



KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM
ÜNİVERSİTESİ

e-ISSN 1309-1751

Mühendislik Bilimleri Dergisi
Journal of Engineering Sciences

2022

SAYI / NUMBER : 1

CILT / VOLUME : 25



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Yazışma Adresi / Corresponding Address

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Mühendislik Bilimleri Dergisi
46050, Onikişubat/Kahramanmaraş
TÜRKİYE

E - Posta

jes@ksu.edu.tr

Web

<http://jes.ksu.edu.tr/>

Bu dergi hakemli olup yılda 4 kez yayınlanır.

This journal is peer - reviewed and published 4 issues per year.



Sahibi / Owner

Prof.Dr. Niyazi CAN
KSU Rector

Baş Editör / Editor in Chief

Prof. Dr. Hüseyin TEMİZ
htemiz@ksu.edu.tr

Baş Editör Yardımcısı / Vice Editor in Chief

Assist. Prof. Dr. Zeynep Banu ÖZGER
zeynepozger@ksu.edu.tr

Editörler / Editors

Prof. Dr. Ahmet Serdar YILMAZ
Electrical and Electronics Eng.
KSU Univ. TURKEY
asyilmaz@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Ahmet ALKAN
Electrical and Electronics Eng.
KSU Univ. TURKEY
aalkan@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Mehmet ÜNSAL
Civil Eng.
KSU Univ. TURKEY
munsal@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Ahmet KAYA
Mechanical Eng.
KSU Univ. TURKEY
kaya38@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Remzi ŞAHİN
Civil Eng.
Atatürk Univ., TURKEY
rsahin@atauni.edu.tr

Prof Dr. Yücel ÖZMEN
Mechanical Eng.
Karadeniz Teknik Univ., TURKEY
yozmen@ktu.edu.tr

Prof.Dr. Özlem TURGAY
Food Eng.
KSU Univ. TURKEY
ozlem@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Fatih MENGELOĞLU
Landscape Arc.
KSU Univ. TURKEY
fmengelo@ksu.edu.tr

Assoc.Prof.Dr. Suat ÇETİNER
Textile Eng.
KSU Univ. TURKEY
suatcetiner@ksu.edu.tr

Assoc. Prof.Dr.Tamer RIZAOĞLU
Geological Eng.
KSU Univ.
TURKEY
tamer@ksu.edu.tr

Assoc. Prof. Dr. Çetin AKINCI
Electrical Eng.
İstanbul Teknik Univ,
TURKEY
akincitc@itu.edu.tr

Assist. Prof. Dr. Toni NIKOLIC
Civil Eng.
Univ. Dzemat Bijedic,
BOSNIA AND HERZEGOVINA
nikolic_t@yahoo.com

Assist.Prof.Dr. Yakup CUCİ
Environmental Eng.
KSU Univ. TURKEY
cuci@ksu.edu.tr

Assist. Prof. Dr. Beril ÖZÇELİK
Mechanical Eng.
KSU Univ. TURKEY
bozcelik@ksu.edu.tr

Assist. Prof. Dr. Hasan BADEM
Computer Eng.
KSU Univ. TURKEY
hbadem@ksu.edu.tr

Assist. Prof. Dr. Özdeş ÇERMİK
Language Editor
KSU Univ. TURKEY
ozdescermik@ksu.edu.tr

Research Assist. Fahriye GEMCİ
Technical Editor
KSU Univ. TURKEY
fahriyegemci@ksu.edu.tr

Research Assist. Elif ÇELİK
Technical Editor
KSU Univ. TURKEY
elifcelik@ksu.edu.tr

Danışma Kurulu / Advisory Board

Prof. Dr. Cetin Kaya KOC

Dep. of Computer Eng.
Univ Of Cal.
Santa Barbara, USA
koc@cs.ucsb.edu

Prof. Dr. Ayhan ÖZDEMİR

Dep. of Elect. & Elcn Eng.
Sakarya Univ. Sakarya,
TURKEY
aozdemir@sakarya.edu.tr

Prof. Dr. Hüseyin AKILLI

Dep. of Mechanical Eng.
ÇU Univ.
Adana, TURKEY
hakilli@cu.edu.tr

Prof. Dr. Mehmet KORÜREK

Dep. Of Elcn & Comm Eng.
İTU Univ.
İstanbul, TURKEY
korurek@itu.edu.tr

Prof. Dr. Yasemin KORKMAZ

Dep. of Textile Eng.
KSU Univ.
TURKEY
ykorkmaz@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Ahmet PINARBAŞI

Dep. of Mechanical Eng.
Alanya Alaaddin Keykubat
Univ. Antalya, TURKEY
apinarbasi@alanya.edu.tr

Prof. Dr. S. Serhat ŞEKER

Dep. Of Elect. Eng.
İTU Univ. İstanbul.
TURKEY
sekers@itu.edu.tr

Prof. Dr. Şerafettin EREL

Dep. of Elect. & Elcn Eng.
YBU Univ.
Ankara, TURKEY
serel@ybu.edu.tr

Assoc. Prof. Dr. Mustafa ONAT

Dep. of Computer Eng.
Marmara Univ.
İstanbul, TURKEY
monat@marmara.edu.tr

Prof. Dr. Eyüp DEBİK

Dep. of Environmental Eng.
Yıldız Technical Univ.
İstanbul, TURKEY
debik@yildiz.edu.tr

Prof. Dr. Fan MIZI

Dep. of Civil Eng.
Brunel Univ.
Uxbridge, UK
mizi.fan@brunel.ac.uk

Prof. Dr. A. Fevzi BABA

Dep. of Elect. & Elcn. Eng.
Marmara Univ. İst.,
TURKEY
fbaba@marmara.edu.tr

Dr. Amit CHAUDHRY

Dep. of Microelectronics
Panjab Univ,
Chandigarh, India
amit_chaudhry01@yahoo.com

Assoc. Prof. Dr. Nazmi EKREN

Dep. of Elect. & Elcn. Eng.
Marmara Univ.
İstanbul, TURKEY
nekren@marmara.edu.tr

Prof. Dr. Mustafa YAZICI

Dep. of Physics Education.
KSU Univ.
K.Maras, TURKEY
yazici@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Selim AY

Dep. Of Elect. Eng.
YTU Univ.
İstanbul, TURKEY
selimay@yildiz.edu.tr

Prof. Dr. Musa GÖĞEBAKAN

Dep. of Physics
KSU Univ.
K.Maras, TURKEY
gogebakan@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Murat PALA

Dep. of Civil Eng.
Adiyaman Univ.
Adiyaman, TURKEY
pala@adiyaman.edu.tr

Prof. Dr. İ.Taner OKUMUŞ

Dep. of Computer Eng
KSU Univ.
K.Maras, TURKEY
iokumus@ksu.edu.tr



İÇİNDEKİLER

ARAŞTIRMA MAKALESİ – RESEARCH ARTICLE

Investigation Of The Effect Of Polymeric And Non-Polymeric Materials In The Hole Transfer Layer On The Performance Of Perovskite Solar Cell

Delik Transfer Tabakasındaki Polimerik Ve Polimerik Olmayan Malzemelerin Perovskit Güneş Hücreleri Performansına Etkisinin Araştırılması

1-6

Nagihan DELİBAŞ, Asghar MORADİ, Seyyedreza HOSSEİNİ, Morteza MALEKİ, Mahsa BAHRAMGOUR, Aligholi NİAİE

The Ecotoxicological Evaluations Of FE_3O_4 , Hap, And FE_3O_4 -Hap Nanocomposite On Wheat: Impact On Chlorophyll Content

FE_3O_4 , Hap, Ve FE_3O_4 -Hap Nanokompozitinin Buğday Üzerindeki Ekotoksikolojik Değerlendirmesi: Klorofil İçeriğine Etkisi

7-16

Yağmur UYSAL, Zeynep Görkem DOĞAROĞLU

Konvektif Limon Kurutmada Ohmik Ve Geleneksel Haşlama Ön İşlem Tekniklerinin Karşılaştırılması

Comparison Of Ohmic And Conventional Blanching Pretreatments For Convective Drying Of Lemon

17-26

İnci DOĞAN, Pınar GÜLER

Diyarbakır İli Biyokütle Potansiyeli Ve Enerji Üretimi

Biomass Potential And Energy Production Of Diyarbakir City

27-40

Ayşegül Mizgin YILDIRIM, Nilüfer NACAR KOÇER

DERLEME MAKALESİ – REVIEW ARTICLE

Sorpsiyon İzotermelerinin Kurutma Ve Depolama Proseslerinde Önemi: Kahramanmaraş Tarhanası Örneği

The Importance Of Sorption Isotherms In Drying And Storage Processes: The Case Of Kahramanmaraş Tarhanası

41-51

İnci DOĞAN, Beyza Nur KOCABAŞ



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 20.08.2021
Kabul Tarihi : 3.01.2022

Received Date : 20.08.2021
Accepted Date : 3.01.2022

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF POLYMERIC AND NON-POLYMERIC MATERIALS IN THE HOLE TRANSFER LAYER ON THE PERFORMANCE OF PEROVSKITE SOLAR CELL

DELİK TRANSFER TABAKASINDAKİ POLİMERİK VE POLİMERİK OLMAYAN MALZEMELERİN PEROVSKİT GÜNEŞ HÜCRELERİ PERFORMANSINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Nagihan DELİBAŞ^{1}* (ORCID: 0000-0001-5752-062X)
Asghar MORADİ² (ORCID: 0000-0003-0932-8988)
Seyyed Reza HOSSEİNİ² (ORCID: 0000-0002-0946-7489)
Morteza MALEKİ³ (ORCID: 0000-0003-4856-2072)
Mahsa BAHRAMGOUR² (ORCID: 0000-0002-2925-1538)
Aligholi NİAEİ² (ORCID: 0000-0001-5580-4266)

¹Department of Physics, Faculty of Art & Science, University of Sakarya, Sakarya, Turkey

²Department of Chemical Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

³RF MEMS and Bio-Nano-Electronics Lab, Electrical Engineering Department, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Nagihan DELİBAŞ, caylak@sakarya.edu.tr

ABSTRACT

In recent decades, due to advances in various industries, the use of renewable energy sources has increased significantly. Solar cells are one of the important tools in the use of renewable energies. Between the different types of solar cells, recently, perovskite solar cells, because of some advantages like low costs of materials used in their fabrication, simple manufacturing process, and high conversion efficiency, have gained the attention of many researchers. Emerging technology and recent research activities have helped perovskite solar cells to achieve high efficiency, which is highly dependent on the components and structures of the solar cell system. One way to achieve high efficiency is to use polymeric and non-polymeric materials as electron transporters (ETMs), hole transporters (HTMs), or as a stimulus to increase the performance durability of perovskite solar cells. Simulation tool is a very effective tool for designing solar cells. In this study, by using COMSOL Multiphysics software, the effect of using different hole transfer layers, both polymeric and non-polymeric, has been investigated. For this purpose, three HTM layers (Spiro-OMETAD, CuSCN, P3HT) have been investigated. The results represented that the efficiencies for these three materials were 16.8%, 15.7%, 12.1%, respectively, and Spiro-OMETAD has been more efficient.

Keywords: COMSOL, solar cells, perovskite, polymers, efficiency.

ÖZET

Son yıllarda, çeşitli endüstri ve teknolojilerdeki gelişmeler nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı önemli ölçüde artmıştır. Güneş hücreleri, yenilenebilir enerjilerin kullanımında en önemli araçlardan biridir. Farklı güneş hücreleri türleri arasında, son zamanlarda perovskit güneş hücreleri, imalatlarında kullanılan malzemelerin düşük maliyeti, basit üretim süreci ve yüksek dönüşüm verimliliği (aynı fiyat aralığındaki diğer güneş hücrelerine kıyasla) gibi bazı avantajlara sahiptir. Gelişen teknoloji ve son araştırma faaliyetleri, güneş hücreleri sisteminin bileşenlerine ve yapılarına büyük ölçüde bağlı olduğunu göstermiştir. Bu sebeple perovskit güneş hücreleri, yüksek verimliliğe ulaşmak için birçok araştırmacının dikkatini çekmiştir. Yüksek verim elde etmenin bir yolu, polimerik ve polimerik olmayan malzemeleri elektron taşıyıcılar (ETM'ler), delik taşıyıcılar (HTM'ler) veya perovskite güneş

ToCite: DELİBAŞ, N., MORADI, A., HOSSEINI, S. R., MALEKI, M., BAHRAMGOUR, M. & NİAEİ, A., (2022). INVESTIGATION OF THE EFFECT OF POLYMERIC and NONPOLYMERIC MATERIALS in THE HOLE TRANSFER LAYER on THE PERFORMANCE OF PEROVSKITE SOLAR CELL. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(1), 1-4.

hücreleri performansını, kararlılığını ve dayanıklılığını artırmak için bir uyarıcı olarak kullanılmaktadır. Güneş hücreleri simülasyonu ve modellenmesi, güneş hücreleri tasarlamak ve üretmek için önemli ve çok etkili bir araçtır. Bu çalışmada, COMSOL Multifizik yazılımında bir simülasyon aracı kullanılarak, hem polimerik hem de polimerik olmayan farklı delik transfer katmanlarının kullanılmasının etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla üç HTM katmanı (Spiro-OMETAD, CuSCN, P3HT) incelenmiştir. Sonuçlar, bu üç malzemenin verimlilikleri sırasıyla 16.8%, 15.7%, 12% olarak bulundu ve Spiro-OMETAD'ın daha verimli olduğu belirlendi.

Anahtar Kelimeler: COMSOL, güneş hücreleri, perovskit, polimerler, verimlilik.

INTRODUCTION

The way to obtain electrical energy from the sun is to take advantage of the photovoltaic phenomenon. Given that the sun is a good source of energy in terms of cleanliness, availability, and absence of carbon dioxide, so it can play the most important role in providing human energy sources in the future (Salihmuhsin & Aldwihi, 2019). According to research, the amount of solar radiation on the earth's surface in one hour is more than the total energy used by the world's population in one year. With these interpretations using the energy obtained from the sun to solve problems due to lack of energy resources is a good option that occurs via solar cells. Solar cells are semiconductor materials that convert sunlight directly onto their surfaces into electrical energy (Ozcalik, Yilmaz, & Kılıc, 2013). Among all types of solar cells, perovskite solar cells have been further studied for reasons such as low device fabrication cost, good performance, and high efficiency.

In 2009, Miyasaka et al. first used a thin layer of perovskite on top of the mesoporous titanium oxide layer as a visible light sensitizer. The efficiency (PCE) for the reported cell was about 4% (Kojima, Teshima, Shirai, & Miyasaka, 2009). Studies in this area have continued in recent years and its performance has increased to about 22%. The Perovskite solar cell has become an interesting global issue due to its rapid development and high efficiency, as well as its easy and low-cost fabrication methods. The raw materials and methods of construction of this type of cells are very diverse and extensive, therefore, using them is a good option. The structure of a perovskite-based solar cell contains an FTO-coated glass, a layer of TiO_2 as the electron transporter (ETM), a perovskite light-absorbing layer, a hole-transfer layer (HTM), and a back electrode. The performance of this type of cell is that the perovskite layer acts as a light-absorbing layer that, like any other semiconductor material, absorbs some of the incoming photons of sunlight. With the absorption of each photon, a pair of electrons and a hole are created. The electrons and holes produced are scattered on either side of the perovskite layer; electrons to the ETM and holes to the HTM. Each of these layers has advantages and disadvantages, which by changing each of them, the efficiency and performance of the cell can be affected. Zandi et al. in 2019 compared two simple and tandem $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ based perovskite solar cells without and with an additional second $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$ absorber layer, respectively. Results represented that adding $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$ helps to efficiency improvement about 1% and efficiency increased from about 14% to 15% (Zandi & Razaghi, 2019). Also in 2016, Tan et al. investigated the influence of using different transmitting layers on the main parameters of the solar cell in which the MAPbI_3 layer was used. The results showed that the values of the main parameters for Spiro-OMETAD were better than the rest of the material (Tan et al., 2016).

In this work, given the importance of the material used in the hole transfer layer and the effect it has on the efficiency of the perovskite solar cell, our goal is to obtain the current-voltage characteristic (J-V) and finally to evaluate the efficiency of the solar cell through simulation study. The software package utilized in the present study is COMSOL-Multiphysics software. Here the purpose is to examine using different materials effects in the HTM layer on the efficiency. Therefore, to investigate this effect, we used Spiro-OMETAD, CuSCN, and P3HT materials as hole transporting layers.

MATERIALS AND METHODS

The perovskite solar cell structure utilized in this study with layers that are of a certain thickness is shown in Fig.1. In this figure, the Au is considered as a cathode, Spiro-OMETAD as the HTM, the perovskite layer ($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$) as an absorber layer, TiO_2 as the ETM, FTO as an anode, and finally the air. In order to simulate the aforementioned perovskite solar cell structure, in the present work, the COMSOL-Multiphysics software was utilized. There are some reasons for the selection of this simulation tool in this work. One of the advantages of COMSOL-Multiphysics software that has caused the proper selection of this software as a modeling environment is in employing FEM solution method, that develops the ability to model complex structures (which have unusual

boundary conditions). Two type of optical and electrical physics were employed in the software for the purpose of this study's simulation.

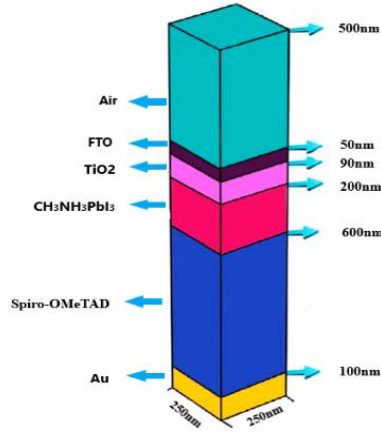


Figure 1. The Considered Perovskite Solar Cell Schematic of The Geometry.

Optical Part

In the optic section by using the Wave optic module, we finally want to obtain the photogeneration rate. The equations used in this part are as follows:

$$\nabla \times (\nabla \times E) - K_0^2 \varepsilon_r E = 0 \quad (1)$$

$$K_0 = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\varepsilon_r = (n - ik)^2$$

The K_0 is the wave-vector and ε_r is relative permittivity, both functions of the wavelength (λ).

By solving Eq. (1), the electric field intensity is obtained in the whole structure. It is then calculated using the intensity of the electric field, from the relation between the photogeneration rate per wavelength in the whole structure (Deceglie, Ferry, Alivisatos, & Atwater, 2012).

$$G_{\text{photo}}(\lambda) = \frac{\varepsilon'' |E|^2}{2h} \quad (2)$$

In this equation, h is the Plank constant, and ε'' is the imaginary part of the ε_r .

In this study, the initial sun-light power is 1000 W/m^2 . The AM 1.5G spectrum is also used as input power for wavelengths between (300-1000 nm). There is also another relation for determining the total generation rate (G_{tot}):

$$G_{\text{tot}} = \int_{\lambda_{\text{min}}=300[\text{nm}]}^{\lambda_{\text{max}}=1000[\text{nm}]} G_{\text{photo}}(\lambda) d\lambda \quad (3)$$

Electrical Part

For the electrical part, the semiconductor module is utilized to determine the density of the carriers and, finally, to achieve the current voltage (J-V) of the solar cell. In this part, the Poisson's equation and the electrons and holes continuity equations are solved simultaneously.

$$\nabla \cdot (\varepsilon_s \nabla \phi) = -\rho \quad (4)$$

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \frac{1}{q} \nabla j_n + G_n - U_n \quad (5)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{1}{q} \nabla j_p + G_p - U_p \quad (6)$$

In the above equations, ε is the electric potential, q is the electron charge, ε_s is the semiconductor permeability constant, G_n and G_p are the total generation rates of electron and hole, U_n and U_p refers to the rates of electrons and holes recombination, respectively. ρ is the charge density obtained from the following equation:

$$\rho = (p - n + N_A - N_D) \quad (7)$$

In this equation (eq. 7), n and p are the concentration of electron and hole, N_A and N_D refer to density of electron acceptor and donor, respectively. J_n and J_p in relationships are defined as the density of electrons and holes, respectively.

$$J_n = -q\mu_n n \nabla \phi + qD_n \nabla n \quad (8)$$

$$J_p = -q\mu_p p \nabla \phi + qD_p \nabla p \quad (9)$$

The required parameters for each layer are given in Table 1. These parameters were taken from the materials library or manually from the relevant literature (Zhou et al., 2016) and (Karimi & Ghorashi, 2017). The simulation was done at 300 K.

Table 1. Different Properties of Cell Layers in This Study. (Kojima et al., 2009; Dronov, Shevyakov, Belov, & Poltoratskii, 2009; Jaffe et al., 2010; Pattanasattayavong et al., 2013; Gavrilov,; Minemoto & Murata, 2014; Zhou et al., 2016; Zhang, Chen, & Yan, 2016)

Parameter	TiO ₂	CH ₃ NH ₃ PbI ₃	Spiro-OMETAD	CuSCN	P ₃ HT
Thickness[nm]	90	200	600	600	600
ε_r	9	6.5	3	10	3
E_g (eV)	3.2	1.55	3	3.4	1.05
χ (eV)	4	3.93	2.45	1.9	3.9
μ_n/μ_p (cm ² /VS)	20/10	50/50	2/0.01	1×10 ⁻⁴ /0.01	10 ⁻⁴ /10 ⁻⁴
N_c (cm ⁻³)	1×10 ¹⁹	1.66×10 ¹⁹	1×10 ²⁰	1.79×10 ¹⁹	1×10 ²⁰
N_v (cm ⁻³)	1×10 ¹⁹	5.41×10 ¹⁹	1×10 ²⁰	2.51×10 ¹⁹	1×10 ²⁰
N_A (cm ⁻³)	-	5×10 ¹³	5×10 ¹⁸	5×10 ¹⁸	1×10 ¹⁶
N_D (cm ⁻³)	5×10 ¹⁸	-	-	-	-
τ_n/τ_p [ns]	5/2	8/8	0.1/0.1	5/5	1.8/1.8

RESULTS AND DISCUSSION

By obtaining the total generation rate (G_{tot}) and defining it as a semiconductor module and determining the boundary conditions, the simulation was done and the voltage-current characteristic was calculated.

After applying the boundary conditions, the voltage-current characteristic is obtained. The results were indicated in Fig.2 in the comparable form. The area under the curve represents the final electrical power that was generated by the cell. It is obvious that the cell containing Spiro-OMeTAD as a small molecule type hole transport layer, considerably generates more electricity compared to others.

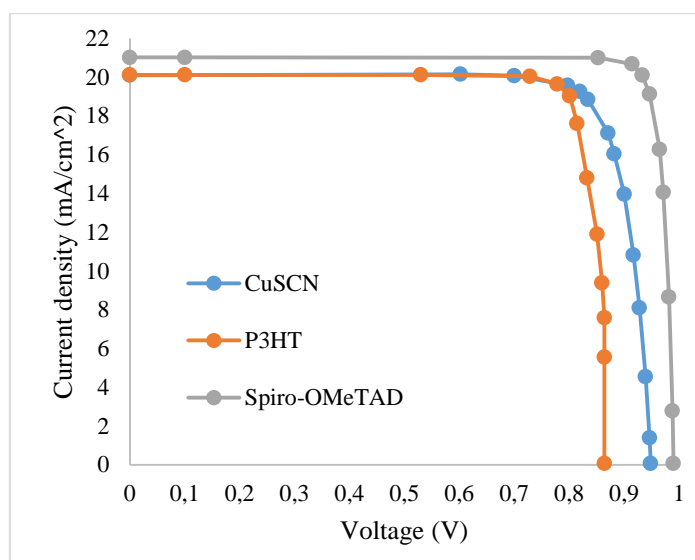


Figure 2. Current-Voltage (J-V) Curve of The Cell Using Different Mentioned HTMs

Photovoltaic parameters of a simulated perovskite solar cell were extracted from the Current-voltage (J-V) characteristics. According to the results obtained in Table 2, among the hole transfer layers, Spiro-OMETAD had the highest efficiency of 16.8% and the highest performance, followed by CuSCN and P3HT with returns of 15.7% and 12.1%, respectively. Besides, short-circuit current represented almost close for all HTM candidates. Moreover, results of open-circuit voltage confirmed that P3HT generates less voltage compared to the others (0.864 compared to 0.949 and 0.989). The fill factor of these materials showed almost the same amount for all of them. The aforementioned simulation results were compared and validated with experimental results (Zandi & Razaghi, 2019).

Table 2. The Photovoltaic Parameters Obtained for Different HTMs

structure	J_{SC} (mA/cm ²)	V_{oc} (v)	FF (%)	PCE (%)
Spiro-OMETAD based	21.02	0.989	0.82	16.8
CuSCN based	20.12	0.949	0.83	15.7
P₃HT based	20.12	0.864	0.84	12.1

CONCLUSION

Today, solar cells have become excellent sources of electricity generation due to their suitable and renewable properties. In recent years, newly developed perovskite solar cells have been considered by researchers because of their high efficiency and low cost. These types of solar cells are composed of different layers, the change of each of which can affect the efficiency and function of the cell. In this study, the effect of using different hole transfer layers (polymer-non-polymer) using COMSOL simulation software has been investigated. The hole transfer layers used in this work were: Spiro-OMETAD, CuSCN, P3HT. The results showed that the best efficiency belonged to small molecule and non-polymeric Spiro-OMETAD which was equal to 16.8%.

