T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SOMON BALIĞININ DONDURARAK KURUTULMASINDA FARKLI ÖN İŞLEMLERİN KURUTMA KARAKTERİSTİĞİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Ezgi MIDIK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimya Mühendisliği Programı

Danışman

Prof. Dr. Azmi Seyhun KIPÇAK

Mart, 2024

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SOMON BALIĞININ DONDURARAK KURUTULMASINDA FARKLI ÖN İŞLEMLERİN KURUTMA KARAKTERİSTİĞİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Ezgi MIDIK tarafından hazırlanan tez çalışması 07.03.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Kimya Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Azmi Seyhun KIPÇAK
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Azmi Seyhun KIPÇAK, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Emek DERUN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Fatma Tuğçe ŞENBERBER DUMANLI, Üye
Nişantaşı Üniversitesi _____

Danışmanım Prof. Dr. Azmi Seyhun KIPÇAK sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Somon Balığının Dondurarak Kurutulmasında Farklı Ön İşlemlerin Kurutma Karakteristiğine Etkisinin İncelenmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Ezgi MIDIK

İmza

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın planlanmasında ve yürütülmesinde desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren tez danışmanım Prof. Dr. Azmi Seyhun KIPÇAK' a ve çalışmamın gelişimine önemli katkılarda bulunan değerli Arş. Gör. Zehra Özden ÖZYALÇIN GENÇ' e saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman yanımda olan, tez sürecimde anlayış ve sabır gösteren, çalışmalarımda destek olan sevgili eşim Ömer Talha MIDIK' a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her alanında yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen sevgili annem ve babam Arzu DENİZ ve Uğur DENİZ' e, biricik kardeşim Sena Nur DENİZ' e içten teşekkürlerimi sunuyorum.

Yıldız Teknik Üniversitesi' nde eğitim hayatımda destek olan, bilgilerini eksik etmeyen değerli hocalarıma, eğitimimi destekleyen iş arkadaşlarıma ve yöneticilerime teşekkür ederim.

Ezgi MIDIK

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR iii
SİMGE LİSTESİ vi
ŞEKİL LİSTESİ vii
TABLO LİSTESİ x
ÖZET xi
ABSTRACT xii
1 GİRİŞ 1
1.1 Literatür Özeti ... 1
1.2 Tezin Amacı ... 3
1.3 Hipotez ... 3
2 DENİZ ÜRÜNLERİ 5
2.1 Balıklar ... 8
2.2 Yumuşakçalar ... 9
2.3 Kabuklu Deniz Ürünleri ... 9
3 ATLANTİK SOMONU 11
4 KURUTMA 15
4.1 Gıdaların Kurutulması ... 16
4.2 Kurutma Hızını Etkileyen Faktörler ... 17
4.3 Gıda Kurutma Yöntemleri ... 19
5 DONDURARAK KURUTMA 24
5.1 Dondurarak Kurutulmuş Ürünlerin Paketlenmesi ve Depolanması ... 25
5.2 Dondurarak Kurutma Yönteminin Uygulama Alanları ... 26
5.3 Dondurarak Kurutmanın Avantajları ve Dezavantajları ... 27
6 MALZEME VE YÖNTEMLER 28
6.1 Malzeme ve Örnek Hazırlama ... 28
6.2 Somonun Dondurarak Kurutulması ... 29
6.3 Kurutma Eğrilerinin Matematiksel Modellenmesi ... 31
6.4 Efektif Difüzyon Katsayısının Hesaplanması ... 33
6.5 Renk Analizi ... 33
7 SONUÇLAR VE ÖNERİLER 34
7.1 Kurutma İşlemi Boyunca Somonun Zamanla Değişimi ... 34
7.2 Kurutma Eğrileri ... 44

7.3 Kurutma Hızı Eğrileri 46
7.4 Efektif Nem Difüzyon Katsayısı Hesaplamaları 49
7.5 Renk Analizi 52
7.6 Matematiksel Modelleme 54
7.7 Matematiksel Modellerin Deneysel ve Öngörülen MR Grafikleri 63
8 SONUÇ **69**
KAYNAKLAR **72**
A ÖN İŞLEM GÖRMEMİŞ VE ULTRASONİK BANYO ÖN İŞLEMLİ NUMUNELERİN MATEMATİKSELMODELLERİN DENEYSEL VE ÖNGÖRÜLEN MR GRAFİKLERİ **81**
B HAŞLAMA ÖN İŞLEMLİ NUMUNELERİN MATEMATİKSEL MODELLERİN DENEYSEL VE ÖNGÖRÜLEN MR GRAFİKLERİ **87**
C TUZLU SUYA DALDIRMA ÖN İŞLEMLİ NUMUNELERİN MATEMATİKSEL MODELLERİN DENEYSEL VE ÖNGÖRÜLEN MR GRAFİKLERİ **93**
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **99**

SİMGE LİSTESİ

M_t	Belirli Bir Zamandaki Nem içeriği
dk	Dakika
N	Deney Sayısı
exp	Deneysel
ln	Doğal Logaritma
D_{eff}	Efektif Difüzyon Katsayısı
g	Gram
L	Kalınlığın Yarısı
χ^2	Ki-kare
kg	Kilogram
DR	Kurutma Hızı
M_d	Malzemedeki Kuru Ağırlık
M_w	Malzemedeki Su Kütlesi
M_i	Malzemenin Başlangıçtaki Nem İçeriği
m	Metre
MR	Nem Oranı
RMSE	Ortalama Hata Kareleri Kökü
π	Pi Sayısı
R^2	Regresyon Katsayısı
z	Sabitlerin Sayısı
s	Saniye
cm	Santimetre
ΔE	Renk Değişimi
US	Ultrasonik Banyo
%	Yüzde
t	Zaman

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Ülkelere göre görünür su ürünleri tüketimi 5

Şekil 2.2 Su ürünlerinin kullanımı 6

Şekil 2.3 Kıtalara göre görünür su ürünleri tüketimi 7

Şekil 2.4 Levrek balığı *(Dicentrarchus labrax)* 8

Şekil 2.5 Hamsi balığı *(Engraulis encrasicolus)* 8

Şekil 2.6 (a) Yaygın deniz salyangozları *(Patella vulgata)*, (b) Büyük yüzgeçli resif kalamar *(Sepioteuthis Lessiana)* 9

Şekil 2.7 Yengeç *(Brachyura)* 10

Şekil 2.8 Istakoz *(Nephropidae)* 10

Şekil 3.1 Atlantik somonu *(salmo salar)* 11

Şekil 3.2 (A) Smolt aşamasına gelmemiş genç Atlantik somonu, (B) Yetişkin Atlantik somonu 12

Şekil 3.3 Anadrom Atlantik somonu yaşam döngüsünün şematik taslağı 12

Şekil 3.4 *Salmo salar*' ın ana üretici ülkeleri 13

Şekil 3.5 a) Yetiştirilmiş çiftlik Atlantik somonu, b)Yabani Atlantik somonu ..14

Şekil 4.1 Et ve balıkların kurutulduğunu gösteren duvar resimleri 16

Şekil 4.2 Kurutulan gıdanın bağıl neme bağlı nem içeriği..... 18

Şekil 4.3 Kızılötesi kurutucu ünitesinin süreç şeması..... 20

Şekil 4.4 Püskürtmeli kurutucu ünitesinin süreç şeması 21

Şekil 4.5 Mikrodalga kurutucu ünitesinin süreç şeması..... 22

Şekil 4.6 Tünel tipi kurutucu ile kurutma işleminin şematik gösterimi 22

Şekil 5.1 Dondurarak kurutma sisteminin süreç şeması 24

Şekil 5.2 Dondurarak kurutulmuş gıdalar 25

Şekil 5.3 Dondurarak kurutulmuş çiçekler..... 26

Şekil 6.1 a) Derisi yüzülmemiş somon fileto, b) Deney için hazırlanmış somon numunesi..... 28

Şekil 6.2 Radwag AS 220.R2 dijital terazi (Radwag, Radom, Polonya) 28

Şekil 6.3 KH-45 sıcak hava kurutma fırını (Kenton, Guangzhou, Çin)..... 29

Şekil 6.4 Labart LFD-10N model liyofilizatör (ART Laborteknik, İstanbul, Türkiye) 30

Şekil 7.1 Ön işlem görmemiş numunenin dondurarak kurutma boyunca zamanla değişimi 35

Şekil 7.2 1 dk haşlama ön işlemli numunenin dondurarak kurutma boyunca zamanla değişimi 36

Şekil 7.3 5 dk haşlama ön işlemli numunenin dondurarak kurutma boyunca zamanla değişimi 36

Şekil 7.4 %10 tuzlu suda 1 dk haşlama ön işlemli numunenin dondurarak kurutma boyunca zamanla değişimi 37

Şekil 7.5 %10 tuzlu suda 5 dk haşlama ön işlemli numunenin dondurarak kurutma boyunca zamanla değişimi 37

Şekil 7.6 1 dk ultrasonik banyo ön işlemli numunenin dondurarak kurutma boyunca zamanla değişimi 38

Şekil 7.7 5 dk ultrasonik banyo ön işlemli numunenin dondurarak kurutma boyunca zamanla değişimi 39

Şekil 7.8 %10 tuzlu suya 5 dk daldırma ön işlemli numunenin dondurarak kurutma boyunca zamanla değişimi 40

Şekil 7.9 %10 tuzlu suya 10 dk daldırma ön işlemli numunenin dondurarak kurutma boyunca zamanla değişimi 41

Şekil 7.10 %20 tuzlu suya 5 dk daldırma ön işlemli numunenin dondurarak kurutma boyunca zamanla değişimi 42

Şekil 7.11 %20 tuzlu suya 10 dk daldırma ön işlemli numunenin dondurarak kurutma boyunca zamanla değişimi 43

Şekil 7.12 Ön işlem görmemiş ve haşlama ön işlemli numunelerin kurutma eğrisi 44

Şekil 7.13 Ön işlemsiz ve tuzlu suya daldırma ön işlemli numunelerin kurutma eğrisi 45

Şekil 7.14 Ön işlem görmemiş ve ultrasonik banyo ön işlemli numunelerin kurutma eğrisi 46

Şekil 7.15 Ön işlemsiz ve haşlama ön işlemli numunelerin kurutma hızı eğrisi 47

Şekil 7.16 Ön işlemsiz ve tuzlu suya daldırma ön işlemli numunelerin kurutma hızı eğrisi 48

Şekil 7.17 Ön işlemsiz ve ultrasonik banyo ön işlemli numunelerin kurutma hızı eğrisi 48

Şekil 7.18 Ön işlemsiz ve haşlama ön işlemli numunelerin zamana göre ln(MR) grafiği 50

Şekil 7.19 Ön işlemsiz ve tuzlu suya daldırma ön işlemli numunelerin zamana göre ln(MR) grafiği 51

Şekil 7.20 Ön işlemsiz ve ultrasonik banyo ön işlemli numunelerin zamana göre ln(MR) grafiği 51

Şekil 7.21 Ultrasonik banyo ön işlemli numunelerin Midilli vd. matematiksel modeli için deneysel ve öngörülen MR değerleri 64

Şekil 7.22 Ultrasonik banyo ön işlemli numunelerin İki Terimli Üstel matematiksel modeli için deneysel ve öngörülen MR değerleri 64

Şekil 7.23 Ultrasonik banyo ön işlemli numunelerin Verma vd. matematiksel modeli için deneysel ve öngörülen MR değerleri 65

Şekil 7.24 Haşlama ön işlemli numunelerin Midilli vd. matematiksel modeli için deneysel ve öngörülen MR değerleri 65

Şekil 7.25 Haşlama ön işlemli numunelerin Verma vd. matematiksel modeli için deneysel ve öngörülen MR değerleri 66

Şekil 7.26 Haşlama ön işlemli numunelerin Jena ve Das matematiksel modeli için deneysel ve öngörülen MR değerleri 66

Şekil 7.27 Tuzlu suya daldırma ön işlemli numunelerin İki Terimli Üstel matematiksel modeli için deneysel ve öngörülen MR değerleri 67

Şekil 7.28 Tuzlu suya daldırma ön işlemli numunelerin Midilli vd. matematiksel modeli için deneysel ve öngörülen MR değerleri 68

Şekil 7.29 Tuzlu suya daldırma ön işlemli numunelerin Jena ve Das matematiksel modeli için deneysel ve öngörülen MR değerleri 68

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 Dünya geneli yıllara göre Atlantik somonu üretim miktarları..... 13

Tablo 6.1 Çalışmada kullanılan matematiksel modeller 32

Tablo 7.1 Ön işlemsiz ve ön işleme tabi tutulmuş numunelerin efektif difüzyon katsayısı değerleri 52

Tablo 7.2 Taze somonun ve dondurarak kurutulan somon numunelerinin renk parametreleri 523

Tablo 7.3 Dondurarak kurutulan somon numunelerinin ΔE değerleri 54

Tablo 7.4 Ön işlem görmemiş ve US banyo ön işlemli numuneler için hesaplanan matematiksel modeller ve katsayıları 56

Tablo 7.5 Haşlama ön işlemli numuneler için hesaplanan matematiksel modeller ve katsayıları 59

Tablo 7.6 Tuzlu suya daldırma ön işlemli numuneler için hesaplanan matematiksel modeller ve katsayıları 61

ÖZET

Somon Balığının Dondurarak Kurutulmasında Farklı Ön İşlemlerin Kurutma Karakteristiğine Etkisinin İncelenmesi

Ezgi MIDIK

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Azmi Seyhun KIPÇAK

Somon balığı, insan tüketimi için yüksek kaliteli bir protein kaynağı olarak kabul edilir ve esansiyel amino asitler ve yüksek Omega-3 yağ asitleri içerir. Bu çalışmada somon balığının (*Salmo salar*) kurutma kinetiği dondurarak kurutma yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Uygun şekilde örneklenmiş somon dilimleri, ön işlemsiz olarak ve farklı ön işlemler uygulanarak dondurarak kurulmuştur. Ultrasonik (1 dakika ve 5 dakika ultrasonik banyo), haşlama (1 dakika, 5 dakika, %10 tuz ile 1 dakika ve %20 tuz ile 1 dakika haşlama) ve tuzlu suya daldırma (%10 tuz ile 5 dakika, %10 tuz ile 10 dakika, %20 tuz ile 5 dakika ve %20 tuz ile 10 dakika) ön işlemlerinin somon balığının kurutma karakteristiğine etkileri incelenmiştir. Fick' in ikinci difüzyon yasasına göre geliştirilen denklemler ile efektif nem difüzyon (D_{eff}) değerleri hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kurutma Kinetiği, Dondurarak Kurutma, Salmo salar, Somon.

ABSTRACT

Investigation of the Effect of Different Pretreatments on Drying Characteristics in Freeze Drying of Salmon

Ezgi MIDIK

Department of Chemical Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Azmi Seyhun KIPÇAK

Salmon fish is regarded as a high quality protein source for human consumption and high in essential amino acids and high Omega-3 fatty acids. In this study, the drying kinetics of salmon (*Salmo salar*) were determined using freeze drying method. Ultrasonic (1 minute and 5 min ultrasonic bath), blanching (1 minute blanching, 5 minutes blanching, 1 minute blanching with 10% salt and 1 minute blanching with 20% salt), salt water immersion (5 minutes with 10% salt, 10 minutes with 10% salt, 5 minutes with 20% salt and 10 minutes with 20% salt) pre-treatments on the drying characteristics of salmon were examined. Effective moisture diffusion (D_{eff}) values were calculated with equations developed according to Fick' s second diffusion law. The data obtained by applying different pre-treatments were compared.

Keywords: Drying Kinetics, Freeze Drying, Salmo salar, Salmon.

1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Atlantik somon balığı (*Salmo salar*), anadrojen bir balık türü olup genellikle Kuzey Amerika ve Avrupa' nın kuzey sularında bulunur. Gümüş renkte ve belirgin beneklere sahiptir. Bu balıklar, üreme için tatlı su nehirlerine göç ederler ve yumurtalarını bırakmak için üreme göçleri yaparlar. Yavrular tatlı suda büyüdükten sonra okyanuslarda beslenmeye başlarlar.

Atlantik somon balığı, ticari ve sportif balıkçılıkta önemli bir rol oynar ve birçok kültürde besin kaynağı olarak değerlendirilir. Somon balığı, özellikle omega-3 yağ asitleri EPA (eikosapentanoik asit) ve DHA (dokozaheksaenoik asit) açısından zengindir.

Gıdalar, yapılarında su bulundurmaları sebebiyle uzun süre muhafaza edilemezler. Gıdalardaki su, gıdaları bozan mikroorganizmaların çoğalarak yaşaması için uygun bir ortamdır. Gıdaların kurutulması yöntemiyle, gıdaların bileşimindeki fazla su uzaklaştırılarak bu oluşumun önüne geçilebilir. Gıdaların kurutularak muhafaza edilmesi, gıdaların içerdiği fazla suyun uzaklaştırılarak, besinlerin bozulmasına sebep olan mikroorganizmaların, faaliyet gösteremeyecekleri koşulların yaratılmasıdır. Kurutma işleminin diğer önemli avantajları ise; kurutulan gıdaların kullanım alanlarının daha geniş olması, kuru gıdaların besin ve kalori değerinin aynı miktarlarda tüketilen yaş gıdalara oranla daha yüksek olması, kurutulan gıdaların hacimlerinin ve ağırlıklarının azalmasıyla birlikte paketleme masraflarının düşmesi ve kolay taşınmaları olarak sıralanabilir.

Çok sayıda kurutma tekniği arasında dondurarak kurutma en etkili gıda muhafaza tekniklerinden biri haline gelmiştir. Gıda ürünlerinin raf ömrünü artırmak için yaygın olarak kullanılan süblimasyona dayalı bir dehidrasyon yöntemidir. Dondurularak kurutulmuş gıdalar, yüksek gözeneklilik, düşük renk, tat, aroma ve besinsel bozulmanın yanı sıra iyi rehidrasyon özelliklerine sahiptir. Öte yandan dondurarak kurutma, çok uzun bir kuruma süresi ve çok fazla enerji tüketimi gerektirir. Bu nedenle, sıcak havayla kurutma gibi diğer kurutma tekniklerine göre

yüksek işletme maliyetleri nedeniyle en pahalı kurutma yöntemi olarak kabul edilmiştir. Sonuç olarak, daha düşük maliyetle yüksek kaliteli ürünler üretmek için, gıda maddesinin dondurarak kurutucudan önce bir miktar ön işleme tabi tutulması gerekir.

Crapo ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada dondurularak kurutulmuş kılçıksız derisiz somon küplerinin dondurarak kurutma süresini minimuma indirmek için dehidrasyon ve işleme veriminin kinetiği araştırılmıştır. Kütle yoğunluğu, büzülme, sertlik, renk ve rehidrasyon kinetiği dahil nihai ürünün fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Sonuç olarak, 3 Pasifik somonu türünün her birinden dondurularak kurutulmuş somon küplerinin %10' dan az nem içeriğiyle ve %4' ten daha az su aktivitesi ile 9 saatlik dondurarak kurutma süresiyle üretilebildiği gösterilmiştir. İşleme verimleri, balık türlerine bağlı olarak % 26 ila % 28,4 arasında değişmektedir. Büzülmenin %12' den az ve dondurularak kurutulmuş küplerin rehidrasyonunun hızlı olduğu belirtilmiştir [1].

Alaska Üniversitesi' nde yapılan bir çalışmada, pembe somon (Oncorhynchus gorbuscha) filetoları soğuk koşullarda 5x5x5 mm' lik küpler halinde kesilmiştir. Balık küpleri, ticari bir dondurarak kurutucu kullanılarak -40^{o}C' de dondurularak kurutulmuştur. Kurutma işleminden sonra 5 saat ile 10 saat arasında yedi farklı aralıkta numuneler alarak dehidrasyon kinetiğini belirlenmiştir. Dehidrasyon kinetiğinin, %8,2 neme eşdeğer %97,7' lik bir dehidrasyon oranı olduğu belirtilmiştir. Dondurarak kurutmadan sonra kütle yoğunluğunun yaklaşık 1,9 kat arttığı belirtilmiştir. Verimin ortalama %28.9 ve ortalama büzülme oranının %27.3 olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Üründe önemli bir renk kaybı olduğu, ancak rehidrasyondan sonra rengin geri döndüğü bilgisi verilmiştir [2].

Literatürde gıda kurutma yöntemleri ile ilgili çeşitli çalışmalar bulunmakla birlikte somon balığının kurutulması nadiren bildirilmiştir. Bu çalışmada, besin değeri yüksek bir balık türü olan Atlantik somonunun farklı ön işlemler uygulanarak dondurarak kurutulması incelenmiştir. Ön işlem görmemiş, haşlama, tuzlu suya daldırma ve ultrasonik banyo ön işlemli uygulamalarla dondurarak kurutucu kullanılarak kurutulan somon balığının kuruma davranışı incelenmiş, etkin nem yayılımı ve kuruma hızları hesaplanmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Günümüzde, gıdaların tüketiminin yanı sıra uzun süreli saklanma ihtiyacının artması nedeniyle kurutma işlemleri önemli bir süreç haline gelmiştir. Özellikle deniz ürünlerinin hızla bozulma eğiliminde olması, kurutma işlemlerini bu tür gıdaların muhafazasında kritik hale getirmiştir. Çeşitli ön işlemlerle gıdaların kurutulması gerçekleştirilerek, somon balığının yapısına en uygun ön işlem yöntemini belirlemek amaçlanmıştır. Bu çalışmada, somonun kurutulması için haşlama, tuzlama ve ultrasonik banyo ön işlemleri kullanılarak en kısa süreli ve en verimli kurutma ön işleminin belirlenmesi hedeflenmiştir. Elde edilen ürünler üzerinde farklı ön işlemlerin etkileri karşılaştırılarak ve kurutma işlemleri sonucunda elde edilen somon balıklarındaki renk değişimleri analiz edilerek, gıdaların depolanmasından sonra içeriklerinde meydana gelen değişikliklerin gözlenmesine katkı sağlanacaktır.

1.3 Hipotez

Bu çalışma, günümüzde deniz ürünlerine yönelik artan tüketimi göz önüne alarak, somonun besin değerlerini muhafaza etme amacıyla modern kurutma yöntemlerinden biri olan dondurarak kurutma sürecini ele almaktadır. Bu doğrultuda, somon balığının kurutulması için etkili bir yöntem olan dondurarak kurutma, besin değerlerini koruma potansiyeli nedeniyle tercih edilmiştir.

Araştırma kapsamında, somon balığı farklı ön işlemlerden geçirilmiş ve yapılan deneylerin sonuçları doğrultusunda somonun kurutma eğrileri çizilmiştir. Bu eğrilerin analizi, somonun dondurarak kurutulması sürecinde uygulanan çeşitli ön işlemlerin kuruma hızına olan etkilerini açıklamak üzere gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, efektif difüzyon katsayıları hesaplanarak somonun kuruma sürecinin nicel bir değerlendirmesi yapılmıştır.

Matematiksel modellemeler, elde edilen deneysel verilerin daha geniş bir çerçevede anlaşılmasını sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Bu modeller, somonun dondurarak kurutulması sırasında karşılaşılan fiziksel değişiklikleri nicel olarak ifade etmekte ve bu süreçteki önemli parametreleri belirlemeye yardımcı olmaktadır.

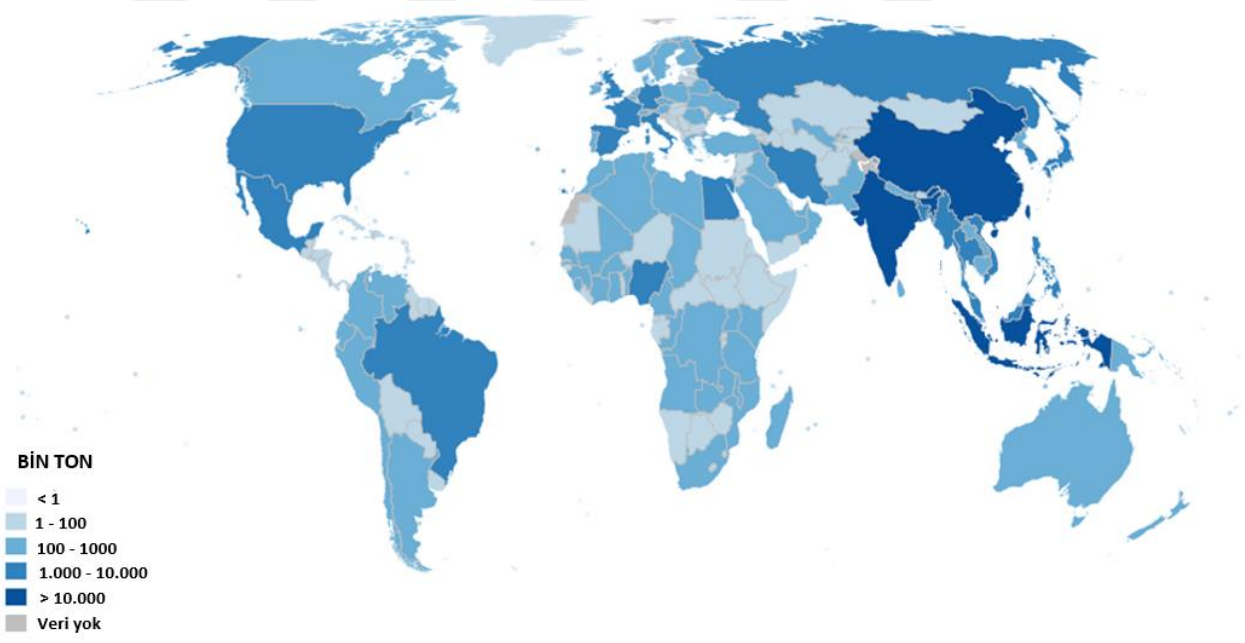
Bu araştırmanın elde ettiği sonuçlar, gıda sektöründe deniz ürünlerinin kurutulmasıyla ilgilenen araştırmacılara, endüstri profesyonellerine ve akademisyenlere somonun besin değerlerini koruma amacıyla kullanılan dondurarak kurutma yöntemine dair önemli bilgiler sunmaktadır. Aynı zamanda, deniz ürünlerinin işlenmesi ve korunmasında kullanılabilecek etkili stratejilerin geliştirilmesine katkıda bulunarak, bu alanda gelecekte yapılacak çalışmalara temel oluşturabilecek bir kaynak niteliği taşımaktadır.

2

DENİZ ÜRÜNLERİ

Deniz ürünleri, geniş bir besin yelpazesini kapsayan ve insanlar için önemli bir protein ve besin kaynağı olan denizden elde edilen gıdalardır. Bu ürünler genellikle balıklar, kabuklu deniz hayvanları (karides, yengeç, midye vb.), yumuşakçalar (kalamar, mürekkep balığı gibi) ve deniz yosunları gibi çeşitli organizmaları içerir. Beslenme, ekonomi, çevresel sürdürülebilirlik, deniz biyolojisi ve gıda bilimi gibi disiplinlerde incelenir.

Deniz ürünleri, düşük yağ içeriği ile birlikte esansiyel yağ asitleri ve aminoasitler açısından zengin bir besin bileşimine sahiptir. Aynı zamanda yüksek protein içeriği, zengin vitamin ve mineral içeriği ile deniz ürünleri, beslenme açısından önemli bir kaynaktır. Bu özellikleri, deniz ürünlerini insan sağlığına çeşitli katkılarda bulunan ve fonksiyonel gıda kategorisinde önemli bir rol oynayan bir besin kaynağı haline getirir.

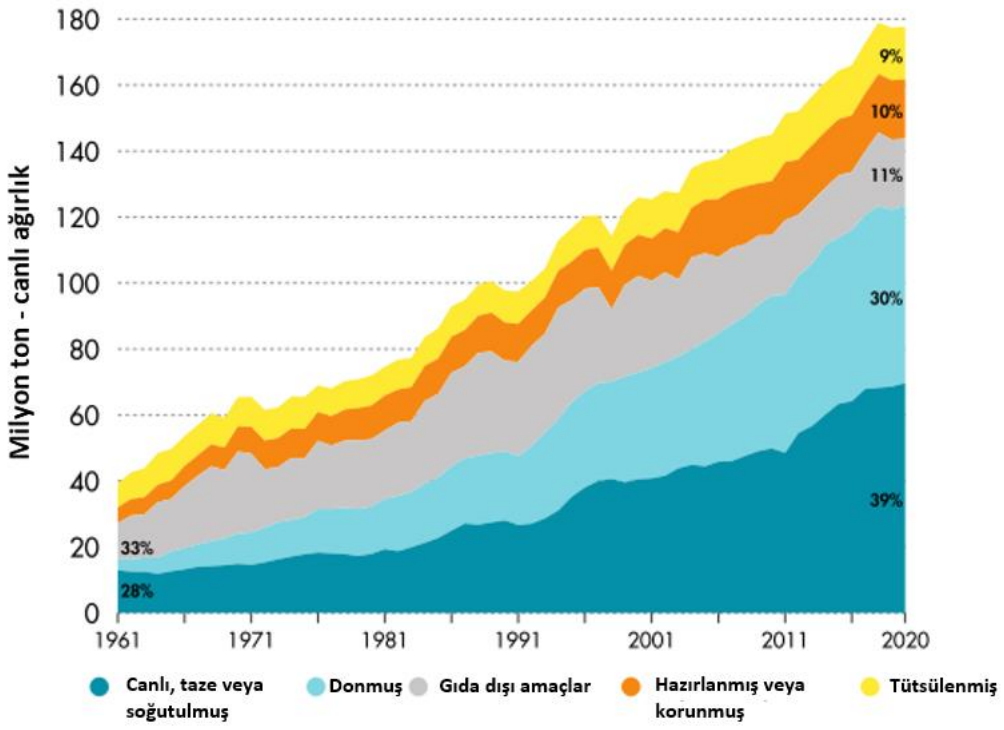


Şekil 2.1 Ülkelere göre görünür su ürünleri tüketimi [7]

Deniz ürünlerinin yüksek protein içeriği, doyurucu ve tok tutucu özelliklere sahip olmalarını sağlar. Ayrıca, esansiyel yağ asitleri ve aminoasitler bakımından

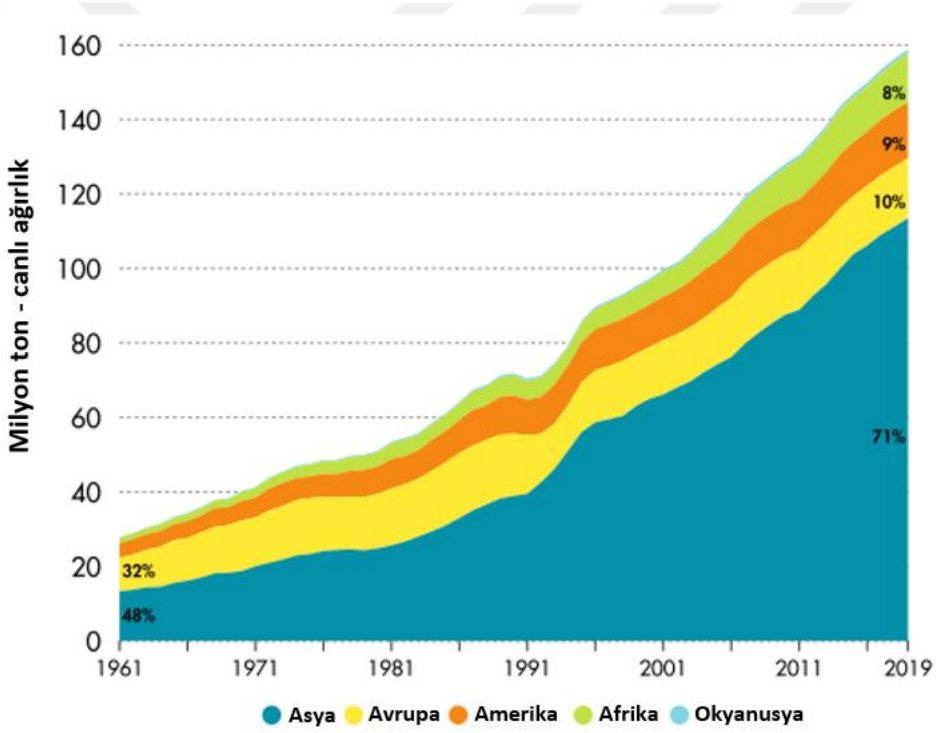
zengin olmaları, bu besinlerin vücut için temel yapı taşları olmalarını sağlar. Fonksiyonel gıdalar, tüketildiklerinde sadece besleyici etkilerine katkıda bulunmakla kalmaz, aynı zamanda insan sağlığını koruma, düzeltme veya hastalık riskini azaltmada yardımcı olabilirler. Deniz ürünleri, bu fonksiyonel özellikleri sayesinde sağlıklı bir beslenme düzeninde önemli bir rol oynayabilirler.

Bu nedenle, deniz ürünlerinin yeterli miktarda tüketilmesi, özellikle ülkemizdeki tüketim oranlarının artması açısından büyük bir öneme sahiptir. Besin açısından zengin içerikleri ve fonksiyonel özellikleriyle deniz ürünleri, dengeli beslenmenin ve sağlıklı yaşamın bir parçası olarak önerilmektedir [3]. Üretim yöntemleri ve tüketim alışkanlıkları geliştikçe deniz ürünlerinin tüketimi giderek yaygınlaşmaktadır [4]. Kişi başı su ürünü tüketimi en çok artan arz, değişen tüketici tercihleri, teknolojideki ilerlemeler ve gelir artışı gibi faktörlerden etkilenmektedir [5]. Yapılan bir araştırmaya göre, deniz ürünleri tüketiminin önde gelen etkenleri beslenme, lezzet ve kolaylıktır; ana engeller ise fiyat, bulunabilirlik ve kalite kaygısıdır [6].



Şekil 2.2 Su ürünlerinin kullanımı [7]

Dünya genelinde görünür su ürünleri tüketimi, 1961’ de 28 milyon ton iken, 2019’ da 159 milyon tona kadar önemli ölçüde artmıştır. Genel su ürünleri miktarındaki artışa rağmen, tüketilen miktar ve çeşitlilik açısından kıtalar arasında büyük farklılıklar bulunmaktadır. En kalabalık kıta ve başlıca üretici olarak, Asya 2019’ da küresel su ürünlerinin %67’ sinden fazlasını tüketmişken, Okyanusya ve Afrika en düşük paya sahip olan bölgelerdi [7]. Ülkemizde en çok tercih edilen deniz ürünü yağlı balık çeşitleridir, balık dışında ise en çok tercih edilen deniz ürünü midyedir [8]. Şekil 2.1’ de Gıda ve Tarım Örgütü istatistiklerine göre ülkelere göre su ürünleri tüketimi değerleri gösterilmiştir. Şekil 2.2’ de su ürünlerinin kullanım çeşitleri ve Şekil 2.3’ te kıtalara göre su ürünlerinin tüketimi grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Kıtalara göre görünür su ürünleri tüketimi [7]

Deniz ürünleri genel olarak balıklar, kabuklular ve yumuşakçalar olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılmaktadır. Kabuklu deniz ürünleri arasında ıstakoz, kerevit, karides ve yengeç bulunurken, yumuşakçalar sınıfında ise kalamar, deniz tarağı, midye, ahtapot, mürekkep balığı ve istiridye yer almaktadır [9].

2.1 Balıklar

Balıklar, yüzgeçleri ve solungaçları olan, suda yaşayan soğukkanlı omurgalı canlılardır [10]. Balıklar olağanüstü bir yaşam alanı yelpazesine sahiptir. Mevsimsel göletlerde, akarsularda, çöl kaynaklarında, açık okyanuslarda, derelerde, tuzlu ve tatlı su kaynaklarında ve benzeri su ortamlarında bulunurlar. Fizyolojik olarak bu, balık türlerinin -1,8°C ile yaklaşık 40°C arasındaki sıcaklıklarda, pH değerleri 4 ile 10+ arasında değişen sularda yaşayabildikleri anlamına gelir [11].

Balıklar iyi bir yüksek kaliteli protein kaynağıdır ve çok sayıda vitamin ve mineral içerir [12]. Balıklar, toplam canlı vücut ağırlığının %15-20' si kadar protein içerir. 140 gramlık bir balık porsiyonu, yetişkin bir insanın ihtiyaç duyduğu günlük proteinin yaklaşık %50-60' ını sağlayabilir. Karada yaşayan hayvanlarla karşılaştırıldığında balıklar zengin bir protein kaynağıdır ve yüksek miktarda omega-3 uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitleri içerir [13].

Deniz yüzgeçli balık yetiştiriciliği dünya çapında köklü bir yere sahiptir ve hızla büyümektedir. Çok çeşitli türler yetiştirilmekte ve kültür çeşitliliği de giderek artmaktadır [14]. Toplam balık üretimi 2016 yılında 171 milyon tonla tüm zamanların en yüksek düzeyine ulaşmıştır; israfın azaltılarak su ürünleri yetiştiriciliğinin gelişmesi sayesinde bu miktarın yüzde 88' i direkt olarak insan tüketimi için kullanılmıştır. Bu üretim miktarı, 2016 yılında kişi başına 20,3 kg tüketimle sonuçlanmıştır [15].



