



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**MİKRODALGA YÖNTEMİ İLE KURUTULAN
ALABALIK FİLETOLARININ KURUTMA
KİNETİĞİNİN VE BAZI KALİTE
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Elif TAYFUN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Temmuz-2024
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Elif TAYFUN tarafından hazırlanan ‘‘Mikrodalga Yöntemi ile Kurutulan Alabalık Filetolarının Kurutma Kinetiğinin ve Bazı Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi’’ adlı tez çalışması 25/07/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Mustafa KARAKAYA

.....

Danışman

Prof. Dr. Cemalettin SARIÇOBAN

.....

Üye

Prof. Dr. Hasan Hüseyin KARA

.....

Yukarıdaki sonucu onaylım.

Prof. Dr. Ömer Faruk YÜKSEL
FBE Müdürü

Bu tez çalışması SÜBAP tarafından 23101002 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Elif TAYFUN

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MİKRODALGA YÖNTEMİ İLE KURUTULAN ALABALIK FİLETOLARININ KURUTMA KİNETİĞİNİN VE BAZI KALİTE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Elif TAYFUN

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Cemalettin SARIÇOBAN

2024, ix+66 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Cemalettin SARIÇOBAN

Prof. Dr. Mustafa KARAKAYA

Prof. Dr. Hasan Hüseyin KARA

Bu çalışmada gökkuşuğu alabalığı örnekleri 90 W, 180 W, 360 W ve 600 W olmak üzere dört farklı mikrodalga gücünde kurutulmuştur. Kurutma öncesi örnekler iki gruba ayrılmıştır. Birinci grup örnek herhangi bir ön işlem uygulanmadan farklı mikrodalga seviyelerinde kurutulmuştur. İkinci grup örnek ise kurutma öncesinde %20'lik tuz çözeltisinde 2 saat bekletilerek osmotik dehidrasyona uğratılmıştır. Kurutma sırasında örneklerin düzenli olarak ağırlık ölçümleri alınmış, bu ölçümlerden faydalanarak kurutma grafikleri çizilmiş, yine bu verilerden yararlanılarak efektif difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi değerleri hesaplanmıştır. Böylece mikrodalga gücünün ve mikrodalga kurutmada ön işlemin kuruma üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Mikrodalga gücünün artmasıyla kuruma süresinin kısaldığı görülmüştür. Osmotik dehidrasyon ile kurutulan gruptaki örneklerin kuruma sürelerinin, ön işlem uygulanmayan gruba göre daha kısa olduğu gözlemlenmiştir. Örneklerin nem oranı verileri kullanılarak 7 farklı ince tabaka kurutma modeline olan uygunlukları araştırılmıştır. Model uygunluğunun anlaşılabilmesi için R^2 , ki-kare ve RMSE değerleri hesaplanmıştır. Analiz sonucunda alabalık örneklerinin mikrodalga kurutma davranışını en iyi açıklayan modelin Midilli modeli olduğu tespit edilmiştir.

Kurutulan balık örneklerinin fizikokimyasal özellikleri araştırılmıştır. Bunun için kurutulan örneklerin renk (L^* , a^* , b^*), su aktivitesi, rehidrasyon oranı, tekstür analizleri ile duyu analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre; renk değerlerinin ön işlem uygulanması ve mikrodalga gücünden etkilendiği görülmüştür. Kurutulan örneklerin su aktivitesi değerleri 0.78-0.58 arasında değişmiştir. Ön işlem uygulanan gruptaki örneklerin su aktivitesi değerleri, ön işlem uygulanmayan gruptaki su aktivitesi değerlerine kıyasla daha düşüktür. Yüksek mikrodalga güçlerinde su aktivitesi değerlerinin daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Ön işlem uygulanması, rehidrasyon oranının yükselmesine neden olmuştur. Mikrodalga gücü arttıkça, rehidrasyon oranı yükselmiştir. Tekstür profil analizinde istatistiksel anlamda en önemli farklar sertlik (hardness) değerinde bulunmuştur. Buna göre ön işlem uygulanmayan grubun sertlik değerlerinin ön işlem uygulanan gruba göre çok daha yüksek olduğu görülmüştür. Mikrodalga gücü arttıkça sertlik değeri azalmıştır. Elastikiyet (springiness), iç yapışkanlık (cohesiveness), çiğnenebilirlik (chewiness) değerlerinde ön işlem uygulanan ve uygulanmayan gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunurken, mikrodalga gücünün bu değerler üzerinde etkisi olmadığı belirlenmiştir. Duyusal analiz sonuçlarına göre; genel beğeni puanı en yüksek olan, ön işlem uygulandıktan sonra 90 W mikrodalga gücü ile kurutulan örnek olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alabalık, kinetik, kurutma, mikrodalga

ABSTRACT

MS THESIS

DETERMINATION OF DRYING KINETICS AND SOME QUALITY PROPERTIES OF TROUT FILLETS DRIED BY MICROWAVE METHOD

Elif TAYFUN

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN FOOD ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Cemalettin SARIÇOBAN

2024, ix+66 Pages

Jury

Prof. Dr. Cemalettin SARIÇOBAN

Prof. Dr. Mustafa KARAKAYA

Prof. Dr. Hasan Hüseyin KARA

In this study, rainbow trout samples were dried at four different microwave powers: 90 W, 180 W, 360 W and 600 W. Samples were divided into two groups before drying. The first group of samples were dried at different microwave levels without any pre-treatment. The second group of samples were osmotically dehydrated by keeping in 20% salt solution for 2 hours before drying. During drying, weight measurements of the samples were taken regularly, drying graphs were drawn using these measurements, and effective diffusion coefficient and activation energy values were calculated using these data. Thus, the effects of microwave power and pretreatment in microwave drying on drying were investigated. It was observed that the drying time was shortened with the increase in microwave power. It was observed that the drying times of the samples in the group dried with osmotic dehydration were shorter than in the group without pre-treatment. The suitability of the samples to 7 different thin layer drying models was investigated using the moisture content data. R^2 , chi-square and RMSE values were calculated to understand the suitability of the model. As a result of the analysis, it was determined that the model that best explains the microwave drying behavior of trout samples is the Midilli model.

The physicochemical properties of dried fish samples were investigated. For this purpose, color (L^* , a^* , b^*), water activity, rehydration rate, texture analysis and sensory analysis of dried samples were performed. According to the analysis results; It was observed that color values were affected by pre-treatment and microwave power. Water activity values of dried samples varied between 0.78-0.58. Water activity values of samples in the pretreatment group were lower compared to water activity values in the non-pretreatment group. It was observed that water activity values were lower at high microwave powers. Applying pretreatment resulted in an increase in the rehydration rate. As microwave power increased, rehydration rate increased. The most statistically significant differences in texture profile analysis were found in hardness value. Accordingly, it was observed that hardness values of the non-pretreatment group were much higher than the pretreatment group. Hardness value decreased as microwave power increased. While the difference between the pre-treated and not pre-treated groups in the values of springiness, cohesiveness, and chewiness was found to be statistically significant, it was determined that microwave power had no effect on these values. According to the sensory analysis results; it was determined that the sample with the highest overall approval score was the one dried with 90 W microwave power after pre-treatment.

Keywords: Trout, kinetic, drying, microwave

ÖNSÖZ

Eğitim ve çalışma hayatımda bana destek olan ve her daim bana hoşgörü ile yaklaşan Danışman hocam Prof. Dr. Cemalettin SARIÇOBAN'a sonsuz teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim süresince ve tezimin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen, her konuda danışabildiğim, değerli hocam Doç. Dr. Ali Samet Babaođlu'na ve bana olan desteklerini yanımda hissettiğim bölüm hocalarıma teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarımda ve analizlerimde bana yardımcı olan Gıda Yüksek Mühendisi Ainiwaer TUDİ'ye ve Gıda Yüksek Mühendisi Eda ALAGÖZ'e yardımları için çok teşekkür ederim.

Son olarak hayatımın her aşamasında desteklerini, sevgilerini üzerimde hissettiğim aileme ve arkadaşlarıma, bu süreçte bana yol arkadaşlığı yapan Yakuphan BİLGİÇ'e sonsuz teşekkür ederim.

Elif TAYFUN
KONYA-2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Balık.....	4
2.1.1. Gökkuşuğu alabalığı	4
2.1.2. Kurutulmuş balık tüketimi	6
2.2. Kurutma	7
2.2.1 Kurutma mekanizması	8
2.2.2. Kurutmanın matematiksel modellenmesi	10
2.2.3. Mikrodalga kurutma	10
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	13
3.1. Materyal	13
3.2. Yöntem.....	13
3.2.1. Örneklerin analize hazırlanması	13
3.2.2. Deneme planı	14
3.2.3. Analiz yöntemleri	15
3.2.3.1 Nem tayini.....	15
3.2.3.2 Kül tayini	15
3.2.3.3. Su aktivitesi (a_w) tayini	16
3.2.3.4. Protein tayini.....	16
3.2.3.5. Yağ tayini.....	16
3.2.3.6. Mikrodalga kurutma	17
3.2.3.7. Matematiksel modelleme	18
3.2.3.8. Renk analizi	20

3.2.3.9. Tekstür profil analizi.....	20
3.2.3.10. Rehidrasyon oranı	20
3.2.3.11. Duyusal analiz.....	21
3.2.3.12. İstatistik analizler	21
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	21
4.1. Hammadde Bileşen Analizleri	21
4.2. Kurutma Kinetiği ve Matematiksel Modelleme	22
4.2.1. Nem içeriği	22
4.2.2. Kurutma hızı	24
4.2.3.Efektif difüzyon katsayısı	26
4.2.4. Aktivasyon enerjisi	30
4.2.5. Kinetik modelleme.....	31
4.3. Renk Analizi Sonuçları.....	36
4.4. Su Aktivitesi Analizi Sonuçları	40
4.5. Rehidrasyon Oranı Analizi Sonuçları	42
4.6. Tekstür Profil Analizi Sonuçları	44
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	51
5.1 Sonuçlar	51
5.2. Öneriler	53
6. EKLER	54
KAYNAKLAR	57

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

L^* : Parlaklık değeri

a^* : Kırmızılık değeri

a_w : Su aktivitesi

b^* : Sarılık değeri

Kısaltmalar

g : gram

kg: kilogram

ml : mililitre

dk: dakika

mm: milimetre

W: Watt

P: Güç

TPA : Tekstür profil analizi

M: Nem içeriği

MR: Nem oranı

DR: Kurutma hızı

R^2 : Regresyon katsayıları

χ^2 : Ki-kare değeri

D_{eff} : Efektif difüzyon katsayısı (m^2/s)

RMSE: Ortalama karekök hatası

E_a : Aktivasyon enerjisi (kJ/mol, kw/kg)

1. GİRİŞ

Balık ve balık ürünleri tüm esansiyel amino asitleri içermesi, sindirimi kolay proteinler, EPA (eikosapentaenoik asit) ve DHA (dokosaheksaenoik asit) gibi omega-3 çoklu doymamış yağ asitlerince zengin olması, makro ve mikro mineralleri barındırması ve düşük kalori içeriği ile karasal protein kaynaklarına sağlıklı bir alternatif olarak görülmektedir (Tacon ve ark., 2020a)

Balığın işlenmesindeki teknolojik gelişmeler ve tüketicilerin balık tüketiminin faydaları konusundaki farkındalığının artması ile birlikte balık dünyada önemli bir gıda haline gelmiştir. Günümüzde balık ve balık ürünleri, tahıllar, süt ve süt ürünlerinden sonra küresel olarak tüketilen üçüncü büyük protein kaynağıdır. Yalnızca 2017 yılında küresel protein arzının %17.1'ni balık ve balık ürünlerinin karşıladığı rapor edilmiştir. Tüketicilerin balık ve balık ürünlerine olan talebinin önümüzdeki yıllarda da artış trendinde olması beklenmektedir (Sobral ve ark., 2018).

Kurutulmuş balık; güneşte veya açık havada tuzlama, tütsüleme veyahutta fermantasyon gibi işlemler ile raf ömrü uzatılmış balık ürünlerini tanımlamaktadır. Tarihsel olarak buzdolabı ve soğutma sistemlerinin keşfinden önce kurutulmuş balık tüketiminin ve ticaretinin ana formu olarak yer almaktadır. Günümüzde ise pek çok coğrafyada geleneksel kurutulmuş balık ürünleri, temel gıda kaynağı olarak tüketilmeye devam etmektedir (Belton ve ark., 2022)

Kurutma gıdalardan suyun uzaklaştırılarak belirli bir nem düzeyinin altına indirildiği, böylece mikrobiyal ve enzimatik aktiviteye bağlı bozulmaların önüne geçmenin amaçlandığı önemli temel işlemlerden biridir. Kurutma, enerji tüketimi yüksek bir temel işlemdir. Bunun yanı sıra kurutma esnasında gıdaların yüksek sıcaklığa uzun süreler maruz kalmaları ile çeşitli kalite özelliklerinde değişime neden olmaktadır. Günümüzde küreselleşme ile birlikte artan tüketici talebi, tüketicilerin daha sağlıklı ve kaliteli ürünlere yönelmesi ile gıda endüstrisi de kendini sürekli yenilemek ve geliştirmek durumundadır. Kurutulmuş gıdalar için bu yenilik ve geliştirmeler kurutma veriminin mümkün olduğunca yükseltilmesi, ürün kalitesinin artırılması ve çevreye verilen zararın minimuma indirilmesini kapsamaktadır (Mujumdar ve Wu, 2007).

Mikrodalga kurutma; son dönemde enerji verimliliğinin yüksek olması ve kurutma süresini kısaltması gibi pek çok avantajı ile geleneksel kurutma yöntemlerine alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Geleneksel kurutma yöntemlerinde kuruma yüzeyden başlamakta ve merkeze doğru ilerlemektedir. Mikrodalga kurutma yönteminde

ise; geleneksel kurutma yöntemlerinden farklı olarak ısınma gıda içerisinde oluşmaktadır. Böylece kuruma gıda yüzeyinden merkeze doğru değil, homojen bir şekilde gerçekleşir. Bu da kurutma süresinin kısalması ile birlikte enerji tüketiminin azalmasını sağlar. Mikrodalga ile gıdaların ısıtması esnasında soğuk ve sıcak noktalar oluşabilmektedir. Bu durum da kurutma proseslerinde mikrodalga, tek başına homojen bir kurutma sağlayamamasına neden olabilmektedir. Bu nedenle mikrodalga kurutma çalışmaları çeşitli ön işlemler ve kombine mikrodalga kurutma yöntemleri geliştirme üzerine yoğunlaşmıştır (Ayhan ve ark., 2009; Wray ve Ramaswamy, 2015).

Kurutmanın gıdaların raf ömrünü uzatması, ağırlık ve hacimlerini düşürmesi ve böylece taşıma ve depolama maliyetlerini azaltması gibi pek çok avantajları vardır. Literatürde kurutma çalışmaları; kurutma kinetiğinin geliştirilmesi, enerji tüketiminin azaltılması ve son ürün kalitesinin iyileştirilmesi gibi farklı alanlarda yoğunlaşmaktadır (Joardder ve ark., 2022).

Gıda proseslerinde meydana gelen biyokimyasal ve fiziksel reaksiyonlar belirli bir hızda ve belirli bir kinetikte ilerlemektedir. Kinetik modelleme bu reaksiyonların nicel olarak tanımlanmasını ve mekanizmalarının daha iyi anlaşılabilmesini sağlamaktadır. Kurutma kinetiğinin belirlenmesine, uygun kurutma yönteminin seçilmesi, kurutma parametrelerinin optimize edilmesinde, kurutma proseslerinin ölçeklendirilmesi, kurutma sürecinin kontrolünün sağlanması gibi pek çok alanda ihtiyaç duyulmaktadır. Kurutucu tasarlama, geliştirme veya optimize etme çalışmalarında dehidrasyon sürecinin matematiksel olarak modellenmesi büyük önem arz etmektedir (van Boekel ve Tijssens, 2001).

Bu çalışmada gökkuşuğu alabalığı örnekleri mikrodalga ile kurutulmuş olup kurutulan balık örnekleri iki gruba ayrılmıştır. Birinci grup örneklere herhangi bir ön işlem uygulanmamıştır. İkinci grup örnekler ise; %20 tuz çözeltisinde 2 saat süreyle bekletilerek yaş tuzlama uygulanmıştır. Her iki grup örnek de; 90, 180, 360 ve 600 W mikrodalga güçlerinde kurutulmuştur. Böylece; hem osmotik dehidrasyonun hem de mikrodalga gücünün kurutma üzerindeki etkileri tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışmanın birinci bölümünde kuruma davranışlarının incelenmesi ve matematiksel modelleme yer almıştır. İkinci bölümünde ise; kurutulan örneklerde fizikokimyasal analizler gerçekleştirilmiştir. Bunun için kurutulmuş örneklerde; renk, su aktivitesi, rehidrasyon oranı, tekstür profil analizi ve duyu analizi gerçekleştirilmiştir. Böylece balığın mikrodalga kurutma davranışı ve mikrodalga kurutmanın balığın bazı kalite özelliklerine

olan etkileri birlikte incelenmiş ve böylece kapsamlı bir kurutma çalışması yapılması hedeflenmiştir.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Balık

Balık; insan beslenmesinde gerekli makro ve mikro besin maddelerini bünyesinde barındıran önemli bir protein kaynağıdır. Taze balık ortalama; %70-84 su, %15-24 protein, %0.1-22 yağ ve %1-2 seviyesinde çeşitli vitaminleri (A, D, E, B12, folik asit) ve mineralleri (kalsiyum, magnezyum, demir, bakır, çinko, iyot, selenyum) içermektedir. Balık ürünleri aynı zamanda insan sağlığı için olumlu etkileri olduğu bilinen uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitlerini (EPA; 20:5, DHA; 22:6, DPA; 22:5) ve fosfolipitleri yüksek oranda içermektedir. Yapılan çalışmalar balık tüketiminin koroner kalp hastalıklarına bağlı ölüm riskini azalttığını, diyabet riskini düşürdüğünü çocuklarda görsel ve bilişsel gelişimi desteklediğini gebelik ve öncesinde düzenli balık tüketiminin yeni doğanların sinirsel gelişimine olumlu katkıda bulunduğunu göstermektedir (FAO/WHO, 2010; Shahriar ve ark., 2022; Tacon ve ark., 2020).

Balığın işlenmesi ve depolanması süreçlerinde teknolojik gelişmeler ve tüketicilerin balığın sağlık üzerine olumlu etkileri konusunda daha bilinçli hale gelmeleri ile balık tüketimi günden güne artmaktadır. 2018 yılı itibariyle dünyada 179 milyon ton balık üretimi gerçekleşmektedir. Bu miktarın 156 milyon tonu ise sofralarımıza ulaşmıştır. Gıda ve Tarım Örgütü'nün (FAO) 2018 yılında hazırlamış olduğu rapora göre dünyada balık tüketimi 1990 yılından beri %112 artış göstermiştir (FAO., 2020). Türkiye İstatistik Kurumunun 2024 yılında yayınladığı rapora göre ülkemizde su ürünleri tüketimi 2023 yılında bir önceki yıla göre %18.6 artarak 1 milyon 921 ton olarak gerçekleşmiştir (Anonim, 2024).

2.1.1. Gökkuşığı alabalığı

Gökkuşığı alabalığı, Pasifik Somonu, Atlantik Somonu ve diğer bazı alabalık türleri ile birlikte Salmonidae familyasına ait bir balık türüdür. Gökkuşığı alabalığı; Alaska'dan, Meksika'ya kadar uzanan bölgede Kuzey Amerika'nın Pasifik Okyanusu drenajlarına özgü bir balıktır (Webster ve Lim, 2002). 1998 yılında Amerikan Balıkçılık Topluluğu bu türü Atlantik somondan ve diğer alabalıklardan ayırmak için **Oncorhynchus** olarak adlandırmışlardır. Daha sonraları Gökkuşığı alabalığının, Kamçatka alabalığı ile aynı tür olduğu anlaşılmış ve Mykiss adı eklenmiştir. Böylece

bugün dünyaca kabul edilen *Oncorhynchus mykiss* tür adını almıştır (Gall ve Crandell, 1992).



Şekil 2.1. Gökkuşığı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*)

Gökkuşığı alabalığı; yumurtlaması kolay, hızlı büyüyen, farklı ortamlara ve sıcaklıklara kolaylıkla adapte olabilen dayanıklı bir türdür. Gökkuşığı alabalıkları, 12 °C ile 25 °C arasındaki sıcaklıkları tolere edebilmektedir. Optimum gelişme sıcaklıkları ise 15-20 °C'dir. Gökkuşığı alabalığı yetiştirilmesinde en önemli sınırlayıcı faktör, oksijen miktarıdır. Düşük oksijen miktarın toleransı olmayan bu türün gelişmesi için 5-7 ppm aralığında oksijen seviyesine ihtiyaç vardır (Fornshell, 2002).

Doğada yılda bir kez yumurtlayan gökkuşığı alabalıklarından (Ocak-Mayıs) seçici üreme ile çiftliklerde tüm yıl yumurtlayabilen türler geliştirilmiştir (FAO - *Oncorhynchus mykiss*, 2009). Salmonoidler dünya üzerinde yetiştiriciliği yapılan en önemli balıklar arasında yer almaktadır. Bu aile içerisinde gökkuşığı alabalığı et kalitesi ve yetiştirme kolaylığı bakımından öne çıkmaktadır. Kuzey pasifik okyanusuna ait gökkuşığı alabalığı bu özellikleri nedeniyle günümüzde Amerika kıtasının yanı sıra Afrika, Uzakdoğu, Avustralya ve Yeni Zelanda gibi dünyanın farklı noktalarında da yetiştirilmektedir (Adeli, 2013).

Gıda ve Tarım Örgütü'nün verilerine göre 2020 yılında üretilen alabalık miktarı 981.239 tondur. Bu üretimin %98'ini Gökkuşığı alabalığı oluşturmaktadır. Ülkemizde ise Gökkuşığı alabalığı, Çipura ve Levrekten sonra 154 bin 6 ton ile en çok yetiştiriciliği yapılan balık türüdür (Anonim, 2024). Türkiye, Avrupa Birliği ve İran ile birlikte dünyanın önemli Gökkuşığı alabalığı üreticileri arasında sayılmaktadır (Anonim, 2023).

2.1.2. Kurutulmuş balık tüketimi

Balık yüksek nem ve doymamış yağ içeriğine sahip olduğundan mikrobiyal ve enzimatik bozulmaya oldukça yatkındır. Bu bozulmaların önüne geçilebilmesi için uygun muhafaza koşullarının sağlanması gerekir. Bu koşullar soğuk zincirin korunması, balığın mekanik hasar alınmasının önüne geçecek uygun taşıma koşullarının ve ambalajlamanın sağlanması gösterilebilir (Tsironi ve Taoukis, 2018). Bunların yanı sıra yıllar içerisinde balığın raf ömrünün uzatılmasına yönelik tuzlama, tütsüleme, kürlenme, kurutma gibi çeşitli uygulamalar da gerçekleştirilmiştir (Ikutegbe ve Sikoki, 2014; Samuel Hadgu, 2018; Shahriar ve ark., 2022).

