

ISSN 2587-1943

#9

VOLUME 5, 1
JUNE 2021

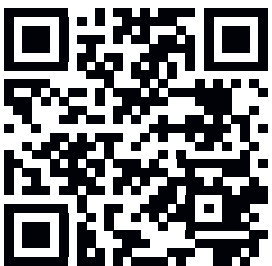
Editor-in-Chief
Niyazi Özdemir
Hikmet Esen

Deputy Editor-in-Chief
Abdullah Kapıcıoğlu

IRAE

JOURNAL

INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATIVE ENGINEERING APPLICATIONS



Editor-in-Chief

Prof. Dr. Niyazi ÖZDEMİR
Prof. Dr. Hikmet ESEN

Deputy Editor-in-Chief

Asst. Prof. Dr. Abdullah KAPICIOĞLU

Executive Editor-in-Chief

Prof. Dr. Messaoud SAIDANI
Prof. Dr. Niyazi BULUT
Prof. Dr. Kemal LEBLEBİCİOĞLU
Asst. Prof. Dr. Salwa BOUADILA

Associate Editor

Prof. Dr. Tahir KHAN	Assoc. Prof. Dr. Serdar MERCAN
Prof. Dr. Şükrü TALAŞ	Asst. Prof. Dr. Ferit AK
Prof. Dr. Asaf VAROL	Asst. Prof. Dr. Alper POLAT
Prof. Dr. Mehmet EROĞLU	Asst. Prof. Dr. Yusuf DOĞAN
Prof. Dr. İbrahim CAN	Asst. Prof. Dr. Kouider BENDINE
Assoc. Prof. Dr. Reza BAKHTIARI	Asst. Prof. Dr. Nagihan M. KARAASLAN
Assoc. Prof. Dr. H. Mehmet BAŞKONUŞ	Asst. Prof. Dr. Berivan POLAT

Layout Editor

Res. Asst. Cihangir KALE

International Journal of Innovative Engineering Applications is published June and December.

Adress for the manuscripts and correspondence:
Uluslararası Yenilikçi Mühendislik Uygulamaları Dergisi
Fırat Üniversitesi Kampüsü, Teknoloji Fakültesi, Merkez–Elazığ

Tel: +90 424 237 0000/ Ext.7655
e-mail: ijieatr@gmail.com

ISSN: 2587-1943

Elazığ-2021

#9

IJIEA

IJIEA

volume 5 issue 1

CONTENTS / İÇİNDEKİLER

(Research / Araştırma)

Title / Başlık Author(s) / Yazar(lar)	Page(s) / Sayfa(lar)
Experimental Analysis of a Transformer's Inductances and Simulation Calculation Using ANSYS@Maxwell <i>Bir Transformatörün Endüktanslarının Deneysel Analizi ve ANSYS@Maxwell ile Simülasyon Hesabı</i> Yıldırım Özüpak	1-5
The GaN Epilayer Grown by Movpe: Effect of the Different Nucleation Layer Temperatures İsmail Altuntaş, Sezai Elagöz	6-10
Desing of an Air Solar Collector with an Absorber Plate Made of Porous Material <i>Yutucu Plakası Gözenekli Malzemeden Yapılmış Bir Havalı Güneş Kollektörünün Tasarımı</i> Filiz Özgen, Ayşe Dayan	11-17
Kinetic and Kinematic Analysis of the Lower Extremity Stand to Sit <i>Ayaktan Oturma Hareketinde Alt Ekstremitenin Kinetik ve Kinematik Analizi</i> Faruk Karaca, Fethi Akmeşe, Engin Ünal	18-21
Experimental Investigation of the Effects on Engine Oil Temperature of Different Nanofluids Used in Vehicle Engine Cooling System <i>Taşıt Motoru Soğutma Sisteminde Kullanılan Farklı Nanoakışkanların Motor Yağ Sıcaklığına Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi</i> Tahsin Yüksel, Abdullah Kapıcıoğlu	22-29
Kinetic and Kinematic Analysis of the Upper Extremity of a Rower <i>Kürek Çekme Hareketi Yapan Bir Sporunun Üst Ekstremitesinin Kinematik ve Kinetik Analizi</i> Faruk Karaca, Yıldırım Karayel, Engin Ünal	30-35

IJIEA

volume 5 issue 1

CONTENTS / İÇİNDEKİLER

(Research / Araştırma)

Title / Başlık Author(s) / Yazar(lar)	Page(s) / Sayfa(lar)
The Seasonal Behavior of the Characteristic Wave in Low Latitudes <i>Kadri KURT</i>	36-39
Effect of Bismuth Addition on the Corrosion Dynamics of Sn-3Ag-0.5Cu Solder Alloy in Hydrochloric Acid Solution <i>Ahmet Mustafa ERER</i>	40-44
Investigation Of Current-Voltage Measurements of GaAs /Al _x Ga _{1-x} As Multiple Quantum Wells with Metal Organic Vapour Phase Epitaxy <i>Metal Organik Buhar Faz Epitaksisi ile Büyütülen GaAs /Al_xGa_{1-x}As Çoklu Kuantum Kuyularının Akım-Voltaj Ölçümlerinin İncelenmesi</i> <i>Aslan Türkoğlu, Yüksel Ergün</i>	45-48
Research of Opportunities of Using Whey in Kefir Peynir Altı Suyunun Kefirde Kullanım Olanakları <i>Pınar Bekiş , Özlem Pelin Can</i>	49-55
The Potential of Biogas Production as a Biofuel from Cattle Manure in Turkey and Projected Impact on the Reduction of Carbon Emissions for 2030 and 2053 <i>Türkiye'de Sığır Gübresinden Biyoyakıt Olarak Biyogaz Üretiminin Potansiyeli ve 2030 ve 2053 Yıllarında Karbon Emisyonlarının Azaltılmasına Öngörülen Etkisi</i> <i>M. Raşit Atelge</i>	56-64



EXPERIMENTAL ANALYSIS OF A TRANSFORMER'S INDUCTANCES AND SIMULATION CALCULATION USING ANSYS@MAXWELL

Yıldırım Özüpak*¹ 

¹Dicle Üniversitesi, Silvan MYO, Elektrik ve Enerji Programı, Diyarbakır, Türkiye

Abstract

Original scientific paper

The transformer is a vital component of electrical power systems for transmission and distribution. Robust design to increase the efficiency of a transformer is one of the main factors in transformer manufacturing. The efficiency of a practical transformer is limited by losses from design and manufacturing defects. Wireless power transmission (WPT) is the transfer of electrical energy without a conductor. WPT is based on technologies that use time-varying electric, magnetic or electromagnetic fields. This technology is useful for powering inconvenient or impossible electrical devices, such as sensors, actuators, and communication devices. Power can be transferred over short distances by inductive coupling between alternating magnetic fields and coils, or by capacitive coupling between alternating electric fields and metal electrodes. An experimental model of a transformer designed with M125-027S core material was created for the wireless power transmission system. The parameters, parameters were measured under these conditions, leaving 20 mm air gap on both sides of the transformer. The Finite Element Method (FEM) was used to calculate and analyze the inductance parameters of the transformer's coils. The system was modeled with ANSYS@Maxwell, and the magnetic field and inductance parameters were calculated with ANSYS @ Maxwell, which realized a FEM-based solution. In this paper, it is aimed to establish a basis for correct compensation of the capacitance of the wireless power transmission system by calculating the inductive parameters of the transformer.

Keywords: Transformer, WPT, FEM, inductance, magnetic field.

BİR TRANSFORMATÖRÜN ENDÜKTANSLARININ DENEYSEL ANALİZİ VE ANSYS@MAXWELL İLE SİMÜLASYON HESABI

Özet

Orjinal Bilimsel Makale

Transformatörler, elektriğin iletim ve dağıtım için elektrik güç sistemlerinin hayati bir bileşendir. Bir transformatörün verimliliğini artırmaya yönelik sağlam tasarım, transformatörün imalatındaki ana etkenlerden biridir. Pratik bir transformatörün verimliliği, tasarım ve imalat kusurlarından kaynaklanan kayıplarla sınırlıdır. Kablosuz güç aktarımı (KGA), elektrik enerjisinin iletkensiz aktarılmasıdır. KGA zamanla değişen elektrik, manyetik veya elektromanyetik alanlar kullanan teknolojilere dayanır. Bu teknoloji sensörler, aktüatörler ve iletişim cihazlarında olduğu gibi uygunsuz veya mümkün olmayan elektrikli cihazlara güç sağlamak için kullanışlıdır. Güç, kısa mesafelerde, alternatif manyetik alanlar ve bobinler arasındaki endüktif kuplaj veya alternatif elektrik alanları ve metal elektrotlar arasındaki kapasitif kuplaj ile aktarılabilir. Kablosuz güç aktarım sistemi için M125-027S nüve malzemesi ile tasarlanan bir transformatörün deneysel bir modeli oluşturulmuştur. Transformatörün her iki tarafında 20 mm hava boşluğu bırakılarak, parametreler, parametreler bu şartlar altında ölçülmüştür. Transformatörün bobinlerinin endüktans parametrelerini hesaplamak ve analiz etmek için Sonlu Elemanlar Yöntemini (SEY) kullanılmıştır. Sistem ANSYS@Maxwell ile modellenerek, manyetik alan ve endüktans parametreleri SEY bazlı çözüm gerçekleştiren ANSYS@Maxwell ile hesaplanmıştır. Bu çalışmada, transformatörün endüktif parametreleri hesaplanarak kablosuz güç aktarım sisteminin kapasitesinin doğru kompanzasyonu için temel oluşturulmak istenmiştir.

Keywords: Transformatör, KGA, SEY, endüktans, manyetik alan.

1 Giriş

Kablosuz güç aktarımı, uzun bir zamandır önemli bir araştırma alanı olmuştur. Son zamanlarda, geleneksel güç modlarına oranla güç aktarımında daha verimli olduğu

düşünüldüğünden, kablosuz güç aktarımı alanındaki ilerlemeleri gerçekleştirmek için bu alana çok fazla ağırlık verilmiştir. Dolayısıyla, teknoloji ilerledikçe KGA tabanlı uygulamalar için talepler ciddi anlamda artmaktadır. İlk zamanlarda farklı birçok bilim insanı, KGA'nın farklı

* Corresponding author.

E-mail address: yildirimozapak@gmail.com (Y. Özüpak)

Received 19 January 2021; Received in revised form 29 January 2021; Accepted 25 March 2021

2587-1943 | © 2021 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.864239>

kullanım alanları üzerinde çalışmışlardır. Çalışmalar, kaynak ile yük arasında iletken bir bağlantı olmadan elektrik gücünün aktarılmasını kapsamaktadır. Her tür KGA'nin kendi geçmişleri, son teknolojileri ve gelecekteki kapsamı vardır. Elektrik enerjisi endüstrisinin hızla ilerlemesiyle, geleneksel sonlu güç iletim sistemi endüstrisi insanların ihtiyaçlarını karşılayamaz duruma gelmeye başlamıştır. Bu nedenle Kablosuz Güç Aktarımı (KGA) ve şarj teknolojisi ilgi çekmeye başlamış ve araştırma konusu olmuştur. Son yıllarda, Kablosuz Güç Aktarımının daha fazla araştırılması ve bu konuda çalışmalar yapılmasıyla, müzik çalar, cep telefonu, bilgisayarlar gibi birçok alanda başarılar elde edilmiş ve normal hayat üzerinde olumlu etkiler yaratmıştır. KGA, Technology Review American tarafından en iyi 10 araştırma alanı arasında kabul edilmektedir [1,2]. Çekirdek tipi telsizin nüvesi gibi gevşek bağlanmış transformatör, sinyal gönderme ve alma cihazı arasındaki geleneksel sıkı bağlantı arasındadır [5-8]. Orta mesafeden güç frekansı veya yüksek frekanslı güç iletimi altında çalışırken elektromanyetik bağlantı ilişkisini kullanırlar. Bu konuda yapılan çalışmalar, gevşek bağlanmış trafo kaplin katsayısının düşük olduğunu, enerji aktarım verimliliğinin yüksek olmadığını bunun geleneksel trafo boşluğunun yüksek iletim verimliliği ile ilgisini daha büyük olduğunu ve bu nedenle WKGA sisteminin enerji verimliliğini iyileştirdiğini göstermiştir [2].

KGA ile orta frekanslı radyo frekansını yüksek frekanslı iletim sistemine aktarılabilir. Bunun için redresör ve invertör sistemlerinde ek yatırım, radyasyon ile birlikte çevre ve insan sağlığı üzerinde büyük bir etki yaratacaktır. Kapasitans kompanzasyonu ise, eğer sistemin endüktans parametreleri doğru bir şekilde belirlenebilirse radyo iletim sisteminin verimliliği etkili bir şekilde artırılabilir [9,10]. Bu yöntemin kullanımı kolaydır ve küçük yatırım avantajına sahiptir.

Bu çalışmada, radyo enerji iletim sistemi teorisine dayanılarak, radyo dalgaları gibi enerjiyi iletim sistemi analiz edilmiştir. Transformatörün endüktans parametrelerini ve manyetik alanını hesaplamak için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca, transformatörün endüktans parametrelerini ölçmek için devre deneyi tasarlanmıştır. Deneysel verilere dayanarak, kapasitif kompanzasyonun daha fazla çalışılması için temel oluşturan sonlu elemanlar yönteminin endüktans hesaplamasının doğruluğu analiz edilmiştir. Ayrıca, KGA fikrini yeni araştırmacılarla tanıştırmak için yapılan araştırmalar ve incelemeler sunulmuştur.

2 Çalışma Prensipleri

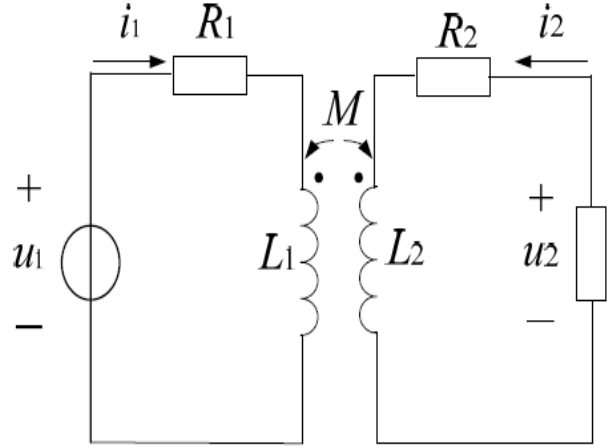
Demir çekirdekli transformatör, kablosuz güç aktarım sisteminin temel parçasıdır. Geleneksel transformatörler gibi Faradayın induksiyon yasasına dayanarak çalışırlar. Enerjilenen taraftaki bobin tarafından üretilen alternatif manyetik alan, transformatörün yük tarafına enerji iletimini gerçekleştirmek için çekirdek ve hava boşluğu boyunca yük bobinine iletilir. Gerilim kaynağı iç direncin r , primer tarafı hat direncini R_{T1} , yük tarafı hat direncini R_{T2} , her iki taraftaki gevşek bağlanmış transformatör bobini direnci R_{L1} , R_{L2} olarak ayarlanır. L_1 ve L_2 , bobinin her iki tarafında gevşek bağlı transformatör eşdeğer endüktansıdır, M eşdeğer ortak endüktansdır.

Uyarma tarafı direnci ve yük tarafı direnci bir dirence eşdeğerdir.

$$R_1 = r + R_{T1} + R_{L1} \quad (1)$$

$$R_2 = R_{T2} + R_{L2} \quad (2)$$

Kablosuz güç aktarım sisteminin şematik diyagramı Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. KGA temel devresi

Şekil 1'de görüldüğü gibi, Kirchoff'un gerilim yasasına göre, mevcut kablosuz güç aktarım sisteminin temel denklemi:

$$U_1 = (R_1 + j\omega L_1) \dot{I}_1 - j\omega M_{12} \dot{I}_2 \quad (3)$$

$$0 = (R_2 + Z_L + j\omega L_2) \dot{I}_2 - j\omega M_{12} \dot{I}_1 \quad (4)$$

Formülde, AC gerilim kaynağının çıkış gerilimi U_1 , hava aralıklı tasarlanan transformatörün her iki tarafındaki akım sırasıyla I_1 ve I_2 'dir. Hava aralıklı trafoda ve geleneksel trafoda, uyarma tarafı ile yük tarafı arasında önemli farklılıklar vardır. Bunlar büyük bir hava boşluğu, manyetik alan isteksizliği, bağlantı katsayısı küçüklüğü, düşük iletim verimliliğidir. Uygulanan yöntem enerji aktarım verimliliğini artırır. Sistem kondansatör tarafından kompanze edilir. Çalışmanın temel olayı transformatörün endüktans parametrelerinin yani L_1 , L_2 ve M_{12} 'nin nasıl belirleneceğidir [3].

3 Metot

3.1 Endüktans parametrelerinin belirlenmesi

Şekil 2'de verildiği gibi, deneyde "E-I" tipi hava aralıklı bir transformatör kullanılmıştır. Sargıların her iki tarafı aynı parametrelere sahip bakır bobinden yapılmıştır. Bobinin her iki tarafı koaksiyel konumda sabitlenmiştir. Manyetik alanın uyarılma tarafı bobinin maksimum yük tarafına iletebilir ve kuplaj oranı yüksektir.

Gerilim U_1 , akım I_1 , direnç R_1 , yüksüz gerilim U_2 , direnç R_2 değerleri ölçülerek belirlenir. Uyarma tarafındaki öz endüktans:

$$L_1 = \frac{X_1}{2\pi f} = \frac{\sqrt{\left(\frac{U_1}{I_1}\right)^2 - R_1^2}}{2\pi f} \quad (5)$$

ortak endüktansın her iki tarafında da yüksüz gerilim $U_2 = \omega M_{12} I_1$ olduğundan:

$$M_1 = \frac{U_2}{\omega I_1} = \frac{U_2}{2\pi f I_1} \quad (6)$$



Şekil 2. Transformatörün deney model

Kablosuz güç aktarım sistemi, ayarlanabilir voltaj kaynağı, hava aralıklı transformatör, yük ve ölçüm aletleri ve diğer bileşenlerle deney yapılmıştır. Trafo parametreleri Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Trafo değerleri

Güç (VA)	90
Giriş Gerilimi(V)	220
Çıkış Gerilimi (V)	48
Giriş Sargı Sayısı (N)	752
Çıkış Sargı Sayısı (N)	164
Giriş Faz Akımı (A)	0.409
Çıkış Faz Akımı (A)	1.875
Frekans (Hz)	50
Bakır Kaybı (W)	9
Nüve Kaybı (W)	4
Nüve Hacmi (m3)	$0.222 * 10^{-3}$
Sargıların Derinliği (mm)	67
Sargıların Genişliği (mm)	51

4 SEY ile endüktans hesaplama

4.1 Manyetik alan hesaplaması

Maxwell'in doğrusal olmayan manyetik alan denkleminde göre vektör manyetik potansiyeli A:

$$\nabla \times \frac{1}{\mu} \nabla \times A = J \quad (7)$$

şeklinde dir.

μ malzemenin manyetik geçirgenliği, J gerçek ölçüm ve hesaplama ile elde edilmesi gereken akım yoğunluğudur. Kenar enterpolasyon işlevi:

$$A = \sum_{n=1}^{n_n} M_n(x, y, x) A_n \quad (8)$$

şeklinde dir.

Burada, M_n , temel fonksiyon dizisinin genel terim numarasıdır. n_n toplam öge sayısıdır (toplam kenar sayısı). Green teoremi uygulanarak Galerkin ağırlıklı manyetik denklem elde edilir:

$$\iiint_V \frac{1}{\mu} (\nabla \times M_m) (\nabla \times M_n) A_n dV = \iiint_V M_m J dV \quad (9)$$

burada M_m , temel fonksiyon sırasıdır ve yük fonksiyonu, temel fonksiyonla aynıdır. Akım I biliniyorsa, yüklem işlevi yukarıdaki denkleme göre ifade edilir. Tüm yük fonksiyonları için, yük denklemi cebirsel bir denklem oluşturmak için ayrıştırılarak A, B, H ve benzeri tüm düğümler veya kenarlar için hesaplanır.

4.2 Endüktans hesaplama prensibi

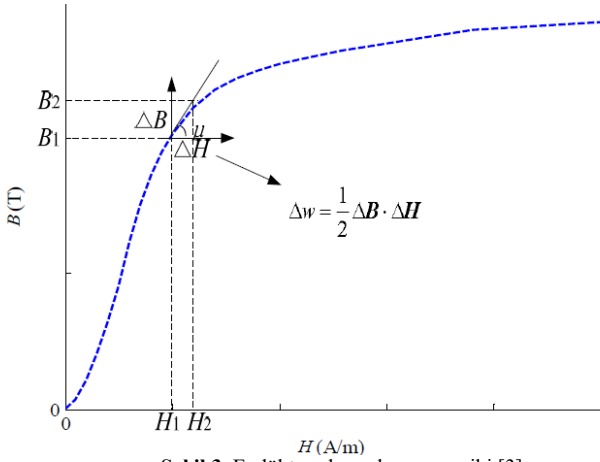
Enerji dönüşüm kuralına göre, bobin akımı arttığında, Faraday'ın elektromanyetik indüksiyon yasasına göre akı artar. Harici güç kaynağı tarafından sağlanan enerji artışı $dW = \Delta U \cdot \Delta I dt = \Delta I d(\Delta \Psi)$ şeklindedir. Bobin akım artışı ΔI ise, manyetik alan enerjisi artışı dinamik endüktans ve uyarma akımı ile ilişkilidir.

$$\Delta W = \frac{1}{2} L_{Dpq} \Delta I_p \Delta I_q, (p, q = 1, 2) \quad (10)$$

Öte yandan, zaman alanı hesaplamasının her anında, doğrusal olmayan manyetik alan, kararlı durum alanına göre çözülür. Bu sırada yerel enerji, Şekil 2'de gösterildiği gibi yerel doğrusallaştırma yöntemiyle hesaplanır. Akım artışının (ΔI) neden olduğu alan değişikliği miktarı ΔH , ΔB 'dir ve hesaplanan enerji artışı şöyledir:

$$\Delta W = \frac{1}{2} \int_{\Omega} \Delta B \cdot \Delta H d\Omega \quad (11)$$

(10) ve (11), dinamik endüktans parametreleri, yani ΔI_1 , ΔI_2 hesaplanan öz indüktans parametreleri L_1 , L_2 'den hesaplamak için kullanılır. Ardından ortak endüktans M_{12} çözülür. Geleneksel deneyde, ölçülen endüktans statik endüktanstır. ANSYS ise manyetik alanı sonlu eleman hesaplamasına dayalı olarak dinamik endüktansı hesaplar ve dinamik endüktans, doğrusal veya yaklaşık doğrusal koşuldaki statik endüktansa yaklaşık olarak eşittir. Doğrusal koşullarda ANSYS ile statik bobin endüktans parametreleri doğru bir şekilde hesaplanabilir.



Şekil 3. Endüktans hesaplama prensibi [3]

5 Bulgular ve Değerlendirme

5.1 Deneysel sonuçların analizi

0-220 V endüktans parametre değerlerinden uyarma gerilimini ölçmek için deneysel yöntemle hava aralığı genişliği 20 mm alınmıştır. Hava aralıklı transformatörde büyük bir boşluk kalınlığı vardır. Bu durum manyetik isteksizliğin büyümesine neden olur. Şekil 4'te transformatörün deneyinden bazı kareler verilmiştir.



Şekil 4. Deneysel çalışmalar

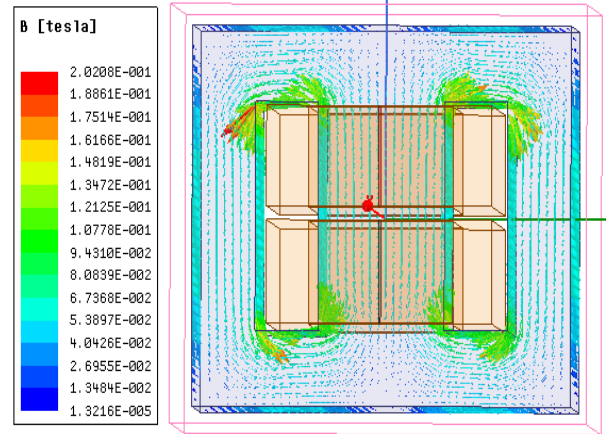
Bu trafolar normal bir transformatör ile karşılaştırıldığında, ferromanyetik malzemelerin manyetik özellikleri, transformatörün genel uyarılmasını önemli ölçüde azaltır. Genel uyarma özellikleri doğrusal

olma eğilimindedir. Gerilimin artmasıyla birlikte öz endüktans ve ortak endüktans, ortalama olarak 0.33H ile 0.0158H değerinde değişmeden kalmıştır.

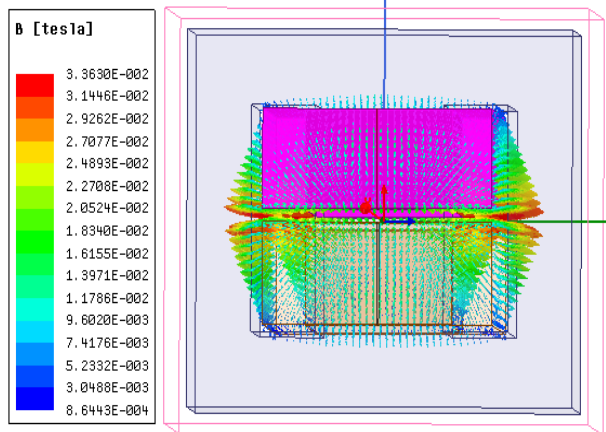
5.2 Sonlu elemanlar yöntemi

Deneysel model ANSYS yazılımı ile modellenerek, 20 mm hava aralığına sahip trafo için manyetik alan hesaplanmıştır. Manyetik indüksiyon diyagramından sonra elde edilen manyetik alan B Şekil 5'te sunulmuştur.

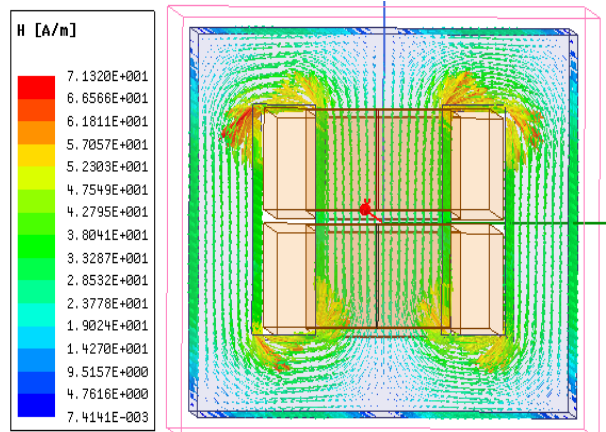
ANSYS simülasyon sonuçları ve deneysel veriler temelde aynıdır. Deneysel verilere göre M_{12} biraz daha küçüktür. Bunun nedeni büyük hava boşluğunun yarattığı enerji kaybindan kaynaklanmaktadır.



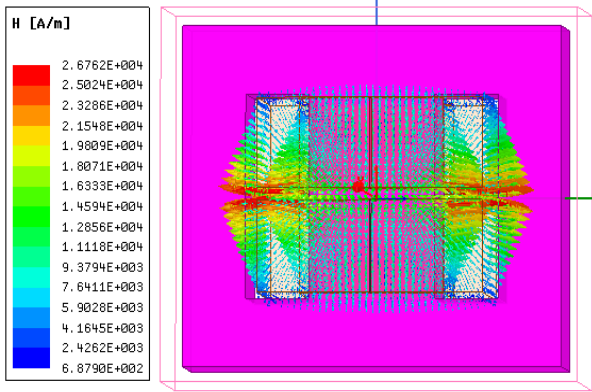
Şekil 5. Nüve deki manyetik alan dağılımı



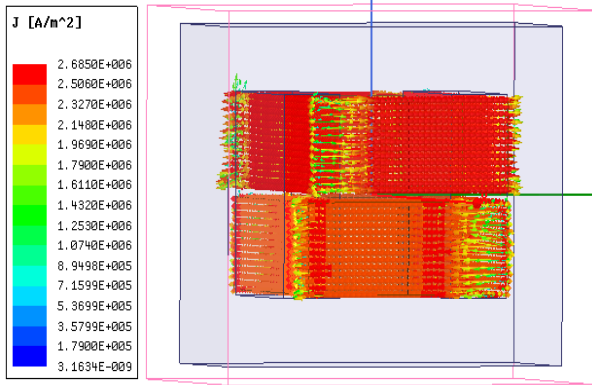
Şekil 6. Sargılardaki manyetik alan dağılımı



Şekil 7. Nüve manyetik alan şiddeti



Şekil 8. Sargılardaki manyetik alan şiddeti



Şekil 9. Sargılardaki akım yoğunluğu

Hava aralığının 20 mm olduğu modelin öz endüktansı L'nin ve ortak endüktansı M_{12} 'nin ortalama değerleri elde edilmiştir. Bu endüktans değerleri Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Endüktans değerlerinin karşılaştırılması

Paremetre	Deneysel sonuç	ANSYS sonucu
L (H)	0.33	0.35
M (H)	0.0158	0.0163

ANSYS ile hesaplanan endüktans parametreleri, deneysel verilerle tutarlı olup hata oranı küçük olmuştur. Yöntemin uygulanabilirliği ve doğruluğunun manyetik alan endüktans parametrelerini hesaplamak için sonlu elemanlar yöntemi ile kanıtlanmıştır.

6 Sonuçlar

Bu çalışmada, kablosuz güç sistemindeki hava aralıklı transformatörün endüktans parametreleri simüle edilerek analiz edilmiştir. Transformatörün manyetik alanı ve endüktans parametreleri, sonlu elemanlar yöntemine dayalı ANSYS@Maxwell ile simüle edilerek elde edilmiştir. Modellenen transformatörün hava aralığından dolayı manyetik direnci büyük, doğrusal olmayan ferromanyetik malzemenin etkisi de küçüktür. Bu durum transformatörün daha zor uyarılmasına neden olur. Doğrusal şartlarda çalışan transformatörün endüktans parametresi sabit kalır. Teorik olarak, ANSYS sonlu eleman yöntemi, hava aralıklı bir transformatörün endüktans değerlerini hesaplamak için kullanılabilir.

Deneysel verilere dayanarak, sonlu elemanlar yönteminin sonuçları analiz edilmiştir. Sonuçlar,

transformatörün endüktansının gerilim arttıkça sabit olduğunu ve ANSYS'nin doğruluk derecesinin %97 dolaylarında olduğunu göstermektedir. Kablosuz güç iletim sistemindeki transformatörün endüktans parametrelerini hesaplamak için ANSYS kullanmanın fizibilitesi deneylelerle doğrulanmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. Proje Numarası: FBA-2017-639. Katkılarından dolayı teşekkürler.

Açıklamalar

Bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek yoktur.

Kaynaklar

- [1] Hayes, J. G., Egan, M. G., Murphy, J. M., Schulz, S. E., & Hall, J. T. (1999). Wide-load-range resonant converter supplying the SAE J-1773 electric vehicle inductive charging interface. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 35(4), 884-895.
- [2] Kim, Y. H., & Jin, K. H. (2011). Design and implementation of a rectangular-type contactless transformer. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 58(12), 5380-5384.
- [3] Kerui, C., Yang, H., Yan, Z., Nannan, G., Ying, P., Hongbo, L., ... & Liangfeng, G. (2017, November). Experimental analysis and simulation calculation of the inductances of loosely coupled transformer. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 94, No. 1, p. 012085). IOP Publishing.
- [4] Zheng, T., Zhao, Y. J., Jin, Y., Chen, P. L., & Zhang, F. F. (2014). Design and analysis on the turn-to-turn fault protection scheme for the control winding of a magnetically controlled shunt reactor. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 30(2), 967-975.
- [5] Wojda, R. P., & Kazimierczuk, M. K. (2013). Analytical winding size optimisation for different conductor shapes using Ampère's Law. *IET Power Electronics*, 6(6), 1058-1068.
- [6] Özüpak, Y., & Mamiş, M. S. (2019). Realization of electromagnetic flux and thermal analyses of transformers by finite element method. *IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, 14(10), 1478-1484.
- [7] Teke, I., Özüpak, Y., Mamiş, M., & Plant, P. (2019). Electromagnetic Field and Total Loss Analysis of Transformers by Finite Element Method. *International Journal of Engineering and Computer Science*, 8(01), 24451-24460.
- [8] Yazdani-Asrami, M., Mirzaie, M., & Akmal, A. A. S. (2013). No-load loss calculation of distribution transformers supplied by nonsinusoidal voltage using three-dimensional finite element analysis. *Energy*, 50, 205-219.
- [9] Ostrenko, M., & Andriienko, B. (2017). Transformer impulse surges calculation by FEM coupled to circuit. *IEEE Transactions on Magnetics*, 53(6), 1-4.
- [10] Župan, T., Trkulja, B., Obrist, R., Franz, T., Cranganu-Cretu, B., & Smajic, J. (2015). Transformer windings' RLC parameters calculation and lightning impulse voltage distribution simulation. *IEEE Transactions on Magnetics*, 52(3), 1-4.



THE GaN EPILAYER GROWN BY MOVPE: EFFECT OF THE DIFFERENT NUCLEATION LAYER TEMPERATURES

Ismail Altuntaş^{*1,2} , Sezai Elagöz³ 

¹Department of Nanotechnology Engineering, Sivas Cumhuriyet University, 58140 Sivas, Turkey

²Nanophotonics Research and Application Center, Sivas Cumhuriyet University, 58140, Sivas, Turkey

³ASELSAN-Microelectronics, Guidance and Electro-Optics, Ankara, Turkey

Abstract

Original scientific paper

Effect of different nucleation layer temperatures (LT-GaN growth temperature) on the properties of the subsequent GaN epilayer grown by MOVPE is investigated. In-situ reflectance curves demonstrate that higher LT-GaN growth temperatures cause fast coalescence (shorter transition time) of GaN nucleation islands. Both photoluminescence (PL) and high-resolution x-ray diffraction (HRXRD) are used to demonstrate the influence of LT-GaN growth temperature on optical and structural properties of subsequent GaN epilayer, respectively. It is observed that the change of LT-GaN growth temperature has an effect on both full-width at half-maximum (FWHM) values obtained from the results of HRXRD measurement and yellow luminescence peak intensity. It is seen that the yellow luminescence peak intensities for samples alter with LT-GaN growth temperature.

Keywords: Characterization, epitaxy, gallium nitride, metal organic vapor phase epitaxy, XRD.

1 Introduction

The III-Nitride based semiconductors have attracted great attention for recent years because of many important application areas in technological devices [1]. Their application areas are listed as high electron mobility transistors (HEMTs), solar-blind detectors, detectors of ionizing radiation and scintillators, UV emitters for purification, curing and disinfection, light-emitting, and lasers diodes [2-11]. Especially, the GaN grown via Metal Organic Vapour Phase Epitaxy (MOVPE) is the most popular of the III-Nitride based semiconductors (AlN, InN, and their alloys) [12]. The GaN substrate is not in use for some reasons such as not large enough size and inexpensive to compete with the other competitors such as sapphire and silicon. Many studies to achieve heteroepitaxial GaN epilayer grown on foreign substrates have been done by using MOVPE [13-15]. In the case of using a different substrate, the quality of the GaN layer is affected due to thermal expansion difference and large lattice mismatch between the used substrate and the GaN layer [16]. Sapphire substrate is commonly used to grow GaN epilayer. Nakamura et al. have used a two-steps growth process (first step low-temperature and second step high temperature) to improve the quality of the GaN epilayers [12]. For this reason, some parameters affect GaN quality during both LT GaN and HT-GaN growth. Many MOVPE studies have been shown the impact of growth parameters such as growth temperature, reactor pressure,

annealing, growth rate, total carrier gas flow, V/III ratio (ratio between the partial pressures of V and III elements in the gas phase), etc. in both LT-GaN and HT-GaN growth [17-22]. M. S. Yi et al. have focused on the structure of the GaN nucleation layers to investigate the effect of the growth temperature. They have demonstrated that both the stacking order and the order in the atomic positions in a GaN atomic epilayer significantly changed with changing the set growth temperature. [22]. AlN layer has been used as a nucleation layer instead of LT-GaN layer in previous studies. D. D. Koleske et al. have shown the influence of the temperature of the AlN nucleation layer on electronic properties of the subsequent GaN epilayer. The growth temperature affects AlN morphology because temperature influenced the formation of GaN epilayer and electron mobility [23].

The present study aims to investigate the influence of growth temperature of the LT-GaN layer on structural and optical characteristics of subsequent GaN layer grown via MOVPE. Characterization equipment such as HRXRD and PL are used to analyze the change of the properties such as structural and optical of GaN epilayer with the change of used growth temperature in LT-GaN growth. It has shown that different LT-GaN growth temperatures change the ratio of luminescence intensities of the near-band gap transition and the yellow transition. It is seen that there is a relation between XRD results and LT-GaN growth temperature. According to FWHM values obtained from symmetrical and asymmetrical scans, the optimum LT-

* Corresponding author.

E-mail address: ialtuntas@cumhuriyet.edu.tr (I. Altuntaş)

Received 17 March 2021; Received in revised form 09 April 2021; Accepted 16 April 2021

2587-1943 | © 2021 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.898795>

GaN growth temperature can be used to obtain a GaN crystal with a lower FWHM value. Besides, the effect of LT-GaN growth temperature on the growth rate and coalescence time is observed.

2 Experimental

All films have been grown on a 2-inches sapphire substrate via a horizontal flow MOVPE system with AIXTRON 200/4 RF-S model. The system includes Luxtron 880 nm reflectometer to take valuable information such as growth rate per second (nm/s), surface quality, and an optical fiber thermometry-light-pipe to measure growth temperature during the growth process. The high-purity ammonia (NH₃), Trimethylgallium (TMGa, Ga(CH₃)₃), and hydrogen (H₂) have been used as the source precursors for N and Ga and carrier gas, respectively. Before growth, the substrate has been heated at a higher temperature compared to HT-GaN growth temperature and thermally desorbed in H₂ ambient for 10 min to remove possible contaminants like surface impurities. The reactor temperature has been decreased to LT-GaN growth temperature value and 20s NH₃ flow has been supplied to

the surface of the sapphire substrate for the nitridation process. LT-GaN layer called a nucleation layer has been grown at 200 mbar and different temperature values. Then, the substrate temperature has been raised for the HT-GaN epitaxial layer deposition under the NH₃ ambient. The reactor temperature has been fixed at this temperature to initiate the recrystallization of the GaN nucleation layer. After recrystallization, the GaN layer has been grown to have Fabry-Perot oscillations at the HT-GaN growth temperature. Table 1 gives the LT-GaN growth temperatures for 4 samples that have the same growth conditions. Several characterization techniques like in-situ reflectance measurement, HRXRD, and PL have been employed to understand the effect of LT-GaN growth temperature on the properties of GaN. HRXRD measurements have been conducted to obtain the FWHM values of omega scans for symmetric (00.2) plane and asymmetric (10.2) plane reflections of the GaN epilayer. The PL measurements have been done with the 325 nm He-Cd laser as an exciting source. The information about the materials and devices during the obtaining of the GaN epilayer has been given in Table 2.

Table 1. LT-GaN growth temperature of each sample

Sample Name	LT-GaN Growth Temperature (°C)
A	455
B	495
C	525
D	550

Table 2. The list using materials and devices to grown GaN epilayer

Type	Name	Aim	Source
Material	Sapphire	Used as a substrate to grow the GaN layer	imported from abroad
Material	high-purity ammonia (NH ₃)	Used source precursor to obtained for N	imported from abroad
Material	trimethylgallium (TMGa, Ga(CH ₃) ₃)	Used source precursor to obtained for Ga	imported from abroad
Material	hydrogen (H ₂)	Used as a carrier gas and an ambient	supplied domestically
Device	Metal Organic Chemical Vapour Phase Epitaxy	Used during the growth of GaN epilayer	Provided by CUNAM (AIXTRON 200/4 RF-S)
Device	High Resolution X-Ray Diffraction	Used to obtain structural characterization	Provided by CUNAM (Rigaku SmartLab)
Device	Photoluminescence	Used to obtain optical characterization	Provided by ERMAKSAN (PL mapper)

3 The Research Findings and Discussion

One of the most important measurement techniques for MOVPE growths is in-situ reflectance measurement which gives valuable information such as growth rate, surface situation, etc. at the same time [24]. Detailed information about the growth steps of GaN is mentioned elsewhere [18, 25]. Figure 1 (a) demonstrates the optical reflectance curves of Samples A-D. The starting points of in-situ reflectance curves of samples have been fixed and separated for better visibility and comparison. The effect of LT-GaN growth temperature on the growth rate of the nucleation layer is shown in Figure 1 (b). It is clear that when LT-GaN growth temperature is increased, the growth rate during the growth of the nucleation layer increases.

The intensity of reflection obtained from the surface of the nucleation layer via Luxtron 880 nm laser is proportional to the thickness of the nucleation layer. The reflection heights for each sample are adjusted at the same height to fix the thickness of the nucleation layer. Thus, it has been assumed that all nucleation layers have the same thickness.

Recovery time (Δt) which corresponds to the duration of optical reflectance intensity from the recrystallization to the first Fabry-Perot oscillation is found for each sample. The effect of LT-GaN growth temperature on the recovery time is revealed in Figure 2. It has been found that the recovery time decreases with the higher growth temperature of the nucleation layer. The temperature difference between LT-GaN and HT-GaN growth is different for every sample. It is believed that larger GaN

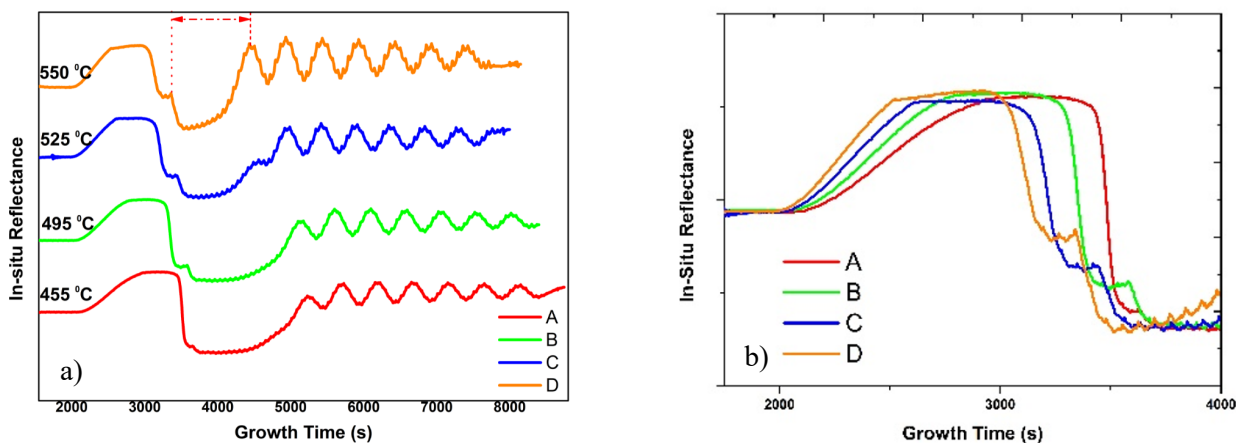


Figure 1. (a) reflectance measurements obtained during the growth for Sample A-D (b) comparison of the growth rate of nucleation layers with different LT-GaN growth temperatures.

islands occur with low temperature differences at the same annealing time. Lin Shang et al. have shown that size bigger islands have a fast recovery time [26].

HRXRD is a common technique to analyze the epitaxial layers for both rapid control and optimization of the used growth parameters [27]. The XRD measurement for (00.2) and (10.2) planes are done and their FWHM values are given information about the crystalline perfection. For this purpose, rocking curves of (00.2) and (10.2) planes in HRXRD measurement are obtained to investigate the influence of different LT-GaN growth temperatures on the crystal qualities of subsequent GaN epilayer.

Figure 3. gives the change of FWHM values obtained from symmetrical and asymmetrical scans with increasing the growth temperature of the nucleation layer.

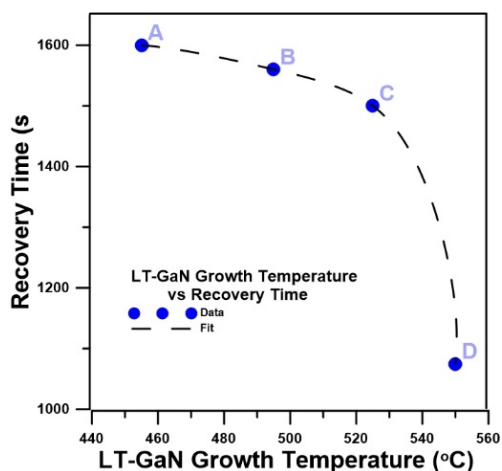


Figure 2. The variation of LT-GaN growth temperature versus recovery time.

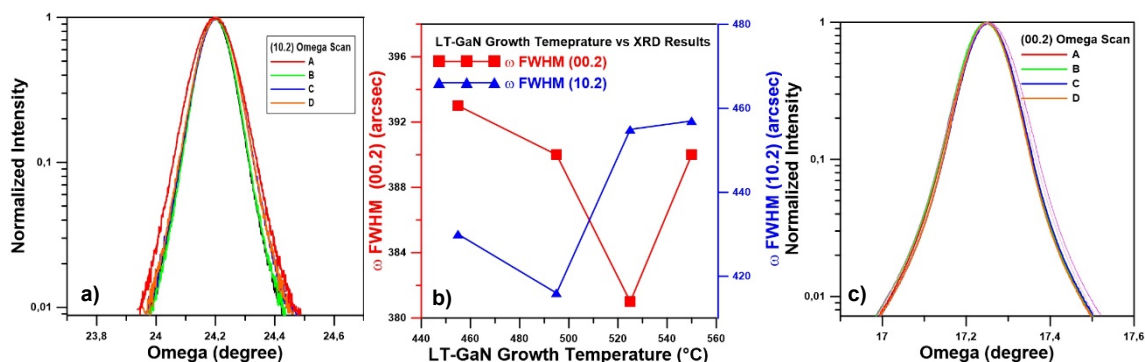


Figure 3. (a) symmetric, (b) asymmetric omega scans, and (c) the variation of FWHM values obtained by HRXRD for (00.2) and (10.2) planes with the increase of LT-GaN growth temperature

The FWHM of the (00.2) and (10.2) rocking curve spectra can be affected edge, screw, and mixed dislocations in the structure [28]. As shown in Figure 3, FWHM values obtained from reflections in (00.2) and (10.2) planes decrease from 393 to 390 arcsec and from 430 to 416 arcsec, respectively when LT-GaN growth temperature is increased from 455 °C to 495 °C. The FWHM value of (10.2) rocking curve begins to increase while the decrease in FWHM value of (00.2) rocking curve continues when LT-GaN growth temperature is raised to 520 °C. FWHM value of (00.2) rocking curve starts to increase when the LT-GaN growth temperature is increased to 550 °C. It is observed that the LT-GaN growth temperature does not have a significant effect on

the FWHM values obtained from the rocking curves of the (00.2) plane. The increased ratio (°C/s) in temperature during annealing is different though all samples have the same annealing time. L. Sugiura et al. have analyzed the influence of annealing time (ramping rate of temperature) on subsequent GaN layers. They have observed a similar tendency in the changing of FWHM values comparing with our study. They have found that the fast temperature ramping between LT-GaN and HT-GaN growths produces the subsequent GaN epilayers with both rough surfaces and worse quality [29]. Generally, dislocations that occur at the boundaries of nucleation islands are edge type while dislocations that come from inside the nucleation islands are screw/mixed type [30]. It is thought

that when LT-GaN growth temperature is altered, the sizes of islands change because of different transition times for each sample. According to HRXRD measurement, the ideal growth conditions can be determined with the changing of LT-GaN growth temperature in terms of sizes of nucleation islands.

PL measurement which is the most common, and non-destructive is a characterization device to investigate the optical properties of structures [31]. Figure 4 demonstrates PL spectra (310-680 nm) obtained at room temperature for Sample A-D. The PL spectra for all samples include two main peaks; (1) high intensity and narrow PL band called near band edge luminescence at ~361 nm and (2) low intensity and broad PL band called yellow luminescence at ~550 nm. In undoped GaN, the band edge luminescence is occurred by the transition from the conduction band to valance band while yellow luminescence depends on point defects that come from impurity and growth conditions. Point defects have an important role in the optical and electrical properties of the GaN epilayer and related electronic and photonic devices. However, a majority of the point defects in the structure remain still unanswered [32].

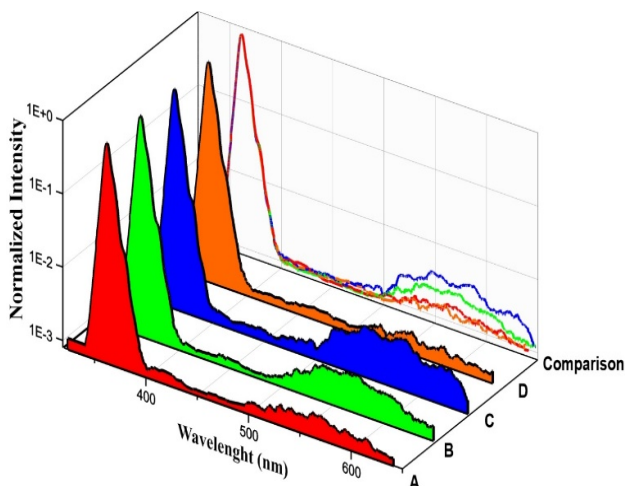


Figure 4. The behavior of photoluminescence spectra for samples with different LT-GaN growth temperatures.

Generally, the comparing intensity ratio between the near band edge peak and yellow luminescence peak is a common way to compare the quality of GaN films [33]. Therefore, the effect of LT-GaN growth temperature on the ratio of near band edge intensity to yellow band intensity is investigated. Figure 5 gives the comparing the ratio of band edge intensity to yellow luminescence intensity with changing LT-GaN growth temperature. It is clear that the intensity ratio changes with the variation of LT-GaN growth temperature which shows that the optical quality of GaN is related to the growth temperature of the nucleation layer. Near band edge intensities of all samples are normalized to see the effect of LT-GaN growth temperature on optical properties of subsequent GaN layer. The value of the intensity ratio changes with yellow luminescence intensity. It can be said that point defects for Sample B, C, and D may have increased with increasing LT-GaN growth temperature compared to Sample A because of their yellow luminescence intensities.

