

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KUM MİDYESİNİN DONDURULARAK KURUTULMASI : KURUTMA
KİNETİĞİ VE MATEMATİKSEL MODELLEMESİ**

Yasemin ÇAĞLIYAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı
Kimya Mühendisliği Programı

Danışman
Doç. Dr. Azmi Seyhun KIPÇAK

Haziran, 2023

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KUM MİDYESİNİN DONDURULARAK KURUTULMASI : KURUTMA
KİNETİĞİ VE MATEMATİKSEL MODELLEMESİ

Yasemin ÇAĞLIYAN tarafından hazırlanan tez çalışması 22.06.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Kimya Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Azmi Seyhun KIPÇAK
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Azmi Seyhun KIPÇAK, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Emel DERUN, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Tülin Banu İYİM, Üye

İstanbul Üniversitesi, Cerrahpaşa

Danışmanım Doç. Dr. Azmi Seyhun KIPÇAK sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Kum Midyesinin Dondurularak Kurutulması : Kurutma Kinetiği ve Matematiksel Modellemesi 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.

Yasemin ÇAĞLIYAN

İmza

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans sürecinin her aşamasında ve her konuda desteğini esirgemeyen, öğrencisi olmaktan her zaman mutluluk duyduğum sayın hocam Doç. Dr. Azmi Seyhun KIPÇAK’a teşekkür ederim. Tez sürecim boyunca bilgilerini benimle paylaşmaktan çekinmeyen, çalışmamı ilerletmemde büyük emeği olan sayın Arş. Gör. Zehra Özden ÖZYALÇIN’a destekleri için teşekkür ederim. Maddi manevi desteğiyle her zaman yanımda olan sevgili aileme varlıklarından dolayı minnettarım. Yüksek Lisans hayatımda beni destekleyen ve bir şekilde hayatıma dokunarak emeği ve desteği geçen, zorlu süreçlerde moral ve motivasyon sağlayan tüm arkadaşlarıma, dostlarıma, iş arkadaşlarıma ve yöneticilerime teşekkür ederim.

Yasemin ÇAĞLIYAN

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xiii
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	2
2 DENİZ ÜRÜNLERİ	3
2.1 Beyaz Balık	5
2.2 Yağlı Balık	6
2.3 Kabuklu Deniz Ürünleri	6
3 YUMUŞAKÇALAR	7
3.1 Monoplacophora	7
3.2 Bivalvia	7
3.3 Gastropoda	9
3.4 Cephalopoda	10
3.5 Aplacophora	10
4 KURUTMA	11
4.1 Kurutma Yöntemleri	13
4.1.1 Doğal Hava ile Kurutma	13
4.1.2 Sıcak Hava Konvektif Kurutma	13
4.1.3 Püskürtmeli Kurutucu	14
4.1.4 Mikrodalga Kurutma Yöntemi	15
4.1.5 Kızılötesi Kurutma Yöntemi	15
4.1.6 Vakum Raf Kurutucular	16
4.1.7 Dondurarak Kurutma	16
4.2 Kurutma Hızına Etki Eden Etmenler	16
5 DONDURARAK KURUTMA	18
5.1 Dondurarak Kurutma Methodu	18

5.2 Dondurarak Kurutmanın Uygulama Alanları.....	19
5.3 Dondurarak Kurutmanın Avantajları	20
6 DENEYSEL ÇALIŞMA	21
6.1 Hammaddelerin Temini, Hazırlanması ve Kullanılan Materyaller	21
6.2 Deneyin Yapılışı.....	22
6.3 Difüzyon Katsayısının Bulunması	23
6.4 Kurutma Eğrilerinin Modellenmesi	24
6.5 Matematiksel Modelleme	25
7 SONUÇLAR ve TARTIŞMA.....	27
7.1 Kurutma Anında Kum Midyesinin Zamanla Değişimi	27
7.2 Kurutma Eğrileri	32
7.3 Kurutma Hızı Eğrileri	34
7.4 Efektif Nem Difüzyon Katsayısı Hesaplamaları.....	37
7.5 Matematiksel Modelleme Sonuçları	39
7.6 Matematiksel Modellerin Deneysel ve Öngörülen MR Grafikleri	71
8 SONUÇ	77
KAYNAKÇA	79
A ÖN İŞLEM GÖRMEMİŞ VE ULTRASONİK BANYO ÖN İŞLEMLİ NUMUNELERİN MATEMATİKSEL MODELLERİN DENEYSEL VE ÖNGÖRÜLEN MR GRAFİKLERİ	82
B HAŞLAMA VE TUZ İLE 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 İçeriği
N	Deney Sayısı
M_e	Dengedeki Nem İçeriği
$^{\circ}\text{C}$	Derece Celcius
R^2	Determinasyon Katsayısı
D_{eff}	Efektif Difüzyon Katsayısı
χ^2	Ki-Kare
kg	Kilogram
m_d	Malzemedeki Kuru Ağırlık
m_w	Malzemedeki Su Kütlesi
M_i	Malzemenin Başlangıçtaki Nem İçeriği
M	Nem İçeriği
π	Pi Sayısı
z	Sabitlerin Sayısı
L	Yarı Çap
%	Yüzde
t	Zaman

KISALTMA LİSTESİ

dk	Dakika
DR	Kurutma Hızı
Exp	Deneyisel
FAO	Food and Agriculture Organization for United Nations
MR	Nem Oranı
Pre	Öngörülen
RMSE	Ortalama Hata Kareleri Kökü
s	Saniye
US	Ultrasonik Banyo

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Dünya’da su ürünleri üretimi	4
Şekil 2.2 Görünür tüketim ve dünya balık kullanımı	4
Şekil 2.3 Bölgelere göre su ürünleri üretimi.....	5
Şekil 3.1 <i>Nucula proxima</i>	8
Şekil 3.2 <i>Spondylus americanus</i> (Atlantik dikenli istiridye)	8
Şekil 3.3 Deniz tarağı (<i>Chlamys sp.</i>)	9
Şekil 3.4 <i>Partula taeniata</i> , bir ağaç salyangozu	9
Şekil 3.5 <i>Ahtapot digueti</i>	10
Şekil 3.6 <i>Chaetoderma elegans</i>	10
Şekil 4.1 Sıcak hava kurutma şematik diyagramı.....	14
Şekil 4.2 Püskürtmeli kurutucu şematik diyagramı	14
Şekil 4.3 Mikrodalga kurutma şematik diyagramı	15
Şekil 4.4 İnfrared cihazı şematik diyagramı	16
Şekil 5.1 Dondurarak kurutma adımları ve mekanizması	18
Şekil 5.2 Denge faz diyagramı	19
Şekil 5.3 Dondurarak kurutulmuş meyveler	20
Şekil 6.1 KH-45 sıcak hava kurutma fırını (Kenton, Guangzhou, Çin)	21
Şekil 6.2 Labart LFD-10N model dondurarak kurutucu (ART Laborteknik, İstanbul, Türkiye)	22
Şekil 6.3 a) Kabuklu kum midyesi b) Kabuğu temizlenmiş kum midyesi	22
Şekil 7.1 Ön işlem görmemiş numunenin değişimi.....	28
Şekil 7.2 US 1 dakika ön işlemli numunenin değişimi.....	29
Şekil 7.3 Haşlama 1 dakika ön işlemli numunenin değişimi.....	30
Şekil 7.4 %10 tuz ile 5 dakika tuzlu suya daldırma ön işleminden geçirilmiş numunenin değişimi.....	31
Şekil 7.5 Ön işlemsiz ve US ön işlemli numunelerin kurutma eğrisi	32
Şekil 7.6 Haşlama ve tuz ile haşlama ön işlemli numunelerin kurutma eğrisi	33
Şekil 7.7 Tuzlu suya daldırma ön işlemli numunelerin kurutma eğrisi	34
Şekil 7.8 Ön işlemsiz ve US ön işlemli numunelerin kurutma hızı eğrisi	35
Şekil 7.9 Haşlama ve tuz ile haşlama ön işlemli numunelerin kurutma hızı eğrisi	36
Şekil 7.10 Tuzlu suya daldırma ön işlemli numunelerin kurutma hızı eğrisi	36
Şekil 7.11 Ön işlemsiz ve US ön işlemli numunelerin zamana göre ln (MR) grafiği	37
Şekil 7.12 Haşlama ve tuz ile haşlama ön işlemli numunelerin zamana göre ln (MR) grafiği	38

Şekil 7.13	Tuzlu suya daldırma ön işlemlili numunelerin zamana göre $\ln(MR)$ grafiği .	39
Şekil 7.14	Ön işlem görmemiş ve ultrasonik banyo ön işlemlili numunelerin Verma matematiksel modeli için deneysel ve öngörülen MR değerleri.....	72
Şekil 7.15	Ön işlem görmemiş ve ultrasonik banyo ön işlemlili numunelerin Page matematiksel modeli için deneysel ve öngörülen MR değerleri.....	72
Şekil 7.16	Ön işlem görmemiş ve ultrasonik banyo ön işlemlili numunelerin Aghbashlo vd. matematiksel modeli için deneysel ve öngörülen MR değerleri.....	73
Şekil 7.17	Haşlama ve tuz ile haşlama ön işlemlili numunelerin Aghbashlo vd. matematiksel modeli için deneysel ve öngörülen MR değerleri.....	73
Şekil 7.18	Haşlama ve tuz ile haşlama ön işlemlili numunelerin Verma matematiksel modeli için deneysel ve öngörülen MR değerleri	74
Şekil 7.19	Haşlama ve tuz ile haşlama ön işlemlili numunelerin İki Terimli matematiksel modeli için deneysel ve öngörülen MR değerleri	74
Şekil 7.20	Tuzlu suya daldırma ön işlemlili numunelerin Verma matematiksel modeli için deneysel ve öngörülen MR değerleri	75
Şekil 7.21	Tuzlu suya daldırma ön işlemlili numunelerin İki Terimli matematiksel modeli için deneysel ve öngörülen MR değerleri	76
Şekil 7.22	Tuzlu suya daldırma ön işlemlili numunelerin Aghbashlo vd. matematiksel modeli için deneysel ve öngörülen MR değerleri	76

TABLO LİSTESİ

Tablo 6.1	Çalışmada kullanılan matematiksel modeller	25
Tablo 7.1	Ön işlem görmemiş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları	40
Tablo 7.2	US 1 dk ön işlem görmüş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları	43
Tablo 7.3	US 5 dk ön işlem görmüş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları	46
Tablo 7.4	1 dk haşlama ön işleminden geçirilmiş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları	49
Tablo 7.5	5 dk haşlama ön işleminden geçirilmiş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları	52
Tablo 7.6	%10 tuz 1 dk haşlama ön işleminden geçirilmiş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları	55
Tablo 7.7	%20 tuz 1 dk haşlama ön işleminden geçirilmiş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları	57
Tablo 7.8	%10 tuz 5 dk tuzlu suya daldırma ön işleminden geçirilmiş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları	60
Tablo 7.9	%10 tuz 10 dk tuzlu suya daldırma ön işleminden geçirilmiş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları	63
Tablo 7.10	%20 tuz 5 dk tuzlu suya daldırma ön işleminden geçirilmiş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları	66
Tablo 7.11	%20 tuz 10 dk tuzlu suya daldırma ön işleminden geçirilmiş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları	69

Kum Midyesinin Dondurularak Kurutulması : Kurutma Kinetiği ve Matematiksel Modellemesi

Yasemin ÇAĞLIYAN

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Azmi Seyhun KIPÇAK

Bu çalışmada, dondurarak kurutma yöntemi uygulanarak kum midyesinin (*Tapes philippinarum*) kurutma kinetiği araştırılmıştır. Kurutma hızına etkisini incelemek için kum midyesi 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 kurutulmuştur. Her bir yöntem için kum midyesinin kuruma hızı ve nem oranları hesaplanmıştır. Hesaplanan nem oranları ile her bir ön işlem için difüzyon katsayısı belirlenmiştir. Kum midyesinin kuruma kinetiklerini tahmin etmek için Aghbashlo v.d., Alibas, Midilli ve Kucuk, İki Terimli, Henderson, Jena ve Das, Lewis, Page, Parabolic, Verma, Wang ve Singh matematiksel modelleri kullanılmıştır. Ön işlem görmemiş ve ultrasonik ön işlemleri numuneler için en uygun model olarak Verma modeli olarak belirlenmiştir. Tuzlu suya daldırma ön işlemleri numuneler için en uygun modeller Aghbashlo v.d. modeli olarak belirlenmiştir. Haşlama ve tuzlu suda haşlama ön işlemleri numuneler için en uygun modeller Verma modeli olarak belirlenmiştir. Kurutma hızları karşılaştırıldığında, ön işlemsiz ve ultrasonik ön işlemleri numuneler arasında en hızlı ön işlem görmemiş numunenin kuruduğu görülmüştür. Haşlama ve tuzlu suda haşlanmış numuneler arasında en yüksek kurutma hızı 5 dakika haşlama ön işleminden geçirilmiş numune olarak tespit edilmiştir. Tuzlu suya daldırma ön işlemlerinde ise en hızlı %20 tuz ile 10 dakika tuzlu suya daldırma ön işleminden geçirilmiş numune kurumuştur.

Anahtar Kelimeler: Dondurarak kurutma, kum midyesi, kurutma kinetiği, matematiksel modelleme



Freeze Drying of Cockle : Drying Kinetic and Mathematical Modelling

Yasemin ÇAĞLIYAN

Department of Chemical Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Azmi Seyhun KIPÇAK

In this study, drying kinetics of cockle (*Tapes philippinarum*) was investigated by using freeze drying method. In order to examine the effect on drying speed, the cockles were dried with unpretreated and used ultrasonic (1 minute and 5 minutes ultrasonic bath), blanching (1 minute blanched, 5 minutes blanched, 1 minute blanched with 10% salt and 1 minute blanched with 20% salt) and salt dipping (5 minutes salt dipping with 10% salt, 10 minutes salt dipping with 10% salt, 5 minutes salt dipping with 20% salt and 10 minutes salt dipping with 20% salt) pretreatment. For each method, the drying rate and moisture ratio of the cockle were calculated. The effective diffusion coefficient was determined for each pretreatment with the calculated moisture ratios. Mathematical models of Aghbashlo et al., Alibas, Midilli and Kucuk, Two Term, Henderson, Jena and Das, Lewis, Page, Parabolic, Verma, Wang and Singh were used to predict the drying kinetics of cockles. The Verma model was determined as the most suitable model for unpretreated and ultrasonic pretreated samples. The most suitable models for salt dipping pretreated samples were determined as the Aghbashlo et al. model. The most suitable models were determined as the Verma model for blanched and blanched with salt water pretreated samples. When the drying rates were compared, it was observed that the unpretreated sample dried the fastest among the unpretreated and ultrasonic pretreated samples. Among the blanched and blanched with salt water pretreated, the highest drying rate was determined as the sample that was blanched for 5 minutes. In the salt dipping pretreatment process, the sample, which was pretreated with 20% salt for 10 minutes, dried the fastest.

Keywords: Cockle, drying kinetic, freeze drying, mathematical modelling



1.1 Literatür Özeti

Gıda ürünlerini uzun süre muhafaza etmek için uygulanan birçok yöntemden biri de kurutma yöntemidir. Kurutma, üründe bulunan suyun üründen uzaklaştırılması yöntemidir. İlaç, eczacılık, boya, tarım, mobilya, kağıt gibi birçok endüstride de kurutma kullanılmaktadır. Kurutma yöntemleri geleneksel kurutma ve modern kurutma teknolojileri olarak iki gruba ayrılmaktadır. Geleneksel kurutma yöntemleriyle kaliteli ürün elde etmek zordur [1]. Dondurarak kurutma işleminde önce ürün içindeki su dondurulur, ardından donan su süblimasyon yoluyla üründen uzaklaştırılır. Birçok ürün başlangıçtaki fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini koruyarak kullanılabilecek kadar uzun süre saklanabilir. Dondurarak kurutma ile kurutulan ürünler besin ve vitamin değerlerini, aromasını, kokusunu, rengini ve şeklini korur [2].

Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) istatistiklerine göre dünyada 2020 yılında 20.183.940 ton yumuşakça üretimi yapılmıştır ve 19.612.490 ton yumuşakça yiyecek olarak tüketilmiştir. Türkiye’de ise 2020 yılında yaklaşık 54.540 ton yumuşakça üretilmiş ve 18.210 ton yumuşakça ihracatı yapılmıştır [3]. Bu çalışmada kullanılan *Tapes philippinarum*, Türkiye'nin Ege kıyılarında yaygın olarak bulunan bivalvia sınıfına ait bir yumuşakçadır. *Tapes philippinarum* Adriyatik Denizi, Akdeniz, Karadeniz, Kuzey Denizi ve Hazar Denizi'nde bol miktarda bulunur [4]. *Tapes philippinarum* sevilen ve tüketilen ve lüks sayılabilecek bir gıda maddesidir. Akdeniz ülkeleri tarafından rağbet gören ve önemli bir ticari ürün haline gelen bu canlılar Türkiye'ye taze ve soğutulmuş olarak ihraç edilmektedir [5].

Literatürde gıda ile ilgili birçok farklı kurutma çalışması bulunmaktadır, özellikle yeni bir teknoloji olan dondurarak kurutma ile çok fazla hayvansal ve tarımsal ürün kurutulmaktadır. Hindi etinin dondurularak kurutulması ve matematiksel modellemesi üzerinde çalışılmıştır [6]. Dondurarak kurutma işlemi parametrelerinin tavuk göğüs eti üzerindeki etkilerini incelenmiştir [7]. Sığır etinin mikrodalgada dondurarak kurutma özellikleri araştırılmıştır [8]. Denizanasının dondurularak kurutulmasını ve sıcaklığın etkisi incelenmiştir [9]. Denizatını dondurarak kurutma, kurutma kinetiği analizi ve matematiksel modellemesi araştırılmıştır [10]. Malezya kırmızı deniz yosununun

kimyasal bileşenleri üzerinde fırında kurutma, güneşte kurutma, vakumda kurutma ve dondurarak kurutma gibi kurutma yöntemlerinin karşılaştırması incelenmiştir [11]. Birçok hayvansal ve tarımsal ürünün kurutulması ile ilgili birçok çalışma olmasına rağmen, *Tapes philippinarium*'un dondurularak kurutulması ile ilgili literatürde bilgi bulunmamaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada İstanbul'da yerel bir marketten dondurulmuş halde alınan kum midyelerinin, farklı ön işlemlerden geçirilerek dondurarak kurutulması ve ön işlemlerin kurutma hızına etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, deneysel veriler ışığında, kum midyesinin kuruma hızı eğrileri çizilmiştir. Çizilen grafikler kullanılarak, uygulanan her ön işlem için efektif difüzyon katsayıları hesaplanmıştır. Literatürden seçilen modeller ile matematiksel modellemeler yapılmıştır. Çalışmada Aghbashlo vd., Alibas, Midilli ve Kucuk, İki Terimli, Henderson, Jena ve Das, Lewis, Page, Parabolic, Verma, Wang ve Singh matematiksel modelleri kullanılmıştır. Modellerin performansı için, deneysel nem oranı ile tahmini nem oranı arasındaki ilişki için regresyon katsayısı (R^2), khi-kare (χ^2) ve ortalama hata kareleri kökü (RMSE) hesaplanarak belirlenmiştir. Bu şekilde kum midyesinin kuruma davranışını en iyi açıklayan matematiksel model tespit edilmiştir.

1.3 Hipotez

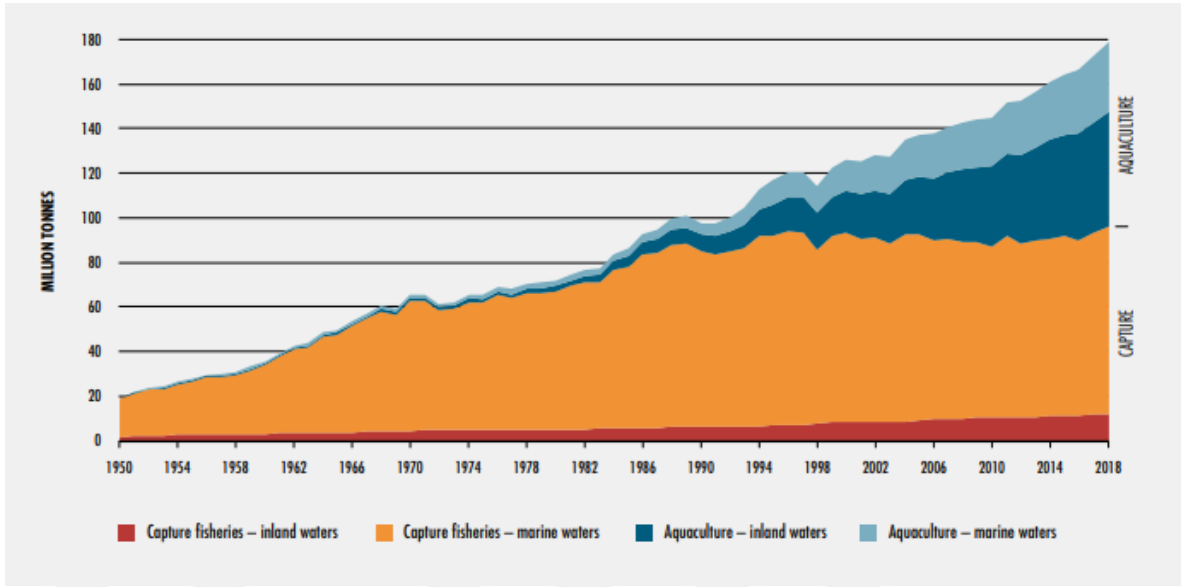
Yapılan araştırmalar sonucunda, günümüzde deniz ürünlerinin tüketiminde büyük bir artış gözlenmektedir. Bu çalışmada kum midyesinin besin değerlerini koruması amacıyla modern kurutma yöntemlerinden dondurarak kurutulması çalışılmıştır. Kum midyesi farklı ön işlemlerden geçirilmiş ve yapılan deneyler sonucunda kum midyesinin kurutma eğrileri çizilmiş, efektif difüzyon katsayıları hesaplanmış ve matematiksel modellemeleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçların, gıda sektörüne ve ileride deniz ürünlerinin kurutulması üzerine çalışacak araştırmacılara katkı sağlayacağı beklenmektedir.

DENİZ ÜRÜNLERİ

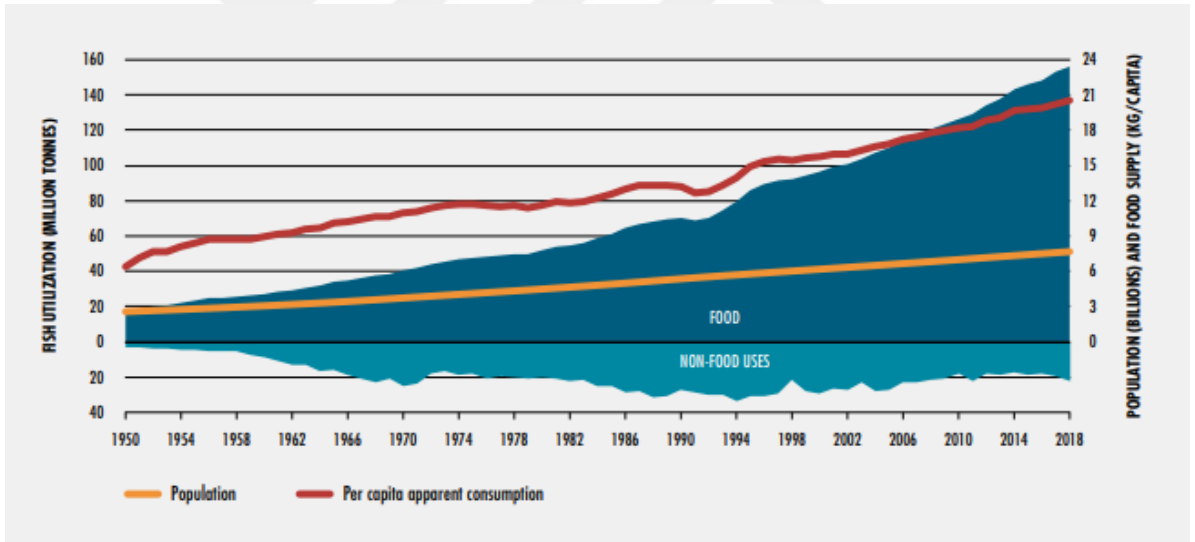
Taze su ve deniz canlıları, insanlar tarafından yiyecek olarak kabul edilir ve deniz ürünleri olarak adlandırılır. Genellikle balıklar, kabuklu ve yumuşakçaları içerir ve önemli bir protein kaynağıdır. Deniz yosunları gibi deniz bitkileri de deniz ürünlerinde bulunabilir. Balina ve yunus gibi deniz memelileri tarih öncesinden beri yenmiştir, ancak bu oran son yıllarda önemli ölçüde azalmıştır. Deniz yosunları ve mikroalgler gibi yenilebilir deniz bitkileri dünya genelinde özellikle Asya'da deniz ürünleri olarak tüketilmektedir. İnsanlar tarafından tüketilen tatlı su canlıları da "deniz ürünleri" olarak adlandırılır. Bu nedenle, tüm yenilebilir sucul canlılar deniz ürünleri olarak sınıflandırılır [12].

Deniz ürünlerinin büyük bir kısmı insanlar tarafından tüketilirken, önemli bir bölümü diğer balıkların beslenmesi veya çiftlik hayvanlarının yetiştirilmesi için balık yemi olarak kullanılır. Diğer yandan, deniz ürünleri bazen diğer bitkilerin beslenmesi için de kullanılır. Bu yaklaşımda deniz ürünlerinin kullanım amacı, dolaylı yoldan insan tüketimi için daha fazla gıda sağlamaktır. Deniz ürünleri, balık yağı ve spirulina hapları gibi ürünlerin yapımında da kullanılır [12].

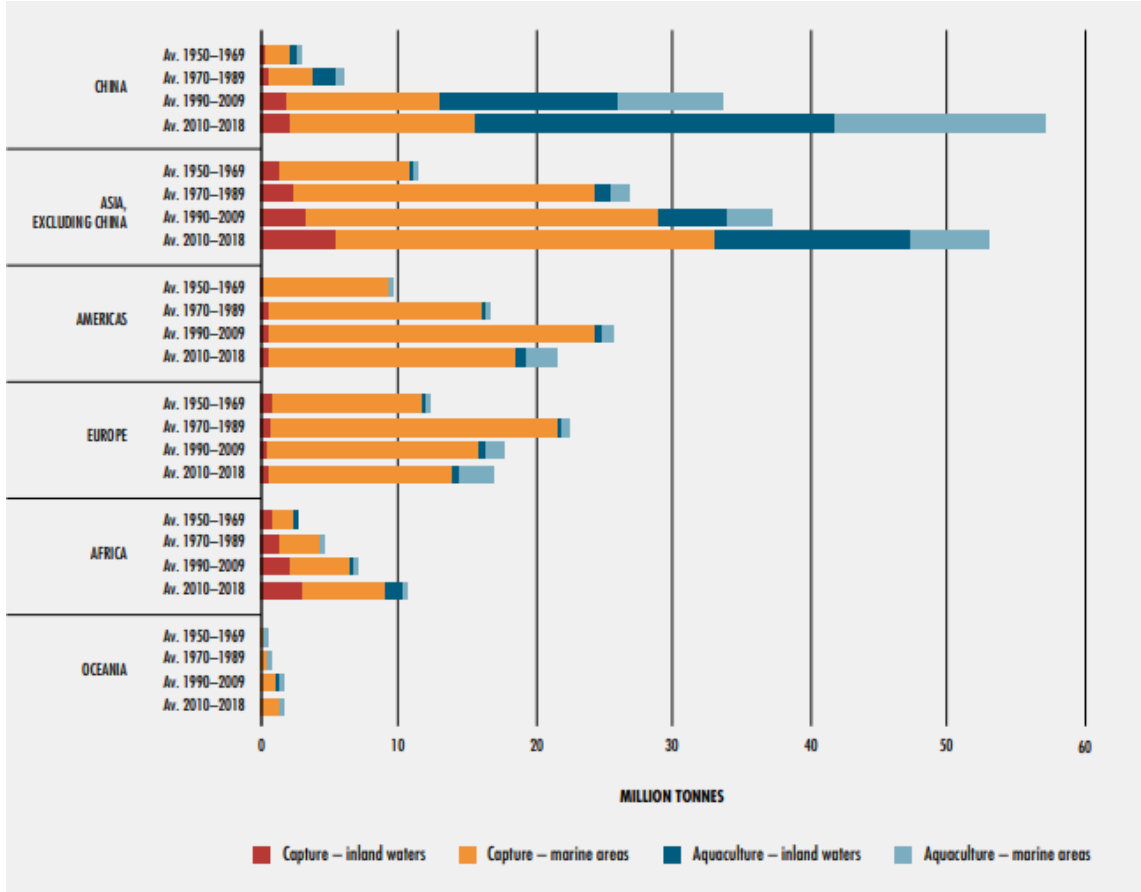
Şekil 2.1'de görüldüğü gibi 2018'deki verilere göre, küresel balık üretimi yaklaşık 179 milyon ton seviyesine ulaştı. İnsan tüketimi toplamın 156 milyon tonunu oluştururken, nüfus başına yaklaşık 20,5 kg tahmini yıllık arz sağlandı. Şekil 2.2'de görüldüğü gibi kalan 22 milyon ton, balık unu ve balık yağı üretimi gibi gıda olmayan kullanımlar için ayrıldı. Şekil 2.3'te Çin'in, 2018'de dünya balık üretiminin %35'i ile önemli bir balık üreticisi olarak konumunu koruduğu gösterilmiştir. Çin hariç, Asya toplam üretimin %34'ünü oluşturdu. Avrupa ve Amerika hariç, son birkaç on yılda tüm kıtalarda toplam balık üretimi önemli ölçüde arttı ve son 20 yılda Afrika ve Asya neredeyse iki katına çıktı [3].



Şekil 2.1 Dünya’da su ürünleri üretimi



Şekil 2.2 Görünür tüketim ve dünya balık kullanımı



Şekil 2.3 Bölgelere göre su ürünleri üretimi

Deniz ürünleri 3 ana kategoriye ayrılır: beyaz balık, yağlı balık ve kabuklu deniz hayvanları.

2.1 Beyaz Balık

"Beyaz balık" terimi, Atlantik morinası (*Gadus morhua*), lüfer (*Merluccius bilinearis*), mezgit (*Melanogrammus aeglefinus*), mezgit balığı (*Urophycis*), pollak (*Pollachius*) ve diğer türlerin yer kabuğu balıkları için kullanılır. Aynı zamanda tatlı su balıkları (*Coregonidae*) olarak da bilinir ve birkaç türü Atlantik tatlı su balıklarını kapsar.