Balık; güneşte kurutma, tuzlama, fermantasyon, tütsüleme gibi farklı yöntemler ve bunların kombinasyonları ile muhafaza edilebilmektedir. Bu şekilde işlem görmüş ve oda sıcaklığında depolanabilir hale getirilmiş olan balıklar, kurutulmuş balık kategorisinde incelenmektedir. Kurutma ile balıklar dehidre olur ve hacimleri küçülür. Böylece taşınması ve depolanması daha kolay hale gelir. Su aktivitesi, kurutma ile düşüğünden balığın raf ömrü uzar. Bu durum sezon balıklarının yıl boyu tüketilebilmesine imkân verir (Belton ve ark., 2022).

Farklı kültürler tarih boyunca farklı yöntemler ile balık kurutulmuşlardır. Örneğin Norveç'te; klipfisk (tuzlanmış ve kurutulmuş morina balığı) ve stockfish (tuzlanmadan kurutulmuş morina balığı) yaygın olarak tüketilmektedir. Başları kesilen ve içleri temizlenen morina balıkları eğer tuzlanacaksa 3-4 hafta tuzda bekletilerek veya tuzlama yapılmadan 0-2 °C'de 3 ay süreyle kurutulur. Daha sonra kuruyan balıklar 2-12 ay süre ile olgunlaştırıldıktan sonra tüketime hazır hale gelirler. Çin, Bangladeş, Hindistan gibi ülkelerde yöresel balıklar tuzlanarak veya baharatlanarak güneşte kurutulmaktadır. Afrika ülkelerinde ve bazı Asya ülkelerinde tütsüleme ile balık kurutma da oldukça yaygındır. Tütsüleme ile kurutmada uygulanan sıcaklık 40-90 °C arasında değişmektedir. Ayrıca tütsüleme ile kurutmada tütsü bileşenleri yardımı ile balıklara özgün bir aroma kazandırılmış olur. Örneğin, Japonya'da Yazılı Orkinos balığının (*Euthynnus alletteratus*) tütsülenerek kurutulması ile arabushi adlı geleneksel ürün elde edilmektedir.



Şekil 2.2. Klipfisk



Şekil 2.3. Arabushi

2.2. Kurutma

Kurutma, gıdalardan suyun uzaklaştırılması işlemi olarak tanımlanabilir. Kurutma işlemi ile gıda bileşiminde bulunan serbest formdaki su uzaklaştırılır. Kurutma temel olarak, bir kütle transferidir. Burada itici gücü, örnek nemi ve denge nemi arasındaki fark sağlamaktadır. Kurutma; sıcaklık, kurutma havasının hızı, kurutma yüzey alanı, ortamın ve örneğin nem içeriği ve ortam basıncı gibi birçok parametreden etkilenmektedir. Bununla birlikte kurutma esnasında gıdalarda esmerleşme reaksiyonları, lipid oksidasyonu gibi kimyasal değişimler; rehidrasyon, büzülme, kabuk bağlama gibi fiziksel değişimler ile besin ögelerinde kayıplar meydana gelebilmektedir. Bu değişimler; kurutulan gıda maddesine, kurutma yöntemine ve belirlenen kurutma koşullarına göre değişmektedir (Prabhakar ve Raju, 2000).

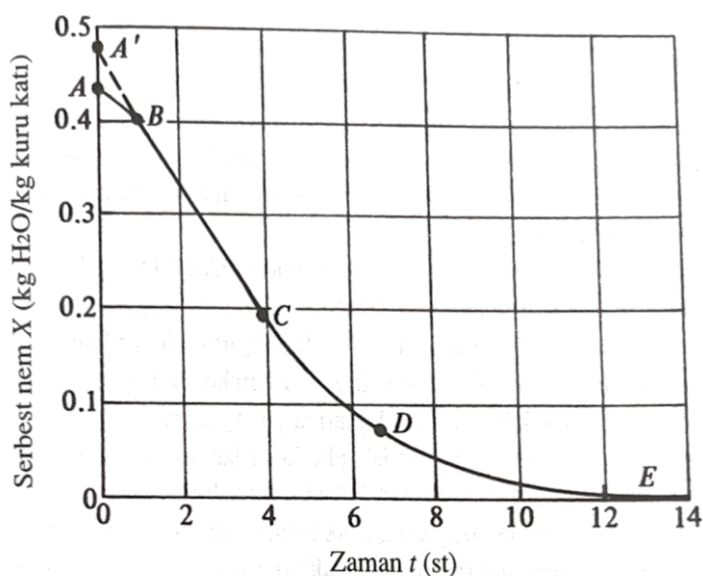
Kurutma havasının sıcaklığı arttıkça, kuruma hızı artmakta fakat sıcaklığın fazla yüksek olması örneklerde kabuk oluşumuna bağlı çatlama ve şekil bozukluklarına neden olmaktadır. Bu nedenle kurutma sürecinde optimum kurutma sıcaklığının belirlenmesi önemlidir. Kurutmayı etkileyen bir başka faktör ise; kurutulan gıdanın yüzey alanıdır. Kurutma aynı zamanda bir kütle transferi olayı olduğundan kurutulan gıdanın yüzey alanı arttıkça kuruma hızı da artar. Kurutma havasının neminin azalması örnek içerisindeki bağıl nemin göçünü hızlandıracağından, kurutma hızını artırıcı özellik göstermektedir. Ortam basıncı da, kuruma hızını etkileyen faktörlerden biridir. Vakum altında kurutma ile ortam basıncı düşürülerek suyun kaynama noktasının 100 °C'nin altına düşürülmesi ile kurutma hızı artırılabilir (Araya-Farias ve Ratti, 2008).

Kurutma esnasında gıdalardan yüzeye doğru yalnızca su hareketi olmamaktadır. Gıda içerisindeki nemin yüzeye doğru hareket etmesiyle suda çözünen bazı bileşenler de

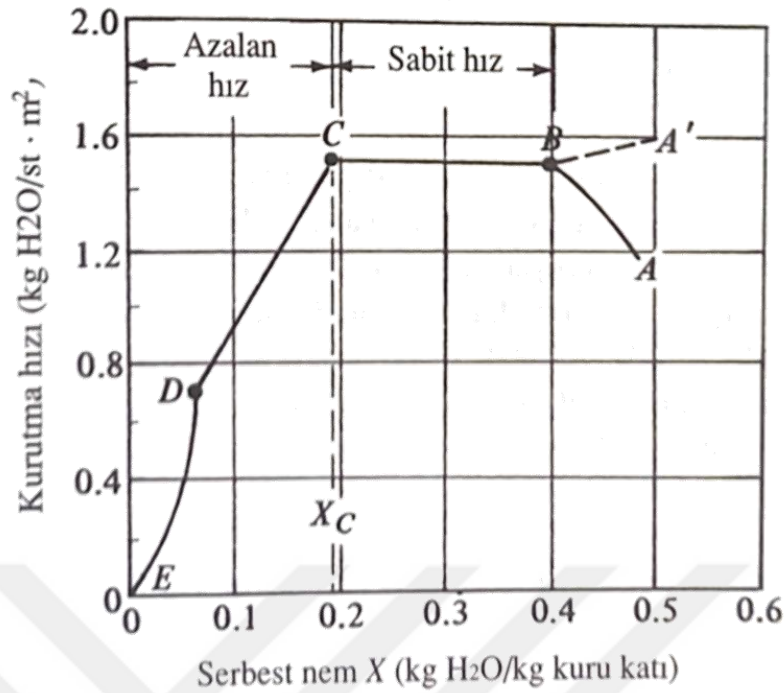
yüzeğe doğru taşınmaktadır. Böylece gıda yüzeyinde kuru madde birikimi gerçekleşmiş olur. Kuruma esnasında gerçekleşen bir başka durum ise kabuk bağlamadır. Kurutma parametrelerinin yanlış seçilmesi sonucu yüksek sıcaklığa maruz kalan ürün yüzeyi kabuk bağlar. Yüzeydeki kabuk örnek içerisindeki nemin çıkışını güçleştirir ve kuruma hızı düşer, örneğin iç kısımlarında tam olarak kuruma sağlanamaz. Kurutma sırasında yapıdan uzaklaşan su hücrelerin büzülmesine, bu da kurutulan gıdaların hacminin küçülmesine ve şeklinin bozulmasına neden olmaktadır. Büzülme gibi yapısal bozulmaların fazla olması kurutulmuş gıdaların rehidrasyon kapasitesinin de düşmesine neden olmaktadır. Kurutma esnasında meydana gelen enzimatik ve enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları, son ürünün renginde başlıca etmen olarak karşımıza çıkmaktadır. Lipit oksidasyonu ise; gıdalarda istenmeyen ransit tat oluşumuna ve yağda çözünen vitamin ve pigmentlerin kaybına neden olur (Araya-Farias ve Ratti, 2008).

2.2.1 Kurutma mekanizması

Gıdaların kuruma davranışı nem kaybının zamana göre fonksiyonunun ölçülmesi ile tanımlanabilir (Şekil 2.4.). Kurutma esnasında genellikle; sabit hız kuruma periyodu ve düşen hız kuruma periyodu olarak iki kurutma periyodu meydana gelmektedir. Sabit hız periyodunda; yüzeyde bulunan suyun buharlaşması oluşurken, düşen hız periyodunda ise; nem farkından kaynaklı sıvı difüzyonu etkilidir (Chukwunonye ve ark., 2016).



Şekil. 2.4. Kurutma sürecinde nem içeriğinin zamana karşı değişimi (Geankoplis, 2015).



Şekil. 2.5. Kurutmada kuruma hızının nem içeriğine bağlı değişimi (Geankoplis, 2015)

Şekil 2.5.'te kuruma hızının nem içeriğine bağlı değişimi görülmektedir. Grafikte A noktası kurutma öncesindeki başlangıç nem içeriğini ifade etmektedir. Bu noktada örneğin başlangıç sıcaklığı, kurutma sıcaklığından düşük olduğundan hızlı bir buharlaşma gerçekleşecektir. B sıcaklığına gelindiğinde yüzey denge sıcaklığına ulaşmıştır. Bu periyod oldukça kısa olduğundan genellikle kurutma süresine dahil edilmez. B ve C arasında grafikte kuruma hızının sabit olduğu görülmektedir. Bu periyod sabit hız periyodu olarak adlandırılmaktadır. Katı gıdalarda yüzeyde ince bir nem tabakası bulunmaktadır. Kurutma esnasında başlangıçta bu nem uzaklaşmaktadır. Yüzeyde bulunan bu nem herhangi bir katıya bağlı olmadan buharlaşmaktadır. Bu da hızın sabit kalmasına neden olmaktadır. Daha gözenekli yapıya sahip gıdalar için sabit hız periyodunda yüzeye doğru nem difüzyonu gerçekleşir, böylece yüzeyde daimî bir nem tabakası meydana gelmektedir.

Kuruma ilerledikçe yüzeyde film oluşumunu sağlayacak yeteri kadar nem kalmaz. Bu aşamadaki nem içeriği *kritik nem içeriği* olarak adlandırılmaktadır ve Şekil 2.5.'te C noktasını ifade etmektedir. Bu aşamadan sonra kurutma hızı sürekli olarak azalır. D noktasına gelindiğinde gıda yüzeyi tamamen kurumıştır. Bu aşamada ikinci azalan hız periyodu başlamaktadır. Bu aşamada buharlaşma daha çok iç kısımlarda

gerçekleşmektedir (Geankoplis, 1978; Grau ve ark., 2014; Inyang, Oboh, Etuk, ve ark., 2018).

2.2.2. Kurutmanın matematiksel modellenmesi

Kinetik modelleme, bir sistemin davranışının öngörülebilmesi için oluşturulan matematiksel yöntemlerdir. Geliştirilen bu modellerin gerçeği yansıtırma derecesi ise yapılan analizlerden alınan deneysel sonuçlar ve modelden elde edilen sonuçların kıyaslanması ile mümkün olmaktadır. Gıda kurutma çalışmalarının önemli bir kısmını kurutma kinetiği oluşturmaktadır. Kurutma kinetik modelleri; gıdaların kuruma davranışının açıklanması, nem transfer mekanizmalarının anlaşılması, ön işlemlerin kurutmaya etkilerinin belirlenmesi, kurutucu tasarımı ve kurutma parametrelerinin optimize edilmesi gibi birçok çalışmada kullanılmıştır (Amer ve ark., 2023)

Kurutma eğrilerini tanımlayan modeller; teorik, yarı teorik ve ampirik modeller olarak üç gruba ayrılmaktadır. Teorik modeller Fick yasasından türetilmiştir ve yalnızca nem transferindeki iç kuvvetleri baz alır. Yarı teorik modeller ise; Fick yasasının yanı sıra Newton' un soğuma yasasını da kapsamaktadır. Bu modellerde; gıda ile kurutucu hava arasındaki nem transferi yani dış kuvvetleri baz almaktadır. Yarı teorik modellerin deneysel veriler ile kullanılması daha kolaydır. Ampirik modeller ise; yarı teorik modellere benzer özellikler göstermektedir. Kinetik çalışmalarda amaç bu modellerin kullanılarak nem oranı-zaman verilerinin tanımlanmasıdır. Modeller deneysel verilere uydurularak karşılaştırılır ve deneysel verileri en iyi açıklayan model belirlenir (Kutlu, 2015; Inyang ve ark., 2018).

2.2.3. Mikrodalga kurutma

Mikrodalgalar; 300 MHz - 300 GHz frekans aralığında ve 1 mm - 1 m dalga boyu arasında bulunan iyonize olmayan elektromanyetik dalgalardır. Ev tipi mikrodalga cihazları; 2.45 GHz frekansta çalışırken, endüstriyel boyutlarda kullanılan mikrodalga cihazlarının çalışma aralığı 915 Mhz ile 2.45 GHz arasında değişmektedir (Datta ve Davidson, 2000).

Mikrodalga ısıtmanın; dipolar rotasyon ve iyonik kondüksiyon olmak üzere iki temel ısıtma mekanizması bulunmaktadır. Dipolar rotasyonda; gıda içerisinde bulunan polar özellik gösteren su molekülleri üzerlerine düşen elektromanyetik dalgaların enerjisi

ile yüklenir ve salınım hareketi yaparlar. İyonik kondüksiyon ise; gıda sistemi içerisinde bulunan serbest iyonların, mikrodalga enerjisi ile hareketini ifade etmektedir. Her iki mekanizmada da moleküllerin hareketi ısı enerjisinin oluşmasını sağlamaktadır (Chandrasekaran ve ark., 2013).

Mikrodalga kurutma; mikrodalga gücü, gıdanın kütlesi, gıdanın dielektrik özellikleri, başlangıç sıcaklığı gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Mikrodalga gücünün artması kuruma hızını artırırken, gıdanın kütlesi arttıkça ısınma için absorbe edilmesi gereken mikrodalga miktarı artacağından kuruma hızı azalır. Dielektrik özellikler, bir gıdanın ne kadar mikrodalga enerjisini absorbe edebildiği ve bunun ne kadarını ısıya dönüştürebileceğini ifade etmektedir. Mikrodalga kurutmada; başlangıç sıcaklığının yüksek olması kurutma hızının da artmasına neden olmaktadır (Renshaw, 2017).

Mikrodalga ile kurutmada kuruma işlemi konvansiyonel yöntemlerde olduğu gibi, gıdanın dış yüzeyinden iç yüzeyine doğru gerçekleşmemektedir. Mikrodalga ile kurutmada ısınma hacimsel olarak sağlandığından, kuruma hızı geleneksel yöntemlere göre oldukça düşük olmaktadır. Mikrodalga ile ısıtmanın en önemli dezavantajı artan mikrodalga gücü ile ısınmanın homojen olarak sağlanamaması ve örneklerde soğuk ve sıcak noktaların oluşmasıdır. Bu durumun önüne geçmek için kombine mikrodalga kurutma yöntemleri kullanılmakta veya çeşitli ön işlemler uygulanmaktadır (Kumar ve Karim, 2019).

Literatürde balığın mikrodalga kurutma kinetiği ve mikrodalga kurumanın balığın fizikokimyasal özelliklerine etkisi ile ilgili çeşitli çalışmalar bulunmaktadır.

Fu ve ark. (2015); Gümüş sazanını sıcak hava, mikrodalga ve vakum mikrodalga ile kurutarak farklı kurutma yöntemlerinin, lipit oksidasyonu üzerine etkilerini araştırmışlardır. Mikrodalga ve vakum mikrodalga yöntemi ile kurutulan örneklerin TBA miktarlarının, sıcak hava ile kurutulan örneklere göre çok daha düşük olduğunu belirlemişlerdir.

Duan ark. (2005); Kocabaş sazanını mikrodalga ve sıcak hava-mikrodalga kombine kurutma yöntemleri ile kurutarak, uygun kurutma modelini araştırmışlardır. Her iki yöntemde de kurutmayı en iyi açıklayan modelin, Handerson-Pabis modeli olduğunu saptamışlardır.

Darvishi ve ark. (2013); Sardalye balığını farklı mikrodalga güçlerinde kurutmuşlar ve kurutma davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmaya göre kurutmayı en iyi tanımlayan kinetik model, Midilli modeli olarak bulunmuştur.

Bellagha ve ark. (2007); kuru ve yaş tuzlama yaptıkları Sardalye balıklarını konvansiyonel yöntemler ile kurutmuşlar ve farklı tuzlama yöntemlerinin kurutma hızına etkilerini araştırmışlardır. Buna göre kuru tuzlama yapılan örneklerin kurutma hızının çok daha yavaş ve kurutma sonrası nem miktarının daha yüksek olduğunu bulmuşlardır.

Ismail ve Kocabay (2018); Gökkuşığı alabalığı örneklerine mikrodalga ve infrared kurutma uygulamışlardır. Mikrodalga kurutmanın, kurutma süresini kısaltmada daha başarılı olduğunu ve renk değerlerinde infrared kurutmaya kıyasla daha az değişim olduğunu bulmuşlardır. Çalışma sonuçlarına göre kurutma davranışını en iyi açıklayan model; Logaritmik modeldir.

Wang ve ark. (2019a), Tilapia balıklarını sıcak havayla, vakum mikrodalga, tuzlama-mikrodalga ve tuzlama-vakum mikrodalga yöntemleri ile kurutmuşlardır. Tuzlama işleminin, kurutma süresini kısalttığını fakat protein oranında azalmaya neden olduğunu bulmuşlardır.

Wei ve ark. (2020); Tilapia balıklarını mikrodalga, sıcak hava ve mikrodalga-sıcak hava kombinasyonu ile kurutmuşlardır. Kuruttukları örneklerin kuruma karakteristiklerini, rehidrasyon oranını, renk, tekstür ve enerji tüketimlerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda en iyi rehidrasyon oranı değerlerini, kombine kurutma ile elde etmişlerdir. Kombine kurutmanın tekstür değerlerini iyileştirdiği ifade edilmiştir. Mikrodalga ile kurutmada, örneklerde yanma görülmüş, bu durum renk değerlerini olumsuz etkilemiştir. Çalışma sonunda kombine kurutmanın ürün kalitesini olumlu yönde etkilediği ve enerji tüketimini azalttığı bildirilmiştir.

Özyalcın ve ark. (2023); Levrek balığını; fırın, infrared ve mikrodalga yöntemleri ile kurutmuşlar ve kurutulan örneklerde kurutma kinetiğini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda levreğin fırın ile kurutulmasında kurutma davranışını en iyi açıklayan model Midilli modeli, infrared ile kurutulmasını en iyi açıklayan model Aghbashlo modeli ve mikrodalga ile kurutulmasını en iyi açıklayan model Alibaş olarak belirlemişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Analizlerde kullanılan alabalık (*Oncorhynchus mykiss*) örnekleri Konya'da bulunan bir süpermarketten temin edilmiştir. İzlenebilir ürün etiketine göre alabalıklar Adana'nın Kozan ilçesine bağlı Metin Kılınçlı Eğner Alabalık tesislerinden temin edilmektedir. Balıklar marketten fileto haline getirilmiş biçimde alınmış, soğuk zincirde korunarak laboratuvara getirilmiştir. Laboratuvara getirilmiş örnekler, analize alınana kadar +4 °C'deki buzdolabında muhafaza edilmiştir.

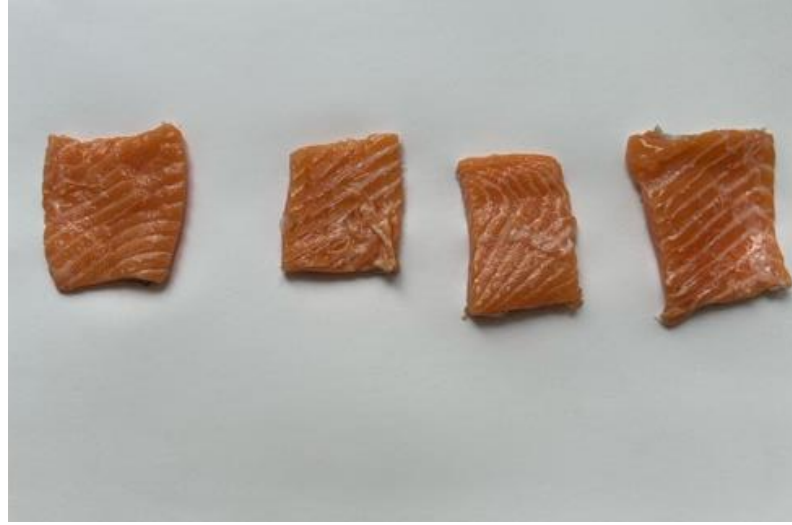


Şekil 3.1. Fileto haline getirilmiş Gökkuşuğu alabalığı

3.2. Yöntem

3.2.1. Örneklerin analize hazırlanması

Fileto haline getirilmiş balıkların kılıçıkları bir cımbız yardımıyla uzaklaştırılmıştır. Filetoların bir kısmı hammaddede gerçekleştirilecek olan fizikokimyasal analizler için ayrılmıştır. Kalan filetolar mikrodalga kurutma için 0.5 cm, eşit kalınlıkta ve 20 ± 0.5 g olacak şekilde eşit ağırlıkta olmasına dikkat edilerek dilimlere ayrılmıştır.



Şekil 3.2. Kurutma için eşit kalınlıkta olacak şekilde dilimlenmiş alabalık örnekleri

3.2.2. Deneme planı

Çalışmada kullanılan balık filetolarının öncelikle farklı noktalarından renk değerleri ölçülmüştür. Daha sonra filetonun farklı bölümlerinden alınan örnekler hammaddede kompozisyon tayini için gerçekleştirecek olan fizikokimyasal analizler için ayrılmıştır. Balık filetolarında nem, yağ, protein, kül içerikleriyle, su aktivitesi değerleri belirlenmiştir.

Kurutmada kullanılacak olan örnekler eşit kalınlık ve eşit ağırlıkta olmalarına dikkat edilerek dilimlere ayrılmıştır. Dilimlere ayrılan örneklerin yarısı herhangi bir ön işlem uygulanmadan 90 W, 180 W, 360 W ve 600 W olacak şekilde dört farklı mikrodalga gücü seviyesinde kurutulmuştur. İkinci grup örneklerde ise balık dilimleri %20'lik tuz çözeltisinde 2 saat bekletilerek osmotik dehidrasyon işlemi uygulanmıştır (Bellagha ve ark., 2007; Wang ve ark., 2019). Osmotik dehidrasyon uygulanan örnekler sonrasında 90 W, 180 W, 360 W ve 600 W olacak şekilde dört farklı mikrodalga gücü seviyesinde kurutulmuştur.

