



KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

Dergi Sahibi

Prof. Dr. Sadettin HÜLAGÜ - (Kocaeli Üniversitesi)

Baş Editör

Prof. Dr. K. Süleyman YİĞİT - (Kocaeli Üniversitesi)

Yardımcı Editörler

Prof. Dr. Murat HOŞÖZ - (Kocaeli Üniversitesi)

Doç. Dr. H. Hakan GÜREL - (Kocaeli Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Mihriban CİVAN - (Kocaeli Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Recep Kaya GÖKTAŞ- (Kocaeli Üniversitesi)

Prodüksiyon Editörü

Öğr. Gör. Yusuf YAĞCI - (Kocaeli Üniversitesi)

Editör Asistanları

Arş. Gör. Abdurrahman GÜN - (Kocaeli Üniversitesi)

Arş. Gör. Dr. Alp Eren ŞAHİN - (Kocaeli Üniversitesi)

Dergi Sekreteri

Durmuş İMAT - (Kocaeli Üniversitesi)

Danışma Kurulu

AYGÜN Halis, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ERDEMLİ Yunus Emre, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ERTUNÇ H. Metin, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ORUÇ Bülent, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ÖZDEMİR Engin, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ÖZTÜRK İlhan Tekin, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

PEKEY Beyhan, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

SARAÇ Halil İbrahim, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

SINMAZÇELİK Tamer, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

UÇAR Mehmet, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

VELİ Elşen, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

GÜRAY R. Taygun, (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

KASIM Ufuk, (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

KÜÇÜK Serdar, (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

MAKARACI Murat, (Doç. Dr.) - (TÜBİTAK)

ÖZKOÇ Güralp, (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

PINARBAŞI Seval, (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

SAYAR Ahmet, (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

KİBAR Ali, (Dr. Öğr. Üyesi) - (Kocaeli Üniversitesi)

Editörler Kurulu

AKIN Nilgün, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ARIK Mehmet (Prof. Dr.) - (Özyeğin Üniversitesi)

ÇANAKCI Mustafa (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ENGİN Tahsin (Prof. Dr.) - (Sakarya Üniversitesi)

ERTUNÇ Hüseyin Metin (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

GENÇ Nevim (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

GÜNDOĞDU Özcan (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

KILIÇARSLAN Ali (Prof. Dr.) - (Hitit Üniversitesi, Makine Müh.)

KUZUCU Cihan (Prof. Dr.) - (Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi)

SAYIN Cenk (Prof. Dr.) - (Marmara Üniversitesi, Otomotiv Müh.)

SÖZEN Adnan (Prof. Dr.) - (Gazi Üniversitesi)

TANGEL Ali (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ÖZER Nil Pembe (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

URHAN Oğuzhan (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ARICI Müslüm (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ATAPEK Ş. Hakan (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

BAYNAL Kasım (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ÇEPNİ Murat Selim (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ÇETKİN Vildan (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ERGÜL Halim Aytekin (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

GÜLTEKİN Fatma (Doç. Dr.) - (Karadeniz Teknik Üniv., Jeoloji Müh.)

KANDEMİR İlyas (Doç. Dr.) - (Gebze Teknik Üniversitesi)

KARAKAŞ Ahmet (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

KASIM Rezzan (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

SERTÇELİK Fadime (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

YILDIZ Ali Bekir (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

YILMAZ Mehmet (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

YİĞİT Halil (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

AKPINAR Erkan (Dr. Öğr. Üyesi) - (Kocaeli Üniversitesi)

ARI Ayşe Arzu (Dr. Öğr. Üyesi) - (Kocaeli Üniversitesi)

ÇINAR Mehmet Aytaç (Dr. Öğr. Üyesi) - (Kocaeli Üniversitesi)

ÇOBAN Onur (Dr. Öğr. Üyesi) - (Kocaeli Üniversitesi)

EREN Canan Dilek (Dr. Öğr. Üyesi) - (Kocaeli Üniversitesi)

KİSHALI Emre (Dr. Öğr. Üyesi) - (Kocaeli Üniversitesi)

İletişim

Kocaeli Üniversitesi - Fen Bilimleri Enstitüsü Umuttepe Yerleşkesi 41380, Kocaeli/TÜRKİYE

Tel: +090 (262) 303 30 32 Fax: +090 (262) 303 30 33 E-mail: fbe@kocaeli.edu.tr



YAYIN VE DANIŞMA KURULLARI I

İÇİNDEKİLER II

Hasan YAĞCIOĞLU, Adnan SONDAŞ

Çoklu Görsel Nesnelere Veri Gizleme (Steganografi)1-5
(*Araştırma Makalesi*)

Mehmet Ali ÖZASLAN, Yasin KARAN

5G Baz İstasyonlarının Kapsama Alanına Yönelik Yol Kaybı Analizleri
ve Konumlandırılması6-13
(*Araştırma Makalesi*)

Faruk Enes OĞUZ, Emine Doğru BOLAT

Nesnelere İnterneti Tabanlı Akıllı Uzaktan Hasta Sağlık Takip ve Uyarı Sistemi 14-21
(*Araştırma Makalesi*)

Aybike KOÇ, Ayşegül BAHADIROĞLU, Buse Nur ATAY, Ümit ÜNVER

Soğutucu Akışkan Performanslarının Farklı Kriterlere Göre Karşılaştırılması..... 22-31
(*Derleme Makale*)

Erkan KARAYİĞİT, Teslime AYMAN, Barış GÜNAY

Geleneksel Üretim Yöntemlerine Alternatif Polimerik Sulu Çözelti Banyosunda
Hortum Tellerinin Üretilebilirliğinin Araştırılması..... 32-37
(*Araştırma Makalesi*)

Fevzi UÇKAN, Zülbiye DEMİRTÜRK, Hanife Merve TETİK

Konak Galleria mellonella Linnaeus (Lepidoptera: Pyralidae) hemolenf
kimyasına indol-3-asetik asitin etkisi 38-42
(*Araştırma Makalesi*)



Çoklu Görsel Nesnelere Veri Gizleme (Steganografi)

Data Hiding (Steganography) into Multiple Visual Objects

Hasan YAĞCIOĞLU^{1,*} , Adnan SONDAŞ² 

¹ Bilişim Sistemleri Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-9737-6180

² Bilişim Sistemleri Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0003-4559-3463

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 27/04/2020

Kabul Tarihi : 06/01/2021

Anahtar Kelimeler

Bilgi Güvenliği
Resim Steganografi
LSB
Veri Gizleme

Özet

Çağımızda internet kullanımının yaygınlaşmasıyla beraber veri alışverişi ve bilgi paylaşımı büyük bir oranda artmış, bilgi güvenliği önemli hale gelmiştir. Bu çalışma kapsamında C# programla dili ve resim steganografide en az anlamlı bite gizleme yöntemi (LSB) kullanılarak uygulama geliştirilmiştir. Geliştirilen uygulamada belirlenen PNG ve BMP resim dosyaları içerisine LSB kullanarak metin verisi gizleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Gizleme işleminin başarımlarını sonuçları ise MSE ve PSNR sonuçları ile değerlendirilmiştir.

Geliştirilen uygulama ile birden fazla resim dosyasına veri gizleme işlemi yapılmaktadır. Bildiride, 1500 karakterlik bir metnin tek bir resme ve 5 farklı resme gizlenmesinin sonuçları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre verinin 5 parçaya bölünerek gizlenmesi sonucunda ilgili örtü-resimde oluşan bozulma değerlerinin düştüğü görülmüştür.

Research Paper

Received Date : 27/04/2020

Accepted Date : 06/01/2021

Keywords

Information Security
Image Steganography
LSB
Data Hiding

Abstract

With the widespread use of internet in our age, data exchange and information sharing have increased largely and information security has become important. Within the scope of this study, an application was developed by using the C# language and the Least Significant Bit (LSB) method in the picture steganography. By using the developed application, a text data is hidden into PNG and BMP image files using LSB method. The performance results of the concealment were evaluated with MSE and PSNR results.

With the developed application, data hiding is made to more than one image file. In the paper, the results of hiding a 1500 character text in a single picture and 5 different pictures were compared. According to the obtained results, it was observed that the distortion values in the related cover-image decreased as a result of hiding the data into 5 parts.

1. Giriş

Son yıllarda bilgi teknolojilerinin gelişmesi ve gün geçtikçe hayatımıza daha çok girmesiyle beraber, işlemlerimizin birçoğu elektronik ortamlarda yapılabile hale gelmiştir. Bu ortamlarda işlenen, saklanan ve gönderilen verilerin güvenliğinin sağlanması ise oldukça gerekli bir durumdur. Veri iletiminin gerçekleştirildiği dijital ortamlarda, göndericiden alıcıya iletilen veriye yetkisiz kişilerin erişimi, verinin değiştirilmesi ve hatta verinin kaybolması gibi birçok güvenlik tehdidi bulunmaktadır. Bu

güvenlik tehditlerinin ortadan kaldırılmasına yönelik farklı yaklaşımlar sürekli geliştirilmektedir.

Veri güvenliğinin sağlanmasına yönelik geliştirilen farklı yaklaşımlardan birisi ise steganografidir. Steganografinin amacı veriyi, istenmeyen kişileri şüphelendirmeden ilgili hedefe ulaştırmaktır. Bu özelliğinden dolayı steganografi, gizli iletişim yöntemi olarak da bilinmektedir. Mesaj gönderilirken, üçüncü kişilerin şüphe etmeyeceği şekilde gizlenerek gönderilir ve üçüncü kişilerin eline geçse bile ellerinde gizlenmiş mesaj olduğunu anlayamayacaklardır. Böylelikle gönderilen mesajın açığa çıkması da engellenmiş olacaktır.

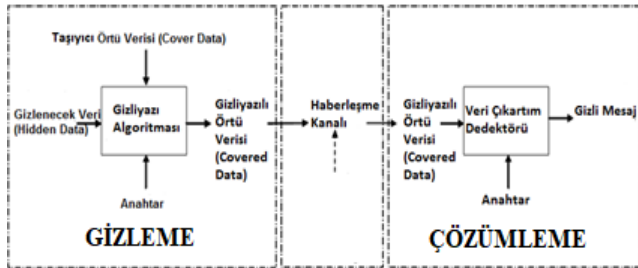
* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): hasan.yagcioglu@hotmail.com



Tarihi çok eskiye dayanan bir bilim dalı olan steganografi, Antik Yunan ve Herodot dönemine kadar uzanmaktadır [1]. Steganografi, kelime anlamı “gizlenmiş yazı” veya “örtülü yazı” anlamına gelmektedir [2]. Steganografide ilgili veriyi gizlemek için bir taşıyıcı nesneye ihtiyaç duyulmaktadır. İçerisine bilgi gizlenecek olan bu taşıyıcı nesneye örtü-nesnesi (cover object), gizleme işlemi sonrası oluşan nesneye ise stego-nesnesi (stego object) adı verilir [3]. Bu nesnelere, bütün sayısal dosya formatları (ses, fotoğraf ve video gibi) olabileceği gibi, herhangi bir görüntü içerisine gizlenmiş başka bir görüntü dosyası veya ses dosyası da olabilir [4]. Örtü-nesnesi içerisine gizli verileri saklama ve stego-nesnedeki gizli verileri tekrar elde etme aşamalarında kullanılan fonksiyonlar ise anahtar olarak tanımlanmaktadır [5].

Steganografide amaç örtü-nesnesine maksimum boyutta veri gizlenebilmesi ve buna karşılık örtü-nesnesinde en az seviyede bozulma olmasıdır.

Şekil 1’de steganografinin genel aşamaları yer almaktadır. Görüldüğü üzere, gizleme fonksiyonu kullanılarak örtü-nesnesi içerisine veri gizlenmekte ve stego-nesnesi elde edilmektedir. Çözme aşamasında ise stego-nesne üzerine çözme fonksiyonu uygulanarak gizli veri tekrar elde edilmektedir.



Şekil 1. Steganografinin genel aşamaları.

Bu çalışmada, en az anlamlı bite gizleme (Least Signification Bit; LSB) yöntemi kullanılarak örtü-nesnelere veri gizleme işlemi yapılmaktadır. Bu amaçla, Visual Studio C# programlama dili kullanılarak bir arayüz tasarımı geliştirilmiştir. Bu arayüz aracılığıyla gizlenmek istenen veri, birden fazla resim üzerine bölünerek gizlenmektedir. Beklendiği üzere, resim sayısı arttıkça gizlenebilecek veri boyutu da artmaktadır. Ayrıca geliştirilen uygulama sayesinde, stego-resimler içerisine gizlenen veriler tekrar elde edilebilmektedir.

2. Yöntem

LSB yöntemi, görüntü steganografide en çok kullanılan yöntemlerden birisidir. Bu yöntem uygulanırken, gizlenmek istenen verinin bitleri sırası ile örtü-nesnesinin (resim dosyasının) piksellerine ait renk değerlerinin en az anlamlı bitine yazılmaktadır. Yapılan değişiklikler sonucunda resmin renk tonlarında çok az miktarda ton

değişikliği oluştursa da bu değişim insan gözü ile algılanamayacak seviyededir.

Tablo 1’de, “Y” harfinin ASCII karakter karşılığı olan “01011001” verisinin bir görüntüye gizlenmesi işlemi özetlenmiştir. Görüldüğü üzere bu işlem sonucunda bazı bitler değişirken (kırmızı) bazıları ise aynı kalmaktadır (mavi).

Tablo 1. ‘Y’ harfinin gizlenmesi işlemi.

<u>Piksel No</u>	<u>Eski Renk Değeri</u>	<u>Gizlenecek Veri</u>	<u>Yeni Renk Değeri</u>
1	1001010101	0	100101010 0
2	0101101011	0	010110101 0
3	0011011010	0	001101101 0
4	0100011010	1	010001101 1
5	1011011101	0	101101110 0
6	0111100111	0	011110011 0
7	011110001	0	01111000 0
8	1110001101	0	111000110 1
9	0110001111	0	011000111 0
10	1011010101	1	101101010 1

Geliştiren uygulamanın Türkçe karakterleri de destekleyebilmesi için bütün karakterlerin ASCII karşılıkları 10-bit olacak şekilde ayarlanmıştır. Daha kısa ASCII değerine sahip olan karakterlerin değerlerinin başına ise 10 bite tamamlayacak sayıda “0” değeri eklenerek resim içerisine gizleme işlemi yapılmıştır.

Geliştirilen uygulamada, girilen metin yüklenen resim sayısına göre parçalara ayrıştırılarak metin gizleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Örneğin “YAĞCIOĞLU” kelimesi 3 adet resim içine gizlendiğinde, 1. resim içine “YÇĞ” harfleri, 2. resim içine “AIL” harfleri ve 3. resim içine “ĞOU” harfleri gizlenmektedir.

Veri gizleme aşamasının algoritması aşağıdaki gibidir;

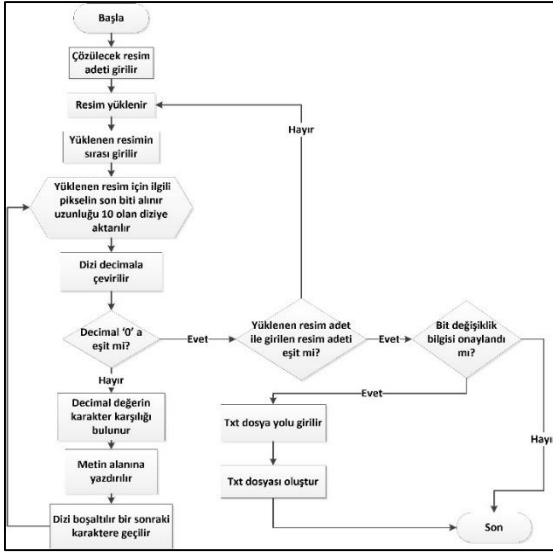
1) Gizleme işleminin kaç farklı görüntü üzerinde yapılacağı belirlenir.

2) Gizlenmek istenen mesajın karakterlerinden hangilerinin hangi resme gizleneceği belirlenir. Bunun için karakter sırası, mod (görüntü adedi) ile belirlenen resim içerisine gömülecek şekilde planlama yapılır.

3) Belirlenen karakterler sıra ile ilgili resimlerin piksel değerlerine LSB yöntemi ile gizlenir.

4) İlgili resimlerde karakter gizlemenin bittiğinin anlaşılabilmesi için her resimde en son karakterden sonra NULL “0000000000” değeri eklenir. Bu değer mesajın geri elde edilmesi aşamasında kullanılacaktır.

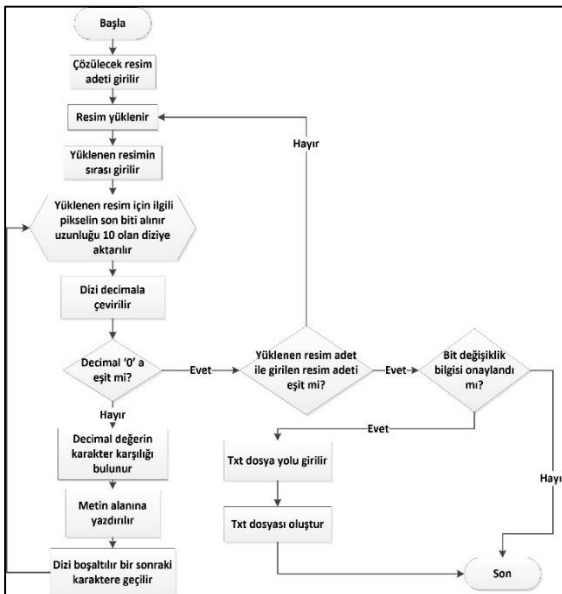
Örtü-resmi içerisine veri gizleme aşamasının akış şeması Şekil 2’de verilmektedir.



Şekil 2. Veri gizleme aşamasının akış şeması.

Çözümleme aşamasının algoritması aşağıdaki gibidir;

- 1) Çözümleme işleminin kaç farklı resim üzerinde yapılacağı belirlenir.
 - 2) Sıra ile resimler ele alınır, piksellerinin son bitleri tespit edilir.
 - 3) 10 adet bit alındıktan sonra ilgili değere karşılık gelen harf belirlenir.
 - 4) Eğer alınan değer NULL “0000000000” ise bir sonraki görüntü içerisindeki değerler alınmaya başlanır.
 - 5) Bütün görüntülerdeki karakterler tespit edildikten sonra mesajın karakterleri sıralanır. Bu aşamada, ilgili resimlerden elde edilen verilerin önce ilk karakterleri sıra ile yerleştirildikten sonra bir sonraki sırada bulunan karakterleri yerleştirilmektedir.
 - 6) Böylece ilgili mesaj tekrar elde edilir.
- Stego-resim içerisinde veri çıkartılması aşamasının akış şeması ise Şekil 3’te verilmektedir.



Şekil 3. Veri çıkarımı aşamasının akış şeması.

3. Bulgular ve Tartışma

Steganografi çalışmalarının başarısı, örtü-resmi ile stego-resmin birbiri ile karşılaştırılması sonucunda belirlenir. Örtü nesnesi üzerindeki değişimler veya bozulma oranlarının belirlenmesi için bazı ölçme metotları geliştirilmiştir. En çok kullanılan ölçme metotları MSE ve PSNR değerlerinin hesaplanmasıdır. Bu oranlar, örtü nesnesi üzerine gizleme işlemi yapılmadan önce ve yapıldıktan sonraki farkları görmemizi sağlayan matematiksel fonksiyonlardır.

MSE, örtü-resmi ile stego-resim arasındaki benzerlik oranını verir ve iki resim bire bir aynı ise MSE değeri 0 hesaplanır. MSE değerinin düşük çıkması, benzerliğin yüksek olduğunu ve steganografik çalışmanın başarılı bir şekilde uygulandığını belirtmektedir. MSE değeri hesaplanırken Denklem 1 kullanılır.

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [I(i,j) - K(i,j)]^2 \quad (1)$$

Denklemdeki;

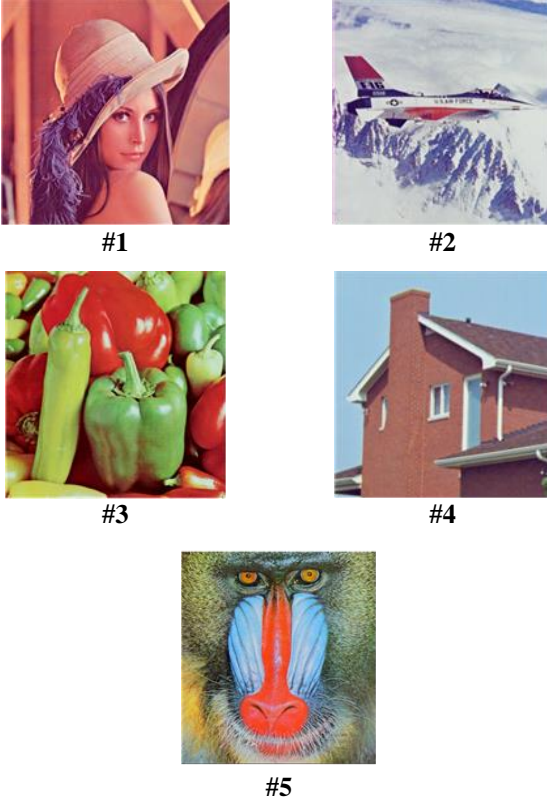
- I(i,j) değeri örtü resmini belirtmektedir.
- K(i,j) değeri stego-resmi belirtmektedir.
- m, n ise resmin ebatlarını temsil etmektedir.

PSNR, stego-resmin bozulmasına sebep olan en yüksek seviye sinyal ile bozulmaya diğer bir neden olan gürültü değerinin arasındaki orana denir. PSNR değerinin yüksek hesaplandığı durumlarda resim kalitesinin yüksek olduğu anlamına gelir. Eğer karşılaştırılan iki resim aynı ise PSNR değeri sonsuzdur. PSNR değerinin hesaplanmasında Denklem 2 kullanılır.

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{R^2}{MSE} \right) \quad (2)$$

Görüldüğü üzere PSNR değeri hesaplanırken MSE değeri de kullanılır. Denklemden kullanılan “R” değeri ise 8-bitlik bir resim için $2^8 - 1 = 255$ dir.

Şekil 4’te, geliştirilen uygulamanın test aşamasında kullanılan 24-bit renk çözünürlüğüne sahip, 256×256 piksel boyutundaki ve “bmp” formatındaki 5 adet resim verilmiştir.



Şekil 4. Uygulamada kullanılan farklı resimler.

Öncelikle geliştirilen uygulama ile 1500 karakterlik ‘Son yıllarda bilgi teknolojilerinin gelişmesi ve gün geçtikçe hayatımıza daha çok girmesiyle beraber yapılan birçok işlemin elektronik ortamlarla sağlanması, bu ortamlarda saklanan, işlenen, gönderilen verilerin güvenliğinin sağlanması önem arz etmektedir. Veri iletimi gerçekleştirilen ortamlarda göndericiden alıcıya iletilen veriye yetkisiz erişim, veriyi değiştirme ve hatta veriyi silme gibi birçok güvenlik tehdidi bulunmaktadır. Bu güvenlik tehditlerin ortadan kaldırılmasına yönelik teknikler devamlı geliştirilmektedir. Veri güvenliğinin sağlanmasına yönelik iki ana yöntem bulunmaktadır. Bunlar steganografi ve kriptografidir...’ mesajının tamamı 1 adet Lena resmine (#1) gizlenmiştir. İşlem sonucunda elde edilen MSE ve PSNR değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. 1 adet Lena resmine ait MSE ve PSNR değerleri.

	<u>MSE</u>	<u>PSNR(dB)</u>
1 adet resim (#1)	0,1162416	57,477193

Daha sonra aynı 1500 karakterlik mesaj, 5 adet Lena resmine (#1) bölünerek tekrardan gizlenmiştir. İşlem sonucunda her bir resme ait elde edilen MSE ve PSNR değerleri ise Tablo 3’te verilmiştir. Görüldüğü ve beklendiği üzere mesaj, birden fazla resme bölünerek gizlendiğinde ilgili örtü-resimlerinde Tablo 2’ye göre daha düşük bozulma değerleri elde edilmiştir.

Tablo 3. 5 adet Lena resmine ait MSE ve PSNR değerleri.

	<u>MSE</u>	<u>PSNR(dB)</u>
1. Resim (#1)	0,02389526	64,34768
2. Resim (#1)	0,02359009	64,40350
3. Resim (#1)	0,02374268	64,37550
4. Resim (#1)	0,02307129	64,50008
5. Resim (#1)	0,02333069	64,45152

Aynı 1500 karakterlik mesaj, Şekil 4’te verilen 5 farklı resme gizlendiğinde elde edilen MSE ve PSNR değerleri ise Tablo 4’te verilmiştir. Görüldüğü üzere bu durumda da beklendiği üzere Tablo 2’deki sonuçlara göre daha iyi değerler elde edilmiştir.

Tablo 4. 5 farklı resme ait MSE ve PSNR değerleri.

	<u>MSE</u>	<u>PSNR (dB)</u>
Resim #1	0,02357483	64,40631
Resim #2	0,00595855	70,37939
Resim #3	0,00591278	70,41288
Resim #4	0,02307129	64,50008
Resim #5	0,00555038	70,68757

4. Sonuçlar

Günümüzde internet kullanımının artmasıyla beraber veri alışverişi ve bilgi paylaşımında bilgi güvenliği önemli hale gelmiş durumdadır. Bu çalışma kapsamında C# programla dilinde, resim steganografide LSB yöntemi kullanan bir uygulama geliştirilmiştir. Bu uygulama sayesinde, belirlenen PNG ve BMP resim dosyaları içerisine metin verisi gizleme işlemi gerçekleştirilebilmektedir.

Bu uygulamada, gizli mesaj birden fazla örtü-resmine paylaştırılarak gizlendiğinde (beklendiği üzere), toplam gizlenebilecek veri boyutu da artmaktadır. Bildiride, 1500 karakterlik bir metnin tek bir resme ve 5 farklı resme gizlenmesinin sonuçları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre verinin 5 parçaya bölünerek gizlenmesi sonucunda ilgili örtü-resminde oluşan bozulma değerlerinin düştüğü görülmüştür.

Ancak veri gizleme işleminin baştan başlayarak sıra ile yapılması, verinin tespit edilmesini kolaylaştırmaktadır. Bu şekilde uygulandığında, gizli veri başkaları tarafından geliştiren algoritmalar ile tespit edilebilir. Bunun önüne geçilebilmesi için uygulamada mesajın öncelikle şifrenmesi ve daha sonra ilgili resimlere gizlenmesi gerçekleştirilebilir. Böylece gerçek metni elde etmek oldukça zorlaşacaktır.

Çıkar Çatışması Beyanı:

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması belirtilmemiştir.

Etik Standartlar Beyanı:

Yazarlar bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve yasal-özel izin gerektirmediğini beyan eder.


