaya konması açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada literatürdeki çalışmalar derlenerek dünyada bu konuda yapılmış çalışmaların sonuçları ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Çevresel etki, polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH'lar), sediment, toksisite.

Sources and Toxicity Effects of Polyaromatic Hydrocarbons (PAH) in Water Resources and Sediments

Abstract: PAHs are semi-volatile organic compounds containing two or more aromatic rings. PAH concentrations and their effects on aquatic environments are among the issues that have been emphasized in recent years. Sediments are one of the most important PAH reservoirs in the aquatic environment. Therefore, sediments are frequently used in the evaluation of water quality pollution of aquatic ecosystems. PAHs can reach receiving environments from various sources and are formed due to incomplete combustion of organic compounds. PAHs have harmful effects on the environment and human health and with industrial development, there have been significant increases in PAH concentrations in the natural environment. Due to the intense urbanization and industrialization in industrial-dense basins, PAH amounts are expected to be high. The monitoring of 16 priority PAH species determined by the USEPA in water resources and sediments, and the determination of the concentrations of PAHs in water and sediments are very important in terms of revealing the PAH-toxicity relationship. In this study, the studies in the literature are compiled and the results of the studies conducted in the world on this subject are revealed.

Keywords: Environmental effect, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), sediment, toxicity.

1. Giriş

Günümüzde hızla gelişen sanayileşme insan yaşamını kolaylaştırmakla birlikte birçok çevre sorununu da ortaya

çıkarmıştır. Çevre kirliliğine neden olan diğer önemli etkenler insan nüfusundaki ve şehirleşme oranındaki hızlı artıştır. Çevrenin kirlenmesi canlı yaşamının devam etmesi için

* Sorumlu yazar

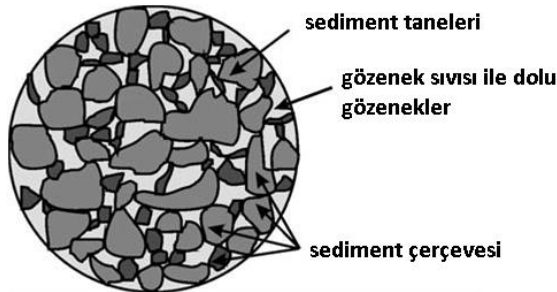
E-mail adresi: ygunes@nku.edu.tr (Y. Güneş)

gerekli olan hava, su ve toprak kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir [1]. Çoğu kirletici bu ortamlarda yıllarca veya on yıllarca varlığını sürdürmektedir. Su ortamı açısından bunun en önemli nedeni kirleticilerin su ortamında çok yavaş bozunması veya hiç bozunmadan kalmasıdır [2].

Evsel ve endüstriyel atık suların arıtılmadan/yetersiz arıtılarak ve katı atıkların düzensiz olarak alıcı ortamlara bırakılması ve bilinçsiz zirai ilaçlama ve gübreleme sonucu yeraltı suları ve yüzeysel sular kirlenmektedir. Arıtılmamış/yetersiz arıtılmış atıksuların alıcı ortama verilmesi ile kirlenen sular hem sucul dengeyi bozmakta hem de daha sonra sulama suyu olarak kullanıldığında sudaki kirleticiler toprağa ve bitki örtüsüne zararlar vermektedir. Buna bağlı olarak hem su kaynakları kirlenip tükenmekte hem de canlı yaşamı tehlike altına girmektedir [3].

Su ortamındaki kirleticilerin bir kısmı partiküler organik maddelerden oluşmaktadır. Partiküler kirleticiler; evsel atıklar, hayvan atıkları, tarımsal atıklar, gıda endüstrisi atıkları, kağıt endüstrisi atıkları, mezbaaha atıkları gibi faaliyetler sonucu oluşmaktadır. Sulara karışan bu kirleticiler suyun dibinde toplanmakta ve sedimentasyon olayı gerçekleşmektedir [4].

Sediment taneleri arasındaki boşluklar gözenek boşluğunu oluşturur (Şekil 1). Suya doymuş çökeltilerde bu boşluklar gözenek suyu ile doludur [5]. Sediment içindeki organik kirleticiler tipik olarak ince sediment partiküllerine adsorbe olur ve sediment partikülleri arasındaki gözenek suyunda bulunur. Sediment ile gözenek suyu arasındaki kirletici maddelerin nispi oranı, kirletici maddenin tipine ve sediment ile suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır [2].



Şekil 1. Sedimentlerin bileşenleri

PAH'lar, iki veya daha fazla aromatik halkayı bünyesinde barındıran, yarı uçucu organik bileşiklerdir. Yarı uçucu olma özellikleri, bu bileşiklerin hava, toprak ve su kütlelerinde birikim ve yeniden buharlaşma ile sürekli yer değiştirmelerine neden olur [6]. Sedimentler, su ortamındaki en önemli PAH rezervuarlarıdır. Bu nedenle sedimentler, sucul ekosistemlerinin kirliliklerinin değerlendirmesinde sıklıkla kullanılmakta ve nehir, dere, göl ve kıyı sistemleri gibi bölgelerde PAH girdilerinin izlenmesi için yararlı bir araç olmaktadır. Bu tip sistemlerde sedimentlerde PAH birikimi hem insan kaynaklı hem de doğal emisyonlardan kaynaklanmaktadır [7].

Bu çalışmada öncelikle çevresel ortamlarda bulunan PAH'ların kaynakları ve çevresel etkileri konusuna değinilmiştir. Daha sonra su kaynaklarındaki ve alıcı ortamlardaki sedimentlerde bulunan PAH'ların

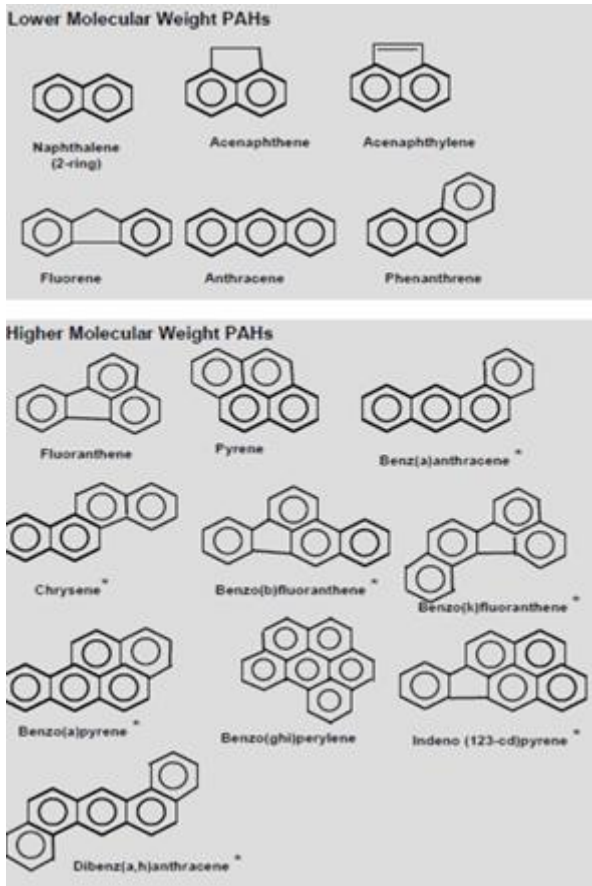
konsantrasyonu ile suda yaşayan organizmalara zehirlilik etkisinin ilişkisinin belirlendiği çalışmalar özetlenmiştir.

2. PAH'ların Kaynakları ve Çevresel Etkileri

PAH'lar esas olarak antropojenik süreçlerden, özellikle de organik yakıtların eksik yanmasından kaynaklanmaktadır. PAH'lar atmosferde geniş bir şekilde dağılmış ve yayılmıştır. Volkanik patlamalar ve orman yangınları gibi doğal süreçler de PAH'ların çevresel varlığına katkıda bulunur [8]. Çevrede yüzlerce PAH bileşiği bulunmaktadır. Fakat bunlardan 16'sı, kendileri ve kaynakları hakkında daha fazla bilgi bulunması, toksisite ve insana maruziyetleri açısından USEPA tarafından öncelikli kirleticiler listesine alınmıştır [9]. PAH'lar genellikle iki sınıfa ayrılır: düşük moleküler ağırlıklı PAH'lar (LPAH'lar) ve yüksek moleküler ağırlıklı PAH'lar (HPAH'lar) (Şekil 2). LPAH'lar (örneğin, naftalin, asenaften, asenaften, floren, antrasen, fenantren) iki ila üç benzenoid halkasından (altı taraflı aromatik karbon halkaları) oluşan bir çekirdek yapısına sahip olma eğilimindedir. HPAH'lar, dört veya daha fazla benzenoid halkadan oluşan moleküler yapılara sahip olma eğilimindedir ve floranten, piren, benzo(a)piren ve benzo(b)piren içerir. Hidrofobiklik, biyoakümülyasyon eğilimi, biyolojik bozunmaya karşı direnç ve çevresel kalıcılık genellikle artan moleküler ağırlık ile artar. Naftalin gibi LPAH'lar suda çözünür olduklarından HPAH'lara göre sudaki organizmalar için daha akut toksik olma eğilimindedir [8].

PAH'ların toksisitesi ve çevresel döngüsü, merkezi halka yapısı etrafında çeşitli moleküler yan grupların varlığıyla daha da değiştirilebilir. Bağlı karbon-hidrojen zincirlerine sahip olan alkillenmiş PAH'lar (özellikle metil grupları, fakat aynı zamanda izopropil veya diğer alkil grupları) çevresel numunelerde sıklıkla tanımlanmıştır. Alkilenmiş PAH'larla ilgili olası endişeler, hem hidrokarbonla kontamine olmuş çevresel numunelerde nispeten yüksek konsantrasyonların rutin olarak ortaya çıkmasından hem de canlı organizmalar üzerindeki olumsuz etkilerin potansiyelinden kaynaklanmaktadır [10]. Tablo 1'de, 16 öncelikli PAH'ın toplam moleküler formülleri ve kanserojen aktiviteleri listelenmiştir [11].

Çevreye salınan birçok kimyasal çevredeki sınırlı ömürleri nedeniyle uzun ömürlülere göre daha az tehlike oluşturmaktadır. Tarihsel olarak daha ciddi çevresel tehlikeler oluşturan kimyasallar (örneğin, diklorodifeniltrikloroetan (DDT), poliklorlubifeniller (PCB'ler), 2,3,7,8-tetraklorodibenzo-p-dioksin (TCDD)) bozunma süreçlerine dirençlidirler ve buna bağlı olarak çevrede son derece uzun süre kalabilirler (Tablo 2) [12]. Sucul sistemlerde, PAH'lar genellikle uzun süreli kaldıklarından askıda katı maddelere ve sedimentlere adsorbe olma eğilimindedirler [10]. Pek çok toksisite çalışmasında, benzo(a)pirenin (BaP) çevrede uzun vadeli kalıcılık ile en yüksek kanserojen potansiyele sahip olduğu belirtilmiştir [10].



Şekil 2. Düşük molekül ağırlıklı ve yüksek molekül ağırlıklı PAH'ların yapısı (Yıldız işareti (*) ile gösterilenler, olası kanserojen özellik göstermektedir)[8]

Tablo 1 ABD EPA öncelikli PAH listesi

Bileşik	Molekül Formülü	Molekül Ağırlığı (g/mol)	Kanserojenik Aktivite
Naftalin	C ₁₀ H ₈	128	+
Fenantren	C ₁₄ H ₁₀	178	-
Antresen	C ₁₄ H ₁₀	178	+/-
Floranten	C ₁₆ H ₁₀	202	-
Piren	C ₁₆ H ₁₀	202	-
Krisen	C ₁₈ H ₁₂	228	+/-
Benzo(a)antresen	C ₁₈ H ₁₂	228	+
Benzo(b)floranten	C ₂₀ H ₁₂	252	++
Benzo(k)floranten	C ₂₀ H ₁₂	252	+
Benzo(e)piren	C ₂₀ H ₁₂	252	+/-
Benzo(a)piren	C ₂₀ H ₁₂	252	+++
Perilen	C ₂₀ H ₁₂	252	+/-
Benzo(ghi)perilen	C ₂₂ H ₁₂	276	+/-
Dibenzo(ah)antresen	C ₂₂ H ₁₄	278	+++
İndeno(cd)piren	C ₂₂ H ₁₂	276	+
Koronen	C ₂₄ H ₁₂	300	+/-

+ (++) maddenin deney hayvanları için kanserojen olduğuna dair yeterli kanıt var.

± Mevcut veriler, deney hayvanları için maddenin kanserojenliğinin bir değerlendirmesine izin vermek için yetersizdir.