Kurutma kinetiği çalışılan örneklerde; 90 W için her 60 saniyede bir, 180 W için her 45 saniyede bir, 360 W için her 30 saniyede bir ve 600 W için her 15 saniyede bir hassas terazi ile ağırlık ölçümü yapılmıştır. Analiz için, hassas terazinin yanındaki mikrodalga fırından alınan örneğin her bir tartımı yapılmıştır.

Kurutulan örneklerde; renk, su aktivitesi, tekstür ve rehidrasyon oranı analizleri ile duyusal analiz gerçekleştirilmiştir. Renk, su aktivitesi ve rehidrasyon oranı analizleri

kurutmanın hemen sonrasında gerçekleştirilmiştir. Tekstür analizi ve duyu analizi yapılacak örnekler, analize kadar vakum altında depolanmıştır.

Yapılan analizler 3 tekrür olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Çalışma her bir tekrürde üç paralel olacak şekilde yürütülmüştür. Kurutma kinetiği analizleri Python 3.9 programlama dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İstatistik analizler ise; RStudio (versiyon 2024.04.0 +735) programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.3. Analiz yöntemleri

3.2.3.1 Nem tayini

Laboratuvara getirilen taze balık filetoalarının nem içerikleri saptanmıştır. Analiz için örneklerin her birinden yaklaşık 5 g darası bilinen kaplara alınarak tartım kaydedilmiş sonrasında 105 °C'ye ayarlanmış etüvde sabit tartıma gelene kadar tutulmuştur. Çıkarılan örnekler desikatörde soğutulduktan sonra tartılmıştır. Örnekteki nem miktarı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (AOAC, 2003);

$$\% \text{ Nem} = \frac{(M1+M2)-M3}{M2} * 100 \quad (3.1)$$

M1: nemi uzaklaştırılmış kabın darası (g)

M2: tartılan örnek miktarı (g)

M3: kurutma sonrası kap + örnek ağırlığı (g)

3.2.3.2 Kül tayini

Analizlerde kullanılan balık filetoalarının kompozisyonunun belirlenebilmesi amacıyla kül tayini gerçekleştirilmiştir. Analiz için yaklaşık 2 g örnek önceden sabit tartıma getirilmiş porselen krozelere tartılarak tartım kaydedilmiştir. Örnekler 525 °C'ye ayarlanmış kül fırınında yakma işlemi tamamlanana kadar tutulmuştur. Kül fırınından çıkarılan örnekler, desikatörde soğutulduktan sonra son tartım alınmıştır. Örnekteki kül miktarı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (AOAC, 2003);

$$\% \text{ Kül} = \frac{M3-M1}{M2} * 100 \quad (3.2)$$

M1: kabın darası (g)

M2: başlangıçta tartılan örnek miktarı (g)

M3: kül+kabın darası (g)

3.2.3.3. Su aktivitesi (a_w) tayini

Taze ve kurutulmuş alabalık filetolarının su aktiviteleri AquaLab 4T su aktivitesi cihazıyla tespit edilmiştir. Homojen hale getirilen örnekler, cihazın örnek kabına yerleştirilmiş, kapağı kapatılarak cihazın monitöründen okunan değerler kaydedilmiştir (Mrak ve ark., 1978).

3.2.3.4. Protein tayini

Örneklerden 1-2 g tartılarak Kjeldahl tüpüne aktarılmıştır. Tüp içerisine katalizör tablet (K_2SO_4 : $CuSO_4$) atılmış ve 25 ml derişik sülfürik asit ilave edilerek renk tamamen berraklaşınca kadar yakma ünitesinde örneğin asitle parçalanması sağlanmıştır. Yakma işleminden sonra distilasyon ünitesine yerleştirilen örnekler, borik asit (%3) ve sodyum hidroksit (%32) çözeltileri ile distile edilmiştir. Daha sonra toplanan distilat hidroklorik asit çözeltisi ile titre edilerek ve protein miktarı (% protein = % N x 6.25) hesaplanmıştır (AOAC, 2003).

3.2.3.5. Yağ tayini

Örneklerden yaklaşık 5 g alınarak ekstraksiyon kartuşuna yerleştirilmiştir ve 6-8 saat süreyle dietil eterle ekstraksiyon yapılmıştır. Ekstraksiyon sonunda balon içerisinde toplanan yağ ve çözücü geri soğutucu yardımı ile ayrılmıştır. Sonrasında içerisinde yağ bulunan balon etüvde 125 °C'de 30 dk bekletilerek balonda kalan dietil eter uçurulmuştur. Balonlar soğutulduktan sonra tartım alınmış. Örnekteki yağ miktarı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (AOAC, 2003);

$$\%Yağ = \frac{M2-M1}{M3} * 100 \quad (3.3)$$

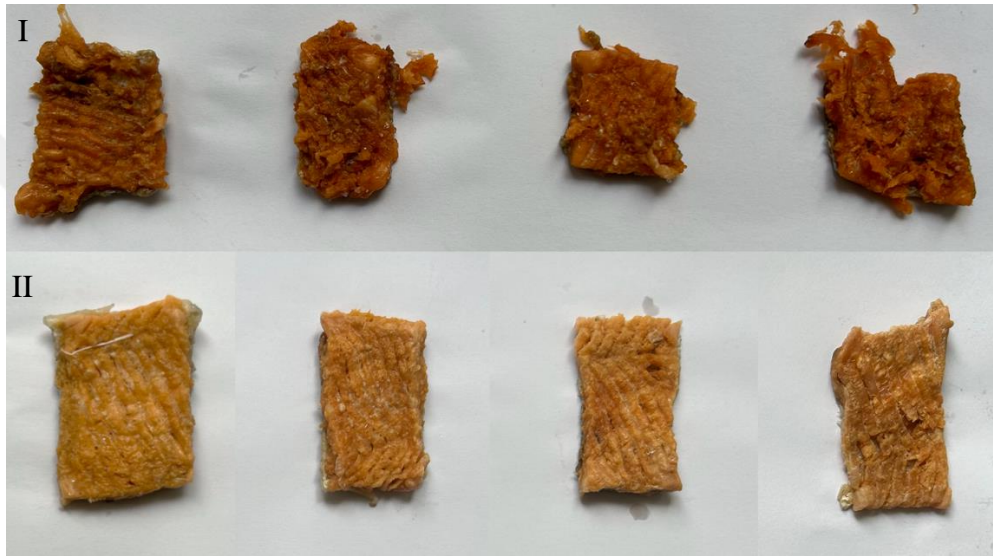
M1: kabın darası

M2: son durumda yağ + kabın ağırlığı

M3: örnek miktarı

3.2.3.6. Mikrodalga kurutma

Mikrodalga kurutma için balık filetoları 0.5 cm kalınlıkta ve 20 ± 0.5 g ağırlıkta olacak şekilde eşit dilimlere ayrılmıştır. Örnekler; ev tipi bir mikrodalga fırın (Bosch HMT84G451, Almanya) ile 90, 180, 360 ve 600 W güçlerinde kurutulmuştur. Sırasıyla 60 s, 45 s, 30 s, ve 15 s, aralıklarla örneklerin ağırlıkları hassas terazi (OHAUS PA224C) ile tartılmıştır.



Şekil 3.3. I. sırada ön işlem olmadan, II. sırada ise %20 tuz çözeltisi ile ön işlem uygulandıktan sonra sırasıyla; 90 W, 180 W, 360 W ve 600 W mikrodalga güçleri ile kurutulmuş alabalık örnekleri

Örneklerin nem içeriği, nem oranı ve kuruma hızı aşağıda verilen eşitlikler ile hesaplanmıştır;

$$M = \frac{M_w}{M_d} \quad (3.4)$$

M: nem içeriği (kg su/ kg kuru madde)

M_w : örnek içerisinde bulunan nem miktarı (kg)

M_d : örnekte bulunan kuru madde miktarı (kg)

$$MR = \frac{M}{M_0} \quad (3.5)$$

MR: Nem oranı

M: herhangi bir anda örnekteki nem miktarı (g su/ g kuru madde)

M₀: kurutma öncesi örneğin içerdiği nem miktarı (g su/ g kuru madde)

$$DR = \frac{M(t+dt) - M_t}{dt} \quad (3.6)$$

DR: Kurutma Hızı (kg su / kg kuru madde x dk)

M_t: t anındaki nem içeriği (kg su/ kg kuru madde)

M_{t+dt}: t+dt anındaki nem içeriği (kg su/ kg kuru madde)

3.2.3.7. Matematiksel modelleme

Deneysel veriler kullanılarak nem içeriği ve kuruma süresi arasındaki ilişki, literatürde gıdalar için kullanılan 7 farklı kurutma modeli test edilmiştir. Test edilen modeller; Çizelge 3.1.' de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kurutma verilerinin matematiksel modellenmesi için kullanılacak olan ince tabaka kurutma modellerine ait denklemler

Model	Denklem	Kaynak
Midilli	$MR = a * (-kt^n) + bt$	Midilli ve ark., 2007
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	Page, 1949
Henderson and Pabis	$MR = a * \exp(-kt)$	Doymaz, 2007
Logarithmic	$MR = a * \exp(-kt) + b$	Yaldiz ve Ertekin, 2007
Thompson	$t = a \ln(MR) + b(\ln(MR))^2$	Pardeshi ve ark., 2009
Parabolic	$MR = a + bt + ct^2$	Thompson ve ark., 1968
Wang and Sing	$MR = 1 + at + bt^2$	Wang ve Singh, 1978

*Denklemlerde, *a*, *b*, *k* ve *n* model katsayılarını; *t*, zamanı ifade etmektedir.

Kurumayı en iyi tanımlayan modelin belirlenmesi için belirleme katsayısı (R^2), ki-kare değeri ve ortalama karekök hatası (RMSE) değerleri aşağıda verilen eşitlikler ile hesaplanmıştır. R^2 değerinin yüksek, ki-kare ve RMSE değerlerinin düşük olması modelin kurutma verilerine olan uyumunu göstermektedir (Ertekin ve Firat, 2017).

$$R^2 = 1 - \left[\frac{\left(\sum_{i=1}^{\{N\}} (MR_{\{deneysel\}} - MR_{\{tahmini\}})^2 \right)}{\left(\sum_{i=1}^{\{N\}} (MR_{\{deneysel\}} - MR_{\{deneysel\}})^2 \right)} \right] \quad (3.7)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} * \sum_{i=1}^{\{N\}} (MR_{\{tahmini\}} - MR_{\{deneysel\}})^2} \quad (3.8)$$

$$\chi^2 = \left[\frac{\left(\sum_{i=1}^{\{N\}} (MR_{\{deneysel\}} - MR_{\{tahmini\}})^2 \right)}{(N - n)} \right] \quad (3.9)$$

Kuruma esnasında gıda içerisinde bulunan nemin uzaklaşması ile bir kütle transferi meydana gelir. Etkin difüzyon katsayısı bu kütle transferinin açıklanmasında kullanılmaktadır. Efektif difüzyon katsayısı Fick'in 2. difüzyon eşitliğinin sadeleştirilmesi ile aşağıdaki verilen eşitlikteki gibi hesaplanmaktadır. Burada L numunenin yarı kalınlığını (cm) ifade etmektedir.

$$\ln(MR) = - \frac{(\pi^2 * D_{eff} * t)}{(4 * L^2)} \quad (3.10)$$

Deneysel MR değerlerinin doğal logaritmasının kuruma zamanına karşı grafiği çizildiğinde, çizilen grafiğin eğimi efektif difüzyon katsayısını vermektedir.

$$Eğim = - \frac{(\pi^2 * D_{eff})}{(4 * L^2)} \quad (3.11)$$

Aktivasyon enerjisi ise Arrhenius eşitliğinin mikrodalga için modifiye edilmesi ile elde edilen aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$D_{eff} = D_0 \exp \left(- \frac{(E_a * m)}{p} \right) \quad (3.12)$$

3.2.3.8. Renk analizi

Örneklerin renk parametreleri (CR-400 Minolta Co, Osaka, Japan) Kolorimetre cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Renk ölçümü her örnek için 3 farklı noktadan gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar Uluslararası Aydınlatma Komisyonu'nun (Commision Internationale de I'E Clairage) belirlediği CIE-Lab sistemine göre örneklerin L^* , a^* ve b^* değerleri belirlenmiştir. Bu sisteme göre; L^* ; $L^*=0$, siyah- $L^*=100$, beyaz(koyuluk-açıklık); a^* ; +60=kırmızı, -60=yeşil ve b^* ; +60=sarı; -60=mavi renk yoğunluklarını göstermektedir (Hunt Chair ve ark. 1991).

3.2.3.9. Tekstür profil analizi

50 kg load cell (yük hücresi)'e sahip tekstür analizi cihazı (TA-HD Plus Texture Analyser, UK) kullanılarak örneklerin tekstür profil analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler, Wei ve ark (2020)'nın kullandıkları parametreler modifiye edilerek gerçekleştirilmiştir. Sıkıştırma oranı %30, ön test hızı 2 mm/s, test hızı 1 mm/s, geri dönüş hızı 10 mm/ s, bekleme zamanı ise 0.5 s olarak ayarlanmıştır.

3.2.3.10. Rehidrasyon oranı

Rehidrasyon oranının hesaplanması için tartımları alınmış kurutulmuş örnekler, oda sıcaklığında bir beher içerisinde saf suda (Direct-Q 3 UV) 30 dakika süreyle bekletilmiştir. Örnek, üzerindeki fazla sudan arındırıldıktan sonra tekrar tartım alınmıştır. Rehidrasyon oranı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Duan ve ark., 2011);

$$RO = \frac{W_t - W_{dry}}{W_{dry}} \quad (3.13)$$

W_t : herhangi bir zamandaki örneğin ağırlığı (g)

W_{dry} : kurutulmuş örneğin ağırlığı (g)

3.2.3.11. Duyusal analiz

Duyusal analiz, iyi havalandırılmış, aydınlık ve herhangi bir koku içermeyecek bir ortamda gerçekleştirilmiştir. Duyusal analize katılacak olan panelistler, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi öğrencileri arasından seçilmiştir. Seçilen 14 paneliste duyusal analiz öncesi analiz ile ilgili kısa bir eğitim verilmiştir. Panelistlerden örnekleri renk, koku, lezzet, tekstür ve genel beğeni parametrelerini Hedonik skalaya göre bir 1 ile 9 arasında değerlendirmeleri istenmiştir. Örnekler, panelistlere harf kodları ile örnekler, bir adet duyusal analiz formu, su ve kraker ile birlikte sunulmuştur.



Şekil 3.4. Duyusal analiz için hazırlanmış olan kurtulmuş alabalık örnekleri

3.2.3.12. İstatistik analizler

Kurutma kinetiği ve regresyon analizi için Python 3.9 programlama dili kullanılmıştır. Varyans analizi ve Tukey Çoklu Karşılaştırma testi için ise RStudio (versiyon 2024.04.0 +735) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Hammadde Bileşen Analizleri

Gökkuşığı alabalığı örneklerinde temel bileşen analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.1.'de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre Gökkuşığı alabalığının nem içeriği %74.20, kül içeriği %1.09, yağ içeriği %2.30, protein içeriği %19.05 olarak tespit edilmiştir. Bulunan sonuçlar literatür ile paralellik göstermiştir (Gall ve Crandell, 1992; İsmail ve Kocabay, 2018).Gökkuşığı alabalığının renk değerleri ise; L^* değeri 53.87, a^* renk değeri 8.88 ve b^* renk değeri 12.43 olarak belirlenmiştir.

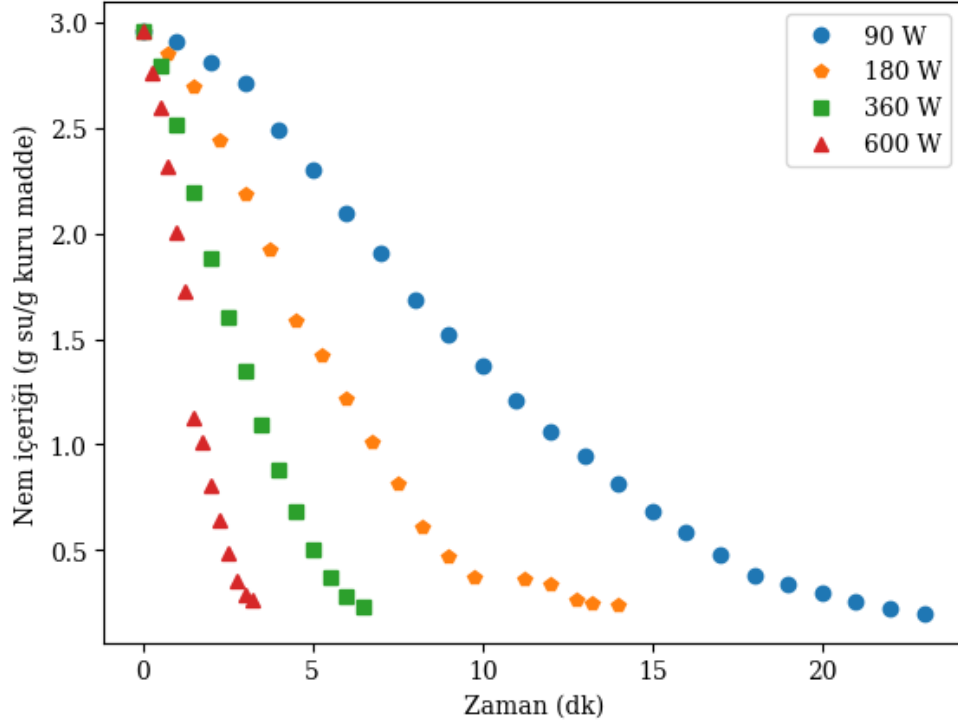
Çizelge 4.1. Alabalığın nem, kül, yağ, protein içerikleri (%) ve renk değerleri

Nem	Kül	Yağ	Protein	a_w	L^*	a^*	b^*
74.20±0.11	1.09±0.04	2.30±0.17	19.05±0.29	0.99±001	53.87±0.55	8.88±1.19	12.43±1.09

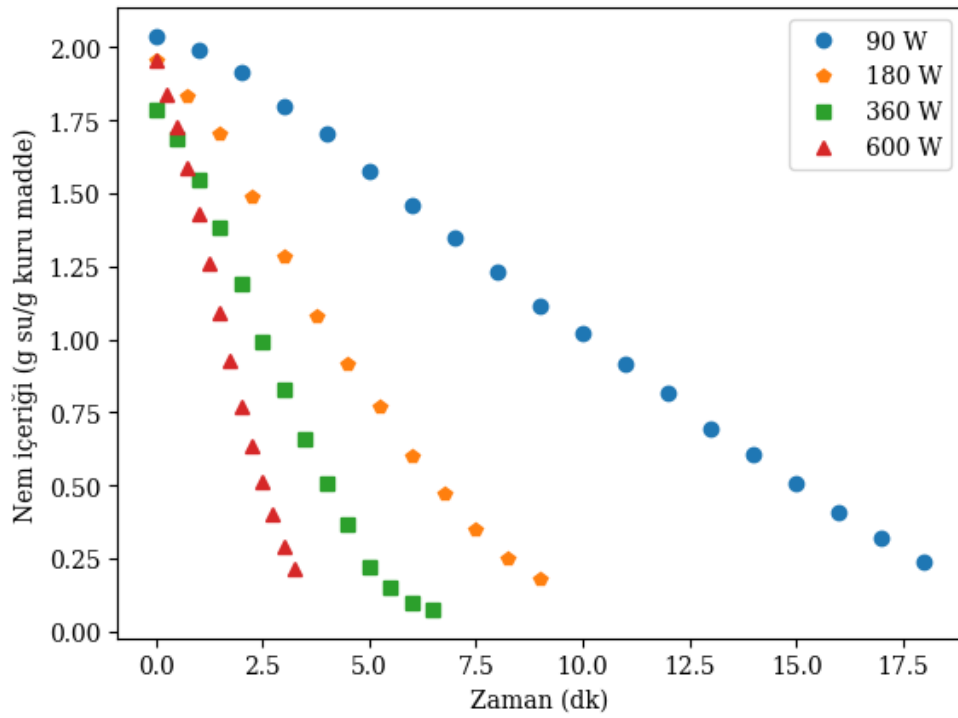
4.2. Kurutma Kinetiği ve Matematiksel Modelleme

4.2.1. Nem içeriği

Ön işlem uygulanmadan ve %20 çözeltisinde bekletilerek ön işlem uygulanarak kurutulmuş alabalık örneklerinin kuruma sürecinde zamana bağlı olarak nem içeriklerindeki değişim; Şekil 4.1. ve Şekil 4.2 de verilmiştir.



Şekil 4.1. Ön işlem uygulanmadan farklı mikrodalga güçleri ile kurutulmuş Alabalık örneklerinin kurutma eğrileri



Şekil 4.2. %20 tuz çözeltisinde bekletilerek ön işlem uygulanmış ve farklı mikrodalga güçlerinde kurutulmuş Alabalık örneklerinin kurutma eğrileri

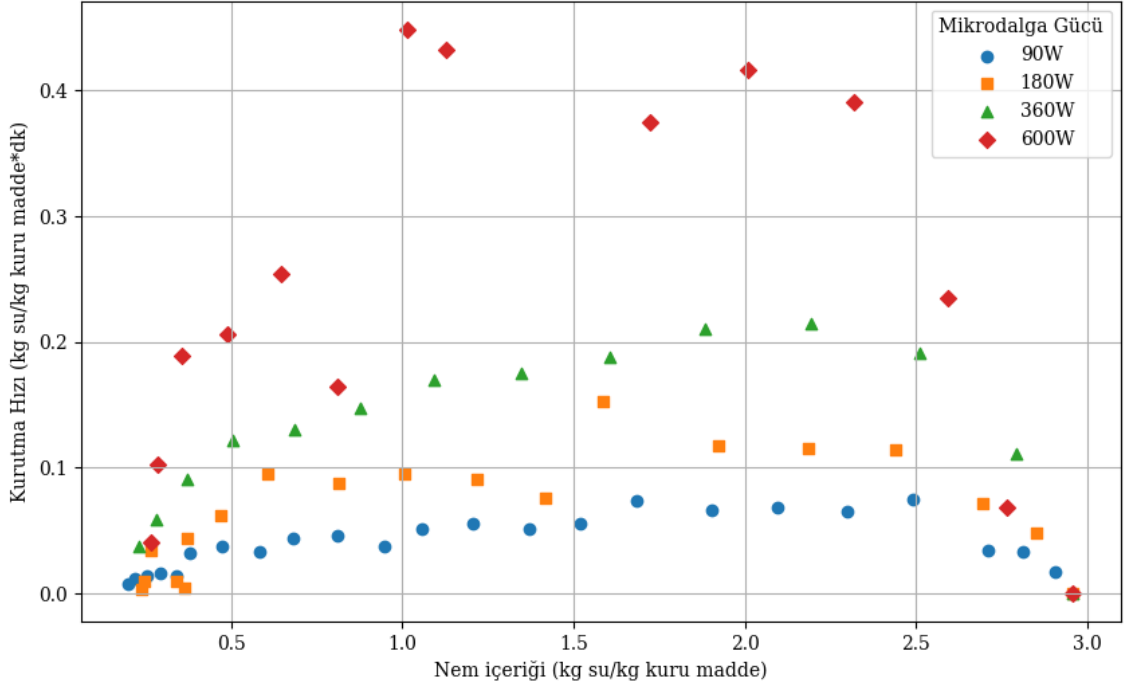
Ön işlem uygulanmayan grupta başlangıç nemi ortalama 2.95 kg su/ kg kuru madde olarak hesaplanmıştır. Ön işlem uygulanan grupta ise örnekler %20 tuz çözeltisinde bekletilerek osmotik dehidrasyona uğradıklarından başlangıç neminin 2.03 kg su / kg kuru maddeye düştüğü görülmüştür. Her iki grupta da kurutma işlemine nem içeriği 0.2 kg su / kg kuru madde olana kadar devam edilmiştir. Nem içeriğinin %20'nin altına düşürülmesi; etlerde bakteri, küf, maya ve enzim faaliyetlerinin önüne geçmektedir. Elde edilen son nem düzeyleri literatüre uygunluk göstermiştir (Duan ve ark., 2011; Kıpçak ve İsmail, 2021).