Kaynaklar

- [1] Ganbat B., Steganografi ile Bilgi Güvenliği, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2017, 467467.
- [2] Cummins J., Diskin P., Lau S., Parlett R., Steganography and Digital Watermarking, School of Computer Science, 2004, **14**(60), 5-10.
- [3] Razavi N., LSB Steganografi Yönteminde Yüksek Kapasiteli Veri Gizleme, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2017.
- [4] Sahin A., Buluş E., Sakallı M.T., Gri Seviye Resimler Üzerinde Rasgele Lsb Yöntemini ve Sayı Teorisini Kullanarak Bilgi Gizleme ve Steganaliz, Akademik Bilişim Konferansları, Denizli, Türkiye, 9-11 Şubat 2006.
- [5] Patel Z. V., Gadhiya S. A., A Survey Paper on Steganography and Cryptography, International Multidisciplinary Research Journal, 2015, **2**(5), 2349-7637.



5G Baz İstasyonlarının Kapsama Alanına Yönelik Yol Kaybı Analizleri ve Konumlandırılması

Path Loss Analyzes and Positioning for Coverage Area of 5G Base Stations

Mehmet Ali ÖZASLAN^{1*} , Yasin KARAN² 

¹ Elektrik Elektronik Mühendisliği, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-8721-601X

² Fizik, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-9148-1000

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 21/03/2020

Kabul Tarihi : 14/01/2021

Anahtar Kelimeler

5G
Yol Kaybı
Baz İstasyonu
Milimetrik Dalga
RSSI

Research Paper

Received Date : 21/03/2020

Accepted Date : 14/01/2021

Keywords

5G
Path Loss
Base Station
Millimeter Wave
RSSI

Özet

5G baz istasyonu altyapısı, 4G veya daha önceki nesiller için kullanılan baz istasyonlarından oldukça farklıdır. Halen kullanılan mobil hücresel ağlar 2700MHz'e kadar frekans bantlarını desteklerken, 5G teknolojisinde çok daha yüksek frekansların kullanılacağı planlanmıştır. Kısa dalga boylarına sahip radyo frekansı sinyalleri uzun mesafelerde yüksek oranda zayıflarlar. Bu nedenle geleneksel baz istasyonlarının performans analizindeki yol kaybı modelleri değil, 5G için farklı yol kaybı modelleri incelenmelidir. 5G frekansları için elde edilen yol kaybı modelleri halen geliştirilmektedir. Bu çalışmada, 5G baz istasyonlarının kapsama alanına yönelik yol kaybı modelleri incelenmiştir. Taşıyıcı frekans değerlerine göre 5G sinyalinin çekim mesafeleri çıkarılmıştır ve 5G baz istasyonu konumlandırılması yapılmıştır. Modeller arasında CI modeli frekansa çok az bağımlılık gösterdiğinden dolayı dış ortamlarda kullanılabilir. CIF modelinin yüksek frekanslarda CI modeline göre daha düşük yol kaybı gösterirken, ABG modeli iç mekanlarda yüksek frekanslı sinyallerin modellenmesinde kullanılabilir. Son olarak grafikler MATLAB simülasyonu kullanılarak çizdirilmiştir.

Abstract

The 5G base station infrastructure is quite different from the base stations used for 4G or earlier generations. While the currently used mobile cellular networks support frequency bands up to 2700MHz, much higher frequencies are planned to be used in 5G technology. Radio frequency signals with short wavelengths are highly attenuated over long distances. Therefore, different path loss models for 5G should be examined, not the path loss models in the performance analysis of traditional base stations. Path loss models for 5G frequencies are currently being developed. In this study, path loss models for the coverage area of 5G base stations are examined. According to the carrier frequency values, the coverage distances of the 5G signal are subtracted and 5G base station positioning has been done. Among the models, the CI model can be used outdoors because it shows little dependence on frequency. The CIF model showed lower path loss at higher frequencies than the CI model, and the ABG model can be used for modeling high frequency signals indoors. Finally, the graphics were drawn using the MATLAB simulator.

1. Giriş

Günümüzde hücresel ağlardaki mobil kullanıcı sayısı günden güne artmaktadır. Bu artışından dolayı küçük hücrelerin iç mekan alanları genişletilerek makro hücreleri tamamlayarak heterojen ağların gelişmesine yol açmaktadır. Heterojen ağların küçük hücreler için kullanılması operatörlerin ağ planlaması için önemli bir zorluktur. Kablosuz ağların planlaması tel tabanlı ağların

planlanmasından oldukça farklıdır. Burada özellikle dikkat edilmesi gereken özellikler vardır. Bunlar arasında önemli olan, kurulum alanındaki RF dalgasının nasıl yayılacağıdır. Kurulum sırasında bir baz istasyonu için görüş alanı önemli bir faktördür. Özellikle baz istasyonlarının plansız konumlandırılması yüksek girişime ve bu girişim ise aynı zamanda performans düşüklüğüne neden olabilir. Mobil haberleşme sistemlerinde ortam yapılarına yönelik kullanıcı (düğüm) yoğunluklarına göre farklı hücre yapıları

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): ma.ozaslann@gmail.com



geliştirilmiştir. Yoğun nüfuslu ortamlarda baz istasyonu ile kullanıcılar arası iletişim yoğunluğu fazla iken, kırsal alanlarda daha azdır. Genel olarak sinyal zayıflaması kentsel bölgelerde daha fazla olurken, kırsal bölgelerde kentsel bölgeye göre daha az olmaktadır. Kentsel ortamlarda sinyalin daha fazla zayıflamasının başlıca nedenleri; yoğun binalaşma olduğundan dolayı kırınım, kırılım ve yansıma gibi faktörler daha fazla gerçekleşir ve bu etkiler sinyalin daha fazla zayıflamasına yol açar. Bu durum özellikle düğümler ile baz istasyonu arasındaki sıçrama mesafesi büyüdüğü zaman, baz istasyonuna iletilen toplam veri miktarı bakımından verimin düşmesine neden olabilmektedir. Bu problem, alanın çevresi boyunca konuşlandırılmış, çok sayıda baz istasyonunun kullanılmasıyla azaltılabilir. Böylece baz istasyonu ile alıcı arasındaki sıçrama mesafesi azaltılabilir, ayrıca bölgesel kullanıcı kapasitesi de arttırılır. Baz istasyonlarının konumu, hücreyel radyo ağlarının performansı için oldukça önemlidir [1]. Bu nedenle bir ağ planlanması veya baz istasyonu konumlandırma planlanması oluşturulurken verici anten yüksekliği, frekans, iletim gücü, sinyalin geliş, açısı gibi parametreler oldukça önemlidir. Alınan sinyal gücü göstergesi (*Received Signal Strength Indicator; RSSI*), iyi bir kablosuz bağlantı elde etmek için önemli bir ölçüttür. RSSI değerinin yüksek olması performansı ve iletim kalitesini arttırmaktadır. RSSI değeri istenen değerde olmadığında sinyal zayıflamaları ve sinyal kopmaları meydana gelebilir. Bu istenmeyen bir durum olup iletişimde bozulmalara sebep olur. 2G ve 3G’de iletimin sağlanabilmesi için RSSI değeri sırasıyla -100dBm ve -95dBm değerlerinden daha yüksek olmalıdır [2]. 5G’de geniş, alan için hassasiyet güç seviyesinin -95.3dBm, orta menzil için -90.3dBm ve yerel alan için ise -87.3dBm olduğu belirtilmektedir [3]. Ancak bazı durumlarda RSSI değeri iyi olsa bile veri hızı her zaman üst seviyelerde olamayabilir. Bunun sebebi ise o bölgedeki baz istasyonunun yükünün (mobil kullanıcı sayısı) ağır olmasından kaynaklanmaktadır. Şu anda kullanılan frekans spektrumu neredeyse (6GHz altı) dolmuştur. Bundan dolayı 5G’de yüksek frekanslara çıkılması amaçlanmıştır. Yüksek frekans değerlerine çıkılması, dalga boyunun küçüleceği anlamına gelir. Yüksek frekanslarda zayıflama arttığından ve buna bağlı olarak emilim etkileri de artacağından dolayı bu parametreler önemlidir. Bu nedenle, daha yüksek iletim kapasitesine ek olarak mm-dalga frekanslarındaki artan atmosferik zayıflamaları hesaba katmak için yüksek kazanç elde etmek ve RSSI değerlerini yüksek tutmak önemlidir. Bu çalışmada bu etkilere ve oluşumlara göre 5G baz istasyonlarının konumlandırılması yapılmıştır.

2. Malzeme ve Yöntem

5G yol kaybı incelemesi için literatürde CI, ABG CIF ve FA modelleri bulunmaktadır. Bu çalışmada bu modeller farklı frekans bantları için kullanılarak karşılaştırılmıştır.

A. Close-In (CI) Yol Kaybı Modeli

CI modeli, farklı mesafelerdeki ve uzamsal konumlardaki yol kaybını tahmin etmek için referans noktası olarak 1 metredeki serbest uzay yol kaybı (*Free Space Path Loss, FSPL*) modelini kullanan fiziksel olarak temelli bir modeldir [4]. CI modeli şu şekilde tanımlanır:

$$P_L^{CI}(f, d)[dB] = FSPL(f, d_0) + 10n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_\sigma^{CI} \quad (1)$$

burada n yol kaybı üssü (*Path Loss Exponent, PLE*), $P_L(f, d_0)$ dB cinsinden FSPL yol kaybı, d_0 1m ve X_σ^{CI} standart sapması σ dB olan sıfır ortalama Gaussian dağılımlı rastgele bir değişken olup gölgeleme etkisini temsil etmektedir.

B. Frequency – Weighting (CIF) Yol Kaybı Modeli

CIF modeli, CI modeliyle aynı olan 1 m’de aynı FSPL referans noktasını kullanır. CIF modeli şu şekilde tanımlanır [5]:

$$P_L^{CIF}(f, d)[dB] = FSPL(f, d_{ref}) + 10n[1 + b(f - f_0/f_0)] \log_{10}(d) + X_\sigma^{CIF} \quad (2)$$

burada n yol kaybının mesafeye bağlı olduğu PLE değerini gösterir, b düşünülen tüm frekanslara göre lineer frekans bağımlı bir yol kaybı faktörüdür, f_0 her bir belirli ortam ve senaryo için tüm ölçümlerin ağırlıklı frekans ortalamasıdır.

C. Alpha-Beta-Gamma (ABG) Yol Kaybı Modeli

ABG çok frekanslı yol kaybı araştırması için kullanılır. ABG modeli, çeşitli frekanslardaki yol kaybını tanımlamak için frekansa ve mesafeye bağlı bir terim içerir. ABG şu şekilde tanımlanır [5]:

$$P_L^{ABG}(f, d)[dB] = 10\alpha \log_{10}(d/d_0) + \beta + 10\gamma \log_{10}(f/f_0) + X_\sigma^{ABG} \quad (3)$$

α , mesafeye bağlı yol kaybı faktörü, γ frekansa bağlı faktörü, β optimize edilmiş offset, f GHz cinsinde çalışma frekansı olup, f_0 sabit bir referans frekansını temsil eder. X_σ^{ABG} , gölge solma parametresidir.

D. Frequency Attenuation (FA) Yol Kaybı Modeli

Yüksek frekanslı yol kaybını araştırmak için, belirli bir senaryoda ölçülen en düşük frekansın referans noktası olarak kullanıldığı frekans zayıflama yol kaybı modeli kullanılır. FA modeli şu şekilde tanımlanır [4]:

$$P_L^{FA}(f, d)[dB] = F_L(f_{ref}, d_0) + 10n_{ref} \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + XF(f) + X_{\sigma}^{FA} \quad (4)$$

burada $F_L(f_{ref}, d_0)$, d_0 yakınlık mesafesindeki ve f_{ref} referans frekansındaki yol kaybı, n_{ref} , bu yol kaybındaki PLE'yi temsil eder, $XF(f)$, dB cinsinden frekans zayıflama faktörüdür ve son olarak X_{σ}^{FA} , gölge sönümlenme parametresidir.

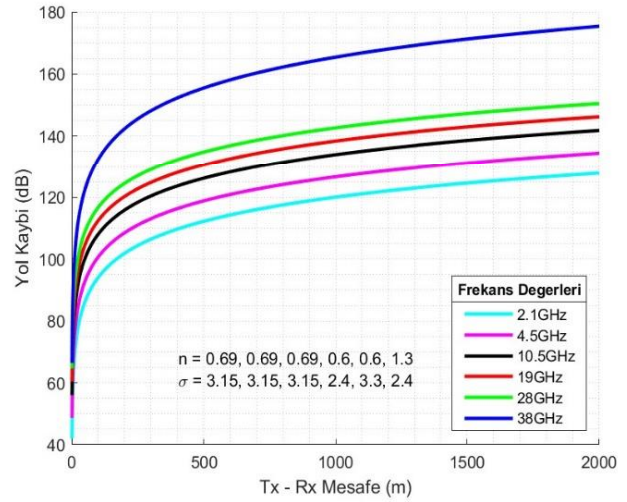
3. Bulgular ve Tartışma

Yol kaybı modellerinde en önemli parametrelerden birisi PLE değeridir. Çıkarılan formüllere bakıldığında PLE hassasiyetinin önemli bir parametre olduğu görülebilir. [1] ve [6] makalelerinde yapılan deneysel çalışmaların sonuçlarına uygun PLE değerleri bu çalışmadaki frekanslara göre seçildi. Ayrıca PLE dışında önemli faktörler olan α , β , γ ve σ değerleri de bu çalışmadaki frekanslara göre seçildi. Bu parametreler farklı modellerde ayrı ayrı öneme sahiptir. [7] makalesinde acil durumlar için merdiven arası boşluktan kaynaklanan yol kaybı değerlerini ve [6] makalesindeki kapalı ortamda yapılan çalışmalar sonucunda alınan yol kaybı değerlerine göre yol kaybı model parametreleri çıkarımı yapılmıştır. Bu çalışmada ise genelleştirilmiş, parametre değerleri arasından uygun değerleri seçerek bazı 5G frekanslarının yol kaybı benzetimleri gerçekleştirilmiştir. Yol kaybı benzetimleri gerçekleştirilirken dört farklı model incelendi ve sonuçlar karşılaştırıldı. CI, ABG, CIF ve FA modellerinin 2.1GHz, 4.5GHz, 10.5GHz, 19GHz, 28GHz ve 38GHz frekansları için mesafeye bağlı yol kayıpları Şekil 1-4'te sırasıyla gösterilmektedir. 2.1GHz günümüzde kullanılan 4G frekans bandı, 4.5GHz frekansı 5G'de kullanılacak olan ilk frekans bandlarına yakın değer, 10.5GHz ve üstü için seçilen frekans bandları ise ilerleyen zamanlarda kullanılacak aday frekans bandları olduklarından dolayı bu değerler seçilmiştir.

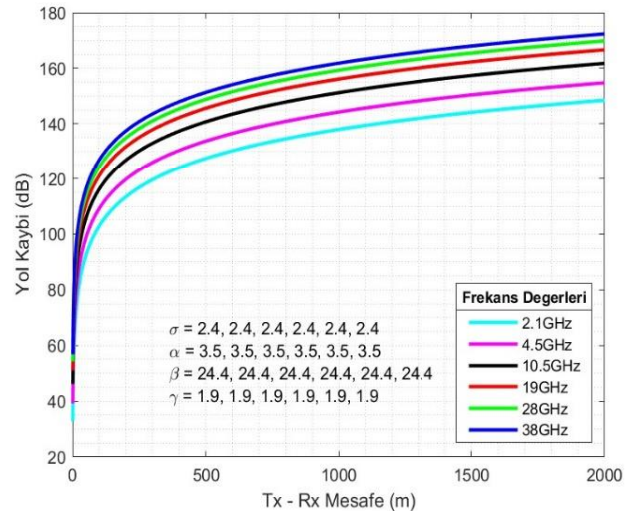
Benzetim sonuçlarına göre CIF modelinin bütün frekanslarda CI modeline göre daha düşük yol kaybı gösterdiği sonuçlardan çıkarılmıştır. Bunun anlamı ise CIF modelinin iç mekanlarda ve daha uzun mesafeler için uygun olduğu söylenebilir. ABG modeli, ABG optimizasyon faktörü ile frekansa doğrudan bağlı olduğu için ve iyi parametre sağladığından dolayı iç ortamlarda kullanılabilir model olduğu söylenebilir.

Sonuç olarak bina üzerine veya açık alana kurulacak olan 5G baz istasyonlarının yol kaybı CI model ile uygun konumlara yerleştirilebilir. Benzer şekilde kapalı alanlara (iç ortam) kurulacak olan bir 5G baz istasyonu ABG ve CIF modelleri ile yol kaybı modeli çıkarılabilir.

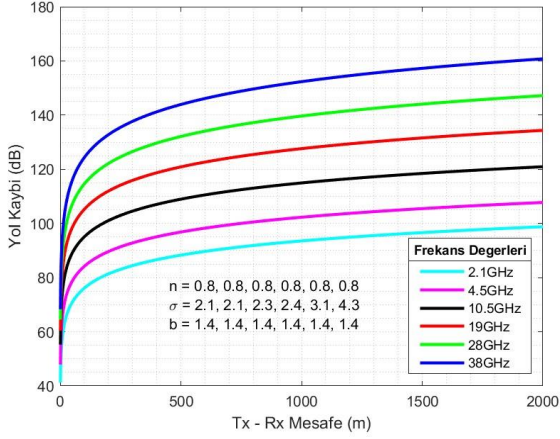
Tablo 1-6'da, 5G kanal modellerinde farklı mesafelerdeki 50dBm verici gücüne göre yol kayıpları ve RSSI değerleri sırasıyla 2.1GHz, 4.5GHz, 10.5GHz, 19GHz, 28GHz ve 38GHz frekans değerleri için verilmiştir. Mikro hücrelerde kapsama alanı 0.2-2km olarak alınmaktadır [8]. Buradan yola çıkarak bir mikro hücredeki mesafe değerleri baz alınarak benzetimler gerçekleştirildi.



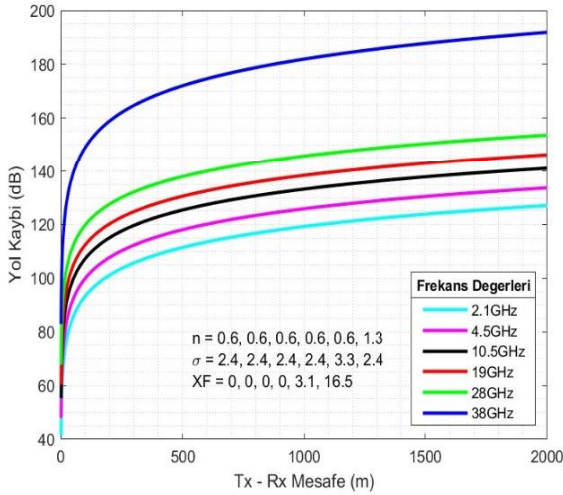
Şekil 1. CI modelinde farklı frekansların mesafeye bağlı yol kaybı



Şekil 2. ABG modelinde farklı frekansların mesafeye bağlı yol kaybı



Şekil 3. CIF modelinde farklı frekansların mesafeye bağlı yol kaybı



Şekil 4. FA modelinde farklı frekansların mesafeye bağlı yol kaybı

Tablo 1. 2.1GHz için farklı modellerdeki farklı mesafelerdeki yol kayıpları ve RSSI değerleri

Mesafe (m)	Yol Kayıpları (dB)			
	CI	CIF	ABG	FA
100	94.04	76.12	102.92	93.29
480	111.75	87.99	126.76	110.99
860	118.33	92.40	135.63	117.58
1240	122.46	95.17	141.19	121.72
1620	125.48	97.19	145.25	124.73
2000	127.86	98.74	148.46	127.11
RSSI(dBm)				
100	-44.04	-26.12	-52.92	-43.26
480	-61.75	-37.99	-76.77	-61.00
860	-68.33	-42.40	-85.63	-67.58
1240	-72.47	-45.17	-91.19	-71.71
1620	-75.48	-47.19	-95.25	-74.73
2000	-77.86	-48.79	-98.46	-77.11

Tablo 2. 4.5GHz için farklı modellerdeki farklı mesafelerdeki yol kayıpları ve RSSI değerleri

Mesafe (m)	Yol Kayıpları (dB)			
	CI	CIF	ABG	FA
100	100.66	84.16	109.21	99.91
480	118.37	96.51	133.05	117.62
860	124.95	101.10	141.92	124.21
1240	129.08	103.99	147.48	128.33
1620	132.10	106.08	151.54	131.35
2000	134.48	107.74	154.75	133.74
RSSI(dBm)				
100	-50.67	-34.16	-59.91	-49.91
480	-68.34	-46.51	-83.05	-67.62
860	-74.95	-51.09	-91.92	-74.20
1240	-79.08	-53.99	-97.48	-78.33
1620	-82.10	-56.08	-101.54	-81.35
2000	-84.48	-57.74	-104.75	-83.73

Tablo 3. 10.5GHz için farklı modellerdeki farklı mesafelerdeki yol kayıpları ve RSSI değerleri

Mesafe (m)	Yol Kayıpları (dB)			
	CI	CIF	ABG	FA
100	108.01	95.05	116.20	107.26
480	125.73	108.61	140.05	124.98
860	132.31	113.65	148.91	131.56
1240	136.44	116.81	154.47	135.69
1620	139.46	119.11	158.53	138.71
2000	141.84	120.94	161.74	141.09
RSSI(dBm)				
100	-58.02	-45.05	-66.20	-57.26
480	-75.73	-58.61	-90.04	-74.98
860	-82.31	-63.65	-98.91	-81.56
1240	-86.44	-66.81	-104.42	-85.69
1620	-89.46	-69.12	-108.53	-88.71
2000	-91.84	-70.94	-111.74	-91.09

Tablo 4. 19GHz için farklı modellerdeki farklı mesafelerdeki yol kayıpları ve RSSI değerleri

Mesafe (m)	Yol Kayıpları (dB)			
	CI	CIF	ABG	FA
100	112.42	105.22	121.09	112.42
480	130.13	120.48	144.94	130.13
860	136.71	126.15	153.80	136.71
1240	140.84	129.71	159.37	140.85
1620	143.86	132.31	163.43	143.86
2000	146.24	134.36	166.63	146.26
RSSI(dBm)				
100	-62.42	-55.22	-71.10	-62.42
480	-80.13	-70.48	-94.94	-80.13
860	-86.71	-76.15	-103.80	-86.71
1240	-90.85	-79.71	-109.34	-90.84
1620	-93.86	-82.31	-113.43	-93.86
2000	-96.24	-84.36	-116.63	-96.24

Tablo 5. 28GHz için farklı modellerdeki farklı mesafelerdeki yol kayıpları ve RSSI değerleri

Mesafe (m)	Yol Kayıpları (dB)			
	CI	CIF	ABG	FA
100	116.68	114.59	124.29	119.78
480	134.39	131.66	148.13	137.50
860	140.98	138.00	157.00	144.08
1240	145.11	141.98	162.56	148.22
1620	148.13	144.89	166.62	151.23
2000	150.51	147.18	169.83	153.61
RSSI(dBm)				
100	-66.68	-60.59	-74.30	-69.74
480	-84.40	-81.66	-98.14	-87.50
860	-90.98	-88.00	-107.00	-94.08
1240	-95.11	-91.98	-112.57	-98.21
1620	-98.13	-94.89	-166.63	-101.23
2000	-100.52	-97.18	-119.83	-103.71

Tablo 6. 38GHz için farklı modellerdeki farklı mesafelerdeki yol kayıpları ve RSSI değerleri

Mesafe (m)	Yol Kayıpları (dB)			
	CI	CIF	ABG	FA
100	132.43	124.34	126.81	148.94
480	154.92	143.41	150.65	171.42
860	163.27	150.50	159.52	179.77
1240	168.52	154.95	165.08	185.02
1620	172.35	158.20	169.14	188.85
2000	175.37	160.77	172.35	191.87
RSSI(dBm)				
100	-82.44	-74.34	-76.82	-98.94
480	-104.92	-93.41	-100.66	-121.42
860	-113.27	-100.50	-109.53	-129.77
1240	-118.52	-104.95	-115.09	-135.02
1620	-122.35	-108.22	-119.15	-138.85
2000	-125.37	-110.77	-122.35	-141.87

Bir baz istasyonunun RSSI değeri, anten iletim gücünden yol kaybı çıkarılarak bulunabilir. 5G baz istasyonunun iletim gücü MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) için 50dBm ve 5G'de olması gereken en düşük RSSI değeri üç alan için farklıdır ve bu değerler sırasıyla, geniş alan, orta menzil ve yerel alan için -95.3dBm, -90.3dBm ve -87.3dBm'dir [3]. İlk frekans olan 2.1GHz'de Tablo 1'den görüleceği üzere sadece ABG modelinin 2000m'deki sinyal değeri oldukça zayıflamaktadır. 4.5GHz'de ABG modeline göre 1240m ve üzeri mesafelerde sinyal seviyesi limit değerinin altındadır. Bunun anlamı ise ABG modeline göre bir baz istasyonunun iletim mesafesi bu mesafenin üzerine çıkamaz. 10.5GHz'de yine ABG modelinde 860m ve üzeri mesafelerde sinyal oldukça zayıflamaktadır.

CI ve FA modeline göre 2000m'deki sinyal değerleri kritiktir. 19GHz'de ABG modelinde 480m ve üzeri mesafelerde sinyalin yine oldukça zayıfladığı görülmektedir. CI ve FA modeline göre sinyalin 2000m'deki RSSI değerleri zayıf olduğundan bu sinyaller başarılı bir şekilde alınmaz. 28GHz'de CI 1240m'de kritik degerde iken 860m ve üzeri mesafelerde CIF ve ABG

modelinden sinyal alınmaz. FA modelinde ise 1620m ve üzeri mesafelerde sinyal gücü yeterli değildir. Son olarak ise 38GHz'de neredeyse bütün modeller için sinyal 480m'den sonra kopmaktadır. Spesifik olarak elde edilen benzetim sonuçlarına göre, CI modelinde minimum RSSI değeri -95.3dBm için maksimum baz istasyonu kapsama mesafesi 19GHz'de 1840m, 28GHz'de 1261m, 38GHz'de 246m olarak bulunmuştur.

CIF modelinde minimum RSSI değeri -95.3dBm için maksimum baz istasyonu kapsama mesafesi 28GHz'de 1682m, 38GHz'de 561m'dir.

ABG modelinde minimum RSSI değeri -95.3dBm için maksimum baz istasyonu kapsama mesafesi 2.1GHz'de 1625m, 4.5GHz'de 1075m, 10.5GHz'de 679m, 19GHz'de 492, 28GHz'de 399m ve 38GHz'de 338m'dir.