Şekil 2.4 Levrek balığı (*Dicentrarchus labrax)* [16]



Şekil 2.5 Hamsi balığı *(Engraulis encrasicolus)* [17]

2.2 Yumuşakçalar

Yumuşakçalar, ayak ve iç organ bölümlerine bölünmüş, yumuşak gövdeli omurgasızlardır. Vücutları yumuşaktır ve çoğu zaman kabuklu bir dış cepheye sahiptir. Bu canlılar karada, tatlı suda veya deniz suyunda yaşayabilir. Çift kabuklular, kafadanbacaklılar ve karındanbacaklılar olarak alt gruplara ayrılırlar. Ticari açıdan önemli olan çift kabuklular midye, istiridye ve taraktır; kafadanbacaklılar ise kalamar, mürekkep balığı ve ahtapot içerir. Karından bacaklı grubu, diğerlerinin yanı sıra deniz kulağı, deniz salyangozu, midye ve salyangozları içerir. Karındanbacaklılar tüm yumuşakçaların %80'inden fazlasını oluşturur ve en çeşitli gruptur. İstiridye, deniz tarağı, midye, ahtapot, mürekkep balığı ve bazı salyangozlar yüksek protein içerirken, karındanbacaklılar ve çift kabuklular çağlar boyunca süs ve parasal amaçlarla kullanılmıştır. 2018 yılında üretilen toplam yumuşakça sayısı 17,5 milyon tonun üzerindedir [18, 19]. Yumuşakçalardan deniz salyangozu ve resif kalamarlarının görselleri Şekil 2.6' da gösterilmiştir.



Şekil 2.6 (a) Yaygın deniz salyangozları *(Patella vulgata)*, (b) Büyük yüzgeçli resif kalamar *(Sepioteuthis Lessiana)* [20]

2.3 Kabuklu Deniz Ürünleri

Kabuklu deniz ürünleri yengeç, karides ve ıstakoz gibi kabuklular ve bazı derisi dikenliler gibi deniz canlılarını içerir. Kabuklular, tanımlanmış 150.000 türle dünyanın en eski ve en çeşitli eklembacaklılarından biridir. Genel olarak kabuklu deniz ürünleri, yüzgeçli balıklardan daha yüksek protein içeriğine sahiptir. Kabuklu deniz ürünleri vitaminlerin çoğunu, özellikle de B12 vitaminini içerir. Su ortamlarında son derece başarılı olmanın yanı sıra, bazı türler karaya uyum

sağlayacak şekilde de evrimleşmiştir. Halihazırda tanımlanan türlerin yaklaşık %90' ı deniz sistemlerinde bulunsa da, geri kalan %10' u çeşitli iç su yollarında bulunur [18, 21].

Kabuklular anatomik olarak çeşitlidir. Çok sayıda parçanın birleşiminin yanı sıra çok spesifik vücut parçaları ve uzantılarının geliştirilmesi yoluyla çeşitli vücut morfolojileri geliştirmişlerdir. Kabukluların sert bir dış iskeleti vardır ve bu dış iskelet büyüyemez. Dolayısıyla canlı büyüdükçe eski iskeletini bırakıp yenisini oluşturur. Bu iskelet onları yırtıcılardan korumaya yardımcı olur ve su kaybını azaltır. Deniz ürünleri arasında kabukluların ticari değeri yüksektir. 2018 yılında üretilen kabuklu deniz ürünü sayısı ise 9,4 milyon tondur [19]. Kabuklu deniz ürünlerinden yengeç ve ıstakozun görselleri sırasıyla Şekil 2.7-8' de bulunmaktadır.



Şekil 2.7 Yengeç *(Brachyura)* [22]



Şekil 2.8 Istakoz *(Nephropidae)* [23]

3

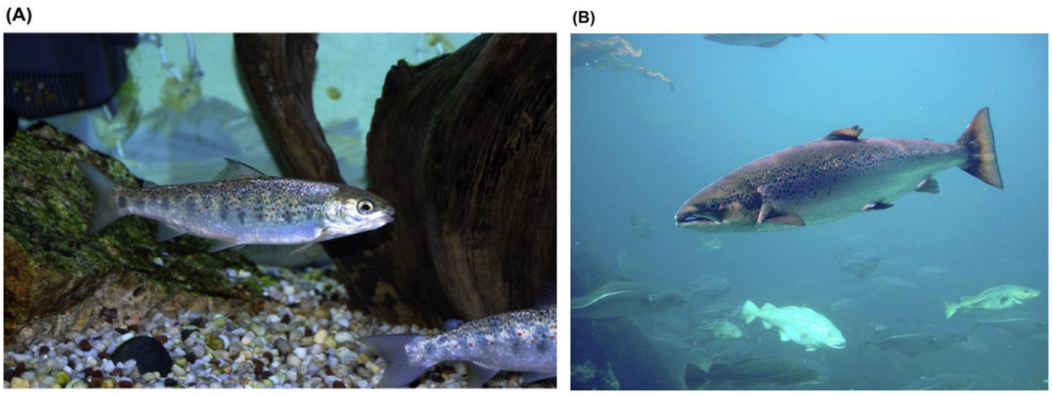
ATLANTİK SOMONU

Atlantik somonu, *Salmo salar* (Şekil 3.1), oldukça değerli bir balık türüdür. Somon, dünyadaki çoğu ülke tarafından tercih edilmektedir. Hem avcılığı hem de yetiştiriciliği yapılmaktadır. *Salmo salar*, insan tüketimi için önemli bir faydalı gıda kaynağıdır. İnsan sağlığına faydalı EPA (eikosapentaenoik asit) ve DHA (dokosaheksaenoik asit) gibi yüksek değerli protein ve yüksek seviyelerde omega-3 yağ asitleri içerirler [24, 25].

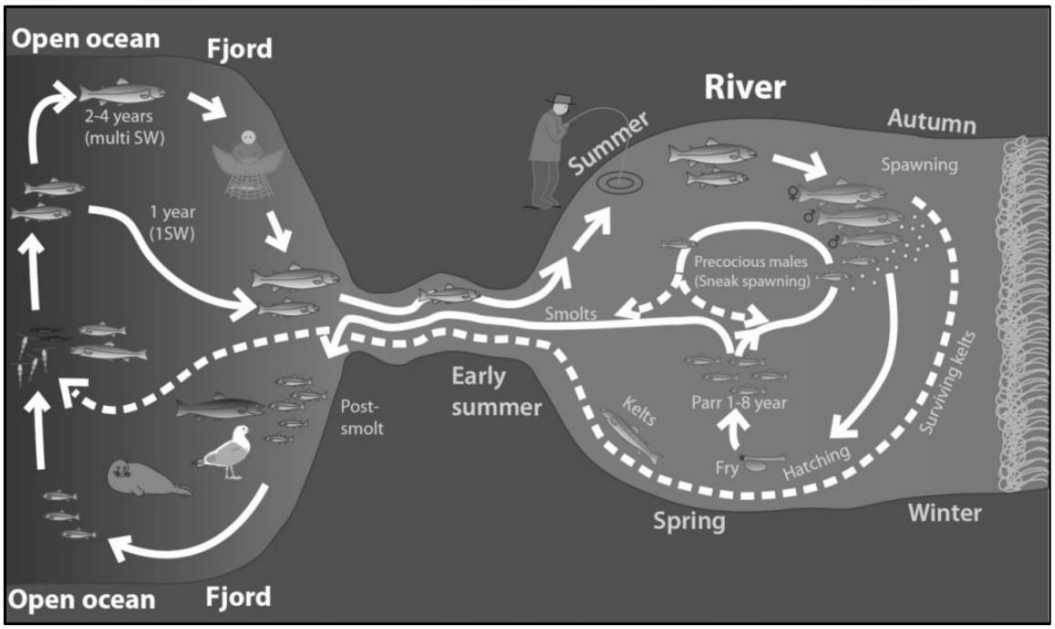


Şekil 3.1 Atlantik somonu *(Salmo salar)* [26]

Atlantik somonu tipik olarak anadromdur: yavrular beslenmek için nehirden denize göç ederler ve cinsel olgunluğa ulaştıklarında yetişkin olarak yumurtlamak için doğdukları nehirlere geri dönerler [27]. Yaz başında yumurtadan çıktıktan sonra somon yavruları, genellikle büyümenin büyük kısmının meydana geldiği denize göç etmeden önce (smolt aşaması) nehirlerde 1-5 yıl geçirirler. Daha sonra, yetişkinler sonbaharda yumurtlamak için doğum nehirlerine geri dönerler. Somonun ağırlığı 50 gr veya daha az iken, denizde geçen yıllar boyunca, 1-25 kg' a (45-135 cm toplam uzunluk) yükselir ve bazı bireyler yumurtlamak için döndüklerinde 30 kg' dan büyük olabilir. Atlantik somonu, Kuzey Atlantik Okyanus' na doğru akan su yollarında dağılmış 2000' den fazla genetik olarak farklı popülasyonda yapılandırılmıştır [28, 29]. Şekil 3.2' de genç ve yetişkin Atlantik somon balıkları ve Şekil 3.3' te Atlantik somonunun anadrom yaşam döngüsü şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.2 (A) Smolt aşamasına gelmemiş genç Atlantik somonu, (B) Yetişkin Atlantik somonu [30]



Şekil 3.3 Anadrom Atlantik somonu yaşam döngüsünün şematik taslağı [27]

Somon gibi yağlı balıklar, özellikle nispeten yüksek omega-3 yağ asidi içeriğinden dolayı besinsel faydalara sahiptir. İki tür omega-3 uzun zincirli çoklu doymamış yağ asidi (LCPUFA) içerirler: eikosapentaenoik asit (EPA) ve dokosaheksaenoik asit (DHA). Omega-3 yağ asitlerinin (özellikle EPA) kolesterol düzeylerini ve kan basıncını düşürerek kalp-damar sağlığı üzerinde faydalı etkileri olduğundan insan beslenmesinde sağlıklı bir seçim olarak kabul edilmektedir. İnsanlar omega-3 yağ asitlerini sentezleyemediğinden ve yağlı balıkların

LCPUFA içerikleri karada yaşayan hayvanlara göre önemli ölçüde daha yüksek olduğundan, diyete yağlı balıkların dahil edilmesi şiddetle tavsiye edilir [31].

Atlantik somonunun (*Salmo salar*) ana üretici ülkeleri Norveç, İngiltere, Finlandiya, İrlanda, Rusya Federasyonu, İzlanda, Danimarka, Kanada, Amerika Birleşik Devletleri, Şili ve Avustralya' dır. 2016 yılında Atlantik somonunun dünya su ürünleri üretim değeri 2.247.759 ton olarak gerçekleşmiştir. Öte yandan küresel avcılık üretim değeri 2014 yılında 2.319 ton olarak gerçekleşmiştir [32]. Tablo 3.1' de Atlantik somonunun yıllara göre dünya üretim miktarları ve Şekil 3.4' te Atlantik somonunun ana üretici ülkeleri gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Dünya geneli yıllara göre Atlantik somonu üretim miktarları [5]

	2000	**2005**	**2010**	**2015**	**2020**
		(bin ton, canlı ağırlık)			
Atlantik somonu, *Salmo salar*	**895,5**	**1266,6**	**1433,8**	**2380,2**	**2719,5**

Atlantik somonu Türkiye' de en fazla ithal edilen su ürünüdür. Türkiye' de 1990' lı yıllarda Atlantik somonu yetiştiriciliği denenmiş ancak başarı elde edilememiştir. Atlantik somonu yerine, farklı yetiştiricilik teknikleriyle üretilen gökkuşağı alabalığı (Oncorhynchus mykiss), Türk somonu adı altında piyasaya sürülmüştür. Türk somonu, Atlantik somonu ile besin değeri, lezzet ve kalite açısından benzer olmayan ancak daha uygun fiyatlarla sunulan bir alternatif olarak öne çıkmıştır [33, 34].



Şekil 3.4 *Salmo salar*' ın ana üretici ülkeleri [37]

Atlantik somonunun kalitesi, fileto durumu, kas bileşimi, tazelik, doku, fizyolojik tolerans ve renk gibi çeşitli göstergeler kullanılarak değerlendirilir. Bunlar arasında renk en önemli değerlendirme endekslerinden biridir [36]. Somonun rengi, özellikle su ürünlerine yönelik tüketici tercihi açısından önemlidir. Yabani somonda bulunan karotenoid olan astaksantin, çiftlik somon filetolarına doğal, pembe-kırmızı rengi kazandırmak için su yemlerinde kullanılır. Balıklar karotenoidleri kendileri üretemezler ve bir beslenme kaynağına bağımlıdırlar. Yemden karotenoidleri emerler ve dokularında biriktirirler. Somon ürünlerinin renginin en önemli kalite parametrelerinden biri olduğu tüketiciler tarafından genel olarak kabul edilmektedir [37]. Şekil 3.5' de çiftlik ve yabani Atlantik somon etlerinin görselleri bulunmaktadır.



Şekil 3.5 a) Yetiştirilmiş çiftlik Atlantik somonu, b) Yabani Atlantik somonu [38]

4

KURUTMA

Kurutma işlemi gazlardan, sıvılardan veya katılardan su veya diğer sıvıların uzaklaştırılması işlemidir [39]. Kurutma işlemi, kurutulacak gıdaya ısı enerjisi uygulanarak suyun uzaklaştırılması için gereken buharlaşma gizli ısısının sağlandığı bir süreçtir. Bu ısı transferi sonucunda buharlaşan su, ürünün yüzeyinden kurutucu havanın içine difüze edilmesiyle uzaklaştırılır. Bu sayede ısı transferi yoluyla su malzemeden uzaklaştırılır ve dolayısıyla malzemenin kuruması gerçekleştirilmiş olur [40].

Kurutma işleminin uygulanması, çeşitli endüstriyel bağlamda önemli bir süreçtir ve malzemenin ekonomik olarak işlenmesi, ürünlerin sterilizasyonu veya korunması, ileriki üretim aşamalarında gerekli koşulların sağlanması ve çözeltilerden bazı ürünlerin geri kazanılması gibi önemli amaçlara hizmet etmektedir [41]. Kurutma işlemi gıdanın raf ömrünü uzatarak ürünlerin depolanabilirlik süresini artırmaktadır. Bu durum, tüketicilere daha uzun bir süre boyunca taze ve kaliteli ürünler sunma imkanı sağlamakta, aynı zamanda gıda israfını önleyerek ekonomik sürdürülebilirlik açısından katkıda bulunmaktadır. Su içeriğinin azaltılması, gıdanın özgül ağırlığını ve hacmini düşürür. Bu durum, ürünlerin nakliyesi sırasında daha az depolama alanı kaplamasına ve daha hafif olmasını sağlar. Bu özellik, lojistik maliyetleri düşürerek nakliye süreçlerini daha etkili hale getirir [42].

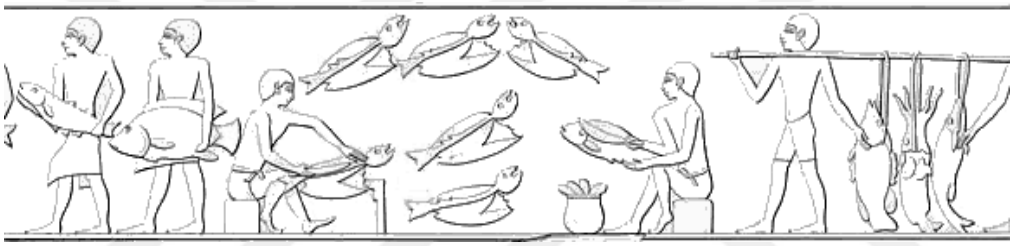
Kurutma, gıda maddelerinin korunmasında temel bir yöntem olup, kimya ve üretim süreçlerinde geniş bir uygulama alanına sahip olan bir işlemdir. Özellikle gıda endüstrisinde, ilaç sektöründe ve kimya endüstrisinde malzemenin nem içeriğini azaltarak uzun süreli muhafazasını sağlamak, taşınabilirliğini artırmak ve çeşitli ürünlerin elde edilmesine olanak tanımak amacıyla kullanılmaktadır.

Geleneksel olarak güneşte kurutma işlemi en çok tercih edilen kurutma yöntemlerinden biridir, ancak uzun işlem süresi ve standart ürün eldesinin zorluğu gibi sınırlamalar nedeniyle endüstride farklı kurutma yöntemleri ve kurutucular geliştirilmiştir. Vakumlu kurutma, dondurarak kurutma, sprey kurutma gibi daha modern ve etkili kurutma teknikleri, işlem sürelerini kısaltmak, ürün kalitesini

artırmak ve enerji verimliliğini optimize etmek için geliştirilmiştir [43]. Bazı kurutucu çeşitlerinden Bölüm 4.3' te bahsedilmiştir.

4.1 Gıdaların Kurutulması

Tarih boyunca insanlar, besinlerin içinde bulunan suyu uzaklaştırma, tuzlama, tatlandırma ya da dondurma gibi çeşitli işlemler uygulayarak, kimyasal ve mikrobiyal bozulmalara karşı yiyeceklerini muhafaza etme konusunda çeşitli yöntemlere başvurmuşlardır. Bu teknikler, gıdaların bozulmasını önleyerek, daha uzun süre boyunca depolanmasını ve tüketilmesini sağlamıştır [44]. Şekil 4.1' de antikçağda insanların et ve balıkları kuruttuğunu temsil eden duvar resimleri gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Et ve balıkların kurutulduğunu gösteren duvar resimleri [44]

Yiyeceklerin susuzlaştırılması, insanlık tarihinin en önemli başarılarından biridir ve insanları olumsuz çevre koşullarında bile günlük gıda kaynaklarına daha az bağımlı hale getirir. Daha önceki zamanlarda kurutma güneşe bağlı olmasına rağmen, günümüzde gıdaları kurutmak için birçok karmaşık cihaz ve yöntem kullanılmaktadır [45].

Gıda saklama metotları gıda güvenliği açısından büyük önem arz etmektedir ve gıdaya uyumlu olmayan muhafaza ve saklama yöntemleri, çeşitli gıda kayıplarına neden olur [46]. Kurutma sürecinde kullanılan yöntemler, sıcaklık, nem kontrolü, işlem süresi gibi faktörlere bağlı olarak sağlıklı bileşiklerin stabilitesini etkileyebilir. Özellikle düşük sıcaklıkta uzun süreli kurutma işlemleri, vitaminler, antioksidanlar ve diğer besleyici bileşenlerin kaybını en aza indirme eğilimindedir. Bu nedenle, ürünlerin özellikleri ve içerdikleri sağlıklı bileşikler göz önüne alınarak, en uygun kurutma yönteminin seçilmesi gerekmektedir [47].

Gıda koruma süreçlerinde, kurutma işlemi genellikle malzemelerin su içeriğini azaltarak mikroorganizmaların büyümesini engeller ve böylece gıdanın raf ömrünü önemli ölçüde uzatır. Özellikle meyve, sebze ve et ürünleri gibi hızla bozulan gıdaların muhafazasında etkili bir yöntemdir. Kurutulmuş ürünler, taze ürün pazarında etkili bir alternatif olarak öne çıkmıştır. Gıdaların kurutulması, diğer gıda saklama yöntemlerinden farklı olarak besin öğeleri açısından yoğunlaştırılmış bir niteliğe sahiptir. Bu, ürünlerin hacminin azaltılmasına rağmen içerdikleri besin değerlerinin yoğunlaştırılması anlamına gelir. Kurutma işleminin ekonomik avantajları da dikkate alınmalıdır. Kurutma, diğer muhafaza yöntemlerine kıyasla genellikle daha düşük maliyetlidir. Kurutma yöntemiyle birlikte işçilik ve cihaz kullanımı gereksiniminin azalmasıyla beraber ürünlerin depolanması ve nakliyesi sırasında maliyetten tasarruf edilir. Bu, özellikle tarım ürünlerinin muhafaza edilmesi ve ticaretinde maliyet etkin bir çözüm sunar [48].

4.2 Kurutma Hızını Etkileyen Faktörler

Bir malzemenin kuruması üzerine etki eden faktörler kurutma işleminin verimliliğini ve ürün kalitesini belirlemede önemli bir rol oynar.

4.2.1 Sıcaklık

Kurutma işlemi esnasında sıcaklığın yükselmesi ile birlikte difüzyon hızı artar, böylece kuruma hızının artmasına sebep olur. Bu da kurutma süresinin kısalmasını sağlar. Sıcaklık yükseldikçe, su moleküllerinin üründen buharlaşma hızı artar. Yüksek sıcaklıklarda hava, daha fazla su buharını tutma kapasitesine sahiptir. Bu durum, yüksek buhar basıncı elde edilmesini sağlar ve kurutma işlemini daha etkili kılar. Yüksek sıcaklıklar genellikle ısı kayıplarını en aza indirir. Bu, enerji verimliliğini artırabilir ve kurutma işleminin maliyetini düşürebilir. Gıdanın ulaşabileceği denge nem içeriği yüksek sıcaklıklarda artar. Böylece ürünlerin depolanabilirliğini ve raf ömrünü olumlu yönde etkileyebilir [49].

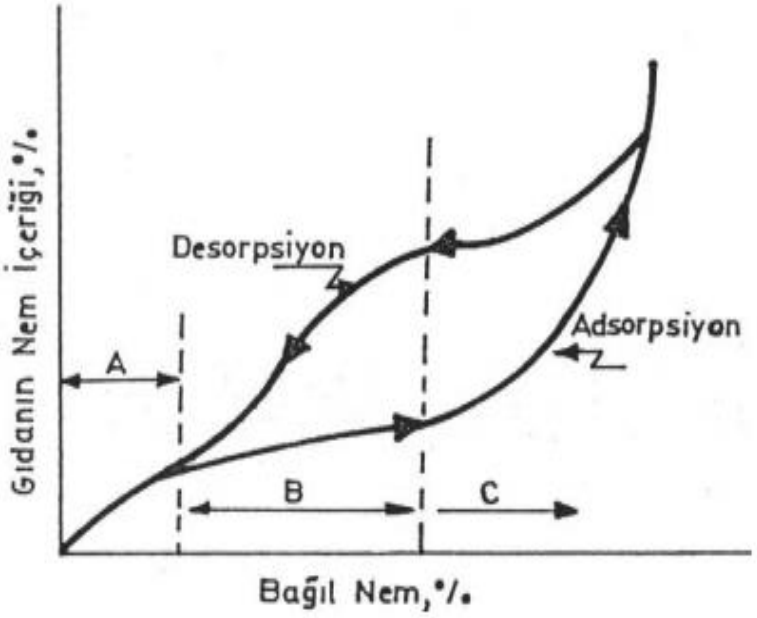
Ancak kurutma işleminin yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilmesi bazı olumsuzlukları da beraberinde getirebilir. Yüksek sıcaklık, ince tabakalı gıdaların yanma riskini artırabilir ve bu durum besin değerlerinde kayıplara neden olabilir. Bu nedenle,

kurutma işlemi için belirlenen sıcaklıkların dikkatlice seçilmesi ve kontrol edilmesi, optimal kurutma koşullarının sağlanması açısından kritiktir. Çalışmalar, sıcaklık ve diğer işleme parametrelerinin ürün kalitesi üzerindeki etkilerini anlamak ve optimize etmek için önemlidir [50].

4.2.2 Kurutulan Gıdanın Yüzey Alanı

Kurutma hızı, gıdaların yüzey alanı ile doğru, ancak kalınlıklarıyla ters orantılı bir ilişki içerisindedir. Bu durum, kurutulacak parçacıkların boyutunun önemli bir faktör olduğunu gösterir. Gıdalarda parça boyutu küçüldükçe, yüzey alanı artar ve kalınlıkları azalır. Gıda boyutunun küçük olması kurutma hızını olumlu yönde etkiler. Bu nedenle, kurutma sürecinde daha hızlı bir etki elde etmek amacıyla ürün, küçük parçalara veya ince dilimlere ayrılabilir. Bu yaklaşım, daha geniş bir ısıtıcı yüzeyde ısı transferini artırarak kurutma hızını optimize etmeyi amaçlar. Gıda parçalarının küçük olması, nemin daha geniş bir alanda uzaklaştırılmasına olanak tanır.

Ancak, çok ince dilimlerin seçilmesi, gıdanın yanma riskini artırabilir. Bu nedenle, optimum dilim kalınlığı seçilirken dikkatli olunmalıdır. Bu, kurutma işleminin etkinliğini artırırken aynı zamanda ürün güvenliğini de sağlamaya yönelik bir dengeyi temsil eder [51].



Şekil 4.2 Kurutulan gıdanın nem içeriği ile bağıl nemin ilişkisi

4.2.3 Ortamın Nem İçeriği

Kurutulmuş gıdada bulunan nem miktarı, çevresel su buharı miktarına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Ortamda bulunan nem seviyesinin arttırılması veya azaltılması durumunda, madde içindeki nem değişiklikleri farklı karakteristiklere sahip olmaktadır. Bu tür değişimleri açıklamak için, sabit sıcaklıkta ortamın nem miktarının değiştirilmesiyle meydana gelen nem içeriğindeki değişim eğrilerine "sorbsiyon izotermleri" denir. Sabit sıcaklıkta ortamın neminin arttırılması, madde içindeki nem miktarındaki artışı ifade eder ve bu süreç "adsorbsiyon" (maddenin nem alması) olarak adlandırılır. Bu sürecin tersi, sabit sıcaklıkta ortamın neminin azaltılması, madde içindeki nem miktarındaki azalmayı ifade eder ve bu süreç "desorbsiyon" (maddenin nemini kaybetmesi) olarak isimlendirilir [51]. Genellikle izoterm eğrileri maddelere göre farklılık gösterebilmektedir. Kurutulan gıdanın nem içeriği ile bağıl nemin ilişkisi Şekil 4.2’ de verilmiştir [52].

4.3 Gıda Kurutma Yöntemleri

Gıda endüstrisinde sık olarak kullanılan çeşitli kurutma yöntemleri bulunmaktadır. Kurutma yöntemleri, gıda endüstrisinde ürünlerin özelliklerine, taleplere ve işleme koşullarına bağlı olarak seçilir. Her bir yöntemin avantajları ve sınırlamaları bulunmaktadır, bu nedenle kullanılacak olan yöntem, belirli bir uygulama için en uygun olanı seçmeyi gerektirir.

4.3.1 Güneşte Kurutma

Güneş ısısından faydalanılarak ürün bünyesindeki su oranının düşürülmesi için uygulanan yönteme "doğal (güneşte) kurutma" denir. Bu yöntem tarihte kullanılan ilk yöntem olarak da bilinir. Güneşte kurutmanın uygulanabilmesi için iklim şartlarının uygun olduğu bölgelerde, düşük enerji maliyeti ile güneş enerjisinden faydalanılarak daha iyi kalitede kurutma işlemi yapılabilmektedir. Ancak her ürünün güneşte kurutulması mümkün ve uygun değildir. Gıdalar kurutma sonrası ürün kalitesi bakımından değerlendirildiğinde; kurutulan gıdanın açık alanda tozlanması, böcek, kuş ve benzer hayvanların gıdalara zarar vermeleri gibi mühim dezavantajları bulunmaktadır. Gıdaların güneşte kurutulması işlemini gerçekleştirebilmek için geniş alan ihtiyacı vardır. Ayrıca kurutma işleminin

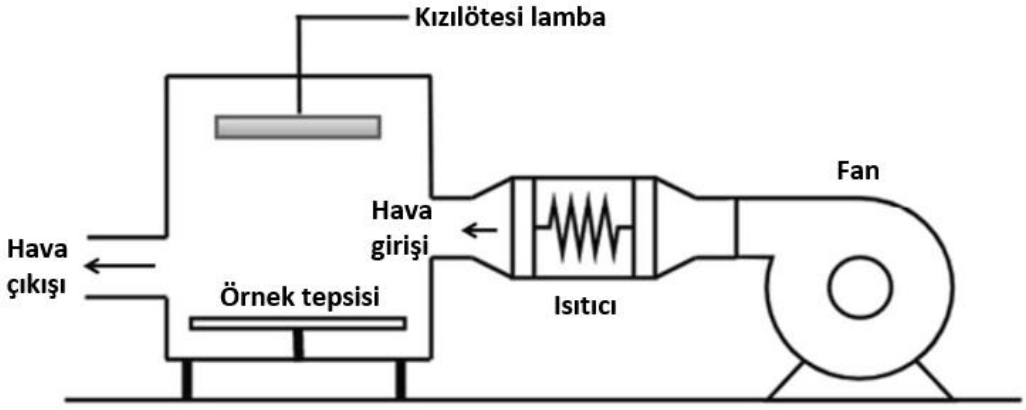
süresi uzundur. Genellikle %15 nem oranından daha düşük seviyelere inilemez. Birçok olumsuz yönü olması nedeniyle güneşte kurutma çoğu gıda açısından uygun ve yeterli bir metot değildir [53].

Son zamanlarda geliştirilmiş olan solar kurutucular sayesinde bazı olumsuzluklar ortadan kaldırılmış ve enerji kullanımı daha verimli bir hale gelmiştir [46]. Bu cihazlarda güneş enerjisi ile çalışmaktadır. Burada güneş enerjisinin kurutulacak gıdaya temas edecek havanın ısıtılmasını sağlar ya da ısıtmanın gerçekleşmesi için kullanılan suyun buharlaşmasına sebep olur. Solar kurutucu cihazlar düşük maliyetli ve üretim açısından basittir. Buna karşın sıcaklığın kontrol altına alınması imkansıza yakındır. Gıdaların uzun süre güneş ışınları ile maruz kalmasının sonucu olarak renk ve vitamin kayıpları meydana gelir [54].

4.3.2 Kızılötesi Işıma ile Kurutma

Kızılötesi ışıma, nemli malzemelerin ısınması veya kurutulması için kullanıldığında, bu malzemelere nüfuz eder ve ışıma enerjisi ısıya dönüşür. Sıcak hava ile kurutma metoduyla kıyaslandığında, kızılötesi ışıma ile kurutma, daha düşük enerji tüketimi, yüksek ısı transfer oranı ve ısı akısı gibi birçok avantaj sunmaktadır. Bu avantajlar, daha kısa kuruma süreleri ve daha yüksek kuruma oranları ile sonuçlanır [55].

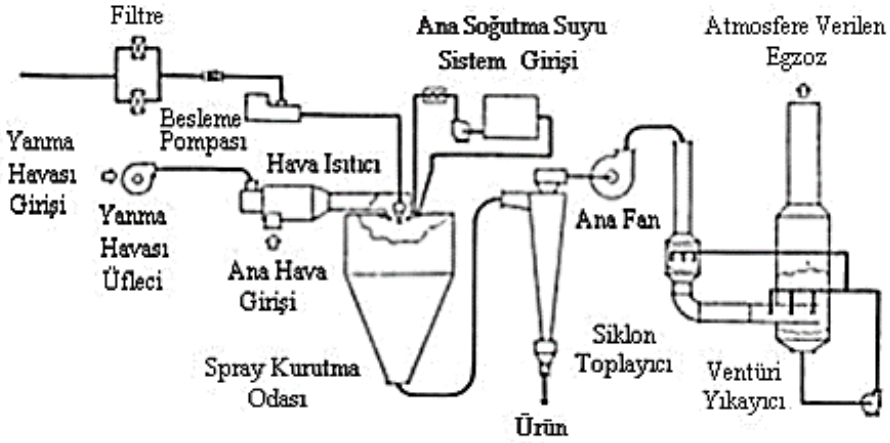
Kızılötesi ışıma, ulaşımla ısı transferine kıyasla bazı avantajlara sahiptir. Isı transferinde direnç olmaması ve ısıtma sisteminin düşük ataleti, enerji maliyetlerinin düşürülmesine, ısıtma sürelerinin kısaltılmasına ve ürün sıcaklığının kolayca kontrol edilmesine olanak tanır [56]. Şekil 4.3’ te kızılötesi kurutma ünitesinin diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Kızılötesi kurutucu ünitesinin süreç şeması [57]

4.3.3 Püskürtmeli Kurutucular

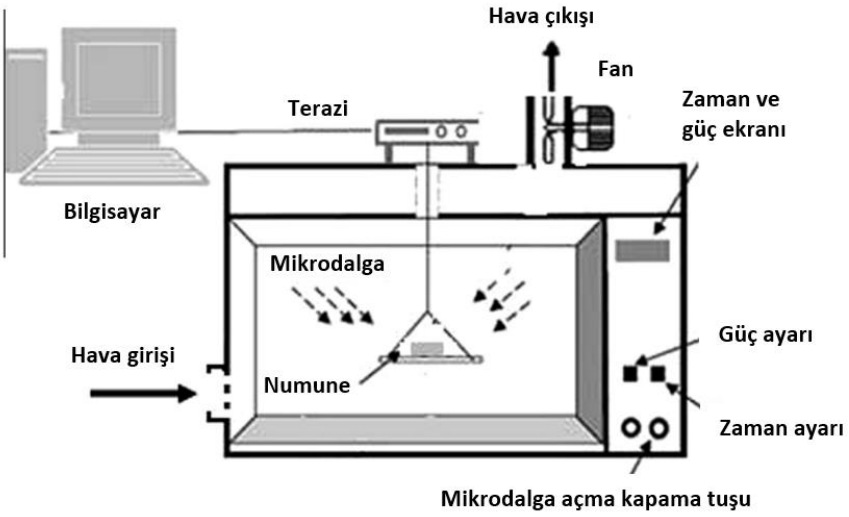
Püskürtmeyle kurutma işlemi, ürünün kurutma hücresindeki sıcak hava içerisine atomize edilmesi yöntemiyle daha geniş bir yüzey kazandırılmasını temel alır. Bu sayede sıvı ürün hızla kuruyabilir. Püskürtmeli kurutucuda (Şekil 4.4), atomizör tarafından oluşturulan damlacıkların sıcak hava akımı ile temas etmesiyle birlikte damlacık yüzeyinde buharlaşma başlar. Yüzeyde meydana gelen kabuktan nemin difüzyon hızına bağlı olarak damlacıktan nem uzaklaştırılır. Yüzeydeki kabuk zamanla kalınlaşır, nem difüzyonu azalır ve kuruyan tanecikler 1-10 saniye kadar kısa bir sürede kurutma havasının çıkış sıcaklığına ulaşmadan kurutma kabininden ayrılır. Bu sebeple ürünün çıkış sıcaklığı, havanın çıkış sıcaklığından daha düşüktür. Kurutma işlemi esnasında genelde hava ya da inert gaz olan azot taşıyıcı gaz olarak kullanılır. Gıda, kurutma sıcaklıklarının yüksek olmasına rağmen işlem süresinin kısa olması ve ürünün teorik olarak yaş termometre sıcaklığını geçmemesi sebebiyle zarar görmemektedir [58].



Şekil 4.4 Püskürtmeli kurutucu ünitesinin süreç şeması [59]

4.3.4 Mikrodalga Kurutucular

Mikrodalgalar, elektromanyetik spektrumun 300 MHz ila 300 GHz frekans aralığında yer alan elektromanyetik dalgaları ifade eder. Bu geniş frekans aralığına rağmen, endüstriyel uygulamalar için 2450 ve 915 MHz frekanslarına izin verilir; özellikle ev tipi mikrodalga fırınlar 2450 MHz frekansında mikrodalgalar üretirken, endüstriyel ölçekli çalışmalarda genel olarak 915 MHz' de çalışan sistemler kullanılmaktadır [60].

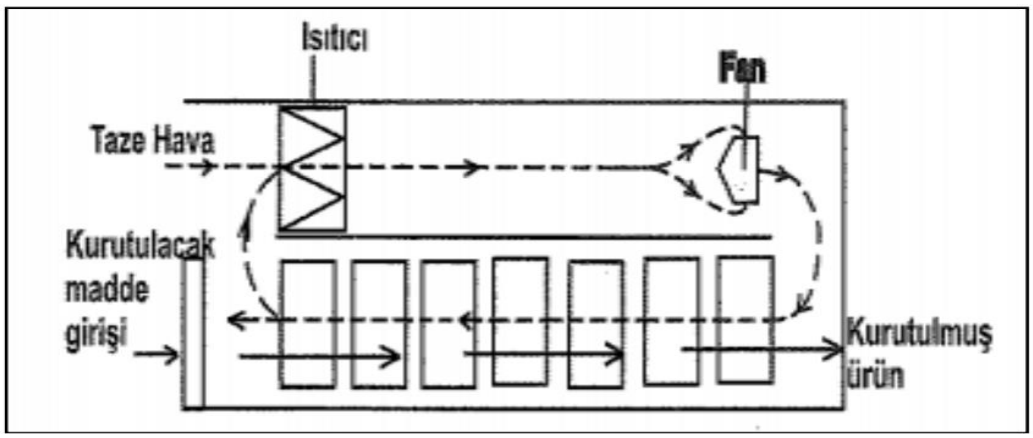


Şekil 4.5 Mikrodalga kurutucu ünitesinin süreç şeması [61]

Mikrodalga kurutma metodunda, ısı direkt olarak ürün içerisinde meydana geldiği için gıdanın içerisindeki nem kısa sürede ısınır ve buharlaşır. Bu süreçte iç ve dış ortam arasında buhar basıncı farkı ortaya çıkar. Bu basınç farkı, nem transferini içten dışa doğru yönlendirir. Bu, diğer kurutma metotlarında karşılaşılan ısı aktarımı problemlerini bertaraf etmeye yönelik etkili bir mekanizmadır [62].

4.3.5 Tünel Tipi Kurutucular

Bu tip kurutuculardaki kullanılan kerevet sistemleri, kabin kurutuculara kıyasla daha gelişmiş bir yapıya sahiptir, çünkü kurutma işlemi sırasında hareketli ray sistemleri üzerinde sabit kalmazlar. Bu hareketlilik sayesinde, taze ürünler kurutma tünelinin bir ucundan girer ve diğer ucundan kurumuş bir şekilde çıkar. Bu süreçte ürün, tünel boyunca hareket eder ve kuruyarak tünelin sonuna ulaşır [49].