Beyaz balıklar genellikle deniz tabanına yakın veya üzerinde yaşarlar. Beyaz balıkların daha krem rengi veya açık renkli derileri vardır ve dokularında daha az yağ bulunmaktadır. Vücutlarındaki çoğu yağ, morina karaciğer yağı gibi organlarında bulunur [13].

2.2 Yağlı Balık

Yağlı balıkların en büyük ayırt edici özelliği, yüksek miktarda omega-3 yağ asitleri içermeleridir. Omega-3 yağ asidi vücut tarafından üretilemediğinden, besinlerden alınması gereken temel bir yağ asidi olarak sınıflandırılır. Somon, uskumru, hamsi, sardalya, ringa balığı (hamsi, mezgıt ve sardalya, ringa balığının türleridir), tonbalığı ve alabalık yağlı balıkların en iyi örnekleridir [14].

2.3 Kabuklu Deniz Ürünleri

Kabuklu deniz ürünleri, çeşitli yenilebilir yumuşakçaları, kabukluları ve denizyıldızlarını içeren bir deniz ürünleri türüdür. Kabuklu deniz ürünleri, sert bir dış kabuk veya bir dış iskeleti olan bir grup omurgasız hayvan grubuna aittir. Omurgasız hayvanlarla ilişkili olarak kabuklu deniz ürünleri terimi ile ilişkilendirilen iki en yaygın grup yumuşakçalar ve kabuklulardır. Midye, istiridye, karides, midyeler ve mantar gibi birçok yumuşakçanın yanı sıra, çeşitli türlerde karides, istakoz, yengeç ve tatlısu yengeçleri gibi deniz kabukluları yaygın olarak kullanılır. Denizyıldızları, yumuşakçalar ve kabuklular kadar sık tüketilmezler. Ancak denizkestanesi yumurtaları dünyanın birçok yerinde hala oldukça popülerdir ve deniz salyangozları (kabuksuz denizyıldızı) Asya'da bir yiyecek olarak toplanır. Bunlar genellikle kabuklu deniz ürünleri olarak adlandırılırlar. Yumuşakçaların çoğu, balık gibi, nem ve protein içeriği bakımından benzerdir. İstiridye, ahtapot, midye, salyangoz ve tatlı su yengeçleri % 80'in üzerinde nem içeriğine sahiptir. İstiridye ve midyelerin protein içeriği ise %10'un altındadır. Kabukluların ve yumuşakçaların yağ içeriği, diğer kaslı gıdalardan daha düşüktür ve %0,4 ile %2,4 arasında değişir. Bu hayvanların çoğunun yüksek bir karbonhidrat içeriği vardır [15].

YUMUŞAKÇALAR

Mollusca, en az 50.000 canlı türüyle (ve muhtemelen yaklaşık 200.000) gezegendeki en çeşitli hayvan gruplarından biridir. Salyangoz, ahtapot, kalamar, istiridye, deniz tarağı ve kiton gibi organizmaları içerir. Yumuşakçalar, tipik olarak bir "kafa" ve "ayak" bölgesine sahip yumuşak gövdelere sahip organizmaların bir sınıfıdır. Genellikle vücutları, salyangoz ve istiridye kabuklarında veya kiton plakalarında olduğu gibi sert bir dış iskeletle kaplıdır.

Dünyadaki hemen hemen her ekosistemin bir parçası olan yumuşakçalar, birçok ekolojik topluluğun son derece önemli üyeleridir. Karasal dağ zirvelerinden derin denizin sıcak menfezlerine ve soğuk sızıntılarına kadar dağılım gösterirler ve boyutları 20 metre uzunluğundaki dev kalamardan kum taneleri arasında yaşayan bir milimetre veya daha kısa olan mikroskobik aplacophoranlara kadar değişir [16].

3.1 Monoplacophora

Monoplacophora (*Tryblidia*), birçok fosil taksonunu içerirken, sadece 30'dan az türü bilinmektedir. Bunlar 1 ila 40 mm uzunluğunda ve yaklaşık 200 m ila 7000 m derinlikte yaşarlar. Emici benzeri ayak, solungaçlarla çevrili manto kenarı, ağız aleti ve beslenme şekli, kitonlarınkine benzer [17].

3.2 Bivalvia

Gastropodların ardından ikinci en çeşitli yumuşakça grubu olan çift kabuklular, çoğu deniz ve tatlı su ekosisteminin en önemli üyelerinden biridir. Aslında, okyanusların en derin derinliklerinden arka bahçenizdeki akarsulara kadar bulunan 10.000'den fazla tanımlanmış çift kabuklu türü vardır.

Çift kabuklular, iki yarıya bölünmüş kabukları ile kolayca tanınırlar. Tortunun içine girebilir veya okyanus tabanında yaşayabilirler. Hatta bazıları yüzmek için kabuklarını açıp kapatarak suda hareket edebilir. Döllenme genellikle harici olarak gerçekleşir.

Protobranchia;

Protobranch'lar çoğunlukla küçük boyutlu çift kabuklulardır. Diğer çift kabuklulardan farklıdır, çünkü büyük dudak palpları birikinti beslemede kullanılır ve solungaçları yalnızca solunum için kullanılır (çoğu çift kabuklu solungaçlarını filtre beslemesi için kullanır). Bu grup tamamen denizel ve bazı familyalarda kabuğun içi sedeflidir [16].



Şekil 3.1 *Nucula proxima* [17]



Şekil 3.2 *Spondylus americanus* (Atlantik dikenli istiridye) [17]

Pteriomorpha;

Bu önemli deniz grubu, en tanınan çift kabukluların çoğunu içerir: taraklar, istiridyeler, inci istiridyeleri, midyeler ve yaylar ve ayrıca yaklaşık 18 diğer aile.



Şekil 3.3 Deniz tarağı (*Chlamys sp.*) [17]

3.3 Gastropoda

Gastropodlar hem şekil, hem alışkanlık hem de yaşam alanı bakımından en çeşitli hayvan gruplarından biridir. 62.000'den fazla tanımlanmış canlı türü ile açık ara en büyük yumuşakça grubudur ve yaşayan yumuşakçaların yaklaşık %80'ini oluştururlar. Mevcut toplam tür tahminleri 40.000 ila 100.000 arasında değişmektedir. Hem Yeni hem de fosil gastropodlar için yaklaşık 13.000 adlandırılmış cins vardır.

Gastropodlar, paleobiyolojik ve biyolojik araştırmalarda belirgin bir şekilde yer almış ve sayısız evrimsel, biyomekanik, ekolojik, fizyolojik ve davranışsal araştırmalarda çalışma organizmaları olarak hizmet etmişlerdir.

Boyut, vücut ve kabuk morfolojisi ve alışkanlıkları bakımından son derece çeşitlidirler ve tüm yumuşakçalar arasında en geniş ekolojik niş yelpazesini işgal ederler, karayı işgal eden tek grupturlar [17].



Şekil 3.4 *Partula taeniata*, bir ağaç salyangozu [17]

3.4 Cephalopoda

Kafadanbacaklılar, yumuşakçaların en zekisi, en hareketlisi ve en büyüğüdür. Kalamar, ahtapotlar, mürekkepbalığı, avlanma, hareket, kılık değiştirme ve iletişim için uyarlamalar ile boyut ve yaşam tarzı açısından dikkate değer bir çeşitlilik gösterir. Bu "zeki" omurgasızlar, emici dokunaçlar, kamera benzeri gözler, renk değiştiren deri ve karmaşık öğrenme davranışları geliştirmiştir [18].



Şekil 3.5 Ahtapot digneti [18]

3.5 Aplacophora

Aplacophora, kabuklarının olmaması ve solucan benzeri görünümüyle karakterize edilen nispeten küçük bir yumuşakça grubudur. Mantoları, bir kabuk yerine, onlara güzel bir parlaklık veren küçük kalkerli spiküller salgılar. Bu münhasıran deniz yumuşakçalarının sadece yaklaşık 320 türü vardır [16].



Şekil 3.6 Chaetoderma elegans [16]

KURUTMA

Geleneksel olarak bilimsel literatürde, kurutma sıvı bileşenlerin katı, yarı-katı veya sıvı malzemelerden uzaklaştırılması için uygulanan bir işlem olarak kabul edilir. Kurutma işlemi genellikle ürünlerin son ambalajlama ve satış öncesindeki üretim aşamasında kullanılır. Kurutma işlemi doğal olarak oldukça karmaşıktır ve malzemelerin kurutulmasını sağlamak için kullanılan ısı ve kütle transferini içerir [19].

Kurutma, farklı endüstrilerde kullanılan önemli bir işlemdir. Örneğin, tarım sektöründe yiyecek ürünlerinin işlenmesinde yaygın şekilde kullanılır. Kurutma sonucunda, bu ürünlerdeki su çıkarılır ve gerçekleşen işlemler sonucu, su bileşenlerinden arındırılmış kurutulmuş şeritler, tozlar veya diğer malzemeler oluşur. Bu işlemlerin temel amacı, ilgili yiyecek ürünleri için daha uzun depolama süresini sağlamak, taşıma sürecini optimize etmek vb. gibi faydalar sağlamaktır. Tarım sektöründe uygulanan kurutma işlemleri, sağlık ve gıda koruması açısından da çok önemlidir çünkü çeşitli mikropların ürünlere bulaşmasını önlemek için güçlü bir antibakteriyel kalkan oluştururlar. Son olarak, kurutma, yiyecek ürünleri için belirli tüketim parametreleri sağlamak için kullanılabilir, örneğin özel bir dokuya sahip oluşturmak için. Gıda dışı endüstrilerde, kurutma, istenen sonucu elde etmek için vazgeçilmez endüstriyel üretim süreçlerinin bir parçası olarak gereklidir. Örneğin, ahşap işleme konusunda konuşulduğunda, odunun kurutulması sonraki tüm işlemler için gereklidir. Kurutma, kimya ve petrokimya endüstrilerinde de yaygın olarak kullanılır, burada belirli organik bileşiklerin dehidrasyonu, kullanılabilir kimyasal ajanlar elde etmek için gereklidir. Endüstriyel üretimde kurutma işleminin önemli bir avantajı, ürünlerin son hacmini ve kütlesini azaltmaya yardımcı olmasıdır. Son olarak, kurutma, anti-patojenik koruma sağlamak için atık su sistemlerinde yaygın olarak kullanılan hizmetler sektörü için de önemli bir işlemdir [19]. Gıda ve tarımsal ürünleri korumanın yaygın bir yolu, nemin buharlaşması ve numune ile çevre arasında eş zamanlı olarak ısı ve kütle transferinin gerçekleştiği kurutma işlemidir. Kurutma ayrıca gıda ürünlerinin ağırlığını ve hacmini azaltır, bu da ambalajlama, depolama ve taşıma maliyetlerinin düşmesine neden olur. Ayrıca kurutma sayesinde gıdaların raf ömrü uzatılır. Sıcak hava kurutma en yaygın yöntem olmasına

rağmen, mikrodalga kurutma ve kızılötesi radyasyon kurutma gibi farklı teknikler de kullanılabilir.

Kurutma işlemi, tüm gıda endüstrilerinin toplam enerji ihtiyacının %10-15'ini tükettiği için enerji yoğun bir uygulamadır. Kurutma verilerini modelleme ve tanımlama, uygun kurutma koşullarının seçilmesi için önemlidir. Bu da ekipman tasarımı, optimizasyon ve gıda kalitesinin iyileştirilmesi açısından önemlidir. İnce tabaka kurutma, doğru bir model seçmek için temel bir araç olabilir ve sonuç olarak toplam enerji ihtiyacını azaltabilir [25].

Gıdaların ince tabaka kurutması, uygun matematiksel model veya modeller kullanarak nem oranı (MR) ve zaman (t) verilerini tanımlamaya dayanır. Bu amaçla birçok farklı model kullanılmıştır. Ancak, genellikle modellerin karşılaştırılması, performans ölçütü olan belirlilik katsayısı (R^2) üzerinde yoğunlaşırken, model parametrelerinin belirsizlikleri nadiren parametre değerleriyle birlikte verilir. Bunlar, parametre değerleri kadar önemlidir ve belirsizlikler atlanırsa parametre tahminleri yorumlanamaz. Bu, ince tabaka kurutma modelleme çalışmalarında genellikle böyledir [20].

Kurutma genellikle malzemeden nispeten küçük miktarlarda suyun uzaklaştırılmasını ifade eder. Buharlaştırma ise, suyun kaynama noktasında buhar olarak uzaklaştırılmasıyla malzemeden nispeten büyük miktarlarda suyun uzaklaştırılmasını ifade eder. Kurutma sırasında, su genellikle hava ile birlikte buhar olarak uzaklaştırılır.

Bazı durumlarda, katı malzemelerden su mekanik olarak filtre presleri, santrifüjleme ve diğer mekanik yöntemlerle uzaklaştırılabilir. Özellikle suyun uzaklaştırılması için, bu termal yöntemlerle kurutmadan daha ucuzdur. Son kurutulmuş ürünün nem içeriği ürünün tipine göre değişir. Kurutulmuş tuz yaklaşık %0,5 su, kömür yaklaşık %4 ve birçok gıda ürünü yaklaşık %5 su içerir. Kurutma genellikle paketlemeden önceki son işleme adımıdır ve sabun tozları ve boyar maddeler gibi birçok malzeme daha uygun hale getirir.

Biolojik malzemelerin ve özellikle gıdaların kurutulması veya dehidrasyonu, bir koruma teknik olarak kullanılır. Gıda bozulmasına ve çürümeye neden olan mikroorganizmalar, su olmadan büyüyüp çoğalamazlar. Ayrıca, gıda ve diğer biyolojik malzemelerde kimyasal değişikliklere neden olan birçok enzim su olmadan işlev göremez. Su içeriği yaklaşık %10'un altına indiğinde mikroorganizmalar etkin değildir. Ancak, lezzet ve

besin değerini korumak için gıdalarda nem içeriği genellikle %5'in altına düşürülmelidir. Kurutulmuş gıdalar uzun süre saklanabilir [21].

4.1 Kurutma Yöntemleri

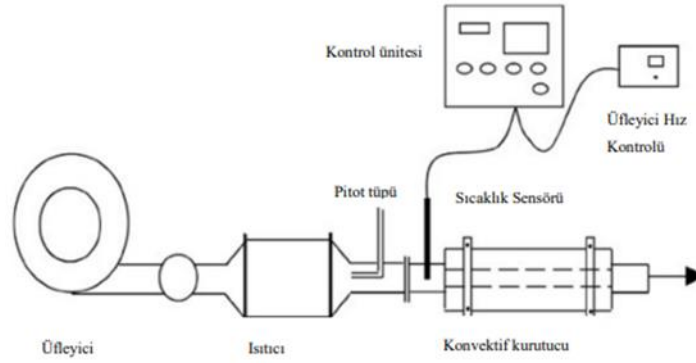
4.1.1 Doğal Hava ile Kurutma

Bu kurutma yönteminde, ilgili malzemeler fanlar aracılığıyla zorlanmış ısısız havayla işlem görür ve bu nedenle doğal işlem gerçekleşir. Bu yöntemin ana avantajı, malzemenin üzerinde doğrudan etkisi olmamasıdır, özellikle meyve ve sebze gibi tarım sektöründe yüksek tüketim değerini korumaya yardımcı olduğu için önemlidir. Ancak, bu yöntemin önemli bir dezavantajı, bugünün çoğu endüstriyel sektörde maliyet etkin olmayabilecek kadar çok yavaş olmasıdır, çünkü zaman her üretim dalında en temel maliyet etkinliği faktörlerinden biridir. Ayrıca, doğal hava kurutma işlemi tamamen yağış düzeyi, rüzgar koşulları gibi dış ortam koşullarına bağımlıdır. Bu nedenle, doğal kurutmanın etkililiğini maksimize etmek için, hava sıcaklığı, nem, nem içeriği, malzeme sıcaklığı vb. mevcut değerlere yönelik topraklı hesaplamalar yapılması ve dış çevre koşullarına göre olası değişimlerin hesaba katılması gerekmektedir. Bu yöntem, özellikle uzun süreli depolama sırasında bazı tahıl üretim tesislerinde kullanılmakta olup, zaman harcamalarını azaltmak için hızlı kurutma için harcanacak olan fonların tasarruf edilmesini sağlar [18].

4.1.2 Sıcak Hava Konvektif Kurutma

Gıdaların kurutulması için kullanılan sıcak hava yöntemleri oldukça çeşitlidir ve büyük önem taşımaktadır. Hava, yüksek mevcudiyeti ve nem doygunluğu kapasitesi nedeniyle şüphesiz en çok kullanılan kurutma akışkanıdır. Bu yöntemler, tepsilerle donatılmış odalarda veya konveyör bantlarıyla donatılmış tünellerde kurutma, döner tamburlu kurutucularda veya akışkan yataklı kurutucularda kurutma gibi çeşitli şekillerde uygulanabilir. Sıcak hava kurutma, gıdaların korunması için hala yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir ancak son ürün kalitesini olumsuz etkiler. Konveksiyonel kurutma, özellikle meyve ve sebzeler gibi termal olarak hassas malzemeler için çekme, renk değişikliği ve besin kaybı gibi oldukça yıkıcı bir işlem olarak kabul edilir. Ayrıca, sıcak hava kurutma genellikle uzun süreli ve enerji tüketen bir işlemdir. Konveksiyonel kurutmanın bu zararlı etkilerini en aza indirmenin önerilen yollarından biri, farklı enerji kaynaklarının birleştirilmesiyle enerjinin alternatif olarak sağlandığı hibrid yöntemlerin

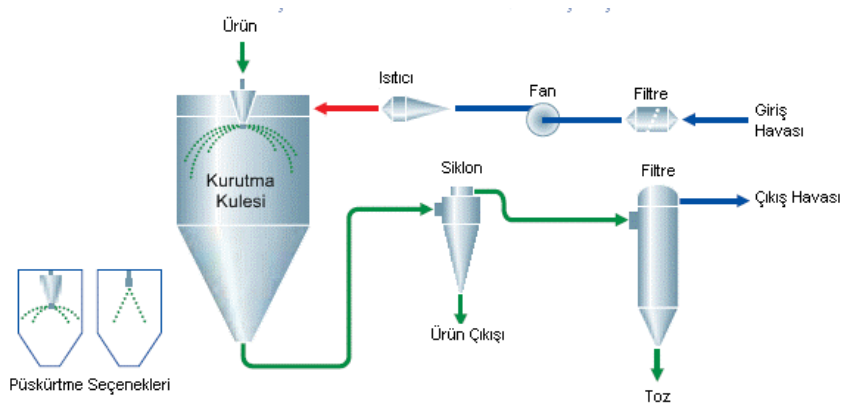
uygulanmasıdır.Örneğin, konveksiyon ile ultrason veya mikrodalga radyasyonunun kombinasyonu gibi [20].



Şekil 4.1 Sıcak hava kurutma şematik diyagramı[23]

4.1.3 Püskürtmeli Kurutucu

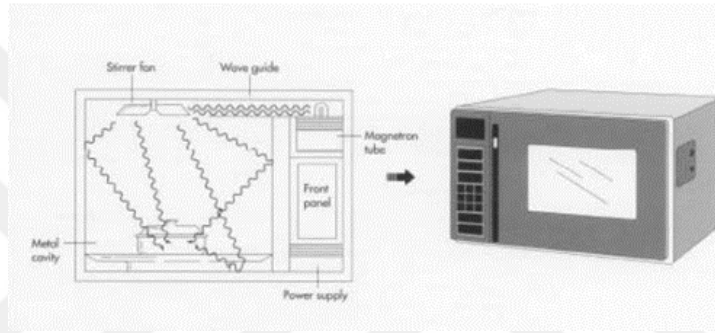
Bir püskürtmeli kurutucuda, sıvı veya çamur kıvamındaki bir çözelti, ince damlacıklar şeklindeki bir sis olarak sıcak gaz akışına püskürtülür. Su hızlıca damlacıklardan buharlaşır ve gaz akışından ayrılan kuru katı parçacıklar oluşur. Sprey odasındaki gaz ve sıvı akışı karşı akım, eş akım veya bir kombinasyonu olabilir. İnce damlacıklar, silindirik bir odada yer alan sprej nozulları veya yüksek hızlı dönen sprej diskleri tarafından sıvı beslemesinden oluşturulur. Kurutma gerçekleşmeden önce ıslak katı parçacıkların yüzeylere çarparak yapışmasını önlemek için büyük odalar kullanmak gereklidir. Kurutulmuş katılar vida konveyörü aracılığıyla odanın altından ayrılır. Egzoz gazları, herhangi bir ince tozu uzaklaştırmak için bir siklon ayırıcıdan geçer. Oluşturulan partiküller genellikle hafif ve oldukça gözeneklidir. Örneğin, süt tozu, sütün sprej kurutulmasıyla elde edilir [21].



Şekil 4.2 Püskürtmeli kurutucu şematik diyagramı [23]

4.1.4 Mikrodalga Kurutma Yöntemi

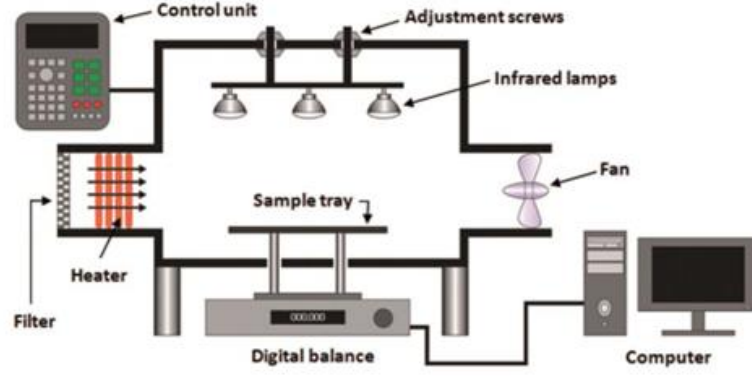
Mikrodalga kurutma yönteminde, malzeme mikrodalga enerjisi ile etkileştiğinde moleküler uyarılma yoluyla malzeme içinde ısı oluşur. Kritik bir sonraki adım ise su buharının hemen uzaklaştırılmasıdır. Su çıkarmak için basit bir teknik, malzemenin yüzeyi üzerinden hava geçirmektir, bu nedenle işlemleri birleştirerek "mikrodalga konvektif kurutma" olarak adlandırılır. Birçok durumda, mikrodalga kurutma denildiğinde, bu mikrodalga konvektif kurutmayı ima eder. Ürünün karakteristiklerine bağlı olarak, üründen geçen hava sıcaklığı kurutma süresini kısaltmak için değiştirilebilir. Ürünün sıcaklığını kontrol etmek için, ya güç yoğunluğu (watt / gram malzeme) ya da görev döngüsü (güç açık / kapalı süresi) kontrol edilmelidir [22].



Şekil 4.3 Mikrodalga kurutma şematik diyagramı [23]

4.1.5 Kızılötesi Kurutma Yöntemi

Kızılötesi kurutma işleminde, katı gıda kızılötesi ısıtma kaynağına maruz bırakılarak yüzey sıcaklığı artırılır. Çoğu katı malzemenin düşük bir ısı iletkenliği olduğundan iç kısma ısı iletim hızı oldukça yavaştır. Bu nedenle, kızılötesi radyasyonun uygulanması öncelikle gıdanın yüzey işlemi için amaçlanmıştır. Kızılötesi ısıtma, benzer koşullar altında geleneksel kurutma yöntemlerine göre birçok avantaj sunar. Karşılaştırmalı çalışmalar, kızılötesi kurutmanın diğer tekniklere kıyasla bu faydaları kanıtlamıştır. Kızılötesi radyasyon enerjisi ısıtma elemanından ürüne aktarılır, malzeme daha hızlı ve daha homojen bir şekilde ısınır ve çevredeki havayı ısıtmadan, enerji daha verimli bir şekilde kullanılır. Işınlı yüzey çok daha fazla su buharlaştırır ve kuruma süresi yarıya kadar kısaltılır. Bu avantajlar nedeniyle kızılötesi radyasyon birçok kurutma işlemi ile birlikte uygulanmıştır. Sıcak hava ön kurutma ile birleştirildiğinde, kızılötesi ısınma tek başına kıyasla %20 daha az kurutma süresi sağlayabilir [20].



Şekil 4.4 İnfrared cihazı şematik diyagramı [24]

4.1.6 Vakum Raf Kurutucular

Vakum raf kurutucular, malzemelerin hareketsiz şekilde etkili bir şekilde kurutulmasını sağlar. Bu kurutma makineleri, havaya ve ısıya hassas ürünler için en uygundur. Kurutma işlemi düşük sıcaklık değerlerinde ve vakum koşullarında gerçekleştirilebilir. Kurutma işlemi, çevresel basınç su bileşiklerinin buhar basıncının altına indirildiğinde gerçekleşir. Kurtarma özel çözücüler kullanılarak sağlanır. Bu tür çözücüler kolayca yoğunlaştırılabilir ve imha edilebilir [19].

4.1.7 Dondurarak Kurutma

"Liyofilizasyon" olarak da bilinen dondurarak kurutma, ısıya duyarlı ve bozulabilir malzemeleri korumak veya malzemeyi nakliye için daha uygun hale getirmek için esas olarak ilaç, ince kimyasal ve gıda endüstrilerinde kullanılan bir dehidrasyon işlemidir [26]. Dondurarak kurutma yöntemi çok düşük basınç altında donmuş materyalden süblimasyonla buharlaşan suyun uzaklaştırılması işlemidir. Dondurarak kurutma işlemi yavaş ve yüksek enerji gerektirmesi sebebiyle pahalı bir işlemdir. Diğer kurutma teknikleriyle karşılaştırıldığında elde edilen ürün daha kalitelidir. Dondurarak kurutulmuş maddeye tekrar su ilave edildiğinde, Büzülmüş ve gözenekli yapısı sayesinde dondurarak kurutulmuş malzemeye tekrar su ilave edildiğinde su alarak (rehidrasyon), kurumadan önceki yapısına yakın bir yapıya ulaşır [29].

4.2 Kurutma Hızına Etki Eden Etmenler

Kurutma hızına etki eden faktörler; ürünün kimyasal bileşimi, ürünün boyutları, sıcaklık, havanın hızı, havanın kuruluğu, atmosfer basıncı olarak sayılabilir. Ürünün kimyasal bileşimi kuruma boyunca değişir. Tuz, şeker gibi küçük moleküllü erimiş maddelerce zengin ürünler, bu maddeleri hiç içermeyen ürünlerden daha zor kurur.

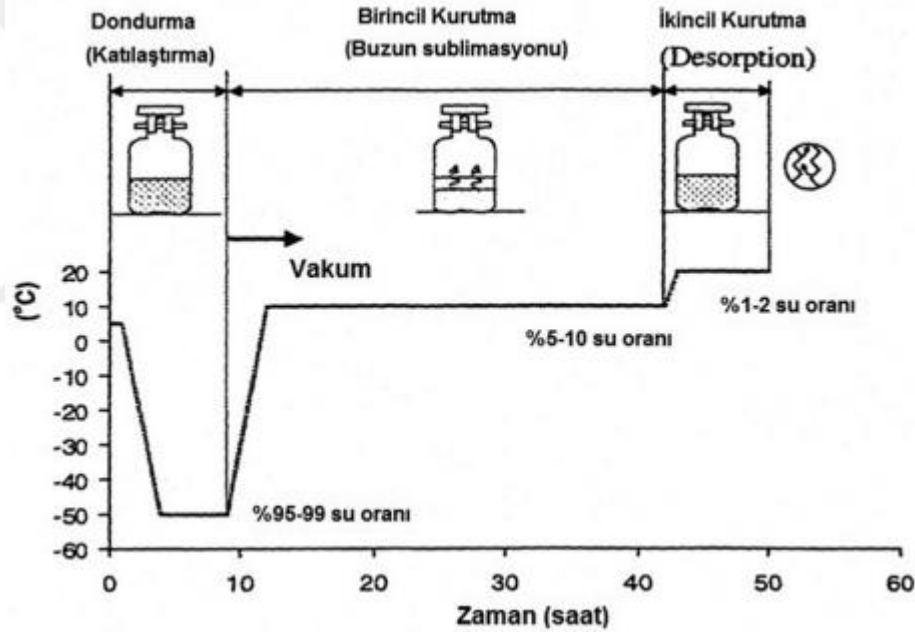
Çözünmüş maddeler suyun buhar basıncını düşürmektedir. Bu durum suyun buharlaşmasını güçleştirir. Ortamda yağ bulunması da kuruma hızını sınırlar. Nişasta ve pektince zengin maddelerin kurutulması da oldukça güçtür. Bunun nedeni nişasta, pektin ve diğer gam maddelerini oluşturan kolloidal jel içinde tutulan suyun ortamdan daha zor uzaklaşmasıdır. Glikoz içeren ürünler de geç kurur [27].

Kuruma hızı, parçacıkların yüzey alanıyla doğru, kalınlıklarıyla ters orantılıdır. Bu nedenle kurutulan parçacıklar ne kadar küçükse yüzey alanı fazla, kalınlığı az olur. Böylece kuruma hızı olumlu yönde etkilenir. Ancak kurumanın hızlandırılması amacıyla ürünün parçacıklar hâlinde kıyılması her zaman mümkün değildir. Tüketim alanı bakımından bazı ürünlerin bütün hâlde kurutulması gerektiği gibi kıyılan ürünlerde de tüketici belli bir irilik bekler. Bu nedenle doğranarak kurutulan ürünlerde parça iriliğini, tüketici isteklerini ve kuruma hızını beraberce değerlendirerek karar vermek gerekir. Kurutma ortamının sıcaklığı ve gıdanın kurutulmadan önceki sıcaklığı önemlidir. Gıdanın sıcaklığı ne kadar düşük ve kurutma sıcaklığı ne kadar yüksek olursa ısı transfer hızı o kadar etkili olur. Havadaki hareket varlığı ve bu hareketin hızlı oluşu kurutmayı olumlu yönde etkiler. Havanın nisbi nemi, aynı zamanda kurutmanın hangi seviyeye kadar yapılacağını tayin eder. Kurutulmakta olan gıdayla hava nemi arasında bir denge oluşuncaya kadar kurutma işlemi devam eder. Çevre hava basıncı düştükçe kurutma, yani buharlaşma yükselir [27].

DONDURARAK KURUTMA

5.1 Dondurarak Kurutma Methodu

Şekil 5.1’de gösterildiği gibi dondurarak kurutma prosesi üç adımdan oluşur. Birinci adım dondurma adımı, ikinci adım birincil kurutma aşaması, üçüncü adım ikincil kurutma aşamasıdır.

