

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MAVİ MİDYENİN MODERN DONDURARAK KURUTMA
TEKNİĞİ İLE KURUTULMASI VE KURUTMA
DAVRANIŞINA FARKLI ÖN İŞLEMLERİN ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

Nurgül ALP

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimya Mühendisliği Programı

Danışman

Prof. Dr. Azmi Seyhun KIPÇAK

Mayıs, 2024

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MAVİ MIDYENİN MODERN DONDURARAK KURUTMA
TEKNİĞİ İLE KURUTULMASI VE KURUTMA
DAVRANIŞINA FARKLI ÖN İŞLEMLERİN ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

Nurgül ALP tarafından hazırlanan tez çalışması 09.05.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Kimya Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Azmi Seyhun KIPÇAK
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Azmi Seyhun KIPÇAK, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Emek DERUN, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Fatma Tuğçe ŞENBERBER DUMANLI, Üye

Nişantaşı Üniversitesi

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

Nurgül ALP

İmza



Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü'nün "FYL-2023-5830" numaralı projesi ile desteklenmiştir.



Aileme
ve
Kedim Badem'e

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitiminde danışmanın önemini zorlu süreçlerden geçerek öğrendim. Bu süreçte her konuda desteğini ve yardımlarını esirgemeyen, sürekli teşvik eden, değerli görüş ve tavsiyeleriyle bana yol gösteren, yüreklendiren, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım saygı değer danışman hocam Sayın Prof. Dr. Azmi Seyhun Kıpçak’a teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Bilgi ve birikimlerini benimle paylaşan, laboratuvar çalışmalarında desteğini esirgemeyen, sorularım için yanına çekinmeden gidebildiğim değerli hocam Sayın Araştırma Görevlisi Zehra Özden Özyalçın’a teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Beni bu günlere getiren, her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen annem Yaşariye ve babam Cengiz Alp’e sonsuz teşekkür ve sevgilerimi sunarım.

Lisans eğitiminde hayalini kurduğumuz birlikte yüksek lisans eğitimini tamamlama serüveninde yanımda olan, her türlü maddi ve manevi desteğim olan biricik kardeşim Merve Alp’e teşekkürlerimi sunarım.

Lisans mezuniyet günümde hayatıma giren ve bir ömür boyu benimle olmasını temenni ettiğim minik kedim Badem’e ve tüm kalbimdeki kedilerime bu süreçte manevi destekleri için teşekkür ederim.

Nurgül ALP

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	v
SİMGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMA LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
TABLO LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiv
ABSTRACT.....	xvi
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Taraması.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	4
2 KURUTMA.....	5
2.1 Kurutma Mekanizması.....	5
2.2 Kurutma Çeşitleri.....	6
2.2.1 Geleneksel kurutma yöntemleri.....	6
2.2.2 Modern kurutma yöntemleri.....	7
3 DENİZ CANLILARI.....	12
3.1 Kafadan Bacaklılar	12
3.1.1 Ahtapot.....	13
3.1.2 Kalamar.....	13
3.1.3 Mürekkep balığı.....	14
3.2 Balıklar.....	15
4 MİDYE.....	16
5 MATERYAL VE METOD.....	18
5.1 Numunelerin Hazırlanması	18
5.2 Ön İşlemlili Numunelerin Hazırlanması	18
5.2.1 Ultrasonik ön işlem uygulanması.....	19
5.2.2 Haşlama ön işlem uygulanması.....	19

5.2.3 Tuzlu haşlama ön işlem uygulaması.....	20
5.2.4 %10 Tuzlu suya daldırma ön işlem uygulaması.....	21
5.2.5 %20 Tuzlu suya daldırma ön işlem uygulaması.....	22
5.3 Yöntem.....	22
5.3.1 Nem içeriğinin belirlenmesi.....	24
5.3.2 Dondurarak kurutma sonuçları.....	25
6 SONUÇ.....	41
6.1 Kurutma Hızı ve Efektif Nem Difüzyonu.....	43
6.2 Matematiksel Modelleme.....	44
6.3 İstatiksel Analiz.....	53
6.4 Sonuç.....	54
KAYNAKÇA.....	55
A MODEL GRAFİKLERİ: ÖN İŞLEMSİZ, US1 VE US.....	60
B MODEL GRAFİKLERİ: HAŞLAMA ÖN İŞLEMLİLER.....	67
C MODEL GRAFİKLERİ: TUZLU DALDIRMA ÖN İŞLEMLİLER.....	74
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR.....	81