REFERENCES:

- Deceglie, M. G., Ferry, V. E., Alivisatos, A. P., & Atwater, H. A. (2012). Design of nanostructured solar cells using coupled optical and electrical modeling. *Nano letters*, 12(6), 2894-2900. <https://doi.org/10.1021/nl300483y>
- Gavrilov, S., Dronov, A., Shevyakov, V., Belov, A., & Poltoratskii, E. (2009). Ways to increase the efficiency of solar cells with extremely thin absorption layers. *Nanotechnologies in Russia*, 4(3), 237-243. <https://doi.org/10.1134/S1995078009030112>

- Jaffe, J. E., Kaspar, T. C., Droubay, T. C., Varga, T., Bowden, M. E., & Exarhos, G. J. (2010). Electronic and defect structures of CuSCN. *The Journal of Physical Chemistry C*, 114(19), 9111-9117. <https://doi.org/10.1021/jp101586q>
- Karimi, E., & Ghorashi, S. M. B. (2017). Simulation of perovskite solar cell with P 3 HT hole-transporting materials. *Journal of Nanophotonics*, 11(3), 032510. <https://doi.org/10.1117/1.JNP.11.032510>
- Kojima, A., Teshima, K., Shirai, Y., & Miyasaka, T. (2009). Organometal halide perovskites as visible-light sensitizers for photovoltaic cells. *Journal of the American Chemical Society*, 131(17), 6050-6051. <https://doi.org/10.1021/ja809598r>
- Minemoto, T., & Murata, M. (2014). Device modeling of perovskite solar cells based on structural similarity with thin film inorganic semiconductor solar cells. *Journal of applied physics*, 116(5), 054505. <https://doi.org/10.1063/1.4891982>
- Ozcalik, H. R. , Yılmaz, S. & Kılıc, E. (2013). Güneş Pili Bir Diyotlu Eşdeğer Devre Yardımıyla Matematiksel Modelinin Çıkartılması ve Parametrelerinin İncelenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16 (1) , 23-29. <http://jes.ksu.edu.tr/tr/pub/issue/19362/205332>
- Pattanasattayavong, P., Ndjawa, G. O. N., Zhao, K., Chou, K. W., Yaacobi-Gross, N., O'Regan, B. C., Anthopoulos, T. D. (2013). Electric field-induced hole transport in copper (I) thiocyanate (CuSCN) thin-films processed from solution at room temperature. *Chemical Communications*, 49(39), 4154-4156. <https://doi.org/10.1039/C2CC37065D>
- Salihmuhsin, M., & Aldwihi, B. A. (2019). Modeling of photovoltaic panels using Matlab/Simulink. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(2), 78-87. <https://doi.org/10.17780/ksujes.390417>
- Tan, K., Lin, P., Wang, G., Liu, Y., Xu, Z., & Lin, Y. (2016). Controllable design of solid-state perovskite solar cells by SCAPS device simulation. *Solid-State Electronics*, 126, 75-80. <https://doi.org/10.1016/j.sse.2016.09.012>
- Zandi, S., & Razaghi, M. (2019). Finite element simulation of perovskite solar cell: A study on efficiency improvement based on structural and material modification. *Solar Energy*, 179, 298-306. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.12.032>
- Zhang, A., Chen, Y., & Yan, J. (2016). Optimal design and simulation of high-performance organic-metal halide perovskite solar cells. *IEEE journal of quantum electronics*, 52(6), 1-6. <https://doi.org/10.1109/JQE.2016.2563783>
- Zhou, Q., Jiao, D., Fu, K., Wu, X., Chen, Y., Lu, J., & Yang, S.-e. (2016). Two-dimensional device modeling of CH₃NH₃PbI₃ based planar heterojunction perovskite solar cells. *Solar Energy*, 123, 51-56. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.11.009>



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi: 23.10.2021
Kabul Tarihi: 10.12.2021

Received Date : 23.10.2021
Accepted Date : 10.12.2021

THE ECOTOXICOLOGICAL EVALUATIONS OF Fe_3O_4 , HAp, AND Fe_3O_4 -HAp NANOCOMPOSITE ON WHEAT: IMPACT ON CHLOROPHYLL CONTENT

Fe_3O_4 , HAp, VE Fe_3O_4 -HAp NANOKOMPOZİTİNİN BUĞDAY ÜZERİNDEKİ EKOTOKSİKOLOJİK DEĞERLENDİRMESİ: KLOROFİL İÇERİĞİNE ETKİSİ

Z. Görkem DOĞAROĞLU¹ (ORCID: 0000-0002-6566-5244)
Yağmur UYSAL^{1*} (ORCID: 0000-0002-7217-8217)

¹ Mersin Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Yağmur UYSAL, yuysal@mersin.edu.tr

ABSTRACT

Nanoparticles have an increasing accumulation and effect as day to day in aquatic, terrestrial and atmospheric environments, and one of the most basic factors determining these effects is their sizes. As the material size decreases, the distribution and accumulation of particles are facilitated and accelerated. In this study, the possible nanotoxicological effects of nanomagnetite (Fe_3O_4 NPs), hydroxyapatite (HAp) (synthesized by the recovery of waste eggshells) and Fe_3O_4 -HAp nanocomposite on wheat germination percentage and chlorophyll production were evaluated. It was determined with SEM images that the Fe_3O_4 nanoparticles was in the size of 22-30 nm, while the Fe_3O_4 -HAp was 90-350 nm. The presence of HAp particles caused a decreasing in the germination percentage compared to presence of only Fe_3O_4 nanoparticles, as like in the root elongation (20-27%). The chlorophyll content was determined in the both aged and young leaves on second, third and fourth weeks of wheat plants. Results showed that wheat plants were sensitive in the early stage of plant growth (second week) to the all test chemicals. The presence of HAp in the growth media decreased the chlorophyll content of wheat because of their sizes. The maximum decreasing of chlorophyll content in wheat was observed at the 40 mg L⁻¹ HAp treatment as 86%. All the test chemicals used in this study uses in many areas, thus it should be detailed evaluated ecotoxicological aspect.

Keywords: Chlorophyll, hydroxyapatite, nanoparticles, magnetite, phytotoxicity

ÖZET

Nanopartiküller sucul, karasal ve atmosferik ortamlarda gün geçtikçe artan bir birikim ve etkiye sahiptirler ve bu etkileri belirleyen en temel faktörlerden bir tanesi boyutlarıdır. Malzeme boyutu azaldıkça partiküllerin doğadaki dağılım ve birikimleri kolaylaşır ve hızlanır. Bu çalışmada, nanomanyetit (Fe_3O_4 NPs), hidroksiapatit (HAp) (atık yumurta kabuğunun geri kazanımı ile sentezlenen) ve Fe_3O_4 -HAp nanokompozitinin olası nanotoksikolojik etkileri, buğday çimlenme yüzdesindeki değişiklikler ve klorofil üretimindeki etkileri olarak değerlendirilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde Fe_3O_4 nanopartikülünün boyutlarının 22-30 nm, Fe_3O_4 -HAp nanokompozitinin ise 90-350 nm aralığında olduğu tespit edilmiştir. HAp partiküllerinin varlığı sadece Fe_3O_4 nanopartiküllerinin varlığına kıyasla kök uzamada olduğu gibi (%20-27), çimlenme yüzdesinde de bir azalmaya neden olmuştur. Buğday bitkisinin klorofil içerikleri hem genç hem de yaşlı yapraklarda olmak üzere ikinci, üçüncü ve dördüncü haftalarda ölçülmüştür. Sonuçlar, buğdayın büyümesinin erken aşamasında (ikinci hafta) tüm test kimyasallarına daha duyarlı olduğunu göstermiştir. Bitki büyütme ortamındaki HAp varlığı, boyutlarından ve demir kullanımını inhibe ettiğinden buğdayın klorofil üretimi azaltmıştır. Klorofil içeriğindeki maksimum azalma 40 mg L⁻¹ HAp uygulamasında %86 olarak bulunmuştur. Bu çalışmada kullanılan tüm test kimyasalları birçok alanda kullanılmaktadır, bu nedenle ekotoksikolojik yönüyle ayrıntılı olarak değerlendirilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Fitotoksisite, hidroksiapatit, klorofil, nanopartikül, manyetit

INTRODUCTION

Plants are one of the most important components of human and animal's life. They can be face to face with different toxic or non-toxic chemicals at any stage of their life, due to some human activities. In recent years, new chemicals, known as nanoparticles, with some unique properties have started to be produced as a result of developing and changing technologies. These particles have special properties, such as reduction in size, increasing surface/volume ratio, some physical, optical, and mechanical properties. The increasing production and use and thus disposal of these particles in every field, caused releasing into the environmental media (aquatic, terrestrial, and atmospheric). For this reason, it is important to determine the effects of nanoparticles on plants, especially plants in food chain. Plants can internalize, accumulate, and/or give some different (enzymatic or non-enzymatic) reaction to these special particles.

One of the most affected plant structures by nanoparticles is photosynthetic pigments. Photosynthetic pigments are chemical elements which responsible for absorbing the light that necessary for the photosynthesis process to occur. Chlorophyll is a type of photosynthetic pigments, plays a critical role in the photosynthesis process (Mezacasa et al., 2020; Borhan et al., 2017). The chlorophyll measurement is made to determine plants health, photosynthetic performance, and chloroplast development (Ji et al., 2020). The chlorophyll concentration generally is determined via spectrophotometric methods; however, these methods need some toxic and flammable chemicals. Nowadays, with the development of new technological devices, chlorophyll content can be easily determined. Thus, with these devices fast, on-site, without destroying the plant tissues, and simple measurements that can also be performed by farmers, can be realized (Hawkins, Gardiner, and Comer, 2008). The chlorophyll meter (SPAD-502) is a small spectrophotometer that measures the absorbance of light at a wavelength of 650 nm, making it easy to monitor physiological changes in plants and does not require any chemicals (Hawkins et al., 2008). The use of this chlorophyll meter has been applied in many scientific studies (Mezacasa et al., 2020; Borhan et al., 2017; Dray Jr., Center, and Mattison, 2012).

Iron is an essential element for plants, animals and humans and is a micronutrient that needed in small amounts (Bolat and Kara, 2017). Plants use iron (Fe(II) and Fe(III)) for many cellular and metabolic activity such as photosynthesis, nitrogen fixation, DNA synthesis (Ghafariyan et al. 2013). Today, there are many types of iron-based nanoparticles (magnetite, maghemite, superparamagnetic iron oxide etc.) that are used in many different fields. Iron dissolved from these nanoparticles may be potential nutrient source for plants. Magnetite particles have both Fe (II) and Fe (III) ionic forms in the structure, thus it has different physico-chemical properties from other iron oxide forms (Su, 2017). Studies related to the effects of magnetite (Fe₃O₄) nanoparticles on germination, plant growth, and antioxidative enzymes of wheat and other plants, are included in the literature (De Souza et al. 2021; Iannone et al., 2016). De Souza et al. (2019) showed that the Fe₃O₄ nanoparticles significantly increased the soil nutrient content and Iannone et al. (2016) also indicated that the Fe₃O₄ nanoparticles (~ 11 nm) can be used in agricultural applications because of its non-toxic feature for wheat plants. Although hydroxyapatite, obtained from eggshell, is generally used in many fields, such as biomedical as bone substitute, regenerative dentistry, ceramic production, and water and air treatment as absorbent (Girelli, Astolfi, and Scuto, 2020), studies about the application of hydroxyapatite (HAp) on agriculture is very limited (Rop et al., 2018). However, HAp obtained from eggshells is a valuable waste material that needs to be recycled, due to the nutrients it contains.

There are many studies in the literature related to magnetite nanoparticles, but according to our knowledge there are not any study about the individual effects of these two particles, and the effect of magnetite-hydroxyapatite nanocomposite on the chlorophyll content of wheat plants. In this study, the effects of Fe₃O₄, HAp and Fe₃O₄-HAp nanocomposite particles on the chlorophyll content of wheat plants were evaluated.

MATERIALS AND METHOD

Fe₃O₄ Nanoparticles, Hydroxyapatite and Nanocomposite Preparation

In this study, magnetite particles were synthesized according to Petcharoen and Sirivat (2012). Briefly, Fe₃O₄ solution was prepared by adding 6.1278 g of solid FeCl₃.4H₂O and 3.0121 g of solid FeCl₂.6H₂O into 100 mL of deionized water under N₂ medium. When the solution temperature reached 85 °C, 25 mL of ammonia (NH₃, 25% purity) solution was added and solution stirred for 30 minutes to be a homogeneous mixture. Then this solution cooled at room temperature and a black precipitate formed. The formed Fe₃O₄ nanoparticles were washed several times with distilled water and separated with a neodymium magnet.

Eggshells (ESs), used in this study, were collected from Mersin University-Turkey main cafeteria. Firstly, waste ESs washed three times with tap water to remove the organic substance and then washed with hexane and distilled water for disinfection. The membrane layer was manually peeled off in the ESs and dried in the oven overnight at 80 °C. Finally, the dried eggshells were ground and sieved with a mesh of 212 µm.

To prepared Fe₃O₄-HAp nanocomposite, magnetite solution was prepared according to mentioned before, but the solution stirred for 2 minutes to be a homogeneous mixture. 3 g ESs powder was added in this solution and stirred out in nitrogen during 30 min and cooled at room temperature. The black precipitate formed in the solution. The obtained Fe₃O₄-HAp nanocomposite were washed several times with distilled water and separated with a neodymium magnet (Petcharoen and Sirivat, 2012).

Seed Germination and Root-Shoot Elongation

The wheat seeds (*Triticum aestivum* - İközce 96) were purchased from Mersin Province, Turkey, kept at 4-5 °C for 3 days before the germination processes. The seeds in uniform size were sterilized 3 % sodium hypochlorite for 10 min after the treatment of 70% ethanol for 30 s. Seeds were washed several times with deionized water to remove surface residues. To determine the seed germination and seedling vigor index, 10 seeds in uniform size were placed in petri dishes (100 x 15 mm, glass petri) included double layer filter paper. 5 mL test chemicals (Fe₃O₄, HAp, and Fe₃O₄-HAp nanocomposite) at different concentrations were added into the petri dishes and incubated 7 days at 25 °C in the dark. After the germination process, the number of germination seeds were counted in every dish and the seedling vigor index was calculated according to Doğaroğlu, Eren, and Baran (2019) and the root and shoot elongation was measured using millimetric paper. Then the germinated plants were transferred to the pots included 50 g turf (pH 6–8, total N: 0.2–0.45%, water holding capacity: 300–450%) and watered with tap water every second days. After the sowing the seedlings, 10 mL test chemicals were added to pots and the plants were grown for 28 days. All steps were realized in three replications.

Chlorophyll Content

Chlorophyll content was measured every week, after the planting. The measurements were done for three weeks. The chlorophyll content was measured at the fully expanded aged and young leaves using SPAD-502 chlorophyll meter (Konica-Minolta, Osaka, Japan 0.06 cm² measurement area and its accuracy is ±1.0 SPAD units) (Lin et al., 2010). The measurements were realized every week, between 13:00-16:00 h at the middle of same leaf three times. The mean of three recordings data were given as SPAD value.

Statistical Analyzes

The statistical analysis of chlorophyll content was performed using one-way analysis of variance (ANOVA) with LSD test. SPSS Statistic program version 20 was used. The significance of difference for all measured were calculated and the mean was compared by the least significant difference, LSD, p<0.05.

RESULTS AND DISCUSSION

Characterization of Test Chemicals

The size and morphology of synthesized Fe₃O₄ NPs, HAp, and Fe₃O₄-HAp nanocomposite particles were realized by field emission scanning electron microscopy (FE-SEM). It was observed that Fe₃O₄-NPs have a regular and spherical grain size in the range of 22-30 nm (Fig. 1a) while, HAp particles have porous, nano and/or microscale irregular sizes (Fig. 1b). It has been determined that the structure of HAp has a planar shape and that there are pores of different sizes (90-350 nm) on it. In the SEM images of the Fe₃O₄-HAp nanocomposite, it was seen that Fe₃O₄-NPs were placed inside the HAp pores and on the surface of the composite (Fig. 1c).

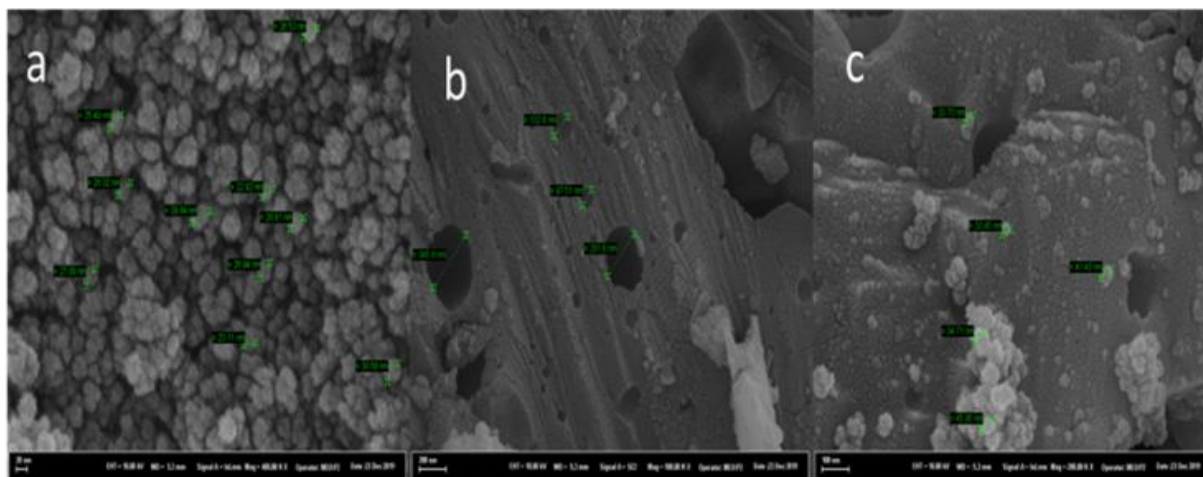


Figure 1. FE-SEM images of a) Fe_3O_4 NPs, b) HAp, and c) Fe_3O_4 -HAp nanocomposite

Seed Germination and Root-Shoot Elongation

The effects of Fe_3O_4 NPs, HAp, and Fe_3O_4 -HAp nanocomposite on seed germination were evaluated firstly. The minimum germination percentage was determined at the treatment of nanocomposites. The average germination percentage of wheat was determined as 99% for Fe_3O_4 NPs, 97.5% for HAp, and 96% for Fe_3O_4 -HAp nanocomposite. However, the changes in the germination percentage was not significant compared to their own control group ($p>0.05$). Similar results are also included in the literature. For example, Iannone et al. (2016) and Iannone et al. (2021) reported that the citrate coated- Fe_3O_4 NPs, in the size of 10 nm, and 14 nm was not affected the seed germination of wheat, and soybean and alfalfa plants, respectively. Nevertheless, the Fe_3O_4 NPs, HAp, and Fe_3O_4 -HAp nanocomposite treatment negatively affected the root elongation. The presence of hydroxyapatite in the test media caused an inhibition of root growth and development, compared to control. The root elongation was inhibited with increasing HAp concentrations and the minimum root length was determined in the HAp treatment at 640 mg L^{-1} concentration (Fig.2a). The wheat plants exhibited a decrease of 16.77% at the Fe_3O_4 NPs (320 mg L^{-1}), 27.1% at the HAp (640 mg L^{-1}), and 20.44% at the Fe_3O_4 -HAp nanocomposite (40 mg L^{-1}) treatments in root length, compared to control. In contrast to root elongation, the shoot elongation was affected positively (Fig.2b) because the roots have more sensitivity than shoots to external factors. In the germination phase, the roots (radicle) are out of the seed coat earlier than shoots, so they are more exposed to external factors compared to the shoots. In addition, in order to ensure plant growth and development, it causes the roots to be more sensitive to external pollutants or nutrient supplements due to the desire to reach nutrients. The shoot elongation of wheat plants exhibited an increase of 28 % at the Fe_3O_4 -NPs (40 mg L^{-1}), 21% at the HAp (40 mg L^{-1}), and 31% at the Fe_3O_4 -HAp nanocomposite (640 mg L^{-1}), compared to control. The similar result has been reported by De Souza-Torres et al. (2021). The authors indicated that in very small size (6.7 nm) of 2000 mg L^{-1} Fe_3O_4 -NPs caused an increase of 27.5% in shoot length of common bean plants. The seedling vigor index depended on germination percentage and root-shoot length. Seedling vigor index depended on germination percentage and root-shoot length. Thus, it showed that why the SVI decreased in the concentration of 40 mg L^{-1} (due to the root length) and 160 mg L^{-1} (due to root length-germination percentage) Fe_3O_4 -HAp nanocomposite. Also, it decreased in the concentration of 640 mg L^{-1} HAp treatments largely originated from low root length (Fig. 2c).

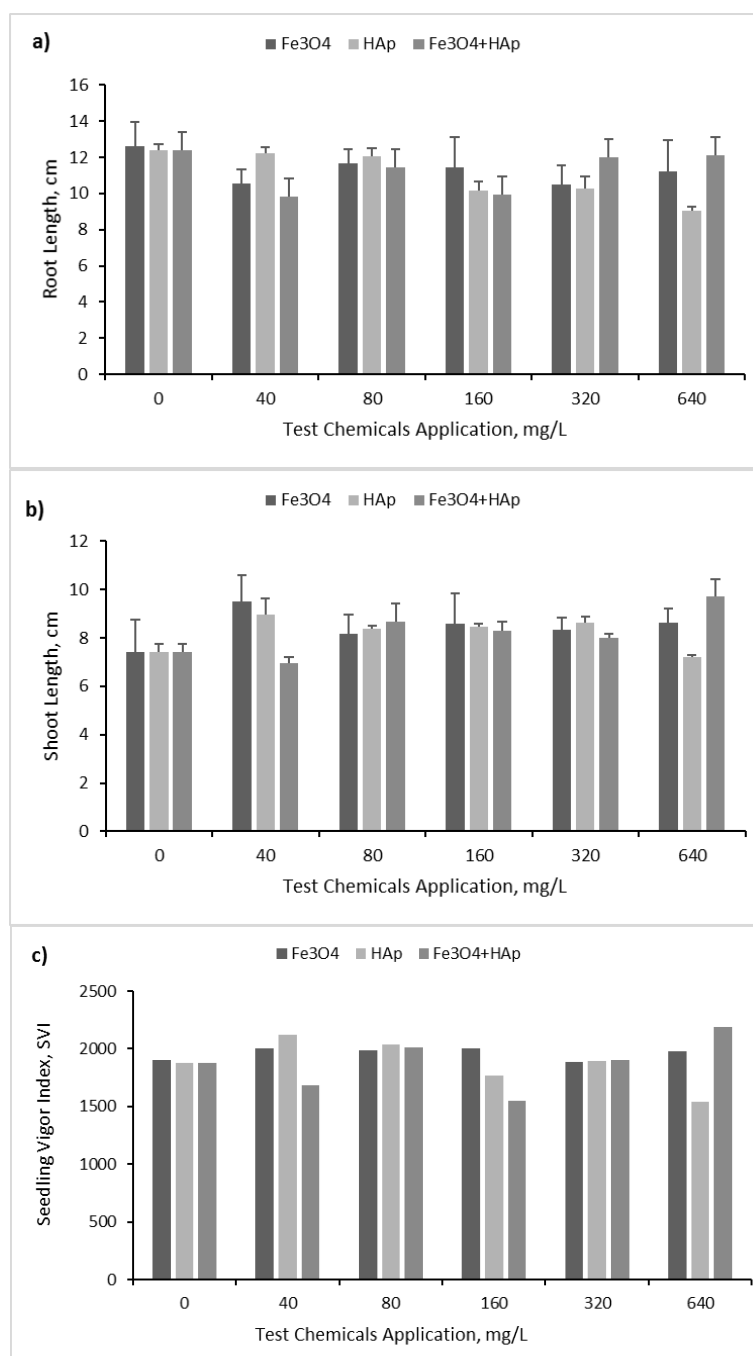


Figure 2. Effects of Magnetite Nanoparticles, Hydroxyapatite, and Magnetite-Hydroxyapatite Nanocomposites on a) Root Elongation, b) Shoot Elongation, and c) Seedling Vigor Index of Wheat

Chlorophyll Content of Wheat

The results showed that the chlorophyll content of aged leaves of wheat exposed to magnetite nanoparticles decreased compared to the results of other weeks (Fig.3a). In the second week of aged leaves, the plants expend energy to produce chlorophyll, due to need photosynthetic activity to grow. Iron is one of the major factors in physiological developments of living organisms and also, it is important to chlorophyll production in plants (Shankamma et al., 2016). It is used as an enzyme cofactor for photosynthetic reactions (Al Amri et al., 2020). In generally, iron-based nanomaterials, used as nano-fertilizers, can be used iron supplier for plants, especially in Fe-deficient soils. The results of our study for Fe₃O₄-NPs in chlorophyll content of aged leaves in second week showed significantly changes at the 40 mg L⁻¹ (12.9% decrease) and 160 mg L⁻¹ (9.8% increase) concentrations, compared to control ($p < 0.05$). In the third and fourth weeks, the chlorophyll contents of aged leaves were decreased compared to both control plants and second week, and there were statistically significant within the concentration groups ($p < 0.05$). On the other hand, an increasing trend was observed in young leaves on third week and in the next week

the chlorophyll content showed no differences compared to control (Fig.3b) ($p>0.05$). Similarly, the authors showed that the chlorophyll content of muskmelon exposed to Fe_3O_4 -NPs were lower than control in the second week, it increased in the third week and in the fourth week the chlorophyll content has no change compared to control Wang et al. (2019).

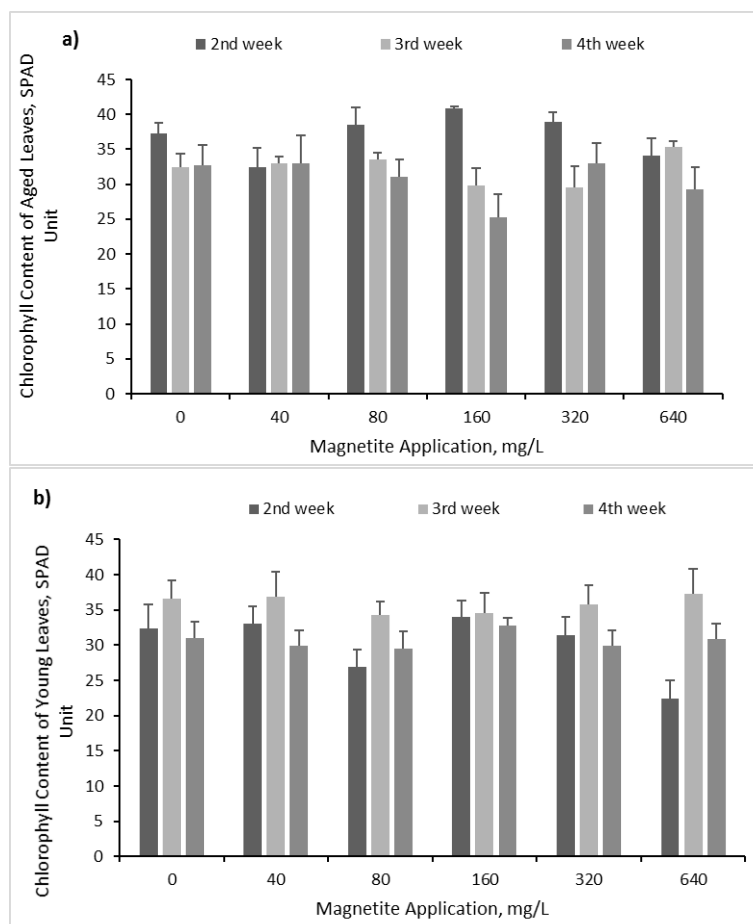


Figure 3. Effects of Magnetite Nanoparticles on Chlorophyll Content of a) Aged Leaves and b) Young Leaves of Wheat

Although hydroxyapatite particles have the potential to be evaluated as agricultural nutrients sources, the application areas are focused on biomedical areas (Rop et al., 2018). The main source of phosphorus in the soil is rocks and minerals (apatite) and also organic materials include organic phosphorus. However, the large part of the phosphorus in the soil is in the form of which plants cannot benefit because phosphate ions are kept tight in the soil (Bolat and Kara, 2017). Plants affect from the phosphorus in the soil since it effects root growth and development, plant maturation, early seed formation, fertilization and increases the resistance to diseases (Bilen ve Sezen, 1993). Feng et al. (2021) showed that there were positive effects of HAp on winter wheat. The authors reported that the plants were well grow, healthy, and greenish. On the other hand, if the phosphorus is too much in the soil, the deficiency of micronutrient elements such as zinc and iron likely to occur (Bolat and Kara, 2017). In this study, it was observed that the first leaves (aged leaves), the chlorophyll formation was inhibited by the presence of HAp compared to control, especially in the second week ($p<0.05$). It is supposed that the second week was the adaptation period for plants to HAp, because in the next weeks the chlorophyll content increased but was not as much as the control (Fig. 4a). The young leaves did not showed sensitivity to HAp as much as aged leaves, since the adaptation period was finished in second week (Fig.4b). The dose-depend-chlorophyll content observation showed that the HAp concentration was not statistically significant in third week (except 40 and 160 mg L^{-1}) and fourth week (except 40 mg L^{-1}), compared to control.