Ön işlem uygulanmayan grupta kuruma süresi; 90 W, 180 W, 360 W ve 600 W için sırasıyla; 23 dk, 12.5 dk, 6.5 dk ve 3.5 dk olarak bulunmuştur. %20 tuz çözeltisinde bekletilerek ön işlem uygulanan örneklerde ise kuruma süresi sırasıyla; 19 dk, 9 dk, 6 dk ve 3.25 dk olarak bulunmuştur. Tuz çözeltisinde bekletilerek osmotik dehidrasyona uğrayan grubun kuruma süresinin başlangıç neminin azalması ile düştüğü görülmüştür. Her iki grup örnekte de mikrodalga gücünün artması ile kurutma süresi kısalmıştır.

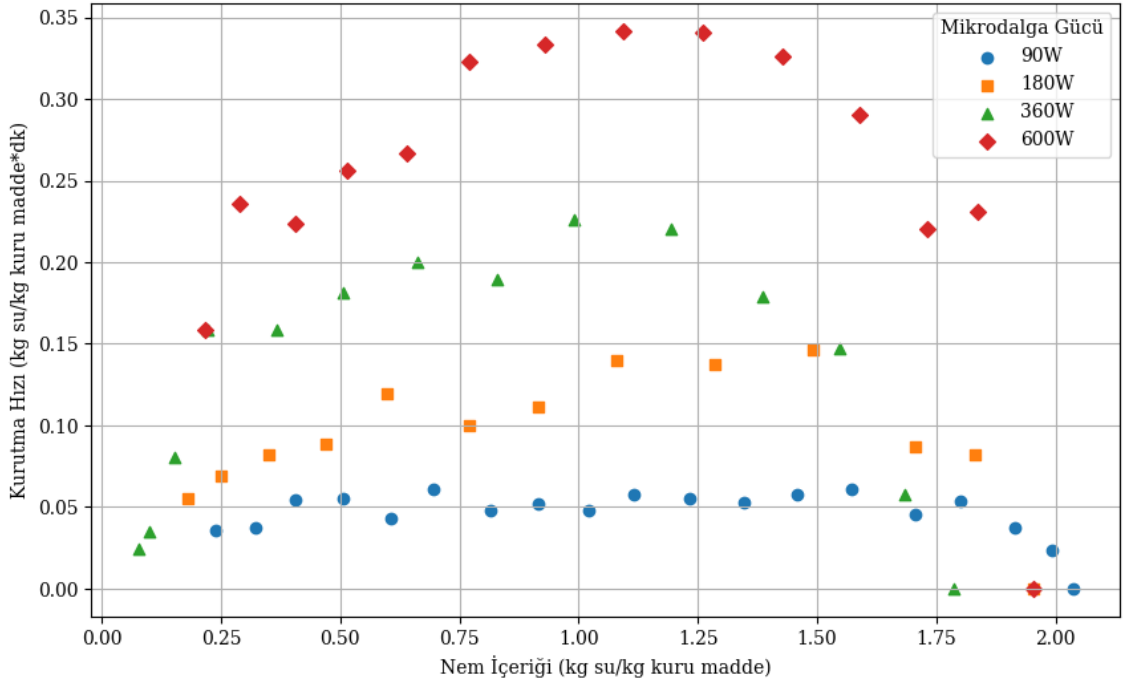
Darvishi ve ark. (2013); yapmış oldukları çalışmada Sardalye balıklarını farklı mikrodalga gücü seviyelerinde kurutmuş, mikrodalga gücünün artmasıyla kurutma süresinin kısaldığını göstermişlerdir. İsmail ve Kocabay (2018); gökkuşağı alabalığını mikrodalga ve infrared kurutucu ile kurutmuşlar, mikrodalga gücünün artmasıyla kuruma hızının yavaşladığını rapor etmişlerdir. Literatürdeki diğer çalışmalarda da benzer sonuçlar bildirilmiştir.

4.2.2. Kurutma hızı

Ön işlem uygulanmadan ve ön işlem uygulanarak farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan Gökkuşağı alabalığı örneklerinin kuruma hızının nem içeriğine bağlı değişimi sırasıyla; Şekil 4.3'te ve Şekil 4.4.'te grafiklerde verilmiştir.



Şekil 4.3. Ön işlem uygulanmadan farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan Alabalık örneklerinin nem içeriğine bağlı olarak kuruma hızının değişimi



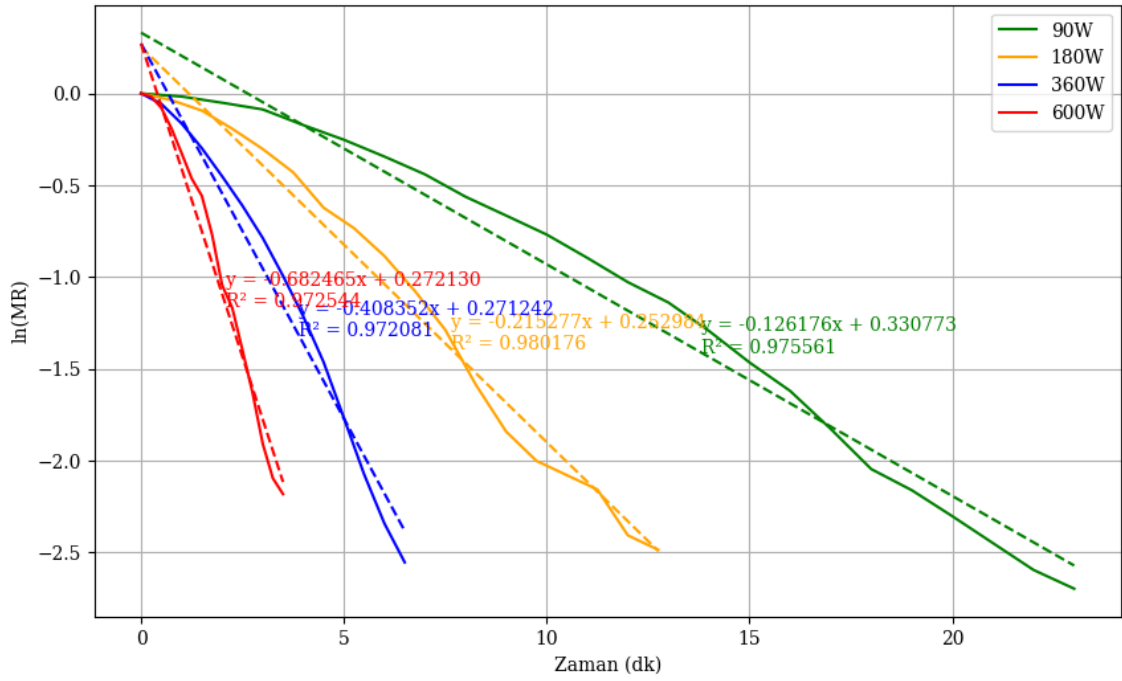
Şekil 4.4. %20 tuz çözeltisinde bekletilerek ön işlem uygulanan ve farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan Alabalık örneklerinin nem içeriğine bağlı olarak kuruma hızının değişimi

Kuruma hızına karşı nem içeriği grafikleri incelendiğinde, ön işlem uygulanmayan ve %20 tuz çözeltisi ile ön işlem uygulanan her iki grupta da artan ve azalan hız periyotları gözlemlenirken, sabit hız periyodu gözlemlenmemiştir. İsmail ve Kocabay (2018), çalışmalarında benzer bir biçimde sabit hız periyodunu gözlemlenmemişlerdir. Mikrodalga kurutma esnasında mikrodalga enerjinin örnek içerisine penetrasyonu ile nem difüzyonuna iç etkilerin de katılması nedeniyle sabit hız periyodunun gözlemlenemediği yorumunu yapmışlardır. Darvishi ve ark. (2013), mikrodalga ile kuruttukları sardalye örneklerinde kurutma hızının başlangıçta hızlı bir biçimde arttığını sonrasında ise örnek içerisindeki nemin azalmaya başlamasıyla kuruma hızının da azaldığını gözlemlenmişlerdir.

Şekil 4.3. ve Şekil 4.4. incelendiğinde; her iki grafikte de mikrodalga gücünün artması ile kuruma hızının yükseldiği görülmektedir. Mikrodalga gücünün yükselmesi ile örnek içerisinde daha fazla enerji oluşmakta, artan buhar basıncı farkı ile kuruma hızı da yükselmektedir. Benzer sonuçları Kıpçak, (2017), mikrodalga ile kuruttuğu midye örneklerinde, Özyalçın ve Kıpçak (2021), mikrodalga kurutma uyguladıkları Kalamar örneklerinde ve İsmail ve Kocabay (2018), mikrodalga ile kurutulan alabalık örneklerinde de tespit etmişlerdir.

4.2.3.Efektif difüzyon katsayısı

Efektif difüzyon katsayısı; nem oranının doğal logaritmasının zamana karşı değişimini gösteren grafiğin eğiminin denklem 3.11.'de yerine koyarak hesaplanmaktadır.



Şekil.4.5. Ön işlem uygulanmadan farklı mikrodalga güçleri ile kurutulan Albalık örneklerinin nem oranlarının doğal logaritmasının zamana karşı değişimi

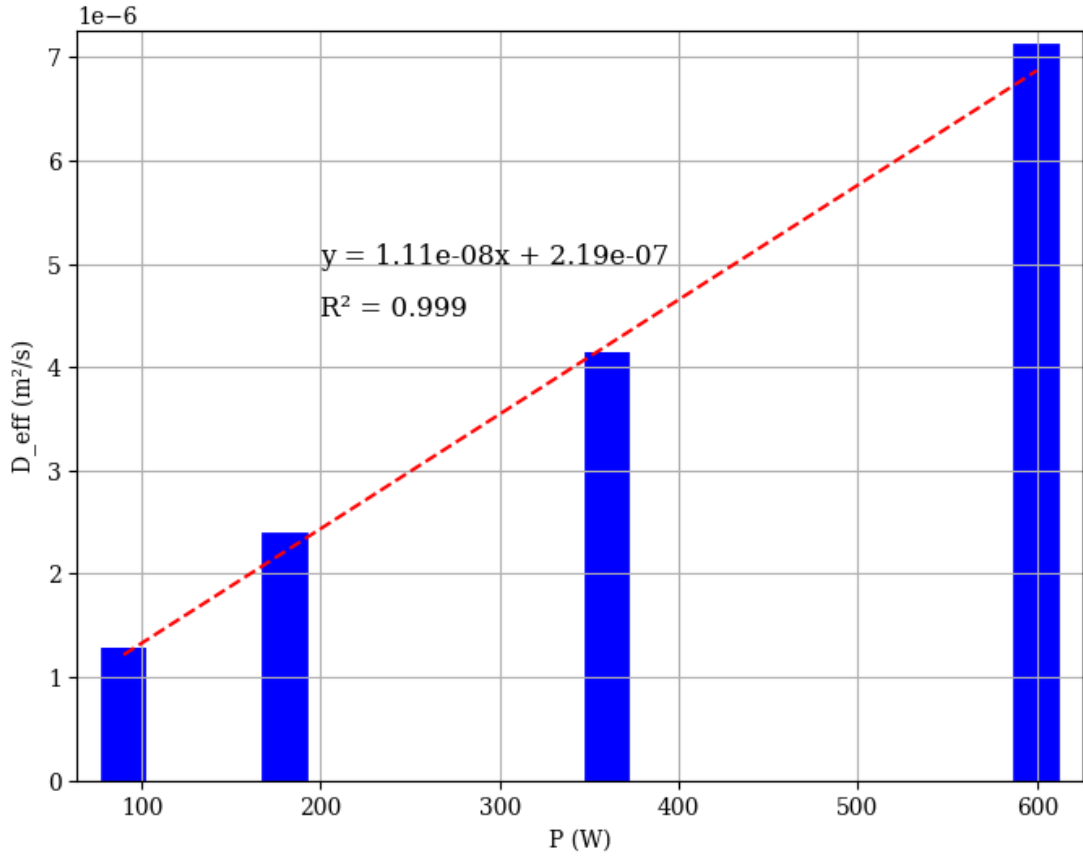
Efektif difüzyon katsayısı, ön işlem uygulanmadan kurutulan örnekler için aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

$$D_{\text{eff}} 90 \text{ W} = 1.278431 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

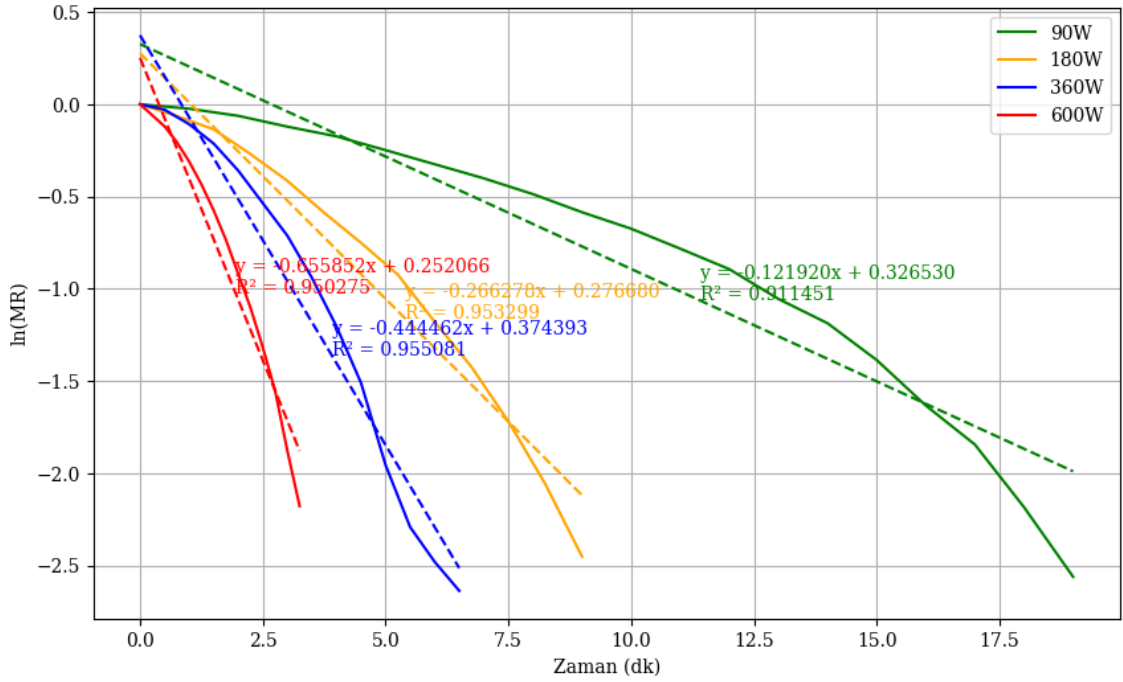
$$D_{\text{eff}} 180 \text{ W} = 2.181208 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$D_{\text{eff}} 360 \text{ W} = 4.137468 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$D_{\text{eff}} 600 \text{ W} = 6.914818 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$



Şekil 4.6. Ön işlem uygulanmadan farklı mikrodalga güçleri ile kurutulan alabalıkların efektif difüzyon katsayılarının grafiksel gösterimi



Şekil 4.7. %20 tuz çözeltisi ile ön işlem uygulanarak farklı mikrodalga güçleri ile kurutulan Alabalık örneklerinin nem oranlarının doğal logaritmasının zamana karşı değişimi

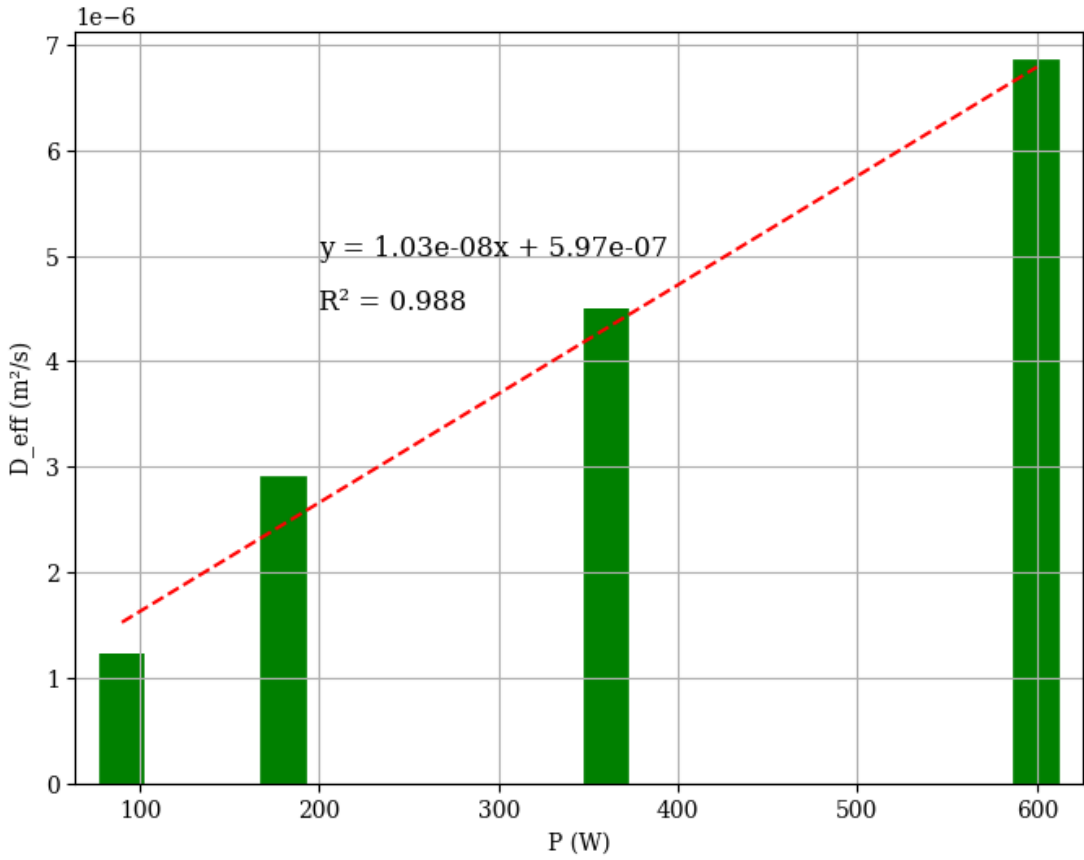
Efektif difüzyon katsayısı %20 tuz çözeltisi ile ön işlem uygulanarak kurutulan örnekler için aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

$$D_{\text{eff}} 90 \text{ W} = 1.235304\text{e-}06 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$D_{\text{eff}} 180 \text{ W} = 2.697964\text{e-}06 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$D_{\text{eff}} 360 \text{ W} = 4.503338\text{e-}06 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$D_{\text{eff}} 600 \text{ W} = 6.645168\text{e-}06 \text{ m}^2/\text{s}$$



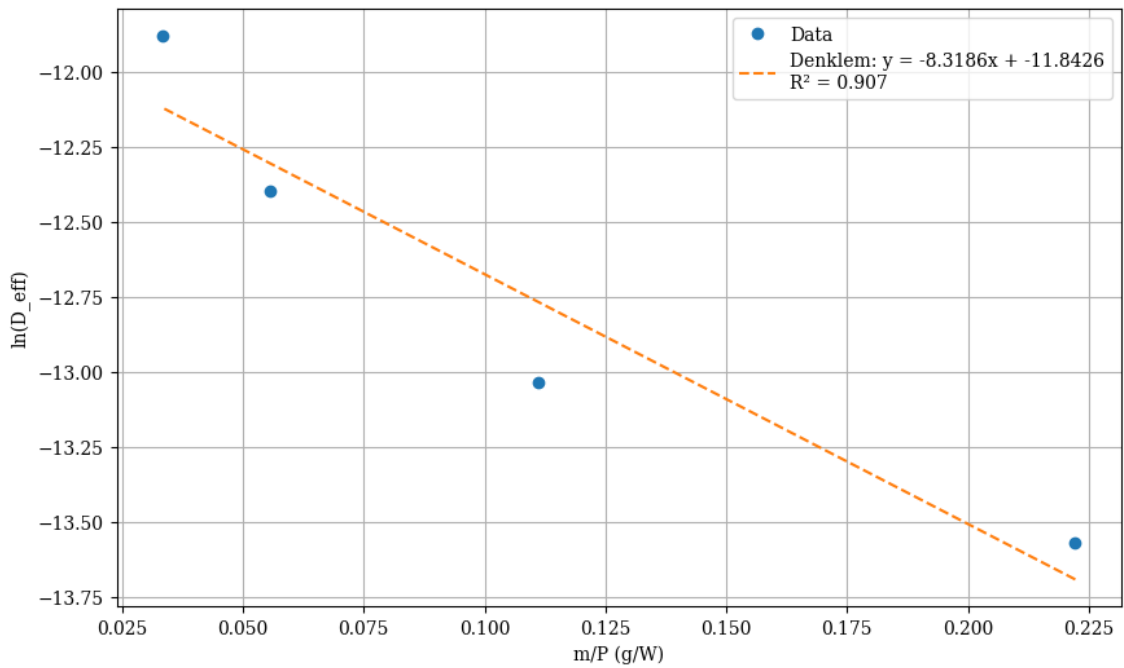
Şekil 4.8. %20 tuz çözeltisinde bekletilerek ön işlem uygulanan ve farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan alabalıkların efektif difüzyon katsayılarının grafiksel gösterimi

Yapılan analizler sonucunda, ön işlem görmeden ve %20 tuz çözeltisinde bekletilerek ön işlem gördükten sonra kurutulan örneklerde her iki grupta da efektif difüzyon katsayısının mikrodalga gücünün artması ile yükseldiği saptanmıştır. Mikrodalga gücünün artmasıyla örnek içerisindeki sıcaklık hızla artar. Bu da buhar basıncını ve buna bağlı olarak difüzyon hızını artırmaktadır. Bu sonuçlar; literatürdeki

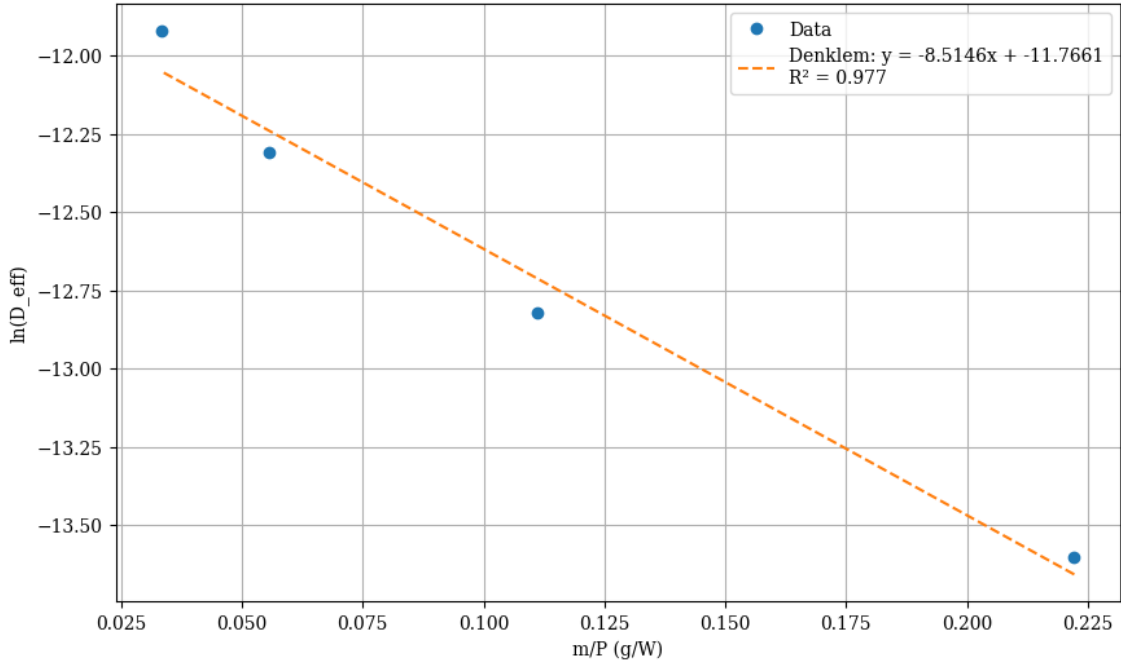
balık ve diğer su ürünleri ile yapılan çalışmaların sonuçlarıyla benzerlik göstermiştir (Darvishi ve ark., 2013; İsmail ve Kocabay, 2018; Kıpçak, 2017; Kıpçak ve İsmail, 2021).