Son olarak FA modelinde minimum RSSI değeri -95.3dBm için maksimum baz istasyonu kapsama mesafesi 19GHz'de 1840m, 28GHz'de 958m ve 38GHz'de 78m olarak bulunmuştur.

4. Konumlandırmaya Yönelik Çalışmalar

Makro, mikro ve küçük 5G baz istasyonları mevcut olan 4G/LTE baz istasyonları ile birlikte çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Makro hücrelerin kapsama alanları 8 – 30km ve kullanıcı sayısı 2000 kişiden fazladır, mikro hücrelerin kapsama alanları 0.2 – 2km ve kullanıcı sayısı 1000 ile 2000 kişi arasındadır, piko hücrelerin kapsama alanları 100 – 200m ve kullanıcı sayısı 30 ile 100 kişi arasındadır ve femto hücreler ise kapsama alanları 10 – 100m ve kullanıcı sayısı 1 ile 30 kişi arasındadır [8]. Makro bir 4G hücresinin kapsama alanları 5 – 32km, mikro hücrelerin 1 – 2km, piko hücrelerin 200m ve femto hücrelerin ise 10m'dir [9]. Bir TDMA (*Time Division Multiple Access*) için kanal kapasite kullanıcı sayısı bant genişliğine, kanal bant genişliğine ve zaman dilimi (*timeslot*) kullanıcı sayısına bağlıdır. GSM tasarımı, AMPS'lerle (*AMPS, Advanced Mobil Phone System*) aynı olan uplink ve downlink için 25MHz bant genişliği kullanır. Bu bant genişliği, her biri 200kHz olan 125 TDMA kanalına bölünür. Her TDMA kanalı 8 kullanıcı zaman diliminden oluşur. GSM sisteminde desteklenebilecek toplam kullanıcı sayısı,

$$N = \frac{25\text{MHz}}{200\text{kHz}} \cdot 8 = 1000 \quad (5)$$

kullanıcı olarak bulunur. Bu, bir GSM sisteminde toplamda ortalama 1000 kullanıcının desteklenmesi anlamına gelir.

Bir WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) sektör taşıyıcısı (bir sektör anten için 5MHz) 80 – 100 sesli çağrıyı yönetebilir [10]. Bu, bir sektör taşıyıcısının 80 – 100 kişi için sesli yönlendirme yapabilmesi anlamına gelir. Tipik bir mikro hücrede (3 sektör, 1 taşıyıcı) genellikle 120° açıyla yerleştirilmiş, 3 adet

sektör anteni bulunur. Böylece 3 sektör anteni toplamda 240 – 300 kişiye hizmet verebilir. 6 sektör ve 2 taşıyıcıdan oluşursa toplam 960 – 1200 kişiye sesli yönlendirme yapabilir.

$$AK = \frac{\text{pop_density} \cdot \frac{\text{adoption_market_share}}{100}}{\text{OBF}} \quad (6)$$

burada AK, aktif kullanıcı sayısı, pop_density, ilgilenilen alanın popülasyon yoğunluğu, %79'luk bir telefon adoption kullanılır, %30'luk bir pazar payı (market share) kullanılır, OBF (overbooking factor) ise bu hesaplama birden fazla kullanıcıların yalnızca bir kısmının ağı tek bir noktada (dolayısıyla geçici ortalama) kullandıkları göz önüne alındığında, burada 50:1 olduğu varsayılmaktadır [11]. Kampüsteki toplam öğrenci ve ilgilenilen alandaki toplam kişi sayısı 14093 kişi olarak belirlenmiştir. Gün içerisinde kampüsteki öğrencilerin ve personellerin tamamı fakültelerde veya ilgili yerlerde olmayabilir. Bu yüzden toplam tahmini olarak öğrenci ve akademik personel sayısı,

$$KS = \frac{95}{100} \cdot \frac{80}{100} \cdot 6280 + \frac{60}{100} \cdot 496 = 5070 \quad (7)$$

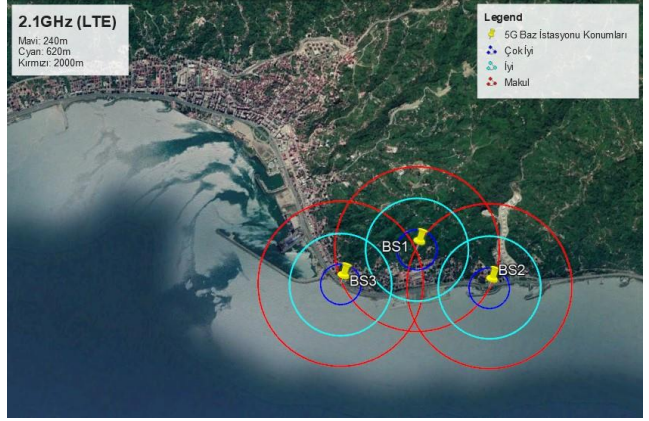
burada KS kullanıcı sayısı, 6280 kampüsteki toplam öğrenci sayısı ve 496 kişi ise toplam personel sayısı olarak belirlenmiştir. Buradan ilgilenilen alanın tamamı alınırsa aktif kullanıcı sayısı,

$$AK = \frac{(5070+5898) \cdot \frac{75}{100} \cdot \frac{30}{100}}{35} \approx 71 \quad (8)$$

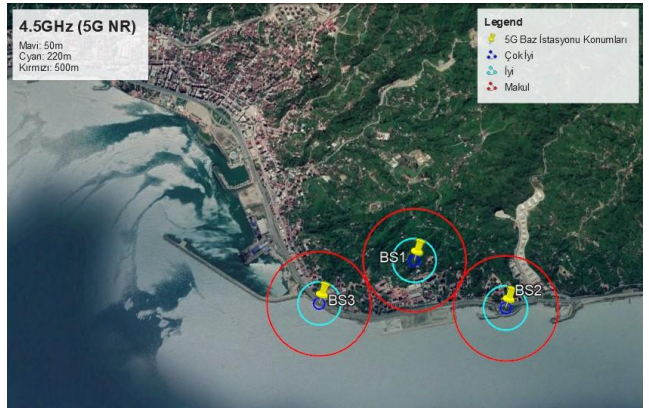
Bu durumda anlık olarak bir baz istasyonu yaklaşık olarak 71 kişiye aynı anda hizmet vermektedir. Bu durumda ara bölgelerde (plain space) kalan kullanıcılara hizmet verilebilmesi için en az bir tane daha sektör konulması gerektiği önerilir (3 sektör anteni 240 kişiye hizmet veriyor ise bir sektör anteni 80 kişiye hizmet verir. Bu durumda 71 kullanıcı için bir tane daha sektör anteni gerekir).



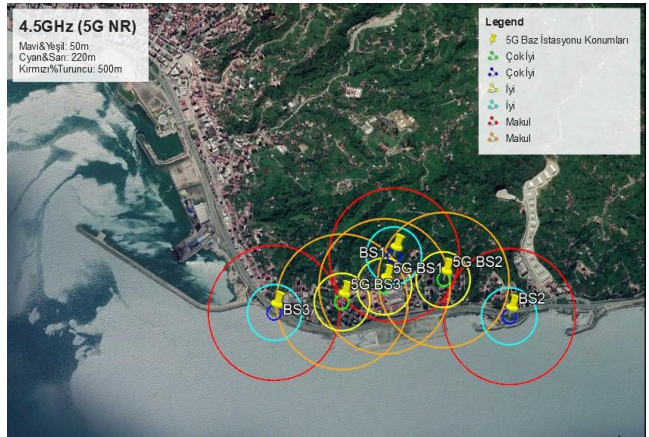
Şekil 5. Mevcut konuma kurulacak olan 5G baz istasyonu için örnek bir LTE baz istasyonu



Şekil 6. Mevcut LTE baz istasyonları ve kapsama alanları



Şekil 7. Mevcut LTE baz istasyonları konumuna kurulacak olan 5G baz istasyonları



Şekil 8. Önerilen 5G baz istasyonları

Şekil 5'te Rize sahilindeki mevcut bir baz istasyonu gösterilmiştir. 5G baz istasyonunun kurulması gereken muhtemel konum olarak düşünülmektedir. Çünkü yeni bir istasyonun kurulması telekom şirketleri için zorunlu olmadıkça istenmeyen bir durumdur. Mevcut konumu belli olan 5G baz istasyonlarının dışında önerilen 5G baz istasyonlarının konumları ve kapsama alanları Şekil 8'deki görselde önerilen yeni baz istasyonları 5G BS1, 5G BS2 ve 5G BS3 şeklinde verilmiştir. Buradaki 3 adet baz istasyonu (BS1, BS2 ve BS3) daha önceden konumlandırılmış, baz

istasyonlarıdır. Diğer 3 adet baz istasyonu (5G BS1, 5G BS2 ve 5G BS3) ise kullanıcılara yeterli hizmeti sağlaması için çalışmaların sonuçlarına göre önermede bulunulan yeni 5G baz istasyonlarının konumlarıdır. Şekil 6'da mevcut LTE baz istasyonları ve kapsama alanları görülmektedir. Çalışmada, üniversitenin çevresindeki baz istasyonları referans alınarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 7'deki görselede mevcut olan LTE baz istasyonları ile aynı konuma kurulacak olan 5G baz istasyonlarının kapsama alanları verilmiştir. 5G baz istasyonlarının kapsama alanları Şekil 6 ile karşılaştırıldığında LTE baz istasyonlarının kapsama alanlarına kıyasla daha küçük olduğu yapılan çalışmalardan çıkarılmıştır. Dolayısıyla 5G baz istasyonları LTE baz istasyonlarının hizmet verdiği kapsama alanındaki kullanıcıların tamamına hizmet veremez. Bundan dolayı ara bölgelerde kalan kullanıcılara hizmet verilebilmesi için yeni baz istasyonlarının kurulması gerekir. Mevcut olan 4G baz istasyonları kulesine kurulacak olan ve çalışmalar sonucunda önerilen 5G baz istasyonları konumları ve kapsama alanları Şekil 8'deki gibi önerilmiştir.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada 2.1GHz, 4.5GHz, 10.5GHz, 19GHz, 28GHz ve 38GHz frekanslarında dört farklı model için yol kaybı modelleri incelendi. Bu çalışmaların sonucunda PLE'ye bağlı olan modeller arasında CI modeli frekansa çok az bağımlılık gösterdiğinden dolayı dış ortamlar için en uygun model olduğu söylenebilir. CIF modelinin yüksek frekanslarda CI modeline göre daha düşük yol kaybı gösterdiği sonuçlardan çıkarılmıştır. Bunun anlamı ise CIF modelinin iç mekanlarda ve uzun mesafe için uygun olduğu düşünülmektedir. ABG modeli, iç mekanlarda yüksek frekanslı sinyallerin modellenmesinde kullanılabilir. Bu çalışmadaki yol kaybı verileri ile [6] ve [12] çalışmasındaki yol kaybı verileri grafiklerden anlaşıldığı üzere yakın değerlerin çıktığı görülmektedir. Yine bu çalışmadaki RSSI değerleri ile [13] çalışmasındaki RSSI değerlerinin de birbirlerine oldukça yakın (örneğin $d = 100m$) değerlerin çıktığı tablolardan yorumlanabilir. Ayrıca, belirtilen frekanslar için incelenen modellere göre kapsama mesafeleri de çıkarılmıştır. Çıkarılan mesafelere göre 5G baz istasyonlarının konumlandırılması yapılmıştır. İlk kullanılacak olan 5G frekans değerleri 6GHz altı, yani 3.5GHz civarlarında olacağından dolayı yol kaybı değerleri 4G baz istasyonlarında meydana gelen yol kaybı değerlerine göre daha fazla olduğu sonuçlardan çıkarılmıştır. Bundan dolayı 4G baz istasyonlarının bulunduğu konuma kurulacak olan 5G baz istasyonları yeteri kadar kullanıcıya hizmet sağlayamaz. Bu yüzden mevcut konumların dışında, farklı konumlara 5G baz istasyonlarının kurulması şart olacaktır. Daha sonraki 6GHz üstü frekans spektrumunda kullanılacak olan 28GHz frekans bantlarındaki değerler için aynı

açıklama geçerli olup yine bu çalışmalardan 5G baz istasyonu konumlandırılması yapılabilir. Bu frekans değerleri yüksek olduğundan dolayı yol kaybı değerleri de yüksek olacaktır ve daha fazla baz istasyonu kurulması gerekecektir. Bu çalışmada 4.5GHz bandında da meydana gelen yol kaybı değerleri çıkarılmıştır ve çıkarılan değerlere göre de 5G baz istasyonlarının konumlandırılmalarına yönelik önermeler yapılmıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı:

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması belirtilmemiştir.

Etik Standartlar Beyanı:

Yazarlar bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve yasal-özel izin gerektirmediğini beyan eder.

Kaynaklar



- [1] Al-Samman A., Rahman T., Azmi M., Hindia M., Khan I., Hanafi E., 2016. Statistical modelling and characterization of experimental mm-wave indoor channels for future 5g wireless communication networks. PloS one, 11(9): e0163034.
- [2] "Teltonika, mobile signal strength recommendations." [Online]. Available: <https://wiki.teltonika-networks.com>, December 13 2019.
- [3] Bakhtin A., Omelyanchuk E., Mikhailov V., Semenova A., 2019. 5g base station prototyping: Architectures overview. 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), Saint Petersburg and Moscow, Russia, pp. 1564–1568.
- [4] Al-Samman A. M., Abd Rahman T., Azmi M. H., 2018. Indoor corridor wideband radio propagation measurements and channel models for 5g millimeter wave wireless communications at 19 ghz, 28 ghz, and 38 ghz bands. Wireless Communications and Mobile Computing, 2018.
- [5] Haneda K., Zhang J., Tan L., Liu G., Zheng Y., Asplund H., Li J., Wang Y., Steer D., Li C., et al., 2016. 5g 3gpp-like channel models for outdoor urban microcellular and macrocellular environments. 2016 IEEE 83rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Nanjing, China, pp. 1-7.
- [6] Sun S., Rappaport T. S., Thomas T. A., Ghosh A., Nguyen H. C., Kovács I. Z., Rodriguez I., Koymen O., Partyka A., 2016. Investigation of prediction accuracy, sensitivity, and parameter stability of large-scale propagation path loss models for 5g wireless communications. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 65(5), 2843–2860.

- [7] Al-Samman A., Rahman T., Azmi M., Nasir J., 2018. Path loss model for indoor emergency stairwell environment at millimeter wave band for 5g network. Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 26(6), 3024–3032.
- [8] T. Nguyen, “Small cell networks and the evolution of 5g.” [Online]. Available: "<https://www.qorvo.com/>, December 13 2019.
- [9] “What is amobile base station.” [Online]. Available: "<https://www.mobilenetworkguide.com.au/>, February 9 2020.
- [10] “How big of an area and how many people does one cell tower usually cover?.” [Online]. Available: "<https://www.quora.com/>, February 9 2020.
- [11] Oughton E. J., Frias Z., van der Gaast S., van der Berg R., 2019. Assessing the capacity, coverage and cost of 5g infrastructure strategies: Analysis of the netherlands. Telematics and Informatics, 37, 50–69.
- [12] Sun S., Rappaport T. S., Rangan S., Thomas T. A., Ghosh A., Kovacs I. Z., Rodriguez I., Koymen O., Partyka A., Jarvelainen J., 2016. Propagation path loss models for 5g urban micro-and macro-cellular scenarios. 2016 IEEE 83rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Nanjing, China, pp. 1–6.
- [13] Nassar A. T., Sulyman A. I., Alsanie A., 2015. Radio capacity estimation for millimeter wave 5g cellular networks using narrow beamwidth antennas at the base stations. International Journal of Antennas and Propagation, vol. 2015.



Nesnelerin İnterneti Tabanlı Akıllı Uzaktan Hasta Sağlık Takip ve Uyarı Sistemi

IoT Based Smart Remote Patient Health Monitoring and Warning System

Faruk Enes OĞUZ^{1,*} , Emine DOĞRU BOLAT² 

¹ *Biyomedikal Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, Orcid: 0000-0002-9988-9086*

² *Biyomedikal Cihaz Teknolojisi Programı, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, Orcid: 0000-0002-8290-6812*

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 24/03/2020

Kabul Tarihi : 01/02/2021

Anahtar Kelimeler

*Dalgacık Dönüşümü
Elektrokardiografi
Nesnelerin İnterneti
Uzaktan Sağlık Takip Sistemi*

Research Paper

Received Date : 24/03/2020

Accepted Date : 01/02/2021

Keywords

*Electrocardiography
Internet of Things (IoT)
Remote Health Monitoring System
Wavelet Transform*

Özet

Dünyada kalp krizlerinin çoğu, hastalar herhangi bir tedavi almadan önce ölümlerine sonuclanır. Kalp kaynaklı acil bir sağlık problemi ortaya çıktığında bilinçsiz kişiler genellikle sağlık hizmetini çağırma başarısız olabilirler. Oysaki, kalple ilgili acil durumlarda, etkin sağlık hizmeti hayati bir öneme sahiptir. Bu amaçla da Nesnelerin İnterneti (Internet of Things, IoT) teknikleri sağlık alanında da yaygın olarak kullanılmaktadır. IoT teknikleri ile hastaların kendilerinin farkına varamayacakları veya sağlık hizmetlerine ulaşım sağlayamadığı acil durumlarda hasta yakınları ve acil durum hatlarına bilgi verilebilir. Bu şekilde acil müdahale için geç kalınmayabilir. Bu çalışmada, hastaların fizyolojik parametrelerini gerçek zamanlı olarak izlemek için bulut tabanlı bir sağlık izleme sistemi önerilmiştir. Önerilen sistem, internet bağlantısı olan akıllı telefonları kullanarak EKG sinyalleri, nabız değeri, oksijen saturasyonu (SpO2) ve vücut sıcaklığı gibi temel sağlık parametrelerini gerçek zamanlı olarak etkili bir şekilde saklamak ve iletmek için tasarlanmıştır. Hastanın kendi değerlerini izleyebildiği uygulama dışında, uzman doktorun ve hasta yakınlarının hastanın durumunu takip edebilmesi amacı ile ayrıca bir rapor uygulaması oluşturulmuştur. Hasta değerlerinde bir anormallik olduğu anda uygulama, hastanın sisteme kayıt olurken verdiği telefon numarasına SMS yolu ile bilgi verir.

Abstract

Most heart attacks in the world result in death before patients receive any treatment. When an emergency heart-related health problem occurs, uneducated people often fail to call the health service. However, in case of heart related emergency, effective health care is of vital importance. With IoT techniques, the patient's relatives and emergency lines can be informed when patients do not notice the emergency situation or in emergency situations where they cannot access health services. In this way, it is not too late for emergency response. In this study, a cloud-based real time health monitoring system is proposed to monitor the physiological parameters of patients. The proposed system is designed to effectively store and transmit essential health parameters such as ECG signals, pulse rate, oxygen saturation (SpO2) and body temperature in real time using smart phones with internet connection. Apart from the application where the patient can monitor his own values, a separate report application has been created for the specialist doctor and patient relatives to monitor the patient's condition. The application sends SMS information to the phone that the patient registered to the system as soon as an abnormality occurs in the patient values.

1. Giriş

Kardiyovasküler hastalık (KVH); koroner kalp hastalığı, felç, geçici iskemik atak, periferik arter hastalığı ve aort hastalığı gibi kalple ilgili hastalıklar bütünüdür. Aritmi, kalp ritminin anormal ve düzensiz olduğu bir durumdur. Aritmi meydana geldiğinde zararsız olabilir ve insan için ölümcül sorunlara neden olmaz; ancak durum belirli bir ölçüde uzarsa da hayatı tehdit edici olabilir. Dünya Sağlık

Örgütü'ne (WHO) göre, 2015 yılında; yaklaşık 17,7 milyon vaka olan küresel ölümlerin %31'i KVH'lardan kaynaklanıyor [1]. Kalp hastalıkları beklenmedik ölümlerin en önde gelen nedenlerinden biridir. Bu nedenle, mühendisler tarafından çeşitli hastalıkları teşhis etmek ve incelemek için çeşitli tıbbi cihazlar geliştirilmiştir. Sağlık, insan nüfusunda hızlı büyüme ve tıbbi harcamaların artması nedeniyle hem bireyler hem de devletler için en önemli konulardan biri haline gelmiştir. Yaş, kondisyon aktivitesi,

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): feoguz94@gmail.com



kolesterol seviyesi, diyabet, kardiyovasküler hastalıklar, vücut büyüklüğü, vücut pozisyonu gibi birçok faktör bireyin kalp atış hızını etkileyebilir [2]. Son yıllarda, modern sağlık hizmeti tanı ve tedavisinin taleplerini yerine getirmek için sağlık teknolojilerinde ve biyomedikal cihazlarda çok fazla ilerleme kaydedilmiştir. Sağlık merkezlerindeki gelişmiş medikal ekipmanlar hızlı ve hassas analiz sağlasa da, özellikle kronik hastalıklar için hastaların ve yaşlıların gerçek zamanlı izlenmesine ihtiyaç vardır [3]. Yaşlıların ve kronik hastalıkların sayısı hızla arttıkça, geleneksel sağlık hizmetlerinin dezavantajları giderek artmaktadır. En önemlisi, sağlık hizmetinin sadece hastanelerde mevcut olmasıdır. Bu nedenle, yaşlılar veya engelliler için elverişsizdir ve acil durumlarda sağlık talepleri yerine getirilemez.

Mobil tabanlı izleme cihazları, elde edilen fizyolojik sinyallerin izlenmesi ve hesaplanmasında önemli bir rol oynar. Gerçek zamanlı izleme sistemleri, kritik sağlık koşullarıyla ilgili riski analiz etmek için bireylerin sağlık geri bildirimlerini sürekli olarak alır [4].

Elektrokardiyogram vücut yüzeyinden elde edilen fizyolojik bir sinyaldir. Elektrokardiyograf, EKG sinyalini değerlendirmek ve izlemek için kullanılan bir cihazdır. Vücut yüzeyine noninvaziv olarak yerleştirilen elektrotlar ile kalbin ürettiği elektriksel aktivite hakkında bilgi edinmede kullanılmaktadır [5]. Tıbbi kurumların çoğunda Elektrokardiyogram, hacimli ve sabit aletler kullanılarak gözlenir. Kısa süreli ölçümdeki iyi performanslarından dolayı, EKG verilerini toplamak için genellikle on iki elektrot kullanır. Bununla birlikte, ekipmanın taşınabilir olması pek olası değildir. Bu da veri toplama döneminde, hastaların aktivitelerinin ciddi şekilde sınırlı olduğu anlamına gelir. Ayrıca, bu cihazlar genellikle ev kullanımı için çok pahalı olduğundan hastaların sık sık hastaneye gitmeleri gerekir ve bu da kaçınılmaz olarak hastane yükünü ve maliyeti artıracaktır. Bu nedenle, düşük maliyetli uzun süreli EKG sinyali takibi için taşınabilir bir sisteme ihtiyaç vardır [6].

Son zamanlarda, Nesnelerin İnterneti (IoT) uzaktan izleme, algılama cihazlarının ve bulut sunucusunun bağlanabilirliği sayesinde kişiselleştirilmiş sağlık sistemlerinde büyük popülerlik kazanmıştır [7]. Nesnelerin İnterneti (IoT) tekniği ile insanların fizyolojik parametrelerini, buldukları her yerde veya her aktivite sırasında izlemek mümkündür. Ek olarak, elde edilen veriler uzak mesafede bulunan hekimlere düşük maliyetle gönderilebilir. Bu da uzmanların hastaların fiziksel durumlarının sürekli ve gerçek zamanlı olarak takip edebilmelerini sağlar [8]. Düşük maliyet, düşük güç tüketimi ve yüksek performans sayesinde hasta kalp verilerini toplayabilen cihazlar akıllı telefon uygulamaları ile hastanın ailesine veya doktora gönderilebilir [9, 10]. Giyilebilir biyomedikal cihazlarla bir kişinin sağlığının

sürekli izlenmesi, birçok giyilebilir sağlık kiti ile artık mümkündür. Ancak, bu cihazlarda gerçek zamanlı analizler ve sağlık tehlikelerine ilişkin tahminler, uyarılar ve alarmlar yeterli düzeyde ele alınmamaktadır [11]. Sağlık izleme sistemleri kesinlikle çok popüler bir araştırma konusunu temsil etmektedir. Çeşitli hastalıklar, kullanıcılar veya farklı coğrafi kapsamlarla ilgilenen birçok araştırma projesi ve prototip farklı amaçlarla geliştirilmiştir. Örneğin, Rofouei [12] ve Bsoul [13] tarafından önerilen izleme projeleri sadece uyku sorunlarına odaklanmaktadır. Lin ve diğ. insanların beyin biyoelektrik faaliyetlerini izlemeyi amaçlayan bir sistem geliştirmiştir [14]. Bunların dışında özellikle yaşlı insanların postürünü izleyebilecek [15,16] veya düşmelerini tespit edebilen sistemler de tasarlanmıştır [17]. Ayrıca, araştırmacılar sadece geniş alanlarda kullanılan sistemleri değil [18], aynı zamanda hastane gibi kontrollü bir alanda kullanılan sistemleri de dikkate almışlardır [19]. Farklı amaçları nedeniyle mimarileri ve izleme modları çeşitlidir. Önde gelen bir ölüm nedeni olarak, kalp hastalıkları da birçok araştırmacının ilgisini çekmektedir [20]. Her ne kadar aynı hastalık ile uğraşsalar da, bu araştırmalar çeşitli yönlerden farklıdır. İlk olarak, izlenecek fiziksel işaretler birbirinden farklıdır. Bazıları yalnızca kalp atış hızı, bazıları ise EKG [21] veya kan basıncı gibi belirli bir işarete dikkat eder.

Tek parametrelili izleme sistemleriyle karşılaştırıldığında, birden fazla fizyolojik parametreyi takip eden sistemler uzaktan sağlık takibi için uzmanlara daha doğru ve zengin bilgi verebilir. Birden fazla parametrelili bu sistemlerde, tıbbi gereksinimleri karşılamak için farklı frekanslarda farklı fiziksel işaretler örneklendirilir, bunları kendi örnekleme frekanslarında ayrı olarak iletmek büyük miktarda veri ve uzak sunucuya büyük bir yük getirecektir. Bu nedenle, çoğu sistem önce tüm sensör verilerini bir çıkış frekansında yeniden örnekler ve yeniden örneklenen verileri birlikte iletir. Özetle, izleme sistemi yaygın sağlık hizmetinin önemli bir parçasıdır. Ve çok parametrelili izleme sistemleri sadece bir işareti izleyenlerden daha faydalıdır. Ancak, çoklu parametre için veri iletimi önemli bir sorundur. Mevcut yeniden örnekleme yöntemleri uzak sunucunun yükünü hafifletebilse de, veri doğruluğunu da kaybederler. Sağlık uygulamalarında, veri doğruluğu genel performans için çok önemlidir ve hatta hastaların yaşamını bile etkileyebilir. Bu nedenle, tüm sensör (EKG, SpO2, vücut sıcaklığı, nabız) verilerini tutan ve EKG sinyallerini yanlış alarmlara karşı analiz eden çok parametrelili bir izleme sistemi öneriyoruz. Bu çalışmada, amaç hastaların ve yaşlı insanların EKG, SpO2 gibi fizyolojik işaretlerini sürekli olarak takip edip acil durumlarda bildirim veren ve klinisyene ileten bir sistem tasarlanmıştır.