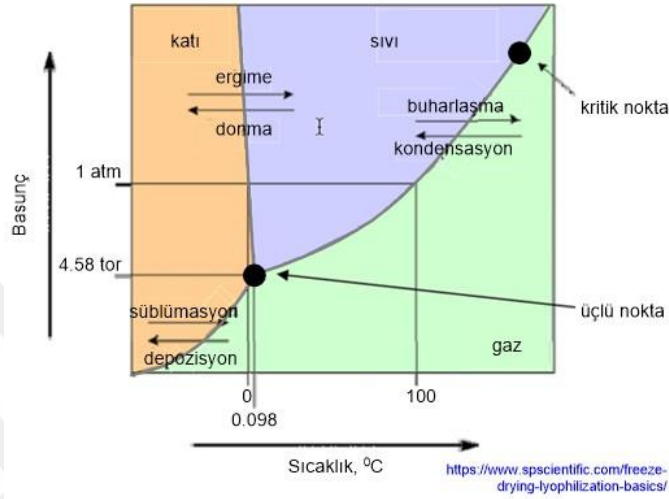


Şekil 5.1 Dondurarak kurutma adımları ve mekanizması [28]

Dondurma adımında gıda maddeleri, malzemedeki serbest suyu dondurmak için katılaşma sıcaklıklarına kadar soğutulur [28]. Soğuma ilerledikçe, su buza dönüşür ve su buza dönüştükçe çözünen maddelerden ayrılmaktadır ve bu da çözünen ürünün daha konsantre hale gelmesine sebep olmaktadır. Hızlı soğuma küçük buz kristallerinin oluşmasıyla sonuçlanır ve bu kristaller mikroskobik olarak ne kadar yoğun ise, yapıyı korumada o kadar faydalıdır [30].

Ürün tamamen donma noktasına ulaştığı anda birincil kurutma adımına geçilir. Dondurularak kurutulan malzemedeki serbest veya donmuş su, yüksek vakum altında

süblimasyon yoluyla uzaklaştırılır [28]. Dondurarak kurutma prosesinin en önemli adımı süblimasyondur. Süblimleşme, dondurarak kurutmada içerisinde genellikle su bulunan bir malzemenin katı halden direkt buhar haline geçmesi işlemidir (Şekil 5.2). Suyun süblimleşmesinin gerçekleşmesi için öncelikle suyun dondurulması gerekmektedir. Ardından çok düşük buhar basıncına tabi tutulması ile birlikte su katı halde buhar fazına geçer [31].



Şekil 5.2 Denge faz diyagramı [30]

İkincil kurutma adımı, dondurularak kurutulmuş malzemenin belirli bir miktar bağlı suyu, orta derecede yüksek vakum altında desorpsiyonla çıkarılır [28]. İkincil kurutma adımının amacı, organik ürünün dayanıklılığını ve raf ömrünün uzatmak amacıyla bağlı nemin en aza indirilmesidir [30].

Daha sonra dondurularak kurutulmuş ürün steril bir ortamda paketlenir ve paketlenen ürünün su buharı, oksijen girişi ve ışığı önleyecek şekilde kontrollü koşullarda saklanır [28].

5.2 Dondurarak Kurutmanın Uygulama Alanları

Geleneksel kurutma yöntemleriyle zor kurutulan bazı gıda maddeleri dondurarak kurutma yöntemiyle kurutulmaktadır. Bu gıda maddelerine örnek olarak, çorba, kahve ve deniz ürünleri verilebilir. Bazı ilaçların solüsyon haline bozulma ihtimalinin yüksek olması sebebiyle dondurarak kurutma ilaç endüstrisinde de kullanılmaktadır. Dondurarak kurutulmuş ilaçların biyoaktiviteleri korunmuş olur. Tarihsel dökümanlar, seramikler ve süper iletkenler de dondurarak kurutulabilirler. Biyolojik malzemeler

dondurarak kurutma ile daha uzun süre saklanabilir. Nakil edilecek organ ve dokular, kan plazması, serum, yapay deri, maya, bakteri ve virüs bu yöntemle kurutulup uzun süre saklanabilir [29].



Şekil 5.3 Dondurarak kurutulmuş meyveler [29]

5.3 Dondurarak Kurutmanın Avantajları

Dondurarak kurutmada sıcaklığı çok düşük olması ve bağıl nemin çok düşük olması sebebiyle diğer kurutma yöntemlerine kıyasla enzimatik reaksiyonları ve proteinlerin bozulması en aza indirgenir. Bu sebeple diğer kurutma yöntemlerine göre en kaliteli ürün elde edilmiş olur. Bu nedenle ısıya duyarlı ürünlerin kurutulmasında sıklıkla kullanılmaktadır. Sıcaklığın düşük olması, mikroorganizma ve bakteri oluşma olasılığını düşürdüğü için ürünün bozulması önlenmiş olur [31].

Dondurularak kurutulmuş ürüne tekrar su ilave edildiğinde (rehidrasyon), ürün suyu alarak kurutma öncesi haline gelir [32].

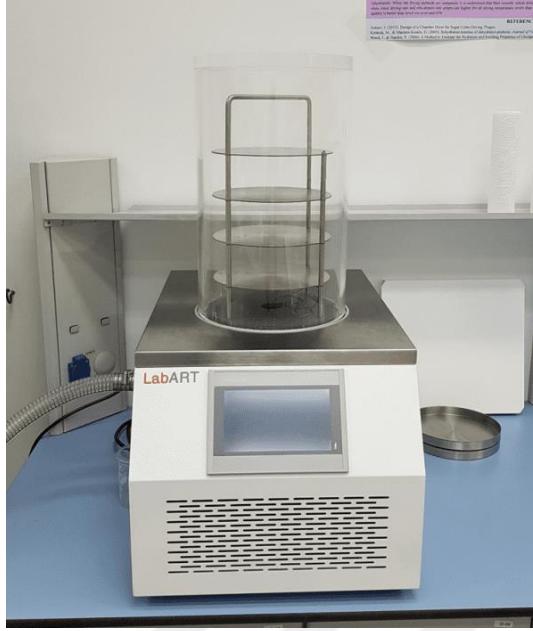
DENEYSEL ÇALIŞMA

6.1 Hammaddelerin Temini, Hazırlanması ve Kullanılan Materyaller

Bu çalışmada kullanılan *Tapes philippinarum* dondurulmuş halde 2022 yılının Mayıs ayında Türkiye, İstanbul'da yerel bir marketten alınmıştır. Midyeler, kabuklarından ayrılarak temizlenmiş, her kurutma adımında 0.0001 g (Radwag, Radom, Polonya) hassasiyete sahip bir Radwag AS 220.R2 dijital terazi kullanılarak ortalama $7,0 \pm 0,5$ g ağırlığında tartılmıştır. Daha sonra ultrasonik banyo, haşlama ve tuzlu suya daldırma ön işlemlerinden geçirilmiş ve 105°C'de KH-45 sıcak hava kurutma fırını (Kenton, Guangzhou, Çin) kullanılarak kurutulmuş nem oranları tayin edilmiştir. Ultrasonik ön işlem, 1°C hassasiyete ve 120 W ultrasonik güce (Isolab, Almanya) sahip Isolab Su Banyosu ile tamamlanmıştır. Daha sonra midyeler aynı ön işlemlerden tekrar geçirilmiş ve dondurarak kurutulmuştur. Dondurarak kurutma, Labart LFD-10N model dondurarak kurutucuda (ART Labortechnik, İstanbul, Türkiye) gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.1 KH-45 sıcak hava kurutma fırını (Kenton, Guangzhou, Çin)



Şekil 6.2 Labart LFD-10N model dondurarak kurutucu (ART Laborteknik, İstanbul, Türkiye)

6.2 Deneyin Yapılışı

Dondurulmuş halde alınan midyeler, kabuklarından temizlenmiş ve buzunun çözülmesi için beklenmiştir. Şekil 6.1’de midyelerin kabuklu ve kabuğundan temizlenmiş hali gösterilmiştir.



Şekil 6.3 a) Kabuklu kum midyesi b) Kabuğu temizlenmiş kum midyesi

Kabuklarından temizlenen midyeler, $7,0 \pm 0,5$ g ağırlığında tartılmış, ön işleminden 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 her bir ön işlem için nem oranları tayin edilmiştir.

Nem miktarları belirlendikten sonra yeni numuneler $7,0 \pm 0,5$ g olarak hazırlanmış ve liyofilizatör cihazına yerleştirilmiştir. Dondurarak kurutma sırasında her 60 dakikada bir kurutucunun vakumu kapatılmış ve numuneler 2 dakikadan kısa sürede tartılarak sonuç kaydedilmiştir. Daha sonra ürünler tekrar liyofilizatöre konularak vakum açılmıştır. Numuneler kuru ağırlıklarına ulaşana kadar dondurularak kurutulmuştur.

Tüm kurutma işlemleri sona erdiğinde numuneler, bir vakum makinesi kullanılarak paketlenmiş ve son olarak nemden korunmaları için desikatöre yerleştirilmiştir.

6.3 Difüzyon Katsayısının Bulunması

Gıdaların kuruması difüzyonun bir fonksiyonu olarak gerçekleşir ve çoğu durumda difüzyon düşen hız periyodunda gerçekleşir [33]. Düşen hız periyodunda Fick’in ikinci yasasını açıklamak için kullanılan birkaç matematiksel model vardır ve aşağıdaki Denklem 6.1’de gösterilmektedir :

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \nabla [D_{eff}(\nabla M)] \quad (6.1)$$

Kararsız durum difüzyon denkleminin Fick’in ikinci yasası, nem oranını bulmanın bir yolu olarak kullanılabilir. Kütle transferinin sadece difüzyonla gerçekleştiği varsayımıyla, difüzyon katsayısı sabittir ve büzülme ihmal edilebilir düzeydedir, bu nedenle kararsız ince tabaka difüzyonunda kurutma işlemi aşağıdaki Denklem 6.2’de gösterildiği gibi verilebilir:

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} e^{(-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2})} \quad (6.2)$$

burada D_{eff} efektif difüzyon katsayısı (m^2/s), t zaman (s), L numunelerin yarı çapı (m) ve n pozitif bir tam sayıdır. Denklem 6.2 daha uzun kuruma süreleri için, Denklem 6.3’deki gibi basitleştirilebilir.

$$MR = \frac{8}{\pi^2} e^{(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2})} \quad (6.3)$$

Denklem 6.3'ün logaritması alınarak yeniden düzenlendiğinde Denklem 6.4'deki gibi doğrusal bir fonksiyon olarak tanımlanabilir.

$$\ln(MR) = \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (6.4)$$

D_{eff} , $\ln(MR)$ 'nin t 'ye karşı eğiminden hesaplanır.

6.4 Kurutma Eğrilerinin Modellenmesi

Kurutma prosesi ilerledikçe numunedeki nem içeriği azalır. Maddenin iç kısımlarındaki suyun yüzeye hareketi difüzyon ile gerçekleştirilir. Nem, buharlaşma yoluyla ortama kütle olarak aktarılır. Bu difüzyon mekanizması, Fick'in ikinci difüzyon yasası ile tanımlanır. Kurutma prosesinde nem içeriği ve nem oranı hesaplamaları aşağıdaki denklemler (6.5), (6.6) ve (6.7) ile yapılır.

$$M = m_w / m_d \quad (6.5)$$

burada nem içeriği (M), malzemedeki su içeriğinin (kg), kuru madde içeriğine (kg) oranı ile hesaplanır.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} \quad (6.6)$$

burada M_t belirli bir zamandaki nem içeriği, M_e dangedeki nem içeriği ve M_i malzemenin başlangıçtaki nem içeriğidir. M_e değeri, M_t ve M_i 'ye göre çok küçük olduğu için, nem oranı hesaplamalarında basitleştirilmiş denklem (6.3) denklemi kullanılır.

$$MR = \frac{M_t}{M_i} \quad (6.7)$$

6.5 Matematiksel Modelleme

En uygun kurutma modelini belirlemek için, doğrusal olmayan regresyon yöntemi ile Statistica yazılımı kullanıldı. Tablo 6.1’de bu çalışmada kullanılan modeller ve formülleri belirtilmiştir.

Tablo 6.1’de belirtilen a, b, c, n ve g, her bir denklem için ayrı ayrı tanımlanan kurutma üs katsayılarıdır: k, k₁ ve k₂, 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.	$MR = \exp (-k_1 t / (1 + k_2 t))$ [34]
Alibas	$MR = a.\exp ((-kt^n) + bt) + g$ [35]
Henderson vd.	$MR = a.\exp (-kt)$ [36]
Jena ve Das	$MR = a.\exp (-kt + b\sqrt{t}) + c$ [37]
Lewis	$MR = \exp (-kt)$ [38]
Logarithmic	$MR = a.\exp (-kt) + c$ [39]
Midilli ve Kucuk	$MR = a.\exp (-kt^n) + bt$ [40]
Page	$MR = \exp (-kt^n)$ [41]
Parabolic	$MR = a + bt + c r^2$ [42]
Verma et al.	$MR = a.\exp (-kt) + (1 - a).\exp (-gt)$ [43]
Wang ve Singh	$MR = \exp (-(t/b)^a)$ [44]
Modified Page	$MR = a. \exp (-(kt^n))$ [45]
İki Terimli	$MR = a. \exp (k_0 t) + b. \exp (k_1 t)$ [46]

En uygun modeli bulmak için, determinasyon katsayısını (R^2), ortalama hata kareleri kökü (RMSE) ve ki-kare (χ^2) istatistiği kullanılır. Verilen modeller için gerekli parametreler, Statistica (Statistica, 2016) ile doğrusal olmayan regresyon yöntemi kullanılarak tahmin edilmektedir. Bu yöntemler için denklemler aşağıda sırasıyla (6.8), (6.9) ve (6.10) denklemlerinde verilmiştir.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{\sum_{i=1}^n \left(MR_{exp,i} - \left(\frac{1}{n} \right) MR_{exp,i} \right)^2} \quad (6.8)$$

$$RMSE = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2 \right)^{1/2} \quad (6.9)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{n - z} \quad (6.10)$$

burada MR_{exp} deneysel nem oranı değerleri, MR_{pre} tahmin edilen nem oranı değerleri, n deneylerin toplam sayısı ve z verilen modeldeki sabitlerin sayısıdır.

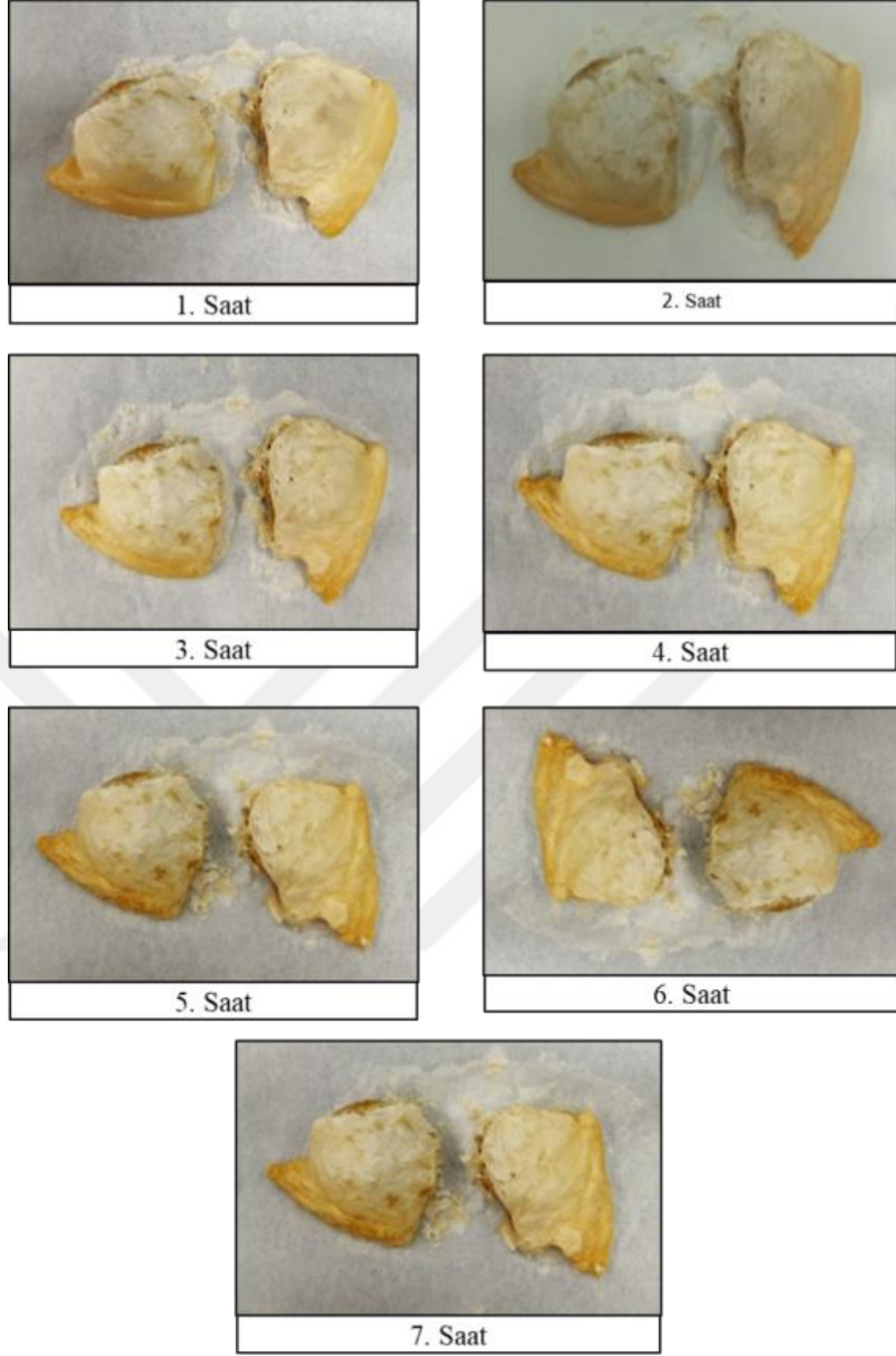
En uygun model seçiminde R^2 değerlerinin 1'e, RMSE ve χ^2 değerlerinin ise 0'a yakın olması beklenir.

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

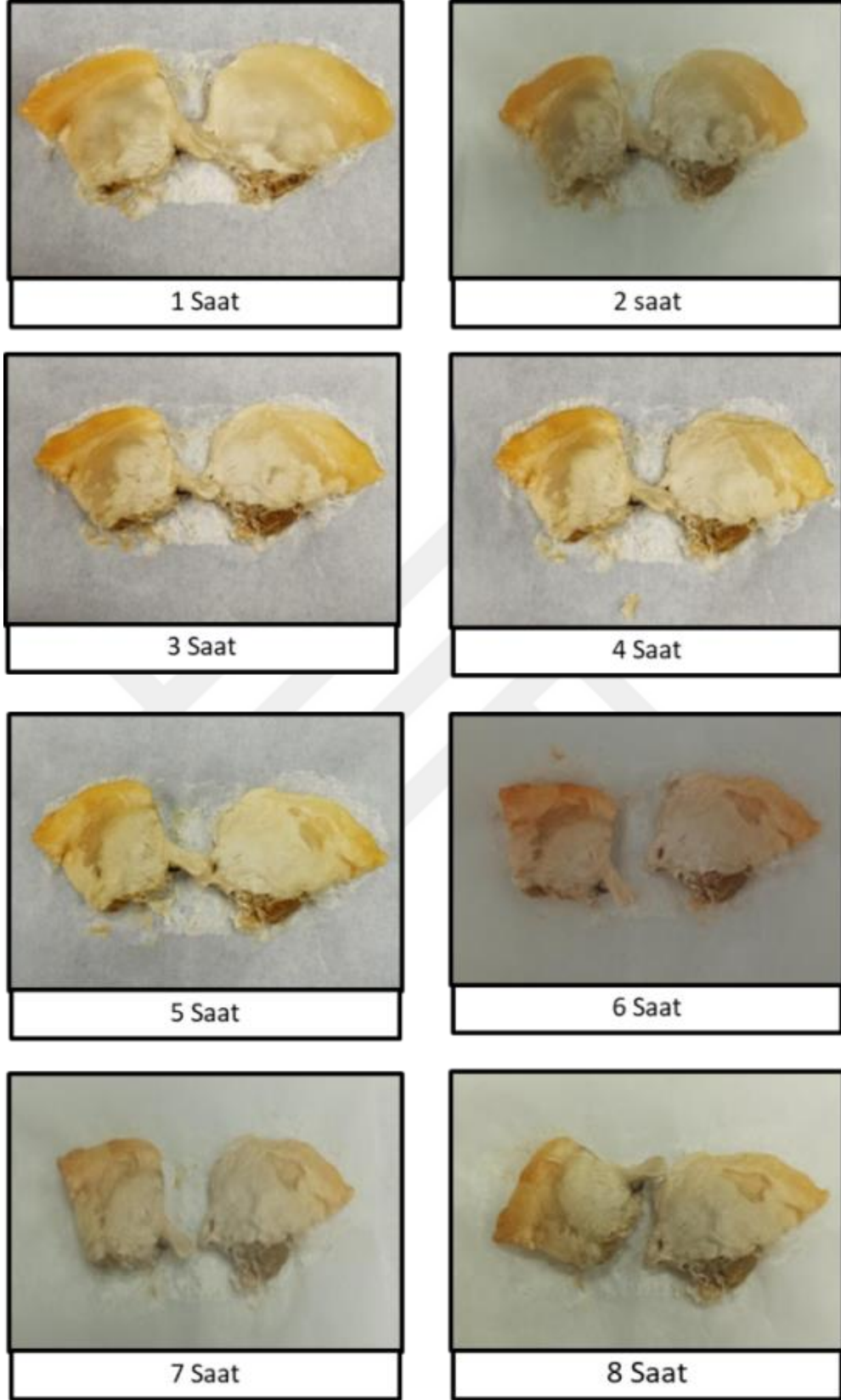
Bu bölümde, deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve karşılaştırılması Statistica 8.0 (StatSoft, Tulsa, ABD) ve Excel 2016 (Microsoft, California, ABD) temel alınarak ele alınmaktadır. Ultrasonik banyo, haşlama ve tuzlu suya daldırma ön işlemlerinin, dondurarak kurutma prosesindeki kurutma hızı ve efektif nem difüzyonuna etkisi grafiksel olarak gösterilmiştir. Ek olarak, her bir deney seti için çeşitli matematiksel modellemelere ait sabitler, regresyon faktörleri, ortalama karekök hatası ve ki-kare sayısı bulunmuştur. Son olarak, en uygun sonuçlara sahip matematiksel modellerin doğruluk grafiği görsel olarak verilmiştir.

7.1 Kurutma Anında Kum Midyesinin Zamanla Değişimi

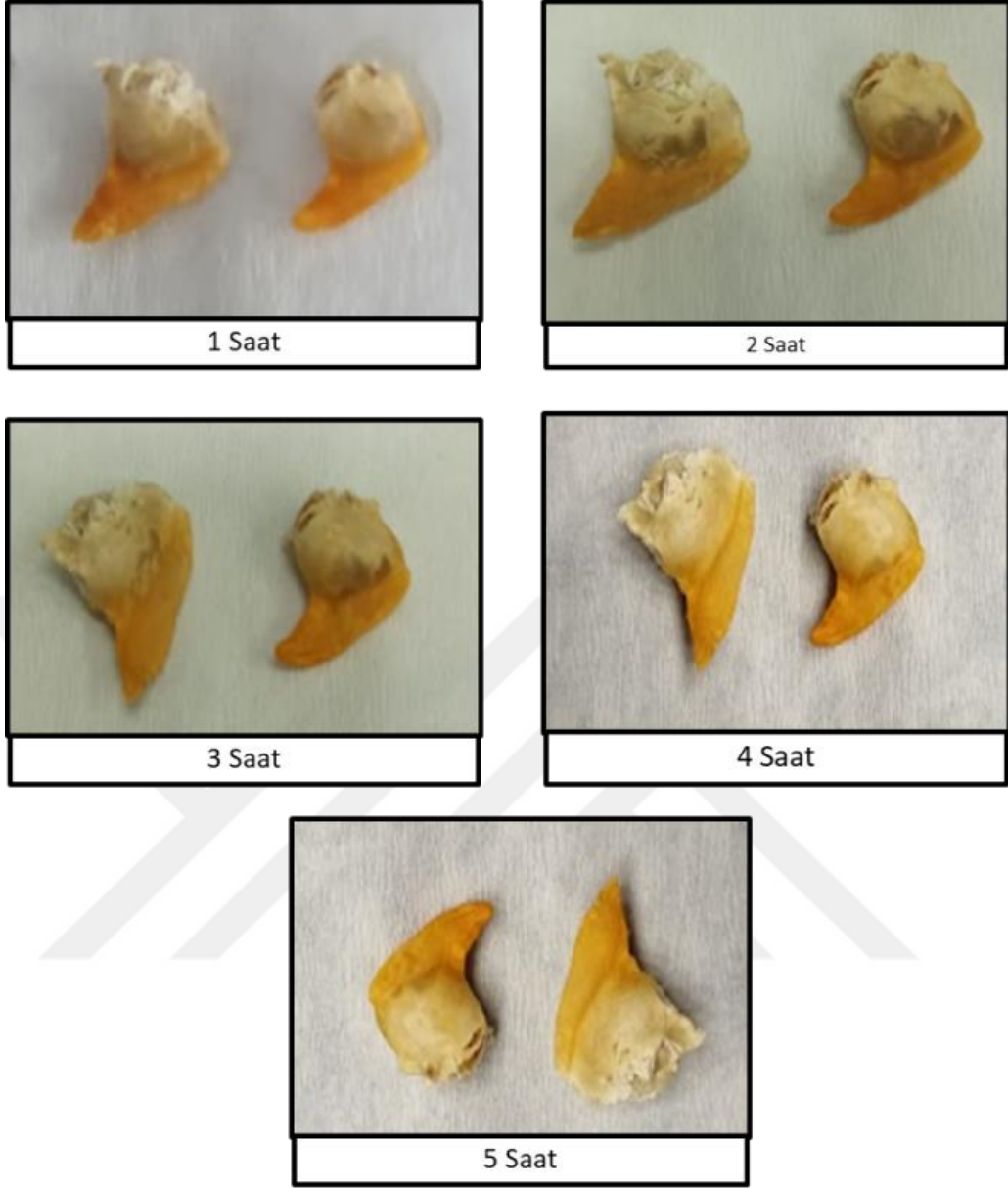
Ön işlem görmemiş numunenin dondurarak kurutma esnasında zamana bağlı değişimi Şekil 7.1'dedir. Şekil 7.2'de ultrasonic banyo 1 dk ön işleminden geçirilmiş kum midyesinin zamana bağlı değişimi gösterilmiştir. 1 dk haşlama ön işleminden geçirilmiş numunenin zamana bağlı değişimi Şekil 7.3'te, %10 tuz ile 5 dakika tuzlu suya daldırma ön işlemleri numunenin zamana bağlı değişimi Şekil 7.4'te gösterilmiştir.