4.2.4. Aktivasyon enerjisi

Aktivasyon enerjisi; kuruma esnasında örnek içerisindeki nemin yapıdan uzaklaşabilmesi için gerekli minimum enerji miktarının bir göstergesidir. Aktivasyon enerjisi değerleri; Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da görüldüğü gibi, efektif difüzyon katsayısının m/P (örnek kütlesi/mikrodalga gücü)'ne karşı grafiğinin eğiminden elde edilmektedir.



Şekil 4.9. Ön işlem uygulanmadan kurutulan alabalıklar için efektif difüzyon katsayısının m/P ile varyasyonu



Şekil 4.10. Ön işlem uygulandıktan sonra kurutulan alabalıklar için efektif difüzyon katsayısının m/P ile varyasyonu

Buna göre ön işlem uygulanmadan kurutulan balık örnekleri için aktivasyon enerjisi (E_a) 8.32 W/g, %20 tuz çözeltisinde bekletilerek ön işleme tabi tutulan ve sonrasında mikrodalga ile kurutulan balık örnekleri için aktivasyon enerjisi (E_a) 8.51 W/g olarak hesaplanmıştır.

Ghimire ve ark. (2021); Java balığını mikrodalga ile kurutmuşlardır ve kurutma sonucunda aktivasyon enerjisini; 4.65 W/g olarak hesaplamışlardır. Darvishi ve ark. (2013); Sardalye balıklarına mikrodalga kurutma uygulamışlar, aktivasyon enerjisini; 14.138 W/g olarak hesaplamışlardır. Her iki çalışmada da aktivasyon enerjisinin; örneğin kalınlığı ve ağırlığına bağlı olarak değiştiği vurgulanmıştır.

4.2.5. Kinetik modelleme

Çalışmanın bu aşamasında ön işlem uygulanmadan ve %20 tuz çözeltisinde bekletildikten sonra farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan Gökkuşuğu alabalığı örneklerinin farklı ince tabaka kurutma modelleri ile uygunluğu araştırılmıştır. Model uygunluğunun saptanmasında R^2 , ki-kare ve RMSE (ortalama karekök hatası) değerleri belirleyici olduğu bildirilmiştir. R^2 değerinin bire yakın olması, ki-kare ve RMSE değerlerinin ise sıfıra yakınlığı verilerin modele uygunluğunu göstermektedir.

Çizelge 4.2. ve Çizelge 4.3.'de sırasıyla ön işlem uygulanmamış ve ön işlem uygulanarak kurutulmuş balık örneklerinin, model katsayıları ile birlikte R^2 , ki-kare ve RMSE değerleri verilmiştir. Buna göre en yüksek R^2 değerleri ile en düşük ki-kare ve RMSE değerlerinin Midilli modeline ait olduğu görülmüştür. Bu durumda Gökkuşığı alabalığının mikrodalga ile kuruma davranışını en iyi açıklayan modelin, Midilli modeli olduğu görülmüştür. R^2 , ki-kare ve RMSE değerlerine göre Page ve Parabolic modellerinin de kurutma verilerini iyi düzeyde açıkladığı görülmüştür. Elde ettiğimiz sonuçlar su ürünlerinin mikrodalga ile kurutulması ile ilgili yapılan çalışmalardaki literatür verileriyle benzer bulunmuştur.

Darvishi ve ark., (2013); Sardalye balıklarını 200, 300, 400 ve 500W mikrodalga güçlerinde kurutmuşlar, kuruma davranışını en iyi açıklayan modelin Midilli modeli olduğunu saptamışlardır. Ghimire ve ark. (2021); Jaya balıklarını 100, 180, 300, 450 W mikrodalga güçlerinde kurutmuşlar ve kuruma davranışını en iyi açıklayan modelin Midilli modeli olduğunu bildirmişlerdir. Bing ve ark. (2017), tatlı su Çipurasını osmotik dehidrasyon sonrasında vakum mikrodalga ile kurutmuşlar, kuruma davranışını en iyi açıklayan modelin Midilli modeli olduğunu bulmuşlardır.

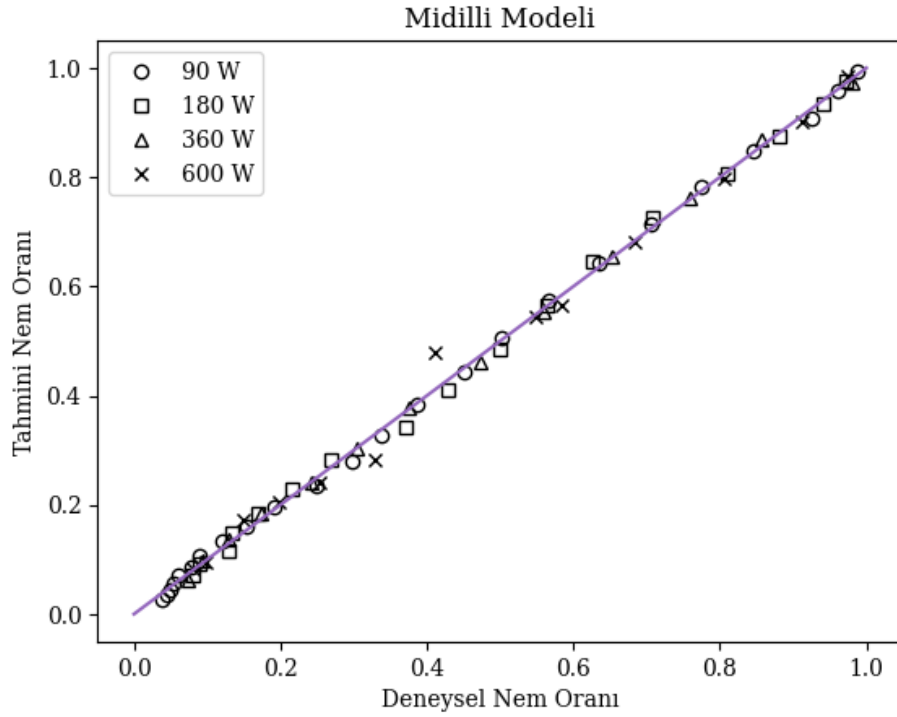
Şekil 4.11.'de ön işlem uygulanmadan farklı mikrodalga güçleri ile kurutulan Gökkuşığı alabalığı örneklerinin Midilli modeline ait tahmini nem oranlarına karşılık deneysel nem oranları verileri görsel olarak verilmiştir. Şekil 4.12'de ise %20 tuz çözeltisinde bekletilerek ön işleme tabii tutulan ve sonrasında farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan Gökkuşığı alabalığı örneklerinin Midilli modeline ait tahmini nem oranlarına karşılık deneysel nem oranları verilerine ait grafik verilmiştir

Çizelge 4.2. Ön işlem uygulanmadan farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan alabalıkların kurutma model katsayıları, R^2 , χ^2 ve RMSE değerleri

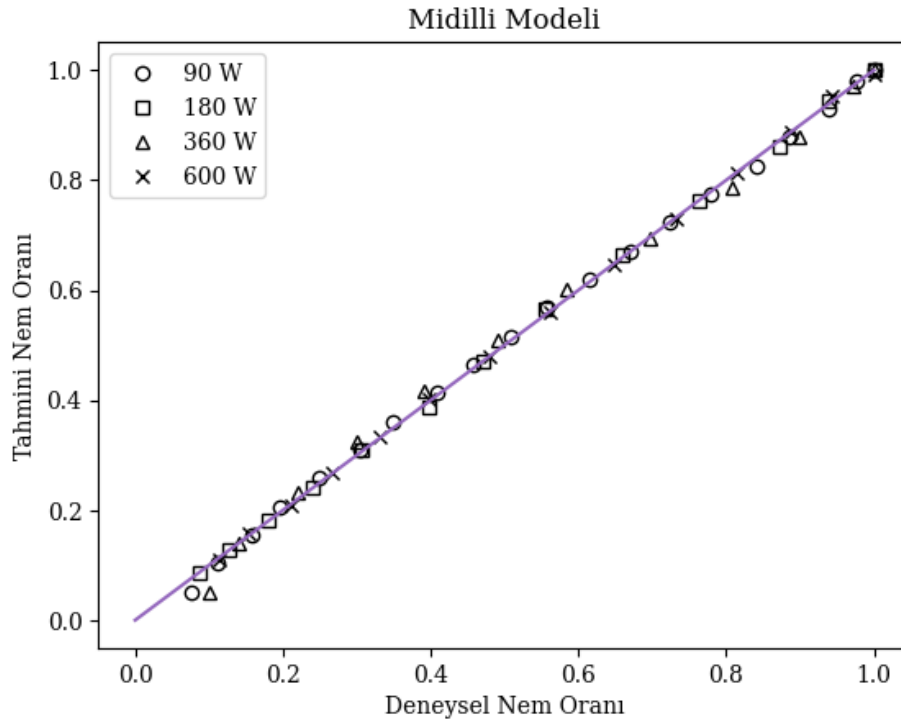
Model	P (W)	Model sabitleri				R^2	χ^2	RMSE
Midilli	90	$k= 1.96656328e-02$	$a= 1.00566964e+00$	$b= 5.67149809e-04$	$n= 1.60529101e+00$	0.99955082	0.00360048	0.00676799
	180	$k= 3.11466767e-02$	$a= 9.96545248e-01$	$b= 4.98886296e-04$	$n= 1.75838970e+00$	0.99829944	0.01154394	0.01323367
	360	$k= 0.15911216$	$a= 1.00026519$	$b= -0.00394089$	$n= 1.44176411$	0.99974452	0.00245658	0.00497283
	600	$k= 0.32413954$	$a= 1.00517108$	$b= 0.01059752$	$n= 1.69287958$	0.99855781	0.00513422	0.01189502
Page	90	$k= 0.0195409$	$n= 1.59482686$			0.99941577	0.00678607	0.00771862
	180	$k= 0.03235316$	$n= 1.73488508$			0.99828329	0.01248040	0.01329635
	360	$k= 0.15789634$	$n= 1.48663672$			0.99957021	0.00253918	0.00644990
	600	$k= 0.30978838$	$n= 1.64005865$			0.99803755	0.01098184	0.01387565
Henderson and Pabis	90	$k= 0.09779248$	$a= 1.14459358$			0.96673114	0.23678783	0.23678783
	180	$k= 0.15690888$	$a= 1.14419048$			0.94979171	0.25263318	0.07190727
	360	$k= 0.31979478$	$a= 1.09981935$			0.97159583	0.12041093	0.05243453
	600	$k= 0.54589163$	$a= 1.1316838$			0.95937118	0.14049878	0.06313519
Logarithmic	90	$k= 0.04997604$	$a= 1.55671666$	$b= -0.47584645$		0.99037254	0.21057403	0.03133330
	180	$k= 0.05044397$	$a= 2.20703827$	$b= -1.13716334$		0.98755930	0.19970098	0.03579377
	360	$k= 0.15356022$	$a= 1.59040334$	$b= -0.54549031$		0.99485805	0.04582650	0.02230951
	600	$k= 0.21273599$	$a= 1.9250614$	$b= -0.85466089$		0.98757214	0.07606807	0.03491824
Thompson	90	$a= -0.0604602$	$b= 0.00076865$			0.98473257	0.25733052	0.03945783
	180	$a= -0.08892289$	$b= 0.00090872$			0.98142786	0.39918323	0.04373368
	360	$a= -0.20831097$	$b= 0.00939906$			0.99346093	0.04346826	0.02515847
	600	$a= -0.32551142$	$b= 0.01568904$			0.98105369	0.11320868	0.04311384
Parabolic	90	$a= -0.03634821$	$b= -0.00265614$	$c= 0.00010943$		0.99688608	0.02155622	0.01781982
	180	$a= -0.03800163$	$b= -0.01205537$	$c= 0.00074242$		0.99796227	0.01319983	0.01319983
	360	$a= -0.152025$	$b= -0.01851106$	$c= 0.00311248$		0.99905175	0.00253893	0.00958047
	600	$a= -0.1475993$	$b= -0.14849274$	$c= 0.03407648]$		0.99703209	0.00981195	0.01706393
Wang and Sing	90	$a= -0.0604602$	$b= 0.00076865$			0.98473257	0.25733052	0.03945783
	180	$a= -0.08892289$	$b= 0.00090872$			0.98142786	0.39918323	0.04373368
	360	$a= -0.20831097$	$b= 0.00939906$			0.99346093	0.04346826	0.02515847
	600	$a= -0.32551142$	$b= 0.01568904]$			0.98105369	0.11320868	0.04311384

Çizelge 4.3. Ön işlem uygulanarak farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan alabalıkların kurutma model katsayıları, R^2 , χ^2 ve RMSE değerleri

Model	P (W)	Model sabitleri				R^2	χ^2	RMSE
Midilli	90	$k= -3.12932647e-02$	$a= 1.00113394e+00$	$b= -5.16849853e-02$	$n= 5.04790781e-07$	0.99895176	0.01678837	0.00957126
	180	$k= 0.0753896$	$a= 0.99942242$	$b= -0.00746317$	$n= 1.46400752$	0.99964229	0.00076503	0.00576360
	360	$k= 0.9977077$	$a=0.996182931$	$b=1.20213059e-03$	$n= 1.81881323$	0.99926797	0.00843196	0.00898052
	600	$k= 0.2714585$	$a= 0.99213706$	$b= -0.02643331$	$n= 1.51658717$	0.99977796	0.00050655	0.00436223
Page	90	$k= 0.01495796$	$n= 1.67858394$			0.99524926	0.03715907	0.02037608
	180	$k= 0.07342235$	$n= 1.55967795$			0.99887563	0.00600221	0.01021842
	360	$k= 0.102474$	$n= 1.78926161$			0.99924191	0.01055360	0.00913896
	600	$k= 0.30855549$	$n= 1.59768307$			0.99853095	0.00554836	0.01122048
Henderson and Pabis	90	$k= 0.08895835$	$a= 1.12151042$			0.94832915	0.26151552	0.06719906
	180	$k= 0.20416261$	$a= 1.10149821$			0.96268260	0.12907892	0.05886879
	360	$k= 0.31835952$	$a= 1.14121638$			0.94518233	0.24191459	0.07771372
	600	$k= 0.5118853$	$a= 1.10024593$			0.95752601	0.13153584	0.06033310
Logarithmic	90	$k= 3.09780073e-03$	$a= 1.70291181e+01$	$b= -1.59975524e+01$		0.99850567	0.00985546	0.01142780
	180	$k= 0.06190154$	$a= 2.28545516$	$b= -1.24828203$		0.99572234	0.01771749	0.01993115
	360	$k= 0.10524251$	$a= 2.1489$	$b= -1.07818339$		0.98600776	0.75362644	0.03926277
	600	$k= 0.08395232$	$a= 3.94746265$	$b= -2.91768382$		0.99635637	0.01394346	0.01767100
Thompson	90	$a= -0.04629732$	$b= -0.00019515$			0.99695452	0.02284889	0.01631427
	180	$a= -0.12404359$	$b= 0.00214198$			0.99383697	0.02604551	0.02392358
	360	$a= -0.18198063$	$b= 0.00432258$			0.97992793	0.02938405	0.04702550
	600	$a= -0.29582724$	$b= 0.00408595$			0.99485494	0.02135069	0.02099853
Parabolic	90	$a= -3.41486915e-02$	$b= -2.27593394e-03$	$c= 8.01707378e-05$		0.99841532	0.00180186	0.00714822
	180	$a= -0.08632552$	$b= -0.01133339$	$c= 0.00108264$		0.99885251	0.00307453	0.01032294
	360	$a= -0.07048272$	$b= -0.05096508$	$c= 0.00616558$		0.99920258	0.00435482	0.00937302
	600	$a= -0.19700282$	$b= -0.09392076$	$c= 0.02185904$		0.99972135	0.00108330	0.00488676
Wang and Sing	90	$a= -0.04629732$	$b= -0.00019515$			0.99695452	0.022848890	0.01631427
	180	$a= -0.12404359$	$b= 0.00214198$			0.99383697	0.026045518	0.02392358
	360	$a= -0.18198063$	$b= 0.00432258$			0.97992793	0.209384058	0.04702550
	600	$a= -0.29582724$	$b= 0.00408595$			0.99485494	0.021350699	0.02099853



Şekil 4.11. Ön işlem uygulanmadan kurutulmuş alabalıkların deneysel nem oranı verileri ile Midilli modeline ait tahmini nem oranı değerlerinin grafiksel gösterimi



Şekil 4.12. Ön işlem uygulandıktan sonra kurutulmuş alabalıkların deneysel nem oranı verileri ile Midilli modeline ait tahmini nem oranı değerlerinin grafiksel gösterimi

4.3. Renk Analizi Sonuçları

Çizelge 4.4.'te ön işlem uygulanmadan ve %20 tuz çözeltisinde bekletilerek ön işlem uygulandıktan sonra kurutulan Gökkuşuğu alabalığı örneklerinin renk verilerine ait varyans analizi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.4. Ön işlem uygulanmamış ve ön işlem uygulanarak farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan alabalık örneklerinin renk verilerine ait Varyans Analizi sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	L^*		a^*		b^*	
		KO	F	KO	F	KO	F
Ön işlem (A)	1	88.983	574.87***	11.7336	67.45***	296.736	1934.66***
Mikrodalga gücü (B)	3	5.442	35.15***	4.5640	26.24***	0.386	2.52
AxB	3	6.003	38.78***	2.2981	13.21***	2.287	14.91***
Hata	16	0.155		0.1739		0.153	
Toplam	23						

***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$

Varyans analizi sonuçlarına göre ön işlem uygulamanın L^* (parlaklık), a^* (kırmızılık) ve b^* (sarılık) değerleri üzerine etkisinin istatistiki açıdan oldukça önemli ($p < 0.001$) düzeyde olduğu görülmüştür. Mikrodalga gücünün L^* ve a^* değerleri üzerine olan etkisinin istatistiki olarak oldukça önemli ($p < 0.001$) düzeyde olduğu, b^* değeri üzerine olan etkisinin ise önemsiz ($p > 0.05$) olduğu görülmüştür. Ön işleme ve mikrodalga gücü interaksiyonunda ise L^* , a^* ve b^* değerleri için farkın istatistiki anlamda oldukça önemli ($p < 0.001$) düzeyde olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.5. Ön işlem uygulanmamış ve uygulanmış farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan alabalık örneklerinin renk verilerine ait Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Faktör	n	L*	a*	b*
Ön işlem (A)				
Uygulanmamış (M)	36	52.37±1.02 ^b	12.10±1.37 ^b	24.77±0.83 ^b
Uygulanmış (T)	36	56.22±1.52 ^a	13.50±0.52 ^a	31.80±0.51 ^a
Mikrodalga gücü (B)				
90 W	18	55.51±3.04 ^a	13.71±0.55 ^a	28.38±3.83 ^{ö.siz}
180 W	18	54.19±2.79 ^b	12.93±0.97 ^b	27.99±4.81 ^{ö.siz}
360 W	18	54.29±0.78 ^b	12.95±1.05 ^b	28.58±3.27 ^{ö.siz}
600 W	18	53.18±2.07 ^c	11.61±1.39 ^c	28.19±3.56 ^{ö.siz}
AxB				
Mx90	9	52.74±0.24 ^{ef}	13.91±0.79 ^a	24.89±0.07 ^b
Mx180	9	51.66±0.12 ^{fg}	12.10±0.49 ^b	23.60±0.14 ^c
Mx360	9	53.75±0.26 ^{de}	12.00±0.19 ^b	25.60±0.27 ^b
Mx600	9	51.32±0.30 ^e	10.40±0.27 ^c	24.99±0.71 ^b
Tx90	9	58.27±0.28 ^a	13.51±0.13 ^a	31.88±0.17 ^a
Tx180	9	56.73±0.32 ^b	13.76±0.21 ^a	32.37±0.36 ^a
Tx360	9	54.84±0.75 ^{cd}	13.90±0.08 ^a	31.56±0.24 ^a
Tx600	9	55.03±0.51 ^c	12.82±0.58 ^{ab}	31.40±0.64 ^a

* Aynı sütunda farklı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki ($p < 0.001$) olarak birbirinden farklıdır. (ö.siz: önemsiz)

Çizelge 4.5.' te ön işlem uygulanmadan ve %20 tuz çözeltisinde bekletilerek ön işlem uygulandıktan sonra farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan Gökkuşuğu alabalığı örneklerine ait renk değerlerinin Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları verilmiştir. Buna göre %20 tuz çözeltisinde bekletilerek ön işlem uygulanan grubun L^* değerlerinin, ön işlem uygulanmadan kurutulan gruba göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Mikrodalga gücünün L^* değeri üzerindeki etkisine bakıldığında ise; mikrodalga gücü arttıkça L^* değerinin azaldığını ifade edebiliriz. a^* değerlerine bakıldığında; ön işlem uygulanan grubun a^* değerinin, ön işlem uygulanmadan kurutulan gruba kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Mikrodalga gücünün arttırılması; a^* değerinin düşmesine neden olmuştur. b^* değerlerine bakıldığında ise; ön işlem uygulanan grubun b^* değerlerinin, ön işlem uygulanmadan kurutulan gruba göre daha yüksek olduğu, mikrodalga gücünün b^* değeri üzerinde etkili olmadığı belirlenmiştir.