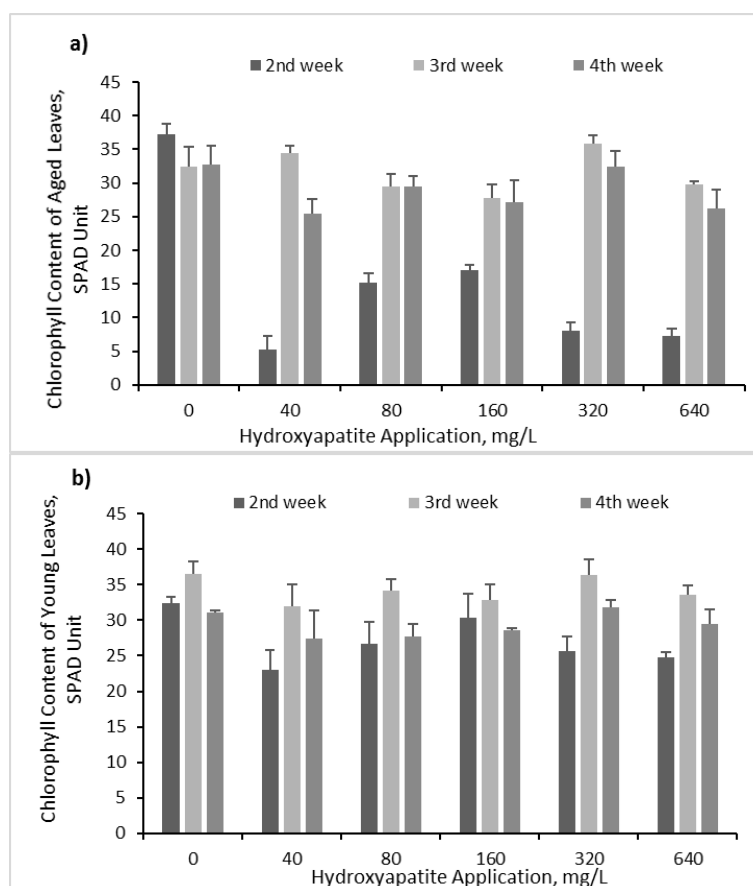


Figure 4. Effects of Hydroxyapatite on Chlorophyll Content of a) Aged Leaves and b) Young Leaves of Wheat

Although the magnetic nanoparticles have low toxicity and their biologically compatible (Yang, Gong, and Zhang, 2010), the aggregation process makes magnetite nanoparticles difficult to internalized to plant cell (Dağlioğlu and Yılmaz, 2018). Hydroxyapatite particles is the best inorganic auxiliary material that prevent aggregation of Fe_3O_4 (Kermanian, Naghibi, and Sadighian, 2020). However, the chlorophyll content of aged leaves treated with magnetite-hydroxyapatite nanocomposite have shown an opposite tendency compared to treated with magnetite nanoparticles. It was assumed that the particles size is the main factor in this tendency. The chlorophyll content increased in the second week at 40 mg L⁻¹ nanocomposite concentration, while it decreased at the increasing nanocomposite concentrations ($p < 0.05$). The minimum and the maximum decreases in second week were calculated as 20.4% and 39.5% at the 640 mg L⁻¹ and 80 mg L⁻¹ nanocomposite concentrations, respectively. The significantly decreases were observed in the third week at the increasing nanocomposite concentration (302 and 640 mg L⁻¹, $p < 0.05$), while were not observed significantly changes in chlorophyll content of aged leaves in fourth week ($p > 0.05$), compared to control (Fig. 5a). According to Bolat and Kara (2017) the symptoms of iron deficiencies appear on young leaves as decrease in plant growth and production of chlorophyll. Similarly, in this study, it was observed that the chlorophyll content decreased in young leaves, since the uptake of iron from Fe_3O_4 -HAP nanocomposite was inhibited due to their sizes (Fig. 5b). Especially, the chlorophyll content of in the early stage of plant growth (second week) was very low ($p < 0.05$), except 80 mg L⁻¹. The minimum and the maximum decreases of chlorophyll content was determined in second week as 18.5 % and 66.7 % at the 640 and 320 mg L⁻¹ nanocomposite concentrations, respectively. Compared to chlorophyll content in second week, it increased in third and fourth weeks but was not as much as the control. In the third- and fourth weeks, the minimum chlorophyll content of young leaves was observed at the 640 and 320 mg L⁻¹ nanocomposite concentration ($p < 0.05$), respectively.

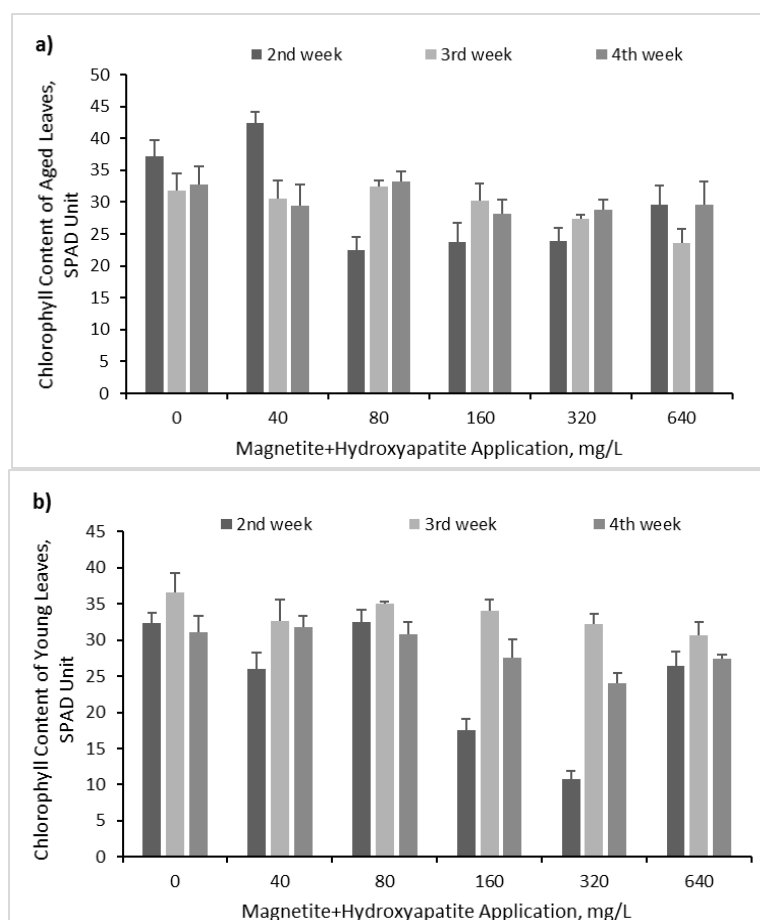


Figure 5. Effects of Magnetite-Hydroxyapatite Nanocomposite on Chlorophyll Content of a) Aged Leaves and b) Young Leaves of Wheat

CONCLUSION

In this study, ecotoxicological evaluation of Fe_3O_4 , HAp and Fe_3O_4 -HAp nanocomposites was made based on wheat plant. In the results obtained, it was determined that the materials used did not have a negative effect on the germination of wheat, the root elongation of the wheat was negatively affected by the test chemicals, while the shoot elongation was positively affected. It has been observed that Fe_3O_4 nanoparticles adversely affect the chlorophyll content in both young and old leaves of wheat at increasing concentrations during the early growth period, as in HAp application. However, chlorophyll production was lower in plants treated with HAp than with other test chemicals. It was determined that the use of iron in chlorophyll production was inhibited by the presence of HAp in the growing medium.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the Mersin University Scientific Research Projects Unit (Project Number:2019-1-AP4-3494). Authors are grateful to MEU-BAP for supports.

REFERENCES

- Al-Amri, N., Tombuloglu, H., Slimani, Y., Akhtar, S., Barghouthi, M., Almessiere, M., Alshammari, T., Baykal, A., Sabit, H., Ercan, I. and Ozcelik, S. (2020). Size effect of iron (III) oxide nanomaterials on the growth, and their uptake and translocation in common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 194, 110377. doi:10.1016/j.ecoenv.2020.110377
- Bilen, S. ve Sezen, Y. (1993). Toprak reaksiyonunun bitki besin elementleri elverişliliği üzerine etkisi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24(2), 156-166.
- Bolat, İ. and Kara, Ö. (2017). Plant nutrients: Sources, functions, deficiencies and redundancy. *J of Bartın Faculty of Forestry*, 19(1), 218-228. doi: 10.24011/barofd.251313

- Borhan, M.S., Panigrahi, S., Satter, M.A. and Gu, H. (2017). Evaluation of computer imaging technique for predicting the SPAD readings in potato leaves. *Information Processing in Agriculture*, 4, 275-282. doi:10.1016/j.inpa.2017.07.005
- Dağlioğlu, Y. and Yılmaz, H.Ö. (2018). Nanoparticle characterization methods and its importance in ecotoxicity experiments. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 1, 1-17. doi: 10.7240/marufbd.346547
- De Souza, A., Govea-Alcaide, E., Masunaga, S.H., Fajardo-Rosabal, L., Effenberger, F., Rossi, L.M. and Jardim R.F. (2019). Impact of Fe₃O₄ nanoparticle on nutrient accumulation in common bean plants grown in soil. *SN Applied Sciences*, 1, 308. doi:10.1007/s42452-019-0321-y
- De Souza-Torres, A., Govea-Alcaide, E., Gómez-Padilla, E., Masunaga, S.H., Effenberger, F.B., Rossi, L.M., López-Sánchez, R. and Jardim, R.F. (2021). Fe₃O₄ nanoparticles and Rhizobium inoculation enhance nodulation, nitrogen fixation and growth of common bean plants grown in soil. *Rhizosphere*, 17, 100275. doi:10.1016/j.rhisph.2020.100275
- Doğaroğlu, Z.G., Eren, A. ve Baran, M.F. (2019). Effects of ZnO nanoparticles and ethylenediamine-N,N'-disuccinic acid on seed germination of four different plants. *Global Challenges*, 1800111. doi: 10.1002/gch2.201800111
- Dray Jr., F.A., Center, T.D. and Mattison, E.D. (2012). In situ estimates of waterhyacinth leaf tissue nitrogen using a SPAD-502 chlorophyll meter. *Aquatic Botany*, 100, 72-75. doi:10.1016/j.aquabot.2012.03.005
- Feng, Y., Yang, J., Liu, W., Yan, Y. and Wang, Y. (2021). Hydroxyapatite as a passivator for safe wheat production and its impacts on soil microbial communities in a Cd-contaminated alkaline soil. *Journal of Hazardous Materials*, 404, 124005. doi:10.1016/j.jhazmat.2020.124005
- Ghafariyan, M.H., Malakouti, M.J., Dadpour, M.R., Stroeve, P. and Mahmoudi, M. (2013). Effects of magnetite nanoparticles on soybean chlorophyll. *Environmental Science and Technology*, 47, 10645–10652. doi:10.1021/es402249b
- Girelli, A.M., Astolfi, M.L. and Scuto, F.R. (2020). Agro-industrial wastes as potential carriers for enzyme immobilization: A review. *Chemosphere*, 244, 125368. doi:10.1016/j.chemosphere.2019.125368
- Hawkins, T. S., Gardiner, E. S. and Comer, G.S. (2009). Modeling the relationship between extractable chlorophyll and SPAD-502 readings for endangered plant species research. *Journal for Nature Conservation*, 17, 123-127. doi:10.1016/j.jnc.2008.12.007
- Iannone, M.F., Groppa, M.D., de Sousa, M.E., van Raap, M.B.F. and Benavides, M.P. (2016). Impact of magnetite iron oxide nanoparticles on wheat (*Triticum aestivum* L.) development: Evaluation of oxidative damage. *Environmental and Experimental Botany*, 131, 77–88. doi:10.1016/j.envexpbot.2016.07.004
- Iannone, M.F., Groppa, M.D., Zawoznik, M.S., Coral, D.F., van Raap, M.B.F. and Benavides, M.P. (2021). Magnetite nanoparticles coated with citric acid are not phytotoxic and stimulate soybean and alfalfa growth. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 211, 111942. doi:10.1016/j.ecoenv.2021.111942
- Ji, R., Shi, W., Wang, Y., Zhang, H. and Min, J. (2020). Nondestructive estimation of bok choy nitrogen status with an active canopy sensor in comparison to a chlorophyll meter. *Pedosphere*, 30(6), 769–777. doi:10.1016/S1002-0160(20)60037-6
- Kermanian, M., Naghibi, M. and Sadighian, S. (2020). One-pot hydrothermal synthesis of a magnetic hydroxyapatite nanocomposite for MR imaging and pH-Sensitive drug delivery applications. *Heliyon*, 6:e04928. doi:10.1016/j.heliyon.2020.e04928
- Lin, F.F., Qiu, L.F., Deng, J.S., Shi, Y.Y., Chen, L.S. and Wang, K. (2010). Investigation of SPAD meter-based indices for estimating rice nitrogen status. *Computers and Electronics in Agriculture*, 71S, 60–65. doi:10.1016/j.compag.2009.09.006
- Mezacasa, A.V., Queiroz, A.M., Graciano, D.E., Pontes, M.S., Santiago, E.F., Oliveira, I.P., Lopez, A.J., Casagrande, G.A., Scherer, M.D., dos Reis, D.D., Oliveira, S.L. and Caires, A.R.L. (2020). Effects of gold nanoparticles on photophysical behaviour of chlorophyll and pheophytin. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 389, 1-8. doi:10.1016/j.jphotochem.2019.112252

- Petcharoen, K. and Sirivat, A. (2012). Synthesis and characterization of magnetite nanoparticles via the chemical co-precipitation method. *Mat. Sci. and Eng.: B.*,177(5), 421-427. doi:10.1016/j.mseb.2012.01.003
- Rop, K., Karuku, G.N., Mbui, D., Michira, I. and Njomo, N. (2018). Formulation of slow release NPK fertilizer (cellulose-graft-poly (acrylamide)/nano-hydroxyapatite /soluble fertilizer) composite and evaluating its N mineralization potential. *Annals of Agricultural Sciences*, 63, 163–172. doi:10.1016/j.aoad.2018.11.001
- Shankamma, K., Yallappa, S., Shivanna, M.B. and Manjanna, J. (2016). Fe₂O₃ magnetic nanoparticles to enhance *S. lycopersicum* (tomato) plant growth and their biomineralization. *Applied Nanoscience*, 6, 983–990. doi:10.1007/s13204-015-0510-y
- Su, C. (2017). Environmental implications and applications of engineered nanoscale magnetite and its hybrid nanocomposites: A review of recent literature. *Journal of Hazardous Materials*, 322, 48-84. doi:10.1016/j.jhazmat.2016.06.060
- Wang, Y., Wang, S., Xu, M., Xiao, L., Dai, Z. and Li, J. (2019). The impacts of γ -Fe₂O₃ and Fe₃O₄ nanoparticles on the physiology and fruit quality of muskmelon (*Cucumis melo*) plants. *Environmental Pollution*, 249,1011-1018. doi:10.1016/j.envpol.2019.03.119
- Yang, Z., Gong, X. and Zhang, C. (2010). Recyclable Fe₃O₄/hydroxyapatite composite nanoparticles for photocatalytic applications. *Chemical Engineering Journal*,165, 117–121. doi:10.1016/j.cej.2010.09.001
- Zhi-Hui, M., Lei, D., Fu-Zhou, D., Xiao-Juan, L. and Dan-Yu, Q. (2020). Angle effects of vegetation indices and the influence on prediction of SPAD values in soybean and maize. *International Journal of Applied Earth Observation Geoinformation*, 93, 102198. doi:10.1016/j.jag.2020.102198



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi :10.12.2021
Kabul Tarihi :11.02.2022

Received Date :10.12.2021
Accepted Date :11.02.2022

KONVEKTİF LİMON KURUTMADA OHMİK VE GELENEKSEL HAŞLAMA ÖN İŞLEM TEKNİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

COMPARISON OF OHMIC AND CONVENTIONAL BLANCHING PRETREATMENTS FOR CONVECTIVE DRYING OF LEMON

Pınar GÜLER¹ (ORCID: 0000-0002-5189-4695)
İnci DOĞAN² (ORCID: 0000-0002-7715-7423)

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş, Türkiye
² Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik - Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: İnci DOĞAN, icinar@ksu.edu.tr

ÖZET

Çalışmada ohmik ve suda haşlama ön işlemlerinin limon dilimlerinin konvektif kurutulmasındaki potansiyeli kıyaslamalı olarak araştırılmıştır. Limon numuneleri ohmik (60, 130, 200V/cm, 80°C) ve suda (95°C) olmak üzere iki farklı teknikle haşlanarak konvektif kurutucuda 60°C'de kurutulmuştur. Ön işlemlerin başarısı örneklerin renk, su aktivitesi, yığın yoğunluğu ve rehidrasyon kapasitesi ile değerlendirilmiştir. Ohmik haşlamanın suda haşlamaya kıyasla haşlama süresini önemli ölçüde azalttığı, kurutma hızını arttırdığı ve ohmik haşlanan örneklerin suda haşlamaya kıyasla daha düşük su aktivitesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Voltaj artışı örneklerin L* değerinin artmasına ve b* değerinin azalmasına sebep olmuştur. Ohmik haşlamanın yığın yoğunluğunu azalttığı ve rehidrasyon kapasitesini arttırdığı ayrıca yüksek voltaj değerinin (200V/cm) büzölmeye sebep olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ohmik haşlama, geleneksel haşlama, ön işlem, kurutma, limon

ABSTRACT

The potential of ohmic and water blanching pretreatments for convective drying of lemon slices was investigated. In the study, lemon samples were ohmic (60,130,200 V/cm, 80°C) and water (95°C) blanched followed by convective drying at 60°C. Pretreatment performance was evaluated by the color, water activity, bulk density and rehydration capacity of the samples. It was determined that ohmic blanching significantly reduced blanching time, increased drying rate as compared to water blanching whereas ohmic blanched samples had lower water activity as compared to water blanching. Higher voltages resulted in higher L* values and lower b* values. It was determined that ohmic blanching reduced the bulk density, increased rehydration capacity and high voltage values (200V/cm) caused shrinkage of the lemon samples.

Keywords: Ohmic blanching, conventional blanching, pretreatment, drying, lemon

GİRİŞ

Meyve ve sebzelerin taze haldeki raf ömürleri oldukça kısıtlı olup hasadı takiben kısa sürede mikrobiyel ve enzimatik bozulurlar (Topçu, 2020). Bu sebeple ürünlerin raf ömrünü arttırmak amacıyla uygulanan ön işleme, işleme ve muhafaza teknikleri önemlidir. Haşlama ön işleme ürünün rengini koruma, dokuyu yumuşatma, esmerleşme ve istenmeyen reaksiyonlara neden olan enzimlerin inaktivasyonu gibi amaçlarla yaygın olarak uygulanmaktadır. Haşlama ön işleme taze meyve ve sebzelerin işlenmesi, meyve/sebze sularının ve pürelerinin üretimi ve depolanması aşamasında büyük önem taşımaktadır (Dar vd., 2021; İçier, Yıldız ve Baysal, 2006).

Besin kaybı ve atık su miktarının azaltılması açısından alternatif haşlama yöntemlerinin kullanılması yarar sağlamaktadır (İçier, 2010). Alternatif haşlama yöntemleri olarak ohmik haşlama, buhar ile haşlama, yüksek nemli sıcak hava darbeleri haşlama, mikrodalga ile haşlama ve kızılötesi haşlama teknikleri yaygın kullanılmaktadır (Xiao vd., 2017). Ohmik ısıtma gıdaların elektriksel özelliklerinden yararlanılarak geliştirilmiş bir sistem olup direnç ısıtma, elektro ısıtma olarak da bilinmektedir (Lele vd., 2021; İçier, 2003). Ohmik ısıtma iç enerji jenerasyonu sağlaması, görece kısa süreli bir işlem olması, fosil yakıtların yerine geçebilecek bir yeşil proses olması ve enerji verimliliği gibi avantajları sebebiyle öne çıkmaktadır (Rodrigues vd., 2021). Teknik aynı zamanda meyve ve sebzelerin haşlanmasında potansiyele sahiptir (Dar vd., 2021). Geleneksel haşlama fazla su gerektirirken (2-4kg/kg haşlanmış ürün) ohmik haşlama (0.5-1kg/kg haşlanmış ürün) daha az su ile gerçekleştirilebilmekte ve enzim inaktivasyonu sağlanmaktadır. Mantarların ohmik ısıtmayla haşlanmasında geleneksel sistemlerin aksine çok fazla su gerektirmeden daha hızlı ısıtma sağlandığı görülmüştür (Sensoy ve Sastry, 2007). Ayrıca ohmik haşlama işlemi ile meyve ve sebzelerin rengi, fenolik madde ve C vitamini içeriği daha iyi korunmakta, haşlanması zor olan büyük hacimli ürünlerde başarı sağlamaktadır (Yılmaz ve Elmacı, 2018). Ohmik ısıtma uygulamaları gıdada iç enerji jenerasyonu sağlayarak ısıtma oranını yükselttiğinden son yıllarda özellikle enerji verimliliği açısından endüstride artan ilgi görmeye başlamıştır (Jan vd., 2021).

Limon *Citrus limonia* (limon) *Rutaceae* familyasında yer alan bir meyve olup ekonomik açıdan büyük öneme sahiptir (Dhanavade vd., 2011). Besin içeriği açısından oldukça zengin bir ürün olup C vitamini, karotenoidler, sitrik asit, mineraller ve birçok faydalı bileşenleri içermektedir (Vilaplana vd., 2012). Yapısında limonen, sitronelol, geranial, neral, sitral, linalol gibi terpen bileşikleri bulunmaktadır (He, Qian & Qian, 2018). Ayrıca yüksek antioksidan özelliğe sahip olup hesperidin, eriositrin (flavon) ve diosmetin bileşikleri olan flavonoidler açısından da oldukça zengindir (Kawaii vd., 2000). Bu sebeple limon, gıda endüstrisinde işleme açısından büyük önem kazanmıştır. Literatürde limon üzerine yapılan çalışmalar daha çok antioksidan/antimikrobiyel kapasitesi, mikrobiyel/enzimatik inaktivasyon, ürünün renk değerlerine ve antikanserojen özelliklerine etkisi üzerinedir (Norouzi vd., 2021; Topçu, 2020; Müller vd., 2020).

İçier (2010) çalışmasında konserveye işlenecek enginar başlarını ohmik ve geleneksel suda haşlamaya tabi tutulmuş, sonuçta peroksidaz ve polifenol oksidaz inaktivasyonunun ohmik sistemle daha kısa sürede gerçekleştiğini ve rengin daha iyi korunduğu ortaya konmuştur. Aynı haşlama sıcaklığında ohmik haşlamada C vitamini kaybının daha az olduğu ve toplam fenolik madde içeriğinin daha fazla korunduğu rapor edilmiştir. Guida vd. (2013) çalışmalarında enginar başlarına ohmik haşlama ve sıcak su ile haşlama işlemi uygulayarak haşlamanın peroksidaz ve polifenoloksidaz enzimlerinin inaktivasyonu, doku ve renk bozulmaları üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda ohmik haşlamanın sıcak su ile haşlamaya kıyasla daha düşük haşlama süresinde her iki enzimi de inaktif hale getirdiği, renk ve dokuyu önemli ölçüde koruduğu belirlenmiştir (Xiao vd., 2017).

Müller vd., (2020) geleneksel ısıtma ile kıyaslandığında ohmik ısıtmanın mikrobiyel inaktivasyondaki etkinliğini araştırmışlar ve farklı ısıtma sıcaklıklarında ohmik ısıtma uygulanan örneklerin termal ölüm eğrilerindeki D değerinin daha düşük olduğunu saptamışlardır. Tetsukabuto balkabağı işlemede ohmik ve geleneksel haşlama işlemleri karşılaştırılmıştır. Gomes vd. (2018) ohmik haşlama uygulanan ürünlerde peroksidaz inaktivasyon süresinin geleneksel haşlamaya kıyasla daha kısa olduğu belirlenmiştir. Ohmik haşlama ile başlangıçtaki peroksidaz aktivitesinde %90 üzerinde bir azalma 2dak'da gerçekleşirken geleneksel haşlamada 4dak'da gerçekleşmiştir. Bir diğer çalışmada su kabağına ohmik haşlama ve geleneksel haşlama işlemleri uygulanmıştır. Su kabağının peroksidaz aktivitesi ohmik haşlamada 80°C'de 4dak'da gerçekleşirken konveksiyonel haşlamada 90°C'de 5dak boyunca belirlenemeyen bir seviyeye ulaştığı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda ohmik haşlama daha düşük sıcaklık ve zamanda konveksiyonel haşlamaya kıyasla daha etkili olduğu belirlenmiştir (Bhat vd., 2019).

İçier vd. (2006) tarafından yapılan çalışmada bezelye püresi ohmik (20-50V/cm) ve geleneksel (100°C) olarak haşlanmıştır. Çalışmada 30V/cm voltaj değerinde geleneksel haşlamaya kıyasla peroksidaz inaktivasyonunun daha kısa sürede gerçekleştiği, 50V/cm'de en kısa inaktivasyon süresinin (54s) ve en iyi renk kalitesinin gözlemlendiği belirlenmiştir.

Farklı sıcaklıklarda (65 ve 85°C) ohmik haşlamanın çileklerin ozmotik dehidrasyon kinetiği (26 ve 37°C, 30 ve 70°Bx sakkaroz) üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sakkaroz solüsyonunda (37°C, 70°Bx) 4 saatlik ozmotik dehidrasyondan sonra çileklerin kuru madde miktarı %20.3 iken 85°C'de 3dak ohmik haşlama ile birleştirildiğinde %68'e ulaştığı ve sonuçta ohmik haşlamanın ürünün kütle transferi ve efektif difüzyon oranını önemli ölçüde arttırdığı belirlenmiştir (Allali, Marchal & Vorobiev, 2010).