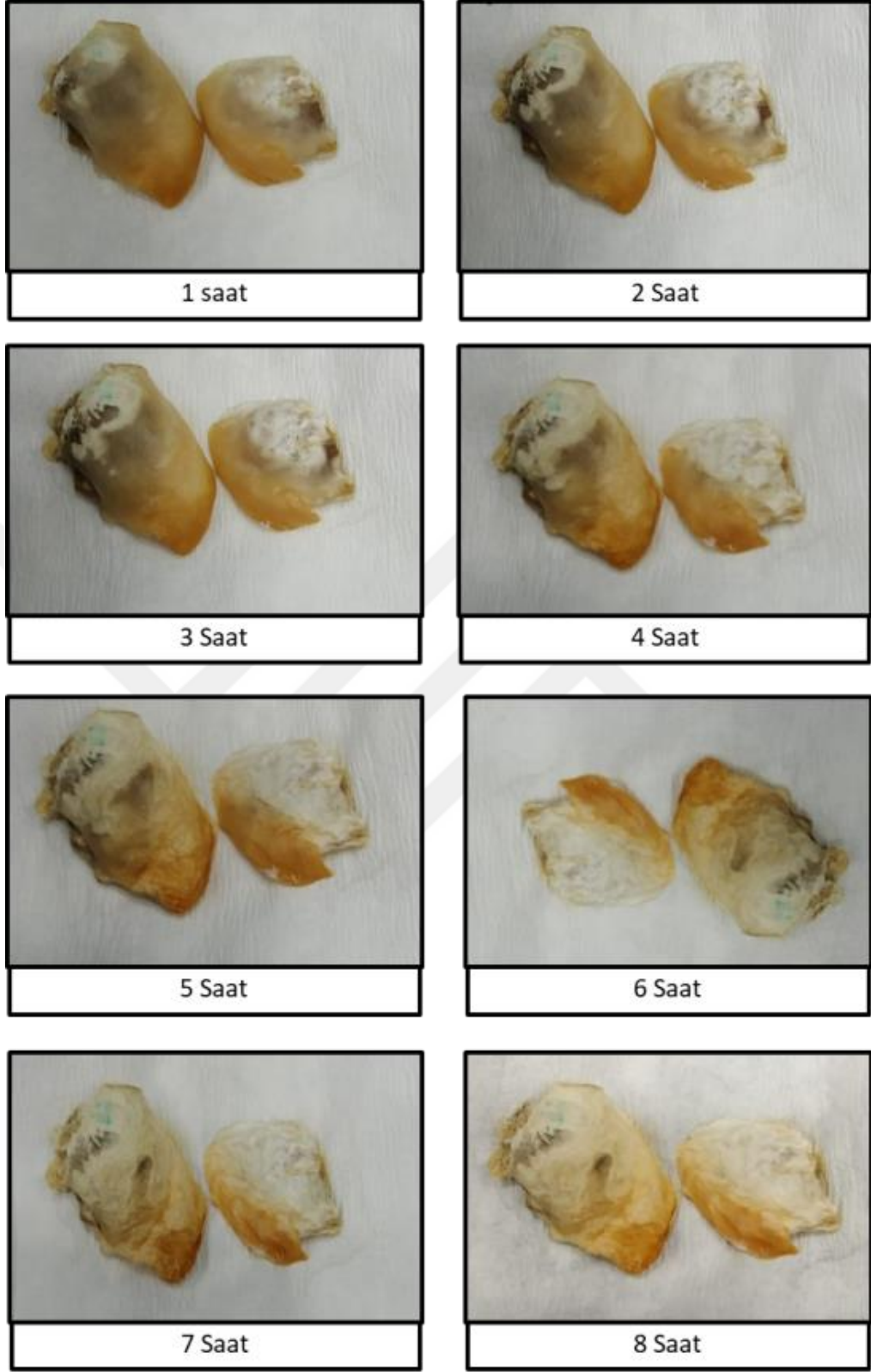
Şekil 7.1 Ön işlem görmemiş numunenin değişimi



Şekil 7.2 US 1 dakika ön işlemlili numunenin değişimi



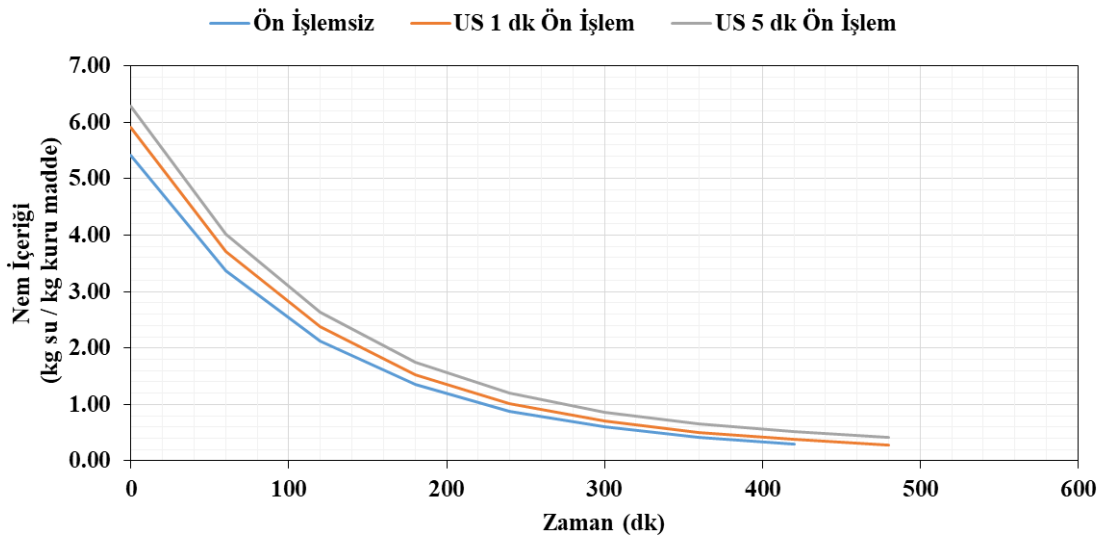
Şekil 7.3 Haşlama 1 dakika ön işlemlili numunenin değişimi



Şekil 7.4 %10 tuz ile 5 dakika tuzlu suya daldırma ön işleminden geçirilmiş numunenin değişimi

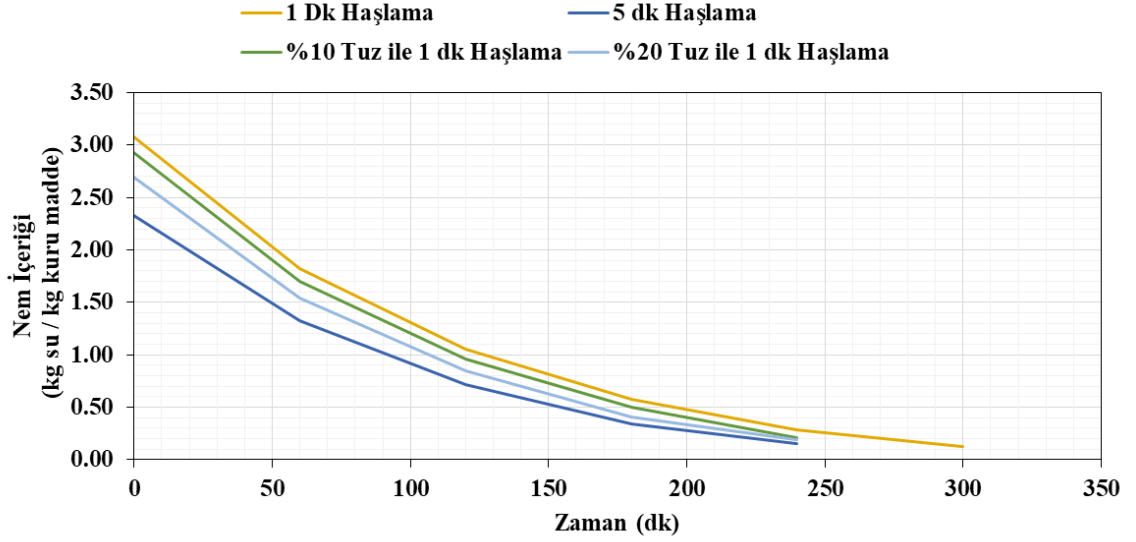
7.2 Kurutma Eğrileri

Nem içeriğinin zamana bağlı değişimini belirleyebilmek için, tüm numunelerin nem oranları tayin edilmiştir. Ön işlem görmemiş numunenin nem içeriği yaş bazda %84,42 ve 5,4180 kg su/kg kuru madde idi. Ultrasonik banyoda 1 dakika ön işleme tabi tutulan numunenin nem içeriği yaş bazda %85,53 ve 5,9114 kg su/kg kuru madde olarak bulunmuştur. Ultrasonik banyoda 5 dakika ön işleme tabi tutulan numunenin nem içeriği yaş bazda %86,27 ve 6,2821 kg su/kg kuru madde olarak bulunmuştur. Ön işlem görmemiş ve ultrasonik ön işleminden geçirilmiş numunelerin zamana bağlı nem içeriğini gösteren grafik Şekil 7.5’de gösterilmiştir.



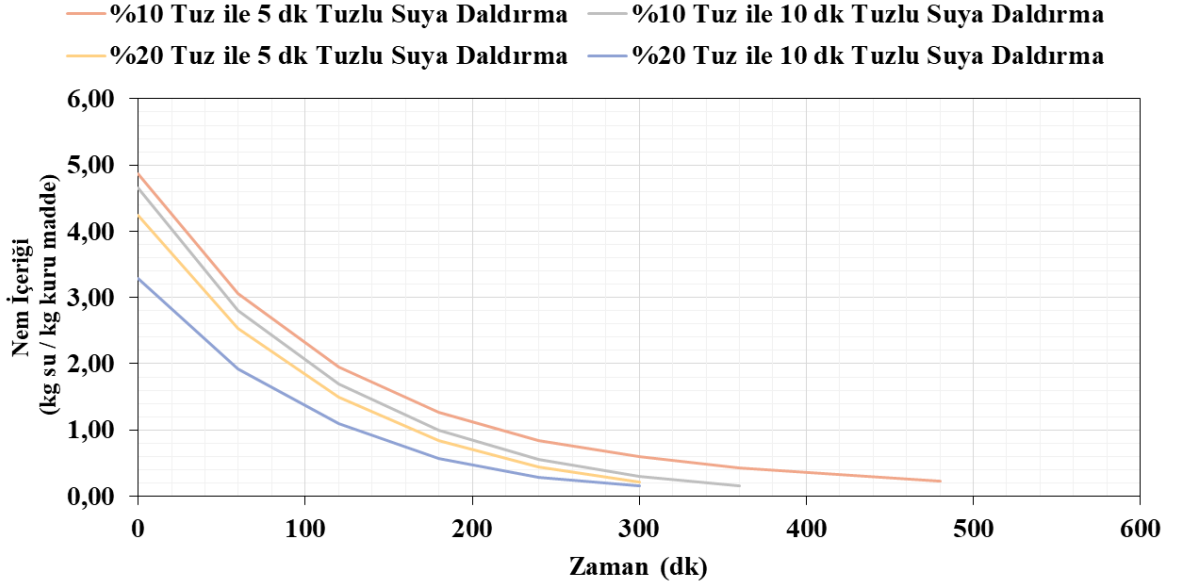
Şekil 7.5 Ön işlemsiz ve US ön işlemli numunelerin kurutma eğrisi

1 dk haşlama ön işleminden geçirilen numunenin nem içeriği yaş bazda %75,49 ve 3,0794 kg su/kg kuru madde olarak tespit edilmiştir. 5 dk haşlama ön işlemine tabi tutulan numunenin nem içeriği yaş bazda %69,92 ve 2,3242 kg su/kg kuru madde olarak bulunmuştur. %10 tuz ilave edilerek 1 dk haşlanmış numunenin nem içeriği yaş bazda %74,53 ve 2,9264 kg su/kg kuru madde olarak bulunmuştur. %20 tuz ilave edilerek 1 dk haşlanmış numunenin nem içeriği yaş bazda %72,93 ve 2,6943 kg su/kg kuru madde olarak bulunmuştur. Haşlama ve tuz ile birlikte haşlama ön işlemli numunelerin zamana bağlı nem içeriğini gösteren grafik Şekil 7.6’de gösterilmiştir.



Şekil 7.6 Haşlama ve tuz ile haşlama ön işlemleri numunelerin kurutma eğrisi

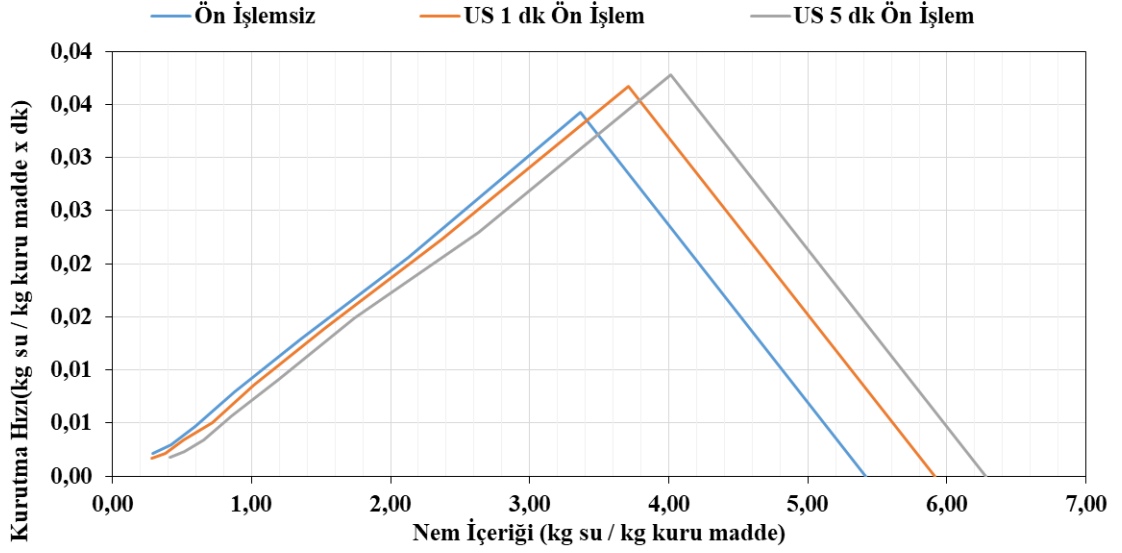
%10 tuz ile 5 dk tuzlu suya daldırma ön işleminden geçirilen numunenin nem içeriği yaş bazda %82,94 ve 4,8625 kg su/kg kuru madde olarak tespit edilmiştir. %10 tuz ile 5 dk tuzlu suya daldırılmış numunenin nem içeriği yaş bazda %82,30 ve 4,6492 kg su/kg kuru madde olarak bulunmuştur. %20 tuz ile 5 dk tuzlu suya daldırılmış numunenin nem içeriği yaş bazda %80,91 ve 4,2375 kg su/kg kuru madde olarak bulunmuştur. %20 tuz ile 10 dk tuzlu suya daldırma ön işlemine tabi tutulan numunenin nem içeriği yaş bazda %76,69 ve 3,2895 kg su/kg kuru madde olarak bulunmuştur. Tuzlu suya daldırma ön işleminden geçirilmiş numunelerin zamana bağlı nem içeriğini gösteren grafik Şekil 7.7’de gösterilmiştir.



Şekil 7.7 Tuzlu suya daldırma ön işlemlili numunelerin kurutma eğrisi

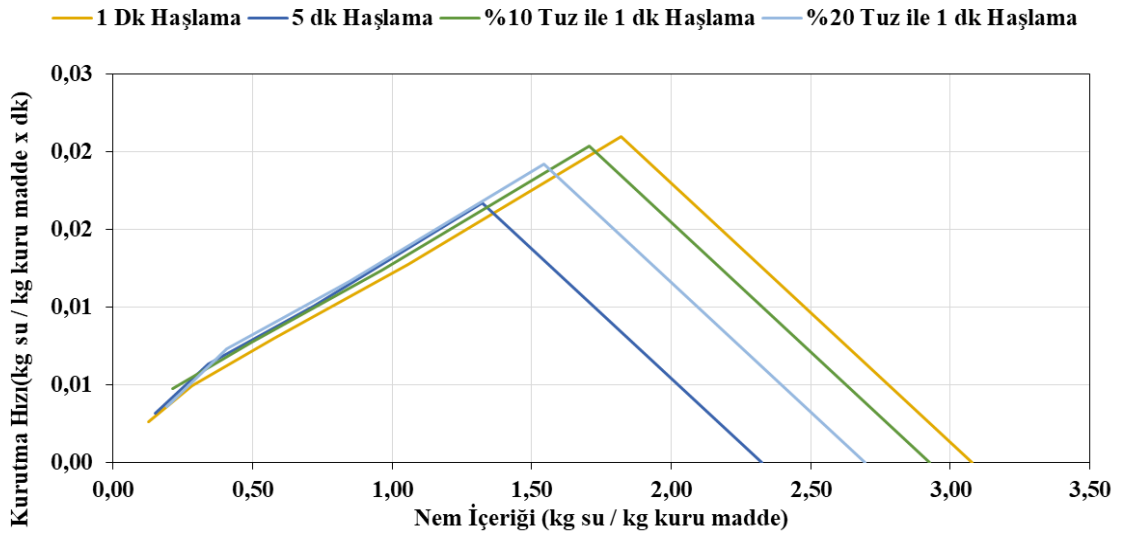
7.3 Kurutma Hızı Eğrileri

US ön işlemi uygulanmış ve uygulanmamış midye örneklerinin kuruma hızı eğrileri Şekil 7.8’ de gösterilmiştir. Ön işlem uygulanmayan numune için en yüksek kuruma hızı 0,0343 kg su/kg kuru madde.dk belirlenmiştir. US 1 dk ön işlemi uygulanan numune için en yüksek kuruma hızı 0,0367 kg su/kg kuru madde.dk olarak bulunmuştur. US 5 dk ön işlemi uygulanan numune için en yüksek kuruma hızı 0,0378 kg su/kg kuru madde.dk olarak belirlenmiştir. Numunelerin kuruma hızı eğrisinde sadece düşen hız periyodu gözlenmiştir. Ultrasonik ön işlem görmüş numunede su nemi daha yüksektir, bu nedenle çok daha fazla su emildiği görülmektedir. Ön işlem görmüş numuneler, nem içeriği daha yüksek olduğu için düşme periyoduna daha erken girmiştir. Ek olarak, ön işlem kullanımı kuruma oranlarını artırır. Ayrıca ısı ve kütle transfer hızının arttığını ve US ön işleminin daha fazla su kaybına neden olduğunu gösterir.



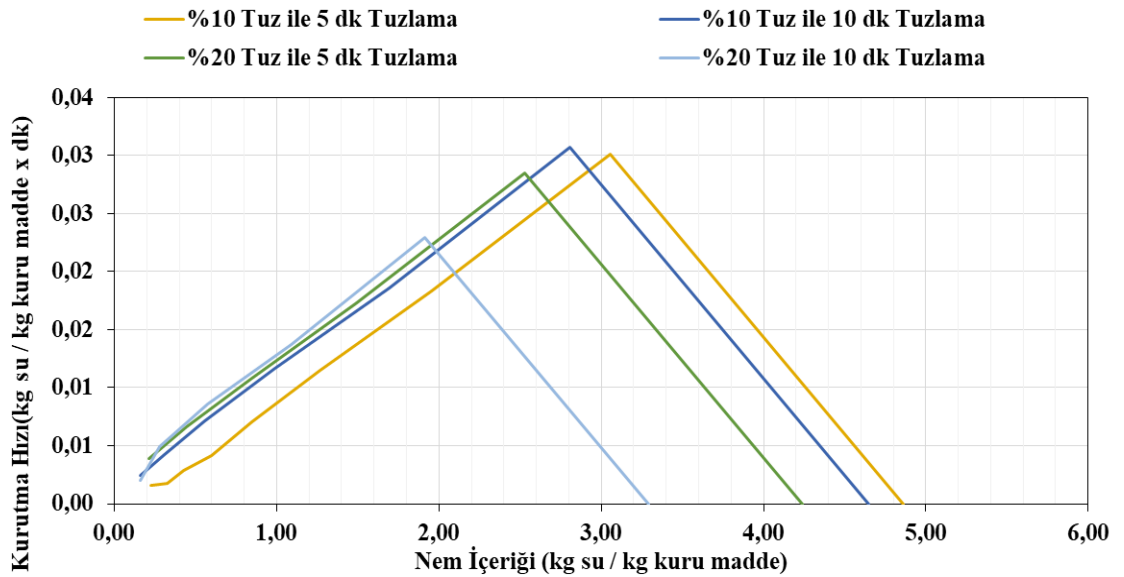
Şekil 7.8 Ön işlemsiz ve US ön işlemlili numunelerin kurutma hızı eğrisi

Haşlama ve tuz ile haşlama ön işleminden geçirilmiş numunelerin kuruma hızı eğrileri Şekil 7.9’ da gösterilmiştir. 1 dk haşlama ön işlemi uygulanmış numune için en yüksek kuruma hızı 0,0210 kg su/kg kuru madde.dk belirlenmiştir. 5 dk haşlama ön işlemi uygulanan numune için en yüksek kuruma hızı 0,0167 kg su/kg kuru madde.dk olarak bulunmuştur. %10 tuz ile 1 dk haşlama ön işlemi uygulanan numune için en yüksek kuruma hızı 0,0204 kg su/kg kuru madde.dk olarak belirlenmiştir. %20 tuz ile 1 dk haşlanmış numune için en yüksek kuruma hızı 0,0192 kg su/kg kuru madde.dk olarak belirlenmiştir. Haşlama ve tuz ile haşlama ön işleminden geçirilmiş numunelerin kuruma hızları karşılaştırıldığında en hızlı 5 dk haşlama ön işleminden geçirilmiş numune olduğu görülmektedir.



Şekil 7.9 Haşlama ve tuz ile haşlama ön işlemleri numunelerin kurutma hızı eğrisi

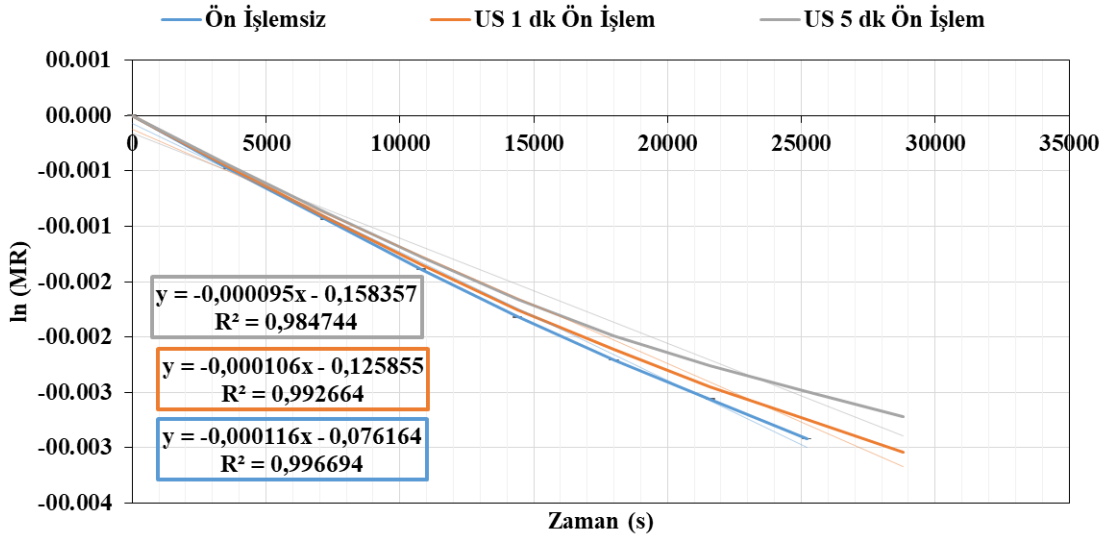
Tuzlu suya daldırma ön işlemlerinden geçirilmiş numunelerin kuruma hızı eğrileri Şekil 7.10’ da gösterilmiştir. %10 tuz ile 5 dk tuzlu suya daldırma ön işlemi uygulanmış numune için en yüksek kuruma hızı 0,0301 kg su/kg kuru madde.dk belirlenmiştir. %20 tuz ile 5 dk tuzlu suya daldırma ön işlemi uygulanan numune için en yüksek kuruma hızı 0,0285 kg su/kg kuru madde.dk olarak bulunmuştur. %10 tuz ile 10 dk tuzlu suya daldırma ön işlemi uygulanan numune için en yüksek kuruma hızı 0,0307 kg su/kg kuru madde.dk olarak belirlenmiştir. %20 tuz ile 10 dk tuzlu suya daldırılan numune için en yüksek kuruma hızı 0,0229 kg su/kg kuru madde.dk olarak belirlenmiştir. Tuzlu suya daldırma ön işleminden geçirilmiş numunelerin kuruma hızları karşılaştırıldığında en hızlı %20 tuz ile 10 dk tuzlu suya daldırma ön işleminden geçirilmiş numune olduğu görülmektedir.



Şekil 7.10 Tuzlu suya daldırma ön işlemleri numunelerin kurutma hızı eğrisi

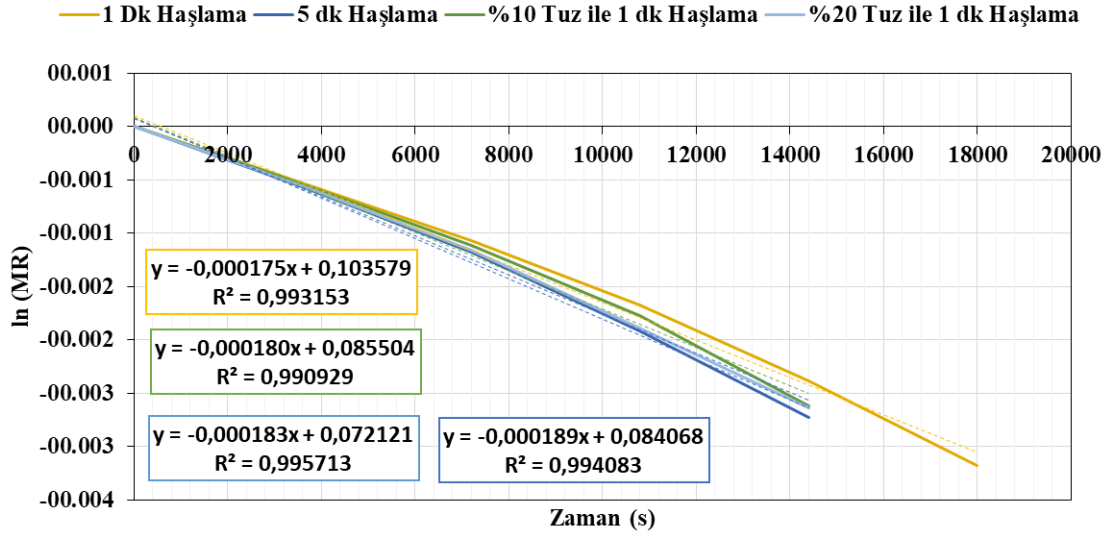
7.4 Efektif Nem Difüzyon Katsayısı Hesaplamaları

Fick'in ikinci yasası ön işlem görmemiş ve ön işlem görmüş numuneler için uygulanmıştır. Şekil 7.11'de ön işlemsiz ve ultrasonik ön işlemden geçirilmiş numunelerin kurutma süresine karşı çizilen $\ln(MR)$ grafiği gösterilmiştir. Grafiklerin eğiminden D_{eff} , 6.4 denklemine göre hesaplanmıştır. Ön işlem görmemiş numune için efektif difüzyon katsayısı $3,47 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ bulunmuştur. US 1 dk ve US 5 dk ön işlemden geçirilmiş numunelerin efektif difüzyon katsayıları sırasıyla $3,87 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ve $4,23 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak bulunmuştur.



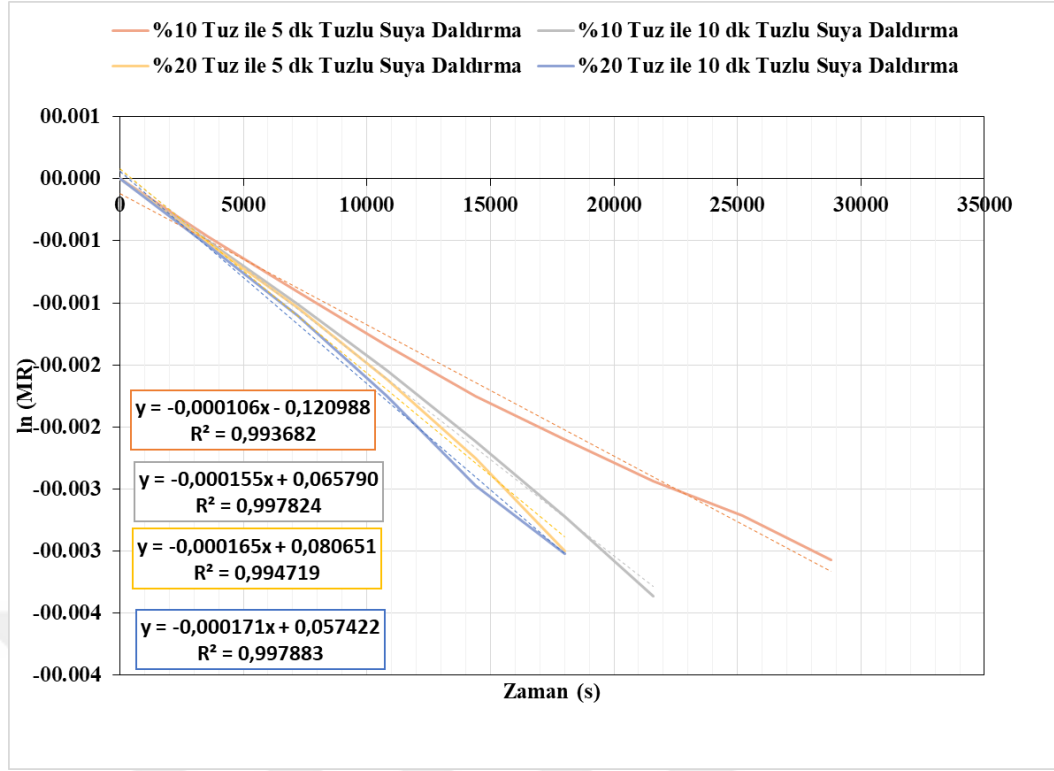
Şekil 7.11 Ön işlemsiz ve US ön işlemleri numunelerin zamana göre $\ln(MR)$ grafiği

Şekil 7.12’de haşlama ve tuz ile haşlama ön işleminden geçirilmiş numunelerin kurutma süresine karşı çizilen $\ln (MR)$ grafiği gösterilmiştir. 1 dk haşlama ve 5 dk haşlama ön işleminden geçirilmiş numunelerin efektif difüzyon katsayıları sırasıyla $6,38 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ve $6,89 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak bulunmuştur. %10 tuz ile 1 dk haşlama ve %20 tuz ile 1 dk haşlama ön işleminden geçirilmiş numunelerin efektif difüzyon katsayıları sırasıyla $6,57 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ve $6,68 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak bulunmuştur.



Şekil 7.12 Haşlama ve tuz ile haşlama ön işlemli numunelerin zamana göre $\ln (MR)$ grafiği

Şekil 7.13’de tuzlu suya daldırma ön işleminden geçirilmiş numunelerin kurutma süresine karşı çizilen $\ln (MR)$ grafiği gösterilmiştir. %10 tuz ile 5 ve 10 dk tuzlu suya daldırma ön işleminden geçirilmiş numunelerin efektif difüzyon katsayıları sırasıyla $3,87 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ve $5,65 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak bulunmuştur. %20 tuz ile 5 ve 10 dk tuzlu suya daldırma ön işleminden geçirilmiş numunelerin efektif difüzyon katsayıları sırasıyla $6,02 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ve $6,24 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak bulunmuştur.



Şekil 7.13 Tuzlu suya daldırma ön işlemlili numunelerin zamana göre $\ln(MR)$ grafiği

7.5 Matematiksel Modelleme Sonuçları

Tüm numuneler için dondurarak kurutma sırasında elde edilen kurutma değerleri, yaygın kullanılan kurutma matematiksel modellerine göre modellenmiştir. Ön işlem görmemiş numune için en uygun model olarak Verma modelidir. Verma kurutma modeli için R^2 değeri 0,999989, χ^2 değeri 0,000002, RMSE değeri ise 0,001006 olarak bulunmuştur. Ön işlem görmemiş numune için uygulanan tüm kurutma modelleri katsayıları ve istatistiksel değerleri Tablo 7.1’de belirtilmiştir.

Tablo 7.1 Ön işlem görmemiş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları

Model	Parametre	Değerler
Aghbashlo vd.	k_1	0,008181
	k_2	0,000379
	R^2	0,999955
	χ^2	0,000006
	RMSE	0,002061
Alibas	a	-1419,390000
	k	0,000000
	n	0,910000
	b	0,020000
	g	1420,400000
	R^2	0,998893
	χ^2	0,000281
	RMSE	0,010257
Midilli ve Kucuk	a	0,761278
	k	0,000000
	n	0,000000
	b	-0,002038
	R^2	0,026452
	χ^2	0,033008
	RMSE	0,128468
Henderson	a	0,993012
	k	0,007592
	R^2	0,999212
	χ^2	0,000100
	RMSE	0,008651

Tablo 7.1 Ön işlem görmemiş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları(devamı)

Jena ve Das	a	0,497619
	k	0,006874
	b	-0,009458
	c	0,698602
	R ²	0,999732
	χ^2	0,000051
	RMSE	0,005050
Lewis	k	0,007645
	R ²	0,999137
	χ^2	0,000094
	RMSE	0,009055
Logarithmic	a	-298,185000
	k	0,000000
	c	298,946000
	R ²	0,826005
	χ^2	0,026452
	RMSE	0,128578
Page	k	0,010122
	n	0,944712
	R ²	0,999820
	χ^2	0,000023
	RMSE	0,004135
Parabolic	a	0,949191
	b	-0,005170
	c	0,000007
	R ²	0,985575
	χ^2	0,002193
	RMSE	0,037022
Verma	a	0,061517
	k	0,001935
	g	0,008409
	R ²	0,999989
	χ^2	0,000002
	RMSE	0,001006

Tablo 7.1 Ön işlem görmemiş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları(devamı)

Wang ve Singh	a	-0,005618
	b	0,000008
	R^2	0,980780
	χ^2	0,002435
	RMSE	0,042734
Peleg	a	1,006000
	k_1	-100,277000
	k_2	-0,792000
	R^2	0,998142
	χ^2	0,000282
	RMSE	0,013287
İki Terimli	a	-24,502400
	k_0	0,007600
	b	25,495400
	k_1	0,007600
	R^2	0,999212
	χ^2	0,000150
	RMSE	0,008651

US 1 dakika ön işlemden geçirilmiş numune için en uygun model olarak Verma modelidir. Verma kurutma modeli için R^2 değeri 0,999989, χ^2 değeri 0,000002, RMSE değeri ise 0,001003 olarak bulunmuştur. US 1 dakika ön işlem görmüş numune için uygulanan tüm kurutma modelleri katsayıları ve istatistiksel değerleri Tablo 7.2’de belirtilmiştir.