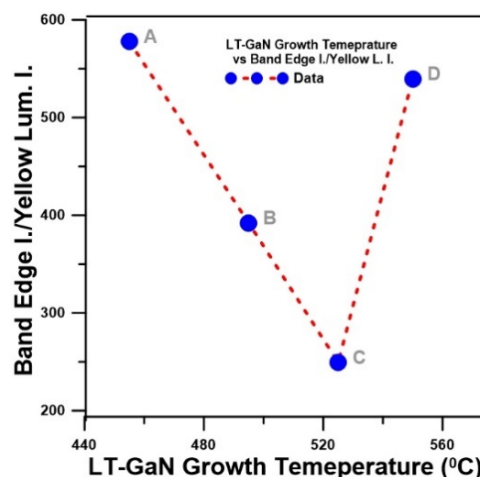


Figure 1. LT-GaN growth temperature versus the ratio of band edge intensity to yellow luminescence intensity.

4 Conclusions

In this study, the effect of LT-GaN growth temperature on structural and optical properties of subsequent GaN layer grown on a sapphire substrate using the MOVPE technique is investigated. In-situ reflectance curves show that transition time increases with increasing LT-GaN growth temperature because of the changing of GaN nucleation islands' sizes. The rocking curves of (00.2) and (10.2) planes in HRXRD measurement are obtained to show the effect of nucleation layer temperature on the crystal qualities of the HT-GaN epilayer. The results of HRXRD measurement demonstrate that there is an improvement in FWHM of both (00.2) and (10.2) rocking curves with changing of LT-GaN growth temperature. PL spectra for all samples include two main peaks which correspond to band edge and yellow luminescence. It is observed that the intensity of yellow luminescence caused by point defects changes with LT-GaN growth temperature.

Acknowledgments

The author acknowledges the usage of the Nanophotonics Research and Application Center at Cumhuriyet University (CUNAM) facilities. This study is supported by the TUBITAK under project nos. 113G103 and 115E109. The author thanks Ms. A. Alev Kizilbulut from ERMAKSAN Optoelectronics for PL measurements.

This study does not require ethics committee approval.

References

- [1] Jain, S., Willander, M., Narayan, J., Overstraeten, R. V. (2000). III-nitrides: Growth, characterization, and properties, *Journal of Applied Physics*, 87(3):965-1006.
- [2] Demir, I. (2018). Growth temperature dependency of high Al content AlGaIn epilayers on AlN/Al₂O₃ templates, *Cumhuriyet Science Journal*, 39(3):728-733.
- [3] Demir, I., Li, H., Robin, Y., McClintock, R., Elagoz, S., Razeghi, M. (2018). Sandwich method to grow high quality AlN by MOCVD, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 51(8):085104.

- [4] Demir, I., Robin, Y., McClintock, R., Elagoz, S., Zekentes, K., Razeghi, M. (2017). Direct growth of thick AlN layers on nanopatterned Si substrates by cantilever epitaxy, *Physica Status Solidi (a)*, 214(4):1600363.
- [5] Fan, X., Xu, S., Li, P., Zhang, J., Peng, R., Zhao, Y., Du, J., Hao, Y. (2019). Nonpolar and semipolar ultraviolet multiple quantum wells on GaN/sapphire, *Materials Science in Semiconductor Processing*, 92:103-107.
- [6] Genç, M., Sheremet, V., Altuntaş, I., Demir, I., Gür, E., Elagoz, S., Gülseren, O., Özgür, U., Avrutin, V., Morkoç, H. (2020). PECVD grown SiN photonic crystal microdomes for the light extraction enhancement of GaN LEDs, *Gallium Nitride Materials and Devices XV, International Society for Optics and Photonics*, 1128000.
- [7] Genç, M., Sheremet, V., Elçi, M., Kasapoğlu, A., Altuntaş, I., Demir, I., Eğin, G., İslamoğlu, S., Gür, E., Muzafferoğlu, N. (2019). Distributed contact flip chip InGaN/GaN blue LED; comparison with conventional LEDs, *Superlattices and Microstructures*, 128:9-13.
- [8] Remesh, N., Kumar, S., Guiney, I., Humphreys, C. J., Raghavan, S., Muralidharan, R., Nath, D., N. (2019). A Novel Technique to Investigate the Role of Traps in the Off-State Performance of AlGaIn/GaN High Electron Mobility Transistor on Si Using Substrate Bias, *Physica Status Solidi (a)*, 217(7):1900794.
- [9] Robin, Y., Ding, K., Demir, I., McClintock, R., Elagoz, S., Razeghi, M. (2019). High brightness ultraviolet light-emitting diodes grown on patterned silicon substrate, *Materials Science in Semiconductor Processing*, 90:87-91.
- [10] Taya, P., Singh, V., Jana, D., Tyagi, R., Sharma, T. (2019). Optical characterization of InAlN/AlN/InGaIn/GaN/ sapphire high electron mobility transistor structures, *AIP Conference Proceedings*, AIP Publishing LLC, 030467.
- [11] Toci, G., Gizzi, L. A., Koester, P., Baffigi, F., Fulgentini, L., Labate, L., Hospodkova, A., Jary, V., Nikl, M., Vannini, M. (2019). InGaIn/GaN multiple quantum well for superfast scintillation application: Photoluminescence measurements of the picosecond rise time and excitation density effect, *Journal of Luminescence*, 208:119-124.
- [12] Amano, H., Sawaki, N., Akasaki, I., Toyoda, Y. (1986). Metalorganic vapor phase epitaxial growth of a high quality GaN film using an AlN buffer layer, *Applied Physics Letters*, 48(5): 353-355.
- [13] Anisimov, A., Wolfson, A., Mokhov, E. (2018). Raman Spectra of Thick Epitaxial GaN Layers Formed on SiC by the Sublimation Sandwich Method, *Semiconductors*, 52(9):1225-1227.
- [14] Klad'ko, V. P., Chornen'kii, S.V., Naumov, A. V., Komarov, A. V., Tacano, M., Sveshnikov, Y. N., Vitusevich, S., Belyaev, A. E. (2006). Interface structural defects and photoluminescence properties of epitaxial GaN and AlGaIn/GaN layers grown on sapphire, *Semiconductors*, 40(9):1060-1065.
- [15] Timoshnev, S., Mizerov, A., Sobolev, M., Nikitina, E. (2018). Growth of GaN Layers on Si (111) Substrates by Plasma-Assisted Molecular Beam Epitaxy, *Semiconductors*, 52(5):660-663.
- [16] Mohammad, S. N., Salvador, A. A., Morkoc, H. (1995). Emerging gallium nitride based devices, *Proceedings of the IEEE*, 83(10):1306-1355.
- [17] Altuntas, I., Demir, I., Kasapoğlu, A. E., Mobtakeri, S., Gür, E., Elagoz, S. (2017). The effects of two-stage HT-GaN growth with different V/III ratios during 3D-2D transition, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 51(3):035105.
- [18] Demir, I., Altuntas, I., Kasapoğlu, A., Mobtakeri, S., Guer, E., Elagoz, S. (2018). Microstructural evolution of MOVPE grown GaN by the carrier gas, *Semiconductors*, 52(16):2030-2038.
- [19] Ito, T., Sumiya, M., Takano, Y., Ohtsuka, K., Fuke, S. (1999). Influence of thermal annealing on GaN buffer layers and the property of subsequent GaN layers grown by metalorganic chemical vapor deposition, *Japanese Journal of Applied Physics*, 38(2R):649.
- [20] Kim, K. S., Oh, C. S., Lee, K. J., Yang, G. M., Hong, C. H., Lim, K. Y., Lee, H. J., Yoshikawa, A. (1999). Effects of growth rate of a GaN buffer layer on the properties of GaN on a sapphire substrate, *Journal of Applied Physics*, 85(12):8441-8444.
- [21] Miyake, H., Motogaito, A., Hiramatsu, K. (1999). Effects of reactor pressure on epitaxial lateral overgrowth of GaN via low-pressure metalorganic vapor phase epitaxy, *Japanese Journal of Applied Physics*, 38(9A):L1000.
- [22] Yi, M., Lee, H., Kim, D., Park, S., Noh, D., Kim, C., Je, J. (1999). Effects of growth temperature on GaN nucleation layers, *Applied Physics Letters*, 75(15):2187-2189.
- [23] Koleske, D. D., Henry, R. L., Twigg, M. E., Culbertson, J. C., Binari, S. C., Wickenden, A. E., Fatemi, M. (2002). Influence of AlN nucleation layer temperature on GaN electronic properties grown on SiC, *Applied Physics Letters*, 80(23):4372-4374.
- [24] Nakamura, S. (1991). In situ monitoring of GaN growth using interference effects, *Japanese Journal of Applied Physics*, 30(8R):1620.
- [25] Kim, S. , Oh, J., Kang, J., Kim, D., Won, J., Kim, J. W., Cho, H. K. (2004). Two-step growth of high quality GaN using V/III ratio variation in the initial growth stage, *Journal of Crystal Growth*, 262(1-4):7-13.
- [26] Shang, L., Lu, T., Zhai, G., Jia, Z., Zhang, H., Ma, S., Li, T., Liang, J., Liu, X., Xu, B. (2015). The evolution of a GaN/sapphire interface with different nucleation layer thickness during two-step growth and its influence on the bulk GaN crystal quality, *RSC Advances*, 5(63):51201-51207.
- [27] Moram, M., Vickers, M. (2009). X-ray diffraction of III-nitrides, *Reports on Progress in Physics*, 72(3):036502.
- [28] Heinke, H., Kirchner, V., Einfeldt, S., Hommel, D. (2000). X-ray diffraction analysis of the defect structure in epitaxial GaN, *Applied Physics Letters*, 77(14):2145-2147.
- [29] Sugiura, L., Itaya, K., Nishio, J., Fujimoto, H., Kokubun, Y. (1997). Effects of thermal treatment of low-temperature GaN buffer layers on the quality of subsequent GaN layers, *Journal of Applied Physics*, 82(10):4877-4882.
- [30] Ning, X., Chien, F., Pirouz, P., Yang, J., Khan, M. A. (1996). Growth defects in GaN films on sapphire: The probable origin of threading dislocations, *Journal of Materials Research*, 11(3):580-592.
- [31] Pittet, P., Lu, G. N., Galvan, J. M., Bluet, J. M., Anas, I., Giraud, J. Y., Balosso, J. (2009). PL characterization of GaN scintillator for radioluminescence-based dosimetry, *Optical Materials*, 31(10):1421-1424.
- [32] Zhang, H., Reber, A. C., Geng, L., Rabayda, D., Wu, H., Luo, Z., Yao, J., Khanna, S. N. (2019). Formation of Al⁺(C₆H₆)¹³: The Origin of Magic Number in Metal-Benzene Clusters Determined by the Nature of the Core, *CCS Chemistry*, 1(5):571-581.
- [33] Robins, L. H., Bertness, K. A., Barker, J. M., Sanford, N. A., Schlager, J. B. (2007). Optical and structural study of GaN nanowires grown by catalyst-free molecular beam epitaxy. II. Sub-band-gap luminescence and electron irradiation effects, *Journal of Applied Physics*, 101(11):113506.



DESING OF AN AIR SOLAR COLLECTOR WITH AN ABSORBER PLATE MADE OF POROUS MATERIAL

Filiz Özgen^{*1} , Ayşe Dayan² 

¹Firat University, Faculty of Technology Department of Machine Engineering, Elazığ, Turkey

²Firat University, Faculty of Technology Department of Machine Engineering, Elazığ, Turkey

Abstract

Original scientific paper

In this study, an air solar collector has been designed, whose absorber surface consists of different obstacles. The absorber surface of the air solar collector is created using porous wire for dishes. Three different absorptive surfaces were used for the experimental study. The first type of absorbing surface is a complex surface (Type I), the second type is a less complex surface (Type II), and the third type is a flat surface (Type III). Dishwashers are placed on these surfaces, which are manufactured as three different absorbing surfaces, in a complex and less complex. One absorber surface is also left blank. After the dishwires were attached side by side and end to end and adhered as a solenoid, they were painted with black matte paint, and more benefit from sunlight. In the experiments, the mass flow rate of the air passing through the air passage channels was taken as 0.05 kg / s and 0.025 kg / s and the optimum flow rate value was found to be 0.05 kg / s. The outer side edges and bottom of the collector case are made of aluminum material, and these surfaces facing the outside air are tightly insulated with insulation material. This collector is placed at an angle of 37 °C horizontally and facing south on a coffee table without shadows falling on it. In order to make collector efficiency calculations, collector inlet temperature, outlet temperature, absorber surface temperature, ambient temperature and solar radiation values were measured. It has been determined that as the complexity ratio of the collector surface increases, the collector efficiency increases. Efficiency values for different absorber surfaces were found between 23% and 74%. In addition, it has been observed that the collector efficiency increases with the increase in the flow rate.

Keywords: Solar collector, absorber surface, barrier, energy, thermal efficiency.

YUTUCU PLAKASI GÖZENEKLİ MALZEMEDEN YAPILMIŞ BİR HAVALI GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜNÜN TASARIMI

Özet

Orijinal Bilimsel Makale

Bu çalışmada yutucu yüzeyi farklı engellerden oluşmuş havalı bir güneş kollektörünün tasarımı yapılmıştır. Havalı güneş kollektörün yutucu yüzeyi, gözenekli bulaşık telleri kullanılarak oluşturulmuştur. Deneysel çalışma için üç farklı yutucu yüzey kullanılmıştır. Birinci tip yutucu yüzey olarak karmaşık yüzey (Tip I), ikinci tip yutucu yüzey olarak az karmaşık yüzey (Tip II), üçüncü tip yutucu yüzey olarak düz yüzey (Tip III) kullanılmıştır. Üç farklı yutucu yüzey olarak imal edilen bu yüzeylerin üzerine bulaşık telleri karmaşık ve az karmaşık olarak yerleştirilmiştir. Bir tane yutucu yüzey de boş bırakılmıştır. Bulaşık telleri yanyana ve uç uca eklenerek selenoid şekilde yapılandırıldıktan sonra siyah mat boya ile boyanarak güneş ışımından daha fazla yararlanılmıştır. Deneysel, hava geçiş kanallarından geçen havanın kütleli debisi 0,05 kg/s ve 0,025 kg/ s olarak alınmış ve en uygun debi değeri 0,05 kg/s olarak bulunmuştur. Kollektör kasasının dış yan kenarları ve altı alüminyum malzemedenden yapılmış olup, dış havaya bakan bu yüzeyler yalıtım malzemesi ile sıkı bir şekilde izole edilmiştir. Bu kollektör yatayla 37 °C açı yapacak şekilde ve üzerine gölge düşmeyecek biçimde bir sehpa üzerine güneşe bakacak şekilde yerleştirilmiştir. Kollektör verim hesaplamalarının yapılabilmesi için kollektör giriş sıcaklığı, çıkış sıcaklığı, yutucu yüzey sıcaklığı, çevre sıcaklığı ve güneş ışınım değerleri ölçülmüştür. Kollektör yüzeyinin karmaşıklık oranı arttıkça kollektör veriminin arttığı tespit edilmiştir. Farklı yutucu yüzeyler için verim değerleri % 23 ile %74 arasında bulunmuştur. Ayrıca debi değerinin artması ile kollektör veriminin arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Güneş kollektörü, yutucu yüzey, engel, enerji, termal verim.

* Corresponding author.

E-mail address: filizozgen@gmail.com (F. Özgen)

Received 19 March 2021; Received in revised form 05 April 2021; Accepted 15 April 2021

2587-1943 | © 2021 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.899853>

1 Giriş

Enerji, termodinamikte bir iş yapabilme yeteneği olup sanayileşmiş toplumların ayrılmaz bir parçasıdır. Günümüzde enerji, büyük oranda birincil kaynaklardan elde edilmektedir. Petrol, tabii gaz, likit petrol gazı, kömür ve odun belli başlı enerji kaynaklarıdır. Bunlar sınırlıdır ve 35 ile 200 yıl arasında bitecekleri tahmin edilmektedir. Enerji kaynakları azalırken, dünya nüfusunun sürekli artması ve enerji bağımlılığı, enerji açığını sürekli büyütecektir. Temel enerji kaynakları tüketildiğinde insanlık daha uzun ömürlü enerji kaynaklarına dönmek zorunda kalacaktır. Bunların en önemlisi güneş enerjisidir. Güneş enerjisi güvenilir bir kaynak olup, yaygın kullanımında yüksek ve özel teknoloji gerektirmemektedir. Kullanımı sırasında hiçbir önemli çevre kirliliği de yaratmamaktadır [1].

İmal edilen güneş hava kolektörleri güneş enerjisini transfer eden ısı değiştiricisinin bir türüdür. Kolektörlerin avantajı, akışkanda donma ya da kaynamanın meydana gelmemesidir. Tipik bir güneş hava kolektörünün en önemli kısmı saydam örtü ve yutucu yüzeydir. Güneş hava kolektörlerinin termal performansı, kolektörün malzemesine, şekline, boyutlarına ve planına bağlıdır. Performans gelişimi, farklı malzemeler, çeşitli şekiller, farklı boyutlar ve planlar kullanılarak elde edilebilir. Yutucu yüzey ve hava arasındaki ısı transfer katsayısını geliştirmek için bazı yenilikler kullanılmış ve farklı şekiller literatürde yer almıştır [2-6]. Plakalı tip güneş hava kolektörlerinde hava akış geçişinin farklı şekil ve boyutlarına sahip çeşitli tasarımlar test edilmiştir. Çift akışlı tip güneş hava kolektörleri, ısı transfer alanını artırmak için piyasaya sürülmüş ve bu da iyileştirilmiş termal performansa yol açmıştır. Hava kanalına yerleştirilen engellerle güneş kolektörlerinin ısı performansları artırılmış ve bu engeller sıvı akışının iyi bir şekilde dağılmasına izin vermiştir [7-10].

Literatürde güneş hava kolektörlerinin çeşitli konfigürasyonları geliştirilmiştir. Moosavian vd. [11], parabolik bir güneş kolektörünün enerji, ekserji ve ekonomik analizini farklı iklim koşulları için yapmışlardır. Parabolik güneş enerjisi sistemi için sayısal bir model geliştirerek MATLAB programında analiz etmişlerdir. Farklı iklim koşullarında elde ettikleri sonuçları kıyaslayarak grafikler halinde sunmuşlardır. Esen [12], yutucu yüzeyi farklı engellerden oluşan bir güneş hava kolektörünün enerji ve ekserji analizini yapmıştır. Yutucu yüzeyler kolektör kasası içerisine farklı konumlarda yerleştirilmiş ve her konum için gerekli analizler yapılmıştır. Akpınar ve Koçyiğit [13], 4 farklı yutucu yüzey ve 2 farklı kütle hava akış oranı için tasarladıkları güneş hava kolektörünü deneysel olarak incelemişlerdir. Çift hava girişli bu güneş kolektörünün enerji ve ekserji analizlerini yaparak sonuçları grafik ve tablolar halinde sunmuşlardır. Ozgen vd. [14], yutucu plakası silindirik teneke kutulardan yapılması bir havalı güneş kolektörünün ısı performansını deneysel olarak araştırmışlardır. Deneysel çalışma için üç farklı tipte yutucu plaka tasarlanmış ve test edilmiştir. İlk tipte (Tip I), silindirik teneke kutular yutucu plaka üzerinde zikzaklı olarak kaydırılmış, ikinci tipte (Tip II) ise sıralı olarak dizilmiştir. Tip III ise, üzerinde kutuların olmadığı bir

düzlem plaka şeklindedir. En yüksek verim Tip I için elde edilmiştir.

Arabhosseini vd. [15], gözenekli ve geri dönüşüm sistemi ile donatılmış bir güneş hava kolektörün performansını, üç hava akış hızı (0,009, 0,018 ve 0,036 kg /s) için sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. Maksimum enerji ve ekserji verimliliği 0.009 kg / s kütle akış hızı için sırasıyla % 63.4 ve % 22.3 olarak bulunmuşlardır. Ayrıca bu düzende kurutma işlemi de yaparak kolektörün kurutma üzerindeki etkilerini de çalışmalarında sunmuşlardır. Uçar ve İnallı [16], yaptıkları deneysel çalışmada, yutucu yüzeyin farklı biçim ve düzenlenmesinin, ısı transferini artırma teknikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Yutucu yüzey üzerindeki dereceli levhaların ve kanatların, güneş hava kolektörü performansına etkisini test etmişlerdir. Geleneksel güneş hava kolektörlerinde, kolektör veriminin en düşük olduğunu görmüşlerdir. Dong vd. [17], çift hava akışlı bir güneş kolektörünün termal ekonomik analizini yapmışlardır. Düz yüzeye sahip güneş hava kolektörleri yıllardır çalışılmış ancak ekonomik analizleri yeterince yapılmamıştır. Bu çalışmada net ısı üretimi, ekonomik kriterler ve hava kütle akış hızının kolektör sistemi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Kolektörlerin verimi, güneş hava kolektörünün yapısına ve güneş ışınım değerine bağlıdır. Kolektörün malzemesi, şekli, boyutları performans gelişimini etkiler. Yutucu yüzey üzerine yerleştirilen kanatlar, engeller, kıvrımlı yüzeyler ve literatürde verilen farklı şekiller, ısı transfer alanını artırdığı için verimi artırırlar. Kolektörlerin termal performansını artırmak için çeşitli modellerde güneş hava ısıtıcıları geliştirilebilir. Bu nedenle yapılan bu çalışmada kolektörlerin veriminin artırılması amaçlanmış ve farklı yutucu yüzeyler tasarlanmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada yutucu yüzeyi gözenekli malzemeden yapılmış bir güneş hava kolektörünün tasarımı yapılmış ve ısı performansını deneysel olarak incelenmiştir. Yutucu yüzeyler, üzerine gözenekli malzemelerin karmaşık olarak yerleştirildiği Tip I, düzgün sıra olacak şekilde yerleştirildiği Tip II ve düz yutucu yüzeye sahip Tip III şeklinde belirtilmiştir. Bu üç kolektörün 0.025 kg/s ve 0.05 kg/s lik hava debileri için ısı performansları deneysel olarak incelenmiştir. Sonuçlar Tip I'in termal performansının daha iyi olduğunu göstermiştir.

2 Deneysel Ölçümler Ve Hesap Metodu

Deneysel, Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Atelye alanında 01.07.2020-30.07.2020 tarihleri arasında yapılmıştır. 9:00 ile 16:00 saatleri arasında yapılan deneylerde verimin en iyi çıktığı günler bu çalışmaya konulmuştur. Yapılan çalışmada üç farklı yutucu yüzey geometrisi ve iki farklı hava debisi (0.025 ve 0.05 kg/s) için deneyler yapılmıştır.

Kolektörün girişindeki ve çıkışındaki hava sıcaklıkları sırasıyla $T_{h,g}$ ve $T_{h,\zeta}$ olmak üzere sıcaklık farkı,

$$\Delta T = T_{h,\zeta} - T_{h,g} \quad (1)$$

şeklinde hesaplanmıştır. Havanın fiziksel özellikleri,

$$\Delta T_m = (T_{h,c} + T_{h,g})/2 \quad (2)$$

olarak verilen ortalama hava sıcaklığı esas alınarak seçilmiştir. Kolektörün anlık verimi ise,

$$\eta = \frac{Q_f}{A_k I} = \frac{\dot{m} c_p (T_{h,c} - T_{h,g})}{A_k I} \quad (3)$$

ifadesi ile hesaplanmıştır.

Bu eşitlikte \dot{m} (kg/s) havanın kütsel debisini, c_p (J/kgK) sabit basınçta havanın özgül ısısını, I (W/m²) kolektör yüzeyine düşen anlık güneş ışınımını, A_k (m²) ise kolektör alanını göstermektedir. Kolektör yutucu yüzey alanı 0.96 m²'dir.

3 Deney Düzenine Tasarımı

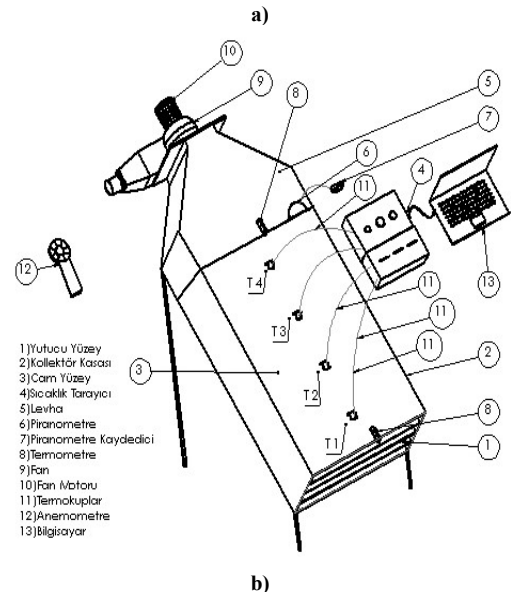
3.1 Kolektörlerin Dizayını

Bu çalışmada, yutucu plakası gözenekli malzemeden yapılmış bir havalı güneş kolektörünün ısı performansını deneysel olarak araştırılmıştır. Güneş enerjisinden en iyi şekilde faydalanmak için deneyler Temmuz ayında yapılmış ve en yüksek verim değerleri elde edilmeye çalışılmıştır. Kolektöre giriş, çıkış sıcaklıkları ve kolektör yüzey sıcaklıkları deney sırasında okunmuş, çevre sıcaklığı ve kullanılabilir diğer bilgiler Elazığ Meteoroloji Bölge Müdürlüğünden alınmıştır. Deneysel ölçümler 9:00-12:00 saatleri arasında yapılmıştır. Deney düzenine fotoğrafı Şekil 1.a'da şematik görünüşü de Şekil 1.b'de verilmiştir.

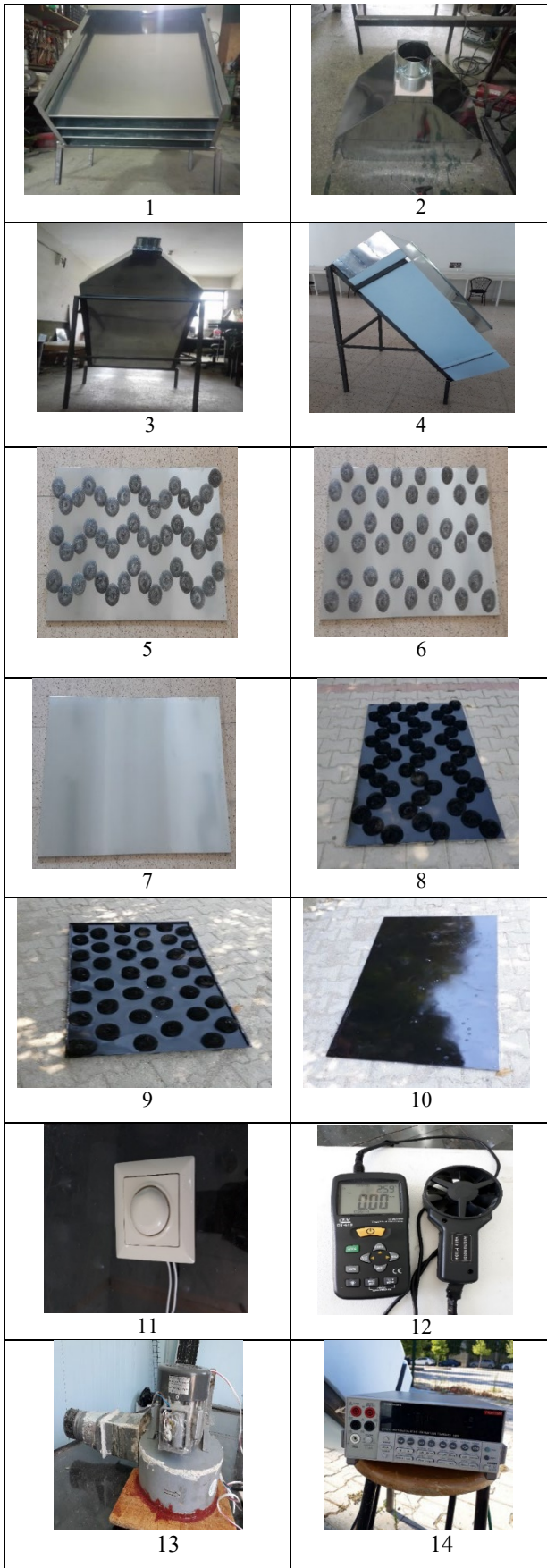
Deney düzenine oluşturulan ana elemanların ve kullanılan cihazların fotoğrafları Şekil 2'de görülmektedir. Bu elemanların, cihazların özellikleri ve tasarımı aşağıda anlatılmıştır.

Tasarlanan güneş kolektörünün kurulum aşamaları, yutucu yüzey şekilleri ve deney sırasında kullanılan ölçüm aletleri Şekil 2'de görülmektedir. Kolektör kasası 120 cm boyunda, 80 cm genişliğinde ve 40 cm yüksekliğindedir. Kolektörde saydam örtü olarak 4 mm kalınlığında pencere camı, kasa malzemesi olarak sunta tahta, yalıtım malzemesi olarak 3 cm kalınlığında stropor kullanılmıştır. Kolektör yatayla eğimi 37° olacak şekilde güneşe yönlendirilmiştir (Şekil 2.1-4). Güneş hava kolektörünün en önemli kısmı yutucu yüzeydir. Çalışmamızda üç farklı yutucu yüzey kullanılmıştır. Yutucu yüzeyin her iki tarafından hava akışı sağlanacak şekilde yüzeyler imal edilmiştir. Bu tür yutucu yüzeylerin seçilmesinin nedeni, literatürde her iki kanaldan geçen hava debisinin kolektör verimlerini iyileştirdiğindedir [18-22]. Yutucu yüzeyleri oluşturmak için, 180 tane gözenekli yapıya sahip bulaşık teli toplanmış, bu teller silikon tutkalının bir çeşidi kullanılarak, 1,5 mm kalınlığında galvanizli sacın hem üzerine hem de altına yapıştırılmıştır (Şekil 2.5-7). Yapıştırma işleminden sonra siyah mat boya ile bu sac boyanarak yutucu yüzey oluşturulmuştur. Oluşturulan bu yutucu yüzeylerin birincisinde toplam 102 adet bulaşık teli, Şekil 2.8.'de görüldüğü gibi karmaşık (Tip I) yerleştirilmiş, Şekil 2.9'da ise 78 adet bulaşık teli düzgün sıra (Tip II) olacak biçimde yerleştirilmiştir. Çalışmamızda kullandığımız üçüncü yutucu yüzeyde teller kullanılmamıştır, düz (Tip III) tip olarak belirttiğimiz yutucu yüzey Şekil 2.10'da gösterilmiştir. Bu

yutucu yüzeyler kullanılarak kolektör verimi ve yüzey sıcaklıkları belirlenmiştir. Yutucu yüzeyler kolektör kasası içerisine 10 ar cm aralıklarla yerleştirilerek deneyler yapılmıştır. Birim yatay yüzeye gelen toplam ışınım şiddetini ölçmek için Kipp δ Zonen CM3 Piranometre'si kullanılmıştır. Kolektör, bir boru ile 800 m³/h debisindeki hava sirkülasyon fanının emme ağzına bağlanmıştır (Şekil 2.13). Fanın ağzına ise debiyi ölçmek için baş kısmı metal fanlı olan hava akışı + hava hızını ölçen bir dijital anemometre (AM-4206M) cihazı bağlanmıştır (Şekil 2.12). Kolektörün giriş ve çıkışındaki havanın sıcaklığı civalı termometre (0-100 C°) kullanılarak ölçülmüştür. Yutucu yüzeylerin belirli noktalarının sıcaklıklarını ölçmek için 24 cm'lik eşit aralıklarla dört noktaya T tipi Cu-Constantan ısı çiftler bağlanmıştır. Isıl çiftlerin diğer uçları ise CR 510 Data Logger veri kaydediciye bağlanarak değerler okunmuştur (Şekil 2.14). Kullanılan tüm ısı çiftler, veri derleyici adı verilen cihaza bağlanarak, ölçümler bir bilgisayar yardımıyla kaydedilmiştir. Veri derleyici, belirli zaman aralıkları ile yapılan sıcaklık, nem, akım gibi değerlerin ölçümlerini kaydeden bir cihazdır. Bu cihaz, ortamın sıcaklığını ölçerek tarih, saat ve ölçüm değerini kaydeder ve bu kayıt işlemini belirlenen zaman aralıkları ile tekrarlar.



Şekil 1. Deney düzenine fotoğrafı (a) ve şematik görüntüsü (b)



Şekil 2. Deney Düzenliğini Oluşturan Ana Elemanlar; 1. Kollektör kasası, 2. Hava emiş kısmı, 3. Kollektör kasası alt görünüşü, 4. Yalıtım malzemesi, 5. Boyanmamış Tip I yutucu yüzeyi, 6. Boyanmamış Tip II yutucu yüzeyi, 7. Boyanmamış Tip III yutucu yüzeyi, 8. Boyanmış Tip I yutucu yüzeyi, 9. Boyanmış Tip II yutucu yüzeyi, 10. Boyanmış Tip III yutucu yüzeyi, 11. Dimmer, 12. Anemometre, 13. Fan, 14. Data Logger veri kaydedici

KEITHLEY marka veri derleyici, yüksek voltaj (7751V) ve düşük akım kaynağına (0-50 mA) sahiptir. Sıcaklık ölçüm aralığı ise -200 ile 630 °C arasındadır. Kollektörün hava giriş ve çıkış tarafları arasındaki basınç kayıplarını tespit etmek için sulu U manometresi kullanılmıştır. Kollektör hava çıkış tarafında kollektörden geçirilecek havanın emişini sağlayan fanın çıkışına hava debisini belirlemek için rotametre ve debiyi değiştirmek için dimmer konulmuştur (Şekil 2.11).

3.2 Deney sonuçları

Yutucu yüzeyden ısının maksimum değerini çıkarmak için uygun çözümlerden biri hava akımının önünde engeller oluşturmaktır. Bu engeller, yutucu yüzeyin üzerine yerleştirilebilir. Bu geometriler sayesinde kollektör içerisinde türbülanslı akış artabilir. Böylece verim minimum kayıpla daha yüksek olur. Bu nedenle yüksek bir verim elde etmek için kollektör Tip I ve Tip II' de bulaşık telleri yutucu yüzeyin üzerine ve altına yerleştirilmiştir. Bu durumda çift hava akışı da sağlanmıştır. Tek geçişli hava akışı yerine çift geçişli hava akışının oluşturulması, ısı transfer alanını ve türbülanslı akışını arttıracığı için, kollektör verimi daha da iyileşecektir. Literatürde tek geçişli hava akışı yerine çift geçişli hava akışının oluşturulması ile ilgili çalışmalar mevcuttur. Yapılan bu çalışmanın literatür ile uyumlu olduğunu belirtmek için bazı kıyaslamalar yapılmış ve Tablo 1'de gösterilmiştir.

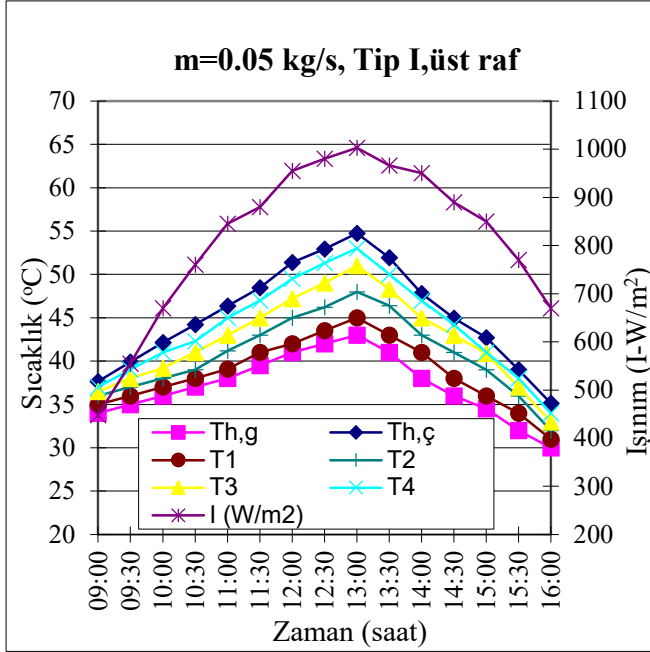
Tablo 1. Yapılan çalışmanın verim değerlerinin literatür ile kıyaslanması

	\dot{m} (kg/s)	Verim
Özgen [8]	0.03	0.50
Esen [12]	0.025	0.67
Akpinar ve Koçyiğit [13]	0.025	0.61
Mevcut Çalışma	0.025	0.62

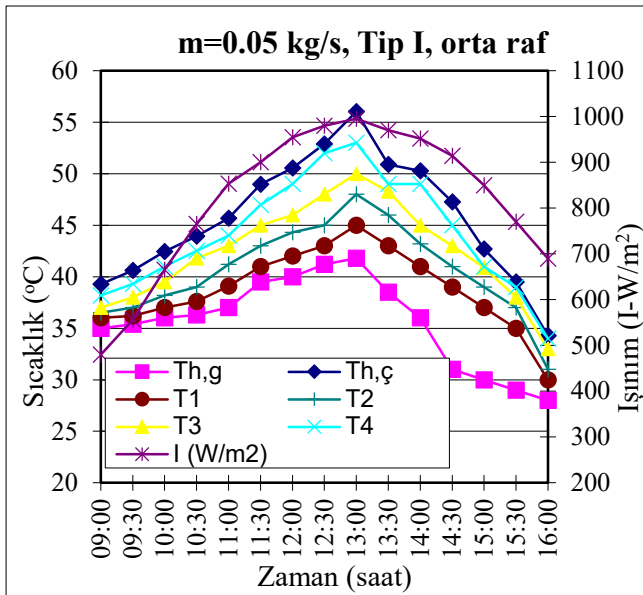
Deneylerin yapıldığı günler için hesaplanan değerler ve alınan veriler grafikler halinde verilmiştir. Bu grafiklerde 0.025 ve 0.05 kg/s'lik debiler için kollektöre giren ve çıkan havanın sıcaklık değişimi, verim değişimi ve yutucu yüzey üzerine eşit aralıklarla yerleştirilen ısı çiftleri yardımıyla ölçülen sıcaklık değerlerinin zamanla değişimi görülmektedir. Tip I, Tip II, ve Tip III kollektörleri için yutucu yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi, güneş ışınım değerlerinin zamanla değişimine paraleldir. Bu değişim gün ortasına kadar artmakta, daha sonra ışınım şiddetinin düşmesiyle birlikte azalmaktadır. Sıcaklık değişimi incelendiğinde giriş sıcaklığının çıkış sıcaklığından az olduğu görülmektedir. Yutucu yüzey üzerinde ısı çiftleri yardımıyla eşit aralıklarda ölçülen sıcaklık değerlerinin de giriş ve çıkış sıcaklıkları arasında olduğu görülmektedir.

Tip I kollektörü için yutucu yüzey sıcaklıklarının ve güneş ışınım değerlerinin zamanla değişimi 0.05 kg/s'lik hava debisi için Şekil 3-5'de verilmiştir. Tip I yutucu yüzeyi bulaşık tellerinin karmaşık olarak yerleştirildiği yutucu yüzeydir ve bu yüzey kollektör kasası içerisine farklı konumlarda (üst raf, orta raf, alt raf) yerleştirilmiş ve yapılan deney sonuçları herbir durum için grafikler halinde verilmiştir. Grafiklerden de açıkça görülmektedir ki sıcaklığın değişimi, yutucu yüzey üzerine gelen ışınım

şiddetinin değişimine paralel olarak saat 13:00'e kadar artmakta, daha sonra ışınım şiddetinin düşmesiyle birlikte azalmaktadır. Saatlik ölçülen en yüksek güneş ışınım şiddeti değeri üst raf konumunda 1003 W/m^2 , orta raf konumunda 995 W/m^2 , alt raf konumunda ise 1000 W/m^2 olmuştur.

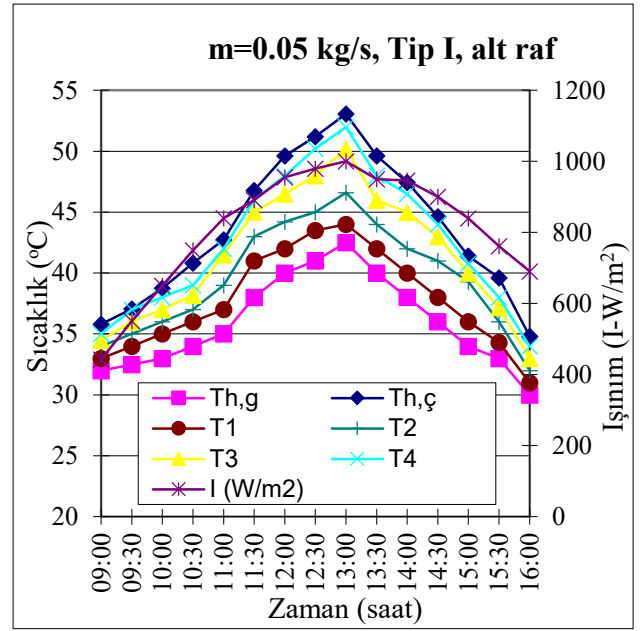


Şekil 3. Kolektörün $m=0,05 \text{ kg/s}$ için zamanla yüzey sıcaklıkları ve ışınım değeri değişimi (üst raf)



Şekil 4. Kolektörün $m=0,05 \text{ kg/s}$ için zamanla yüzey sıcaklıkları ve ışınım değeri değişimi (orta raf)

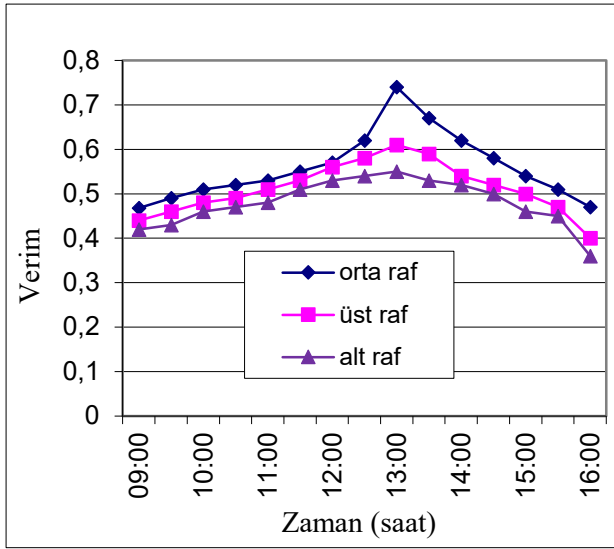
Sıcaklık değişimi incelendiğinde giriş sıcaklığının en düşük, çıkış sıcaklığının ise en yüksek olduğu görülmektedir. Çıkış sıcaklığı, kolektör Tip I'de diğer kolektörlere göre daha yüksektir. Çünkü tellerin karmaşık olarak yerleştirilmesi ısı transfer alanını ve haliyle de yüzey sıcaklığını artırmaktadır. Yutucu yüzey üzerinde ısı çiftler yardımıyla eşit aralıklarda ölçülen T_1, T_2, T_3, T_4 sıcaklık değerlerinin de giriş ve çıkış sıcaklıkları arasında kaldığı görülmektedir.



Şekil 5. Kolektörün $m=0,05 \text{ kg/s}$ için zamanla yüzey sıcaklıkları ve ışınım değeri değişimi (alt raf)

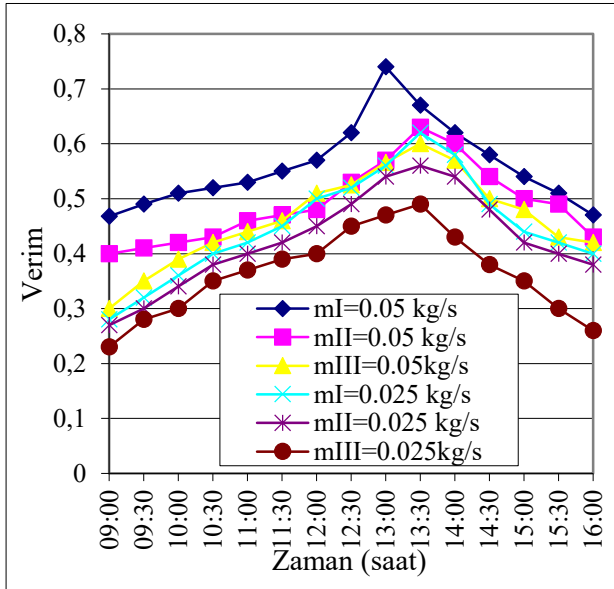
Kolektöre giriş sıcaklığı tüm konumlar için $28-43 \text{ }^\circ\text{C}$ arasında değişirken, kolektör çıkış sıcaklığı ise $34,26-52,94 \text{ }^\circ\text{C}$ arasında kalmıştır. Tip I yutucu yüzeyinin kolektörün farklı konumlardaki verimlerinin zamanla değişimi $m=0,05 \text{ kg/s}$ kütleli debi için Şekil 6'da verilmiştir. Kolektörün verim performansını incelemek amacıyla farklı yutucu yüzeyler kullanılmış ve en yüksek verim Tip I için elde edilmiştir. Tip I yutucu yüzeyinin kolektör içerisindeki farklı konumlarının verim performansları ayrıca incelenmiş ve her konum için gün boyu deneyler yapılarak verim değerleri hesaplanmıştır. Bu deneyler yutucu yüzey kolektör kasesinin alt, orta ve üst rafına yerleştirilerek yapılmış ve maksimum verim üst raf için % 61, orta raf için % 74, alt raf için % 55 bulunmuştur. Optimum verimlilik değerinin tüm çalışma koşulları için yutucu yüzeyin orta rafta olması gerektiğini göstermiştir. Yutucu yüzeyin üst raf ve alt raf konumunda olması verimin azalmasına sebep olmuştur. Kanallardan geçen akış hızının farklı olması verim değerlerini etkilemiştir. Orta raf konumunda olması durumunda oluşan eşit hava akışı verimin de artmasına neden olmuştur. Kolektörlerin çift hava akışlı olması ve ısı transfer alanının artması verim üzerinde etkili olmuştur. Bu durumdan anlaşılmıştır ki, çift akışlı güneş hava kolektörleri için yutucu yüzeyin üst ve alt kanallarından akan akışkanın akış hızları aynı olmalıdır.

Bu üç tip kolektörün verimlerinin zamanla değişimleri $m=0,025$ ve $m=0,05 \text{ kg/s}$ kütleli debi için Şekil 7'de verilmiştir. Umulduğu gibi Tip III diğer kolektörlerden daha az verime sahiptir. Çünkü bu kolektör düz bir yutucu yüzeyden oluşmuştur, yutucu yüzey üzerinde kanatlar, engeller ya da türbülans artırıcı hiçbir şey yoktur. Tip I'in verimi, Tip II'nin veriminden daha yüksektir. Yutucu yüzey üzerine ve altına yerleştirilen tellerin karmaşık olması türbülanslı akış yaratır. Bu durum en yüksek ısı transfer katsayısı, en yüksek yutucu sıcaklık ve azalan termal ısı kaybını sağlar. Bundan dolayı en yüksek verim elde edilir.



Şekil 6. Tip I yutucu yüzeyinin farklı konumlardaki verim değerlerinin zamanla değişimi

Yüksek debide verim, Tip I için %46 ve %74 arasında, Tip II için %40 ve %63 arasında, Tip III için %30 ve %62 arasında değişmektedir. Yüksek debi için maksimum verim üç kollektör için sırasıyla %74, %63 ve %62 dir. Düşük debi için verim, Tip I için %28 ve %62, Tip II için %27 ve %56, Tip III için %23 ve %49 arasında değişmektedir. Düşük debide maksimum verim üç kollektör için sırasıyla %62, %56 ve %49'dur. Debinin artmasıyla kollektör içindeki sıcaklık artışı azalır. Bu durum kollektör yüzey sıcaklığının düşmesi ile sonuçlanır, çevreye olan kayıplar azalır ve verim artar.



Şekil 7. Verimin zamanla değişimi

4 Sonuçlar

Bu çalışmada yutucu yüzeyi gözenekli malzemeden yapılmış havalı bir güneş kollektörünün tasarımı yapılmıştır. Yutucu yüzeyden ısının maksimum değerini çıkarmak için uygun çözümlerden biri hava akımının önünde engeller oluşturmaktır. Bu engeller, yutucu yüzeyin üzerine yerleştirilebilir. Bu geometriler sayesinde kollektör içerisinde türbülanslı akış artabilir. Böylece

verim minimum kayıpla daha yüksek olur. Bu nedenle yüksek bir verim elde etmek için kollektör Tip I ve Tip II' de gözenekli bulaşık telleri yutucu yüzeyin üzerine ve altına yerleştirilmiştir. Bu durumda çift hava akışı da sağlanmıştır. Tek geçişli hava akışı yerine çift geçişli hava akışının oluşturulması, ısı transfer alanını ve türbülanslı akışını arttıracak için, kollektör verimi daha da iyileşecektir. Bu çalışmada üç tip güneş hava kollektörü incelenmiştir. Yutucu yüzeyler, üzerine tellerin karmaşık olarak yerleştirildiği Tip I, düzgün sıra olacak şekilde yerleştirildiği Tip II ve düz yutucu yüzeye sahip Tip III şeklinde belirtilmiştir. Bu üç kollektörün 0.025 kg/s ve 0.05 kg/s lik hava debileri için ısı performansları deneysel olarak incelenmiştir. Tip I'in verimi, Tip II'in veriminden daha yüksektir. Yutucu yüzey üzerine ve altına yerleştirilen tellerin karmaşık olması türbülanslı akış yaratır. Bu durum en yüksek ısı transfer katsayısı, en yüksek yutucu sıcaklık ve azalan termal ısı kaybını sağlar. Bundan dolayı en yüksek verim elde edilir. Tip III diğer kollektörlerden daha az verime sahiptir. Çünkü bu kollektör düz bir yutucu yüzeye sahiptir ve ısı transfer alanı diğerlerine göre daha azdır. Tip I yutucu yüzeyi kollektör kasası içerisine farklı konumlarda yerleştirilerek kollektörün verimi hesaplanmış bu sonuçlar ölçülen sıcaklık ve ısıtım değerleri ile birlikte grafikler halinde sunulmuştur. Maksimum verim üst raf için % 61, orta raf için % 74, alt raf için % 55 bulunmuştur. Çift akışlı güneş hava kollektörleri için yutucu yüzeyin üst ve alt kanallarından akan akışkanın akış hızlarının aynı olması durumunda maksimum verim elde edileceği görülmüştür. Yüksek debide verim, Tip I için %46 ve %74 arasında, Tip II için %40 ve %63 arasında, Tip III için %30 ve %62 arasında değişmektedir. Yüksek debi için maksimum verim üç kollektör için sırasıyla %74, %63 ve %62 dir. Düşük debi için verim, Tip I için %28 ve %62, Tip II için %27 ve %56, Tip III için %23 ve %49 arasında değişmiştir. Tüm çalışma koşulları için optimum verim orta raf için elde edilmiştir. Yutucu yüzey üzerine tellerin karmaşık olarak yerleştirildiği kollektör Tip I, çift hava akışlı olacak şekilde dizayn edilmiştir. Çift hava akışlı olması kollektör performansı üzerine olumlu etki yapmaktadır. Sonuçlar göstermiştir ki uygun dizaynlar yapıldığında, çalışmamızda kullanılan kollektör Tip I iyi bir verim sağlayabilir. Bu kollektörden elde edilen verim %74'lere kadar uzanır ki bu sonuç bir güneş hava kollektörü için memnun edicidir.