Mesias vd. (2016), çalışmalarında sterilize edilmiş ve sterilize edilmemiş bitkisel bebek mamalarının aminoasit içeriklerini incelemiştir. İşlemler imbibik sterilizasyon ve ohmik ısıtma (25kHz-50Hz, 129°C, 11dak) ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda ohmik ısıtmanın ürünlerin toplam aminoasit içeriğine etki etmediği ancak geleneksel imbibik sterilizasyonunun toplam esansiyel ve esansiyel olmayan aminoasit içeriğini önemli oranda azalttığı belirlenmiştir.

Mercali vd. (2012) kuru madde içeriği 2-8g/100g olan aserola pulpuna geleneksel haşlama ve ohmik haşlama (120-200V/cm, 85°C, 3dak) işlemi uygulamışlardır. Ohmik haşlama düşük voltaj değerlerinde (<140V/cm) geleneksel haşlamaya benzer askorbik asit bozunmasına yol açarken yüksek voltaj değerlerinde askorbik asit bozunmasının daha fazla olduğu belirlenmiştir. Başka bir çalışmada ise aserola pulpuna ohmik haşlama (30V/cm, 60Hz, 80-95°C, 0-60s) ve kızıl ötesi haşlama işlemi uygulanmıştır. Çalışma sonucunda örneklerin askorbik asit ve karatenoid degradasyonunun her iki işlemde de benzer olduğu belirlenmiştir (Xiao vd., 2017).

Sarkis vd. (2013) yabanmersini pulpuna konveksiyonel haşlama ve ohmik haşlama (160-240V/cm, 90°C, 2dak) işlemi uygulamışlardır. Çalışma sonucunda ohmik haşlamada antosiyanin kaybının geleneksel haşlama ile kıyaslandığında daha düşük veya yakın olduğu belirlenmiştir. Farahnaky vd. (2012) havuç, kırmızı pancar ve altın havuç örneklerinin ohmik, sıcak su ve mikrodalga haşlanmasının dokusal yumuşama kinetiğine etkilerini karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda ohmik haşlamanın daha yüksek ağırlık kaybı ve yumuşama oranına yol açtığı ancak bu oranın önemli ölçüde düşük olduğu ve dolayısıyla ohmik haşlamanın kırmızı pancar, havuç ve altın havuç için uygun bir ön işlem olmadığı açıklanmıştır.

Dağdelen (2019) çalışmasında yeşil fasulyenin dondurularak muhafazasında ön ısıl işlem basamağında geleneksel haşlama işlemine alternatif olarak kullanılabilecek ohmik ısıtma tekniğinin zaman bakımından daha iyi sonuç verdiğini, besin kayıplarında geleneksel yöntemle önemli bir farklılık göstermediğini, mikrobiyel kaliteyi ise daha iyi koruduğunu ortaya koymuştur. Makroo vd. (2016) çalışmalarında domates suyuna ohmik haşlama (24V/cm, 90°C'de 15, 30, 45 ve 60s) ve geleneksel sıcak kırma işlemi uygulamışlardır. Ohmik haşlama (1dak) işlemi sonucunda poligalakturonaz ve pektin metil esteraz enzim inaktivasyonu geleneksel sıcak kırma (5dak) işlemi ile benzer olduğu belirlenmiştir. Askorbik asit ohmik haşlama uygulanan örneklerde geleneksel sıcak kırma işlemine kıyasla %29-51 daha fazla korunmuş, ohmik haşlama uygulanan ürünlerin daha viskoz ve daha parlak kırmızı renkte olduğu açıklanmıştır.

Ürünün raf ömrünü arttırmak amacıyla yapılan kurutma işleminde kurutma havasının hızı, kurutma süresi ve sıcaklık önemli parametrelerdir. Yapılan bir çalışmada enginar başları ohmik haşlama (85°C'de 25 ve 40V/cm) ve suda haşlama (85°C ve 100°C) ön işlemine tabi tutulmuştur. Ohmik haşlanmış ürünler akışkan yataklı kurutucuda 80°C, 0.8m/s hava hızında kurutulmuştur. Çalışmada 85°C (40V/cm) ohmik haşlama (300±2 s) ve 100°C suyla haşlama işlemi (310±2 s) uygulanan örneklerin peroksidaz inaktivasyon sürelerinin benzer olduğu, C vitamini ve toplam fenolik madde içeriğinin 85°C (40V/cm) ohmik haşlama işleminde en yüksek olduğu saptanmıştır (İçier, 2010).

Kumar vd. (2021) çalışmalarında ananas küplerine ohmik haşlama (25-35V/cm, 90°C, 60-180s) ön işlemi uygulamış ve ardından örnekler 70°C'de 0,1m/s hava akımı ile kurutulmuştur. Kurutulmuş örnekler damıtılmış su içerisinde 7saat boyunca bekletilmiştir. Çalışma sonucunda dokusal bozulmanın 90s ve 120s'lik haşlamada en yüksek olduğu belirlenmiştir. Kutlu vd. (2018), çalışmalarında ohmik ön işlemin elmaların kurutma hızı üzerine etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla elma örneklerine ohmik ısıtma (20-40V/cm, 60°C, 1dak) işlemi uygulamış ve ardından tepsili kurutucu (60°C, 2m/s) ile kurutulmuştur. Çalışma sonucunda en kısa kuruma süresinin 30V/cm voltaj değerinde olduğu belirlenmiştir. Sarımsak tozunun farklı sıcaklıklarda kuruma özelliklerini belirlemek için

sarımsağın ohmik olarak haşlanması amaçlanmıştır. Ohmik olarak haşlanan sarımsakta kuruma hızı geleneksel haşlamaya kıyasla önemli ölçüde yüksek olduğu ve ohmik haşlanan (26.66 V/cm, 30s) sarımsağın esmerleşme yoğunluğunun daha düşük olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Poojitha & Athmaselvi, 2020). Mikrodalga kurutma sırasında beyaz mantarlara ohmik haşlama ön işlemi uygulanmıştır. Ohmik haşlama sırasında kütle kaybındaki değişimler ısıtma süresi ve uygulanan voltaja bağlı olduğu, yüksek voltaj ve uzun ısıtma süresi uygulanan mantarların daha hızlı sürede kuruduğu açıklanmıştır (Soghani, Azadbakht & Dervişi, 2018).

Mevcut çalışmanın amacı, ohmik ve suda haşlama ön işlemlerinin limon dilimlerinin konvektif kurutulmasındaki potansiyelinin kıyaslamalı olarak araştırılmasıdır. Ön işlemlerin başarısının kıyaslanmasında renk, su aktivitesi, yığın yoğunluğu, rehidrasyon kapasitesi değerleri kullanılmıştır.

MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada kullanılan limonlar Kahramanmaraş ilinde bulunan yerel marketlerden temin edilmiş, analiz öncesinde +4°C’de buzdolabı koşullarında muhafaza edilmiştir. Analiz öncesi yıkanıp temizlenen limonlar yaklaşık 10 g ağırlığında dilimler halinde kesilmiş ve analizler için 3’er paralelli olarak hazırlanmıştır.

Haşlama İşlemleri

Ohmik ve suda olmak üzere iki farklı haşlama işlemi uygulanmıştır. Ohmik haşlama 50 Hz alternatif akımda 60, 130 ve 200V/cm’lik voltaj değerleri kullanılmıştır (Erkek, 2006). Limon dilimleri test hücrelerinde (8.7×20×15cm) yer alan iki paslanmaz çelik elektrot (304 kalite, 12×19cm, elektrot aralığı 7cm) arasına yerleştirilmiş ve 80°C’ye ısıtılmıştır. Sistem sıcaklığı k tipi termokupl kullanılarak ölçülmüş ve sabit sıcaklık besleme sistemindeki açma kapama kontrolü ile sağlanmıştır. Suda haşlama için limon dilimleri içinde 95°C sabit sıcaklıkta su bulunan silindirik behere konularak 3dak tutulmuştur.

Kurutma İşlemi

Haşlanmış limon dilimleri tepsili konvektif kurutucuda (Heraeus marka T6 model) 60°C’de kurutulmuştur. Denemeler 3 paralelli olarak yapılmıştır. Kurutma işleminde ilk 2saat boyunca 30dak ve sonrasında 60dak aralıklarla alınan örneklerin zamana bağlı ağırlık kayıpları analitik hassas terazi ile (Vibra marka AJH 620 CE model) 0.0001 hassasiyetle ölçülmüştür. Kurutma limon dilimlerinin ağırlık ölçümleri arasındaki fark 0.01’den az olduğunda sonlandırılmıştır.

Nem İçeriğinin Belirlenmesi

Taze, haşlanmış ve kurutulmuş limon numunelerinin nem içerikleri TSE 485 metoduna göre belirlenmiştir.

Su Aktivitesinin Belirlenmesi

Taze ve kurutulmuş örneklerin su aktivitesi değerleri Aqua Lab marka 4TE model su aktivitesi ölçer ile belirlenmiştir. Su aktivitesi değerleri 25°C’de ve 3 paralelli olarak ölçülmüş olup ortalamaları alınmıştır.

Renk Değerleri Ölçümleri

Kurutulmuş limon dilimlerinin renk değerleri Hunter Lab marka Colorflex model renk ölçer kullanılarak 3 paralelli olarak belirlenmiştir. L*(parlaklık), a*(kırmızılık-yeşillik) ve b*(sarıklık-mavilik) değerlerinin ortalamaları kaydedilmiştir.

Yığın Yoğunluğunun Belirlenmesi

Taze ve kurutulmuş limon örneklerinin ağırlığı analitik hassas terazi ile belirlenmiş olup hacmi dereceli taşıma kabı ile belirlenmiş (Dobooğlu & Çınar, 2012) ve yığın yoğunluğu örnek kütlelerinin hacmine oranından hesaplanmıştır.

Rehidrasyon Kapasitesinin Belirlenmesi

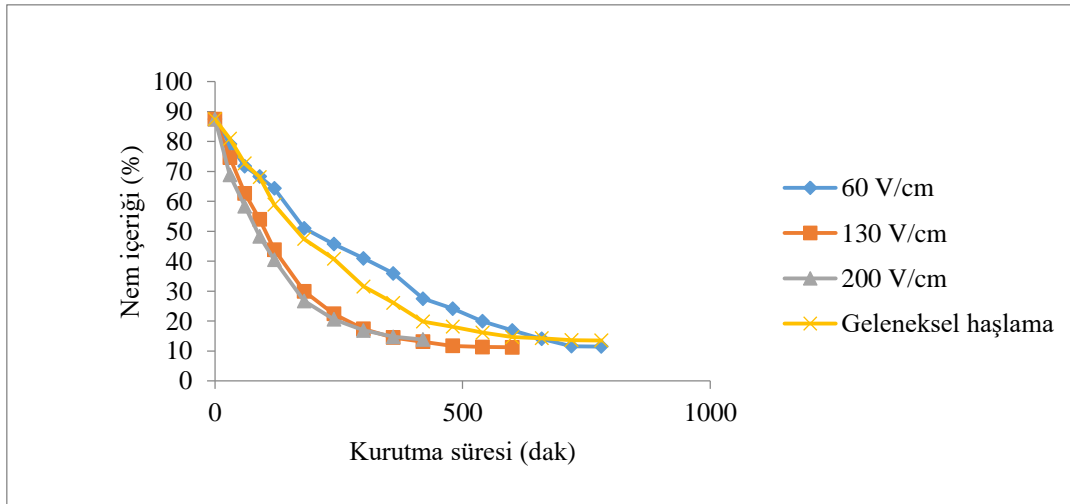
Kurutulmuş örnekler her bir ölçüm için tartılarak 50ml saf su içeren beherlerde belli sürelerde (10, 20, 30, 60 ve 1440dak) tutulmuştur. İşlem sırasında suyun buharlaşmasını önlemek için beherlerin üstü parafilmle kapatılmış ve süre sonunda beherden alınarak filtre kağıdı üzerinde örnekteki fazla su uzaklaştırıldıktan sonra ağırlıklar kaydedilmiştir (Kırmızıyaka, 2016).

İstatistiksel Analiz

Limon dilimlerine uygulamalar 0 (kontrol), 60, 130 ve 200 V/cm olmak üzere dört farklı düzeyde uygulanmıştır. Dört farklı voltaj değerinde uygulanan deneme üç tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Araştırma neticesinde elde edilen veriler SPSS 23.0 paket programı ile değerlendirilmiştir. Elde edilen verilere tek yönlü varyans analizi uygulanmıştır. Ortalamalar arasındaki önemli farklılıklar Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ile kıyaslanmış ve yorumlanmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmada su ile haşlama geleneksel haşlama olarak kabul edilmiştir. Denemelerde taze limon numunelerinin nem içeriği 87.43 ± 0.1 olarak ölçülmüştür. Ohmik haşlama (60, 130 ve 200V/cm, 80°C) ve geleneksel haşlama (95°C) ön işlemi ile kurutulan limon numunelerinin zamana bağlı %nem içeriklerine Şekil 1.'de yer verilmiştir. Buna göre ohmik haşlama(130, 200V/cm) ön işlemi uygulanarak kurutulan limon numunelerinde nem kaybı daha yüksek ve kuruma süresi daha kısa olarak gerçekleşmiştir. Nem değerinin kritik nem değerine ulaşabilmesi için geleneksel haşlama ve 60V/cm voltaj parametrelerinde kurutma 780dak'da gerçekleşirken, 130V/cm'de 600dak'da, 200V/cm'de ise 420dak'da gerçekleşmiştir. Guida vd. (2013) çalışmalarında enginar başlarının ohmik haşlama ve sıcak su ile haşlanması kıyaslamıştır. Çalışma bulgularına göre ohmik haşlama sıcak su ile haşlamadan daha kısa sürede enzim inaktivasyonu sağlamış, renk ve dokuyu önemli ölçüde korumuştur (Xiao vd., 2017). Bu bulgular mevcut çalışma ile uyum içindedir.



Şekil 1. Limon Dilimlerinin % Nem İçeriklerinin Kurutma Süresine Bağlı Değişimi

Hosainpour vd. (2014) tarafından yapılan bir çalışmada ohmik ön kurutma tekniği ile domates ezmesinin nem oranı, kurutma hızı ve kurutma süresi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Ön kurutma 6-16V/cm aralığında fırında (105°C, 1m/s) gerçekleştirilmiştir. Ön kurutma domates salçasının nem içeriği %90'dan %70'e düşene kadar gerçekleştirilmiştir. Ohmik ön kurutmanın sıcak hava kurutma yöntemine kıyasla domates salçasının kurutma süresini %80-97 oranında azalttığı belirlenmiştir.

Mevcut çalışmada kurutma sonunda 60V/cm voltaj değeri uygulanan numuneler diğer numunelere kıyasla daha yüksek nem içeriğine sahip olup geleneksel haşlama ön işlemi ile kurutulan numuneler ohmik haşlama ön işlemi ile (130 ve 200V/cm) kurutulan numunelere kıyasla daha yüksek nem içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir. Taze limon numunelerinin nem içerikleri 87.43 iken 60, 130 ve 200V/cm voltaj değerlerinde nem içerikleri sırasıyla 11.47 , 11.18 ve 13.83 olarak geleneksel haşlama ön işleminde ise 13.49 olarak ölçülmüştür. Uygulanan tek yönlü anova testine göre haşlama ön işleminin nem içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli düzeydedir ($p < 0.05$). Duncan kıyaslamasına göre ise nem içerikleri arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli düzeyde bulunmamıştır ($p > 0.05$). Poojitha ve Athmaselvi (2020) çalışmalarında sarımsak tozunun farklı sıcaklıklarda kuruma özelliklerini belirlemek için ön işlem olarak ohmik haşlama uygulamıştır. Ohmik haşlanan sarımsakta

kuruma hızı geleneksel haşlamaya kıyasla önemli ölçüde yüksek olduğu ve ohmik haşlanan (26.66V/cm, 30s) sarımsağın esmerleşme indeksinin daha düşük olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışma bulguları da mevcut çalışmayla uyumludur.

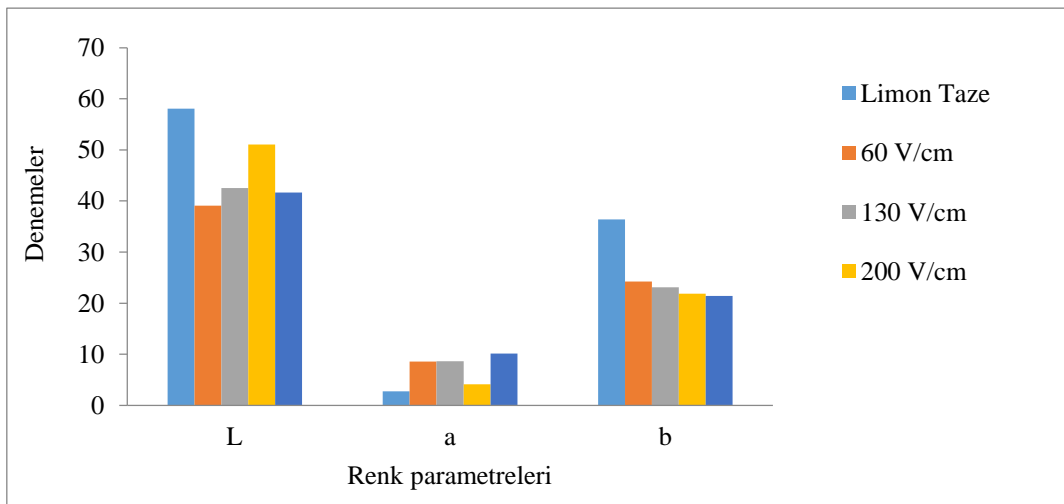
Kurutulan limon numunelerinin su aktivitesi değerleri incelendiğinde en yüksek su aktivitesi değeri geleneksel haşlama ön işlemi uygulanmış numunelerde olup bu değer 0.4868 olarak ölçülmüştür. En düşük su aktivitesi değeri 60V/cm voltaj değerinde olup bu değer 0.4286 olarak ölçülmüştür. Ön işlemlerin su aktivitesi üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli düzeyde bir farklılık göstermemiştir ($p>0.05$). Çalışma sonucunda kurutmada ohmik haşlama ön işleminin geleneksel haşlama ön işlemine kıyasla daha düşük su aktivitesi değerine sahip olduğu belirlenmiş ve bu yöntemle kurutulan ürünlerin görsel olarak daha sert, kuru ve dayanıklı ürünler olduğu saptanmıştır.

İşlenmiş ürünlerin tüketici açısından kabul edilebilirliğini arttırmada renk önemli bir parametredir. Aynı zamanda renk işlenmiş ürünlerin besinsel içeriği ve depolama süresinin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Dobooğlu & Çınar, 2012). Çalışmada geleneksel haşlama ve ohmik haşlama ön işlemi uygulanarak kurutulan limon numunelerinin renk değerleri ölçülmüştür. Uygulanan ön işlemlerin renk değerlerine etkisi L^* , a^* ve b^* değerleri ile belirlenmiştir. Kurutma sonunda limonda meydana gelen renk değişimleri Şekil 2.'de yer verilmiştir.

Çalışmada geleneksel haşlama ve ohmik haşlama ön işlemi uygulanarak kurutulan limon örneklerinin taze örneğe kıyasla L^* değerinin daha düşük olduğu ve yüksek voltaj değerlerinin (130, 200V/cm) parlaklığı arttırdığı belirlenmiştir. En yüksek L^* değeri 200V/cm voltaj değerinde 51.04 olarak ölçülürken, en düşük L^* değeri 60V/cm voltaj değerinde 39.06 olarak ölçülmüştür.

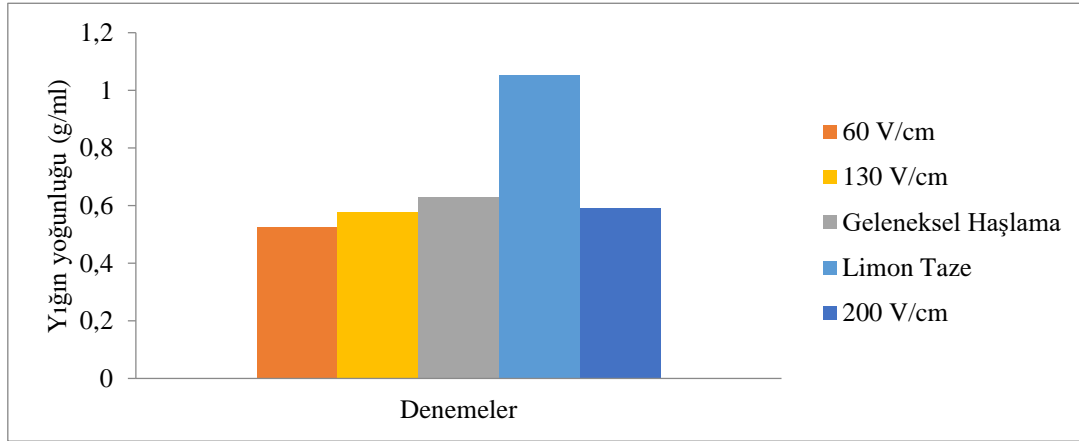
Yeşillik/kırmızılık değeri olarak bilinen a^* değeri geleneksel haşlama, 60, 130 ve 200V/cm voltaj değerlerinde sırasıyla 10.13, 8.56, 8.61 ve 4.12 olarak bulunmuştur. Geleneksel haşlama ile ohmik haşlama kıyaslandığında tüm parametrelerde a^* değerlerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. En düşük a^* değeri 200V/cm voltaj değerinde gözlemlenirken en yüksek a^* değeri geleneksel haşlama ön işleminde olduğu saptanmıştır.

Geleneksel haşlama ve ohmik haşlama ön işlemi uygulanarak kurutulan limon numunelerinin b^* (sarılık/mavilik) değerlerinin taze numuneye kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir. En yüksek b^* değeri 60V/cm voltaj değerinde iken en düşük b^* değeri 21.42 ile geleneksel haşlama ön işlemi ile kurutulan numunelerde gerçekleşmiştir. Çalışmada uygulanan ön işlemlerde voltaj değeri arttıkça b^* değerinde azalmalar meydana geldiği saptanmıştır. Yapılan tek yönlü varyans analizlerine göre a^* değerleri arasında farklar istatistiksel olarak önemli düzeyde iken ($p<0.05$), L^* ve b^* değerleri arasında istatistiksel olarak önemli düzeyde farklılıklar bulunmamaktadır ($p>0.05$).



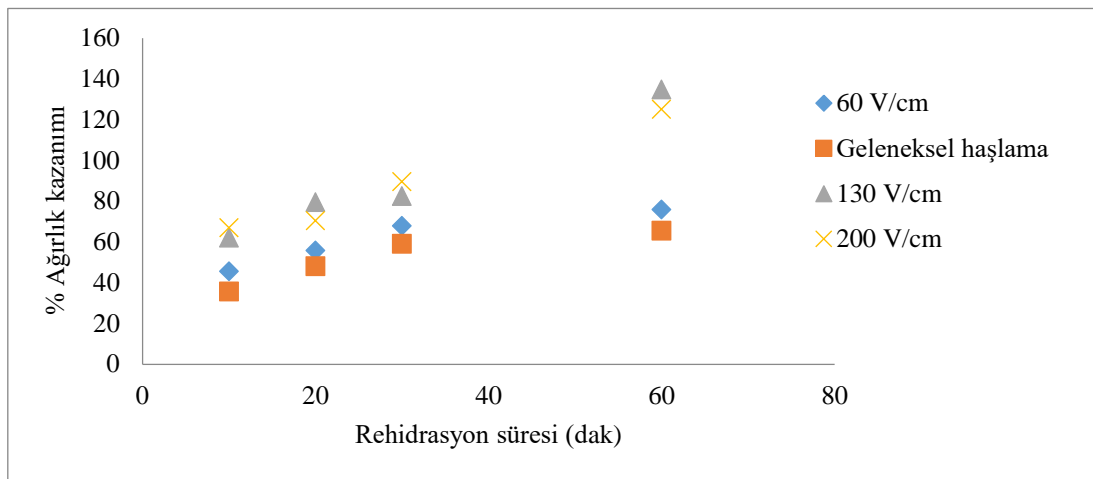
Şekil 2. Kurutulan Numunelerinin Renk Değerleri

Şekil 3.'de taze ve kurutulmuş limon numunelerinin hacim ve ağırlık değişimlerine bağlı yığın yoğunluğu değerleri verilmiştir. Taze, ohmik haşlama (60, 130 ve 200V/cm, 80°C) ve geleneksel haşlama (95°C) ön işlemi ile kurutulmuş limon numunelerinin yığın yoğunluğu değerleri sırasıyla 1.0544 g/ml, 0.5268 g/ml, 0.5758 g/ml, 0.5904 g/ml, 0.6301 g/ml olarak hesaplanmıştır. Ohmik haşlama ön işlemi ile kurutulmuş numunelerin yığın yoğunluğu tüm parametrelerde taze numunelerden daha düşük bulunmuştur. Çalışmada yüksek voltaj uygulamasının büzülme sebebinde olduğu gözlemlenmiştir. En fazla büzülme 200V/cm voltaj değeri uygulanmış numunelerde gözlemlenirken en az büzülme ise geleneksel haşlama ön işlemi uygulanarak kurutulmuş numunelerde gerçekleşmiştir. Uygulanan voltaj değerlerinin yığın yoğunluğu üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli düzeyde bulunmamıştır ($p>0.05$).



Şekil 3. Kurutulmuş Numunelerin Yığın Yoğunluğu Değerleri

Kurutulmuş ürünlerde rehidrasyon kapasitesinin yüksek olması kurutma potansiyelinin belirlenmesi için aranan bir kriterdir. Ohmik haşlama ve geleneksel haşlama ön işlemi uygulanarak kurutulmuş limon numunelerinin rehidrasyon sürelerine bağlı ağırlık kazanımlarına Şekil 5.'te yer verilmiştir. Bulgulara göre farklı voltaj değerlerinde kurutulmuş limon numunelerinin rehidrasyon kapasitelerini belirlemek amacıyla ağırlık artışının en hızlı gerçekleştiği ilk 60dak'lık periyot esas alınmıştır.



Şekil 2. Kurutulmuş Numunelerin Rehidrasyon Değerleri

Tüm voltaj değerlerinde ve geleneksel haşlamada rehidrasyondaki ağırlık kaybının büyük bir bölümü rehidrasyonun ilk 30dak'sında gerçekleşmiştir. Varyans analizlerine göre ilk 30dak'lık periyot istatistiksel açıdan

önemli düzeyde farklılık içermezken ($p>0.05$), 30dak'dan sonraki periyotlarda farklılıklar istatistiksel açıdan önemli düzeyde bulunmuştur ($p<0.05$). Ohmik haşlama uygulanan tüm örneklerin geleneksel haşlamaya kıyasla daha yüksek rehidrasyon kapasitesine sahip olduğu saptanmıştır. Ağırlık kazanımı 60V/cm'de %61.09, 130V/cm'de %89.51, 200V/cm'de %87.81 olarak belirlenmiştir. Geleneksel haşlama ön işlemi ile kurutulan örneklerin ağırlık kazanımları ise %51.86 olarak belirlenmiştir. Bu fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p>0.05$). Uygulanan Duncan çoklu karşılaştırma testine göre ise rehidrasyon süresi ve ön işlem uygulamasının rehidrasyon kapasitesi üzerindeki etkileri istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p<0.05$).