2. Malzeme ve Yöntem

Önemli sağlık durumu göstergeleri olarak kabul edilen KH (Kalp Hızı), KHD (Kalp Hızı Değişkenliği) ve vücut sıcaklığı gibi parametrelerin muazzam bir tanı değeri vardır. Yakın zamana kadar bu fizyolojik parametrelerin sürekli izlenmesi sadece hastane ortamında mümkün olmuştur ve günümüzde giyilebilir teknolojinin gelişmesiyle bu parametreler doğru, sürekli ve gerçek zamanlı olarak izlenebilmektedir [22]. Bu parametrelerin yanı sıra SpO2 değerleri de ölçülerek hem uzman izleyiciye doğru karar vermede yardımcı olacak hem de hipoksemi durumunda alarm tetiklenecektir.

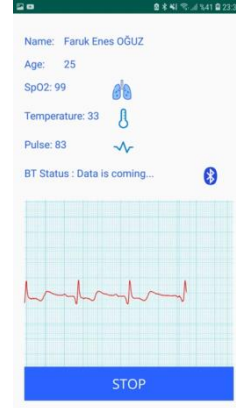
2.1. Sistem Mimarisi



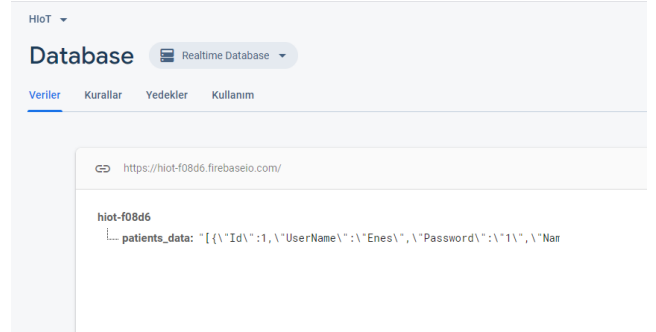
Şekil 1. Sağlık takip sistemi mimarisi.

Önerilen uyarı sisteminin mimarisi Şekil 1'de gösterilmiştir. Sensör düğümlerinden toplanan veriler Bluetooth ile Android uygulamaya iletilir. Bu uygulama üzerinden hasta kendi EKG sinyalini, SpO2, nabız ve vücut sıcaklık değerlerini görebilir. Daha sonra Firebase Realtime Database üzerinde depolanan veriler, durumu tahmin etmek ve EKG verilerini analiz etmek için Matlab'a gönderilir. İşlenen verileri Android uygulamasını kullanarak tıbbi uzmanlar veya hasta yakınları görebilir. Önerilen sistemde, iki Android uygulama mevcuttur. Bunlardan birincisi hastanın kullandığı uygulamadır. Bu uygulama ile hasta sisteme kayıt yaptıktan sonra Firebase üzerinde hasta bilgilerini içeren bir kayıt oluşturulur. Hasta uygulamayı başlattıktan sonra Şekil 2'deki gibi fizyolojik parametreler hem ekran üzerinde gösterilir hem de Şekil 3'teki gibi Firebase'e kaydedilir. EKG sinyallerinin yalnızca görüntülenmesi ve uzmana aktarılması yeterli değildir. Hastaların olası acil durumları veya olası aritmi oluşumu durumunda bir alarm sistemi tetiklenmelidir. Bu nedenle verileri iletmeden önce Matlab gibi matematiksel işlemlerin kolaylıkla yapılabildiği bir ortamda sinyal işleme işlemlerinin yapılması ve teşhis için gerekli parametrelerin sağlanması gerekmektedir. Bu nedenle, Matlab üzerinde

gelen verileri analiz edip, boş "Status" etiketini doldurarak tekrar veritabanına gönderip acil durumda doktor uygulaması üzerinde alarm oluşturmak için bir yazılım geliştirilmiştir.



Şekil 2. Sağlık takip sistemi uygulama ekran görüntüsü



Şekil 3. Veri tabanı ekran görüntüsü

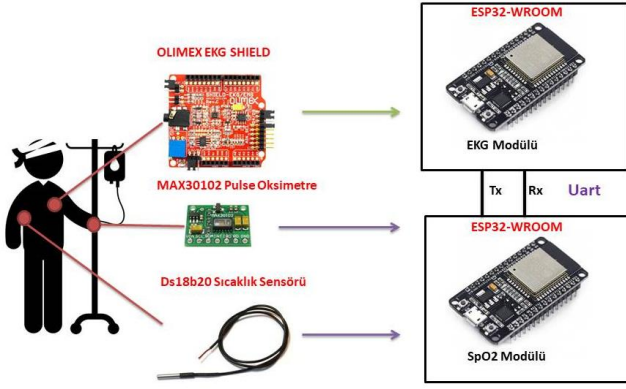
Bu yazılımda veriler Şekil 4'te görülebileceği gibi JSON formatında Matlab'a indirilir. Veriler içerisinden EKG sinyallerine ön işleme yapıldıktan sonra öz nitelik çıkarımı yapılır, son olarak aritmiler kurallara uygun olarak sınıflandırılır.

Field	Value
data	1
data.Signals	data.Signals
data.Signals	data.Signals
Fields	date, time, ECGSignal, SPO2, Temperature, Pulse, Status
22	08-02-2020 11:32:59 0,0,2960,293... 99 33 81 []
23	08-02-2020 11:34:19 1454,1473,14... 99 33 76 []
24	08-02-2020 11:34:24 1374,1408,15... 99 33 84 []
25	08-02-2020 11:34:40 1385,1403,17... 99 33 65 []
26	08-02-2020 11:35:35 1706,1677,16... 99 33 80 []

Şekil 4. Matlab'a indirilen veriler.

2.2. Sensörler ve Veri Toplama Bölümü

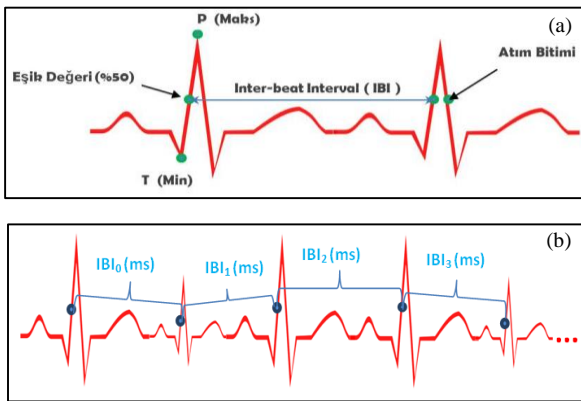
Bu çalışmada, EKG sinyallerini elde edebilmek için OLIMEX EKG sensörü, oksijen saturasyonu ölçümü için MAX30102 sensörü, vücut sıcaklığı ölçümü için Ds18b20 dijital sıcaklık sensörü kullanılmıştır. Bu sinyallerin toplanıp iletim sistemine gönderilmesi için ESP32-WROOM geliştirme modülünden yararlanılmıştır. Veri toplama bölümü Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Veri toplama bölümü şeması [23-26].

2.2.1. EKG Modülü

EKG sinyalleri tek derivasyon olarak 3 elektrot kullanılarak kaydedilmiştir. Sinyallerin kaydedilmesinde OLIMEX EKG sensörü kullanılmıştır. Bu sensör EKG sinyallerinin kaydedilmesi ve izlenebilmesi için uygun olarak tasarlanmıştır. Algılama cihazlarının seçimi iki konuya dayanmalıdır. Bunlardan birincisi hangi parametrelerin izleneceği ve her parametre için örnekleme frekansının kaç olacağıdır. İzleme sistemimizin tasarımındaki amaç uzmanların ve hasta yakınlarının uzak mesafelerde de olsa hastaların sağlık durumları hakkında bilgi sahibi olmalarını sağlamak, tehlikeli durumları teşhis etmek veya tahmin etmektir. Kalp hastalarının tıbbi teşhis gereksinimini karşılamak ve tıbbi uygulamadaki yönergelerle uymak için, parametre seçimi ve örnekleme frekansı önemlidir. Tipik olarak Holter cihazları EKG sinyallerini 128 Hz ile kaydederler. Biz de kendi sistemimizde örnekleme frekansını 200 Hz olarak ayarladık.



Şekil 6. (a) İki ardışık kalp atımı için EKG sinyali, (b) Ardışık vuru aralıkları (ms) [27].

Eşik değeri sinyal genliğinin % 50'sinden fazla (Şekil 6.(a)) ve zaman periyodu IBI'nin (Inter-beat interval, R tepeleri aralığı) 3/5'inden fazlaysa (Şekil 6.(b)), milisaniye cinsinden IBI değerleri 10 elemanlı bir sırayla saklanır ve

Eşitlik (1) kullanılarak ortalama değeri bulunur.

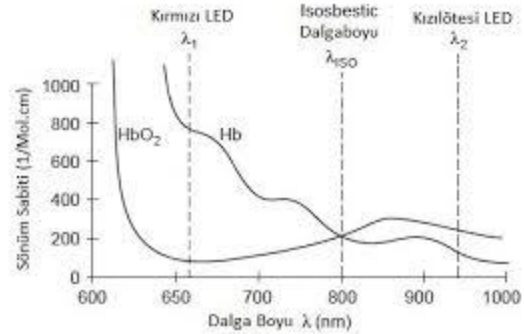
$$IBI_{ort} = \frac{IBI_0 + IBI_1 + \dots + IBI_9}{10} \quad (1)$$

$$BPM = \frac{60000}{IBI_{ort}} \quad (2)$$

Daha sonra, Eşitlik (2) kullanılarak nabız değerleri hesaplanır.

2.2.2. SpO2 Modülü

Pulse Oksimetre, kandaki periferik kılcak oksijen saturasyon seviyesini ölçmek için kullanılan invaziv olmayan bir prosedürdür. Kanda bulunan hemoglobin ve deoksihaemoglobin temelinde hesaplanan kanda çözünmüş oksijen miktarıdır. Cihaz esas olarak oksijenli hemoglobin (HbO₂) ve oksijensiz hemoglobin (Hb) absorpsiyon spektrumlarını ölçer. Emilim katsayıları ışığın iki farklı dalga boyu kullanılarak ölçülür: Kırmızı ışık (660 nm) ve Kızılötesi ışık (940 nm). Oksijeni giderilmiş hemoglobin (Hb) 660 nm'de daha yüksek bir absorpsiyona sahipken, oksijenli hemoglobin (HbO₂) 940 nm'de Şekil 7'de de görülebileceği gibi daha yüksek bir absorpsiyona sahiptir.



Şekil 7. Hb ve HbO₂ absorpsiyon spektrumları [28].

Pulse Oksimetre, pulsatil arteriyel kan nedeniyle emilim seviyesindeki değişiklikleri ölçer ve böylece oksijen saturasyon seviyesini hesaplar. Pulse Oksimetre probu, parmak ucu, parmak veya kulak memesi gibi alanlara yerleştirilir; burada doku tabakası daha incedir ve kan dolaşımı yapan mikro kan damarlarıyla doldurulur. Pulse Oksimetrenin çalışması iki tekniğe dayanır: bir yöntem transmitans (hem verici hem de alıcı ölçüm alanının aynı tarafına yerleştirilir), diğeri reflektans (hem verici hem de alıcının birbirine zıt yerleştirildiği).

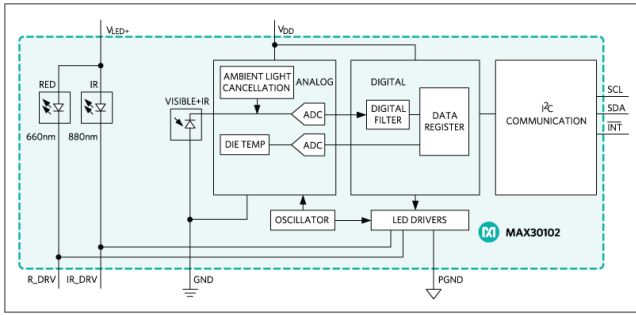
MAX30102, SpO₂ ölçümleri için oksijenli hemoglobinin oksijensiz hemoglobine oranını tanımlamak amacıyla iki farklı dalga boyu LED'i kullanır. Şekil 8'de verilen MAX30102 diyagramındaki gibi Kırmızı ve IR LED'ler ayrı PPG sinyallerini belirlemek için kullanılır. İki LED'in DC bileşenleri ve AC bileşenleri farklı genliklere

sahip olduğundan, faydalı karşılaştırmalar yapmak için normleştirilmeleri gerekir. Bu karşılaştırma için, SpO2 ile doğru orantılı bir 'R' oranı belirlenir [29]. R değerini hesaplamak için Eşitlik (3) kullanılır. R değeri "oranların oranı" olarak bilinir:

$$R = \frac{AC_{kırmızı}/DC_{kırmızı}}{AC_{kızılötesi}/DC_{kızılötesi}} \quad (3)$$

R belirlendikten sonra, SpO2 tahminini belirlemek için eğrisel bir yaklaşım veya bir arama tablosu kullanılabilir. Bu veriler tipik olarak çok sayıda deneğin kullanıldığı ampirik yöntemlerle toplanır. Yaş, cilt tonu, genel sağlık ve tıbbi durumlar SpO2 ölçümünün doğruluğunu etkileyebilir. Bu çalışmada SpO2 değerleri 0,4- 3,4 R değer aralığında S. Prahl [30] en uygun düz çizgi yaklaşımından türetilen Eşitlik (4) kullanılarak hesaplanmıştır. Aynı zamanda MAX30102 sensörü ile nabız bilgisi de alınabilmektedir.

$$SpO2 = 104 - 17R \quad (4)$$



Şekil 8. MAX30102 fonksiyonel diyagramı [31].

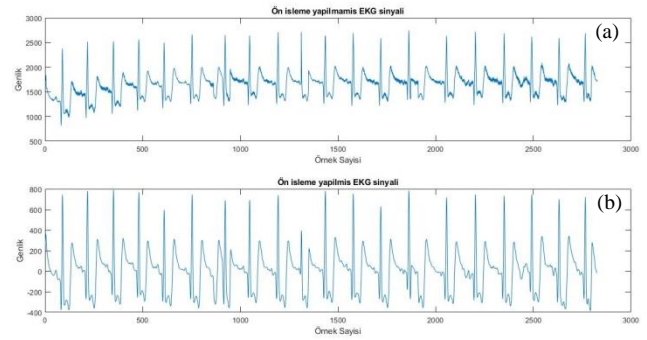
SpO2 modülü üzerinden vücut sıcaklığı ölçümü de yapılmaktadır. Sıcaklık ölçümü için Ds18b20 sensörü kullanılmaktadır. OneWire protokolü ile haberleşen dijital bir sıcaklık sensörüdür. 0,5 C° derece hassasiyet ile ölçüm yapabilmektedir.

2.3. Matlab EKG Analiz İşlemleri

Veriler Matlab'da toplandıktan sonra, ön işleme, öznelik çıkarımı ve sınıflandırma işlemi yapılır. Ön işleme bir gürültü giderme işlemidir. Yaygın olarak görülen gürültüler giderilerek sinyal öznelik çıkarımı için saf bir hale getirilir. Şekil 9(a)'da ki ön işleme yapılmamış EKG sinyalinde üç tip gürültü vardır: güç hattı gürültüsü, yüksek frekanslı gürültü ve taban hattı kayması. Bir dizi deney sonucunda, ön işleme aşaması için aşağıdaki yöntemlerin kombinasyonu seçilmiştir. İlk olarak, dalgacık ayrışması kullanılarak taban hattı kayması düzeltilmesi yapılır. Bununla ilgili olarak Donoho ve Johnstone tarafından Eşitlik (5)'te verilen evrensel "VisuShrink" eşiği önerilmiştir [32].

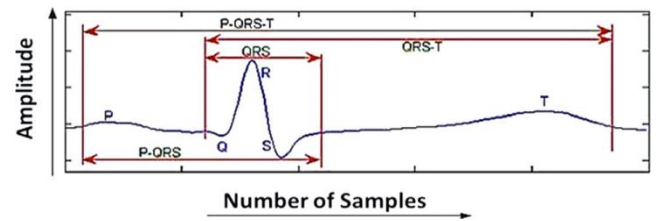
$$Thr = \sigma\sqrt{2\log(N)} \quad (5)$$

Burada N veri noktası sayısı ve σ gürültü seviyesinin bir tahminidir. Dalgacık tabanlı gürültü giderme işlemi şu şekilde özetlenir: ortaya çıkan ayırık dalgacık dönüşümü (DWT) detay katsayıları büzülme (yumuşak) stratejisi ile eşklenir. Orijinal dizinin eşikli dalgacık ayrımı katsayılarından yeniden yapılandırılması, taban hattı kaymasının giderilmesini sağlar. Taban hattı kaymasının düzeltilmesi, N = 9 ile dalgacık adı db8 olan dalgacık ayrışması kullanılarak yapılır. N seviye numarasıdır ve yumuşak eşik = 4,29 kullanılmıştır. İkincisi, bir adaptif bant durdurma filtresidir, durdurma bandı köşe frekansı W_s = 50 Hz ile güç hattı gürültüsü oldukça iyi bastırılır. Daha sonra W_p = 40 Hz ile düşük geçişli bir Butterworth filtresi kullanılır. Burada, W_p geçiş bandı köşe frekansıdır, W_s = 60 Hz, R_p = 0,1 dB. R_p, geçiş bandı dalgalanmasıdır. Son adım, sinyali N = 5 ile yumuşatmaktır, burada N, Şekil 9.(b)'de görülen ön işlenmiş sinyali elde etmek için yumuşatma değeridir.



Şekil 9. (a) Matlab'da ön işleme yapılmamış (b) Ön işleme yapılmış EKG sinyali

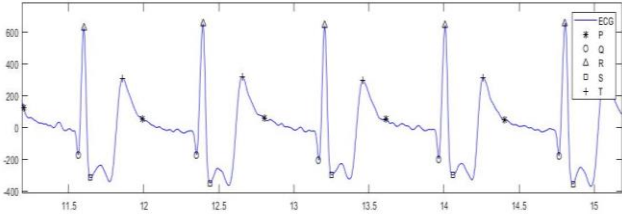
Öznelik çıkarma, EKG sinyalini nispeten düşük boyutlu bir özellik alanına dönüştüren bir dönüşüm bulma işlemidir. EKG verilerinin mesafelerini, genliklerini ölçerek morfolojik özellikler çıkartılmıştır.



Şekil 10. Kardiyak döngü bilgi fragmanının varyantları [33].

Tepe tespiti Özelliği Çıkarma, DC bileşenin kaldırılması, alçak geçişli filtreleme, yüksek geçişli filtreleme, türev filtre, kare ve hareketli pencere entegrasyonu ile başlayarak, bazı filtreler kullanarak Şekil

10'da görülen QRS kompleksinin algılanması ile başlar. Önileme yapılmamış sinyal ile aynı boyutta yeni bir vektör oluşturulmuş bu vektörde bütün QRS kompleksleri tespit edilmiştir. Bu vektör sağ ve sol olmak üzere ikiye ayrılır, sırasıyla Q ve S dalgalarının başlangıcı tüm sinyalde tespit edilir. P dalgasını elde etmek için soldan (Q dalgasının başlangıcından) 60 örneklilik bir pencere oluşturulur ve maksimum değer seçilir. T dalgasını elde etmek için ise sağdan (S dalgasının başlangıcından) 125 örneklilik bir pencere oluşturulur ve maksimum değer seçilir. R dalgası sol ve sağ arasındaki maksimum değeri bularak tespit edilir. Q tepesinin tespiti için, sol vektörde Q dalgasının başlangıcı ile R dalgası arasındaki minimum değer seçilir. S tepesinin tespiti için ise sağ vektörde S dalgasının başladığı nokta ile R dalgası arasındaki minimum değer seçilir. Bu işlemlerden sonra Şekil 11'de de görülebileceği gibi P, Q, R, S, T konumları tespit edilir.



Şekil 11. P, Q, R, S, T konumları tespit edilmiş EKG sinyalleri.

Bu dalgaların aralıkları genellikle çeşitli kalp hastalıklarını teşhis etmek için kullanılır. Bu dalgaların tüm özellikler arasında, dört tanesi tıbbi tanıda en sık kullanılanlarıdır.

RR aralığı: En göze çarpan özelliklerden biri olarak, R dalgası genellikle bir EKG sinyalinin periyodunu tanımlamak için kullanılır. RR aralığı, bazı kalp hastalıkları, örneğin aritmi durumunda düzensiz hale gelebilecek iki bitişik R dalgası arasındaki zaman aralığını gösterir;

PR aralığı: PR aralığı, P dalgasının başlangıcı ile QRS kompleksinin başlangıcı arasındaki süreyi ölçer. Dürtünün sinüs düğümünden ventriküllere ulaşması için geçen süreyi gösterir;

QT aralığı: QT aralığı, Q dalgasının başlangıcı ile ventriküler depolarizasyon ve repolarizasyon ile ilişkili olan T dalgasının sonu arasındaki süreyi temsil eder. QT aralığı normal değeri aşarsa, ventriküler fibrilasyon ve hatta ani kardiyak ölüm riski artar.

QRS kompleksi: QRS kompleksi esas olarak üç önemli dalgadan, yani Q dalgası, R dalgası ve S dalgasından oluşan ventriküler depolarizasyon ile ilişkilidir. QRS kompleksinin morfolojisi ve süresi analiz edilerek, belirli hastalıkların, örneğin elektrolit dengesizliği veya ilaç toksisitesi gibi durumların saptanması muhtemeldir. [34, 35] 'e göre EKG özelliklerinin normal değerleri Tablo 1'de listelenmiştir.

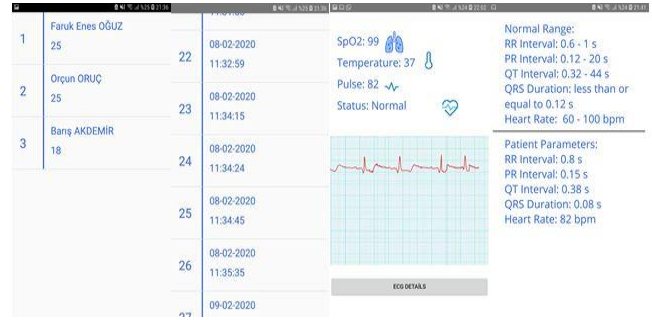
Tablo 1. EKG anahtar parametreleri için normal süreler [34, 35].

Öznitelik	Normal Aralık (s)
RR Aralığı	0,6-1
PR Aralığı	0,12-0,20
QT Aralığı	0,32-0,44
QRS Süresi	<0,12

Bu parametreler için normal sürelerin dışında bir süre ortaya çıktığı zaman Status etiketi "Normal" yerine "Abnormal" ile değiştirilerek veri tabanına gönderilir. Doktor uygulamasında alarm oluşturulur ve parametreler uzman ile paylaşılır.

3. Bulgular ve Tartışma

Sonuçlar hem hasta yakınlarının hem de hastanın doktoru tarafından kullanılacak alarm uygulamasına aktarılır.



Şekil 12. Alarm uygulamasından ekran görüntüleri.

Uzman sistemde kayıtlı hastasını seçtikten sonra Şekil 12'de de görüldüğü gibi o hastaya ait kayıtlar ekrana gelmektedir. Hastanın SpO2 değeri, vücut sıcaklığı ve nabzının yanı sıra EKG sinyal kaydı da görülebilmektedir. Ayrıca, "Status" etiketinin yanında da Matlab üzerinde yapılan analiz sonucu ortaya çıkan "Normal" veya "Abnormal" uyarısı da görülebilmektedir. Aynı zamanda, "ECG DETAILS" butonuna tıklayarak Tablo 1'de verilen normal değerleri ve hasta değerleri de takip edilebilmektedir.

Hastanın kullandığı uygulamada ise: SpO2 değerinin %95'in altına düşmesi, vücut sıcaklığının 36 C°-37 C° aralığında olmaması, Nabzın 60-100 bpm arasında olmaması durumunda uzman doktora ve hasta yakınlarına uygulama üzerinden SMS ile bildirim gönderilir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, hastaların sosyal alanlarında mobil olmalarını sağlayan bir kablosuz hasta izleme sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem ile; hastanın EKG

sinyalini, kalp atış hızını, SpO2 değerini ve vücut sıcaklığını sürekli olarak Android tabanlı bir ara yüz üzerinden izleme olanağı elde edilmiştir. Hastanın fizyolojik parametrelerinin izlenmesi büyük bir ihtiyaçtır. Nesnelerin interneti ile günümüzde bu işlem oldukça kolaylaşmıştır, fakat bu parametrelerin yalnızca izlenmesi yeterli olmamaktadır. Hastanın sürekli olarak EKG sinyali, SpO2 değeri, kalp atış hızı ve vücut sıcaklık değeri gibi temel parametrelerin takip edilmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Hastalar tek başlarına iken bazen durumlarının aciliyetinin farkında olmamaktadırlar. Bazen ise yakınlarına veya acil iletişim hatlarına ulaşmakta geç kalmaktadırlar. Hasta takip uygulaması sayesinde hasta kendi değerlerini takip edebilmektedir. Aynı zamanda, oluşturulan değerlendirme sistemi ile acil durumlarda hasta yakınları veya uzman doktora uyarı SMS'i de gönderilmektedir. Matlab üzerinde yapılan analizler sayesinde ise uzman doktora EKG sinyalinin yanı sıra daha detaylı sonuçlar da iletilmektedir.

Bu sisteme, tansiyon ölçümü gibi başka ölçümlerde eklenerek daha kapsamlı bir izleme ve değerlendirme sistemi oluşturulabilir. Aynı zamanda Matlab'da işletilen analiz sistemi çevrimiçi (online) bir platforma taşınarak, bulut üzerinden hesaplama ve analiz işlemi de yapılabilir. Bu şekilde daha hızlı ve daha kararlı bir sistem haline getirilebilir.

Çıkar Çatışması Beyanı:

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması belirtilmemiştir.

Etik Standartlar Beyanı:

Yazarlar bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve yasal-özel izin gerektirmediğini beyan eder.