Bilgilendirme

Gerçekleştirilen bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek yoktur.

Semboller

- η Kollektör verimi
- Q_f Kollektörden alınan kullanılabilir enerji (W)
- \dot{m} Kollektörden geçen havanın kütleli debisi(kg/s)
- c_p Havanın sabit basınçta özgül ısısı (kJ/kgK)
- I Kollektör yüzeyine gelen ısıtım miktarı (W/ m^2)
- A_k Kollektör alanı (m^2)
- $h_{ç}$ Kollektör çıkış sıcaklığı ($^{\circ}C$)
- h_{g} Kollektör giriş sıcaklığı ($^{\circ}C$)

Kaynaklar

- [1] Kaygusuz, K., & Kaygusuz, A. (2002). Renewable energy and sustainable development in Turkey. *Renewable Energy*, 25(3), 431-453.
- [2] Manikandan, G. K., Iniyan, S., & Goic, R. (2019). Enhancing the optical and thermal efficiency of a parabolic trough collector—A review. *Applied energy*, 235, 1524-1540.
- [3] Kongkaiptaiboon, V., Nanan, K., & Eiamsa-Ard, S. (2010). Experimental investigation of heat transfer and turbulent flow friction in a tube fitted with perforated conical-rings. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 37(5), 560-567.
- [4] Reddy, K. S., Kumar, K. R., & Ajay, C. S. (2015). Experimental investigation of porous disc enhanced receiver for solar parabolic trough collector. *Renewable Energy*, 77, 308-319.
- [5] Hegazy, A. A. (2000). Performance of flat plate solar air heaters with optimum channel geometry for constant/variable flow operation. *Energy Conversion and Management*, 41(4), 401-417.
- [6] Alvarez, G., Arce, J., Lira, L., & Heras, M. R. (2004). Thermal performance of an air solar collector with an absorber plate made of recyclable aluminum cans. *Solar Energy*, 77(1), 107-113.
- [7] Esen, H., Ozgen, F., Esen, M., & Sengur, A. (2009). Artificial neural network and wavelet neural network approaches for modelling of a solar air heater. *Expert systems with applications*, 36(8), 11240-11248.
- [8] Özgen F. (2007). Yutucu plakası silindirik teneke kutulardan yapılmış bir havalı güneş kolektörünün ısı performansının deneysel olarak araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi.
- [9] Layek, A., Saini, J. S., & Solanki, S. C. (2007). Second law optimization of a solar air heater having chamfered rib-groove roughness on absorber plate. *Renewable Energy*, 32(12), 1967-1980.
- [10] Karsli, S. (2007). Performance analysis of new-design solar air collectors for drying applications. *Renewable Energy*, 32(10), 1645-1660.
- [11] Moosavian, S. F., Borzuei, D., & Ahmadi, A. (2021). Energy, exergy, environmental and economic analysis of the parabolic solar collector with life cycle assessment for different climate conditions. *Renewable Energy*, 165, 301-320.
- [12] Esen, H. (2008). Experimental energy and exergy analysis of a double-flow solar air heater having different obstacles on absorber plates. *Building and Environment*, 43(6), 1046-1054.
- [13] Akpınar, E. K., & Koçyiğit, F. (2010). Energy and exergy analysis of a new flat-plate solar air heater having different obstacles on absorber plates. *Applied energy*, 87(11), 3438-3450.
- [14] Ozgen, F., Esen, M., & Esen, H. (2009). Experimental investigation of thermal performance of a double-flow solar air heater having aluminium cans. *Renewable Energy*, 34(11), 2391-2398.
- [15] Arabhosseini, A., Samimi-Akhijahani, H., & Motahayer, M. (2019). Increasing the energy and exergy efficiencies of a collector using porous and recycling system. *Renewable energy*, 132, 308-325.
- [16] Ucar, A., & Inalli, M. (2006). Thermal and exergy analysis of solar air collectors with passive augmentation techniques. *International communications in heat and mass transfer*, 33(10), 1281-1290.
- [17] Dong, Z., Chang, L., Jianjun, Z., Jinlong, J., Zhoujian, A., & Linjun, W. (2021). Thermal economic analysis of a double-channel solar air collector coupled with draught fan: Based on energy grade. *Renewable Energy*, 170, 936-947.
- [18] Yeh, H. M., Ho, C. D., & Hou, J. Z. (1999). The improvement of collector efficiency in solar air heaters by simultaneously air flow over and under the absorbing plate. *Energy*, 24(10), 857-871.
- [19] Ekramian, E., Etemad, S. G., & Haghshenasfard, M. (2014). Numerical analysis of heat transfer performance of flat plate solar collectors. *Journal of Fluid Flow, Heat and Mass Transfer (JFFHMT)*, 1, 38-42.
- [20] Pathak, P. K., Chandra, P., & Raj, G. (2021). Energy and exergy analysis of corrugated plate solar collector by forced convection using two different absorber plate material. *Heat and Mass Transfer*, 57(4), 565-581.
- [21] Darici, S., & Kilic, A. (2020). Comparative study on the performances of solar air collectors with trapezoidal corrugated and flat absorber plates. *Heat and Mass Transfer*, 56(6), 1833-1843.
- [22] Facão, J. (2015). Optimization of flow distribution in flat plate solar thermal collectors with riser and header arrangements. *Solar Energy*, 120, 104-112



KINETIC AND KINEMATIC ANALYSIS OF THE LOWER EXTREMITY STAND TO SIT

Faruk Karaca^{*1} , Fethi Akmeşe² , Engin Ünal³ 

^{1,2,3}Firat University Technology Faculty Department of Machine Engineering, Elazığ, Turkey

Abstract

Original scientific paper

In biomechanics, how the movements of living creatures are controlled by engineering methods and the effect of the force system formed on the carrier elements during a movement are examined. In addition, treatment methods are tested and developed by examining the stress conditions on the tissues. Sitting on a chair (SOC) seems like a very simple part of life, but it is actually an extremely complex chain of movements. It is the kinematic and kinetic analysis that forms the basis of the sitting on the chair analysis. Angular displacements and velocities of limbs are evaluated as kinematic analysis, joint forces, moments, energy and forces are evaluated as kinetic analysis in sitting on chair analysis. In this study, it was aimed to investigate sitting movement by making kinematic and kinetic analysis of a human lower extremity. In this direction, a solid model of the lower extremity was designed by means of the SolidWorks software. A human consists of lower extremity, hip, thigh (upper leg), knee-calf (lower leg) and foot limbs. The data obtained from this solid model has revealed what kind of stresses on which parts of the limbs and joints of the lower extremities are exposed.

Keywords: Biomechanics, kinetic and kinematic analysis, lower extremity, sitting motion.

AYAKTAN OTURMA HAREKETİNDE ALT EKSTREMİTENİN KİNETİK VE KİNEMATİK ANALİZİ

Özet

Orijinal bilimsel makale

Biyomekanikte, mühendislik yöntemleri ile canlıların hareketlerinin nasıl kontrol edildiği ve hareket sırasında taşıyıcı elemanlarda oluşan kuvvet sisteminin etkisi incelenmektedir. Bunun yanısıra dokular üzerinde zorlanma durumları incelenerek tedavi yöntemleri test edilmekte ve geliştirilmektedir. Sandalyeye oturma hareketi (SOH), yaşamın çok basit bir parçası gibi görünmekle birlikte aslında son derece karmaşık hareketler zinciridir. Sandalyeye oturma analizinin temelini oluşturan kinematik ve kinetik analizdir. Sandalyeye oturma analizinde kinematik analiz olarak uzuvların açılma yerdeğişimleri ve hızları, kinetik analiz olarak eklem kuvvetleri, momentler, enerji ve güçleri değerlendirilir. Bu çalışmada, bir insan alt ekstremitenin kinematik ve kinetik analizi yapılarak, oturma hareketinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, SolidWorks yazılımı vasıtasıyla alt ekstremitenin bir katı modeli tasarlanmıştır. Bir insan alt ekstremitesi, kalça, uyluk(üst bacak), diz-baldır(alt bacak) ve ayak uzuvlarından oluşmaktadır. Oluşturulan bu katı model üzerinden elde edilen veriler, özellikle alt ekstremitenin uzuv ve eklemlerinde hangi bölgelerin ne tür zorlanmalara maruz kaldığını gözler önüne sermiştir.

Anahtar Kelimeler: Alt ekstremitenin, biyomekanik, kinetik ve kinematik analiz, oturma

1 Giriş

Tıp ve mühendislik gibi birçok bilim dalını disiplinler arası ortak çalışma alanı haline getiren ve günümüzde oldukça ilgi çeken konulardan olan biyomekanik, özellikle klinik uygulamalarda yapılacak operasyon öncesi öngörücü bilgiler vermektedir. Yapılan tasarımların değerlendirilmesi sürecinde deterministik veya olasılık esaslı analizlerin kullanımı dışında sistem özelliklerinin doğru simüle edilmesi büyük bir önem taşır. Özellikle protezler veya eklem modellemeleri içeren biyomekanik çalışmalarda gerçek durumda var olan doğrusal olmayan özelliklerin analizlerde dikkate

alınmaması nümerik simülasyonun başarısını olumsuz olarak etkilemektedir [1]. Kaslar konsantriksel olarak kasıldıklarında uzunlukları kısalarak güç üretir iken, egsantrik kasılmalarında ise uzunlukları artarak güç emilimi oluşur. İzometrik kasılmadaysa kasın uzunluğu değişmez ve güç üretimi veya emilimi olmaz. Güç grafiğindeki pozitif değerler güç üretimini gösterir iken, negatifler ise güç emilimini gösterirler [2, 3]. Ayakta durma hareketi günlük yaşamda önemli bir aktivitedir. Bu hareket kalça ve omurga hastaları için sorun olmaktadır. Pelvis kinematiğine göre oturma hareketi genellikle bikoksofemoral eksen etrafında bir rotasyon olarak kabul edilir. Ancak pelvisin kinematiği sagittal düzlemde iki

* Corresponding author.

E-mail address: fkaraca@firat.edu.tr (F. Karaca)

Received 21 March 2021; Received in revised form 10 April 2021; Accepted 03 June 2021

2587-1943 | © 2021 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.900830>

boyutlu hareketten daha karmaşıktır çünkü üç boyutlu bir harekete sahiptir ve dönme ekseninin bikoksofemoral eksenden sapmasına neden olur [4]. Sandalyeye oturma hareketi, alt ekstremitte ve gövde eklem hareketleri arasındaki bir koordinasyondur. SOH, kütle merkezinin arka inişini eksantrik olarak kontrol etmek için yeterli kas gücü ve koordinasyonu veya bir bozukluğu telafi etmek için eklem koordinasyonunun yeniden ayarlanmasını gerektirmektedir. Ayrıca bu hareket fonksiyonel performansın klinik değerlendirmesinde de kullanılır [5]. İnsanlar yaşlandıkça, genellikle postüral geçiş olarak tanımlanan sandalyeden kalkma yeteneği, daha zorlu bir günlük fonksiyonel hareket haline gelir. Düşkün kişilerde postürel geçiş, günlük yaşamda işlevsel bağımsızlık ve hareketliliğin önemli bir göstergesi sayılmaktadır. Bu postüral geçiş, yaşlıların alt ekstremitte fonksiyonlarının kuvveti ile denge hakkında bilgi sahibi olmak için fonksiyonel bir test olarak kullanılır. Bu hareket geçişinin geleneksel klinik değerlendirmesi, koordinasyon ve hareket modelindeki değişiklikleri tanımlamak için eklem açısı hareketinin görsel olarak gözlemlenmesine dayanır. Bununla birlikte, bu tür değerlendirmenin geçerliliği esas olarak klinisyenlerin deneyimine ve eğitimine bağlıdır. Gövde kinematığı, hareket geçişi sırasında dengeyi korumak için gerekli görülmektedir. Bu tür çalışmalarda, vücuda takılan eylemsiz sensörleri kullanan gövde hareketlerinin dinamiğini araştırarak denegin kişisel ortamında normal günlük yaşam sırasında belirli duruşları ve hareketlerini yakalayıp objektif ve geçerli ölçümleri toplamak için kullanılmaktadır [6].

Bu bağlamda insan kas ve iskelet sisteminin kinematik ve kinetik analizi üzerinde gerek analitik gerekse deneysel birçok çalışma gerçekleştirilmiştir [7–15]. Mevcut yapılan çalışmadaki en önemli farkı ise günümüzde özellikle makine mühendisliği alanında çeşitli tasarım ve mekanik analiz işlemlerinin başarılı bir şekilde gerçekleştirildiği SolidWorks yazılımıyla sandalyeye oturma hareketinin kinematik ve kinetik analizi yapılmasıdır.

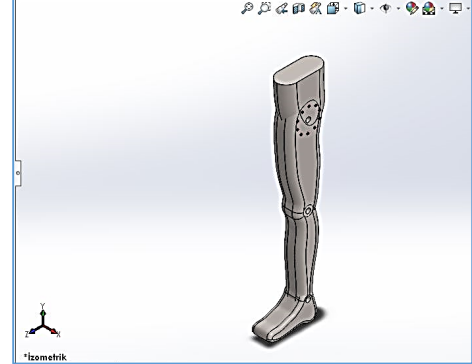
2 Metot

Bu çalışmada, alt ekstremitenin günlük fiziksel aktivitelerden olan sandalyeye oturma hareketi incelenerek bu hareketin kinematik ve kinetik analizinin yapılması amaçlanmıştır. Bu amaçla bir alt ekstremitte uzuvlarının SolidWorks programında benzetim yoluyla bir katı modeli oluşturulmuştur. Katı model oluşturulduktan sonra SolidWorks Motion (Hareket Etüdü) ile de kinematik ve kinetik analizi yapılmıştır.

2.1 Solidworks Programında Alt Ekstremitte Katı Modelinin Oluşturulması

Ayaktan oturma hareketi esnasında alt ekstremitenin kinetik ve kinematik analizini yapmak için öncelikle alt ekstremitenin bir katı modelinin tasarlanması ve oluşturulması gerekmektedir. Şekil 1.'de görüldüğü gibi alt ekstremitte katı modeli kalça, uyluk (üst bacak), baldır (alt bacak) ve ayak uzuvlarından oluşmaktadır. Alt ekstremitenin uzuvlarının boyutları ve ağırlık değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Alt ekstremitte ve uzuvlarının uzunluk ve ağırlık değerleri		
Uyluk(Üst bacak)	Uzunluğu	370 mm ±55 mm
Baldır (Alt bacak)	Uzunluğu	360 mm ± 55 mm
Ayak	Ölçüsü	150 mm x 32 mm
Alt Ekstremitte Katı Modelinin Ağırlığı		4247,97 gr



Şekil 1. Alt ekstremitte katı modelinin görünüşü

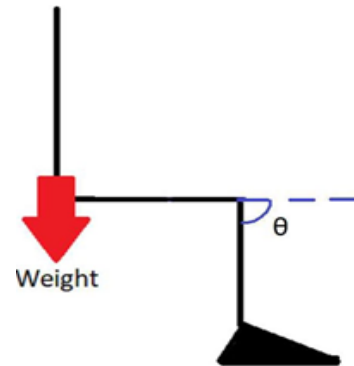
2.2 Ayaktayken Oturma Hareketi

Bu harekette, kişi ayakta duruyorken oturma durumuna geçer. Şekil 2.'de gösterildiği gibi, kişi otururken 90° lik bir açı yapmaktadır. Bu süreçte diz eklemine büyük miktarda tork sağlanır [16]. Sagittal düzlemdeki anatomik mafsalsal hareket aralıkları kalça mafsalsal için; otururken 90°, diz mafsalsal için; otururken 90° dir. Nispeten daha küçük olan ayak mafsalsal hareket aralıkları ise; otururken 25°'dir [17].

Günlük fiziksel aktivitelerdeki hareketlerden ayaktayken sandalyeye oturma hareketinin açalarına göre faz durumları Şekil 3'de, verilmiştir.

3 Sonuçlar ve Tartışma

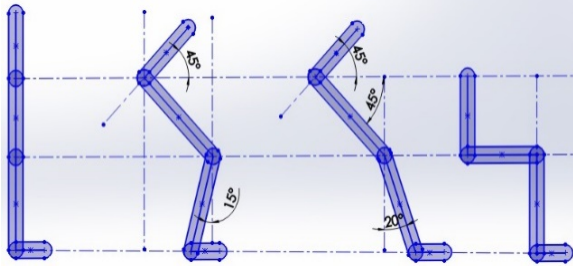
Ayaktayken oturma hareketi, bu çalışmada 4 fazdan oluşturulmuştur. SolidWorks Motion'da her fazda 3 adet rotatif motor kullanmak suretiyle toplamda 12 adet rotatif motor kullanılmıştır. Şekil 3'de verilen eklem açılarının uygulandığı alt ekstremitte katı modeli toplam 2 saniye süreyle yer çekimi ivmesi etkisi altında hareket ettirilerek hareket analizi yapılmış ve alt ekstremitte katı modelinin simülasyonu Şekil 4'de görüldüğü gibi oluşturulmuştur.



Şekil 2. Ayaktayken oturma hareketi [16]

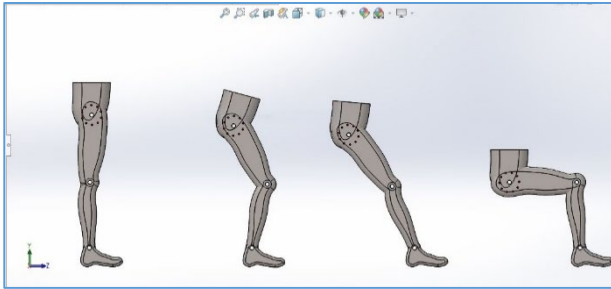
Solidworks hareket etüdünde, hareket analizi yapılırken, uyluk(üst bacak) uzvunu hareket ettirmek için kalça uzvuna 1 adet motor, baldır (alt bacak) uzvunu hareket ettirmek için uyluk uzvuna 1 adet motor ve ayak bileği uzvunu hareket ettirmek için baldır uzvuna 1 adet

motor konumlandırılmış olup, ayaktaiken oturma hareketinin hareket analizi sonuçlarının grafikleri her rotatif motor için ayrı ayrı üretilmiştir. Elde edilen grafik değerleri CSV(Comma-Separated Variables) formatıyla Microsoft Office Excel Çalışma sayfasına aktarılmış ve hareketin kinematik ve kinetik analizi grafikleri elde edilmiştir.



Şekil 3. Ayaktayken oturma hareketinin eklem açılarına göre faz durumları

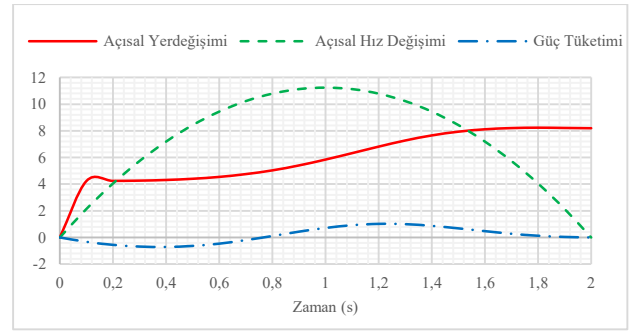
Bu bağlamda Şekil 5'te kalçaya ait zamana bağlı açısal yerdeğişimi, açısal hız ve güç tüketimi görülmektedir. Burada hareket 2s ile sınırlı olduğu için hareket bu süre içerisinde tamamlanmıştır. Nitekim hız değişiminden de bu durum açıkça görülmektedir. Açısal yerdeğişimi 0,13s de $4,24^\circ$ ye doğru hızlı bir artış göstermiş ve daha sonra aşağı doğru salınım yaptıktan sonra hareketin sonunda $8,19^\circ$ olarak maksimum değere ulaşmıştır. Hareketin fazlarıyla (Şekil 4) karşılaştırıldığında özellikle kalça uzvuna dikkat edildiğinde açısal yerdeğişimi grafiğinin gayet uyumlu olduğu görülmektedir. 0,2s'de ikinci faz bitmiş üçüncü faz başlamıştır. Üçüncü faz da 1s'de bitmiş ve dördüncü faz başlamıştır. Açısal hız değişimine bakılacak olursa, yapılan açısal yerdeğişimine bağlı olarak 1s'de maksimum $11,25$ ($^\circ/s$) değere ulaşmıştır.



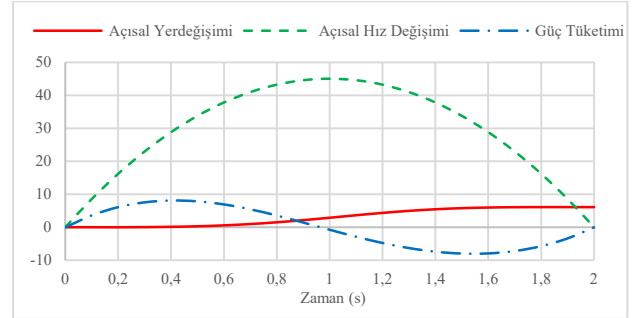
Şekil 4. Ayaktayken oturma hareketinin Solidworks Motion ile simülasyonu

Daha sonra tekrar yavaşlama eğilimine geçerek 2s sonunda tekrar sıfır olmuştur. Güç tüketimine bakıldığında, 0,8s'ye kadar kalça uzvunda bir güç emilimi görülmektedir. Daha sonra bu emilen güç geriye kalan 1,2s boyunca harcanmış ve tekrar sıfır olmuştur. Ancak net güç miktarı hareket süresinin toplamı değerlendirildiğinde pozitif değerdedir. Bu durum benzer çalışmalarla paralellik göstermektedir [2, 17].

Uyluk uzvunun Şekil 6'daki açısal yerdeğişimine dikkat edilecek olursa Şekil 5'teki kalça uzvununkine göre daha stabil bir değişim gösterdiği görülmektedir. Yaklaşık 0,8s'ye kadar çok küçük bir değişim gösterdikten sonra düzgün bir artışla hareket sonunda maksimum $6,12^\circ$ 'ye ulaşmıştır.

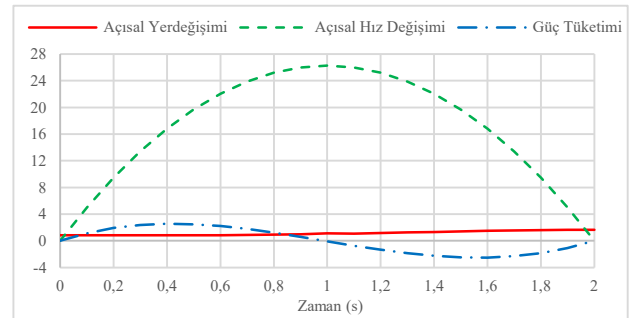


Şekil 5. Kalça Uzunluğunun Açısal Yerdeğişimi ($^\circ$), Açısal Hız ($^\circ/s$) ve Güç Tüketimi (Watt) Değişiminin Zamana Göre Değişimi



Şekil 6. Uyluk Uzunluğunun Açısal Yerdeğişimi ($^\circ$), Açısal Hız ($^\circ/s$) ve Güç Tüketimi (Watt) Değişiminin Zamana Göre Değişimi

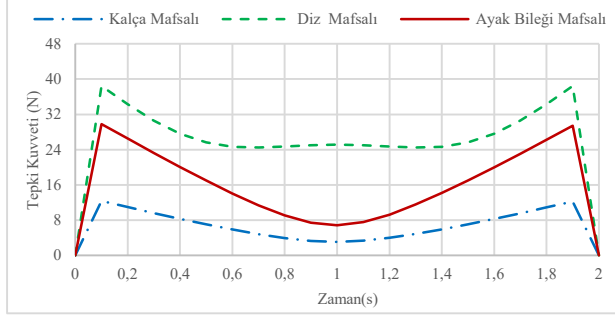
Burada Şekil 6 ile birlikte değerlendirilecek olursa 0,8s'nin dördüncü faza geçiş anı olduğu görülecektir. Ancak uyluk uzvu kalça uzvu ile karşılaştırıldığında açısal yerdeğişiminin daha düşük olduğu görülmektedir. Hem Şekil 3 hem de Şekil 4'teki açılar ve faz dönüşümü hareketleri ile beraber değerlendirildiğinde bu sonucun oldukça tutarlı olduğu ortaya konmuştur. Uyluk uzvunun açısal hızı ile kalça uzvunun açısal hızı karşılaştırıldığında ise uyluk uzvunun açısal hızının kalça uzvununkinin yaklaşık 4,5 katı olduğu görülmektedir. Uyluk uzvunun açısal hızının maksimum değeri 45 ($^\circ/s$) olmuştur. Şekil 6'daki güç tüketimi değişiminde önce güç harcanmış daha sonra güç emilmeye başlanmıştır. Ancak net güç değeri pozitifdir. Dolayısıyla hareket süresinde güç üretilmiştir [2,3].



Şekil 7. Baldır Uzunluğunun Açısal Yerdeğişimi ($^\circ$), Açısal Hız ($^\circ/s$) ve Güç Tüketimi (Watt) Değişiminin Zamana Göre Değişimi

Baldır uzvuna ait Şekil 7'deki grafik incelendiğinde grafiğin Şekil 6'daki uyluk uzvununkine çok benzer olduğu görülecektir. Aslında Şekil 3 ve 4' bakıldığında bu iki uzvu, ikizkenar üçgenin ikizkenarları gibi olduğu görülecektir. Dolayısıyla ayaktan oturma hareketi esnasında benzer karakterde hareket etmektedirler. Ancak açısal yerdeğişimi kalça ve uyluk ile karşılaştırıldığında

olduğu düşük seyretmiştir. Maksimum yerdeğişikliği $1,65^\circ$ olmuştur. Baldır uzvunun açılma hızı ise $26,25$ ($^\circ/s$) ile maksimum değerine ulaşmıştır. Şekil 7'deki güç tüketimi değişimi Şekil 6'daki baldır uzvununki ile çok benzer olduğu görülmektedir. Tıpkı uyluk uzvunda olduğu gibi önce güç harcanmış ve daha sonra emilim görülmüştür. Burada da yine net güç pozitif değerde kalmıştır. Buraya kadar değerlendirilen grafikler hem mevcut literatürle hem de bu konunun metodolojisi ile uygun görülmektedir [2-5, 10, 17, 18].



Şekil 8. Kalça, Diz ve Ayak Bileği Mafsalsına Gelen Tepki Kuvvetlerinin Zamana Göre Değişimi

Şekil 8 değerlendirildiğinde uzuvların bağlantı yani mafsalları temsil eden kalça, diz ve ayak bileği eklemlerine hareket süresince etki eden mafsallık kuvvetleri görülmektedir. Grafiğe bakıldığında ilk göze çarpan her üç eklemde de tepki kuvveti değişimi benzer şekilde olmaktadır. Önce bir pik yapıp daha sonra düzgün bir düşüşün ardından tekrar yükselişe geçmiştir. Burada bu duruma atalet kuvvetleri neden olmaktadır [4]. Bu hareketin karakteri gereği en fazla tepki kuvveti diz ekleminde daha sonra ayak bileği ve kalça ekleminde ortaya çıkmıştır. Yine Şekil 3 ve 4 ile beraber değerlendirildiğinde bu hareket esnasında uzuvların toplam ağırlık merkezine en uzak noktada olan eklem diz eklemi olduğu görülecektir. Bu nedenle diz ekleminde en yüksek tepki kuvveti ortaya çıkmaktadır.

4 Genel Sonuçlar

Yapılan çalışmada ayakta iken sandalyeye oturan bir kişinin alt ekstremitelerini meydana getiren kalça, uyluk ve baldır uzuvları ile bunların eklemleri olan kalça, diz ve ayak bileğinin kinematik ve kinetik analizi gerçekleştirilmiştir. Mevcut literatürden farklı olarak Solidworks Motion yazılımı ile bu analiz gerçekleştirilmiştir. Genel olarak analiz sonuçları değerlendirildiğinde gerçekleştirilen modelleme ve simülasyonun mevcut metodoloji ile oldukça tutarlı sonuçlar ortaya çıkardığı görülmüştür. Bu nedenle bu türden analizlerde Solidworks Motion yazılımının kullanışlı olabileceği değerlendirilmektedir.

Bunun yanı sıra göz önüne alınan uzun simülasyondan önce katı modelinin özenli ve gerçeğine çok yakın bir şekilde oluşturulması gerekmektedir.

Bilgilendirme

Bu makale Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Teknolojileri Programı'nda "Günlük Fiziksel Aktivitelerde İnsan Alt Ekstremitte Protezi Hareketlerinin

Biyomekanik Analizi ve Yapay Sinir Ağları İle Eğitilmesi" adı ile kayıtlı yüksek lisans tezindeki verilerden hazırlanmıştır.

Kaynaklar

- [1] Korkmaz, İ. H. (2016). Designing Patient Specific Knee Prosthesis Using Probabilistic Analysis and Its Verification with Experiments, Atatürk University, Erzurum.
- [2] Beng, K., Aydil, S., & Özkan, P. (2014). Üç boyutlu Bilgisayarlı Yürüme Analizi: Kinematik ve Kinetik. *TOTBİD Dergisi*, 13(4), 337-343.
- [3] Duman, B. (2016). Diz Altı Protez Modelleme Statik Ve Dinamik Analizi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.
- [4] Kim, Y., Vergari, C., Girinon, F., Lazennec, J. Y., & Skalli, W. (2019). Stand-to-Sit kinematics of the pelvis is not always as expected: hip and spine pathologies can have an impact. *The Journal of arthroplasty*, 34(9), 2118-2123.
- [5] Catena, R. D., Bailey, J. P., Campbell, N., & Music, H. E. (2019). Stand-to-sit kinematic changes during pregnancy correspond with reduced sagittal plane hip motion. *Clinical Biomechanics*, 67, 107-114.
- [6] Ganea, R., Paraschiv-Ionescu, A., Büla, C., Rochat, S., & Aminian, K. (2011). Multi-parametric evaluation of sit-to-stand and stand-to-sit transitions in elderly people. *Medical engineering & physics*, 33(9), 1086-1093.
- [7] Sarı, M. İ. (2019). Tersine Mühendislik Yaklaşımı İle Antibakteriyel, Antimikrobiyal Ortez Tasarımı Ve İmalatı. Gazi Üniversitesi, Ankara.
- [8] Uğurlu, Ü. (2008). Development Of A New Orthosis (Neuro Orthosis) For The Control Of Wrist Movements In Patients With Carpal Tunnel Syndrome. Boğaziçi University, İstanbul.
- [9] Doğan, E. (2018). Aktif Bir Bilek Ortez Tasarımı Ve Denetimi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- [10] Keleş, A.D. (2017). Development Of Neural Network Based Algorithm Of Active Ankle Prosthesis Using Gait Analysis Data. Boğaziçi University, İstanbul.
- [11] Yoshioka, S., Nagano, A., Himeno, R., & Fukashiro, S. (2007). Computation of the kinematics and the minimum peak joint moments of sit-to-stand movements. *Biomedical engineering online*, 6(1), 1-14.
- [12] Yoshioka, S., Nagano, A., Hay, D. C., & Fukashiro, S. (2014). Peak hip and knee joint moments during a sit-to-stand movement are invariant to the change of seat height within the range of low to normal seat height. *Biomedical engineering online*, 13(1), 1-13.
- [13] Janssen, W. G., Bussmann, H. B., & Stam, H. J. (2002). Determinants of the sit-to-stand movement: a review. *Physical therapy*, 82(9), 866-879.
- [14] Van Lummel, R. C., Ainsworth, E., Lindemann, U., Zijlstra, W., Chiari, L., Van Campen, P., & Hausdorff, J. M. (2013). Automated approach for quantifying the repeated sit-to-stand using one body fixed sensor in young and older adults. *Gait & posture*, 38(1), 153-156.
- [15] Yu, B., Holly-Crichlow, N., Brichta, P., Reeves, G. R., Zablony, C. M., & Nawoczenski, D. A. (2000). The effects of the lower extremity joint motions on the total body motion in sit-to-stand movement. *Clinical Biomechanics*, 15(6), 449-455.
- [16] Riener, R., Rabuffetti, M., & Frigo, C. (2002). Stair ascent and descent at different inclinations. *Gait & posture*, 15(1), 32-44.
- [17] Önen, Ü. (2011). Design and control of exoskeleton supporting human walking. Selçuk University, Konya.
- [18] Şener, G. (1987). Sağlıklı Genç Kadınlarda, Farklı Topuk Yüksekliklerine Göre Yürüyüşün Duruş Fazında Diz Eklemimin Kinematik Ve Kinetik Analizi. Hacettepe University, Ankara.



EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECTS ON ENGINE OIL TEMPERATURE OF DIFFERENT NANOFLUIDS USED IN VEHICLE ENGINE COOLING SYSTEM

Tahsin Yüksel^{*1} , Abdullah Kapıcıoğlu² 

¹ Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Technology Department of Automotive Engineering, Sivas, Turkey

² Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Technology Department of Manufacturing Engineering, Sivas, Turkey

Abstract

Original scientific paper

It is known from the experimental studies that the thermal capacities of fluids increase with the use of nanoscale particles in base fluids. Using these fluids in engine cooling systems affects engine performance positively. However, it is not known exactly how the use of these fluids affects other parameters in engines. In this study, the effects on engine oil temperature values were investigated of cooling with nano-fluid support in the internal combustion engine cooling system. As cooling liquid, an ethylene glycol-water mixture (base fluid), which is suitable for use in all seasonal conditions and is widely used, has been used in equal ratio. The effects of the refrigerants prepared by mixing different nanofluids (TiO₂, Al₂O₃ and SiO₂) in different volumetric ratios (0.1% and 0.2%) into the base fluid has been experimentally observed. In the study, a real vehicle engine with an engine volume of 1400 cm³ and operated at an average of 2000 rpm has been used. The increase in heat transfer provided using nanofluid has enabled to remain the engine oil temperature at lower values. It has been observed that the engine lubricating oil can work between 1.5% and 5% cooler. The highest performance was determined as approximately 5% with SiO₂. In general, the increase in the volumetric ratio of the nanofluid in the base fluid has allowed to increase the amount of heat transfer and to remain lower of the oil temperature.

Keywords: Cooling system, engine oil temperature, internal combustion engines, nanofluid

TAŞIT MOTORU SOĞUTMA SİSTEMİNDE KULLANILAN FARKLI NANOAKIŞKANLARIN MOTOR YAĞ SICAKLIĞINA ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Özet

Orijinal bilimsel makale

Baz akışkanlar içerisinde nano boyuttaki partiküllerin kullanılması ile akışkanların ısı kapasitelerinin arttığı yapılan çalışmalarla bilinen bir olgudur. Bu akışkanları motor soğutma sistemlerinde kullanmak motor performansını olumlu yönde etkilemektedir. Fakat bu akışkanların kullanımının motorlardaki diğer parametreleri nasıl etkilediği tam olarak bilinmemektedir. Bu doğrultuda yapılan bu çalışmada, içten yanmalı motor soğutma sisteminde nanoakışkan desteği ile yapılan soğutmanın, motor yağ sıcaklık değerlerine etkileri incelenmiştir. Soğutma sıvısı olarak, her mevsim şartlarında kullanıma uygun ve yaygın olarak kullanılan etilen glikol-su karışımı (baz akışkan) eşit oranda kullanılmıştır. Baz akışkan içerisine farklı hacimsel oranlarda (%0.1 ve %0.2) farklı nanoakışkanlar (TiO₂, Al₂O₃ ve SiO₂) karıştırılarak hazırlanan soğutucuların etkileri deneysel olarak gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmada, ortalama 2000 dak⁻¹'da çalıştırılan ve 1400 cm³ motor hacmine sahip gerçek bir taşıt motoru kullanılmıştır. Nanoakışkan kullanımının sağladığı ısı transferindeki artış, motor yağ sıcaklığının daha düşük değerlerde kalmasına olanak sağlamıştır. Motor yağlama yağının %1.5 ile %5 arasında daha soğuk çalışabilmesi imkanı olduğu görülmüştür. En yüksek başarımla SiO₂ ile %5 civarında olduğu tespit edilmiştir. Genelde baz akışkan içerisindeki hacimsel nanoakışkan oranının artması, ısı transfer miktarının artmasına ve yağ sıcaklığının daha düşük kalmasına imkân vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Soğutma sistemi, motor yağ sıcaklığı, içten yanmalı motorlar, nanoakışkan

1 Giriş

Dünya üzerinde trafikteki araç sayısı her geçen gün artmaktadır. Taşıt Araçları Tedarik Sanayicileri Derneği (TAYSAD) tarafından ifade edildiği üzere, 2018 yılında

dünyada 1,3 milyar motorlu taşıt olduğu, 2020 yılında da bu rakamın 2 milyara doğru yaklaştığı [1] tahmin edilmiştir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, Türkiye'deki trafikte kayıtlı araç sayısı ise 2021 yılı Ocak ayı sonu [2] itibarı ile 24 milyon 250 bin sınırlı

* Corresponding author.

E-mail address: y.tahsin@gmail.com (T. Yüksel)

Received 27 March 2021; Received in revised form 16 April 2021; Accepted 19 April 2021

2587-1943 | © 2021 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.904338>

aşmış durumdadır. Bu haliyle her geçen gün sayısı artmaya devam eden motorlu taşıtlardan kaynaklı olan atıkların çevreye verdiği zararlar, insanların ve canlıların yaşamlarını tehdit eden önemli bir sorun olarak sürekli insanlığın karşısında durmaktadır. Çevre ve Orman Bakanlığı, TEMA, ÇEVKO, TÜRÇEV, Hava Kirliliği ve Çevre Kirliliği Önleme Birliği, Birleşmiş Milletler, Greenpeace vs. ulusal ve uluslararası bazda birçok kurum ve kuruluş, çevre kirliliğinin azaltılmasında ve denetlenmesinde çeşitli tedbirlerin alınması noktasında çalışmalar yapmaktadırlar. Bu hususta araştırmacılar da yaptıkları çeşitli çalışmalarla olumsuzlukları azaltma ve giderme yolunda katkı sağlama adına sürekli çaba içerisindeyler.

Günümüz taşıtlarında, araç ağırlığının azaltılması belirli sınırlar dahilinde arzu edilen bir durumdur. Bu bağlamda araç üreticileri yeni kompozit malzemelerin kullanımına geçiş yaparak bileşen ağırlıklarının düşürülmesi için çaba sarf etmektedir. Araç ağırlığının düşürülmesi hem araç bakım ömrünü hem de motor bakım ömrünü geciktirerek bakım kaynaklı oluşacak olan çevre kirliliğini azaltma yolunda faydalar sağlamaktadır. Ayrıca motor bakım sürecinde önem arz eden motor yağının değişim ömrünün geciktirilmesi de önemli hedeflerdendir. Bu amaçlar doğrultusunda birçok araştırmacı tarafından son yıllarda araştırılan bir teknik olarak motor soğutma sistemlerinde nanoakışkan (NA) destekli akışkanların (3-17) kullanımı ile ilgili olarak literatürde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Çalışmalar arasında, farklı hacimsel konsantrasyonlardaki NA'ların baz sıvı içerisine eklenmesi [6-17] yöntemi üzerine olanlar önemli bir yer tutmaktadır. Ayrıca otomobil radyatör tasarımında Al-MWCNT (Multiwall Carbon Nanotubes) kanatçıkları eklenerek radyatörün ısı transfer katsayısının artırılması [18] ve motor yağlama yağı içerisine [19-21] nano boyuttaki partiküllerin karıştırılması ile yapılmış çeşitli çalışmalar da bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarla baz akışkanın bir miktar daha soğuk kalmasına imkân olduğu tespiti yapılarak yukarıda ifade edilen çeşitli hedeflere ulaşılabileceği görülmüştür.

Soğutma sistemlerinde baz soğutucu akışkan olarak kullanılan etilen glikol (antifriz)-su karışımları, doğaları gereği çok yüksek ısı transfer kapasitelerine sahip değildir. Son yıllarda bu karışımların içerisine ısı taşıma kapasitelerini arttırmak için nanopartiküller karıştırılması, motor soğutma sistemlerini daha etkili hale getirilebilmenin yolu olarak araştırılan tekniklerdendir. Bu yöntemde NA'lar kullanılarak tasarlanmış ısı değiştiricilere sahip motorların daha uygun sıcaklıklarda çalışabilmeleri mümkün görülmektedir. Isıyı en iyi şekilde transfer eden ve hacimce daha küçük yapıda olması planlanan radyatör, su pompası ve beraberinde diğer bileşenlerinde üretilebileceği daha küçük motor (14, 18, 22, 23), bunun sonucunda ise aynı miktar yakıtla daha fazla yol alınabilmesi durumu söz konusu olabilmektedir. Bu düşünceden hareketle, soğutucu akışkanın ısı verimini arttırmak amacıyla akışkan dolaşımına engel olmayacak boyuttaki nanopartiküllerin soğutma sıvısına karıştırılma yöntemi uygulanabilecek çözümler arasında görülmektedir.

Taşıt motorlarını en verimli çalışma sıcaklığında tutmak amacıyla soğutma sisteminde kullanılan akışkan ve devre elemanlarına önemli görevler yüklenmiştir. Bu

doğrultuda soğutma devre elemanlarının boyutlarına karışılmadan, soğutma akışkanının içerisine nanopartiküller eklenerek ısı taşıma kapasitesinin artırılması sayesinde motor sıcaklığının yüksek değerlere çıkması önenebilmektedir. Motor soğutma sistemlerinde NA kullanımına bağlı olarak olumlu sonuçlar elde edilmiştir [6, 8-11, 16]. Al₂O₃ tabanlı NA'ların soğutucu akışkan olarak kullanılması, radyatörün ısı transfer performansını baz soğutma sıvısına kıyasla artırdığı [8, 12-14] çeşitli çalışmalarda belirlenmiştir. Benzer olarak belirli oranlarda TiO₂ tabanlı [7, 9, 10] ve NA'ların kullanılmasının da iyi bir soğutma performansı sergilediğini [11, 16] belirten çalışmalar da mevcuttur.

Yağlama sistemleri de dolaylı olarak motor sıcaklığını düşürmek ve motor sıcaklığını belirli bir değerde tutmak için soğutma sistemine destek sağlamaktadır. Soğutma ve yağlama sistemleri, motordan en yüksek performansın elde edilmesinde önemli iki soğutma unsuru olarak görev yapmaktadırlar. Araç motor sıcaklık değerinin yüksek olması, aynı zamanda yağ sıcaklığının yükselmesine sebep olmaktadır. Yağ sıcaklığının yüksek olması, motor yağ ömrünün kısılmasına ve dolayısı ile motor performansında düşüşe yol açmaktadır. Ayrıca motor bakım ömrünün kısılmasına, sık olan bakımlar nedeniyle ekonomik olmayan bakım masrafları artışlarına ve atıklardan kaynaklı çevre kirliliğine neden olmaktadır. Belirtilen sıkıntılar, motor sıcaklığının belirli sınırların üzerine çıkılmasına engel olunarak geciktirilebilir ve düşürülebilir. Baz akışkana NA'lar karıştırılarak NA destekli soğutma sistemleri belirtilen hedeflere ulaşmak adına önem arz etmektedir.

Bu çalışmada gerçek bir taşıt üzerinde yer alan içten yanmalı bir motorun soğutma sisteminde farklı hacimsel konsantrasyon oranlarında karıştırılan NA'lar ile bu akışkanların motor yağ sıcaklığına etkileri incelenmiştir. Motor yağ sıcaklığının düşük değerlerde tutularak yağ ömrünün daha uzun olması yapılan çalışma ile tespiti hedeflenmiştir.

2 Materyal ve Metod

2.1 Çalışmada Kullanılan Nanoakışkanlar:

Çalışmalarda kullanılan su, %50 oranında EG ile karıştırılarak kullanılmıştır. %50-%50 EG-su karışım miktarı kullanılmasının nedeni, çeşitli iklim şartları ve çalışma koşullarında baz akışkanın donma ve kaynama noktalarını (donma noktası -34 °C ve kaynama noktası 107 °C [24]) daha geniş kullanım aralık değerlerinde tutabilmek için tercih edilmiştir.

Baz çalışma akışkanına belirli hacimsel oranlarda karıştırmak amacıyla kullanılan Al₂O₃, TiO₂ ve SiO₂ nanodispersiyonlar, Nanografi firmasından hazır halde tedarik edilmiştir. Maliyetlerinin düşük olması nedeniyle tercih edilen ve özellikleri Tablo 1'de görülen nanopartiküller deney düzeneğinde kullanılmıştır.

Nano malzemelerin NA içerisinde kullanımı ile ilgili çalışmalar göz önüne alındığında çeşitli konsantrasyon oranlarının kullanıldığı görülmektedir. Isıl iletkenliği artırdığı yapılmış olan çalışmalarla belirlenen nanopartiküller, baz sıvıya %0.05, %0.15 ve %0.3 konsantrasyonlu NA ilave edilmesi neticesinde %0.3

konsantrasyonlu karışımlarda en yüksek ısı transfer artışı [11], baz akışkan içerisindeki NA oranı %0'dan itibaren artırılarak yapılan çalışmada en yüksek başarımlık %0.4'lük oranda [16], %0.1 ile %0.5 arasındaki farklı hacimsel konsantrasyonlu NA'ların kullanılması durumunda en yüksek ısı transfer artışı %0.5'lik oranda [17] ve %0 ile %2 arasındaki hacimsel artış oranında en yüksek artış değerleri yine %2'lik oranda [25] başarımlık sağlanmış olduğu yapılan literatür taramasında görülmüştür. Soğutucu olarak su kullanılan sistemin içerisinde %0.01, %0.08, %0.2 ve %0.3 hacimsel oranlarındaki ZnO NA eklenmesi durumunda en yüksek ısı transfer artışı %0.2'lik oranla [6], %0.1, %0.2 ve %0.3 hacimsel

oranlarında karışım yapılan TiO_2 NA ile yapılan çalışmada %0.2 oranındaki karışım ile radyatör etkinliğinin daha da artırıldığı [9] ve soğutma sistemlerinde %1'den düşük hacimsel oranlarında optimum performans elde edilebileceği [24] gibi sonuçlara ulaşılmıştır. Dolayısıyla ile partikül miktarının artırılmasının ısı iletkenliği arttırdığı görülmesine karşın miktarın çok artması ısı iletkenliği olumsuz yönde etkilediğinin tespit edilmiş olması neticesinde yapmış olduğumuz çalışmalarda baz akışkan içerisinde %0.1 ve %0.2 oranlarında eklenerek NA'lar oluşturulması durumu itibarı ile deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

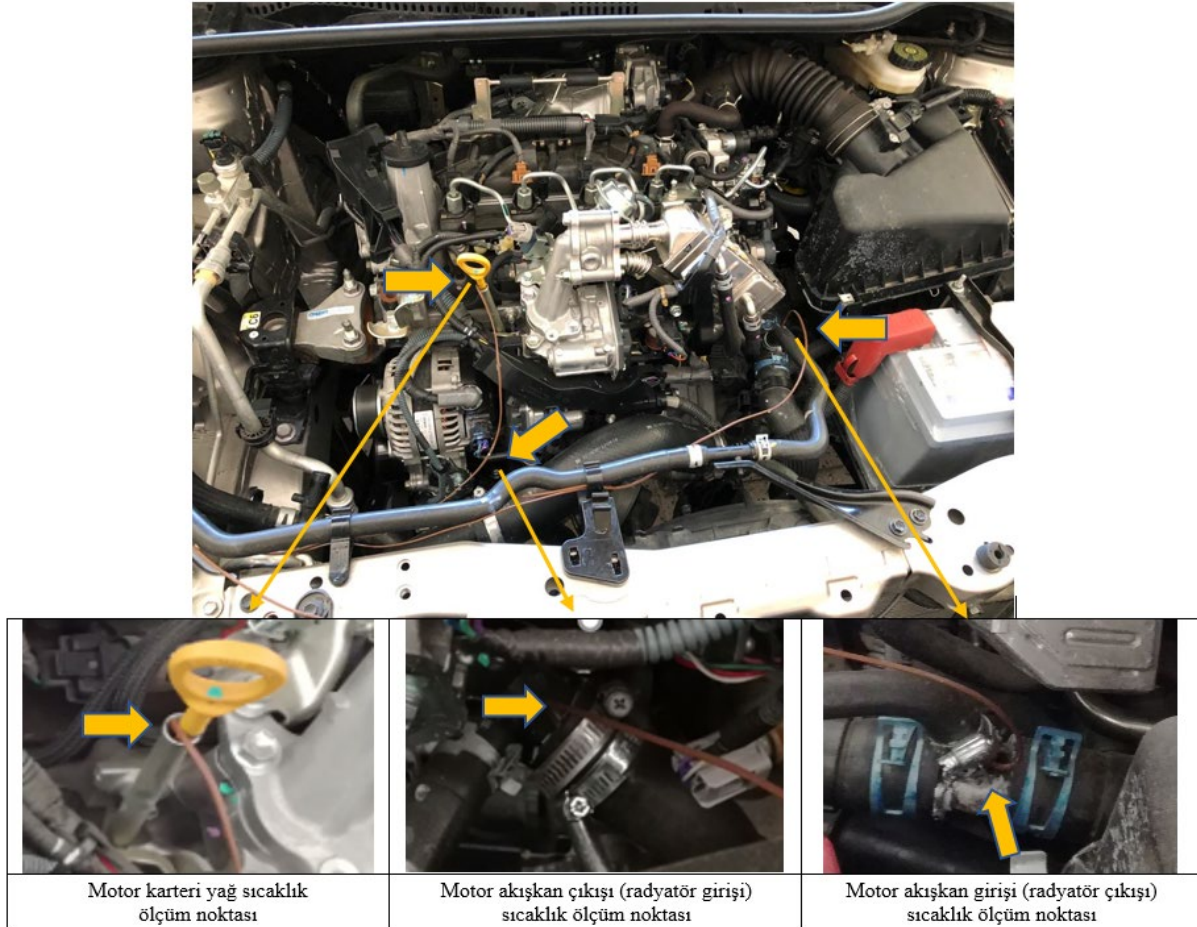
Tablo 1. Nanopartiküllerin özellikleri

Özellikler	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2
Renk	Beyaz	Beyaz	Beyaz
Partikül boyutu	5-20 nm	28 nm	25-45 nm
Safılık	%99.9	%99.9	%99.9
Morfoloji	Neredeyse küresel	Neredeyse küresel	Neredeyse küresel
Suda çözünmez	Çözünmez	Çözünmez	Çözünmez
Öz kütle	2.3 gr/cm ³	3.5 – 3.9 gr/cm ³	4.23 gr/cm ³

2.2 Deney sistemi

Soğutma sisteminin en önemli parçalarından biri olan radyatörün ısı performans etkinliğinin artırılması sayesinde, yağlama yağının daha düşük sıcaklıklarda çalışması sağlanarak yağ ömrünün uzatılması

hedeflenmektedir. Bu amaçla radyatördeki baz soğutucu akışkan ile içerisinde Al_2O_3 , TiO_2 ve SiO_2 NA'ları karıştırılarak radyatör ve yağ sıcaklık değişimleri deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla deneysel çalışmanın yapıldığı araç motoru Şekil 1'de, motorun ve radyatörün bazı özellikleri de Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Deney çalışması yapılan araç motorunun görünüşü ve sıcaklık ölçüm noktaları

Şekil 1'de görülen araç motoru üzerinde yer alan soğutma sisteminin ısı performansını belirleyebilmek için T tipi

termokupullar (ısı çiftler) yardımıyla radyatör girişi ile çıkışındaki soğutucu akışkan sıcaklığı ve motor

karterinden motor yağ sıcaklığını tespit etmek için veri kaydedici (datalogger) cihazı her 5 saniyede bir verileri kaydetmek için hazırlanmıştır.