Tablo 7.2 US 1 dk ön işlem görmüş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları

Model	Parametre	Değerler
Aghbashlo vd.	k_1	0,008119
	k_2	0,000520
	R^2	0,999907
	χ^2	0,000011
	RMSE	0,002909
Alibas	a	0,726558
	k	0,000000
	n	0,000000
	b	-0,001741
	g	0,000000
	R^2	0,796564
	χ^2	0,041789
	RMSE	0,136282
Midilli ve Kucuk	a	0,726558
	k	0,000000
	n	0,000000
	b	-0,001741
	R^2	0,796564
	χ^2	0,033431
	RMSE	0,136282
Henderson	a	0,989634
	k	0,007295
	R^2	0,998330
	χ^2	0,000196
	RMSE	0,012347

Tablo 7.2 US 1 dk ön işlem görmüş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları (devamı)

Jena ve Das	a	0,454593
	k	0,006322
	b	-0,013188
	c	0,789633
	R^2	0,999364
	χ^2	0,000104
	RMSE	0,007618
Lewis	k	0,007370
	R^2	0,998175
	χ^2	0,000187
	RMSE	0,012906
Logarithmic	a	-297,307000
	k	0,000000
	c	298,033000
	R^2	0,796258
	χ^2	0,027901
	RMSE	0,136385
Page	k	0,010984
	n	0,922128
	R^2	0,999573
	χ^2	0,000050
	RMSE	0,006245
Parabolic	a	0,932314
	b	-0,004680
	c	0,000006
	R^2	0,978739
	χ^2	0,002912
	RMSE	0,044057
Verma	a	0,081900
	k	0,001922
	g	0,008404
	R^2	0,999989
	χ^2	0,000002
	RMSE	0,001003

Tablo 7.2 US 1 dk ön işlem görmüş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları(devamı)

Wang ve Singh	a	-0,005208
	b	0,000007
	R^2	0,970299
	χ^2	0,003486
	RMSE	0,052073
Peleg	a	1,007400
	k_1	-99,272200
	k_2	-0,813300
	R^2	0,997540
	χ^2	0,000337
	RMSE	0,014986
İki Terimli	a	1,940355
	k_0	0,007294
	b	-0,950719
	k_1	0,007294
	R^2	0,998330
	χ^2	0,000274
	RMSE	0,012347

US 5 dakika ön işlemden geçirilmiş numune için en uygun model olarak Verma modelidir. Verma kurutma modeli için R^2 değeri 0,999981, χ^2 değeri 0,000003, RMSE değeri ise 0,001311 olarak bulunmuştur. US 5 dakika ön işlem görmüş numune için uygulanan tüm kurutma modelleri katsayıları ve istatistiksel değerleri Tablo 7.3’de belirtilmiştir.

Tablo 7.3 US 5 dk ön işlem görmüş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları

Model	Parametre	Değerler
Aghbashlo vd.	k_1	0,007940
	k_2	0,000724
	R^2	0,999732
	χ^2	0,000030
	RMSE	0,004857
Alibas	a	0,735667
	k	0,000000
	n	0,000000
	b	-0,001715
	g	0,000000
	R^2	0,801018
	χ^2	0,039460
	RMSE	0,132429
Midilli ve Kucuk	a	0,735667
	k	0,000000
	n	0,000000
	b	-0,001715
	R^2	0,801018
	χ^2	0,031568
	RMSE	0,132429
Henderson	a	0,984690
	k	0,006811
	R^2	0,996420
	χ^2	0,000406
	RMSE	0,017764

Tablo 7.3 US 5 dk ön işlem görmüş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları(devamı)

Jena ve Das	a	0,522110
	k	0,005553
	b	-0,017651
	c	0,651894
	R^2	0,998577
	χ^2	0,000226
	RMSE	0,011198
Lewis	k	0,006918
	R^2	0,996064
	χ^2	0,000390
	RMSE	0,018625
Logarithmic	a	-467,752000
	k	0,000000
	c	468,487000
	R^2	0,800827
	χ^2	0,026331
	RMSE	0,132493
Page	k	0,012051
	n	0,892688
	R^2	0,999005
	χ^2	0,000113
	RMSE	0,009364
Parabolic	a	0,936332
	b	-0,004582
	c	0,000006
	R^2	0,980501
	χ^2	0,002578
	RMSE	0,041456
Verma	a	0,062816
	k	0,000591
	g	0,008008
	R^2	0,999981
	χ^2	0,000003
	RMSE	0,001311

Tablo 7.3 US 5 dk ön işlem görmüş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları(devamı)

Wang ve Singh	a	-0,005078
	b	0,000007
	R^2	0,972765
	χ^2	0,003086
	RMSE	0,048994
Peleg	a	1,007000
	k_1	-103,411000
	k_2	-0,824000
	R^2	0,997407
	χ^2	0,000343
	RMSE	0,015117
İki Terimli	a	-23,076300
	k_0	0,006800
	b	24,061000
	k_1	0,006800
	R^2	0,996420
	χ^2	0,000568
	RMSE	0,017764

1 dakika haşlama ön işlemli numune için en uygun modeller Verma ve Aghbashlo vd. modelleridir. Verma ve Aghbashlo vd. kurutma modelleri için R^2 değerleri sırasıyla 0,999975 ve 0,999907, χ^2 değerleri sırasıyla 0,000006 ve 0,000015, RMSE değerleri ise sırasıyla 0,001668 ve 0,003206 olarak bulunmuştur. 1 dakika haşlama ön işleminden geçirilmiş numune için uygulanan tüm kurutma modelleri katsayıları ve istatistiksel değerleri Tablo 7.4'te belirtilmiştir.

Tablo 7.4 1 dk haşlama ön işleminden geçirilmiş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları

Model	Parametre	Değerler
Aghbashlo vd.	k_1	0,008283
	k_2	-0,000660
	R^2	0,999907
	χ^2	0,000015
	RMSE	0,003206
Alibas	a	0,836272
	k	0,000000
	n	0,000000
	b	-0,003068
	g	0,000000
	R^2	0,892613
	χ^2	0,071355
	RMSE	0,109053
Midilli ve Kucuk	a	0,836272
	k	0,000000
	n	0,000000
	b	-0,003068
	R^2	0,892613
	χ^2	0,035677
	RMSE	0,109053
Henderson	a	1,007785
	k	0,009263
	R^2	0,998356
	χ^2	0,000273
	RMSE	0,013494

Tablo 7.4 1 dk haşlama ön işleminden geçirilmiş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları(devamı)

Jena ve Das	a	0,572825
	k	0,010645
	b	0,016083
	c	0,556537
	R^2	0,999405
	χ^2	0,000198
	RMSE	0,008117
Lewis	k	0,009198
	R^2	0,998253
	χ^2	0,000232
	RMSE	0,013908
Logarithmic	a	-543,070000
	k	0,000000
	c	543,907000
	R^2	0,892462
	χ^2	0,023819
	RMSE	0,109130
Page	k	1,381376
	n	0,000001
	R^2	0,703138
	χ^2	0,049314
	RMSE	0,181317
Parabolic	a	0,979292
	b	-0,006644
	c	0,000012
	R^2	0,996047
	χ^2	0,000876
	RMSE	0,020924
Verma	a	-0,353650
	k	0,003871
	g	0,007306
	R^2	0,999975
	χ^2	0,000006
	RMSE	0,001668

Tablo 7.4 1 dk haşlama ön işleminden geçirilmiş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları(devamı)

Wang ve Singh	a	-0,006891
	b	0,000013
	R^2	0,995261
	χ^2	0,000787
	RMSE	0,022909
Peleg	a	1,003300
	k_1	-99,630900
	k_2	-0,692300
	R^2	0,999030
	χ^2	0,000215
	RMSE	0,010365
İki Terimli	a	-136,369000
	k_0	0,013000
	b	137,368000
	k_1	0,013000
	R^2	0,999713
	χ^2	0,000095
	RMSE	0,005634

5 dakika haşlama ön işlemli numune için en uygun modeller Verma ve Aghbashlo vd. modelleridir. Verma ve Aghbashlo vd. kurutma modelleri için R^2 değerleri sırasıyla 0,999927 ve 0,999933, χ^2 değerleri sırasıyla 0,000021 ve 0,000013, RMSE değerleri ise sırasıyla 0,002897 ve 0,002772 olarak bulunmuştur. 5 dakika haşlama ön işleminden geçirilmiş numune için uygulanan tüm kurutma modelleri katsayıları ve istatistiksel değerleri Tablo 7.5'te belirtilmiştir.

Tablo 7.5 5 dk haşlama ön işleminden geçirilmiş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları

Model	Parametre	Değerler
Aghbashlo vd.	k_1	0,008810
	k_2	-0,000900
	R^2	0,999930
	χ^2	0,000013
	RMSE	0,002770
Midilli ve Kucuk	a	0,876110
	k	0,000000
	n	0,000000
	b	-0,003800
	R^2	0,918880
	χ^2	0,046310
	RMSE	0,096240
Henderson	a	1,008540
	k	0,010120
	R^2	0,997650
	χ^2	0,000450
	RMSE	0,016370
Jena ve Das	a	0,810310
	k	0,012240
	b	0,023110
	c	0,209930
	R^2	0,999460
	χ^2	0,000310
	RMSE	0,007880
Lewis	k	0,010040
	R^2	0,997510
	χ^2	0,000360
	RMSE	0,016850
Logarithmic	a	-604,895000
	k	0,000000
	c	605,771000
	R^2	0,918760
	χ^2	0,023190
	RMSE	0,096310

Tablo 7.5 5 dk haşlama ön işleminden geçirilmiş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları(devamı)

Jena ve Das	a	0,810310
	k	0,012240
	b	0,023110
	c	0,209930
	R^2	0,999460
	χ^2	0,000310
	RMSE	0,007880
Lewis	k	0,010040
	R^2	0,997510
	χ^2	0,000360
	RMSE	0,016850
Logarithmic	a	-604,895000
	k	0,000000
	c	605,771000
	R^2	0,918760
	χ^2	0,023190
	RMSE	0,096310
Page	k	1,300030
	n	0,000001
	R^2	0,741560
	χ^2	0,049190
	RMSE	0,171790
Parabolic	a	0,990050
	b	-0,007620
	c	0,000016
	R^2	0,998460
	χ^2	0,000440
	RMSE	0,013250
Verma	a	-1,141420
	k	0,004990
	g	0,006910
	R^2	0,999930
	χ^2	0,000021
	RMSE	0,002900

Tablo 7.5 5 dk haşlama ön işleminden geçirilmiş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları(devamı)

Wang ve Singh	a	-0,007800
	b	0,000016
	R^2	0,998270
	χ^2	0,000330
	RMSE	0,014070
Peleg	a	1,002200
	k_1	-95,962000
	k_2	-0,654900
	R^2	0,999210
	χ^2	0,000230
	RMSE	0,009530
İki Terimli	a	-43,912000
	k_0	0,015100
	b	44,910800
	k_1	0,015000
	R^2	0,999750
	χ^2	0,000150
	RMSE	0,005390

%10 tuz ile 1 dakika haşlama ön işlemli numune için en uygun modeller Verma ve İki Terimli modelleridir. Verma ve İki Terimli kurutma modelleri için R^2 değerleri sırasıyla 0,999997 ve 0,999965, χ^2 değerleri sırasıyla 0,000001 ve 0,000020, RMSE değerleri ise sırasıyla 0,000614 ve 0,001977 olarak bulunmuştur. %10 tuz ile 1 dakika haşlama ön işleminden geçirilmiş numune için uygulanan tüm kurutma modelleri katsayıları ve istatistiksel değerleri Tablo 7.6’da belirtilmiştir.

Tablo 7.6 %10 tuz 1 dk haşlama ön işleminden geçirilmiş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları

Model	Parametre	Değerler
Aghbashlo vd.	k_1	0,008402
	k_2	-0,000862
	R^2	0,999834
	χ^2	0,000031
	RMSE	0,004291
Midilli ve Kucuk	a	0,884336
	k	0,000000
	n	0,000000
	b	-0,003777
	R^2	0,928489
	χ^2	0,039559
	RMSE	0,088948
Henderson	a	1,008014
	k	0,009598
	R^2	0,997686
	χ^2	0,000427
	RMSE	0,016002
Jena ve Das	a	1,090527
	k	0,011362
	b	0,019618
	c	-0,087180
	R^2	0,999204
	χ^2	0,000441
	RMSE	0,009387
Lewis	k	0,009526
	R^2	0,997557
	χ^2	0,000338
	RMSE	0,016439
Logarithmic	a	-602,781000
	k	0,000000
	c	603,666000
	R^2	0,928375
	χ^2	0,019811
	RMSE	0,089019

Tablo 7.6 %10 tuz 1 dk haşlama ön işleminden geçirilmiş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları(devamı)

Page	k	1,241880
	n	0,000001
	R ²	0,731406
	χ^2	0,049527
	RMSE	0,172383
Parabolic	a	0,989193
	b	-0,007272
	c	0,000015
	R ²	0,998054
	χ^2	0,000538
	RMSE	0,014673
Verma	a	-0,040304
	k	-0,002064
	g	0,008392
	R ²	0,999997
	χ^2	0,000001
	RMSE	0,000614
Wang ve Singh	a	-0,007429
	b	0,000015
	R ²	0,997816
	χ^2	0,000403
	RMSE	0,015546
Peleg	a	1,001000
	k ₁	-102,598000
	k ₂	-0,643000
	R ²	0,999756
	χ^2	0,000067
	RMSE	0,005192
İki Terimli	a	-11,881500
	k ₀	0,005500
	b	12,880700
	k ₁	0,005800
	R ²	0,999965
	χ^2	0,000020
	RMSE	0,001977

%20 tuz ile 1 dakika haşlama ön işlemleri numune için en uygun modeller Aghbashlo vd. ve İki Terimli modelleridir. Aghbashlo vd. ve İki Terimli kurutma modelleri için R^2 değerleri sırasıyla 0,999941 ve 0,999902, χ^2 değerleri sırasıyla 0,000011 ve 0,000056, RMSE değerleri ise sırasıyla 0,002578 ve 0,003335 olarak bulunmuştur. %20 tuz ile 1 dakika haşlama ön işleminden geçirilmiş numune için uygulanan tüm kurutma modelleri katsayıları ve istatistiksel değerleri Tablo 7.7’de belirtilmiştir.

Tablo 7.7 %20 tuz 1 dk haşlama ön işleminden geçirilmiş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları

Model	Parametre	Değerler
Aghbashlo vd.	k_1	0,008746
	k_2	-0,000866
	R^2	0,999941
	χ^2	0,000011
	RMSE	0,002578
Midilli ve Kucuk	a	0,877587
	k	0,000000
	n	0,000000
	b	-0,003797
	R^2	0,919322
	χ^2	0,045540
	RMSE	0,095435
Henderson	a	1,008308
	k	0,009967
	R^2	0,997921
	χ^2	0,000391
	RMSE	0,015321
Jena ve Das	a	0,342381
	k	0,011956
	b	0,021770
	c	1,071469
	R^2	0,999588
	χ^2	0,000233
	RMSE	0,006822

Tablo 7.7 %20 tuz 1 dk haşlama ön işleminden geçirilmiş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları(devamı)

Lewis	k	0,009891
	R^2	0,997787
	χ^2	0,000312
	RMSE	0,015808
Logarithmic	a	-310,669000
	k	0,000000
	c	311,546000
	R^2	0,919086
	χ^2	0,022836
	RMSE	0,095575
Page	k	1,281975
	n	0,000001
	R^2	0,739855
	χ^2	0,171372
	RMSE	0,048947
Parabolic	a	0,990689
	b	-0,007567
	c	0,000016
	R^2	0,998640
	χ^2	0,000384
	RMSE	0,012390
Verma	a	-1,230980
	k	0,005100
	g	0,006860
	R^2	0,999898
	χ^2	0,000029
	RMSE	0,003386
Wang ve Singh	a	-0,007702
	b	0,000016
	R^2	0,998467
	χ^2	0,000288
	RMSE	0,013156

Tablo 7.7 %20 tuz 1 dk haşlama ön işleminden geçirilmiş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları(devamı)

Peleg	a	1,002400
	k_1	-96,985300
	k_2	-0,656600
	R^2	0,999093
	χ^2	0,000256
	RMSE	0,010118
İki Terimli	a	-21,371900
	k_0	0,006000
	b	22,372400
	k_1	0,006100
	R^2	0,999902
	χ^2	0,000056
	RMSE	0,003335

%10 tuz ile 5 dakika tuzlu suya daldırma ön işlemli numune için en uygun modeller Aghbashlo vd., Verma ve İki Terimli modelleridir. Aghbashlo vd., Verma ve İki Terimli kurutma modelleri için R^2 değerleri sırasıyla 0,999913, 0,999975 ve 0,999975, χ^2 değerleri sırasıyla 0,000010, 0,000003 ve 0,000004, RMSE değerleri ise sırasıyla 0,002809, 0,001506 ve 0,001505 olarak bulunmuştur. %10 tuz ile 5 dakika tuzlu suya daldırma ön işleminden geçirilmiş numune için uygulanan tüm kurutma modelleri katsayıları ve istatistiksel değerleri Tablo 7.8’de belirtilmiştir.

Tablo 7.8 %10 tuz 5 dk tuzlu suya daldırma ön işleminden geçirilmiş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları

Model	Parametre	Değerler
Aghbashlo vd.	k_1	0,008099
	k_2	0,000530
	R^2	0,999913
	χ^2	0,000010
	RMSE	0,002809
Alibas	a	0,727528
	k	0,000000
	n	0,000000
	b	-0,001741
	g	0,000000
	R^2	0,798083
	χ^2	0,041401
	RMSE	0,135649
Midilli ve Kucuk	a	0,727528
	k	0,000000
	n	0,000000
	b	-0,001741
	R^2	0,798083
	χ^2	0,033121
	RMSE	0,135649
Henderson	a	0,989229
	k	0,007259
	R^2	0,998266
	χ^2	0,000203
	RMSE	0,012571
Jena ve Das	a	0,582739
	k	0,006263
	b	-0,013544
	c	0,541316
	R^2	0,999370
	χ^2	0,000103
	RMSE	0,007577

Tablo 7.8 %10 tuz 5 dk tuzlu suya daldırma ön işleminden geçirilmiş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları(devamı)

Lewis	k	0,007337
	R^2	0,998098
	χ^2	0,000195
	RMSE	0,013165
Logarithmic	a	-472,876000
	k	0,000000
	c	473,604000
	R^2	0,797891
	χ^2	0,027627
	RMSE	0,135713
Page	k	0,011055
	n	0,920061
	R^2	0,999584
	χ^2	0,000049
	RMSE	0,006156
Parabolic	a	0,932046
	b	-0,004662
	c	0,000006
	R^2	0,978402
	χ^2	0,002952
	RMSE	0,044365
Verma	a	0,112937
	k	0,002484
	g	0,008569
	R^2	0,999975
	χ^2	0,000003
	RMSE	0,001506
Wang ve Singh	a	-0,005192
	b	0,000007
	R^2	0,969879
	χ^2	0,003529
	RMSE	0,052392

Tablo 7.8 %10 tuz 5 dk tuzlu suya daldırma ön işleminden geçirilmiş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları(devamı)

Peleg	a	1,0073
	k ₁	-99,7527
	k ₂	-0,8133
	R ²	0,997686
	χ^2	0,000316
	RMSE	0,01452
İki Terimli	a	0,113942
	k ₀	0,002499
	b	0,886244
	k ₁	0,008577
	R ²	0,999975
	χ^2	0,000004
	RMSE	0,001505

%10 tuz ile 10 dakika tuzlu suya daldırma ön işlemli numune için en uygun modeller Aghbashlo vd., Verma ve Logarithmic modelleridir. Aghbashlo vd., Verma ve Logarithmic kurutma modelleri için R² değerleri sırasıyla 0,999967, 0,999990 ve 0,999983, χ^2 değerleri sırasıyla 0,000005, 0,000002 ve 0,000003, RMSE değerleri ise sırasıyla 0,001854, 0,001034 ve 0,001349 olarak bulunmuştur. %10 tuz ile 10 dakika tuzlu suya daldırma ön işleminden geçirilmiş numune için uygulanan tüm kurutma modelleri katsayıları ve istatistiksel değerleri Tablo 7.9’da belirtilmiştir.

Tablo 7.9 %10 tuz 10 dk tuzlu suya daldırma ön işleminden geçirilmiş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları

Model	Parametre	Değerler
Aghbashlo vd.	k_1	0,008158
	k_2	-0,000316
	R^2	0,999967
	χ^2	0,000005
	RMSE	0,001854
Alibas	a	-26,385400
	k	0,000000
	n	0,000000
	b	-0,002500
	g	27,180000
	R^2	0,859344
	χ^2	0,051954
	RMSE	0,121836
Midilli ve Kucuk	a	0,794696
	k	0,000000
	n	0,000000
	b	-0,002510
	R^2	0,859344
	χ^2	0,034636
	RMSE	0,121836
Henderson	a	1,004389
	k	0,008641
	R^2	0,999540
	χ^2	0,000068
	RMSE	0,006967

Tablo 7.9 %10 tuz 10 dk tuzlu suya daldırma ön işleminden geçirilmiş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları(devamı)

Jena ve Das	a	0,538286
	k	0,009269
	b	0,007685
	c	0,618882
	R ²	0,999808
	χ^2	0,000047
	RMSE	0,004507
Lewis	k	0,008606
	R ²	0,999510
	χ^2	0,000060
	RMSE	0,007190
Logarithmic	a	1,021472
	k	0,008174
	c	-0,021311
	R ²	0,999983
	χ^2	0,000003
	RMSE	0,001349
Page	k	0,006901
	n	1,044445
	R ²	0,999870
	χ^2	0,000019
	RMSE	0,003704
Parabolic	a	0,965524
	b	-0,005926
	c	0,000009
	R ²	0,992073
	χ^2	0,001464
	RMSE	0,028924
Verma	a	-0,113017
	k	0,003345
	g	0,007781
	R ²	0,999990
	χ^2	0,000002
	RMSE	0,001034

Tablo 7.9 %10 tuz 10 dk tuzlu suya daldırma ön işleminden geçirilmiş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları(devamı)

Wang ve Singh	a	-0,006276
	b	0,00001
	R^2	0,989961
	χ^2	0,001483
	RMSE	0,03255
Peleg	a	1,0049
	k_1	-99,1792
	k_2	-0,7357
	R^2	0,998498
	χ^2	0,000277
	RMSE	0,012589
İki Terimli	a	225,024
	k_0	0,011
	b	-224,024
	k_1	0,011
	R^2	0,999925
	χ^2	0,000018
	RMSE	0,002804

%20 tuz ile 5 dakika tuzlu suya daldırma ön işlemli numune için en uygun modeller Aghbashlo vd. ve Verma modelleridir. Aghbashlo vd. ve Verma kurutma modelleri için R^2 değerleri sırasıyla 0,999911 ve 0,999992, χ^2 değerleri sırasıyla 0,000014 ve 0,000002, RMSE değerleri ise sırasıyla 0,003097 ve 0,000919 olarak bulunmuştur. %20 tuz ile 5 dakika tuzlu suya daldırma ön işleminden geçirilmiş numune için uygulanan tüm kurutma modelleri katsayıları ve istatistiksel değerleri Tablo 7.10’da belirtilmiştir.

Tablo 7.10 %20 tuz 5 dk tuzlu suya daldırma ön işleminden geçirilmiş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları

Model	Parametre	Değerler
Aghbashlo vd.	k_1	0,008207
	k_2	-0,000520
	R^2	0,999911
	χ^2	0,000014
	RMSE	0,003097
Alibas	a	0,839737
	k	0,000000
	n	0,000000
	b	-0,003038
	g	0,000000
	R^2	0,895492
	χ^2	0,067878
	RMSE	0,106362
Midilli ve Kucuk	a	0,839737
	k	0,000000
	n	0,000000
	b	-0,003038
	R^2	0,895492
	χ^2	0,033939
	RMSE	0,106362
Henderson	a	1,006173
	k	0,008970
	R^2	0,998909
	χ^2	0,000177
	RMSE	0,010866

Tablo 7.10 %20 tuz 5 dk tuzlu suya daldırma ön işleminden geçirilmiş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları(devamı)

Jena ve Das	a	0,579146
	k	0,009997
	b	0,012116
	c	0,545636
	R^2	0,999559
	χ^2	0,000143
	RMSE	0,006907
Lewis	k	0,008919
	R^2	0,998843
	χ^2	0,000150
	RMSE	0,011191
Logarithmic	a	-547,294000
	k	0,000000
	c	548,134000
	R^2	0,895345
	χ^2	0,022658
	RMSE	0,106437
Page	k	1,344126
	n	0,000001
	R^2	0,701138
	χ^2	0,048528
	RMSE	0,179866
Parabolic	a	0,978956
	b	-0,006519
	c	0,000012
	R^2	0,995759
	χ^2	0,000918
	RMSE	0,021427
Verma	a	-0,048372
	k	0,000340
	g	0,008080
	R^2	0,999992
	χ^2	0,000002
	RMSE	0,000919

Tablo 7.10 %20 tuz 5 dk tuzlu suya daldırma ön işleminden geçirilmiş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları(devamı)

Wang ve Singh	a	-0,006771
	b	0,000012
	R^2	0,994929
	χ^2	0,000823
	RMSE	0,023430
Peleg	a	1,003000
	k_1	-101,941000
	k_2	-0,696000
	R^2	0,999278
	χ^2	0,000156
	RMSE	0,008841
İki Terimli	a	-202,599000
	k_0	0,012000
	b	203,598000
	k_1	0,012000
	R^2	0,999788
	χ^2	0,000069
	RMSE	0,004795

%20 tuz ile 10 dakika tuzlu suya daldırma ön işlemli numune için en uygun modeller Aghbashlo vd. ve İki Terimli modelleridir. Aghbashlo vd. ve İki Terimli kurutma modelleri için R^2 değerleri sırasıyla 0,999887 ve 0,999818, χ^2 değerleri sırasıyla 0,000019 ve 0,000061, RMSE değerleri ise sırasıyla 0,003538 ve 0,004494 olarak bulunmuştur. %20 tuz ile 10 dakika tuzlu suya daldırma ön işleminden geçirilmiş numune için uygulanan tüm kurutma modelleri katsayıları ve istatistiksel değerleri Tablo 7.11’de belirtilmiştir.