SİMGE LİSTESİ

°C	Santigrat Derece
W	Watt
%	Yüzde
m.s ⁻¹	Hız
±	artı eksi



KISALTMA LİSTESİ

Ark	Arkadaşları
Diğ.	Diğerleri
Dk	Dakika
FD	Dondurarak Kurutma
G	Gram
IR	Kızılötesi
Mm	Milimetre
M	Metre
Sn	Saniye
US	Ultrasonik Ön işlem

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Güneşte kurutma örneği.....	7
Şekil 2.2	Konvektif kurutma prorsesi	8
Şekil 2.3	Dondurarak kurutma işlemi aşamaları.....	10
Şekil 3.1	Mavi halkalı ahtapot.....	13
Şekil 3.2	Kalamar görseli.....	14
Şekil 3.3	Mürekkep balığı.....	15
Şekil 4.1	Mavi midye.....	16
Şekil 4.2	Mavi midye (<i>Mytilus edulis</i>) dokularının genel anatomisi. (a) Addüktör kasların kesilmesi ve kapakçıkların açılması ile iç görünümü. (b) Bir numunenin eğik sırt görünümü.....	17
Şekil 5.1	Midye numunesi.....	18
Şekil 5.2	Ultrasonik ön işlem uygulaması.....	19
Şekil 5.3	Haşlama ön işlem uygulaması.....	20
Şekil 5.4	Tuzlu suda haşlama ön işlemi.....	21
Şekil 5.5	%10 Tuzlu suya daldırma ön işlemi.....	21
Şekil 5.6	%20 Tuzlu suya daldırma ön işlem uygulaması.....	22
Şekil 5.7	Labart LFD-10N model dondurarak kurutucu.....	23
Şekil 5.8	Dondurarak kurutucunun panel bölmesi.....	23
Şekil 5.9	Ön işlemsiz numuneler FD süreci.....	26
Şekil 5.10	1 dakika US ön işlemi FD işlemi süreci.....	28
Şekil 5.11	5 dk US ön işlem FD süreci.....	29
Şekil 5.12	Haşlama 30 sn ön işlemli numune FD uygulaması.....	30
Şekil 5.13	Haşlama 60 sn ön işlemli FD süreci.....	31
Şekil 5.14	%10 tuzlu haşlama 30sn ön işlem uygulaması sonrası FD süreci.....	33
Şekil 5.15	%10 tuzlu haşlama 60 sn ön işlem uygulaması sonrası FD süreci.....	34

Şekil 5.16 %10 tuzlu daldırma 1 dk ön işlemi uygulaması sonrası FD süreci.....	35
Şekil 5.17 %10 tuzlu daldırma 5 dk ön işlemi uygulaması sonrası FD süreci.....	37
Şekil 5.18 %20 tuzlu daldırma 1 dk ön işlemi uygulaması sonrası FD süreci.....	38
Şekil 5.19 %20 tuzlu daldırma 5 dk ön işlemi uygulaması sonrası FD süreci.....	40
Şekil 6.1 Ön işlemsiz, 1 dk US ve 5 dk US ön işlemli numunelerin nem içeriği/zaman grafiği.....	41
Şekil 6.2 Haşlama esaslı ön işleme tabi tutulan numunelerin nem içeriği/zaman grafiği.....	42
Şekil 6.3 Tuzlu daldırma esaslı ön işleme tabi tutulan numunelerin nem içeriği/zaman grafiği.....	42
Şekil 6.4 Ön işlemsiz, US1 dakika ve US 5 dakika ön işlemli numune kurutma hızına nem içeriği grafiği.....	43
Şekil 6.5 Haşlama ön işlemli numuneler kurutma hızına karşı nem içeriği grafiği.....	43
Şekil 6.6 Tuzlu daldırma numuneler kurutma eğrisi.....	44
Şekil 6.7 Ön işlemsiz, US1 dk ve US5 dk ön işlemli numuneler $\ln(MR)$ 'a zaman grafiği.....	46
Şekil 6.8 Haşlama ön işlemli numuneler $\ln(MR)$ 'a zaman grafiği.....	46
Şekil 6.9 Tuzlu daldırma ön işlemli numuneler $\ln(MR)$ 'a zaman grafiği.....	47