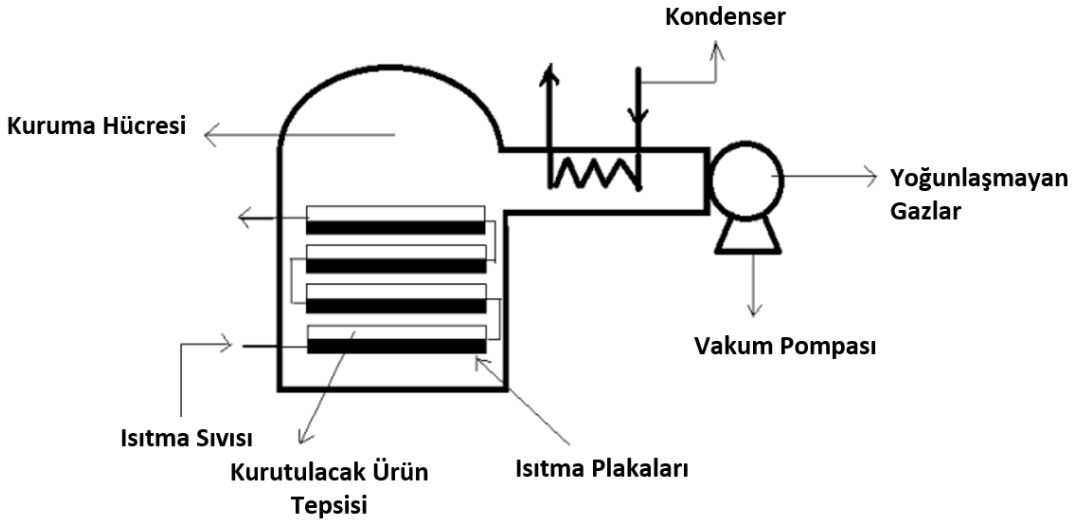
Şekil 4.6 Tünel tipi kurutucu ile kurutma işleminin şematik gösterimi [64]

Tünel kurutucular, sıcak havanın ve kurutulacak gıdaların taşındığı arabaların hareket yönüne göre iki temel kategoriye ayrılır. Sıcak hava ile arabaların hareket yönünün aynı olduğu sistemler paralel akış tünel kurutucular olarak adlandırılır. Tam tersi durumda, yani sıcak hava ile arabaların hareket yönünün zıt olduğu sistemler ise zıt akış tünel kurutucular olarak adlandırılır. Paralel akış tünel kurutuculardа kuruma hızı başlangıçta yüksekken, ürün ray üzerinde ilerledikçe kurutma havasının sıcaklığı azalır ve bu durum kuruma hızının azalmasına neden olur [49].

5

DONDURARAK KURUTMA

Dondurarak kurutma yöntemi, gıdaların özelliklerini taze haline en yakın şekilde korumayı başaran kurutma metodudur. Dondurulmuş gıdanın bünyesindeki suyun süblimleştirilmesi ile uzaklaştırılması işlemidir. Dondurarak kurutma sistemi (Şekil 5.1), genelde ısıtma plakaları, kurutma tepsileri, kuruma hücresi, vakum pompası ve kondenser gibi ana bileşenlerden meydana gelir. Bu sistemde, yüksek vakum altında (<0,6 kPa) donmuş gıdanın su buharına dönüşmeden doğrudan buharlaşma sürecine geçmesi sağlanır. İşlem, dondurulmuş gıdanın vakum ünitesine yerleştirilip vakum uygulanmasıyla başlar. Kontrollü bir şekilde ısı verilerek kuruma süreci devam ettirilir. Dondurularak kurutulan ürünlerin kalitesi genellikle yüksektir, tat ve aroma kaybı ise düşüktür. Ancak, bu yöntemin yüksek yatırım maliyeti ve düşük kuruma hızı gibi önemli dezavantajları bulunmaktadır [49].



Şekil 5.1 Dondurarak kurutma sisteminin süreç şeması [64]

Düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilmesi sebebiyle ürünlerin kalitesini ve besin değerini koruyan bir işlemdir. Ayrıca, kurutma sırasında ortamda hava bulunmaması, oksidasyon veya kimyasal reaksiyonların önlenmesini sağlayarak ürünlerin bozulmasını engeller. Dondurarak kurutma, gıdaların doğal özelliklerini

ve lezzetini daha uzun süre muhafaza etmelerini sağlayan bir yöntemdir [65]. Kuru, uzun raf ömrüne sahip ve kolayca çözülebilen ürünler (Şekil 5.2) elde etmek amacıyla kullanılır. Özellikle ürünlerin hassas yapısını koruma, ağırlığını azaltma ve uzun süreli muhafaza gibi avantajlar sağlar [66]. Son yıllarda, dondurularak kurutulmuş gıdalar, gıda endüstrisinde daha büyük bir pazar payına sahip olmuştur. Bu işlemin kolaylığı ve ürünlerin tazeliklerini muhafaza etme kabiliyeti nedeniyle, dondurularak kurutulmuş gıdalar giderek daha fazla tüketici tarafından tercih edilmektedir [48, 67]. Şekil 5.2' de dondurarak kurutulmuş meyveler gösterilmiştir.



Şekil 5.2 Dondurarak kurutulmuş gıdalar [68]

Dondurarak kurutulmuş ürünlere yeniden su eklenmesi halinde, gözenekli yapısı sayesinde kısa sürede bünyesine suyu alarak (rehidrasyon), kurutulmadan önceki formuna çok yakın bir hale gelir [69].

5.1 Dondurarak Kurutulmuş Ürünlerin Paketlenmesi ve Depolanması

Kurutulmuş ürünlerin kalitesini etkileyen önemli faktörlerden biri, ambalajlama sürecidir. Ambalaj, ürünün raf ömrünü uzatma, hijyen standartlarını koruma ve tüketicilere ürünle ilgili bilgileri iletmek gibi önemli işlevleri yerine getirir. Bu nedenle, etkili bir ambalajlama, gıda endüstrisinde ürün kalitesi ve tüketicilerin memnuniyeti açısından kritik bir unsurdur [70].

Dondurarak kurutulmuş ürünler, son aşamada kontrol altındaki koşullarda (oksijen ve su buharından uzaklaştırılmış, hava ve ışık geçirgenliği olmayan ambalajlarla, kuru inert gazla doldurularak) depolanır. Elde edilen nihai ürün, oda sıcaklığında uzun süre muhafaza edilebilir. Ancak, özellikle hassasiyeti yüksek olan gıdaların bu şekilde muhafaza edilmesi için belirli önlemler alınması gerekmektedir. Bazı durumlarda ürün kalitesinde düşüş, su buharı ile etkileşim ve istenmeyen fiziksel-kimyasal reaksiyonların oluşumu eğiliminden kaynaklanabilir. Bu durum ekşime, renk ve tat değişikliğine yol açabilir. Bu nedenle, paketleme işlemi hava geçirmez olarak gerçekleştirilmeli ve su buharını geçirmeyen malzemeler kullanılmalıdır [71].

5.2 Dondurarak Kurutma Yönteminin Uygulama Alanları

Dondurarak kurutma birçok sektörde malzemelerin korunması için tercih edilen bir prosestir. Müzede sergilenen eserlerin korunması, nakledilebilen organların ve ilaçların kurutulması gibi kullanım alanları bulunmaktadır. Yangın veya sel gibi afetler nedeniyle hasar görmüş değerli el yazması kitap ve belgelerin kurtarılmasında da kullanılır. Gıda açısından ise en yaygın dondurarak kurutulmuş ürün kahvedir. Çay, sebze, meyve, et ürünleri ve hazır yiyecekler dondurarak kurutma işlemine tabi tutulan gıda ürünlerindendir [66, 72]. Şekil 5.3' te dondurarak kurutulan çiçeklerin görseli bulunmaktadır.



Şekil 5.3 Dondurarak kurutulan çiçekler [73]

5.3 Dondurarak Kurutmanın Avantajları ve Dezavantajları

Dondurarak kurutma ile etkili sonuçlar elde edilmesinin nedenlerinden biri işlem sıcaklığının düşük sıcaklıklar olmasıdır. Böylece ısıya duyarlı ürünler kurutulurken korunmuş olurlar. Enzimatik bozulmalar ve enzimatik olmayan kararma reaksiyonlar çok düşük seviyededir. Süblimleşme sürecinin gıdanın donma noktasından düşük sıcaklıkta gerçekleşmesi sebebiyle dondurarak kurutma yöntemi gıdaların biyokimyasal ve kimyasal kalitesini korur. Dondurarak kurutulan gıdaların gözenekli yapıları vardır, bu sayede rehidrasyon kolayca gerçekleşir. Gözenekli yapısı sayesinde çok düşük nem içeriğine kadar kurutulabilen ürünler, toz haline hızlı ve zahmetsiz bir şekilde getirilebilirler. Gıdalarda bulunan su molekülleri, kurutma işlemi sırasında sıvı hareketi olmaksızın uzaklaştırılması sayesinde yüksek besin değerlerini korurlar. Bu, hücre yapısındaki maddelerin diğer kurutma yöntemlerinde olduğu gibi hücre dışına ve malzemenin yüzeyine çıkıp dağılmadığı anlamına gelir. Dondurarak kurutma sürecinden sonra gıdaların şekil ve boyutunda mühim bir değişiklik meydana gelmez.

Dondurarak kurutma yönteminin bazı dezavantajları da vardır. Ekipman maliyeti yüksektir ve gıda boyutlarının bütün halde veya kalın dilimler halinde olmaları kurutma süresini artırarak olumsuz etkilemektedir. Bu durum dışarıdaki kuru tabakadaki ısının ürünün iç kısımlarındaki buz fazına geçişini zorlaştırır. İşlem süresinin kısaltılması dilim kalınlığı ince olan ya da küçük parçalar haline getirilen ürünler tercih edilerek sağlanabilir. Dondurarak kurutulan ürünlerin gözenekli yapıları vardır ve kırılgandırlar. Bu sebeple bütün halinde kurutulan ürünlerin taşıma ve depolanmaları esnasında dikkatli olunmalıdır [42].

6

MALZEME VE YÖNTEMLER

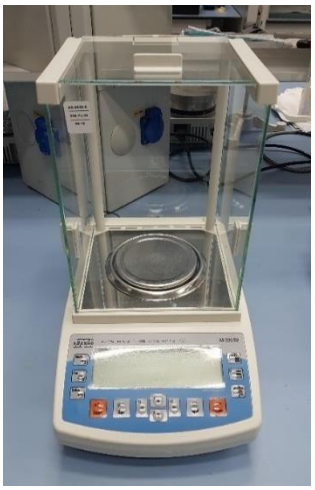
6.1 Malzeme ve Örnek Hazırlama

Salmo salar, 2022 yılında İstanbul, Türkiye' deki yerel bir pazardan tedarik edilmiştir. Derisi temizlenerek 32 mm × 32 mm uzunluğunda ve 8 mm kalınlığında numuneler hazırlanmıştır. Her numune 10 ± 0,05 g tartılmıştır. Hazırlanan numunelerin görseli Şekil 6.1' de gösterilmiştir. Her kurutma adımında 0.0001 g hassasiyete sahip Radwag AS 220.R2 (Şekil 6.2) dijital terazi (Radwag, Radom, Polonya) ile tartımlar yapılmıştır.



(a) (b)

Şekil 6.1 a) Derisi yüzülmemiş somon fileto, b) Deney için hazırlanmış somon numunesi



Şekil 6.2 Radwag AS 220.R2 dijital terazi (Radwag, Radom, Polonya)

Numuneler ultrasonik banyo, haşlama ve tuzlu suya daldırma ön işlemlerinden geçirilmiş ve nem içerikleri, 105 °C' de bir KH-45 (Şekil 6.3) sıcak hava kurutma fırını (Kenton, Guangzhou, Çin) kullanılarak belirlenmiştir. Ultrasonik ön işlem, 1°C hassasiyette ve 120 W ultrason gücünde Isolab su banyosu (Isolab, Almanya) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.3 KH-45 sıcak hava kurutma fırını (Kenton, Guangzhou, Çin)

Deneyler Labart LFD-10N model (Şekil 6.4) dondurarak kurutucu (ART Laborteknik, İstanbul, Türkiye) ile gerçekleştirilmiştir. Her numunenin ağırlığı, deneyler sırasında her 60 dakikada bir kaydedilmiştir.

Numuneler kuru ağırlıklarına ulaşana dek deneyler sürdürülmüştür. Kurutma işlemi sonrasında kurutma koşullarının kurutulan malzemenin rengine etkisini belirlemek için renk ölçüm cihazı ile (PCE-CSM 1; PCE Instruments UK Ltd., Southampton Hampshire, United Kingdom) renk ölçümleri not edilmiştir.

6.2 Somonun Dondurarak Kurutulması

Hazırlanan numuneler ön işlemden geçirilmeden ve ultrasonik (1 dakika ve 5 dakika ultrasonik banyo), haşlama (1 dakika haşlama, 5 dakika haşlama, %10 tuz ile 1 dakika haşlama ve %20 tuz ile 1 dakika haşlama), tuzlu suya daldırma (%10 tuz ile 5 dakika, %10 tuz ile 10 dakika, %20 tuz ile 5 dakika ve %20 tuz ile 10

dakika) ön işlemlerinden geçirilerek 105°C' de etüvde kurutulmuş ve her bir ön işlem için nem oranları tayin edilmiştir.



Şekil 6.4 Labart LFD-10N model liyofilizatör (ART Laborteknik, İstanbul, Türkiye)

Nem miktarlarının belirlenmesinin ardından yeni numuneler hazırlanarak dondurarak kurutucuya yerleştirilmiştir. Dondurarak kurutma işlemi süresince her 60 dakikada bir numunelerin tartımı yapılmıştır. Numune tartımları yapılırken vakum pompası kapatılarak kabin basıncı eşitlenmiştir. Numuneler cihazdan alınarak 2 dakikadan daha kısa süre içerisinde tartılarak tartım sonuçları not edilmiştir. Numuneler tartım sonrası tekrar cihaza yerleştirilerek yeniden vakum kurulmuştur. Numuneler kuru ağırlıklarına ulaşana dek kurutma işlemi sürdürülmüştür. Kurutma işlemi tamamlanınca numunelerin beş farklı bölgesinden renk ölçüm cihazı ile renk ölçümleri yapılmış ve not edilmiştir. Tüm işlemler tamamlandıktan sonra bütün numuneler vakum makinesi kullanılarak polietilen torbalara konulmuş ve nem emilimini önlemek amacıyla desikatörde muhafaza edilmiştir.

6.3 Kurutma Eğrilerinin Matematiksel Modellenmesi

Kurutma eğrilerini çizmek ve kurutma verilerinin matematiksel modellerle uyumluluğunu test etmek için nem içeriği, kuruma hızı ve nem oranı hesaplanmıştır (Denklemler 6.1-2-3). Formüllerde nem içeriği (M), kg su içeriği (m_w) ve kg kuru madde (m_d) temel alınarak hesaplanmıştır. Kuruma hızı (DR), t_{min} (M_t) ve t+dt (M_{t+dt}) zamanındaki nem içeriği değerlerine dayalı olarak hesaplanmıştır. Nem oranı (MR), başlangıç (M_0), t-dakika (M_t) ve denge (M_e) nem içeriğine bağlı olarak boyutsuz olarak hesaplanmıştır [74,75].

$$M = {}^{m_w}/_{m_d} \tag{6.1}$$

$$DR = \frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \tag{6.2}$$

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \tag{6.3}$$

Doğrusal olmayan regresyonda parametre tahmini için Statistica 8.0 (StatSoft Tulsa, ABD) programı kullanılarak Tablo 6.1' de formülleri verilen 13 farklı model ile matematiksel modelleme yapılmıştır. Modellerin uyumu regresyon katsayısı (R^2), en düşük ortalama karekök hata (RMSE) ve ki-kare (χ^2) değerleri ile belirlenmiştir. χ^2 ve RMSE değerlerinin 0' a ve R^2 değerlerinin 1' e yakın olduğu modeller seçilerek değerlendirilmiştir. Bu parametrelere ilişkin formüller aşağıdaki Denklem (6.4), (6.5) ve (6.6)' da gösterilmiştir.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(MR_{exp,i} - MR_{pre,i}\right)^2}{\sum_{i=1}^{N}\left(MR_{exp,i} - \left(\frac{1}{n}\right)MR_{exp,i}\right)^2} \tag{6.4}$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}(MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - z} \tag{6.5}$$

$$RMSE = \left(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2\right)^{\frac{1}{2}} \tag{6.6}$$

Burada nem oranları için hesaplanan ($MR_{exp,i}$) ve tahmin edilen nem oranı ($MR_{pre,i}$) değerleri, toplam deney sayısına (N) ve model sabit sayısına (z) bağlı olarak hesaplanır [76].

En uygun model seçimi için aranan özellikler R^2 değerlerinin 1' e, RMSE ve χ^2 değerlerinin ise mümkün olan en yakın şekilde 0' a yakın olmasıdır. Bu kriterler,

modelin veriye iyi uyum sağlaması ve doğru tahminlerde bulunabilmesi açısından önemlidir.

Tablo 6.1' de belirtilen a, b, c, n ve g, her bir denklem için ayrı ayrı tanımlanan kurutma üs katsayılarıdır: k, k_1 ve k_2, denklemler için ayrı ayrı tanımlanan kurutma katsayılarıdır ve t, dakika cinsinden zamanı ifade eder.

Tablo 6.1 Çalışmada kullanılan matematiksel modeller

Model	**Formül**
Aghbaslo vd.	MR = exp $(-k_1 t / (1 + k_2 t))$ [77]
Alibas	MR = a.exp $((-kt^n) + bt) + g$ [78]
Henderson ve Pabis	MR = a.exp $(-kt)$ [79]
Jena ve Das	MR = a.exp $(-kt + b\sqrt{t})$ + c [80]
Lewis	MR = exp $(-kt)$ [81]
Logaritmik	MR = a.exp $(-kt)$ + c [82]
Midilli vd.	MR = a.exp $(-kt^n) + bt$ [83]
Page	MR = exp $(-kt^n)$ [84]
Parabolik	MR = $a + bt + c$ t^2 [85]
Verma vd.	MR =a.exp $(-kt)$ + $(1 - a)$.exp $(-gt)$ [86]
Wang ve Singh	MR = exp $(-(t/b)^a)$ [87]
Weibull	$MR = a - b$. exp $(-(kt)^n)$ [88]
İki Terimli Üstel	MR = a. exp (k_0t) + b. exp (k_1t) [89]

6.4 Efektif Difüzyon Katsayısının Hesaplanması

Gıda ürünlerindeki kuruma mekanizması Fick' in ikinci difüzyon yasasına dayanan formüllerle açıklanmaktadır. Temel kabullerin yapılmasını gerektiren etkin nem difüzyon katsayısı (D_{eff}), numunenin metre cinsinden yarı kalınlığına (L) ve pozitif n tam sayısına bağlı olarak Denklem 6.7 ile hesaplanabilmektedir. Hesaplamada difüzyon katsayısında herhangi bir büzülme veya değişim olmadığı ve kütle transferinin sadece difüzyonla merkeze göre simetrik olarak gerçekleştiği varsayılmaktadır. Denklem 6.7 daha uzun kuruma süreleri için, Denklem 6.8' deki gibi basitleştirilebilir [90].

$$MR = \frac{8}{\pi^2}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{(2n+1)^2}e^{(-\frac{(2n+1)^2\pi^2 D_{eff}t}{4L^2})} \tag{6.7}$$

$$MR = \frac{8}{\pi^2}e^{(-\frac{\pi^2 D_{eff}t}{4L^2})} \tag{6.8}$$

Denklem 6.8' in logaritması alınarak yeniden düzenlemesiyle birlikte Denklem 6.9' daki gibi doğrusal bir fonksiyon olarak tanımlanabilir. ln(MR)' nin t' ye karşı eğiminden D_{eff} hesaplanır [91].

$$ln(MR) = ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - (-\frac{\pi^2 D_{eff}t}{4L^2}) \tag{6.9}$$

6.5 Renk Analizi

Ön işleme tabi tutulmuş ve ön işlem uygulanmamış somonların kolorimetre ile renk değerleri ölçülmüştür. Deneyler sonucunda her somondan rastgele alınan beş renk ölçümünün "L*", "a*" ve "b*" değerleri kayıt altına alınarak ortalama sonuçlar elde edildi. Hunter renk analizi, ürünün açıklık değerini +L*, kırmızılık değerini +a*, yeşillik değerini -a*, sarılık değerini +b*, mavilik değerini -b* ile gösteren bir yöntemdir. Bu sonuçlara göre ön işlem ve kurutma parametrelerinin renk özelliklerini nasıl etkilediği yorumlanmıştır. ΔE (renk farkı) değerleri Eşitlik 6.10 ile hesaplanmıştır [88].

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \tag{6.10}$$

7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

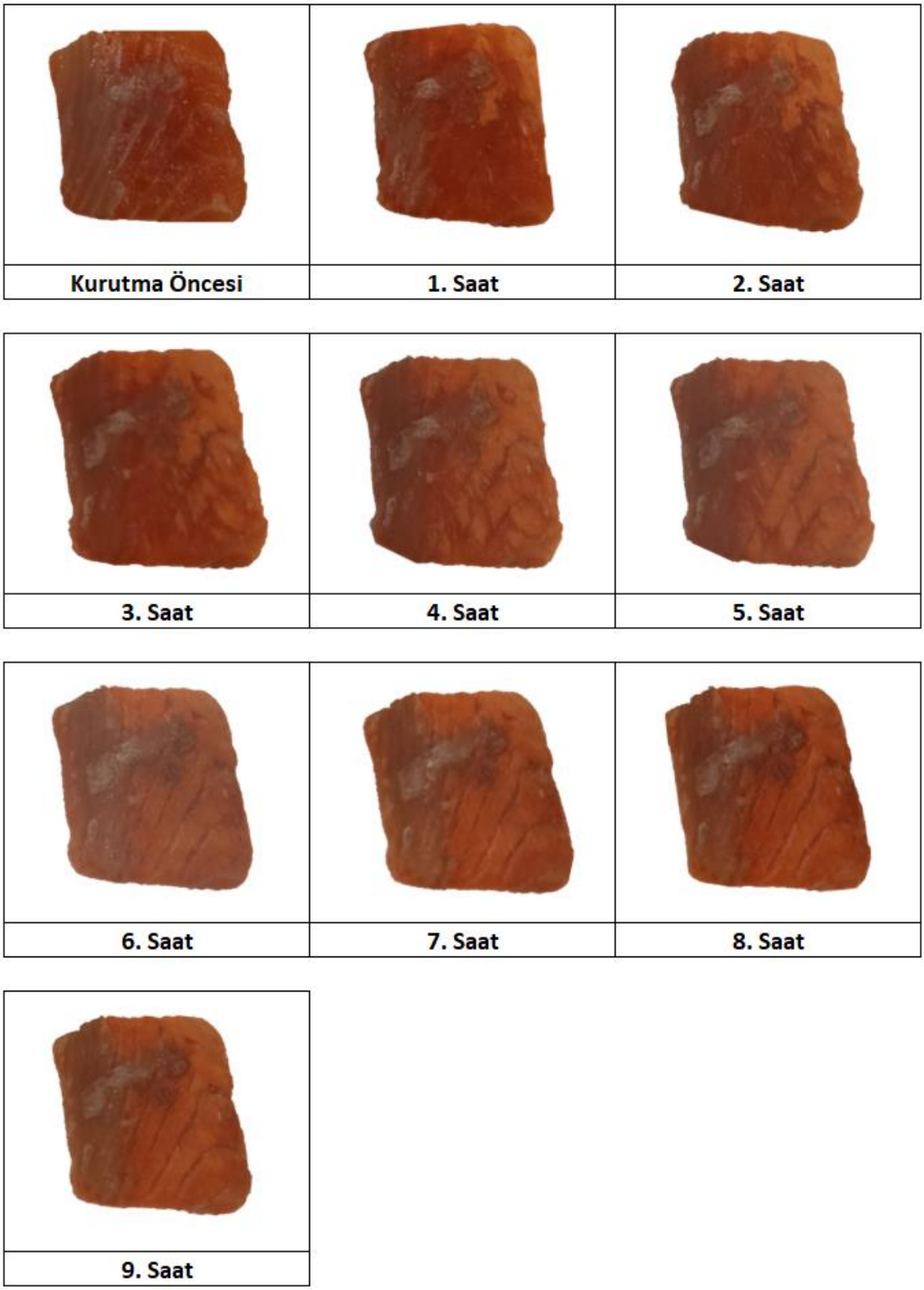
Bu bölümde, deney sonuçlarının detaylı bir şekilde incelenmesi ve kıyaslanması amacıyla Statistica 8.0 (StatSoft, Tulsa, ABD) ve Excel 2016 (Microsoft, California, ABD) yazılımlarından faydalanılmıştır. Çalışmanın temelini oluşturan ultrasonik banyo, haşlama, tuzlu suda haşlama ve tuzlu suya daldırma ön işlemlerinin, dondurarak kurutma sürecindeki kuruma hızı ve efektif nem difüzyonu üzerindeki etkileri, grafiklerle açık bir biçimde ortaya konmuştur.

Ek olarak, her bir deney seti için çeşitli matematiksel modelleme parametreleri belirlenmiştir. Bu parametreler arasında regresyon faktörleri, ortalama karekök hatası ve ki-kare sayıları yer almaktadır. Bu sayede, deneylerin matematiksel modellerle ne kadar uyumlu olduğu ve modellerin tahmin gücü daha ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmiştir.

Son olarak, en başarılı sonuçlar elde edilen matematiksel modellerin doğruluk grafikleri, görsel olarak sunularak okuyuculara kolaylık sağlanmıştır. Bu aşamada, analizlerin sonuçlarına dayalı olarak seçilen modellerin performanslarına dair net bir görsel sunum yapılmış ve bu şekilde elde edilen bulgular daha anlaşılır hale getirilmiştir.

7.1 Kurutma İşlemi Boyunca Somonun Zamanla Değişimi

Ön işlem görmemiş, 1 dk haşlama ön işlemli, 5 dk haşlama ön işlemli, %10 tuzlu suda 1 dk haşlama ön işlemli, %10 tuzlu suda 5 dk haşlama ön işlemli, 1 dk ultrasonik banyo ön işlemli, 5 dk ultrasonik banyo ön işlemli, %10 tuzlu suya 5 dk daldırma, %10 tuzlu suya 10 dk daldırma ön işlemli, %20 tuzlu suya 5 dk daldırma ön ve %20 tuzlu suya 10 dk daldırma ön işlemli numunelerin dondurarak kurutma işlemi boyunca zamana bağlı değişimleri sırasıyla Şekil 7.1-11’ de gösterilmiştir.



Şekil 7.1 Ön işlem görmemiş numunenin dondurarak kurutma boyunca zamanla değişimi

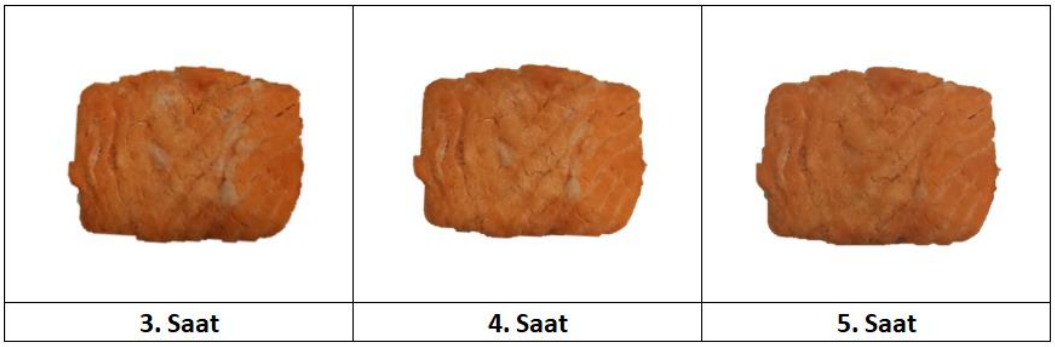
		
Kurutma Öncesi	**1. Saat**	**2. Saat**
		
3. Saat	**4. Saat**	**5. Saat**

Şekil 7.2 1 dk haşlama ön işlemli numunenin dondurarak kurutma boyunca zamanla değişimi

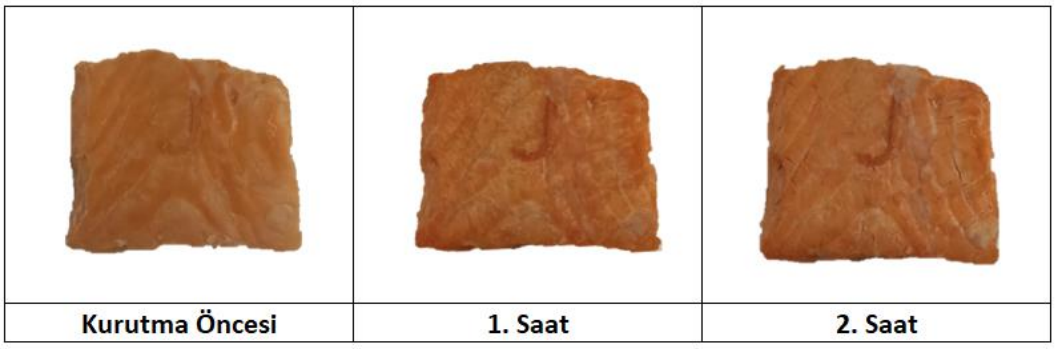
		
Kurutma Öncesi	**1. Saat**	**2. Saat**
		
3. Saat	**4. Saat**	**5. Saat**

Şekil 7.3 5 dk haşlama ön işlemli numunenin dondurarak kurutma boyunca zamanla değişimi



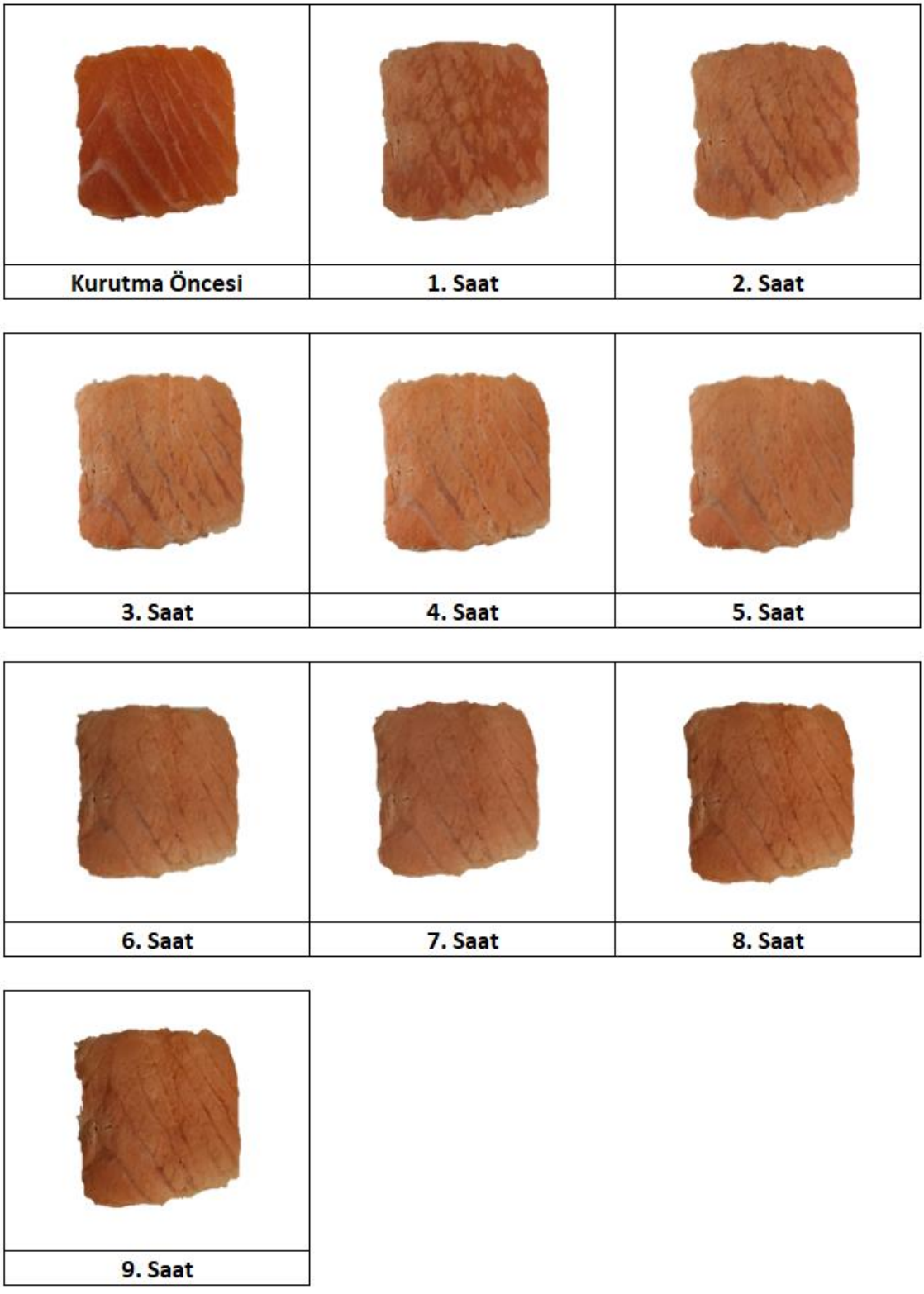


Şekil 7.4 %10 tuzlu suda 1 dk haşlama ön işlemli numunenin dondurarak kurutma boyunca zamanla değişimi

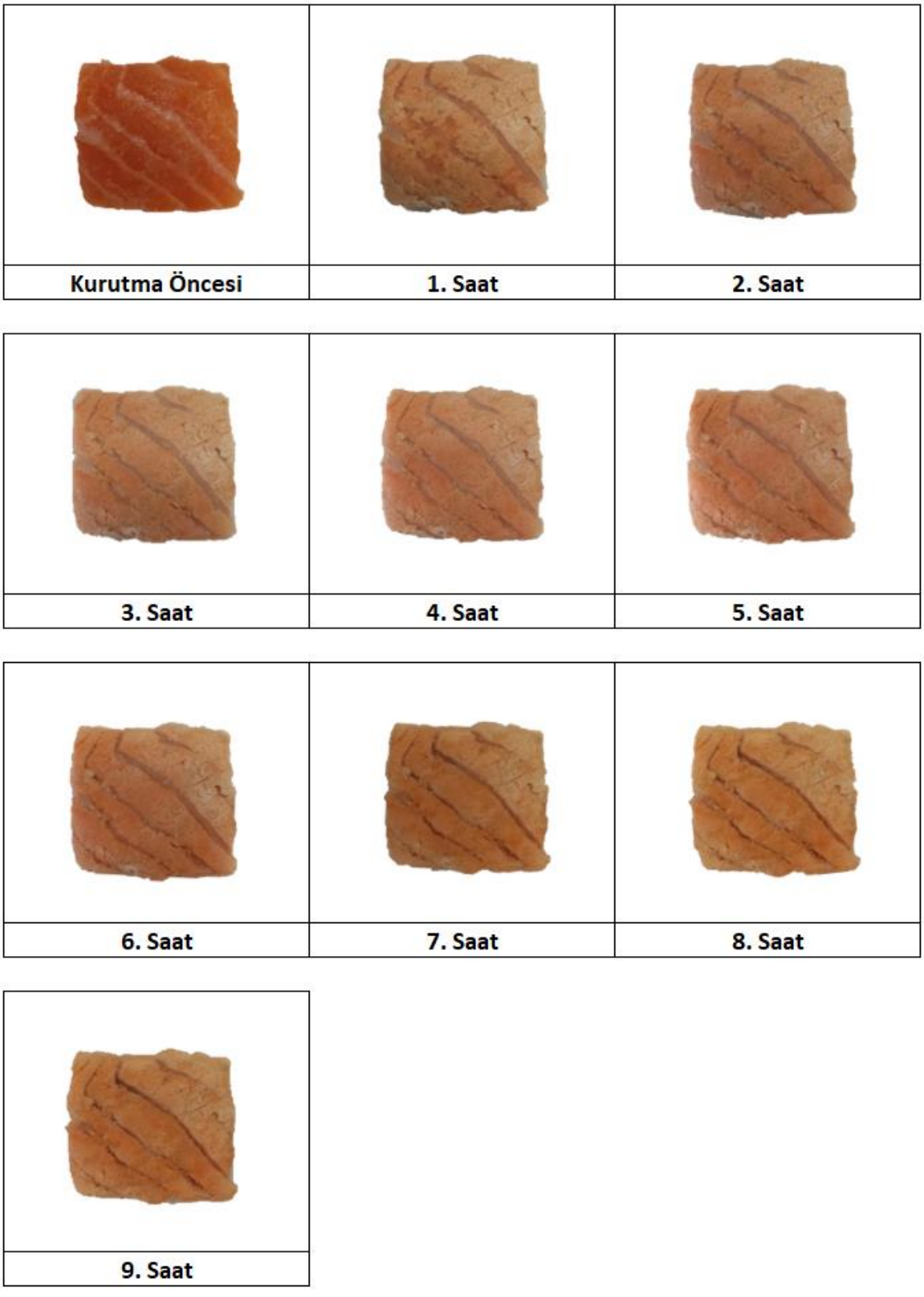




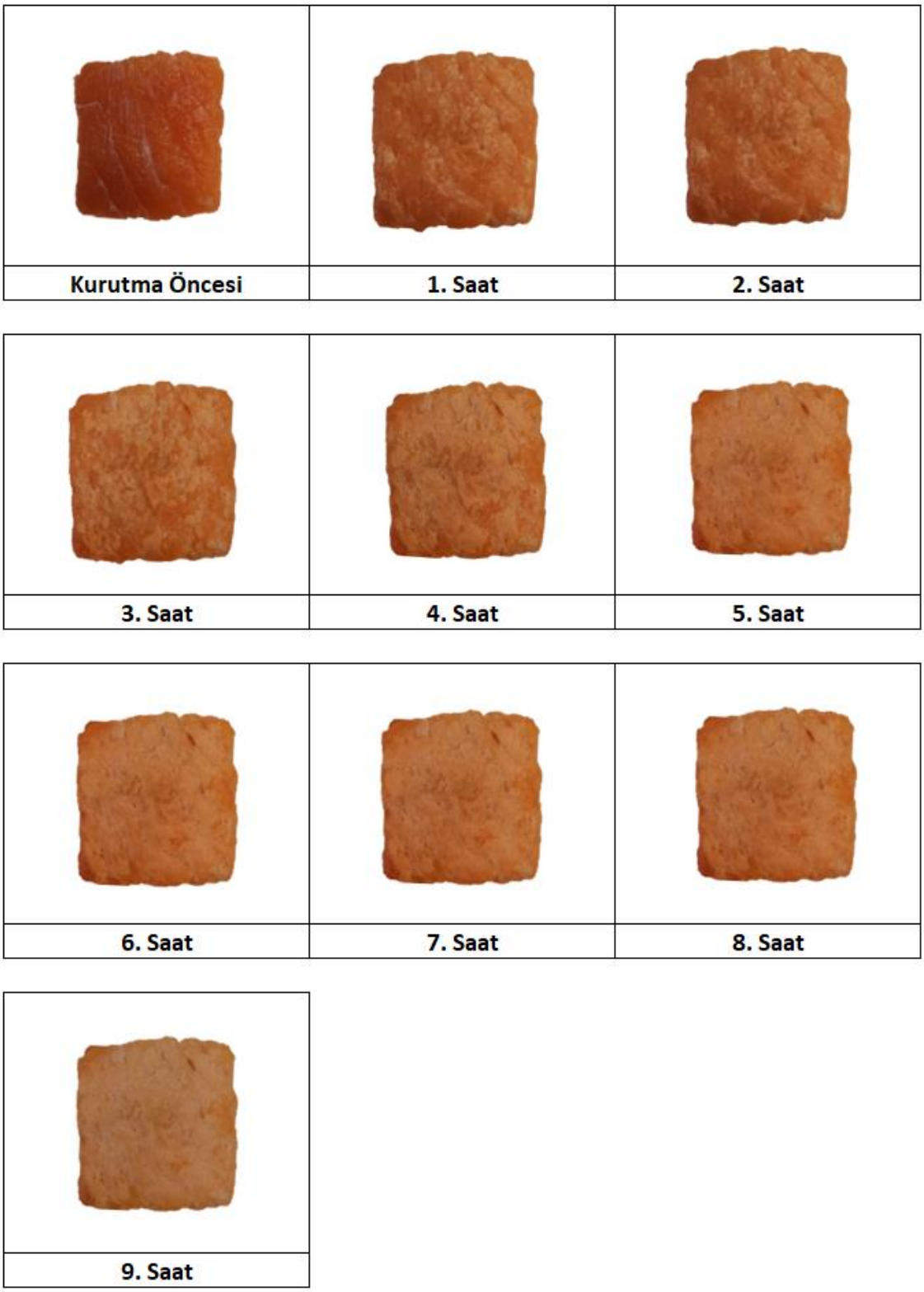
Şekil 7.5 %10 tuzlu suda 5 dk haşlama ön işlemli numunenin dondurarak kurutma boyunca zamanla değişimi