DeneySEL çalışmadaki her akışkan değişimi sonrası soğutma sisteminde hava kalması ihtimali sonucu ölçümlerin yanlış olması durumuyla karşılaşmamak ve belirli bir sıcaklık değerinin üzerinde ölçümler yapabilmek için termostat motor üzerinden sökülerek çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümlerde, 50 °C ve üzerindeki sıcaklık değerleri için kıyaslamalar yapılmıştır. Çalışmalarda sırasıyla %50-%50 EG-su karışımı, %50-%50 EG-su-Al₂O₃ (%0.1 ve %0.2) karışımları, %50-%50 EG-su-TiO₂ (%0.1 ve %0.2)

karışımları ve %50-%50 EG-su-SiO₂ (%0.1 ve %0.2) karışımları olan akışkanlar ile gerçekleştirilmiştir. Her akışkan değişiminde motorun içerisi suyla detaylı bir şekilde yıkanarak bir sonraki deneySEL çalışma akışkanı doldurulmuştur. Yaklaşık 2000 dak⁻¹ çalıştırılan motorun motor devrini hem OBD (On-board Diagnostics) bağlantısı ile Bosch BEA 350 cihazından hem de aracın motor devir göstergesinden takip edilmiştir. Çalışmalar esnasında ortam sıcaklığı yaklaşık 20 °C olarak ölçülmüştür. DeneySEL çalışmaların güvenilirliği noktasında her deney dört defa tekrar edilerek çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

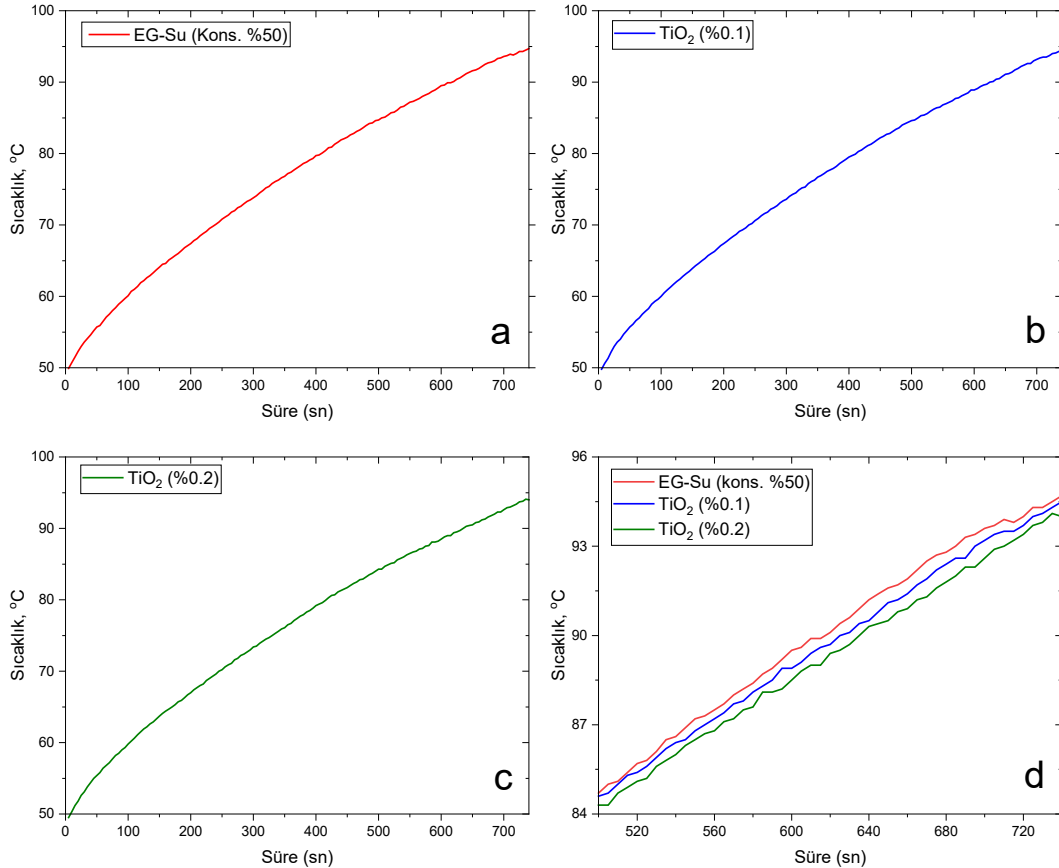
Tablo 2. Motor ve radyatör özellikleri

Silindir sayısı	4	Fan çalışma sıcaklığı	90 °C
Motor hacmi	1400 cm ³	Radyatör uzunluğu	625 mm
Yakıt çeşidi	Motorin	Radyatör yüksekliği	390 mm
Soğutucu kapasitesi	4.5 lt	Radyatör kalınlığı	25 mm
Termostat açma sıcaklığı	82 °C	Radyatör kanal sayısı	58

3 DeneySEL Bulgular ve Tartışma

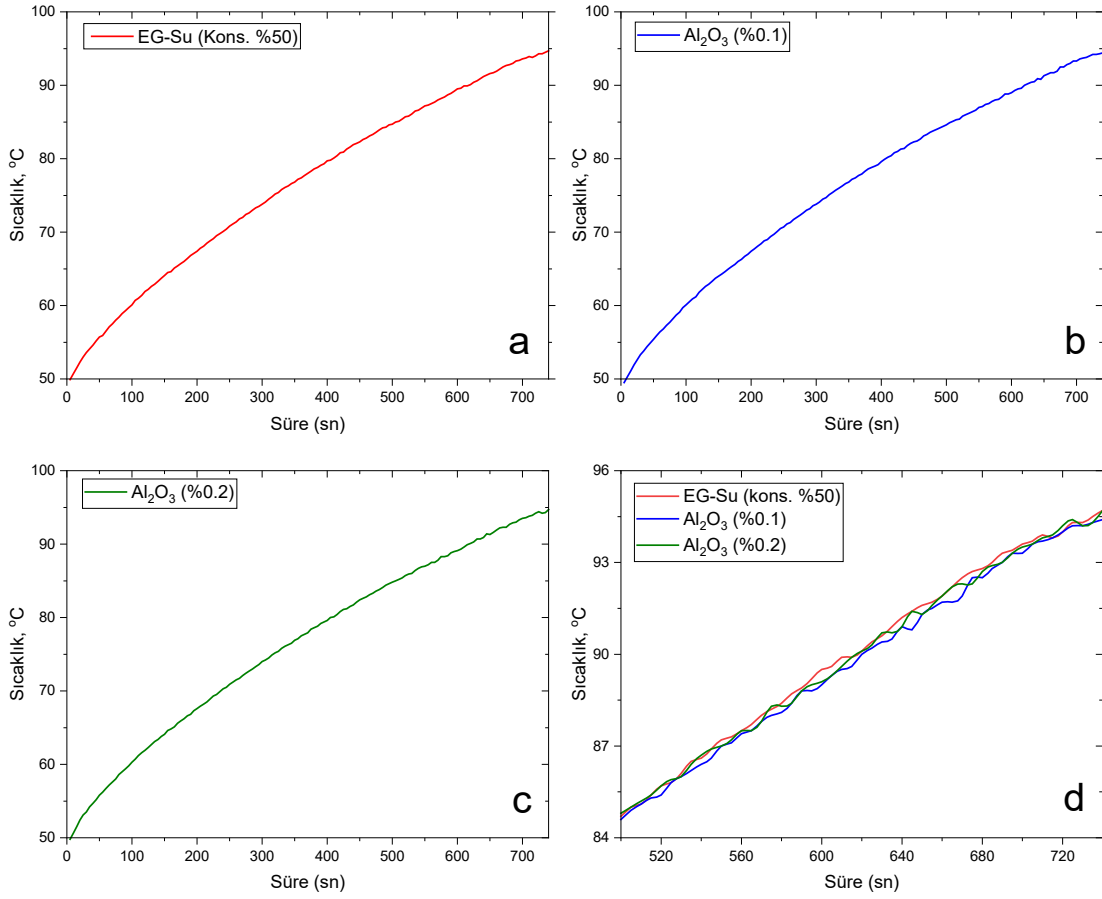
Isı transfer yüzey alanının arttırılmadığı durumlarda NA'lar kullanılarak ısı transferinin iyileştirilmesi sağlanabilmektedir. Katı haldeki metalin ısı iletkenliği sıvı haldeki akışkanınkinden yüksek olduğu için baz akışkan içerisine karıştırılan çok küçük (nano) boyuttaki katı metaller, akışkanın ısı iletkenliğini arttırmaktadır [6, 8-11, 16]. Bu sayede sistemin çalışması esnasında nano

boyuttaki partiküller arasındaki etkileşim ve çarpışmalar, akışkanın ve akış geçidinin yüzeyinin artmasına imkân vermektedir. Bu doğrultuda yapılan çalışmalarda, baz akışkan EG-su karışımı ile yapılan soğutmadaki motor yağ sıcaklığı (Şekil 2.a, 3.a ve 4.a), baz akışkana hem %0.1 hem de %0.2 NA karışımları ile yapılan soğutma işlemlerindeki motor yağ sıcaklıklarının kıyaslanma durumları Şekil 2.d TiO₂, Şekil 3.d Al₂O₃ ve Şekil 4.d SiO₂ görülmektedir.



- (a) Baz akışkan (EG-su) kullanımı esnasındaki motor yağ sıcaklığı
 (b) %0.1 TiO₂ NA karışımı kullanımı esnasındaki motor yağ sıcaklığı
 (c) %0.2 TiO₂ NA karışımı kullanımı esnasındaki motor yağ sıcaklığı
 (d) Baz akışkan ve NA'ların kullanımı ile motor yağ sıcaklıklarının kıyaslanması

Şekil 2. TiO₂ (%0.1 ve %0.2) karışımları için motor yağ sıcaklıkları



- (a) Baz akışkan (EG-su) kullanımı esnasındaki motor yağ sıcaklığı
 (b) %0.1 Al_2O_3 NA karışımı kullanımı esnasındaki motor yağ sıcaklığı
 (c) %0.2 Al_2O_3 NA karışımı kullanımı esnasındaki motor yağ sıcaklığı
 (d) Baz akışkan ve NA'ların kullanımı ile motor yağ sıcaklıklarının kıyaslanması

Şekil 3. Al_2O_3 (%0.1 ve %0.2) karışımları için motor yağ sıcaklıkları

Şekil 2'deki grafiklerde görüldüğü üzere, NA kullanılarak yapılan çalışmalarda motor yağ sıcaklık değerleri baz akışkana kıyasla daha düşük değerde kalmıştır. Şekil 2.d'deki karşılaştırma grafiğinde bu durum daha net bir şekilde görülmektedir. Literatür çalışmalarından elde ettiğimiz bilgilerle uyumlu olarak, NA karışımlarındaki ısı iletkenliğinin daha yüksek olması [8, 12-14] motorun daha soğuk kalmasına imkân vermiştir. Dolayısı ile daha soğuk çalışabilen motorun yağ sıcaklığı da düşük değerlerde kalmıştır. NA'lar, baz akışkanın ısı taşıma kapasitesini arttırmıştır.

Motor yağlama yağ sıcaklığının yüksek olması istenen bir durum değildir. Yüksek yağ sıcaklık değeri; yağın yapısının erken süreçte bozularak yağ ömrüne, motor bakım ömrüne, yağ film tabakasının yırtılarak motor parçalarında aşınmaya sebep olabilmektedir [26]. Motor bakım ömrünün kısalması, çeşitli motor parçalarının daha erken süreçte değişmesine ihtiyaç göstererek hem ekonomik anlamda hem de bakım süreci nedeniyle zaman kaybı anlamına da gelmektedir.

Baz akışkan içerisindeki NA hacimsel miktarının artışı durumunda, motor yağ sıcaklık değerleri (Şekil 2.c) daha düşük kaldığı yapılan kıyaslamada görülmektedir (Şekil 2.d). Baz akışkan içerisindeki NA artışı, ısı transferine olumlu olarak [11, 16, 17, 25] katkı yapmıştır. Soğutucu akışkan içerisindeki hacimsel olarak

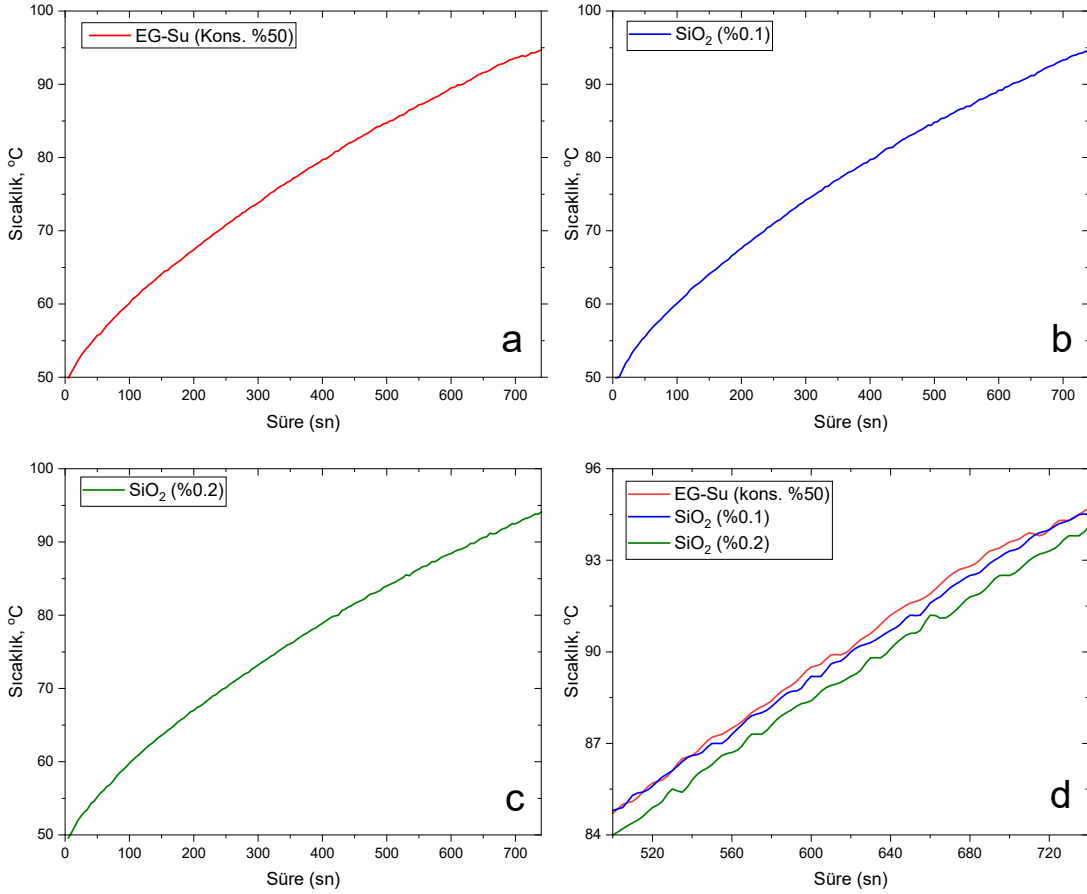
nanopartikül miktarının artırıldığı karışım incelendiğinde motor yağ sıcaklıkları, motor fan çalışma sıcaklığı olan $90^{\circ}C$ 'ye daha geç ulaştığı anlaşılmıştır. %0.1 hacimsel oranına kıyasla %0.2 hacimsel oranının kullanıldığı soğutma sisteminde motor yağ sıcaklıkları daha soğuk kalmıştır. Bu durum daha soğuk motor ve daha soğuk yağlama yağı anlamına gelmekle beraber motor yağ ömrünün ve motor bakım ömrünün daha uzaması anlamına da taşımaktadır.

Şekil 3 incelendiğinde, TiO_2 NA kullanımı ile elde edilen başarımların durumu, baz akışkan içerisine Al_2O_3 NA karışımlarının kullanılmasında da elde edilmiştir. Baz akışkan içerisine hem %0.1 hem de %0.2 NA karışımları ile yapılan soğutma işlemlerindeki motor yağ sıcaklıklarının baz akışkanla yapılan soğutmaya kıyasla daha soğuk kaldığı belirlenmiştir. Ancak Al_2O_3 NA kullanımı ile elde edilen sonuçlar Şekil 3.d'de görüldüğü üzere birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür.

Baz akışkan içerisine karıştırılan NA SiO_2 , motorun daha soğuk çalışmasına imkân sağlayarak baz akışkanın ısı iletkenliğinin artırmasına [6, 8-11, 16] katkı sağlamıştır. Soğutma sisteminde sadece baz akışkan kullanımı sonucu elde edilen verilerde en yüksek motor yağ sıcaklıklarını (Şekil 4) göstermektedir. Baz akışkan içerisindeki %0.1 (Şekil 4.b) ve %0.2 (Şekil 4.c) hacimsel oranlarındaki SiO_2 NA karışımları bu çalışmada da daha

düşük motor yağ sıcaklığına imkân vermiştir. Dolayısı ile baz akışkan içerisindeki hacimsel NA artışının olumlu etkisi [11, 16, 17, 25], motor yağının daha soğuk çalışmasında katkı sağlamıştır (Şekil 4.d). Motor yağ

sıcaklığının daha düşük değerlerde kalması veya yüksek sıcaklıklara daha geç ulaşması yağ ömrüne olumlu yansıyor bakım ve yağ değişim sürecinin daha geç gerçekleşmesinde fayda sağlamaktadır.



- (a) Baz akışkan (EG-su) kullanımı esnasındaki motor yağ sıcaklığı
 (b) %0.1 SiO₂ NA karışımı kullanımı esnasındaki motor yağ sıcaklığı
 (c) %0.2 SiO₂ NA karışımı kullanımı esnasındaki motor yağ sıcaklığı
 (d) Baz akışkan ve NA'ların kullanımı ile motor yağ sıcaklıklarının kıyaslanması

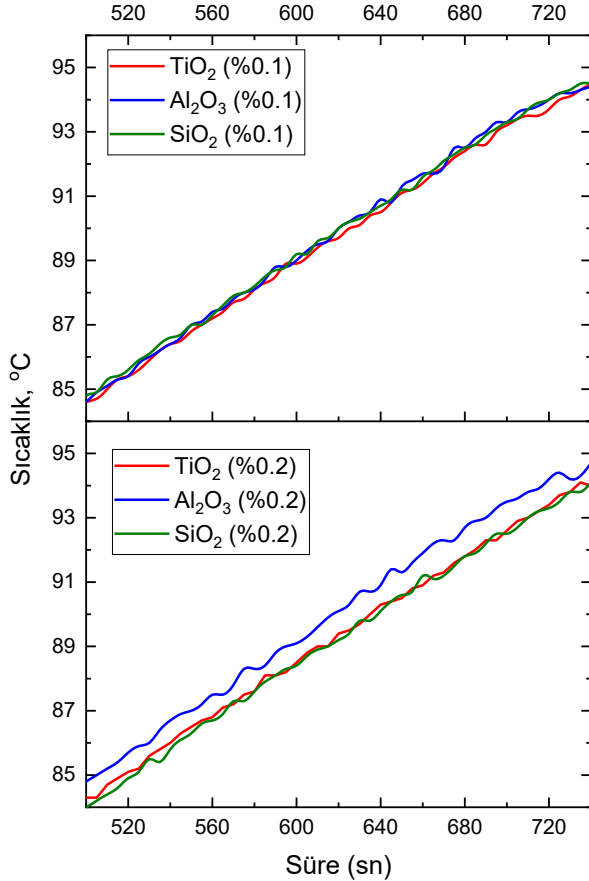
Şekil 4. SiO₂ (%0.1 ve %0.2) karışımları için motor yağ sıcaklıkları

Yukarıda yer alan grafikler incelendiğinde baz akışkanla yapılan soğutma sürecinde, motor yağ sıcaklık değerlerinin NA karışımlarına kıyasla daha yüksek kaldığı görülmektedir. Dolayısıyla baz akışkan içerisine NA'ların karışımı, akışkanın ısı taşıma kapasitesine olumlu olarak fayda sağlamış olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum da dolaylı olarak motor yağlama yağının daha soğuk kalmasına olanak sağlamıştır. Daha önce ifade edildiği gibi motor yağının belirli sınırlar dahilinde soğuk çalışması yağ ömrüne, motor parçalarının ömrüne ve beraberinde motor bakım sürecinin daha geç bir süreçte yapılmasına imkân sağlamaktadır. Aksi halde motorun sıcak çalışması neticesinde motor yağ yapısının erken süreçte bozulması nedeniyle bakım süreçleri de daha kısa süreçlerde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu durum itibarı ile motor yağı, motor parçaları ve motor bakım ömrünün daha geç yapılabilmesi hem ekonomik anlamda hem de atıklardan kaynaklı çevre sağlığı anlamında olumlu katkı sağlayacağı muhakkaktır. Aynı zamanda bakım sürecinden kaynaklı zaman kaybının da belirli bir oranda azaltılması imkânı olduğu görülmüştür.

Yağ sıcaklık değerlerinin 100 °C'ye yaklaşması durumunda grafiklerde görüldüğü gibi baz akışkan ve NA destekli soğutma sistemlerindeki sıcaklık değerleri birbirlerine yaklaşmaktadır. Bu durumda, yüksek sıcaklık değerlerinde NA destekli soğutma sistemlerindeki sıvı haldeki soğutucunun buharlaşarak katı halde bulunan nanopartiküllerin sisteme sağladığı katkının azalması şeklinde ifade edilebilir. Yani sistemdeki aşırı sıcaklık yükselmeleri NA karışımı sistemler için olumlu bir etki göstermemektedir. Baz akışkan içerisindeki hacimsel nanopartikül oranı arttıkça NA'ların ısı iletkenliği artarken, sıcaklık artışı ile ısı iletkenlikte azalma olmaktadır [27]. Bunun nedeni, radyatör içerisindeki baz akışkan sıcaklığı arttıkça sıvı haldeki akışkan fazın buhar fazına dönüşmesi olarak görülmektedir.

Soğutma sisteminde NA miktarının artması nedeniyle sistemde dolaşan nano boyuttaki partikül sayısındaki artış soğutma sisteminin yüzey alanının artmasına imkân sağlamış olması nedeniyle daha iyi ısı transferi sağlamış bulunmaktadır. Dolayısı ile %0.1 ve %0.2 hacimsel kıyaslamalarında, %0.2 hacimsel oranı için baz akışkan içerisindeki partikül miktarındaki artış (Şekil 5),

akışkanın ısı iletkenliğinin artmasına [11, 16, 17, 25] katkı sağlaması nedeniyle en yüksek soğutma performansı sergilemiş, daha soğuk motor ve daha soğuk motor yağı sıcaklık değerlerinin elde edilmesine imkân vermiş bulunmaktadır. Radyatör fan çalışma sıcaklığı 90 °C olarak referans alınması durumunda elde edilen başarımlar şu şekilde gerçekleşmiştir. %0.2 NA karışımları sayesinde baz akışkana kıyasla yapılan soğutma da yaklaşık olarak motor yağ sıcaklıkları SiO₂ ile %5, TiO₂ ile %4 ve Al₂O₃ ile %1.5 başarımla elde edilmiş bulunmaktadır. %0.1 NA karışımları sayesinde baz akışkana kıyasla yapılan soğutma da ise yaklaşık olarak motor yağ sıcaklıkları %1.5 ile %2.5 aralığında başarımla sağlanmıştır.



Şekil 5. %0.1 ve %0.2 NA karışımları için motor yağ sıcaklıklarının genel kıyaslaması

4 Sonuçlar

Bu çalışmada, yaklaşık 2000 dak⁻¹ çalıştırılan 1400 cm³ hacme sahip olan taşıt üzerindeki bir dizel motorunun soğutma sisteminde EG-su ile farklı konsantrasyon oranlarındaki NA'ların motor yağ sıcaklığına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda;

-Baz akışkana kıyasla içerisine NA karışımları sayesinde test edilen soğutma sistemlerinin performanslarında iyileşme olduğu, motorun daha soğuk çalışabilmesi sayesinde motor yağ sıcaklık değerleri de yaklaşık olarak %1.5 ile %5 arasında daha düşük kaldığı tespit edilmiştir. Bu durum motor yağ ömrü ve motor bakım ömrü açısından olumlu olarak öngörülmektedir.

-Baz akışkan içerisine %0.2 oranında karışım yapılan NA'lar ile yaklaşık olarak SiO₂ ile %5, TiO₂ ile %4 ve Al₂O₃ ile %1.5 daha yüksek başarımla elde edilmiştir.

-Baz akışkana kıyasla %0.1 NA karışımları sayesinde yapılan soğutma da olarak motor yağ sıcaklıkları yaklaşık %1.5 ile %2.5 aralığında daha soğuk kalmıştır.

-Genel olarak baz akışkan içerisindeki nano boyutlu partikül miktarının fazlalığı daha fazla ısı taşıma kapasitesi olarak kendini göstermiştir. Akışkan içerisine karıştırılan partiküller akışkanın yüzey alanını ve ısı kapasitesini artırması sonuç olarak motor yağ sıcaklığına da olumlu yansımıştır.

-Baz akışkan içerisinde hacimsel olarak partikül artışı genel anlamda ısı iletkenliği arttırmıştır.

Bilgilendirme

Gerçekleştirilen bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek yoktur.

Teşekkür

Bu çalışma, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) tarafından TEKNO-026 proje numarası ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Tüm dünyada motorlu araç sayısı 2 milyara yaklaşıyor Yazar iDealData. Retrieved June 21, 2021, from <https://tr.investing.com/news/economy/tum-dunyada-motorlu-arac-says-2-milyara-yaklasiyor-1971549>
- [2] TÜİK. Retrieved June 21, 2021, from <https://tuikweb.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleridojsessionid=Sqdhg09GhPBbfpStMJ4pQ11SrvydJxwVsSpKWdK2GlJbLn7fmCHR!1955124248?id=37411>
- [3] Sundar, L. S., Kirubeil, A., Punnaiah, V., Singh, M. K., & Sousa, A. C. (2018). Effectiveness analysis of solar flat plate collector with Al₂O₃ water nanofluids and with longitudinal strip inserts. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 127, 422-435.
- [4] Leong, K. Y., Saidur, R., Mahlia, T. M. I., & Yau, Y. H. (2012). Performance investigation of nanofluids as working fluid in a thermosyphon air preheater. *International communications in heat and mass transfer*, 39(4), 523-529.
- [5] Krishnakumar, T. S., Viswanath, S. P., & Varghese, S. M. (2018). Experimental studies on thermal and rheological properties of Al₂O₃-ethylene glycol nanofluid. *International Journal of Refrigeration*, 89, 122-130.
- [6] Ali, H. M., Ali, H., Liaquat, H., Maqsood, H. T. B., & Nadir, M. A. (2015). Experimental investigation of convective heat transfer augmentation for car radiator using ZnO-water nanofluids. *Energy*, 84, 317-324.
- [7] Hatami, M., Jafaryar, M., Zhou, J., & Jing, D. (2017). Investigation of engines radiator heat recovery using different shapes of nanoparticles in H₂O/(CH₂OH)₂ based nanofluids. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(16), 10891-10900.
- [8] Subhedar, D. G., Ramani, B. M., & Gupta, A. (2018). Experimental investigation of heat transfer potential of Al₂O₃/Water-Mono Ethylene Glycol nanofluids as a car radiator coolant. *Case studies in thermal engineering*, 11, 26-34.
- [9] Ahmed, S. A., Ozkaymak, M., Sözen, A., Menlik, T., & Fahed, A. (2018). Improving car radiator performance by using TiO₂-water nanofluid. *Engineering science and technology, an international journal*, 21(5), 996-1005.
- [10] Devireddy, S., Mekala, C. S. R., & Veerredhi, V. R. (2016). Improving the cooling performance of automobile radiator with ethylene glycol water based TiO₂ nanofluids.

- International communications in heat and mass transfer*, 78, 121-126.
- [11] Tijani, A. S., & bin Sudirman, A. S. (2018). Thermo-physical properties and heat transfer characteristics of water/anti-freezing and Al₂O₃/CuO based nanofluid as a coolant for car radiator. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 118, 48-57.
- [12] Elias, M. M., Mahbul, I. M., Saidur, R., Sohel, M. R., Shahrul, I. M., Khaleduzzaman, S. S., & Sadeghipour, S. (2014). Experimental investigation on the thermo-physical properties of Al₂O₃ nanoparticles suspended in car radiator coolant. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 54, 48-53.
- [13] Goudarzi, K., & Jamali, H. (2017). Heat transfer enhancement of Al₂O₃-EG nanofluid in a car radiator with wire coil inserts. *Applied Thermal Engineering*, 118, 510-517.
- [14] Peyghambarzadeh, S. M., Hashemabadi, S. H., Jamnani, M. S., & Hoseini, S. M. (2011). Improving the cooling performance of automobile radiator with Al₂O₃/water nanofluid. *Applied thermal engineering*, 31(10), 1833-1838.
- [15] Elsebay, M., Elbadawy, I., Shedid, M. H., & Fatouh, M. (2016). Numerical resizing study of Al₂O₃ and CuO nanofluids in the flat tubes of a radiator. *Applied Mathematical Modelling*, 40(13-14), 6437-6450.
- [16] Naraki, M., Peyghambarzadeh, S. M., Hashemabadi, S. H., & Vermahmoudi, Y. (2013). Parametric study of overall heat transfer coefficient of CuO/water nanofluids in a car radiator. *International Journal of Thermal Sciences*, 66, 82-90.
- [17] Selvam, C., Raja, R. S., Lal, D. M., & Harish, S. (2017). Overall heat transfer coefficient improvement of an automobile radiator with graphene based suspensions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 115, 580-588.
- [18] Jadar, R., Shashishekar, K. S., & Manohara, S. R. (2017). Nanotechnology integrated automobile radiator. *Materials Today: Proceedings*, 4(11), 12080-12084.
- [19] Mohammadi, S. K., Etemad, S. G., & Thibault, J. (2009). Measurement of thermal properties of suspensions of nanoparticles in engine oil. In Technical Proceedings of the 2009 NSTI Nanotechnology Conference and Expo, NSTI-Nanotech32009 (pp. 74-77).
- [20] Vasheghani, M. (2012). Enhancement of the thermal conductivity and viscosity of aluminum component- engine oil nanofluids. *Nanoscience and Technology: An International Journal*, 3(4).
- [21] Etefaghi, E.O.L., Ahmadi, H., Rashidi, A., Nouralishahi, A., & Mohtasebi, S. S. (2013). Preparation and thermal properties of oil-based nanofluid from multi-walled carbon nanotubes and engine oil as nano-lubricant. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 46, 142-147.
- [22] Hussein, A. M., Bakar, R. A., & Kadrigama, K. (2014). Study of forced convection nanofluid heat transfer in the automotive cooling system. *Case Studies in Thermal Engineering*, 2, 50-61.
- [23] Hussein, A. M., Dawood, H. K., Bakara, R. A., & Kadrigama, K. (2017). Numerical study on turbulent forced convective heat transfer using nanofluids TiO₂ in an automotive cooling system. *Case Studies in Thermal Engineering*, 9, 72-78.
- [24] Sidik, N. A. C., Yazid, M. N. A. W. M., & Mamat, R. (2017). Recent advancement of nanofluids in engine cooling system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 137-144.
- [25] Leong, K. Y., Saidur, R., Kazi, S. N., & Mamun, A. H. (2010). Performance investigation of an automotive car radiator operated with nanofluid-based coolants (nanofluid as a coolant in a radiator). *Applied Thermal Engineering*, 30(17-18), 2685-2692.
- [26] Soydan, Y., & Ulukan, L. (2013). Temel Triboloji, Sürtünme, Aşınma, Yağlama Bilimi ve Teknolojisi. Tagem Kopisan, Sakarya.
- [27] Tadepalli, R., Gadekula, R. K., Reddy, K. V., Goud, S. R., Nayak, S. K., Saini, V., & Dondapati, R. S. (2018). Characterization of Thermophysical properties of Al₂O₃, TiO₂, SiO₂, SiC and CuO Nano Particles at Cryogenic Temperatures. *Materials Today: Proceedings*, 5(14), 28454-28461..



KINETIC AND KINEMATIC ANALYSIS OF THE UPPER EXTREMITY OF A ROWER

Faruk Karaca^{*1} , Yıldırım Karayel² , Engin Ünal³ 

^{1,3}Firat University Technology Faculty Department of Machine Engineering, Elazığ, Turkey

²University of Turkish Aeronautical Association Izmir Aviation Vocational School, Izmir, Turkey

Abstract

Original scientific paper

Angular changes occur in the limbs in daily life or sports activities. The movements that occur according to the properties of the joints in which these movements occur in different planes. The aim of this study was to investigate kinematic and kinetic change during a maximum 12s rowing test. The angular changes and the velocity, acceleration and power changes of the limbs are examined by biomechanical kinematic and kinetic analysis. In this study, human hand-arm and shoulder limbs were designed in three dimensions as a representation with the help of Solidworks Motion program. Then, the changes in position, velocity and acceleration as kinematic analysis of the shoulder, elbow and wrist during the rowing movement of the human arm, and the changes in force, moment and force acting on the joints as kinetic analysis were analyzed. In the simulation of the model created as a result of the analysis, four characteristic phases of the rowing motion were clearly seen. Therefore, the model simulated real movement very well.

Keywords: Rowing, kinematics, kinetics, sportive movement, upper extremity.

KÜREK ÇEKME HAREKETİ YAPAN BİR SPORCUNUN ÜST EKTREMİTESİNİN KİNEMATİK VE KİNETİK ANALİZİ

Özet

Orijinal bilimsel makale

Günlük hayatta veya sportif amaçla yapılan hareketlerde uzuvlarda açılal değişiklikler meydana gelmektedir. Bu hareketlerin gerçekleştiği eklemlerin özelliklerine göre oluşan hareketler farklı düzlemlerde oluşmaktadır. Bu çalışmanın amacı maksimum 12s'lik kürek çekme hareketi esnasında kinematik ve kinetik değişimleri araştırmaktır. Oluşan açılal değişiklikler ile uzuvların hız, ivme ve güç değişimleri biyomekanik kinematik ve kinetik analiz vasıtasıyla incelenmektedir. Bu çalışmada, Solidworks Motion programı yardımıyla insan el-kol ve omuz uzuvları temsili olarak üç boyutlu tasarlanmıştır. Daha sonra insan kolunun kürek çekme hareketi sırasındaki omuz, dirsek ve el bileğinin kinematik analizi olarak açılal konum ve hız değişimleri, kinetik analiz olarak da eklemlere etkiyen kuvvet ve güç değişimleri analiz edildi. Yapılan analizler neticesinde oluşturulan modelin gerçekleştirilen simülasyonunda kürek çekme hareketinin karakteristik dört fazı açık bir şekilde görülmüştür. Dolayısıyla model gerçek hareketi gayet güzel simüle etmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kürek çekme, kinematik, kinetik, sportif hareket, üst ekstremite.

1 Giriş

Hareket, bir cismin konumunun sabit bir noktaya kıyasla, zamana bağlı olarak değişmesidir. İnsan bedeninin hareketinde ise; bedenün çeşitli kısımlarının veya tamamının zamanla yaptığı yer değişikliğidir. Bu hareketler uzvun veya eklemin durumuna bağlı olarak açılal veya doğrusal olabilir. Genel hareket, doğrusal ve açılal hareketlerin bir arada olduğunu ifade eden kavramdır. İnsan bedenindeki birçok hareket bu şekilde gerçekleşmektedir [1].

İnsan bedenini meydana getiren kısımlardan üst ekstremitenin üç boyutlu kinematığının incelenmesi

genellikle alt ekstremite kadar bilimsel ilgi görmemiştir. Bunun nedeni üst ekstremitenin hareketinin hızlı olması ve özellikle omuzda hareketin karmaşık olmasıdır[2]. Omuzun distalindeki kinematik zincirin tamamının atalet eksenleri, üst kolun uzunlamasına ekseninden sapar. Bu nedenle, üst kolun uzunlamasına eksenini etrafındaki tork, sadece iç ve dış dönüşü değil, aynı zamanda omuzda başka dönüşler de meydana getirir. Bu, tek başına üst kolun uzunlamasına eksenini etrafında bir eklem dönüşüne neden olan tork ekseninin, üst kolun uzunlamasına ekseninden farklı olması gerektiği anlamına gelir. Bu şekilde, 3B insan hareketlerinde, ortak bir koordinat eksenini etrafındaki ortak dönüş, eksen etrafındaki torkla

* Corresponding author.

E-mail address: fkaraca@firat.edu.tr (F. Karaca)

Received 04 April 2021; Received in revised form 01 June 2021; Accepted 03 June 2021

2587-1943 | © 2021 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.909347>

tam olarak açıklanamaz [3]. Bununla birlikte, kol hareketlerinin karmaşık doğası ve standartlaştırılmış hareketlerin olmaması birçok zorluğu beraberinde getirir. Yürüme analizi ile karşılaştırıldığında, daha az kol hareketi analizi yapılmıştır. Üst ekstremitte eklemlerinin değiştirilmesi veya desteklenmesine yönelik daha bilimsel bir yaklaşım isteği, biyomekanik bilgisayar modellerine girdi sağlama ihtiyacı ve normal hareketleri patolojik hareketlerle karşılaştırmaya yönelik klinik ilgi bu konuya olan motivasyonu güncel tutmaktadır. Bu anlamda ticari markör izleme sistemlerinin mevcudiyeti, bu hedeflere ulaşmayı kolaylaştırmıştır [4]. Hareket izleme teknolojileri kullanılarak gerçekleştirilen ve böylelikle hekimlerin gözlem hatalarını en aza indiren kinematik analiz, objektif ve niceleyici parametreler sağlayarak üst ekstremitte motor fonksiyonlarının objektif, özellikli ve kanıta dayalı olarak değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır [5].

Kürek sporu, kuvvet-dayanıklılık ve fizyolojik yetilerin yanında yüksek düzeyde teknik beceriye gereksinim duyulan bir spordur [6]. Kürek çekmek karmaşık bir motor beceridir. Kürekçi iyi bir teknik, zamanlama ve güce hakim olmalıdır. Kürek çekme ergometreleri çoğu spor salonunda ve fitness merkezinde bulunabilir. Kürek, koşma veya bisiklete binme gibi döngüsel bir harekettir. Bununla birlikte, bisiklete binme ve koşmanın aksine, kürek çekme döngüsü sezgisel bir eylem değildir [7]. Kürek çekişinin en iyi şekilde tanımlanması için hareket tekniğinin fazlara ayrılması gerekmektedir. Kürek çekiş hareket çevrimi, üst ekstremitenin yaptığı kontralateral bir hareket çevrimidir. Yapılan analiz çalışmalarında kürek çekme döngüsünün fazları araştırmacılar tarafından farklı şekillerde tanımlanmıştır. Ancak genel olarak küçük farklarla beraber dört fazdan oluştuğu kabul edilmektedir. Bunlar, yakalama, çekiş, sudan çıkış ve yenileme fazlarıdır [8]. Bu bağlamda gerek mühendislik gerek sağlık bilimleri tarafından halen araştırmalar sürmektedir. Sağlık ve spor bilimlerindeki araştırmalar genellikle sporcunun enerjisini optimum şekilde kullanmasına odaklı kas iskelet sistemini optimum hareketlerin nasıl yapılacağı konusundadır. Mühendislik tarafında ise salt mekanik analiz gerçekleştirilmektedir.

Gerçekleştirilen bu çalışmada ise, SolidWorks programı yardımıyla insan el-kol mekanizması şematik olarak üç boyutlu çizilerek ve Solidworks Motion menüsü ile insan kolunun kürek çekme hareketi sırasındaki kinematik analiz olarak açısal konum ve hız değerleri kinetik analiz olarak da eklemlere etkiyen kuvvet ve güç değişimleri analiz edilmiştir.

2 Metot

Bu çalışmanın amacı, kürek çekme hareketi yapan bir kürekçinin üst ekstremitesinin kinematik ve kinetik analizinin gerçekleştirilmesidir. Bu nedenle üst ekstremitte uzuvlarının SolidWorks yazılımında bir katı modeli oluşturulmuştur. Katı model oluşturulduktan sonra SolidWorks Motion modülü ile de uzuvların kinematik ve kinetik analizi yapılmıştır.

2.1 Uzuv Kütlelerinin Hesaplanması

Uzuv kütlelerinin belirlenmesinde, kadavra çalışmalarına dayalı olarak Dempster tarafından geliştirilen uzuv parametrelerinden yararlanılmıştır [9]. Yapılan çalışmalar neticesinde uzuv kütlelerini, toplam vücut kütlelerinin (m_t) oranı şeklinde ifade edilmiştir. Bu çalışmalara dayanarak hesaplanan uzuv kütleleri denklem 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 ve 2.6'da belirtilmiştir (bu çalışmadaki örneğin kütlesi 70.2 kg, boyu 174 cm'dir) [10].

Ayağın kütlesi m_a (kg);

$$m_a = 0.0145 \times m_t \Rightarrow m_a = 0.0145 \times 70.2 = 1.018 \quad (2.1)$$

Bacağın kütlesi m_b (kg);

$$m_b = 0.0465 \times m_t \Rightarrow m_b = 0.0465 \times 70.2 = 3.264 \quad (2.2)$$

Uyluğun kütlesi m_u (kg);

$$m_u = 0.1 \times m_t \Rightarrow m_u = 0.1 \times 70.2 = 7.02 \quad (2.3)$$

Gövdenin kütlesi (m_g) hesaplanırken, baş ve boyun bölgeleri de işleme tabi tutulmuştur. Ancak, sagittal düzlemde vücudun yarısı baz alınarak modelleme işlemi yapıldığı için hesaplanan gövde kütlelerinin yarısı modele dahil edilmiştir [10].

Gövdenin kütlesi m_g (kg);

$$m_g = 0.578 \times m_t \Rightarrow m_g = 0.578 \times 70.2 = 40.57 \quad (2.4)$$

Kolun kütlesi m_k (kg);

$$m_k = 0.028 \times m_t \Rightarrow m_k = 0.028 \times 70.2 = 1.965 \quad (2.5)$$

Ön kolun kütlesi $m_{ök}$ (kg);

$$m_{ök} = 0.016 \times m_t \Rightarrow m_{ök} = 0.016 \times 70.2 = 1.123 \quad (2.6)$$

2.2 Uzuv Boylarının Hesaplanması

Uzuv kütlelerinde olduğu gibi uzuv boylarının hesaplanmasında da antropometrik çalışmalardan faydalanılmaktadır. Bu çalışmaların bazılarında uzuv boyları, toplam vücut boyunun oranı şeklinde belirtilmiştir [10]. Yapılan bu çalışmada, farklı yaş ve fiziksel özelliklerdeki 6 adet tüm haldeki insan kadavrası üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmada, çeşitli ölçümler ve hesaplamalar yaparak insan vücudunun antropometrik özelliklerini incelemişlerdir. Ortalama vücut boyunun 174 cm olduğu bu çalışmadan faydalanılarak; ayak boyu (l_a) 24.33 cm, bacak boyu (l_b) 37.53 cm, uyluk boyu (l_u) 45.82 cm, gövde boyu (l_g) 66.44 cm, kol boyu (l_k) 30.52 cm, ön kol boyu ($l_{ök}$) 26.3 cm olarak belirlenmiştir [9].

2.3 Uzuv Kütle Merkezlerinin Belirlenmesi

İnsan bedenini meydana getiren uzuvların kütle merkezlerinin yerlerinin belirlenmesinde de

antropometrik çalışmalardan faydalanılmaktadır. Bu çalışmada, uzuvların kütle merkezlerinin yeri bulunurken Dempster'in uzuv parametrelerinden faydalanılmıştır [9]. Uzuvların, proksimal uçtan itibaren kütle merkezlerinin yeri denklem 2.7, 2.8, 2.9, 2.10, 2.11 ve 2.12'de hesaplanmıştır [11].

Proksimal uçtan itibaren ayağın kütle merkezinin yeri (R_a);

$$R_a = 0.5 \times l_a \Rightarrow R_a = 0.5 \times 33 = 12.16 \text{ cm} \quad (2.7)$$

Proksimal uçtan itibaren bacağın kütle merkezinin yeri (R_b);

$$R_b = 0.433 \times l_b \Rightarrow R_b = 0.433 \times 37.53 = 16.25 \text{ cm} \quad (2.8)$$

Proksimal uçtan itibaren uyluğun kütle merkezinin yeri (R_u);

$$R_u = 0.433 \times l_u \Rightarrow R_u = 0.433 \times 48.82 = 19.84 \text{ cm} \quad (2.9)$$

Proksimal uçtan itibaren gövdenin kütle merkezinin yeri (R_g)

$$R_g = 0.495 \times l_g \Rightarrow R_g = 0.495 \times 66.44 = 32.88 \text{ cm} \quad (2.10)$$

Proksimal uçtan itibaren kolun kütle merkezinin yeri (R_k);

$$R_k = 0.436 \times l_k \Rightarrow R_k = 0.436 \times 30.52 = 13.3 \text{ cm} \quad (2.11)$$

Proksimal uçtan itibaren ön kolun kütle merkezinin yeri ($R_{ök}$);

$$R_{ök} = 0.43 \times l_{ök} \Rightarrow R_{ök} = 0.43 \times 26.3 = 11.31 \text{ cm} \quad (2.12)$$

3 Sonuçlar ve Tartışma

Yapılan analizler üst ekstremitenin eklemleri olan omuz, dirsek ve el bileği için ayrı ayrı ele alınmıştır. Bu manada ikinci bölümde hesaplamaları yapılan uzuvların SolidWorks programında üç boyutlu katı modeli oluşturulmuştur. Daha sonra oluşturulan katı model SolidWorks Motion arayüzü ile hem hareketlendirilmiş hem de mekanik verileri elde edilmiştir.

3.1 Omuz

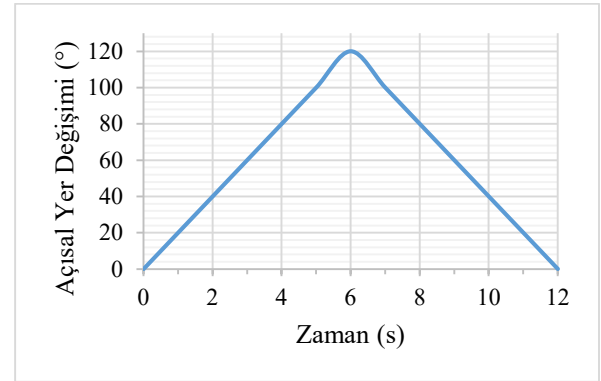
Bir sporcu kolunun, kürek çekme hareketi boyunca kullanılan Solidworks programındaki katı modeli Şekil 1'de görülmektedir. Omuz, dirsek ve el bileği eklemlerine uygun mafsallar tanımlanmıştır. Kürek çekme hareketinin çevrim süresi 12 s ile sınırlandırılmıştır. Omuz eklemine ait açısız konumun zamanla değişimini Şekil 2'deki grafik göstermektedir.

Şekil 2'deki açısız yerdeğişimine bakıldığında; 0° ile başlayıp 6s'de 120° ile maksimum değerine ulaşmıştır. Daha sonra 12s sonra tekrar başlangıç konumuna geri dönmüştür. Açısız konum değişimi yaklaşık olarak doğrusal bir şekilde artmış ve azalmıştır. Ancak Şekil 2'ye

dikkatli bakıldığında 5,5.s ve 6,5. saniyede yaklaşık 100° seviyesinde hafif bir kırılma olduğu görülecektir. Bu durum Şekil 3'teki açısız hız ile zaman değişimi arasındaki grafikte de görülmektedir. Özellikle 5,5. ve 6,5. saniyesine bakıldığında açısız hız değişiminde önce pozitif ardından negatif bir sıçrama yaptığı görülmektedir.