Kaynaklar

- [1] "WHO | Cardiovascular diseases (CVDs)," WHO, 2017. [Online]. Available: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/en/>. (Ziyaret tarihi: 12/02/2020).
- [2] Abadi M., Subramanian R., Kia S. et al , 2015. DECAF: MEG-based multimodal database for decoding affective physiological responses. *IEEE Transactions on Affective Computing*, doi: 10.1109/taffc.2015.2392932.
- [3] Chiauzzi E., Rodarte C., DasMahapatra P., 2015. Patient-centered activity monitoring in the self-management of chronic health conditions. *BMC Medicine*, 13(1). doi:10.1186/s12916-015-0319-2.
- [4] Pandey S., Voorsluys,W., Niu S., Khandoker A., Buyya R., 2012. An autonomic cloud environment for hosting ECG data analysis services. *Future Generation Computer Systems*, 28(1), 147–154. doi:10.1016/j.future.2011.04.022.
- [5] Yakut O., Solak S., Bolat E.D., 2015. Implementation of a web-based wireless ECG measuring and recording system. In *17th International Conference on Medical Physics and Medical Sciences, Istanbul (Vol. 9, No. 10, pp. 815-818)*.
- [6] Yang Z., Zhou Q., Lei L., Zheng K., Xiang, W., 2016. An IoT-cloud Based Wearable ECG Monitoring System for Smart Healthcare. *Journal of Medical Systems*, 40(12). doi:10.1007/s10916-016-0644-9.
- [7] Catarinucci L., de Donno D., Mainetti L., Palano L., Patrono L., Stefanizzi M.L., Tarricone L., 2015. An IoT-Aware Architecture for Smart Healthcare Systems. *IEEE Internet of Things Journal*, 2(6), 515–526. doi:10.1109/jiot.2015.2417684.
- [8] Li C., Hu X., Zhang L., 2017. The IoT-based heart disease monitoring system for pervasive healthcare service. *Procedia Computer Science*, 112, 2328–2334. doi:10.1016/j.procs.2017.08.265.
- [9] Saha J., Saha A.K., Chatterjee A., Agrawal S., Saha A., Kar A., Saha H.N., 2018. Advanced IOT based combined remote health monitoring, home automation and alarm system. *2018 IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)*. doi:10.1109/ccwc.2018.8301659.
- [10] Kalid N., Zaidan A.A., Zaidan B.B., Salman O.H., Hashim M., Muzammil H., 2017. Based Real Time Remote Health Monitoring Systems: A Review on Patients Prioritization and Related "Big Data" Using Body Sensors information and Communication Technology. *Journal of Medical Systems*, 42(2). doi:10.1007/s10916-017-0883-4.
- [11] Walinjkar A., Woods J., 2017. Personalized wearable systems for real-time ECG classification and healthcare interoperability: Real-time ECG classification and FHIR interoperability. *2017 Internet Technologies and Applications (ITA)*. doi:10.1109/itecha.2017.8101902
- [12] Rofouei M., Sinclair M., Bittner R., Blank T., Saw N., DeJean G., Heffron J., 2011. A Non-invasive Wearable Neck-Cuff System for Real-Time Sleep Monitoring. *2011 International Conference on Body Sensor Networks*. doi:10.1109/bsn.2011.38.
- [13] Bsoul M., Minn H., Tamil L., 2011. Apnea MedAssist: Real-time Sleep Apnea Monitor Using Single-Lead ECG. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 15(3), 416–427. doi:10.1109/titb.2010.2087386.

- [14] Chin-Teng Lin, Chun-Hsiang Chuang, Chih-Sheng Huang, Shu-Fang Tsai, Shao-Wei Lu, Yen-Hsuan Chen, Li-Wei Ko., 2014. Wireless and Wearable EEG System for Evaluating Driver Vigilance. *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, 8(2), 165–176. doi:10.1109/tbcas.2014.2316224
- [15] Lin W.-Y., Lee M.-Y., Chou W.-C., 2014. The design and development of a wearable posture monitoring vest. 2014 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE). doi:10.1109/icce.2014.6776027
- [16] Sardini E., Serpelloni M., Pasqui V., 2015. Wireless Wearable T-Shirt for Posture Monitoring During Rehabilitation Exercises. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 64(2), 439–448. doi:10.1109/tim.2014.2343411
- [17] Stone E.E., Skubic M., 2015. Fall Detection in Homes of Older Adults Using the Microsoft Kinect. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 19(1), 290–301. doi:10.1109/jbhi.2014.2312180.
- [18] Mitra U., Emken B.A., Lee S., Li M., Rozgic V., Thatte G., ... Sukhatme G., 2012. KNOWME: a case study in wireless body area sensor network design. *IEEE Communications Magazine*, 50(5), 116–125. doi:10.1109/mcom.2012.6194391
- [19] Shanmugasundaram G., Thiyagarajan P., Janaki A., 2016. A Survey of Cloud Based Healthcare Monitoring System for Hospital Management. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 549–557. doi:10.1007/978-981-10-1675-2_54.
- [20] Hu S., Shao Z., Tan J., 2011. A Real-Time Cardiac Arrhythmia Classification System with Wearable Electrocardiogram. 2011 International Conference on Body Sensor Networks. doi:10.1109/bsn.2011.17.
- [21] Reyes B.A., Posada-Quintero H.F., Bales J.R., Clement A.L., Pins G.D., Swiston A., ... Chon K.H., 2014. Novel Electrodes for Underwater ECG Monitoring. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 61(6), 1863–1876. doi:10.1109/tbme.2014.2309293
- [22] Patel S., Park H., Bonato P., Chan L., Rodgers M., 2012. A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 9(1), 21. doi:10.1186/1743-0003-9-21.
- [23] <https://electronza.com/ecg-ekg-boards-test/>, (Ziyaret tarihi: 19/03/2020).
- [24] <https://electronilab.co/tienda/max30100-sensor-de-concentracion-de-oxigeno-y-ritmo-cardiaco/>, (Ziyaret tarihi: 19/03/2020).
- [25] <https://www.espruino.com/DS18B20>, (Ziyaret tarihi: 19/03/2020).
- [26] <https://www.roboshop.com.tr/esp32-wroom-modulu>, (Ziyaret tarihi: 19/03/2020).
- [27] Ali Azzi, Wireless Heart Rate Monitor, <https://sites.google.com/site/aliandakiyo2013/design-specification>, (Ziyaret tarihi: 19/03/2020)
- [28] Yıldırım Ö., 2017. Kalp aritmisinin çift dalga boyulu PPG sinyalleri kullanılarak belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye
- [29] Rusch T.L., Sankar R., Scharf J.E., 1996. Signal processing methods for pulse oximetry. *Computers in Biology and Medicine*, 26(2), 143–159. doi:10.1016/0010-4825(95)00049-6
- [30] Tabulated Molar Extinction Coefficient for Hemoglobin in Water, Scott Prahl, <http://omlc.org/spectra/hemoglobin/summary.html>.
- [31] MAX30102: High-Sensitivity Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor for Wearable Health., (Ziyaret tarihi: 19/03/2020) Available: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX30102.pdf>.
- [32] Donoho D. L., Johnstone I.M., 1994. Ideal spatial adaptation by wavelet shrinkage. *Biometrika*, 81(3), 425–455. doi:10.1093/biomet/81.3.425
- [33] Nemirko A.P., Lugovaya T.S., 2005.. Biometric human identification based on electrocardiogram. In *Proceedings of the XIIIth Russian Conference on Mathematical Methods of Pattern Recognition*, Moscow, Russian (pp. 20-26).
- [34] Gertsch M., 2004. The Normal ECG and its (Normal) Variants. *The ECG*, 19–43. doi:10.1007/978-3-662-10315-9_4
- [35] ECGlibrary.com: Normal adult 12-lead ECG. In: [Ecglibrary.com](http://www.ecglibrary.com/norm.php). <http://www.ecglibrary.com/norm.php>, (Ziyaret tarihi: 19/02/2020).



Soğutucu Akışkan Performanslarının Farklı Kriterlere Göre Karşılaştırılması

Comparison of Refrigerant Performance According to Different Criteria

Aybike YÜKSEL KOÇ¹ , Ayşegül BAHADIROĞLU² , Buse Nur ATAY³ , Ümit ÜNVER^{4,*} 

¹ Enerji Sistemleri Mühendisliği, Yalova Üniversitesi, Yalova, Türkiye, **Orcid:** 0000-0001-6470-4996

² Enerji Sistemleri Mühendisliği, Yalova Üniversitesi, Yalova, Türkiye, **Orcid:** 0000-0003-2874-0855

³ Enerji Sistemleri Mühendisliği, Yalova Üniversitesi, Yalova, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-4848-197X

⁴ Makine Mühendisliği, Yalova Üniversitesi, Yalova, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-6968-6181

Derleme Makale

Gönderilme Tarihi : 12/12/2020

Kabul Tarihi : 02/03/2021

Anahtar Kelimeler

COP

GWP

Isı Pompası

ODP

Soğutma Makinesi

Soğutucu Akışkan

Özet

Isı pompaları günümüzün en önemli iklimlendirme sistemlerinden biridir. Her ısı pompası için kullanım amacına ve ortama uygun fiziksel ve kimyasal özellikte soğutucu akışkan seçilir. Bu makalede, soğutma makineleri ve soğutucu akışkanlar üzerinde çalışan bilim insanları için alternatif akışkan önermek üzere, referans alabileceği bir çalışma ortaya koymak amaçlanmıştır. Çalışmada farklı ortam ve amaçlarda kullanılmış soğutucu akışkanlar incelenmiş, Ozon Tabakası Delme Potansiyeli, Küresel Isınma Potansiyeli, Performans Katsayısı ve ekserji verimine göre soğutucu akışkanlar üzerinde yapılan çalışmalar derlenmiştir. Bu araştırma ile birlikte Ozon Tabakası Delme Potansiyeli ve Küresel Isınma Potansiyeli değeri yüksek bazı soğutucu akışkanlara çok yakın performanslar gösteren, R290, R600 gibi daha çevre dostu alternatif akışkanlar olduğu tespit edilmiştir.

Review Paper

Received Date : 12/12/2020

Accepted Date : 02/03/2021

Keywords

COP

GWP

Heta Pump

ODP

Cooling

Refrigerant

Abstract

Nowadays, heat pumps are the most important air conditioning system. A suitable physical and chemical refrigerant is selected according to its intended use and environment for each heat pump. In this study, refrigerants used in different environments and purposes are brought together. All studies on refrigerants are gathered with the consideration of ODP, GWP, COP and exergy efficiency. As a result of this research, more environmental friendly alternative refrigerants have been found, which perform as good as other competitors with the advancement of greater ODP and GWP values. It is aimed to present a study in which people working on refrigeration machines and refrigerants can take reference in terms of need for alternative refrigerants.

1. Giriş

Isı pompası, bir ortamdaki ısıyı diğer ortama düşük maliyetle ileten elektrikle çalışan bir makinedir. Isı pompalarında kullanılan başlıca ısı kaynakları: hava, su ve topraktır. Bunlar tek başlarına çalışabildikleri gibi yardımcı kaynak olarak güneşi enerjisini de kullanabilirler. Soğutma makineleri ters çalışan ısı pompalarıdır.

1.1. Hava Kaynaklı Isı Pompası

Isı transferini hava-mahal arasında gerçekleştirir. Bu çeşit ısı pompalarının, büyük sıcaklık değişimleri ve buzlanma olmak üzere iki büyük dezavantajı bulunmaktadır [1-2].

1.2. Su Kaynaklı Isı Pompası

Yer altı ve yer üstü olmak üzere iki çeşidi vardır [1-3]. Yer altı; ısı kaynağının sıcaklık değişiminin az olması nedeniyle performans katsayısı yüksek bir kaynaktır [2-3].

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): umit.unver@yalova.edu.tr



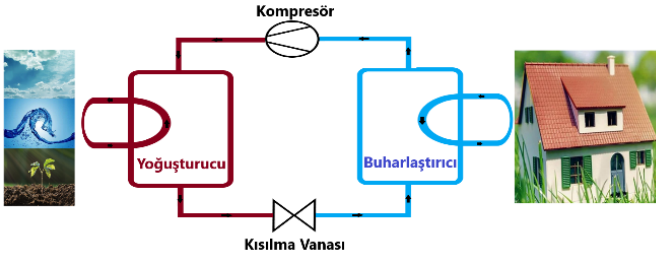
Yer üstü; hava kaynağından daha avantajlı, yer altı su kaynağından daha dezavantajlı bir kaynaktır [2-4].

1.3. Toprak

Yıl boyunca sıcaklık değişimi az olduğu için su kaynağında olduğu gibi performans katsayısı yüksektir [5]. Performansı toprak tipine göre değişebilir [6]. 2 tip toprak kaynaklı ısı pompası vardır.

Yatay tip; geniş bir arazi üzerine kurulur. Isı transfer alanı daha fazla olduğundan dikey tipten daha verimlidir [5].

Dikey tip; kısıtlı arazilerde kullanılır. Toprak sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki fark, derinlere inildikçe yazın da kışın da artar, bu nedenle yatay tipe göre daha az boru ihtiyacı olur [1 - 5].



Şekil 1. Soğutma Makinesi Çevrim Şeması

Şekil 1'de de görüldüğü üzere soğutma makinesi ısı kaynağından ısıyı alır kısıtlama vanası yardımı ile akışkan basıncı düşürülür. Buharlaştırıcıda soğutulmak istenen ortamdan ısı çekilir ve akışkan buharlaşır. Kompresörde akışkan basıncı tekrar arttırılır. Yoğuşturucuda ise buharlaşan akışkan kaynağa ısı vererek tekrar sıvı hale geçer ve çevrim tekrarlanır.

Nüfusun ve yaşam standartlarının hızlı artışı, iklimlendirme ve soğutma sistemlerine verilen önemi her geçen gün arttırmaktadır [7]. Dünyada olduğu gibi, Isı pompası uygulamalarının geleceği, Türkiye'de de 4 mevsim verimli ısıtma ve soğutma yapmak için çok açıktır [1]. Isı pompalarında akışkan seçimi yapılacak uygulamaya göre belirlenir. Ancak zaman içerisinde bu seçimi çevresel etkiler ve endişeler de etkilemeye başlamıştır. Soğutma sistemlerinde kullanılan akışkanların ozon tabakasına zarar verdiğinin gözlemlenmesi sonucu, ozon delme potansiyeli (ODP) tanımlanmış ve soğutma sistemlerinde ODP değeri daha düşük olan soğutucu akışkanlar üzerinde çalışmalar arttırılmıştır. Klor ve brom miktarının atmosferde artması ozon tabakasında incelmeye neden olan en önemli sebeptir [8]. Bu zararlı etkisi nedeniyle çevre grupları ve Montreal Protokolünde, Kloroflorokarbonların (CFC) üretimini durdurmak için çağrı yapılmıştır. Bu nedenle, klor bazlı akışkanlara alternatif soğutucu akışkanlar araştırılmaktadır [9 - 10]. Soğutucu akışkanlarla ilgili birçok yerli çalışma olmasına rağmen soğutucu akışkanların birbiriyle

kıyaslandığı Türkçe kaynak sayısı son derece sınırlıdır. Bu yüzden bu çalışmada, soğutucu akışkanlar konusunda araştırma yapan hem yerli hem yabancı kaynaklar derlenmiştir. Çalışmada, hali hazırda kullanılan veya kullanılacak olan soğutucu akışkanların, ozon delme potansiyeli (ODP), küresel ısınma potansiyeli (GWP), COP (termal performansın enerji tüketimine oranı) ve ekserji verimi özelliklerinin hepsi bir arada incelenmiştir. Hazırlanan tablolar, çok sayıda soğutucu akışkan çeşidini, farklı parametreler üzerinden karşılaştırabilmeyi mümkün kılmıştır.

2. Soğutucu Akışkanların Genel Kullanımının İncelenmesi

Isı pompasının kapasite performansını etkileyen birkaç etken vardır. Bunlardan en önemlisi sıcaklıktır. Sıcaklık, kullanılan akışkanın performansını doğrudan etkiler. Uygulamayı sıcaklıkları göz önüne alınarak ihtiyaca yönelik en uygun kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip soğutucu akışkanlar seçilmelidir.

Soğutucu akışkanlar; mineral soğutucu akışkanlar, CFC'ler, HCFC'ler, HFC'ler olarak ayrılır [11].

Son yıllarda evsel soğutucularda uzun yıllar kullanılabilmesi nedeniyle genellikle R134A tercih edilir. Ancak bu akışkanın maliyeti ve küresel ısınma faktörü yüksektir. Bu sebeple araştırmacılar daha verimli ve çevre dostu akışkanlar arayışındadırlar. Örneğin, Babiloni ve arkadaşları (2014) bir buhar tesisinde değişken hızlı kompresör kullanılarak R450A'nın küresel ısınma faktörü ve COP bakımından R134A'dan daha kullanışlı olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca R134A üzerinde yapılan başka bir çalışmada özellikleri bakımından benzerliği sebebiyle çevreye olan zararlı etkilerini düşürmek için R152A'nın karışım olarak kullanılmasıyla soğutma ve ısıtma tesir katsayılarında %5 ile %23 arasında iyileşme gözlemlenmiştir [12].

Padilla ve arkadaşları (2010), ev tipi buhar sıkıştırma bir soğutma sisteminde R12 yerine R413A kullanmış ve bütün enerji ve ekserji performansının R12'den daha kararlı sonuç gösterdiğini bulmuştur [13]. Ayrıca, orta ve düşük sıcaklıklı sistemlerde R134A/HC karışımı ile R12 karşılaştırılmıştır. R134A/HC karışımının orta ve düşük sıcaklıklı sistemlerde enerji ihtiyacının daha az olduğu fark edilmiştir [14].

Boran ve ark. (2015) tarafından iletilen bir çalışmada, buhar sıkıştırma bir soğutma sisteminde R12/R22 farklı oranlarda karıştırılarak 240 adet deney yapılmıştır. Çalışma sonucunda R22'nin tüm karışımlarda baskın özellikte olduğu gözlemlenmiştir [15]. Bunun yanında, Wu ve ark. (2009), R22 soğutucu akışkanı üzerinde yapmış olduğu çalışmada R152a/E125/R32 gaz karışımını alternatif

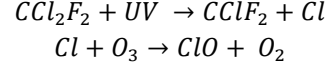
akışkan olarak denemiştir. Bu deneyin sonucunda tutuşabilirlik ve uçuculuk göz önüne alınarak birçok uygulamada R22'nin yerine R152a/E125/R32 gaz karışımının kullanılabilirliği kanıtlanmıştır [16]. Yaygın olarak kullanılan soğutma sistemlerinde R32/R134a karışımlarının incelendiği bir çalışmada R22'ye göre COP'nin %8'in üzerinde iyileşmesi sonucu R32/R134a karışımının daha verimli olduğu belirtilmiştir [17]. Ayrıca, ısı pompası sistemlerine ait kapasite kontrolü ile yapılan çalışmada R134A/R32 karışımında, R32 oranının artırılmasının da sistemin ısıtma ve soğutma kapasitesini iyileştirdiği gösterilmiştir [18].

Farklı oranlarda R744/R290 karışımlarının iklimlendirme sistemleri üzerinde incelenmesi çalışmasında R290 akışkanının tek başına kullanılmasından R744'ün eklenmesiyle verimin arttığı tespit edilmiştir ancak başarılı bir uygulama için ısı değiştirme alanı zorunlu tutulmuştur [19]. Ayrıca, çevre dostu akışkanlar konusunda yapılan bir diğer çalışmada R13'e alternatif olarak R744/R290 karışımının COP değeri ve soğutma kapasitesinin R13'ten daha yüksek olduğu tespit edilmiştir [20].

Buhar sıkıştırılmalı bir soğutma sisteminde R502 yerine R507A ve R404A kullanılmıştır. R507A kullanımının R404A'ya göre daha verimli olduğu analiz edilmiştir [21]. Buna ek olarak R502'ye alternatif olarak, özellikleri bakımından benzerlik gösteren HFC161 kullanımının da küresel ısınmaya ve ozon tabakasına etkisinin daha az olduğu tespit edilmiştir. R502'nin yanında R404A ve R507A yerine de kullanılabilir alternatif bir karışımdır [22]. R502 üzerinde yapılan başka bir çalışmada R1270/R290 ikili karışımının performans değerinde %9,6, R1270/R290/R152A üçlü karışımının ise %18,7'ye kadar iyileştiği gözlemlenmiştir [23].

Ozon Delme Potansiyeli (ODP): Yapılarında klor atomu bulunan soğutucu akışkanların bir kaçak ya da

sızıntı durumunda, stratosfer tabakasına kadar yükselir. Oradaki klor atomu tepkimede bir katalizör gibi rol oynayarak, tepkime sonsuza kadar devam edecek şekilde serbest kalır. Bu klor atomu ozon elementindeki oksijenle tepkimeye girerek ozon tabakasını tahrip etmektedir.



ODP değeri atmosfere karışma durumunda bir akışkanın ozonu delme potansiyelini gösterir. Ozon delinmesi; cilt kanseri, göz hastalıkları ve bağışıklık sisteminin zayıflamasına sebep olmaktadır. Ozon tabakasında yaşanan problemlerden sonra Ekvator bölgesinde bu hastalıkların arttığı gözlemlenmiştir [12].

HFC (hidroflorokarbon) akışkanlarının içerisinde klor bulunmadığı için ODP değerleri sıfırdır. Buna rağmen yine de karbondioksit gibi davranarak güneşten gelen ışınları absorbe ettikleri için küresel ısınmaya olumsuz etkileri bulunabilir [25].

Küresel Isınma Potansiyeli (GWP): Soğutucu akışkanların atmosfere karışması durumunda sahip oldukları GWP değerleri kadar CO₂'in atmosfere salınması ile eş değerde sera etkisine sebep olmaktadır [28]. Tüm bu zararlı etkilerinden dolayı konvansiyonel soğutucu akışkanlar yerine ODP ve GWP değerleri düşük olan yeni nesil soğutucu akışkanlar tercih edilmelidir. Tablo 1 den de görülebileceği gibi R717, R744, R1270 ve R1234yf akışkanları ODP ve GWP değeri en düşük olan yeni nesil akışkanlardır. Tablo 1 incelenerek R12, R502, R507A, R404A ve diğer tüm, ODP/GWP değeri yüksek olan konvansiyonel akışkanlara alternatif daha çevre dostu akışkanlar tercih edilebilir. Tablo 2 incelendiğinde R410A, R152A, R12, R134A soğutucu akışkanlarının en yüksek COP değerlerine sahip olduğu görülür.

Tablo 1. Farklı Soğutucu Akışkanların ODP, GWP ve Ekserji Verim Tablosu

	ODP	GWP	Ekserji Verimi	Kaynakça
R717	0	<1	0,135 – 0,84	[24], [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32]
R744	0	1	0,05 - 0,22	[20], [24], [25], [26], [27], [30], [31], [33]
R1270	0	0-3	0,27 - 0,43	[23], [24], [25], [26], [31], [34], [35], [36]
R290	0	0-20	0,146 – 0,78	[20], [23], [24], [25], [26], [27], [29], [31], [32], [33], [34], [35], [36] [37], [38], [39], [40], [41], [42]
R410A	0 - 0,0002	1725 - 2100	0,134 - 0,506	[8], [11], [17], [25], [26], [28], [29], [31], [38], [40], [41], [43], [44], [45], [46], [47], [48]
R404a	0	2000 - 3943	0,101 – 0,73	[8], [11], [21], [22], [24], [26], [27], [28], [29], [33], [40], [43] [46], [49], [50], [51], [52]

Tablo 2. (Devam) Farklı Soğutucu Akışkanların ODP, GWP ve Ekserji Verim Tablosu

	ODP	GWP	Ekserji Verimi	Kaynakça
R245fa	0	820-930	0,18-0,8	[27], [30], [53], [54], [55], [56], [57]
R22	0.034-0.055	1500-1900	0,2 – 0,8	[8], [17], [24], [25], [26], [27], [28], [30], [31], [32] [34], [35], [36], [38] [40], [41], [44], [46], [51], [58], [59], [60], [61], [62], [63], [64], [65]
R134a	0 - 0.4015	1300-1430	0,15 - 0,9	[8], [11], [15], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [34], [35], [37], [39], [41], [42], [43], [46], [51], [53], [55], [56], [66], [67], [68], [69], [70]
R502	0,221 - 0,307	4500-5600	0,105 - 0,51	[21], [22], [23], [24], [26], [40], [43], [46], [50], [51], [58]
R507A	0	3300-3985	0,101 - 0,51	[21], [22], [24], [26], [28], [29], [30], [43], [46], [52]
R12	0,95 - 1	8500 - 10600	-	[24], [26], [30], [34], [39], [42], [46], [51]
R152a	0	124 - 140	0,23 - 0,485	[15], [25], [29], [30], [31], [37], [43], [53], [67]
R417A	0	1938 - 2346	0,23 - 0,27	[7], [24], [26], [40], [46], [58], [60], [63], [65]
R227ea	0	3330	0,16 - 0,64	[30], [53], [55], [56], [57]
R407c	0	1520 - 1800	0,136 - 1,135	[8], [11], [17], [24], [25], [26], [29], [30], [38], [41], [43], [44], [46], [51], [62]
R424a	0	2440	-	[24], [60], [65]
R1234yf	0	0 - 4	0,17 - 0,37	[24], [25], [27], [31], [55], [56], [68], [69]
R1234ze	0	0 - 6	0,19 - 0,43	[24], [25], [31], [55], [56], [68]
R600	0	3 - 20	0,146 - 1,157	[8], [26], [29], [34], [35], [37], [42], [53], [57], [70], [71]
R32	0	675	0,22 - 0,4	[24], [25], [30], [31], [45], [47], [48], [67]
R402	0,02-0,033	630 - 2700	-	[50], [51]
HFC161	0	4 - 3200	-	[22], [30], [31], [48]

Tablo 3. Farklı Soğutucu Akışkanların COP, Kütleli Debi ve Kompresör Gücü Tablosu

Akışkanlar	Teorik Çalışmalar		Deneysel Çalışmalar	
	COP	Kaynakça	COP	Kaynakça
R717	0,4 – 4,78	[28], [29], [31], [72]	-	-
R744	1 – 4,25	[31], [33], [72]	-	-
R1270	1,07-5,25	[31], [34], [35], [72]	0,7 - 3,75	[23], [36]
R290	0,4 – 6	[29], [31], [33], [34], [35], [37], [40], [41], [43], [72], [73]	0,7 - 3,8	[23], [36], [38], [39]
R410A	0,4 – 10,7	[8], [16], [26], [29], [31], [40], [41], [43], [44], [47], [48], [74]	1,1 - 3,61	[11], [38], [45], [48], [74]
R404	-	-	0,4 – 3,4	[75], [76]
R404a	0,4 – 7,12	[8], [21], [26], [29], [30], [33], [40], [72]	0,57 – 3,6	[11], [22], [30], [45], [49], [50], [52], [75], [77], [76]

Tablo 4. (Devam) Farklı Soğutucu Akışkanların COP, Kütleli Debi ve Kompresör Gücü Tablosu

Akışkanlar	Teorik Çalışmalar		Deneysel Çalışmalar	
	COP	Kaynakça	COP	Kaynakça
R245fa	3 – 7,3	[55], [56]	-	-
R22	1,4 – 8,2	[7], [8], [16], [26], [28], [31], [34], [35], [40], [41], [44], [61], [62], [67], [74], [78]	0,8 – 4,9	[36], [38], [60], [63], [64], [65], [74], [75], [76], [77] [79], [80], [81], [82], [83]
R134a	0,4 – 8,4	[8], [25], [26], [27], [28], [29], [31], [34], [35], [41], [43], [55], [56], [67], [68], [69], [74], [78]	0,58 – 4,14	[11], [15], [32], [39], [42], [66], [70], [73], [74], [75], [82], [84], [85], [86], [87]
R502	3,25-7,42	[21], [26], [43]	0,58 - 0,66	[23], [50], [88]
R507A	0,4 - 4,2	[21], [26], [28], [29], [43]	0,8 – 2,6	[52], [77]
R12	0,8- 8,5	[26], [67], [78], [89]	0,4-5	[9], [14], [26], [32], [42], [86], [87]
R152a	0,4 – 8,6	[29], [31], [43], [67], [73], [84]	3,25-4,47	[7]
R417A	1,25 - 3,98	[26], [60]	2,33 – 4,1	[63], [65], [55]
R227ea	1,5 – 6,5	[56]	-	-
R438A	1,28 - 3,85	[7], [24]	-	-
R407c	0,4 – 3, 91	[8], [16], [26], [29], [41], [44], [62]	1,91 - 3,67	[11], [38], [43], [80]
R424a	-	-	2,51 – 3,6	[60], [65]
R1234yf	1,02 – 6,5	[25], [31], [55], [56], [68], [69]	-	-
R1234ze	1– 7	[25], [31], [55], [56], [68]	-	-
R600	0,4-5,25	[8], [29], [33], [34], [73], [68]	2,5 – 3,4	[31]
R32	1 – 7,8	[47], [48], [73]	1,35 – 4,1	[43]
HFC161	1 - 2,65	[31], [48]	1,3 - 4,17	[22]

R410A akışkanı HFC sınıfında olup kloruz bir akışkandır. Uygun ortam sıcaklıklarında çalıştırıldığında R22'nin yerine kullanılabilir bir alternatiftir. Aynı zamanda R290 ile R600 akışkanları GWPleri en düşük olan (<20) akışkanlar arasında yer alıp, bu iki akışkan da farklı akış debisi ve sıcaklıklarda R410A gibi R22'ye alternatif akışkanlar olarak tercih edilmelerinde sakınca görülmemektedir.