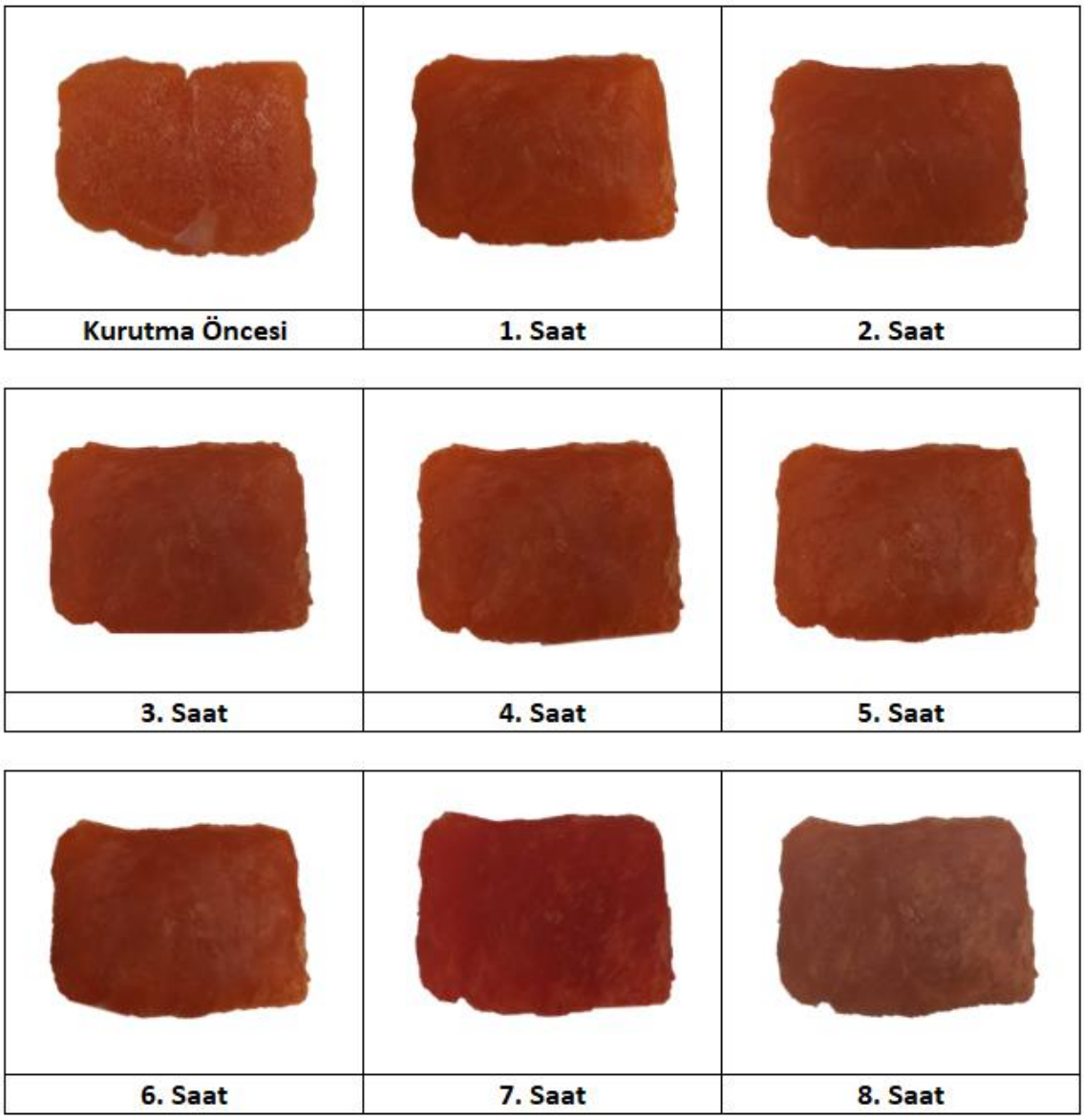
Şekil 7.6 1 dk ultrasonik banyo ön işlemli numunenin dondurarak kurutma boyunca zamanla değişimi



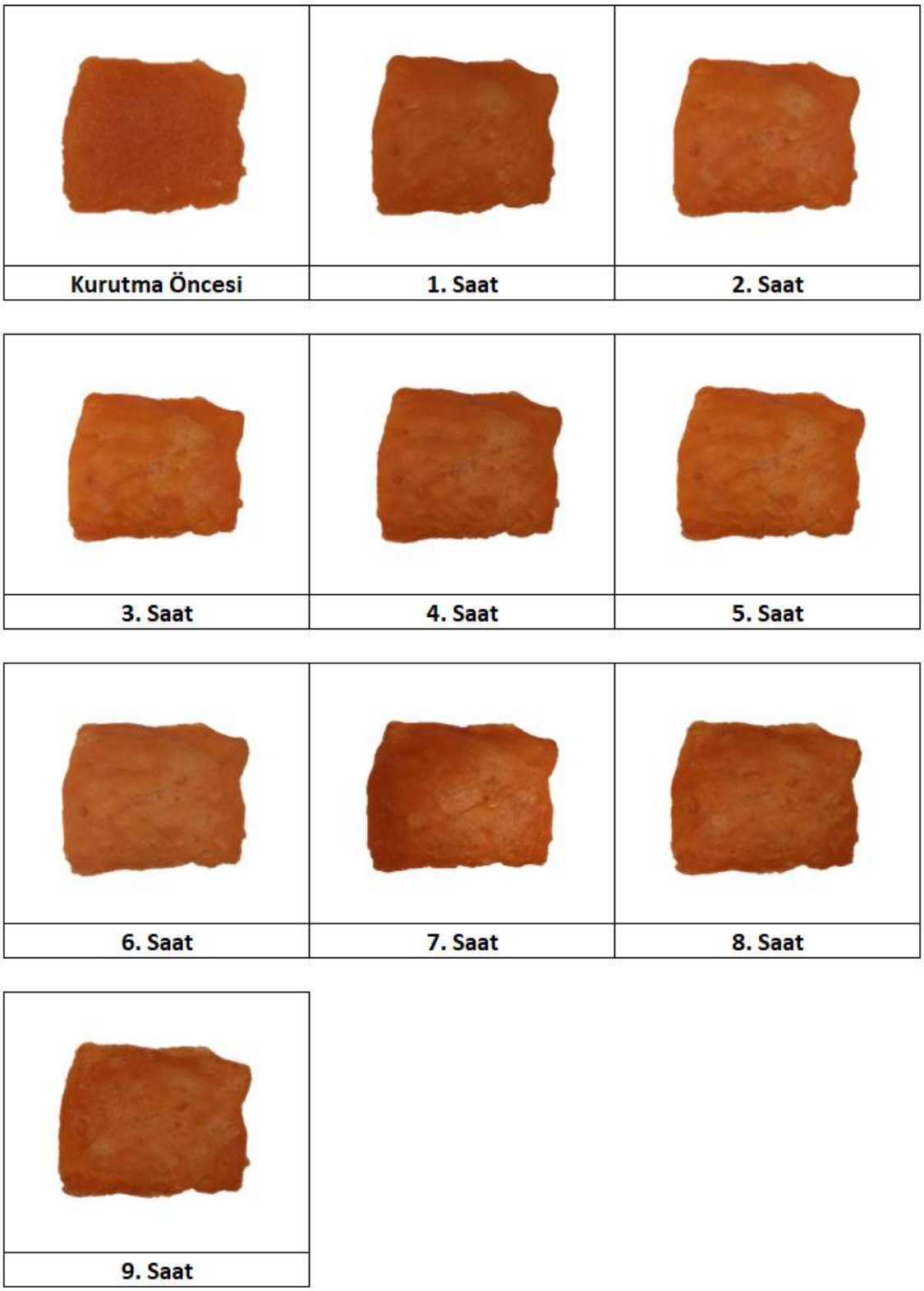
Şekil 7.7 5 dk ultrasonik banyo ön işlemli numunenin dondurarak kurutma boyunca zamanla değişimi



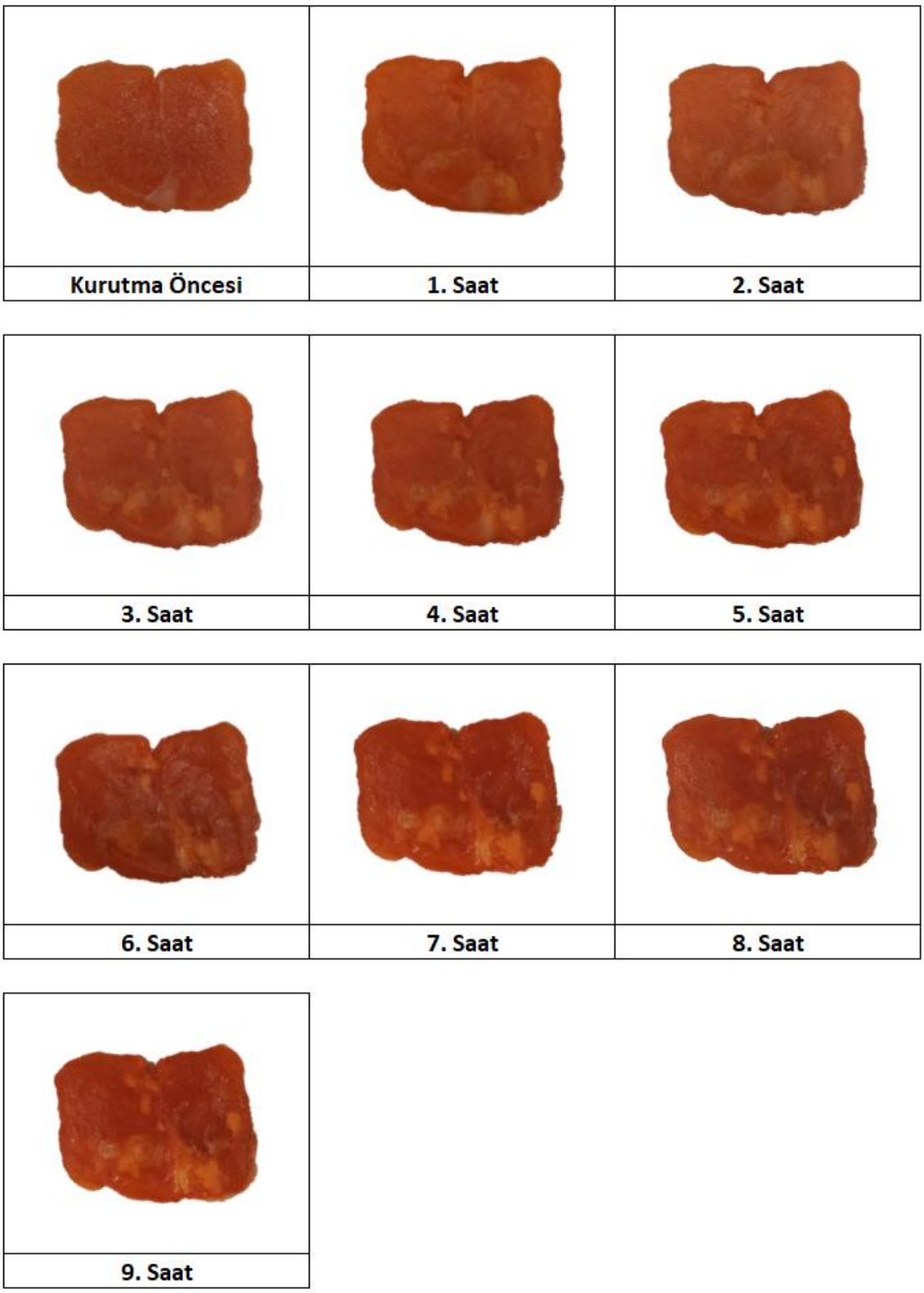
Şekil 7.8 %10 tuzlu suya 5 dk daldırma ön işlemli numunenin dondurarak kurutma boyunca zamanla değişimi



Şekil 7.9 %10 tuzlu suya 10 dk daldırma ön işlemli numunenin dondurarak kurutma boyunca zamanla değişimi



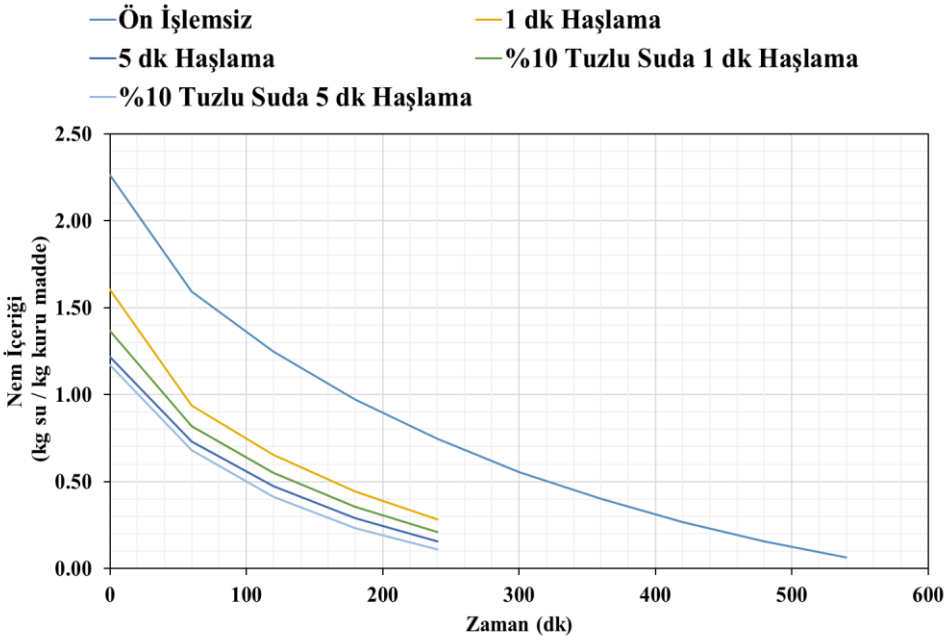
Şekil 7.10 %20 tuzlu suya 5 dk daldırma ön işlemli numunenin dondurarak kurutma boyunca zamanla değişimi



Şekil 7.11 %20 tuzlu suya 10 dk daldırma ön işlemli numunenin dondurarak kurutma boyunca zamanla değişimi

7.2 Kurutma Eğrileri

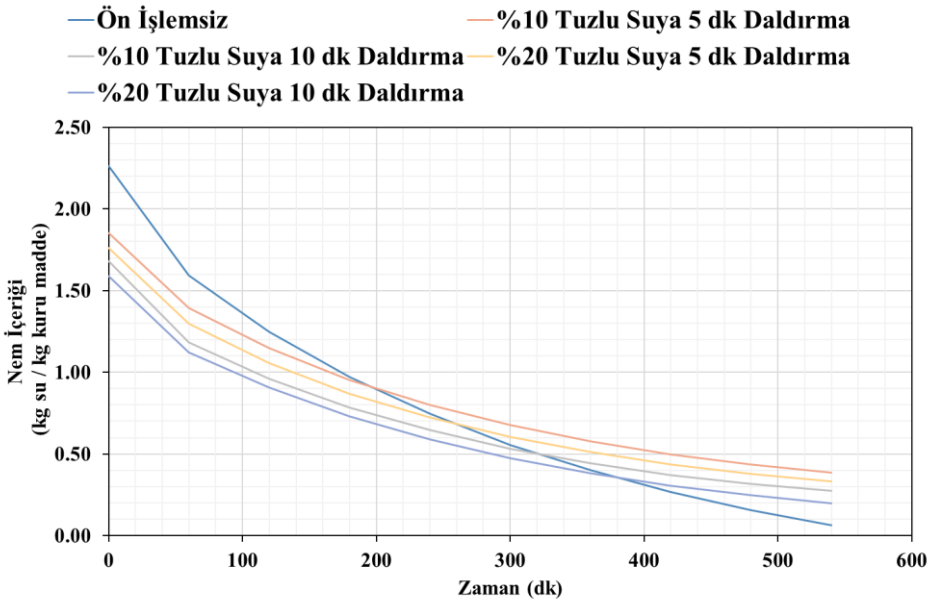
Nem içeriğinin zamana bağlı değişimini belirlemek amacıyla, numunelerin nem oranları tayin edilmiştir. Ön işlem görmemiş numunenin nem içeriği yaş bazda %69,37 ve 2,2646 kg su/kg kuru madde olarak hesaplanmıştır. 1 dakika haşlama ön işleminden geçirilmiş numunenin nem içeriği yaş bazda %61,61 ve 1,6048 kg su/kg kuru madde olarak bulunmuştur. 5 dakika haşlama ön işlemli numunenin nem içeriği yaş bazda %54,87 1,2160 kg su/kg kuru madde olarak hesaplanmıştır. %10 tuzlu suda 1 dk haşlama ve %10 tuzlu suda 5 dk haşlama ön işlemlerine tabi tutulan numunelerin nem içerikleri sırasıyla %57,77, %53,94 ve 1,3681, 1,1710 kg su/kg kuru madde olarak hesaplanmıştır. Dondurarak kurutma işlemi sonrasında ön işlem görmemiş numunenin nem içeriği kuru bazda %2,84 olarak hesaplanmıştır. 1 dk haşlama, 5 dk haşlama, %10 tuzlu suda 1 dk haşlama ve %10 tuzlu suda 5 dk haşlama ön işlemli numunelerin kuru bazda nem oranları sırasıyla %17,56, %12,94, %15,34 ve %9,23 olarak hesaplanmıştır. Bu verilere dayanarak numunelerin zamana bağlı nem içeriğindeki değişim Şekil 7.12' de gösterilmiştir.



Şekil 7.12 Ön işlem görmemiş ve haşlama ön işlemli numunelerin kurutma eğrisi

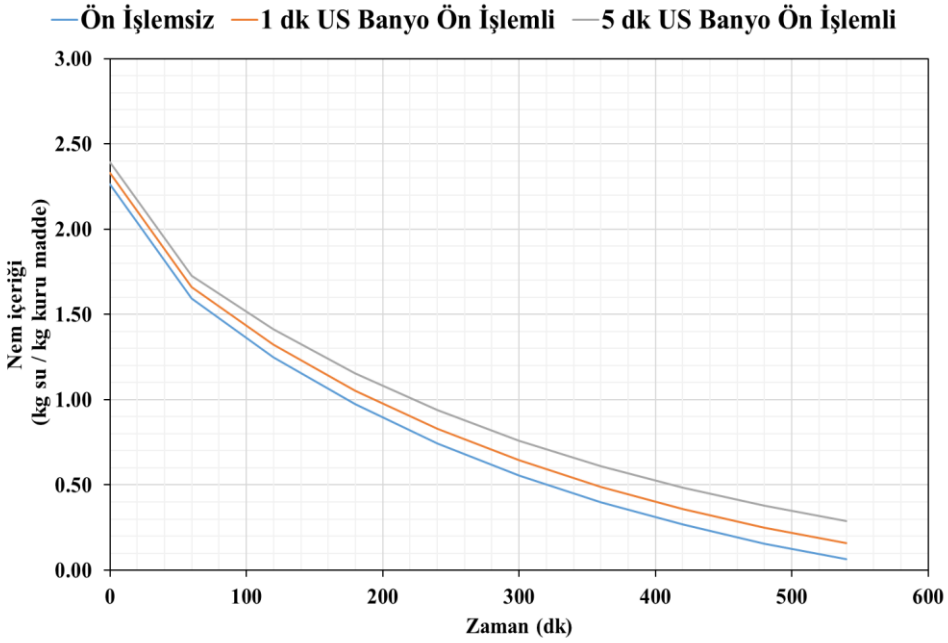
%10 tuzlu suya 5 dk daldırma ön işlemli numunenin nem içeriği yaş bazda %64,96 ve 1,8537 kg su/kg kuru madde ve %10 tuzlu suya 10 dk daldırma ön işlemli numunenin nem içeriği yaş bazda %62,72 ve 1,6826 kg su/kg kuru madde

olarak bulunmuştur. %20 tuzlu suya 5 dk daldırma ve %20 tuzlu suya 10 dk daldırma ön işlemine tabi tutulmuş numunelerin nem içerikleri yaş bazda sırasıyla %63,79, %61,40 ve 1,7620, 1,5904 kg su/kg kuru madde olarak hesaplanmıştır. Tuzlu suya daldırma ön işleminden geçirilmiş numunelerin zaman içindeki nem içeriği değişimini gösteren grafik Şekil 7.13' te sunulmuştur. %10 tuzlu suya 5 dk daldırma, 10 tuzlu suya 10 dk daldırma, %20 tuzlu suya 5 dk daldırma ve %20 tuzlu suya 10 dk daldırma ön işlemli numunelerin dondurarak kurutma işlemi sonunda kuru bazda nem oranları sırasıyla %20,83, %16,25, %18,83 ve %12,55 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7.13 Ön işlemsiz ve tuzlu suya daldırma ön işlemli numunelerin kurutma eğrisi

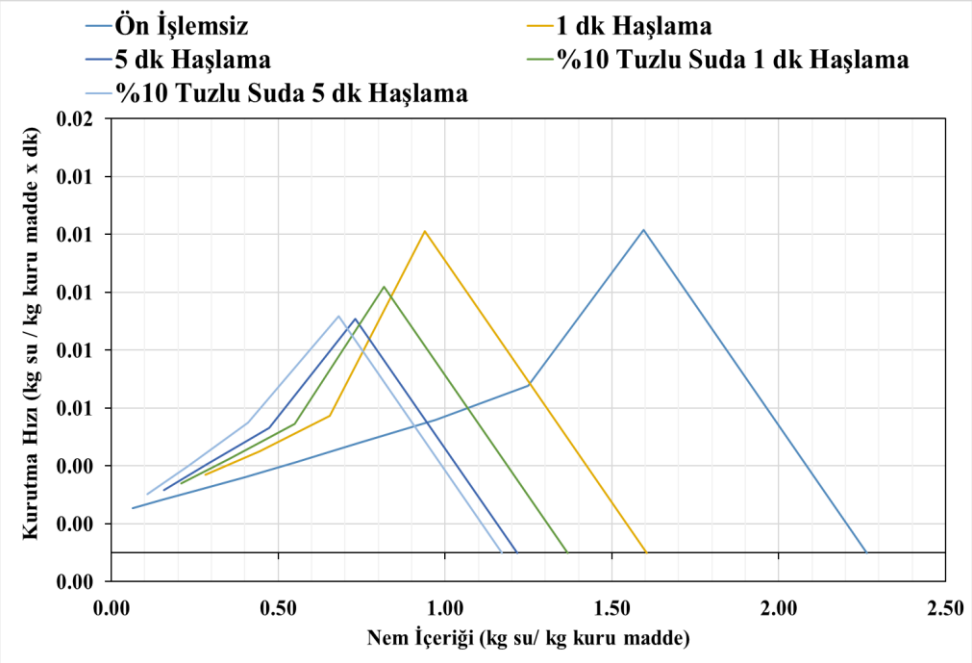
Ultrasonik banyoda 1 dk ön işlem görmüş numunenin nem içeriği yaş bazda %69,98 ve 2,3317 kg su/kg kuru madde ve ultrasonik banyoda 5 dk ön işlem görmüş numunenin nem içeriği yaş bazda %70,54 ve 2,3944 kg su/kg kuru madde olarak hesaplanmıştır. Ön işlem görmemiş ve ultrasonik banyo ön işleminden geçirilmiş numunelerin zaman içindeki nem içeriği değişimini gösteren grafik Şekil 7.14' te sunulmuştur. US banyo ön işlemine tabi tutulan numunelerin kurutma işlemi sonrasında kuru bazda nem oranları 1 dk US banyo ön işlemli numune için %6,84 ve 5 dk US banyo ön işlemli numune için %12,09 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7.14 Ön işlem görmemiş ve ultrasonik banyo ön işlemli numunelerin kurutma eğrisi

7.3 Kurutma Hızı Eğrileri

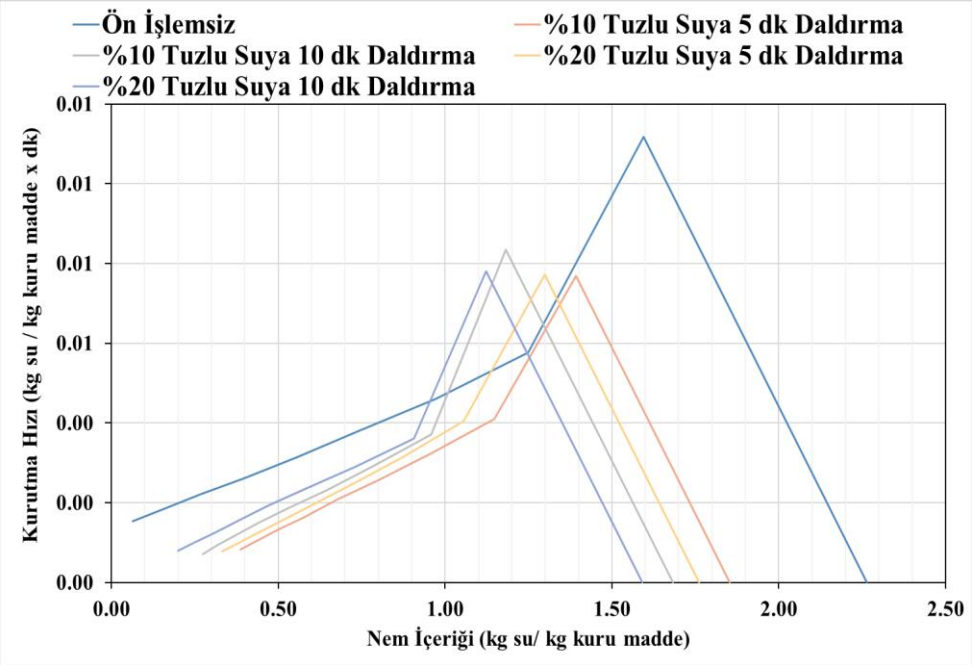
Ön işlem görmemiş ve haşlama ön işlemli somon numunelerinin kuruma hızı eğrileri Şekil 7.15' te gösterilmiştir. Ön işleme tabi tutulmayan numunenin kuruma hızı 0,0112 kg su/kg kuru madde × dk olarak bulunmuştur. 1 dk haşlama ve 5 dk haşlama ön işlemli numuneler için kuruma hızları sırasıyla 0,0111 ve 0,0081 kg su/kg kuru madde × dk olarak belirlenmiştir. %10 tuzlu suda 1 dk haşlama ön işlemi uygulanan numunenin kuruma hızı 0,0092 kg su/kg kuru madde × dk ve %10 tuzlu suda 5 dk haşlama ön işlemli numunenin kuruma hızı 0,0082 kg su/kg kuru madde × dk olarak bulunmuştur. Haşlama ve tuzlu suda haşlama ön işlemine tabi tutulan numunelerin kuruma hızlarının karşılaştırılması sonucunda, en yüksek kuruma hızına 5 dakika süreyle haşlama ön işlemine tabi tutulan numunenin sahip olduğu tespit edilmiştir.



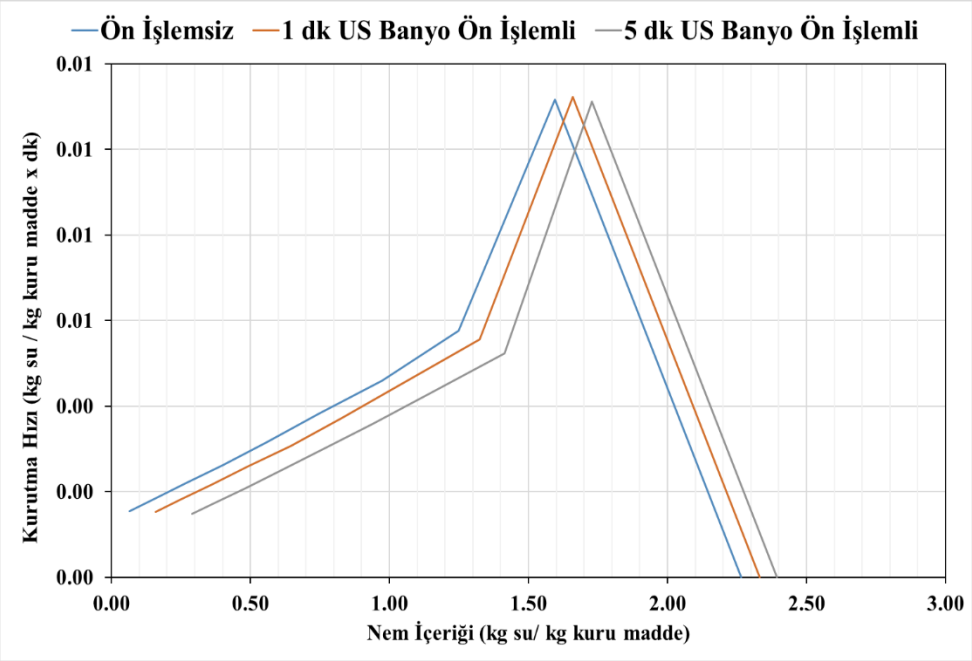
Şekil 7.15 Ön işlemsiz ve haşlama ön işlemli numunelerin kurutma hızı eğrisi

Ön işlem görmemiş ve tuzlu suya daldırma ön işlemine tabi tutulmuş numunelerin kuruma hızı eğrileri Şekil 7.16' da sunulmuştur. %10 tuzlu suya 5 dk daldırma ön işlemine tabi tutulmuş numune için kuruma hızı 0,0077 kg su/kg kuru madde × dk ve %20 tuzlu suya 5 dk daldırma ön işlemli numune için kuruma hızı 0,0077 kg su/kg kuru madde × dk olarak bulunmuştur. %10 tuz ile 10 dk tuzlu suya daldırma ön işlemi uygulanan numune için kuruma hızı 0,0083 kg su/kg kuru madde × dk ve %20 tuz ile 10 dk tuzlu suya daldırılan numune için kuruma hızı 0,0078 kg su/kg kuru madde × dk olarak belirlenmiştir. Tuzlu suya daldırma ön işlemine tabi tutulan numunelerin kuruma hızlarını kıyaslandığında, en yüksek kuruma hızları %10 tuzlu suya 5 dk daldırma ve %20 tuzlu suya 5 dk daldırma ön işlemlerine tabi tutulan numuneler tarafından sergilenmiştir.

Ultrasonik banyo ön işlemi uygulanmış ve uygulanmamış somon numunelerinin kuruma hızı eğrileri Şekil 7.17' de gösterilmiştir. 1 dk ultrasonik banyoda ön işleme tabi tutulmuş numune için kuruma hızı 0,0112 kg su/kg kuru madde × dk ve 5 dk ultrasonik banyo ön işlemi uygulanan numune için kuruma hızı 0,0111 kg su/kg kuru madde × dk olarak belirlenmiştir.



Şekil 7.16 Ön işlemsiz ve tuzlu suya daldırma ön işlemli numunelerin kurutma hızı eğrisi



Şekil 7.17 Ön işlemsiz ve ultrasonik banyo ön işlemli numunelerin kurutma hızı eğrisi

Numunelerin kuruma hızı eğrilerinde düşen hız periyodu gözlenmiştir. Ön işlem görmüş numunelerin nem içeriği genellikle daha yüksek olduğundan, bu

numunelerin kuruma periyoduna daha erken bir aşamada girdiği gözlemlenmektedir. Ayrıca, ön işlem kullanımının, özellikle kuruma oranları üzerinde belirgin bir etkisi bulunmaktadır. Numunelere uygulanan ön işlemler, genellikle su kaybını arttırarak kuruma sürecini hızlandırmaktadır. Bu durum, numunelerin içerdikleri nem miktarını azaltarak, kuruma oranlarını artırma eğilimindedir.

Bu durumda, ön işlem görmüş numunelerin su içeriğindeki farklılıklar ve ön işlemlerin kuruma oranları üzerindeki etkileri, çalışmanın temel odak noktalarını oluşturmaktadır. Bu gözlemler, ön işlemlerin materyalin fiziksel özellikleri üzerindeki etkilerini anlamak ve kuruma süreçlerini yönetmek için önemli bir bilimsel katkı sunmaktadır. Ön işlemler, genellikle ısı ve kütle transfer hızlarını arttırarak kuruma sürecini hızlandırır.

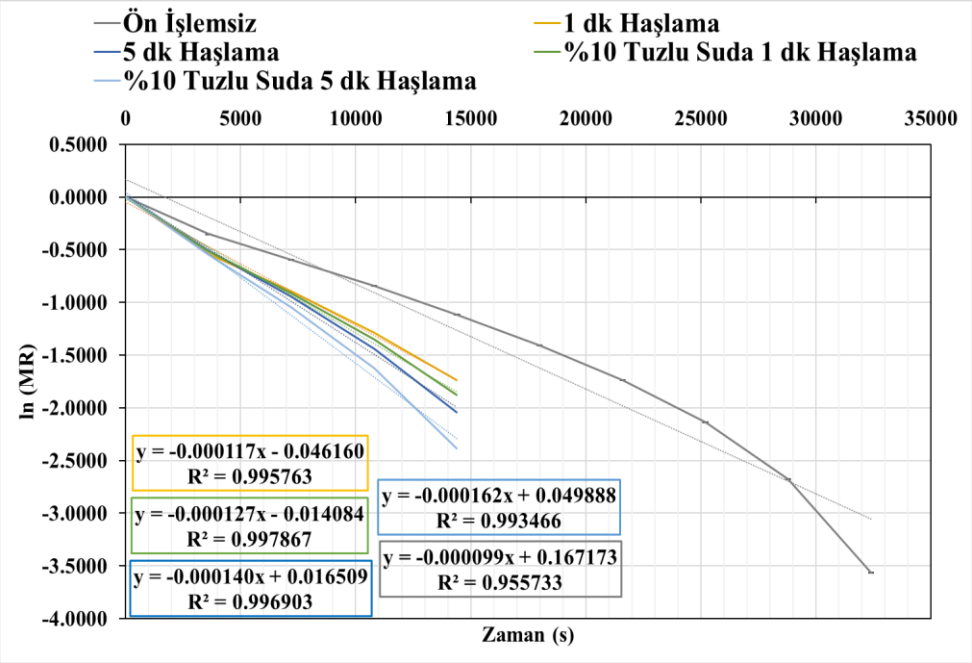
Ön işlemler numunelerin iç yapısındaki değişiklikleri tetikleyerek kütle transfer hızındaki artışlara ve böylece suyun numuneden daha etkili bir şekilde uzaklaşmasına olanak tanır. Bu durum da ön işlemlerin daha fazla su kaybına neden olmasını sağlar.