TABLO LİSTESİ

Tablo 5.1 Numunelerin nem içeriğinin belirlenmesi.....	24
Tablo 5.2 Ön işlemsiz numune dondurarak kurutma tartım sonuçları ve Veriler.....	25
Tablo 5.3 1 dakikalık ultrasonik ön işlem uygulanan numunelerin tartım sonuçları ve veriler.....	27
Tablo 5.4 5 dakikalık ultrasonik ön işlem uygulanan numunelerin tartım sonuçları ve veriler.....	28
Tablo 5.5 30 saniyelik haşlama ön işlem uygulanan numunelerin tartım sonuçları ve veriler.....	30
Tablo 5.6 60 saniyelik ön işlem uygulanan numunelerin tartım sonuçları ve veriler.....	32
Tablo 5.7 30 saniye %10 tuzlu haşlama ön işlem uygulanan numunelerin tartım sonuçları ve veriler.....	32
Tablo 5.8 60 saniye %10 tuzlu haşlama ön işlem uygulanan numunelerin tartım sonuçları ve veriler.....	33
Tablo 5.9 1 dakikalık %10 tuzlu daldırma ön işlem uygulanan numunelerin tartım sonuçları ve veriler.....	35
Tablo 5.10 5 dakikalık %10 tuzlu daldırma ön işlem uygulanan numunelerin tartım sonuçları ve veriler.....	36
Tablo 5.11 1 dakikalık %20 tuzlu daldırma ön işlem uygulanan numunelerin tartım sonuçları ve veriler.....	38
Tablo 5.12 5 dakikalık %20 tuzlu daldırma ön işlem uygulanan numunelerin tartım sonuçları ve veriler.....	39
Tablo 6.1 Yaygın kullanılan matematiksel modeller.....	45
Tablo 6.2 Ön işlemsiz ve ön işlemlili numuneler efektif nem difüzyon katsayıları.....	47

Tablo 6.3 Ön işlemsiz, US 1 dakika ve US 5 dakika numuneleri matematiksel model ve parametreleri.....	48
Tablo 6.4 Haşlama esaslı ön işlemlili numuneler matematiksel model ve parametreleri.....	50
Tablo 6.5 Tuzlu daldırma esaslı ön işlemlili numuneler matematiksel model ve parametreleri.....	52



Mavi Midyenin Modern Dondurarak Kurutma Tekniği İle Kurutulması Ve Kurutma Davranışına Farklı Ön işlemlerin Etkisinin İncelenmesi

Nurgül ALP

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimya Mühendisliği Programı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Azmi Seyhun KIPÇAK

Kurutma teknikleri sürdürülebilirlik hedefleri kapsamında besinlerin israfının önlenmesi, raf ömrünün uzatılması ve kaynakların etkili kullanımını sağlamak için oldukça etkili yöntemleri oluşturmaktadır. Mevsiminde toplanan meyve ve sebzeler başta olmak üzere içerdiği nem oranının belirli süre sonrasında mikroorganizma oluşumuna neden olması ile bozulan kırmızı et, beyaz et ve deniz canlılarının saklanması için yüzyıllardır kurutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Kurutma teknikleri gelişen teknoloji ile taze besinlerle hemen hemen aynı özelliklere sahip ürün elde edilmek üzere geliştirilmeye ve çeşitli ön işlem uygulamaları ile ürünlerin kalitesi arttırılmaya yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Dondurarak kurutma tekniği bu geliştirilen modern teknikler arasında yer almaktadır. Dondurarak kurutma tekniklerinde besinler vakum ortamında – 70 santigrat derece sıcaklıklara kadar dondurularak içerdikleri nem doğrudan süblimleştirilerek besinden uzaklaştırılmaktadır.

Bu yüksek lisans çalışması kapsamında, nem içeriği yüksek deniz canlıları arasında yer alan mavi midyenin dondurarak kurutulması gerçekleştirilmektedir. Dondurarak

kurutma işlemi sırasında numuneler ön işlemli ve ön işlemsiz numuneler hazırlanarak kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Yaklaşık %70 oranında nem içeren mavi midye numuneleri, %7 nem içeriğine ulaşılana kadar kurutulmuştur. Mavi midyelerin nem miktarı, nem analizi kullanılarak $2,3713 \pm 0,2$ kg su/kg kuru madde olarak belirlenmiştir. Elde edilen veriler analiz edilerek kuruma hızı hesaplanmıştır. Ayrıca istatistiksel analiz ile efektif nem difüzyonu belirlendi ve kurutma verilerine matematiksel modeller uygulanmıştır. Matematiksel modellerden yaygın olarak kullanılan 14 model içerisinde en uyumlu model analizi yapılmıştır. Numunelere ortalama 420 dakika boyunca dondurarak kurutma işlemi uygulanmıştır. Ön işlem uygulamaları için en uyumlu matematiksel modeller Alibas, Midilli ve Two Term Exponential olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mavi midye, dondurarak kurutma, kurutma hızı, matematiksel modeller.