SONUÇ

Limon (*Citrus limonia*), tüketiciler açısından önemi giderek artan ürünler arasında yer almaktadır. Meyvenin sınırlı hasat süresi ve bozulmaya hassas olması muhafazasında sıkıntılara neden olmaktadır. Bu sebeple ürünün işlenerek değerlendirilmesi uzun raf ömürlü ve katma değerli ürünlere dönüşümünü sağlayacaktır. Bu açıdan kurutma literatürde ve sanayide yaygın kullanılan bir muhafaza yöntemidir. Yüksek sıcaklık ve uzun işlem süresi kurutulan ürününün fiziksel ve kimyasal özelliklerinde olumsuz değişmelere neden olabilmektedir. Bu sebeple çalışmada limon kurutmada alternatif bir ön işlem olan ohmik haşlama ile geleneksel sui le haşlama tekniklerinin karşılaştırılması üzerinde durulmuştur.

Sonuçlara göre, çalışılan voltaj aralığında (0,60,130,200V/cm) voltaj değeri arttıkça haşlama süresinin kısaldığı belirlenmiştir. Ohmik haşlama ön işlemi ile kurutulan limon numunelerinin geleneksel haşlama ön işlemi ile kurutulan limon numunelerine kıyasla daha düşük su aktivitesi ve yığın yoğunluğuna sahip olduğu, ayrıca rehidrasyon kapasitesi ve renk değerlerinin (L^* ve b^* değeri) daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu açıdan limon kurutmada ohmik haşlama, geleneksel haşlamaya iyi bir alternatif olarak düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Allali, H., Marchal, L., & Vorobiev, E. (2010). Blanching of strawberries by ohmic heating: Effects on the kinetics of mass transfer during osmotic dehydration. *Food and Bioprocess Technology*, 3:406-414.
- Bhat, S., Saini, C., Kumar, M., & Sharma, H. (2019). Peroxidase as indicator enzyme of blanching in bottle gourd (*Lagenaria Siceraria*): Changes in enzyme activity, color and morphological properties during blanching. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(8):1-11.
- Dağdelen, C. (2019). Dondurulmuş sebze üretiminde ohmik ısıtma ön işleminin kalite üzerine etkisi. Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 46s.
- Dar, A.H., Shams, R., Rivzi, Q.E.H. & Majid, I. (2020). Microwave and Ohmic heating of fresh-cut fruits and vegetable products, in :Fresh-Cut Fruits and Vegetables: Technologies and Mechanisms for Safety Control, Academic Press, p:295-337. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816184-5.00013-6>.
- Dhanavade, M.J., Jalkute, C.B., Ghosh, J.S., & Sonawane, K.D. (2011). Study antimicrobial activity of lemon peel extract. *British Journal of Pharmacology and Toxicology*, 2(3):119-122.
- Dobooğlu, H., & Çınar, İ. (2012). Liyofilizasyonun Karadut (*Morus nigra*) kurutmadaki potansiyelinin belirlenmesi. *Akademik Gıda*, 10(2):40-47.
- Erkek, P. (2006). Özdirenç ısıtma sistemi tasarımı ve farklı çözünen konsantrasyonu ile voltaj uygulamasının özdirenç ısıtmaya etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 80s.
- Farahnaky, A., Azizi, R., & Gavahian, M. (2012). Accelerated texture softening of some root vegetables by ohmic heating. *Journal of Food Engineering*, 275-280.
- Gomes, C.F., Sarkis, J.R., & Marczak, L.D. (2018). Ohmic blanching of tetsukabuto pumpkin: Effects on peroxidase inactivation kinetics and color changes. *Journal of Food Engineering*, 233:74-80.
- He, F., Qian, Y., & Qian, M. (2018). Flavor and chiral stability of lemon flavored hard tea during storage. *Food Chemistry*, 622-630.
- Hosainpour, A., Darvish, H., Nargesi, F., & Fadavi, A. (2014). Ohmic pre-drying of tomato paste. *Food Sci Technol Int.*, 20(3):193-204.

- İçier, F. (2010). Ohmic blanching effects on drying of vegetable byproduct. *Journal of Food Process Engineering*, 33:661-683.
- İçier, F., Yıldız, H., & Baysal, T. (2006). Peroxidase inactivation and colour changes during ohmic blanching of pea puree. *Journal of Food Engineering*, 74:424-429.
- İçier, F. (2003). Gıdaların ohmik ısıtma yöntemiyle ısıtılmasının deneysel ve kuramsal olarak incelenmesi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 245s.
- Jan. S., Khan A.L., Bashir K. & Jan K. (2021). Ohmic processing of plant-related food products: A comprehensive review. *Innovative Food Processing Technologies*, 699-705.
- Kawaii, S., Yasuhiko, T., Eriko, K., Kazunori, O., Masamichi, Y., Meisaku, K., Chihiro, I., & Hiroshi, F. (2000). Quantitative study of flavonoids in leaves of citrus plants of agricultural and food chemistry. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 3865-3871.
- Kırmızııkaya, E.S. (2016). Ispanak(*Spinaciaoleracea*) ve ısırgan otu (*Urticadioica*) kurutmada halojen ısıtıcılı ve konvektif sistemlerin kıyaslanması. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 69s.
- Kumar, A., Begum, A., Hoque, M., Hussain, S., & Srivastava, B. (2021). Textural degradation, drying and rehydration behaviour of ohmically treated pineapple cubes. *LWT* , 110988.
- Kutlu, N., Yılmaz, M., Arslan, H., İşci, A., & Sakiyan, O. (2018). The effect of ohmic heating pretreatment on drying of apple. 21st International Drying Symposium, 11-14.
- Lele, S., Zhao, Y., Zou, B., Li, X. & Dai, R. (2021). Ohmic heating in fruit and vegetable processing: Quality characteristics, enzyme inactivation, challenges and prospective. *Trends in Food Science and Technology*, 118:601-616.
- Makroo, H., Rastogi, N., & Srivastava, B. (2016). Enzyme inactivation of tomato juice by ohmic heating and its effects on physico-chemical characteristics of concentrated tomato paste. *Journal of Innovative Food Process Engineering*, 1-10.
- Mesias, M., Wagner, M., George, S., & Morales, F. (2016). Impact of conventional sterilization and ohmic heating on the amino acid profile in vegetable baby foods. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* , 24-28.
- Müller, W.A., Marczak, L.D.F. & Sarkis J.R. (2020). Microbial inactivation by ohmic heating: Literature review and influence of different process variables. *Trends in Food Science and Technology*, v:99, p:650-659.
- Norouzi, S., Fadavi, A. & Darvishi, H. (2021). The ohmic and conventional heating methods in concentration of sour cherry juice: Quality and engineering factors. *Journal of Food Engineering*, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110242>.
- Poojitha, P., & Athmaselvi, K. (2020). Effect of ohmic blanching on drying kinetics, physicochemical and functional properties of garlic powder. *Journal of Food Science and Technology*, <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04676-z>.
- Rodrigues, R.M., Vincente, A.A., Teixeira, A.J. & Pereira, R.N. (2021). Ohmic heating-An emergent Technology in innovative food processing. In *Sustainable Production Technology in Food* (Edited by Lorenzo, J.M., Muneke, P.E.S. & Barba, F.J), Academic Press, p:107-123.
- Sarkis, J.R., Jaeschke, D.P., Tessaro, I.C. & Marczak, L.D.F. (2013). Effects of ohmic and conventional heating on anthocyanin degradation during the processing of blueberry pulp. *LWT- Food Science and Technology*, 51:79-86.
- Sensoy, I., & Sastry, S. K. (2007). Ohmic blanching of mushrooms. *Journal of Food Process Engineering*, 27(1):1-15.
- Soghani, B.N., Azadbakht, M., & Derviş, H. (2018). Ohmic blanching of white mushroom and its pretreatment during microwave drying. *Heat and Mass Transfer*, 54:3715-3725.

Topçu, A. M. (2020). Bazı limon (*Citrus limon L.*) çeşitlerinin kalitesi üzerine farklı hasat sonrası uygulamalarının etkisi. Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 70s.

Vilaplana, A.G., Valentao, P., Moreno D.A., Ferreres, F., Viguera, C.G., & Andrade, P.B. (2012). New beverages of lemon juice enriched with the exotic berries maqui, açai, and blackthorn: Bioactive components and in vitro biological properties. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 60(12), 6571–6580.

Wattanayon, W., Udompijitkul, P. & Kamonpatana, P. (2021). Ohmic heating of a solid-liquid food mixture in an electrically conductive package. *Journal of Food Engineering*, 289:110-118.

Xiao, H.W., Pan, Z., Deng, L. Z., Mashadd, H.M., Yang, X. H., Mujumdare, A. S., Gao, Z.J., & Zhang, Q., (2017). Recent developments and trends in thermal blanching: A comprehensive review. *Information Processing in Agriculture*, 4(2):101-127.

Yılmaz, L., & Elmacı, Y. (2018). Polifenol oksidaz enzimi ve inaktivasyon yöntemleri. *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(3):333-345.



Kahramanmaraş Sütçü İmam University Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 13.12.2021
Kabul Tarihi : 10.02.2022

Received Date : 13.12.2021
Accepted Date : 10.02.2022

DİYARBAKIR İLİ BİYOKÜTLE POTANSİYELİ VE ENERJİ ÜRETİMİ

BIOMASS POTENTIAL AND ENERGY PRODUCTION OF DIYARBAKIR CITY

Ayşegül Mizgin YILDIRIM^{1*} (ORCID: 0000-0003-0215-0857)
Nilüfer NACAR KOÇER² (ORCID: 0000-0003-2563-1514)

^{1,2} Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü - ELAZIĞ

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Ayşegül Mizgin YILDIRIM, aysglmzgnylrdm@gmail.com

ÖZET

Artan dünya nüfusu, azalan kaynaklar, global ölçekte yaşanan çevre sorunları, fosil yakıtların sınırlı ve tükenmeye yakın oluşu enerjinin orta ve uzun vadede ulaşılabilirliğinin azalacağını göstermektedir. 2015 yılında Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı kapsamında kabul edilen Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (“SKA”) kapsamındaki 2030 yılına kadar ulaşılması hedeflenen 17 amaçtan biri “Erişilebilir ve Temiz Enerji” kaynaklarıdır. Temiz enerjiye adil ve eşitlikli erişim, sürdürülebilir kalkınma ve doğa için, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim bir ihtiyaç ve zorunluluktur. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında biyokütle enerjisi önemli bir erişilebilir ve temiz enerji olanağı sunmaktadır. Bu çalışmada dünya genelinden Diyarbakır İli özelinde olacak bir kapsamla olası biyoenerji potansiyelinin neden değerlendirilmesi gerektiğine değinilmiş, biyokütle, biyokütle kaynakları ve biyoenerji çevrim teknolojileri tanımlanmış ve Diyarbakır İli ve ilçelerine ait 2019 ve 2020 yıllarındaki hayvansal ve tarım kaynaklı ortalama kuru biyokütle miktarı ve ısı değeri hesaplanarak yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyokütle potansiyeli, diyarbakır, yenilenebilir enerji, ısı değeri, kuru biyokütle miktarı.

ABSTRACT

Increasing world population, decreasing resources, environmental problems experienced on a global scale, limited fossil fuels and close to exhaustion indicate that the availability of energy in the medium and long term will decrease. Accessible and Clean Energy” is one of the 17 goals aimed to be achieved by 2030 within the scope of the Sustainable Development Goals (“SDGs”) adopted within the scope of the United Nations Development Program in 2015. For fair and equitable access to clean energy, sustainable development and nature, orientation to renewable energy sources is a necessity and is a must. Among renewable energy sources, biomass energy offers an important accessible and clean energy opportunity. In this study, it was mentioned why the potential bioenergy should be evaluated with a scope that will be specific to Diyarbakır from all over the world, biomass, biomass resources and bioenergy conversion technologies were defined and interpreted by calculating the average dry biomass amount and calorific value of animal and agricultural origins in the province and districts of Diyarbakır in 2019 and 2020

Keywords: Biomass potential, diyarbakır city, renewable energy, thermal value, dry biomass amount.

GİRİŞ

Dünya Bankası sınıflandırmasına göre Türkiye; gelişen ve üst-orta gelir seviyesinde olan bir ülkedir. Bu durumda endüstrimiz gelişmekte ve ihtiyaç duyulan enerji miktarı da zaman içerisinde artmaktadır. OECD ülkeleri içinde enerji tüketimindeki artışın en yüksek olduğu ülkeler arasında yer alan Türkiye’de, birincil enerji arzında sırasıyla petrol, kömür ve doğalgaz ilk üç sırayı paylaşmaktadır (Baz, Alp, & Bilgin, 2018). Fosil yakıtların 1990 yılı dünya toplam birincil enerji arzındaki % 82,1’lik payı yıllar içerisinde önemli oranda değişmemiştir ve 2017 yılında yine % 82,1 paya sahip durumdadır. Hatta 2016-2017 döneminde, fosil yakıtların birincil enerji olarak arzı yenilenebilir enerji kaynaklarının arzından daha fazla artmıştır. Bu eğilim 2018 ve 2019’da da devam etmiştir. Sonuç olarak iklim değişikliği, çevre koruma ve fosil yakıtların negatif etkisi konuları dünya gündemindeki önemini artırarak sürdürmesine rağmen, 2020-2021 yılına gelindiğinde fosil yakıtların hâkimiyetini devam ettirmesi dikkat çekicidir (İllez, 2020).

Fosil yakıt rezervlerinin sınırlı olması Türkiye’yi % 70 oranında dışa bağımlı kılmaktadır. Artan nüfus, gelişen sanayi, kalkınma projeleri enerjiye olan ihtiyacı arttırmıştır. Bu durumda dışa bağımlılığı azaltmak büyüyen ve gelişen toplumun enerji ihtiyacını karşılamak, karbon salınımını azaltmak, sürdürülebilir kalkınma için ülkemizin kendi içinde, kendi kaynaklarından sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji üretimini gerçekleştirmesi gerekmektedir. Tarım alanlarının fazlalığı ülkenin geçim kaynaklarından biri olan hayvancılık ve tarım faaliyetleri önemli bir yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyokütleden enerji eldesi için elverişli bir kaynak oluşturmaktadır.

Dünyanın en büyük tarımsal üreticileri arasında yer alan Türkiye’nin tarımsal üretim gelirinde 13. hayvansal üretim gelirinde 4. sırasında yer alan Diyarbakır İli tüm arazilerinin % 45’ ini toplam 6.959.230 dekar ile tarım alanları oluştururken % 9’ unu çayır ve mera alanları oluşturmaktadır. Tarım alanlarında 32,261 kişi çiftçilikle uğraşırken bu faaliyetlerden 5,2 Milyar TL bununla beraber 42.410 hayvansal üretim işletmesi bulunurken bu işletmeler, 8,8 Milyar TL üretim gelir elde etmektedir (İnvest Diyarbakır, 2022). Yenilenebilir enerji sektöründe tüm dünyada giderek artan bir pazar mevcut olup; gelişmekte olan ekonomiler bu pazar fırsatlarını değerlendirme yarışı içerisinde. Diyarbakır İli, yüksek yenilenebilir enerji potansiyeline karşın, henüz bu pazardan yeterince pay alabilmiş değildir (Yeşilata, 2010).

Biyokütle Ve Biyokütle Kaynakları

Biyokütle

Dünya çapında geniş mevcudiyeti nedeniyle, esas olarak birçok endüstriyel ve tarımsal sürecin yan ürünü olan biyokütle, yüksek büyüme potansiyeline sahip yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Biyokütleden enerji üretiminin bir çok faydası olduğu malumdur, bunlar arasında, çoğu kez en son sırada yer verdiğimiz ama önem arzında azalma olmaması gereken, ormanları kuru biyokütleden arındırarak orman yangınlarını önlemeye de hizmet edecek olmasıdır. Ayrıca biyokütle hammaddelerinin çıkarılması, toplanması, işleme hazırlanması gibi durumlar kırsal alanlarda sürekli istihdam yaratabilmektedir. Biyokütlenin temel özelliklerinden biri direkt elektrik üretmek amacıyla tesislerde veya endüstriyel ve konutlarda ısı üretmek için kazanlarda, enerji kaynağı olarak doğrudan yanma yoluyla atık dönüşümünde yakılabilmesidir (Perea-Moreno et al., 2019). Biyokütlenin, enerji elde etmek amacıyla ilk “mağara adamları” yemek pişirmek veya ısınmak için odun ateşi yaktığından beri, insanlar biyokütle enerjisini kullanmışlardır ayrıca Asurlular’ın banyolarını ısıtmak amacıyla hayvan tezeği yaktıkları bilinmektedir. Fakat biyokütlenin doğrudan yakılmasının mevcut sistemlerde her zaman mümkün olmadığı akılda tutulmalıdır. Bazı malzemelerin özellikleri, doğrudan yakıt olarak kullanılmalarına izin veriyor olsa da birçoğu kullanılmadan önce farklı teknolojilerle bir dizi ön işlem gerektirmektedir.

Biyokütle Kaynakları

Biyokütle kaynakları, yenilenebilir veya tekrar eden bir temelde var olan çok çeşitli bitki ve hayvan materyallerini içermektedir. Dünyada yaygın olarak bulunan ve kullanılan kaynaklardan orman endüstrisi kalıntıları, tarımsal kalıntılar ve hayvan atıkları gibi birkaç temel kaynağa odaklanmaktadır. Ayrıca çim bitkileri gibi potansiyel yeni enerji ürünleri de bu odak içerisinde değerlendirilmektedir (otsu kaynaklar, [örn. şalgam otu *Panicum virgatum*], kamış kanarya otu, bambu) ve hızlı büyüyen kısa döngülü ağaçlar (örneğin, hibrit kavak [*Populus spp*], Okalıptüs, söğütler [*Salix spp*]). Biyokütle kaynakları içinde yer alan orman endüstrisi kalıntıları ise, ağaç kesimi gibi orman işlemlerinden toplanan atıkları içermektedir. Ek orman endüstrisi artıkları, birincil (ör. kereste fabrikaları, kaplama fabrikaları) ve ikincil (ör. mobilya ve dolap imalatçıları) üretim atıklarını oluşturmaktadır.

Tarımsal kalıntılar arasında mısır, buğday ve diğer küçük tahıllar (saman) gibi tarımsal ürünlerin sapları, yaprakları, koçanları, kabukları, bazı kökleri ve samanlarının yanı sıra pirinç, şeker kamışı ve yağlı tohum bitkileri bulunmaktadır. Hayvansal biyokütle kaynakları ise çoğunlukla gübredir. Bu kaynaklar; kolay yanma özelliğine sahip, biyogaz üretimi ve kullanımları için çok uygun kaynaklardır. Bu biyokütle kaynaklarına ek olarak gıda işleme atıkları (örneğin zeytin çekirdekleri, fındık kabukları); diğer lifler (örn., çırçır, giysi artıkları); belediye katı atıklarının ahşap bileşeni, inşaat ve yıkım atıkları ve bahçe süslemeleri; yağlı tohum bitkilerinden (örneğin soya fasulyesi, kolza tohumu) ve endüstriden (örneğin restoran yemeklik yağları) elde edilen yağlar; ve tarımsal gıda ve yem bitkilerinden elde edilen nişasta (örneğin mısır, buğday, diğer küçük taneliler) mevcuttur. Çürüten bitki ve hayvanlardan fermente edilip depolanan gazlar, atıksu arıtma tesisleri biyokütle kaynaklarındandır (E.Walsh, 2004).

Biyokütle Enerji Dönüşüm Sistemleri Ve Çevrim Teknolojileri

Günümüzde biyokütle kaynaklarından farklı prosesler kullanılarak elektrik, ısı ve yakıt üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Bu biyokütle kaynaklarına uygulanacak termokimyasal veya biyokimyasal proses çevrim teknolojileri ile kaynakları uygun enerji formuna dönüştürmek mümkündür.

Termokimyasal Prosesler

Bu prosesler, doğrudan faydalı enerji üretmez, ancak kontrollü sıcaklık ve oksijen koşulları altında orjinal biyokütle besleme stoğunu üretici; gaz, yağlar veya metanol gibi daha uygun enerji taşıyıcı formlarına dönüştürmek için kullanır (Tablo 3.1). Bu taşıyıcılarda enerji daha yoğundur ve bu nedenle nakliye maliyetleri düşüktür ya da içten yanmalı motorlarda ve gaz türbinlerinde kullanılmalarına izin veren daha öngörülebilir ve uygun yanma özelliklerine sahiptir (Sharma et al., 2014).

Tablo 3.1. Biyokütle Kaynaklarında Kullanılan Çevrim Teknikleri, Elde Edilen Yakıtlar ve Uygulama Alanları (Çolakoğlu et al., 2021) (Nacar Koçer & Ünlü, 2007)

Biyokütle	Çevrim Yöntemleri	Yakıtlar	Uygulama Alanları
Orman Atıkları	Havasız Çürütme	Biyogaz	Elektrik Üretimi
Tarım Atıkları	Piroliz	Etanol	Isıtma
Enerji Bitkileri	Doğrudan Yakma	Hidrojen	Su Isıtma
Hayvansal Atıklar	Fermantasyon	Metan	Otomobiller
Organik Çöpler	Gazlaştırma	Metanol	Uçaklar
Algler	Hidroliz	Sentetik Yağ	Roketler
Enerji Ormanları	Biyofotoliz	Dizel	Ürün Kurutma

Termokimyasal prosesler aşağıdakiler gibi sıralanabilir:

- Piroliz
- Karbonlaştırma
- Gazlaştırma
- Katalitik Sıvılaştırma ve
- Doğrudan Yakma'dır.

Piroliz

Piroliz, uzun zincirli molekülleri kısa zincirli moleküllere parçalamak için oksijensiz ortamda bir hammaddeye ısı uygulanmasıdır. Tipik olarak besleme stoğu biyokütle veya atıktır ve işlem bir sentez gazı (hidrojen, uçucu organik bileşikler ve karbon monoksit karışımı) üretmek için kullanılmaktadır (Sharma et al., 2014 ; Çolakoğlu et al., 2021).

Karbonlaştırma

Karbonlaştırma, odun ve maden kömürü gibi organik maddelerin havasız ortamda kimyasal parçalanmaya uğramasıdır. Reaksiyon koşullarının kontrolü genellikle kabadır ve büyük ölçüde deneyime dayanmaktadır. Bu geleneksel teknikte verimliliğin çok düşük olduğuna inanılmaktadır. Karbonlaştırma işlemi sonucu açığa çıkan gaz bileşenleri ise; yaklaşık olarak % 50 CO₂, % 35 CO, % 10 CH₄ ve % 5 diğer hidrokarbon ve H₂'dir. Odunun karbonlaştırılmasındaki sıvı ürünler ise sulu kısım ve katrandır (Sharma et al., 2014 ; Nacar Koçer & Ünlü, 2007).

Gazlaştırma

Gazlaştırma, bir sentez gazı (hidrojen, uçucu kısa zincirli organik bileşikler ve karbon monoksit karışımı) üretmek için organik bir hammaddenin kısmi oksidasyonudur. Tipik olarak besleme stoğu biyokütle veya atıktır ve işlem koşullarının değiştirilmesi, sentez gazındaki bileşiklerin oranları üzerinde kontrole izin verir. Yenilenebilir karbon kaynaklarından sabit karbon kaynaklarının geliştirilmesine yönelik bu yaklaşımda, biyokütle türlerinin dışındaki CO₂'yi sentetik yakıtlara ve organik ara ürünlere dönüştürmektir. Hacimce yaklaşık 360 ppm CO₂, okyanuslardaki çözülmüş CO₂ ve karbonatları ve dünyanın büyük karbonat birikintilerini içeren ortam havası, yenilenebilir karbon kaynakları olarak kullanılabilir. Ancak CO₂, sabit karbonun son oksidasyon durumu olduğundan, kimyasal enerji içermez. Enerji, kimyasal indirgeme adımında sağlanmalıdır. Gerekli enerjiyi sağlamanın ve aynı anda oksidasyon durumunu azaltmanın uygun bir yöntemi, CO₂'yi hidrojenle azaltmaktır. Nihai ürün, örneğin, doğal gazdaki baskın bileşen ve bilinen en basit hidrokarbon olan metan (CH₄) veya diğer organik bileşikler olabilir (Sharma et al., 2014 ; McKendry, 2002).

Katalitik Sıvılaştırma

Katalitik sıvılaştırma teknolojisi, daha yüksek enerji yoğunluğuna ve daha kaliteli ürün üretme potansiyeline sahiptir. Bunlar ayrıca pazarlanabilir ürünler üretmek için daha az işlem gerektirir. Katalitik sıvılaştırma, düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen yüksek basınçlı bir termokimyasal dönüşüm işlemidir. Sıvı fazda gerçekleştirilmektedir. Teknik sorunlar şimdiye kadar bu teknolojinin olanaklarını sınırlamıştır (Sharma et al., 2014).

Doğrudan Yakma

Yakma, biyokütlenin içindeki yanabilir maddelerin oksijenle hızlı kimyasal tepkime verme işlemi olarak tanımlanmaktadır. Biyokütle kaynaklarının doğrudan yakılması ile elde edilen enerji üretimi yaygın bir teknolojidir. Kapasite olarak birkaç MW'dan 100 MW ve üzerine kadar olan bir aralıktaki üretimlerde kullanılmaya müsaittir. Mısır, ayçiçeği sapları gibi tarım atıkları içindeki yanabilir maddeler; karbon, hidrojen ve potasyum gibi bazı metalik elementlerdir. Kimyasal tepkime sonucu çevredeki havanın oksijeni tüketilmekte ve ısı ile birlikte ortaya karbondioksit, su buharı ve bazı metal oksitler çıkmaktadır (Nacar Koçer & Ünlü, 2007 ; Deloitte Türkiye, 2014).

Biyokimyasal Prosesler

Etanol üretimi için mikroorganizmaların kullanımı eski bir uygulamadır. Bununla birlikte, daha yakın zamanlarda, bu tür organizmalar, insan kaynaklı organik atıkların çoğunun işlenmesi ve dönüştürülmesi için biyokimyasal "fabrikalar" olarak kabul edilmektedir. Mikrobiyolojik çalışmalar, enerji (biyogaz) ve gübre üretiminde su ve atık akışlarından istenmeyen ürünlerin uzaklaştırılmasında kullanım için fermantasyon teknolojilerinin (aerobik ve anaerobik) kullanımını teşvik etmiştir (Sharma et al., 2014).