7.4 Efektif Nem Difüzyon Katsayısı Hesaplamaları

Fick' in ikinci yasası ön işlem görmemiş ve ön işlem görmüş numuneler için uygulanarak kuruma süresine karşı ln(MR) grafikleri çizilmiştir. Grafiklerin eğiminden efektif nem difüzyon katsayısı (D_{eff}), 6.9 denkleminden hesaplanmıştır.

Ön işlem görmemiş numune için D_{eff} değeri $3{,}61 \times 10^{-10}$ m^2/s bulunmuştur. 1 dk haşlama ve 5 dk haşlama ön işlemlerinden geçirilen numunelerin efektif difüzyon katsayıları sırasıyla $4{,}27 \times 10^{-10}$ ve $5{,}11 \times 10^{-10}$ m^2/s olarak hesaplanmıştır. %10 tuzlu suda 1 dk haşlama ve %10 tuzlu suda 5 dk haşlama ön işlemi uygulanan numuneler için efektif nem difüzyonu değerleri $4{,}63 \times 10^{-10}$ ve $5{,}91 \times 10^{-10}$ m^2/s olarak bulunmuştur. Şekil 7.18' de ön işlemsiz ve haşlama ön işlemlerinden geçirilmiş numunelerin kuruma süresine karşı çizilen ln(MR) grafiği verilmiştir. Hesaplamalar sonucunda haşlama ön işlemi uygulanan numunelerde ön işlem uygulanmayan numuneye göre daha yüksek efektif nem difüzyonu katsayısı

sonucuna ulaşılmış ve ön işlem süresi arttıkça efektif nem difüzyonu katsayısının arttığı gözlemlenmiştir.

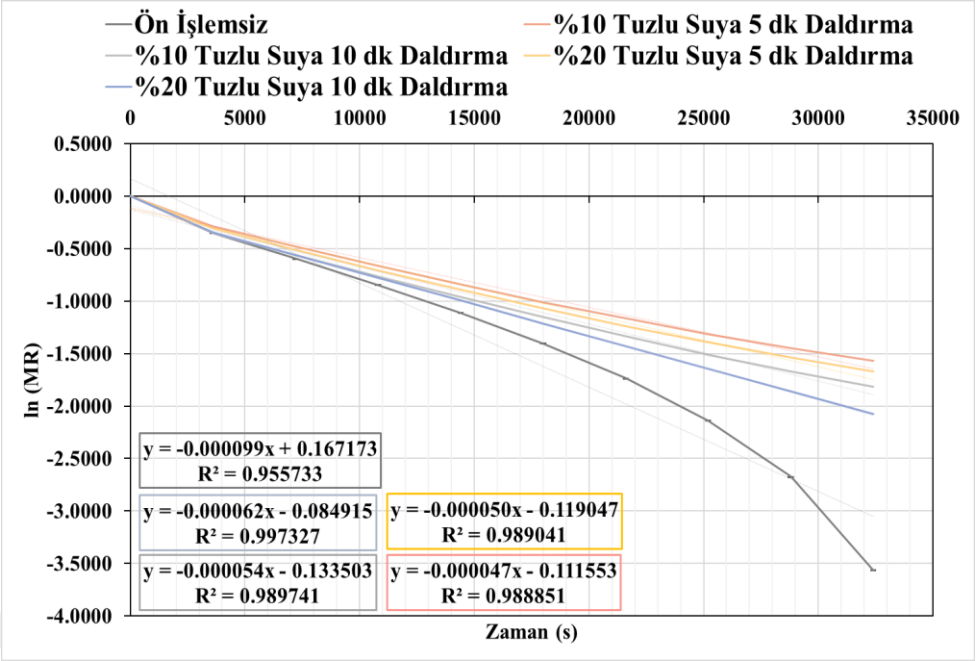


Şekil 7.18 Ön işlemsiz ve haşlama ön işlemli numunelerin zamana göre ln (MR) grafiği

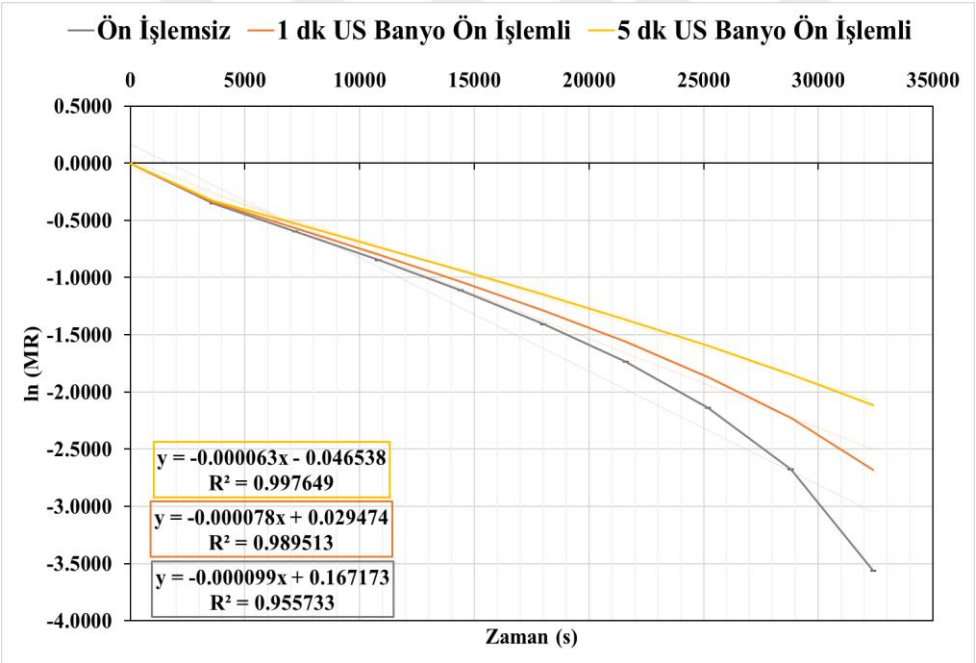
%10 tuzlu suya 5 dk daldırma ve %10 tuzlu suya 10 dk daldırma ön işlemlerine tabi tutulan numunelerin D_{eff} değerleri sırasıyla 1,71 × 10^{-10} ve 1,97 × 10^{-10} m^2/s olarak bulunmuştur. %20 tuzlu suya 5 dk daldırma ve %20 tuzlu suya 10 dk daldırma ön işlemleri uygulanan numunelerin D_{eff} değerleri sırasıyla 1,82 × 10^{-10} ve 2,26 × 10^{-10} m^2/s olarak hesaplanmıştır.

1 dk ultrasonik banyo ve 5 dk ultrasonik banyo ön işlemlerinden geçirilen numunelerin efektif difüzyon katsayıları sırasıyla 2,85 × 10^{-10} ve 2,30 ×10^{-10} m^2/s olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar tuzlu suya daldırma ve ultrasonik banyo ön işlemlerinin efektif nem difüzyonu katsayısının düşmesine sebep olduğunu göstermektedir. Bütün numuneler için hesaplanan efektif nem difüzyon katsayısı değerleri Tablo 7.1' de gösterilmiştir.

Ön işlemsiz ve tuzlu suya daldırma ön işlemli numunelerin kuruma süresine karşı çizilen ln(MR) grafiği Şekil 7.19' da, ön işlemsiz ve ultrasonik banyo ön işlemlerinden geçirilmiş numunelerin kuruma süresine karşı çizilen ln(MR) grafiği Şekil 7.20' de gösterilmiştir.



Şekil 7.19 Ön işlemsiz ve tuzlu suya daldırma ön işlemli numunelerin zamana göre ln (MR) grafiği



Şekil 7.20 Ön işlemsiz ve ultrasonik banyo ön işlemli numunelerin zamana göre ln (MR) grafiği

Tablo 7.1 Ön işlemsiz ve ön işleme tabi tutulmuş numunelerin efektif difüzyon katsayısı değerleri

Numune Adı	**D_{eff} (m^2/s)**
Ön İşlemsiz	$3{,}61 \times 10^{-10}$
1 dk US Banyo	$2{,}85 \times 10^{-10}$
5 dk US Banyo	$2{,}30 \times 10^{-10}$
1 dk Haşlama	$4{,}27 \times 10^{-10}$
5 dk Haşlama	$5{,}11 \times 10^{-10}$
%10 Tuzlu Suda 1 dk Haşlama	$4{,}63 \times 10^{-10}$
%10 Tuzlu Suda 5 dk Haşlama	$5{,}91 \times 10^{-10}$
%10 Tuzlu Suya 5 dk Daldırma	$1{,}71 \times 10^{-10}$
%10 Tuzlu Suya 10 dk Daldırma	$1{,}97 \times 10^{-10}$
%20 Tuzlu Suya 5 dk Daldırma	$1{,}82 \times 10^{-10}$
%20 Tuzlu Suya 10 dk Daldırma	$2{,}26 \times 10^{-10}$

7.5 Renk Analizi

Kurutulmuş ürünlerde en önemli parametrelerden biri olan renk parametresi tüketicinin ürünü elde etmesinde etkili bir faktördür. Numunelerin 5 farklı noktasından renk ölçümleri alınmış ve ortalamaları kullanılmıştır. Tüm numuneler için ölçülen renk değerleri Tablo 7.2' de gösterilmiştir.

Eşitlik 6.10' dan somon numuneleri için ΔE değerleri hesaplanmıştır. Tablo 7.3' te her bir numune için hesaplanan ΔE değerleri bulunmaktadır.

En yüksek renk değişiminin %10 tuzlu suda 1 dk haşlama ön işlemine tabi tutulan numunede ve en az renk değişiminin 10 dk %20 tuzlu suya daldırma ön işlemine tabi tutulan numunede meydana geldiği tespit edilmiştir. ΔE değerleri karşılaştırıldığında US ve tuzsuz haşlama ön işlemi uygulanan numunelerde işlem süresi arttıkça ΔE değerlerinin de arttığı belirlenmiştir. Tuzlu suda haşlama ön işlemine tabi tutulan numunelerde işlem süresinin artması ΔE değerinin düşmesine, tuzlu suya daldırma ön işlemli numunelerde ise tuz oranının ve işlem süresinin artması ΔE değerinin düşmesine sebep olmuştur.

Tablo 7.2 Taze somonun ve dondurarak kurutulan somon numunelerinin renk parametreleri

Numune Adı	1	2	3	4	5	Ortalama
Taze Somon	L^* : 46,14 a^* : 10,12 b^* : 15,30	L^* : 46,60 a^* : 9,91 b^* : 13,66	L^* : 45,94 a^* : 9,90 b^* : 12,97	L^* : 49,99 a^* : 8,14 b^* : 10,03	L^* : 45,30 a^* : 9,91 b^* : 13,52	L^* : 46,79 a^* : 9,60 b^* : 13,10
Ön İşlem Görmemiş Numune	L^* : 63,39 a^* : 28,74 b^* : 46,55	L^* : 63,27 a^* : 27,67 b^* : 46,44	L^* : 63,32 a^* : 26,21 b^* : 44,86	L^* : 64,60 a^* : 31,52 b^* : 50,58	L^* : 65,97 a^* : 26,26 b^* : 44,71	L^* : 64,11 a^* : 28,08 b^* : 46,63
1 dk US Banyo	L^* : 76,93 a^* : 34,47 b^* : 35,66	L^* : 72,10 a^* : 33,89 b^* : 41,53	L^* : 72,89 a^* : 30,77 b^* : 37,08	L^* : 78,62 a^* : 29,87 b^* : 33,43	L^* : 74,17 a^* : 32,88 b^* : 40,07	L^* : 74,94 a^* : 32,38 b^* : 37,55
5 dk US Banyo	L^* : 77,11 a^* : 30,70 b^* : 37,87	L^* : 79,71 a^* : 27,92 b^* : 35,53	L^* : 74,76 a^* : 34,03 b^* : 42,93	L^* : 70,42 a^* : 26,71 b^* : 44,01	L^* : 77,13 a^* : 30,40 b^* : 37,54	L^* : 75,83 a^* : 29,95 b^* : 37,58
1 dk Haşlama	L^* : 65,12 a^* : 28,43 b^* : 40,21	L^* : 68,18 a^* : 25,80 b^* : 37,08	L^* : 65,40 a^* : 28,95 b^* : 41,85	L^* : 64,29 a^* : 26,80 b^* : 39,03	L^* : 63,56 a^* : 27,36 b^* : 40,70	L^* : 65,31 a^* : 27,47 b^* : 39,77
5 dk Haşlama	L^* : 76,25 a^* : 30,28 b^* : 41,56	L^* : 72,38 a^* : 29,04 b^* : 49,13	L^* : 71,03 a^* : 26,14 b^* : 46,22	L^* : 76,68 a^* : 28,37 b^* : 46,36	L^* : 71,84 a^* : 23,51 b^* : 41,45	L^* : 73,64 a^* : 27,47 b^* : 44,94
1 dk %10 Tuzlu Suda Haşlama	L^* : 72,34 a^* : 37,79 b^* : 50,41	L^* : 69,91 a^* : 33,26 b^* : 48,42	L^* : 75,67 a^* : 33,83 b^* : 44,45	L^* : 64,37 a^* : 32,47 b^* : 44,08	L^* : 76,25 a^* : 30,28 b^* : 41,56	L^* : 71,71 a^* : 33,53 b^* : 45,78
5 dk %10 Tuzlu Suda Haşlama	L^* : 56,93 a^* : 30,01 b^* : 45,87	L^* : 58,45 a^* : 32,89 b^* : 47,97	L^* : 64,61 a^* : 31,06 b^* : 47,17	L^* : 56,55 a^* : 30,98 b^* : 43,87	L^* : 52,58 a^* : 30,69 b^* : 44,08	L^* : 57,82 a^* : 31,13 b^* : 45,79
10 dk %10 Tuzlu Suya Daldırma	L^* : 50,87 a^* : 32,43 b^* : 35,54	L^* : 55,00 a^* : 29,96 b^* : 35,53	L^* : 41,00 a^* : 22,32 b^* : 23,01	L^* : 63,26 a^* : 40,61 b^* : 47,19	L^* : 60,84 a^* : 40,53 b^* : 49,08	L^* : 54,19 a^* : 33,17 b^* : 38,07

Tablo 7.2 Taze somonun ve dondurarak kurutulan somon numunelerinin renk parametreleri (devamı)

10 dk %20 Tuzlu Suya Daldırma	L^* : 53,86 a^* : 31,26 b^* : 37,45	L^* : 47,48 a^* : 28,60 b^* : 31,65	L^* : 43,66 a^* : 23,63 b^* : 24,77	L^* : 45,90 a^* : 29,73 b^* : 30,73	L^* : 46,06 a^* : 25,75 b^* : 27,83	L^* : 47,39 a^* : 27,79 b^* : 30,49
5 dk %10 Tuzlu Suya Daldırma	L^* : 67,16 a^* : 26,46 b^* : 41,55	L^* : 66,31 a^* : 24,55 b^* : 40,17	L^* : 69,57 a^* : 24,58 b^* : 39,02	L^* : 69,13 a^* : 23,66 b^* : 39,87	L^* : 66,75 a^* : 24,28 b^* : 38,94	L^* : 67,78 a^* : 24,71 b^* : 39,91
5 dk %20 Tuzlu Suya Daldırma	L^* : 52,38 a^* : 29,68 b^* : 44,82	L^* : 48,99 a^* : 22,37 b^* : 36,64	L^* : 55,26 a^* : 31,14 b^* : 45,28	L^* : 55,80 a^* : 27,05 b^* : 43,94	L^* : 59,18 a^* : 27,45 b^* : 44,74	L^* : 54,32 a^* : 27,54 b^* : 43,08

Tablo 7.3 Dondurarak kurutulan somon numunelerinin ΔE değerleri

Numune Adı	**ΔE**
Önişlem Görmemiş Numune	42,02
1 dk US Banyo	43,70
5 dk US Banyo	44,25
1 dk Haşlama	37,07
5 dk Haşlama	45,32
%10 Tuzlu Suda 1 dk Haşlama	47,56
%10 Tuzlu Suda 5 dk Haşlama	40,67
%10 Tuzlu Suya 5 dk Daldırma	37,25
%10 Tuzlu Suya 10 dk Daldırma	35,13
%20 Tuzlu Suya 5 dk Daldırma	35,75
%20 Tuzlu Suya 10 dk Daldırma	25,18

7.6 Matematiksel Modelleme

Kurutma matematiksel modelleri, bir malzemenin nem içeriğinin zamanla değişimini açıklamak amacıyla kullanılan matematiksel ifadelerdir. Bu modeller, kuruma işlemlerini anlamak, kontrol etmek ve optimize etmek için kullanılır. Kurutma matematiksel modelleri genellikle Fick' ın difüzyon yasalarına dayanır ve malzemenin su içeriği, zaman ve diğer faktörlere bağlı olarak değişimini ifade

eder. Bu modeller, kurutma işlemlerini analiz etmek, optimize etmek ve kontrol etmek için kullanılır. Her model belirli bir malzeme veya uygulama için daha iyi performans gösterebilir, bu nedenle doğru modelin seçimi deneysel verilerin analizi ve uygulamanın gereksinimlerine bağlıdır. Tüm numunelerin dondurarak kurutma süreci boyunca elde edilen kurutma değerleri kurutma matematiksel modellerine dayanarak modellenmiştir.

Ön işlem görmemiş numune için en uygun kurutma modeli, Midilli vd. modeli olarak belirlenmiştir. Ön işlemsiz numune için Midilli vd. kurutma modeli ile elde edilen istatistiksel değerler şu şekildedir: R^2 değeri 0,999853, χ^2 değeri 0,000021 ve RMSE değeri ise 0,003575' tir.

1 dakika ultrasonik banyo ön işlemi uygulanmış numune için de en uygun model Midilli vd. modelidir. Midilli vd. kurutma modeli için R^2 değeri 0,999836, χ^2 değeri 0,000022, RMSE değeri ise 0,003611 olarak bulunmuştur.

5 dakika ultrasonik banyo ön işlemi uygulanmış numune için en uygun modeller Midilli vd., Verma vd. ve İki Terimli Üstel modelleridir. Midilli vd. kurutma modeli için R2 değeri 0,999775, χ2 değeri 0,000026, RMSE değeri ise 0,003982 olarak bulunmuştur. Verma vd. ve İki Terimli Üstel kurutma modelleri ile aynı R^2 ve RMSE değerlerine ulaşılmıştır. Verma vd. ve İki Terimli Üstel kurutma modelleri için R^2 değerleri 0,999483, χ^2 değerleri sırasıyla 0,000052 ve 0,000061, RMSE değerleri ise 0,006033 olarak bulunmuştur.

Bu sonuçlar, ön işlem görmemiş, 1 dk ve 5 dk ultrasonik banyo ön işlemleri uygulanmış numuneler için numunenin kuruma sürecini etkili bir şekilde açıkladığını göstermektedir. Ön işlem görmemiş, 1 dakika ve 5 dakika ultrasonik banyo ön işlemlerinden geçirilmiş numuneler için uygulanan kurutma modellerinin katsayıları ve istatistiksel değerleri Tablo 7.4' te detaylı bir şekilde belirtilmiştir. Bu tablo, farklı modellerin performansını karşılaştırmak ve en uygun modelin seçimine yönelik bilgi sağlamaktadır. Bu istatistiksel analizler, kurutma modellerinin numunelerin kuruma süreçlerini başarıyla temsil edip etmediğini değerlendirmek için önemli bir araçtır.

Tablo 7.4 Ön işlem görmemiş ve US banyo ön işlemli numuneler için hesaplanan matematiksel modeller ve katsayıları

Model	Parametre	Ön işlemsiz	1 dk US Banyo	5 dk US Banyo
Aghbashlo vd.	k_1	0,004724	0,004693	0,004584
	k_2	-0,000162	0,000137	0,000495
	R^2	0,994478	0,995136	0,995307
	χ^2	0,000601	0,000484	0,000413
	RMSE	0,021925	0,019675	0,018181
Alibas	a	0,295088	0,286640	0,273667
	k	4,258557	4,183135	4,006262
	n	0,840643	0,780529	0,697538
	b	-0,001368	-0,001303	-0,001221
	g	0,704912	0,713360	0,726333
	R^2	0,979267	0,979887	0,981058
	χ^2	0,003609	0,003202	0,002668
	RMSE	0,042480	0,040009	0,036526
Midilli vd.	a	0,999137	0,999159	0,999129
	k	0,013577	0,014360	0,015428
	n	0,077032	0,751036	0,723941
	b	-0,000284	-0,000248	-0,000211
	R^2	0,999853	0,999836	0,999775
	χ^2	0,000021	0,000022	0,000026
	RMSE	0,003575	0,003611	0,003982
Henderson ve Pabis	a	0,989138	0,977632	0,963375
	k	0,004890	0,004407	0,003822
	R^2	0,994273	0,995762	0,994252
	χ^2	0,000623	0,000422	0,000506
	RMSE	0,022327	0,018365	0,020122
Jena ve Das	a	0,211538	0,205927	0,253774
	k	0,004742	0,003916	0,003026
	b	-0,002556	-0,008840	-0,015064
	c	1,547037	1,575103	1,367451
	R^2	0,994354	0,996940	0,998627
	χ^2	0,000819	0,000406	0,000161
	RMSE	0,022168	0,015605	0,009834
Lewis	k	0,004945	0,004515	0,003989
	R^2	0,994080	0,994840	0,991331
	χ^2	0,000573	0,000456	0,000678
	RMSE	0,022700	0,020264	0,024710
Logaritmik	a	1,037194	0,989284	0,929454
	k	0,004206	0,004246	0,004262
	c	-0,062711	-0,015219	0,043946
	R^2	0,996369	0,995877	0,995108
	χ^2	0,000451	0,000469	0,000492
	RMSE	0,017777	0,018114	0,018563

Tablo 7.4 Ön işlem görmemiş ve US banyo ön işlemli numuneler için hesaplanan matematiksel modeller ve katsayıları (devamı)

Model	Parametre	Ön işlemsiz	1 dk US Banyo	5 dk US Banyo
Page	k	0,005131	0,006477	0,008262
	n	0,993276	0,934827	0,869871
	R^2	0,994093	0,996210	0,997677
	χ^2	0,000643	0,000377	0,000205
	RMSE	0,022675	0,017369	0,012791
Parabolik	a	0,940232	0,940403	0,941120
	b	-0,003304	-0,003164	-0,002973
	c	0,000003	0,000003	0,000003
	R^2	0,988729	0,987822	0,986732
	χ^2	0,001401	0,001385	0,001335
	RMSE	0,031321	0,031132	0,030570
Verma vd.	a	0,236920	0,932705	0,900747
	k	0,004945	0,004191	0,003537
	g	0,004945	0,269449	0,308707
	R^2	0,994080	0,997674	0,999483
	χ^2	0,000736	0,000264	0,000052
	RMSE	0,022700	0,013606	0,006033
Wang	a	-0,003721	-0,003580	-0,003385
	b	0,000004	0,000004	0,000003
	R^2	0,982090	0,980603	0,978770
	$\chi 2$	0,001949	0,001930	0,001869
	RMSE	0,039482	0,039291	0,038669
Weibull	b	201,983500	219,397000	248,017300
	a	0,993300	0,934800	0,869900
	R^2	0,994093	0,996210	0,997677
	χ^2	0,000643	0,000377	0,000205
	RMSE	0,022675	0,017369	0,012791
İki Terimli Üstel	a	0,494995	0,932705	0,900747
	k_0	0,004890	0,004191	0,003537
	b	0,494142	0,067295	0,099253
	k_1	0,004890	0,277896	0,283102
	R^2	0,994273	0,997674	0,999483
	χ^2	0,000831	0,000309	0,000061
	RMSE	0,022327	0,013606	0,006033

1 dakika haşlama ön işlemli numune için en uygun modeller Midilli vd., Jena ve Das ve Verma vd. modelleridir. Midilli vd., Jena ve Das ve Verma vd. kurutma modelleri için R^2 değerleri sırasıyla 0,999991, 0,999178 ve 0,999569, χ^2 değerleri sırasıyla 0,000004, 0,000345 ve 0,000091, RMSE değerleri ise sırasıyla 0,000872, 0,008309 ve 0,006017 olarak bulunmuştur.

5 dakika haşlama ön işlemli numune için en uygun modeller Midilli vd. ve Logaritmik kurutma modelleridir. Midilli vd.ve Logaritmik kurutma modelleri için R^2 değerleri sırasıyla 0,999986 ve 0,999078 χ^2 değerleri sırasıyla 0,000007 ve 0,000219 ve RMSE değerleri ise sırasıyla 0,001170 ve 0,009363 olarak bulunmuştur.

%10 tuzlu suda 1 dakika haşlama ön işlemi uygulanmış numune için en uygun modeller Midilli vd., Jena ve Das ve Verma vd. modelleridir. Midilli vd., Jena ve Das ve Verma vd. kurutma modelleri için R^2 değerleri sırasıyla 0,999989, 0,999157 ve 0,999367, χ^2 değerleri sırasıyla 0,000005, 0,000376 ve 0,000141, RMSE değerleri ise sırasıyla 0,000997, 0,008672 ve 0,007515 olarak bulunmuştur.

%20 tuzlu suda 1 dakika haşlama ön işlemi uygulanmış numune için en uygun modeller Midilli vd., Logaritmik ve Aghbashlo vd modelleridir. Midilli vd. kurutma modeli için R^2 değeri 0,999995, χ^2 değeri 0,000002, RMSE değeri 0,000701 olarak bulunmuştur. Logaritmik ve Aghbashlo vd. kurutma modelleri için R^2 değerleri sırasıyla 0,999552 ve 0,999301, χ^2 değerleri sırasıyla 0,000117 ve 0,000122, RMSE değerleri ise sırasıyla 0,006834 ve 0,008542 olarak bulunmuştur.

1 dk haşlama, 5 dk haşlama, 1 dk %10 tuzlu suda haşlama ve 5 dk %20 tuzlu suda haşlama ön işlemli numuneler için uygulanan kurutma modelleri katsayıları ve istatistiksel değerleri Tablo 7.5' te belirtilmiştir. Haşlama ön işlemi uygulanan numunelerin Alibaş kurutma modeli için χ^2 değerleri hesaplamalarında deney sayısı ve model sabit sayısı eşit olduğu için Alibaş kurutma modeli haşlama ön işlemleri için uyumlu değildir.

%10 tuzlu suya 5 dakika daldırma ön işlemli numune için en uygun modelleri Midilli vd., Jena ve Das ve Page modelleridir. Midilli vd., Jena ve Das ve Page kurutma modelleri için R^2 değerleri sırasıyla 0,999882, 0,999656 ve 0,999603, χ^2 değerleri sırasıyla 0,000012, 0,000034 ve 0,000033, RMSE değerleri ise sırasıyla 0,002630, 0,004491 ve 0,002784 olarak bulunmuştur.

Tablo 7.5 Haşlama ön işlemli numuneler için hesaplanan matematiksel modeller ve katsayıları

Model	Parametre	1 dk Haşlama	5 dk Haşlama	1 dk %10 Tuzlu Suda Haşlama	1 dk %20 Tuzlu Suda Haşlama
Aghbashlo vd.	k_1	0,009164	0,008111	0,008458	0,008528
	k_2	0,001380	-0,000036	0,000552	-0,000416
	R^2	0,997649	0,998994	0,998448	0,999301
	χ^2	0,000329	0,000159	0,000231	0,000122
	RMSE	0,014057	0,009780	0,011765	0,008542
Midilli vd.	a	0,999986	0,999961	0,999975	0,999974
	k	0,036423	0,016024	0,022916	0,013435
	n	0,627330	0,822621	0,735181	0,886202
	b	-0,000611	-0,000437	-0,000512	-0,000357
	R^2	0,999991	0,999986	0,999989	0,999995
	χ^2	0,000004	0,000007	0,000005	0,000002
	RMSE	0,000872	0,001170	0,000997	0,000701
Henderson Pabis	a	0,981707	0,997655	0,990559	1,002253
	k	0,007444	0,008134	0,007737	0,009077
	R^2	0,993443	0,999003	0,997750	0,998783
	χ^2	0,000918	0,000158	0,000335	0,000212
	RMSE	0,023475	0,009736	0,014167	0,011266
Jena ve Das	a	0,174093	0,288649	0,322276	0,108960
	k	0,005222	0,007893	0,006563	0,009602
	b	-0,027136	-0,002854	-0,014128	0,005976
	c	1,747486	1,241854	1,131671	2,216134
	R^2	0,999178	0,999053	0,999157	0,998950
	χ^2	0,000345	0,000450	0,000376	0,000547
	RMSE	0,008309	0,009487	0,008672	0,010464
Lewis	k	0,007602	0,008154	0,007818	0,009057
	R^2	0,992543	0,998990	0,997524	0,998772
	χ^2	0,000783	0,000120	0,000276	0,000160
	RMSE	0,025034	0,009800	0,014862	0,011316
Logaritmik	a	0,897964	1,012323	0,957843	1,045295
	k	0,009335	0,007858	0,008393	0,008190
	c	0,095627	-0,016382	0,036847	-0,048175
	R^2	0,996654	0,999078	0,998159	0,999552
	χ^2	0,000703	0,000219	0,000411	0,000117
	RMSE	0,016768	0,009363	0,012815	0,006834
Page	k	0,016764	0,008592	0,011577	0,007492
	n	0,839033	0,989302	0,919901	1,039256
	R^2	0,998813	0,999013	0,998946	0,999047
	χ^2	0,000166	0,000156	0,000157	0,000166
	RMSE	0,009987	0,009687	0,009696	0,009971

Tablo 7.5 Haşlama ön işlemli numuneler için hesaplanan matematiksel modeller ve katsayıları (devamı)

Model	Parametre	1 dk Haşlama	5 dk Haşlama	1 dk %10 Tuzlu Suda Haşlama	1 dk %20 Tuzlu Suda Haşlama
Parabolik	a	0,976656	0,984307	0,981038	0,984935
	b	-0,006472	-0,006574	-0,006476	-0,007026
	c	0,000013	0,000013	0,000013	0,000014
	R^2	0,988623	0,995436	0,992916	0,996124
	χ^2	0,002390	0,001084	0,001580	0,001011
	RMSE	0,030920	0,020826	0,025138	0,020108
Verma vd.	a	0,865704	0,187052	0,925585	0,252871
	k	0,006425	0,008155	0,007175	0,009057
	g	0,357618	0,008154	0,290220	0,009057
	R^2	0,999569	0,998990	0,999367	0,998772
	χ^2	0,000091	0,000240	0,000141	0,000320
	RMSE	0,006017	0,009800	0,007515	0,011316
Wang	a	-0,006811	-0,006802	-0,006751	-0,007244
	b	0,000014	0,000013	0,000014	0,000015
	R^2	0,9871592	0,994851	0,992005	0,995633
	χ^2	0,001798	0,000816	0,001188	0,000759
	RMSE	0,032850	0,022121	0,026704	0,021344
Weibull	b	130,695400	122,533900	127,350400	110,946300
	a	0,839000	0,989300	0,919900	1,039300
	R^2	0,998813	0,999013	0,998946	0,999047
	χ^2	0,000166	0,000156	0,000157	0,000166
	RMSE	0,009987	0,009687	0,009696	0,009971
İki Terimli Üstel	a	-9,698210	-10,618700	-10,121700	0,688591
	k_0	0,007440	0,008900	0,007700	0,009078
	b	10,679920	11,615900	11,112300	0,313663
	k_1	0,007440	0,008900	0,007700	0,009077
	R^2	0,993443	0,999008	0,997750	0,998783
	χ^2	0,002755	0,000471	0,001004	0,000635

%10 tuzlu suya 10 dakika daldırma ön işlemi uygulanmış numune için en uygun model Jena ve Das ve Midilli vd. modelleridir. Jena ve Das ve Midilli vd. kurutma modelleri için R^2 değerleri sırasıyla 0,999880 ve 0,999731 χ^2 değerleri sırasıyla 0,000013 ve 0,000029 ve RMSE değerleri ise sırasıyla 0,002761 ve 0,004138 olarak bulunmuştur.

%20 tuzlu suya 5 dakika daldırma ön işlemi uygulanmış numune için en uygun modeller Page ve Midilli vd. modelleridir. Page ve Midilli vd. kurutma modelleri için R^2 değerleri sırasıyla 0,999903 ve 0,999907, χ^2 değerleri sırasıyla 0,000007

ve 0,000009, RMSE değerleri ise sırasıyla 0,002432 ve 0,002385 olarak bulunmuştur.

Tablo 7.6 Tuzlu suya daldırma ön işlemli numuneler için hesaplanan matematiksel modeller ve katsayıları

Model	**Parametre**	**%10 Tuzlu Suya 5 dk Daldırma**	**%10 Tuzlu Suya 10 dk Daldırma**	**%20 Tuzlu Suya 5 dk Daldırma**	**%20 Tuzlu Suya 10 dk Daldırma**
Aghbashlo vd.	k_1	0,004536	0,005428	0,004853	0,005110
	k_2	0,001095	0,001259	0,001124	0,000752
	R^2	0,998604	0,996642	0,998504	0,996307
	χ^2	0,000102	0,000267	0,000114	0,000323
	RMSE	0,009043	0,014622	0,009569	0,016079
Alibas	a	0,260653	0,310159	0,278864	0,301213
	k	4,280644	4,025399	4,274187	4,140632
	n	0,688359	0,869411	0,723699	0,912895
	b	-0,001093	-0,001087	-0,001099	-0,001175
	g	0,739347	0,689841	0,721136	0,698787
	R^2	0,972037	0,973836	0,970858	0,975607
	χ^2	0,003277	0,003331	0,003568	0,003416
	RMSE	0,040477	0,040812	0,042235	0,041327
Midilli vd.	a	0,999263	0,999145	0,999367	0,998930
	k	0,010606	0,017269	0,011729	0,015332
	n	0,800135	0,726614	0,791609	0,746941
	b	0,000017	-0,000057	0,000008	-0,000121
	R^2	0,999882	0,999731	0,999907	0,999675
	χ^2	0,000012	0,000029	0,000009	0,000038
	RMSE	0,002630	0,004138	0,002385	0,004774
Henderson ve Pabis	a	0,947727	0,939661	0,946696	0,956139
	k	0,003146	0,003663	0,003366	0,003977
	R^2	0,986750	0,983813	0,986483	0,992161
	χ^2	0,000970	0,001288	0,001034	0,000686
	RMSE	0,027863	0,032101	0,028765	0,023428
Jena ve Das	a	0,233728	0,185716	0,285652	0,171998
	k	0,002047	0,002220	0,002168	0,002896
	b	-0,021990	-0,027597	-0,023494	-0,020106
	c	1,455003	1,683067	1,254229	1,758014
	R^2	0,999656	0,999880	0,999736	0,999532
	χ^2	0,000034	0,000013	0,000027	0,000055
	RMSE	0,004491	0,002761	0,004021	0,005726
Lewis	k	0,003368	0,003946	0,003602	0,004185
	R^2	0,979176	0,975133	0,979158	0,988059
	χ^2	0,001356	0,001759	0,001418	0,000929
	RMSE	0,034930	0,039788	0,035719	0,028914

Tablo 7.6 Tuzlu suya daldırma ön işlemli numuneler için hesaplanan matematiksel modeller ve katsayıları (devamı)

Model	Parametre	%10 Tuzlu Suya 5 dk Daldırma	%10 Tuzlu Suya 10 dk Daldırma	%20 Tuzlu Suya 5 dk Daldırma	%20 Tuzlu Suya 10 dk Daldırma
Logaritmik	a	0,830622	0,846928	0,841004	0,901782
	k	0,004702	0,005288	0,004939	0,004845
	c	0,152589	0,128765	0,141278	0,073645
	R^2	0,997479	0,994609	0,997187	0,995377
	χ^2	0,000211	0,000490	0,000246	0,000462
	RMSE	0,012153	0,018526	0,013122	0,017991
Page	k	0,011217	0,014616	0,012072	0,010556
	n	0,787500	0,765864	0,785287	0,833834
	R^2	0,999868	0,999547	0,999903	0,998817
	χ^2	0,000010	0,000036	0,000007	0,000104
	RMSE	0,002784	0,005371	0,002432	0,009100
Parabolik	a	0,950864	0,932430	0,945959	0,936625
	b	-0,002848	-0,003062	-0,002959	-0,003121
	c	0,000003	0,000003	0,000003	0,000003
	R^2	0,988481	0,980587	0,986595	0,984518
	χ^2	0,000964	0,001765	0,001172	0,001549
	RMSE	0,025979	0,035155	0,028645	0,032924
Verma vd.	a	0,784141	0,804923	0,779733	0,877243
	k	0,002524	0,003061	0,002705	0,003602
	g	0,015829	0,028783	0,017013	0,333728
	R^2	0,999603	0,999721	0,999672	0,999992
	χ^2	0,000033	0,000025	0,000029	0,000001
	RMSE	0,004821	0,004212	0,004482	0,000729
Wang	a	-0,003191	-0,003534	-0,003336	-0,003564
	b	0,000003	0,000004	0,000004	0,000004
	R^2	0,981815	0,968986	0,9788777	0,975280
	χ^2	0,001332	0,002468	0,001616	0,002167
	RMSE	0,032642	0,044434	0,035958	0,041638
Weibull	b	-	249,007700	-	234,636100
	a	-	0,765900	-	0,833800
	R^2	-	0,999547	-	0,998817
	χ^2	-	0,000036	-	0,000104
	RMSE	-	0,005371	-	0,009100
İki Terimli Üstel	a	0,782960	0,804896	0,778983	0,877243
	k_0	0,002521	0,003061	0,002702	0,003602
	b	0,215808	0,194912	0,220041	0,122757
	k_1	0,015645	0,028758	0,016877	0,402822
	R^2	0,999606	0,999721	0,999673	0,999992
	χ^2	0,000038	0,000030	0,000033	0,000001
	RMSE	0,004805	0,004211	0,004471	0,000729

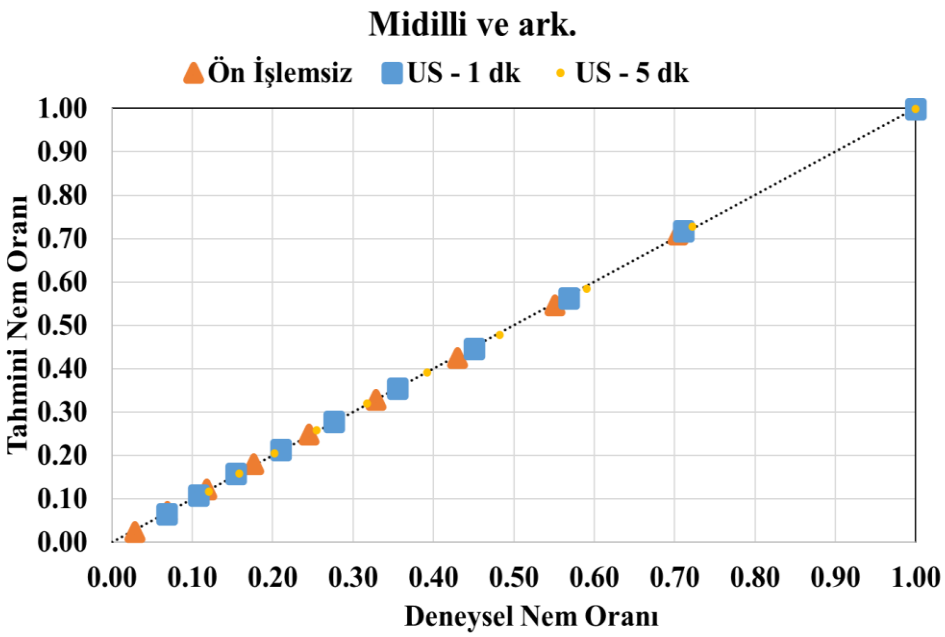
%20 tuzlu suya 10 dakika daldırma ön işlemi uygulanmış numune için en uygun modeller Verma vd. ve İki Terimli Üstel modelleridir. Verma vd. ve İki Terimli Üstel kurutma modelleri için R^2, χ^2 ve RMSE değerleri birbirleriyle aynı bulunmuştur. R^2 değeri 0,999992, χ^2 değeri 0,000001 ve RMSE değeri ise 0,000729 olarak bulunmuştur.