Drying of Blue Mussel By Modern Freeze Drying Technique and Investigation of the Effect of Different Pretreatments on Drying Behaviour

Nurgül ALP

Department of Chemical Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Azmi Seyhun KIPÇAK

Drying techniques constitute highly effective methods to prevent food waste, extend shelf life and ensure effective use of resources within the scope of sustainability goals. Drying has been carried out for centuries to preserve red meat, white meat and sea creatures, especially fruits and vegetables collected in season, as well as red meat, white meat and sea creatures that spoil after a certain period of time due to the moisture content they contain causing the formation of microorganisms. With the developing technology, studies on improving drying techniques to obtain products with almost the same properties as fresh foods and on improving the quality of products with various pre-treatment applications have accelerated. Freeze drying technique is among these developed modern techniques. In freeze drying techniques, foods are frozen in a vacuum environment to temperatures of -70 degrees Celsius and the moisture they contain is removed from the food by direct sublimation.

Within the scope of this master's degree study, freeze drying of blue mussels, which are among the marine creatures with high moisture content, is carried out. During the freeze-drying process, pre-treated and non-pre-treated samples were prepared and subjected to drying. Blue mussel samples, containing approximately

70% moisture, were dried until 7% moisture content was reached. The moisture content of blue mussels was determined as 2.3713 ± 0.2 kg water/kg dry matter using moisture analysis. The drying rate was calculated by analyzing the obtained data. Additionally, effective moisture diffusion was determined by statistical analysis and mathematical models were applied to the drying data. The most compatible model among 14 commonly used mathematical models was analyzed. The samples were freeze-dried for an average of 420 minutes. The most compatible mathematical models for pre-treatment applications were determined as Alibas, Midilli and Two Term Exponential.

Keywords: Blue mussel, freeze drying, drying rate, mathematical models.



1.1 Literatür Taraması

İklim değışikliğinin etkilerinin artması ile sanayide küresel ısınmanın nedenlerini azaltılmasına yönelik çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Paris İklim Antlaşması ile hedeflenen 2050 yılında net sıfır karbon emisyonu ulaşılması için yapılan araştırmalar hız kazanmaktadır. Özellikle emisyonu neden olan fosil yakıtların yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına uygulamalar üzerine ağırlık verilmeye başlanmıştır. Bu çalışmalar sürdürülebilirlik kalkınma hedefleri ile desteklenmektedir. Sürdürülebilirlik kalkınma hedefleri iklim değışikliğinin etkilerinin azaltılması ve kaynakların etkili kullanılması amaçlanmaktadır.

Besinlerin etkin kullanılması ve gıda israfının engellenmesi için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar arasında kurutma teknolojilerinin kullanılarak besinlerin raf ömrünün uzatılması, kaynakların daha verimli kullanılmasına yardımcı olmaktadır. Kurutma işlemleri ürünlerdeki nemin uzaklaştırılması ile uzun süreli besinlerin saklanması sağlanarak mevsiminde toplanan meyve, sebze ve benzeri besinlerin sonraki dönemlerde de tüketilebilmesine olanak sağlamaktadır.

Kurutma işlemi geleneksel olarak güneşte kurutma tekniği kullanılması ile yıllardır gerçekleştirilmektedir. Özellikle Anadolu'da kışa hazırlık yapılmak üzere tarhana, elma, armut, biber, patlıcan gibi mevsimlik ürünler güneşe serilerek kurutulur ve sonraki dönemlerde sofralarda yerini almak üzere saklanmaktadır. Kurutma işlemlerinde gelişen teknoloji ile çeşitli kurutma ekipmanlarının kullanımı yaygınlaşmaktadır. Özellikle endüstriyel uygulamalar için güneşte kurutma metodu sürdürülebilirlik ve besinlerin sterilizasyonu, stabil ürünler elde edilmesi hususunda önemli zorluklara neden olmaktadır. Bu zorluklar kurutma ekipmanları ile besinlere uygulanan sıcaklık, hava hızı vb. etkilerin daha control edilebilir hale gelmesi sağlanmaktadır. Kurutma işlemi ile ürünlerin bozulmasının önüne geçilmektedir. Besinlerin içerisindeki nem oranı %15 ve üzerinde olduğu durumlarda mikroorganizmaların oluşumu için gerekli ortam sağlanmış olmaktadır. Kurutma işlemleri uygulanması sırasında kinteğin incelenmesi ve