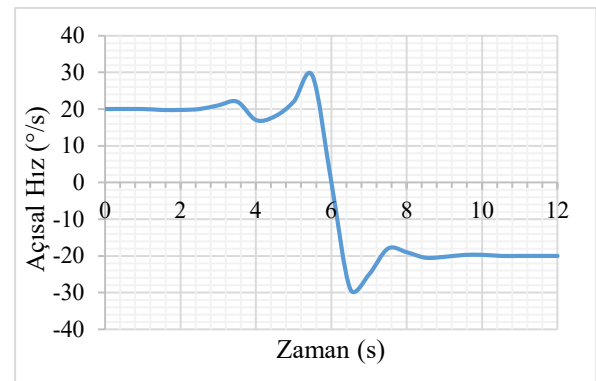


Şekil 1. Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının Solidworks ile gösterimi



Şekil 2. Omuzdaki açısız konum-zaman değişimi

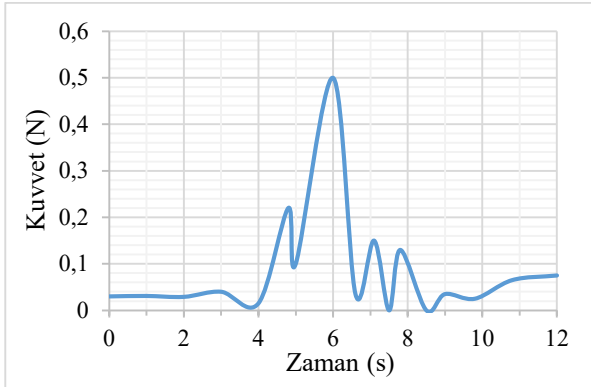
Şekil 3'te açısız hız 3,5s'ye kadar $20^\circ/\text{s}$ ile neredeyse sabit kaldığı akabinde 4.s'de $17^\circ/\text{s}$ 'ye düştüğü görülmektedir. Bu düşüşü takiben 5,5. saniyede maksimum $30^\circ/\text{s}$ 'ye ulaşmıştır. Bu andan itibaren 6.s'de hızlı bir şekilde 0 olmuş ve grafiğin pozitif kısmının simetrisi olacak şekilde bir görüntü sergilemiştir.



Şekil 3. Omuzdaki açısız hız-zaman değişimi

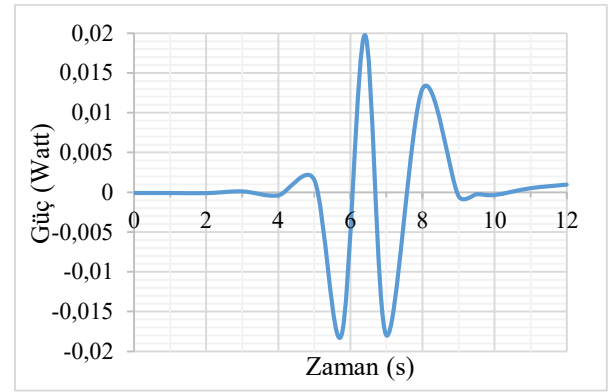
Bu durum literatürde bahsedilen kürek çekmenin dört fazını destekler niteliktedir. [8]. Bu açıdan bakıldığında yakalama, çekiş, sudan çıkış ve yenileme fazları Şekil 3'teki açısız hız-zaman grafiğinde açıkça görülmektedir. Yakalama fazı 4.s'de bitmiş ve çekiş fazına geçmiştir. Açısız hızdaki git gide azalışa bakıldığında çekiş fazı

6.s'de bitmiştir. Bu andan sonra hızın yönü değişmiş yani omuz eklemi ters istikamette dönmeye başlamıştır. Dolayısıyla sudan çıkış fazı başlamıştır. 7,5.s'de sudan çıkış fazının bitmesiyle yenileme fazına geçilmiş ve 12.s itibarıyla kürek çekme hareketi sonlanmıştır.



Şekil 4. Omuzdaki kuvvet-zaman değişimi

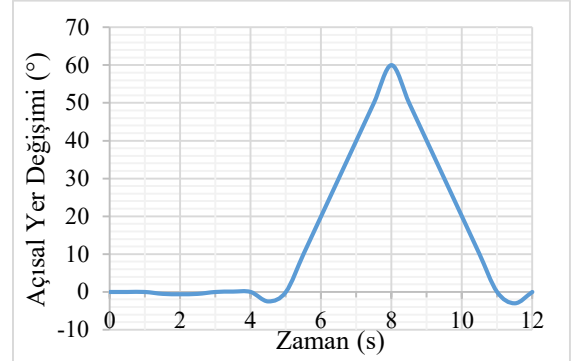
Kürek çekme hareketinin faz geçişleri Şekil 4'de de açıkça görülmektedir. Omuz ekleminde uygulanan kuvvetin zamana bağlı değişimi Şekil 4'deki grafikte verilmiştir. Hareketin 6.s'sinde maksimum 0,5N değerine ulaşmıştır. Bu andan sonra giderek azalmış ve 8,5s'ye kadar salınım yapmıştır. 6.s'nin soluna ve sağına bakıldığında benzer değişimler görülmektedir. Yalnız sol tarafta 4,5-5s arasında sadece bir salınım varken sağ tarafta ise 6,5-8,5s arası iki salınım hareketi görülmektedir. Sol tarafta yakalama fazı için tek bir kuvvet değişimi yapılırken sağ tarafta ise çekiş bitirildikten sonra sudan çıkış için iki hareket yapılmış olur. Bunun için sağ tarafta iki farklı harekete istinaden iki salınım görülmektedir. Bu hareket karakteristiği Şekil 5'te de kendini göstermektedir. Omuz eklemindeki zamanla meydana gelen güç değişimini gösteren Şekil 5'te 4.s'ye kadar bir değişiklik görülmemektedir. Daha sonra 0,0015Watt'lık bir pozitif kısımda görülen güç harcaması görülürken akabinde 5,75s'de -0,018Watt'lık negatif kısımda görülen güç emilimi görülmektedir. Grafiğin buraya kadarki kısmı hareketin yakalama fazını ifade etmektedir. Çünkü güç emiliminin ardından hemen harcanmaya başlayan güç +0,02Watt'ta maksimuma ulaşmıştır. Harcanan bu yüksek güç miktarı çekiş fazını ifade etmektedir. 6,4s'den sonra güç harcanması sona ermiş ve tekrar emilmeye başlanmıştır. 7.s'de tekrar -0,018Watt değerine ulaşmıştır. Emilen bu güç miktarı sudan çıkma fazında tekrar harcanmış ve ardından yenilenme fazı için 9.s'de -0,005Watt'lık emilen güç yenilenme fazı için harcanmıştır.



Şekil 5. Omuzdaki kuvvet-zaman değişimi

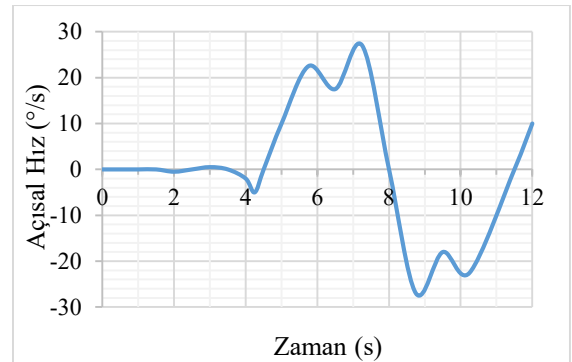
3.2 Dirsek

Dirsek mafsalsının açısal konumunun zamana göre değişimi Şekil 6'da görülmektedir. Genel olarak omuz mafsalsınıninkine benzer bir grafik görülmektedir. Ancak temel olarak görünen iki fark göze çarpmaktadır. Öncelikle maksimum açısal yerdeğiştirme, omuzdakinin yarısı olan 60°'dir. Diğer fark ise, bu maksimum yerdeğiştirmeye 8.s'de ulaşmış olmasıdır. Bunun nedeni, kürek çekme hareketinde omuz mafsalı yakalama fazı ile hemen harekete başlamış ve fakat bu fazda dirsek ekleminde herhangi bir hareket olmamıştır. Dirsek ekleminde hareket 4.s'de başlamıştır. Nitekim Şekil 7'de de 4.s'ye kadar belirgin bir hız değişimi görülmemektedir. Dirsek ekleminin zamana bağlı açısal hız değişimini gösteren Şekil 7'de pozitif yöndeki 27(°/s)'lik maksimum hız 7,25.s'de ulaşmış ve 8.s'de hız 0 olmuştur.



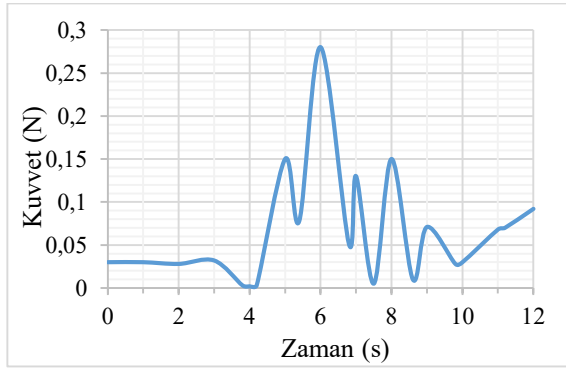
Şekil 6. Dirsekteki açısal konum-zaman değişimi

Bu anda çekiş fazı sonlanmıştır ve sudan çıkma fazı başlamıştır. Çünkü Şekil 7'den görüldüğü üzere hız yön değiştirmiş ve negatif yönde 27(°/s) maksimum değere 8,75.s'de ulaşmıştır. Ardından tekrar hız azalma eğilimine girerek yenilenme fazına girmiştir.



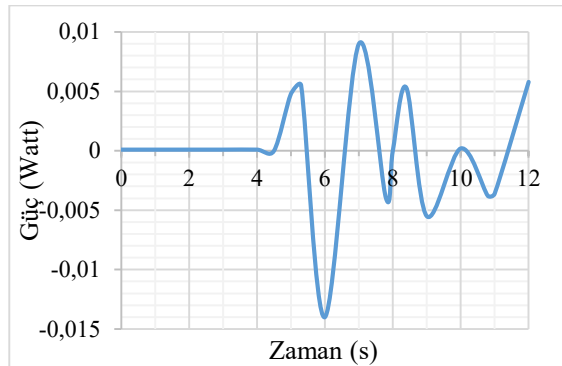
Şekil 7. Dirsekteki açısal hız-zaman değişimi

Dirsek mafsalsındaki kuvvetin zamana bağlı değişimini gösteren Şekil 8'deki grafik de bu durumu doğrular niteliktedir. Bu grafikten görüldüğü üzere 3.s'ye kadar 0,032N değerinde yaklaşık sabit kalmış ve ardından 4.s'de 0 olmuştur. Çünkü yakalama fazında dirsek mafsalsına atalet kuvvetlerinden başka bir kuvvet etkimemektedir. Yakalama fazı bitip çekiş fazı başladıktan sonra 5.s'de 0,15 (°/s)'lik ilk piki yapmış ve akabinde omuz uzvundaki gibi 6.s'de maksimum pik değeri olan 0,28N'a ulaşmıştır. Daha sonra 7,5.s'de 0,005N değerine düşerek çekiş fazının bittiğini ve sudan çıkış fazının başladığını göstermiştir. Ardından 8.s'de 0,15N değerine yükselmiş ve 8,6.s'de sudan çıkış fazı bitmiş ve yenilenme fazına geçmiştir.



Şekil 8. Dirsekteki kuvvet-zaman değişimi

Kuvvet ve hızın çarpımının gücü verdiği hatırlanacak olursa Şekil 9'daki dirsek mafsalsının zamana bağlı güç değişimini gösteren grafiğin işaret ettiklerini görmek daha kolay olacaktır. Bu bağlamda hız-zaman grafiğinde 4.s'ye kadar değer 0 olması ve 4.s'de dirsekteki kuvvetin de 0'a düşmesi neticesinde Şekil 9'daki grafikte 4,5.s'ye kadar güç 0'da kalmıştır. 6.s'de maksimum güç emilimi gerçekleştirilerek -0,014Watt'lık değere ulaşmıştır. Emilen bu güç çekiş fazında harcanmış ve ardından sudan çıkış fazı için hızla negatife doğru dönmüştür. 7,8.s'de tekrar yön değiştirerek 8.s'de 0'dan geçerek sudan çıkış fazı için güç harcanmaya başlamıştır. Akabinde yenileme fazı için tekrar güç emilimi görülmektedir.



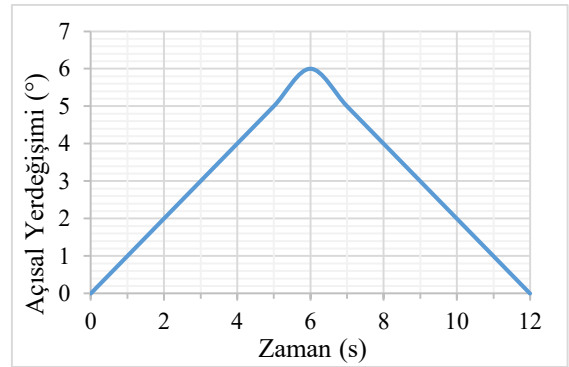
Şekil 9. Dirsekteki güç-zaman değişimi

3.3 Elbileği

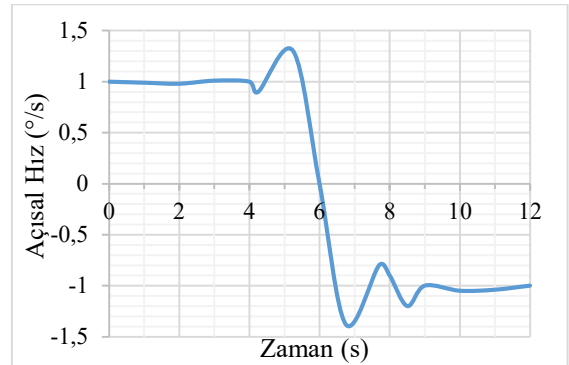
Elbileği eklemelinin açısal konum zaman değişim grafiği Şekil 10'da görülmektedir. Grafikte ilk göze çarpan nokta omuz eklemelinin grafiğine çok benzer

olduğudur. Her ne kadar şekil olarak benzer olsa da değer olarak oldukça farklıdır. Çünkü Şekil 2'deki omuz eklemi için olan maksimum açısal yerdeğişimi değeri 120° iken Şekil 10'daki maksimum değer 6°'dir. Burada da diğer eklemlerdeki gibi 6.s'nin hareketin dönüm noktası olduğu görülmektedir.

Bu bağlamda Şekil 11'de el bileği eklemelinin açısal hızının zamana bağlı değişiminde de 6.s'de açısal hız 0 olmuş ve hareket yön değiştirmiştir. Bilekteki açısal hız değişimi 4.s'ye kadar 1 (°/s)'de sabit kalmıştır. Ardından 0,9 (°/s)'ye küçük bir düşüş yaptıktan sonra 5,25.s'de maksimum 1,3 (°/s)'ye çıkmış ve 6.s'de ise 0 olmuştur. Dolayısıyla 4.s'ye kadar hareketin yakalama fazı, 4.s-6.s'ler aralıdaysa çekiş fazı gerçekleşmiştir. Hareketin hız grafiğinin 6.s'den sonraki kısmında değerler negatif yönde devam etmektedir.

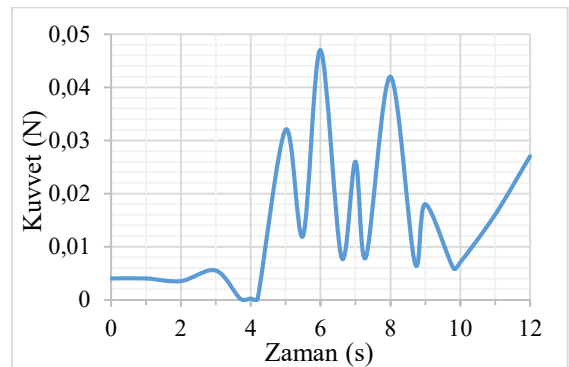


Şekil 10. Elbileğindeki açısal konum-zaman değişimi



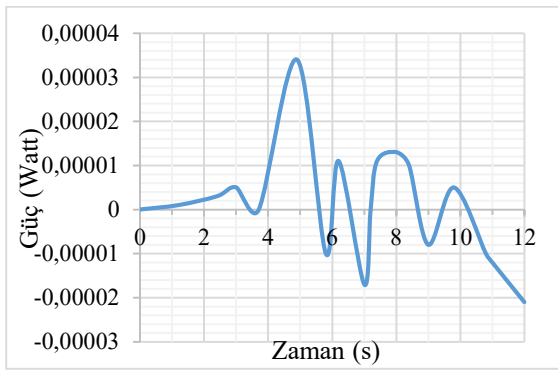
Şekil 11. Elbileğindeki açısal hız-zaman değişimi

Çekiş fazından sonra gelen sudan çıkış fazı 7,7.s'ye kadar sürmüştür. Bu andan itibaren açısal hız değişimi tekrar bir salınım yaptıktan sonra 10.s'den sonra -1,05 (°/s)'de sabit olduğu görülmektedir. 7,7.s'den sonra sudan çıkma fazı bitmiş ve yenilenme fazı başlamıştır.



Şekil 12. Elbileğindeki kuvvet-zaman değişimi

El bileğindeki kuvvet zaman değişiminin görüldüğü Şekil 12'ye bakıldığında dirsekteki kuvvet zaman değişimininkine son derece benzer olduğu görülmektedir. Şekil 12'de de 4.s'ye kadar 0,0035N civarında az bir salınım yaptıktan sonra 4.s'de 0 olmaktadır. Daha sonra 5.s'de 0,032N'da ilk piki yapmış ve ardından 6.s'de 0,047N'luk maksimum değere ulaşmıştır. Bu andan sonra çekiş fazı tamamlanmış ve sudan çıkma fazı başlamıştır. Çünkü eklem kuvveti hızla 0,008N'a düşmüştür. Ardından 8.s'ye kadar sudan çıkma fazı gerçekleşmiş ve akabinde yenilenme fazı başlamıştır. Hareketin faz değişimleri Şekil 13'teki güç zaman değişim grafiğinde de görülmektedir. 3,7.s'de 0 olduktan sonra 4,9.s'de $3,4 \cdot 10^{-5}$ Watt'lık maksimum değere ulaşmış ve 6.s'de tekrar 0 olmuştur. 7.s'de sudan çıkış fazı için $1,7 \cdot 10^{-5}$ W güç emilmiş ve 8.s'de harcanmıştır. 9.s'de emilen güç ise 9,8.s'de yenilenme fazı için harcanmıştır.



Şekil 13. Elbileğindeki güç-zaman değişimi

4 Genel Sonuçlar

Yapılan bu çalışmada kürek çekme hareketi yapan bir sporcunun üst ekstremitesini meydana getiren el, ön kol ve kol uzuvları ile bunların eklemleri olan omuz, dirsek ve el bileğinin kinematik ve kinetik analizleri ortaya konmuştur. Halihazırda yayınlamış çalışmalardan farklı olarak Solidworks Motion yazılımı ile bu kinematik ve kinetik analiz gerçekleştirilmiştir. Genel olarak analiz sonuçlarına bakıldığında gerçekleştirilen modellemenin simülasyonunun mevcut literatürdeki metodoloji ile gayet tutarlı sonuçlar ortaya koyduğu görülmüştür. Bu açıdan bakıldığında bu çeşit analizlerde Solidworks Motion yazılımının kullanışlı olabileceği değerlendirilmektedir. Literatürde bahsedilen kürek çekme hareketinin dört temel fazı olan yakalama, çekme, sudan çıkma ve yenilenme tüm eklemlerdeki grafiklerde bariz bir şekilde görülmüştür. Hem kinematik hem de kinetik analiz sonuçları hep birlikte irdelendiğinde kendi aralarında da tutarlılık göstermişlerdir.

Son olarak, göz önüne alınan örnek uzvun simülasyonu yapılmadan önce SolidWorks'de katı modelinin detaylı ve özgün haline gayet yakın bir biçimde

oluşturulması analiz sonuçlarının daha sağlıklı olmasını sağlayacaktır.

Bilgilendirme

Bu makale Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Teknolojileri Programı'nda "Sportif Hareketler Yapan Bir Sporcuda Üst Ekstremitenin Kinematik ve Kinetik Analizi" adı ile kayıtlı yüksek lisans tezindeki verilerden hazırlanmıştır. Bu çalışma sadece sayısal analiz olarak gerçekleştirilmiş ve herhangi bir insana ait kişisel veriler kullanılmamıştır. Dolayısıyla etik kurul iznine gerek yoktur.

Kaynaklar

- [1] Doğan, M. (2017). The determination of upper extremity movement pattern in functional activities. Hacettepe University, Ankara.
- [2] Rab, G., Petuskey, K., & Bagley, A. (2002). A method for determination of upper extremity kinematics. *Gait & posture*, 15(2), 113-119.
- [3] Hirashima, M., Kudo, K., & Ohtsuki, T. (2007). A new non-orthogonal decomposition method to determine effective torques for three-dimensional joint rotation. *Journal of biomechanics*, 40(4), 871-882.
- [4] Anglin, C., & Wyss, U. P. (2000). Review of arm motion analyses. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: *Journal of Engineering in Medicine*, 214(5), 541-555.
- [5] Ozturk, A., Tartar, A., Huseyinsinoglu, B. E., & Ertas, A. H. (2016). A clinically feasible kinematic assessment method of upper extremity motor function impairment after stroke. *Measurement*, 80, 207-216.
- [6] Çelikel, F., Bingül, B. M., AYDIN, M., & BULGAN, Ç. Kürekçilerin Kürek Ergometresinde 2000 M Kürek Çekişlerinin 3 Boyutlu Biyomekaniksel Analizi. *Sportme Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 15(4), 151-156.
- [7] Černe, T., Kamnik, R., Vesnicer, B., Gros, J. Ž., & Munih, M. (2013). Differences between elite, junior and non-rowers in kinematic and kinetic parameters during ergometer rowing. *Human movement science*, 32(4), 691-707.
- [8] Bulgan, Ç. (2015). Durgunsu Sprint Kayak Tekniğinin 3b Kinematik Analizi. Ankara Üniversitesi, Ankara.
- [9] Dempster, W. T., Sherr, L. A., & Priest, J. G. (1964). Conversion scales for estimating humeral and femoral lengths and the lengths of functional segments in the limbs of American Caucasoid males. *Human Biology*, 36(3), 246-262.
- [10] Kaptı, A.O. (2001). İnsan Alt Ekstremitesinin İncelenmesi ve Aktif Dizüstü Protezi Tasarımı. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [11] Robertson, D. G. E., Caldwell, G. E., Hamill, J., Kamen, G., & Whittlesey, S. (2013). *Research methods in biomechanics*. Human kinetics.



THE SEASONAL BEHAVIOR OF THE CHARACTERISTIC WAVE IN LOW LATITUDES

Kadri Kurt^{*1} 

¹Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Elazığ, Türkiye

Abstract

Original scientific paper

This study aims to investigate the magnitude of polarization of characteristic wave ($D_z=0$), for all seasons by using the real geometry of the Earth's magnetic field for the selected altitudes (390, 410, 450, 500, 550 and 600 Km) in the equatorial anomaly region at low latitudes (-30°S and 30°N). The part of imaginary of the characteristic wave having a complex structure in latitudes where equatorial anomaly occurs it has a dramatically resemblance to the change of electron density, and the real part has been similarity showing with the change with latitude of the refractive index for all seasons for 12.00-24.00LT.

Keywords: *Ionosphere, Characteristic wave, Equatorial Anomaly*

1 Introduction

So far, many important studies have been done and continue to be done in order to know the chemical and physical structure of the ionosphere and recognize the structure of the ionosphere. In addition, more advanced studies are needed in terms of communication and technology regarding the interaction of the ionosphere with the electromagnetic wave, and these studies are increasingly continuing [1-18]. In this sense, the study of wave polarization is only one of them. As a concept, polarization is used in physics in two basic terms. The first of them is volume polarization, and the other is the polarization of wave [8,10-12]. It is the wave that does not change the polarization direction when the characteristic wave propagates any medium. When there is any possibility of confusion, these shall refer to two magnitudes as "the volume-polarization and the wave-polarization" respectively. It is interesting to note that the two meanings, now thought of quite differently, originated in the same idea that of producing opposite polarity at opposite ends of line. The relation to the volume polarization is obvious. In relation to wave-polarization, the term arose when it was thought that light was the corpuscles in nature, and to explain the facts of double refraction it was suggested that the corpuscles acquired a polarity along a certain direction, known as the direction of polarization. But these two polarities are not independent from each other. From a detailed analysis of the response of the charge carriers to the oscillating E and B fields, one can deduce a linear relationship between the electric field E of wave and the polarization [9-11].

The behavior of the F2- region in the ionosphere is different at low latitudes [1-6]. Sometimes, the electron density at midnight is greater than the electron density at noon because of ionization is scattered throughout the magnetic field of the Earth. This distribution affects the latitude distribution of ionization and the daily change of electron density formed in electromagnetic drift. The electron density is seen, peaks between 15° - 20° north and 00° - 5° south, in cavities (magnetic equator) 5° - 10° North. The behavior of electron density at F2 region is called as the equatorial anomaly in ionosphere plasma [4,5,7].

Many researchers have done extensive research on the physical and chemical processes in the ionosphere and the behavior of the electromagnetic wave in the ionosphere, especially propagation, reflection and refractive index like many more subjects [1-7]. However, there are limited studies on the polarization of the electromagnetic wave in ionospheric plasma [8-14]. We have focused on this issue for some special conditions in ionospheric plasma. Because, polarization is a measure of the behavior of the electromagnetic wave in a medium and the response of the medium.

In this study, we investigated the relationship between the magnitude polarization of a characteristic wave and the equatorial anomaly for different heights of the ionosphere F2-region.

2 Volume Polarization Tensor for Cold Ionosphere Plasma

We obtained the volume polarization tensor for the cold plasma conditions in ionospheric plasma and compared the magnitudes of volume polarization the

* Corresponding author.

E-mail address: payhez@gmail.com (K. Kurt)

Received 09 April 2021; Received in revised form 09 May 2021; Accepted 09 June 2021

2587-1943 | © 2021 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.910383>

ambient magnetic field in northern hemisphere is given by [3-6];

$$\mathbf{B} = B_x \mathbf{a}_x + B_y \mathbf{a}_y + B_z \mathbf{a}_z \quad (1)$$

Where $B_x=B_0 \cos I \sin d$, $B_y=B_0 \cos I \cos d$ and $B_z= -B_0 \sin I$. I and d are the magnetic dip and the magnetic declination angles, respectively. The force acting on electron in the cold plasma is given by

$$m \frac{d\mathbf{r}}{dt} = -e\mathbf{r} \times \mathbf{B} + \mathbf{r} \times \mathbf{B} \frac{d}{dt} m \mathbf{v} \quad (2)$$

In which \mathbf{r} , \mathbf{B} , \mathbf{E} and ν (=electron-ion+electron-notr collisions frequency) are position vector (\mathbf{r}), Earth magnetic field, electric field and electron mass (m) and electron collision frequency, respectively. In here, all of fields change like $e^{i(\omega t - k \cdot r)}$. The movement of an electron from a point A to point B is equivalent to leaving the original electron undisturbed at A and adding a dipole [15].

If there are N electron per unit volume, and if all move through equal distance \mathbf{r} , equivalent dipole moment, which is the polarization is given by [11-15].

$$\mathbf{P} = N e \mathbf{r} = e_0 \chi \mathbf{E} \quad (3)$$

The movements of the electrons and the polarization \mathbf{P} is produced by the electric field of wave \mathbf{E} . If there is no applied magnetic field, and then \mathbf{P} and \mathbf{E} are parallel, otherwise \mathbf{P} and \mathbf{E} are not parallel. If we use Eqs. (1-3) together, Volume polarization for northern hemisphere is obtained by

$$(i\omega\nu - \omega^2)P_x - i\omega\omega_c P_y + i\omega\omega_c P_z = \frac{Ne^2}{m} E_x \quad (4)$$

$$(i\omega\nu - \omega^2)P_y + i\omega\omega_c P_x - i\omega\omega_c P_z = \frac{Ne^2}{m} E_y \quad (5)$$

$$(i\omega\nu - \omega^2)P_z - i\omega\omega_c P_x + i\omega\omega_c P_y = \frac{Ne^2}{m} E_z \quad (6)$$

from here,

$$P_x = \frac{a[(i\omega\nu - \omega^2)^2 + \omega^2\omega_c^2]}{A + iB} E_x + \frac{a[i\omega\omega_c(i\omega\nu - \omega^2)^2 - \omega^2\omega_c^2\omega_c]}{A + iB} E_y + \frac{a[-i\omega\omega_c(i\omega\nu - \omega^2)^2 - \omega^2\omega_c^2\omega_c]}{A + iB} E_z \quad (7)$$

$$P_y = \frac{-a[i\omega\omega_c(i\omega\nu - \omega^2)^2 + \omega^2\omega_c^2\omega_c]}{A + iB} E_x + \frac{a[(i\omega\nu - \omega^2)^2 - \omega^2\omega_c^2]}{A + iB} E_y + \frac{a[i\omega\omega_c(i\omega\nu - \omega^2)^2 - \omega^2\omega_c^2\omega_c]}{A + iB} E_z \quad (8)$$

$$P_z = \frac{a[i\omega\omega_c(i\omega\nu - \omega^2)^2 - \omega^2\omega_c^2\omega_c]}{A + iB} E_x + \frac{a[-i\omega\omega_c(i\omega\nu - \omega^2)^2 - \omega^2\omega_c^2\omega_c]}{A + iB} E_y + \frac{a[(i\omega\nu - \omega^2)^2 - \omega^2\omega_c^2]}{A + iB} E_z \quad (9)$$

If all the polarization coefficients are rearranged both real and imaginary, P_x , P_y and P_z are obtained as.

$$P_x = (\chi_{11R} - i\chi_{11S}) E_x + (\chi_{12R} + i\chi_{12S}) E_y + (\chi_{13R} + i\chi_{13S}) E_z \quad (10)$$

$$P_y = (\chi_{21R} + i\chi_{21S}) E_x + (\chi_{22R} - i\chi_{22S}) E_y + (\chi_{23R} - i\chi_{23S}) E_z \quad (11)$$

$$P_z = (\chi_{31R} - i\chi_{31S}) E_x + (\chi_{32R} + i\chi_{32S}) E_y + (\chi_{33R} - i\chi_{33S}) E_z \quad (12)$$

Volume-polarization tensor could be obtained depending the permittivity coefficient (χ) of ionospheric plasma as follow

3 The Polarization of Characteristic Wave in The Cold Ionospheric Plasma

The electric flux (\mathbf{D}) of any medium is given by well-known equation as follow [8-15].

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P} \quad (13)$$

The electric flux into propagation direction of the characteristic wave cannot be occurred. Due to this, $D_z=0$, when this condition is used into eq. (12) and substitute into Eqs. (10-11). The coefficients of polarization are obtained by

$$P_x = (\mu_R + i\mu_S) E_x + (\sigma_R + i\sigma_S) E_y \quad (14)$$

$$P_y = (\rho_R + i\rho_S) E_x + (W_R + iW_S) E_y \quad (15)$$

$$\frac{P_x}{P_y} = \frac{E_x}{E_y} \quad (16)$$

when eqs. (15-17) are used together; the equation of characteristic wave is as follow.

$$\left(\frac{E_x}{E_y}\right)_{1,2} = \frac{-(K_R + iK_S) \mp \sqrt{K_{1R}^2 + iK_{1S}^2}}{2(\rho_R^2 + \rho_S^2) \mp 2(\rho_R^2 + \rho_S^2)} \quad (17)$$

We could write for the expression in square root after mathematical manipulation as follow.

$$\sqrt{K_{1R}^2 + iK_{1S}^2} = \sqrt{K_{1R}^2 + K_{1S}^2} \left[\cos\left(\frac{\theta + 2k\pi}{n}\right) + i \sin\left(\frac{\theta + 2k\pi}{n}\right) \right] \quad (18)$$

in which $n=2, k=0,1$

4 Numerical Analysis and Results

In this study, the wave polarization for the characteristic wave was calculated as seasonal the latitudes by using Eq. (17), at hour 12.00 and 24.00 and as local time for 1990 year. The ionospheric parameters used for calculation were obtained by using the IRI model, according to the accepted conditions. We investigated the seasonal change of eqn. (17) with respect to latitude for 12.00 and 24.00 LT at 390, 410, 450, 500, 550 and 600 km altitudes (these heights are the altitudes at which equatorial anomaly occurs at F2-Region and low latitudes in ionospheric plasma) for the characteristic wave in ionospheric plasma. The most important feature of the characteristic wave; as wave travel in any medium, the polarization direction of wave cannot change. Besides, there is no induced magnetic polarization corresponding to electric polarization and in the direction of the wave's progress doesn't occur the electric flux. For

corresponded conditions in Figure 1, the magnitude of both the real and the imaginary part of the wave polarization are given for latitudes at 12.00- 24.00 LT as seasonal. Looking at all the Figures (1-4), we can make a general comment on the magnitude of the real part of wave polarization, for all seasons. They are the same trends for all seasons and almost equal in magnitude. Their variation decreases exponentially, peaking between -10° and -20° at low latitudes at both day and night for all season and the refractive index is order of magnitude (Figure 1-4). But the behaviour of the magnitude of the imaginary part of the characteristic wave at low latitudes is interesting for all seasons. The magnitude of the imaginary part of the characteristic wave is given at Figure 1 for March 21. According to this, for the heights of 600,550,550 km the magnitudes of polarization (for imaginary part) are sharply decreasing very close to the equator, making a striking peak at about -5° south. However, for other heights (390,410 and 450 Km) there is a maximum increase 10° south. Its numerical values are larger at night compared to daytime and has a peak at 10° S for all season at 24.00LT.

For June 21, the magnitude of the imaginary part of the characteristic wave is given in Figure 2 for low latitudes at 12.00 and 24.00 LT. Accordingly, in both cases, a cavity occurred approximately at $0-10^{\circ}$ S and had the smallest value and continues to increase after this latitude. For imaginary parts, similar situations are observed in other seasons for 12.00 and 24.00LT (Sempt.23, December 21). The behavior of the magnitude of the imaginary part of the characteristic wave at low latitudes is generally similar to that of the electron density. However, this adjustment is observed more sharply at lower heights. The changes of the imaginary part with latitude at 12.00LT are very similar in terms of both trend and size for March-December and June-September for 450,500,550 and 600 Km. The trend has sharper ups and downs for 390 and 400 Km. These are compatible with the literature [1,7-8].

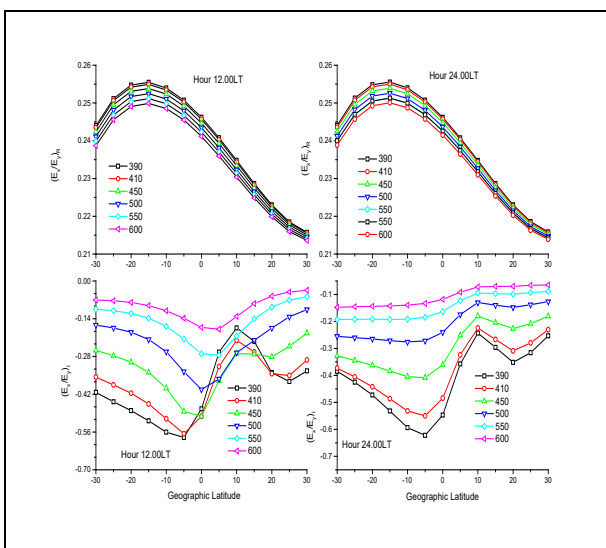


Figure 1. The change with latitude imaginary of parts of the polarization wave (12.00 and 24.00LT; March 21).

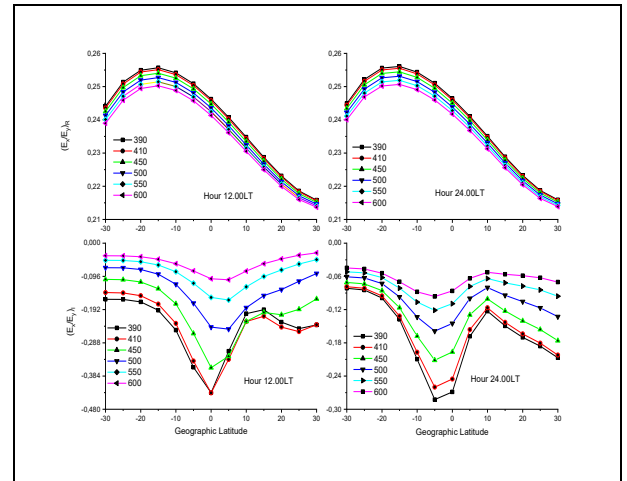


Figure 2. The change with latitude imaginary of parts of the polarization wave (12.00 and 24.00LT; June 21)

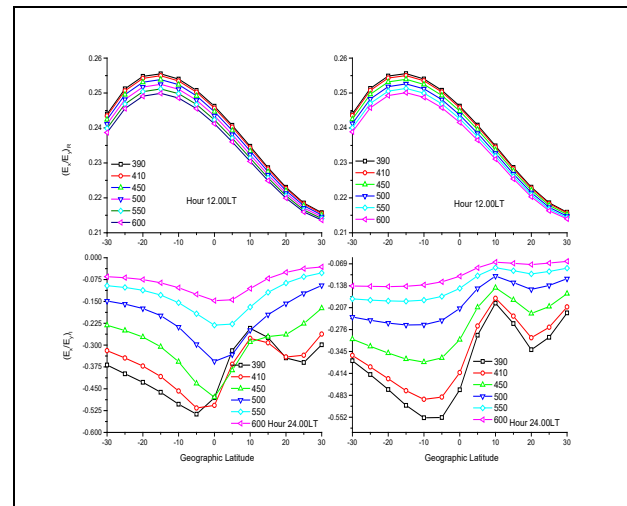


Figure 3. The change with latitude imaginary of parts of the polarization wave (12.00 and 24.00LT; Sempt. 23).

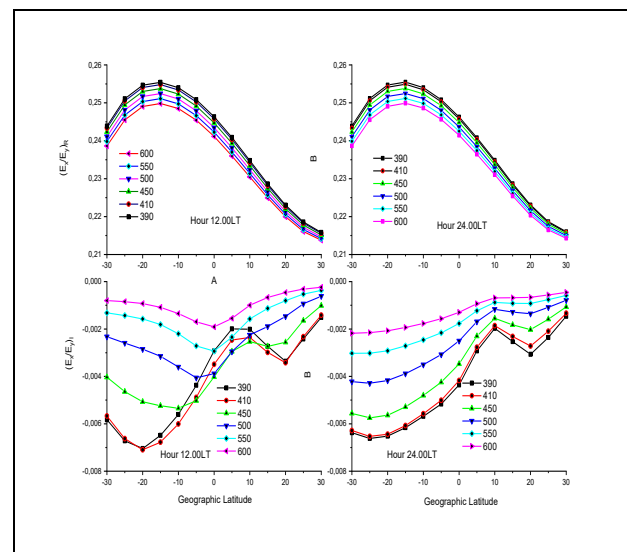


Figure 4. The change with latitude imaginary of parts of the polarization wave (12.00 and 24.00LT; December 21).

5 Conclusions

In this study it has been investigated the magnitude of polarization of characteristic wave ($D_z=0$), for all seasons by using the real geometry of the Earth's magnetic field in low latitudes for ionospheric plasma with respect to Eq. (17). The results obtained are truly surprising. As a matter of fact, if the earth's magnetic field is taken into account, polarization is ecliptic and the electric field vector does not sweep a circle. Theoretically, this is not surprising. However, it is interesting to see that both the real part and the imaginary part have great values mid-latitudes. For the accepted conditions, the conclusion we infer from all these data; The real part of the magnitude of polarization of the characteristic wave is approximately similar for all seasons and very close as magnitude refractive index order of it [4,11]. But the imaginary part is actually very close to the change of electron density at low latitudes. Moreover, magnitudes in summer are larger than in winter, and central cavities appear on the magnetic dip equator "approximately between $-10^0S;10^0N$ ".

References

- [1] Ünal, İ., Şenalp, E. T., Yeşil, A., Tulunay, E., & Tulunay, Y. (2011). Performance of IRI-based ionospheric critical frequency calculations with reference to forecasting. *Radio Science*, 46(01), 1-10.
- [2] Yeşil, A., & Ünal, İ. (2011). Electromagnetic wave propagation in ionospheric plasma. *Behaviour of Electromagnetic Waves in Different Media and Structures*, 189.
- [3] Yeşil, A., & Sağır, S. (2019). Updating Conductivity Tensor of Cold and Warm Plasma for Equatorial Ionosphere F2-Region in The Northern Hemisphere. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, 43(1), 315-320.
- [4] Sağır, S., & Yeşil, A. (2018). The Relation Between the Refractive Index of the Equatorial Ionospheric F2 Region and Long-Term Solar Indices. *Wireless Personal Communications*, 102(1), 31-40.
- [5] Yeşil, A., & Kurt, K. (2018). Calculation of electric field strength in the ionospheric F-region. *Thermal Science*, 22(Suppl. 1), 159-164.
- [6] Timoçin, E., Yeşil, A., & Ünal, İ. (2014). The effect of the geomagnetic activity to the hourly variations of ionospheric foF2 values at low latitudes. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(10), 4437-4442.
- [7] Swanson, D. G. (2012). *Plasma waves*. Elsevier.
- [8] Whitten, R.C., Poppoff, I.G. (1971). *Fundamentals of Aeronomy*, John Willey and Sons, New York.
- [9] Budden, K.G. (1988). *The Propagation of Radio Waves*, Cambridge University Press, Cambridge.
- [10] Budden, K. G., & Stott, G. F. (1980). Rays in magneto-ionic theory-II. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 42(9-10), 791-800.
- [11] Richard, F. (2014) *The physics of Plasma*, CRC press, New York, 50–140.
- [12] Rishbeth, H. (1973). Physics and chemistry of the ionosphere. *Contemporary Physics*, 14(3), 229-249.
- [13] Rishbeth, H., & Garriott, O. K. (1969). Introduction to ionospheric physics. *Introduction to ionospheric physics*.
- [14] Ratcliffe, J.A. (1959). *The magneto-ionic Theory and Its applications to the ionosphere*, Cambridge at the University Press, London.
- [15] Sağır, S., Yaşar, M., & Atıcı, R. (2019). The Relationship between Dst, IMF-Bz and Collision Parameters for $O^{++} N 2 \rightarrow NO^{++} N$ Reactive Scattering in the Ionosphere. *Geomagnetism and Aeronomy*, 59(8), 1003-1008.
- [16] Yaşar, M. (2021). The solar eclipse effect on diffusion processes of $O^{++} O_2 \rightarrow O_2^{++} O$ reaction for the upper ionosphere over Kharkov. *Thermal Science*, (00), 7-7.
- [17] Yasar, M. (2021). The Change Of Diffusion Processes For $O^+ + N_2 \rightarrow NO^+ + N$ Reaction In The Ionospheric F Region During The Solar Eclipse Over Kharkov, *Thermal Science*, 25 (1), 51-56.
- [18] Yaşar, M., Atıcı, R., & Sağır, S. (2018). The change of the collision parameters of ' $O^+ + N_2 \rightarrow NO^+ + N$ ' reaction according to geomagnetic activity days in the ionosphere, *MSU J. Sci.*, 6, 529–532.



EFFECT OF BISMUTH ADDITION ON THE CORROSION DYNAMICS OF Sn–3Ag–0.5Cu SOLDER ALLOY IN HYDROCHLORIC ACID SOLUTION

Ahmet Mustafa Erer*¹ 

¹Karabük University, Science Faculty, Physics Department, 78000 Karabük-Turkey

Abstract

Original scientific paper

This study aims to investigate the effects of bismuth addition on the corrosion behaviour of Sn–3.0Ag–0.5Cu (SAC 305) solder alloy in 1M HCl acid solution under potentiodynamic polarization. After electrochemical tests, scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX) were used to examine and characterize the properties of the samples. Polarization studies indicate that the addition of 0.5, 1, and 2 wt.% Bi in the SAC305 solder alloy does not significantly change the corrosion potentials. Instead of a true passivation region, a pseudo-passivation region is observed in which currents are nearly constant (though high). This pseudo-passive region does not include a reactivation point within the scanning interval. On the other hand, the corrosion rates follow a pattern in which 1 wt.% bismuth replacement of silver causes a decrement in corrosion rate. However, the corrosion rate increases with the further replacement of silver with bismuth. Microstructure analysis reveals the existence of gaps and porosities which introduce limits on the formation and stability of protective passive corrosion products.

Keywords: Bi-addition, corrosion, microstructure, Pb-free solder alloys, potentiodynamic polarization, HCl acid solution.

1 Introduction

Solder alloys are used to provide mechanical integration and electrical connection of electrical circuit elements in the electronics industry [1]. Lead (Pb) containing solder alloys have been widely used commercially for many years in electronics applications [2]. Sn-Pb soldering alloys have been accepted as the most reliable product as interconnection material in electrical and electronic devices. The low melting temperature, eutectic structure, affordable cost, high wetting ability, and good mechanical properties make this alloy an excellent interconnection material [3].

However, due to increasing health and environmental concerns regarding the element of Pb, many countries and organizations around the world have legislated laws to limit the use of Pb in electronic applications [4]. In electronic devices and other products containing solder, the Restriction of Hazardous Substances (RoHS) directive of the European Union limits the use of heavy metals and hazardous substances [5].

For this reason, the search for lead-free solder alloys, which can be an alternative to Pb-containing solder alloys, has become an important research topic in the electronics industry. In this context, various Sn-based unleaded solder alloys such as Sn-Ag, Sn-Cu, Sn-Zn, Sn-Bi, Sn-In, and Sn-Ag-Cu (SAC) have been developed [4]. SAC alloys are candidates that can be an alternative to Sn-Pb solder alloys due to their relatively lower cost, low melting temperature, and superior mechanical properties among

the types of Pb-free solder alloys [6]. The reliability of high-performance connection materials is very important for the long-lasting use of electronic devices. Compared to other ternary Pb-free soldering alloys, SAC305 alloy has started widespread use as an electrical conduction material in the microelectronics industry and in the connection of devices, due to its lower melting temperature, high wetting ability, and higher mechanical durability [7,8].

In recent years, there have been studies on the corrosion behavior of Pb-free solder alloys, especially SAC305 alloys [9]. Such as Wang et al. have investigated the corrosion behavior of SAC305 solder alloy using 5% sodium chloride (NaCl) solution by weight. They noted that the SAC305 solder joint acts as an anode by itself and has less corrosion potential than that of Cu, which acts as cathode [10]. Nurwahida et al. examined the effect of 1 M hydrochloric acid (HCl) solution on the corrosion performance of SAC305 and compared its corrosion properties with 3.5% NaCl solution by weight. Meanwhile, they revealed that the dispersion of small and homogeneous Ag₃Sn intermetallic particles in the rich Sn matrix plays an important role in corrosion resistance, as it can determine the corrosion performance of SAC305 [11]. So far, NaCl [12,13] solution has been used in various studies on the corrosion properties of SAC305. However, such studies are limited to low pH HCl environment, which is known as highly aggressive environment for metallic alloys.

* Corresponding author.

E-mail address: mustafaer@karabuk.edu.tr (A.M. Erer)

Received 08 April 2021; Received in revised form 18 April 2021; Accepted 29 April 2021

2587-1943 | © 2021 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.911862>

The purpose of this work is to determine the effect of Bi on the corrosion dynamics of Sn–(3-x) Ag–0.5Cu–xBi (where x=0, 0.5, 1, and 2) in 1 M HCl acid solution. Corrosion tests have been performed in HCl solution by potentiodynamic polarization. Scanning electron microscope (SEM) coupled with energy dispersive X-ray analysis (EDX) were used to determine compositions of the corrosion products.

Table 1. The chemical composition of alloys tested (wt%).

Alloys	Sn	Ag	Cu	Bi	Mg	Al	Fe
SAC-0.5Bi	96.2206	2.6841	0.5029	0.4554	0.0574	0.0504	0.0212
SAC-1Bi	96.4083	2.0100	0.4967	0.9912	0.0283	0.0491	0.0164
SAC-2Bi	96.4655	1.0252	0.4787	1.9832	0.0000	0.0249	0.0225
SAC305	96.5000	2.9800	0.4900	0.0000	0.0120	0.0000	0.0180

In order to determine individual phases (crystal structures) and corresponding diffraction planes formed in the microstructure of SAC305 and SAC-xBi (0.5, 1 and 2 wt.%) Pb-free alloys, we applied an X-ray diffraction (XRD) analysis using a "RIGAKU - ULTIMA IV" machine. Microstructural analysis was examined before and after corrosion measurements by using "CARL ZEISS ULTRA PLUS GEMINI FESEM" and "Q150R ROTARY-PUMPED SPUTTER COATER / CARBON COATER" model SEM device [15].

Specimens of working electrodes are polished with SiC papers of mesh sizes starting with 400 and ending with 1200. As a last step of polishing, we used a solution of Al₂O₃ microparticles on a smooth napless cloth. Polished specimens were cleaned with alcohol and dried immediately. Before polarizations, an open circuit monitoring was held for 10 minutes to ensure potentiostatic stabilization of working electrode surfaces. We used Ag/AgCl reference electrode with a pair of graphite rods as the counter electrode with specimens as the working electrodes of the usual three-electrode setup. A 1M HCl acid solution was chosen as a highly aggressive environment for our specimens to determine the lowest limits of corrosion resistance. We scanned potentials between -1.0V vs. Ag/AgCl and +1.0V vs. Ag/AgCl to ensure to locate possible passivation and de-passivation regions. The scanning rate was 1 mV /s.