- Mevcut veriler, maddenin deney hayvanları için tek başına kanserojen olduğuna dair hiçbir kanıt sunmamaktadır

Tablo 2 Bazı kimyasal kirleticilerin çevresel yarı ömrü

Kirletici	Yarı Ömür	Alan
DDT	10 yıl	Toprak
TCDD	9 yıl	Toprak
Atrazin	25 ay	Su
Benzoperilen(polisiklik aromatik hidrokarbon(PAH))	14 ay	Toprak
Fenantren	138 gün	Toprak
Karbofuran	45 gün	Su

3. PAH'ların Su ve Sedimentlerde Kaynakları, Konsantrasyonları ve Toksikite Etkileri

Benz(a)antresen, Krisen, Benzo(b,k)floranten ve Benzo(a)piren gibi bazı yüksek molekül ağırlıklı PAH'lar ve bunların metabolitlerinin balık, memeli ve insanlarda mutajenik, teratojenik ve kanserojenik etkileri olduğu tespit edilmiştir. PAH'ların kendileri kadar metabolitleri de canlılar üzerinde benzer oluşumlara yol açarlar. Bu bileşikler gerek kimyasal/mikrobiyolojik kararlılıkları, gerek sudaki düşük çözünürlükleri ve gerekse yağ dokusundaki çözünürlükleri dolayısıyla ile hem su ortamlarında hem de karasal ortamlarda biyoakümüle olma ve besin zincirine transfer olma gibi özelliklere sahiptirler [6]. Sularda/atıksularda, sediment gözenek suyunda ve sedimentlerde toksisite ölçümü için genellikle kabuklular, balıklar ve algler gibi organizmalar kullanılmaktadır. Bu organizmalara dayalı testler, büyük maruz kalma süresi ve numune hacmi gerektirir. Bu nedenle, mikroorganizmalara dayalı hızlı, uygun maliyetli ve tekrarlanabilir toksisite deneyleri popülerlik kazanmaktadır [13]. *Daphnia magna*, atık suların, tatlı ve tuzlu suların ve sediment örneklerinin toksisitesini belirlemek için literatürde yaygın olarak kullanılan ve birçok çevresel kirletici maddeye duyarlı organizmalardan biridir. Aşağıda PAH'ların su ve sedimentlerdeki konsantrasyonları ve toksisite özellikleri ile ilgili çalışmalar özetlenmiştir.

Zhang ve ark. [14] yaptıkları çalışmada Çin'deki Tonghui Nehri'nde su ve sediment örneklerinde 16 PAH türü, 18 organoklorlu pestisit türü ve 12 PCB izlenmişlerdir. Toplam PAH, PCB ve organoklorlu pestisitler suda sırasıyla şu şekilde belirlenmiştir: 192,5-2.651 ng/L, 31,58-344,9 ng/L ve 134,9-3.788 ng/L. Yüzeysel sedimentlerde ise PAH, PCB ve organoklorlu pestisitler sırasıyla şu şekilde değişmiştir: 127-928 ng/g, 0,78-8,47 ng/g ve 1,79-13,98 ng/g. Sonuçlar sedimentlerde bulunan kirletici konsantrasyonlarının sularda bulunan konsantrasyonlardan daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bunun nedeni olarak bu kirleticilerin hidrofobik olmaları ve sedimentte birikme eğiliminde olmaları gösterilmiştir.

Edokpayı ve ark. [15] Güney Afrika'da Mvudi ve Nzhelele Nehirlerinin su ve sedimentlerinde 16 adet PAH'nın ölçümünü yapmışlardır. Çalışma sonuçlarında tüm örneklerde yüksek molekül ağırlıklı PAH'ların baskın olduğu görülmüştür. PAH konsantrasyonları su ve sediment numunelerinde sırasıyla şu şekilde değişmiştir: 13,174-26,382 mg/L ve 27,10-55,93 mg/kg. Biyokütlenin yakılması en önemli PAH kaynağı olarak gösterilmiştir. Ayrıca atıksu arıtma sistemlerinin deşarjları da PAH'ların potansiyel kaynakları olarak gösterilmiştir.

Zhang ve ark. [16]'nın yaptıkları çalışmada, yüzeysel deniz suyunda ve Çin'in kuzey Liaodong Körfezi'nden sedimentlerde bulunan polisiklik aromatik hidrokarbonların (PAH) seviyeleri, kaynakları ve potansiyel ekolojik riskleri mevsimsel olarak araştırılmıştır. Toplam 16 PAH konsantrasyonu, deniz suyunda 145,96 ng/L ile 896,58 ng/L arasında ve sedimentlerde 191,99 ng/g ile 624,44 ng/g arasında ölçülmüştür. Deniz suyunda PAH konsantrasyonları önemli ölçüde farklılık gösterirken, sedimentlerde mevsimsel olarak nispeten daha stabil bulunmuştur. Düşük moleküler ağırlıklı PAH'lar deniz suyunda baskın olarak ölçülmüş, buna karşılık yüksek moleküler ağırlıklı PAH'lar sedimentlerde yüksek konsantrasyonlarda bulunmuştur. Bitkisel saman ve kömür yanmasının başlıca PAH kaynaklarını oluşturduğu bildirilmiştir.

Huang ve ark. [17]'nin yaptıkları çalışmada, Şangay'daki Huangpu Nehri'nde şehirleşmenin yoğun olduğu bölgelerdeki nehir sedimentlerinin mekansal-zamansal çeşitlilikleri ve PAH kaynakları değerlendirilmiştir. Sonuçlar, sedimentlerdeki PAH konsantrasyonlarının yere göre ve mevsimsel olarak büyük farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuştur. Kurak mevsimde toplam 16 PAH konsantrasyonu yağışlı mevsimdekinden 6 kat daha fazla bulunmuştur. Bununla birlikte, kurak ve yağışlı mevsimlerde sırasıyla %42,41±%6,81 ve %44,70±7,73 katkıda bulunan 4 halkalı PAH bileşikler baskın olmuştur. Çok değişkenli istatistiksel ve arazi kullanım analizi, PAH'ların ana kaynaklarının tarımsal, trafik ve ticari faaliyetler olduğunu düşündürmüştür. Ekili arazi, yol/cadde, ulaşım ve ticari amaçlı tesislerin bulunduğu tampon yarıçap (<750 m) alanı, Huangpu Nehri'nin sedimentlerindeki PAH'lara önemli ölçüde katkıda bulunmuştur. Risk değerlendirme sonuçları, sedimentlerdeki PAH toksisitesinin kurak mevsimde yağışlı mevsimden daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur.

Liu ve ark. [18]'nin yaptıkları çalışmada Yangtze Nehri derin su kanalı boyunca sedimentlerdeki PAH özellikleri, dağılımı, kaynağı ve ekolojik risk düzeyleri araştırılmıştır. Çalışma alanında on beş PAH'nın toplam konsantrasyonu 89,52 ile 208,02 ng/g arasında değişmiştir (ortalama değer 140,48 ng/g). PAH oranları ve istatistiksel analiz, yerel fosil yakıtların yüksek sıcaklıkta yanmasının (araç egzozu, antropojenik yanma ve pirojenik kaynaklar) PAH'ların ana kaynağı olduğunu göstermiştir.

Dong ve ark. (2022) [19]'nin yaptıkları çalışmada, kurak, normal ve yağışlı mevsimlerde, Han Nehri'nin orta ve aşağı kesimlerindeki 15 örnekleme noktasından yüzeysel sularında ve sedimentlerde 16 PAH incelenmiştir. GC-MS ile belirlenen toplam PAH konsantrasyonu (Σ PAHs) yüzeysel suyunda 18,3 ile 146,8 ng/L (ortalama 77,4 ng/L) arasında, sedimentte ise 137,1–1478,4 ng/g (ortalama 679,6 ng/L) arasında değişmiştir. Yüzeysel suyunda iki ila üç halkalı PAH'lar ve sedimentteki dört-beş halkalı PAH'lar, tespit edilen bileşiklerin çoğunluğunu oluşturmuştur. PAH'ların kurak mevsimdeki seviyesi, yağışlı ve normal mevsimlerdekinden daha yüksek bulunmuştur. PAH'ların dağılımları, nehir boyunca önemli ölçüde değişmiş, yüzeysel suyu ve sedimentteki PAH'ların kaynakları biyokütle ve kömür yanması, ardından petrol yanması olarak tespit edilmiştir [19].

Shi ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada deniz suyu, sedimentler ve deniz organizmalarındaki PAH'ların durumunu, Çin'de geleneksel bir deniz balığı yetiştiriciliği bölgesi olan Haizhou Körfezi'nde araştırmışlardır. Deniz suyu, sedimentler ve deniz organizmalarındaki toplam PAH konsantrasyonları sırasıyla 12.4–40,3 ng/L (ortalama 24.8 ng/L), 183.2–496.6 ng/g (ortalama 293.5 ng/g) ve 228.1–679.9 ng/g (ortalama 392,6 ng/g) olarak bulunmuştur. Kaynak analizi sonuçları, deniz suyu ve deniz organizmaları için PAH kaynaklarının kömür ve biyokütle yanması (%66,53), petrol (%28,94) ve trafik (%4,52) olduğunu, sediment için olanların ise trafik (%48,14), kömür ve biyokütle yanması (%40,56) olduğunu göstermiştir [20].

Adeyeye ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada sedimentlerde ve balıklarda PAH'ların birikim özellikleri hakkında veri toplamak için bir balık yetiştirme çiftliğinin kirlenme durumunu değerlendirmişlerdir. Çalışma sonuçlarında analiz edilen PAH'ların sedimentlerde, su örneklerinden daha fazla yoğunlaştığı görülmüştür. Floranten, piren ve antrasen balıklarda en konsantre bileşikler olmuşlardır. PAH yüzde yük oranı 34.9:34.2:30.9 sırasıyla kas, kafa ve karaciğerde gözlenmiştir. Sedimentlerde asenafetilen, asenaften, indeno(1,2,3-cd)piren ve dibenzo(a,h)antrasen diğer numunelere kıyasla yüksek oranda birikirken, floren ve benzo(k)floranten en az ve en yüksek birikmiş PAH'lar olmuştur [21].

Tepe ve ark.'nın (2022) yaptıkları çalışmada Güneydoğu Karadeniz'in Giresun kıyı şeridi boyunca mevsimsel olarak sediment örnekleri toplanmış ve 16 PAH seviyesinin tespiti için analiz edilmiştir. 28,47 ile 444,36 ng/g arasında değişen PAH seviyeleri (ortalama 102,57 ng/g) dünya çapında yürütülen diğer sediment çalışmalarının çoğunda tespit edilenlerden daha düşük kalmıştır. Üç halkalı PAH'ların yüzdesi (%38,9) oldukça yüksek bulunmuş, bunu 5 halkalı PAH'ların oranı (%21,8) izlemiştir. Tespit edilen oranlar, Giresun kıyı şeridi boyunca yüzeysel sedimentlerindeki PAH'ların esas olarak kömür yanması ve yerel emisyonlarla ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Sediment kalite kılavuzları (SQG'ler) ile yapılan değerlendirme, bazı istasyonlarda PAH seviyesinin olumsuz biyolojik etki riskinin göz ardı edilemediği (\geq TEL ve $<$ PEL) seviyeye karşılaştırılabilir olduğunu göstermiştir. Giresun kıyı sedimentlerinde PAH'ların oluşturduğu risk, risk oranına göre düşük ila orta ekolojik risk olarak sınıflandırılmıştır [22].

Çin'deki Fenhe rezervuarı ve yukarı havzadaki 28 bölgeden PAH'lar ve PCB'ler arasındaki ilişkileri belirlemek ve toksisitenin kaynağının belirlenmesi için sediment numuneleri alınmıştır. Çalışma sonucunda Σ 16PAH'lar ve Σ 123PCB'lerin dağılımları yüksek korelasyon göstermiştir. Σ 7C-PAH'lar (yedi kanserojen PAH'nın toplam konsantrasyonları) 87,7 ile 2005,0 ng/g dw (kuru ağırlık) arasında değişmiş ve Σ 6DL-PCB'ler (altı dioksin benzeri PCB türdeşinin toplam konsantrasyonları) n.d.(non-detectable)–5.96 ng/g dw olarak bulunmuştur. Çalışmada toksisite ve biyolojik risk, toksik eşdeğer miktar (TEQ) ve sediment kalitesi kılavuz katsayısı (SQGQ) kullanılarak değerlendirilmiştir. BaP, CHR en yüksek konsantrasyon seviyesini göstermesine rağmen, çoğu bölgede TEQPAH için baskın rol oynamıştır (%37,17-89,40). PCB-81, en yüksek TEQPCB'ye katkıda bulunmuştur. Σ 16PAH'lar ve

Σ 7C-PAH'lar, Σ 123PCB'ler ve Σ 6DL-PCB'ler, Σ 7C-PAH'lar ve Σ 6DL-PCB'ler ile TEQPAH ve TEQPCB arasında yüksek korelasyonlar gözlenmiştir. Çoğu bölge için, TEQPAH'a en büyük katkıyı taşıt kaynakları (%46,58) yaparken, PAH konsantrasyonlarına en yüksek katkıyı kömür yakma kaynakları (%43,31) yapmıştır. PCB'ler ile kömür yakmanın PAH'lara katkıları arasındaki nispeten daha yüksek korelasyonlar, PAH'lar ve PCB'ler için endüstriyel kaynakların benzer dağılımını göstermiştir [23].

Rogers'in (2002) yaptığı bir çalışmada equilibrium partitioning-toxic unit (EqP-TU) yaklaşımı kullanılarak Birleşik Krallık nehir ağızı sedimentlerindeki suda yaşayan organizmalar için PAH kalıntılarının potansiyel akut toksisitesine ilişkin tahminler, Clyde ve Mersey nehir ağızlarından ve Southampton deresinden gelen sedimentlerin yüksek ortalama toksisiteye sahip olduğunu göstermiştir. Çalışmada PAH kalıntılarının, belirli endüstriyel kaynakların ve çevredeki yerleşim bölgelerinden yanma ve akış yoluyla girdilerin bir kombinasyonundan kaynaklandığı belirtilmiştir. Maksimum sediment toksisiteyi, Southampton deresinde bir kimyasal tesis çıkışının yakınındaki belirli yerlerde ve Wear ve Clyde'deki rıhtımlardaki sedimentlerde bulunmuştur [24].