Biyokimyasal prosesler aşağıdakiler gibi sıralanabilir:

- a) Anaerobik Fermantasyon
- b) Düzenli Depolama Alanlarında Metan Üretimi
- c) Etanol Fermantasyonu

Anaerobik (Havasız) Çürütme

Anaerobik çürütme; ısı, metan, hidrojen sülfür, karbondioksit ve belirli koşullar altında hidrojen gazı açığa çıkaran hammaddenin mikrobiyal ayrışmasıdır. Bu süreç, ideal koşulların korunduğu büyük tanklarda birkaç gün içinde gerçekleşmektedir. İşlemden sonra kalan katı çürüme ürünü gübre olarak kullanılmaya uygundur ve açığa çıkan

gazlar biyogaz olarak adlandırılmaktadır. Anaerobik reaktörler genellikle gübre (insan ve hayvan) ve mahsul artıklarından metan bakımından zengin biyogaz üretimi için kullanılmaktadır. Büyüme için tanımlanmış optimal sıcaklık aralıkları ile karakterize edilen karışık metanojenik bakteri kültürlerini kullanılmaktadır. Bu karışık kültürler, çürütücülerin geniş bir sıcaklık aralığında, yani 0°C'den 60°C'ye kadar çalıştırılmasına izin verir. Bakterilerin faaliyetleri sonucunda, hammadde enerji içeriğinin yaklaşık % 90'ını, pişirme ve aydınlatma için kolaylıkla kullanılabilen bir enerji kaynağı olan biyogaza (yaklaşık % 55 metan içerir) dönüştürür. Gübre fermantasyon tankından geçtikten sonra üretilen çamur toksik değildir ve kokusuzdur. Ayrıca, ayrışma işlemi sırasında azot veya diğer besin maddelerini nispeten az kaybeder, böylece kaliteli bir gübre oluşur. Aslında, tarlada kurumaya bırakılan sığır gübresine kıyasla fermantör çamurunun nitrojen içeriği daha yüksektir; taze gübredeki nitrojen bileşiklerinin çoğu güneşte kururken uçma özelliğine sahiptir. Anaerobik ayrışmanın avantajı, doğal olarak organik madde de oluşması ve güçlü bir sera gazı olan metanı atmosfere salmasıdır. Metanın yakılması, gazdaki enerjiyi kullanarak, metandan daha az güçlü bir sera gazı olan karbondioksit üreterek, fosil yakıt enerji üretimini dengelemektedir (Sharma et al., 2014 ; McKendry, 2002).

Düzenli Depolama Alanlarında Metan Üretimi

Metan güçlü bir sera gazıdır ve önemli miktarlarda çöp sahalarından metan üretiminden elde edilmektedir. Bu nedenle, geri kazanılması, yalnızca depolama sahasının stabilizasyonu ile sonuçlanmakla kalmaz, arazinin daha hızlı yeniden kullanılmasına izin verir ve aynı zamanda biyosferik metan emisyonlarının küresel ısınma üzerindeki etkisini azaltmaya da hizmet eder. Depolama sahalarındaki anaerobik ayrışma, atıktaki organik maddenin mikrobiyal ayrışmasıyla sağlanır. Kişi başına üretilen organik madde seviyeleri, gelişmiş ülkelerden gelişmekte olan ülkelere, örn. Sierra Leone'de ayrışan Belediye Katı Atık (MSW) yüzdesi, ABD Belediye katı atıkları için yaklaşık % 60'a kıyasla yaklaşık % 90'dır. Depolama alanlarında depo gazının ticari üretimi, artık çöp sahalarıyla giderek artan bir şekilde ilişkilendirilen sızıntı problemlerine de yardımcı olmaktadır. Düzenli depolama işlemi, bertaraf edilecek çamur hacmini ve besin içeriğini azaltmakta, böylece uygun bertarafı işlemi kolaylaştırmaktadır (Sharma et al., 2014).

Fermantasyonla Etanol Üretimi

Etanol, ithal edilen enerji kaynaklarına bağımlılığı azaltmak için esas olarak ithal petrolün yerine kullanılmaktadır. Fermantasyon teknolojilerinde elde edilen önemli kazanımlar, artık hem ekonomik olarak rekabetçi hem de çevresel olarak faydalı olan bir petrol ikamesi ve yakıt arttırıcı olarak kullanılmak üzere etanol üretimi yapılmasını ön plana çıkarmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde en yaygın kullanılan şeker kamışı, yüksek verimliliği nedeniyle önemli bir hammaddedir. Su potansiyelinin sınırlı olduğu yerlerde, tatlı sorgum veya manyok tercih edilen hammaddeler arasındadır. Şeker kamışı hammaddesinin diğer avantajları arasında yüksek enerji potansiyeli, sürdürülebilir ve çevreye zararsız üretimi mümkün kılması ve aynı zamanda sürekli şeker üretimine izin veren modern yönetim uygulamalarıdır. Diğer hammaddeler arasında sakkarit bakımından zengin şeker pancarı ve karbohidrat bakımından zengin patates, buğday ve mısır bulunmaktadır. Selülozik hammadde kullanımındaki son gelişmeler, odunsu tarımsal kalıntılardan ve ağaçlardan rekabetçi alkol üretiminin, ekonomik olarak rekabetçi hale gelmesine izin verebilir (Sharma et al., 2014).

MATERYAL VE METOD

Diyarbakır İli, Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yer almakta olup, kent merkezi 37.52 kuzey enlemleri ile 40.13 doğu boylamlarında bulunmaktadır. Kentin doğusunda Batman, Muş; güneyinde Mardin, batısında Şanlıurfa, Adıyaman, Malatya; kuzeyinde Elâzığ ve Bingöl illeri bulunmaktadır. 2020 yılı sonu itibarıyla Diyarbakır İl nüfusu 1.783.431, yüzölçümü 15.168 km²'dir. Diyarbakır'da sert bir kara iklimi hakimdir. Yazlar çok sıcak ve kurak, kışları soğuk ve yağışlı geçmektedir. Diyarbakır İli, Bağlar, Kayapınar, Sur, Yenişehir olmak üzere dört merkez ilçe ile, Bismil, Çermik, Çınar, Çüngüş, Dicle, Eğil, Ergani, Hani, Hazro, Kocaköy, Kulpa, Lice ve Silvan ilçelerini kapsayan on üç ilçeden oluşmaktadır.

Çalışmada materyal olarak Diyarbakır İli ve ilçelerine ait tarım alanı büyüklüğü, tarla bitkisi sınıfında yetiştirilen tahıllar, baklagiller, endüstriyel bitkiler, yağlı tohumlar ve yumru bitkiler kullanılmıştır. Yetiştirilen her bir tarla bitkisi için 2019-2020 yılları arasında Diyarbakır İl ve ilçelerinde ekim alanlarına ait veriler Türkiye İstatistik Kurumu (TUİK) Veri Portalı web sayfasından sorgulanarak temin edilmiştir. Bu değerler kullanılarak, çalışmanın birinci aşamasında; tarımsal kaynaklı biyoenerji miktarı potansiyelinin hesaplanması için; ilçelere ait tarım alanında elde edilecek biyokütle miktarı hesaplanmıştır. Kuru biyokütle miktarının ortalama ısı değerinin dikkate alınarak,

2019 ve 2020 yılları için Diyarbakır İli ve ilçelerine ait tarımsal kaynaklı biyoenerji değerleri TEP cinsinden bulunmuştur.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise; hayvansal kaynaklı biyokütle miktarlarının hesaplanabilmesi için; TÜİK Veri Portalı web sayfasından hayvan sayıları tespit edilmiştir. Hayvansal atık potansiyeline bağlı olarak 2019 ve 2020 yılları için Diyarbakır İli ve ilçeleri için hayvansal kaynaklı oluşan biyogaz miktarları $m^3/yıl$ cinsinden hesaplanmıştır.

Bu çalışmada yapılan hesaplamalara göre; orta verimdeki bir arazi parçası üzerinde bir hektar tarladan yılda ortalama 80 – 100 ton yaş veya 25 – 30 ton kuru biyokütle elde edilmektedir. Biyokütleden elde edilen enerjinin birim maliyeti diğer yakıtlarla yarışabilecek durumdadır. Kuru biyokütlenin ısı değeri ise 3.800 – 4.300 kcal/kg arasında değişmektedir (Nacar Koçer & Ünlü, 2007). Aynı zamanda kuru biyokütle miktarının ortalama ısı değerinin $1 \text{ kcal} = 1.10^{-7} \text{ TEP}$ e de eşit olduğu bilinmektedir (Nacar Koçer & Ünlü, 2007).

Diyarbakır İli için yapılan bu çalışmada; biyokütle potansiyeli, üretim kapasitesi ve bölgenin tarımsal üretim açısından hassaslık yapısı dikkate alınarak, üretim türüne göre her türlü biyokütle potansiyeli çalışmanın tümünde kapsama alınmasına dikkat edilmiştir. Çalışma kapsamında Diyarbakır'daki fizibilite çalışmalarına baz oluşturmak amacıyla söz konusu bölgede veri toplama çalışmaları yapılmıştır. Diyarbakır İli'ne ait veriler 2019-2020 yıllarına ait Türkiye İstatistik Kurumu, Bitkisel Üretim İstatistikleri, Hayvancılık İstatistikleri ve Kümes Hayvanları İstatistikleri Veri Tabanı'ndan alınmıştır. Bu veriler dikkate alınarak; 2019-2020 yıllarında, Diyarbakır İli ve ilçeler bazında mevcut biyokütle potansiyelini meydana getiren tahıllar, baklagiller, endüstriyel bitkiler, yağlı tohumlar ve yumru bitkilerin ekildiği alanlar dekar cinsinden ve hayvan sayısı ayrı ayrı Bitkisel Üretim İstatistikleri, Hayvancılık İstatistikleri ve Kümes Hayvanları İstatistikleri veri tabanı'ndan alınarak, il ve ilçe bazında toplam miktarları hesaplanmıştır. Verilen alan ölçüsü hektar cinsinden işleme alınmıştır.

Bitkisel bazlı biyokütle hesaplamalarında; bir hektar tarladan yılda ortalama 25 – 30 ton kuru biyokütle elde edildiğine göre (ortalama 27,5 ton/ kuru biyokütle) Diyarbakır İli ilçelerindeki 2019 - 2020 yıllarında elde edilen ortalama kuru biyokütle miktarı ton olarak hesaplanmıştır. Kuru biyokütlenin ısı değeri 3.800 – 4.300 kcal/kg' dır. Isıl değer ortalama 4.000 kcal/kg olarak alınarak, kuru biyokütlenin ısı değeri ortalaması bulunmuştur. Birim dönüştürme sisteminden faydalanarak $1 \text{ kcal} = 10^{-7} \text{ TEP}$ olduğu birim çevirme sisteminden tespit edilerek; kuru biyokütlenin ısı değeri ortalama olarak TEP cinsinden hesaplanmıştır.

Hayvansal atık bazlı biyokütle hesaplamalarında;

1 adet büyükbaş hayvandan 3,6 ton/yıl yaş gübre,

1 adet küçükbaş hayvandan 0,7 ton/yıl yaş gübre,

1 adet kümes hayvanından 0,022 ton/yıl yaş gübre olduğu dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Bu değerlerden yola çıkılarak,

Bir ton sığır gübresinden 33 $m^3/yıl$ biyogaz,

Bir ton koyun gübresinden 58 $m^3/yıl$ biyogaz,

Bir ton kümes hayvanı gübresinden 78 $m^3/yıl$ biyogaz üretildiği tespit edilmiştir (Nacar Koçer et al., 2006).

BULGULAR

Ülkemiz 2023 yılına kadar genel enerji tüketiminin yüzde 20'sini yenilenebilir kaynaklardan sağlamayı hedeflemekle birlikte belirli bir biyokütle hedefine de sahiptir. Değerlendirmeye göre, mevcut yer fıstığı kabuğu, antepfıstığı kabuğu, fındık kabuğu, mısır koçanı ve mısır kabuğunun doğrudan yanmasıyla üretilen enerji, sığır ve kanatlı gübresi ile ayçiçeğinin anaerobik ayrışması yoluyla üretilen enerji ülkenin ulaşmak istediği biyokütle enerjisi hedefi için yeterli olduğu düşünülmektedir. Ancak bu artık ve kalıntılar fazla olsa bile, toplanması ve biyoenerji üretimi için kullanılması, çiftçiler ve işleme tesisleri arasındaki karmaşık lojistik ve koordinasyon sebebiyle zorlu ve masraflı olmaktadır. Ne yazık ki Türkiye'de tarım sektöründe birçok tarımsal ürüne ait atıklar,

hasat sonrası tarlalarda ya çürümeye bırakmakta ya da yakılarak bertaraf edinmekte ve hayvansal atıklar da değerlendirilmemektedir (Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar Çalıştayı Araştırma Kuruluşları, 2014 ; Tarım Türk Dergisi, 2018)

Türkiye'deki mevcut potansiyel değerlendirildiği takdirde biyoenerji, tarım ve orman yönetiminin ekonomisini iyileştirirken, metan emisyonları gibi şu anda mevcut atıkların neden olduğu çevresel sorunları da önlemeye yardımcı olacaktır (Dünya Enerji Konseyi Türkiye, 2020). Biyogaz tesisleri maliyeti düşünülerek kaçınılacak yatırımlar değildir. Biyogaz tesislerini başarılı şekilde işleten ülkeler göstermiştir ki bu sistem kendi kendini amorti edebilen ve hem doğaya hem ülke kalkınmasına katkı sağlayan bir yatırımdır.

Diyarbakır İli'nde mevcut hayvan potansiyeli 2019 ve 2020 yılları için büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanı sayıları ayrı ayrı Tablo 4'te verilmiştir. Mevcut potansiyele bağlı olarak meydana gelen 2019-2020 yılları için yaş gübre miktarları ton/yıl olarak hesaplanarak, üretilebilecek biyogaz miktarları 2019 ve 2020 yılları için ($m^3/ yıl$) olarak bu değerlere göre tespit edilmiş ve Tablo 5.3'de karşılaştırma yapmaya imkan sağlayacak şekilde gösterilmiştir. Diyarbakır İl ve ilçelerinde yetişen bitkiler, ürün bazında ekilen alan, toplam alan, 2019 ve 2020 yıllarında elde edilen ortalama kuru biyokütle miktarı ve kuru biyokütlenin ısı değeri ortalaması TEP cinsinden hesap yapılarak iki ayrı tabloda karşılaştırma yapmaya imkan sağlayacak şekilde Tablo 5.1 ve Tablo 5.2' de verilmiştir.

Tablo 5.1. Diyarbakır İli 2019 yılı İlçelere Ait Kuru Biyokütle Miktarı ve Isıl Değeri

Yerleşim Birimleri	Yetişen Bitkiler*	Ekilen Alan, Hektar	Toplam Alan, Hektar	Bir Yılda Elde Edilen Ortalama Kuru Biyokütle, ton	Kuru Biyokütlenin Değeri Ortalama, TEP	Isıl Değeri
Bağlar	1	1.085.090				
	2	206.990	13476,6	370.606,5	148.242,6	
	3	61.410				
Bismil	1	7.310.650				
	2	2.028.160	116120,6	3.193.316,5	1.277.326,6	
	3	229.369				
Dicle	1	931.190				
	2	105.990	13592,7	373.799,3	149.519,7	
	3	180				
Ergani	1	4.026.450				
	2	1.059.860				
	3	50.480	58327,1	1.603.995,3	641.598,1	
	4	73.580				
Eğil	1	717.850				
	2	81.640	10247,8	281.814,5	112.725,8	
	3	36.990				
Hani	1	834.270	12872,3	353.988,3	141.595,3	
	2	20.200				
Hazro	1	1.195.130				
	2	1.785	13672,8	376.002,0	150.400,8	
Kayapınar	1	1.542.020				
	2	209.320				
	3	88.790	19372,1	532.732,8	213.093,1	
Kocaköy	1	840.140				
	2	72.670	11169,7	307.166,8	122.866,7	
Kulp	1	768.620				
	2	27.060	12153,3	334.215,8	133.686,3	
Lice	1	829.740				
	2	560	10337,5	284.281,3	113.712,5	
Silvan	1	5.203.520				
	2	1.778.540	72619,6	1.997.039,0	798.815,6	
	3	27.080				
Sur	1	6.636.480				
	2	1.763.470	88801,9	2.442.052,3	976.820,9	
	3	462.440				
Yenişehir	1	938.460				
	2	44.110	14697,9	404.192,3	161.676,9	
	3	468.750				
Çermik	1	1.255.680				
	2	210.750				
	3	23.680	24305,5	668.401,3	267.360,5	
	4	6.830				
Çüngüş	1	223.870				
	2	13.950	6024,9	165.684,8	66.273,9	
	4	200				
Çınar	1	3.451.830				
	2	365.470				
	3	1.259.310				
	4	200	55118	1.515.745,0	606.298,0	
	5	74.460				
Toplam			552.910	15.205.033	6.082.013	

*1. Tahıllar 2.Baklagiller 3.Endüstriyel Bitkiler 4.Yağlı Tohumlar. 5.Yumru Bitkiler

2019 yılı tarım kaynaklı biyoenerji hesaplamalarında Tablo 5.1. dikkate alındığında en çok biyokütle elde edilebilecek ilçenin 1.277.326,6 TEP değeriyle Bismil İlçesi olduğu en az biyokütle elde edilebilecek ilçenin ise 66.273,9 TEP değeriyle Çüngüş ilçesi olduğu görülmüştür. En çok ekilen bitkisel ürün grubu tahıl ürünleriyken endüstriyel bitkiler, yağlı tohumlu bitkiler ve yumru bitkilerin ekim alanlarının çok az bir yüzdesinde var olduğu ya da hiç ekilmediği bu nedenle Diyarbakır İli ve ilçeleri 2019 yılı için en çok biyoenerjinin tahıl grubundan elde edilebileceği görülmüştür.

Tablo 5.2. Diyarbakır İli 2020 Yılı İlçelere Ait Kuru Biyokütle Miktarı ve Isıl Değeri

Yerleşim Birimleri	Yetişen Bitkiler*	Ekilen Alan, Hektar	Toplam Alan, Hektar	Bir Yılda Elde Edilen Ortalama Kuru Biyokütle, ton	Kuru Biyokütlenin Ortalama, TEP	Isıl Değeri
Bağlar	1	941.210	11.590,7	318.744	127.498	
	2	189.710				
	3	28920				
	5	2.760				
Bismil	1	8.375.040	120.391,8	3.310.775	1.324.310	
	2	1.690.450				
	3	2.002.030				
	4	580				
Dicle	1	897.940	13.086,8	359.887	143.955	
	2	128.990				
Ergani	1	3.956.140	57.127,0	1.570.993	628.397	
	2	101.080				
	3	78.750				
	4	5.100				
	5	14.130				
Eğil	1	805.970	12.256,6	337.057	134.823	
	2	105.040				
	3	3000				
	4	30				
Hani	1	889.590	13.653,2	375.463	150.185	
	2	211.830				
Hazro	1	116.730	14.319,4	393.784	157.513	
	2	178.650				
	3	1.810				
Kayapınar	1	1.752.180	20.274,3	557.543	223.017	
	2	10.200				
	3	9500				
Kocaköy	1	800.380	8.923,1	245.385	98.154	
	2	51.530				
	3	156,3				
Kulp	1	732.040	11.754,7	323.254	129.302	
	2	26680				
	3	30				
Lice	1	817.130	12.090,4	332.486	132.994	
	2	3.820				
	3	8.100				
Silvan	1	5.768.380	72.089,5	1.982.461	792.985	
	2	125.300				
	3	12.740				
Sur	1	7.133.960	85.360,5	2.347.414	938.966	
	2	99.060				
	3	38.000				
Yenişehir	1	1.299.920	15.951,9	438.677	175.471	
	2	21.660				
	3	263.680				
	5	2.230				
Çermik	1	1.302.650	21.870,4	601.436	240.574	
	2	19.920				
	3	900				
	4	5.530				
Çüngüş	1	190.260	4.987,3	137.151	54.860	
	2	47.760				
Çınar	1	3.884.390	59.296,7	1.630.659	652.264	
	2	49.630				
	3	115.720				
	4	1000				
	5	118.520				
TOPLAM			555.024	15.263.168	6.105.267	

* 1. Tahıllar 2.Baklagiller 3.Endüstriyel Bitkiler 4.Yağlı Tohumlar. 5.Yumru Bitkiler

Diyarbakır İli ilçelerine ait 2020 yılı tarım kaynaklı biyoenerji hesaplamaları Tablo 5.2’de verilmiştir. Bu veriler dikkate alındığında en çok biyokütle elde edilebilecek ilçenin 1.324.310 TEP değerle yine Bismil İlçesi olurken en az biyokütle elde edilebilecek ilçenin ise 54.860 TEP değeri ile yine Çüngüş İlçesi olduğu görülmektedir. En çok

ekilen bitkisel ürün yine tahıl grubu ürünlerini oluştururken endüstriyel bitkiler, yağlı tohumlu bitkiler ve yumru bitkilerin 2020 yılında da ekim alanlarının çok az bir yüzdesinde var olduğu ya da hiç ekilmediği bu nedenle Diyarbakır İli ve ilçeleri 2020 yılı için de en çok biyoenerjinin tahıl grubundan elde edilebileceği görülebilir. Toplam ekilen alan itibarıyla incelendiğinde 2019 yılında 552.910 hektar alanda ekim yapılmışken 2020 yılında ekilen alan miktarı 555.024 hektara çıkarak artma meydana gelmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise Diyarbakır İli 2019- 2020 yılı ilçelere göre büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan sayıları TÜİK Veri Portalından temin edilerek Tablo 5.3'de verilmiştir. Bu değerlerden elde edilen hayvansal kaynaklı biyogaz miktarları da Tablo 5.4'de hesaplanmıştır.

Tablo 5.3. Diyarbakır İli 2019- 2020 Yılı İlçelere Göre Büyükbaş, Küçükbaş ve Kanatlı Hayvan Sayıları (TÜİK, 2020).

Yerleşim Birimleri	Büyükbaş Hayvan		Küçükbaş Hayvan		Kanatlı Hayvan	
	2019	2020	2019	2020	2019	2020
Yıllar	2019	2020	2019	2020	2019	2020
Bağlar	60.718	42.446	257.916	267.829	21.601	10.113
Bismil	35.596	37.916	121.730	152.904	397.589	399.500
Dicle	25.968	27.143	29.695	30.205	7.510	6.670
Ergani	79.622	75.391	270.557	225.250	90.300	20.835
Eğil	14.934	14836	56.460	54.993	11.351	9.263
Hani	20495	13591	38.733	40.280	23.100	25.787
Hazro	22.285	24.722	16.100	23.390	8.455	8.070
Kayapınar	29.448	35.827	119.160	132.599	30.700	17.120
Kocaköy	181.48	15.090	14.854	12.327	11.382	3.600
Kulp	68.776	82.326	71.700	84.588	12.600	15.700
Lice	54.318	47.750	60.793	59.100	21.245	23.200
Silvan	80.719	72.570	56.922	49.007	67.422	35.875
Sur	37.644	34.069	21.634	22.568	35.600	33.500
Yenişehir	16.668	19.775	46.074	42.720	327.033	132.786
Çermik	36.192	47.021	354.906	498.749	66.840	69.415
Çüngüş	3.858	4.006	12.566	13.353	1.345	1.572
Çınar	58.457	60.895	373.806	381.482	76.175	493.550
Toplam	663.843	657.394	1.893.911	2.091.344	1.210.248	1.306.556

2019 ve 2020 yıllarında hayvansal kaynaklı biyoenerji üretiminde en yüksek potansiyele sahip ilçe Ergani olurken en düşük potansiyele sahip ilçe Çüngüş olarak görülmektedir. En yüksek enerji potansiyelinin kanatlı hayvanlardan elde edileceği de yapılan hesaplamalar neticesinde ulaşılan sonuçlardan biridir.

Tablo 5.4. Diyarbakır İli 2019 ve 2020 Yılı Hayvansal Atık Potansiyeline Karşılık Üretilebilecek Biyogaz Miktarı (TUİK, 2020).

Hayvan Cinsi	Yıllar	Hayvan Sayısı (Adet)	Yaş Gübre Miktarı (Ton/Yıl)	Biyogaz Miktarı (m ³ /yıl)
Büyükbaş Hayvan	2019	663.843	2.389.834	78.864.548
	2020	657.394	2.366.618	78.098.407
Küçükbaş Hayvan	2019	1.893.911	1.325.737	76.892.786
	2020	2.091.344	1.463.940	84.908.566
Kanatlı Hayvan	2019	1.210.248	26.625,456	2.076.785,568
	2020	1.306.556	28.744,232	2.242.050,1
Toplam Hayvan Sayısı	2019	3.768.002	3.742.196,46	157.834.120
	2020	4.055.294	3.859.302,23	165.249.023,10

Tablo 5.4’de görüldüğü gibi 2019 yılında biyogaz üretim potansiyeli sırasıyla kanatlı hayvan, büyükbaş hayvan ve küçükbaş hayvanlardan kaynaklandığı yapılan hesaplamalarda görülmüş ve bu değerler sırasıyla 2.076.785,568 m³/yıl, 78.864.548 m³/yıl, 76.892.786 m³/yıl şeklinde gerçekleşmiştir. Diyarbakır İli hayvansal atık potansiyeline karşılık üretilebilecek biyogaz miktarı 2020 yılı için yapılan sıralama kanatlı hayvan, küçükbaş hayvan ve büyükbaş hayvan olarak gerçekleşmiş ve elde edilen biyogaz miktarları 2.242.050 m³/yıl, 84.908.566 m³/yıl ve 78.098.407 m³/yıl şeklinde sıralandığı yapılan hesaplamalarda görülmüştür.

Diyarbakır İli için 2019 ve 2020 yıllarında hayvansal kaynaklı biyokütleden biyogaz üretiminde en yüksek potansiyelin kanatlı hayvanlardan elde edileceği hesaplanmıştır. Biyokütleden ve hayvansal kaynaklı atıklardan elde edilen biyoenerji miktarlarına bakıldığında hem Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nin hem de Diyarbakır İli’nin biyoenerji potansiyeli oldukça yüksek bir potansiyele sahiptir (Tablo 5.6).

Tablo 5.6 incelendiğinde Diyarbakır İli’nde tarımsal kaynaklı biyoenerji potansiyelinin, Güneydoğu Anadolu Bölgesi’ndeki payı %27 iken Türkiye’deki payı %3,5’lik bir orana sahip olduğu görülmektedir.

Hayvansal kaynaklı biyoenerji potansiyelinde de benzer oranlar görülmekle birlikte Diyarbakır İli’nin hayvansal kaynaklı biyoenerji potansiyelinin Güneydoğu Anadolu Bölgesi’ndeki payı % 25,45 iken Türkiye’deki payı %3,3’lük bir orana sahiptir.

Tarımsal ve hayvansal kaynaklı atıklardan elde edilen biyoenerji potansiyelinin miktarlarında Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin Türkiye içindeki payı biyoenerji olarak; tarımsal kaynaklı biyoenerji için %13,1 iken, hayvansal kaynaklı biyoenerji potansiyel için %12,9'dur.