Wei ve ark. (2020); farklı mikrodalga güçlerinde tatlı su Çipurası örneklerini kurutmuşlardır. Kurutma sonunda mikrodalga gücünün artmasıyla L^* değerlerinin azaldığını gözlemlemişlerdir. Bir başka çalışmada ise; hindi eti sıcak hava-mikrodalga kombinasyonu ile kurutulmuştur. Çalışmada sıcaklık sabit tutularak mikrodalga gücünün artırılmasının kurutulmuş örneklerin L^* değerini düşürdüğü bildirilmiştir (Aydın Dinçer, 2022).

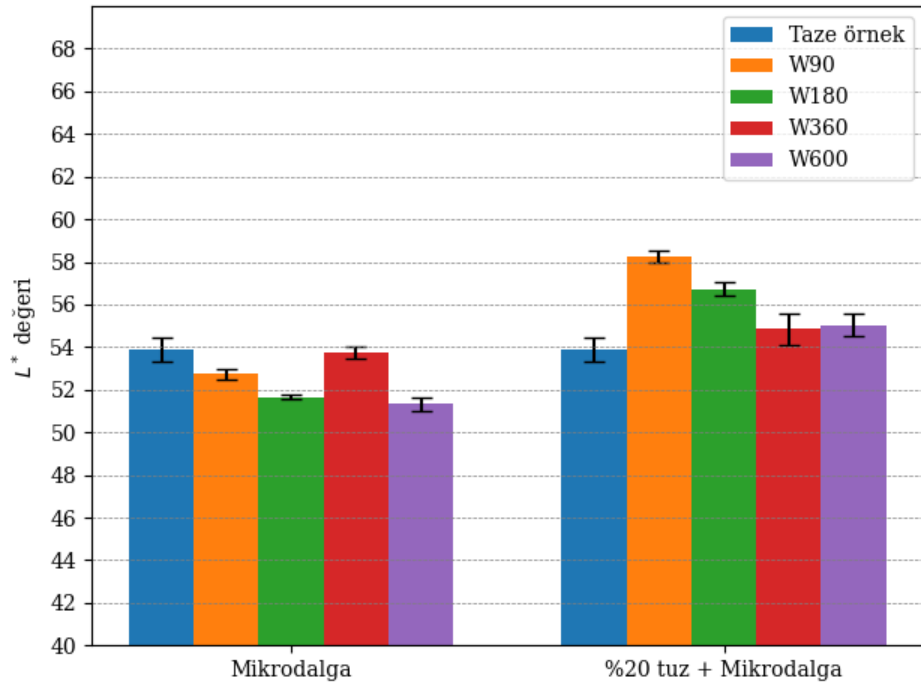
Ortiz ve ark. (2013); Somon balığını farklı sıcaklıklarda kurutmuşlardır. Kurutulan somonların renk değerleri incelendiğinde; L^* değerinin kurutma sıcaklığı yükseldikçe azaldığını, a^* ve b^* değerlerinde ise; anlamlı bir değişiklik olmadığını bildirmişlerdir. L^* değerinin sıcaklığa bağlı değişiminin; kurutma esnasında meydana gelen esmerleşme reaksiyonlarından kaynaklandığı yorumunu yapmışlardır. Buna ek olarak çalışmalarında Somon balığına özgü pembe rengi veren ve bir karotenoid olan astaxanthin kuruma esnasındaki bozunumu da araştırılmıştır. Kuruma esnasında astaxanthin miktarında önemli bir düşüş olmadığını, böylece a^* değerinin korunduğunu saptamışlardır.

İsmail ve Kocabay (2018); Gökkuşluğu alabalığı örneklerini; 90, 180, 270 ve 360 W mikrodalga güçlerinde kurutmuşlardır. Kurutulmuş örneklerde mikrodalga gücünün artmasıyla; L^* ve a^* değerinin azaldığını, b^* değerinde ise istatistik anlamda bir değişim olmadığını bildirmişlerdir.

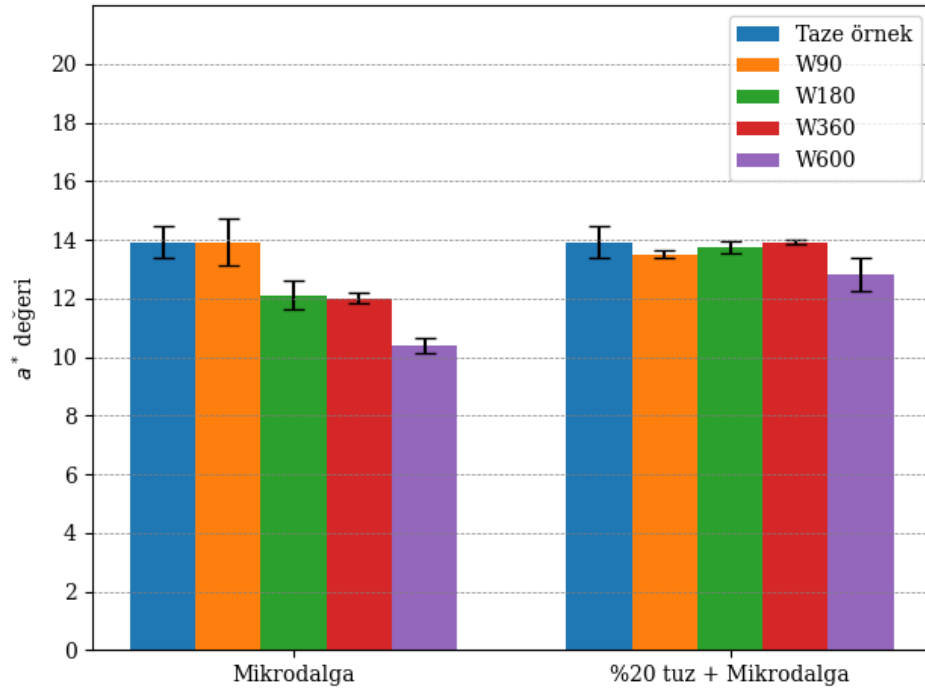
Kıpçak ve İsmail (2021); balık, tavuk ve dana etlerini farklı mikrodalga güçleri kullanarak kurutmuşlardır. Tavuk ve dana eti örneklerinde mikrodalga gücünün artması ile L^* değerinin arttığı görülürken, balık örneğinde mikrodalga gücünün artırılması ile L^* değerinde azalmanın meydana geldiğini rapor etmişlerdir.

Kurutma esnasında gerçekleşen esmerleşme reaksiyonları ve lipit oksidasyonu, balık örneklerinin L^* değerinin azalmasına neden olmuştur. %20 tuz çözeltisinde bekletilerek ön işlem uygulanmış örneklerde ise kuruma esnasında suyun buharlaşması ile tuzun da örnek yüzeyine doğru hareketinin, ön işlem uygulanmış örneklerin L^* değerlerinin daha yüksek olmasına sebep olduğunu ifade edebiliriz. Renk değerleri için elde edilen bulgular literatüre uygunluk göstermiştir.

Vega-Gálvez ve ark. (2011); farklı sıcaklıklarda kuruttukları kalamarların renk değerlerini incelemişler ve kurutulan örneklerin L^* değerlerinin taze örneklerden daha düşük olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmalarında kurutulan örneklerde enzimatik olmayan esmerleşme ürünlerinin varlığını araştırmışlar ve kurutulan Kalamar örneklerinde önemli düzeyde esmerleşme ürünü oluştuğunu rapor etmişlerdir.



Şekil 4.13. Ön işlem uygulanmamış ve %20 tuz çözeltisi ile ön işlem uygulanmış farklı mikrodalga güçleri ile kurutulan alabalıkların ve kurutulmamış alabalıkların L^* değerleri



Şekil 4.14. Ön işlem uygulanmamış ve %20 tuz çözeltisi ile ön işlem uygulanmış farklı mikrodalga güçleri ile kurutulan alabalıkların ve kurutulmamış alabalıkların a^* değerleri

Kuruma esnasında renk değişimi; pigment parçalanması, enzimatik ve enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Şekil 4.13 incelendiğinde taze örneğin L^* değerlerinin kuruma ile azaldığı, ön işlem uygulanmış örneklerde ise kurutulmuş örneklerin L^* değerlerinin taze örneğe göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum; Liu ve ark. (2018) tarafından mikrodalga ve vakum mikrodalgada kurutulan balık etlerinin sonuçlarıyla benzerlik göstermiştir. Osmotik dehidrasyon uygulanan örneklerde bulunan tuzun kristalleşmesi sonucu, L^* değerlerinin yükseldiğini bildirilmiştir. Şekil 4.14 incelendiğinde ise ön işlem uygulanarak kurutulan örneklerin a^* değerlerinin ön işlem uygulanmadan kurutulan örneklere göre daha iyi korunduğu görülmüştür.

4.4. Su Aktivitesi Analizi Sonuçları

Çizelge 4.6. Ön işlem uygulanmamış ve uygulanmış, farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan alabalık örneklerinin su aktivitesi verilerine ait Varyans Analizi Sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	KO	F
Ön işlem (A)	1	0.078307	60.74***
Mikrodalga gücü (B)	3	0.005948	4.61**
AxB	3	0.001080	0.84*
Hata	16	0.001289	
Toplam	23		

***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$

Çizelge 4.6’ da verilen Varyans Analizi sonuçlarına göre; ön işlem uygulamasının kurutulmuş örneklerin su aktivitesi değerleri üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Analiz sonucunda %20 tuz ile ön işlem uygulanan örneklerin su aktivitesi değerleri ile ön işlem uygulanmadan kurutulan örneklerin su aktivitesi değerleri arasındaki fark istatistik anlamda oldukça önemli ($p < 0.001$) düzeyde bulunmuştur. Benzer şekilde mikrodalga gücünün de kurutulmuş örneklerin su aktivitesi değerlerini etkilediği örnekler arasındaki farkın istatistik anlamda önemli ($p < 0.01$) düzeyde olduğu görülmüştür. Ayrıca “ön işlem x mikrodalga gücü” arasındaki interaksiyon ise istatistiki açıdan önemli ($p < 0.05$) düzeyde bulunmuştur.

Çizelge 4.7. Ön işlem uygulanmamış ve uygulanmış, farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan alabalık örneklerinin su aktivitesi verilerine ait Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Faktör	n	Su aktivitesi (a_w)
Ön işlem (A)		
Uygulanmamış (M)	36	0.74±0.34 ^a
Uygulanmış (T)	36	0.63±0.05 ^b
Mikrodalga gücü (B)		
90 W	18	0.71±0.07 ^a
180 W	18	0.70±0.06 ^{ab}
360 W	18	0.65±0.09 ^b
600 W	18	0.67±0.05 ^{ab}
AxB		
Mx90	9	0.78±0.01 ^a
Mx180	9	0.76±0.02 ^a
Mx360	9	0.71±0.00 ^{ab}
Mx600	9	0.71±0.01 ^{ab}
Tx90	9	0.65±0.02 ^{bc}
Tx180	9	0.65±0.01 ^{bc}
Tx360	9	0.58±0.09 ^c
Tx600	9	0.63±0.05 ^{bc}

* Aynı sütunda farklı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki ($p<0.001$; $p<0.01$; $p<0.05$) olarak birbirinden farklıdır.

Çizelge 4.7. incelendiğinde ön işlem uygulanmadan kurutulmuş örneklerdeki su aktivitesi değerlerinin; 0.78 ile 0.71 arasında, ön işlem uygulanarak kurutulan örneklerin su aktivitesi değerlerinin ise 0.65 ile 0.63 arasında değiştiği belirlenmiştir. Kurutulan örneklerin su aktivitesi değerleri, literatür verilerine uygunluk göstermiştir (Bellagha ve ark., 2007b). %20 tuz ile ön işlem uygulanarak kurutulan örneklerin su aktivitesi değerleri, ön işlem uygulanmadan kurutulan örneklerin su aktivitesi değerlerine göre daha düşük bulunmuştur. Aynı zamanda yüksek mikrodalga güçlerinde, su aktivitesi değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür.

Kurutulmuş balıkların su aktivitesi değerleri, ürünlerin güvenilirliği açısından büyük önem taşımaktadır. Birçok bakteri su aktivitesi 0.85'in altında, gelişmemektedir. Küfler için ise bu değer 0.61'e kadar düşmektedir. Bu nedenle kuru balık ürünlerinde su aktivitesi değerinin 0.85 – 0.60 aralığında olması istenmektedir (Carciofi ve ark., 2022)

Nuwanthi ve ark. (2016); Sardalye balıklarını, tuzsuz ve %5 tuz ile ön işleme tabi tutarak kurutmuşlardır. Kurutulmuş örneklerin su aktivitesi değerlerini sırasıyla 0.68 ve 0.59; olarak bulmuşlardır. Yapılan bir başka çalışmada ise tavuk eti; 180 W ve 360 W mikrodalga güçlerinde kurutulmuş, su aktivitesi değerleri sırasıyla 0.70 ve 0.66 olarak bulunmuştur (Aykın Dinçer, 2022). Gökkuşığı alabalığının mikrodalga ile kurutulması ile elde edilen sonuçlar literatür bulgularıyla paralellik göstermiştir.

4.5. Rehidrasyon Oranı Analizi Sonuçları

Ön işlem uygulanmadan ve %20 tuz çözeltisinde bekletilerek ön işlem uygulandıktan sonra farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan gökkuşığı alabalığı örneklerinin rehidrasyon oranı verilerine ait Varyans analizi sonuçları; Çizelge 4.8.'de verilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre ön işlem uygulamasının ve mikrodalga gücünün rehidrasyon oranı üzerine olan etkisinin istatistik anlamda oldukça önemli ($p < 0.001$) düzeyde olduğu görülmüştür. Ön işlem x mikrodalga gücü arasındaki interaksiyonun ise, istatistiki anlamda önemli ($p < 0.01$) düzeyde olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.8. Ön uygulanmamış ve ön işlem uygulanmış, farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan alabalık örneklerinin rehidrasyon oranı verilerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	KO	F
Ön işlem (A)	1	2843.63	50.73***
Mikrodalga gücü (B)	3	1122.31	20.02***
AxB	3	130.42	2.33**
Hata	16	56.06	
Toplam	23		

***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$

Çizelge 4.9. Ön uygulanmamış ve ön işlem uygulanmış, farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan alabalık örneklerinin rehidrasyon oranı verilerine ait Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Faktör	n	Rehidrasyon Oranı (%RO)
Ön işlem (A)		
Uygulanmamış (M)	24	62.32±11.95 ^a
Uygulanmış (T)	24	40.55±16.75 ^b
Mikrodalga gücü (B)		
90 W	12	35.35±13.70 ^b
180 W	12	45.37±19.92 ^b
360 W	12	59.27±13.14 ^a
600 W	12	65.73±8.32 ^a
AxB		
Mx90	6	46.27±10.05 ^{cd}
Mx180	6	62.59±9.02 ^{abc}
Mx360	6	68.53±4.61 ^{ab}
Mx600	6	71.88±0.56 ^a
Tx90	6	24.44±3.35 ^e
Tx180	6	28.15±4.53 ^{de}
Tx360	6	50.02±12.40 ^{bc}
Tx600	6	59.57±7.70 ^{abc}

* Aynı sütunda farklı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki ($p < 0.001$; $p < 0.01$; $p < 0.05$) olarak birbirinden farklıdır.

Ön işlem uygulanmadan ve %20 tuz çözeltisinde bekletilerek ön işlem uygulandıktan sonra farklı mikrodalga seviyelerinde kurutulan Gökkuşluğu alabalığı örneklerinin rehidrasyon oranı verilerine ait Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları; Çizelge 4.9.'da verilmiştir. Test sonucuna göre ön işlem uygulamasının rehidrasyon oranını düşürdüğü, mikrodalga gücünün artırılmasıyla ise rehidrasyon oranının yükseldiği görülmüştür. Ön işlem uygulanmayan grupta artan mikrodalga gücüne göre rehidrasyon oranı sırasıyla; %46.27, %62.59, %68.53 ve %71.88 şeklinde bulunmuştur. %20 tuz çözeltisinde bekletilerek ön işlem uygulanan grupta ise rehidrasyon oranı artan mikrodalga gücüne göre sırasıyla; %24.44, %28.15, %50.02 ve %59.57 olarak belirlenmiştir.

Duan ve ark. (2011); tatlı su Çipuralarını ön kurutma işlemi sonrasında; 200 W, 400 W ve 600 W mikrodalga güçlerinde kurutmuşlardır. Çalışma sonucunda mikrodalga gücünün artması ile kurutulmuş örneklerin rehidrasyon oranlarının arttığını tespit etmişlerdir. Mikrodalga gücünün artışına paralel olarak örnek içerisinde hızlı bir sıcaklık artışı ve buharlaşma görülür. Bu durum dokunun zedelenmesine daha gözenekli bir yapı oluşmasına neden olmaktadır. Örnek içerisindeki gözenekli yapının artışının rehidrasyon

oranının yükselmesine neden olduğu bildirilmiştir (Aykın-Dinçer ve ark., 2020; Liu ve ark., 2018).

Wang ve ark. (2019); tatlı su Çipuralarını farklı kurutma yöntemleri ve ön işlem uygulamaları ile kurutmuşlardır. Vakum mikrodalga ile kurutulan örnekleri, iki gruba ayırmışlardır. Birinci gruba kurutma öncesi ön işlem uygulanmamışken ikinci grup %20 tuz çözeltisinde 2 saat bekletilerek osmotik dehidrasyon uygulanmıştır. Çalışma sonunda osmotik dehidrasyon ile kurutulan örneklerin rehidrasyon oranının ön işlem uygulanmayan gruba kıyasla daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. Ön işlem uygulanan örneklerin başlangıç nemlerinin daha düşük olması nedeniyle kuruma esnasında oluşan buhar basıncı, ön işlem uygulanmayan örneklere kıyasla daha düşük olmuştur. Aynı zamanda osmotik dehidrasyona uğramış örnekler, içerisinde tuz barındırmaktadır. Bu tuz, rehidrasyon oranı analizi esnasında örneklerin bekletildikleri saf suda bir miktar çözünmekte, bu da örneğin ağırlığında azalmaya neden olmaktadır. Bu nedenle ön işlem uygulanan örneklerin rehidrasyon oranları, ön işlem uygulanmayan örneklere kıyasla daha düşük bulunmuştur (Ye ve ark., 2017).

4.6. Tekstür Profil Analizi Sonuçları

Sertlik (Hardness)

Çizelge 4.9. incelendiğinde ön işlem uygulamasının örneklerin sertlik dereceleri üzerindeki etkisinin istatistik anlamda oldukça önemli düzeyde olduğu görülmüştür. Mikrodalga gücünün sertlik üzerine etkisi istatistiki olarak önemli ($p < 0.05$) düzeyde bulunmuştur. Ön işleme ve mikrodalga gücü arasındaki interaksiyon ise istatistiki olarak çok önemli ($p < 0.01$) düzeyde anlamlıdır.

Çizelge 4.10' da sertlik değerleri incelendiğinde ön işlem uygulanmayan grubun sertlik değerlerinin, ön işlem uygulanan gruba göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. %20 tuz çözeltisine bekletildikten sonra kurutulan örneklerin kurutma öncesindeki nem içeriği ön işlem görmeyen örneklere kıyasla daha düşüktür. Bu da ön işlem görmeyen gruptaki örneklerin kuruma esnasındaki su kaybının daha hızlı olacağı anlamına gelmektedir. Nem kaybının hızlı olması örneklerin büzülmesine, bu da sertlik değerlerinin yükselmesine neden olmaktadır (Liu ve ark., 2018).