Li ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada sedimentlerdeki PAH'ların sağlık riskini değerlendirmenin oldukça zor olduğunu belirtmişlerdir. Bunun nedeni olarak sedimentlerin deniz tabanında meydana gelmesi ve insanlarla doğrudan temas etmesinin zor olması belirtilmiştir. Çalışmada, yüzey sedimentlerindeki PAH konsantrasyonları ile deniz ürünleri tüketicilerinin sağlık riski arasındaki ilişki ortaya konmaya çalışılmıştır. PAH'ların sedimentlerden bentik organizmalara transferi (biyobirikimi) tahmin edilmiştir. PAH'lara kaynak katkıları ve ilgili toksisite ve sağlık riskleri (PAH'larla kontamine bentik organizmaların alımından kaynaklanan) sırasıyla PMF modeli ve Monte Carlo simülasyonu temelinde incelenmiştir. Çin'deki Bohai Denizi (BS) sedimentlerinde toplam PAH (TPAH) konsantrasyonları 149,40 ila 1211,97 ng/g arasında değişmiştir. Petrol ve araç emisyonu, kömür yakma ve kok fırını sırasıyla PAH'ların %40,0'ını, %32,2'sini ve %27,8'ini oluşturmuştur, ancak PAH'ların sedimentlerde oluşturduğu toksisitenin %53,0, %22,8 ve %24,2'sine katkıda bulunduğu belirtilmiştir. Çocuklar, gençler ve yetişkinler için, %95'lik kanserojen ve kanserojen olmayan riskler, sırasıyla 10^{-6} ve 1,0 eşik değerlerinin altında kalmış ve potansiyel bir sağlık riski olmadığını göstermiştir. Duyarlılık analizi, risk değerlendirmesinde maruz kalma süresinin (ED) ve PAH konsantrasyonlarının (CS) en hassas iki parametre olduğunu göstermiştir [25].

Bihari ve ark.'nın (2006) yaptıkları çalışmada Hırvatistan, Kuzey Adriyatik, Rovinj kıyı bölgesindeki 8 örnekleme alanından toplanan yüzey deniz sedimentleri, PAH'lar ve sediment organik ekstraktlarının toksik/genotoksik potansiyelini belirlemek için kullanılmıştır. Toplam PAH konsantrasyonları 32 μ g/kg (korunan alan) ile 13,2 mg/kg kuru ağırlık (liman) arasında değişmiştir ve bozulmamış, kentsel sanayi ve liman alanları arasında açık farklılıklar belirlenmiştir. PAH'ların dağılımı, limanda bir miktar biyogenik etki ile pirojenik kökenlerini ortaya çıkarmıştır. Tüm örnekleme alanlarında sediment özütleri sediment tipiyle tutarlı toksik potansiyel göstermiştir. Microtox testi ile ölçülen

toksosite ile bireysel veya toplam PAH konsantrasyonları arasında bir ilişki bulunmamıştır. Sitotoksik olmayan tortu ekstraktları dozu, bakteriyel umu-testinde genotoksik potansiyel göstermemiştir. DNA hasarı, 4 örnekleme alanında toplam PAH'larla pozitif ilişkili bulunmuştur, ancak en yüksek DNA hasarı, toplam sediment PAH içeriğinin en yüksek olduğu yerde gözlenmemiştir [26].

Sun ve ark.'nın (2022) yaptıkları çalışmada PAH'ların dağılımının, kaynaklarının ve ekolojik toksisitesinin araştırılmasının, kirliliklerini ve biyolojik risklerini azaltmak için gerekli olduğu belirtilmiştir. Çin'deki kuzey Taihu Gölü'ndeki farklı göl kenarı ve nehir ağızı sedimentlerindeki 16 öncelikli PAH, gaz kromatografisi-kütle spektrometrisi ile belirlenmiştir. Sonuçlar, toplam PAH konsantrasyonlarının (Σ PAH'ler) 672,07 ng/g ile 5858,34 ng/g arasında değiştiğini ve ortalama değerinin 2121,37 ng/g olduğunu göstermiştir. Yüksek moleküler ağırlıklı PAH'lar (4-6 halka) baskın olarak bulunmuş ve tespit edilen Σ PAH'lerin %85'ini oluşturmuştur. Nehir ağızı alanındaki baraj bariyeri nedeniyle, sedimentlerdeki PAH konsantrasyonları nehir ağızı ve göl kenarı arasında önemli ölçüde farklı bulunmuştur. Toplam organik karbon (TOC) içeriğindeki değişiklikler ve sedimentlerdeki PAH'ların mekansal dağılımının tutarlı olduğu belirlenmiştir. Bulanık değerlendirme modeli kullanılarak araştırılan sediment kirliliği değerlendirmesi, hafif PAH kirliliğinin %75'ini göstermiştir. Wuli Gölü'nün doğusunda yoğunlaşan bazı nehir ağızı sedimentlerinin (%22) orta veya ağır derecede kirlenmiş olduğu belirlenmiştir [27].

4. Sonuç

Bu çalışmada su kaynakları, alıcı ortamlar ve sedimentlerdeki PAH'ların kaynakları, konsantrasyonları ve toksisite etkisi literatürdeki çalışmalar ile ortaya konmaya çalışılmıştır. Genel olarak PAH kaynaklarının biyokütle, kömür vb. organik maddelerin tam yanmamasından kaynaklandığı çalışmalarda tespit edilmiştir. Su kaynaklarındaki ve sedimentlerdeki PAH kaynaklarının bu yanmalar olduğu kaynak analizi çalışmalarıyla gösterilmiştir. Su tabanında oluşan sedimentlerin kirleticileri adsorplaması sebebiyle sedimentlerin tümünde ve gözenek sularında toksisite testleri, kirleticilerin suda yaşayan canlılara etki düzeyini belirlemede oldukça önemlidir. Ayrıca PAH konsantrasyonlarının mevsimsel ve yersel değişiminin izlenmesi gerekliliği literatürdeki çalışmalarda vurgulanmıştır. Özellikle sanayi yoğun havzalarda dereler ve nehirlerde USEPA tarafından belirlenen önemli 16 PAH türünün sedimentlerde izlenmesi PAH'lar ile toksisite ilişkisini ortaya konması ve sanayi-yoğun bölgelerdeki durumu ortaya koyması açısından önemli bir konudur. PAH'ların canlılara mutajenik, teratojenik ve kanserojenik etkileri olduğu da birçok çalışmada vurgulanmıştır. Bunun yanında sedimentlerde bulunan PAH'ların sucul organizmalara toksik etkilerinin belirlendiği çalışmalar, PAH'ların oluşumunun kaynaktan engellenmesinin gerekliliğini ortaya koymuştur.

Yazar Katkısı

Literatür Araştırması Elçin Güneş (EG), Biçimsel düzen Gül Kaykıoğlu(GK), Verilerin değerlendirilmesi Asude Hanedar(AH), Sonuçların tartışılması Yalçın Güneş (YG).

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve/veya yayınlanması ile ilgili olarak herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemiştir.

Kaynaklar

- [1] Alver, E., Demirci, A. ve Özçimder, M. (2012). Polisiklik aromatik hidrokarbonlar ve sağlığa etkileri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(1), 45-52.
- [2] U.S. EPA. (2005). Contaminated sediment remediation guidance for hazardous waste sites. OSWER Directive 9355.0-85. December.
- [3] T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı. (2008). Meriç-Ergene Havzası Koruma Eylem Planı. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Havza Koruma Eylem Planları
- [4] Atabek Y. E. (2009). Çevre sorunları. Eğitim Fakülteleri İçin Genel Çevre Bilimi (1. Baskı), 131-169syf, İstanbul: Maya Akademi.
- [5] Breitzke, M. (2006). Physical properties of marine sediments. *Marine Geochemistry* (2rd ed.), 27-71syf. Berlin: Springer.
- [6] Park, J. S., Wade, T. L., Sweet, S. T., (2002). Atmospheric deposition of PAHs, PCBs and organochlorine pesticides to Corpus Christi Bay, Texas. *Atmospheric Environment*, 36, 1707–1720,
- [7] Perra, G., Renzi, M., Guerranti, C. ve Focardi, S. E. (2009). Polycyclic aromatic hydrocarbons pollution in sediments: distribution and sources in a lagoon system (Orbetello, Central Italy). *Transitional Waters Bulletin*, 3, 45-58.
- [8] Lee, B. K., ve Vu, T. V. (2010). Sources, distribution and toxicity of polyaromatic hydrocarbons (PAHs) in particulate matter. *Air pollution*. 99-122.
- [9] ATSDR, (1995). Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Toxicological Profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). US Department of Health and Human Services, Public Health Service. Atlanta,GA.
- [10] CCME (2010) (Canadian Council of Ministers of the Environment). Canadian soil quality guidelines. Carcinogenic and other polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). Environmental and human health effects. Scientific criteria document, 215.
- [11] Rubailo, A. I. ve Oberenko, A. V. (2008). Polycyclic aromatic hydrocarbons as priority pollutants. *Journal of Siberian Federal University. Chemistry*, 4 (1), 344-354.
- [10] Leblanc, G. A. ve Buchwalter, D. B. (2011). Basics of Environmental Toxicology. *A textbook of modern toxicology* (4rd ed.), 531-547 syf. Raleigh: A John Wiley & Sons, Inc., Publication.
- [13] Parvez, S., Venkataraman, C. ve Mukherji, S. (2006). A review on advantages of implementing luminescence inhibition test (*Vibrio fischeri*) for acute toxicity prediction of chemicals, *Environment International*, 32(2), 265-268.
- [14] Zhang, Z., Huang, J., Yu, G. Ve Hong, H. (2004). Occurrence of PAHs, PCB sand organo chlorine pesticides in the Tonghui River of Beijing, China. *Environmental Pollution*, 130(2), 249-261.
- [15] Edokpayi, J.N., Odiyo, J.O., Popoola, O.E. ve Msagati, T.A.M. (2016). Determination and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in rivers, sediments and wastewater effluents in Vhembe District, South Africa. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(4), 387-398.
- [16] Zhang, A., Zhao, S., Wang, L., Yang, X., Zhao, Q., Fan, J. ve Yuan, X. (2016). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sea water and sediments from the northern Liaodong Bay, China. *Marine Pollution Bulletin*, 113(1-2), 592-599.
- [17] Huang, Y., Liu, M., Wang, R., Khan, S.K., Gao, D. ve Zhang, Y. (2017). Characterization and source apportionment of PAHs from a highly urbanized river sediments based on land use analysis. *Chemosphere*, 184, 1334-1345.
- [18] Liu, X., Chen, Z., Xia, C., Wu, J. ve Ding, Y. (2020). Characteristics, distribution, source and ecological risk of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments along the Yangtze River Estuary Deepwater Channel. *Marine Pollution Bulletin*, 150, 110765.
- [19] Dong, L., Lin, L., He, J., Pan, X., Wu, X., Yang, Y., Jing, Z., Zhang, S. ve Yin, G. (2022). PAHs in the surface water and sediments of the middle and lower reaches of the Han River, China: Occurrence, source, and probabilistic risk assessment. *Process Safety and Environmental Protection*, 164, 208-218.
- [20] Shi, W., Xu, M., Liu, Q. ve Xie, S. (2022). Polycyclic aromatic hydrocarbons in seawater, surface sediment, and marine organisms of Haizhou Bay in Yellow Sea, China: Distribution, source apportionment, and health risk assessment. *Marine Pollution Bulletin*, 174, 113280, DOI: 10.1016/j.marpolbul.2021.113280.
- [21] Adeyeye, E. I., Ibigbami, O. A., Adesina, A. J., Popoola, O. K., Olatoye A. R. & Gbolagade Y. A. (2022). Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Distribution in Water, Sediments and Fish Parts from Ponds in Ado-Ekiti, Nigeria, *Polycyclic Aromatic Compounds*, DOI: 10.1080/10406638.2022.2064884.
- [22] Tepe, Y., Aydın, H., Ustaoglu, F., Kaya, S., (2022). Seasonal distribution and risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments from the Giresun coast of southeastern Black Sea, *Marine Pollution Bulletin*, 178, 113585.
- [23] Tian, Y.Z, Li, W.H., Shi, G.L., Feng, Y.C, Wang, Y.Q. (2013). Relationships between PAHs and PCBs, and quantitative source apportionment of PAHs toxicity in sediments from Fenhe reservoir and watershed. *Journal of Hazardous Materials*, 248-249, 89-96.
- [24] Rogers, H.R. (2002). Assessment of PAH contamination in estuarine sediments using the equilibrium partitioning-toxic unit approach. *Science of The Total Environment*, 290(1-3), 139-155.

[25] Li, J., Dong, H., Xu, X., Han, B., Li, X., Zhu, C., Han, C., Liu, S., Yang, D., Xu, Q., Zhang, D. (2016). Prediction of the bioaccumulation of PAHs in surface sediments of Bohai Sea, China and quantitative assessment of the related toxicity and health risk to humans. *Marine Pollution Bulletin*, 104(1-2), 92-100.