R290 ve R600 akışkanlarından sonra GWP değeri en düşük olan R152A akışkanı (124-140) da çevre dostudur ve kullanılacağı sistemde parametrelerde uygun değişiklikler yapılarak konvansiyonel akışkanlar yerine kullanılabilir.

R134A, bu akışkanlar arasında R12 akışkanına yapı olarak en ben-zeyen akışkandır. R12 kullanılan bir sistemde basit modifikasyonlar gerçekleştirdikten sonra

R134A kullanımı mümkündür fakat R134A'nın da GWP değeri (1300-1430) yüksek akışkanlardan olmasının yanında 500 kW altındaki sistemler için de pek ekonomik olmadığından benzer performans gösteren R717, R12'ye daha uygun alternatif akışkan olarak tercih edilebilir. İki tablo birbiriyle kıyaslandığında R134a'ya benzer performans gösteren başka çevre dostu soğutucu akışkanlar da kolaylıkla analiz edilebilir. Yapılan araştırmalarda R507a yerine de HFC161 akışkanı çevre dostu bir alternatif olarak kullanılabilir [22].

3. Sonuç

Bu çalışmada, yapılan araştırmalar ve makaleler göz önünde bulundurularak soğutucu akışkan çeşit ve özelliklerine dair tablolar oluşturulmuştur. Amacı bilim

insanları için, farklı çalışma koşullarında soğutucu akışkanların ODP, GWP, COP ve ekserji verimi gibi özellikleri kolay ulaşılabilir hale getirmektedir.

Bu çalışma sonucunda soğutucu akışkanlar arasından R410A, R152A, R134A, R12 ve R22 akışkanları en yüksek COP değerine sahip akışkanlar olarak gözlemlenmiştir. Ancak 7 ve üzeri COP değerlerinin çoğunlukla kayıpları ihmal edilmiş simülasyon sonuçları olduğunu unutmamak gerekir.

i. R12, COP değeri yüksek olan akışkanlardan biri olmasına karşılık GWP değeri de en yüksek olan akışkandır. Dolayısıyla R12 yerine GWP değeri düşük R717 gib-i alternatif akışkanlar tercih edilmelidir. R12 akışkanından sonra GWP değeri en yüksek olan akışkan R502 akışkanıdır. R502 akışkanı için GWP değeri daha düşük olan R404a alternatif olarak kullanılabilir.

ii. R-22 akışkanı ortalama bir GWP değerine sahiptir. Ancak ozon tabakasını inceltme özelliği olması nedeniyle, yerine ODP değeri sıfır ve GWP değeri de sıfıra oldukça yakın olan R290 ve R600 gibi çevre dostu alternatifleri tercih etmek yararlı olacaktır.

R1234yf akışkanının performans olarak yeterli COP değerine sahip olmasının yanında GWP değeri en düşük olan akışkanlardandır. Bu özelliği sayesinde benzer performans gösterdiği daha zararlı olan R134A akışkanına alternatif olarak kullanılabilir.

Çıkar Çatışması Beyanı:

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması belirtilmemiştir.

Etik Standartlar Beyanı:

Yazarlar bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve yasal-özel izin gerektirmediğini beyan eder.

Kaynaklar

- [1] Develioğlu M., 2012. Yer kaynaklı ısı pompalarının teknolojik gelişimi ve Türkiye'deki uygulanabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] Muslu M., 2017. Isı Pompası Destekli Isı Geri Kazanım Cihazının Farklı Sıcaklıklardaki Performans Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- [3] Uluyüce C., Aydınalp M.K., 2019. Toprak ve Su Kaynaklı Isı Pompalarının Ekonomik ve Çevresel Etkilerinin İncelenmesi: Gaziantep Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- [4] Alkaç S.P., Boran K., Aktaş M., Tokdemir M., 2019. Isı Pompalı İnfrared Kurutucuda Dilimlenmiş Limonun Kurutulmasının Performans Analizi, Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5(2), 128–137.
- [5] Yurtçu M., Kara Ö., Küçükkaya E., Ünver Ü., 2018. A Comprehensive Review on Heat Pump System for Green Building Concept. International Conference on Advanced Technologies (ICAT'18) Antalya, Turkey, April 28 - May 1. 802–811.
- [6] Kara O., Yurtcu M., Kelesoglu A., Kucukkaya E., Ünver U., 2018. A Heat Pump System Design for Yalova University. 3rd International Conference on Smart and Sustainable Technologies, SpliTech Croatia 26-29 June. 1-6.
- [7] Ergün A., Gürel A.E., Ceylan İ., 2018. Ticari Soğutma Sistemlerinde R22 Akışkanının Alternatifi Olarak R438a ve R417a Akışkanlarının Performansının İncelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 6(4), 824–833. doi: 10.29109/gujsc.406628.
- [8] Alkan R., Kabul A., Kızıllıkan Ö., 2014. Toprak Kaynaklı Bir Isı Pompasının Farklı Soğutucu Akışkanlar İçin Termodinamik Analizi. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 34(1), 27-34.
- [9] Hammad M. A., Alsaad M. A., 1999. The Use Of Hydrocarbon Mixtures As Refrigerants In Domestic Refrigerators. Applied Thermal Engineering, 19(11), 1181–1189, doi: 10.1016/S1359-4311(98)00116-1.
- [10] Ünver U., Ozkara G., Bahar E. M., 2018. A Design Approach for Cooling Gas Turbine Intake Air with Solar-Assisted Absorption Cooling Cycle. Green Energy and Technology, 125–137. doi: 10.1007/978-3-319-89845-2_10.
- [11] Töre H., 2015. Isı Pompasının Soğutma Durumunda Farklı Soğutucu Akışkanlar İçin Deneysel Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çorum.
- [12] Koyun T., Koyun A., Acar M., 2005. Soğutma Sistemlerinde Kullanılan Soğutucu Akışkanlar ve Bu Akışkanların Ozon Tabakası Üzerine Etkileri. Tesisat Mühendisliği Dergisi, 88, 45–53.
- [13] Padilla M., Revellin R., Bonjour J., 2010. Exergy Analysis Of R413A As Replacement of R12 In A Domestic Refrigeration System. Energy Conversion and Management, 51, 2195–2201, doi: 10.1016/j.enconman.2010.03.013.
- [14] Sekhar S.J., Lal D.M., 2005. HFC134a/HC600a/HC290 Mixture A Retrofit For CFC12 Systems. International Journal of Refrigeration, 28(5), 735–743, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2004.12.005.

- [15] Boran K., Menlik T., Alpsoy H., 2015. R134a / R152a Soğutucu Akışkan Karışımlarının Performanslarının Isı Pompasında Deneysel Olarak Araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 18(4), 251-256.
- [16] Wu J., Chu Y., Hu J., Liu Z., 2009. Performance Of Mixture Refrigerant R152a/R125/R32 In Domestic Air-Conditioner. *Int. Journal of Refrigeration*, 32(5), 1049–1057, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2008.10.009.
- [17] Chen J., Yu J., 2008. Performance Of A New Refrigeration Cycle Using Refrigerant Mixture R32/R134a For Residential Air-Conditioner Applications. *Energy and Buildings*, 40(11), 2022–2027, doi: 10.1016/j.enbuild.2008.05.003.
- [18] Kim M., Kim M.S., Kim Y., 2004. Experimental Study On The Performance Of A Heat Pump System With Refrigerant Mixtures' Composition Change. *Energy*, 29(7), 1053-1068
- [19] Kim J.H., Cho J.M., Kim M.S., 2008. Cooling Performance Of Several CO₂/Propane Mixtures And Glide Matching With Secondary Heat Transfer Fluid. *International Journal of Refrigeration*, 31(5), 800–806, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2007.11.009.
- [20] Niu B., Zhang Y., 2007. Experimental Study Of The Refrigeration Cycle Performance For The R744/R290 Mixtures. *International Journal of Refrigeration*, 30(1), 37–42. doi: 10.1016/j.ijrefrig.2006.06.002.
- [21] Arora A., Kaushik S.C., 2008. Theoretical Analysis Of A Vapour Compression Refrigeration System With R502, R404A and R507A. *International Journal of Refrigeration*, 31(6), 998–1005, doi: 10.1016/j.ijrefrig. 2007.12.015.
- [22] Xuan Y., Chen G., 2004. Experimental Study On HFC-161 Mixture As An Alternative Refrigerant To R502. *International Journal of Refrigeration*, 28(3), 436–441, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2004.04.003.
- [23] Park K.J., Jung D., 2007. Thermodynamic Performance Of R502 Alternative Refrigerant Mixtures For Low Temperature And Transport Applications. *Energy Conv. and Management*, 48(12), 3084–3089, doi: 10.1016/j.enconman.2007.05.003.
- [24] İyim E., Altıntaş A., Almış Ç., 2019. Karbondioksit Akışkanlı Transkritik Soğutma Sistemlerinde Valf Seçim Kriterleri, 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi –İzmir 17-20 Nisan. 487–513.
- [25] Güngör A., Hepbaşı A., Araz M., 2013. Düşük Küresel Isınma Potansiyeline Sahip Soğutucu Akışkanların Soğutma Uygulamalarındaki Kullanımının Değerlendirilmesi. 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi – İzmir 17/20 Nisan 575–604.
- [26] Lommers C.A., Airah F., Ashrae M., 2003. *Air Conditioning and Refrigeration Industry Refrigerant Selection Guide*. The Australian Institute of Refrigeration Air conditioning and Heating Inc (AIRAH). ISBN 0-949436-41-0
- [27] Yaşar S., Altunbaşak B., Biber M.S., Düşük Sıcaklıkta Organik Rankine Çevrim Uygulamalarından Faydalanılarak Farklı Akışkanların Verimlerinin Karşılaştırılması.
- [28] Dinarveis A., 2019. Exergy Analysis of Vapour Compression Refrigeration System Using R507A, R134a, R114, R22 and R717. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 13(7), 355–358.
- [29] Mishra R. S., 2014. Performance Optimization of Four Stage Cascade Refrigeration Systems using Energy-Exergy Analysis in the R1234ze & R1234yf in High Temperature Circuit and Ecofriendly Refrigerants in Intermediate Circuits and Ethane in the Low Temperature Circuit for Food. *Pharmaceutical, Chemical Industries*, 2(4), 701–709.
- [30] Türkkan B., Çağlayan A., Onbaşıoğlu H., 2017. Karbondioksit Akışkanlı Kanatlı Borulu Buharlaştırıcılarda Boru Özelliklerinin Isıl Kapasiteye Etkisinin İncelenmesi, 13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi – İzmir 19-22 Nisan. 1-20.
- [31] McLinden M.O., Brown J.S., Brignoli R., Kazakov A.F., Domanski P.A., 2017. Limited Options For Low-Global-Warming-Potential Refrigerants. *Nature Communications*, 8, 1–9. doi: 10.1038/ncomms14476.
- [32] Pandav P.P., Lokhande S.B., Barve S.B., 2014. Ecofriendly Refrigerants. *Applied Mechanics and Materials*, 612, 181–185. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.612.181.
- [33] Shilliday J.A., Tassou S. A., Shilliday N., 2009. Comparative Energy And Exergy Analysis Of R744, R404A And R290 Refrigeration Cycles. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 4(2), 104–111, doi: 10.1093/ijlct/ctp014.
- [34] Özcan H., Arcaklıoğlu E., 2011. Alternatif Soğutucu Akışkanlar Olarak Çevre Dostu Hidrokarbonların Kullanılması Üzerine Bir Değerlendirme. 6. th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ 16-18 May. 66-71.
- [35] Bayrakçı H.C., Özgür A.E., 2009. Energy And Exergy Analysis Of Vapor Compression Refrigeration System Using Pure Hydrocarbon Refrigerants. *International Journal Of Energy Research*, 33(12), 1070–1075.

- [36] Park K.J., Jung D., 2007. Thermodynamic Performance of HCFC22 Alternative Refrigerants for Residential Air-Conditioning Applications. *Energy and Buildings*, 39(6), 675–680, doi: 10.1016/j.enbuild.2006.10.003.
- [37] Ghodbane M., 1999. An Investigation Of R152a And Hydrocarbon Refrigerants In Mobile Air Conditioning. *SAE Technical Papers*, 108, 1658–1673, doi: 10.4271/1999-01-0874.
- [38] Joudi K.A., Al-Amir Q.R., 2014. Experimental Assessment Of Residential Split Type Air-Conditioning Systems Using Alternative Refrigerants To R-22 at High Ambient Temperatures. *Energy Conversion and Management*, 86, 496-506., doi: 10.1016/j.enconman.2014.05.036.
- [39] Halimic E., Ross D., Agnew B., Anderson A., Potts I., 2003. A Comparison Of The Operating Performance Of Alternative Refrigerants. *Applied Thermal Engineering*, 23(12), 1441–1451. doi: 10.1016/S1359-4311(03)00081-4.
- [40] Spatz M.W. Motta S.F.Y., 2004. An Evaluation Of Options For Replacing HCFC-22 In Medium Temperature Refrigeration Systems. *International Journal of Refrigeration*, 27(5), 475–483. doi: 10.1016/j.ijrefrig.2004.02.009.
- [41] Devotta S., Waghmare A.V., Sawant N.N., Domkundwar B.M., 2001. Alternatives To HCFC-22 For Air Conditioners. *Applied Thermal Engineering*, 21(6), 703–715, doi: 10.1016/S1359-4311(00)00079-X.
- [42] Wongwises S. Chimres N., 2005. Experimental Study Of Hydrocarbon Mixtures To Replace HFC-134a In A Domestic Refrigerator. *Energy Conversion and Management*, 46(1), 85–100, doi: 10.1016/j.enconman.2004.02.011.
- [43] Reddy V.S., Panwar N.L., Kaushik S.C., 2012. Exergetic Analysis Of a Vapour Compression Refrigeration System With R134a, R143a, R152a, R404A, R407C, R410A, R502 and R507A. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 14(1), 47–53, doi: 10.1007/s10098-011-0374-0.
- [44] Şahin A.Ş., Altınkaynak M., Olgun E., 2019. Comparative Evaluation of Energy and Exergy Performances of R22 and its Alternative R407C, R410A and R448A Refrigerants in Vapor Compression Refrigeration Systems. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 3, 659–667, doi: 10.31202/ecjse.565843
- [45] Xu X., Hwang Y., Radermacher R., 2013. Performance Comparison of R410A and R32 in Vapor Injection Cycles. *International Journal of Refrigeration*, 36(3), 892–903, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2012.12.010.
- [46] Bulgurcu H., Kon O., İlten N., 2007. Soğutucu Akışkanların Çevresel Etkileri İle İlgili Yeni Yasal Düzenlemeler ve Hedefler. VIII Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi 25-28 Ekim, İzmir. 915–928.
- [47] Selbaş R., Yılmaz F., 2014. Buhar Sıkıştırılmalı Soğutma Çevriminde R410a ve R32 Soğutucu Akışkanlarının Termodinamik Analizi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 6(2), 50–60.
- [48] Han X.H., Qiu Y., Li P., Xu Y.J., Wang Q., Chen G.M., 2012. Cycle Performance Studies On HFC-161 in a Small-Scale Refrigeration System as an Alternative Refrigerant to HFC-410A. *Energy and Buildings*, 44(1), 33–38. doi: 10.1016/j.enbuild.2011.10.004.
- [49] Mota-Babiloni A., Navarro-Esbrí J., Peris B., Molés F., Verdú G., 2015. Experimental Evaluation of R448A as R404A Lower-GWP Alternative in Refrigeration Systems. *Energy Conversion and Management*, 105, 756–762, doi: 10.1016/j.enconman.2015.08.034.
- [50] Aprea C., Mastrullo R., de Rossi F., 1996. Behaviour and Performances of R502 Alternative Working Fluids in Refrigerating Plants. *International Journal of Refrigeration*, 19(4), 257–263. doi: 10.1016/0140-7007(96)00012-6.
- [51] Onat A., 2004. Soğutucu Akışkanların Ozon Tabakası Üzerine Etkilerinin Araştırılması ve Alternatif Soğutucu Akışkanlar, 7(1), 32–38.
- [52] Llopis R., Torrella E., Cabello R., Sánchez D., 2010. Performance Evaluation of R404A and R507A Refrigerant Mixtures in an Experimental Double-Stage Vapour Compression Plant. *Applied Energy*, 87(5), 1546–1553, doi: 10.1016/j.apenergy.2009.10.020.
- [53] Jafarmadar S., Habibzadeh A., 2017. Study of a Combined Power and Ejector Refrigeration Cycle with Low-temperature Heat Sources by Applying Various Working Fluids. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 83(1), doi: 10.1088/1755-1315/83/1/012008.
- [54] Lounissi D., Bouaziz N., Ganaoui M., 2017. Energetic and Exergetic Analysis of a Novel Mixture for an Absorption/Compression Refrigeration System: R245fa/DMAC. *Energy Procedia*, 139, 288–293, doi: 10.1016/j.egypro.2017.11.210.
- [55] Al-Sayyab A.K.S., Abdulwahid M. A., 2019. Energy-Exergy Analysis of Multistage Refrigeration System and Flash Gas Intercooler Working with Ozone-

- Friendly Alternative Refrigerants to R134a. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 63(2), 188–198.
- [56] Al Sayyab A.K.S., 2017. Energy-Exergy Performance Comparison of an Ideal Vapor Compression Refrigeration Cycle using Alternatives Refrigerants of R134a for Low Potential of Global Warming. *Basrah journal of engineering science*, 17(1), 35–39. doi: 10.33971/bjes.17.1.5.
- [57] Goodarzi M., Soltani H.D., 2015. Thermal Performance Analysis Of a Reheating-Regenerative Organic Rankine Cycle Using Different Working Fluids. *Mechanics*, 21(1), 28-33. doi: 10.5755/j01.mech.21.1.10127.
- [58] Roberts N.A., Chambers O.R., 2004. Energy Saving Refrigerant Blends Comprising R125, R134a, R600 Or R600a. *Refrigeration And Air Conditioning*, No 632. <http://docs.lib.purdue.edu/iracc/632>
- [59] Devocioğlu A.G., Oruç V., 2019. R22 Yerine R453A Kullanan Bir Klima Cihazının Kılcal Boru Uzunluğunun Enerji Parametreleri Üzerine Etkisi. *The Internatinonal Conference on Materials Science, Mechanical and Automotive Engineerings and Technology in Cappadocia/Turkey (Imsmatec'19)*, June 21-23, 69–73,
- [60] Devocioğlu A.G., Oruç V., 2016. HCFC-22 Yerine Kullanılan Bazı HFC'lerin Çevresel Etkilerinin Deneysel Olarak Karşılaştırılması. *Isı Bilimi Ve Tekniği Dergisi*, 36(1), 99–105.
- [61] Shaik S.V., Babu T. P. A., 2017. Thermodynamic Performance Analysis of Eco friendly Refrigerant Mixtures to Replace R22 Used in Air Conditioning Applications. *Energy Procedia*, 109, 56–63. doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.049.
- [62] Shaik S.V., Babu T.P.A., 2017. Theoretical Computation of Performance of Sustainable Energy Efficient R22 Alternatives for Residential Air Conditioners. *Energy Procedia*, 138, 710–716. doi: 10.1016/j.egypro.2017.10.205.
- [63] la Rocca V., Panno G., 2011. Experimental Performance Evaluation Of A Vapour Compression Refrigerating Plant When Replacing R22 With Alternative Refrigerants. *Applied Energy*, 88(8), 2809–2815, doi: 10.1016/j.apenergy.2011.01.051.
- [64] Aprea C., Maiorino A., Mastrullo R., 2014. Exergy Analysis Of A Cooling System: Experimental Investigation on the Consequences Of The Retrofit of R22 with R422D. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 71–79. doi: 10.1093/ijlct/cts060.
- [65] Oruc V., Devocioğlu A.G., 2015. Thermodynamic Performance Of Air Conditioners Working With R417A And R424A As Alternatives To R22. *International journal of refrigeration*, 55, 120–128. doi: 10.1016/j.ijrefrig.2015.03.021.
- [66] Mol F., Mota-Babiloni A., Navarro-Esbrí J., Barragán-Cervera Á., Peris B., 2015. Experimental Study Of An R1234ze(E)/R134a Mixture (R450A) As R134a Replacement. *International Journal of Refrigeration*, 51, 52–58. doi: 10.1016/j.ijrefrig.2014.12.010.
- [67] Bilen K., Kalkışım A.T., Solmuş İ., Bulgurcu H., Yaldırak H., 2014. Otomobil Klima Sistemlerinde R152a Gazı Kullanımı Ve Özellikleri. 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi – İzmir 17/20 Nisan. 723–734.
- [68] Özgür A.E., 2013. Theoretical Investigation Of Vapor Compression Cooling Cycle Using HFO- 1234yf And HFO-1234ze. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28(3), 465–472.
- [69] Ünal Ş., Erdinç M.T., Kutlu Ç., 2016. Thermodynamic Analysis Of A Refrigeration System With Double Evaporators And Ejector. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31(4), 1039–1047, doi: 10.17341/gummfd.67211.
- [70] Manoj V., Balamurugan V., 2017. Experimental Investigation of Vapor Compression Refrigeration system with low GWP Refrigerants. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 2(5), 194–199.
- [71] Yoon J.I., Son C.H., Baek S.M., Ye B.H., Kim H.J., Lee H.S., 2014. Performance Characteristics Of A High-efficiency R717 OTEC Power Cycle. *Applied Thermal Engineering*, 72(2), 304–308, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2014.05.103.
- [72] Getu H.M., Bansal P.K., 2008. Thermodynamic Analysis Of An R744 – R717 Cascade Refrigeration System. *International Journal of Refrigeration* 31, 45–54. doi: 10.1016/j.ijrefrig.2007.06.014.
- [73] Arcaklıoğlu E., Erişen A., 2003. Soğutucu Akışkan Karışımlarının Buhar Sıkıştırılmalı Soğutma Sisteminde Termodinamik Analizi. *Journal of Engineering Sciences*, 9(2), 153–162.
- [74] Kim M.H., Pettersen J., Bullard C.W., Fundamental Process And System Design Issues In CO2 Vapor Compression Systems. *Progress in Energy and Combustion Science*, 30 (2), 119-174. 2004.
- [75] Heesen K.T., 2017. Experimental Analysis Of R134a, R22, and R404 For An Edibon Taab: Air