Ön işlem uygulanmayan grupta mikrodalga gücünün artışıyla sertliğin kısmen azaldığı, ön işlem uygulanan grup için sertlik değerlerinde dalgalanma olduğu görülmektedir. Her iki grup için de mikrodalga gücüne bağlı belirgin bir azalma eğilimi

Çizelge 4.9. Ön uygulanmamış ve uygulanmış, farklı mikrodalga güçleri ile kurutulmuş gökkuşuğu alabalığı örneklerinin tekstür profil analizi (TPA) verilerine ait Varyans Analizi sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	Sertlik (g) (Hardness)		Elastikiyet (Springiness)		İç Yapışkanlık (Cohesiveness)		Çiğnenebilirlik(g) (Chewiness)		Geri Kazanım (Resilience)	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Ön işlem (A)	1	88.983	126.46***	0.070460	9.65**	296.736	12.18**	340851812	8.98**	0.0004118	60.74
Mikrodalga gücü (B)	3	5.442	3.60*	0.017976	2.46	0.386	2.06	15135769	0.40	0.0026590	4.61
AxB	3	6.003	6.36**	0.006556	0.90	2.287	0.6	53968282	1.42	0.0033585	0.84*
Hata	16	0.155		0.007303		0.153		37959379		0.009789	
Toplam	23										

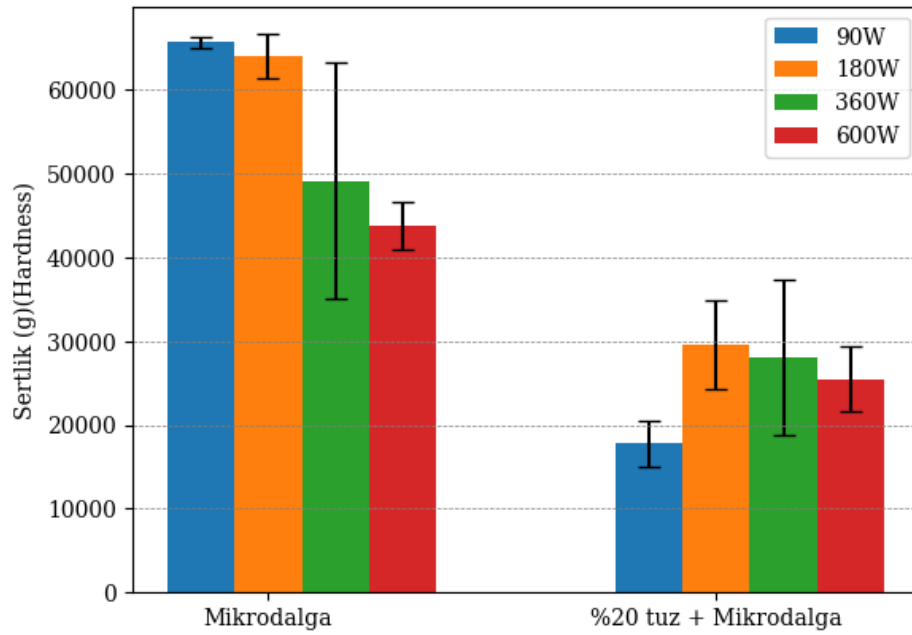
***: p < 0.001, **: p < 0,01, * : p < 0,05

Çizelge 4.10. Ön işlem uygulanmamış ve uygulanmış, farklı mikrodalga güçleri ile kurutulmuş gökkuşağı alabalığı örneklerinin tekstür profil analizi (TPA) verilerine ait Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Faktör	n	Sertlik (g) (Hardness)	Elastikiyet (Springiness)	İç Yapışkanlık (Cohesiveness)	Çiğnenabilirlik (g)(Chewiness)	Geri Kazanım (Resilience)
Ön işlem (A)						
Uygulanmamış (M)	12	5564411±11649 ^a	0.7434±0.12 ^b	0.5337±0.10 ^b	20431±7063 ^a	0,2743±0.05 ^{ö.siz}
Uygulanmış (T)	12	25250±6865 ^b	0.8518±0.06 ^a	0.6384±0.03 ^a	12894±4916 ^b	0.2826±0.02 ^{ö.siz}
Mikrodalga gücü (B)						
90 W	6	41743±26265 ^{ab}	0.7803±0.11 ^{ö.siz}	0.5666±0.11 ^{ö.siz}	17037±10302 ^a	0.2948±0.04 ^{ö.siz}
180 W	6	46790±19261 ^a	0.8179±0.11 ^{ö.siz}	0.6023±0.06 ^{ö.siz}	16334±8179 ^a	0.2813±0.03 ^{ö.siz}
360 W	6	38611±15687 ^{ab}	0.7318±0.12 ^{ö.siz}	0.5381±0.11 ^{ö.siz}	14726±5531 ^a	0.2480±0.04 ^{ö.siz}
600 W	6	34643±10445 ^b	0.8604±0.58 ^{ö.siz}	0.6372±0.06 ^{ö.siz}	18552±4290 ^a	0.2898±0.03 ^{ö.siz}
AxB						
Mx90	3	65664±653 ^a	0.7275±0.08 ^{ö.siz}	0.5046±0.14 ^{ö.siz}	24744±9132 ^{ö.siz}	0.3141±0.05 ^a
Mx180	3	64040±2607 ^a	0.7790±0.14 ^{ö.siz}	0.5748±0.68 ^{ö.siz}	19997±7006 ^{ö.siz}	0.2919±0.04 ^{ab}
Mx360	3	49101±14097 ^{ab}	0.6311±0.08 ^{ö.siz}	0.4583±0.11 ^{ö.siz}	15144±7746 ^{ö.siz}	0.2151±0.02 ^b
Mx600	3	43769±2893 ^{bc}	0.8359±0.07 ^{ö.siz}	0.5972±0.05 ^{ö.siz}	21838±2974 ^{ö.siz}	0.2763±0.04 ^{ab}
Tx90	3	17822±2747 ^d	0.8331±0.12 ^{ö.siz}	0.6286±0.02 ^{ö.siz}	9329±1927 ^{ö.siz}	0.2755±0.02 ^{ab}
Tx180	3	29539±5287 ^{cd}	0.8567±0.06 ^{ö.siz}	0.6298±0.04 ^{ö.siz}	12671±8827 ^{ö.siz}	0.2707±0.02 ^{ab}
Tx360	3	28121±9297 ^{cd}	0.8324±0.03 ^{ö.siz}	0.6180±0.02 ^{ö.siz}	14308±3995 ^{ö.siz}	0.2809±0.03 ^{ab}
Tx600	3	25516±3806 ^{cd}	0.8849±0.03 ^{ö.siz}	0.6772±0.03 ^{ö.siz}	15266±2182 ^{ö.siz}	0.3033±0.01 ^{ab}

* Aynı sütunda farklı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki ($p < 0.001$; $p < 0.01$; $p < 0.05$) olarak birbirinden farklıdır. (ö.siz: önemsiz)

görülmemektedir. Teorik olarak mikrodalga gücünün artması ile kuruma hızlanır. Kuruma hızının yüksek olduğu durumda örnek dokusu içine çökerek büzülür, bu durum sertlik değerlerinin artmasına neden olur. Analiz sonuçlarına göre; mikrodalga gücünün artmasına bağlı olarak sertlik değerlerinde artış görülmemiştir. Bu nedeni durumun nedeni mikrodalga güçlerinde kurumanın homojen bir şekilde gerçekleşirken, mikrodalga gücünün artışıyla homojen bir ısınma sağlanamaması ve buna bağlı olarak da örnek içerisinde yumuşak noktaların kalması olabilir.



Şekil 4.15. Ön işlem uygulanmadan ve %20 tuz çözeltisinde bekletilerek ön işlem uygulandıktan sonra kurutulan alabalık örneklerine ait Sertlik (Hardness) değerleri

Elastikiyet (Springiness)

Elastikiyet; gıdalara dışarıdan herhangi bir kuvvet uygulandığında, kuvvetin ortadan kaldırılması sonrasında gıdanın başlangıçtaki formuna dönme hızı olarak tanımlanmaktadır (Bourne, 2002). Çizelge 4.9. incelendiğinde ön işlem uygulamanın elastikiyet değeri üzerine olan etkisinin istatistiki olarak önemli ($p < 0,01$) olduğu belirlenmiştir. Mikrodalga gücü, ön işlem x mikrodalga gücüne ait interaksyonu ise istatistiki olarak önemsizdir. Çizelge 4.10. incelendiğinde ön işlem uygulanan grubun elastikiyet değerlerinin ön işlem uygulanmayan gruba kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. Buna göre ön işlem uygulanan alabalık filetolarında yapısal bütünlük ve duyuşal özellikler daha iyi korunmuştur (Kim ve ark., 2020). Ön işlem uygulanmayan

gruptaki örneklerde kurumanın çok hızlı gerçekleşmesinin protein denatürasyonuna bağlı olarak örneklerin yapılarının daha katı ve daha az elastik olmasına neden olduğundan kaynaklanmış olabilir. Yalçın ve Şeker (2016), farklı tuz seviyelerinde ön işlem uygulayarak kuruttukları hindi eti örneklerinde tuzlamanın et örneklerinin elastikiyet değerlerini yükselttiğini rapor etmişlerdir.

İç Yapışkanlık (Cohesiveness)

İç yapışkanlık; bir gıdanın yapısını oluşturan bağların gücü şeklinde tanımlanmıştır (Coelho ve ark., 2007). Çizelge 4.9. incelendiğinde ön işlem uygulamanın iç yapışkanlık üzerinde etkisinin önemli ($p < 0.01$) olduğu görülmüştür. Mikrodalga gücü, ön işlem x mikrodalga gücü etkileşimini verileri arasındaki fark istatistik olarak önemsizdir. Çizelge 4.10.'da iç yapışkanlık değerinin ön işlem uygulanan grup için daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ön işlem uygulanmayan grupta başlangıç neminin yüksek olması, mikrodalga kurutmada kuruma hızının yüksek olmasına ve homojen olmayan bir kuruma meydana gelmesine neden olmuş olabilir. Bu durum yapıyı bir arada tutan bağların daha zayıf olmasına neden olmaktadır. Buna ek olarak tuz çözeltisinde bekletilen örneklerde kısmi protein denatürasyonunun gerçekleşmesi örnek içerisindeki bağların daha kuvvetli olmasına neden olabileceği ifade edilmiştir (Dong, 2024).

Çiğnenebilirlik (Chewiness)

Çiğnenebilirlik; katı bir gıdanın yutmaya hazır hale gelebilmesi için harcanması gereken çiğneme enerjisini ifade etmektedir (Coelho ve ark., 2007). Çiğnenebilirlik; ikincil tekstür parametrelerindedir ve sertlik, iç yapışkanlık ve elastikiyet parametrelerinin çarpımı ile elde edilir. Çizelge 4.9. incelendiğinde ön işlem uygulamanın çiğnenebilirlik değeri üzerine olan etkisi istatistik olarak önemli ($p < 0,01$) düzeyde bulunmuştur. Mikrodalga gücü, ön işlem x mikrodalga gücü etkileşimini arasındaki farkın istatistik olarak önemsiz ($p > 0.05$) olduğu görülmüştür. Çizelge 4.10.'da çiğnenebilirlik değerinin ön işlem uygulanmayan grupta daha yüksek olduğu görülmüştür. Ön işlem uygulanmayan gruptaki sertlik değerinin yüksek olması, çiğnenebilirlik değerinin de ön işlem uygulanmayan grupta, ön işlem uygulanan gruba kıyasla daha yüksek bulunmasına neden olmuştur.

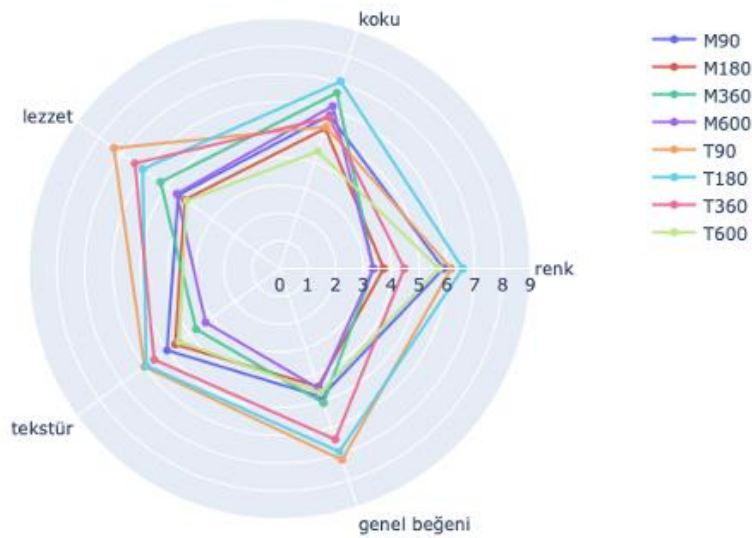
Geri Kazanım (Resilience)

Çizelge 4.9’da verilen varyans analizi sonuçlarına göre ön işlem uygulanmasının ve mikrodalga gücünün geri kazanım değerleri üzerinde istatistiki olarak anlamlı bir etkisi olmadığı görülmüştür. Ön işlem x mikrodalga gücü arasındaki interaksyon ise istatistiki olarak önemli ($p < 0.05$) bulunmuştur. En yüksek geri kazanım değerinin 0.3141 ile ön işlem uygulanmadan 90 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş alabalık örneğine, en düşük geri kazanım değerinin ise 0.2151 ile ön işlem uygulanmadan 360 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş alabalık örneğine ait olduğu bulunmuştur.

4.7. Duyusal Analiz Sonuçları

Çizelge 4.11. Ön işlem uygulanmamış ve %20 tuz çözeltisi ile ön işlem uygulanarak farklı mikrodalga seviyelerinde kurutulmuş Gökkuşuğu alabalığının duyusal analiz sonuçları

Örnek	Renk	Koku	Lezzet	Tekstür	Genel beğeni
Mikrodalga x 90W	5.88	5.79	4.50	5.00	4.85
Mikrodalga x 180W	3.73	5.29	4.21	4.64	4.46
Mikrodalga x 360W	3.36	6.64	5.29	3.71	5.08
Mikrodalga x 600W	3.36	6.14	4.57	3.29	4.54
(%20 tuz + Mikrodalga) x 90W	6.15	5.36	7.36	6.00	7.23
(%20 tuz + Mikrodalga) x 180W	6.57	7.07	6.08	5.93	6.92
(%20 tuz + Mikrodalga) x 360W	4.47	5.71	6.43	5.57	6.46
(%20 tuz + Mikrodalga) x 600W	5.71	4.43	4.14	4.46	4.69



Şekil 4.16. Duyusal analiz sonuçlarına ait radar grafiği

Ön işlem uygulanmadan ve %20 tuz çözeltisinde ön işlem uygulanan farklı mikrodalga seviyelerinde kurutulmuş gökkuşığı alabalığının duyu analizi/değerlendirmeleri yapılmıştır. Duyusal değerlendirmede panelistlerden örneklerin; renk, tat, koku, lezzet, tekstür ve genel beğeni parametrelerini değerlendirmeleri istenmiştir. Değerlendirme sonunda en yüksek renk ve koku puanlarını; %20 tuz ile ön işlem uygulandıktan sonra 180 W mikrodalga gücü ile kurutulan örnek almıştır. En yüksek lezzet ve tekstür puanlarını; %20 tuz ile ön işlem uygulandıktan sonra 90 W ile kurutulan örnekler almıştır. Genel beğeni açısından en yüksek puanları %20 tuz ile ön işlem uygulanmış grupta sırasıyla; 90W ve 180W mikrodalga gücü ile kurutulan örneklerin aldığı tespit edilmiştir.

Mikrodalga kurutma esnasında, mikrodalga gücü arttıkça, homojen bir ısınma sağlanamadığından örneklerin renginde ve genel görüntüsünde bozulmalar meydana geldiği, bu durumun da örneklerin duyu özelliklerini olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Panelistler; düşük mikrodalga güçlerinde kurutulan örneklere, yüksek mikrodalga gücünde kurutulan örneklere göre daha yüksek puanlar vermişlerdir.

%20 tuz çözeltisinde bekletilerek ön işlem uygulanmış örneklerde osmotik dehidrasyon sonucu kurutmanın daha homojen gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu örneklerde yapı ve renk daha iyi korunmuş, kuruma daha homojen bir şekilde gerçekleşmiştir. Osmotik dehidrasyonun yanı sıra tuz örneklerin lezzetinin de gelişmesine katkı sağlamıştır. Duyusal analiz sonuçlarına göre panelistlerin tuzla muamele edilen örnekleri, ön işlem uygulanmadan kurutulan örneklere göre daha çok beğendikleri belirlenmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Çalışmamızda Gökkuşuğu alabalığı örnekleri ön işlem uygulanmadan ve ön işlem uygulandıktan sonra farklı mikrodalga güçlerinde kurutulmuş, kuruma davranışı, kurutma kinetiği ve kurutmanın balık örneklerinin fizikokimyasal özellikleri üzerine olan etkileri belirlenmiştir. Öncelikle örneklerde hammadde bileşen analizleri yapılmıştır. Ayrıca başlangıç su aktivitesi ve renk değerleri de tespit edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre; alabalık örneklerindeki başlangıç nem miktarı; %74.20, kül miktarı %1.09, yağ miktarı %2.30 ve protein miktarı %19.05 olarak bulunmuştur. Örneklerin başlangıç su aktivitesi değeri 0.99 olarak ölçülmüştür. L^* , a^* , b^* renk değerleri ise sırasıyla; 53.87, 8.88, 12.43 olarak belirlenmiştir.

Gökkuşuğu alabalığı örnekleri, iki gruba ayrılmıştır. Birinci grup örnekler herhangi bir ön işlem uygulanmadan; 90 W, 180 W, 360 W ve 600 W mikrodalga güçlerinde kurutulmuştur. İkinci grup örnekler ise; osmotik dehidrasyona uğratılmıştır. Bunun için örnekler oda sıcaklığında %20'lik tuz çözeltisinde 2 saat süreyle bekletilmişlerdir. Ön işlem sonrası örnekler, birinci grupta olduğu gibi; 90 W, 180 W, 360 W ve 600 W mikrodalga güçlerinde kurutulmuştur. Kurutma eğrilerinin oluşturulabilmesi için; 90 W, 180 W, 360 W ve 600 W ile kurutulan örneklerin sırasıyla; 60 saniye, 45 saniye, 30 saniye ve 15 saniyede bir ağırlıkları belirlenmiştir. Elde edilen veriler ile, nem içeriğine karşı zaman grafikleri çizilmiştir. Grafikler incelendiğinde mikrodalga gücünün artışıyla kuruma süresinin kısaldığı görülmüştür. Ön işlem uygulanan gruptaki örneklerin kuruma sürelerinin başlangıç neminin düşük olmasına bağlı olarak daha kısa olduğu tespit edilmiştir. Ön işlem uygulanmayan grupta kuruma süresi; 90 W, 180 W, 360 W ve 600 W için, sırasıyla; 23 dk, 12.5 dk, 6.5 dk ve 3.5 dk olarak belirlenmiştir. %20 tuz çözeltisinde bekletilerek ön işlem uygulanan örneklerde kuruma süresi sırasıyla; 19 dk, 9 dk, 6 dk ve 3.25 dk olmuştur.

Kurutma verilerinden elde edilen diğer grafik, kuruma hızına karşılık nem içeriği grafiği olup, grafik kuruma periyotlarını göstermektedir. Grafiklerde kurumanın düşen hız periyodunda gerçekleştiği belirlenmiştir.

Kurutulan örneklerin efektif difüzyon katsayıları, nem oranının doğal logaritmasının zamana karşı olan grafiğinin eğiminden hesaplanmıştır. Efektif difüzyon katsayıları ön işlem uygulanmayan grupta; 90 W, 180 W, 360 W ve 600 W için sırasıyla; $1.278431e-06 \text{ m}^2/\text{s}$, $2.181208e-06 \text{ m}^2/\text{s}$, $4.137468e-06 \text{ m}^2/\text{s}$ ve $6.914818e-06 \text{ m}^2/\text{s}$ olarak hesaplanmıştır. Ön işlem uygulanan grupta ise; 90W, 180W, 360W ve 600W için sırasıyla; $1.235304e-06 \text{ m}^2/\text{s}$, $2.697964e-06 \text{ m}^2/\text{s}$, $4.503338e-06 \text{ m}^2/\text{s}$ ve $6.645168e-06 \text{ m}^2/\text{s}$ olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan efektif difüzyon katsayıları, aktivasyon enerjisinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Efektif difüzyon katsayısının, örnek ağırlığı/mikrodalga gücü verilerine karşı olan grafik eğimi aktivasyon enerjisini vermektedir. Çizilen grafikler değerlendirildiğinde aktivasyon enerjisinin ön işlem uygulanmayan grup için; 8.32 W/g ve ön işlem gören grup için; 8.51 W/g olduğu belirlenmiştir.

Kurutma kinetiği için zamana karşı nem oranı verileri kullanılarak verilerin 7 farklı ince tabaka modeline olan uygunluğu belirlenmiştir. Model uygunluğunun belirlenebilmesi için; R^2 , ki-kare ve RMSE değerleri hesaplanmıştır. Buna göre alabalık örneklerinin mikrodalga ile kurutulmasını en iyi açıklayan modelin; Midilli modeli olduğu belirlenmiştir. Midilli modeline ait tahmini nem oranı değerlerine karşılık deneysel nem oranı verileri, grafik ile gösterilmiştir.

Çalışmanın fizikokimyasal analizler kısmında kurulmuş örneklerde; renk, su aktivitesi, rehidrasyon oranı, tekstür profil analizi ve duyu analizi gerçekleştirilmiştir. Ön işlem uygulanan gruptaki örneklerin L^* değerlerinin, diğer gruba kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. L^* değeri mikrodalga gücünün artmasıyla kısmen azalmıştır. a^* değeri, mikrodalga gücünden etkilenmiştir. Mikrodalga gücü arttıkça, a^* değerinin azaldığı saptanmıştır. Ön işlem uygulanan gruptaki örneklerin a^* değerlerinin ön işlem uygulanmayan gruba kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ön işlem uygulanan grupta b^* değerlerinin daha yüksek olduğu saptanmıştır. b^* değerleri mikrodalga gücünden etkilenmemiştir.

Ön işlem uygulanmayan gruba ait örneklerin rehidrasyon oranlarının, ön işlem uygulanan gruptan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Mikrodalga gücü arttıkça, her iki grupta da rehidrasyon oranı artmıştır.

Tekstür profil analizinde istatistik anlamda en önemli farklar hardness (sertlik) değerlerinde bulunmuştur. Ön işlem uygulanmayan grubun sertlik değerlerinin, ön işlem uygulanan gruba göre çok daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Mikrodalga gücü arttıkça, sertlik değeri azalmıştır. Elastikiyet (springiness), iç yapışkanlık (cohesiveness), çiğnenebilirlik (chewiness) değerlerinde ön işlem uygulanan ve uygulanmayan gruplar

arasındaki farklar istatistiki olarak önemli bulunurken, mikrodalga gücünün bu değerler üzerinde etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Mikrodalga ile kurutulmuş örnekler duyusal analiz uygulanmıştır. Duyusal analiz sonuçlarına göre; genel beğeni puanı en yüksek olan, ön işlem uygulandıktan sonra 90W mikrodalga gücü ile kurutulan örnek olmuştur.

5.2. Öneriler

Balık, insan beslenmesinde önemli bir gıdadır. Birçok ülke yüzyıllardan beri çeşitli yöntemler ile balık kurutmaktadır. Kurutma çalışmaları; kurutma kinetiğinin incelenmesi, kurutma parametrelerinin optimize edilmesi, kurutma süresinin kısaltılması, kurutma maliyetlerinin düşürülmesi veya kurutulan örneklerin kalite özelliklerinin iyileştirilmesi gibi pek çok alanda yoğunlaşmaktadır. Çalışmada mikrodalga yönteminin hızlı ve düşük maliyetli bir yöntem olarak, balığın kurutulmasında kullanılabilirliği tespit edilmeye çalışılmıştır. Mikrodalga yönteminin bilinen dezavantajlarından daha az etkilenebilmek için bir grup örnek ise %20 tuz çözeltisinde bekletilerek ön işlem uygulanmış ve kurutma öncesi örneklerin osmotik dehidrasyonu sağlanmıştır. Kurutma verileri incelenmiş ve matematiksel modelleme yapılmıştır. Yapılan kinetik çalışmalara ek olarak kurutulan örneklerin fizikokimyasal özellikleri belirlenmiştir. Mikrodalga kurutma, pek çok avantajının yanında belirli dezavantajları da beraberinde getirmektedir. Mikrodalga'nın, farklı kurutma yöntemleri ile kombine olarak kullanılması, ön kurutma veya osmotik dehidrasyon gibi ön işlemler ile desteklenmesi ile daha etkili bir kurutma sağlanabilecektir. Çalışmamız farklı ön işlemlerin denenmesi veya kombine kurutma yöntemlerinin uygulanması ile geliştirilebilir.