Tablo 7.11 %20 tuz 10 dk tuzlu suya daldırma ön işleminden geçirilmiş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları

Model	Parametre	Değerler
Aghbashlo vd.	k_1	0,008663
	k_2	-0,000574
	R^2	0,999887
	χ^2	0,000019
	RMSE	0,003538
Alibas	a	0,827739
	k	0,000000
	n	0,000000
	b	-0,003051
	g	0,000000
	R^2	0,879676
	χ^2	0,080196
	RMSE	0,115612
Midilli ve Kucuk	a	0,827739
	k	0,000000
	n	0,000000
	b	-0,003051
	R^2	0,879676
	χ^2	0,040098
	RMSE	0,115612
Henderson	a	1,007067
	k	0,009521
	R^2	0,998817
	χ^2	0,000197
	RMSE	0,011464

Tablo 7.11 %20 tuz 10 dk tuzlu suya daldırma ön işleminden geçirilmiş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları(devamı)

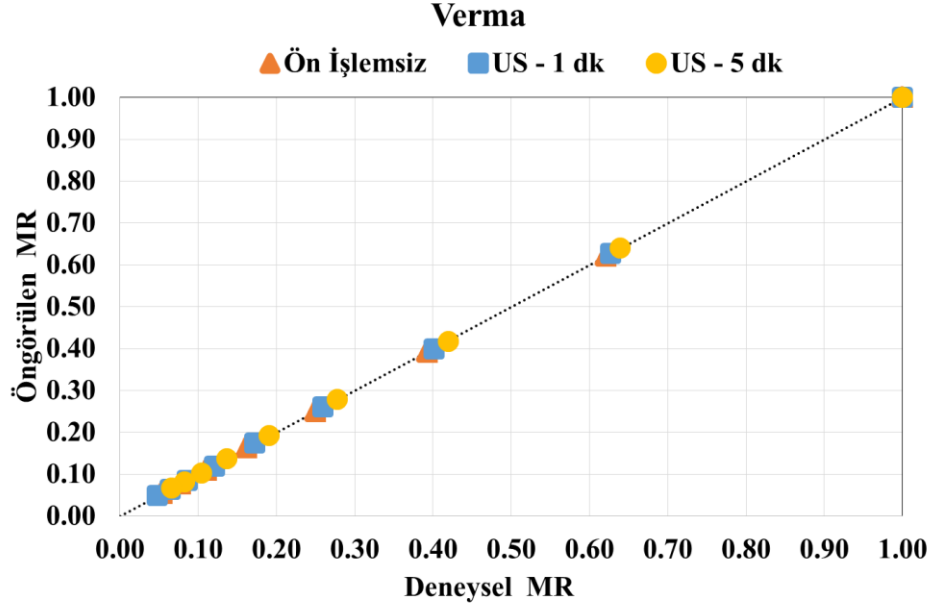
Jena ve Das	a	0,614440
	k	0,010858
	b	0,015336
	c	0,486645
	R^2	0,999695
	χ^2	0,000102
	RMSE	0,005817
Lewis	k	0,009460
	R^2	0,998733
	χ^2	0,000169
	RMSE	0,011862
Logarithmic	a	-558,542000
	k	0,000000
	c	559,369000
	R^2	0,879521
	χ^2	0,026767
	RMSE	0,115686
Page	k	1,409886
	n	0,000001
	R^2	0,714274
	χ^2	0,047609
	RMSE	0,178156
Parabolic	a	0,979871
	b	-0,006854
	c	0,000013
	R^2	0,996351
	χ^2	0,000811
	RMSE	0,020134
Verma	a	-1,870660
	k	0,005980
	g	0,006990
	R^2	0,999815
	χ^2	0,000041
	RMSE	0,004528

Tablo 7.11 %20 tuz 10 dk tuzlu suya daldırma ön işleminden geçirilmiş numuneye uygulanan matematiksel modeller ve katsayıları(devamı)

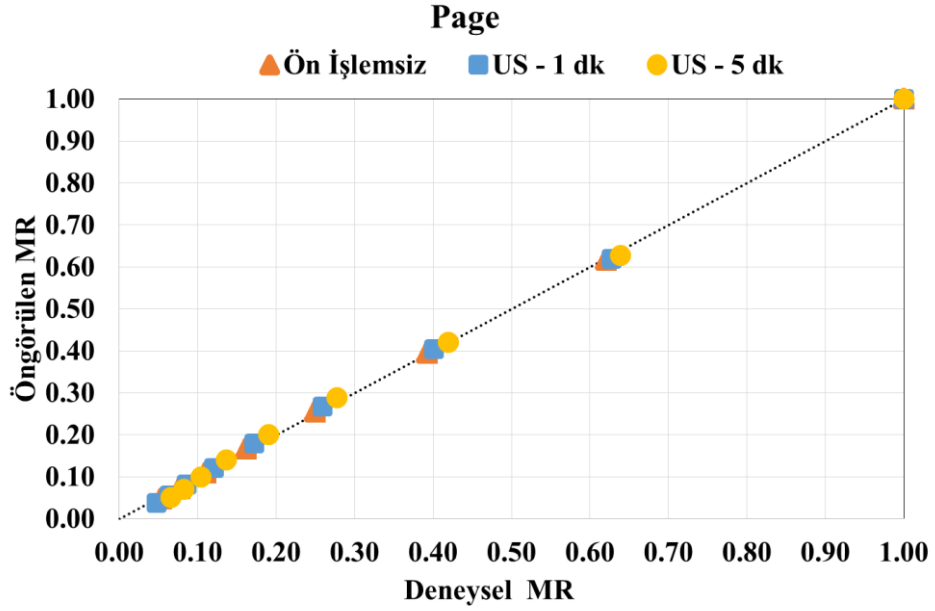
Wang ve Singh	a	-0,007095
	b	0,000013
	R^2	0,995611
	χ^2	0,000731
	RMSE	0,022082
Peleg	a	1,004200
	k_1	-94,077200
	k_2	-0,709900
	R^2	0,998067
	χ^2	0,000429
	RMSE	0,014652
İki Terimli	a	-31,704500
	k_0	0,006500
	b	32,705400
	k_1	0,006600
	R^2	0,999818
	χ^2	0,000061
	RMSE	0,004494

7.6 Matematiksel Modellerin Deneysel ve Öngörülen MR Grafikleri

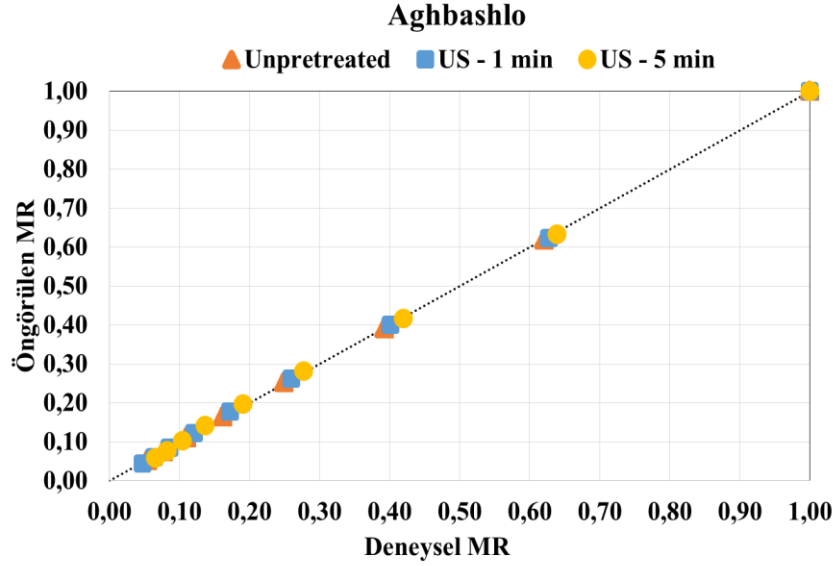
Şekil 7.14, 7.15, 7.16’da ön işlem görmemiş ve ultrasonik banyo ön işlemlili numunelerin Verma, Page, ve Aghbashlo vd. matematiksel modelleri için deneysel ve öngörülen MR değerlerinin karşılaştırmalı grafiği mevcuttur. Veriler düz çizgiye çok yakınsa, deneysel verilerle tahmin edilen verilerin iyi bir uyum içinde olduğu söylenebilir. Diğer modellerin deneysel ve öngörülen MR değerleri grafikleri Ek A’da gösterilmiştir.



Şekil 7.14 Ön işlem görmemiş ve ultrasonik banyo ön işlemlili numunelerin Verma matematiksel modeli için deneysel ve öngörülen MR değerleri

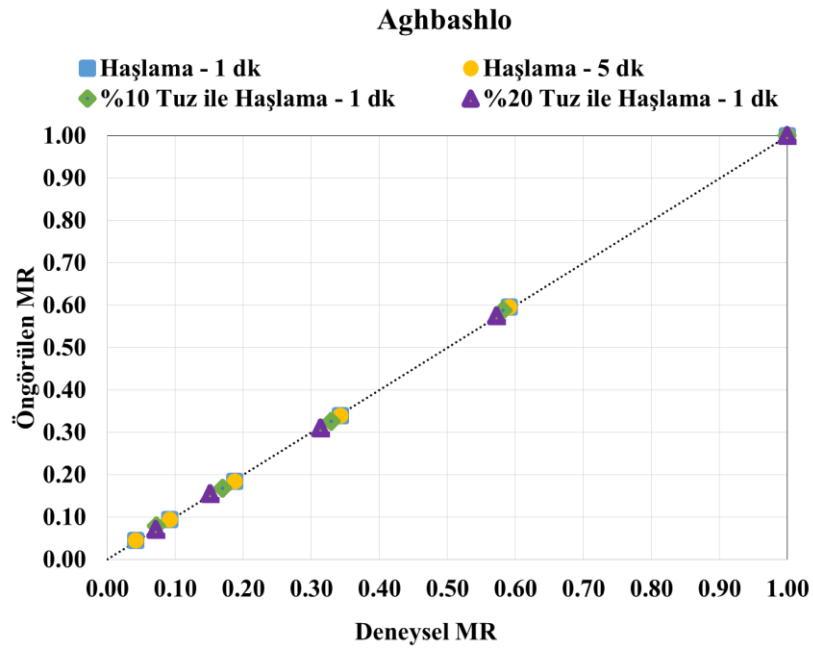


Şekil 7.15 Ön işlem görmemiş ve ultrasonik banyo ön işlemlili numunelerin Page matematiksel modeli için deneysel ve öngörülen MR değerleri

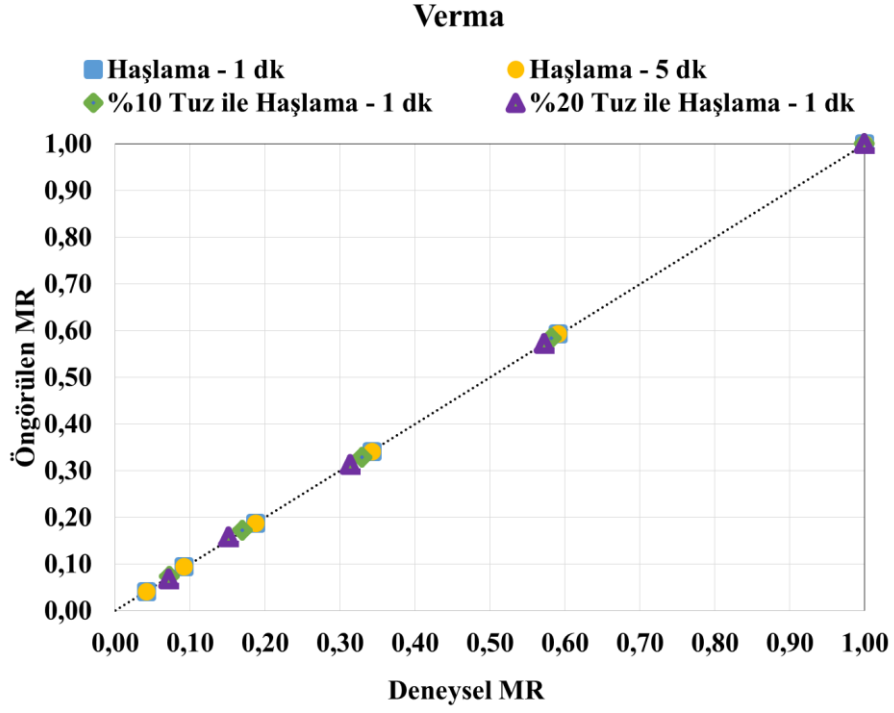


Şekil 7.16 Ön işlem görmemiş ve ultrasonik banyo ön işlemlili numunelerin Aghbashlo vd. matematiksel modeli için deneysel ve öngörülen MR değerleri

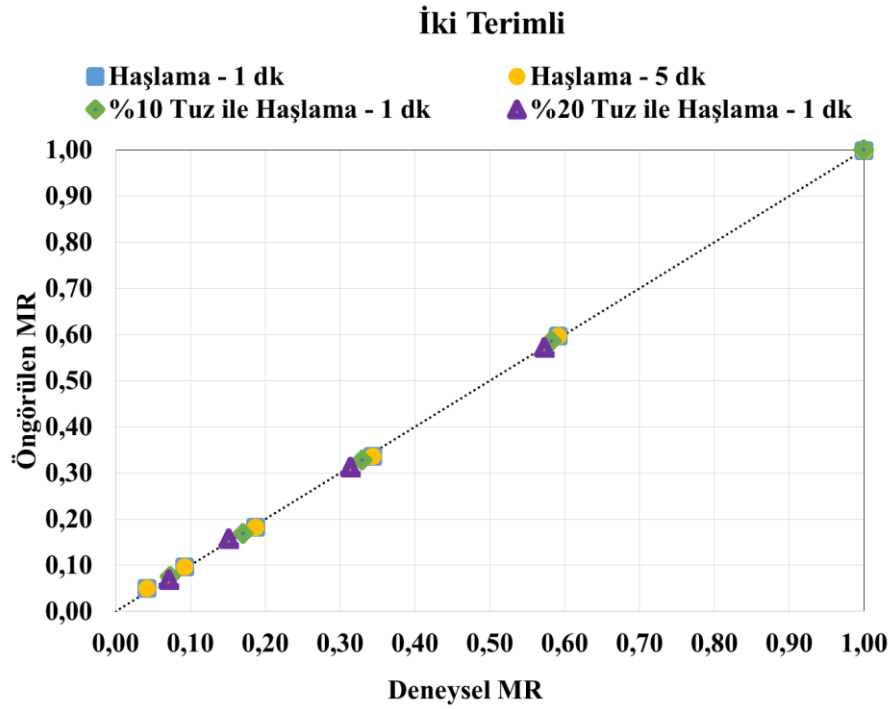
Şekil 7.17, 7.18, 7.19’da haşlama ve tuz ile haşlama ön işlemlili numunelerin Verma, İki Terimli, ve Aghbashlo vd. matematiksel modelleri için deneysel ve öngörülen MR değerlerinin karşılaştırmalı grafiği mevcuttur. Diğer modellerin deneysel ve öngörülen MR değerleri grafikleri Ek B’de gösterilmiştir.



Şekil 7.17 Haşlama ve tuz ile haşlama ön işlemlili numunelerin Aghbashlo vd. matematiksel modeli için deneysel ve öngörülen MR değerleri

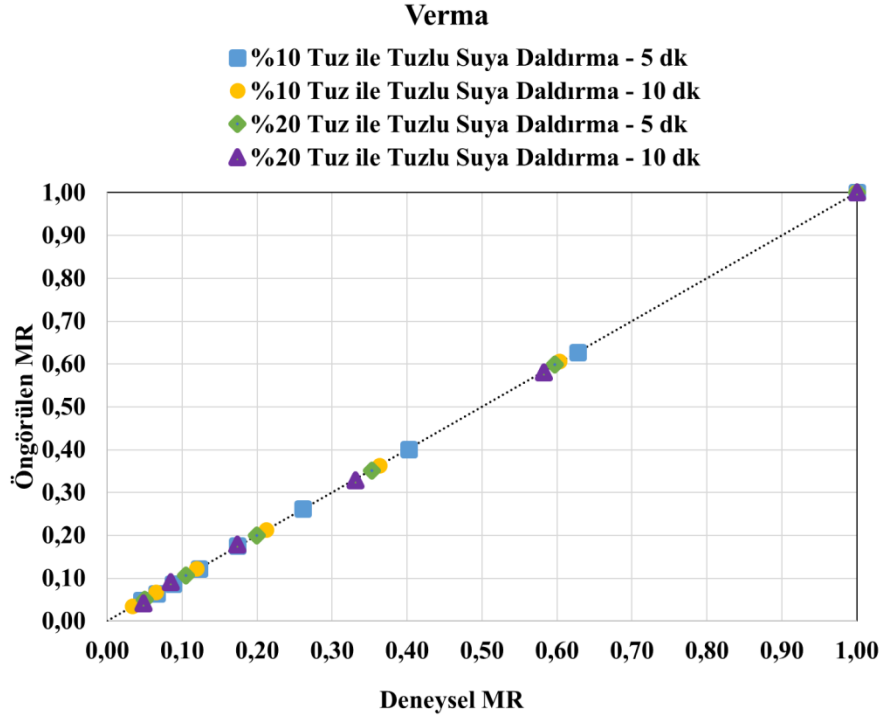


Şekil 7.18 Haşlama ve tuz ile haşlama ön işlemleri numunelerin Verma matematiksel modeli için deneysel ve öngörülen MR değerleri

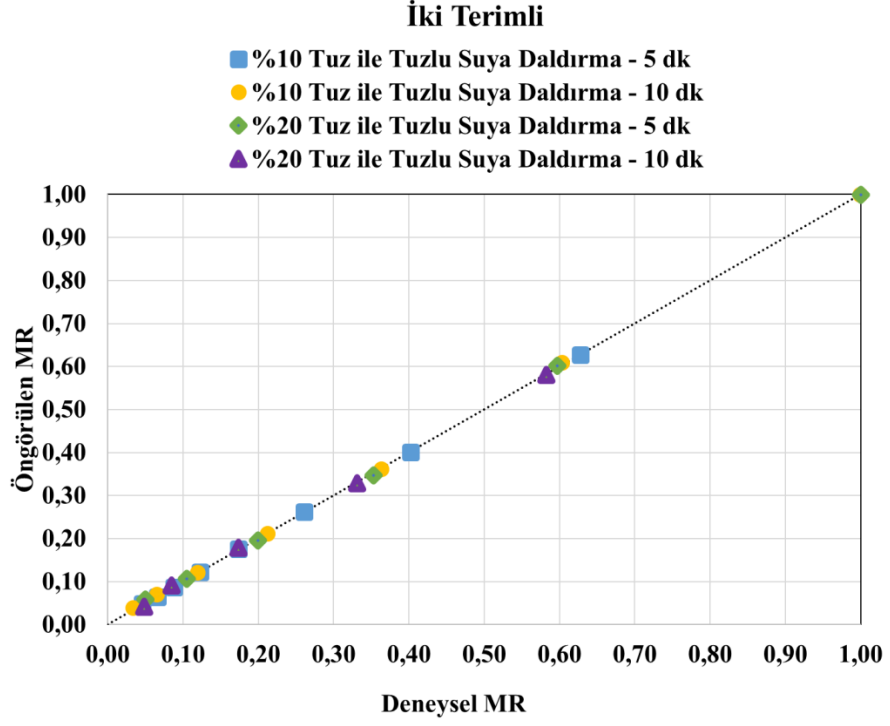


Şekil 7.19 Haşlama ve tuz ile haşlama ön işlemleri numunelerin İki Terimli matematiksel modeli için deneysel ve öngörülen MR değerleri

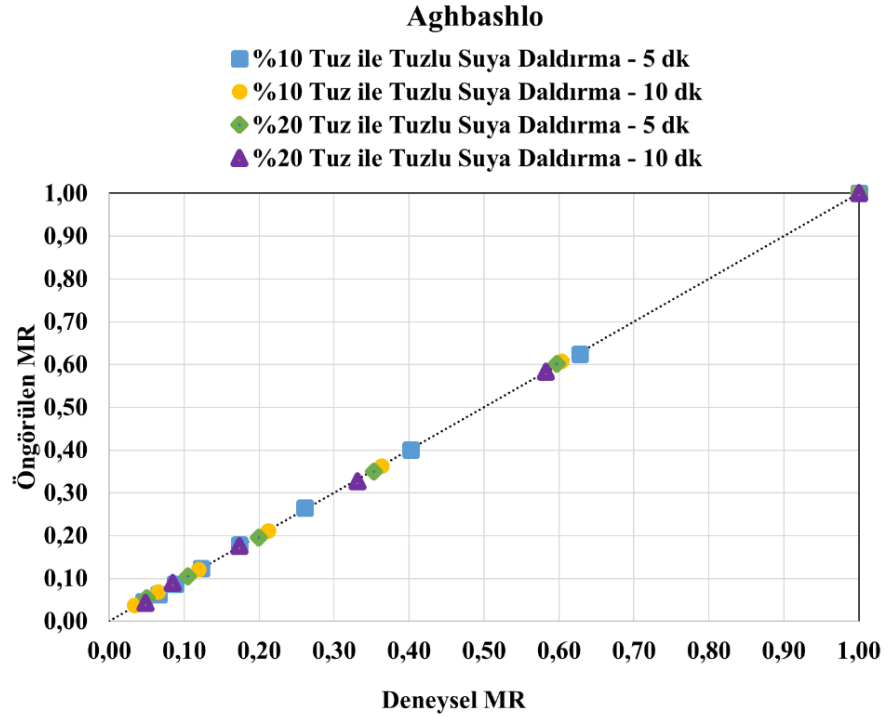
Şekil 7.20, 7.21, 7.22’de tuzlu suya daldırma ön işlemlili numunelerin Verma, İki Terimli, ve Aghbashlo vd. matematiksel modelleri için deneysel ve öngörülen MR değerlerinin karşılaştırmalı grafiği mevcuttur. Diğer modellerin deneysel ve öngörülen MR değerleri grafikleri Ek C’de gösterilmiştir.



Şekil 7.20 Tuzlu suya daldırma ön işlemlili numunelerin Verma matematiksel modeli için deneysel ve öngörülen MR değerleri



Şekil 7.21 Tuzlu suya daldırma ön işlemlili numunelerin İki Terimli matematiksel modeli için deneysel ve öngörülen MR değerleri



Şekil 7.22 Tuzlu suya daldırma ön işlemlili numunelerin Aghbashlo vd. matematiksel modeli için deneysel ve öngörülen MR değerleri

Bu çalışma, kum midyesinin dondurarak kurutma kinetiğinin ve matematiksel modellemesinin araştırılmasına odaklanmıştır. Deneysel veriler ışığında kum midyesi numunelerinin kuruma kinetikleri incelenmiştir. Kurutma hızına etkisini belirlemek için kum midyesi ön işleminden 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 kurutulmuştur. Ön işlemsiz ve US ön işlemlili numunelerin kurutma hızı karşılaştırıldığında en hızlı kuruma ön işlemsiz numunede gerçekleşmiştir. Ultrasonik banyo ön işlemi sırasında numunenin su emiliminin de artması sebebiyle, ön işlemsiz numuneye göre kuruma süresine önemli bir etkisi olmamıştır. Haşlama ve tuz ile haşlama ön işleminden geçirilmiş numunelerin kuruma hızları karşılaştırıldığında en hızlı 5 dk haşlama ön işleminden geçirilmiş numune olduğu görülmektedir. Tuzlu suya daldırma ön işleminden geçirilmiş numunelerin kuruma hızları karşılaştırıldığında en hızlı %20 tuz ile 10 dk tuzlu suya daldırma ön işleminden geçirilmiş numune olduğu görülmektedir. Çalışılan ön işlemlerden kuruma süresini en aza indiren ön işlemin haşlama ön işlem grubu olduğu tespit edilmiştir. Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde, kurutma işlemlerinin tamamında azalan hız periyodunun hakim olduğu görülmüştür. Efektif difüzyon katsayısını belirlemek için Fick'in ikinci yasası kullanılmıştır. Ön işlem görmemiş numune için efektif difüzyon katsayısı $3,47 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ bulunmuştur. US 1 dk ve US 5 dk ön işleminden geçirilmiş numunelerin efektif difüzyon katsayıları sırasıyla $3,87 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ve $4,23 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak bulunmuştur. 1 dk haşlama ve 5 dk haşlama ön işleminden geçirilmiş numunelerin efektif difüzyon katsayıları sırasıyla $6,38 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ve $6,89 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak belirlenmiştir. %10 tuz ile 1 dk haşlama ve %20 tuz ile 1 dk haşlama ön işleminden geçirilmiş numunelerin efektif difüzyon katsayıları sırasıyla $6,57 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ve $6,68 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak hesaplanmıştır. %10 tuz ile 5 ve 10 dk tuzlu suya daldırma ön işleminden geçirilmiş numunelerin efektif difüzyon katsayıları sırasıyla $3,87 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ve $5,65 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak bulunmuştur.

² /s olarak bulunmuştur. %20 tuz ile 5 ve 10 dk tuzlu suya daldırma ön işleminden geçirilmiş numunelerin efektif difüzyon katsayıları sırasıyla $6,02 \times 10^{-10} \text{ m}^2 / \text{s}$ ve $6,24 \times 10^{-10} \text{ m}^2 / \text{s}$ olarak bulunmuştur. Statistica programı kullanılarak, doğrusal olmayan regresyon yöntemi ile literatürdeki kurutma modelleri için gerekli parametreler belirlenmiştir. En uygun modeli bulmak için, determinasyon katsayısının (R^2), ortalama hata kareleri kökü (RMSE) ve ki-kare (χ^2) istatistiği kullanılır. En uygun modelin seçiminde R^2 değerlerinin 1'e, RMSE ve χ^2 değerlerinin ise 0'a yakın olması beklenir. Ön işlem görmemiş ve ultrasonik banyo ön işlemli numuneler için en uygun kurutma modelleri Verma, Page, ve Aghbashlo vd. modelleri olarak belirlenmiştir. Haşlama ve tuz ile haşlama ön işlemli numuneler için Verma, İki Terimli, ve Aghbashlo vd. matematiksel modelleri en uygun sonuçları göstermiştir. Tuzlu suya daldırma ön işlemli numuneler için en uygun matematiksel modeller Verma, İki Terimli, ve Aghbashlo vd. modelleri olarak tespit edilmiştir. Özetle bu çalışmada, kum midyesinin dondurularak kurutma kinetiğini, farklı ön işlemlerin kurutmaya etkisini, tüm ön işlemler için uygun matematiksel modellerin belirlenmesi araştırılmıştır.

KAYNAKÇA

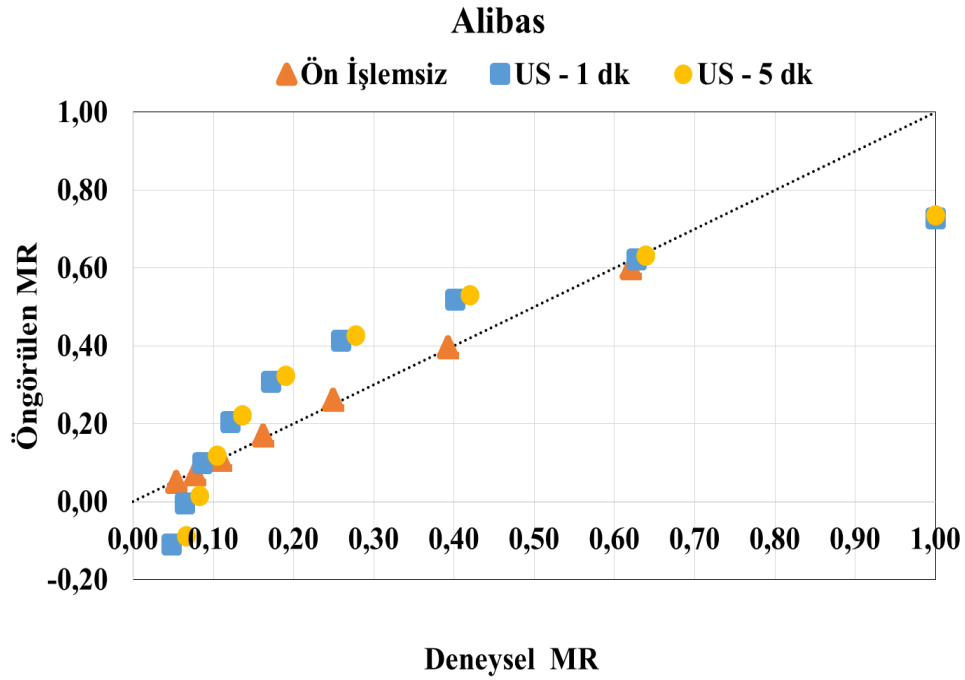
-
- [1] A. Alhammadiy, Dilimlenmiş cennet hurmasının dondurularak kurutma kinetiğinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, 2022.
- [2] A.O. Suicmez, Dondurarak kurutma sistemlerinde kurutma parametrelerinin deneysel incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği, 2014.
- [3] FAO. , The state of world fisheries and aquaculture sustainability in action, Rome, 2020.
- [4] A. Ariani, G. Ciarrocchi, A. Felici, V. Polzonetti, S. Vincenzetti, Comparative proteomic analysis of two clam species: *Chamelea gallina* and *Tapes philippinarum*. School of Biosciences and Veterinary Medicine, University of Camerino, Camerino (MC), Italy, 219:223-229, 2016.
- [5] U. Celik, Marine edilmiş Akivades (*Tapes decussatus* L., 1758)'in kimyasal kompozisyonu ve duyusal analizi, Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi, 21, 219 – 221, 2004
- [6] H. Sadikoglu, M. Seker, O. Cumhuri, Freeze drying of turkey breast meat: Mathematical modeling and estimation of transport parameters, 34, 584-594, 2016.
- [7] C. Arroqui, B. Jelena, MJ. Cantalejo, The effects of freeze drying process parameters on chicken breast meat, 1325 – 1334, 2009
- [8] MH. Shi, ZH. Wang, Microwave freeze drying characteristics of beef, 434 – 447, 2007
- [9] M. Idrus Alhamid, M. Yulianto, Nasruddin, Development of a compact freeze vacuum drying for jelly fish (*Schypomedusae*), Jurnal Technology, 2012.
- [10] X. Chen, Y. Chen, L. Huang, D. Liao, Z. Liu, J. Wu, The drying characteristic and dynamical modeling of seahorse under vacuum freeze drying, Modern Food Science and Technology, 2020.
- [11] JS. Lee, P. Matanjun, Y. Neoh, Comparative of drying methods on chemical constituents of Malaysian red seaweed, 1745 – 1751, 2015.
- [12] Deniz Ürünleri, <https://www.definitions.net/definition/seafood>, 15.05.2023
- [13] Beyaz Balık, [https://en.wikipedia.org/wiki/Whitefish_\(fisheries_term\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Whitefish_(fisheries_term)), 28.05.2023
- [14] Yağlı Balık, <https://www.bbcgoodfood.com/howto/guide/oily-fish-guide>, 29.05.2023
- [15] Kabuklu Deniz Ürünleri, <https://www.newworldencyclopedia.org/entry/shellfish>, 29.05.2023
- [16] G. Haszprunar, A. Wanninger, Molluscs. Current Biology, 2012.
- [17] Yumuşakçalar, <https://ucmp.berkeley.edu/taxa/inverts/mollusca/mollusca.php>, 17.06.2023
- [18] P.N. Lee, P. Callaerts, H.G. de Couet, M.Q Martindale, Cephalopod hox genes and the origin of morphological novelties, Nature, 424:1061-1065, 2003

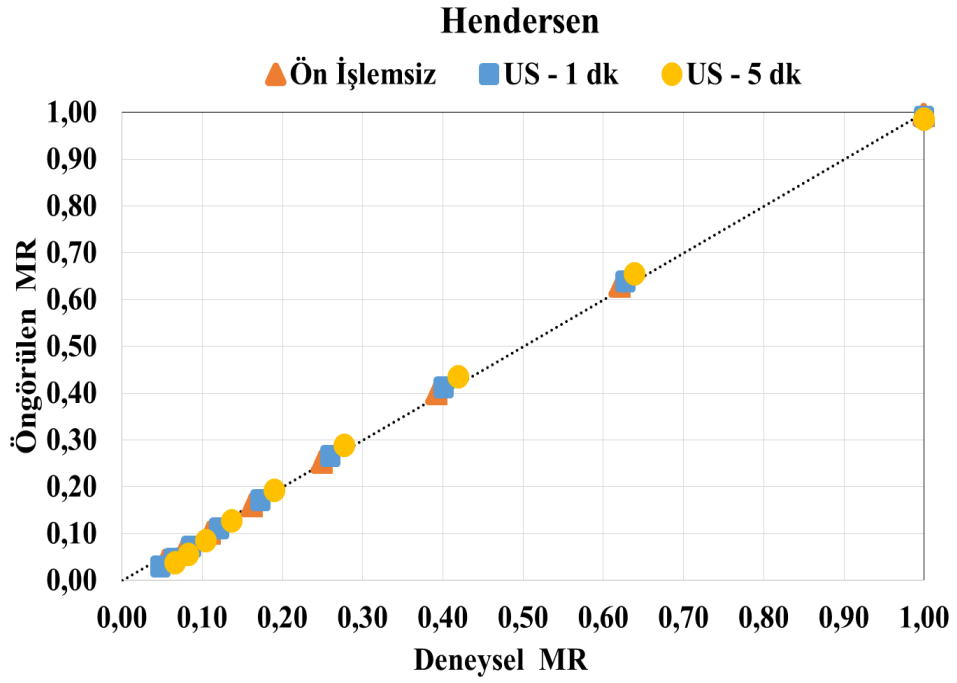
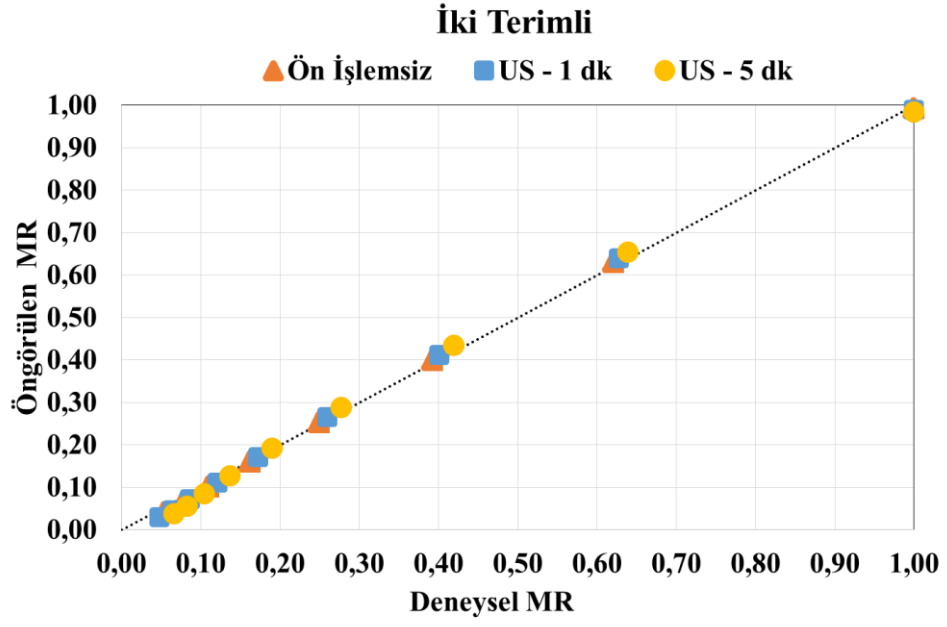
- [19] J. Azizov, Design of a chamber dryer for sugar cubes drying, Yüksek Lisans Tezi, Czech Technical University in Prague, 2015.
- [20] S. Buzrul, Reassessment of thin-layer drying models for foods: A critical short communication processes, 2022.
- [21] C. J. Geankoplis, Transport processes & separation process principles, New Jersey: Pearson, 1993.
- [22] R. Guiné, The drying of foods and its effect on the physical-chemical, sensorial and nutritional properties, International Journal of Food Engineering, 2(4), 93-100, 2018.
- [23] A. S. Mujumdar, X. D. Chen, Drying technologies in food processing, Blackwell Publishing, 2009.
- [24] V. Changrue, V.G. Raghavan, V. Orsat, G. Vijaya Raghavan, Microwave drying of fruits and vegetables, Stewart Postharvest Review, 2(6), 1-7, 2006.
- [25] Drying and Storage Engineering, <https://www.hzu.edu.in/agriculture/Drying-and-Storage-Engineering.pdf>, 15.05.2023
- [26] A. Salarikia, S.H. Miraei Ashtiani, M.R. Golzarian, Comparison of drying characteristics and quality of peppermint leaves using different drying methods, Journal of Food Processing and Preservation, 41(3), e12930, 2017.
- [27] Millî Eğitim Bakanlığı, Gıda teknolojisi sebzeleri kurutma, Ankara, 19-20, 2012.
- [28] H. Sadıkoğlu, Spray freeze drying, Spray Drying Technology, Kocaeli, 157-182, 2010.
- [29] V. Kırmacı, Dondurarak kurutma sisteminin tasarımı, imalatı ve performans deneylerinin yapılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-117, 2008.
- [30] Z. Ergün, Biyolojik maddelerin kurutularak saklanması: liyofilizasyon, Derleme Makale, Veteriner Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Md., Viral Aşı Üretim Laboratuvarı, Ankara, 2015.
- [31] J.P. Dolan, Use of volumetric heating to improve heat transfer during vial freeze-drying, Ph.D. Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia, 1998.
- [32] T. Özkara, Dondurarak kurutma yöntemi ile saklanan greftlerin mekanik özellikleri zerine radyasyonla sterilizasyonun etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2003.
- [33] A. Kıpçak, B. Doymaz, E. Derun, Infrared drying kinetics of blue mussels and physical properties. Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly, 25(1), 1-10, 2019
- [34] M. Aghbashlo, M.H. Kianmehr, S. Khani, M. Ghasemi, International Agrophysics, 23 313- 317, 2009.
- [35] İ. Alibas, Selection of a the best suitable thin-layer drying mathematical model for vacuum dried red chili pepper, 2012.
- [36] S.M. Henderson, S. Pabis, Grain, Drying Theory II, Temperature effects on drying coefficients, journal of agricultural engineering research, 169-174, 1961.