[26] Bihari, N., Hamer, M.F.B., Kralj-Bilen, B. (2006). PAH content, toxicity and genotoxicity of coastal marine sediments

from the Rovinj area, Northern Adriatic, Croatia *Science of The Total Environment*, 366(2-3), 602-611.

[27] Sun, T., Wang, Y., Chen, Y., Zhang, M., Kong, X. (2022). Occurrence of polycyclic aromatic hydrocarbons in the estuarine sediments of Taihu Lake and their associated toxic effects on aquatic organisms. *Pedosphere*, In Press.

Araştırma Makalesi

Türkiye'deki Orman Yangın Sayıları ile Güneş Leke Sayılarının Periyodik Analizi

Taner M. Cengiz^{1, a, *} 

¹ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye, 59860
^atcengiz@nku.edu.tr

Geliş: 28.06.2022

Kabul: 18.07.2022

DOI: 10.55581/ejeas.1137100

Öz: Bu çalışmada Türkiye orman yangın sayıları ile güneş leke sayılarının periyodik yapılarının incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın temel hedefi sürekli dalgacık dönüşümleri ve global spektrumlar yöntemini kullanarak Türkiye orman yangın sayıları ile güneş lekeleri sayılarının değişkenliğini araştırmaktır. Türkiye son yıllarda orman yangın sayılarının artması üzerinde odaklanılan sorunlardan birisidir. Güneş faaliyetini göstermek için genellikle güneş lekeleri sayısı kullanılmaktadır. Dalgacık dönüşümü Fourier dönüşümünün gelişmiş ve iyi planlanmış bir sürümü olup sinyallerin frekans bileşenlerini ortaya çıkarmaktadır. Dalgacık dönüşüm teknikleri yaklaşımı Türkiye'deki orman yangınlarının sayıları ve güneş lekeleri sayılarının periyodik analizi için uygulanmıştır. Bu kapsamda Orman Genel Müdürlüğü'nün (OMG) 1937 yılından 2020 yılı sonuna kadarki güncel yangın sayıları kayıtları ile güneş lekeleri sayılarının kayıtları değerlendirilmiştir. Mevcut olan 84 yıllık toplam orman yangın sayıları verileri ve aynı dönemde olan güneş lekeleri sayıları verilerinin periyodik yapısı Sürekli Dalgacık dönüşümü (SDD) ve Global Dalgacık Spektrumu (GDS) tekniğinden yararlanılarak analiz edilmiştir. Orman yangın sayıları için hâkim periyodik bileşen 6.60 yıllık bulunurken güneş leke sayılarında ise 10.67 yıllık periyodik bileşen belirlenmiştir. Her iki değişkenin uzun yıllık diğer periyodik bileşenleri de tespit edilmiştir. Türkiye'deki orman yangın sayıları ile güneş leke sayılarının periyodik yapılarının birbirlerinden çok farklı yapılarda olduğu bu çalışma sonucunda saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Orman Yangın Sayısı, Güneş Leke Sayısı, Dalgacık Dönüşümü, Periyodiklik.

Periodic analysis of forest fire numbers and sunspot numbers in Türkiye

Abstract: The aim of this study is to examine the periodic structures of forest fire numbers in Türkiye and sunspot numbers. The main purpose of this study is to investigate the variability of forest fire numbers in Turkey and sunspot numbers using continuous wavelet transforms and global spectra method. The change of sunspots observed in the photosphere layer of the sun is one of its important activities affecting the world. The sunspot number is often used to show solar activity. Wavelet analysis reveals the frequency components of signals such as the Fourier transform yet wavelet transform is actually a advanced and well planned version of Fourier transform. Wavelet transform techniques approach has been applied to the periodic analysis of the number of forest fires and sunspot numbers in Turkey. In this context, in the period from 1937 to the end of 2020, the records of the current fire numbers of the General Directorate of Forestry (OMG) and the sunspots numbers for the same period have been evaluated. The periodic structure of the existing 84-year forest fire numbers data and the sunspot numbers data in the same period are analyzed using Continuous Wavelet transform (SDD) and Global Wavelet Spectrum (GDS) techniques. While the dominant periodic component for forest fire numbers was 6.60 years, 10.67 years periodic component is determined for sunspot numbers. Other long-year periodic components of both variables have also been determined. As a result of this study, it has been determined that the periodic structures of the number of forest fires and the number of sunspots in Türkiye are very different from each other.

Keywords: Number of Forest Fires, Number of Sunspot, Wavelet Transform, Periodicity.

* Sorumlu yazar.

E-posta adresi: tcengiz@nku.edu.tr (T. M. Cengiz)

1. Giriş

Orman yangınları, doğal nedenlerden (yıldırım gibi), insan kaynaklı kazalardan (sigara ve kamp ateşi gibi) veya kasıtlı kundaklama eylemlerinden kaynaklanabilen yıkıcı güçlerdir. Orman yangınları hem orman alanlarını azaltıp, hem de erozyon yoluyla toprakların azalmasına sebep olmaktadır. Ayrıca atmosferde karbon salınımını artırarak iklim değişikliğine katkıda bulunmaktadır. Orman yangınlarının hem doğal hem de antropojenik (insan kökenli) nedenleri vardır. Genelde orman yangınları örtü yangını ile başlayıp zamanla gelişerek tepe yangınına dönüşebilmektedir [1, 2]. Bir orman yangını üç elementi gerektirmektedir; ısı, oksijen ve yanıcı madde. Bu üç unsur “yangın üçgeni” olarak belirlenmiştir [3].

Türkiye’deki orman yangın sayılarının, iklim anomalilerinde görülen uç değerlerle, artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Yaz aylarında görülen aşırı sıcaklar azalan yağış miktarına bağlı kuraklık ile orman yangınları hem sayısal hem de alansal olarak büyüyerek doğaya zarar vermektedir. Özellikle iklim değişikliğinin sonucu olarak sıcaklığın artması, kurak dönemin uzaması, yağış motiflerinin değişmesi gibi klimatolojik değişkenlerin uç noktalara gitmesi orman yangınlarını sayısını ve yanan orman alanlarını çoğaltmaktadır [4, 5]. Özellikle son 20 yılda afet düzeyinde gözlenen orman yangınlarına sebebiyet veren faktörlerin analizi yapılarak orman yangın önlemlerini disiplinli bir şekilde ele alıp uygulamaya geçirilmesi gerekir.

Türkiye’de orman yangınlarına sebebiyet veren en büyük faktörün insan etkisi olduğunu tespit eden Orman Genel Müdürlüğü insanların ihmal ve dikkatsizliği sonucu yangınların meydana geldiğini tespit etmiştir. Ayrıca kasıtlı olarak yangın çıkarıp orman alanlarından yerleşim yerleri, tarla ile otlak alanlar elde etmenin amaçlandığını da belirlemiştir. Yangın istatistiklerine göre 2011-2020 yılları arasındaki on yıllık süreçte Türkiye’de insan faaliyetleri kaynaklı orman yangınları % 89 oranında iken yıldırım kaynaklı orman yangın sayısı %11 kadardır [6]. Yıllık meydana gelen orman yangın sayılarında genel eğilim sürekli bir artış yönüne sahip olduğu Şekil 1’de görülmektedir. Yine Türkiye’de orman yangınlarının oluşma yerleri sırasıyla; orman içi ve yakınlarındaki tarımsal alanlar, yerleşim yerleri, enerji nakil hatları, kara ve demiryolları, maden sahaları, piknik alanları ve çöplüklerdir [6]. Türkiye’deki orman yangınlarının %97’si, Haziran ile Ekim ayları arasında, yaz yağışlarının görülmediği kurak dönemde meydana gelmektedir. Bu aylar yine Akdeniz havzasındaki diğer ülkelerde görülen en sık orman yangınlarının görüldüğü zamanlardır [7].

Akdeniz havzasında orman yangınları özellikle yaz aylarında, kurak geçen ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde sık olmaktadır. Bu yangınlar orman ekosistemine çoğunlukla büyük zararlar vermezler ancak artma eğiliminde olan bu orman yangınları görülmeye devam etmektedir [8]. Orman yangınları ile iklim değişkenlerinin ilişkisi hakkında pek çok çalışma yapılmış, özellikle iklim değişikliği ve artan sıcaklıklarla orman yangınlarını ilişkilendirilmiştir [9,10,11,12,13,14]. Akdeniz iklimi yaşayan 5 Avrupa ülkesinde (Yunanistan, İtalya, Güney Fransa, Portekiz ve İspanya) ve Amerika kıtasının Pasifik kıyı eyaletlerinde (Kaliforniya ve Oregon’da) çıkan orman yangınları sayılarının sıcaklığın yüksek, yağışın az olduğu kurak dönemlerinde giderek arttığı tespit edilmiştir [15]. Portekiz ve İspanya’daki orman yangın sayıları ile güneş faaliyetleri

değişimlerinin incelendiği bir çalışmada [16] bu iki değişken arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir.

İklim değişiminin en büyük kısmı, çoğunlukla artan sera gazı konsantrasyonlarından kaynaklanan insan kökenli etkilere bağlanmaktadır [17, 18, 19]. Bu değişikliğin özellikle hava sıcaklığında önemli ölçüde bir payının olduğu da tespit edilmiştir [20, 21, 22]. Yine küresel ölçekte iklim dalgalanmalarının astronomik döngüler tarafından yönlendirildiğine dair kanıtlar bulunmuştur [23]. Güneş leke sayısı değişkenliği ile güneş faaliyetleri döngülerinin jeomanyetik aktivite ve hava değişkenliği üzerine önemli etkileri olduğu bilinmektedir [24]. Araştırmacılar tarafından yoğun bir tartışma konusu olmasına rağmen, hem güneş radyasyonu değişimi hem de jeomanyetik düzensizlikler dünyanın iklimi üzerinde bir miktar etkiye sahiptirler [25, 26, 27, 28]. Küresel, bölgesel ve yerel iklim değişiklerinin birinci derecedeki meteorolojik parametresinin hava sıcaklığı olduğunu iddia eden Echer ve arkadaşları [29] dalgacık dönüşümü analiziyle hava sıcaklığı ile güneş lekeleri sayısını ilişkilendirerek güneş lekelerinin 22 yıllık döngünün 11 yıllık döngüden hava sıcaklıklarıyla daha ilişkili olduğunu göstermiştir. Özellikle yaz aylarında meydana gelen orman yangınlarının çıkış nedenlerinin bir kısmı iklim değişkenlerinin aldığı uç değerlerden, bir kısmı da insan kaynaklı olduğu tespit edilmiştir [30, 31]. Güneş leke sayısının çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan periyodik analizlerinde hâkim periyodik bileşen 10.67 yıl bulunurken, yapılan çalışmanın tarihlerine göre diğer periyodik bileşenlerde değişiklikler tespit edilmiştir. [32, 33, 34]. Orman yangınlarının %43 ile önemli bir kısmının iklim değişikliğinden etkilendiği ve gelecekte çok sıcak iklim koşullarında yaz yangın dönem sürelerinin uzayarak artacağı bilimsel çalışmalarda gösterilmiştir [35, 36, 37]. Sıcaklık temel bir meteorolojik parametredir ve varyasyonu küresel, bölgesel ve yerel iklim değişikliklerinin birincil ölçüsüdür [29]. Güneş radyasyonunun enerji bakımından yüksek olduğu 10-12 yıllık periyodlarda Türkiye orman yangınlarının hem sayısal hem de zarar gören toplam alanlar ile doğrusal ilişkili olduğu yapılan bir çalışmada tespit edilmiştir [38].

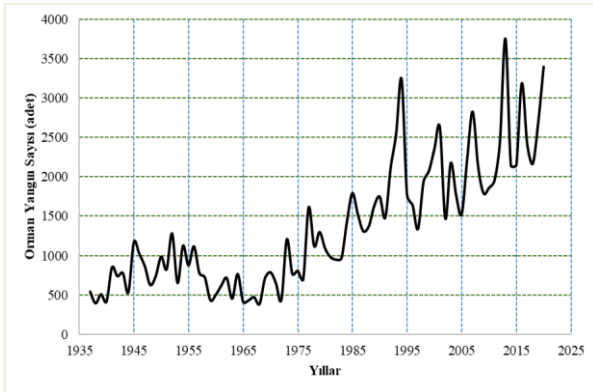
Bazı bilim insanları güneş leke sayılarında artış hem dünyamıza gönderilen radyasyon enerjisinde artışa hem de güneşten dünya üzerine gelen güneş rüzgârında artışa sebebiyet verdiğini düşünmektedirler [39, 40]. Dolayısıyla güneş leke sayılarında artış dünya sıcaklığını artırmaktadır. Bu çalışmamızda güneş radyasyonu kaynak verisi olarak, son yıllarda popüler bir kullanıma sahip “güneş leke sayıları” verisi alınmıştır. Orman yangın sayıları ile güneş leke sayıları arasında yapılan çeşitli çalışmalarda bu iki değişken arasında anlamlı doğrusal ilişkilerin olduğu belirlenmiştir [16, 41, 42]. Ancak aksi yönde bulguları olan bilim insanları da mevcuttur. Örneğin Wright [43] Kanada’da bulunan Quebec, New Brunswick ve Nova Scotia’da en büyük alanlı orman yangınlarının güneş lekeleri aktivitesinin minimum olduğu dönemlerde olduğunu tespit etmiştir. Yine Meksika orman yangınlarının çoğunlukla güneş leke sayılarının minimumları civarında meydana geldiğine işaret eden Herrera [44] toplam güneş ışınımı minimum seviyede olması orman yangınlarının meydana gelmesi için uygun koşulları sağladığını tespit etmiştir. Türkiye’de orman yangın sayısının periyodik analizi henüz yapılmamış olup bu çalışmayla ilk kez orman yangın sayısının periyodik yapısı ortaya konulup güneş leke

sayılarının periyodik yapısı ile birlikte değerlendirilmiştir. Daha önce yapılan başka bir çalışmada güneş lekelerinin 10-12 yıllık döngü döneminde artan güneş radyasyonu verileri ile Türkiye toplam orman yangın alanları arasında belirgin bir doğrusal ilişki olduğu bulunmuştur [45].