%10 tuzlu suya 5 dk daldırma, %10 tuzlu suya 10 dk daldırma, %20 tuzlu suya 5 dk daldırma ve %20 tuzlu suya 10 dk daldırma ön işlemlerinden geçirilmiş numuneler için uygulanan tüm kurutma modelleri katsayıları ve istatistiksel değerleri Tablo 7.6' da gösterilmiştir. Weibull modeli ile %10 tuzlu suda 5 dk haşlama ve %20 tuzlu suda 5 dk haşlama ön işlemleri için bir sonuca ulaşılamaması sebebiyle Weibull modeli ilgili ön işlemler için uyumlu değildir.

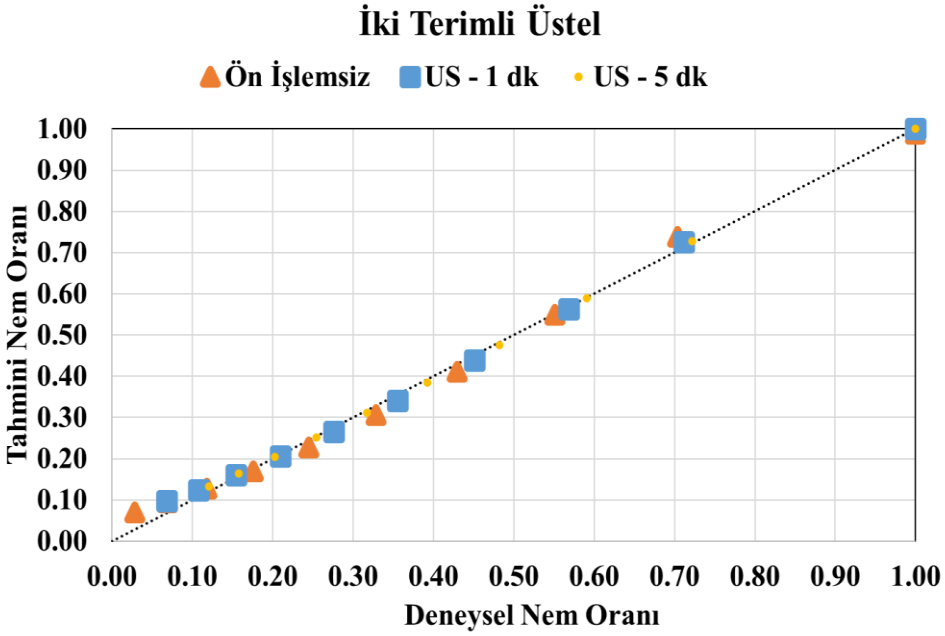
7.7 Matematiksel Modellerin Deneysel ve Öngörülen MR Grafikleri

Şekil 7.21, 7.22, 7.23' te ön işlem uygulanmamış ve ultrasonik banyo ön işlemli numunelerin Midilli vd., İki Terimli Üstel ve Verma vd. matematiksel modelleri için deneysel ve öngörülen MR değerlerinin karşılaştırmalı grafiği mevcuttur. Veriler lineer çizgiye çok yakınsa, deneysel verilerle tahmin edilen verilerin iyi bir uyum içinde olduğu söylenebilir. Çalışmada uygulanan diğer modellerin deneysel ve öngörülen MR değerleri grafikleri Ek A' da gösterilmiştir.

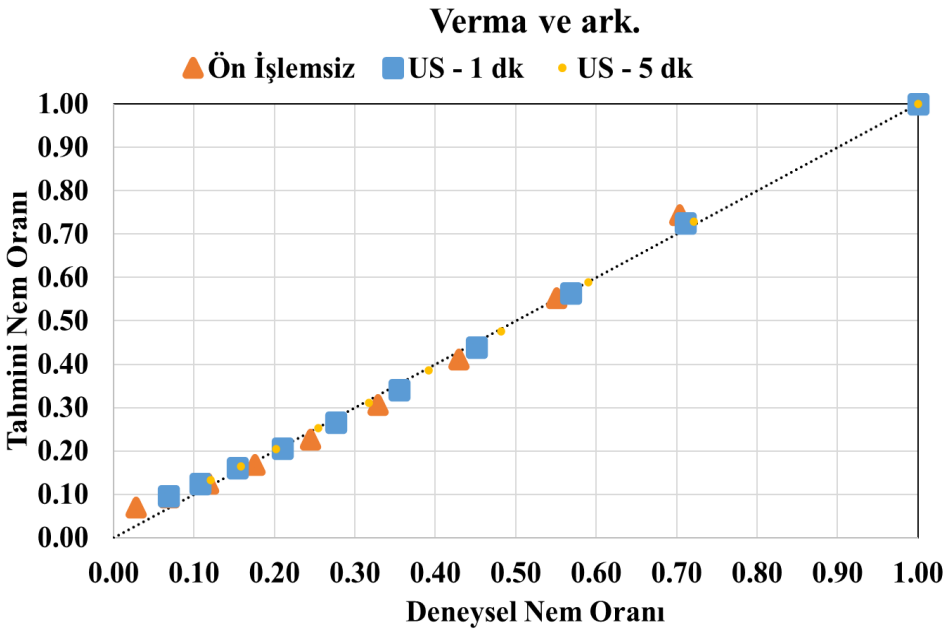
Şekil 7.24, 7.25, 7.26' da haşlama ön işlemli numunelerin Midilli vd., Verma vd. ve Jena ve Das matematiksel modelleri için deneysel ve öngörülen MR değerlerinin karşılaştırmalı grafiği mevcuttur. Diğer modellerin deneysel ve öngörülen MR değerleri grafikleri Ek B' de gösterilmiştir.



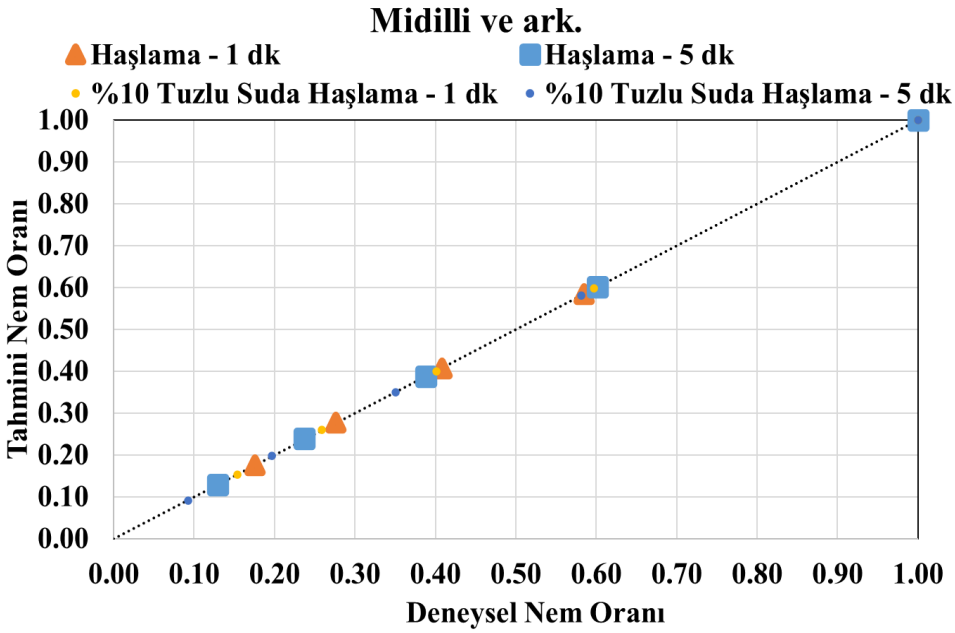
Şekil 7.21 Ultrasonik banyo ön işlemli numunelerin Midilli vd. matematiksel modeli için deneysel ve öngörülen MR değerleri



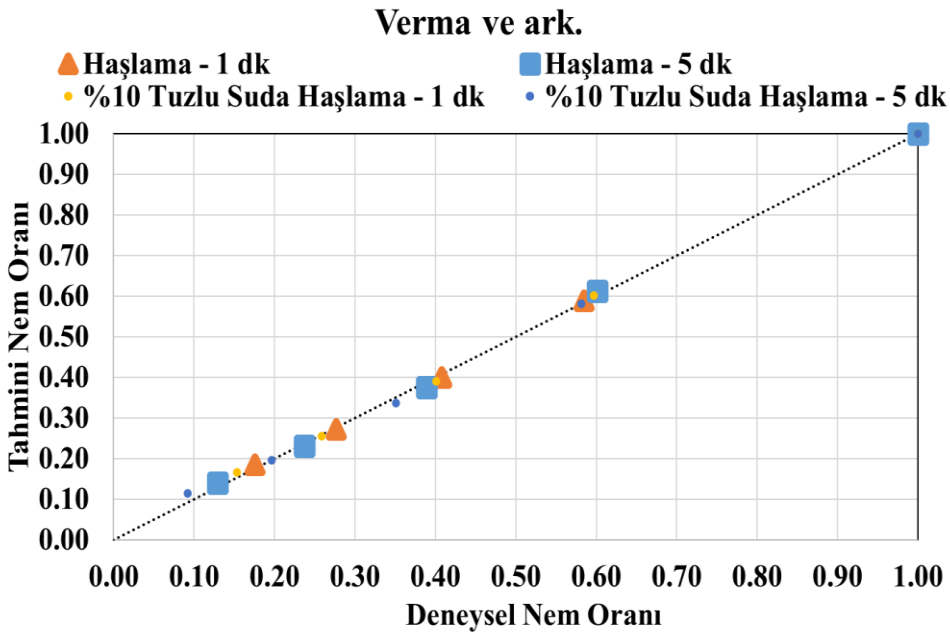
Şekil 7.22 Ultrasonik banyo ön işlemli numunelerin İki Terimli Üstel matematiksel modeli için deneysel ve öngörülen MR değerleri



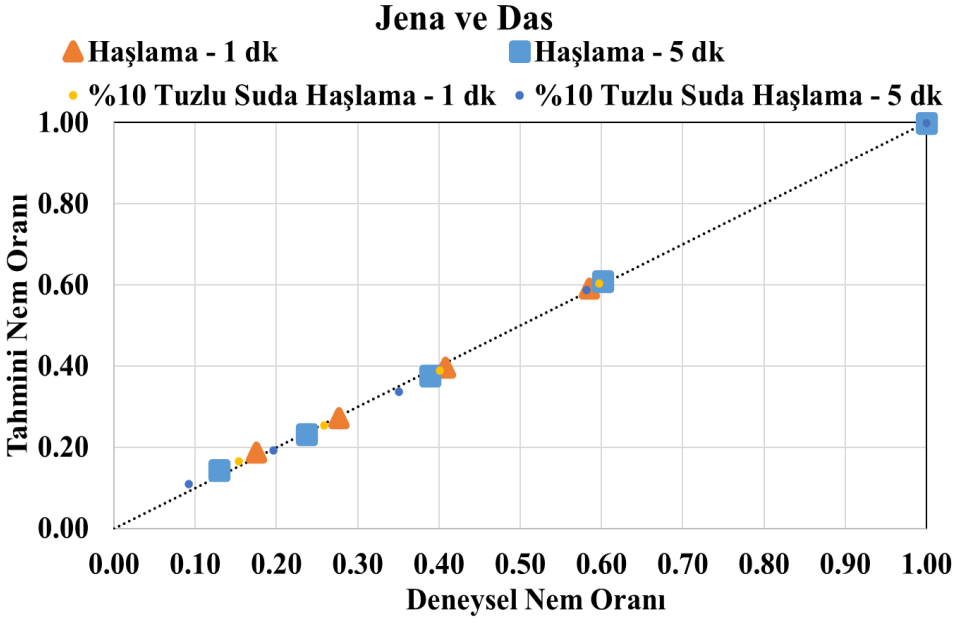
Şekil 7.23 Ultrasonik banyo ön işlemli numunelerin Verma vd. matematiksel modeli için deneysel ve öngörülen MR değerleri



Şekil 7.24 Haşlama ön işlemli numunelerin Midilli vd. matematiksel modeli için deneysel ve öngörülen MR değerleri

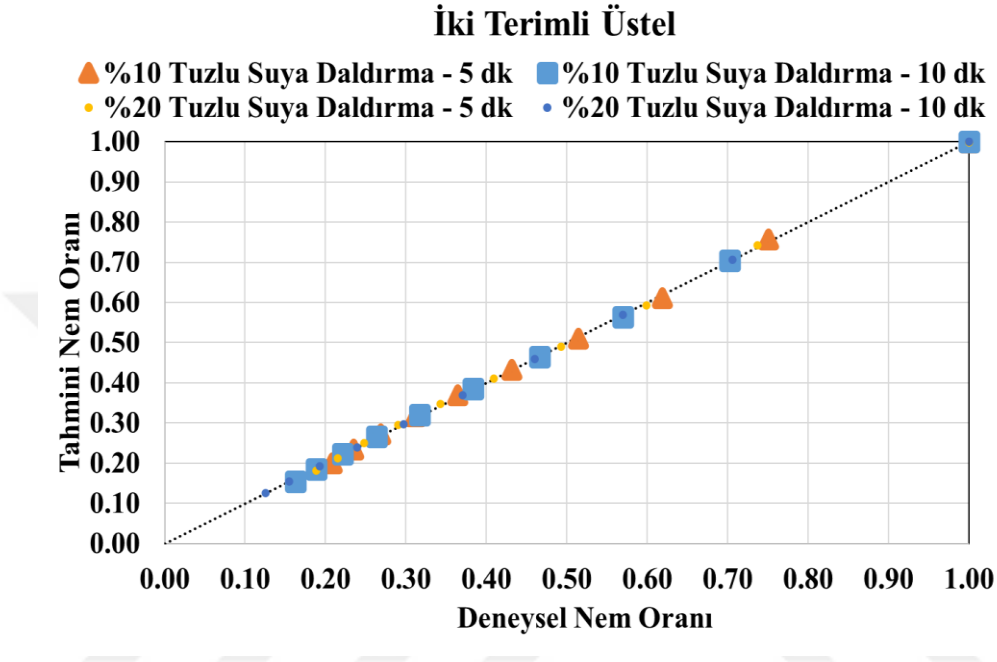


Şekil 7.25 Haşlama ön işlemli numunelerin Verma vd. matematiksel modeli için deneysel ve öngörülen MR değerleri

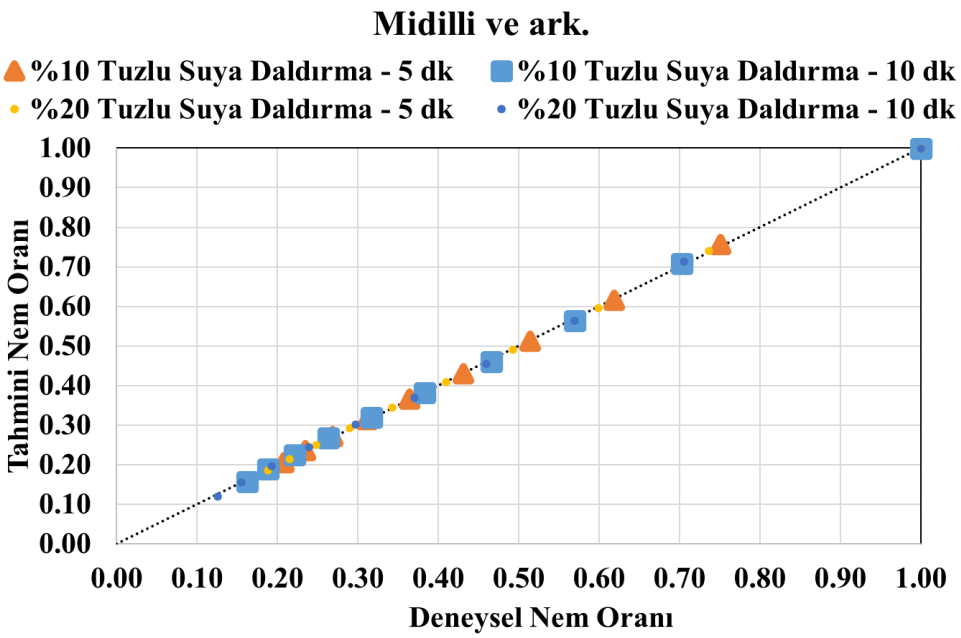


Şekil 7.26 Haşlama ön işlemli numunelerin Jena ve Das matematiksel modeli için deneysel ve öngörülen MR değerleri

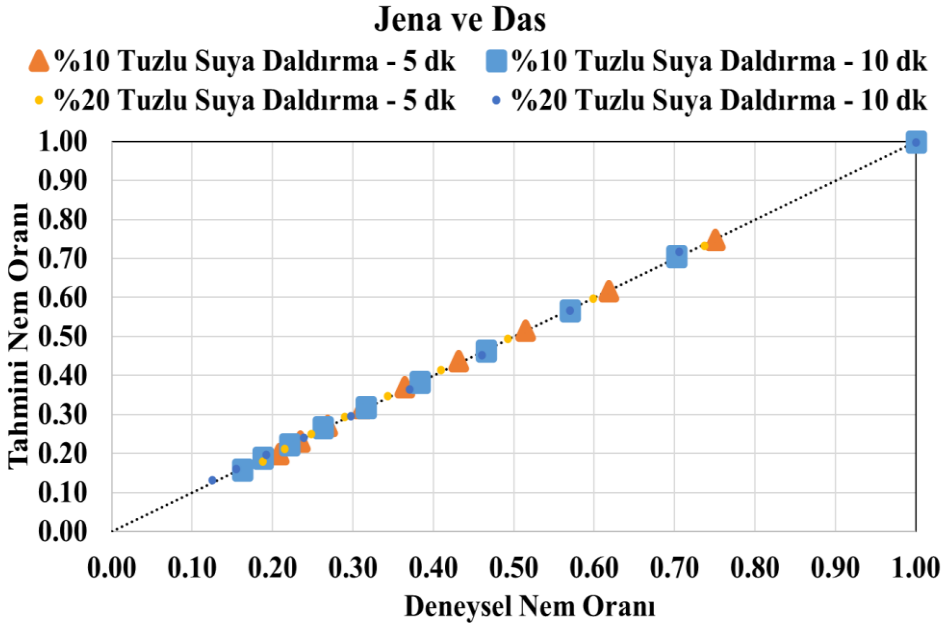
Şekil 7.27, 7.28, 7.29’ da tuzlu suya daldırma ön işlemli numunelerin İki Terimli Üstel, Midilli vd. ve Jena ve Das matematiksel modelleri için deneysel ve öngörülen MR değerlerinin karşılaştırmalı grafiği mevcuttur. Diğer modellerin deneysel ve öngörülen MR değerleri grafikleri Ek C’ de gösterilmiştir.



Şekil 7.27 Tuzlu suya daldırma ön işlemli numunelerin İki Terimli Üstel matematiksel modeli için deneysel ve öngörülen MR değerleri



Şekil 7.28 Tuzlu suya daldırma ön işlemli numunelerin Midilli vd. matematiksel modeli için deneysel ve öngörülen MR değerleri



Şekil 7.29 Tuzlu suya daldırma ön işlemli numunelerin Jena ve Das matematiksel modeli için deneysel ve öngörülen MR değerleri

8

SONUÇ

Bu çalışmada, insan sağlığı açısından oldukça faydalı olan Atlantik somon balığının dondurarak kurutulması ve kurutma kinetiğinin incelenmesi hedeflenmiştir. Atlantik somonunun kurutma hızına etkilerini ölçmek amacıyla, ön işlem uygulanmamış ve farklı ön işleme tabi tutulan numuneler için kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu ön işlemler; 1 ve 5 dakika süreyle ultrasonik banyo, 1 ve 5 dakika haşlama, 1 dakika boyunca %10 ve %20 tuzlu suda haşlama ve %10 ve %20 tuz konsantrasyonunda 5 ve 10 dakika sürelerle tuzlu suya daldırma işlemlerini içermektedir. Çalışmanın özeti olarak, Atlantik somonunun dondurularak kurutulması sürecinin kinetiği, çeşitli ön işlemlerin kurutma üzerindeki etkileri ve tüm ön işlemler için uygun matematiksel modellerin seçimi incelenmiştir.

Kurutma süreleri kıyaslandığında tüm deneyler için kurutma proseslerini en kısa sürede haşlama ön işlemli numunelerin gerçekleştirdiği belirlenmiştir. Ultrasonik banyo ön işlemi uygulanan numunelerde su emilimi artışı gözlemlenmesi sebebiyle, ön işlem uygulanmamış numuneye göre kuruma süresini önemli ölçüde etkilememiştir.

Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde, kurutma işlemlerinin tamamı azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir. Fick'in ikinci yasası kullanılarak efektif nem difüzyon katsayıları hesaplanmıştır. Ön işlem görmemiş, 1 dk ve 5 dk US banyo ön işlemleri uygulanan numuneler için D_{eff} değerleri sırasıyla $3{,}61 \times 10^{-10}$, $2{,}85 \times 10^{-10}$ ve $2{,}30 \times 10^{-10}$ m^2/s bulunmuştur. 1 dk, 5 dk, %10 tuzlu suda 1 dk ve %10 tuzlu suda 5 dk haşlama ön işlemi uygulanan numunelerin efektif difüzyon katsayıları sırasıyla $4{,}27 \times 10^{-10}$, $5{,}11 \times 10^{-10}$, $4{,}63 \times 10^{-10}$ ve $5{,}91 \times 10^{-10}$ m^2/s olarak hesaplanmıştır. %10 tuzlu suya 5 dk, %10 tuzlu suya 10 dk, %20 tuzlu suya 5 dk daldırma ve %20 tuzlu suya 10 dk daldırma ön işlemlerine tabi tutulan numunelerin D_{eff} değerleri sırasıyla $1{,}71 \times 10^{-10}$, ve $1{,}97 \times 10^{-10}$, $1{,}82 \times 10^{-10}$ ve $2{,}26 \times 10^{-10}$ m^2/s olarak bulunmuştur.

Bu bulgulara göre, haşlama ve tuzlu suya daldırma ön işlemleri uygulanan numunelerde ön işlem süresi arttıkça efektif nem difüzyonunun da arttığı gözlemlenmiştir. Haşlama ön işlemli numuneler için, ön işlem uygulanmayan numuneye göre efektif nem difüzyon katsayılarının daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Tuzlu suya daldırma ve ultrasonik banyo ön işlemlerinin ise ön işlem görmemiş numuneye kıyasla efektif nem difüzyon katsayısında bir azalmaya yol açtığını ortaya koymaktadır.

Numunelerin beş farklı bölgesinden renk ölçümleri alınarak Hunter renk analizi ile renk değişimleri hesaplanmıştır. Hesaplama sonuçları, 1 dakika süreyle %10 tuzlu suda haşlama ön işlemi gören numunelerde en yüksek renk değişikliğinin meydana geldiğini, buna karşın 10 dakika boyunca %20 tuzlu su çözeltisine daldırılan numunelerde en düşük renk değişikliğinin gözlemlendiğini ortaya koymuştur. ΔE değerleri ile yapılan karşılaştırmada, ultrason ve haşlama ön işlemleri uygulanan numunelerde, ön işlem süresinin artmasıyla birlikte ΔE değerlerinin artış gösterdiği belirlenmiştir. Buna karşın, tuzlu suda haşlama ön işlemine maruz kalan numunelerde işlem süresinin artması ΔE değerinde bir azalmaya yol açarken, tuzlu suya daldırma ön işlemi uygulanan numunelerde, işlem süresinin ve tuz konsantrasyonunun artışı genel olarak ΔE değerinde bir düşüşe neden olmuştur.

Yapılan deneyler için literatürdeki en uygun modeli eşleştirebilmek amacıyla Statistica programı ve doğrusal olmayan regresyon yöntemi kullanılmıştır. Modellerin uygunluğu, regresyon katsayısı (R^2), ortalama karekök hatası (RMSE) ve ki-kare (χ^2) değerlerine dayanarak değerlendirilmiştir. Daha yüksek R^2 değerleri ve χ^2 ile RMSE için daha düşük değerler tercih edilerek analiz edilmiştir.

Ön işlemsiz ve US banyo ön işlemli numuneler için en uygun modeller Midilli vd., İki Terimli Üstel ve Verma vd. olarak belirlenmiştir. Haşlama ön işlemi uygulanan numuneler için en uygun modeller Midilli vd., Jena ve Das, Verma vd. ve Logaritmik modeller olarak tespit edilmiştir. Tuzlu suya daldırma ön işlemine tabi tutulan numuneler için en uygun sonuçları Midilli vd., Jena ve Das ve Page modelleri göstermiştir. Genel olarak deneysel verilere en uyumlu modelin Midilli vd. modeli olduğu belirlenmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda haşlama ön işlemli numunelerde D_{eff} değerlerinin yüksek olması ve kurutma sürelerinin daha kısa sürmesi çalışmadaki diğer ön işlemlere kıyasla maliyet ve zaman açısından haşlama ön işlemlerinin daha tercih edilebilir olduğunu ortaya koymuştur. Ek olarak haşlama ön işlem süresinin artması efektif nem difüzyonun artmasını da sağlaması sebebiyle ön işlem süresinin uzatılması kurutma işlemine katkı sağlayacaktır. Ancak haşlama ön işlem sürelerinin, ürünün yapısında dağılma gibi fiziksel bozulmalara sebebiyet vermemesi amacıyla çok uzun tutulması önerilmektedir. Atlantik somonunun dondurarak kurutulmasıyla elde edilen sonuçlar, endüstriyel uygulamalara uygun olarak işletme maliyeti ve endüstriyel maliyetin hesaplanmasına olanak tanır.

KAYNAKLAR

[1] C. Crapo, A. C. M. Oliveira, D. Nguyen, P. J. Bechtel, Q. Fong, "Development of a method to produce freeze-dried cubes from 3 pacific salmon species*", Journal of Aquatic Food Product Technology*, 21, 22-38, 2010.

[2] Anonim, "Develop freeze-dried product from Alaska pink salmon fillets", *Emerging Food R&D Report*, 21 (5), 5-6, 2010.

[3] X. Si, Q. Chen, J. Bi, X. Wu, J. Yi, L. Zhou, Z. Li, "Comparison of different drying methods on the physical properties, bioactive compounds and antioxidant activity of raspberry powders", *Journal of the Science of Food Agriculture*, 96 (6): 2055–2062, 2016.

[4] Z. Ö. Özyalçın ve A. S. Kıpçak, "Rehydration characteristics and kinetics of traditionally dried mussels at different temperatures", *Sigma J Eng Nat Sci*, 41 (4), 858−867, 2023.

[5] FAO, "The state of world fisheries and aquaculture 2022", *Towards Blue Transformation*, Rome, 2022.

[6] K. Y. Christensen, M. Raymond, M. Blackowicz, Y. Liu, B. A. Thompson, H. A. Anderson, M. Turyk, "Perfluoroalkyl substances and fish consumption", *Environmental Research*, 154, 145-151, 2017.

[7] FAO, "Fishery and aquaculture statistics – Yearbook 2020", *FAO Yearbook of Fishery and Aquaculture Statistics*, Rome, 2023.

[8] B. E. Erdoğan, S. Mol, S. Coşansu, "Factors influencing the consumption of seafood in Istanbul, Turkey", *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 11, 631-639, 2011.

[9] N. S. Başçınar, "Ülkemizdeki kabuklu ve yumuşakça su ürünler üretimi ve ihracatı", *Sümae Yunus Araştırma Bülteni*, 7 (2), 2007.

[10] A. Saidi, C. Cavallo, T. D. Giudice, R. Vecchio, G. Cicia, "Consumer preferences for finfish: a systematic literature review", *Food Quality and Preference*, 105, 2023.

[11] P. B. Moyle, J. J. Cech, "Fishes: an introduction to ichthyology", Fifth Edition, Pearson Benjamín Cummings Publishing, USA, 2003.

[12] A. M. O. A. Babieker, O. E. M. Osman, M. M. Bukhari, E. A. Abdalla, J. N. Ibrahim vd., "Mathematical modelling of thin layer solar drying of fish (Bagrusbayad)", *International Journal of Multidisciplinary and Current Research*, 4, 260, 2016.

[13] S. Balami, A. Sharma, R. Karn, "Significance of nutritional value of fish for human health", *Malaysian Journal of Halal Research*, 2(2), 32-34, 2020.

[14] J. K. Cochran, H. J. Bokuniewicz, P. L. Yager, "Encyclopedia of ocean sciences", Third Editon, Academic Press, 2019.

[15] FAO, "Meeting the sustainable development goals", *The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 in Brief*, Rome, 2018.

[16] Levrek Balığı, https://aquatechcenter.com/species/sea-bass/, Erişim Tarihi: 05.12.2023.

[17] Hamsi Balığı, https://en.wikipedia.org/wiki/European_anchovy, Erişim Tarihi: 05.12.2023.

[18] V. Venugopal, K. Gopakumar, "Shellfish: nutritive value, health benefits, and consumer safety", *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16 (6), 2017.

[19] FAO, "FAO yearbook. fishery and aquaculture statistics 2019/FAO annuaire.Statistiques des pêches et de l'aquaculture 2019/FAO anuario", *Estadísticas de pesca y acuicultura 2019*, Rome, 2021.

[20] Yaygın Deniz Salyangozları ve Büyük Yüzgeçli Resif Kalamar https://manoa.hawaii.edu/exploringourfluidearth/biological/invertebrates/phylum-mollusca, Erişim Tarihi: 10.12.2023.

[21] H. H. III. Hobbs, W. B. White, D. C. Culver, (Eds.), "Crustacea. encyclopedia of caves (Second Edition)", Academic Press, Amsterdam, 177-194, 2012.

[22] Yengeç, https://www.istockphoto.com/tr/foto%C4%9Fraf/krabbe-yenge%C3%A7-brachyura-k%C4%B1sa-kuyruklu-gm660051596-120351143, Erişim Tarihi: 27.12.2023.

[23] Istakoz, https://www.istockphoto.com/tr/foto%C4%9Fraflar/nephropidae, Erişim Tarihi: 13.12.2023.

[24] X. Cao, M. Zhang, A. S. Mujumdar, Q. Zhon, Z. Wang, "Effects of ultrasonic pretreatments on quality, energy consumption and sterilization of Barley grass in freeze drying", *Ultrasonics Sonochemistry*, 40, 333-340, 2018.

[25] M. B. Covington, "Omega-3 fatty acids", *American Family Physician*, 70, 133-140, 2004.

[26] Atlantik Somonu, https://fish-commercial-names.ec.europa.eu/fish-names/species/salmo-salar_es, Erişim Tarihi: 18.12.2023.

[27] OECD, "Safety assessment of transgenic orgaisms in the environment", Volume 7: OECD Concsnsus Documents, Harmonisation of Regulatory Oversight in Biotechnology, OECD Publishing, Paris, 2017.

[28] T. Forseth, B. T. Barlaup, B. Finstad, vd., "The major threats to Atlantic salmon in Norway", *ICES Journal of Marine Science*, 74(6), 1495-1513, 2017.

[29] J. S. Einum, (Ø. Aas, S. Einum, A. Klemetsen, J. Skurdal), "Atlantic salmon ecology", Blackwell Publishing Ltd, Singapore, 2011.

[30] F. S. B. Kibenge, B. Baldisserotto, R. S. M. Chong, "Finfish diseases, aquaculture pathophysiology", 1st Edition, Academic Press, Volume I, 2022.

[31] M. Pilavtepe Çelik, N. P. Özer, S. Ö. Özkoç, N. Seyhun, N. Dede, "Infrared assisted microwave cooking of Atlantic salmon (*Salmo salar*)", *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 14: 659-665, 2014.

[32] Ö. A. Erdem, B. Alkan, M. T. Dinçer, "Comparison on nutritional properties of wild and cultured brown trout and Atlantic salmon", *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(1), 37-41, 2020.

[33] İ. Z. Kurtoğlu, E. Çakmak, "Karadeniz bölgesi kültür balıkçılığı: alabalık yetiştiriciliği", *Aquaculture Studies*, 1, 1-5, 2007.

[34] E. Özal, "Türk somonunda isim karmaşası", 3. Uluslararası Tarım ve Gıda Etiği Kongresi, Çevrimiçi, 5-6 Kasım 2021.

[35] FAO, “Fishery and aquaculture statistics – yearbook 2006”, *FAO Yearbook of Fishery and Aquaculture Statistics*, Rome, 2008.

[36] W. Sun, L. Qiao, X. Li, J. Gu, Y. Zhou, P. Wang, “The relationship between the surface color and astaxanthin concentration of different fillet parts of Atlantic salmon under mariculture and freshwater farming modes”, *Journal of Food Composition and Analysis*, 123, 2023.

[37] S. Anderson, “Salmon color and the consumer”, *IIFET 2000 Proceedings*, Canada, 2001.

[38] Yetiştirilmiş çiftlik Atlantik somonu, Yabani Atlantik somonu, https://popsiefishco.com/blogs/sockeye-salmon-nutrition/wild-caught-versus-farmed-salmon, Erişim Tarihi: 23.12.2023.

[39] A. Güngör, N. Özbalta, “Endüstriyel kurutma sistemleri”, TMMOB Makina Mühendisleri Odası III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, 737-747, 1997.

[40] F. Acartürk, İ. Ağabeyoğlu, N. Çelebi, T. Değim, Z. Değim, T. Doğanay, S. Takka, F. Tırnaksız, “Modern farmasötik teknoloji”, Fersa Matbaacılık Ltd Şti, 18, 2007.

[41] A. Güngör, “Sebze ve meyve kurutmada kullanılan kurutucular ve kurutma teknolojileri”, *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı*, 44-52, 2013.

[42] G. Bingöl, ve O. Devres, “Üzümlerin mikrodalga kurutma eğrilerinin ve sıcaklık değişiminin matematiksel modellenmesi”, *İTÜ Dergisi/ Mühendislik*, 4, 63-71, 2010.

[43] C. Ratti, “Hot-air and frezee-drying of high value foods: a review”. *Journal of Food Engineering*, 49, 311-319, 2001.

[44] H. Kökmen Seyirci, Ç. Çağ, “Antikçağda gıdaların korunması”, *Cedrus*, 6, 702-704, 2018.

[45] M. S. Rahman, “Handbook of food preservation (2nd Edition)”, e-kitap, 404-405, 2007, https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=sKgtq62GB_gC&oi=fnd&pg=PA403&dq=How+Drying+Preserves+Food+&ots=DHPb6NOIyW&sig=

7GI3bWB4dFfu-7uQTc4gwkAcrcA&redir_esc=y#v=onepage&q=How%20Drying%20Preserves%20Food&f=false, Erişim Tarihi: 14.12.2023.

[46] O. Yaldız ve C. Ertekin, "Thin layer solar drying of some vegetables", *Drying Technology*, 19(3-4), 584, 2001

[47] T. Kovacı, E. Dikmen, "Kurutma sistemleri, enerji tüketimleri ve ürün kalitesine etkileri ve örnek sistem tasarımı", *Teknik Bilimler Dergisi*, 8(2), 25-39, 2018.

[48] B. Erbay, E. Küçüköner, "Gıda endüstrisinde kullanılan farklı kurutma sistemleri", *Türkiye 10. Gıda Kongresi*, 1045-1048., 2008.