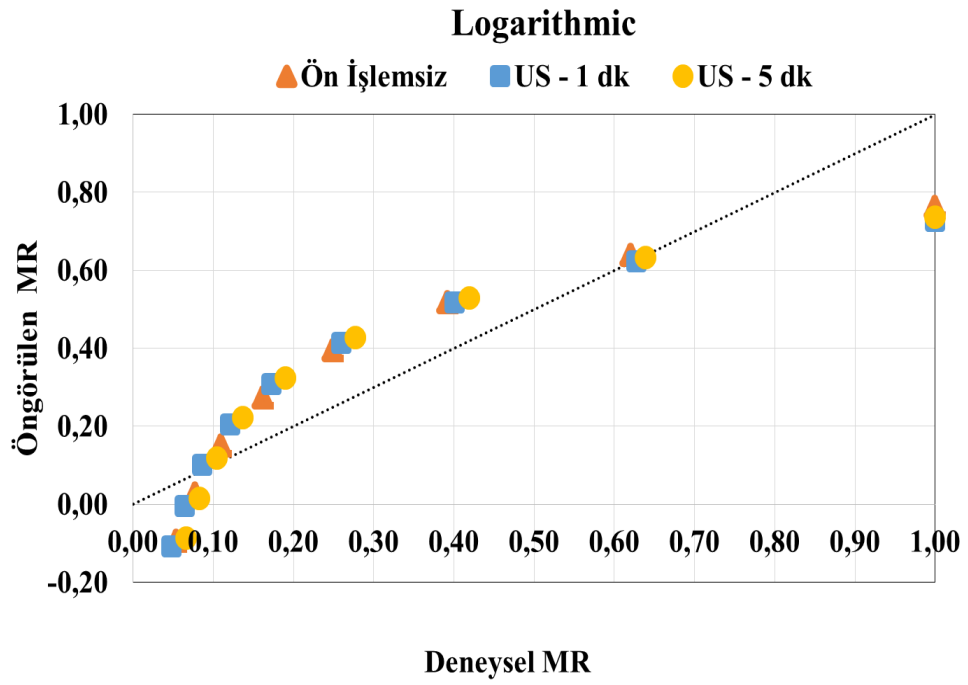
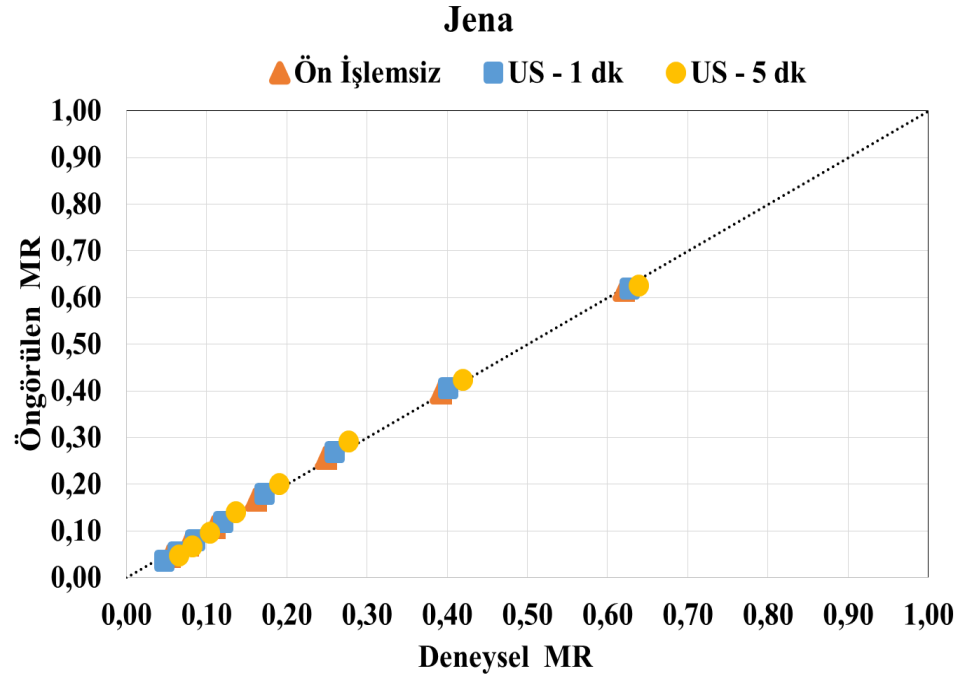
- [37] S. Jena, H. Das, Modelling for vacuum drying characteristics of coconut presscake, 79 92-99, 2007.
- [38] W.K. Lewis, The rate of drying of solid materials, Industrial Engineering Chemistry 13:427-432, 1921.
- [39] A.S. Kipcak, Microwave and infrared drying kinetics and energy consumption of cherry tomatoes, 43 1429-1445, 2017.
- [40] 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.
- [41] 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.
- [42] 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.
- [43] L.R. Verma, R.A. Bucklin, J.B. Endan, F.T. Wratten, Effects of drying air parameters on rice drying models. Transactions of the ASEA 28:296-301, 1985.
- [44] C.Y. Wang, R.P.Singh, A Single Layer Drying Equation for Rough Rice, ASAE, paper 3001, 1978.
- [45] D.D. Overhults, G.M. White, M.E. Hamilton, I.J. Ross, Drying soybeans with heated air. Transactions of the ASEA 16:195-200, 1973.
- [46] S.M. Henderson, Progress in Developing the Thin Layer Drying Equation, Transactions of the ASAE, 17, 6, pp. 1167-1172, 1974.

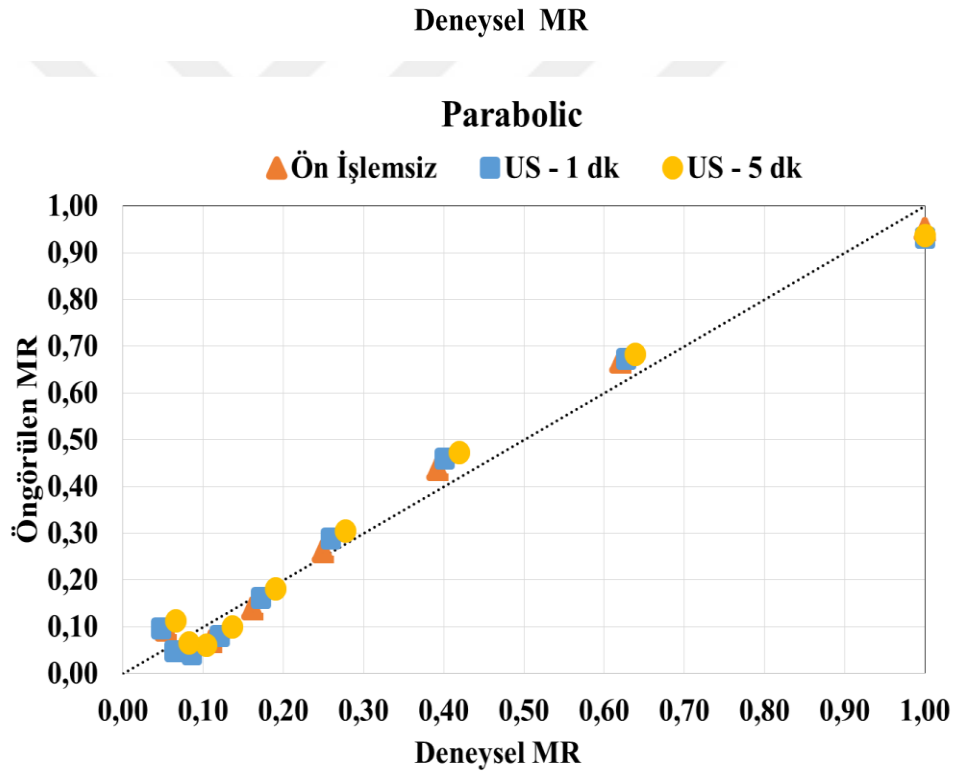
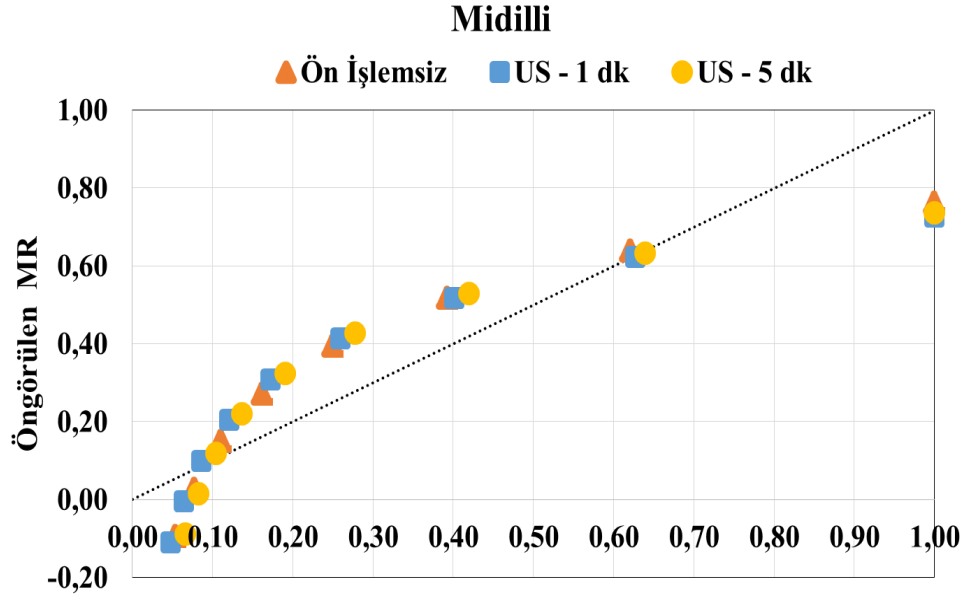
ÖN İŞLEM GÖRMEMİŞ VE ULTRASONİK BANYO ÖN İŞLEMLİ NUMUNELERİN MATEMATİKSEL MODELLERİN DENEYSEL VE ÖNGÖRÜLEN MR GRAFİKLERİ

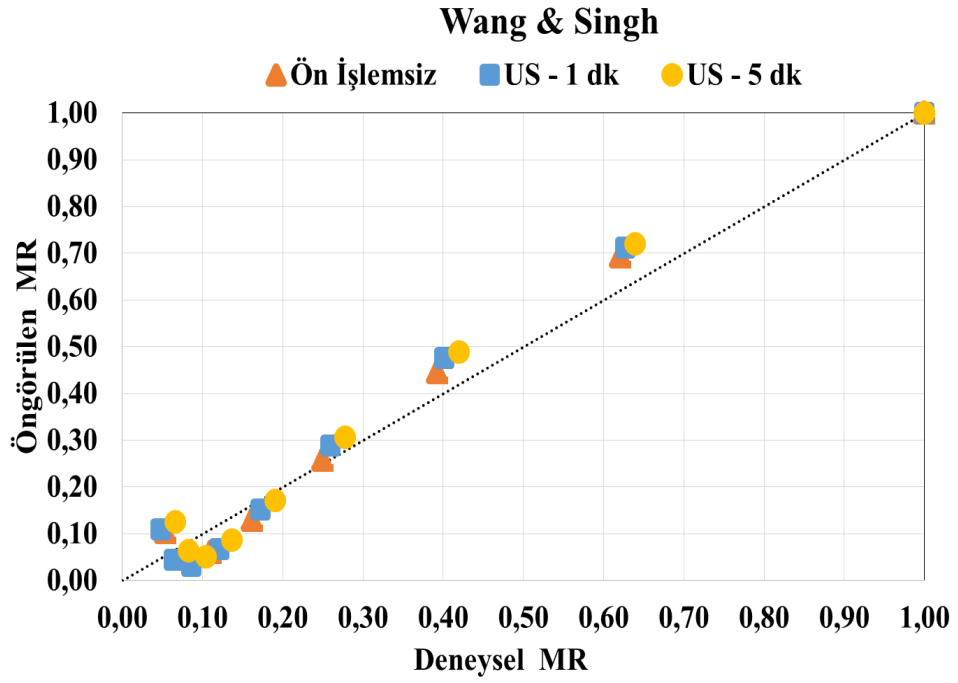
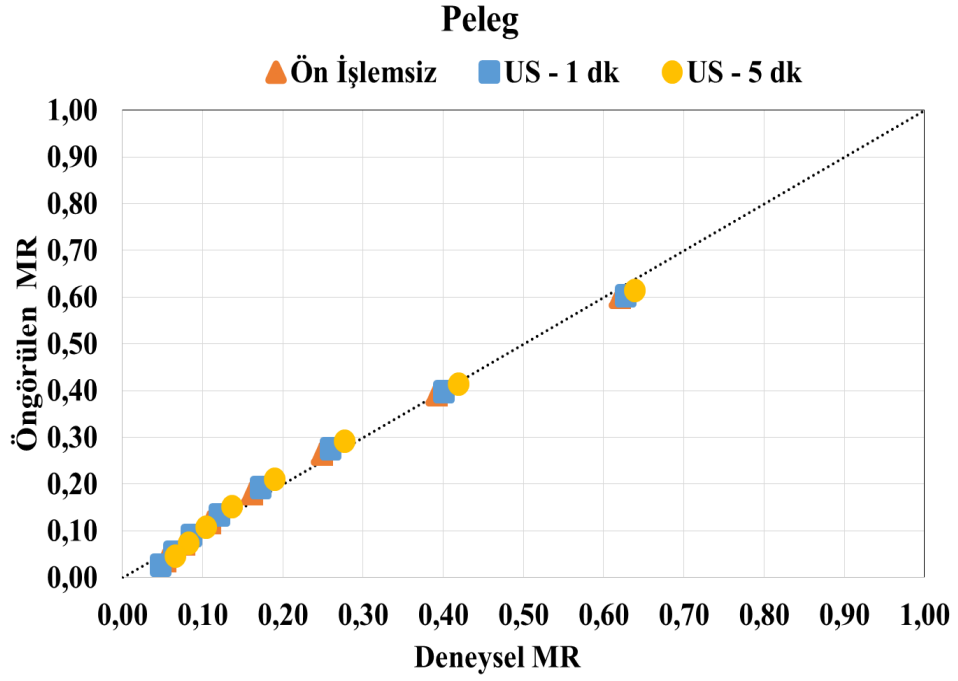
EK A Ön işlem görmemiş ve ultrasonik banyo ön işlemlili numunelerin matematiksel modeller için deneysel ve öngörülen MR değerleri





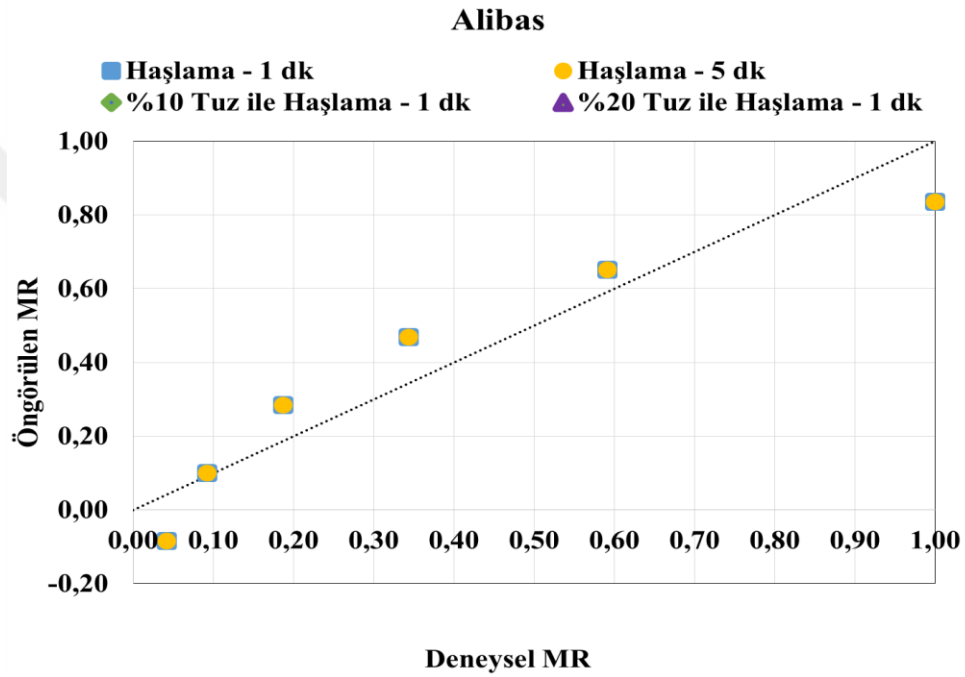




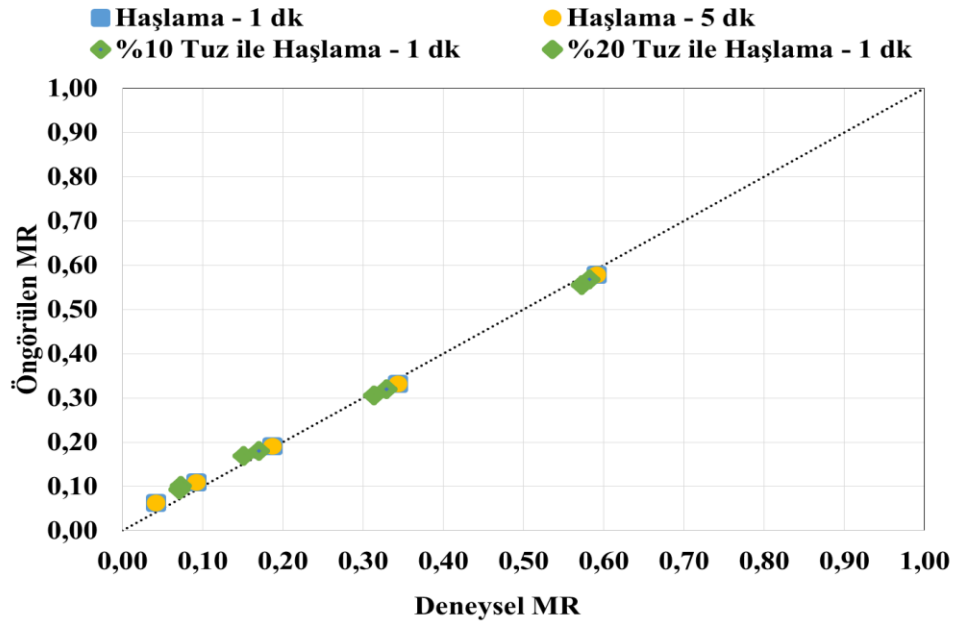


B

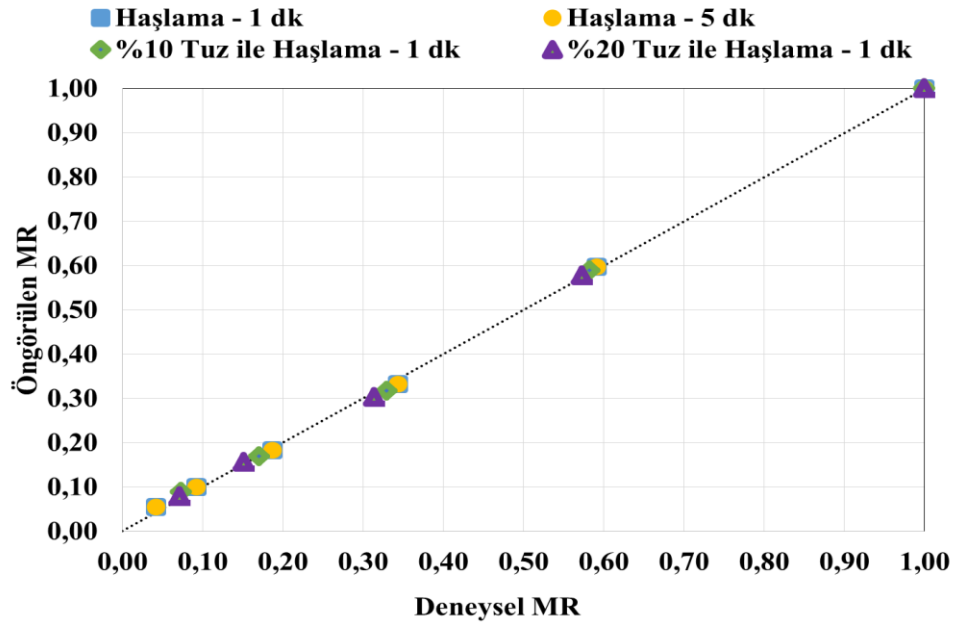
HAŞLAMA VE TUZ İLE HAŞLAMA ÖN İŞLEMLİ NUMUNELERİN MATEMATİKSEL MODELLERİN DENEYSEL VE ÖNGÖRÜLEN MR GRAFİKLERİ