Bu çalışmada, Türkiye orman yangın sayıları ile güneş leke sayıları sürekli dalgacık dönüşümü (SDD) ve global dalgacık spektrumu (GDS) yardımı ile analiz edilerek bu iki değişkenin periyodik yapısı ortaya konulmuştur. Bulunan sonuçların orman yangınlarının modelleme çalışmalarında periyodik yapının (ayrık dalgacık dönüşümüyle) ilavesiyle katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

1. Materyal ve Metot

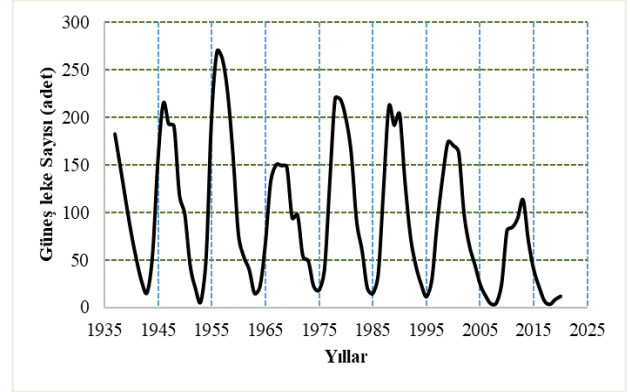
Bu çalışmada Türkiye orman yangınlarının yıllık toplam sayıları ile güneş leke sayılarının aylık ve yıllık toplamalarının periyodik analizi yapılmıştır. Orman yangını sayıları olarak 1938-2020 yılları arasındaki 84 yıllık veriler kullanılmıştır. Yıllık orman yangını sayısı Orman Genel Müdürlüğü, Orman Yangınları İle Mücadele Dairesi Başkanlığı veri tabanından temin edilmiştir [46]. Güneş leke sayıları verileri ise SIDC internet veri tabanından [47] alınarak analiz edilmiştir. Güneş lekelerinin aylık toplam verileri ile yapılacak analizin daha sağlıklı olacağı düşünülerek aylık toplam güneş leke sayılarının Haziran 1936-Eylül 2021 verileri analize ilave edilmiştir. Çalışmada kullanılan verilere ait zaman serileri Şekil 1 ve Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 1. Türkiye orman yangın sayısı yıllık toplamalarının zaman serisi.

Verileri, fonksiyonları veya operatörleri farklı frekanstaki (veya periyoddaki) bileşenlere ayırabilen Dalgacık dönüşümü bir yardımcı araç olarak periyodik bileşenleri çeşitli ölçek değerlerinde ortaya çıkarabilmektedir [48]. İlk dalgacık dönüşümü yöntemi meteorolojik verilerin ve sismik sinyallerin anlaşılması amacıyla düşünülmüştür [49]. Zaman serilerine dalgacık dönüşümü uygulayan Torrence [50] zaman serilerini; zaman-frekans uzayında gösterimini elde etmiş böylelikle baskın periyodik bileşenleri ve bu bileşenlerin zamanla nasıl değiştiğini tespit etmiştir. Dalgacık dönüşümü bize bir zaman serisinin hem zaman hem de frekans ortamında incelenmesine olanak sağlayan gelişmiş bir yöntemdir. Bu yöntemle seçilen zaman serisi değişkeninin periyodik bileşenleri zaman içinde enerji seviyeleri ile birlikte tespit edilebilmektedir. Dalgacık dönüşümleri seçilen bir ana dalgacık ile sinyaller değişik pencerelerde ilişkilendirilir [51]. Yapılan bu SDD çalışmasında temel olarak Morlet dalgacık fonksiyonunun genişletilip ötelenmesi kullanılmış olup analiz R

Project yazılım programında sonuçlandırılmıştır. Dalgacık dönüşümünde dalgacık fonksiyonu olarak yararlanılan ana dalgacıklar; Morlet, Gaussian, Daubechies, Mexican hat olarak kullanılmaktadır. Bu analizde ise uygun dalgacık türü Morlet seçilerek uygulanması yapılmıştır. Morlet dalgacık dönüşümü gerçek ve irrasyonel kısımları dikkate alarak hem faz hem de genliği analiz edebilmektedir. Ayrıca frekans alanında keskin kenarlarının olmaması nedeniyle periyodik davranışı daha kolay ve anlaşılabilir olmaktadır [49,52].



Şekil 2. Güneş leke sayısı yıllık toplamalarının zaman serisi

Sürekli dalgacık dönüşümü ile seçilen bir zaman serisinin periyodik yapısının zamanla nasıl değiştiği ve periyodikliğin gücü belirlenebilmektedir. Sürekli dalgacık spektrum sonuçları görsel bir şekilde yatay eksen ölçüm süresini (zamanı), dikey eksen de logaritmik olarak zaman serisinin periyodik ölçeğini göstermektedir. Yüksek dalgacık katsayıları değişimi koyu renk tonuyla gösterilirken, düşük dalgacık katsayıları değişimi açık renk tonlarıyla tonlanmıştır. Dalgacık katsayılarının büyüklüğü enerjinin yüksekliğini ifade etmekte olup parlak açık renk tonlarıyla gözükmektedir. Aslında enerjinin yüksek olması o zaman süresinde kuvvetli önemli periyodikliğin meydana geldiğini gösterirken açık renk tonlar enerjinin düşük yani periyodikliğin kaybolduğunu gösterir. Şekil 3 ve Şekil 4’te yatay eksen de yıl olarak zaman dikey eksen de ise ölçek periyodu olacak şekilde çizilen SDD spektrumları görülmektedir

Sürekli dalgacık dönüşümü, seçilen dalgacık fonksiyonunun sürekli olarak kaydırılıp değişen ölçeklerle çarpımından sonra zaman eksenini boyunca toplanmasından aşağıdaki formül ile elde edilmektedir [53].

$$SDD_{(s,\tau)} = \int_{-\infty}^{+\infty} g(t) \cdot \varphi_{s,\tau}^*(t) dt \quad (1)$$

- * : kompleks eşleniğini ifade eder,
- $g(t)$: dönüşümü yapılacak fonksiyondur,
- $\varphi_{s,\tau}^*(t)$: dalgacık ya da ana dalgacık fonksiyonu,
- τ : kaydırma değişkenidir,
- S : ölçek değişkenidir.

Dalgacık fonksiyonları, bir ana temel dalgacık fonksiyonundan ölçek ve kaydırma değişkenlerinin değiştirilip kullanılmasıyla elde edilir ve matematiksel olarak şöyle gösterilir;

$$\varphi_{s,\tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \varphi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) \quad (2)$$

Bu denklemde $1/\sqrt{s}$ ölçek faktörü, farklı ölçeklere sahip normalizasyon faktörüdür. Bu eşitlik $\varphi_{s,\tau}(t)$ denkleminde yerine konulursa [50]

$$SDD_{(s,\tau)} = \frac{1}{\sqrt{s}} \int_{-\infty}^{+\infty} g(t) \cdot \varphi_{s,\tau}^* \left(\frac{t-\tau}{s} \right) dt \quad (3)$$

Bu formül t zaman değişkenini göstermektedir. $\varphi(t)$ dönüşüm fonksiyonu olup dalgacık fonksiyonu olarak isimlendirilir, $g(t)$ de yıllık ve aylık güneş leke sayıları ve orman yangın sayıları değerleri olmaktadır.

Dönüşümde kullanılan farklı genişlikteki pencere fonksiyonları ana dalgacıktan ölçekleme ile sürekli olarak türetilir. Pencere işaret üzerinde sürekli olarak gezdirilerek farklı dalgacık katsayılarına ulaşılır. Dalgacık fonksiyonu farklı pencerelerde zaman serisi ile öteleye öteleye çarpımı ile dalgacık dönüşümü katsayıları elde edilir. Bulunan katsayılar zaman, ölçek ve dalgacık katsayısının değerini gösteren üç boyutlu görüntü ile elde edilerek periyodik yapı ortaya konulmuş olur. Şayet her bir ölçek için tüm zaman eksenini boyunca hesaplanan spektrumların ortalamaları alınırsa GDS oluşturulmuş olur. GDS'nun formülü ise şöyle yazılabilir [54].

$$\overline{W^2}(s) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |W_N(s)|^2 \quad (4)$$

Bu denklemde s ölçek değişkenini, N zaman serisinin toplamıdır. GDS her bir ölçek için dalgacık sonuçlarının ortalamasını vermektedir. Bu ortalamalar üst üste toplanarak GDS nihayetinde iki boyutlu, yani ölçek ve güç olarak, periyodik yapıyı görsel olarak açıklamaktadır [54]. Zaman serileri analiz edilirken Morlet dalgacığından yararlanılmış ve analiz R Project Programında gerçekleştirilmiştir. SDD periyodik bileşenlerin zaman içindeki değişim enerjisini yani bileşenlerin zamanla değişimi gösterirken, GDS ile de en önemli periyodik bileşenler tespit edilebilmektedir. Böylelikle orman yangın sayıları ile güneş lekeleri sayılarının periyodik bileşenlerinin hem güçsel hem zamansal değişimlerini ortaya çıkarılabilmektedir.

2. Sonuçlar ve Tartışma

SDD'da, yatay ekseninde zaman (yıl) düşey ekseninde ise ölçek (periyot) olacak şekilde çizilmektedir (Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5). Kullanılan değişkenin zaman serisinin genliği değişebilen ve zamanda ötelenebilen Morlet ana dalgacık pencereleri ile çarpılması ile iki boyutlu dalgacık katsayılarının görüntüsü elde edilmektedir. Bu katsayıların büyüklüğü o periyodik bileşenin enerjisinin yüksekliği ile ifade edilmiş olur. Bu spektrumlarda enerjinin yüksek olduğu bölgeler koyu kahve renkli (kırmızımsı) görülmektedir. Enerjinin yüksek olması o zaman süresince o periyottaki bileşenin etkili olduğu anlamına gelmektedir. Enerjinin düşük olduğu yerler de açık kahverengi ile açık gri renk arasında görülmekte ve o periyodik bileşenin görülen zaman aralığında etkisinin zayıflığını ifade etmektedir.

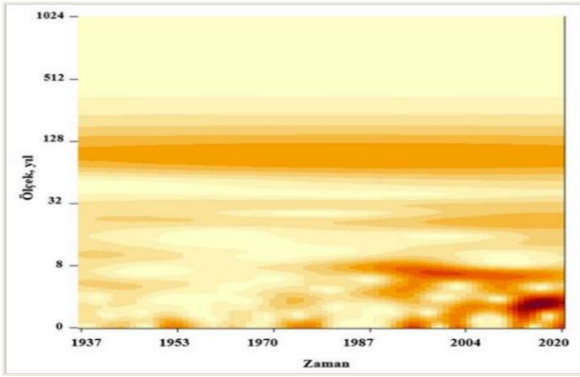
Orman yangın sayılarının SDD'nün R Project programında görüntüsü Şekil 3'te gösterilmiştir. Güçlü periyodik yapının zaman ekseninin ilk yarısında zayıf iken, 1970'den sonra güçlenmeye başlayarak 1980'den sonra daha güçlü hale geldiği anlaşılmaktadır. En hâkim bileşen olan 6.60 yıllık periyodik

bileşen 1996 yılından 2004 yılına kadar çok güçlü, 1988-1995 ile 2004-2014 yıllarında güçlü olduğu SDD görüntüsünde görülmektedir. SDD'de 3.48 yıllık periyodik bileşenin 2013-2018 yıllarında çok güçlü, 1973-1976, 1991-1996 ve 2002-2007 güçlü olduğu tespit edilmiştir. 21.24 yıllık periyodik bileşen 1996-2020 yıllarında güçlü, 1940-1955 ve 1981-1996 yıllarında az güçlü enerjilidir. SDD spektrumlarında 29.48 yıllık periyodik bileşen sadece 2004-2020 yılları arasında belirgin olduğu görülmektedir.

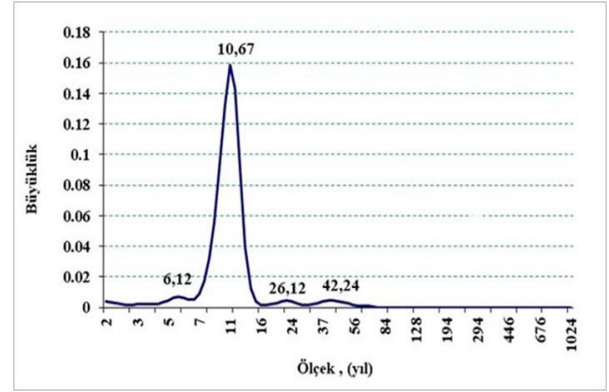
Yine 52 yıllık periyodik bileşen zaman boyunca sürekli fakat zayıf olduğu söylenebilir. Orman yangın sayısı zaman serisinde gözlenen 1990-1995 yılları ile 2010-2015 yılları arası çok fazla artışın gözlemlendiği zaman aralığında SDD'de de bu artışların kuvvetli enerjileri saptanmıştır.