[49] B. Cemeroğlu, "Meyve ve sebze işleme teknolojisi", Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 67-94; 538-574; 610-613, 2004.

[50] G. H. Pratt, "Timber drying manual", *Building Research Establishment Report*, Londra, 1974.

[51] D. R. Heldman, R. W. Hartel, "Principles of food processing", Chapman & Hall Publication, New York, 1997, 288s.

[52] B. Cemeroğlu, F. Karadeniz, M. Özkan "Meyve ve sebze işleme teknolojisi", *Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları*, 28, 541- 675, 2003.

[53] Y. Soysal, "Microwave drying characteristic of parsley", *Biosystems Engineering*, 89(2), 167-173, 2004.

[54] A. Kij, K. Ajn, Y. Ta, "Testing of the performance of a fruit and vegetable solar drying system in Iraq", *Desalination*, 209, 163–170, 2007.

[55] I. Küçük, I. Doymaz, "Experimental and modeling investigation of mass transfer during infrared drying of kumquat slices", *Adıyaman University Journal of Science*, 9(1), 51., 2019.

[56] D. Nowak, P. P. Lewicki, "Quality of infrared dried apple slices", *Drying Technology*, 23(4), 831-846, 2005.

[57] P. Sakare, N. Prasad, N. Thombare, R. Singh, S. C. Sharma, “Fundamental drying techniques applied in food science and technology”, *Food Engineering Reviews*, 12:381–398, 2020.

[58] M. Koç, M. Sakin, F. Kaymak Ertekin, “Mikroenkapsülasyon ve Gıda Teknolojisinde Kullanımı”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(1), 81, 2010.

[59] A. Güngör, “Sebze ve meyve kurutmada kullanılan kurutucular ve kurutma teknolojileri”, *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı*, 44-52, 2013.

[60] A. K. Datta, R. C. Anantheswaran, “Handbook of microwave technology for food applications”, Marcel Dekker Inc., New York, 2020.

[61] M. Zarein, H. S. Samadi, B. Ghobadian, “Investigation of microwave dryer effect on energy efficiency during drying of apple slices”, *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 14(1), 41-47, 2015.

[62] Y. Soysal, Z. Ayhan, O. Eştürk, “Mikrodalga ile meyve ve sebze kurutmada enerji kullanım verimliliği ve ürün kalitesinin arttırılmasında ileri kurutma tekniklerinin uygulanması üzerine araştırmalar”, TÜBİTAK Proje No:105 O 547, 136, Antakya, Hatay, 2009.

[63] F. Acartürk, İ. Ağabeyoğlu, N. Çelebi, T. Değim, Z., Değim, T. Doğanay, S. Takka, F. Tırnaksız, “Modern farmasotik teknoloji”, *Türk Eczacılar Birliği Eczacılık Akademisi Yayını*, 18-47, 2009.

[64] B. Cemeroğlu, “Gıda mühendisliğinde temel işlemler”, Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, 29, Bizim Grup Basımevi, Ankara, 2010.

[65] S. H. Anwar, B. Kunz, “The influence of drying methods on the stabilization of fish oil microcapsules: comparison of spray granulation, spray drying, and freeze drying”, *Journal of Food Engineering*, 105, 368, 2011.

[66] M. S. Karagül, B. Altuntaş, “Liyofilizasyon: genel proses değerlendirmesi”, *Etlik Veteriner Mikrobiyoloji Dergisi*, 29(1), 62-64, 2018.

[67] N. Luo, H. Shu, “Analysis of energy saving during food freeze drying”, *Procedia Engineering*, 205, 3763-3768, 2017.

[68] Dondurarak Kurutulmuş Gıdalar, https://www.foodnetwork.com/how-to/articles/how-to-use-freeze-dried-fruit, Erişim Tarihi: 12.12.2023.

[69] H. Sadıkoğlu, M. Özdemir, "Dondurarak kurutma teknolojisi", *Termoklima*, 102, 53-61, 2001.

[70] T. Baysal, A. Rahman, H. Bozkır, "Kurutulmuş ürünlerin ambalajlanması ve saklanması", *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 39, 2013.

[71] M. J. Millman, A. I. Liapis, J. M. Marchello, "An analysis of the lyophilization process using a sorption-sublimation model and various operational policies", *AIChE J*, 31, 1594-1604, 1985.

[72] H. Sadıkoğlu, M. Özdemir, "Dondurarak kurutma teknolojisi ve evreleri", Gıda, 28(6), 643-649, 2003.

[73] Dondurarak Kurutulan Çiçekler, https://www.lsfwholesale.co.uk/2022/05/09/how-to-freeze-dry-rose-and-hydrangea-petals/, Erişim Tarihi: 25.12.2023.

[74] A. S. Kıpçak, E. Moroydor Derun, N. Tuğrul, İ. Doymaz, "Drying characteristics of blue mussels by traditional methods", *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 25(1), 2009.

[75] A. S. Kıpçak, S. Sevim, E. Moroydor Derun, N. Tuğrul, I. Doymaz, "Temperature controlled infrared drying kinetics of mussels", *J. Indian Chem. Soc*., 96, 1233, 2019.

[76] Z. Ö. Özyalçın, A. S. Kıpçak, "Effects of drying methods on the drying kinetics of blanched brown crab meat", *Bulgarian Chemical Communications*, 55(3), 234-241, 2023.

[77] M. Aghbashlo, M. H. Kianmehr, S. Khani, M. Ghasemi, "Mathematical modelling of thin-layer drying of carrot", *International Agrophysics*, 23, 313-317, 2009.

[78] I. Alibas, "Selection of a the best suitable thin-layer drying mathematical model for vacuum dried red chili pepper", *Journal of Biological and Environmental Sciences*, 6(17), 161-170, 2012.

[79] S. M. Henderson, S. Pabis, “Grain prying theory II: temperature effects on drying coefficients”, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6, 169-174, 1961.

[80] S. Jena, H. Das, “Modelling for vacuum drying characteristics of coconut presscake”, *Journal of Food Engineering*, 79(1), 92-99, 2007.

[81] W. K. Lewis, “The rate of drying of solid materials”, *Industrial Engineering Chemistry*, 13, 427-432, 1921.

[82] A. S. Kıpçak, I. Doymaz, “Microwave and infrared drying kinetics and energy consumption of cherry tomatoes”, *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 26(2), 203-212, 2017.

[83] A. Balbay, O. Sahin, H. Ulker, “Modeling of convective drying kinetics of pistachio kernels in a fixed bed drying system”, *Thermal Science*, 17, 839-846, 2013.

[84] Z. Guan, X. Wang, M. Li, X. Jiang, “Mathematical modelling on hot air drying of thin layer fresh tilapia fillets”, *Polish Journal of Food Nutrition Science*. 63, 25-34, 2013.

[85] I. Doymaz, “Effect of citric acid and blanching pre-treatments on drying and rehydration of Amasya red apples”, *Food and Bioproduct Processing*, 88(2-3), 124–132, 2010.

[86] L. R. Verma, R. A. Bucklin, J. B. Endan, F. T. Wratten, “Effects of drying parameters on rice drying models”, *Transactions of the ASEA*, 28, 296-301, 1985.

[87] C. Y. Wang, R. P. Singh, “A single layer drying equation for rough rice”, *ASAE*, 3001, 1978.

[88] Z. Ö. Özyalçın, A. S. Kıpçak, “The ultrasound effect on the drying characteristics of Loligo vulgaris by the methods of oven and vacuum-oven”, *J. Aquat. Food Prod. Technol*., 31(2), 187, 2022.

[89] S. M. Henderson, “Progress in developing the thin layer drying equation”, *Transactions of the ASAE*, 17(6), 1167-1172, 1974.

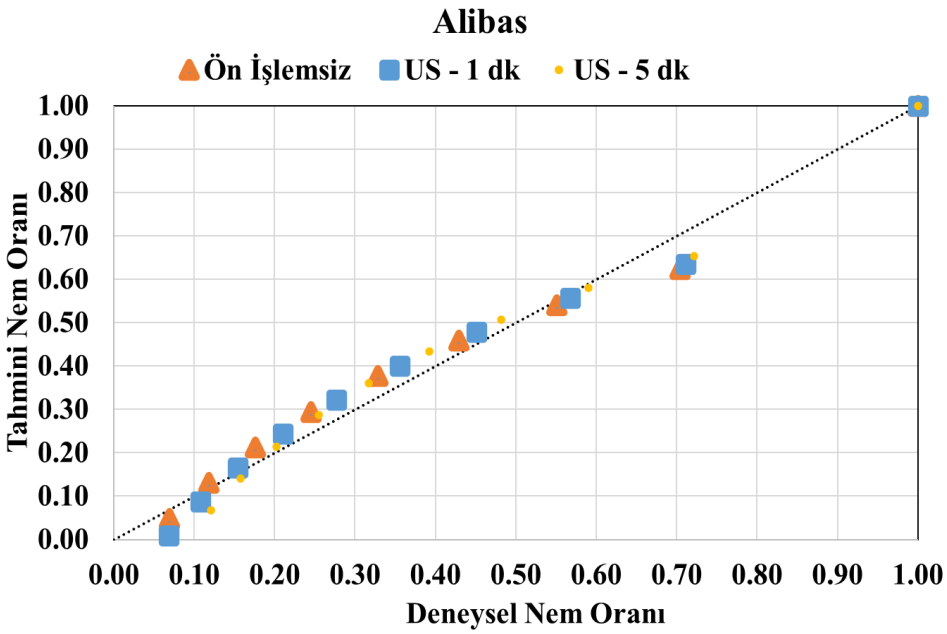
[90] A. S. Kıpçak, I. Doymaz, “Mathematical modeling and drying Characteristics investigation of black mulberry dried by microwave method”, *International Journal of Fruit Science*, 20(3), 1222, 2020.

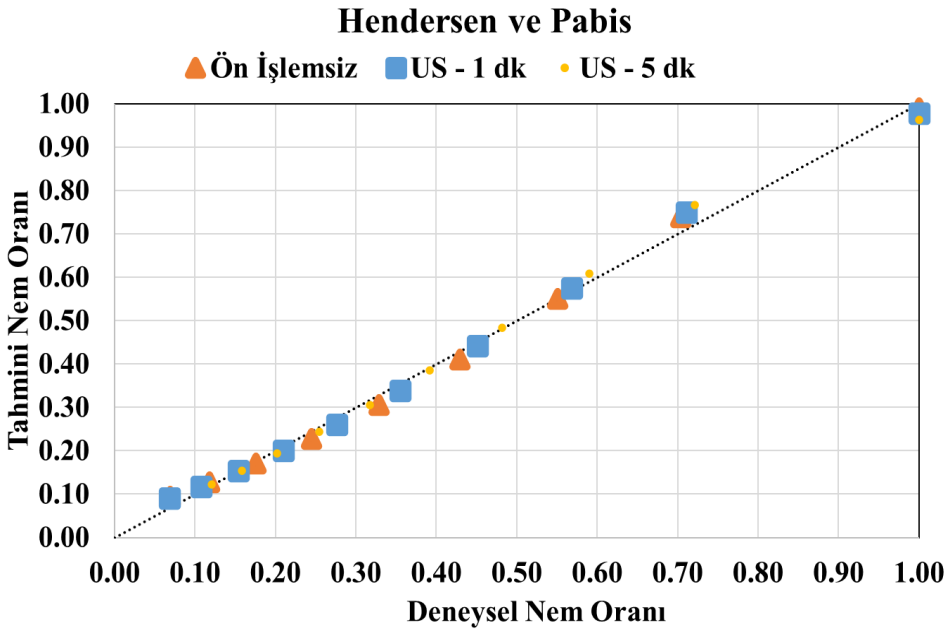
[91] I. Doymaz, “Drying characteristics and kinetics of okra”, *Journal of Food Engineering*, 69(3), 275-279, 2005.

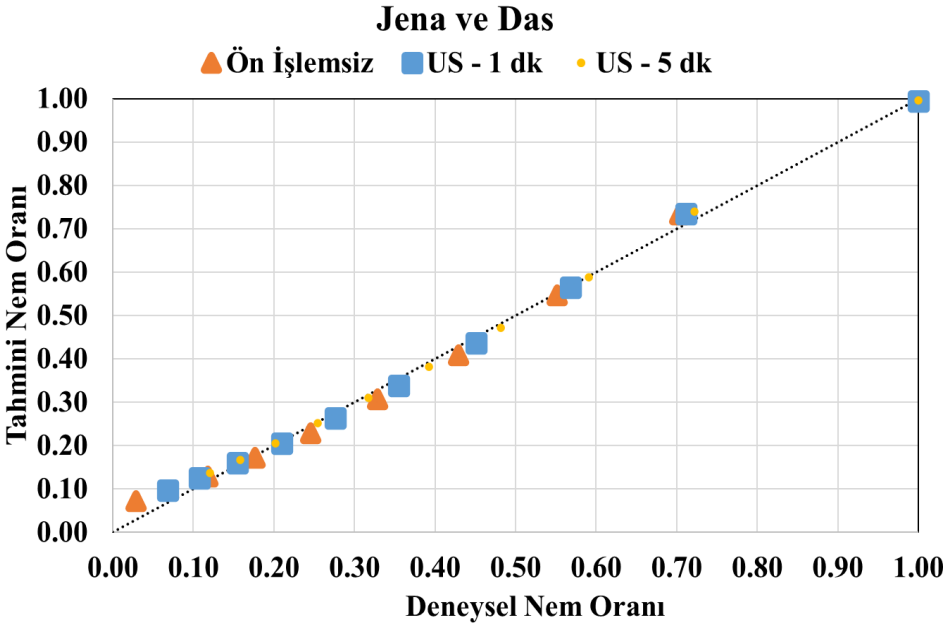
A

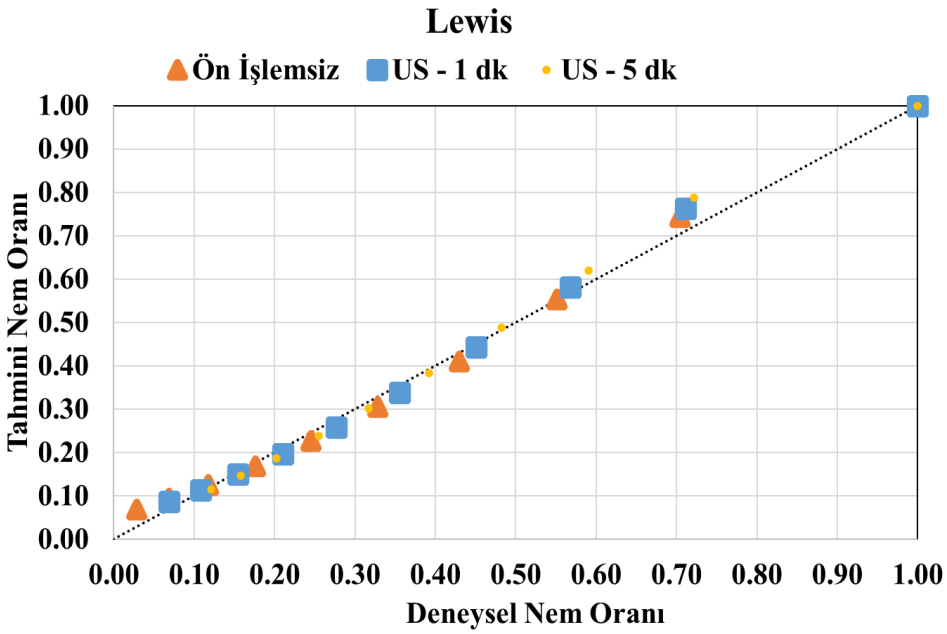
ÖN İŞLEM GÖRMEMİŞ VE ULTRASONİK BANYO ÖN İŞLEMLİ NUMUNELERİN MATEMATİKSELMODELLERİN DENEYSEL VE ÖNGÖRÜLEN MR GRAFİKLERİ

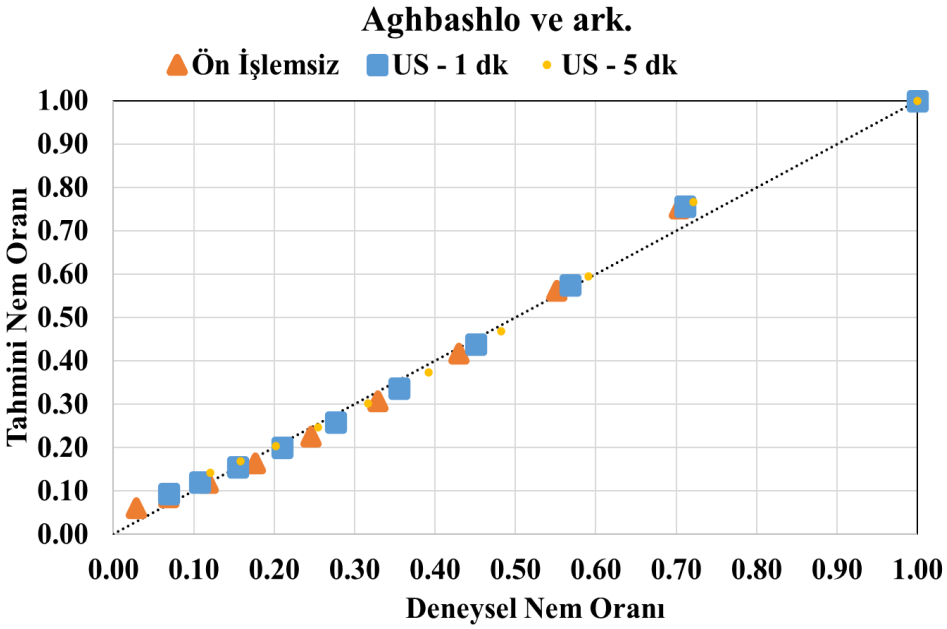
EK A Ön işlem görmemiş ve ultrasonik banyo ön işlemli numunelerin matematiksel modeller için deneysel ve öngörülen MR değerleri

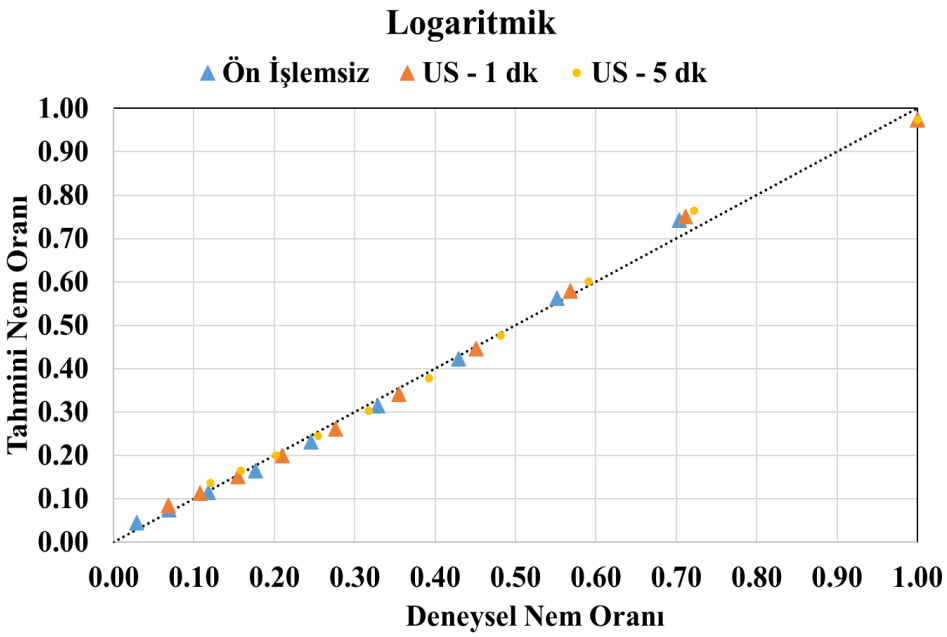


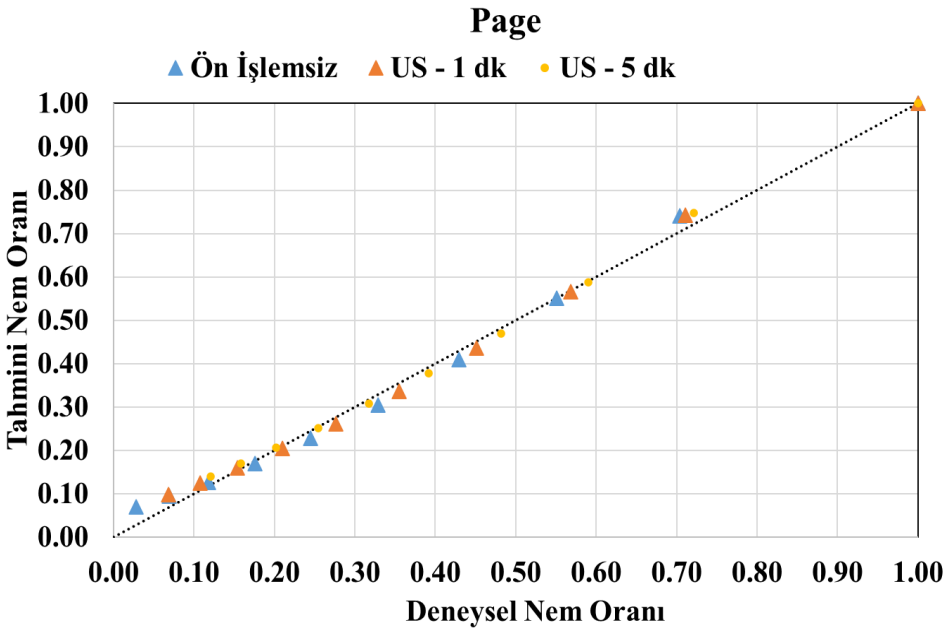

Hendersen ve Pabis
Ön İşlemsiz
US - 1 dk
US - 5 dk
Tahmini Nem Oranı
Deneysel Nem Oranı
0.00
0.10
0.20
0.30
0.40
0.50
0.60
0.70
0.80
0.90
1.00

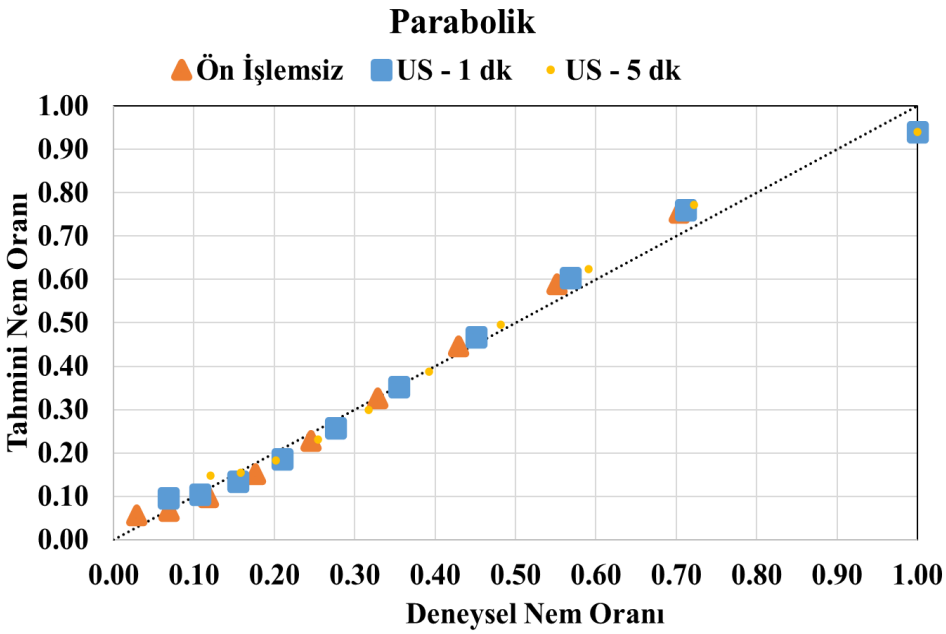

Jena ve Das
Ön İşlemsiz
US - 1 dk
US - 5 dk
Tahmini Nem Oranı
Deneysel Nem Oranı
0.00
0.10
0.20
0.30
0.40
0.50
0.60
0.70
0.80
0.90
1.00

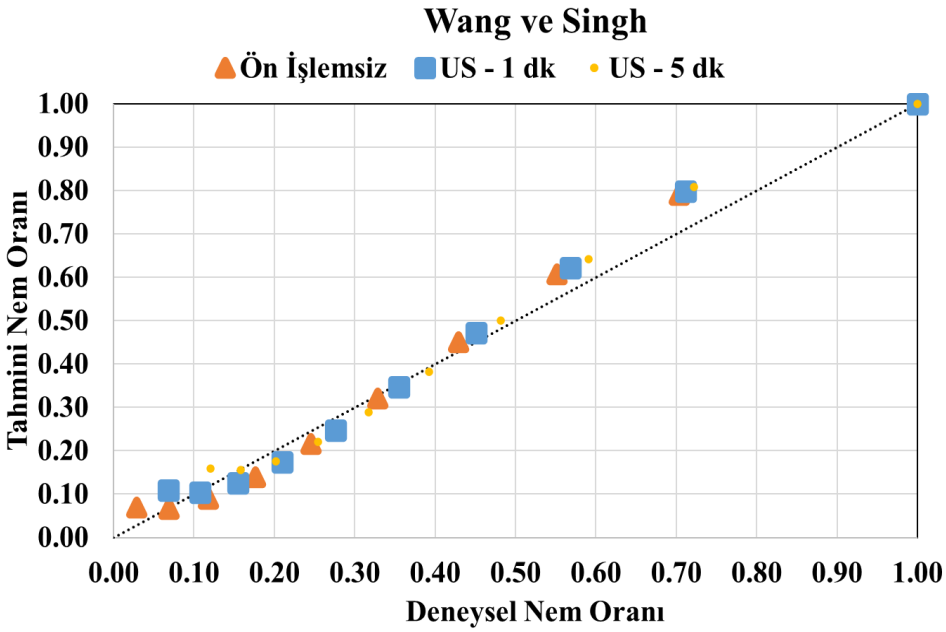

Lewis
Ön İşlemsiz
US - 1 dk
US - 5 dk
Tahmini Nem Oranı
Deneysel Nem Oranı
0.00
0.10
0.20
0.30
0.40
0.50
0.60
0.70
0.80
0.90
1.00

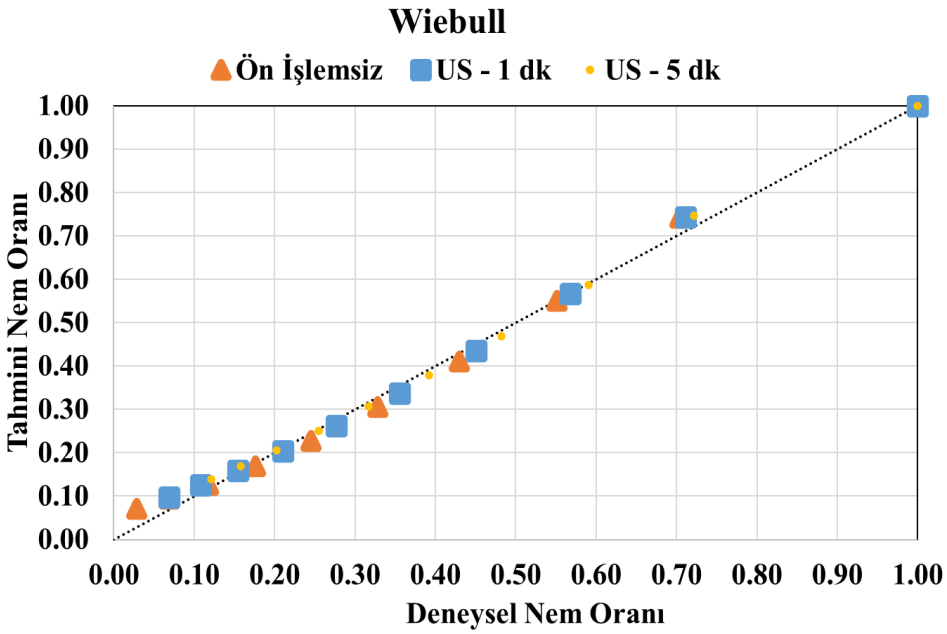

Aghbashlo ve ark.
Ön İşlemsiz
US - 1 dk
US - 5 dk
Tahmini Nem Oranı
Deneysel Nem Oranı
0.00
0.10
0.20
0.30
0.40
0.50
0.60
0.70
0.80
0.90
1.00


Logaritmik
Ön İşlemsiz
US - 1 dk
US - 5 dk
Tahmini Nem Oranı
Deneysel Nem Oranı
0.00
0.10
0.20
0.30
0.40
0.50
0.60
0.70
0.80
0.90
1.00


Page
Ön İşlemsiz
US - 1 dk
US - 5 dk
Tahmini Nem Oranı
Deneysel Nem Oranı
0.00
0.10
0.20
0.30
0.40
0.50
0.60
0.70
0.80
0.90
1.00

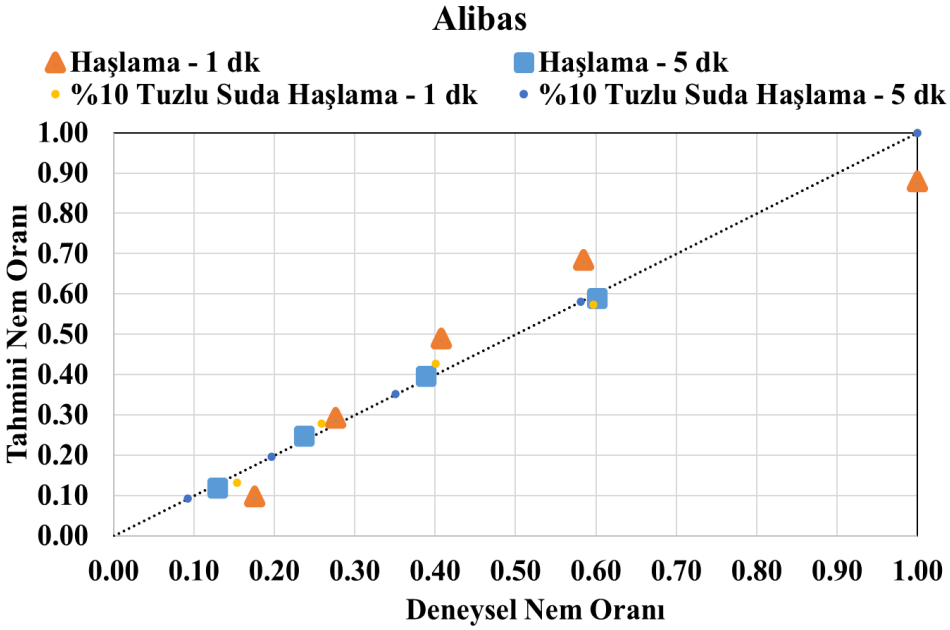

Parabolik
Ön İşlemsiz
US - 1 dk
US - 5 dk
Tahmini Nem Oranı
Deneysel Nem Oranı
0.00
0.10
0.20
0.30
0.40
0.50
0.60
0.70
0.80
0.90
1.00

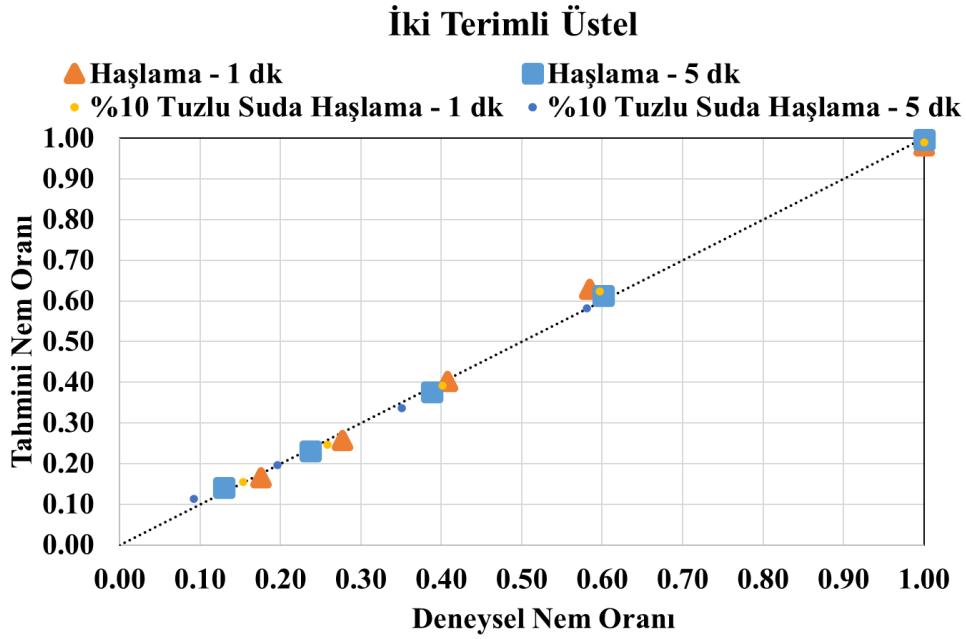

Wang ve Singh
Ön İşlemsiz
US - 1 dk
US - 5 dk
Tahmini Nem Oranı
Deneysel Nem Oranı
0.00
0.10
0.20
0.30
0.40
0.50
0.60
0.70
0.80
0.90
1.00

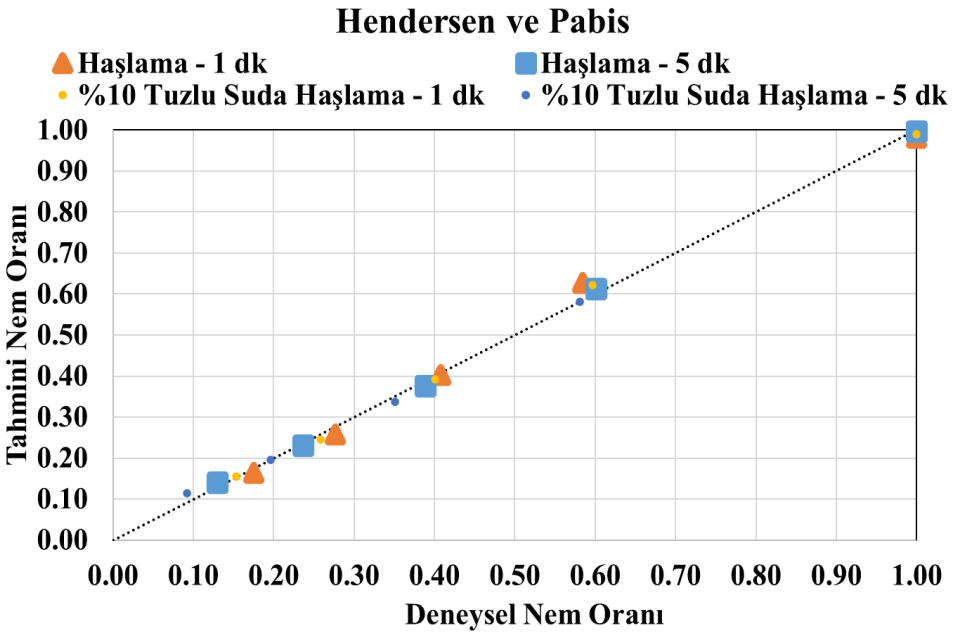

Wiebull
Ön İşlemsiz
US - 1 dk
US - 5 dk
Tahmini Nem Oranı
Deneysel Nem Oranı
0.00
0.10
0.20
0.30
0.40
0.50
0.60
0.70
0.80
0.90
1.00

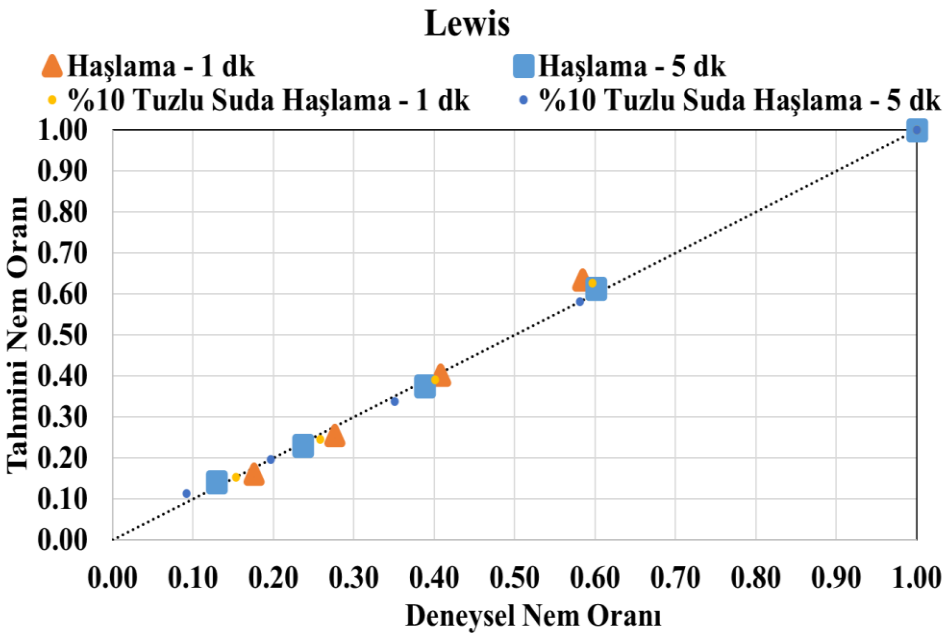
B

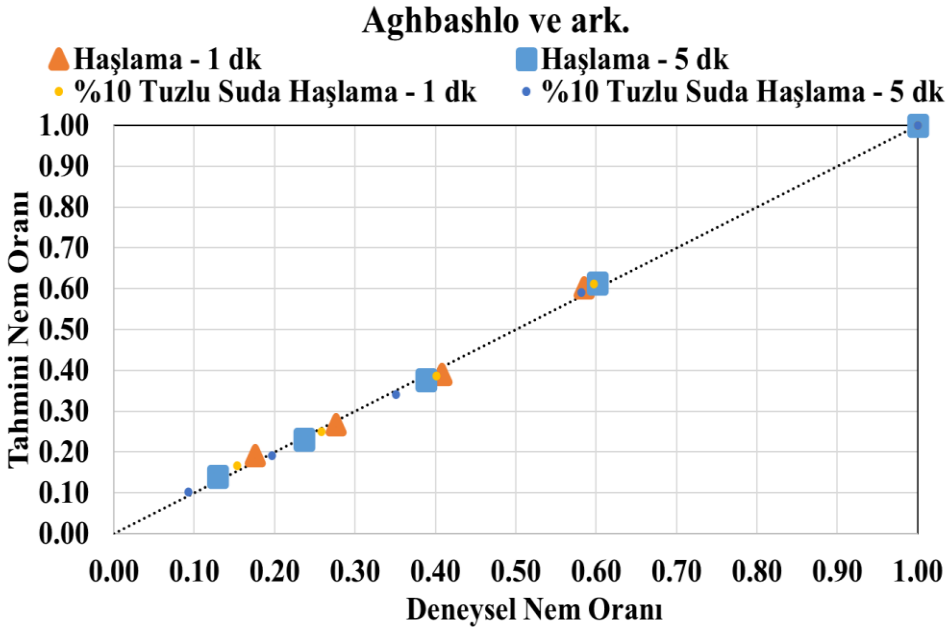
HAŞLAMA ÖN İŞLEMLİ NUMUNELERİN MATEMATİKSEL MODELLERİN DENEYSEL VE ÖNGÖRÜLEN MR GRAFİKLERİ