6. EKLER

Çizelge 6.1. Ön işlem uygulanmamış ve ön işlem uygulanmış, 90W mikrodalga gücü ile kurutulan örneklerle ait ortalama nem oranı (MR), ln(MR) ve kuruma hızı (DR) değerleri

Zaman (dk)	Ön işlem uygulanmamış			Ön işlem uygulanmış		
	MR	ln(MR)	DR	MR	ln(MR)	DR
0	1	0	0	1	0	0
1	0,98297	-0,01717	0,01703	0,97647	-0,02381	0,02353
2	0,95041	-0,05086	0,03256	0,93938	-0,06253	0,03709
3	0,91639	-0,08732	0,03402	0,88595	-0,12109	0,05343
4	0,84141	-0,17267	0,07498	0,84042	-0,17385	0,04553
5	0,77692	-0,25242	0,06450	0,77986	-0,24864	0,06056
6	0,70880	-0,34419	0,06812	0,72256	-0,32495	0,05730
7	0,64326	-0,44120	0,06553	0,66943	-0,40132	0,05313
8	0,56952	-0,56296	0,07374	0,61453	-0,48690	0,05491
9	0,51406	-0,66542	0,05547	0,55700	-0,58518	0,05752
10	0,46349	-0,76896	0,05056	0,50942	-0,67449	0,04759
11	0,40831	-0,89574	0,05519	0,45706	-0,78295	0,05236
12	0,35770	-1,02807	0,05061	0,40900	-0,89403	0,04805
13	0,32014	-1,13901	0,03756	0,34802	-1,05549	0,06098
14	0,27423	-1,29377	0,04590	0,30506	-1,18725	0,04296
15	0,23095	-1,46557	0,04329	0,24993	-1,38658	0,05513
16	0,19783	-1,62034	0,03311	0,19531	-1,63318	0,05462
17	0,16084	-1,82735	0,03699	0,15802	-1,84503	0,03729
18	0,12922	-2,04623	0,03162	0,11253	-2,18454	0,03540
19	0,11516	-2,16139	0,01406	0,07713	-2,56232	0,02322
20	0,09995	-2,30313	0,01522			
21	0,08634	-2,44942	0,01360			
22	0,07461	-2,59543	0,01173			
23	0,06738	-2,69741	0,00723			

Çizelge 6.2. Ön işlem uygulanmamış ve ön işlem uygulanmış, 180W mikrodalga gücü ile kurutulan örneklerle ait ortalama nem oranı (MR), ln(MR) ve kuruma hızı (DR) değerleri

Zaman (dk)	Ön işlem uygulanmamış			Ön işlem uygulanmış		
	MR	ln (MR)	DR	MR	ln(MR)	DR
0	1,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000
0,75	0,96392	-0,03675	0,04811	0,93839	-0,06359	0,08214
1,50	0,91066	-0,09359	0,07102	0,87300	-0,13582	0,08719
2,25	0,82478	-0,19264	0,11451	0,76341	-0,26996	0,14613
3,00	0,73861	-0,30298	0,11488	0,66044	-0,41485	0,13729
3,75	0,65071	-0,42970	0,11721	0,55534	-0,58818	0,14013
4,50	0,53657	-0,62256	0,15219	0,47185	-0,75110	0,11132
5,25	0,47999	-0,73400	0,07544	0,39703	-0,92373	0,09975
6,00	0,41241	-0,88574	0,09011	0,30740	-1,17961	0,11951
6,75	0,34097	-1,07596	0,09525	0,24071	-1,42418	0,08892
7,50	0,27583	-1,28797	0,08685	0,17925	-1,71895	0,08194
8,25	0,20479	-1,58579	0,09473	0,12768	-2,05820	0,06876
9,00	0,15851	-1,84193	0,06170	0,08610	-2,45227	0,05545
9,75	0,12596	-2,07176	0,04340			
10,50	0,12263	-2,09855	0,00444			
11,25	0,11562	-2,15746	0,00935			
12,00	0,09009	-2,40694	0,03404			
12,75	0,08323	-2,48609	0,00914			
13,50	0,08095	-2,51389	0,00304			

Çizelge 6.3. Ön işlem uygulanmamış ve ön işlem uygulanmış, 360W mikrodalga gücü ile kurutulan örneklerle ait ortalama nem oranı (MR), ln(MR) ve kuruma hızı (DR) değerleri

Zaman (dk)	Ön işlem uygulanmamış			Ön işlem uygulanmış		
	MR	ln(MR)	DR	MR	ln(MR)	DR
0	1	0	0	1	0	0
0,50	0,94446	-0,05715	0,11109	0,97128	-0,02914	0,05744
1,00	0,84880	-0,16393	0,19131	0,89775	-0,10786	0,14706
1,50	0,74161	-0,29893	0,21438	0,80815	-0,21301	0,17921
2,00	0,63653	-0,45173	0,21017	0,69798	-0,35957	0,22034
2,50	0,54240	-0,61175	0,18826	0,58504	-0,53608	0,22588
3,00	0,45507	-0,78731	0,17466	0,49043	-0,71247	0,18921
3,50	0,37012	-0,99393	0,16989	0,39034	-0,94073	0,20018
4,00	0,29670	-1,21505	0,14685	0,29988	-1,20437	0,18093
4,50	0,23144	-1,46343	0,13051	0,22073	-1,51081	0,15830
5,00	0,17077	-1,76742	0,12134	0,14141	-1,95611	0,15865
5,50	0,12552	-2,07526	0,09050	0,10101	-2,29255	0,08080
6,00	0,09607	-2,34266	0,05890	0,08366	-2,48104	0,03471
6,50	0,07776	-2,55407	0,03662			

Çizelge 6.4. Ön işlem uygulanmamış ve ön işlem uygulanmış, 360W mikrodalga gücü ile kurutulan örneklerle ait ortalama nem oranı (MR), ln(MR) ve kuruma hızı (DR) değerleri

Zaman (dk)	Ön işlem uygulanmamış			Ön işlem uygulanmış		
	MR	ln(MR)	DR	MR	ln(MR)	DR
0	1	0	0	1	0	0
0,25	0,98300	-0,01715	0,06801	0,94228	-0,05945	0,23089
0,50	0,92421	-0,07882	0,23515	0,88717	-0,11971	0,22042
0,75	0,82647	-0,19060	0,39097	0,81451	-0,20517	0,29065
1,00	0,72224	-0,32539	0,41689	0,73308	-0,31050	0,32572
1,25	0,62868	-0,46413	0,37424	0,64782	-0,43415	0,34105
1,50	0,57196	-0,55868	0,22687	0,56240	-0,57554	0,34167
1,75	0,46382	-0,76826	0,43259	0,47912	-0,73581	0,33313
2,00	0,35162	-1,04520	0,44879	0,39848	-0,92009	0,32254
2,25	0,31069	-1,16897	0,16374	0,33171	-1,10351	0,26711
2,50	0,24717	-1,39768	0,25406	0,26773	-1,31778	0,25591
2,75	0,19561	-1,63162	0,20623	0,21176	-1,55232	0,22389
3,00	0,14844	-1,90760	0,18871	0,15278	-1,87875	0,23590
3,25	0,12291	-2,09627	0,10209	0,11316	-2,17893	0,15847
3,50	0,11277	-2,18240	0,04057			

KAYNAKLAR

- Adeli, A. (2013). Production and Supply of Rainbow Trout in Iran and the World Item Type Journal Contribution. *World Journal of Fish and Marine Sciences*, 5(3), 335–341. <https://doi.org/10.5829/idosi.wjfds.2013.05.03.72133>
- Amer, B. M. A., Azam, M. M., & Saad, A. G. (2023). Monitoring Temperature Profile and Drying Kinetics of Thin-Layer Banana Slices under Controlled Forced Convection Conditions. *Processes* 2023, Vol. 11, Page 1771, 11(6), 1771. <https://doi.org/10.3390/PR11061771>
- Anonim, (2023). Price Structure In the Supply Chain Focus on Spain and Italy May 2023 Case Study in the EU Large Trout Maritimes Affairs and Fisheries. <https://doi.org/10.2771/279177>
- Anonim (2011) Report of the Joint FAO/WHO Expert Consultation On The Risks And Benefits Of Fish Consumption. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations; Geneva, World Health Organization, 50 pp.
- Anonim, (2009) *Oncorhynchus mykiss*. https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/aquaculture/I1129m/file/en/en_rainbowtrout.htm
- Anonim. (2023). Su ürünleri, 2023. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Su-Urunleri-2023-53702>
- AOAC. (2003). Official Methods of Analysis. *Association of Analytical Washington, DC, USA, 17th ed.*
- Araya-Farias, M., & Ratti, C. (2008). Dehydration of foods: General concepts. *Advances in Food Dehydration*, 1–36. <https://doi.org/10.1201/9781420052534-7>
- Ayhan, Z., Soysal, Y., & Eştürk, O. (2009). Mikrodalga ile meyve ve sebze kurutmada enerji kullanım verimliliği ve ürün kalitesinin artırılmasında ileri kurutma tekniklerinin uygulanması üzerine araştırmalar. TÜBİTAK Proje No:105 O 547, 136s, Antakya, Hatay.
- Aykın Dinçer, E. (2022). Effects of Drying Temperature and Microwave Power on Quality Characteristics of Turkey Breast Slices. *Gıda*, 47(2), 147–156. <https://doi.org/10.15237/gida.gd21127>
- Aykın-Dinçer, E., Kılıç-Büyükkurt, Ö., & Erbaş, M. (2020). Influence of drying techniques and temperatures on drying kinetics and quality characteristics of beef slices. *Heat and Mass Transfer/Waerme- Und Stoffuebertragung*, 56(1), 315–320. <https://doi.org/10.1007/s00231-019-02712-z>

- Bellagha, S., Sahli, A., Farhat, A., Kechaou, N., & Glenza, A. (2007a). Studies on salting and drying of sardine (*Sardinella aurita*): Experimental kinetics and modeling. *Journal of Food Engineering*, 78(3), 947–952. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.12.008>
- Belton, B., Johnson, D. S., Thrift, E., Olsen, J., Hossain, M. A. R., & Thilsted, S. H. (2022). Dried fish at the intersection of food science, economy, and culture: A global survey. *Fish and Fisheries*, 23(4), 941–962. <https://doi.org/10.1111/FAF.12664>
- Bing, L., Chuan, L., Zhen-hua, D., Yan, L., Qun, Y., Shi-lin, R., Bing, L., Chuan, L., Zhen-hua, D., Yan, L., Qun, Y., & Shi-lin, R. (2017). Characteristics of osmotic-vacuum microwave drying of tilapia fillets and its drying kinetics. *Science and Technology of Food Industry*, 18, 30–35. <https://doi.org/10.13386/J.ISSN1002-0306.2017.18.006>
- Bourne, M. C. (2002). Texture, Viscosity, and Food. *Food Texture and Viscosity*, 1–32. <https://doi.org/10.1016/B978-012119062-0/50001-2>
- Carciofi, A. M., Laurindo, J., Fitri, N., Xi, S., Chan, Y., Hanini, N., Lah, C., Jam, F. A., Misnan, N. M., Kamal, N., Nazira Sarian, M., Aizuddin, M., Lazaldin, M., Fei Low, C., Hamezah, H. S., Rohani, E. R., Mediani, A., & Abas, F. (2022). A Comprehensive Review on the Processing of Dried Fish and the Associated Chemical and Nutritional Changes. *Foods*, 11(2938). <https://doi.org/10.3390/foods11192938>
- Chandrasekaran, S., Ramanathan, S., & Basak, T. (2013). Microwave food processing-A review. *Food Research International*, 52, 243–261. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.02.033>
- Chukwunonye, C. D., Nnaemeka, N. R., Chijioke, O. V., & Obiora, N. C. (2016). Thin Layer Drying Modelling for Some Selected Nigerian Produce: A Review. *American Journal of Food Science and Nutrition Research*, 3(1), 15. <https://doi.org/10.1007/S11947-008-0136-0>
- Coelho, G. M., Weschenfelder, Â. V., Meinert, E. M., Amboni, R. D. de M. C., & Beirão, L. H. (2007). Effects of Starch Properties on Textural Characteristics of Fish Burgers: Sensory and Instrumental Approaches. *Boletim Do Centro De Pesquisa De Processamento De Alimentos*, 25(1). <https://doi.org/10.5380/CEP.V25I1.8393>
- Darvishi, H., Azadbakht, M., Rezaeiasl, A., & Farhang, A. (2013a). Drying characteristics of sardine fish dried with microwave heating. *Journal of the Saudi*

- Society of Agricultural Sciences*, 12(2), 121–127.
<https://doi.org/10.1016/J.JSSAS.2012.09.002>
- Darvishi, H., Azadbakht, M., Rezaeiasl, A., & Farhang, A. (2013b). Drying characteristics of sardine fish dried with microwave heating. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 12(2), 121–127. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2012.09.002>
- Datta, A. K., & Davidson, P. M. (2000). Microwave and Radio Frequency Processing. *Journal of Food Science*, 65(8), 32–41. <https://doi.org/10.1111/J.1750-3841.2000.TB00616.X>
- Dong, X. (2024). Texture of Fish and Fish Products. *Food Texturology: Measurement and Perception of Food Textural Properties*, 331–353. https://doi.org/10.1007/978-3-031-41900-3_16
- Doymaz, I. (2007). The kinetics of forced convective air-drying of pumpkin slices. *Journal of Food Engineering*, 79(1), 243–248. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2006.01.049>
- Duan, Z. H., Jiang, L. N., Wang, J. L., Yu, X. Y., & Wang, T. (2011). Drying and quality characteristics of tilapia fish fillets dried with hot air-microwave heating. *Food and Bioproducts Processing*, 89(4), 472–476. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.11.005>
- Duan, Z., Zhang, M., Hu, Q., & Sun, J. (2005). Characteristics of microwave drying of bighead carp. *Drying Technology*, 23(3), 637–643. <https://doi.org/10.1081/DRT-200054156>
- Ertekin, C., & Firat, M. Z. (2017). A comprehensive review of thin-layer drying models used in agricultural products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(4), 701–717. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.910493>
- Fornshell, G. (2002). Rainbow Trout-Challenges and Solutions. *Reviews in Fisheries Science*, 10(4), 545–557.
- Fu, X., Lin, Q., Xu, S., & Wang, Z. (2015). Effect of drying methods and antioxidants on the flavor and lipid oxidation of silver carp slices. *LWT - Food Science and Technology*, 61(1), 251–257. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2014.10.035>
- Gall, G. A. E., & Crandell, P. A. (1992). The rainbow trout. *Aquaculture*, 100(1–3), 1–10. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90333-G](https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90333-G)
- Geankoplis, C. J. (2015). *Taşınma Süreçleri ve Ayırma Süreci İlkeleri*, (Çeviren, Yapımcı S.), Güven Yayınevi, İzmir, 576-577 (1978).

- Ghimire, A., Basnet, S., Poudel, R., & Ghimire, A. (2021). Mathematical modeling of thin layer microwave drying of Jaya fish (*Aspidoparia jaya*). *Food Science and Technology International*, 27(6), 508–516. <https://doi.org/10.1177/108203220>
- Grau, R., Andres, A., & Barat, J. M. (2014). Principles of Drying. *Handbook of Fermented Meat and Poultry: Second Edition*, 31–38. <https://doi.org/10.1002/9781118522653.CH5>
- Hunt Chair, M., Jeremiah Olson, L. D., Savell, J., & Shivas Oscar Mayer Madison, S. W. (1991). Guidelines for Meat Color Evaluation American Meat Science Association Committee on Guidelines for Meat Color Evaluation, *44th Annual Reciprocal Meat Conference*, 9-12.
- Ikutegbe, V., & Sikoki, F. (2014). Microbiological and biochemical spoilage of smoke-dried fishes sold in West African open markets. *Food Chemistry*, 161, 332–336. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2014.04.032>
- Inyang, U. E., Oboh, I. O., & Etuk, B. R. (2018). Kinetic Models for Drying Techniques—Food Materials. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 08(02), 27–48. <https://doi.org/10.4236/aces.2018.82003>
- Inyang, U. E., Oboh, I. O., Etuk, B. R., Inyang, U. E., Oboh, I. O., & Etuk, B. R. (2018). Kinetic Models for Drying Techniques—Food Materials. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 8(2), 27–48. <https://doi.org/10.4236/ACES.2018.82003>
- İsmail, O., & Kocabay, O. G. (2018a). Infrared and Microwave Drying of Rainbow Trout: Drying Kinetics and Modelling. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 18(2), 259–266. https://doi.org/10.4194/1303-2712-V18_2_05
- İsmail, O., & Kocabay, O. G. (2018b). Infrared and microwave drying of rainbow trout: Drying kinetics and modelling. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 18(2), 259–266. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v18_2_05
- Joardder, M. U., Akram, W., & Karim, A. (2022). *Heat and Mass Transfer Modelling During Drying; Empirical to Multiscale Approaches*.
- Kıpcak, A. S. (2017). Microwave drying kinetics of mussels (*Mytilus edulis*). *Research on Chemical Intermediates*, 43(3), 1429–1445. <https://doi.org/10.1007/s11164-016-2707-4>
- Kıpcak, A. S., & İsmail, O. (2021). Microwave drying of fish, chicken and beef samples. *Journal of Food Science and Technology*, 58(1), 281–291. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04540-0>

- Kumar, C., & Karim, M. A. (2019). Microwave-convective drying of food materials: A critical review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(3), 379–394. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1373269>
- Liu, B., Cao, J., Feng, A. G., Liu, Y., Yu, Q., Li, C., & Duan, Z. H. (2018). Effects of osmotic dehydration vacuum-microwave drying on the properties of tilapia fillets. *Czech Journal of Food Sciences*, 36(2), 169–174. <https://doi.org/10.17221/137/2017-CJFS>
- Midilli, A., Kucuk, H., & Yapar, Z. (2007). A New Model For Single-Layer Drying. *Http://Dx.Doi.Org/10.1081/DRT-120005864*, 20(7), 1503–1513. <https://doi.org/10.1081/DRT-120005864>
- Mrak, E. M., Stewart, G. F., Chichester, C. O., Von Sydow, E., Morgan, A. I., Scott, J. K., & Hawthorn, J. (1978). Water activity and food quality a series of monographs. *Food Technology*, 1–12; 69–85.
- Kim, B. S., Oh, B. J., Lee, J. H., Yoon, Y. S., & Lee, H. I. (2020). Effects of various drying methods on physicochemical characteristics and textural features of yellow croaker (*Larimichthys polyactis*). *Foods*, 9(2), 196. <https://doi.org/10.3390/foods9020196>
- Mujumdar, A. S., & Wu, Z. (2007). Thermal Drying Technologies: New Developments and Future R&D Potential. *5th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics Sun City, South Africa*, 1–8. https://doi.org/10.1142/9789812771957_0001
- Kutlu N., (2015). Gıdalarda İnce Tabaka Kurutma Modelleri. *Gıda*, 40(1), 39–46. <https://doi.org/10.15237/gida.GD14031>
- Nuwanthi, S. G. L. I., Madage, S. S. K., Hewajulige, I. G. N., & Wijesekera, R. G. S. (2016). Comparative Study on Organoleptic, Microbiological and Chemical Qualities of Dried Fish, Goldstripe Sardinella (*Sardinella gibbosa*) with Low Salt Levels and Spices. *Procedia Food Science*, 6, 356–361. <https://doi.org/10.1016/J.PROFOO.2016.02.072>
- Ortiz, J., Lemus-Mondaca, R., Vega-Gálvez, A., Ah-Hen, K., Puente-Diaz, L., Zura-Bravo, L., & Aubourg, S. (2013). Influence of air-drying temperature on drying kinetics, colour, firmness and biochemical characteristics of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fillets. *Food Chemistry*, 139(1–4), 162–169. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.01.037>

- Özyalcın, Z. O., & Kıpçak, A. S. (2021). The effect of ultrasonic pre-treatment on the temperature controlled infrared drying of loligo vulgaris and comparison with the microwave drying. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 21(3), 135–145. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v21_3_04
- Özyalcın, Z. O., Kıpçak, A. S., & Tugrul, N. (2023). The Effect of Various Methods on the Drying Kinetics and Mathematical Modelling of Seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 32(4), 384–395. <https://doi.org/10.1080/10498850.2023.2227853>
- Page, G. E. (1949). Factors Influencing The Maximum Rates Of Air Drying Shelled Corn In Thin Layers. *Theses and Dissertations Available from ProQuest*. <https://docs.lib.purdue.edu/dissertations/AAI1300089>
- Pardeshi, I. L., Arora, S., & Borker, P. A. (2009). Thin-Layer Drying of Green Peas and Selection of a Suitable Thin-Layer Drying Model. *Drying Technology*, 27(2), 288–295. <https://doi.org/10.1080/07373930802606451>
- Prabhakar, G., & Raju, D. C. (2000). Drying technology in agriculture and food sciences. *Drying Technology in Agriculture and Food Sciences.*, 85–89.
- Renshaw, R. C. (2017). New insights into RF and microwave drying of foods. Yayınlanmış doktora tezi, University of Nottingham, UK.
- Samuel Hadgu, M. (2018.). Fish preservation: a multidimensional approach. *MOJ Food Process Technology*. 6(3), 303-310. <https://doi.org/10.15406/mojfpt.2018.06.00180>
- Shahriar, M. F., Joardder, M. U. H., & Karim, A. (2022). Recent trends and future potential of microwave-assisted fish drying. *Drying Technology*, 40(16), 3389–3401. <https://doi.org/10.1080/07373937.2022.2072316>
- Sobral, M. M. C., Cunha, S. C., Faria, M. A., & Ferreira, I. M. P. L. V. O. (2018). Domestic Cooking of Muscle Foods: Impact on Composition of Nutrients and Contaminants. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(2), 309–333. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12327>
- Tacon, A. G. J., Lemos, D., & Metian, M. (2020a). Fish for Health: Improved Nutritional Quality of Cultured Fish for Human Consumption. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 28(4), 449–458. <https://doi.org/10.1080/23308249.2020.1762163>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020*. Erişim tarihi, 17 Temmuz 2023, <https://www.fao.org/state-of-fisheries-aquaculture/2020/en>

- Thompson, T. L., Peart, R. M., Foster, G. H., Member, A., Member, A., & Asae, A. M. (1968). Mathematical Simulation of Corn Drying A New Model. *Transactions of the ASAE*, 11, 582–586.
- Tsironi, T. N., & Taoukis, P. S. (2018). Current Practice and Innovations in Fish Packaging. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 27(10), 1024–1047. <https://doi.org/10.1080/10498850.2018.1532479>
- Van Boekel, M. A. J. S., & Tijssens, L. M. M. (2001). Kinetic modelling. *Food Process Modelling*, 35–59. Woodhead Publishing <https://doi.org/10.1533/9781855736375.1.35>
- Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Clavería, R., Quispe, I., Vergara, J., Uribe, E., Paez, H., & Di Scala, K. (2011). Effect of air temperature on drying kinetics and quality characteristics of osmo-treated jumbo squid (*Dosidicus gigas*). *LWT - Food Science and Technology*, 44(1), 16–23. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2010.06.012>
- Wang, G. Y., & Singh, R. (1978). A single layer drying equation for rough rice. *ASAE Paper No:78-3001*, ASAE, St. Joseph, MI.
- Wang, Q., Liu, B., Cao, J., Li, C., & Duan, Z. (2019). The impacts of vacuum microwave drying on osmosis dehydration of tilapia fillets. *Journal of Food Process Engineering*, 42(1), 29-56. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12956>
- Webster, C. D., & Lim, C.E., Eds. (2002). *Nutrient requirements and feeding of finfish for aquaculture*. CABI Publishing, Wallingford, Oxon.
- Wei, L., Qiu, W., Jin, Y., Zheng, R., Row, K. H., Cheng, Y., & Jin, Y. (2020). Effects of different drying methods on quality changes and energy characteristics of tilapia fillets. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 54(3), 186–209. <https://doi.org/10.1080/08327823.2020.1794725>
- Wray, D., & Ramaswamy, H. S. (2015). Novel Concepts in Microwave Drying of Foods. *Drying Technology*, 33(7), 769–783. <https://doi.org/10.1080/07373937.2014.985793>
- Yalçın, M. Y., & Şeker, M. (2016). Effect of salt and moisture content reduction on physical and microbiological properties of salted, pressed and freeze dried turkey meat. *LWT-Food Science and Technology*, 68, 153–159. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2015.12.032>
- Yaldız, O., & Ertekin, C. (2007). Thin Layer Solar Drying Of Some Vegetables. *Drying Technology*, 19 (3–4), 583–597. <https://doi.org/10.1081/DRT-100103936>

Ye, B., Li, M., Guan, Z. Q., Ling, C. M., Li, J., & Zhang, Q. (2017). Salt alcohol additive pre-treatment to improve the performance of heat pump dried tilapia fillets. *Energy Procedia*, 123, 395–402. <https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2017.07.276>