Yıllık toplam orman yangın sayıları verilerinin Global spektrum sonucu Şekil 6'da gösterilmiştir. Global Spektrum bize etkin periyodik bileşenlerin hangilerinin olduğunu göstermektedir. Periyodik bileşenler yaklaşık olarak 3 yıl ile 52 yıl arasında değişimler göstermekle birlikte kısa yıllık periyodik yapının uzun yıllardan daha güçlü olduğu tespit edilmiştir. Şekil 6'da önemli periyodik bileşenler; 6.60 yıl, 3.48 yıl, 21.24 yıl, 29.48 yıl, 12.12 yıl ve 52 yıl olarak tespit edilmiştir. GDS'na göre orman yangınlarının hâkim periyodik bileşeni 6.60 yıldır yani 6.60 yıl döngülerle ülkemizde orman yangın sayılarında artışlar olmaktadır. Diğer güçlü periyodik bileşenler ise 3.48 yıl, 21.24 yıl ve 29.48 yıl döngülere sahiptirler.

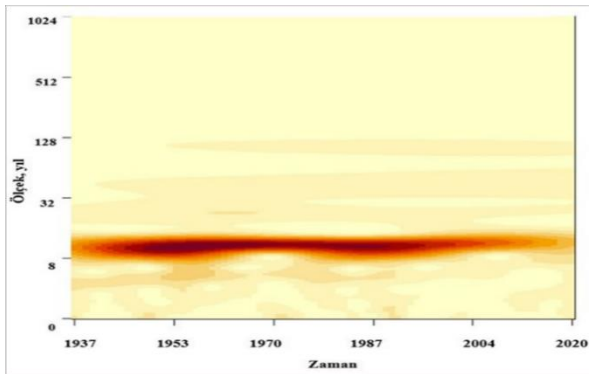
Güneş leke sayıları yıllık toplam verilerinin SDD spektrumları Şekil 4'te gösterilmiştir. Spektrumda baskın periyodik bileşen 10.67 yıl olarak tüm zaman sürecinde etkin olarak görülmektedir. Güneş leke sayılarının GDS Şekil 7'de görüldüğü gibi hakim bileşen çok net bir şekilde 10.67 yıllık periyodik bileşendir. GDS'da diğer periyodik bileşenler 6.12 yıllık, 26.12 yıllık ve 42.24 yıllık periyodik bileşenler olarak bulunmuştur. SDD'de 10.67 yıllık periyodiklik 1948 yılından 1989 yılına dek çok çok kuvvetli, 1945 yılından 1948 yılına ve 1990 yılından 1993 yılına kadar kuvvetli olduğu görülmektedir. Zaman ekseninde görüleceği gibi 2017 yılından 2020 yılına kadar periyodiklikte zayıflama olduğu saptanmıştır. İkinci olarak 6.12 yıllık periyodik bileşen 1951 yılından 1960 yılına kadar kuvvetli, 1968 ile 1990 arası kuvvetlice değişim göstermiştir. SDD'de tüm zaman boyunca sabit bir enerjide olan 26.12 yıllık periyodik bileşen sadece 1959 ile 1967 yıllarında enerjisinde bir miktar artışa sahip olmuştur. 42.24 yıllık periyodik bileşen 1941 yılından itibaren başlayıp değişmeyen fakat az bir enerjili olarak görülmektedir. Güneş leke sayıları aylık toplam verileri ile yapılan dalgacık dönüşüm sonuçları Şekil 5'te SDD olarak ve Şekil 8'de GDD olarak gösterilmiştir. Aylık verilerin sonucunda hâkim periyodik bileşen 128 aylık (10.67 yıl) periyodik bileşendir. 128 aylık periyodik bileşen Temmuz 1987 ayından Mart 1996 ayına kadar çok kuvvetli, Mayıs 1941 den Temmuz 1987 ayına ve Mayıs 1996 den Eylül 2000 ayına kadar kuvvetli bileşen olarak seyretmiştir. Bu periyodik bileşen; Eylül 2001 den Ocak 2008'e, Şubat 2008'den Eylül 2010'a, Ekim 2013'e ve Eylül 2015'e kadar tedrici azalma göstermektedir.



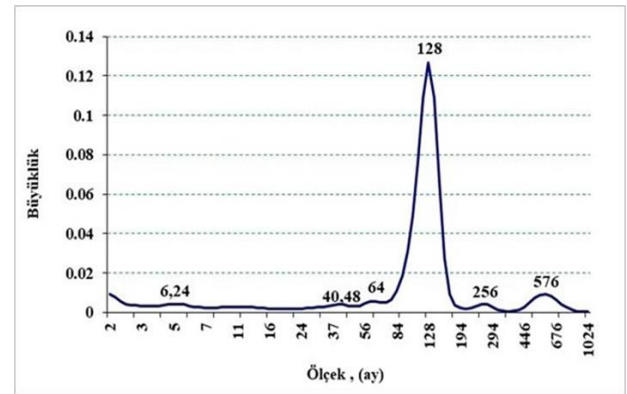
Şekil 3. Türkiye orman yangın sayıları yıllık toplamlarının sürekli dalgacık spektrumu



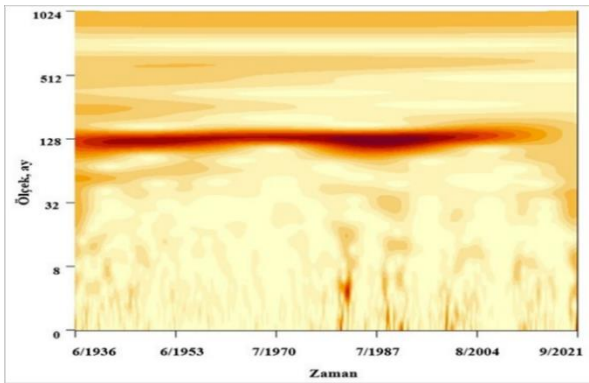
Şekil 7. Güneş leke sayılarının yıllık toplamlarının global dalgacık spektrumu



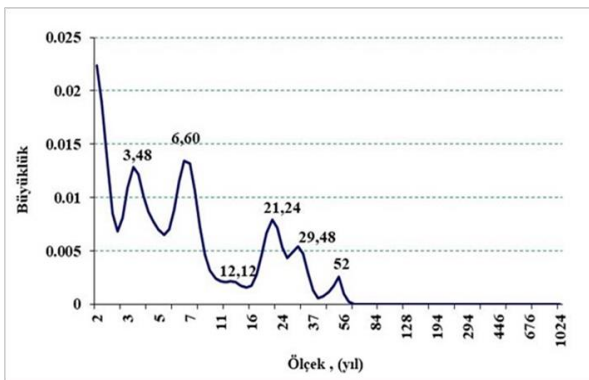
Şekil 4. Güneş leke sayılarının yıllık toplamlarının Sürekli dalgacık spektrumu



Şekil 8. Güneş leke sayılarının aylık toplamlarının global dalgacık spektrumu



Şekil 5. Güneş leke sayılarının aylık toplamlarının Sürekli dalgacık spektrumu.



Şekil 6. Türkiye orman yangınları yıllık toplamlarının global dalgacık spektrumu

İkinci büyük periyodik bileşen 576 aylık (48 yıl) döngüye sahiptir. 576 aylık (48 yıllık) periyodik bileşen Mayıs 1946 ayından Temmuz 1960'a kadar kuvvetlidir. Zaman süresinin en son kısmı olan Eylül 2014 ayından Eylül 2021'e kadar zayıf enerjiliyken kalan zaman sürede normal bir enerjili gözlenmektedir. Üçüncü büyük periyodik bileşen 256 aylık (21.33 yıllık) olup en kuvvetli olduğu zaman Haziran 1936'den Eylül 1945 arasındadır. 256 aylık periyodik bileşen Ekim 1945'ten Eylül 1950'e kadar daha zayıf, Ekim 1950'den Eylül 1964'e kadar zayıf bir yapıdadır. 64 aylık (5.33 yıl) periyodik bileşen Haziran 1936 ile Ocak 1939 tarihleri arasında kuvvetli, Şubat 1939 dan Mart 1943 tarihleri arasında daha az kuvvetli bir yapıda salınım göstermiştir. 6.24 aylık periyodik bileşen Haziran 1982 tarihinden Mart 1983 tarihlerinde oldukça kuvvetli ve yerel olarak tespit edilmiştir. Yine 12 aylık bileşenin izleri de SDD'de yersel olarak gözlenmiştir.

Orman yangın sayıları ile güneş leke sayılarının GDS'nin birbirine korelasyon ilişkisinin hiç olmadığı ($\rho=0,05$) tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında güneş leke sayısının 11 yıllık döngüsünün tespit edilmesi beklenen bir sonuç olup, birçok iklim çalışmasında bu periyot gözlemlenmiştir. [56, 57]. Ancak Türkiye orman yangın sayılarının periyodik davranışı güneş leke sayısı ile uyumlu bulunmamıştır.

3. Sonuç ve Öneriler

Araştırma sonucunda Türkiye orman yangın sayıları ve güneş leke sayılarının 1937 yılından 2020 yılı sonuna kadar olan

dönemde önemli periyodik bileşenleri ortaya çıkarılmıştır. SSD ve GDS Türkiye orman yangın sayılarının yıllık toplam verileri kullanılarak, güneş leke sayıları hem aylık toplam hem de yıllık toplam verileri kullanılarak değerlendirilmiştir. Türkiye yangın sayıları ve güneş leke sayılarının zaman serilerinin SDD ile GDS’unda farklı zaman ölçeklerinde (periyotlarda) değişik salınımlar gösterdiği anlaşılmıştır. Türkiye orman yangınları sayılarının baskın periyodikliği 6.60 yıl, güneş lekelerinin hâkim periyodu 10.67 yıl olarak bulunmuştur. Orman yangınlarının SDD’de bu baskın periyodik yapı 2000’li yıllardan sonra sürekli sayılabilecek kadar belirginken, güneş leke sayılarının SDD’de 10.67 yıllık periyot kesintisiz ve çok güçlü bir şekilde mevcuttur. Sonuç olarak çalışılan Türkiye orman yangın sayısı ile güneş leke sayıları arasında periyodik yapılarında bir benzerlik bulunamamıştır ancak orman yangınları doğal olduğu gibi doğal olmayan nedenlerle de meydana gelmektedir. Bu etkilerin ne kadar olduğu tam olarak bilinmemektedir bunun sonuçlara etkisi de düşünülmelidir.

Bu çalışmadaki her iki değişkenin aynı zaman dilimdeki periyodik spektrumları birbirlerinden çok farklı yapıda olduğu görülmüştür. Güneş lekelerinin en büyük enerjili döngü döneminde artan güneş radyasyonu verileri ile Türkiye’deki yanan toplam yangın alanlarını ile yangın sayıları arasında belirgin bir doğrusal ilişki olduğu bulunan çalışmanın [44] aksine bu çalışmada güneş lekelerinin baskın periyodik bileşenleri ile orman yangın sayılarının periyodik bileşenleri arasında bir ilişki bulunamamıştır. Bunun nedeninin OMG’nin orman yangın sayısı verilerinin özellikle ilk yarısının Türkiye’nin gerçek verilerini temsil etmediği düşünülmektedir. Özellikle güneş leke sayısının uzun yıllık periyodlarının olması güneş mekaniğinin kendine özgü büyük döngülerinin olmasına bağlanabilir. Dalgacık dönüşümü analizinin istatistiksel anlamlılık testleri ile geliştirilerek yapılmasının daha uygun olacağı düşünülmektedir.

Yazar Katkısı

Biçimsel analiz - Taner M. Cengiz(TMC); Araştırma - TMC; Deneysel performans - TMC; Veri toplama - TMC; Veri işleme - TMC; Literatür taraması - TMC; Yazan - TMC; İnceleme ve düzenleme - TMC.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazar, bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve/veya yayınlanması ile ilgili olarak herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemiştir.

Teşekkür

Bu makalenin oluşmasında yardımcıları bulunan İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü, Orman Yangınlarıyla Mücadele Şube Müdürü İkrâm Çelik ve Tekirdağ Orman İşletme Müdürlüğü memur Sezer Memiş’e teşekkür ederim.

Kaynaklar

- [1] Bilgili, E., (2020). Türkiye’de orman yangınlarına genel bir bakış. Yeşil Dünya, Orman Mühendisleri Odası, 57(1-2-3), 58-67.
- [2] Sevinc, V., Kucuk, O., & Goltas, M. (2020). A Bayesian network model for prediction and analysis of possible forest fire causes. *Forest Ecology and Management*, 457, 117723.