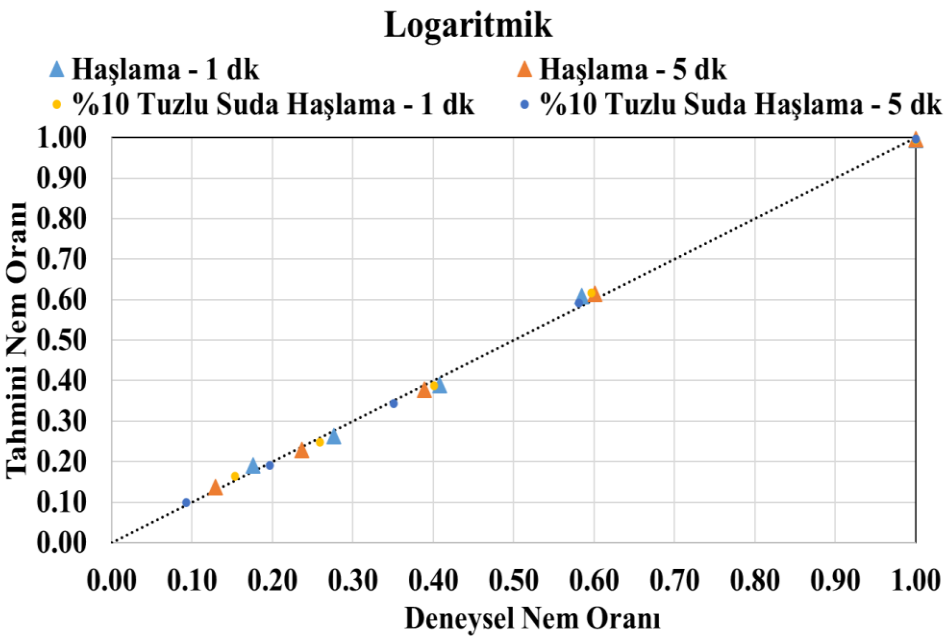


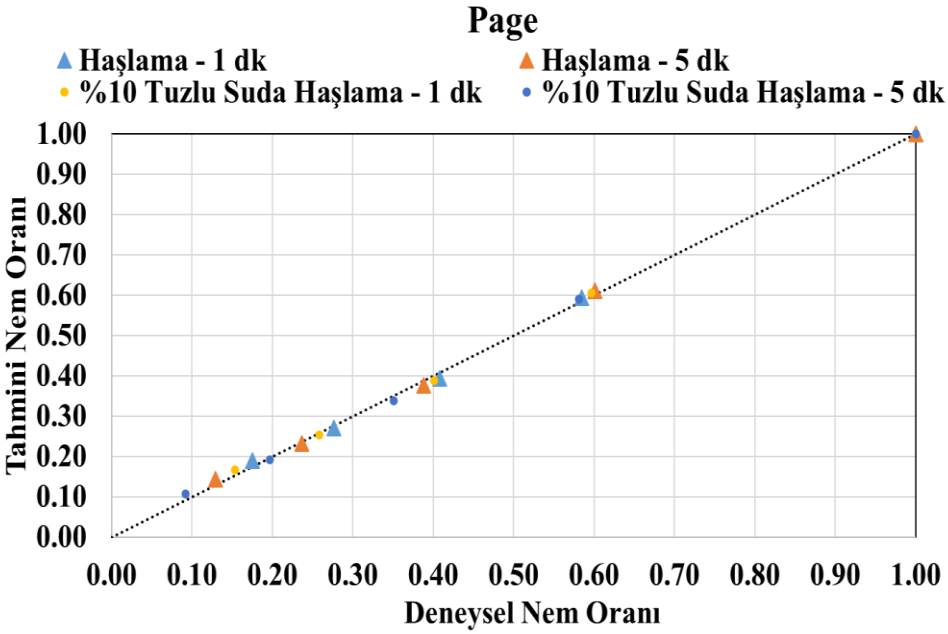

İki Terimli Üstel
Haşlama - 1 dk
Haşlama - 5 dk
%10 Tuzlu Suda Haşlama - 1 dk
%10 Tuzlu Suda Haşlama - 5 dk
Tahmini Nem Oranı
Deneysel Nem Oranı
0.00
0.10
0.20
0.30
0.40
0.50
0.60
0.70
0.80
0.90
1.00

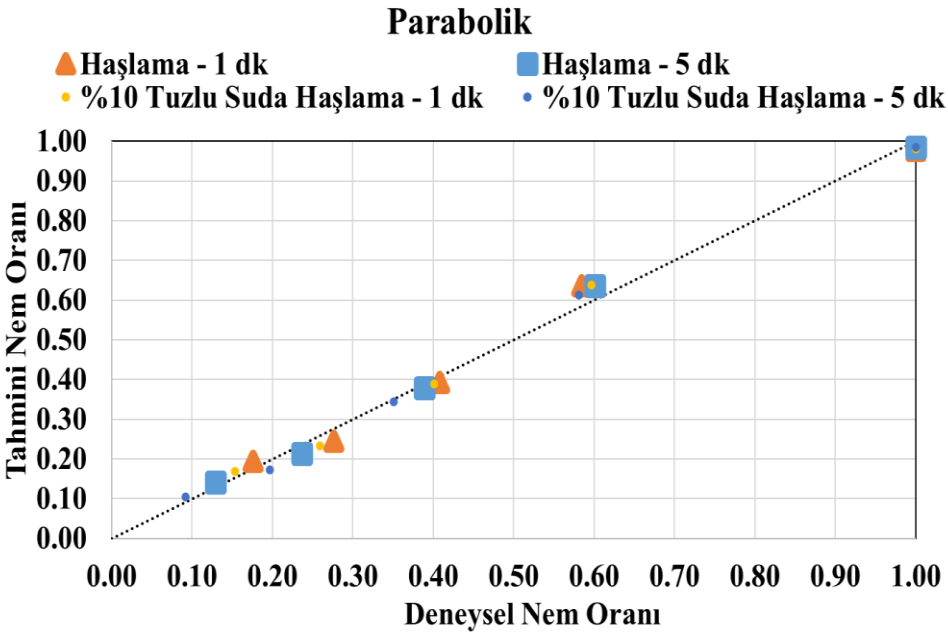

Hendersen ve Pabis
Haşlama - 1 dk
Haşlama - 5 dk
%10 Tuzlu Suda Haşlama - 1 dk
%10 Tuzlu Suda Haşlama - 5 dk
Tahmini Nem Oranı
Deneysel Nem Oranı
0.00
0.10
0.20
0.30
0.40
0.50
0.60
0.70
0.80
0.90
1.00

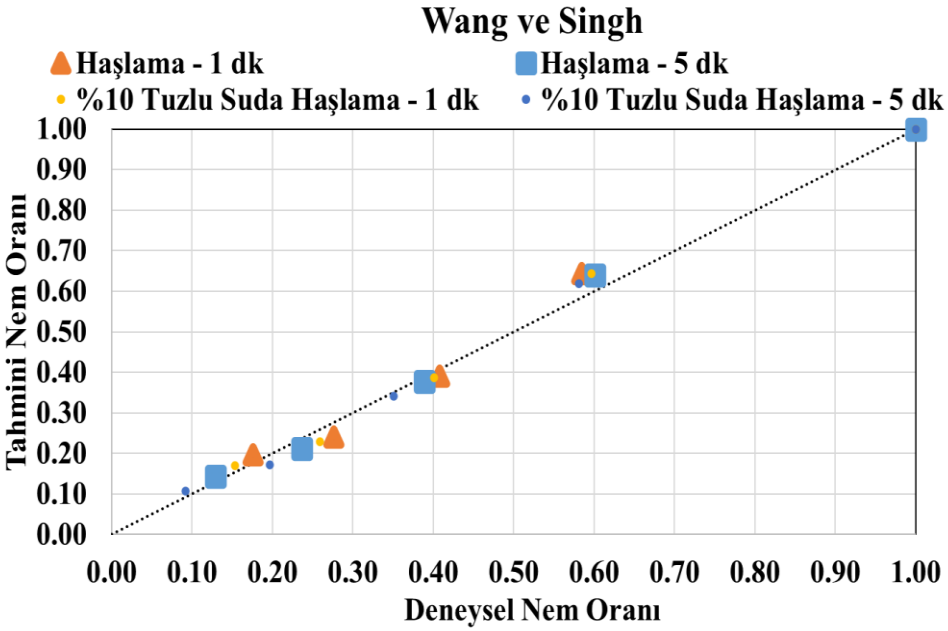

Lewis
Haşlama - 1 dk
Haşlama - 5 dk
%10 Tuzlu Suda Haşlama - 1 dk
%10 Tuzlu Suda Haşlama - 5 dk
Tahmini Nem Oranı
1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
0.00 0.10 0.20 0.30 0.40 0.50 0.60 0.70 0.80 0.90 1.00
Deneysel Nem Oranı

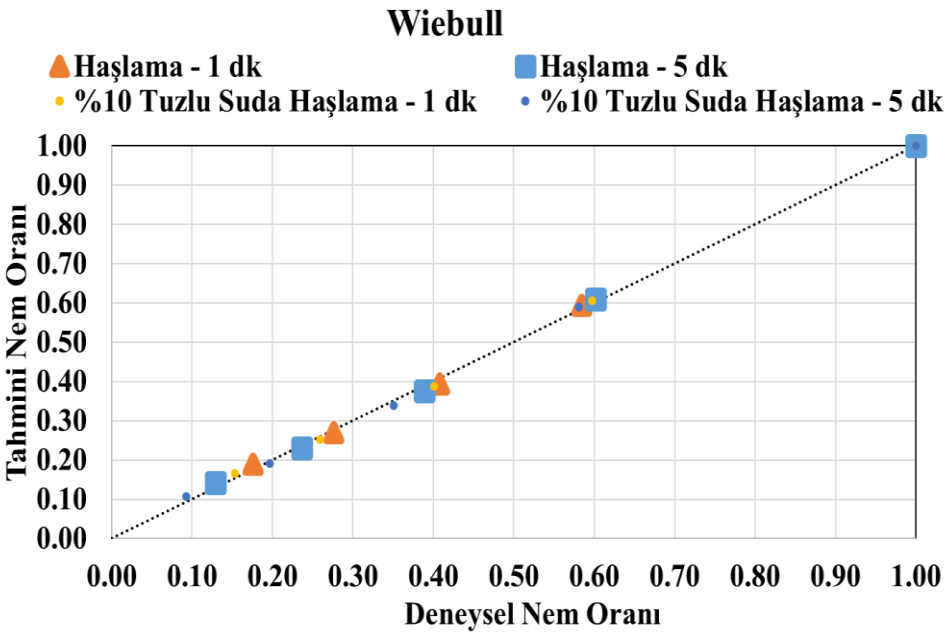

Aghbashlo ve ark.
Haşlama - 1 dk
Haşlama - 5 dk
%10 Tuzlu Suda Haşlama - 1 dk
%10 Tuzlu Suda Haşlama - 5 dk
Tahmini Nem Oranı
1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
0.00 0.10 0.20 0.30 0.40 0.50 0.60 0.70 0.80 0.90 1.00
Deneysel Nem Oranı


Logaritmik
Haşlama - 1 dk
Haşlama - 5 dk
%10 Tuzlu Suda Haşlama - 1 dk
%10 Tuzlu Suda Haşlama - 5 dk
Tahmini Nem Oranı
1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
0.00 0.10 0.20 0.30 0.40 0.50 0.60 0.70 0.80 0.90 1.00
Deneysel Nem Oranı


Page
Haşlama - 1 dk
Haşlama - 5 dk
%10 Tuzlu Suda Haşlama - 1 dk
%10 Tuzlu Suda Haşlama - 5 dk
Tahmini Nem Oranı
1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
0.00 0.10 0.20 0.30 0.40 0.50 0.60 0.70 0.80 0.90 1.00
Deneysel Nem Oranı

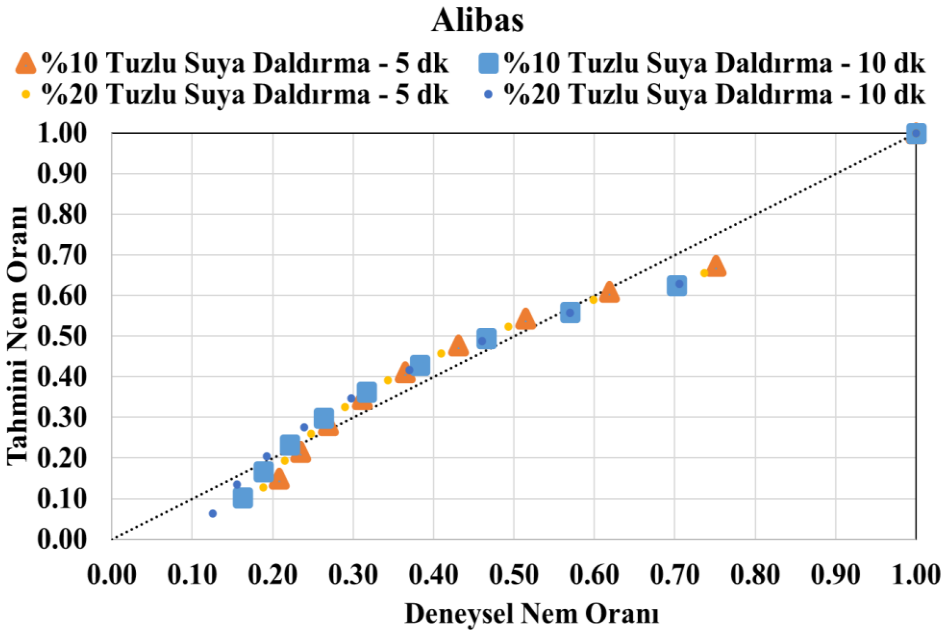

Parabolik
Haşlama - 1 dk
Haşlama - 5 dk
%10 Tuzlu Suda Haşlama - 1 dk
%10 Tuzlu Suda Haşlama - 5 dk
Tahmini Nem Oranı
1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
0.00 0.10 0.20 0.30 0.40 0.50 0.60 0.70 0.80 0.90 1.00
Deneysel Nem Oranı

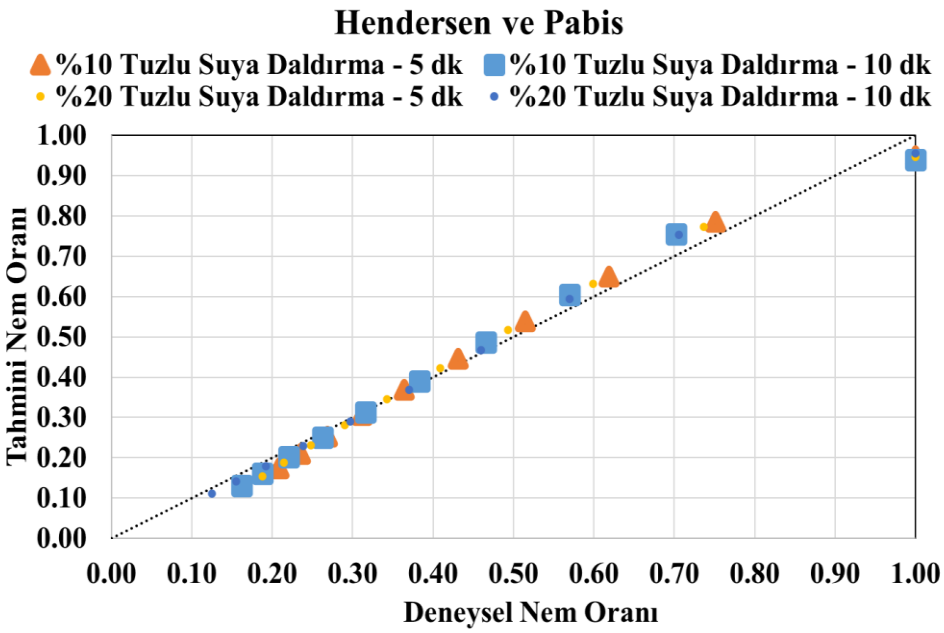

Wang ve Singh
Haşlama - 1 dk
Haşlama - 5 dk
%10 Tuzlu Suda Haşlama - 1 dk
%10 Tuzlu Suda Haşlama - 5 dk
Tahmini Nem Oranı
1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
0.00 0.10 0.20 0.30 0.40 0.50 0.60 0.70 0.80 0.90 1.00
Deneysel Nem Oranı

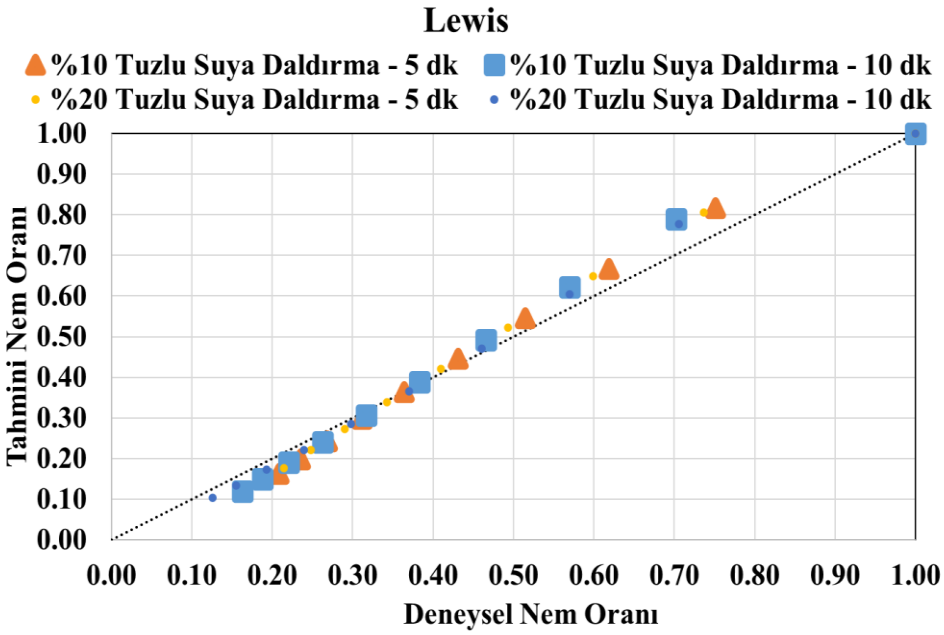

Wiebull
Haşlama - 1 dk
Haşlama - 5 dk
%10 Tuzlu Suda Haşlama - 1 dk
%10 Tuzlu Suda Haşlama - 5 dk
Tahmini Nem Oranı
1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
0.00 0.10 0.20 0.30 0.40 0.50 0.60 0.70 0.80 0.90 1.00
Deneysel Nem Oranı

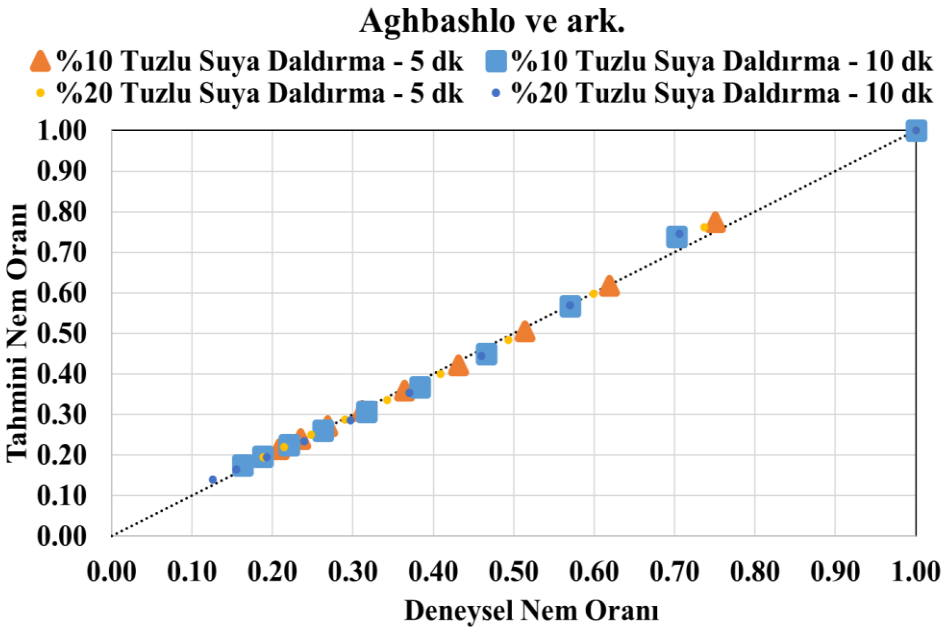
C

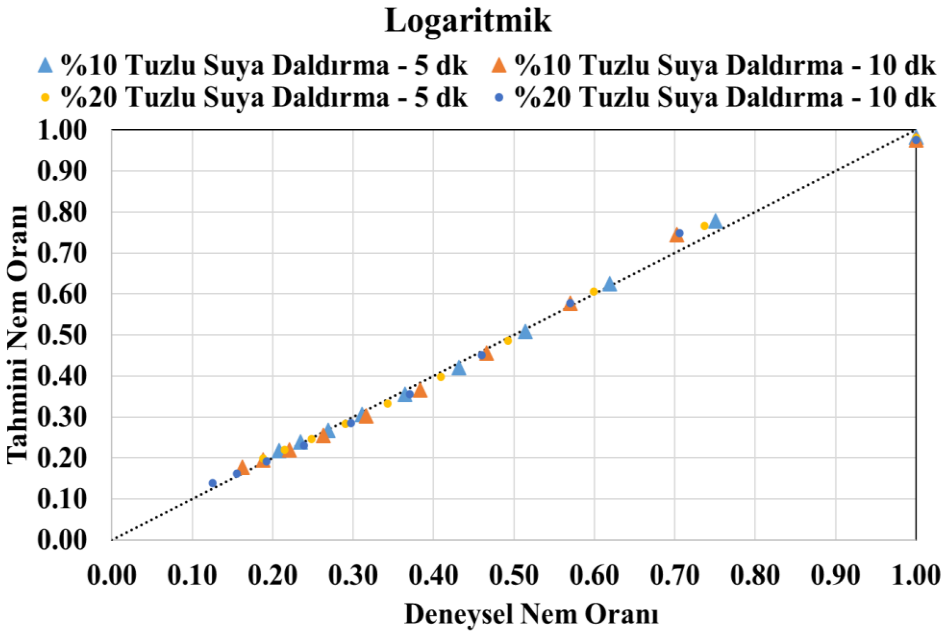
TUZLU SUYA DALDIRMA ÖN İŞLEMLİ NUMUNELERİN MATEMATİKSEL MODELLERİN DENEYSEL VE ÖNGÖRÜLEN MR GRAFİKLERİ

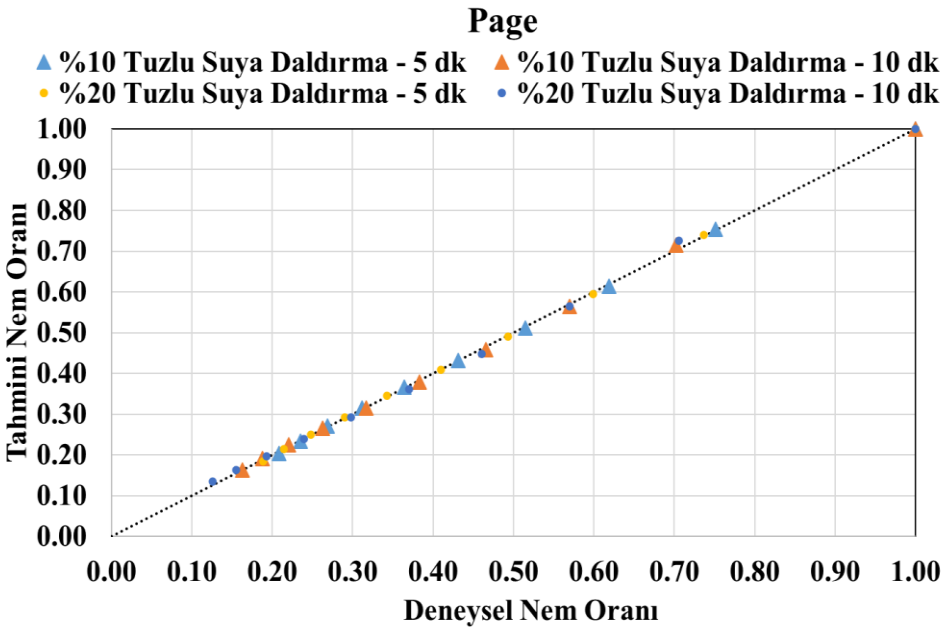


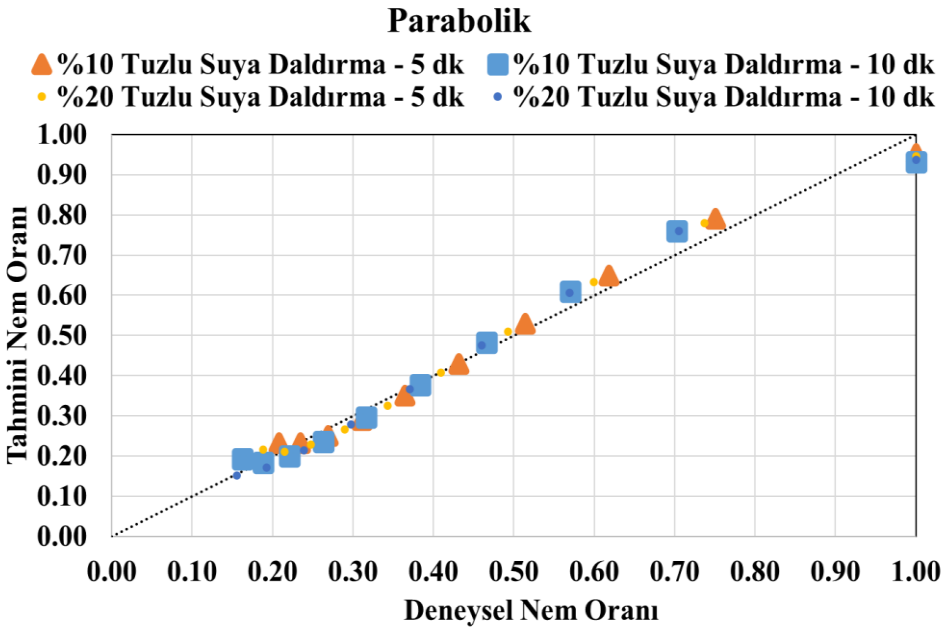

Hendersen ve Pabis
%10 Tuzlu Suya Daldırma - 5 dk
%10 Tuzlu Suya Daldırma - 10 dk
%20 Tuzlu Suya Daldırma - 5 dk
%20 Tuzlu Suya Daldırma - 10 dk
Tahmini Nem Oranı
1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
0.00 0.10 0.20 0.30 0.40 0.50 0.60 0.70 0.80 0.90 1.00
Deneysel Nem Oranı

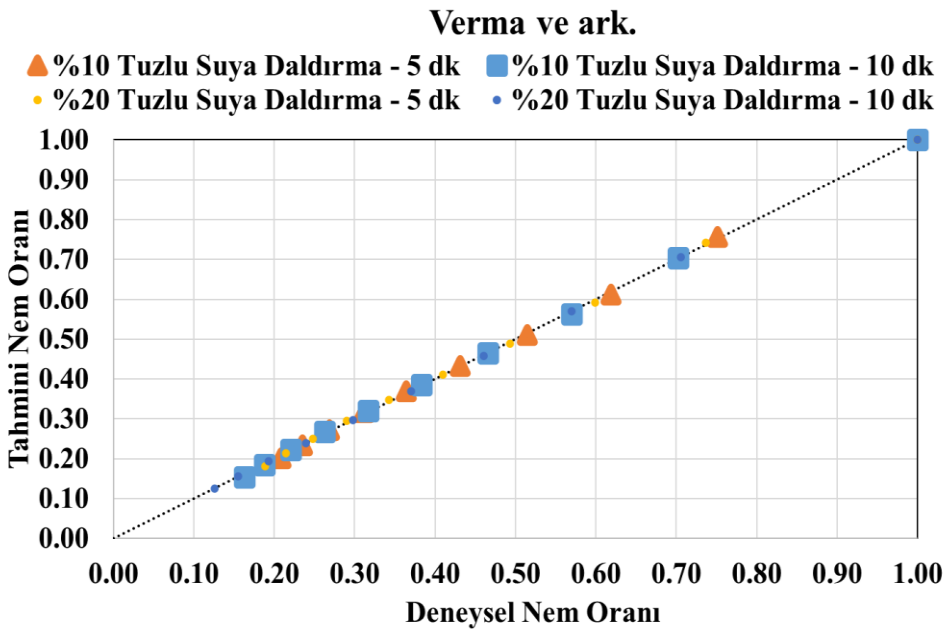

Lewis
%10 Tuzlu Suya Daldırma - 5 dk
%10 Tuzlu Suya Daldırma - 10 dk
%20 Tuzlu Suya Daldırma - 5 dk
%20 Tuzlu Suya Daldırma - 10 dk
Tahmini Nem Oranı
1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
0.00 0.10 0.20 0.30 0.40 0.50 0.60 0.70 0.80 0.90 1.00
Deneysel Nem Oranı

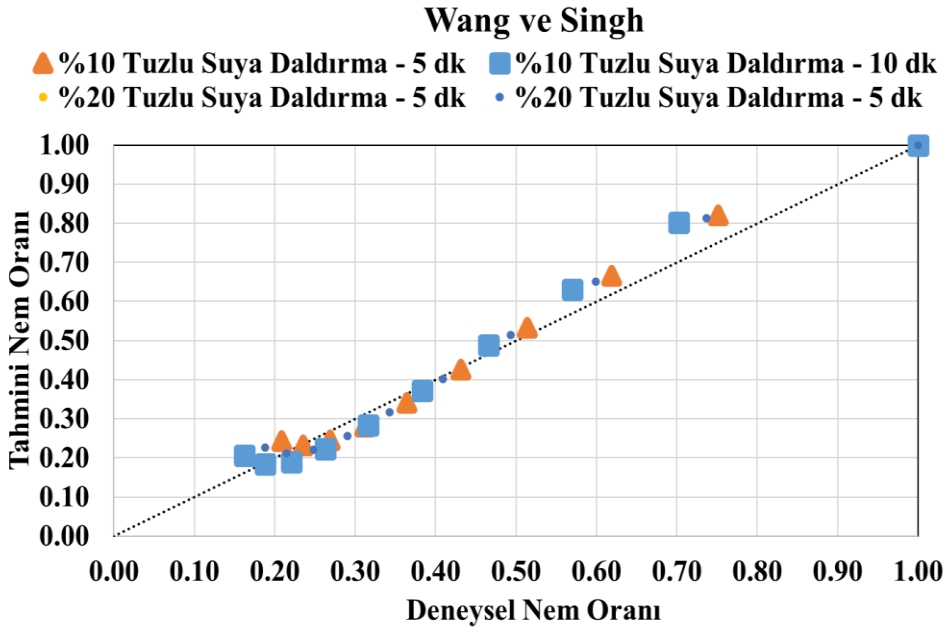

Aghbashlo ve ark.
%10 Tuzlu Suya Daldırma - 5 dk
%10 Tuzlu Suya Daldırma - 10 dk
%20 Tuzlu Suya Daldırma - 5 dk
%20 Tuzlu Suya Daldırma - 10 dk
Tahmini Nem Oranı
Deneysel Nem Oranı
0.00
0.10
0.20
0.30
0.40
0.50
0.60
0.70
0.80
0.90
1.00

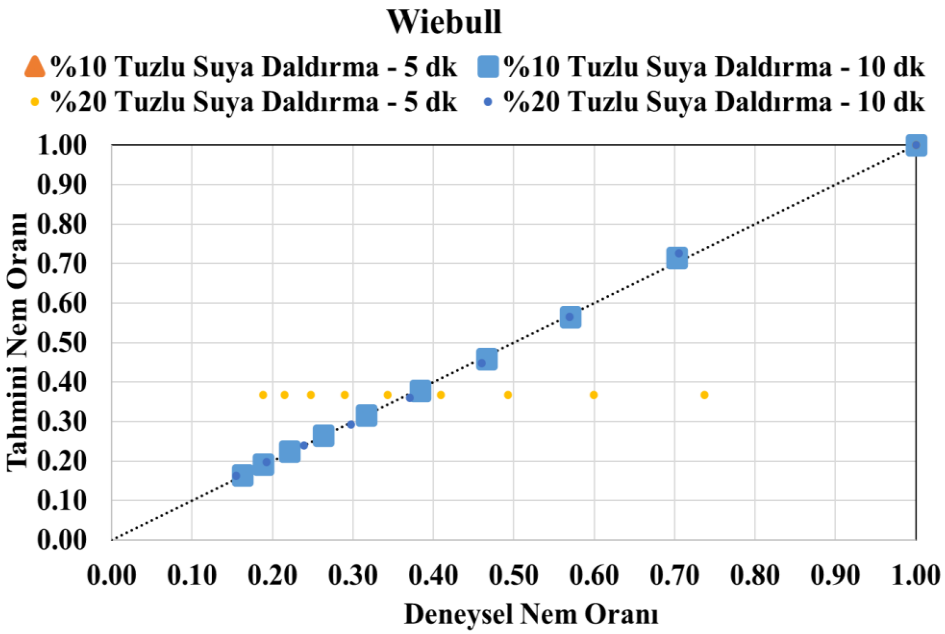

Logaritmik
%10 Tuzlu Suya Daldırma - 5 dk
%10 Tuzlu Suya Daldırma - 10 dk
%20 Tuzlu Suya Daldırma - 5 dk
%20 Tuzlu Suya Daldırma - 10 dk
Tahmini Nem Oranı
Deneysel Nem Oranı
0.00
0.10
0.20
0.30
0.40
0.50
0.60
0.70
0.80
0.90
1.00


Page
%10 Tuzlu Suya Daldırma - 5 dk
%10 Tuzlu Suya Daldırma - 10 dk
%20 Tuzlu Suya Daldırma - 5 dk
%20 Tuzlu Suya Daldırma - 10 dk
Tahmini Nem Oranı
Deneysel Nem Oranı
0.00
0.10
0.20
0.30
0.40
0.50
0.60
0.70
0.80
0.90
1.00


Parabolik
%10 Tuzlu Suya Daldırma - 5 dk
%10 Tuzlu Suya Daldırma - 10 dk
%20 Tuzlu Suya Daldırma - 5 dk
%20 Tuzlu Suya Daldırma - 10 dk
Tahmini Nem Oranı
Deneysel Nem Oranı
0.00
0.10
0.20
0.30
0.40
0.50
0.60
0.70
0.80
0.90
1.00


Verma ve ark.
%10 Tuzlu Suya Daldırma - 5 dk
%10 Tuzlu Suya Daldırma - 10 dk
%20 Tuzlu Suya Daldırma - 5 dk
%20 Tuzlu Suya Daldırma - 10 dk
Tahmini Nem Oranı
Deneysel Nem Oranı
0.00 0.10 0.20 0.30 0.40 0.50 0.60 0.70 0.80 0.90 1.00


Wang ve Singh
%10 Tuzlu Suya Daldırma - 5 dk
%10 Tuzlu Suya Daldırma - 10 dk
%20 Tuzlu Suya Daldırma - 5 dk
%20 Tuzlu Suya Daldırma - 5 dk
Tahmini Nem Oranı
Deneysel Nem Oranı
0.00 0.10 0.20 0.30 0.40 0.50 0.60 0.70 0.80 0.90 1.00


Wiebull
%10 Tuzlu Suya Daldırma - 5 dk
%10 Tuzlu Suya Daldırma - 10 dk
%20 Tuzlu Suya Daldırma - 5 dk
%20 Tuzlu Suya Daldırma - 10 dk
Tahmini Nem Oranı
1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
0.00 0.10 0.20 0.30 0.40 0.50 0.60 0.70 0.80 0.90 1.00
Deneysel Nem Oranı

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. E. Deniz, Z. Ö. Özyalçın, A. S. Kıpçak, "Investigation of the effect of blanching on the drying characteristics of freeze dried salmon", *4th International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology*, Ankara, 1481-1486, 2022.