Tablo 5.6. Diyarbakır İli 2020 Yılı Ortalama Biyokütle Enerji Miktarları ve Oranları

BİYOENERJİ DEĞERİ		Bitkisel Kaynaklı Biyoenerji	Hayvansal Kaynaklı Biyoenerji
ORANLARI		Miktarı(TEP)	Miktarı(m³/yıl)
Türkiye		171.913.269	5.016.847.652
Güneydoğu Anadolu Bölgesi		22.502.320,5	649.207.657
Diyarbakır		6.105.267,3	165.249.023
Diyarbakır/Güneydoğu Bölgesi	Anadolu	27	25,45
Diyarbakır/Türkiye		3,5	3,3
Güneydoğu /Türkiye	Anadolu Bölgesi	13,1	12,9

Tablo 5.6'ya göre; Diyarbakır İli 2020 yılı ortalama biyokütle miktarları ve oranları değerlendirildiğinde; Diyarbakır İlin'in ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin Türkiye içinde önemli bir bioenerji potansiyeline sahip lokasyonlar olduğu ve olası bir yatırım durumunda öncelik tanınması gerektiği düşünülmelidir.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Dünyada yaşanan doğal felaketler, küresel ısınma, pandemi gibi süreçler göstermiştir ki insanın ekosisteme verdiği zararlar doğanın tolere edebileceği sınırı çoktan aşmıştır. Bu gidişatı değiştirmek için, ekosistemde bozulana yerine koymak ağacın yeşil, suyun temiz, havanın solunabilir, toprağın verimli olarak kalması insanların görevidir. Bu görevi yerine getirmenin başlıca koşulu ekolojik ayak izimizi azaltmak, doğanın içinden doğayla temas ederek ama zarar vermeyecek şekilde geçmektir.

Türkiye nüfusuyla, sanayisiyle ve kalkınma hedefleriyle hızla gelişen bir ülkedir. Bu gelişim ve büyüme süreci enerji ihtiyacının artmasını da beraberinde getirmektedir. Enerji ihtiyacının büyük bir yüzdesini karşılamada dışa bağımlı olan ülkemiz, azalan fosil yakıt rezervi, ekolojik bozulma gibi sebeplerden değişmek zorunda olan ve değişen dünya enerji pazarında kendine yer bulmak zorundadır. Yıllık güneşlenme süresi, tarım ve hayvancılıkta dünyada önemli bir yeri olması, ormanları, verimli topraklarıyla ülkemizin yenilenebilir ve sürdürülebilir dünya enerji pazarında kendine yer bulması zor değildir. Ülke bazında yaşanan bu hızlı gelişim, değişim ve enerji ihtiyacı durumu iller bazında da kendini göstermektedir. Hızlı gelişme ve enerji ihtiyacı bakımından kendini gösteren illerden biri de Diyarbakır'dır.

Bu çalışmada; Diyarbakır İli'nin 2019-2020 yıllarındaki tarım ve hayvancılık kaynaklı biyokütle miktarı ve elde edilecek biyoenerji değeri araştırılıp hesaplanmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

Diyarbakır'da 2019 yılında ekilen alan 552.910 ha iken 2020 yılında ekilen alan 555.024 ha olarak hesaplanmıştır. Artan nüfus ve ihtiyaçla kıyaslandığında ekili alanların nüfus ve ihtiyaçla orantılı artış göstermemesine, kentleşme, köyden kente göç, artan kent nüfusunun barınma ihtiyacını karşılamak için tarım alanlarına yapı inşaa edilmesi ve tarımla ilgilenecek insan sayısındaki azalma gibi etkenler bu duruma neden olan sebepler arasında gösterilebilir. Diyarbakır İli'nde tarımsal kaynaklı potansiyel biyoenerji değeri 2019 yılında 6.082.013 TEP iken 6.105.267 TEP değerine çıkarak 23.254 TEP değer artış göstermiştir.

Diyarbakır'da 2019 yılında yetiştirilen hayvan sayısı (adet) 3.768.002 iken 2020 yılında bu sayı 4.055.294'tür. Azalan köy nüfusuna karşın artan hayvan adet sayısında, endüstriyel hayvancılığın ve hayvancılık teşviklerinin etkili olduğu söylenebilir. Hayvan (adet) sayısındaki bu artış hayvansal kaynaklı potansiyel biyogaz miktarını 2019 yılında 157.834.12 m³/yıl iken 2020 yılında 165.249.023,1 m³/yıl'a yükselterek 7.414.903 m³/yıl artış sağlamıştır.

Türkiye gibi yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarından biri olan biyokütleden enerji üretim potansiyeli yüksek bir ülkede biyoenerji tesisleri ve AR-GE çalışmaları için mali, yasal, politik ve teknolojik destek çalışmaları hızla yürütülmeli, toplumun her bireyinin biyokütle ve biyoenerji konusundaki farkındalığının artırılması için gerekli mekanizma devreye sokulmalıdır.

Bu çalışmalar için harcanacak efor ve maliyet zaman içinde kendi kendini amorti ederek kazanım olarak geri dönecektir. Biyokütleyi değerlendirerek enerji üretmek karbon ayak izimizi ve enerji konusundaki dışa bağımlılığımızı azaltacak, dünyada şu an varolan ve büyüyeceğini öngörmenin zor olmadığı yenilenebilir enerji pazarından payımızı almamızı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Baz, İ., Alp, D., & Bilgin, Ö. (2018). Şırnak Enerji Ve Maden Potansiyeli. Konya: Eğitim Yayınevi.
- Çolakoğlu, M., Aslan, S., & Kundereli, E. (2021). Biyokütle ve Biyoenerji Sektörlerine Genel Bakış. İstanbul: PwC Türkiye.
- Deloitte Türkiye. (2014). Biyokütlenin Altın Çağı. İstanbul.
- Dünya Enerji Konseyi Türkiye. (2020). Geri Dönüşüm : Biyoenerji Raporu. İstanbul.
- E. Walsh, M. (2004). Biomass Resource Assessment. Encyclopedia of Energy, 237-249. <https://doi.org/10.1016/B0-12-176480-X/00354-5>
- Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar Çalıştayı Araştırma Kuruluşları. (2014). Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar Çalıştayı Bildiri Kitabı. Samsun.
- İllez, B. (2020). Türkiye'de Biyokütle Enerjisi. Ankara.
- İnvest Diyarbakır. (2022, şubat 27). İnvest Diyarbakır Web Sitesi: <https://www.investdiyarbakir.com/sektorler/tarim-ve-hayvancilik--12> adresinden alınmıştır
- McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. Bioresource Technology, 47-54. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00119-5](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00119-5)
- Nacar Koçer, N., & Ünlü, A. (2007). Doğu Anadolu Bölgesinin Biyokütle Potansiyeli ve Enerji Üretimi. Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi, 175-181.
- Nacar Koçer, N., Öner, C., & Sugözü, İ. (2006). Türkiye'de Hayvancılık Potansiyeli ve Biogaz Üretimi. Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi.
- Perea-Moreno, M.-A., Samerón-Manzano, E., & Perea-Moreno, A.-J. (2019). Biomass as Renewable Energy: Worldwide Research Trends. Sustainability, 1-10. <https://doi.org/10.3390/su11030863>

- Sharma, S., Meena, R., Sharma, A., & Goyal, P. k. (2014). Biomass Conversion Technologies for Renewable Energy and Fuels: A Review Note. . Journal of Mechanical and Civil Engineering, 28-35. <https://doi.org/10.9790/1684-11232835>
- Tarım Türk Dergisi. (2018, Şubat 19). tarimturk. tarimturk: <http://www.tarimturk.com.tr/haber-turkiye-nin-biyoenerji-potansiyeli-arastiriliyor-4787.html> adresinden alınmıştır
- Yeşilata, B. (2010). Karacadağ Kalkınma Ajansı, Trc 2 (Diyarbakir-Şanlıurfa) Bölgesi Yenilenebilir Enerji Raporu. Şanlıurfa.



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 15.12.2021
Kabul Tarihi : 06.02.2022

Received Date : 15.12.2021
Accepted Date : 06.02.2022

SORPSİYON İZOTERMLERİNİN KURUTMA VE DEPOLAMA PROSESLERİNDE ÖNEMİ: KAHRAMANMARAŞ TARHANASI ÖRNEĞİ

THE IMPORTANCE OF SORPTION ISOTHERMS IN DRYING AND STORAGE PROCESSES: THE CASE OF KAHRAMANMARAŞ TARHANASI

Beyza Nur KOCABAŞ^{1*} (ORCID: 0000-0002-0743-6398)
İnci DOĞAN² (ORCID:0000-0002-7715-7423)

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye
² Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: İnci DOĞAN, icinar@ksu.edu.tr

ÖZET

Ülkemizin elverişli iklim koşulları birçok gıdanın kurutulmuş muhafazasına olanak sağlamaktadır. Kurutulmuş gıdalar uzun süre bozulmadan korunabilmektedir. Depolama süresince küf ve bakteri oluşumunun ve muhtemel kalite kayıplarının önlenmesi ürünlerin nem oranının kritik değerinin altına düşürülmesiyle mümkündür. Kahramanmaraş tarhanası yöreye özgü olup yüzyıllardır çorbalık ve atıştırmalık olarak tüketilen fermente kurutulmuş bir gıdadır. Geleneksel üretiminde güneşte kurutma kullanılmakta olup son yıllarda endüstriyel üretimi de giderek artan ilgi görmektedir. Yaz aylarında kurutulan tarhana kışın tüketilmek üzere depolanmaktadır. Depolamadaki olumsuzluklar tarhanada istenmeyen fiziksel, kimyasal, mikrobiyel ve duyu kalite kayıplarına yol açmaktadır. Kurutulmuş tarhananın kalite parametrelerinin belirlenmesinde sorpsiyon izotermlerinden faydalanılmaktadır. Sorpsiyon izotermleri sabit sıcaklıkta tutulan gıdanın nem içeriği ile depo ortamının bağıl nemi arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır. Sorpsiyon izotermleri su ve gıda bileşenleri arasındaki etkileşimin ve optimum depolama koşullarının tahmin edilmesinde önemli bir termodinamik yardımcıdır.

Bu çalışmanın amacı, gıdalar ve özelde Kahramanmaraş tarhanası açısından sorpsiyon izotermlerinin önemi ve sorpsiyon izotermlerinin oluşturulmasında esas alınan matematiksel modeller hakkında bilgi verilmesidir.

Anahtar Kelimeler: : Sorpsiyon izotermi, matematiksel modeller, nem içeriği, denge bağıl nemi, Kahramanmaraş tarhanası

ABSTRACT

Suitable climate conditions of Turkey enable large number of agricultural products to be preserved by drying. Dried products could be stored for long period of time without quality losses. Bacterial and fungal growth and possible quality losses can be avoided by holding food under its critical moisture ratio during storage. Kahramanmaraş tarhanası, being a dry fermented product, is indigenous to region and has been consumed as soup and snack for years. Traditional production involves sun drying and industrial scale production has gained interest over the past years. Tarhana dough is dried in summer and stored for consumption in winter. Improper storage conditions cause undesired physical, chemical and sensoral quality losses. Sorption isotherms are used to determine the quality parameters of dried Tarhana. Sorption isotherms explain the relationship between moisture content of food at the constant storage or processing temperature. Sorption isotherms are thermodynamic tools for water-food component interactions and optimum storage conditions. Therefore, the purposes of the study are to elaborate on

To Cite: KOCABAŞ, B. & DOĞAN İ. (2022). SORPSİYON İZOTERMLERİNİN KURUTMA VE DEPOLAMA PROSESLERİNDE ÖNEMİ: KAHRAMANMARAŞ TARHANASI ÖRNEĞİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(1), 41-51.

the importance of sorption isotherms for food, Kahramanmaraş Tarhana in particular, and to give information on the fundamentals of mathematical models defining sorption phenomena for Tarhana in light of recent studies from the literature.

Keywords: Sorption isotherm, mathematical models, moisture content, equilibrium moisture content, Kahramanmaraş tarhana

GİRİŞ

Besin ögesi ve sağlıklı yaşam farkındalığı ile ürün çeşitliliği isteyen ve iş dünyasında sayıları giderek artan tüketiciler son yıllarda besin içeriği yüksek, hazırlama kolaylığına sahip ve uzun ömürlü fonksiyonel ürünlere yönelmektedir. Ürün portföyünü geliştirmek amacıyla yapılan çalışmalarda ürünlerin tekstürel, duyuşsal, besinsel, mikrobiyel kaliteleri ön plana alınmış ve böylece uzun raf ömürlü ve sağlıklı gıdalar önem kazanmıştır (Şimşekli ve Doğan, 2015).

Geleneksel tarzda beslenen tüketiciler tarafından sıklıkla tercih edilen tarhana aslında fermente bir üründür. Tarhana TS 2282’de ‘buğday unu, buğday kırmaması, irmik veya bunların karışımı ile yoğurt, biber, tuz, soğan, domates ve tat, koku verici sağlığa zararsız maddelerin karıştırılıp fermente edildikten sonra kurutulması, öğütülmesi ve elenmesiyle elde edilen besin maddesi’ şeklinde tanımlanmaktadır (Ertop ve Atasoy, 2019). Ürün bileşenleri, üretim şekilleri ve tüketilme biçimleri bölgesel farklılıklar göstermektedir. Kahramanmaraş tarhanası da kendine has özellikleriyle dövme (yarma), tam yağlı yoğurt, kekik ve isteğe göre çörekotundan hazırlanır ve üretimi uzun ve zorlu bir süreçtir (Dağ ve İnanç, 2019) Kurutulmuş plaka (çerezlik), yarı kuru (firik) ve çorbalık çeşitleri bulunmaktadır (Yıldırım ve Güzeler, 2016).

Gıda kurutma tarihin bilinen en eski muhafaza yöntemlerindendir (Cemeroğlu, 2013). Kurutma prosesi gıdanın içerdiği suyun kritik eşige kadar düşürülerek raf ömrünün arttığı, taşıma ve depolama kolaylığı sağlayan bir işlemdir (İbanoğlu ve Maskan, 2001). Fiziksel, kimyasal ve mikrobiyel stabilite için gıdanın içerdiği nem oldukça önemlidir (Jothi, Dang and Kawai, 2020; Doh, Lee and Parka, 2019; Jin, Tang and Sablani, 2019). Ayrıca gıdanın farklı işleme ve depolama koşullarındaki davranışları hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır. Kurutma işlemi gıdaların özelliklerinin tespitinde sabit sıcaklıktaki gıdanın nem içeriği ile ortamın bağıl nemi arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır (Atalar, 2019; Iaccheri et al., 2019; Zhou et al., 2019). Sorpsiyon izotermelerini oluşturmakta farklı matematiksel modeller (teorik, yarı-ampirik, ampirik) önerilmiştir. Bununla birlikte hiçbir model tüm su aktivitesi (a_w) aralığında kesin sonuçlar vermemektedir. En yaygın kullanılan modellerin başında, hemen hemen her türlü gıdaya başarıyla uygulanabilen Brunauer-Emmet-Tetter (BET) deneysel verilere yüksek uyumlu olan ve literatürde geniş su aktivitesi aralığında ($0,1 < a_w < 0,9$) Guggenheim Anderson-Boer (GAB) modelleri gelmektedir. (İşleroğlu, 2019).

Kurutulmuş gıdaların özelliklerinin bilinmesi, optimum ambalaj materyali ve depolama koşullarının tespiti için önemlidir. Sorpsiyon izotermi bu özelliklerinin belirlenmesinde yardımcı olmaktadır. Bu sebeple mevcut çalışma sorpsiyon izotermi kurutulmuş gıdalar ve Kahramanmaraş tarhanası üzerindeki önemine vurgu yaparak sorpsiyon izotermi oluşturulmasında esas alınan matematiksel modeller hakkında bilgi vermeyi amaçlamaktadır.

Tarhana Hakkındaki Son Çalışmalar

Dünya genelinde tahıl tüketimi oldukça yaygındır ve tahıllar geleneksel fermente gıdaların da hammaddesini oluşturmaktadır. Geleneksel gıdalarımızdan olan tarhana, özellikle Anadolu insanı için kışlık atıştırma malzemeleri arasında yer alan bir besindir ve evsel tüketimi oldukça yaygındır (Sormaz vd., 2019). Tarhananın besinsel içeriği açısından un ve yoğurt önemlidir. Mineraller açısından zengindir. Farklı bileşenlerle farklı lezzetlerin oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. (Ertop ve Atasoy, 2019).

Literatürde gıdaların sorpsiyon izotermi üzerine çalışmalar çok yaygın olmakla beraber tarhananın sorpsiyon izotermi üzerine çalışmalar sınırlıdır. Yapılan bir çalışmada çorba yapımında kullanılan ticari tarhana tozunun nem adsorpsiyon izotermi 10, 20 ve 30°C sıcaklıklarda gravimetrik statik yöntemle 0,08- 0,92 su aktivitesi aralığını çalışmışlardır. Oswin modelinin çalışılan koşullarda adsorpsiyon davranışını karakterize etmek için en iyi model olduğunu ve 0,08-0,58 a_w aralığında en iyi BET modelinin yansıttığını saptamışlardır (İbanoğlu, Kaya ve Kaya,

1999). Ertugay, Certel ve Gürses (2000) tarhananın nem adsorpsiyon izotermelerini 25 ve 35°C’ de belirlemişlerdir. Sorpsiyon verileri için Halsey, Harkins-Jura ve Smith izoterm modelleriyle oldukça iyi uyum sağladığını belirtmişlerdir.

Erbaş, Certel ve Uslu (2005) ıslak ve kuru tarhananın kimyasal, mikrobiyolojik ve duyuşal özelliklerini depolama süresince ve üretimin fermentasyon aşamasında tarhana hamurunun bazı kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerindeki değişiklikleri incelemişlerdir. Fermentasyonun duyuşal kalitenin önemli bir aşaması olduğu ve geleneksel üretimde kurutmanın duyuşal özelliklerde kayıplara yol açtığını saptamışlardır. Orta nemli tarhana, hava korunaklı olarak paketlenğinde 6 ay boyunca koruyucu ilavesiz buzdolabında (+4°C) veya 6,5g/100g tuz ilavesiyle oda sıcaklığında saklanabilmektedir.

Bu konuyla ilgili bir diğer çalışma ise Kaya, İbanoğlu ve Kaya (1999) tarhananın adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermi üzerine yaptığı incelemeleridir. Bu çalışmada farklı sıcaklıklar (10, 20 ve 30°C) ve su aktivitelerinde (0,08- 0,92) gravimetrik yöntem kullanılarak incelemişlerdir. Tarhananın tip III BET sınıflandırması olduğunu ve nem içeriği %10’un altında tutulmasının mikrobiyel bozulma ve topaklanmayı önlemede uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Su aktivitesi, gıdaların depolama sırasındaki mikrobiyel ve fizikokimyasal stabilitesini kontrol etmek için çok önemlidir (Wei et al., 2019, Yap et al., 2019). Su aktivitesi değeri, mikrobiyel büyümeyi ve ürünün karakteristik dokusunun, lezzetinin ve aromasının gelişmesine katkıda bulunan enzimlerin aktivitesini etkilemektedir (Benbettaieba et al., 2019; Castro et al., 2019). Farklı kimyasal reaksiyonlar için bir gıdada suyun daha fazla veya daha az mevcut olduğunu gösteren bir parametredir. Bu nedenle işleme koşullarının analizi ve raf ömrünün tahmini için önemlidir.

Denge bağılı nemi, ürünün fiziksel yapısı, kimyasal bileşimi ve çevresel hava koşulları gibi birçok faktöre bağlıdır. Denge bağılı nemi, ortam sıcaklığı ve bağılı neme bağılı olarak artmaktadır. Sabit sıcaklık ve nemdeki bir ortamda kuru gıdanın nem kazanarak dengeye ulaşması ile elde edilen izoterm “adsorpsiyon izotermi”, nemli gıdanın nem kaybederek dengeye ulaşmasıyla elde edilen izoterm ise “desorpsiyon izotermi” olarak adlandırılır. Sorpsiyon terimi adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermlerinin bütününe kapsamaktadır (Abduljabbar, 2018).

Adsorpsiyon, başlangıçta ürün yüzeyindeki iyonik bağlar etrafında bir su tabakası oluşması, ardından zayıf bağlar yoluyla çoklu tabakalarda adsorpsiyon, gözeneklerde ve kılcal boşluklarda su alımı ve çözünen maddelerin çözünmesiyle gerçekleşmektedir. Desorpsiyon, a_w ile gıdanın nem içeriği arasındaki ilişkiyi gösterdiği için gıda kurutma işleminde önemlidir. Nem kazanımı, düşük nemli gıdaların kalitesini ve raf ömrünü belirlemede kritik bir rol oynamaktadır. Kalite değişimleri ise kurutulmuş ürünün belirli bir nem içeriğine (kritik nem) ulaşma süresini ve raf ömürlerini belirlemede kullanılmaktadır. Sorpsiyon izoterm modelleri kurutma, karıştırma, paketlenme, depolama gibi kapsamlı kullanım alanlarına sahiptir. Sorpsiyon izotermi gıdaya özgüdür ve ayrı değerlendirilmelidir (Majid, Hussain and Nanda, 2019). Tablo 1’de çeşitli gıdalar için araştırmacılar tarafından yapılan sorpsiyon izotermi çalışmaları örnekler verilmektedir.

Tablo.1. Gıdaların Bazı Sorpsiyon İzotermleri ve Çalışma Sıcaklıkları

Gıdalar	A / D	T(°C)	Kaynaklar
Süt ve Süt ürünleri			
Yoğurt tozu	A ve D	10-40	(Atalar, 2019)
Kefir tozu	A	5-35	(İşleroğlu, 2019)
Süt tozu	A ve D	21	(Maidannyk et al., 2019)
Tatlandırılmış yoğurt tozu	A	20-50	(Seth et al., 2018)
Kurutulmuş süt protein tozu	A ve D	21	(Maidannyk et al., 2020)
Meyve ve sebzeler			
Yeşil dolmalık biber	A ve D	60-75	(Gandolfi et al., 2018)
Soğan tozu	A ve D	20-50	(Majid, Hussain and Nanda, 2019)
Tatlı patates	A ve D	30-50	(Oh, Lee and Hong., 2018)
Mor etli patates	A	30-60	(Fan and Roos, 2019)
Argan (yaprak, küspe ve meyve)	A ve D	30-50	(Moussaoui et al., 2019)
Kırmızı soğan	A	25-45	(Pineda et al., 2019)
Kurutulmuş meyve tozları	A ve D	25	(Dantas et al., 2019)
Kurutulmuş elma, mango ve muz	A ve D	25-40	(Ceron et al., 2018)
Açai suyu ve soya sosu	A	25	(Tejeda ve Figueroa, 2019)
Semizotuyla zenginleştirilmiş atıştırmalık	A ve D	27	(Shanker et al., 2019)
Üzüm suyu	A ve D	70	(Moser et al., 2018)
Spreyle kurutulmuş Anna muricata L.	A	25-38	(Chang et al., 2019)
Biber (Capsicum baccatum)	A	25	(Mendes et al., 2019)
Nar kabuğu kapsülleri	A ve D	30-60	(Kaderides ve Goula, 2019)
Soya fasulyesi	A ve D	10-20	(Yang, Zhu and Zhu, 2015)
Camelia olifera tohumu	A ve D	20-40	(Zhu et al., 2019)
Chia tohumu	A	15-35	(Gutierrez et al., 2015)
Dondurularak kurutulmuş jeller	A	25	(Ciurzynska et al., 2019)
Kavrulmuş kahverengi pirinç	A ve D	20-30	(Mahanti ve Chakraborty, 2019)
Doymamış yağ asitlerinin kapsülleri	A	4-25	(Esquerdo, Monte and Pinto, 2019)
Baklagiller (ırmik, pirinç, mısır, bakla ve nohut)	A	25	(Boucheham et al., 2019)
Öğütülmüş pirinç	A ve D	15-35	(Chen et al., 2019)

Sorpsiyon İzotermi Modelleri

Gıdaların denge bağıl nemi ve su aktivitesi arasındaki ilişkiyi ifade etmek için teorik, yarı deneysel ve deneysel birçok sorpsiyon izoterm modeli geliştirilmiştir (Koç, 2019; Yu et al., 2019). Literatürde çeşitli gruplara ayrılabilen çok sayıda izoterm modeli mevcuttur. Adsorbe edilen tek tabaka su içeriğine dayanan kinetik modeller (BET (Brunauer-Emmett-Teller) modeli), çok katmanlı ve yoğunlaştırılmış kinetik modeller (GAB (Guggenheim-Anderson-de Boer) modeli), yarı deneysel (Halsey modeli), ve tamamen deneysel modeller (Freundlich, Oswin ve Smith gibi modeller) sık kullanılan modellere örnek verilebilir.

BET modeli, 1938 yılında Brunauer- Emmett-Teller tarafından geliştirilmiştir. 0,05 ile 0,30 arasında değişen bağıl basınca sahip çok katmanlı adsorpsiyon sistemleri, 0,5 ile 1,50 arasındaki tek katman kapsamına karşılık gelen BET izoterminden türetilmiştir. BET modeli (Eşitlik 1) gıdaların tek tabaka nem içeriğini belirlenmesinde en çok kullanılan modellerdendir.

$$q_e = \frac{q_m(C_{BET})C_e}{(C_e - C_s)\left[\frac{C_e}{C_s}(C_{BET}-1)+1\right]} \quad (1)$$

Bu eşitlikte, q_e dengedeki adsorbat miktarını (gsu/10 g kuru madde), q_m tek tabaka (monomoleküler) nem miktarını (gsu/100g kuru madde), C_{BET} yüzeyle etkileşim enerjisini açıklayan izoterm sabitini (L/mg), C_e adsorban üzerindeki adsorbatın denge konsantrasyonunu (mg/L), C_s adsorbatın tek tabakalı doygunluk konsantrasyonunu açıklayan izoterm sabitini (mg/L) temsil etmektedir.

GAB modeli (Gungenheim- Anderson- de Boer), 1970'lerin sonlarından beri Avrupalı gıda araştırmacıları tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır ve şimdi dünya çapında kabul görmüştür. Üç parametrelili bir model olup Eşitlik 2'de verilmektedir:

$$\frac{m}{m_0} = \frac{C_g K_{aw}}{(1-K_{aw})(1-K_{aw}+C_g K_{aw})} \quad (2)$$

Bu eşitlikte, a_w su aktivitesini, m su aktivitesindeki denge nem içeriğini, m_0 tek tabaka nem içeriğini, K_{aw} çok tabakalı bölgenin (multi moleküler) bağlanma enerjisiyle ilgili sabiti temsil etmektedir.

GAB modelinin avantajı, 0,1-0,9 a_w aralığındaki gıdaların çoğu için sorpsiyon izoterm verilerinin uyumuna objektif bir yöntem sunmasıdır. Bu nedenle farklı gıdalarda sıklıkla kullanılan izoterm modellerindendir.