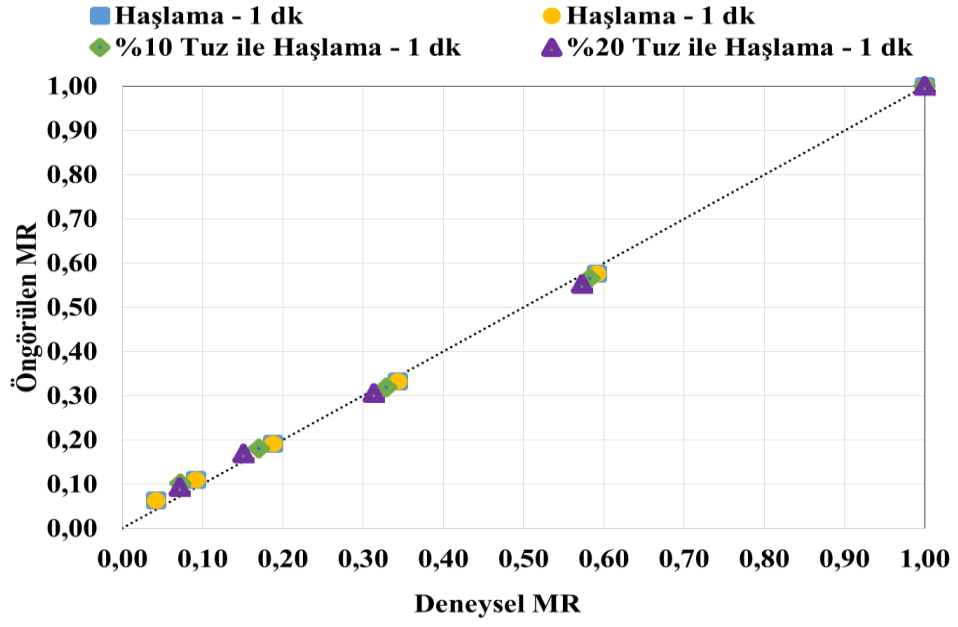
Hendersen



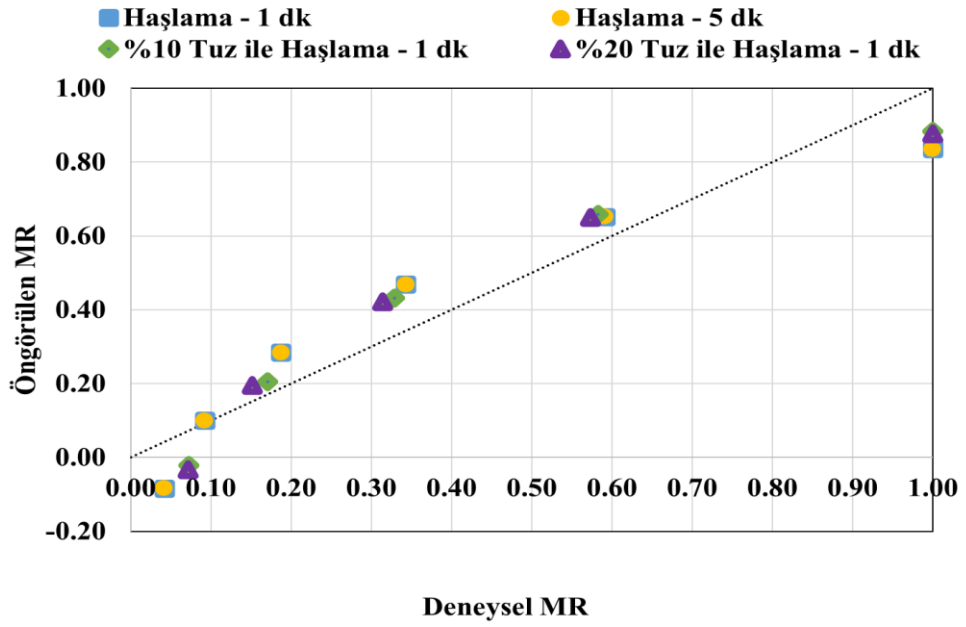
Jena



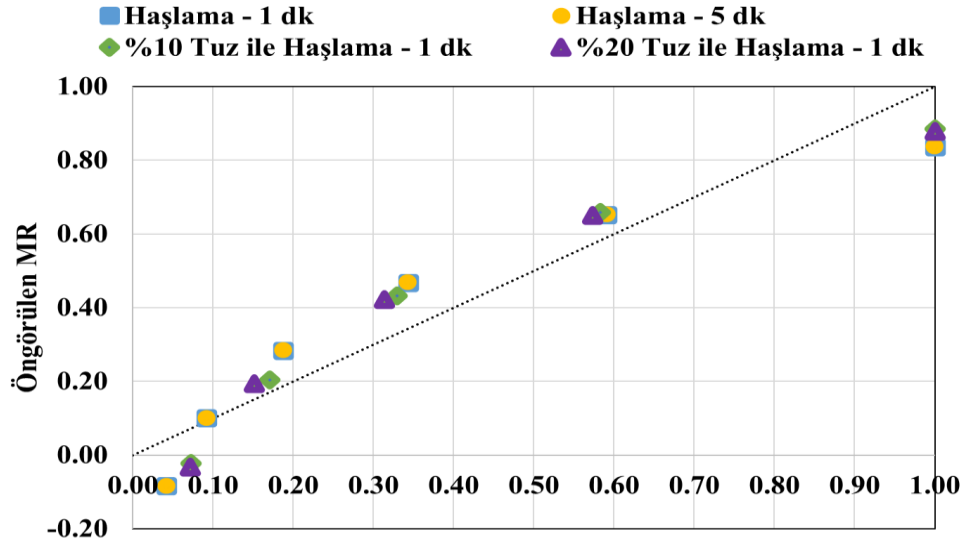
Lewis



Logarithmic

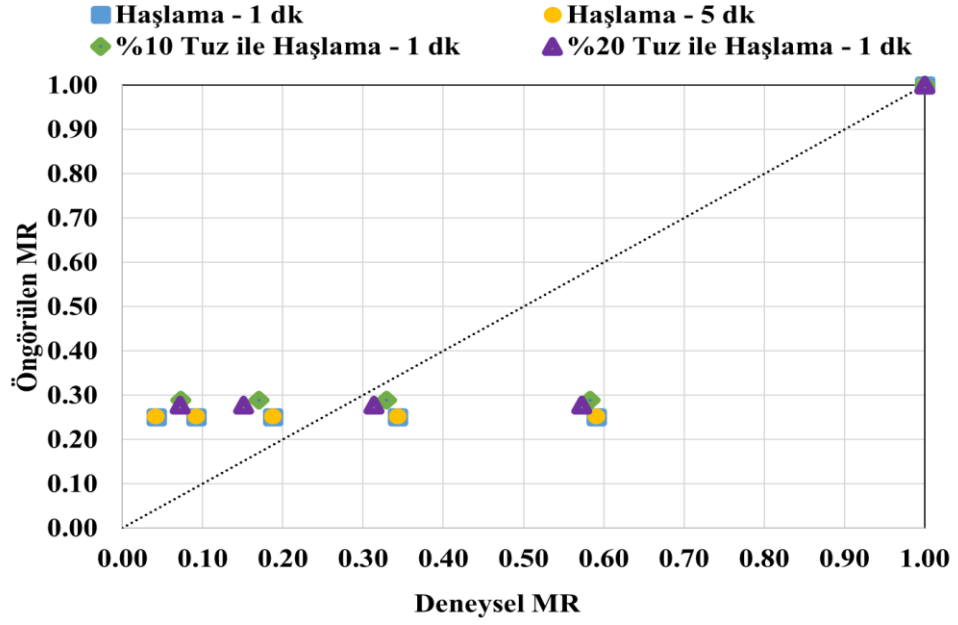


Midilli

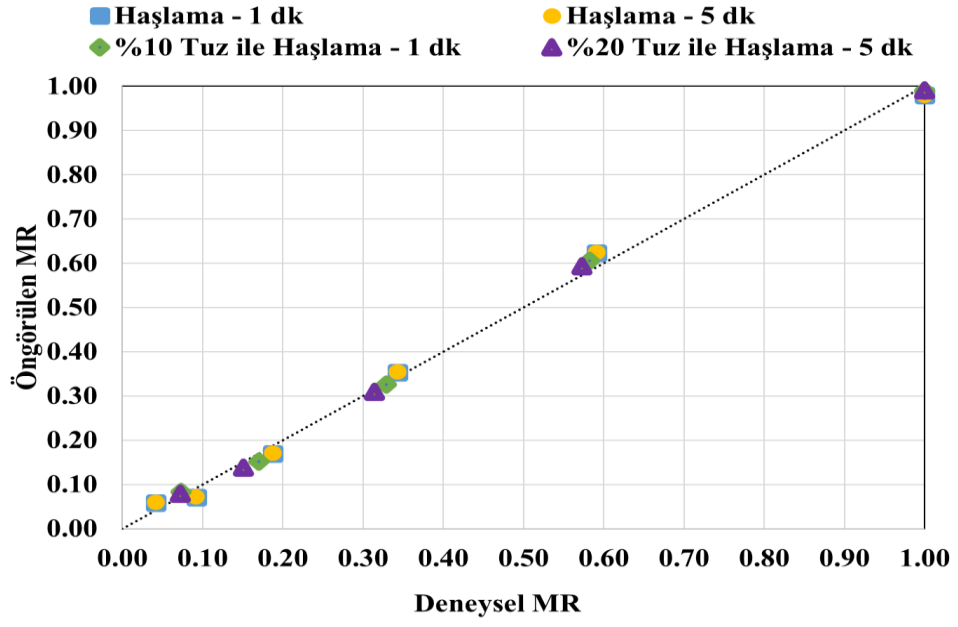


Deneyisel MR

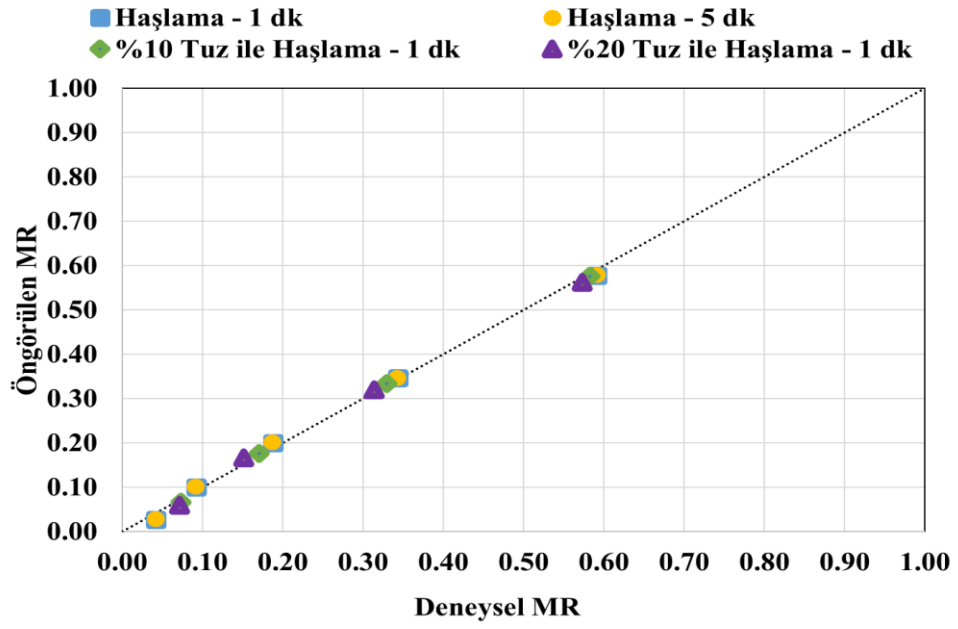
Page



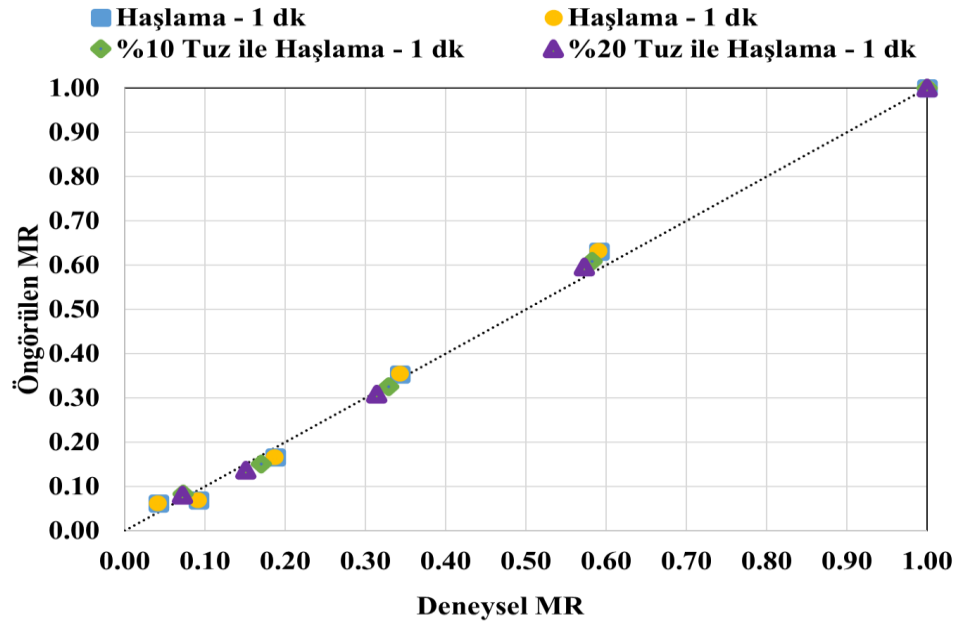
Parabolic



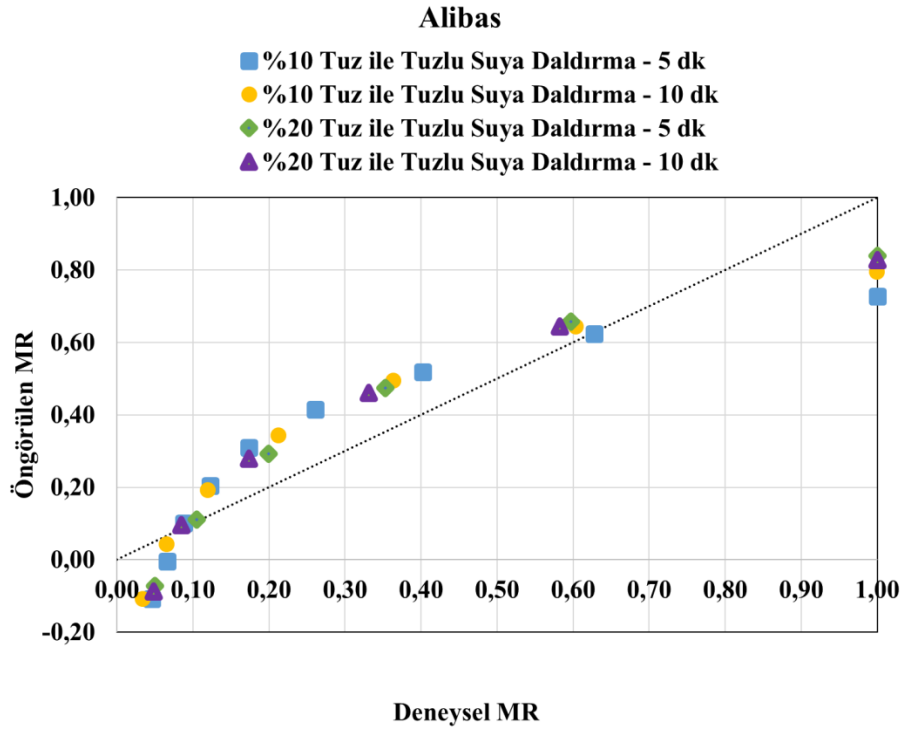
Peleg



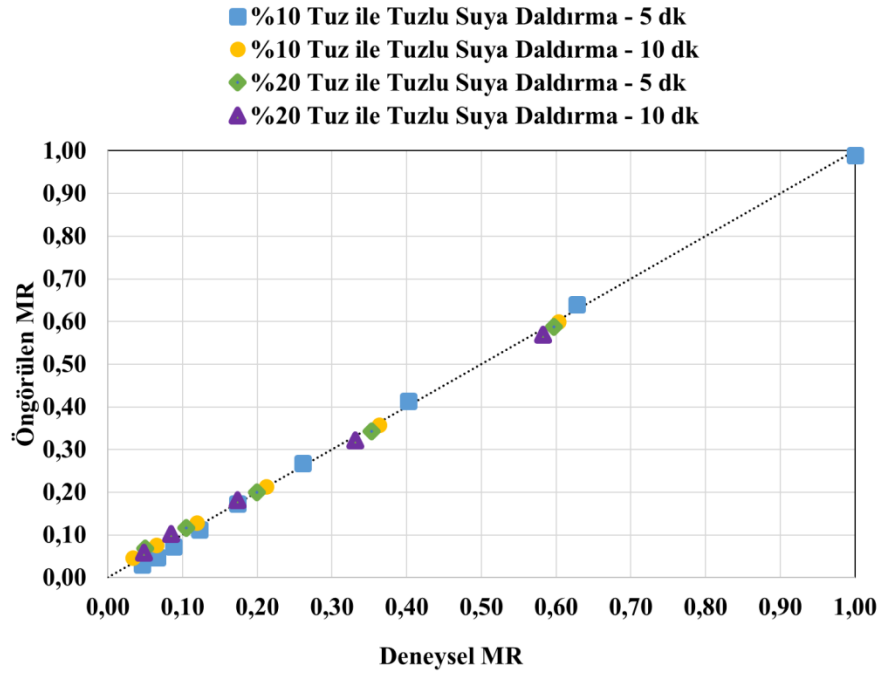
Wang



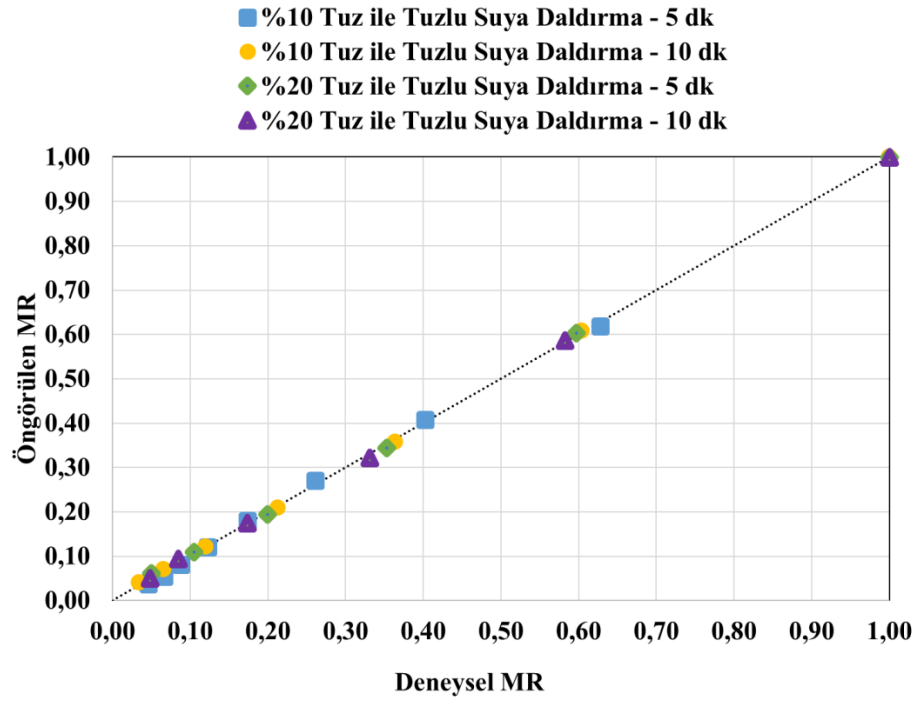
TUZLU SUYA DALDIRMA ÖN İŞLEMLİ NUMUNELERİN MATEMATİKSEL MODELLERİN DENEYSEL VE ÖNGÖRÜLEN MR GRAFİKLERİ



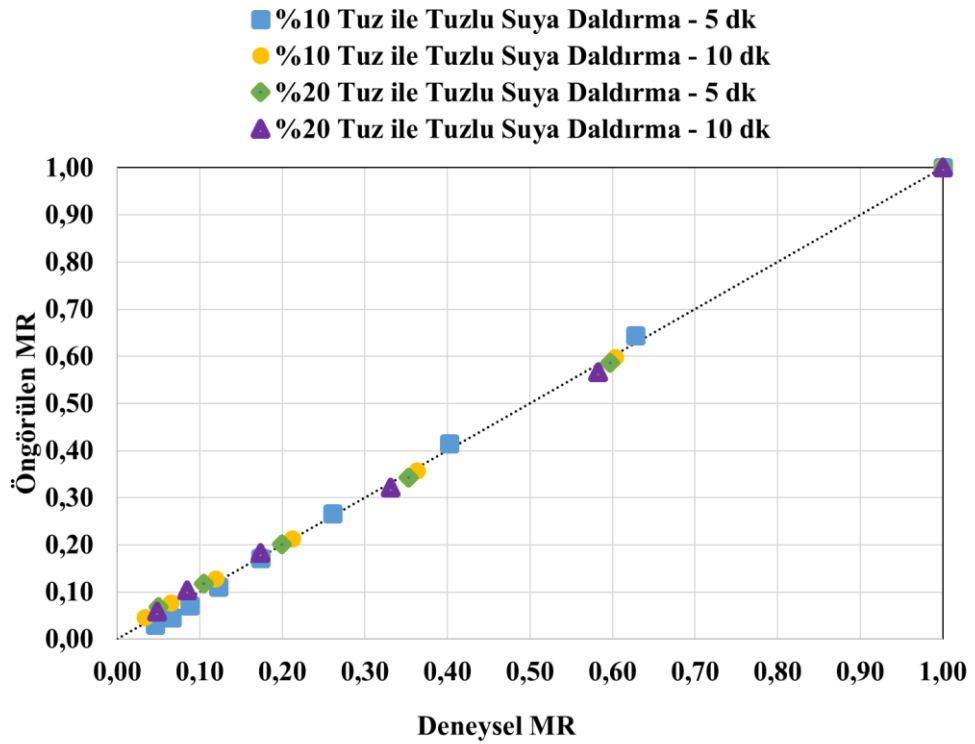
Henderson



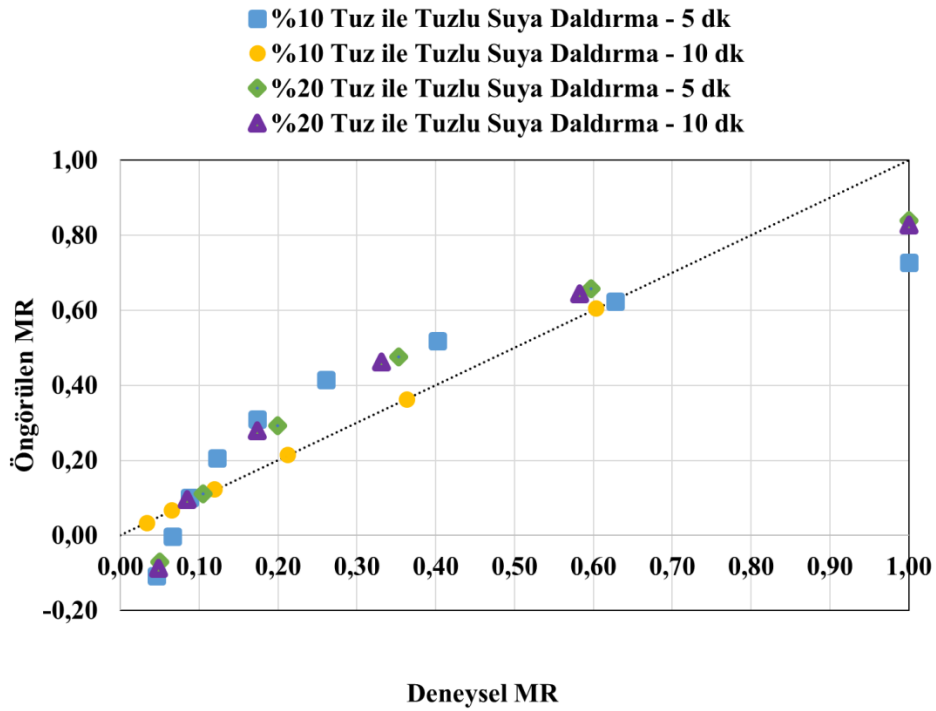
Jena



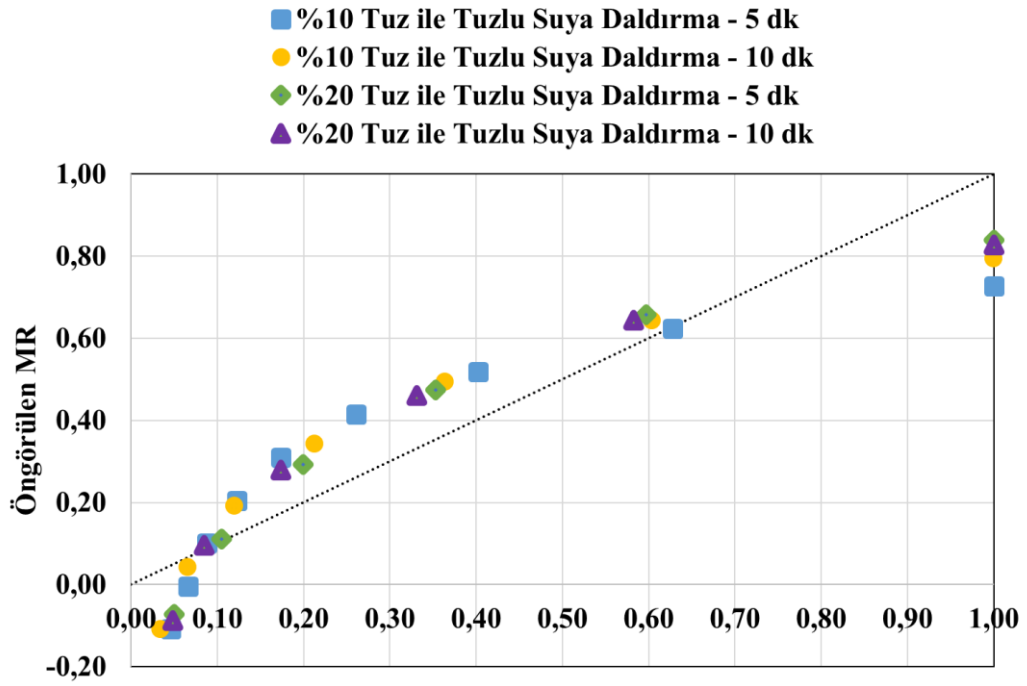
Lewis



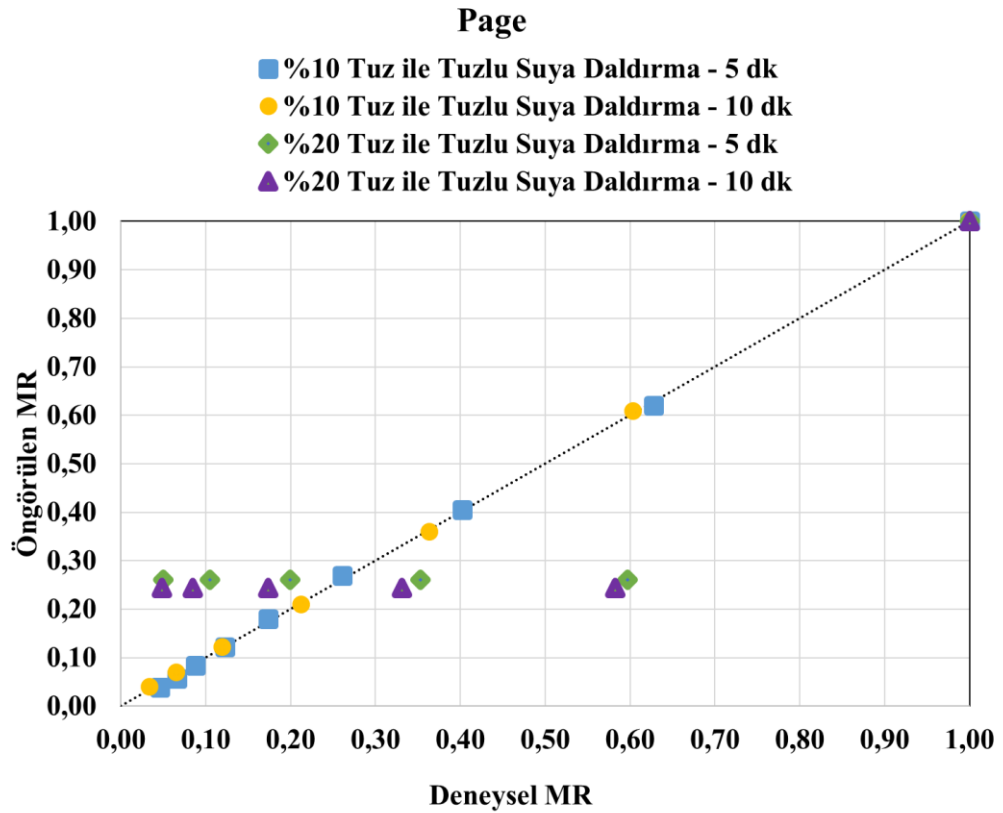
Logarithmic



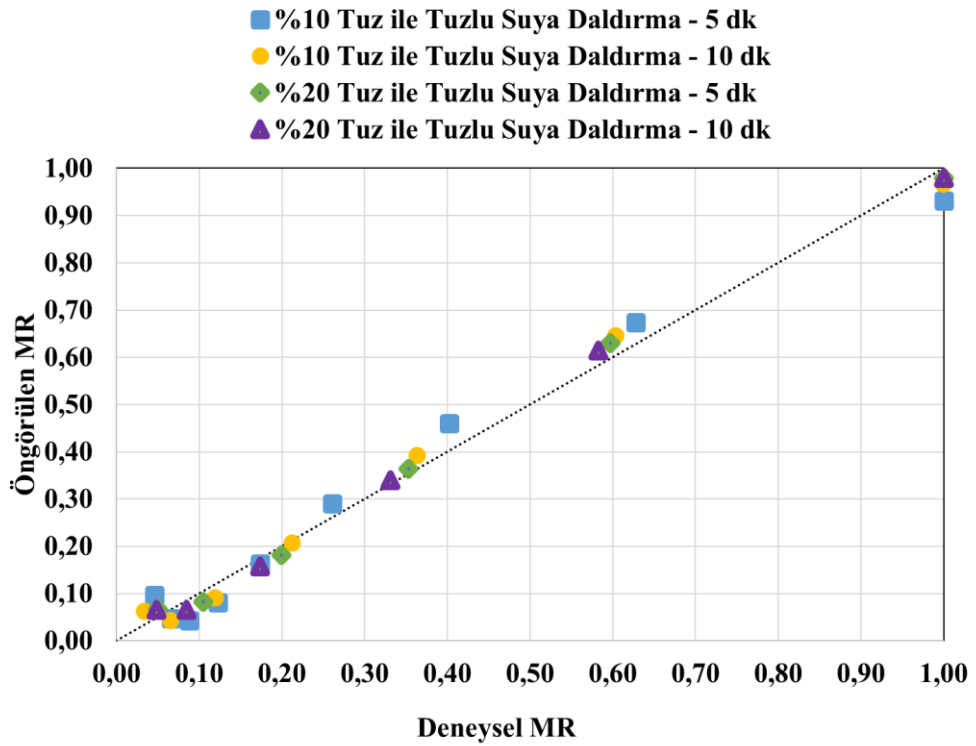
Midilli



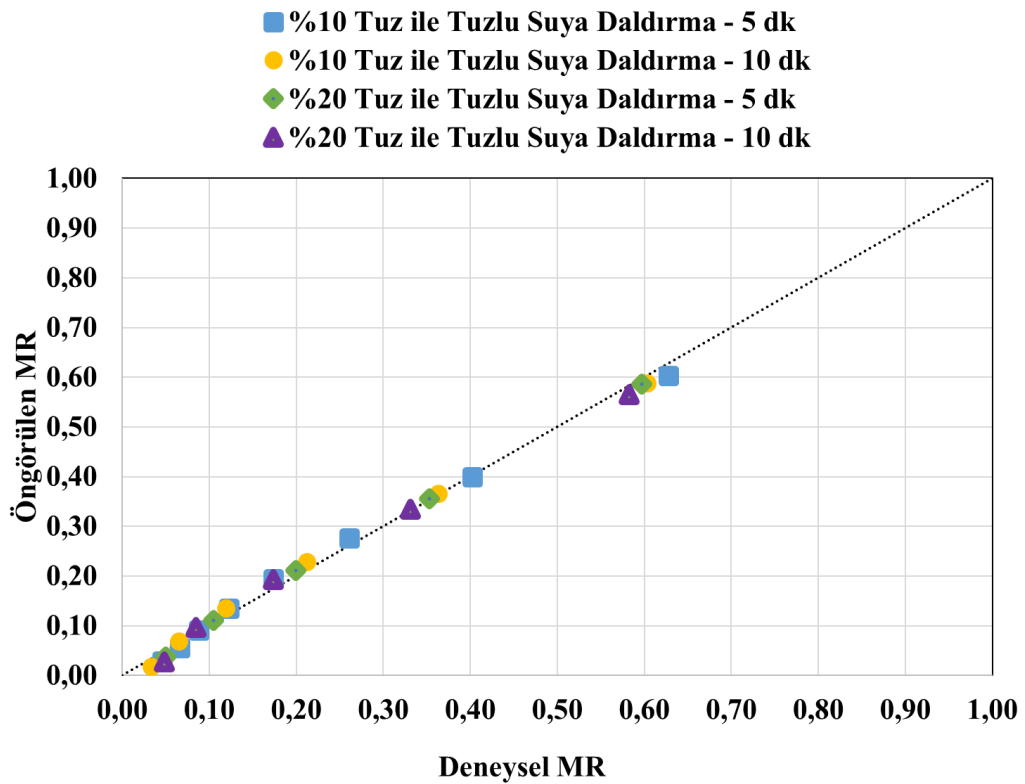
Deneyssel MR



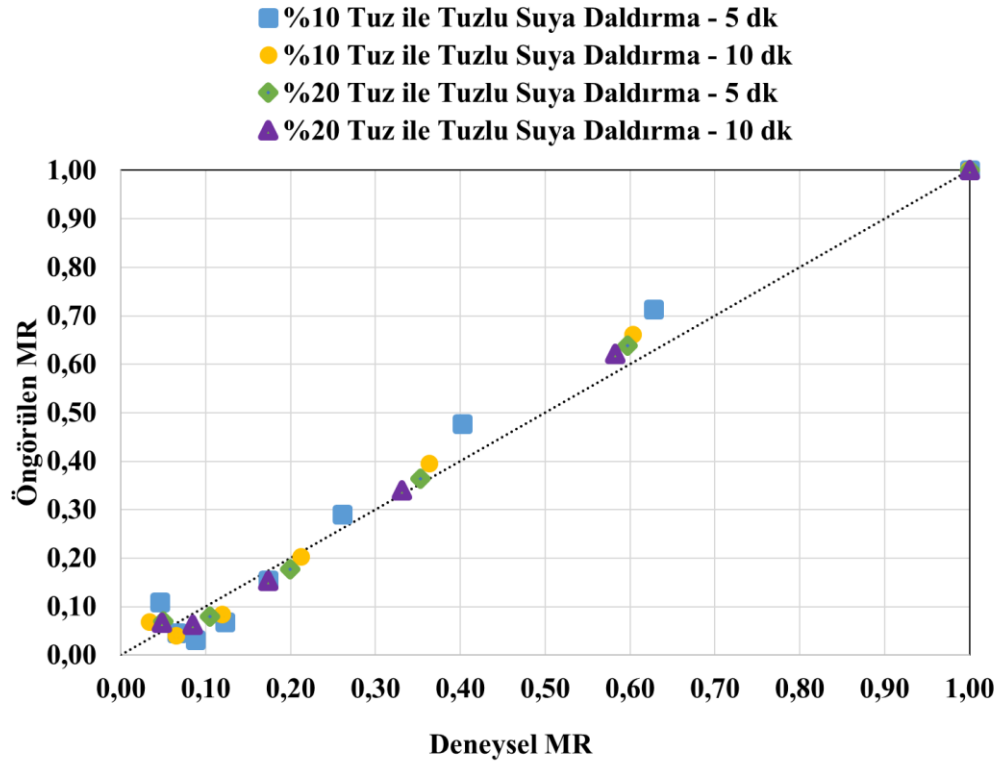
Parabolic



Peleg



Wang&Singh



TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Y. Cagliyan, Z. Ozyalçın, A. Kipçak, Mathematical modeling of the ultrasonic pretreated freeze dried cockle, 4th International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology, 2022