- [3] Barenklau K. E., (2001). *Agricultural Safety*. Florida, ABD Lewis Publisher, 120-130.
- [4] Küçük, Ö., & Sağlam, B. (2004). Orman yangınları ve hava halleri. *Kastamonu Orman Fakültesi Dergisi*, 4(2), 220-231.
- [5] Cardil, A., Molina, D. M., Ramirez, J., & Vega-García, C. (2013). Trends in adverse weather patterns and large wildland fires in Aragón (NE Spain) from 1978 to 2010. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(5), 1393-1399.
- [6] OGM (2020). 2010-2019 Yılları Arasında Meydana Gelen Orman Yangınlarının Çıkış Sebeplerine Dağılımı. Orman Yangınları Değerlendirme Raporu, Orman Yangınlarıyla Mücadele Daire Başkanlığı, 48
- [7] OGM (2017). Orman Yangınları Değerlendirme Raporu, S 26.
- [8] Tatlı, H. & Türkeş, M., (2014). Climatological evaluation of Haines forest fire weather index over the Mediterranean Basin. *Meteorological Applications*, 21(3), 545-552.
- [9] Küçük, Ö., Bilgili, E., Durmaz, B. D., Sağlam, B., & Baysal, İ. (2009). Örtü yangınının tepe yangınına geçişinde etkili olan faktörler. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 9(2), 80-85.
- [10] Yavuz, M., Sağlam, B., Küçük, Ö., & Tüfekçioğlu, A. (2018). Assessing forest fire behavior simulation using FlamMap software and remote sensing techniques in Western Black Sea Region, Turkey. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 18(2), 171-188.
- [11] Trouet, V., Taylor, A. H., Carleton, A. M., & Skinner, C. N. (2009). Interannual variations in fire weather, fire extent, and synoptic-scale circulation patterns in northern California and Oregon. *Theoretical and Applied Climatology*, 95(3-4), 349-360.
- [12] McCaw, L., Marchetti, P., Elliott, G., & Reader, G. (2007). Bushfire weather climatology of the Haines Index in southwestern Australia. *Australian Meteorological Magazine*, 56 (2).
- [13] Pausas, J. G. (2004). Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean basin). *Climatic change*, 63(3), 337-350.
- [14] Sivrikaya, F., Küçük, Ö. (2022). Modeling forest fire risk based on GIS-based analytical hierarchy process and statistical analysis in Mediterranean region, *Ecological Informatics*, 68, 101537,
- [15] Urbietta IR, Zavala G, Bedia J, Gutierrez JM, San Miguel-Ayanz J, Camia A, Keeley JE, & Moreno JM. (2015). Fire activity as a function of fire-weather seasonal severity and antecedent climate across spatial scales in southern Europe and Pacific western USA. *Environmental Research Letters*, 10(11), 114013.
- [16] Gomes J.F. & Radovanovic M., (2008). Solar activity as a possible cause of large forest fires-a case study: analysis of the Portuguese forest fires. *Science of the Total Environment*, 394(1), 197-205.

- [17] Parker, D. E., Jones, P. D., Folland, C. K., & Bevan, A. (1994). Interdecadal changes of surface temperature since the late nineteenth century. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 99(D7), 14373-14399.
- [18] Jones, P. D., New, M., Parker, D. E., Martin, S., & Rigor, I. G.: (1999). Surface Air Temperature and its Changes over the Past 150 Years, *Reviews of Geophysics* 37, 173–199.
- [19] Barnett, E. & Halverson, J., (2001). Local increases in coronary heart disease mortality among blacks & whites in the United States, 1985–1995. *American Journal of Public Health*: 91(9), 1499-1506.
- [20] Eddy, J. A. (1977). Climate and the changing sun. *Climatic Change*, 1(2), 173-190.
- [21] Haigh, J.D. (2007). The Sun and the Earth's Climate, *Living Reviews in Solar Physics*, 4, 1-64.
- [22] Scafetta, N. & West, B. J. (2008). Is climate sensitive to solar variability? *Physics Today*, 61(3), 50.
- [23] Scafetta, N., (2009). Empirical analysis of the contribution to global mean air surface temperature change. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 71,1918–1923.
- [24] Echer, M. S., Echer, E., Rigozo, N. R., Brum, C. G. M., Nordemann, D. J. R., & Gonzalez, W. D., (2012). On the relationship between global, hemispheric and latitudinal averaged air surface temperature (GISS time series) and solar activity. *Journal of atmospheric and solar-terrestrial physics*, 74, 87-93.
- [25] Currie, R.G., (1974). Solar cycle signal in surface air temperature. *Journal of Geophysical Research*, 79, 5657–5660.
- [26] Herman, J.R. & Goldberg, R., (1978). A 'Sun, Weather, and Climate'. NASA, Washington, DC.
- [27] Haigh, J.D. (2007). The Sun and the Earth's Climate, *Living Reviews in Solar Physics*, 4, 1-64.
- [28] Echer, E., Gonzalez, W. D., Guarnieri, F. L., Dal Lago, A., & Vieira, L. E. A. (2005). Introduction to space weather. *Advances in Space Research*, 35(5), 855-865.
- [29] Echer, M. S., Echer, E., Rigozo, N. R., Brum, C. G. M., Nordemann, D. J. R., & Gonzalez, W. D., (2012). On the relationship between global, hemispheric and latitudinal averaged air surface temperature (GISS time series) and solar activity. *Journal of atmospheric and solar-terrestrial physics*, 74, 87-93.
- [30] Syphard, A. D., Radeloff, V. C., Keeley, J. E., Hawbaker, T. J., Clayton, M. K., Stewart, S. I., & Hammer, R. B. (2007). Human influence on California fire regimes. *Ecological Applications*, 17(5), 1388-1402.
- [31] Ager, A. A., Preisler, H. K., Arca, B., Spano, D., & Salis, M. (2014). Wildfire risk estimation in the Mediterranean area. *Environmetrics*, 25(6), 384-396.
- [32] Zhang G., (1999). Predictions for maximum-value sunspot number-time and the end time of cycle 23. *Progress in Geophysics*, 14(S1), 99-103.
- [33] Frick, P., Galyagin, D., Hoyt, D. V., Nesme-Ribes, E., Schatten, K. H., Sokoloff, D., & Zakharov, V., (1997). Wavelet analysis of solar activity recorded by sunspot groups. *Astronomy and Astrophysics*, 328, 670-681.
- [34] Le, G. M. & Wang, J. L. (2003). Wavelet analysis of several important periodic properties in the relative sunspot numbers. *Chinese Journal of Astronomy and Astrophysics*, 3(5), 391.
- [35] Lagerquist, R., Flannigan, M. D., Wang, X., & Marshall, G. A. (2017). Automated prediction of extreme fire weather from synoptic patterns in northern Alberta, Canada. *Canadian Journal of Forest Research*, 47(9), 1175-1183.
- [36] Mhawe, M., Faour, G., Abdallah, C., & Adjizian-Gerard, J. (2016). Towards an establishment of a wildfire risk system in a Mediterranean country. *Ecological informatics*, 32, 167- 184.
- [37] Flannigan, M.D. & Wotton, B.M., (2001). Climate, weather and area burned in Forest fires, *Academic Press*, 351-373.
- [38] Baltacı, U. ve Yıldırım F. (2017). Orman yangınları açısından riskli yılların güneş leke döngüsüne bağlı olarak önceden tahmin edilebilmesi. *Ormanlık Araştırma Dergisi*, 4(2), 133-142.
- [39] Mwanzia, D. (2021). A study of solar variability and its effects on Earth's Climate. Thesis, University of Nairobi.
- [40] Marov, M. Y. (2020). Radiation and space flights safety: an insight. *Acta Astronautica*, 176, 580-590.
- [41] Shuyang, W., & Guoyu, S. (1994). Study on relations between heavy-disaster-period of forest fire activity and sunspot activity, SSTA. *Journal of Northeast Forestry University*, 5(4), 27-32.
- [42] Polyansky, O. L., Zobov, N. F., Viti, S., Tennyson, J., Bernath, P. F., & Wallace, L. (1997). Water on the sun: line assignments based on variational calculations. *Science*, 277(5324), 346-348.
- [43] Wright, J. G. (1940). Sun spots and forest fires in New Brunswick. *The Forestry Chronicle*, 16(4), 233-238.
- [44] Herrera V.G., (2016). Mexican forest fires and their decadal variations. *Advances in Space Research*, V. 58 (1), 2104-2115.
- [45] Baltacı, U. ve Yıldırım F. (2017). Orman yangınları açısından riskli yılların güneş leke döngüsüne bağlı olarak önceden tahmin edilebilmesi. *Ormanlık Araştırma Dergisi*, 4(2), 133-142.
- [46] OGM, 2021. Orman Yangınlarıyla Mücadele Değerlendirme Raporları. Ankara
- [47] Anonim, (2021). <https://www.bis.sidc.be/silso/datafiles>. Erişim Tarihi: 13.04.2021
- [48] Daubechies, I., (1990). The Wavelet Transform, Time-Frequency Localization and Signal Analysis. *IEEE Transactions on Information Theory*, 36 (5), 961-1005.
- [49] Grossmann, A., & Morlet, J. (1984). Decomposition of Hardy functions into square integrable wavelets of constant shape. *SIAM journal on mathematical analysis*, 15(4), 723-736.

- [50] Torrence, C., & Compo, G. P., (1998). A Practical Guide to Wavelet Analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79(1), 61–78.org/10.1016/j.foreco.2019.117723.
- [51] Küçük, M. & Ağiralıoğlu, N., (2006). Wavelet regression technique for streamflow prediction. *Journal of applied statistics*, 33(9), 943-960.
- [52] Cohen, M.X. (2019). A better way to define and describe Morlet wavelets for time-frequency analysis. *NeuroImage*, 199, 81–86.
- [53] Arı, N, Özen S. ve Çolak Ö. H. (2008). Dalgacık Teorisi, Palme Yayıncılık, Ankara.
- [54] Partal, T. (2012). Wavelet analysis and multi-scale characteristics of the runoff and precipitation series of the Aegean region (Turkey). *International Journal of Climatology*, 32,108-120
- [55] Öner, İ.V., Yeşilyurt, M.K. ve Yılmaz, E.Ç. (2017). Wavelet analiz tekniği ve uygulama alanları. Ordu Üniversitesi. *Bilim Teknik Dergisi*, 7(1), 42-56.
- [56] Gray, L. J., Beer, J., Geller, M., Haigh, J. D., Lockwood, M., Matthes, K., ... & White, W. (2010). Solar influences on climate. *Reviews of Geophysics*, 48(4).
- [57] Cameron, R. H., & Schuessler, M. (2019). Solar activity: periodicities beyond 11 years are consistent with random forcing. *Astronomy & Astrophysics*, 625, A2

Research Article

Could Dyeing Process Be Eliminated for PES/CO Fabrics Through Recycling?

Rıza Atav^{1, a, *} , Selma Soysal^{2, b} , Fatma Yıldız^{2, c} 

¹ Tekstil Mühendisliği, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Turkey, 59860

² Gülle Tekstil A.Ş., Tekirdağ, Turkey, 59870

^a ratav@nku.edu.tr, ^b selma.soysal@gulletekstil.com.tr, ^c fatma.tok@gulletekstil.com.tr

Received: 28.04.2022

Accepted: 27.07.2022

DOI: 10.55581/ejeas.1110619

Abstract: As it is known, finishing processes of polyester/cotton blended fabrics require a double dyeing process. Therefore, the consumption of water, energy and chemicals and the waste it generates are quite high. Within the scope of this study, it is aimed to compare the yarn and fabric performance properties of a PES/CO blended fabric of a certain color, produced by using virgin fiber or recycled fiber in its CO component. In the light of the studies, it can be said that during the production of PES/CO blend fabric, recycle cotton can be used as well as virgin fiber, and although there won't be problem in terms of color and fastness, the fabric produced cannot meet the standards provided by the fabric produced from 100% virgin fiber in terms of general appearance and physical-technological properties. Beyond that, the color gamut will also be limited. However, in the case of using recycled fiber, it is thought that significant environmental benefits will be achieved, both because a waste is recycled and a fabric that requires too many processing steps such as a PES/CO blend can be produced without dyeing. It is also worth noting that fabrics produced using recycle fibers have a unique visual effect. The worn-out look can be particularly interesting in some product lines.

Keywords: Polyester/cotton, dyeing, recycle, virgin fiber, visual effect

PES/CO Kumaşlarda Geri Dönüşüm Yoluyla Boyama İşlemi Ortadan Kaldırılabilir mi?

Öz: Bilindiği gibi polyester/pamuk karışımı kumaşların terbiye işlemleri çift boyama işlemi gerektirir. Bu nedenle su, enerji ve kimyasalların tüketimi ve açığa çıkan atıklar oldukça fazladır. Bu çalışma kapsamında, pamuk bileşeninde virjin elyaf veya geri dönüştürülmüş elyaf kullanılarak üretilen belirli bir renkteki PES/CO karışımı bir kumaşın iplik ve kumaş performans özelliklerinin karşılaştırılması amaçlanmaktadır. Yapılan çalışmalar ışığında PES/CO karışımı kumaş üretiminde virjin elyafın yanı sıra geri dönüşüm pamuğunun da kullanılabileceği, renk ve haslık açısından herhangi bir sorun olmamasına rağmen geri dönüşüm elyaftan üretilen kumaşın genel görünüm ve fiziksel-teknolojik özellikler açısından %100 virjin elyaftan üretilen kumaşın sağladığı standartları karşılayamayacağı söylenebilir. Bunun ötesinde, renk gamı da sınırlı olacaktır. Bununla birlikte, geri dönüştürülmüş elyaf kullanılması durumunda hem bir atığın geri dönüştürülmesi hem de PES/CO karışımı gibi çok fazla işlem adımı gerektiren bir kumaşın boyama yapılmadan üretilmesi nedeniyle önemli çevresel faydaların elde edileceği düşünülmektedir. Geri dönüşüm lifleri kullanılarak üretilen kumaşların kendine özgü bir görsel etkiye sahip olduğunu da belirtmekte fayda vardır. Bazı ürün gruplarında yıpranmış görünüm özellikle ilgi çekici olabilir.