- Conditioning Lab Unit. Senior Honors Projects, 2010-current. 347.
- [76] Cabello R., Torrella E., Llopis R., Sanchez D., Larumbe J.A., 2013. Energy Influence Of The IHX With R22 Drop-in and Long-term Substitutes In Refrigeration Plants. *Applied Thermal Eng.*, 50(1), 260–267, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2012.06.008.
- [77] Bolaji B.O., 2011. Performance Investigation Of Ozone-friendly R404A and R507 Refrigerants As Alternatives To R22 In A Window Air-conditioner. *Energy & Buildings*, 43(11), 3139–3143, doi: 10.1016/j.enbuild.2011.08.011.
- [78] Dalkilic A.S. Wongwises S., 2010. A Performance Comparison Of Vapour-Compression Refrigeration System Using Various Alternative Refrigerants. *Int. Comm. in Heat and Mass Transfer*, 37(9), 1340–1349, doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2010.07.006.
- [79] Devocioğlu A.G., Oruç V., Berk U., Ender S., 2016. İklimlendirme Sistemlerinde R22 Yerine R442A Kullanılmasının Enerji Parametrelerine Etkisinin İncelenmesi. *Mühendislik Dergisi*, 7(3), 551–558.
- [80] Hashim Falih A., 2018. Effect of Using R-22, R404 and R-407C on Performance of an Air-Conditioning System. *Journal of Eng. and Sustainable Development*, 22(5), 200–214. doi: 10.31272/jeasd.2018.5.15.
- [81] Farraj A., Mallouh M.A., Kalendar A.R., Al-Shqirate A.A.R., Hammad M., 2012. Experimental Study Of Solar Powered Air Conditioning Unit Using Drop - In Hydrocarbon Mixture To Replace R-22. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 6(1), 63–70.
- [82] Havelský V., 2000. Investigation Of Refrigerating System With R12 Refrigerant Replacements. *Applied Thermal Engineering*, 20(2), 133–140. doi: 10.1016/S1359-4311(99)00016-2.
- [83] Jabaraj D.B., Avinash P., Lal D.M., Renganarayan S., 2006. Experimental Investigation Of HFC407C/ HC290/HC600a Mixture In A Window Air Conditioner. *En. Conv. and Mgmt*, 47(15–16), 2578–2590. doi: 10.1016/j.enconman.2005.10.026.
- [84] Chavhan S.P., Mahajan S.D., 2015. Experimental Performance Evaluation of R152a to replace R134a in Vapour Compression Refrigeration System. *International of Modern Engineering Research*, 5(2), 37–47.
- [85] Wongwises S., Kamboon A., Orachon B., 2006. Experimental Investigation Of Hydrocarbon Mixtures To Replace HFC-134a In An Automotive Air Conditioning System. *Energy Conversion and Management*, 47(11–12), 1644–1659. doi: 10.1016/j.enconman.2005.04.013.
- [86] Mani K. Selladurai V., 2008. Experimental Analysis of a New Refrigerant Mixture as drop-in Replacement for CFC12 and HFC134a,” *International Journal of Thermal Sciences*, 47(11), 1490–1495, doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2007.11.008.
- [87] Sekhar S.J., Lal D.M., Renganarayanan S., 2004. Improved Energy Efficiency for CFC Domestic Refrigerators Retrofitted with Ozone-Friendly HFC134a/HC Refrigerant Mixture. *International Journal of Thermal Sciences*, 43(3), 307–314, doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2003.08.002.
- [88] Camporese R., Bigolaro G., Bobbo S., Cortella G., 1997. Experimental Evaluation Of Refrigerant Mixtures As Substitutes For CFC12 And R502. *International Journal of Refrigeration*, 20(1), 22–31, doi: 10.1016/S0140-7007(96)00062-X.
- [89] Richardson R.N. Butterworth J.S., 1995. The performance of propane/isobutane mixtures in a vapour-compression refrigeration system. *International Journal of Refrigeration*, 18(1), 58–62, doi: 10.1016/0140-7007(94)P3712-A



Geleneksel Üretim Yöntemlerine Alternatif Polimerik Sulu Çözelti Banyosunda Hortum Tellerinin Üretilebilirliğinin Araştırılması

Investigation of Productivity of Hose Wires in Polymeric Aqueous Solution Bath Alternative to Traditional Production Methods

Erkan KARAYİĞİT^{1,*} , Teslime AYMAN² , Barış GÜNAY³ 

¹ Güney Çelik Hasır Demir Mamulleri San. Tic. A.Ş., Adana, Türkiye, **Orcid:** 0000-0001-8171-1178

² Güney Çelik Hasır Demir Mamulleri San. Tic. A.Ş., Adana, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-7857-7227

³ Güney Çelik Hasır Demir Mamulleri San. Tic. A.Ş., Adana, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-5087-1280

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 21/12/2020

Kabul Tarihi : 26/03/2021

Anahtar Kelimeler

Hortum Teli
Patentleme
Aqua Çözelti
Çelik Tel

Özet

Ötektoid veya yüksek karbonlu çelik teller endüstride çelik kablo, kord, yay teli, hortum teli ve diğer benzeri tel ürünlerin üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu doğrultuda gerekli mekanik dayanımı sağlamak amacıyla mikro yapısal açıdan perlit lamelleri arası mesafenin azaltılması ile ince perlitik yapının elde edilmesi gerekmektedir. Hortum tellerinde ince perlitik yapının elde edilmesi, mekanik özelliklerin iyileştirilmesi için östenitleme ve ısıtma şartları kritik öneme sahiptir. En yüksek mekanik dayanım ve tel çekilebilirlik (çap küçültme) kabiliyeti, 480-600 C de kurşun banyosunda geleneksel patentleme işlemi ile gerçekleştirilmektedir. Bu ısıtma işlemi, gerek çevresel ve sağlık problemleri gerekse yüksek yatırım ve işletme maliyetleri nedeniyle sınırlanmaktadır. Bu çalışmada %0,76C lu çelik telin polimer esaslı sulu çözelti banyosundaki soğuma davranışları ile literatürdeki kurşun banyosundaki soğuma davranışları karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda yüksek karbonlu bu çeliğin polimerik sulu çözelti banyosunda tamamen ince perlitik bir yapıya dönüşümü sağladığı ve yüksek basınçlı ve orta basınçlı hortum tellerinin, sektörün talep ettiği EN 10324:2004 standartları çerçevesinde istenilen çap aralıklarında (0,5-0,8mm) mekanik dayanım sergilediği ortaya konmuştur. Bu çalışmada, 0,76%C'lu ve 2.30 mm çapındaki çelik telin polimerik çözelti banyosundan sonra mikro yapısal ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

Research Paper

Received Date : 21/12/2020

Accepted Date : 26/03/2021

Keywords

Hose Wire
Patenting
Aqueous Solution
Steel Wire

Abstract

Eutectoid or high carbon steel wires, steel cable, cord, spring wire, hose wire and other similar wire in industry. In this direction, it is to provide the necessary mechanical strength. How austenitizing and heat treatment is critical to achieve fine pearlite structure in hose wires and to improve mechanical properties. The highest mechanical strength and wire drawing ability (diameter reduction) is achieved by the traditional patenting process in a lead bath at 480-600 C. This heat treatment; it is transported due to environmental and health problems as well as high investment and operation. The cooling behavior of this tea 0.76% C steel wire in the polymer-based aqueous solution bath was compared with the cooling behavior in the lead bath in the literature. In experimental studies, the transformation of this high carbon steel into a polymeric aqueous solution bath into a completely perlitic structure and high and medium hose wires have been found to exhibit mechanical strength in various types of EN 10324: 2004 in various diameter ranges (0.5-0.8mm). The micro mesh and mechanical properties of this 0.76% C and 2.30 mm diameter steel wire were investigated after polymeric solution bath.

1. Giriş

Yüksek mukavemetli çelik teller; hızla gelişen bir pazara sahiptir. Endüstriyel olarak otomotiv, lastik telleri, yay telleri halat telleri, müzik aletleri ve bu tür tellerin tel çekme prosesi yardımıyla çap küçültülmesi sonucunda

üretilmektedir[1]. Yüksek mukavemetli yaylar hiper-ötektoid çelik tellerden imal edilmiştir. Bu teller çok ince perlitik mikroyapıya sahiptir. Bu perlitik mikro yapı, toplu üretim için kullanılan en iyi bilinen doğal nanomalzemedir. Hiper-ötektoid çelik tellerdeki perlitik mikro yapı, alternatif çok ince ferrit lameller ve sementit lamellerden oluşur. Ferrit lameller ve sementit lamellerin kalınlıklarının toplamı, lameller arası aralık olarak bilinir. Perlitik çelik

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): erkan@guneycelik.com.tr



tellerin mekanik özelliklerinin, lameller arası boşlukla doğrudan bir ilişkisi vardır[2].

Ötektoid veya hiper-ötektoid bileşimlerin soğuk çekme perlitik çelik telleri, çok yüksek mukavemet, burulma ve eğilme mukavemeti, makul süneklik ve kabul edilebilir seviyenin benzersiz kombinasyonlarından dolayı, son birkaç on yılda önemli miktarda bilimsel araştırma konusu olarak kapsamlı bir şekilde çalışılmıştır[3].

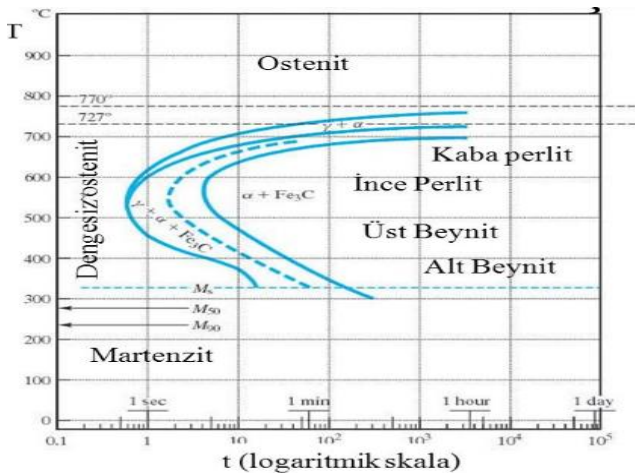
Soğuk çekmede esnasında telin kopması nedeni ile çekilebilirliği ortadan kalkmaktadır. Bu durumda daha küçük çaplara inilebilmesi ve mukavemetin koruyabilmesi için patentleme adı verilen bir ısıl işlem prosesi geliştirilmiştir[1].

Patentli çelik telin yaygın kullanımı, mekanik özelliklerini incelemeyi vazgeçilmez kılmaktadır. Literatürden bildirildiği gibi, soğuk çekilmiş patentli çelik telin mekanik davranışı, özellikle mukavemet ve tokluk özellikleri, büyük ölçüde işleme sırasında geliştirilen mikro yapı tarafından kontrol edilir[4].

Patentleme ısıl işlemi, orta ve yüksek karbona sahip ve de düşük alaşımlı çelik tellerin iç yapısında ince lamelli perlit yapısı elde etmek için uygulanan bir ısıl işlem prosedir[5].

Fluidbed (Ecoquench) patentleme fırınları, önemli ölçüde daha yüksek ısı transferi ve dolayısıyla daha hızlı tel hızı avantajına sahiptir, ancak atmosfer kontrolü ve ölçek oluşumu ile ilgili sorunları var. Günümüzde artan tel üretim kapasitesi nedeniyle, birçok tel üreticisi akışkan yatağın patentlenmesi sürecine daha fazla ilgi duymakta ve tercih edilmektedir. Akışkan yataktaki patentli işlem, erimiş kurşun banyosuna göre daha ekonomik ve çevre dostudur, ancak aynı zamanda daha yüksek hat hızlarında üretime izin verir[6].

Metallurjik açıdan, patentleme süreci bir izotermal dönüşüm (TTT) ile kontrol edilir. Bu sırada, Şekil 2'deki östenit faz yapısının perlit dönüşüm zamanı ve oranını belirlemek için sıcaklık ve dönüşüm grafikleri kullanılır[6].



Şekil 1. TTT diyagramı

İzotermal TTT diyagramı, telin östenitleme sıcaklığından çok hızlı bir şekilde T < 550 ° C'ye kadar soğutulması ve ardından bu sıcaklığı birkaç saniye tutmanın gerekli olduğunu göstermektedir[6].

Sürekli tel çekme hatlarında akışkan yataklı proseslerde kullanılan kum sarfiyatı, aynı zamanda harcanan yüksek enerjiden dolayı daha temiz ve daha düşük enerji gerektiren bir proses arayışına girilmiştir. Bu doğrultuda polimerik sulu çözelti banyolarında patentleme işlemleri dikkat çekmektedir. Hayli düşük konsantrasyonlarda hazırlanan polimerik sulu çözeltilerdeki soğutma esnasında sıcak tel yüzeyi ile çözelti ortamı arasında oluşan buhar filmi sayesinde, telin soğuması sıvının, kendi kaynama noktasından belirgin bir şekilde daha sıcak olan yüzeye yaklaştırıldığında hemen kaynamasını önleyen, yalıtkan bir su buharı tabakası ürettiği fiziksel bir olay olan (Leidenfrost Etkisi) ile gerçekleşmektedir[1].

Çelik tellerdeki redüksiyon oranının artışına bağlı olarak düşürülen kesit alanı ile soğuma hızı çok yüksektir. Bundan dolayı polimerik çözeltilerde sürekli soğuma eğrisine, hava kontrolü ile ara verilerek kademeli olarak soğutma ortamı oluşturularak çelik tellerin gerek yapıya sahip olmasına neden olan martenzitik yapıdan kurtulmasını sağlamayı başarmak ve hava kontrolü ile de perlitik dönüşümün devam etmesine imkan sağlamaktır. YMK östenit fazının, kübik merkeli yapıya dönüşümü çelik tel üzerinde sıcaklığın yeniden artmasına sebebiyet verir. Bu neticede hatlarda nihai ürün kalitesine olumsuz etki etmesinden dolayı hava kontrolü kısa tutulup, ikinci bir polimerik banyo ortamı ile yapıda dönüşümün ince perlitik olması sağlanmıştır[7].

Bu çalışmada, 0,76%C'lu ve 2.30 mm çapındaki çelik telin polimerik çözelti banyosundan sonra mikro yapısal ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

2. Malzeme ve Yöntem

Deneyisel çalışmalarda 0,76%C'lu 6mm çapında filmanın (İsdemir A.Ş.) tel çekme prosesi sonrasında 2,30 mm(%84 redüksiyon) çapa indirilmiş numuneleri alınmıştır.

Çelik tellerin ısıl işlem öncesi ve sonrasında mekanik özellikleri Universal Mares TSE6301 model 10 ton kapasiteli çekme cihazında test edilmiştir. Çekme mukavemeti, % uzama ve % kesit daralması oranı değerleri ölçülmüştür.

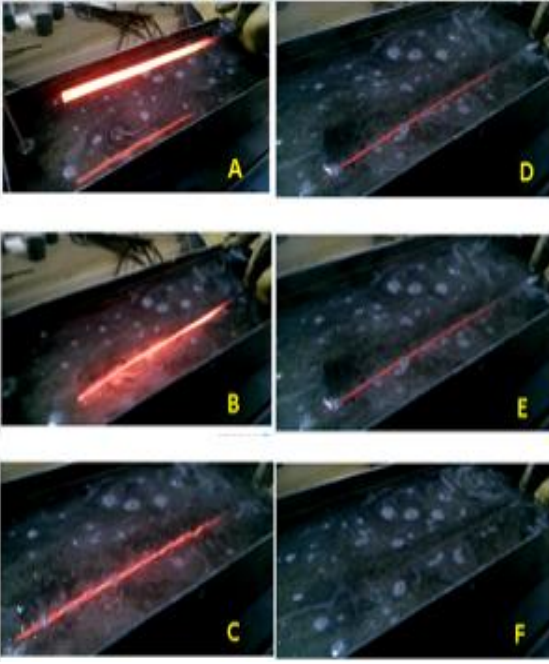
Tablo 1. 1076 kalite hammadde kimyasal analizi

Kimyasal Kompozisyon (%)										
Kalite	Çap	C	Mn	P	S	Si	Al	Cu	Cr	Ni
0.76	6 mm	0,76	0,56	0,009	0,004	0,21	0,002	0,05	0,03	0,03

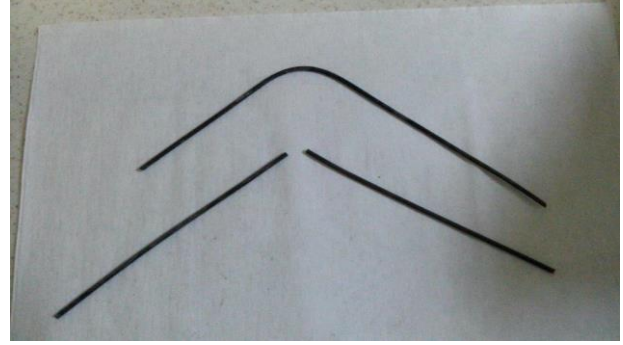
Tablo 2. 6mm filmaşinin redüksiyon oranları

Giriş	1.Kafa	2.Kafa	3.Kafa	4.Kafa	5.Kafa	6.Kafa	7.Kafa	8.Kafa
6	5,2	4,53	3,97	3,51	3,12	2,79	2,51	2,27
Redüksiyon	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	0,2	0,19	0,18

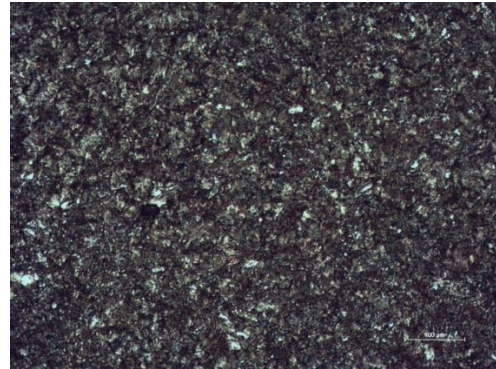
970°C de 60 saniye fırında bekletilmiş 2.30 mm çelik tel numuneleri %4'lük polimerik sulu banyo çözeltisi ile hazırlanan 85°C deki polimer banyosunda soğutulmuştur.

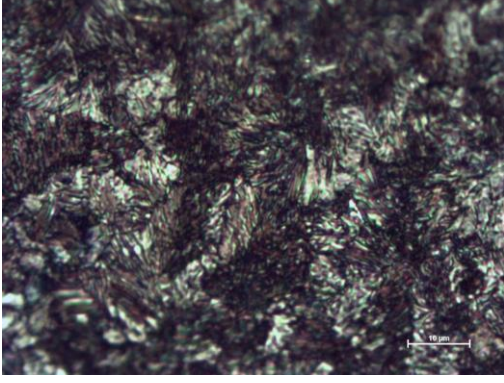
**Şekil 2.** 970°C deki telin 85°C deki %4 polimerik sulu banyo çözeltisi içerisindeki soğuma davranışı

Filmaşin mukavemeti (6mm) 1056 Mpa aralığında iken, deformasyona uğratılmış telin mukavemeti (2,30mm) 1850 Mpa aralığında gelmektedir. %4'lük polimerik sulu banyo çözeltisi içerisinde patentleme işlemi sonrasında tel mukavemeti 1180-1190MPa olarak ölçülmüştür.

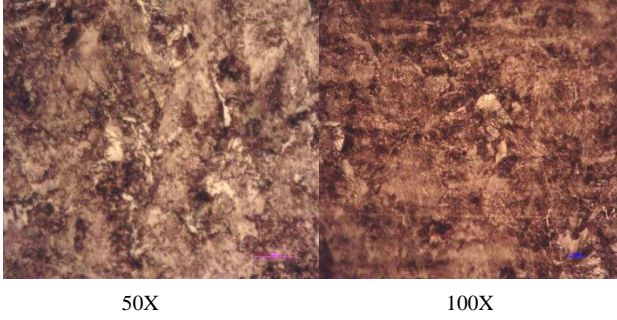
**Şekil 3.** 970°C deki telin 85°C deki su içerisindeki soğuma davranışı**Şekil 4.** 85°C de %4 lük polimerik sulu banyo çözeltisi ile (üstteki bükülebilir numune) ve şebeke suyu ile (alttaki kırılabilir numune) soğutulmuş numuneler.

Mikro yapısal olarak ise incelemeler için çelik tellerden numuneler alınarak sıcak bakalıte alma cihazında kalıplanarak 240-600-1000 ve 2000 nolu zımparalardan geçirildikten sonra 6µ velüm elmas süspansiyon ile yüzeyleri parlatılmış sonrasında ASTM E 407 standartına göre 4g pikrik asit 100 mL etanol (95 %) or metanol (95 %) kullanılarak dağlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Mikroskopik çalışmalarda Nikon LV150 optik mikroskobu kullanılmıştır. SEM incelemeleri ise Çukurova Üniversitesi bünyesinde bulunan ÇÜMERLAB kurumunda gerçekleştirilmiştir.

**Şekil 5.** %4 polimerik sulu banyo çözeltisi ile 85°C de soğutulmuş tel numunesinin mikroyapısı (100X)

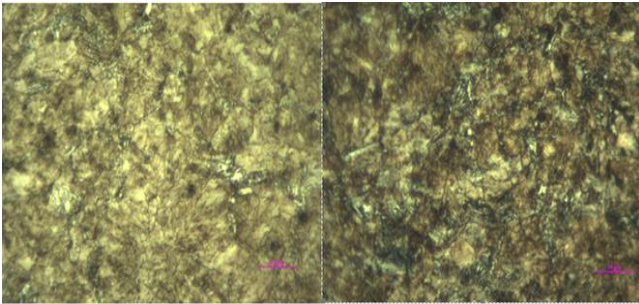


Şekil 6. %4 polimerik sulu banyo çözelti ile 85°C de soğutulan tel numune mikroyapısı (1000X)

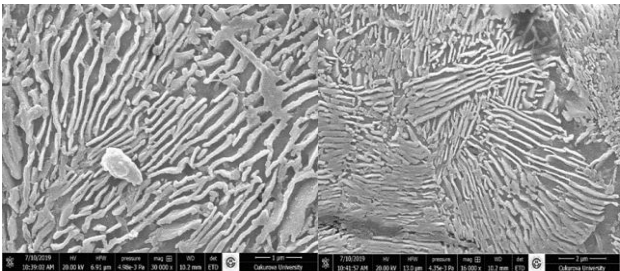


Şekil 7. 2.30 mm' e çekilen tellerin %4'lük polimerik sulu banyo çözeltisindeki mikro yapısı (50X-100X)

2,30mm'e çekilen teller %4'lük polimerik sulu banyo çözeltisinde sürekli soğutma ortamında perlitlenme işlemi sonrasında firma bünyesinde bulunan optik mikroskop ile incelenmiştir. Homojen bir şekilde perlit oluşumu sağlanmıştır. ASTM E 407 standartına göre 4g pikrik asit 100 mL ethanol (95 %) or methanol (95 %) kullanılarak dağlama işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 8. 2,30 mm çapındaki numune için yapılan çalışmalara ait mikro yapısı (50X)



Şekil 9. 2,30mm çapındaki numune için SEM analizi

Tablo 3. 6mm'lik filmaşinin patentleme öncesi ve sonrasında

Kalite	Filmaşin	Deformasyon Sonrası		Patentleme	
	Çap(mm)	Mukavemeti(Mpa)	Çap(mm)	Mukavemet(Mpa)	
İsdemir-1076C	6	1056	2,30	1185-1199	

Filmaşin mukavemeti (6mm) 1056 Mpa aralığında iken, deformasyona uğratılmış telin mukavemeti (2,30 mm) 1850 Mpa aralığında gelmektedir. %4'lük polimerik sulu banyo çözeltisi içerisinde patentleme işlemi sonrasında tel mukavemeti 1185-1199MPa olarak ölçülmüştür.

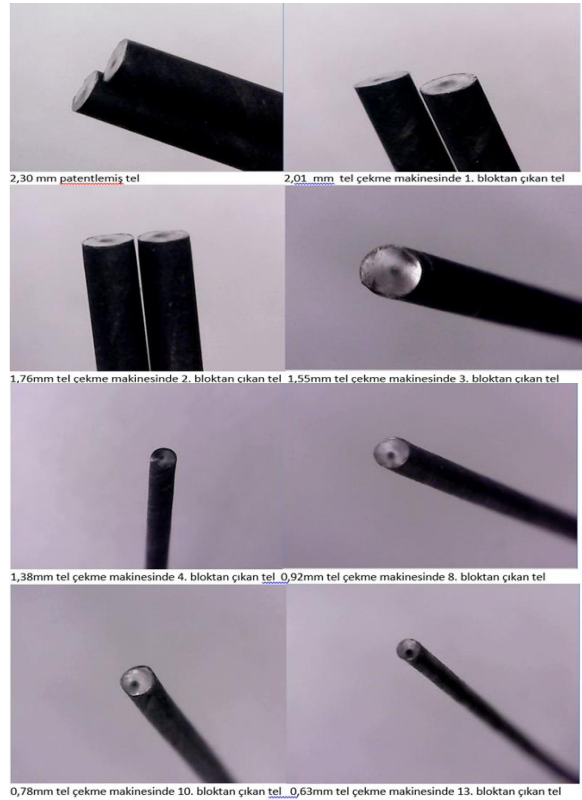
Tablo 4. Farklı sıcaklıklarda kurşun banyosundaki çekme, uzama ve kesit daralması

Pb Banyo Sıcaklığı	Çekme Muk. (ort)	%Uzama (E)	%Kesit Daralması (R)
480°C	1273 Mpa	E<7,2	-
530°C	1239 Mpa	E<9	R<38
560°C	1190 Mpa	10<E<12,5	38<R<44
590°C	1158 Mpa	11<E<13,3	42<R<48

Tablo 5. 2.30 mm patentlenmiş tellerin mekanik özellikleri

	Çekme Muk. (N/mm ²)	%Kesit Daralması	Burulma (Torsion)
X	1185<T<1215	%44-50	38-42
Y	1150<T<1170	%45-52	39-44
Z	1120<T<1150	%46-52	42-47

Çekilen teller üzerinde burulma (torsion) testleri yapılmış ve standartlara göre karşılaştırma yapılmıştır.



Şekil 10. Çekilen teller üzerinde burulma(torsion) test sonuçları

Tablo 6. 2.30 mm için kopma mukavemeti verileri tablosu

Tel çapı (mm)	Çekme Muk.(N/mm ²)	Akma Muk. (N/mm ²)	Burulma Sayısı
2.30	1199	933	65
2.01	1350	1280	35
1.76	1456	1367	32
1.55	1570	1428	30
1.38	1609	1441	29
1.24	1698	1551	27
1.11	1755	1619	27
1.01	1865	1772	30
0.92	1911	1834	34
0.84	1980	1872	28
0.78	2080	1980	29
0.72	2229	2150	28
0.67	2399	2200	29
0.63	2479	2358	29

3. Bulgular ve Tartışma

970°C de 60 saniye fırında bekletilmiş 2.30 mm çelik tel numuneleri %4'lük polimerik sulu banyo çözeltisi ile hazırlanan 85°C deki polimer banyosunda soğutulmuştur.

Filmaşın mukavemeti(6mm) 1056 Mpa aralığında iken, deformasyona uğratılmış telin mukavemeti (2,30mm) 1850 Mpa aralığında gelmektedir. %4'lük polimerik sulu banyo çözeltisi içerisinde patentleme işlemi sonrasında tel mukavemeti 1185-1199MPa olarak ölçülmüştür.

Elde edilen mekanik sonuçlarda, polimerik sulu banyo çözelti ile yapılan literatür araştırmaları ile kıyaslandığında kurşunda patentlenen teller ile benzer sonuçlar göstermiştir.

2,30mm'e çekilen teller %4'lük polimerik sulu banyo çözeltisinde sürekli soğutma ortamında perlitlenme işlemi sonrasında firma bünyesinde bulunan optik mikroskop ile incelenmiştir. Homojen bir şekilde perlit oluşumu sağlanmıştır.

Çukurova Üniversitesi Merkez laboratuvarında 2,30mm çapındaki numune için SEM mikro yapı analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda homojen bir şekilde perlit oluşumunun sağlandığı gözlemlenmiştir.

Çekilen teller üzerinde burulma (torsion) testleri yapılmış ve standartlara göre karşılaştırma yapılmıştır. Test sonuçları "The fracture surface of wire is same with "1a" in the standard of ISO 7800." Standartına göre "1a" olarak gözlemlenmiştir.

Tel çekme ünitesinden gelen numuneler ile yapılan mekanik sonuçlar ile EN 10324:2004 "Steel Wire and Wire Products- Hose Reinforcement Wirestandardı" kıyaslanmıştır ve elde edilen verilerin standartlar içerisinde yer aldığı göstermektedir.