3 Results and discussion

3.1 Solder characterization

Figure 1 presents the microstructures of SAC305 and SAC-xBi (0.5, 1 and 2 wt.%) alloys. The hollow structures seen in the SEM analysis show the β -Sn matrix which are Sn rich areas. Cu₆Sn₅ is the large particles of Sn-Cu intermetallics, while the structures consisting of small particles are Ag₃Sn intermetallic particles. Meanwhile it is also seen that Ag₃Sn and Cu₆Sn₅ phases dispersed in β -Sn matrix contain full eutectic structure [16,17]. As can be seen from the tin-bismuth equilibrium diagram in the literature [18,19], it forms up to 2% Bi solid solution at room temperature. Therefore, the secondary phases associated with Bi do not appear in Fig. 1.

Fig. 2 shows the XRD results of the solder alloy samples under consideration. In accordance with the microstructure results mentioned above, the peaks are

2 Experimental

In the present work, we study the corrosion properties of the new low-Ag-content quaternary Pb-free solder alloys produced by adding xBi (x = 0.5, 1 and 2%) to the SAC305 alloy in our previous study [14]. The chemical compositions of the samples are given in Table 1.

associated with the Sn-rich phases for all specimens, with the presence of Ag₃Sn and Cu₆Sn₅ intermetallics for the Sn-Ag and Sn-Cu alloys, respectively [20].

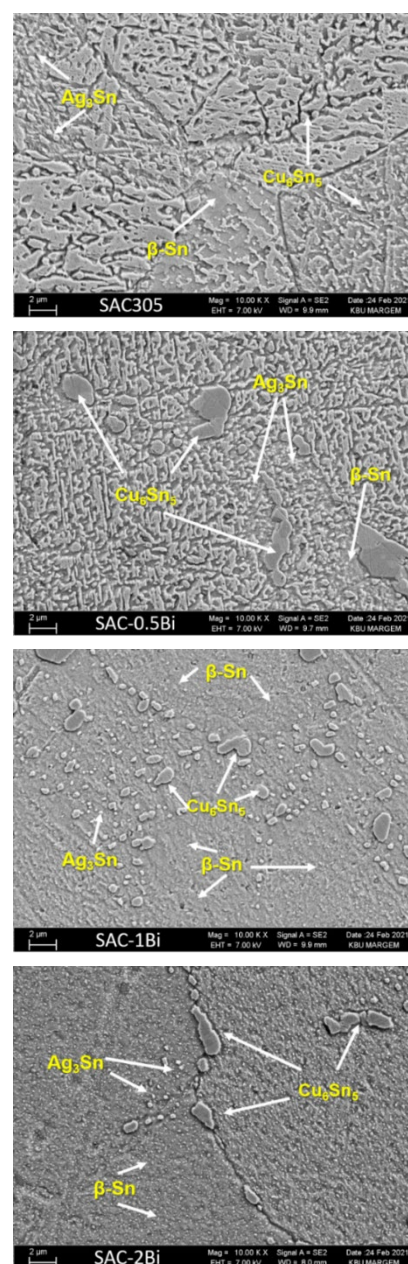


Figure 1. SEM images for the as-prepared SAC305 and SAC-xBi (0.5, 1 and 2 wt.%).

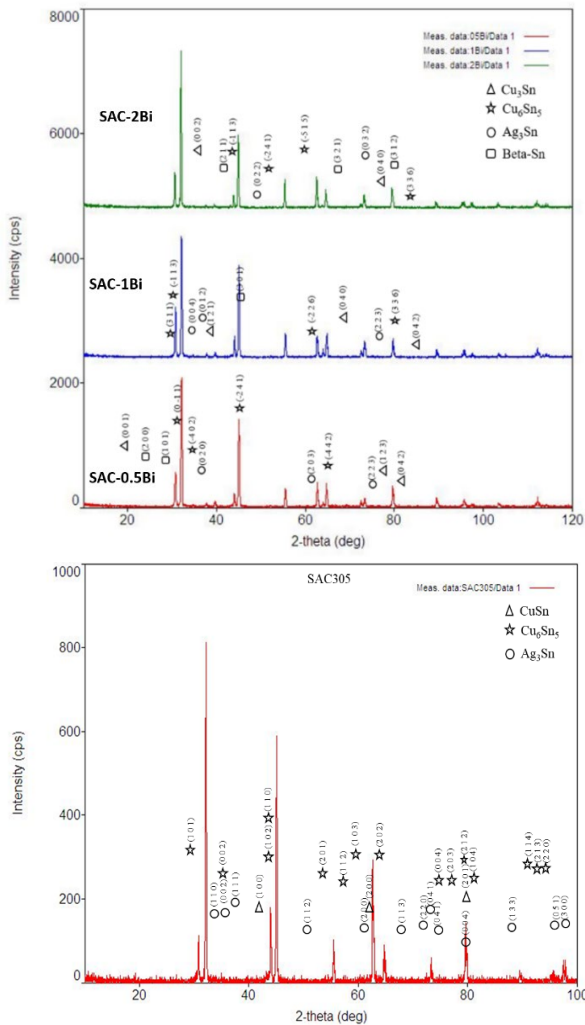


Figure 2. XRD analysis of SAC305 and SAC-xBi (0.5, 1 and 2 wt.%).

3.2 Potentiodynamic Polarization Analysis

Plots of potentiodynamic polarization scanning are given in Fig. 3. The absence of passivation regions is clear. In a passivation region, the current density should change its course at some specific potential of anodic polarization and accept very low values compared to values observed just before entering the region. Instead, SAC305 and SAC-xBi (0.5, 1 and 2 wt.%) have only a pseudo-passivation region in which current densities are constant and do not react to changes in scanning potentials from about +0.1 V to the end of the scanning region (+1.0 V). All bismuth-containing sub-alloys enter this pseudo-passivation region slightly later (with 0.1 V difference) than SAC305. Note that the current density in pseudo-passivation regions is much higher than one can have with NaCl solution [21]. This should be expected because of the extreme acidity of the 1M HCl environment. Another interesting point is that the lack of a reactivation point at which the pseudo-passivation region ends. As one can easily see from Fig. 3, even at the end of the scanning region (+1.0 V) pseudo-passivation region holds. This is different from the observed behavior reported by other studies which mainly used NaCl-based solutions [22,23]. The quantitative results of potentiodynamic polarization measurements are given in Table 2. We observed similar corrosion potentials for all the alloys within this study.

This is expected as the ratios of bismuth within these alloys are not high enough to trigger a significant change. Using Tafel extrapolations, we obtain corrosion current densities with corresponding corrosion rates of each alloy. It seems that overall corrosion rates follow a pattern in which %1.0 bismuth replacement of silver causes a drop in corrosion rate. With the further replacement of silver with bismuth, however, the corrosion rate increases.

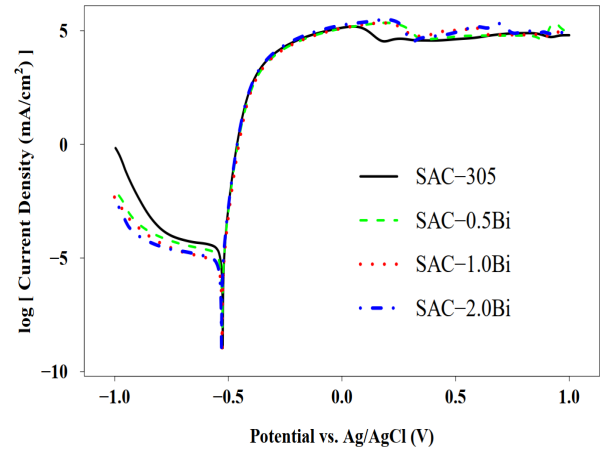


Figure 3. Potentiodynamic polarization curves of SAC305 and SAC-xBi (0.5, 1 and 2 wt.%).

Table 2. Corrosion parameters of SAC305 and SAC-xBi (0.5, 1 and 2 wt.%) in 1M HCl acid solution.

Specimen	i_{corr} ($\mu\text{A} / \text{cm}^2$)	CR (mm / year)	E_{corr} (V)
SAC-0.5Bi	17.286	0.466	-0.527
SAC-1Bi	11.063	0.298	-0.528
SAC-2Bi	14.056	0.379	-0.530
SAC305	18.095	0.488	-0.525

The low Corrosion Current Density (i_{corr}) value means that the corrosion rate is low, and the higher the current density the higher the corrosion rate. Up to 1% Bi addition to the SAC305 solder alloy, the i_{corr} values decrease. It tends to increase again after this value. However, the i_{corr} values are still lower than the SAC305 solder alloy. When the corrosion rate is examined, it can be said that the SAC-1Bi alloy with the lowest rate is more resistant to corrosion than the SAC305 alloy.

3.3 Post-corrosion characterizations

In Figure 4, the SEM views of the analysed solder alloys are given after potentiodynamic testing. With the increase of Bi addition to SAC305 solder alloy, it is seen that the oxide film formed as a corrosion product gradually becomes coarse and it finally becomes spherical at 2% Bi addition. As can be seen from EDX analysis of corrosion products as given in Table 3, it is observed that corrosion products have larger Ag content by weight up to 1% Bi addition. In case of adding more Bi (i.e. 2% Bi addition), the regions containing large spherical Cu increase.

The occurrence of copper-rich corrosion products yields reduced corrosion resistance. This is due to the formation of the Cu_6Sn_5 phase (Fig. 1), which is distributed along the grain boundaries in microstructure studies.

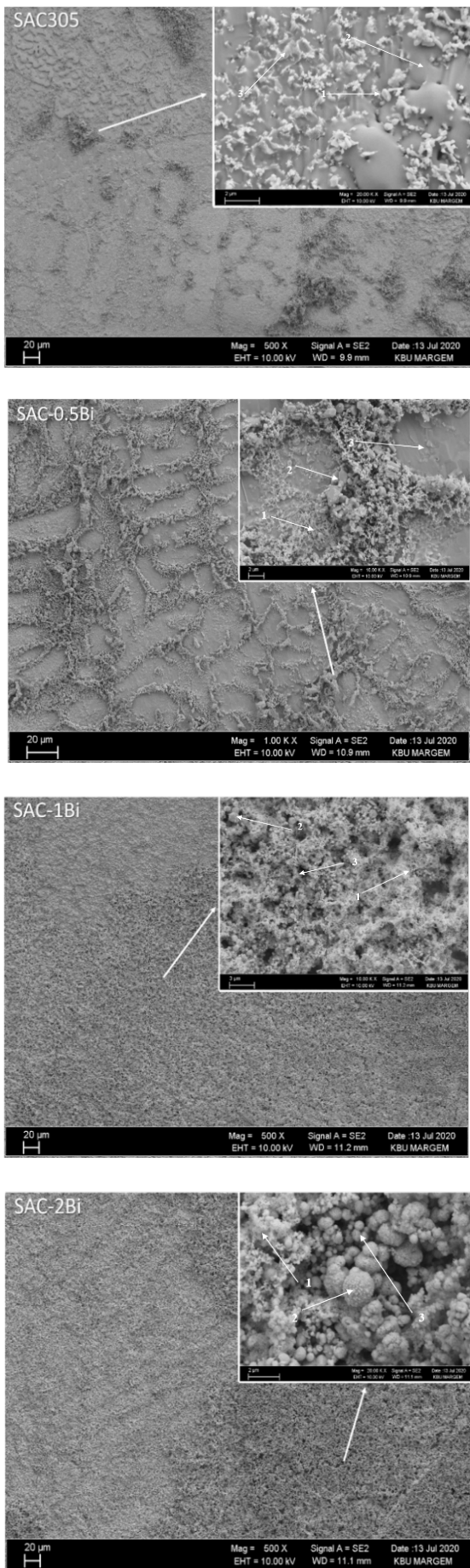


Figure 4. SEM analysis of SAC305 and SAC-xBi (0.5, 1 and 2 wt.%) solder alloys after immersion in 1M HCl solution.

Table 3. EDX analysis of (a) SAC305, (b) SAC-0.5Bi, (c) SAC-1Bi and (d) SAC-2Bi solder alloys after immersion in 1M HCl solution.

Mass Percent (%) (a)			
Spectrum	Cu	Ag	Sn
1	9.3375	17.4275	73.235
2	5.2767	6.2467	88.4767
3	8.57	7.38	84.055
Mean value	7.728	10.3514	81,923

Mass Percent (%) (b)				
Spectrum	Cu	Ag	Sn	Bi
1	0.61	63.26	25.45	10.68
2	35.455	21.33	38.38	4.835
3	2.98	4.16	92.17	0.69
Mean value	13.015	29.583	52	5.403

Mass Percent (%) (c)				
Spectrum	Cu	Ag	Sn	Bi
1	1.335	15.355	9.37	73.95
2	2.3725	56.75	13.4875	27.3925
3	0.74	34.43	10.16	54.67
Mean value	1.4825	35.512	11.0058	52.0042

Mass Percent (%) (d)				
Spectrum	Cu	Ag	Sn	Bi
1	6.39	3.83	17.565	72.215
2	24.30	2.30	23.36	50.04
3	6.8625	37.945	21.29	33.91
Mean value	12.5175	14.6917	20.7383	52.055

4 Conclusion

In this work, the corrosion behaviours of SAC305 and SAC-xBi (0.5, 1 and 2 wt.%) alloys were investigated in 1 M HCl acidic solution (pH=0). It was found that similar E_{corr} and i_{corr} for all alloys. This is expected, since the ratios of bismuth within these alloys are not high enough to trigger a significant change. It seems that overall corrosion rates follow a pattern in which %1.0 bismuth replacement of silver causes a drop-in corrosion rate. With the further replacement of silver with bismuth, however, the corrosion rate increases.

Acknowledgements

We undertake that in the article we submitted for publication, no study, requiring ethics committee approval, was conducted.

References

- [1] Li, S., Wang, X., Liu, Z., Jiu, Y., Zhang, S., Geng, J., ... & Long, W. (2020). Corrosion behavior of Sn-based lead-free solder alloys: a review. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31, 9076-9090.
- [2] Zaini, N. B. M., & Nazeri, M. F. B. M. (2016, July). Potentiodynamic polarization effect on phase and microstructure of SAC305 solder in hydrochloric acid solution. *In AIP Conference Proceedings* (Vol. 1756, No. 1, p. 030007). AIP Publishing LLC.
- [3] Jaffery, H. A., Sabri, M. F. M., Said, S. M., Hasan, S. W., Sajid, I. H., Nordin, N. I. M., ... & Moorthy, C. V. (2019). Electrochemical corrosion behavior of Sn-0.7 Cu solder alloy with the addition of bismuth and iron. *Journal of Alloys and Compounds*, 810, 151925.

- [4] Sun, L., & Zhang, L. (2015). Properties and microstructures of Sn-Ag-Cu-X lead-free solder joints in electronic packaging. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2015.
- [5] Tunthawiroon, P., & Kanlayasiri, K. (2019). Effects of Ag contents in Sn-xAg lead-free solders on microstructure, corrosion behavior and interfacial reaction with Cu substrate. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 29(8), 1696-1704.
- [6] Gharaibeh, A., Felhősi, I., Keresztes, Z., Harsányi, G., Illés, B., & Medgyes, B. (2020). Electrochemical Corrosion of SAC Alloys: A Review. *Metals*, 10(10), 1276.
- [7] Sonawane, P. D., Raja, V. B., & Gupta, M. (2021). Mechanical properties and corrosion analysis of lead-free Sn-0.7 Cu solder CSI joints on Cu substrate. *Materials Today: Proceedings*, 46, 1101-1105.
- [8] Rosalbino, F., Angelini, E., Zanicchi, G., Carlini, R., & Marazza, R. (2009). Electrochemical corrosion study of Sn-3Ag-3Cu solder alloy in NaCl solution. *Electrochimica Acta*, 54(28), 7231-7235.
- [9] Mohamed, M. N., Aziz, N. A., Mohamad, A. A., & Nazeri, M. F. M. (2015). Polarization study of Sn-9Zn and Sn-37Pb solders in hydrochloric acid solution. *Int. J. Electroactive Mater*, 3, 28-32.
- [10] Li, S., Wang, X., Liu, Z., Jiu, Y., Zhang, S., Geng, J., ... & Long, W. (2020). Corrosion behavior of Sn-based lead-free solder alloys: a review. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31, 9076-9090.
- [11] Nurwahida, M. Z., Mukridz, M. M., Ahmad, A. M., & Muhammad, F. M. N. (2018, March). Corrosion properties of SAC305 solder in different solution of HCl and NaCl. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 318, No. 1, p. 012004). IOP Publishing.
- [12] Fayeka, M., Haseeb, A. S. M. A., & Fazal, M. A. (2017). Electrochemical corrosion behaviour of Pb-free SAC 105 and SAC 305 solder alloys: a comparative study. *Sains Malays*, 46(2).
- [13] See, C. W., Yahaya, M. Z., Haliman, H., & Mohamad, A. A. (2016). Corrosion behavior of corroded Sn-3.0 Ag-0.5 Cu solder alloy. *Procedia Chemistry*, 19, 847-854.
- [14] Erer, A. M., & Oguz, S. (2019). Wetting characteristic of Sn-(3-x) Ag-0.5 Cu-xBi quaternary solder alloy systems. *Soldering & Surface Mount Technology*.
- [15] Oguz, S. (2018). Sn-(3-x)Ag-0.5Cu-xBi dörtlü kurşunsuz lehim alaşımlarının ıslatma özelliklerinin Cu altlık üzerinde incelenmesi,, Institute of Science of Karabük University, Karabük.
- [16] El-Taher, A. M., & Razzk, A. F. (2020). Controlling Ag 3 Sn Plate Formation and Its Effect on the Creep Resistance of Sn-3.0 Ag-0.7 Cu Lead-Free Solder by Adding Minor Alloying Elements Fe, Co, Te and Bi. *Metals and Materials International*, 1-12.
- [17] Subri, N. W. B., Sarraf, M., Nasiri-Tabrizi, B., Ali, B., Mohd Sabri, M. F., Basirun, W. J., & Sukiman, N. L. (2020). Corrosion insight of iron and bismuth added Sn-1Ag-0.5 Cu lead-free solder alloy. *Corrosion Engineering, Science and Technology*, 55(1), 35-47.
- [18] Wang, F., Huang, Y., Zhang, Z., & Yan, C. (2017). Interfacial reaction and mechanical properties of Sn-Bi solder joints. *Materials*, 10(8), 920.
- [19] Braga, M. H., Vizdal, J., Kroupa, A., Ferreira, J., Soares, D., & Malheiros, L. F. (2007). The experimental study of the Bi-Sn, Bi-Zn and Bi-Sn-Zn systems. *Calphad*, 31(4), 468-478.
- [20] Osorio, W. R., Peixoto, L. C., Garcia, L. R., Garcia, A., & Spinelli, J. E. (2012). The effects of microstructure and Ag₃Sn and Cu₆Sn₅ intermetallics on the electrochemical behavior of Sn-Ag and Sn-Cu solder alloys. *Int. J. Electrochem. Sci*, 7(7), 6436-6452.
- [21] Chen, G., Wang, X. H., Yang, J., Xu, W. L., & Lin, Q. (2020). Effect of micromorphology on corrosion and mechanical properties of SAC305 lead-free solders. *Microelectronics Reliability*, 108, 113634.
- [22] Kaushik, R. K., Batra, U., & Sharma, J. D. (2018). Aging induced structural and electrochemical corrosion behaviour of Sn-1.0 Ag-0.5 Cu and Sn-3.8 Ag-0.7 Cu solder alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 745, 446-454.
- [23] Tsao, L. C., & Chen, C. W. (2012). Corrosion characterization of Cu-Sn intermetallics in 3.5 wt.% NaCl solution. *Corrosion science*, 63, 393-398.



INVESTIGATION OF CURRENT-VOLTAGE MEASUREMENTS OF GaAs /Al_xGa_{1-x}As MULTIPLE QUANTUM WELLS WITH METAL ORGANIC VAPOUR PHASE EPITAXY

Aslan Türkoğlu^{*1} , Yüksel Ergün² 

¹Bağımsız Araştırmacı, Türkiye.

²Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Böl., Eskişehir, Türkiye.

Abstract

Original scientific paper

In this study, we have investigated the temperature dependence of Current-Voltage measurements of GaAs /AlGaAs multi-quantum well. Our sample, which consists of inclined layers between the 10 periods GaAs /Al_{0.25}Ga_{0.75}As quantum wells and n⁺ – GaAs contact layers in the central region, was grown by the Metal Organic Vapor Phase Epitaxy technique. We have found that tunneling current is effective at low temperatures (<85 K) and high voltages as well as thermal current at high temperatures (> 125 K) and low voltages. In addition, in the intermediate temperature region (65 K <T <125 K), tunneling and thermal stimulation processes appear to be effective together..

Keywords: GaAs / AlGaAs multiple quantum well, metal organic vapor phase epitaxy, current-voltage measurement.

METAL ORGANİK BUHAR FAZ EPİTAKSİSİ İLE BÜYÜTÜLEN GaAs /Al_xGa_{1-x}As ÇOKLU KUANTUM KUYULARININ AKIM-VOLTAJ ÖLÇÜMLERİNİN İNCELENMESİ

Özet

Orijinal bilimsel makale

Bu çalışmada, GaAs/AlGaAs çoklu kuantum kuyusunun Akım-Voltaj ölçümlerinin sıcaklığa bağlılığını incelenmiştir. Merkez bölgesinde 10 adet GaAs /Al_{0.25}Ga_{0.75}As kuantum kuyusu ile n⁺ – GaAs kontak tabakaları arasında eğimli tabakalardan oluşan örnek, Metal Organik Buhar Fazlı Epitaksi tekniği ile büyütülmüştür. Tünelleme akımının düşük sıcaklıklarda (<85 K) ve yüksek voltajlarda bununla birlikte termal akımında yüksek sıcaklıklarda (>125 K) ve düşük voltajlarda etkili olduğunu bulduk. Ayrıca, ara sıcaklık bölgesinde (65 K<T<125 K) tünelleme ve ısıl uyarmın işlemlerinin birlikte etkili olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: GaAs / AlGaAs çoklu kuantum kuyusu, metal organik buhar fazlı epitaksi, akım-voltaj ölçümü.

1 Giriş

Kızılötesi dedektörler, askeri ve sivil amaçlar için termal görüntüleme, yön belirleme ve iletişim sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [1-10]. Kızılötesi dedektörler algılama şekline bağlı olarak, kuantum kuyu içeren ve içermeyenler olarak ikiye ayrılabilir. Kuantum kuyu içermeyen kızılötesi dedektörlerin algılama aralığı yaklaşık 6 – 20 μm'dir. Bu aygıtlarda Hg_{1-x}Cd_xTe ve Pb_{1-x}Sn_xTe gibi dar yasak enerji aralığına sahip yarıiletkenler kullanılmaktadır [11-12]. Bu yarıiletken alaşımların yasak enerji aralıkları Cd ve Sn konsantrasyonuna bağlıdır.

Geniş bant aralıklı malzemeler, daha dar bant aralıklı malzemelerle karşılaştırıldığında onları yararlı kılan çeşitli özelliklere sahiptir. Daha yüksek enerji boşluğu,

cihazlara daha yüksek sıcaklıklarda çalışma yeteneği verir, çünkü bant aralıkları tipik olarak artan sıcaklıkla küçülür ve bu, geleneksel yarı iletkenler kullanılırken sorun yaratabilir. Bazı uygulamalar için geniş bant aralıklı malzemeler, cihazların daha büyük voltajları değiştirmesine izin verir. Geniş bant aralığı ayrıca elektronik geçiş enerjisini görünür ışık enerjisi aralığına getirir ve bu nedenle ışık yayan diyotlar ve yarı iletken lazerler gibi görünür spektrumda yayan veya hatta ultraviyole radyasyon üreten ışık yayan cihazlar yapılabilir [13].

Böylece, büyük yasak enerji aralıklı yarıiletken tabakalar içinde kuantum kuyu bulunan kızılötesi dedektörler üretilmeye başlanmıştır [14]. Kuantum Kuyu kızılötesi fotodedektörlerde (Quantum Well Infrared Photodetectors, QWIP) kullanılan geniş yasak aralıklı

* Corresponding author.

E-mail address: aslan.turkoglu@gmail.com (A. Türkoğlu)

Received 14 April 2021; Received in revised form 17 May 2021; Accepted 25 May 2021

2587-1943 | © 2021 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.915840>

yariletken tabakaların büyütülmesi, işlenmesi ve elektronik cihazlarda kullanımı daha kolaydır. Ayrıca, bu yariletken ve alaşımların yüksek ısıl kararlılığı, yüksek safsızlıkta üretilebilmeleri, daha ucuz olmaları, büyük boyutlarda elektronik cihazlarda kullanımı ve düşük gürültülü olmaları gibi özellikleri tercih nedeni olmaktadır. QWIP'lerin performansını gürültü seviyesi, algılamaya tepki verme hızı ve karanlık akımı gibi parametreler belirlemektedir [15]. Kuantum kuyu içeren yariletken engel yapılarında enerji altbandlarının ve dikey elektriksel iletimin teorik olarak incelenmesi ilk defa Esaki ve Tsu [16] tarafından yapılmıştır. Elektronik transport özelliklerinin deneysel olarak incelendiği ilk çalışma ise 50 adet GaAs /Al_xGa_{1-x}As kuantum kuyusu içeren engel yapıda Chang ve arkadaşları [17] tarafından gerçekleştirilmiştir. Kuantum kuyu içeren GaAs /Al_xGa_{1-x}As engel yapıların kızılötesi algılamada kullanılabileceği ilk olarak Esaki ve Sakaki [18] tarafından öngörülmüştür. Bu engel yapıları, Chui ve arkadaşları [19] deneysel olarak, Coon ve Karunasiri [20] ise teorik olarak incelemiştir. Bound-to-bound geçişler ilk defa 50 adet GaAs /Al_xGa_{1-x}As kuantum kuyu içeren GaAs /Al_xGa_{1-x}As engel yapılarında West ve Eglash [21] tarafından gözlenmiştir. Algılama dalga boyu 10.8 μm olan ve QWIP olarak çalışan ilk aygıt, Levine ve arkadaşları [22] tarafından üretilmiştir. QWIP'de çoklu kuantum kuyusunun parametrelerini ayarlayarak, geniş bir spektrumda kızılötesi algılama gerçekleştirilebilir. Bunlar şu şekilde sınıflandırılabilir: i) Kısa dalgaboylu kızılötesi (Short Wavelength Infrared, SWIR, $\lambda = 1 - 3 \mu\text{m}$), ii) Orta dalgaboylu kızılötesi (Medium Wavelength Infrared, MWIR, $\lambda = 3 - 5 \mu\text{m}$), iii) Uzun dalgaboylu kızılötesi (Long Wavelength Infrared, LWIR, $\lambda = 8 - 12 \mu\text{m}$) ve iv) Çok Uzun dalgaboylu kızılötesi (Very Long Wavelength Infrared, VLWIR, $\lambda > 12 \mu\text{m}$).

Bu çalışmada, GaAs /Al_xGa_{1-x}As QWIP yapısının Akım-Voltaj özelliklerinin sıcaklık bağımlılıkları araştırılmıştır. Çalışmamızın geri kalanı şu şekilde organize edilmiştir: Bölüm 2'de örnek yapısının üretimini ve Akım-Voltaj ölçümlerini veriyoruz. Son bölümde ise elde edilen bulguları tartışacağız.

2 Materyal ve Method

Çoklu kuantum kuyusu örneği, Metal Organik Buhar Fazlı Epitaksi (MOVPE) methodu ile bir n⁺ - GaAs alt taşı üzerine büyütülmüştür. Şekil 1'de gösterildiği gibi, ilk olarak $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ yoğunluklu Karbon akseptörü bir 1 μm n⁺ - GaAs tabakası büyütülmüştür. Daha sonra, katkısız ve simetrik Al_xGa_{1-x}As bariyeri aşağıdaki adımlarla büyütülmüştür. İlk olarak, x konsantrasyonunun 0'dan 0.25'e yükseltildiği 500 A⁰'luk eğimli bir tabakası daha sonra GaAs kuantum kuyular içeren/içermeyen 1400 A⁰ 'luk bir genişliğe sahip merkezi Al_{0.25}Ga_{0.75}As bölgesinin üzerine x konsantrasyonunun 0.25'ten 0'a düştüğü bir 500 A⁰ eğimli tabaka oluşturulmuştur. Son olarak, üst tarafta 1 mm kalınlığında n⁺ - GaAs ($1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) tabakası büyütülmüştür.

2.1 Akım-Voltaj Ölçümleri

Bir yapıda yüksek potansiyelde tutulan kontak bölgesine (anod) en yakın kuantum kuyu ve engellerin oluşturduğu bölge, yüksek elektrik alan bölgesi (HEFD), yapının geri kalan kısmına da düşük elektrik alan bölgesi (LEFD) adı verilir. Literatürde, LEFD ve HEFD oluşumunu açıklamak için çeşitli yaklaşımlar vardır. Chang ve arkadaşları [17] çalışmalarında, GaAs /Al_xGa_{1-x}As süperörgüde farklı elektrik alan büyüklüklerine sahip bölgelerin oluşumunu yapısal düzensizliklere bağlamışlardır. Daha sonraki yıllarda, Levine ve arkadaşları [22] ile Choi ve arkadaşları [23], engel yapılarında ölçülen Akım-Voltaj eğrisinde gözlenen osilasyonlu davranışı açıklamak için uzay yükü (space charge) etkisini ön plana çıkarmışlardır. Onlar, uzay yükünü, engel yapıdaki kuantum kuyularının elektronlar için tuzak olarak davranması sonucunda oluştuğunu göstermişlerdir. Bu tuzaklanma nedeniyle anoda yakın bölgede uzay yükü birikmekte ve HEFD meydana gelmektedir. Bu durum, 4 tane kuantum kuyusu içeren yapı için ele alınarak anlatılacaktır. Burada ele alınacak yapının enerji bandları temsili olarak Şekil 2'de verilmektedir.

Uzay yükünün kuvvetli perdeleme özelliğinden dolayı engel yapının HEFD dışında kalan bölgeleri uygulanan gerilimi daha az görmektedir ve bu kısımda LEFD meydana gelmektedir. Bu yeni durumda, LEFD içindeki kuantum kuyusunun E₁ enerjili altbandı ile sürekli enerji düzeyleri aynı seviyeye gelir ve E₁' den sürekli enerji düzeylerine geçiş meydana gelir. Bu koşul sağlandığında dikey akımda bir maksimum gözlenir. Bu durum, E₁ enerjili altbandından sürekli enerji durumlarına geçişte söz konusu olur. Böylece, HEFD'deki tek kuantum kuyusundaki E₁ enerjili altbandda bulunan elektronlar, dikey iletimi sağlamak için, taban altbandı tünelleme yoluyla anoda geçerler. E₁ enerjili altbandı ile sürekli enerji düzeyleri rezonans durumu, periyot başına düşen gerilimin $\Delta E_1/e$ kadar artmasından sonra bozulur, yani tünelleme olasılığı tekrar azalır ve sonuç olarak, dikey akımda bir azalma meydana gelir ($\Delta E_1, E_1$ altbandı enerji genişliğidir). Yapıya uygulanan gerilim biraz daha artırıldığında, HEFD hemen yanındaki komşu kuantum kuyuyu da içine alacak şekilde genişler; E₁ enerjili altbandı ile sürekli enerji düzeyleri yeniden aynı düzeye gelir. Bu durumda, E₁' den sürekli enerji düzeyleri arası sıralı tünelleme olayına bir kuyu daha katılmış olur ve dikey akımda bir maksimum daha gözlenir. Böylece, yapıya uygulanan voltajla sağlanan rezonans durumunda dikey akımda artış, rezonansdan çıkınca ise azalış meydana gelmektedir. Rezonans durumu bozulduğunda sıralı tünelleme olasılığı azaldığından dikey akım azalmakta; sonraki ilk rezonans durumuna kadar akım bir minimumdan geçmekte ve gerilim artışı ile birlikte tünelleme olasılığı artacağı için dikey akım artmaya başlamaktadır. Bu durum, ardışık rezonans ve rezonansdan uzaklaşma durumlarında kendini tekrar etmekte ve neticede dikey akımda gerilime bağlı olarak osilasyonlar oluşmaktadır. Yapıya uygulanan gerilimin yeterince yüksek değerlerinde HEFD tüm engel yapıyı kapsayabilir (Şekil 3). Bu durumda, sadece E₁ enerjili altbandı ile sürekli enerji düzeyleri, sıralı rezonans tünellemesi meydana gelir ve dikey Akım-Voltaj eğrisinde sonuncu osilasyonlar gözlenir.

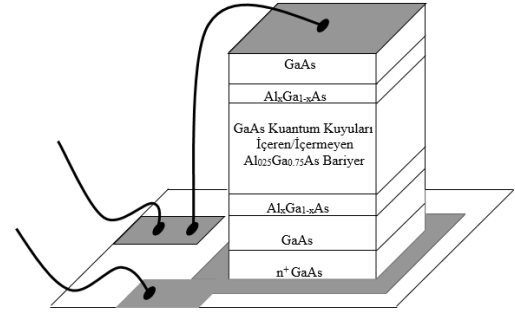
Akım-Voltaj ölçümleri, örneklerin kontaklarının kalitesini, yapı içerisindeki taşıma mekanizmalarını ve elektrik alanın fonksiyonu olarak taşıyıcıların sürüklenme hızını ve mobilitesini belirlemede kullanılır. Deneylerde, örneğimizin Akım-Voltaj karakteristikleri 65-125 Kelvin arasındaki sıcaklıklarda incelenmiştir. Akım-Voltaj ölçümlerinin sıcaklığa bağlı değişimleri Şekiller 4-6'da verilmiştir.

Üstte de bahsedildiği gibi, akımda voltaja bağlı olarak görülen osilasyonların sayısı yapıdaki periyot sayısı ile ilişkilidir. Anoda komşu ilk kuantum kuyuda HEFD oluşmasından sonra dikey akımda bir maksimum meydana gelmesi ve HEFD'nin komşu kuantum kuyuları sırayla (biri birer) içine alarak yayılması nedeniyle, Akım-Voltaj eğrisinde çoklu kuantum kuyusundaki periyot sayısının bir eksiği kadar osilasyon meydana gelmesi beklenmektedir. Eğer ilk oluşan HEFD anoda yakın bölgede birden fazla kuantum kuyuyu içine alacak şekilde oluşursa, ölçülen Akım-Voltaj eğrisindeki osilasyon sayısı, çoklu kuantum kuyusundaki toplam periyot sayısı ile HEFD içindeki kuantum kuyu sayısı farkı kadar olacaktır (Vuong ve Tsui, 1989). Bizim yapımızda 10 tane kuantum kuyusu bulunmaktadır. Bu noktadan hareketle ilk oluşan HEFD, 4 tane kuyuyu içine alacak şekilde oluşmuştur. Bu nedenle bu deneyde gözlenen Akım-Voltaj eğrisinde osilasyon sayısı beş tane olarak gözükmektedir. Ayrıca, Şekiller 4-6'dan anlaşılacağı gibi, sıcaklık değeri arttıkça bir yandan aynı voltaj değerine karşı gelen akım değeri artarken bir yandan da Akım-Voltaj eğrisinde gözlenen osilasyonların genlikleri azalmaktadır. Bununla birlikte, daha yüksek sıcaklıklara doğru çıkıldıkça Akım-Voltaj eğrisindeki osilasyonlar kaybolmaktadır. Bunun nedeni ise elektronların enerjilerinin sıcaklıkla birlikte artmasıdır. Elektronların artan enerjisiyle, sürekli enerji düzeylerine sıçrama olasılıkları tünelleme olasılığından daha fazla olmaktadır. Bu nedenle, artan sıcaklıkla birlikte osilasyonlar da kaybolmaktadır.

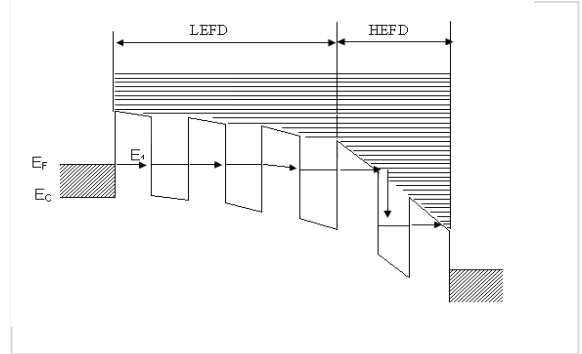
3 Sonuçlar

Bu çalışmada, merkez bölgesinde 10 tane GaAs/Al_{0.25}Ga_{0.75}As kuantum kuyu ile n⁺ - GaAs kontak tabakaları arasında eğimli tabakalar bulunan engel yapısında dikey iletim mekanizmaları deneysel olarak incelendi. Bunun için, 0-1 Volt aralığında DC gerilimi uygulanarak, akımın numuneye uygulanan gerilimle değişimi ölçüldü. Çoklu kuantum kuyusu içeren engel yapının düşük sıcaklık Akım-Voltaj grafiklerinde, başlangıçtaki artıştan sonra, akım artış hızının aniden azaldığı ve daha yüksek gerilimlerde osilasyonlar olduğu gözlemlendi. Bu osilasyonların sebebi, çoklu kuantum kuyusunun anot (pozitif potansiyeldeki n⁺ - GaAs) tabakası tarafındaki kısmında yüksek elektrik alan bölgesi oluşmasına ve numuneye uygulanan gerilim arttıkça yüksek elektrik alan bölgesinin en yakın kuantum kuyuyu içine alarak çoklu kuantum kuyu boyunca adım adım yayılmasıdır. Bu numunedeki, kuantum kuyular arasındaki Al_{0.25}Ga_{0.75}As engel tabakası yeterince ince olduğundan, çoklu kuantum kuyusundaki taban altbandı sıralı rezonans tünellemesi gerçekleştirir. Taban altbandı sıralı rezonans tünellemesi durumunun bozulduğu her gerilim değerinde dikey akımda belirgin bir azalma

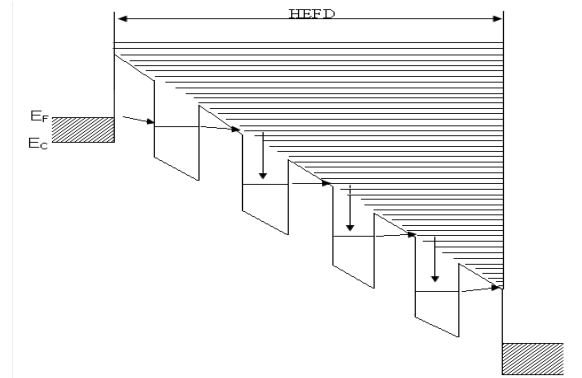
(minimum) meydana gelir. Düşük elektrik alan bölgesinde son kuantum kuyunun taban altbandı ile yüksek elektrik alan bölgesinde ilk kuantum kuyu üzerinde bulunan sürekli enerji düzeyleri rezonans durumuna geldiğinde, dikey akımda bir maksimum gözlemlendi. Yüksek elektrik alan bölgesi yayılması tamamlayıp tüm kuantum kuyularını kapsadıktan sonra ise osilasyonların sona erdiği gözlemlendi.



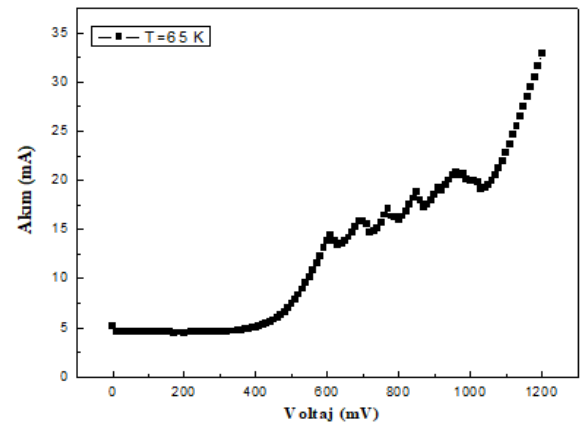
Şekil 1. Örnek Yapısı.



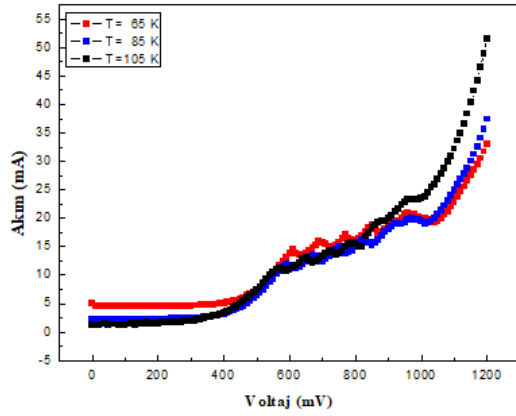
Şekil 2. HEFD'de bir kuantum kuyusu varken enerji band diyagramı.



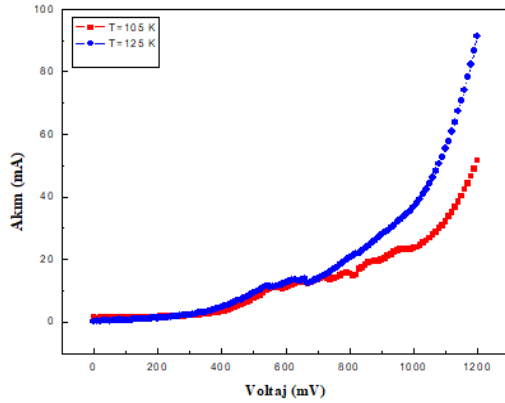
Şekil 3. HEFD'de 4 tane kuantum kuyusu içermesi durumunda, yapının enerji band diyagramı.



Şekil 4. 65 Kelvin sıcaklıkta gözlenen Akım-Voltaj ölçümleri.



Şekil 5. Üç farklı sıcaklık değerinde gözlenen Akım-Voltaj ölçümlerinin karşılaştırılması.



Şekil 6. İki farklı sıcaklık değerlerinde gözlenen akım-voltaj eğrilerinin karşılaştırılması.

Bilgilendirme

Bu çalışmada etik kurul onay belgesine ihtiyaç bulunmamaktadır. Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.



Kaynaklar

- [1] Rafol, D., Cho, E., & Lim, W. (2007, September). Characterization of very large format 1Kx1K LWIR QWIP focal plane array. *In Infrared Spaceborne Remote Sensing and Instrumentation XV* (Vol. 6678, p. 66780X). International Society for Optics and Photonics.
- [2] Robo, J. A., Costard, E., Truffer, J. P., Nedelcu, A., Marcadet, X., & Bois, P. (2009, May). QWIP focal plane arrays performances from MWIR up to VLWIR. *In Infrared Technology and Applications XXXV* (Vol. 7298, p. 72980F). International Society for Optics and Photonics.
- [3] Reibel, Y., Rubaldo, L., Manissadjian, A., Billon-Lanfrey, D., Rothman, J., de Borniol, E., ... & Costard, E. (2012, November). High-performance MCT and QWIP IR detectors at Sofradir. *In Electro-Optical and Infrared Systems: Technology and Applications IX* (Vol. 8541, p. 85410A). International Society for Optics and Photonics.
- [4] Gunapala, S. D., Bandara, S. V., Liu, J. K., Mumolo, J. M., Rafol, B., Ting, D. Z., ... & Hill, C. (2014). Quantum well infrared photodetector technology and applications. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 20(6), 154-165.
- [5] Martijn, H., Gamfeldt, A., Asplund, C., Smuk, S., Kataria, H., & Costard, E. (2016, May). QWIPs at IRnova, a status update. *In Infrared Technology and Applications XLII* (Vol. 9819, p. 981918). International Society for Optics and Photonics.

- [6] Demir, I., Kasapoğlu, A. E., Budak, H. F., Gür, E., & Elagoz, S. (2020). Influences of thickness and temperature of low temperature GaAs buffer layer on two-step MOVPE grown GaAs/Ge heterostructures. *The European Physical Journal Applied Physics*, 90(2), 20301.
- [7] Ladugin, M. A., Yarotskaya, I. V., Bagaev, T. A., Telegin, K. Y., Andreev, A. Y., Zaslavitskii, I. I., ... & Marmalyuk, A. A. (2019). Advanced AlGaAs/GaAs heterostructures grown by MOVPE. *Crystals*, 9(6), 305.
- [8] Demir, I. (2019). The contribution of AsH₃: Pre-flow and V/III ratio effects on heteroepitaxially grown GaAs/Ge. *Superlattices and Microstructures*, 128, 1-8.
- [9] Smiri, B., Arbia, M. B., Ilkay, D., Saidi, F., Othmen, Z., Dkhil, B., ... & Maaref, H. (2020). Optical and structural properties of In-rich In_xGa_{1-x}As epitaxial layers on (1 0 0) InP for SWIR detectors. *Materials Science and Engineering: B*, 262, 114769.
- [10] Kim, H., Ahn, S. Y., & Wasilewski, Z. (2019). Fabrication of grating coupled GaAs/AlGaAs quantum well infrared photodetector on an Si substrate. *Journal of Vacuum Science & Technology B, Nanotechnology and Microelectronics: Materials, Processing, Measurement, and Phenomena*, 37(3), 031209.
- [11] Rogalski, A. (1997). Comparison of the performance of quantum well and conventional bulk infrared photodetectors. *Infrared physics & technology*, 38(5), 295-310.
- [12] Razeghi, M., Erdtmann, M., Jelen, C., Guastavinos, F., Brown, G. J., & Park, Y. S. (2001). Development of quantum well infrared photodetectors at the Center for Quantum Devices. *Infrared physics & technology*, 42(3-5), 135-148.
- [13] Kirschman, R. K. (Ed.). (1999). *High temperature electronics* (pp. p-42). New York, NY: IEEE press..
- [14] Perera, A. G. U., Shen, W. Z., Matsik, S. G., Liu, H. C., Buchanan, M., & Schaff, W. J. (1998). GaAs/AlGaAs quantum well photodetectors with a cutoff wavelength at 28 μ m. *Applied physics letters*, 72(13), 1596-1598.
- [15] Levine, B. F. (1993). Quantum-well infrared photodetectors. *Journal of applied physics*, 74(8), R1-R81.
- [16] Esaki, L., & Tsu, R. (1969). Superlattice and negative conductivity in semiconductors, *IBM Res. Note, RC-2418*.
- [17] Chang, L., Esaki, L., & Tsu, R. (1974). Resonant tunneling in semiconductor double barriers. *Applied Physics Letters*, 24(12), 593-595.
- [18] Esaki, L. (1977). A new photoconductor. *IBM Tech. Discl. Bull.*, 20(2456).
- [19] Chiu, L. C., Smith, J. S., Margalit, S., & Yariv, A. (1983). Internal photoemission from quantum well heterojunction superlattices by phononless free-carrier absorption. *Applied physics letters*, 43(4), 331-332.
- [20] Coon, D. D., & Karunasiri, R. P. G. (1984). New mode of IR detection using quantum wells. *Applied Physics Letters*, 45(6), 649-651.
- [21] West, L. C., & Eglash, S. J. (1985). First observation of an extremely large-dipole infrared transition within the conduction band of a GaAs quantum well. *Applied Physics Letters*, 46(12), 1156-1158.
- [22] Levine, B. F., Choi, K. K., Bethea, C. G., Walker, J., & Malik, R. J. (1987). New 10 μ m infrared detector using intersubband absorption in resonant tunneling GaAlAs superlattices. *Applied physics letters*, 50(16), 1092-1094.
- [23] Choi, K. K., Levine, B. F., Malik, R. J., Walker, J., & Bethea, C. G. (1987). Periodic negative conductance by sequential resonant tunneling through an expanding high-field superlattice domain. *Physical Review B*, 35(8), 4172.
- [24] Vuong, T. H. H., Tsui, D. C., & Tsang, W. T. (1989). Transport through InGaAs-InP superlattices grown by chemical beam epitaxy. *Journal of Applied Physics*, 66(8), 3688-3697.



RESEARCH OF OPPORTUNITIES OF USING WHEY IN KEFIR

Pınar Bekiş^{*1} , Özlem Pelin Can² 

¹Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Tarım Bilimleri ve Teknoloji Fakültesi Bitki Koruma Anabilim Dalı, Sivas, Türkiye

²Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği AnaBilim Dalı, Sivas, Türkiye

Abstract

Original scientific paper

Whey is a byproduct produced in the process of making cheese, which, in turn, comprises a major element of dairy industry. The present study aims to come up with new areas of use for whey. For this purpose, the use of whey in making kefir, which is a probiotic dairy product. Milk is subjected to fermentation after the addition of 2% kefir base, and various amounts of whey. Group A (containing 25% whey), group B (containing 50% whey), group C (containing 75% whey) and group K which does not contain any whey are the four groups analyzed in the study. The groups were analyzed in terms of their physico-chemical characteristics (pH, titration acidity, dry matter, color, viscosity), microbiological characteristics (*Lactococcus* spp. (log KOB/ml), *Lactobacillus* spp. (log KOB/ml), base (log KOB/ml), total aerobic mesophyll bacteria count (log KOB/ml)) and sensory characteristics (look, texture, smell and taste), on the 1st, 3rd, 5th, 7th, 14th, and 30th days of storage at +4 °C. In kefir samples thus analyzed, increasing amounts of whey were found to have a significant ($p<0.05$) effect on fat (%), viscosity (cp), color (L^* , a^* and b^*), lactic acid bacteria and base counts (log KOB/ml), whereas its impact on total mesophyll aerobic bacteria count (log KOB/ml), pH, acidity (LA), dry matter (%) and sensory characteristics was insignificant ($p>0.05$). In terms of physical, chemical and microbiological analysis results, all groups were found to exhibit acceptable features, whereas group C was not found to be acceptable in terms of its sensory characteristics.

Keywords: Sensory quality, kefir, chemical quality, whey.