Anahtar kelimeler: Boyama, Geri dönüşüm, Görsel efekt, Polyester/pamuk, Virjin elyaf.

1. Introduction

Blends refers to the population possibilities that can be formed by many fiber polymers that differ in their physical or

chemical properties [1]. Blends may be needed for a variety of reasons. Blends have become a key word to meet the increasing demands of consumers in order to optimize the clothing comfort and at the same time to bring innovative

* Corresponding author

E-mail adresi: ratav@nku.edu.tr (R. Atav)

trends to the fashion industry. Blends of ester fibres with cotton or viscose are produced in greater quantity. Factors contributing to this situation have been the relative ease of processing, effective clearing and versatility of application, leading to a wide range of dyed and finished effects. Polyester/cellulosic yarns are used in sewing threads and slub effects for apparel [2].

Sustainability is one of the most up-to-date terms in the world, which consists of three aspects: environment, economy and society. With the emergence, acceptance and obsolescence of fast fashion, textile waste is rising to unprecedented levels at extraordinary speeds. On the other hand, textile wastes can be raw materials for the development of high value-added products with an appropriate recycling methodology. Textile waste management systems are currently going through a crucial phase aimed at producing value-added products with various recycling concepts and methods [3].

Inoue and Yamamoto (2004) investigated the performance and durability of woven fabrics containing recycled polyester fiber in their study. First, forty-eight commercially available fabrics containing polyester fibers made from PET bottles were collected and their mechanical, surface and thermal/moisture/air transport properties were measured with the KES-F system to clarify performance. In addition, the performances of the fabrics were tested after repeated washings. It was determined that the bending stiffness and shear strength values tended to increase with the increase in the recycled polyester fiber ratio [4].

Kurtoglu et al. (2013) investigated the usability of recycled clothing produced by evaluating fabric residues in their study. Ne 28 50% recycled cotton - 50% polyester yarns were produced from fabric scraps of a clothing company and compared with Ne 28 50% cotton - 50% polyester yarns. Single jersey fabrics were knitted with these yarns and garments were sewn with these fabrics under the same production conditions. The physical properties of yarns, fabrics and clothing were compared with products made from virgin fibers. Test results showed no significant difference between recycled and virgin clothing grades. As a result of this study, it was stated that recycled clothes obtained from fabric residues can be used in the garment manufacturing industry [5].

Telli and Özdil (2015) investigated the usability of recycled PET fibers in the apparel industry in their study. The burst strength, abrasion resistance, air permeability, surface friction, circular bending stiffness and dimensional stability properties of knitted fabrics made from recycled PET and blends of PET and cotton fiber were compared. It has been determined that while producing the fabric, recycled PET fibers can be blended in certain amounts instead of PET without sacrificing fabric performance [6].

Yuksekkaya et al. (2016) compared some properties of yarns and fabrics produced from virgin and recycled polyester and cotton fibers. Virgin cotton, recycled cotton, virgin polyester, recycled polyester fiber and blends of these fibers were used to produce OE (rotor) yarns. Single jersey fabrics were knitted

from these yarns. The physical properties of yarns and fabrics such as strength, evenness, yarn evenness, bursting strength, pilling and kinetic friction coefficient were measured and compared statistically. Although, in general, the properties of yarns and fabrics produced from virgin fibers are better than those produced from recycled fibers, it was emphasized in this study that it is possible to produce textiles of optimum quality [7].

In the light of this information, it can be said that there are a limited number of studies in the literature on the use of both cotton and polyester and the mixture of these two fibers in the production of recycled fabrics and the comparison of the performance properties of the recycled fabric with the virgin fabric. However, in none of these studies, the environmental and economic benefits of using recycled fiber in the production of colored fabrics have not been examined, since dyeing is not required if the equivalent of the colored recycled fabrics produced from virgin fiber are produced. Therefore, it can be said that this study will make an original contribution to the literature.

As it is known, finishing processes of polyester/cotton blended fabrics require a double dyeing process. Therefore, the consumption of water, energy and chemicals and the waste it generates are quite high. Within the scope of this study, it is aimed to compare the yarn and fabric performance properties of a PES/CO blended fabric of a certain color, produced by using virgin fiber or recycled fiber in its CO component. Beyond the comparison of product performance characteristics between producing a fabric from virgin fiber and recycled fiber, it is also aimed to reveal the environmental effects of this production route.

2. Material and Methods

While producing 70/30 PES/CO blend fabric, 70 cotton part was produced by using 42% Recycle / 28% virgin cotton. Flament PES was used as the core yarn in the middle. Colored fabric production was carried out using colored fibers directly. Beyond that, fabric was produced using 70% virgin undyed cotton and 30% undyed PES filament, and then dyed in fabric form by two-bath method. Then, Martindale pilling (TS EN ISO 12945-2 (ISO 2021), bursting strength (ISO 13938-2 (ISO 2019)), fastness (washing ISO-105 C06 (ISO 2010), dry and wet rubbing (ISO 105-X12 (ISO 2016)), water (ISO 105-E01 (ISO 2013)), alkaline and acidic perspiration (ISO 105-E04 (ISO 2013)), saliva fastness (GB/T 1886-2009)) tests were performed on all fabric samples. Furthermore, Datacolor 850 spectrophotometer (D 65/10°) was used to determine the reflectance (R%) values of samples. Then color yield (K/S) values were calculated by using the Kubelka-Munk equation;

$$K/S = (1 - R)^2 / 2R \quad (1)$$

R: Reflection value at maximum absorption wavelength

K: Absorption coefficient

S: Scattering coefficient

3. Results and Discussion

USTER test values of the produced yarns are given in Table 1.

Table 1 USTER test values of the yarns

Fiber Content	22/1 70% Virgin Cotton / 30% Virgin Polyester Flament	22/1 28% Virgin Cotton / %42 Recycled Cotton / 30% Virgin Polyester Flament
	Weight (g/m ²)	175
Um %	8.86	28.2
Thin Place (-50%)	0	4853
Thick Place (+50%)	14.2	5763
Neps (-200)	11.3	7607
Neps (+280)	3.8	3882
Hairness (H)	5.09	9.92
Tenacity (cN/tex)	17.3	9.7
Elasticity	6.61	192.7
Yarn Count (Ne)	21.5	21.9
Yarn Cv (Ne)	0.63	1.8
Twist T/m	706	890
Twist % Cv	2.82	4.25
Paraffin Mean [μ]	0.1	0.28
Humidity	7	6

When Table 1 is examined, the values such as thin place-thick place, hairiness and neps are quite good for 70/30 PES/CO blend yarn produced using virgin cotton, but these values deteriorate if recycle cotton is used. In addition, although the yarn twists were higher, the tenacity values were worse in the yarns containing recycle fiber. Looking at the yarn counts, it can be said that they have similar values.

The photos of fabrics produced are given in Figure 1. Color yield values of fabrics produced from virgin and recycle fiber were 16,24 and 21,79, respectively.



Figure 1. Photos of fabric sample produced by using virgin and recycled fiber

Washing, water, dry and wet rubbing, alkaline and acidic perspiration and saliva fastness test results (staining) of samples are given in Table 2-4. Color change values for each fastness tests were found to be 4/5 for both fabric types.

Table 2 Washing and water fastness test values of fabrics produced from recycled and virgin cotton fibers

	Washing Fastness						Water Fastness					
	WO	PAC	PES	PA	CO	CA	WO	PAC	PES	PA	CO	CA
70% Virgin Cotton / 30% Virgin Polyester Flament	4/5	4/5	4/5	3	4	4	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
28% Virgin Cotton / %42 Recycled Cotton / 30% Virgin Polyester Flament	4/5	4/5	4/5	3	4	4	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5

Table 3 Alkali and acidic perspiration fastness test values of fabrics produced from recycled and virgin cotton fibers

	Acidic Perspiration Fastness						Alkaline Perspiration Fastness					
	WO	PAC	PES	PA	CO	CA	WO	PAC	PES	PA	CO	CA
70% Virgin Cotton / 30% Virgin Polyester Flament	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
28% Virgin Cotton / %42 Recycled Cotton / 30% Virgin Polyester Flament	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5

Table 4 Saliva and rubbing fastness test values of fabrics produced from recycled and virgin cotton fibers

	Saliva Fastness						Rubbing Fastness	
	WO	PAC	PES	PA	CO	CA	Dry	Wet
70% Virgin Cotton / 30% Virgin Polyester Flament	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	3
28% Virgin Cotton / %42 Recycled Cotton / 30% Virgin Polyester Flament	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4	3

When the tables are examined, it can be said that all the fastness values of the fabric containing only virgin cotton and the fabrics containing recycled cotton are at very good levels and there is no significant difference between them.

Fabric samples were also tested for bursting strength and results are given in Table 5.

Table 5 Bursting strength values of fabrics produced from recycled and virgin cotton fibers

	Bursting Strength		
	KPA	mm	Sec.
70% Virgin Cotton / 30% Virgin Polyester Flament	180.26	29.86	15
28% Virgin Cotton / %42 Recycled Cotton / 30% Virgin Polyester Flament	158.4	32	22.2

However, the bursting strength of the fabrics were lower in those using recycled fiber. In addition, fabric handles were also compared with the subjective method, and it can be said that the handle is well balanced with the finishing processes and a performance similar, but not equal, to the fabric produced from virgin fiber can be achieved.

Cost analyzes of the fabrics (70% Cotton / 30% Polyester) produced were also made and the results are given in Table 6.

Table 6 Cost comparison of fabrics produced from recycled and virgin cotton fiber

Cost change in case of recycled cotton usage instead of virgin cotton	
Cotton (Virgin/Recycled) (\$/kg)	-%15
Polyester (\$/kg)	0
Yarn (\$/kg)	+%25
Knitting (\$/kg)	+%10
Dyeing/Washing (\$/kg)	-%70
Finishing (\$/kg)	0
Total (\$/kg)	-%10

When Table 6 is examined, the first thing that draws attention is that the production costs of fabrics containing recycled fiber are similar (even lower) to the case of using 100% virgin fiber. Although there seems to be something wrong at first glance, the reason for this is that the PES fiber to be used with it must be supplied in colored form in order for the dyed cotton fiber from the recycling to be used in the production of recycle fabric. The high price of colored PES fiber leads to the high price of fabrics using recycled cotton. However, if undyed recycled cotton fiber is used directly, the cost of fabric will significantly be reduced since it will be possible to use undyed PES filament together with it.

4. Conclusion

In the light of the studies, it can be said that during the production of PES/CO blend fabric, recycle cotton can be used as well as virgin fiber, and although there won't be problem in terms of color and fastness, the fabric produced cannot meet the standards provided by the fabric produced from 100% virgin fiber in terms of general appearance and physical-technological properties. Beyond that, the color gamut will also be limited. However, in the case of using recycled fiber, it is thought that significant environmental benefits will be achieved, both because a waste is recycled and a fabric that requires too many processing steps such as a PES/CO blend can be produced without dyeing. Because the fabric produced from PES/CO blended virgin fiber needs to consume 10 baths such as pretreatment, PES dyeing, reducing washing, rinsing, cotton dyeing, 4-5 washing steps. The use of recycle fiber will

provide a serious advantage by eliminating all these steps. It is also worth noting that fabrics produced using recycle fibers have a unique visual effect. The worn-out look can be particularly interesting in some product lines.

In future studies, it will be useful to work on determining the ideal blend ratio that will allow production without negatively affecting the general yarn and fabric properties by reducing the amount of recycle cotton used in the yarn production stage.

Author Contribution

Data curation - Rıza ATAV (RA), Selma Soysal (SS), Fatma Yıldız (FY); Formal analysis - RA, SS, FY; investigation - RA, SS, FY; Experimental Performance - SS; Data Collection - RA, SS; Processing - RA, SS; Literature review - RA, SS; Writing - RA, SS; Review and editing - RA, SS.

Declaration of Competing Interest

The authors declared no conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

Kaynaklar

- [1] Anış, P., & Eren, H.A. (2003). Poliester/Pamuk Karışımlarının Boyanması: Uygulamalar ve Yeni Yaklaşımlar. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 8(1): 131-139.
- [2] Shore, J. (1998). Blends Dyeing. *Society of Dyers & Colourists*, 169.
- [3] Vadicherla, T., & Saravanan, D. (2014). Textiles and Apparel Development Using Recycled and Reclaimed Fibers, Book Chapter in "Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing", 139-160.
- [4] Inoue, M., & Yamamoto, S. (2004). Performance and Durability of Woven Fabrics Including Recycled Polyester Fibers, *Journal of Textile Engineering*, 50.
- [5] Kurtoğlu Necef, Ö., Seventekin, N., & Pamuk, M. (2013). A Study on Recycling the Fabric Scraps in Apparel Manufacturing Industry, *Journal of Textile & Apparel*, 23(3), 286-289.
- [6] Telli, A., Özdil, N. (2015). Effect of Recycled PET Fibers on the Performance Properties of Knitted Fabrics, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 10(2), 47-60.
- [7] Yuksekkaya, M. E., Celep, G., Dogan, G., Tercan, M., Urhan, B. (2016). A Comparative Study of Physical Properties of Yarns and Fabrics Produced from Virgin and Recycled Fibers, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 11(2), 68