Şekil 14'te yer alan veriler; tel çekme prosesi sonrasında elde edilmesi istenen mekanik özelliklerin, başlangıçtaki patentlenmiş çelik telin çekme mukavemeti

ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Bunun dışında redüksiyon dağılımı ve tel çekme hızının da telin çekme mukavemetine önemli oranda etki ettiği bir gerçektir.

4. Sonuçlar

Elde edilen mekanik sonuçlarda, %4'lük polimerik sulu banyo çözeltisi ile yapılan denemeler kurşunda patentlenen teller ile benzer sonuçlar göstermiştir.

Fakat perlitik dönüşüm için gerekli ilk soğutma hızı, kurşunun konveksiyonel ısı transfer katsayısının çok yüksek olmasından dolayı (3500W/m²k) daha iyi sağlanmıştır.

Filmaşın mukavemeti (6mm) 1056 Mpa aralığında iken, deformasyona uğratılmış telin mukavemeti(2,30mm) 1850 Mpa aralığında gelmektedir. %4'lük polimerik sulu banyo çözeltisi içerisinde patentleme işlemi sonrasında tel mukavemeti 1185-1199MPa olarak ölçülmüştür.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Etik Standartlar Beyanı

Bu çalışmada akademik etik kurallarına uyulduğu, bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiği ve yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada yazarlara ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm. İfade edilenlerin aksi ortaya çıktığında ise her türlü yasal sonucun kabul edileceğini beyan ederim.

Kaynaklar

- [1] Özdemir E.V., Karayığit E., Altuncu E., 2015. Geleneksel Kurşun Banyosunda Patentleme Yöntemine Alternatif Sulu Çözelti Banyosunda Patentleme Isıl İşleminin Uygulanabilirliğinin Araştırılması. İkinci Uluslararası Demir Çelik Sempozyumu (IISS'15), Karabük, Türkiye 1-3 Nisan.
- [2] Bargujer S.S., Suri N.M., Belokar R.M., 2016. Pearlitic Steel Wire: High Carbon Steel Based Natural Nanomaterial By Lead Patenting Process" MaterialToday's: Proceedings Journal, 6(3), 1553-1562.
- [3] Kistrane-Bouzidi A., Zidani M., Nebbar M.C., Abid T., Helbert A.L., Brisset F., Baudin T., 2020. Mechanical Properties and Texture Evolution of High-Carbon Steel Wires During Wire Drawing:

- Strand Manufacturing. International Journal of Engineering Research in Africa, 130-138.
- [4] Navaei E., Aghazadeh Mohandesi J., 2010. Fatigue Damage Accumulation in Cold-Drawn Patented Steel Wire Under Variable Loading'. Journal of Elsevier, 31(4), 2018-2024.
- [5] Branders R., Anelli E., Massai A.M., Perspectives in Energy Saving in Fluidized Bed Patenting," Wire Journal International, pp. 114-118, The wire Association.
- [6] Esen S.G., Altuncu E., Üstel F., Savcıoğlu S., 2018. Influence of Different Ecoquench Temperature on High Carbon Steel Wire Mechanical Properties. Acta Materialia Turcica, 2, 1-5.
- [7] Meersschant D., Vanneste G., Heat Treatment of Steel Wire. United States Patent 6228188; 2001



Konak *Galleria mellonella* Linnaeus (Lepidoptera: Pyralidae) hemolenf kimyasına indol-3-asetik asitin etkisi

Influence of Indol-3-Acetic Acid on hemolymph chemistry of the host Galleria mellonella Linnaeus (Lepidoptera: Pyralidae)

Fevzi UÇKAN¹ , Zülbiye DEMİRTÜRK^{2,*} , Hanife Merve TETİK³ 

¹ *Biyoloji Anabilim Dalı, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, Orcid: 0000-0001-9304-4296*

² *Biyoloji Anabilim Dalı, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, Orcid: 0000-0002-3107-4278*

³ *Biyoloji Anabilim Dalı, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, Orcid: 0000-0002-7657-7135*

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 13/01/2021

Kabul Tarihi : 27/04/2021

Anahtar Kelimeler

Galleria-mellonella
Indol-3-asetik asit
Toksosite
Hemolenf metabolitleri

Research Paper

Received Date : 13/01/2021

Accepted Date : 27/04/2021

Keywords

Galleria-mellonella
Indole-3-acetic acid
Toxicity
Hemolymph metabolites

Özet

Oksin grubunun en önemli üyelerinden biri olan indol-3-asetik asit (IAA) bitki, mantar ve bakteriler tarafından endojen olarak üretilen bitki büyüme düzenleyicidir. Büyük balmumu güvesi *Galleria mellonella*, tarımda yaygın olarak kullanılan IAA'ya doğal ortamında maruz kalabilmektedir. Bu nedenle, son yıllarda model organizma olarak kullanılan *G. mellonella* larvalarının hemolenf kimyasındaki değişikliklere IAA'nın etkileri incelendi. *G. mellonella* larvalarının diyetlerine IAA'nın farklı dozları (50, 500, 1000, 5000 ve 10000 ppm) eklenerek verildi. IAA hemolenf karbohidrat, lipid ve protein seviyelerinde doza bağlı bir şekilde değişikliğe neden oldu. IAA uygulamasına bağlı olarak, larval hemolenfdeki toplam glikojen ve protein miktarında bütün dozlarda azalma belirlenirken, toplam lipid miktarında ise artış gözlemlendi. Sonuçlarımız IAA uygulamasının böceklerde önemli fizyolojik değişikliklere neden olabileceğini göstermektedir. Bu durum pestisitler kadar bitki büyüme düzenleyicilerin de ekotoksik riskleri üzerinde gerekli çalışmalar yapılması gerektiğini göstermektedir.

Abstract

Indole-3-acetic acid (IAA), one of the most important members of the auxin group, is a plant growth regulator and produced endogenously by plants, fungi and bacteria. The greater wax moth *Galleria mellonella* can be exposed in its natural environment to IAA, which is widely used in agriculture. Therefore, the effects of IAA on changes in hemolymph chemistry of *G. mellonella* larvae, which were used as a model organism in recent years, were examined. Different doses of IAA (50, 500, 1000, 5000 and 10000 ppm) were added to the diets of *G. mellonella* larvae. IAA caused changes in hemolymph carbohydrate, lipid and protein levels in a dose-dependent manner. While a decrease in the total amount of glycogen and protein in the larval hemolymph were determined at all doses of IAA, an increase in the total amount of lipid was observed in the larval hemolymph. Our results show that IAA treatment can cause significant physiological changes in insects. This situation shows that necessary studies should be done on the ecotoxic risks of plant growth regulators as well as pesticides.

1. Giriş

Bitki büyüme düzenleyicileri (BBD) inhibitör ve uyarıcı yolları uyararak bitki büyümesini düzenleyen kimyasallardır [1]. Yaygın olarak tarımsal ürünlerin üretimini geliştirmek için kullanılmaktadırlar [2]. Bitki hormonlarından oksinlerin en çok bulunan formu indol-3-asetik asit (IAA)'tir. Hemen hemen bütün bitkiler

tarafından sentezlenir [3]. IAA'nın toksik etkileri nedeniyle çeşitli Lepidopteran türlerde büyüme, üreme, immünoloji, hayatta kalma, gelişim süreleri ve hemosit tepkileri üzerinde olumsuz etkilerinin olduğuna dair kanıtlar bulunmaktadır [4,5]. Pestisitler gibi BBD'lerin de çevrede aşırı ve kontrolsüz kullanımının ekosistem üzerinde olumsuz etkilere neden olabileceği düşünülmelidir.

Lepidoptera takımına ait türlerin birçoğu tarım zararlısı olmaları nedeniyle ekonomik açıdan dikkat edilmesi

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): zulbiye.ylmzz@gmail.com



gereken böceklerdir. Bu böceklerle çalışmalar yapılabilmesi için uygun laboratuvar koşullarında yetiştirilebilmeleri gerekmektedir. Bu nedenle seri üretim için iyi ve daha ucuz sentetik besinler ve *in vitro* kültür teknikleri geliştirilmiştir [6]. Sentetik besinlerle kültüre alınan bir Lepidopteran türü olan *G. mellonella* fizyolojik, immünolojik ve toksikolojik incelemeler için model organizma olarak daha fazla ilgi görmektedir [2,7]. Birçok çalışmada daha çok IAA'nın insan ve omurgalılar üzerinde teratojenik [8,9,10] ve biyokimyasal [11,12] etkileri gösterilmiştir. Bununla birlikte IAA'nın özellikle böcekler üzerindeki biyolojik etkileri ile ilgili benzer çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu nedenle, çalışmamızda model böcek olarak kullanılan büyük bal mumu güvesi *G. mellonella* larvalarından alınan hemolenfin toplam glikojen, lipit ve protein içeriği IAA dozlarına göre değerlendirildi.

2. Malzeme ve Yöntem

2.1. Laboratuvar, Biyolojik Analizler ve Hemolenf Toplama

G. mellonella kültürünün gelişimi için optimal değerler olan $25 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklık, $\%60 \pm 5$ bağıl nem ve 12: 12 saat A: K (Aydınlık: Karanlık) fotoperi-yot şartlarında yetiştirildi. IAA'yı (Merck 10 g, Darmstadt, Almanya, CAS 87-51-4) 1 N NAOH ile çözdükten sonra farklı konsantrasyonlarda (50, 500, 1000, 5000 ve 10000 ppm) solüsyonlar hazırlandı ve aynı oranda Sak ve diğerlerinin (2006) önerdiği sentetik besine eklendi [13]. IAA uygulamalarında kullanılan *G. mellonella* son evre larvalarının ($0,18 \pm 0,2$ g) farklı zaman ve farklı süksesif kültürlerden alınmasına özen gösterildi. Larvaların üçüncü ön bacak bölgesi ince uçlu diseksiyon iğne-siyle delindi. Bu bölgeden mikrokapiller tüp ile 10 μl hemolenf çekildi. Daha sonra 0,001 g 1-fenil-2-tiyüüre (Merck, CAS 103-85-5) içeren tüplere alı-narak toplam glikojen, lipit ve protein analizleri yapılmaya kadar -80°C 'de saklandı. Analizden önce tüm hemolenf örnekleri $+4^\circ\text{C}$ 'de Microfuge® 22R Marka satrifüjde 10.000 g'de 10 dk santrifüj edildi. Her bir doz ve kontrol grubu için farklı zamanlarda her biri beşer seriden oluşan üçer tekrar yapıldı.

2.2. Toplam glikojen, lipit ve protein tayini

Hemolenfdeki glikojen Van Handel (1985)'in antron testi ile ölçüldü [14]. Glikojen standart gra-fiği için saf glukoz (Merck, CAS 50-99-7) kullanıldı. Larval hemolenfdeki toplam lipit miktarı Olson vd. (2000)'nin Van Handel (1985)'den modifiye ettikleri vanilin-fosforik asit metodu ile belirlendi [14,15]. Standart eğri için $\%0,1$ 'lik mısır yağı (Merck, CAS 8001-30-7) kullanıldı. Toplam protein ise standart olarak sığır serum albümini (BSA) (Sigma Aldrich, CAS 9048-46-8) kullanılarak Bradford (1976) yöntemiyle belirlendi [16]. Spektrofotometrede (SPEKTROstar Nano, Ortenberg, Almanya) glikojen 625 nm, lipit 525 nm ve protein 595 nm dalga boyunda ölçüldü. Tüm deneyler üç kez tekrar edildi.

2.3. İstatistiksel analiz

Elde edilen değerler için normallik ve homojenlik testi yapıldıktan sonra, parametrik testlerde verilerin homojen olup olmamasına göre Tukey HSD ya da Tamhane T2 post hoc testleri yapıldı. Parametrik olmayan testlerde Kruskal Wallis ve Mann Withney U testi uygulandı (Windows için sürüm 18.0, SPSS Science, Chicago). Sonuçlar arasındaki fark $p < 0,05$ 'e göre istatistiksel olarak anlamlı-anlamsız bulundu.

3. Bulgular ve Tartışma

Hemolenf içeriğindeki glikojen, lipit ve protein miktarlarındaki değişiklik Tablo 3.1'de gösterilmektedir. IAA, toplam glikojen ve protein miktarında kontrol grubuna göre bütün dozlarda azalmalara, toplam lipit miktarında ise tüm dozlarda artışa neden oldu.

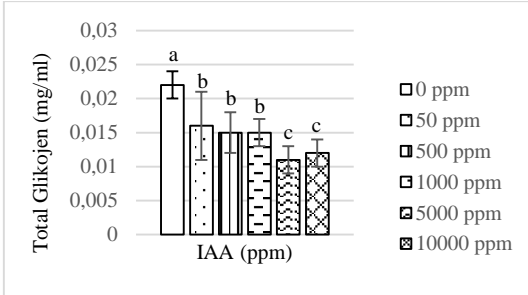
Glikojen miktarının kontrol grubunda $0,02 \pm 0,00$ mg iken en yüksek dozda $0,01 \pm 0,00$ mg'a düştüğü ve azalmanın yaklaşık $\%50$ oranında olduğu tespit edildi. Ancak lipit miktarı kontrol grubunda $3,71 \pm 1,02$ mg iken en yüksek dozda $24,06 \pm 5,00$ mg'a çıkarak, yaklaşık 6 katlık bir artış gösterdi. Spektrofotometrik ölçümler *G. mellonella* hemolenf protein miktarında dozla orantılı olarak azalma olduğu görüldü. Kontrol grubunda $18,70 \pm 0,88$ mg olan protein miktarının en yüksek dozda $11,43 \pm 1,01$ mg'a düştüğü ve azalmanın yaklaşık $\%28$ oranında olduğu gözlemlendi.

Tablo 3.1. *G. mellonella* larvalarında toplam glikojen, lipit ve protein içeriğindeki değişiklikler

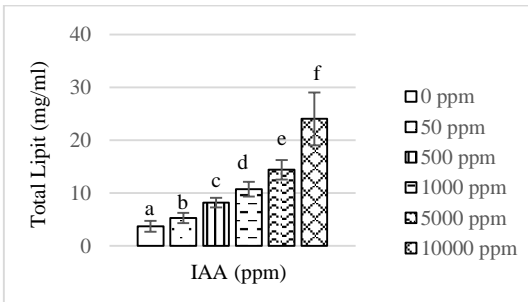
Dozlar	Toplam Glikojen (mg/ml)		Toplam Lipit (mg/ml)		Toplam Protein (mg/ml)	
	Genişlik	(Ortalama ± SH)*	Genişlik	(Ortalama ± SH)*	Genişlik	(Ortalama ± SH)*
IAA (ppm)						
0	0,02-0,024	0,022±0,002 ^a	2,18-5,15	3,71±1,016 ^a	17,62-19,75	18,70±0,88 ^a
50	0,01-0,021	0,016±0,005 ^b	4,06-6,35	5,31±0,96 ^b	15,33-17,68	16,86±1,01 ^b
500	0,011-0,019	0,015±0,003 ^b	7,18-9,35	8,18±0,91 ^c	13,55-16,98	15,78±1,60 ^b
1000	0,013-0,018	0,015±0,002 ^b	9,27-12,60	10,77±1,40 ^d	11,13-13,33	12,32±0,92 ^c
5000	0,009-0,013	0,011±0,002 ^c	12,81-16,97	14,42±1,85 ^e	10,09-14,36	12,62±1,86 ^{cd}
10000	0,01-0,015	0,012±0,002 ^c	18,90-30,68	24,06±5,002 ^f	10,08-12,71	11,43±1,09 ^d

* Sonuçlar her biri 5 bireyin hemolenfinden elde edilen 3 tekrara aittir. Ortalama ve standart hata (Ortalama± SH). Aynı sütunda (a-f) aynı harfi taşıyan değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir ($p<0,05$)

Altuntaş (2015)'in çalışmasında ethephon uygulamasında larva hemolenfindeki toplam lipit ve glukoz seviyelerinde kademeli bir azalma gözlenmiştir [2]. *G. mellonella* için BBD'lerden biri olan gibberellik asit ile ilgili çeşitli çalışmalarda da benzer sonuçlar gözlenmiştir [1,17]. Çalışmamızda IAA uygulamasının toplam glikojen ve protein miktarında bir azalmaya (Şekil 3.1, Şekil 3.3), lipit miktarında ise bir artışa neden olduğu gözlemlendi (Şekil 3.2). Protein ve glikojen miktarındaki azalmalar, IAA'nın oluşturduğu strese bağlı hücre ve doku hasarlarının onarımı için kullanımına bağlı olabilir.

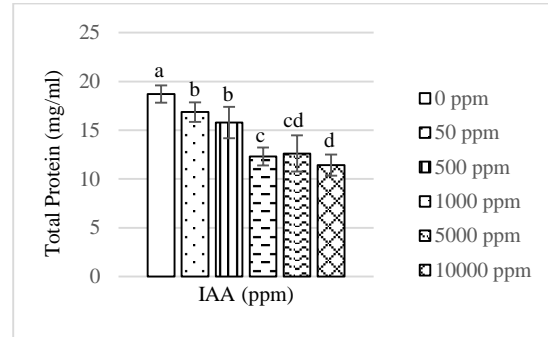


Şekil 3.1. IAA uygulaması sonucu *G. mellonella* larvalarında total glikojen içeriğindeki değişiklikler. Sonuçların her biri 5 bireyin hemolenfinden elde edilen 3 tekrara aittir (Ortalama ± standart hata). Aynı harfi taşıyan değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir ($p<0,05$).



Şekil 3.2. IAA uygulaması sonucu *G. mellonella* larvalarında total lipit içeriğindeki değişiklikler. Sonuçların her biri 5 bireyin hemolenfinden elde

edilen 3 tekrara aittir (Ortalama ± standart hata). Aynı harfi taşıyan değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir ($p<0,05$).



Şekil 3.3. IAA uygulaması sonucu *G. mellonella* larvalarında total protein içeriğindeki değişiklikler

Sonuçların her biri 5 bireyin hemolenfinden elde edilen 3 tekrara aittir (Ortalama ± standart hata). Aynı harfi taşıyan değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir ($p<0,05$).

IAA'ya maruziyet sonucu larval hemolenfdeki toplam protein içeriğinde gözlenen azalma, aynı zamanda organofosforlu insektisitlere maruz kalan *Bombyx mori* larvalarının hemolenf protein miktarında bir azalma bulunan Nath ve diğerlerinin (1997) daha önceki bir çalışmasını da desteklemektedir [18]. Çalışmamız artan protein katabolizmasının IAA kaynaklı strese telafi etmek için fizyolojik bir adaptasyon ile ilişkili olabileceğini vurgulamaktadır (Şekil 3.3). Nath (2000), *Bombyx mori*'de organofosforlu insektisitlerin hemolenf ve yağ dokuda toksik stres oluşturarak karbohidrat metabolizmasını etkilediklerini göstermiştir [19]. Ortel (1996), Cd, Pb, Cu ve Zn gibi ağır metallerle beslenen *Lymantria dispar* larvalarında hemolenf ve dokularda karbohidrat seviyelerinin değiştiğini, özellikle kadmiyum ve çinkolu besinlerle beslenen böceklerin hemolenf trehaloz seviyesi ve buna bağlı olarak da larvanın glikojen ve glukoz seviyelerinin her bir metalin artan derişimine bağlı olarak düştüğü deneysel olarak gösterilmiştir [20]. Ayrıca artan

IAA dozlarının larvalar üzerinde omurgalılardakine benzer şekilde toksik etkilere neden olduğu gösterilmiştir [21,22]. Tehlikeli bir karsinogen olarak bilinen ve oksinler grubuna dahil bir BBD olan 2,4-diklorofenoksiasetik asit ile yapılan çalışmalarda, bu maddenin çeşitli yumuşak doku sarkomları ve malignan lenfoma gibi kanserlerle ilişkisi ortaya konulmuştur [23].

4. Sonuçlar

Hayvanlar stres koşulları altında yüksek derecede enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Bu durum hayvanların enerji taleplerine bağlı protein ve karbohidrat katabolizmasının uyarılmasına neden olmuş olabilir. Aynı zamanda IAA böcek büyüme ve gelişmesinde rol oynayan hormonların metabolizmalarında da değişime neden olmuş olabilir. Çeşitli böcek takımlarına ait türlerle yapılan çalışmaların sonuçlarına göre BBD'lerin hemolenf metabolitlerini (karbohidrat, lipid, protein gibi) etkilediği tespit edilmiştir [17,18,20]. Bu çalışma IAA'nın böcek fizyolojisinde neden olabileceği bazı metabolik değişiklikleri ortaya koymaktadır. Elde edilen veriler IAA'nın böceklerde biyokimyasal değişikliklere neden olabileceğini göstermektedir. Sonuçlarımız IAA gibi BBD'lerin ekotoksikolojik olarak önemi ve kullanılabilirliklerine katkıda bulunacaktır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması belirtilmemiştir.

Etik Standartlar Beyanı

Yazarlar bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve yasal-özel izin gerektirmediğini beyan eder.

Teşekkür

Yazarlar Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür eder.

Kaynaklar

- [1] Uçkan F., Tüven A., Er A., Ergin E., 2008. Effects of gibberellic acid on biological parameters of the larval endoparasitoid *Apanteles galleriae* (Hymenoptera: Braconidae). *Annals of the Entomological Society of America* 101, 593-597.
- [2] Altuntaş H., 2015. Effects of Ethephon on the hemolymph metabolites of the greater wax moth

Galleria mellonella L. (Lepidoptera: Pyralidae). *Acta Physica Polonica A* 128, 182-183.

- [3] Grunewald W., Noorden G.V., Isterdael G.V., Beeckman T., Gheysen G., Mathesius U., 2009. Manipulation of auxin transport in plant roots during *Rhizobium* symbiosis and nematode parasitism. *The Plant Cell* 21, 2553-2562.
- [4] Özyılmaz D., Özbek R., Altuntaş H., Uçkan F., 2019. Indole-3-Acetic Acid induced oxidative stress in model host *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae) and its endoparasitoid *Pimpla turionellae* (L.) (Hymenoptera: Ichneumonidae). *Invertebrate Survival Journal* 16 (1), 184-188.
- [5] Kaya S., Uçkan F., Er A., 2020. Influence of Indole-3-Acetic Acid on Cellular Immune Responses of *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae) and *Pimpla turionellae* L. (Hymenoptera: Ichneumonidae) in a host-parasitoid system. *International Journal of Tropical Insect Science* 1-11. doi:10.1007/s42690-020-00190-z.
- [6] Kulkarni N., Kushwaha D. K., Mishra V. K., Paunekar S., 2012. Effect of economical modification in artificial diet of greater wax moth *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae). *Indian Journal of Entomology* 74(4), 369-374.
- [7] Moamen S. A., Barakat E. M., Abokersh M. O., 2019. The biochemical alternations of *Galleria mellonella* hemolymph following induction of immune response. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 7(4), 724-731.
- [8] John J. A., Blogg C. D., Murray F. J., Schwetz B. A., Gehring P. J., 1979. Teratogenic effects of the plant hormone indole-3-acetic acid in mice and rats. *Teratology* 19(3), 321-324.
- [9] Furukawa S., Abe M., Usuda K., Ogawa I., 2004. Indole-3-acetic acid induces microencephaly in rat fetuses. *Toxicologic pathology* 32(6), 659-667.
- [10] Bertuzzi A., Mingrone G., Gandolfi A., Greco A. V., Ringoir S., Vanholder R., 1997. Binding of indole-3-acetic acid to human serum albumin and competition with L-tryptophan. *Clinica chimica acta* 265(2), 183-192.
- [11] Celik I., Tuluçe Y., 2006. Effects of indoleacetic acid and kinetinon lipid peroxidation and antioxidant defense in various tissues of rats. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 84, 49-54.
- [12] Celik I., Tuluçe Y., 2007. Determination of toxicity of subacute treatment of some plant growth regulators on rats. *Environmental Toxicology: An International Journal* 22(6), 613-619.

- [13] Sak O., Uçkan F., Ergin E., 2006. Effects of cypermethrin on total body weight, glycogen, protein, and lipid contents of *Pimpla turionellae* (L.) (Hymenoptera: Ichneumonidae), Belgian Journal of Zoology 136, 53-58.
- [14] Van Handel E., 1985. Rapid determination of total lipids in mosquitoes. Journal of the American Mosquito Control Association 1, 302-304.
- [15] Olson D. M., Fadamiro H., Lundgren J. G., Heimpel G. E., 2000. Effects of Sugar Feeding on Carbohydrate and Lipid Metabolism in a Parasitoid Wasp. Physiological Entomology 25, 17-25.
- [16] Bradford M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principles of protein-dye binding. Analytical Biochemistry 72, 248-254.
- [17] Uçkan F., Öztürk Z., Altuntaş H., Ergin E., 2011. Effects of gibberellic acid (GA3) on biological parameters and hemolymph metabolites of the pupal endoparasitoid *Pimpla turionellae* (Hymenoptera: Ichneumonidae) and its host *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae). Journal of the Entomological Research Society 13(3), 1-14.
- [18] Nath B. S., Suresh A., Varma B. M., Kumar R. P. S., 1997. Changes in protein metabolism in hemolymph and fat body of the silkworm, *Bombyx mori* (Lepidoptera: Bombycidae) in response to organophosphorus insecticides toxicity. Ecotoxicology and Environmental Safety 36, 169-173.
- [19] Nath B. S., 2000. Changes in carbohydrate metabolism in hemolymph and fat body of the silkworm, *Bombyx mori* L. exposed to organophosphorus insecticides. Pesticide Biochemistry and Physiology 68, 1504-1515.
- [20] Ortel J., 1996. Metal-supplemented diets alter carbohydrate levels in tissue and hemolymph of gypsy moth larvae (*Lymantria dispar*, Lymantriidae, Lepidoptera). Environmental Toxicology and Chemistry 15, 1171-1176.
- [21] Folkes L. K., Candeias L. P., Wardman P., 1998. Towards targeted "oxidation therapy" of cancer: peroxidase-catalyzed cytotoxicity of indole-3-acetic acids. International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics 42, 917-920.
- [22] Dalmazzo L. F., Santana-Lemos B. A., Jacomo R. H., Garcia A. B., Rego E. M., da Fonseca L. M., Falcao R. P., 2011. Antibody- targeted horseradish peroxidase associated with indole-3-acetic acid induces apoptosis *in vitro* in hematological malignancies. Leukemia Research 35, 657-662.
- [23] Bloemen L. J., Mandel J. S., Bond G. G., Pollock A. F., Vitek R. P., Cook R. R., 1993. An update of mortality among chemical workers potentially exposed to the herbicide 2,4-dichlorophenoxyacetic acid and its derivatives. Journal of Occupational Medicine 35, 1208-1212.