PEYNİR ALTI SUYUNUN KEFİRDE KULLANIM OLANAKLARI

Özet

Orijinal bilimsel makale

Peynir altı suyu, süt teknolojisinde geniş bir üretim alanı bulan peynirin yapımı sonucu oluşan, yan ürün olarak nitelendirilen bir süt ürünüdür. Bu çalışmada peynir altı suyunun kullanım alanını artırmak amaçlanmıştır. Peynir altı suyunun probiyotik süt ürünü olan kefir üretiminde kullanımı incelenmiştir. Süte %2 oranında kefir danesi ve farklı oranlarda peynir altı suyu ilave edilerek fermentasyona bırakılmıştır. A grubu (%25 Peynir altı suyu), B grubu (%50 Peynir altı suyu), C grubu (%75 Peynir altı suyu) ve peynir altı suyu ilave edilmeyen K grubu olmak üzere 4 grup oluşturulmuştur. Grupların, +4 °C'deki depolamanın 1., 3., 5., 7., 14. ve 30. günlerindeki fizikokimyasal (pH, titrasyon asitliği, kuru madde, renk tayini, viskozite), mikrobiyolojik (*Lactococcus* spp., *Lactobacillus* spp., maya, toplam aerob mezofil bakteri sayısı (log KOB/ml)) ve duyuşal (görünüş, tekstür, koku ve tat) özellikleri incelenmiştir. Kefir örneklerinde peynir altı suyunun artan oranlarda kullanımının; yağ (%), viskozite (cp), renk değerleri (L^* , a^* ve b^*), laktik asit bakterileri ve maya sayısı (log KOB/ml) üzerine etkisi önemli bulunmuş ($p<0.05$), toplam mezofil aerob bakteri sayısı (log KOB/ml), pH, asitlik (LA), kuru madde (%) ve duyuşal özellikleri üzerine etkisi önemli bulunmamıştır ($p>0.05$). Fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik analiz bulguları açısından A, B ve K grubu örnekleri kabul edilebilir özellikte bulunurken, duyuşal analiz değerlendirmelerine göre C grubu kabul edilebilir özellikte bulunmamıştır.

Anahtar kelimeler: Kefir, kimyasal analizler, mikrobiyolojik analizler, peynir altı suyu.

1 Giriş

Günümüzde oldukça yaygın olan probiyotik süt ürünleri; kolesterol düşürücü, sindirim ve bağışıklık seviyesini düzenleyici, antikanserijen etki gibi sağlık üzerine olumlu birçok özelliklere sahiptir. Kefir, danesindeki bakteri ve mayaların simbiyotik ilişkisi

sonucu elde edilen probiyotik bir süt ürünüdür. Uçucu yağ asitleri, karbondioksit, alkol ve asit gibi fermentasyon ürünlerini içeren kefir, kıvamlı ve ferahlatıcı ekşi tada sahip olup, krema kıvamında, orta asitli (4.5 pH) ve köpüren yapıdadır [8,20].

Peynir altı suyu, probiyotik gıda üretiminde laktik asit bakterilerinin faaliyetleri için önemli miktarda laktoz

* Corresponding author.

E-mail address: pnarbks3@gmail.com (P. Bekiş)

Received 20 April 2021; Received in revised form 20 May 2021; Accepted 31 May 2021

2587-1943 | © 2021 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.922816>

ihativa eder. Peynir altı suyu, süt teknolojisinde geniş bir üretim alanı bulan peynirin yapımı sonucu oluşan, sütcülük artığı veya yan ürünü olarak nitelendirilen bir süt ürünüdür. Peynir üretimi sırasında, pıhtı kesilip süzöldükten sonra geriye kalan, serum proteinleri, laktoz, kalsiyum, gibi besin ögelerini bünyesinde bulunduran, içeriğindeki riboflavinden ötürü sarımtırak-yeşil renkli bir sıvıdır [22].

Bu çalışmada peynir altı suyu ilave edilerek kefir yapılmış ve elde edilen yeni ürünün özellikleri incelenmiştir.

2 Materyal ve Metot

Çalışmada kullanılan 5 lt pastörize süt, Sivas'ta yerel bir işletmeden temin edilmiştir. Kefir yapımı için gerekli olan katı starter kültür (Kırgız, Türkiye) ve peynir altı suyu elde etmek için peynir yapımında kullanılan rennin enzimi (CG13052, Maxiren 180, Fransa) markasından alınmıştır. Deneysel örnekler muhafazanın 1., 3., 5., 7., 14 ve 30. günlerinde fizikokimyasal, mikrobiyolojik ve duyuşal açıdan incelenmiştir.

Kefir danelerinin aktifleştirilmesi: Ticari olarak alınan kefir kültürü %2 oranında 30 °C'de pastörize sütte pH 4.5'e düşene kadar ortalama 8 saat fermantasyona bırakılmıştır. Fermantasyon boyunca düzenli aralıklarla örnek alınarak kefir kültürünün mikroflorası belirlenmiştir. Fermantasyon sonrası stok kefir elde edilerek deneysel örneklere kullanılmıştır.

Peynir altı suyunun hazırlanması: Laboratuvar ortamında beyaz peynir üretimi yapılarak peynir altı suyu elde edilmiştir. Elde edilen peynir altı suyu 65 °C'de 30 dakika bekletilerek pastörize edilmiştir.

Deneysel örneklerin oluşturulması: Sıcaklığı 30 °C'ye düşürölen peynir altı suyu, sıcaklığı 30 °C'ye getirilmiş pastörize süte %25(A), %50(B) ve %75(C) oranlarında katılmıştır. K grubu peynir altı suyu içermeyen (sadece süt) kontrol grubu olarak hazırlanmıştır. Deneysel örneklere stok kefirden 20 ml olarak ilave edilmiş ve örnekler 30 °C'de pH 4. 5'e gelene kadar ortalama 12 saatinkübasyona bırakılmıştır. Fermantasyon süresinden sonra alınan örnekler muhafazanın 1. günü olarak analizlere alınmıştır. Depolama süresince örnekler +4 °C'de muhafaza edilmiş ve analizler uygulanmaya devam etmiştir.

2.1 Fizikokimyasal Analizler

Deneysel örneklerin pH değerleri pH metre (HANNA 2221,USA) ile daldırma yöntemi kullanılarak ölçölmüştür [15]. Titrasyon asitlik değerleri Anonim [2] standardına göre hesaplanmıştır. Renk analizleri; MİNOLTA CR-400 (Minolta Osaka, Japan) kullanılarak CIELAB Yöntemi ile kefir örneklerinin L*, a* ve b* değerleri belirlenmiştir [14]. Örneklerinin viskozite değerleri Brookfield DV-II+ Pro cihazı kullanılarak tespit edilmiştir [19].

2.2 Mikrobiyolojik Analizler

Çalışmada kefir danesinin; toplam mezofil aerob canlı, *Lactobacillus* spp., *Lactococcus* spp., toplam maya-küf ve *Enterobacter* spp. yönünden sahip olduğu mikroflora incelenmiştir. Bu amaçla 30 °C'ye ısıtılmış

pastörize süte %2 oranında kefir kültürü inoköle edilmiş ve pH değeri 4,5'e düşene kadar düzenli aralıklarla örnek alınarak kefir mikroflorası incelenmiştir. *Lactobacillus* spp. için Man Rogosa Sharpe Agar (1106600500, Merck, Almanya), *Lactococcus* spp. için M17 Agar (1151080500, Merck, Almanya) besi yerine dökme plak yöntemiyle ekim yapılmış, 37 °C'de 48 saat anaerobik inkübasyona bırakılmıştır. Toplam aerob mezofil bakteri sayısı için Plate Count Agar (1054630500, Merck, Almanya) besi yerine, *Enterobacter* sayısı için Violed Red Bile Glucose Agar (1102750500, Merck, Almanya) besi yerine dökme plak yöntemiyle çift kat ekim yapılmış ve 37 °C'de 48 saat inkübasyona bırakılmıştır. Maya-küf sayımı için Wort Agar (1054480500, Merck, Almanya) besi yerine dökme plak yöntemiyle ekim yapılmış ve 25 °C'de 5 gün inkübasyona bırakılmıştır. Aynı analizler depolama boyunca deneysel örnekler üzerinde yapılmıştır [12,21].

2.3 Duyusal Analizler

Kefir örneklerinin duyuşal özellikleri 8 kişilik panelist tarafından, görünüş, tekstür, koku ve tat özelliklerine göre toplam 100 puan üzerinden değerlendirilmiştir [17,8].

2.4 İstatistiksel Analizler

Verilerin analizi, Statistical Analysis System (SAS) (Version 6.1, USD) paket programı kullanılarak yapılmıştır. Gruplar arası ve grup içi günler arası değerler karşılaştırılarak, veriler " peynir altı suyu miktarı x tekerrür sayısı x örnek sayısı " olacak şekilde 3x3x2 faktöriyel dizaynına uygun olarak fix etkiler ve değışkenler arası interaksiyonlar yönünden varyans analizine tabi tutulmuştur. General Linear Models (GLM) prosedürüne göre, Fisher' in en düşük kareler ortalamaları (LSD) testi kullanılmıştır. Tüm ortalamaların standart sapma değerleri hesaplanmıştır.

3 Sonuçlar ve Tartışma

3.1 Fizikokimyasal Analiz Sonuçları

Kefir örneklerin pH değerlerinin günlere göre değışimi Tablo 1'de verilmiştir. Muhafaza süresi boyunca gruplar arasındaki fark önemsiz bulunmuştur (p>0,05). Grup içi günlerde, B grubunda muhafazanın 1. ve 7. günleri arasındaki fark ile C grubunda muhafazanın 3. ve 14. günleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Kefir mikroflorasındaki laktik asit bakterileri ve bazı mayaların sütteki laktoz, galaktoz ve sitrati metabolize ederek pH değerinin azalmasına neden olduğunu düşünölmektedir. Güzeler ve Esmek [9], peynir altı suyu kullanarak kefir ürettikleri çalışmalarında pH değerlerini 4,30-4,09 arasında bulmuşlardır.

Kefir örneklerinin asitlik ve kuru madde değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Deneysel örneklerdeki asitlik değeri açısından değerlendirildiğinde, grup içi ve gruplar arasındaki fark önemsiz bulunmuştur (p>0,05). Akal ve ark. [1], peynir altı suyu ilaveli kefir yaptıkları çalışmada, örneklerin asitlik değerini laktik asit cinsinden % 0,78-0,90 aralığında olduğunu tespit etmiştir. Dimitreli ve ark. [6], peynir altı suyu konsantratu ilavesinin kefirini incelediği

çalışmalarında peynir altı suyunun laktik asit miktarını artırdığını bildirmişlerdir.

Peynir altı suyu elde edilirken sütün pıhtılaşması sonucu kazein ve yağ bileşenleri peynire geçer. Bu nedenle peynir altı suyundaki kuru madde miktarı sütteki kuru madde miktarından daha azdır. Araştırma

bulgularımıza göre muhafaza süresi içerisinde grup içi kuru madde miktarlarında önemli bir değişiklik bulunmamıştır ($p>0,05$). Güzeler ve Esmek [9], peynir altı suyu içeren kefir örneklerinde depolama süresince kuru madde oranlarını %10,30-11,30 aralığında olduğunu bildirmişlerdir.

Tablo 1. Muhafaza süresi boyunca kefir örneklerinin pH değerleri

pH	Muhafaza süresi(gün)					
	pH değerleri					
Gruplar	1	3	5	7	14	30
K	4,69±0,3 ^a	4,16±0,3 ^b	4,11±0,3 ^b	4,09±0,2 ^b	4,06±0,3 ^b	3,90±0,3 ^b
A	4,44±0,3 ^a	4,17±0,2 ^a	4,08±0,3 ^{ab}	4,03±0,3 ^{ab}	3,93±0,3 ^b	3,96±0,3 ^b
B	4,42±0,2 ^a	4,13±0,4 ^{ab}	4,03±0,4 ^{ab}	3,97±0,3 ^b	3,97±0,4 ^b	3,90±0,2 ^b
C	4,34±0,3 ^a	4,10±0,3 ^a	3,98±0,3 ^{ab}	3,94±0,4 ^{ab}	3,87±0,2 ^b	3,79±0,4 ^b

*K:Kontrol, A:%25 PAS, B:%50 PAS, C:%75 PAS (PAS: Peynir altı suyu)

*a,b: Aynı satırda farklı üst simgeyi taşıyanlar istatistiksel bakımdan farklıdır ($p<0,05$).

Tablo 2. Muhafaza süresi boyunca kefir örneklerinin asitlik ve kuru madde değerleri

%LA	Muhafaza süresi(gün)					
	Titrasyon asitlik değerleri					
K	0,63±0,3	0,59±0,3	0,64±0,4	0,64±0,3	0,68±0,2	0,73±0,4
A	0,65±0,4	0,63±0,3	0,64±0,3	0,64±0,3	0,67±0,3	0,71±0,3
B	0,65±0,3	0,68±0,3	0,67±0,3	0,65±0,3	0,65±0,2	0,68±0,3
C	0,56±0,3	0,56±0,2	0,63±0,3	0,58±0,4	0,61±0,3	0,64±0,2
%	Kuru madde miktarı					
K	11,35±0,4	10,79±0,3	10,97±0,4	10,94±0,5	10,66±0,3	10,60±0,3
A	10,45±0,5	10,04±0,3	9,79±0,3	9,62±0,3	9,57±0,3	9,05±0,4
B	8,49±0,3	9,09±0,4	8,82±0,3	8,64±0,4	8,74±0,2	8,09±0,2
C	7,88±0,3	7,15±0,3	6,90±0,3	6,83±0,3	7,72±0,4	6,55±0,3

*K:Kontrol, A:%25 PAS, B:%50 PAS, C:%75 PAS (PAS: Peynir altı suyu)

Renk üç boyut ile ifade edilmektedir. L* değeri parlaklığı (0:Siyah, 100: Beyaz), a* değeri kırmızılık/yeşilliği (-60: Yeşil, +60: Kırmızı) ve b* değeri de sarılık/maviliği (-60: Mavi, +60: Sarı) ifade etmektedir [14]. Gruplar arasındaki L* değerleri en yüksek K grubunda, en düşük C grubunda bulunmuştur. Bu durum peynir altı suyu oranının arttıkça beyazlık ve parlaklığı azalttığını göstermektedir ($p<0,05$). Burucu [4], peynir altı suyu ilaveli ayran üzerine yaptığı çalışmada peynir altı suyu konsantrasyonlarının artan oranlarda kullanımının parlaklık değerinde azalmaya neden olduğunu tespit etmiştir. Tüm gruplarda a* değerleri negatif olup en düşük

C grubunda bulunduğu görülmektedir. Negatif a* değerlerinin yeşilliği ifade ettiği göz önünde bulundurulduğunda yeşil renk yoğunluğunun en düşük K grubunda, en yüksek C grubunda olduğu görülmektedir ($p<0,05$). Peynir altı suyunun, bileşimindeki riboflavin pigmentine bağlı olarak yeşilliği artırdığı düşünülmektedir ($p<0,05$). Gruplar arasındaki b* değerleri farkı istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0,05$). b* değerleri en düşük C grubunda bulunmuştur ($p<0,05$). Peynir altı suyunun sarılığı azalttığı tespit edilmiştir. Bu durumun peynir altı suyundaki yağ oranının azlığıyla ilgili olduğu düşünülmektedir.

Tablo 3a. Muhafaza süresi boyunca kefir örneklerinin L* değerleri

Gruplar	Muhafaza süresi(gün)					
	1	3	5	7	14	30
K	84,23±0,4 ^a	83,94±0,4 ^a	85,54±0,4 ^a	84,33±0,4 ^a	84,32±0,4 ^a	84,31±0,2 ^a
A	82,28±0,4 ^b	81,25±0,3 ^b	81,94±0,3 ^b	82,04±0,4 ^b	82,04±0,3 ^b	82,32±0,4 ^b
B	79,73±0,4 ^c	79,89±0,4 ^c	79,91±0,4 ^c	79,80±0,4 ^c	80,06±0,5 ^c	80,03±0,3 ^c
C	73,50±0,4 ^d	74,44±0,3 ^d	74,49±0,5 ^d	74,16±0,3 ^d	74,26±0,3 ^d	74,26±0,3 ^d

K:Kontrol, A:%25 PAS, B:%50 PAS, C:%75 PAS

*a,b,c,d: Aynı sütunda farklı üst simgeyi taşıyanlar istatistiksel bakımdan farklıdır ($p<0,05$).

Tablo 3b. Muhafaza süresi boyunca kefir örneklerinin a* değerleri

Gruplar	Muhafaza süresi(gün)					
	1	3	5	7	14	30
K	-1,40±0,2 ^a	-1,41±0,2 ^a	-1,39±0,3 ^a	-1,39±0,2 ^a	-1,44±0,2 ^a	-1,41±0,2 ^a
A	-1,31±0,2 ^a	-1,39±0,2 ^a	-1,32±0,4 ^a	-1,37±0,2 ^a	-1,37±0,3 ^a	-1,42±0,3 ^a
B	-1,54±0,2 ^a	-1,63±0,2 ^a	-1,68±0,2 ^a	-1,70±0,3 ^a	-1,76±0,2 ^a	-1,79±0,4 ^a
C	-2,05±0,2 ^b	-2,00±0,2 ^b	-2,19±0,2 ^b	-2,17±0,4 ^b	-2,53±0,2 ^b	-2,53±0,2 ^b

K:Kontrol, A:%25 PAS, B:%50 PAS, C:%75 PAS

*a,b,: Aynı sütunda farklı üst simgeyi taşıyanlar istatistiksel bakımdan farklıdır ($p<0,05$).

Tablo 3c. Muhafaza süresi boyunca kefir örneklerinin b* değerleri

Gruplar	1	3	5	7	14	30
K	6,71±0,2 ^a	6,82±0,2 ^a	6,79±0,2 ^a	6,70±0,2 ^a	6,70±0,3 ^a	6,65±0,3 ^a
A	6,84±0,2 ^a	6,94±0,2 ^a	7,00±0,1 ^a	7,05±0,2 ^a	7,05±0,2 ^a	7,00±0,1 ^a
B	6,07±0,2 ^a	6,56±0,2 ^a	6,70±0,3 ^a	6,68±0,2 ^a	6,48±0,2 ^a	6,49±0,2 ^a
C	6,25±0,2 ^a	5,51±0,3 ^b	5,86±0,3 ^b	5,29±0,2 ^b	5,42±0,2 ^b	5,42±0,3 ^b

K:Kontrol, A:%25 PAS, B:%50 PAS, C:%75 PAS

*a,b: Aynı sütunda farklı üst simgeyi taşıyanlar istatistiksel bakımdan farklıdır (p<0,05)

Kefir örneklerinin viskozite değerlerinin günlere göre değişimi ise Tablo 4'te verilmiştir. Muhafazanın tüm günlerinde, gruplar arası viskozite değerlerindeki değişim istatistiki açıdan önemli bulunmuştur (p<0,05). Bu durumun, kefirde bulunan mikroorganizmaların proteolitik aktiviteleri sonucu, süt proteinlerinin üç boyutlu yapısını zayıflatmış olabileceği ve kefir örneklerinin viskozitesini azaltılabileceğinden

kaynaklandığı düşünölmektedir. Peynir altı suyunun, örneklerin viskozitesini düşürdüğü tespit edilmiştir. (p<0,05). Peynir altı suyunda, viskoziteye etki eden β-kazein proteolitik aktivite sonucu parçalandığı için viskozite süte oranla daha düşüktür. Akal ve ark. [1], kefirde peynir altı suyu kullanımını inceledikleri çalışmalarımda, peynir altı suyu oranının artmasıyla viskozitenin düştüğünü tespit etmişlerdir.

Tablo 4. Muhafaza süresi boyunca kefir örneklerinin viskozite değerleri

(cp)	Muhafaza süresi(gün)					
Gruplar	1	3	5	7	14	30
K	353,0±0,6 ^{a,x}	336,5±0,5 ^{c,x}	284,5±0,6 ^{b,x}	234,0±0,2 ^{b,x}	213,5±0,5 ^{b,x}	195,0±0,3 ^{c,x}
A	152,5±0,5 ^{b,y}	144,0±0,2 ^{b,y}	130,4±0,2 ^{b,y}	116,1±0,4 ^{a,y}	106,5±0,5 ^{a,y}	93,5±0,6 ^{a,y}
B	58,5±0,4 ^{a,z}	49,5±0,4 ^{a,z}	39,6±0,5 ^{b,z}	48,7±0,5 ^{a,z}	45,1±0,5 ^{a,z}	40,0±0,2 ^{b,z}
C	34,5±0,5 ^{a,t}	29,0±0,2 ^{a,t}	22,7±0,3 ^{b,t}	25,4±0,4 ^{b,t}	24,8±0,4 ^{b,t}	22,0±0,1 ^{b,t}

*K:Kontrol, A:%25 PAS, B:%50 PAS, C:%75 PAS

*a,b,c: Aynı satırda farklı üst simgeyi taşıyanlar istatistiksel bakımdan farklıdır (p<0,05).

*x,y,z,t: Aynı sütunda farklı üst simgeyi taşıyanlar istatistiksel bakımdan farklıdır (p<0,05).

3.2 Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları

Çalışmada kullanılan kefir kültürünün mikroflorası Tablo 5'te verilmiştir. Kefir kültüründe *Enterobacter* ve küf tespit edilmemiştir. Toplam mezofil aerob bakteri, laktik asit bakterileri ve mayaların sayısı muhafaza süresince artmıştır. Fermantasyonun ilk saatlerinde mayaların sayısı artarken sonlarına doğru ise laktik asit bakterilerinin sayısının arttığı görölmektedir. Başlangıçta yavaş gelişen laktik asit bakterileri sütün pH değerini düşüreceğinden ve asitlik geliştireceğinden mayaların üremesini teşvik etmiştir. Mayaların aktivitesi sonucu oluşan vitamin ve asitlerin laktik asit bakterilerin gelişimini desteklemesi nedeniyle fermantasyonun sonuna doğru laktik asit bakterilerinin gelişimi hızlanmıştır.

Türk Gıda Kodeksi Fermente Sütler Tebliği (Tebliğ No: 2009/25)'ne göre kefir; en az 10⁷ toplam spesifik mikroorganizma (KOB/ml), en az 10⁴ maya (KOB/ml)

içermelidir. Kefirde *E.coli* ve diğer patojen mikroorganizmalar bulunmamalı, küf sayısı 10²-10³ log KOB/g arasında olmalıdır [2]. Buna göre stok kefirin belirlenen kriterler açısından uygun olduğu tespit edilmiştir.

Deneysel örneklerin maya sayısı Tablo 6'da verilmiştir. Başlangıçta düşük pH ortamı, besin bileşimi ve asitliğe bağlı olarak maya popölasyonu artış gösterirken zamanla ortamdaki besin bileşiminin tükenmesine bağlı olarak maya düzeyinde düşüş gözlemlenmiştir. Arslan [3], kefirde yapmış olduğu çalışmada maya sayısını 5,6-7,0 log KOB/ml aralığında saptamıştır. Çıray [5], piyasada satılan ticari kefirlerin mikrobiyal kalitesini incelediği çalışmada kefirdeki maya düzeyini 2,32-5,40 log KOB/ml aralığında bulmuştur. Araştırma bulgularımıza göre kefir örneklerinin maya sayısının yapılan çalışmalarla uyumlu olduğu görölmektedir

Tablo 5. Çalışmada kullanılan kefir danesinin mikroflorası

Kefir danesi mikroflorası	zaman(saatt)	pH	sayı(log KOB/ml)
Toplam mezofil aerob canlı	0	6,71	5,17
	4	5,35	6,8
	8	4,5	9,9
<i>Lactobacillus</i> spp.	0	6,71	4,8
	4	5,35	6,03
	8	4,5	7,3
<i>Lactococcus</i> spp.	0	6,71	4,95
	4	5,35	6,8
	8	4,5	9,9
Toplam maya sayısı	0	6,71	3,56
	4	5,35	6,95
	8	4,5	7

Tablo 6. Kefir örneklerinin muhafaza süresince toplam maya sayısı (\log_{10} KOB/ml)

		Muhafaza Süresi (Gün)						
		Gruplar	1	3	5	7	14	30
Toplam maya sayısı(\log KOB/ml)	K		7,21±0,01 ^{a,x}	7,42±0,01 ^{a,x}	7,15±0,01 ^{a,x}	7,57±0,01 ^{a,x}	8,11±0,01 ^x	6,25±0,01 ^y
	A		7,08±0,01 ^{a,y}	7,07±0,01 ^{a,y}	6,63±0,01 ^{b,z}	6,54±0,01 ^{b,z}	8,12±0,01 ^{a,x}	6,36±0,01 ^{a,z}
	B		6,50±0,01 ^{b,y}	6,57±0,01 ^{b,y}	6,43±0,01 ^{b,y}	8,34±0,01 ^{a,x}	8,36±0,01 ^{a,x}	6,41±0,01 ^{a,y}
	C		6,43±0,01 ^{b,y}	6,50±0,01 ^{b,y}	7,85±0,01 ^{a,x}	7,90±0,01 ^{a,x}	7,95±0,01 ^{a,x}	6,22±0,01 ^{a,y}

K:Kontrol, A:%25 PAS, B:%50 PAS, C:%75 PAS

*a,b,c: Aynı sütunda farklı üst simgeyi taşıyanlar istatistiksel bakımdan farklıdır (p<0,05).

*x,y,z: Aynı satırda farklı üst simgeyi taşıyanlar istatistiksel bakımdan farklıdır (p<0,05).

Probiyotik süt ürünlerinin, fonksiyonel özelliklerini gösterebilmeleri için 10^6 ile 10^8 KOB/ml düzeyinde canlı sayısı içermesi ve depolama süresi boyunca da bu düzeyi korumaları gerekmektedir [18]. Araştırma bulgularına göre tüm örneklerin laktik asit bakteri sayısı tebliğe uyumlu bulunmuş olup Tablo 7a'da ve Tablo 7b'de verilmiştir. Peynir altı suyu oranındaki artışın laktik asit bakterileri sayısını istatistiki olarak önemli derecede azaltmadığı tespit edilmiştir (p>0,05). Buna neden olarak artan laktoz oranının su aktivitesini etkilediği ve laktik asit bakterilerinin çalışmasını yavaşlattığı düşünülmüştür. Ninane ve ark. [17], yaptıkları çalışmada *Lactobacillus* 8,14 log KOB/ml, Çıray [5], sade kefir örneklerinde

Lactococcus sayılarını 7,53-9,95 log KOB/ml düzeyinde saptamışlardır.

Kefir örneklerinin toplam mezofil aerob canlı sayısı Tablo 8'de verilmiştir. Muhafaza süresi boyunca grup içi günler ve gruplar arasındaki farkın önemsiz olduğu görülmektedir (p>0,05). Araştırma bulgularımıza göre peynir altı suyunun, toplam mezofil aerob canlı sayısını etkilemediği tespit edilmiştir. Taş ve ark. [14], yaptıkları bir çalışmada kefirde toplam mezofil canlı sayısını 9,08 log KOB/ml bulmuştur. Örneklerde muhafaza süresince *Enterobacter* sayısı tespit edilebilir düzeyin altında (<10 log KOB/ml) olarak bulunmuştur. Yapılan çalışmalarla mikrobiyolojik araştırma bulgularımızın uyumlu olduğu görülmüştür.

Tablo 7a. Kefir örneklerinin muhafaza süresince *Lactobacillus* spp. sayısı (\log_{10} KOB/ml)

		Muhafaza süresi(gün)						
		Gruplar	1	3	5	7	14	30
<i>Lactobacillus</i> spp. (\log KOB/ml)	K		9.22±0.3 ^a	9.34±0.3 ^a	8.89±0.1 ^a	8.50±0.1 ^a	9.82±0.1 ^a	9.41±0.3 ^a
	A		8.79±0.2 ^{ab,x}	9.10±0.2 ^{a,x}	8.21±0.1 ^{ab,x}	7.86±0.3 ^{b,y}	8.43±0.1 ^{b,x}	9.43±0.3 ^{a,y}
	B		8.51±0.1 ^{ab}	8.91±0.2 ^{ab}	9.11±0.2 ^a	8.84±0.3 ^a	9.34±0.2 ^a	9.21±0.1 ^a
	C		8.13±0.1 ^{b,xy}	8.11±0.3 ^{b,xy}	7.75±0.3 ^{b,y}	7.76±0.3 ^{b,y}	8.50±0.3 ^{b,xy}	9.36±0.2 ^{a,x}

K:Kontrol, A:%25 PAS, B:%50 PAS, C:%75 PAS

a,b,c: Aynı sütunda farklı üst simgeyi taşıyanlar istatistiksel bakımdan farklıdır (p<0,05).

x,y,z: Aynı satırda farklı üst simgeyi taşıyanlar istatistiksel bakımdan farklıdır (p<0,05).

Tablo 7b. Kefir örneklerinin muhafaza süresince *Lactococcus* spp. sayısı (\log_{10} KOB/ml)

		Muhafaza süresi(gün)						
		Gruplar	1	3	5	7	14	30
<i>Lactococ</i> spp. (\log KOB/ml)	K		9,76±0,1 ^{a,x}	8,33±0,1 ^{b,y}	9,78±0,1 ^{a,x}	9,78±0,1 ^{a,x}	9,69±0,2 ^{a,x}	9,35±0,2 ^{a,x}
	A		9,44±0,1 ^{a,x}	8,35±0,1 ^{b,y}	9,97±0,2 ^{a,x}	9,97±0,1 ^{a,x}	8,78±0,1 ^{b,y}	9,86±0,1 ^{a,x}
	B		9,88±0,1 ^{a,x}	9,42±0,1 ^{a,x}	9,46±0,1 ^{a,x}	9,49±0,1 ^{a,x}	9,60±0,1 ^{a,x}	9,30±0,1 ^{a,x}
	C		8,55±0,1 ^{b,y}	9,43±0,1 ^{a,x}	8,62±0,1 ^{b,y}	8,62±0,3 ^{b,y}	8,71±0,1 ^{b,y}	9,69±0,1 ^{a,x}

K:Kontrol, A:%25 PAS, B:%50 PAS, C:%75 PAS

*a,b,c: Aynı sütunda farklı üst simgeyi taşıyanlar istatistiksel bakımdan farklıdır (p<0,05).

*x,y,z: Aynı satırda farklı üst simgeyi taşıyanlar istatistiksel bakımdan farklıdır (p<0,05).

Tablo 8. Kefir örneklerinin muhafaza süresince toplam mezofil canlı sayısı (\log_{10} KOB/ml)

		Muhafaza süresi(gün)						
		Gruplar	1	3	5	7	14	30
Toplam mezofil aerob bakteri(\log KOB/ml)	K		9,60±0,2	9,78±0,2	9,96±0,2	9,78±0,2	9,36±0,2	9,24±0,2
	A		9,13±0,2	9,03±0,3	9,34±0,1	9,56±0,2	9,07±0,3	9,43±0,1
	B		9,28±0,2	9,85±0,1	9,88±0,2	9,85±0,3	9,43±0,1	9,43±0,2
	C		9,23±0,2	9,43±0,2	9,86±0,3	9,43±0,1	9,40±0,3	9,44±0,3

K:Kontrol, A:%25 PAS, B:%50 PAS, C:%75 PAS

3.3 Duyusal Analiz Sonuçları

Kefir örneklerinin depolama boyunca duyusal özelliklerinden almış olduğu puanın günlere göre değişimi Tablo 9'da verilmiştir. Güzel-Seydim ve ark. [10] yapmış

oldukları çalışmaya göre iyi bir kefirin akıcı kıvamda, homojen ve parlak bir görünümde olmasını, topaklanma ve serum ayrılması olmaması gerektiğini ve hafif ekşi bir

tada sahip olup içildiğinde fermente tadın hissedilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Grupların muhafaza süresince duyusal analiz puanları arasındaki fark önemli bulunmamıştır ($p>0,05$). Gruplar arasında en beğenilen grup B grubu olmuştur. Peynir altı suyu oranının artması kefirde arzulan ekşi tadı baskıladı ve serum

ayrılmasını düşürdüğü gibi nedenlerle C grubunda en düşük puanı almıştır. K, A ve B gruplarında, kefir mikroflorasındaki laktik asit bakterilerinin ürettiği polisakaritlerin viskoziteyi artırmış ve serum ayırılmasını engellemiş olabileceği düşünülmüştür.

Tablo 9. Kefir örneklerinin görünüş ve tekstür üzerinden aldığı puanlar (35 puan üzerinden).

Görünüş ve Tesktür (35 puan üzerinden)				
	K	A	B	C
Günler	Puan	Puan	Puan	Puan
0	27,45	29,27	31,41	27,45
3	25,34	28,45	29,88	25,34
5	24,1	27,56	29,21	24,10
7	21,34	25,97	27,23	21,34
14	18,14	26,41	25,61	18,14
30	18,43	23,91	24,95	18,43
Koku (30 puan üzerinden)				
0	17,28	24,28	23,91	14,90
3	21,35	25,54	24,62	14,54
5	22,02	26,57	24,20	14,92
7	21,94	27,03	24,09	15,28
14	21,62	25,49	23,57	16,14
30	21,93	24,81	24,02	16,48
Tat (35 puan üzerinden)				
0	19,63	23,88	27,64	16,76
3	22,00	25,96	28,77	19,79
5	22,42	27,49	28,65	20,57
7	24,26	28,82	28,24	23,86
14	26,37	29,84	29,31	25,35
30	27,15	30,27	29,39	25,94

K:Kontrol, A:%25 PAS, B:%50 PAS, C:%75 PAS

4 Sonuç

Peynir altı suyu kullanımının kefir örneğinde maya sayısını istatistiki olarak önemli derecede artırdığı ($p<0,05$), laktik asit bakterileri sayısını istatistiki olarak önemli derecede azalttığı ($p<0,05$), toplam mezofil aerob canlı sayısını ise muhafaza süresi boyunca grup içi günler arasında önemli ölçüde değiştirmedeği ($p>0,05$) tespit edilmiştir. Örneklerin pH değerleri arasındaki fark gruplar arası günde muhafaza süresi boyunca önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$). K ve B grubu örneklerinin pH değerlerinde, muhafazanın 1. günü ile diğer günleri (3., 5., 7., 14. ve 30) arasındaki fark önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Peynir altı suyunun, muhafaza süresince grup içi ve gruplar arasındaki asitlik ve kuru madde değerlerini istatistiki açıdan anlamlı olarak değiştirmedeği tespit edilmiştir ($p>0,05$). Peynir altı suyunun L^* değeri (beyazlık ve parlaklık) ve b^* (sarılık) değerlerini azalttığı, a^* (yeşillik) değerini artırdığı tespit edilmiştir. L^* değerlerindeki azalış tüm örneklerde istatistiki açıdan önemli bulunmuş ($p<0,05$), a^* değerlerindeki azalış B ve C grubunda, b^* değerlerindeki artış ise C grubunda istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Peynir altı suyu oranının artmasıyla tüm gruplarda viskozitenin

düştüğü tespit edilmiştir ($p<0,05$). Muhafazanın tüm günlerinde, gruplar arası viskozite değerlerindeki değişim istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Muhafaza süresince kefir örneklerinin, grup içi ve gruplar arası duyusal özelliklerinden aldıkları puan farkları istatistiki açıdan anlamsız bulunmuştur ($p>0,05$).

Açıklamalar

Bu çalışma M-714 nolu proje kapsamında CÜBAP tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Akal, C., Türkmen, N., & Koçak, C. (2016). Kefir Üretiminde Peyniraltı Suyu Kullanımı. *Gıda/The Journal Of Food*, 41(5).
- [2] Gıda, T., & Bakanlığı, H. (2009). Türk gıda kodeksi fermente süt ürünleri tebliği. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 25, 2009.
- [3] Arslan, A. A. (2015). Üretim parametrelerinin kefirin fizikokimyasal, mikrobiyolojik ve duyusal özellikleri üzerine etkisi ile üretilen kefirlerin peptid profilinin belirlenmesi. Akdeniz Üniversitesi, Antalya.

- [4] Burucu, H. (2008). Peynir altı suyu ürünleri ile kappa karragenan kullanımının duyuşsal fiziko-kimyasal ve probiyotik özellikler üzerine etkisi. Selçuk Üniversitesi, Konya.
- [5] Çıray, Z. (2017). Piyasada satılan ticari kefirlerin mikrobiyal kalitesinin değerlendirilmesi. İstanbul Medipol Üniversitesi, İstanbul.
- [6] Dimitreli, G., Gregoriou, E. A., Kalantzidis, G., & Antoniou, K. D. (2013). Rheological properties of kefir as affected by heat treatment and whey protein addition. *Journal of Texture Studies*, 44(6), 418-423.
- [7] Ertekin, B., & Guzel-Seydim, Z. B. (2010). Effect of fat replacers on kefir quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(4), 543-548.
- [8] Garrote, G. L., Abraham, A. G., & De Antoni, G. L. (2001). Chemical and microbiological characterisation of kefir grains. *The Journal of dairy research*, 68(4), 639.
- [9] Güzeler, N., & Esmek, E. M. (2014). Kefir Kültürü Kullanılarak Üretilen Peynir Altı Sulu İçeceğin Bazı Özellikleri ve Depolama Süresinin Etkisi. *Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29(2), 29-42..
- [10] Guzel-Seydim, Z., Seydim, A. C., & Greene, A. K. (2000). Organic acids and volatile flavor components evolved during refrigerated storage of kefir. *Journal of Dairy Science*, 83(2), 275-277.
- [11] Irigoyen, A., Arana, I., Castiella, M., Torre, P., & Ibanez, F. C. (2005). Microbiological, physicochemical, and sensory characteristics of kefir during storage. *Food Chemistry*, 90(4), 613-620.
- [12] Hitchins, A. D. (1992). Coliforms-Escherichia coli and its toxins. *Compendium of methods for the microbiological examination of foods*, 325-369.
- [13] Keskin, M., Setlek, P., & Demir, S. (2017, November). Use of color measurement systems in food science and agriculture. In *International Advanced Researches & Engineering Congress* (pp. 16-18).
- [14] Kök Taş, T., İlay, E., & Öker, A. (2014). Pekmez ve erik kullanılarak üretilen kefirlerin bazı kalite kriterlerinin belirlenmesi. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2(2), 86-91..
- [15] Kurt, A., Çakmakçı, S., & Çağlar, A. (2003). Süt ve mamülleri muayene ve analiz metotları rehberi (Genişletilmiş 8. Baskı). *Atatürk Üniversitesi Yayınları*, Erzurum, 238s.
- [16] Heymann, H., & Lawless, H. T. (1999). *Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices* (first.).
- [17] Ninane, V., Berben, G., Romnee, J. M., & Oger, R. (2005). Variability of the microbial abundance of a kefir grain starter cultivated in partially controlled conditions. *Base*.
- [18] SAMONA, A., & Robinson, R. K. (1994). Effect of yogurt cultures on the survival of bifidobacteria in fermented milks. *International Journal of Dairy Technology*, 47(2), 58-60.
- [19] Shihata, A., & Shah, N. P. (2002). Influence of addition of proteolytic strains of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* to commercial ABT starter cultures on texture of yoghurt, exopolysaccharide production and survival of bacteria. *International Dairy Journal*, 12(9), 765-772.
- [20] Simova, E., Beshkova, D., Angelov, A., Hristozova, T. S., Frengova, G., & Spasov, Z. (2002). Lactic acid bacteria and yeasts in kefir grains and kefir made from them. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 28(1), 1-6.
- [21] Swanson, K. M. J., Busta, F. F., Peterson, E. H., & Johnson, M. G. (1992). Colony count methods. *Compendium of methods for the microbiological examination of foods*, 3, 75-95.
- [22] Üçüncü, M. (2004). A'dan Z'ye Peynir Teknolojisi (Cilt-II). *Meta Basım Matbaacılık İşleri*, İzmir.



THE POTENTIAL OF BIOGAS PRODUCTION AS A BIOFUEL FROM CATTLE MANURE IN TURKEY AND PROJECTED IMPACT ON THE REDUCTION OF CARBON EMISSIONS FOR 2030 AND 2053

M. Raşit Atelge*¹ 

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Siirt University, 56100 Siirt, Turkey

Abstract

Original scientific paper

With the increasing population in the world, the energy demand is increasing with the same trend. Researchers have been motivated to figure out renewable energy sources to meet this increase energy demand because fossil fuels are limited and they emit harmful gases to the environment during their conversion. Biogas is one of the renewable energy sources and besides producing a renewable energy source by converting waste into energy, it also contributes to reducing the gases that will be released into the atmosphere by the disposal of waste. In this study, the anaerobic digestion (AP) process was applied to cattle manure as a feedstock for biogas production. By performing biochemical methane potential test under mesophilic conditions ($37^{\circ}\text{C} \pm 1$), specific biogas and methane productions were obtained as 236 ± 15 mL Biogas/g VS and 133 ± 3 mL CH_4/g VS. Biogas production potential from cattle manure, which is related to the number of cattle in 2018 across Turkey, was calculated by using experimental results. When this potential converted into electricity, a possible decrease of the greenhouse gas emulsion was calculated in million tons of CO_2 equivalent. It has been demonstrated that if this potential energy is produced by using biogas instead of coal, the emission of 23.26 million tons of CO_2 equivalent gas to the atmosphere would be reduced. In addition, using the ARIMA model, the potential for biogas production from cattle manure was estimated for 2023, 2030, and 2053. According to the ARIMA model, when converting the potential biogas to be produced into electrical energy, and reducing the use of coal for electricity generation, a reduction in gas emulsion emissions of 32.62 million tons of CO_2 equivalent for 2023, 44.22 million tons of CO_2 equivalent for 2030, and 70.74 million tons of CO_2 equivalent for 2053 were estimated.

Keywords: Biogas, Cattle manure, prediction of electricity production from biogas, reduction of CO_2 emission.

TÜRKİYE'DE SIĞIR GÜBRESİNDEN BİYOKAYIT OLARAK BİYOGAZ ÜRETİMİNİN POTANSİYELİ VE 2030 VE 2053 YILLARINDA KARBON EMİSYONLARININ AZALTILMASINA ÖNGÖRÜLEN ETKİSİ

Özet

Orijinal Bilimsel Makale

Dünyadaki artan nüfus ile birlikte enerji talebi de aynı eğilimle artmaktadır. Artan enerji talebini karşılamak için fosil yakıtlarının sınırlı olması ve yakılması sonucu çevre sorunlarına neden olmaları, araştırmacıları yenilenebilir enerji kaynaklardan bu talebin karşılanması için motive etmektedir. Biyogaz, yenilenebilir enerji kaynaklarından olup atıkların enerjiye çevrilmesiyle yenilenebilir enerji kaynağı üretmenin yanı sıra atıkların bertaraf edilmesiyle atmosfere salınacak gazların azaltılmasında da katkı sağlamaktadır. Bu çalışmada, biyogaz üretimi için besin kaynağı olarak sığır gübresi kullanılarak anaerobik parçalama (AP) işlemi uygulanmıştır. Mezofilik şartlarda ($37^{\circ}\text{C} \pm 1$) biyokimyasal metan potansiyeli testi yapılarak, spesifik biyogaz ve metan üretimi 236 ± 15 mL Biyogaz/g VS ve 133 ± 3 mL CH_4/g VS olarak elde edilmiştir. Deneysel çalışma sonuçları 2018 yılı Türkiye genelindeki sığır sayısı ile ilişkilendirilerek Türkiye'deki sığır gübresinden biyogaz üretim potansiyeli hesaplanmıştır. Bu potansiyelin elektrik enerjisi üretiminde kullanılmasıyla milyon ton CO_2 eşdeğerinde sera gazı emülsiyonundaki azalma belirlenmiştir. Potansiyel bu enerjiyi kömür kullanımı yerine biyogaz kullanılarak üretilmesi durumunda 23,26 milyon ton CO_2 eşdeğerinde gazın atmosfere salınımının azaltılacağı ortaya konmuştur. Ayrıca, ARIMA model kullanılarak 2023, 2030 ve 2053 yılları için sığır gübresinden biyogaz üretimi potansiyeli tahminlenmesi yapılmıştır. ARIMA modeline göre, üretilen potansiyel biyogazın elektrik enerjisine dönüştürülmesi ve elektrik üretimi için kömür kullanımının azaltılmasıyla birlikte 2023 yılı için 32,62, 2030 yılı için 44,22 ve 2053 yılı için 70,74 milyon ton CO_2 eşdeğerinde gaz emülsiyonu salınımında azalma tahmin edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Biyogaz, sığır gübresi, biyogazdan elektrik üretimi tahmini, CO_2 emisyonunda azalma.

* Corresponding author.

E-mail address: rasitatelge@siirt.edu.tr (M.R. Atelge)

Received 21 April 2021; Received in revised form 28 May 2021; Accepted 05 June 2021

2587-1943 | © 2021 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.923792>

1 Giriş

Dünya nüfusu 2000 ile 2019 yılları arasında yıllık %1 – 2 arasında artarak, 2019'da 7,71 milyara ulaşmıştır [1]. Artan dünya nüfusu ile küresel enerji tüketiminin 2017'de yaklaşık 600 katrilyon BTU iken, 2040'ta 739 katrilyon BTU'ya yükseleceği tahmin edilmektedir [2]. Küresel enerji tüketimi; fosil yakıtlar, nükleer enerji, geleneksel biyokütle ve modern yenilenebilir enerji teknolojileri olmak üzere dört ana kaynaktan elde edilmektedir [3]. 2017 yılında üretilen toplam enerjinin %79,7'si fosil yakıtlardan, %2,2'si nükleer enerji santrallerinden, %7,5'i geleneksel biyokütle kaynaklarından ve %10,6'sı ise modern yenilenebilir enerji teknolojilerinden elde edilmiştir [3]. Bu nüfus artışı ile artan enerji talebi, küresel ısınma, ulusal enerji güvenliği ve yıllarca doğal kaynak tüketiminin sürekli artış trendi ile ilgili doğal kaynaklardaki azalma endişelere neden olmuştur. Bu sorunlar, insanlığa biyorafineri yöntemi ile doğal kaynakların verimli bir şekilde kullanılması yönünde itici bir güç oluşturmuştur. Biyorafineri, atık malzemelerin değer katmak ve çevre dostu bir şekilde biyo ürün ve biyoyakıt üretmek için değerli bir kaynak olarak kullanılabilir [4]. Biyorafineri ile üretilen biyoenerji, 2015 yılında dünya enerji tüketiminin %8,9'unu sağlarken, bu tüketimin %10,35'i diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmıştır [5]. Bu olumlu gelişmelere rağmen dünya enerji ihtiyacının karşılanmasında hala fosil yakıtlar birinci sıradadır. Fosil yakıtların yaygın kullanımı, küresel ısınma gibi uzun vadeli çevresel risklere neden olmaktadır. Küresel ısınmaya en önemli katkı, birçok yanma kaynağından gelen karbondioksit (CO₂) emisyonudur.

Avrupa Çevre Ajansı tarafından yakın zamanda yayınlanan rapora göre, 1980 ile 2013 yılları arasında küresel ısınmayla ilgili aşırı hava olaylarının (kuraklık, sel gibi), Avrupa Birliğine (AB) 400 milyar Euro'luk bir maliyetinin olduğunu bildirmiştir [6]. Bu olumsuz etkileri azaltmak için AB, 2030'da iklim ve enerji hedefleri arasında; sera gazı emisyonlarında 1990 yılına göre %40 azalma, yenilenebilir enerji kurulu kapasitesini tüm AB enerji arzının %27'sini karşılayacak seviyeye çıkarma ve enerji verimliliğinde %27 iyileşme yer almaktadır [7, 8]. Biyorafineri yöntemlerinden biri olarak kabul edilen biyogaz üretimi, enerji taşıyıcısı olarak esnekliği ve depolana bilirliliği, üretiminde kullanılabilen çok çeşitli biyolojik kaynaklar ve geniş bir uygulama yelpazesine sahip olması (ısıtma, ulaşım ve elektrik üretimi) nedeniyle bu enerji hedeflerine ulaşmada önemli bir rol oynaması beklenmektedir [9].

Biyogaz üretiminde anaerobik parçalama (AP) uygulaması, teknolojisi ve tasarımı bakımından olgunlaşmış bir yöntem olduğundan dolayı biyoenerji üretim yolu olarak yaygın kullanılmaktadır [9]. AP işlemi birçok amaca eşzamanlı olarak hizmet etmektedir. Birincisi, karmaşık moleküllere sahip organik atıkları metan (CH₄) ve CO₂ gibi enerji sektöründe kullanılacak basit moleküllere dönüştürecek bir arıtma platformu sağlar. İkincisi, AP sürecinden enerjinin yani sıra çıkan besin açısından zengin parçalama ürünü, kimyasal gübre yerine organik gübre olarak kullanılabilir [10]. Ayrıca AP işlemi, coğrafi şartlardan bağımsız olması

diğer bir avantajıdır [11, 12]. Biyogaz teknolojisi ayrıca yerel enerji ihtiyacının karşılanması, atıkların kokusunu ve patojenlerin azaltılmasını sağlamaktadır. Biyoenerji, petrol, gaz ve kömürün sırasıyla biyoyakıtlar, biyogaz ve biyokütle ile değiştirilebildiği fosil yakıtlara tek doğrudan alternatiftir [13].

Türkiye, enerji kaynağı olarak değerlendirilebilecek önemli bir biyokütle potansiyeline sahiptir. Türkiye'nin yıllık biyokütle enerji potansiyeli 32,6 Mtoe iken, toplam geri kazanılabilir 17,2 Mtoe olarak tahmin edilmiştir [14]. Aynı çalışmada hayvancılıktan yıllık yaklaşık 39,79 milyon ton sığır, 26,62 milyon ton koyun ve keçi ve 5,36 milyon ton kümes hayvanı gübresi olmak üzere 71,77 milyon ton hayvan gübresi üretildiği bildirilmiştir. Türkiye'de hayvan gübresinin çoğu kontrolsüz depolanır veya sadece ısınma amacıyla doğrudan yakılmakta, bu da gübrenin kalitesinin düşmesine, enerjinin çoğunun kaybına neden olmaktadır [15]. Türkiye'de biyokütle kullanımı sürdürülebilir enerji arzı, enerji güvenliği ve sera gazı emisyonlarının azaltılması açısından önemlidir.