Halsey modeli (Eşitlik 3), 1948 yılında Halsey tarafından çok katmanlı adsorpsiyon sistemini değerlendirmiş ve yüzeyden nispeten büyük bir mesafede yoğunlaştığını tanımlamıştır.

$$\ln q_e = \left(\frac{1}{n_H}\right) \ln K_H - \left(\frac{1}{n_H}\right) \ln C_e \quad (3)$$

Bu eşitlikte, q_e denge nem içeriğini, C_e adsorban üzerindeki adsorbatın denge konsantrasyonunu, K_H ve n_H Halsey sabitlerini temsil etmektedir.

1946 yılında Oswin tarafından Tip II izotermine uygulanan sigmoidal eğriler için Pearson'un seri açılımına dayandırılmıştır. Oswin modeli özellikle gıdaların izotermelerinin modellenmesinde kullanılmaktadır ve Eşitlik 4'te verilmiştir:

$$M = C \left[\frac{a_w}{1-a_w}\right]^n \quad (4)$$

Bu eşitlikte, M denge nem içeriğini, a_w su aktivitesini, C ve n eşitlik sabitlerini temsil etmektedir.

Matematiksel modeller gıdadan gıdaya farklılık gösterebilmektedir. Gıdaların sorpsiyon özellikleri hakkında literatürde fazla sayıda çalışma mevcuttur. Tablo 2’de çeşitli gıdalar için araştırmacılar tarafından yapılan sorpsiyon izoterm modellerinin bir özeti verilmektedir.

Tablo.2. Literatürdeki Bazı Gıdaların Sorpsiyon İzoterm Modellerinin Özeti

Modeller	Gıdalar	Kaynaklar
BET (Brauner-Emmett-Teller)	Yeşil dolmalık biber, soğan tozu, açai suyu ve soya sosu, yoğurt tozu, chia tohumu,	(Gandolfi et al., 2018), (Majid, Hussain and Nanda, 2019), (Tejeda ve Figuerou, 2019), (Atalar, 2019), (Arslan-Tontul, 2020)
GAB (Gungenheim-Anderson-de Boer)	Kurutulmuş tatlı patates, mor etli patates, argan (yaprak, küspe ve meyvesi), dondurularak kurutulmuş jeller, kavrulmuş kahverengi pirinç, kırmızı soğan, kurutulmuş meyve tozları, kurutulmuş (elma, mango ve muz), doymamış yağ asitlerinin nanokapsülleri, yeşil dolmalık biber, pirinç unu, üzüm suyu, spreyle kurutulmuş Anna muricata L., nohut,bezelye ve sarı mercimek, süt tozu ,biber (Capsicum baccatum), baklagiller (irmik, pirinç, mısır, bakla ve nohut), süt tozu, sprey kurutulmuş süt protein tozu, sakız, pirinç unu ,soğan tozu, nar kabuğu kapsülleri, açai suyu ve soya sosu, yoğurt tozu, kefir tozu, kivi	(Oh, Lee and Hong, 2019), (Fan, Zhang and Bhandari, 2019), (Moussaoui et al., 2019), (Ciurzynska et al., 2019), (Mahanti ve Chakraborty, 2019), (Pineda et al., 2019), (Link et al., 2019), (Ceron et al., 2019), (Esquardo, Monte and Pinto, 2019), (Gandolfi et al., 2018), (Moser et al., 2018), (Chang et al., 2018), (Xu et al., 2019), (Mendes et al., 2019), (Boucheham et al., 2019), (Maidannyk et al., 2019), (Maidannyk et al., 2020), (Vasile, Judis and Mazzobre, 2020), (Torres and Seijo, 2016), (Majid, Hussain and Nanda, 2019), (Kaderides and Goula, 2019), (Tejeda and Figuerou, 2019), (Atalar, 2019), (İşleröglü, 2019), (Diken et al., 2020)
Halsey	Soya fasulyesi	(Maciel et al., 2020)
Oswin	Soğan tozu, yoğurt tozu, kefir tozu,	(Majid, Hussain and Nanda, 2019), (Atalar, 2019), (İşleröglü, 2019),
Page	Kivi	(Diken et al., 2020)
Peleg	Semizotuyla zenginleştirilmiş atıştırma, camelia olifera tohumları, nar kabuğu kapsülleri, sprey kurutulmuş tatlandırılmış yoğurt tozu, kurutulmuş gıda tozları (avokado, inülin, maltodekstrin),chia tohumu, kivi	(Shanker et al., 2019), (Zhu et al., 2019), (Kaderides and Goula, 2019), (Seth et al., 2018), (Stepien, Witczak and Witczak, 2020), (Arslan- Tontul, 2020), (Kızmaz, 2019)
Chung-Pfost	Pirinç unu, öğütülmüş pirinç	(Torres and Seijo, 2019), (Chen et.al, 2019),
Harkins ve Jura	Kakao çekirdekleri	(Barreiro and Sandoul, 2020)

Sorpsiyon izotermi gıda bileşenleri ve nem içeriği arasındaki ilişkiyi ortaya koyan nitelikte olduğundan gıdaların işlenme ve depolanmasında kullanılan önemli bir veridir. Aynı zamanda aroma, lezzet, renk, doku, besinlerin tutulmasını maksimize eden optimum depolama koşullarını tahmin etmede yardımcı olmaktadır ve mikrobiyel bozulma hızını azaltmaktadır (Suhag, Nayik and Nanda, 2018). Sorpsiyon izotermi, gıdaların raf ömrü ve depolama süresinin hesaplanması, ambalajlı ürünün özelliklerinin korunması, farklı nem içeriğinde kuru ürünlerin

harmanlanmasında ortalama denge nem içeriğinin hesaplanmasında ve kalite özelliklerindeki değişimin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Gandolfi et al. (2018) çalışmasında yeşil dolmalık biberlerin nem sorpsiyon izotermi belirleyerek, farklı sıcaklık (60°C ve 75°C) ve hava hızının (1,5 ve 3ms⁻¹) ince tabaka kurutma üzerine etkilerini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Denge nem içeriği aynı su aktivitesi değerleri için sıcaklıktaki artışla azalmaktadır. Sıcaklık artışı BET ve GAB modellerinde tek tabakalı içerikte bir azalmaya neden olurken, çalışılan koşullarda yeşil biberin adsorpsiyon davranışını tanımlamak için GAB modelinin daha uygun model olduğunu tespit etmişlerdir.

Torres and Seijo, (2016) pirinç ununda adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermi ve izole edilmiş nişasta, statik gravimetrik metot kullanılarak farklı sıcaklıklarda (25, 35, 45 ve 55°C) belirlemiştir. Ayrıca 0,09- 0,91 aralığında farklı su aktivitesi oluşturmak için birkaç doymuş tuz çözeltisi seçilmiştir. GAB ve Chung- Pfof modelleri test edilmiş pirinç unu ve nişastanın sorpsiyon işlemleri için deneysel verileri iyi bir şekilde temsil ettiğini belirtmişlerdir. Denge nem içeriği aynı su aktivitesi değerinde adsorpsiyon izoterminden ziyade desorpsiyon izotermi için daha büyük olduğu sonucuna varmışlardır.

Atalar (2019) çalışmasında aglomerasyon işleminin ve aglomerasyon aşamasında kullanılan bağlayıcıların yoğurt tozunun nem sorpsiyon izotermi üzerine etkisini belirlemeyi amaçlamıştır. Aglomere yoğurt tozu ile aglomere edilmemiş yoğurt tozunun 4, 20 ve 40°C sıcaklıklarda nem sorpsiyon izotermi tespit etmiştir. Çalışma sonunda yüksek sıcaklıkta kurutulmuş yoğurt tozlarının daha az higroskopik olduğu gözlenmiştir. Bağlayıcı olarak laktozun kullanılması saf suya kıyasla yüksek su aktivitesi değerlerinde nem sorpsiyon oranını arttırdığını belirlemiştir. Buna benzer süt ve süt ürünlerinde yapılan son çalışmalar sprey kurutulmuş şekerli yoğurt tozunun depolama kararlılığı (Seth vd., 2018), sprey kurutulmuş süt protein tozlarında sorpsiyon izotermi (Maidannyk et al., 2020), kefir tozunun kurutma ve adsorpsiyon kinetiği (İşleroğlu, 2019) üzerine olmuştur.

SONUÇ

Son yıllarda ve özellikle içinde bulunduğumuz pandemi süreci ve sonrasında yaşanabilecek gıda tedarik sorunları sebebiyle kurutulmuş gıdalara talep tüm dünyada giderek artmaktadır. Bu anlamda kurutulmuş gıdaların kaliteli ve güvenli olarak muhafazası ve raf ömürlerinin doğru tespit edilmesi büyük önem taşımaktadır. Sorpsiyon izotermi gıdaların işlenmesi ve depolanması sırasında olması muhtemel değişimleri önceden tahmin etmekte etkin bir yardımcıdır. Kahramanmaraş tarhanası dövme, kekik ve yoğurttan yapılan geleneksel fermente ve fonksiyonel bir gıdadır. Ayrıca piyasadaki diğer atıştırmalık ürünler ve cipslerle kıyaslandığında sağlıklı bir alternatiftir. Tarhananın en uygun koşullarda işlenmesi ve depolanması sorpsiyon eğrilerinden elde edilecek verilerin projeksiyonlarıyla mümkündür. Literatürde sorpsiyon eğrilerine yer veren pek çok çalışma olmasına rağmen Kahramanmaraş Tarhanası'na ait çalışmalar çok sınırlıdır. Mevcut çalışmanın konuyla ilgili çalışmak isteyen araştırmacılar için bir kaynak niteliği taşıması hedeflenmiştir. Tarhananın standart kalitede ve güvenli olarak tüketilmesi endüstriyel üretimler açısından da önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

Abduljabbar, I.A. (2018). Isparta Güllü (*Rosa Damascena* Mill.) nem sorpsiyon izotermi ve en uygun kurutma havası koşullarının belirlenmesi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı, 185, Isparta.

Arslan-Tontul, S. (2020). Moisture sorption isotherm, isosteric heat and adsorption surface area of whole chia seeds. *Food Science and Technology*, 108859, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108859>.

Atalar, İ. (2019). Aglomerasyon işleminin yoğurt tozunun nem sorpsiyon izotermi ve termodinamik özellikleri üzerine etkisi. *The Journal of Food*, 44(5): 837-848, <https://doi.org/10.15237/gida.GD19100>.

Benbettaieba, N., O'Connell, C., Viaux, A., Bou-Maroun, E., Seuvre, A., Brachais, C.H. & Debeaufort, F. (2019). Sorption kinetic of aroma compounds by edible bio-based films from marine-by product macromolecules: Effect of relative humidity conditions. *Food Chemistry*, 298, <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125064>.

Boucheham, N., Galet, L., Patry, S. & Zidoune, M.N. (2019). Physicochemical and hydration properties of different cereal and legume gluten-free powders. *Food Science Nutrition*, 1-12, <https://doi.org/10.1002/fsn3.1170>.

- Castro, A.M., Mayorgab, E.Y. & Moreno, F.L. (2019). Mathematical modelling of convective drying of feijoa (*Acca sellowiana* Berg) slices. *Journal of Food Engineering*, 252: 44-52, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.02.007>.
- Cemeroğlu, B.S. (2013). Meyve ve sebze teknolojisi, Cilt:2. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.
- Ceron, C., Moreno, V., Velazquez, G., Torres, J.A. & Chanes, J. (2018). Hygroscopic properties and glass transition of dehydrated mango, apple and banana. *Food Science and Technology*, 55(2):540-549, <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2963-3>.
- Chang, L.S., Karim, R., Mohammed, A.S., Chai, K.F. & Ghazali, H.M. (2019). Moisture sorption isotherm and shelf- life prediction of anticaking agent incorporated spray- dried soursop (*Annona muricata* L.) powder. *Journal of Food Processing Engineering*, 42, <https://doi.org/10.1111/jfpe.13134>.
- Chen, C. (2019). Validation of the component model for prediction of moisture sorption isotherms of two herbs and other products. *Foods* 8:191-198, <https://doi.org/10.3390/foods8060191>.
- Chen, Z., Wang, R., Li, X., Zhu, J., Xu, Y. & Liu, J. (2019) Sorption equilibrium moisture and isosteric heat of cold plasma treated milled rice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 55: 35-47, <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.05.012>.
- Ciurzynska, A., Jasiorska, A., Ostrowka-Ligeza, E. & Lenart A. (2019). The influence of the structure on the sorption properties and phase transition temperatures of freeze- dried gels. *Journal of Food Engineering*, 252: 18-27, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.02.008>.
- Dağ, Ü. ve İnanç, A.L. (2019). Endüstriyel yoğurt kültürleri ile üretilen Maraş tarhanasındaki uçucu aroma maddelerinin belirlenmesi. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 6(1): 34-43, <http://dx.doi.org/10.30910/turkjans.515345>.
- Dantas, S.C.M., Junior, S.M.P., Medeiros, F.G.M., Junior, L.C.S., Alsina, O.L.S. & Medeiros M.F.D. (2019). Spouted- bed drying of acerola pulp (*Malpighia emarginata* DC): Effects of adding milk and protein on process performance and characterization of dried fruit powders. *Journal of Food Process Engineering*, <https://doi.org/10.1111/jfpe.13205>.
- Diken, B., Eremkere, M., Demirtaş, G., Kayışoğlu, B. & Aktaş, T. (2020). Kivi Meyvesinin İnce Tabaka Kurutma Karakteristiklerinin ve Sorpsiyon Özelliklerinin Saptanması. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 249-261, [10.31202/ecjse.629317](https://doi.org/10.31202/ecjse.629317).
- Doh, H., Lee, M.H. & Parka H.J. (2019). Investigation of the moisture- induced caking behavior with various dietary salts. *Journal of Food Engineering*, 241: 67-74, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.08.001>.
- Erbaş, M., Certel, M. & Uslu M.K. (2005). Microbiological and chemical properties of tarhana during fermentation and storage as wet- sensorial properties of tarhana soup. *LWT-Journal of Food Technology*, 38(4): 409-416, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.06.009>.
- Ertop, M. & Atasoy, R. (2019). Farklı tahıl ve bakliyat unları ile üretilen tarhanaların fizikokimyasal, reolojik ve duyuşal nitelikleri. *The Journal of Food*, 44 (5): 781-793, <https://doi.org/10.15237/gida.GD19018>.
- Ertugay, M.F., Certel, M. & Gürses, A. (2000). Moisture adsorption isotherms of tarhana at 25°C and 35°C and the investigation of fitness of various isotherm equations to moisture sorption data of tarhana. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80: 2001-2004, [http://dx.doi.org/10.1002/1097-0010\(200011\)80:14%3C2001::AID-JSFA724%3E3.0.CO;2-D](http://dx.doi.org/10.1002/1097-0010(200011)80:14%3C2001::AID-JSFA724%3E3.0.CO;2-D).
- Esquardo, V.M., Monte, M.L. & Pinto, L.A.A. (2019). Microstructures containing nanocapsules of unsaturated fatty acids with biopolymers: Characterization and thermodynamic properties. *Journal of Food Engineering*, 248: 28-35, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.12.015>.
- Fan, F. & Roos, Y.H. (2019). Physicochemical properties, structural transformation and relaxation time in strength analysis for powder models. *Food Research International*, 122: 137-148, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.04.003>.
- Fan, K., Zhang, M. & Bhandari, B. (2019). Osmotic-ultrasound dehydration pretreatment improves moisture adsorption isotherms and water state of microwave-assisted vacuum fried purple-fleshed sweet potato slices. *Food and Bioproducts Processing*, 115: 154-164, <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2019.03.011>.

- Gandolfi, O.R.R., Gonçalves, G.R.F., Bonomo, R.C.F. & Fontan, R.C.I. (2018). Sorption equilibrium and kinetics of thin-layer drying of green bell peppers. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 30(2): 137-143, <http://dx.doi.org/10.9755/ejfa.2018.v30.i2.1606>.
- Tejeda, Y.V. & Figueroa, V. (2019). Least squares fitting- polynomials for determining inflection points in adsorption isotherms of spray-dried açai juice (*Euterpe oleracea* Mart.) and soy sauce powders. *Powder Technology*, 342: 829-839, <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.10.058>.
- Gutierrez, S.K., Figueria, A.C., Huezo, M.E., Guerrero, A.R., Navas, H. & Alonso, C. (2015). Sorption isotherms, thermodynamic properties and glass transition temperature of mucilage extracted from chia seeds (*Salvia hispanica* L.). *Carbohydrate Polymers*, 411-419, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.11.068>.
- Iaccheri, E., Ragni, L., Cevoli, C., Romani, S., Rosa, M.D. & Rocculi, P. (2019). Glass transition of green and roasted coffee investigated by calorimetric and dielectric techniques. *Food Chemistry*, 301-309, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125187>.
- İbanoğlu, Ş. & Maskan, M. (2002). Effect of cooking on the drying behaviour of tarhana dough, a wheat flour-yoghurt mixture. *Journal of Food Engineering*, 54: 119-123, [http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00192-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00192-3).
- İbanoğlu, Ş., Kaya, S. & Kaya, A. (1999). Evaluation of sorption properties of Turkish tarhana powder. *Nahrung*, 43(2): 122-125, [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-3803\(19990301\)43:2%3C122::AID-FOOD122%3E3.0.CO;2-3](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-3803(19990301)43:2%3C122::AID-FOOD122%3E3.0.CO;2-3).
- İşleroğlu, H. (2019). Freeze drying and moisture adsorption kinetics of kefir powder. *Journal of Food Science* 31: 514-530, <https://doi.org/10.14674/IJFS-1382>.
- Jin, Y., Tang, J. & Sablani, S.S. (2019). Food component influence on water activity of low-moisture powders at elevated temperatures in connection with pathogen control. *Food Science and Technology*, 112-118, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108257>.
- Jothi, J.S., Dang, L.T.N. & Kawai, K. (2020). Effects of trehalose and corn starch on the mechanical glass transition temperature and texture properties of deep-fried food with varying water and oil contents. *Journal of Food Engineering*, 267-275, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109731>.
- Kararides, K. & Goula, A.M. (2019). Encapsulation of pomegranate peel extract with a new carrier material from orange juice by-products. *Journal of Food Engineering*, 1-13, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.02.019>.
- Kaya, S., İbanoğlu, Ş. & Kaya, A. (1999). Moisture sorption characteristics of tarhana: A fermented Turkish cereal food. *Journal of Food Quality*, 22: 95-100, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-4557.1999.tb00930.x>.
- Kızmaz, A. (2019). Farklı kurutma teknikleriyle kurutulan kivi dilimlerinin adsorpsiyon izotermelerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, 93, Ordu.
- Koç, A. (2019). Buğday embriyosunun farklı sıcaklıklarda nem sorpsiyon izotermelerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, 56, Antalya.
- Link, J.V., Tribuzi, G., Moraes, J.O. & Laurindo, J.B. (2018). Assessment of texture and storage conditions of mangoes slices dried by a conductive multi-flash process. *Journal of Food Engineering*, 239: 8-14, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.06.024>.
- Maciel, G., Torre, D.A., Cardoso, L.M., Cendoya, M.G., Wagner, J.R. & Bartosik, R.E. (2020). Determination of safe storage moisture content of soybean expeller by means of sorption isotherms and product respiration. *Journal of Stored Products Research*, 101567, <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2019.101567>.
- Mahanti, N.K. & Chakraborty, S.K. (2019). Thermodynamic properties of ready-to-puff pressure parboiled preconditioned brown rice. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13: 1469-1478, <https://link.springer.com/article/10.1007/s11694-019-00062-2>.
- Maidannyk, V., McSweeney, D.J., Hogan, S.A., Miao, S., Montgomery, S., Auty, M.A.E. & McCarthy, N.A. (2020). Water sorption and hydration in spray-dried milk protein powders: Selected physicochemical properties. *Food Chemistry*, 304-311, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125418>.

- Maidannyk, V., Lutjes, E., Montgomery, S., McCarthy, N. & Auty, M.A.E. (2019). Measurement of effective diffusion coefficients in dairy powders by confocal microscopy and sorption kinetic profiles. *Food Structure* 20: 100-108, <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2019.100108>.
- Majid, I., Hussain, S. & Nanda, V. (2019). Moisture sorption isotherms and quality characteristics of onion powder during storage as affected by sprouting. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13: 775-784, <https://link.springer.com/article/10.1007/s11694-018-9990-2>.
- Mendes, N., Santos, M.C.P., Santos, M.C.B., Cameron, L.C., Ferreira, M.S.L. & Goncalves, E.C.BA. (2019). Characterization of pepper (*Capsicum baccatum*): A potential functional ingredient. *Food Science and Technology*, 108-209, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.107>.
- Mochizuki, T., Sogabe, T., Hagura, Y. & Kawai K. (2019). Effect of glass transition on the hardness of a thermally compressed soup solid. *Journal of Food Engineering*, 247: 38-44, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.11.019>.
- Moser, P., Gallo, T.C.B., Zuanon, L.A.C., Pereira, G.E. & Nicoletti, V.R. (2018). Water sorption and stickiness of spray dried grape juice and anthocyanins stability. *Journal of Food Processing Preservation*, 42-49, <https://doi.org/10.1111/jfpp.13830>.
- Moussaoui, H., Bahammou, Y., Idlimama, A., Lamharrar, A. & Abdenouri, N. (2019). Investigation of hygroscopic equilibrium and modeling sorption isotherms of the argan products: A comparative study of leaves, pulps and fruits. *Food and Bioproducts Processing*, 114: 12-22, <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.11.002>.
- Oh, S., Lee, E., & Hong, G. (2018). Quality characteristics and moisture sorption isotherm of three varieties of dried sweet potato manufactured by hot air semi-drying followed by hot pressing. *Journal Food Science and Technology*, 73-78, <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2018.04.044>.
- Pineda, L.A., Rascon, M.P., Quintanilla- Carvajal, M.X., Castillo- Morales, M., Marin, U.R. & Flores-Andrade E. (2019). Effect of porous structure and spreading pressure on the storage stability of red onion microcapsules produced by spray freezing into liquid cryogenic and spray drying. *Journal of Food Engineering* 245: 65-72, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.10.018>.
- Saavedra, F.M., Favre, L.C., Beltran, L.A., Mazzobre, F., Lopez, F.G. & Buera, M.P. (2019). Thermal transitions and enthalpic relaxations as related to the stability of microencapsulated paprika powders. *Journal of Food Engineering*, 245: 88-95, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.10.010>.
- Seth, D., Dash, K.K., Mishra, H. N., & Deka, S.C. (2018). Thermodynamics of sorption isotherms and storage stability of spray dried sweetened yoghurt powder. *Journal Food Science and Technology*, 55(10):4139-4147.
- Shanker, N., Kumar, M.M., Juvvi, P. & Debnath, S. (2019). Moisture sorption characteristics of ready-to-eat snack food enriched with purslane leaves. *Journal Food Sciences Technology*, 56(4): 1918-1926, [10.1007/s13197-019-03657-1](https://doi.org/10.1007/s13197-019-03657-1). Epub 2019 Mar 4.
- Sormaz, Ü., Onur, N., Güneş, E. & Nizamlioğlu, H.F. (2019). Türk mutfağı geleneksel ürünlerinde yöresel farklılıklar: Tarhana örneği. *Aydın Gastronomi Dergisi*, 3(1):1-9.
- Stepien, A., Witczak, M., & Witczak, T. (2020). Moisture sorption characteristics of food powders containing freeze dried avocado, maltodextrin and inulin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 149: 256-261, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.154>.
- Suhag, Y., Nayik, G.A. & Nanda, V. (2018). Modelling of moisture sorption isotherms and glass transition temperature of spray- dried honey powder. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12: 2553-2560, <https://link.springer.com/article/10.1007/s11694-018-9872-7>.
- Şimşekli, N., & Doğan İ. (2015). Geleneksel ve fonksiyonel ürün olarak Maraş tarhanası. *Iğdır University Journal of the Institute of Science and Technology*, 5(4): 33-40.
- Tejeda, Y. & Figueroa, V. (2019). Least squares fitting-polynomials for determining inflection points in adsorption isotherms of spray-dried açai juice (*Euterpe oleracea* Mart.) and soy sauce powders. *Powder Technology*, 342: 829-839, <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.10.058>.
- Tham, W.Y.T., Wang, C., Yeoh, A.T. & Zhou W. (2016). Moisture sorption isotherm and caking properties of infant formulas. *Journal of Food Engineering*, 175: 117-126. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.12.014>.

- Torres, M.D. & Seijo, J. (2016). Water sorption behaviour of by-products from the rice industry. *Industrial Crops and Products* 86: 273-278, <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.04.014>.
- Vasile, F.E., Judis, M.A. & Mazzobre, M.F. (2020). Moisture sorption properties and glass transition temperature of a nonconventional exudate gum (*Prosopis alba*) from northeast Argentina. *Food Research International*, 109033, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109033>.
- Wei, Y., Wub, F., Xuc, J., Shaa, J., Zhaod, Z., Hea, Y. & Lia, X. (2019). Visual detection of the moisture content of tea leaves with hyperspectral imaging technology. *Journal of Food Engineering*, 248(1): 89-96, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.01.004>.
- Xu, M., Jin, Z., Şimşek, Ş., Hall, C., Rao, J. & Chen, B. (2019). Effect of germination on the chemical composition, thermal, pasting and moisture sorption properties of flours from chickpea, lentil and yellow pea. *Food Chemistry*, 295: 579-587, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.167>.
- Yang, Z., Zhu, E. & Zhu, Z. (2015). Water desorption isotherm and drying characteristics of green soybean. *Journal of Stored Products Research*, 25-30, <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.jspr.2014.10.006>.
- Yap, S.K, Chin, N.L., Yusof, Y.A. & Chong, K.Y. (2019). Quality characteristics of dehydrated raw Kelulut honey. *International Journal of Food Properties*, 22(1): 556-571, <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1590398>.
- Yıldırım, Ç. & Güzeler, N. (2016). Tarhana cipsi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi TARGİD*, 1-8, <https://doi.org/10.17100/nevbiltek.210953>.
- Yu, D., Kwon, G., Kim, M., Kim, Y., Choi, S., Kim, G. & Chung, D. (2019). Moisture characteristics of probiotic-fermented sea tangle powder and its thermodynamic properties. *Journal of Food Processing Preservation*, 43(7): 1-11, DOI:10.1111/jfpp.13991.
- Zhou, M., Bi, J., Jin, X., Lyu, J. & Li, X. (2019). Towards understanding the enhancement of moisture diffusion during intermediate-infrared drying of peach pomace based on the glass transition theory. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 54(5): 143-151, <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.04.003>.
- Zhu, G., Liu, H., Xie, Y., Liao, Q., Lin, Y., Liu, Y., Xiao, H., Gao, Z. & Hu, S. (2019). Postharvest processing and storage methods for *Camellia oleifera* seeds. *Food Reviews International*, 319-339, <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1649688>.