Türkiye %70'in üzerinde enerjisinin ithal eden, enerji ithalatçısı bir ülke durumundadır. Bu yüzden, elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının artırılması güncel enerji politikası konularından biridir [16]. Yenilenebilir enerji politikaları, yenilenebilir enerji sistemleri için teşvikler içermektedir ve 2023 yılına kadar toplam elektrik arzının en az %30'unun yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması hedeflenmektedir [16]. 2019 yılı itibarıyla, yenilenebilir enerji ve atıklardan elektrik enerjisi üretiminin oranı %43,9'a ulaşmış ve bu hedef gerçekleşmiştir [17]. Ancak bu oranda en büyük pay %63,6 ile hidroelektrik santrallerine aittir [1]. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretim oranının, ilerleyen yıllarda artırılmak istendiğinde ve 2053 yılında sıfır emisyon salımı hedefine ulaşmak istendiğinde biyogaz üretimine verilmesi gereken önem ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'nin sera gazı emisyonlarını azaltma ve yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretim oranlarının yükseltilmesi amacıyla hayvan gübresinden, biyogaz üretme potansiyelini gösterecek bir veri elde etmektir. Ayrıca ülkenin kalkınma planları doğrultusunda, 2030 ve 2053 yıllarında bu potansiyelin ulaşabileceği büyüklük hakkında otoregresif entegre hareketli ortalama (ARIMA) modeli ile tahminleme yapmak ve bir yol haritası oluşturulması için katkıda bulunmaktadır. Bu çalışmanın sonuçları, ülkenin organik atık yönetimine ve biyogaz üretimine, enerji arz güvenliğine ve doğal gaz bağımlılığın azaltılmasına katkı sağlayacaktır. Değerlendirilen potansiyel, Türkiye'deki enerji planlamasında biyogazın dikkate alınması için veri sağlayacaktır. Bu çalışmanın bulguları, politikacılara ve yatırımcılara ülkenin biyoenerji potansiyelini kullanmaları için yol gösterici olacaktır.

2 Materyal ve Metot

Bu çalışma, Türkiye'deki sığır gübresinden biyogaz üretim potansiyelini ve üretilen biyogazın standart yakma sistemi ile elektriğe dönüştürülmesini ve enerji potansiyelini ortaya koymaktır. Ayrıca, bu biyogaz potansiyelinden üretilen elektriğin miktarının elde edilmesi için buna karşılık gelen enerjinin kömür

kullanılarak elektrik üretilmesindeki kömür kullanımının azaltılması durumunda sera gazı salınımı ve bu salınımdaki potansiyel azalmayı göstermektedir. Ülke genelinde, nüfus bilgileri, sığır sayısı, toplam sera gazı emisyonları ve net elektrik enerjisi tüketimi içeren 2008 – 2018 arasındaki Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verileri Tablo 1’de sunulmuştur [17].

2.1 Hammadde ve Karakterizasyon

Anaerobik parçalanma (AP), organik hammaddelerin oksijensiz bir ortamda biyolojik olarak ayrışması işlemidir. Bu süreçte, enerji olarak biyogaz ve parçalamaya artığı elde edilmektedir. Biyogaz esas olarak CH₄ ve CO₂’den oluşmaktadır. Hammadde içindeki kimyasal bağ enerjisi, bir AP süreci boyunca neredeyse sabittir ve sadece CH₄ formunda değişir [18]. Bir hammaddenin AP’de kullanılabilirliğini ortaya çıkarmak için bazı karakterizasyonların yapılması gerekmektedir. Hammadde olarak seçilen bir maddenin içerisindeki su oranını belirleme analizine toplam katı (*Total Solid* (TS)) analizi denilmektedir. Belirli bir miktar alınan hammadde 103-

105°C sıcaklıktaki fırında 24 saat tutularak içerisindeki tüm suyun uzaklaştırılması sağlanarak belirlenir. Uçucu katı (*Volatile Solid* (VS)) analizi ise numunenin önce 220 °C’de 30 dakika, daha sonra 550 °C’de 2 saat boyunca bir kül fırınında yakılmasıyla hesaplanır [19]. Bu analiz ile örnek içerisindeki tüm organik içerik uzaklaştırılmış olur. Biyogaz üretiminde VS içeriği TS içeriği kadar önemlidir, çünkü bir numunenin biyogaza dönüştürülebilir kısmını temsil eder. Bu çalışmada kullanılan sığır gübresinin TS ve VS değerleri Tablo 2’de sunulmuştur.

Yapılan çalışmanın genelleştirilebilmesi için günlük hayvan başına üretilen gübre miktarının belirlenmesi gerekmektedir. Sığır gübresinin niteliği ve miktarı, hayvanın cinsine, yem türüne, hayvan vücudunun büyüklüğüne, üreme türüne ve hayvanların yaşam ortamına bağlı olarak değişebilmektedir [20]. Bu nedenle gübreden üretilen biyogaz ve metan miktarlarında farklılıklar olabilir. Çeşitli çalışmalarda kullanılan hayvan başına üretilen gübre miktarı Tablo 3’te verilmiştir. Bu çalışma için seçilen değer ise bunların aritmetik ortalaması olarak kabul edilmiştir.

Tablo 1. 2008 – 2018 arasındaki nüfus, sığır sayısı, sera gazı salınımları ve net elektrik tüketimi verileri [17]

	Nüfus (kişi)	Sığır Sayısı (adet)	Toplam Sera gazı emisyonları (milyon ton CO ₂ eşdeğeri)	Net Elektrik Tüketimi (GWh)
2008	71517100	10946239	387,6	161948
2009	72561312	10811165	395,6	156894
2010	73722988	11454526	398,9	172051
2011	74724269	12483969	427,8	186100
2012	75627384	14022347	447,3	194923
2013	76667864	14532848	439,3	198045
2014	77695904	14345223	458,4	207375
2015	78741053	14127837	472,6	217312
2016	79814871	14222228	497,7	231203,7
2017	80810525	16105025	523,8	249022,6
2018	82003882	17220903	520,9	258232

Tablo 2. Kullanılan sığır gübresinin ve aşının TS ve VS değerleri

	Sığır Gübresi	Aşı
TS (%)	21,75	4,25
VS (%)	18,25	2,35

Tablo 3. Hayvan başına günlük üretilen gübre miktarı

Çalışmalar	Sığır Gübresi (kg/gün)	Referanslar
Abdeshahian ve ark.	22,5	[21]
Avcıoğlu ve ark.	10 – 20	[20]
Noorollahi ve ark.	6,1	[22]
Bu çalışma	14,5	

2.2 Biyokimyasal Metan Potansiyeli (BMP) Testi

Biyokimyasal metan potansiyeli (BMP) testi, bir hammaddenin metan verimi, biyolojik bozunabilirliği ve inhibisyon olasılığı hakkında bilgi verir. Bu test, EN 11734, VDI 4630 ve DIN 38 414 (S8) gibi standartlara göre yapılmaktadır. Bilinmeyen bir hammaddenin özelliklerini belirlemek için BMP testi Braun (DIN 38 414 (S8)) tarafından basitleştirilmiştir [23]. BMP testi için DIN 38 414 (S8) standartları takip edilerek, kesikli reaktör olarak 100 mL kaplar kullanılmıştır. Tartılarak ağırlığı tayin edilen bilinmeyen hammadde ve aşı, reaktörde karıştırılmıştır. Çürütücü reaktörü kapatmadan önce

anaerobik bir ortam oluşturmak için azot gazı ile ortamdaki oksijen uzaklaştırılmıştır. Reaktör olarak kullanılan kaplar, mezofilik (37°C±1) şartlar oluşturulması için etüv cihazına yerleştirilmiştir. Üretim 49 gün boyunca günlük olarak izlenmiş ve günlük biyogaz üretimi, toplam biyogaz üretiminin %1’inden daha az olduğunda test sonlandırılmıştır [24]. Bilinmeyen bir hammadde için, doğru BMP test sonuçları için üç numune hazırlanmıştır. Benzer şekilde, sonucu karşılaştırmak için boş (sadece aşı) örnekler için üç numune kullanılmıştır. Elde edilen zamana karşılık metan üretiminden elde edilen eğriler kullanılarak Denklem 1 (modifiye edilmiş Gompertz modeli) üzerinde lineer olmayan en küçük kareler metoduyla P_m, MPR_m ve

λ katsayıları hesaplanmıştır [25]. Denklemden, t ; deney süresini, P_m ; tahmini biyogaz-metan üretimini (mL Biyogaz-CH₄/g VS), MPR_m ; maksimum biyogaz-metan üretim oranını (mL Biyogaz-CH₄/d) ve λ ; gecikme aşamasını (gün) ifade etmek üzere, CMP_t toplam biyogaz-metan üretimi (mL Biyogaz-CH₄/g VS),

$$CMP_t = P_m * e^{(-e^{\left(\frac{MPR_m * e}{P_m} * (\lambda - t) + 1\right)})} \quad (1)$$

şeklinde hesaplanmıştır.

2.3 ARIMA Modeli

ARIMA modelleri, teorik olarak, zaman serisi verilerinin gelecekteki değerlerini tahmin etmek için en yaygın kullanılan modellerdendir [26]. ARIMA modelleri, Box – Jenkins yaklaşımı izleyerek tahminde bulunurlar [27]. Bu model, bir zaman serisinin gelecekteki değerlerini, kendi geçmiş değerlerinin ve/veya tahmin hatalarının gecikmelerinin doğrusal bir kombinasyonu olarak tahmin eder. Box ve Jenkins [28], bu modellerin bağımsız değişkenler içermediğini, aksine tahminler oluşturmak için serideki bilgileri kullandığını belirtmiştir. Bu nedenle, ARIMA modelleri serideki otokorelasyon modellerine bağlıdır. Bir ARIMA (p, d, q) modelinin üç parametresi vardır. AR (p), otoregresif sürecin sırasını temsil ederken, I (d), serinin durağan olmaması durumunda durağan seriyi elde etmek için alınan farkların sırasını temsil eder ve MA (q) ise hareketli ortalama işleminin sırasını temsil eder. Otoregresif model, t-dönemindeki değerinin belirli sayıdaki geri dönem değerleri ile aynı dönemdeki hata teriminin doğrusal bir fonksiyonu olarak ifade edilir. Modelin I (d) parametresi genellikle örneklemden alınan durağan olmadığında uygulanır. Seriler durağan ise, d = 0 ve eğer serilerin birinci farkları sabitse, d = 1 olarak ifade edilir. Hareketli ortalama parametresi, değişkenin doğrusal olarak bir stokastik teriminin şimdiki ve geçmişteki değerlerine bağlı olduğunu belirtir. P, d, q süreci ile genelleştirilmiş tek değişkenli genel ARIMA modeli Denklem (2)'de verilmiştir. Denklemden, X farklı zaman serisi değerini, μ sabit sayıyı, α ve θ bilinmeyen parametreleri ve e ise sıfır ortalamaya sahip normal dağılım gösteren bağımsız hata değişkeni terimini ifade etmek üzere;

$$X_t = \mu + \alpha_1 X_{t-1} + \dots + \alpha_p X_{t-p} - \theta_1 e_{t-1} - \dots - \theta_q e_{t-q} \quad (2)$$

denklemden, t, süreyi, p, gecikmeli otoregresif (AR) sürecini ve q, ise hareketli ortalama (MA) ifade etmektedir.

2.4 Yıllık Metan Potansiyelinin Hesaplanması

Laboratuvar ölçeğinden üretilen BMP testlerine göre, sığır gübresinden üretilebilecek yıllık biyogaz ve metan potansiyelini Denklem (3) ile hesaplanmıştır. Denklemden, x (adet); sığır sayısını, $a \left(\frac{kg}{adet \times gün} \times \frac{1 ton}{10^3 kg} \times \frac{365 (gün)}{1 (yıl)} \right)$; Tablo 3'te belirtilen sığır başına ortalama günlük gübre üretimini, b (%); BMP testinden elde edilen biyogaz içerisindeki metan yüzdesini, c (m³ CH₄/ton VS); BMP testinden elde edilen verilere göre uçucu katı ağırlığı 1 ton

olan sığır gübresinden elde edilen biyogaz hacmini ve VS (%); Tablo 1'de verilen uçucu katı yüzdesini, f; oluşan gübrenin elde edilebilirlik oranını (bu çalışmada %50 olarak kabul edilmiştir) ifade etmek üzere, toplam yıllık biyokimyasal biyogaz potansiyeli (TBBP) ve toplam yıllık metan potansiyeli (TBMP);

$$\begin{aligned} TBBP &= x \times a \times c \times VS \times f \quad (m^3/yıl) \\ TBMP &= x \times a \times b \times c \times VS \times f \quad (m^3/yıl) \end{aligned} \quad (3)$$

şeklinde hesaplanmıştır.

2.5 Biyogazdan Enerji Üretimi

Doğal gaz için geliştirilen içten yanmalı motorlar herhangi bir modifikasyon yapılmadan biyogaz için kullanılabilir. Dört zamanlı motorların kapasiteleri birkaç kW ile 10 MW arasındadır ve ömürleri yaklaşık 60.000 saattir. Ancak, elektrik üretim verimleri %35 – 40 arasındadır [29]. Biyogazdaki CO₂ konsantrasyonunun azalışı ile verimlilikleri ve vuruşta önleme özellikleri artar [30]. Biyogazın enerjiye dönüştürülmesinde en yaygın kullanılan sistem, birleşik ısı ve güç (CHP) sistemleri olarak bilinen aynı anda hem güç hem de ısı üreten sistemlerdir. AB'de, biyogaz tesislerinin yarısında, dört zamanlı motorlarla çalışan CHP ünitelerine sahip dizel motorlar kullanılmaktadır [29]. Modern CHP tesisinin ısı ve güç verimliliği %85-90'dır [30]. Ancak, elektrik verimliliği %40'lar civarındadır [29]. Bu çalışmada, sığır gübresinden yıllık biyogaz üretim potansiyeli, sadece elektrik üretimi dikkate alınacağından dönüşüm verimi %40 olarak kabul edilmiştir.

Biyogaz, %55-70 CH₄, %30-45 CO₂ ve %1-3 diğer gazlardan oluştuğu varsayıldığında enerji içeriği 6 – 6,5 kWh/m³ olarak bildirilmiştir [29]. Potansiyel elektrik üretimi Denklem (4)'e göre hesaplanmıştır. Denklemden, TBBP (m³/yıl); toplam biyokimyasal biyogaz potansiyelini, $EI_{biyogaz}$ (kWh/m³); biyogazın enerji içeriğini (bu çalışma için 6,5 kabul edilecek) ve η (%); enerji dönüşüm verimini (bu çalışma için %40 kabul edilecek) ifade etmek üzere, $EP_{biyogaz}$ elektrik üretim potansiyeli;

$$EP_{biyogaz} = TBBP \times EI_{biyogaz} \times \eta \quad (kWh/yıl) \quad (4)$$

şeklinde hesaplanmıştır.

2.6 Eşdeğer CO₂ Emülsiyonu Hesaplanması

Bu çalışmada, elektrik üretiminde salınan CO₂ emülsiyonu hesaplamak için bazı kabuller yapılmıştır. 1 m³ hacmindeki biyogazın, direkt olarak atmosfere salınmasıyla oluşan CO₂ emülsiyonu eşdeğerinin 9,19 kg CO₂ salınımına eşit olduğu bildirilmiştir [31]. Ayrıca, 1 kWh elektrik enerjisi üretmek için metan gazı kullanıldığında atmosfere 0,8 kg CO₂ eşdeğerinde yanma sonucu oluşan gazlar salınmaktadır [32]. Aynı miktarda üretilecek elektrik enerjisinin biyogaz kullanımını yerine kömür kullanılarak üretildiğinde ise 1 kWh elektrik üretimi için 1 kg CO₂ salınımı yapıldığı kabul edilmiştir [33]. Sığır gübresinin AP işlemi uygulanmaması durumunda, bu atığın doğal çevre ortamında CO₂ emülsiyonuna katkısı

Denklem (5) kullanılarak hesaplanmıştır. Denklemde, TBBP ($m^3/yıl$); toplam biyokimyasal biyogaz potansiyelini ve a_{CO_2} ($kg\ CO_2/m^3$); $1\ m^3$ biyogazının atmosfere salınımına eşit olan CO_2 emülsiyonu eşdeğerini (9,19) ifade etmek üzere, biyogazın kullanılmadan atmosfere salınmasında CO_2 salınımına eşdeğeri;

$$BG_{CO_2} = TBBP \times a_{CO_2} \quad (kg\ CO_2/yıl) \quad (5)$$

şeklinde hesaplanmıştır.

Biyogazdan elektrik üretilirken biyo metanın yanması sonucu oluşacak gazların CO_2 eşleniğinden değeri Denklem (6)'ya göre hesaplanmıştır. Denklemde, TBMP ($m^3/yıl$); toplam yıllık biyokimyasal metan potansiyelini, b_{CH_4} ; $1\ kWh$ elektrik enerjisi üretmek için metan gazı kullanıldığında atmosfere CO_2 eşdeğerinde yanma sonucu oluşan gazların salınımını ($0,8\ kg\ CO_2/kWh$) ve $E\dot{I}_{biyogaz}$ (kWh/m^3); biyogazın enerji içeriğini ifade etmek üzere, biyogazın elektrige çevrilirken oluşturduğu CO_2 türünden gaz salınımı miktarı;

$$EBG_{CO_2} = TBMP \times b_{CH_4} \times E\dot{I}_{biyogaz} \quad (m^3/yıl) \quad (6)$$

şeklinde hesaplanmıştır.

Biyogazdan üretilen elektrik potansiyelini kömür kullanılarak üretilmesi durumunda kömür elektrik santralının atmosfere salacağı CO_2 emülsiyon miktarını Denklem (7)'ye göre hesaplanmıştır. Denklemde, $EP_{biyogaz}$ ($kWh/yıl$); biyogazdan elektrik üretim potansiyelini, $c_{kömür}$ ($kg\ CO_2/kWh$); kömür kullanarak $1\ kWh$ elektrik enerjisi üretmek için salınan CO_2 miktarını ifade etmek üzere, kömür santralinden yıllık CO_2 emülsiyon salınım miktarı;

$$KS_{CO_2} = EP_{biyogaz} \times c_{kömür} \quad (m^3/yıl) \quad (7)$$

şeklinde hesaplanmıştır.

Ayrıca, biyogazdan üretilen potansiyel bu enerjiyi kömürden üretilmesi durumunda yıllık tüketilecek kömür miktarı Denklem (8)'e göre hesaplanmıştır. Denklemde, $EP_{biyogaz}$ ($kWh/yıl$); biyogazdan elektrik üretim potansiyelini, $H_{kömür}$ ($kcal/kg$); kömürün alt ısıl değerini (bu çalışmada kömür alt ısıl değeri Afşin-Elbistan Linyit kömürün $1.122,0\ kcal/kg$ alt ısıl değeri kullanılmıştır [34]), η_{KS} (%); kömür santralının enerji dönüşüm verimini (%40 kabul edilmiştir) göstermek üzere, yıllık tüketilecek kömür miktarı;

$$m_{kömür} = \frac{EP_{biyogaz}}{H_{kömür} \times \eta_{KS}} \quad (kg/yıl) \quad (8)$$

şeklinde hesaplanmıştır.

Toplam CO_2 emülsiyonu, sığır gübresinden üretilen biyogazın kontrolsüz olarak depolanmadan atmosfere salınan CO_2 eşdeğeri ile bu biyogazdan üretilen elektrik enerjisi üretmek için kullanılan kömür santralının salınımından kaynaklı CO_2 değerinin toplanması ile ifade edilmiştir. Bunun için, Denklem (9) kullanılmıştır. Denklem (8)'de, BG_{CO_2} ($kg\ CO_2/yıl$); biyogazın kullanılmadan atmosfere salınmasında CO_2 salınımına

eşdeğerini, KS_{CO_2} ($kg\ CO_2/yıl$); kömür santralinden yıllık CO_2 emülsiyon salınım miktarını ifade etmek üzere, biyogazın direk atmosfere salınması ve eşdeğer elektrik üretimi için kömür santralinden gelen CO_2 toplam emülsiyonu;

$$TE_{CO_2} = KS_{CO_2} + BG_{CO_2} \quad (kg\ CO_2/yıl) \quad (9)$$

şeklinde hesaplanmıştır.

Toplam CO_2 emülsiyonundaki azalma ise sığır gübresinden üretilen potansiyel biyogazın ektekiğe dönüştürülmesi sırasında atmosfere salınan CO_2 eşdeğeri ile bu biyogazdan üretilen elektrik enerjisi üretmek için kullanılan kömür santralının salınımından kaynaklı CO_2 değerinin çıkarılması ile ifade edilmiştir. Denklem (10)'da, BG_{CO_2} ($kg\ CO_2/yıl$); biyogazın kullanılmadan atmosfere salınmasında CO_2 salınımına eşdeğerini, KS_{CO_2} ($kg\ CO_2/yıl$); kömür santralinden yıllık CO_2 emülsiyon salınım miktarını, EBG_{CO_2} ($kg\ CO_2/yıl$); biyogazın elektrige çevrilirken oluşturduğu CO_2 türünden gaz salınımı miktarını ifade etmek üzere, potansiyel biyogazdan elektrik üretilmesindeki ve eşdeğer elektrik üretimi için kömür santralinden gelen CO_2 toplam emülsiyon azalışı;

$$\begin{aligned} TEA_{CO_2} &= BG_{CO_2} + KS_{CO_2} \\ &- EBG_{CO_2} \quad (kg\ CO_2/yıl) \end{aligned} \quad (10)$$

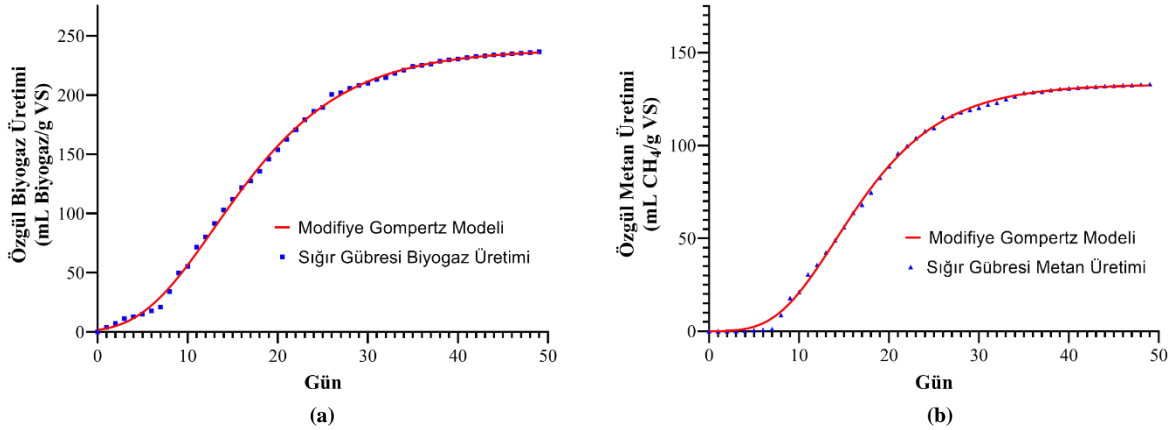
şeklinde hesaplanmıştır.

3 Sonuçlar ve Tartışma

Bu bölümde ilk olarak laboratuvar ortamında üretilmiş BMP test sonuçları sunulmuş, daha sonrasında Türkiye genelinde sığır gübresinden biyogaz üretimi potansiyeli tartışılmıştır. Üretilen bu biyogaz potansiyelinin yapılan kabullere göre elektrik enerjisine dönüştürülmesi ve CO_2 emülsiyonun azaltılmasına olan etkisinin sonuçları sunulmuştur. Son olarak da oluşturulan ARIMA modeline ile 2030, 2050 ve 2053 yıllarındaki tahminleme sonuçları verilmiştir.

3.1 Biyokimyasal Metan Potansiyeli (BMP) Test Sonuçları

BMP testleri 49 gün boyunca takip edilmiştir. Oluşan biyogaz numuneleri vakumlu numune tüplerine alınarak, GC analizlerinde kullanılmak üzere güneş görmeyen bir yerde oda sıcaklığında muhafaza edilmiştir. Sığır gübresinden ve aşından oluşan karışım üç tekrarlı hazırlanmış, bu karışımlardan üretilen özgül biyogaz miktarları ortalaması Şekil 1 - a'da verilmiştir. Şekil 1 - b'de ise özgül metan miktarları sunulmuştur. Deney sonuçlarına göre sığır gübresinden ortalama $236 \pm 15\ mL$ Biyogaz/g VS biyogaz elde edilmiş ve üretilen biyogazın metan yüzdesi ortalama %56,3 olarak belirlenmiştir. Sığır gübresinin ortalama özgül metan üretimi $133 \pm 3\ mL\ CH_4/g$ VS olarak elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar, sığır gübresinden üretilen biyogaz ve metan potansiyelinin, enerji dönüşümünün ve CO_2 eşdeğerinde emülsiyonlarının hesaplaması için bir sonraki bölümde kullanılmıştır.



Şekil 1. Sığır gübresin kullanılarak kesikli reaktör ile BMP testlerinden özgül biyogaz (a) ve metan (b) grafiği (noktalar deneysel sonuçlar, düz çizgiler model sonuçları ifade etmektedir)

Modifiye edilmiş Gompertz modeli kullanılarak üretilen biyogazın ve metanın toplam üretimi, maksimum biyogaz ve metan üretim oranı ve lag faza olarak ifade edilen gecikme aşaması modelden belirlenmiştir (Tablo 4). Model ile deney sonuçları yüksek bir uyum göstermiş ve biyogaz ve metan için R^2 değerleri sırasıyla 0,9759 ve 0,9958 olarak belirlenmiştir. Modele göre sığır gübresinden 238,5 mL Biyogaz/g VS elde edilebileceği bulunmuştur. Yapılan deneylere göre bu değer 236 ± 15 mL Biyogaz/g VS olarak tespit edilmiştir. Sonuçlardan da

görülebileceği gibi bu iki değer arasında çok iyi bir uyum bulunmaktadır. Ayrıca, günlük maksimum üretilecek biyogaz miktarının 10,9 mL ve gecikme aşamasının ise 4,9 gün olacağı modelden belirlenmiştir. Metan üretimi için aynı model kullanıldığında elde edilen değerler biyogaz üretiminde olduğu gibi deney sonuçlarıyla çok iyi bir korelasyon göstermektedir. Modelden, metan üretimi için gecikme aşaması 7,5 gün olarak belirlenmiş, bu gecikme süresinin uzun olmasının nedeninin ise hidroliz aşamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 4. BMP test sonuçları ve modifiye Gompertz modelinin parametre tahminleri

	Deneyisel CMP (mL Biyogaz/CH₄/g VS)	Tahmin edilen CMP (P_m) (mL Biyogaz/CH₄/g VS)	MPR_m (mL Biyogaz/CH₄/d)	λ (gün)	R²
Sığır gübresin biyogaz üretimi	236 ± 15	238,5	10,9	4,9	0,9759
Sığır gübresin metan üretimi	133 ± 3	133,0	7,5	7,5	0,9958

3.2 Sığır Gübresinden Potansiyel Biyogaz Üretimi

Toplanabilir sığır gübresinde üretilebilecek biyogaz ve metan potansiyeli TÜİK 2018 yıllı verilerine ve Denklem (2)'ye göre hesaplanmış ve Tablo 5'te sunulmuştur.

Ortalama olarak sığır başı günlük 14,5 kg gübre üretildiği varsayıldığında, 2018 yıllı sığır sayısına göre yıllık olarak 91 milyon ton sığır gübresi üretilmektedir. Üretilen bu gübrenin yarısı (%50) AP işlemi için ulaşılabilir kabul edildiğinde ise yıllık olarak yaklaşık 2 milyar m³ biyogaz ve 1,1 milyar m³ biyo metan elde edilebileceği Denklem 3'den hesaplanmıştır. Hayvan gübresinden (büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanları dahil) biyogaz üretim potansiyeli 2009 yıllı için 2,17 milyar m³ [20], 2013 yıllı için 2,57 milyar m³ [35] olarak bildirilmiştir. Bu iki çalışmada da sığır gübresi bu potansiyelin hesaplanmasında %68 [20] ve %79 [35] paya sahiptir. Ayrıca şehirler özelinde yapılan hayvan gübrelerinden biyogaz üretim potansiyeli çalışmalarında, Samsun için 2016 yıllı hayvan sayılarına göre 53,6 milyon m³ [36] bir potansiyele sahipken, Ardahan için 2015 yıllı hayvan sayılarına göre 105,8 milyon m³ [15] bir potansiyele sahip olduğu bildirilmiştir. Literatürde rapor edilen çalışmaların sonuçları ile bu çalışmadan çıkarılan sonuçlar birbirleriyle iyi bir uyum göstermektedir. Buda bu çalışmada yapılan kabullerin doğruluğunu göstermektedir.

Tablo 5. TÜİK 2018 verilerine göre TBBP ve TBMP miktarları

	2018 yılı
Sığır Sayısı (adet)	17.220.903,00
Oluşan Yıllık Gübre Miktarı (ton/yıl)	91.141.629,13
TBBP (m ³ /yıl)	1.962.734.983,26
TBMP (m ³ /yıl)	1.105.019.795,58

3.3 Sığır Gübresinden Potansiyel Elektrik Enerjisi Üretimi

Sığır gübresinden üretilebilecek potansiyel biyogaz ve metan miktarları Denklem 2'ye göre hesaplanmış ve Tablo 5'te yıllık üretim miktarları m³ türünden sunulmuştur. Varsayımlara göre sığır gübresinden yıllık olarak yaklaşık 2 milyar m³ biyogaz üretilebilecek bir potansiyele sahiptir. Bu potansiyel elektrik üretiminde kullanılır ise Denklem 3 kullanılarak 2018 yıllı verilerine göre yıllık 5.103,11 GWh elektrik üretme potansiyeline sahiptir. Türkiye'de 2018 yıllında toplam elektrik tüketimi 258.232,00 GWh olarak belirlenmiştir [17]. Üretilen bu elektrik potansiyeli ülkenin 2018 yıllı enerji tüketiminin yaklaşık %2'sini karşılayacak bir potansiyele sahiptir. 5346 sayılı yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımına ilişkin kanuna göre, devlet tarafından biyokütleyle dayalı üretim tesislerinden kWh elektrik enerji başına 13,3 Amerikan doları sent olarak alım garantisi vermiştir. Biyogaz üretim tesislerinde, yatırım geri

dönüşüm oranının üç buçuk yılın altında bir değere sahip olduğu ekonomik analiz yapılan çalışmalarda rapor edilmiştir [14, 15]. Bu raporların sonuçları, bu çalışmada bulunan sonuçlar ile örtüşmektedir.

3.4 Potansiyel Biyogazın Elektrik Enerjisine Çevrilmesiyle Eşdeğer CO₂ Emülsiyonunda Azalma

Ülkemizde elektrik üretimi genelde ithal edilen doğal gazdan üretilmektedir. Cari açığı azaltmak noktasında yeni politikalara göre yerli fosil yakıtların kullanımına son yıllarda önem verilmiştir. Ancak, bu da CO₂ emülsiyonunu önemli ölçüde artmasına neden olmuştur. 2018 yılı verilerine göre, toplam CO₂ emülsiyonu 500,9 milyon ton CO₂ eşdeğerinde olduğu rapor edilmiştir ve bu emülsiyonun %71,6 oranı enerji sektöründen gelmektedir [17]. Yeşil Mukataada göre Türkiye CO₂ emülsiyonunu 2030 yılında 1990 yılı CO₂ emülsiyonu verilerinin %21 fazlasına gelecek oranında azaltması gerekmektedir [16]. 2018 yılı verilerine göre CO₂ eşdeğerinde emülsiyon değeri referans yıla göre %137,5 oranında artmıştır [1].

Sığır gübresinden biyogaz üretilmesi, bu üretilen biyogazın elektrik üretiminde kullanılması ve üretilecek enerji potansiyeli kadar kömür santrallerinde kömür kullanımının azaltılması CO₂ emülsiyonlarının azaltılması

noktasında hedeflere ulaşılmasına olumlu bir katkı sağlayacaktır. Yıllık üretilen 91 milyon ton sığır gübresi AP işlemi uygulanarak biyogaza dönüştürülmemesi durumdan, bu atıktan kaynaklı doğaya 18,04 milyon ton CO₂ eşdeğerinde gazın atmosfere salınacağı Denklem 4’de göre hesaplanmıştır. Bu salınma ek olarak, bu gazın elektrik üretiminde kullanılmaması ve bunun eşdeğeri enerji üretmek için kömür kullanılması durumunda 9,48 milyar ton kömür kullanılması gerektiği belirlenmiştir. Bu kömür kullanımından dolayı atmosfere 5,1 milyon ton CO₂ eşdeğerinde gazın salındığı Denklem 6 ve 7’ye göre hesaplanmıştır. Bu senaryoya göre, Denklem 8’den yıllık 23,14 milyon ton CO₂ eşdeğerinde gaz atmosfere salınacaktır. Fakat bu atıktan biyogaz üretilmesi ve bunun elektrik enerjisine çevrilmesi durumunda ise atmosfere biyogazın yanması sonucu 0,89 milyon ton CO₂ eşdeğerinde gaz salınacaktır (Denklem 5). Bu senaryoya göre ise, potansiyel elektrik enerjisinin üretilmesi için kömür kullanımına gerek kalmayacak, ayrıca, biyogazın atmosfere direk salınmadığında dolayı atmosfere sadece 0,89 milyon ton CO₂ eşdeğerinde gaz salınacaktır. Buda, Denklem 9’a göre 23,26 milyon ton CO₂ eşdeğerinde gazın atmosfere salınımının azalışı anlamına gelmektedir. 2018 yılı verilerine göre bulunan sonuçlar Tablo 6’da sunulmuştur.

Tablo 6. 2018 yılı sığır gübresinin biyogaz üretiminde kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülmesi senaryosundaki CO₂ emülsiyonundaki azalma

Denklemler	Birim	2018 Yıllık
Denklem (5), BG _{CO2} biyogazın kullanılmadan atmosfere salınmasında CO ₂ salınımına eşdeğeri	kg CO ₂ /yıl	18.037.534.496,17
Denklem (6), EBG _{CO2} biyogazın elektriğe çevrilirken oluşturduğu CO ₂ türünden gaz salınımı miktarı	kg CO ₂ /yıl	884.015.836,46
Denklem (7), KSCO ₂ kömür santralinden yıllık CO ₂ emülsiyon salınım miktarı	kg CO ₂ /yıl	5.103.110.956,48
Denklem (9), TE _{CO2} biyogazın direk atmosfere salınması ve eşdeğer elektrik üretimi için kömür santralinden gelen toplam CO ₂ emülsiyonu	kg CO ₂ /yıl	23.140.645.452,64
Denklem (10), TE _{ACO2} potansiyel biyogazdan elektrik üretilmesin ve eşdeğer elektrik üretimi için kömür santralinden gelen toplam CO ₂ emülsiyonunun azalışı	kg CO ₂ /yıl	22.256.629.616,18

3.5 ARIMA Modeliyle 2023, 2030 ve 2053 Yıllarında Biyogaz Üretimi, Elektrik Üretimi ve Eşdeğer CO₂ Emülsiyonundaki Azalma Tahmini

ARIMA modeli zaman serilerinde tahminleme yapmada yaygın kullanılan modellerdendir. Bu çalışmada, 2008 – 2018 yılları arasındaki popülasyon ile sığır sayısı, net elektrik tüketimi ve toplam gaz emülsiyon miktarı arasındaki korelasyon sırasıyla 0,95, 0,99 ve 0,98 olarak

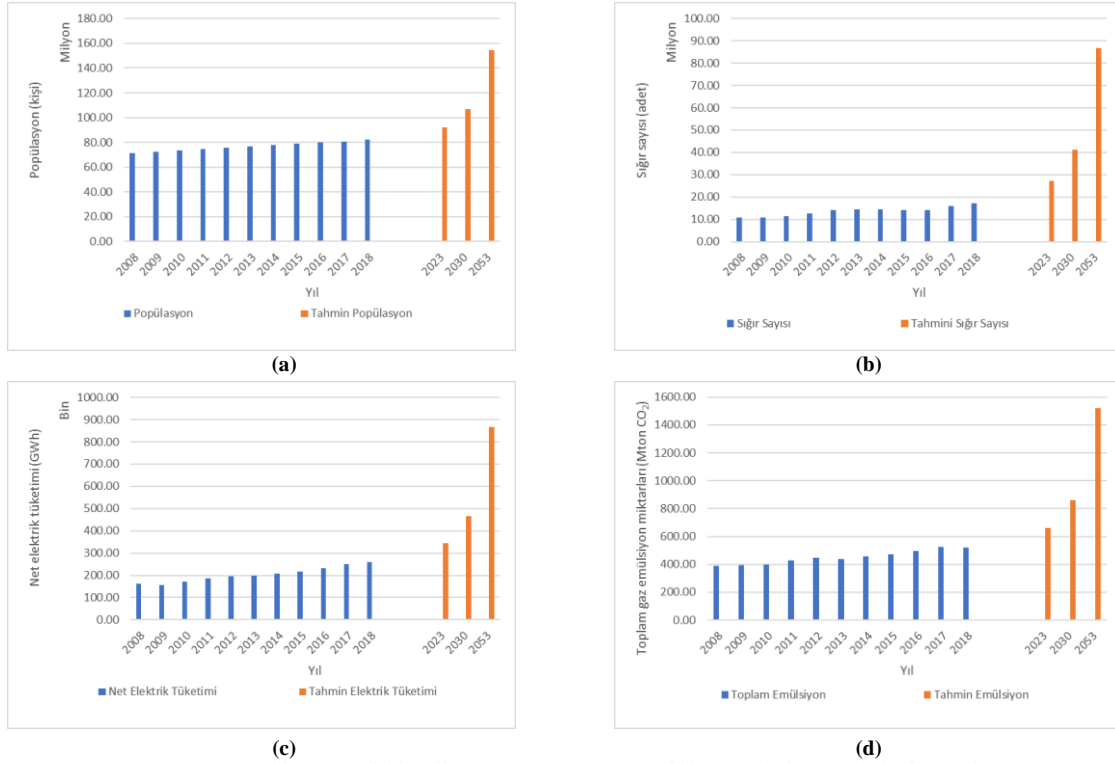
bulunmuştur. Yüksek korelasyon değerleri, bu değişkenlerin popülasyon değişimiyle güçlü bir ilişkisi olduğunu göstermektedir. Bu yüzden, ARIMA modeli kullanılarak popülasyon, sığır sayısı, net elektrik tüketimi ve toplam gaz emülsiyon miktarları, 2023, 2030 ve 2053 yılları için tahminleri yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. ARIMA model ile 2023, 2030 ve 2053 yıllarındaki popülasyon, sığır sayısı, net elektrik tüketimi ve toplam gaz emülsiyon miktarları tahmini

Yıl	2023	2030	2053
Popülasyon (kişi)	92377036	106898994	154613999
Sığır sayısı (adet)	25236880	34213169	54735709
Net elektrik tüketimi (GWh)	321030	389188	546948
Toplam gaz emülsiyon miktarları (Mton CO ₂)	661,76	861,88	1519,41

2008 – 2018 yılları arasındaki TÜİK verilerine ve ARIMA modelinin sonuçlarına göre popülasyon, sığır sayısı, net elektrik tüketimi ve toplam gaz emülsiyon miktarları için çizilen grafikler Şekil 2’de sunulmuştur. Grafiklerde de net bir şekilde görüldüğü üzere, ARIMA modeline göre

önümüzdeki yıllarda bu dört değerinde üstel olarak artması beklenmektedir. Model tahminine göre sığır gübresinden biyogaz üretim potansiyeli ve bunun elektrik enerjisine çevrilmesiyle CO₂ emülsiyonundaki azalmaya etkisi daha fazla olacaktır.



Şekil 2. 2008 – 2018 yılları arasındaki veriler (mavi) ve ARIMA modeline göre bulunan tahmin değerleri (turuncu), nüfus (a), sığır sayısı (b), net elektrik tüketimi (c), toplam gaz emülsiyon miktarları (d)

2023, 2030 ve 2053 yıllarında artan sığır sayısına göre üretilecek biyogaz potansiyeli ve bu potansiyelin elektrik enerjisi üretimi için kullanılması durumunda CO₂ emülsiyonundaki azalma miktarı Tablo 8’de verilmiştir. Nüfus, net elektrik tüketimi, sera gazı salınımı ve sığır sayısındaki artış model tahminine göre üstel olduğu için sığır gübresinde biyogaz üretim potansiyeli üstel olarak artmıştır. 2023, 2030 ve 2053 yılları için yapılan tahminlerde biyogaz üretim potansiyeli sırasıyla 2.876,35, 3.899,41 ve 6.238,45 milyar m³ hesaplanmıştır. Bu

potansiyel elektrik enerjisi üretiminde kullanılmadan direk olarak atmosfere salındığında 2023 yılı için 26,43, 2030 yılı için 35,84 ve 2053 yılı için 57,33 milyon ton CO₂ eşdeğerinde gaz salınımı tahmin edilmiştir. Eğer bu potansiyel elektrik enerjisine dönüştürülür ve bu enerjinin eşdeğerinde elektrik üretimi için kömür kullanımı azaltılırsa, 2023 yılı için 32,62, 2030 yılı için 44,22 ve 2053 yılı için 70,74 milyon ton CO₂ eşdeğerinde gaz emülsiyonu salınımında azalma olması beklenmektedir

Tablo 8. 2023, 2030 ve 2053 yılı tahminlerine göre sığır gübresinin biyogaz üretiminde kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülmesi senaryosunda CO₂ emülsiyonundaki azalma

Denklemler	Birim	2023 Yıllı	2030 Yıllı	2053 Yıllı
Denklemler (3), TBBP	m ³ /yıl	2.876.347.928,77	3.899.411.340,09	6.238.447.022,60
Denklemler (5), BG _{CO2}	kg CO ₂ /yıl	26.433.637.465,41	35.835.590.215,43	57.331.328.137,66
Denklemler (6), EB _{GCO2}	kg CO ₂ /yıl	1.295.507.107,12	1.756.294.867,58	2.809.796.538,98
Denklemler (7), KS _{CO2}	kg CO ₂ /yıl	7.478.504.614,80	10.138.469.484,23	16.219.962.258,75
Denklemler (9), TE _{CO2}	kg CO ₂ /yıl	33.912.142.080,21	45.974.059.699,66	73.551.290.396,40
Denklemler (10), TE _{ACO2}	kg CO ₂ /yıl	32.616.634.973,09	44.217.764.832,08	70.741.493.857,43

4 Sonuçlar

Bu çalışmada, elektrik üretimi için kullanılacak sığır gübresinden biyogaz üretiminin deneysel sonuçları ve bu sonuçlara dayanarak Türkiye genelinde sığır gübresinden biyogaz üretme potansiyelinin hesaplanması kapsamaktadır. Ayrıca, üretilen biyogazın elektrik enerjisine dönüştürülmesiyle sera gazı üzerindeki etkilerinin gösterildiği bir çalışmadır. Deneysel sonuçlarına göre sığır gübresinden ortalama 236 ± 15 mL Biyogaz/g VS biyogaz elde edilmiş ve üretilen biyogazın metan yüzdesi ortalama %56,3 olarak belirlenmiştir. Sığır gübresinin ortalama özgül metan üretimi 133 ± 3 mL CH₄/g VS olarak elde edilmiştir. Elde edilen bulgulara

dayanarak, 2018 yılı için sığır gübresinden biyogaz üretilmesi potansiyelinin yaklaşık 2 milyar m³ olabileceği hesaplanmış ve bu biyogazın 1,1 milyar m³ metan içeriğine sahip olacağı deney sonuçlarıyla bulunmuştur. Buna ek olarak, üretilecek biyogazın elektrik enerjisi üretmek için kullanılması ve aynı miktarda enerjinin üretilmesi için kömür kullanımının azaltılması senaryosunda 22,27 milyon ton CO₂ eşdeğerinde gaz emülsiyonu salınımında azalma meydana geleceği ortaya konmuştur.

Ayrıca, ARIMA modeli kullanılarak 2023, 2030 ve 2053 yılları için sığır gübresinden biyogaz üretim potansiyelleri tahmin edilmiştir. Modele göre, 2023, 2030 ve 2053 yılları için yapılan tahminlerde biyogaz üretim potansiyeli

sırasıyla 2.876,35, 3.899,41 ve 6.238,45 milyar m³ hesaplanmıştır. Eğer bu potansiyel elektrik enerjisine dönüştürülür ve bu enerjinin eşdeğerinde elektrik üretimi için kömür kullanımı azaltılırsa, 2023 yılı için 32,62, 2030 yılı için 44,22 ve 2053 yılı için 70,74 milyon ton CO₂ eşdeğerinde gaz emülsiyonu salınımlarında azalma meydana geleceği ortaya konmuştur.

Teşekkürler

Yazar bu çalışmada, ARIMA modelinin oluşturulmasında teknik desteklerinden dolayı Dr. Serdar ABUT'a teşekkürlerini sunar.

Bilgilendirme

Gerçekleştirilen bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek yoktur.

Kaynaklar

- [1] The World, B. The World Population, Total | Data. Retrieved August 22, 2019, from <https://data.worldbank.org/indicator/sp.pop.totl>.
- [2] Capuano, L. (2018). International energy outlook 2018 (IEO2018). *US Energy Information Administration (EIA)*: Washington, DC, USA, 2018, 21.
- [3] Raturi, A. K. (2019). Renewables 2019 global status report.
- [4] Nghiem, L. D., Koch, K., Bolzonella, D., & Drewes, J. E. (2017). Full scale co-digestion of wastewater sludge and food waste: Bottlenecks and possibilities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 354-362.
- [5] Sawin, J. L., Rutovitz, J. ve Sverrisson, F. (2019). Renewables 2018 Global Status Report.
- [6] EEA. (2017). Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016 An indicator-based report. *Copenhagen K, Denmark*.
- [7] No, D. (2009). 406/2009/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the effort of Member States to reduce their greenhouse gas emissions to meet the Community's greenhouse gas emission reduction commitments up to 2020. *OJ L*, 140(5.6).
- [8] Union, E. (2015). secure, sustainable, competitive, affordable energy for every European. Dostupno na: https://europa.eu/rapid/press-release_IP-15-4497_en.htm.
- [9] Holm-Nielsen, J. B., Al Seadi, T., & Oleskowicz-Popiel, P. (2009). The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresource technology*, 100(22), 5478-5484..
- [10] Meyer, A. K. P., Ehimen, E. A., & Holm-Nielsen, J. B. (2018). Future European biogas: Animal manure, straw and grass potentials for a sustainable European biogas production. *Biomass and Bioenergy*, 111, 154-164.
- [11] Balat, M., & Balat, H. (2009). Biogas as a renewable energy source—a review. *Energy Sources, Part A*, 31(14), 1280-1293.
- [12] Taleghani, G., & Kia, A. S. (2005). Technical–economical analysis of the Saveh biogas power plant. *Renewable energy*, 30(3), 441-446.
- [13] Connolly, D., Lund, H., & Mathiesen, B. V. (2016). Smart Energy Europe: The technical and economic impact of one potential 100% renewable energy scenario for the European Union. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1634-1653.
- [14] Ozturk, M., & Yuksel, Y. E. (2016). Energy structure of Turkey for sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1259-1272.
- [15] Özer, B. (2017). Biogas energy opportunity of Ardahan city of Turkey. *Energy*, 139, 1144-1152.
- [16] Enerji, T. C., & Bakanlığı, T. K. (2014). Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı. *TC Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı*, Aralık.
- [17] TUIK. TUIK - Data Portal. Retrieved April 1, 2021, from <https://data.tuik.gov.tr/>.
- [18] Al Seadi, T. (2008). Biogas handbook.
- [19] Atelge, M. R., Krisa, D., Kumar, G., Eskicioglu, C., Nguyen, D. D., Chang, S. W., ... & Unalan, S. (2020). Biogas production from organic waste: recent progress and perspectives. *Waste and Biomass Valorization*, 11(3), 1019-1040.
- [20] Avcioglu, A. O., & Türker, U. (2012). Status and potential of biogas energy from animal wastes in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(3), 1557-1561.
- [21] Abdeshahian, P., Lim, J. S., Ho, W. S., Hashim, H., & Lee, C. T. (2016). Potential of biogas production from farm animal waste in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 714-723.
- [22] Noorollahi, Y., Kheirrouz, M., Asl, H. F., Yousefi, H., & Hajinezhad, A. (2015). Biogas production potential from livestock manure in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 748-754.
- [23] Braun, R. (2007). Anaerobic digestion: a multi-faceted process for energy, environmental management and rural development. In *Improvement of crop plants for industrial end uses* (pp. 335-416). Springer, Dordrecht.
- [24] Wellinger, A., Murphy, J. D., & Baxter, D. (Eds.). (2013). *The biogas handbook: science, production and applications*. Elsevier.
- [25] Şenol, H. (2020). Anaerobic digestion of hazelnut (*Corylus colurna*) husks after alkaline pretreatment and determination of new important points in Logistic model curves. *Bioresource technology*, 300, 122660.
- [26] Ozturk, S., & Ozturk, F. (2018). Forecasting energy consumption of Turkey by Arima model. *Journal of Asian Scientific Research*, 8(2), 52.
- [27] Kendall, M. G. (1971). *Time Series Analysis, Forecasting and Control*.
- [28] Box, G. E., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2015). *Time series analysis: forecasting and control*. John Wiley & Sons..
- [29] Deublein, D., & Steinhauser, A. (2011). *Biogas from waste and renewable resources: an introduction*. John Wiley & Sons.
- [30] Kparaju, P., & Rintala, J. (2013). Generation of heat and power from biogas for stationary applications: boilers, gas engines and turbines, combined heat and power (CHP) plants and fuel cells. In *The biogas handbook* (pp. 404-427). Woodhead Publishing.
- [31] Sabuncu, Ö. C. (2010). Technical, economical and environmental analysis of biogas production. *Turkish, MSc. Thesis, Hacettepe University, Ankara, Turkey*, 34.
- [32] Cuéllar, A. D., & Webber, M. E. (2008). Cow power: the energy and emissions benefits of converting manure to biogas. *Environmental Research Letters*, 3(3), 034002.
- [33] Özer, B., Görgün, E., & Incecik, S. (2013). The scenario analysis on CO₂ emission mitigation potential in the Turkish electricity sector: 2006–2030. *Energy*, 49, 395-403.
- [34] Kurumuş, İ. ve Yıldırım, M. (2004). Afşin/Elbistan Linyitlerindeki Külün Azaltılması. *Proceedings of the 14 th Turkey Coal Congress*, Zonguldak.
- [35] Ozcan, M., Öztürk, S., & Oguz, Y. (2015). Potential evaluation of biomass-based energy sources for Turkey. *Engineering Science and Technology, An International Journal*, 18(2), 178-184.
- [36] Karaca, C., & Gurdil, G. A. K. (2019). Biogas Production Potential from Animal Manure in Samsun Province of Turkey. *Scientia agriculturae bohemia*, 50(2), 135-140.