renk değişimi gibi gözle görülür etkilerin belirlenebilmesi için çeşitli kurutma öncesi numunelere ön işlem uygulaması yapılmaktadır. Ön işlemli ve ön işlemsiz numunelerde görülen kuruma hızı, kuruma süresi, şekil ve renk değişikliği gibi çeşitli parametreler besinlerin kurutululmasında yöntemin etkinliğini belirleyen önemli parametrelerdir.

Kurutma işlemleri üzerine yapılmış çalışmalar incelendiğinde Doymaz ve Pala (2002), yaptıkları çalışmada kırmızı biberin sıcak hava ile kurutulması gerçekleştirmişlerdir. Kırmızı biberin kurutma işlemleri öncesi sabit etil oleat içeren üç farklı yüzdeye sahip potasyum karbonat çözeltisine daldırılarak ön işlem uygulaması yapılmıştır. Kurutma sıcaklığı 50 ve 60°C olarak iki farklı sıcaklık olarak belirlenmiştir. Ön işlem sonrası kurutma işleminde elde edilen kırmızı biber numunelerinde en iyi renk kalitesine sahip ürünler elde edilmesi beklenmektedir. Ön işlem sonrasında en iyi renk kalitesi 50°C’de %5 potasyum karbonat çözeltisi (%2 etil oleat içeren) daldırma ön işlemi uygulanan numunelerde elde edilmiştir. Ayrıca çalışmada ön işlemli numunelerdeki renk kalitesi, ön işlemsiz numunelere göre daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir (Doymaz & Pala, 2002).

Adak ve diğerleri (2017), yaptıkları çalışmada çileğin infrared kurutma sistemi ile kurutulması üzerine araştırma yapmışlardır. Çalışmada kurutma hızı, kurutma süresi ve sıcaklık gibi parametrelerin çileğin kuruması ve renk kalitesi üzerine etkisi incelenmişlerdir. Kurutma sonucunda çileğin besin değerlerindeki değişim belirlenmiştir. Çileklerin IR ile kurutulmasında uygulanan infrared güç miktarı da besinin renk ve içeriğini etkilemektedir. Çalışma sonucunda en iyi renk ve kuruma performansı gösteren ilek numuneleri 200W, 100°C ve 1,5 m.s⁻¹ hız parametrelerinde elde edilmiştir (Adak vd., 2017).

Duan ve ark. (2010), yaptıkları çalışmada denizhiyarını kurutulması mikrodalga destekli dondurarak kurutma tekniği ile gerçekleştirilmiştir. Numuneler -20°C sıcaklıkta yaklaşık 8 saat kurutularak %7 nem içeriğine ulaşılmıştır (Duan vd., 2010).

Hu ve ark. (2013), karidesin kurutulması üzerine çalışma yapmışlardır. alışmalarında, karides numuneleri hibrit yöntem kullanılarak (elektro

hidrodinamik ile vakum dondurarak kurutma) kurutululmasını araştırmışlardır (Hu, Huang & Bai, 2013).

Aleman ve ark. (2019), deniz rezene özlerini ultrasonikasyon ve dondurarak kurutma yöntemi ile kurutulması üzerine çalışmışlardır (Aleman vd., 2019).

Li ve ark. (2019), dondurarak kurutulmuş ve sıcak hava ile kurutulmuş karideslerin raf ömrü ve renk özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada karides kurutulmasında en iyi ürün elde edilmesi için farklı kurutma yöntemleri kullanılmıştır. Sıcak hava ile kurutma ve dondurarak kurutma (FD) yöntemler karşılaştırılmıştır. Dondurarak kurutulan numune, sıcak hava ile kurutulan numunelere göre besin değerleri korunmuştur. FD ile kurutmada besinlerde renk diğer yöntemlere göre daha iyi korunmaktadır (Li vd., 2019).

Palma-Acevedo ve ark. (2022), deniz salyangozunu dondurarak kurutma işlemine tabi tutmadan önce bir ön işlem olarak farklı darbeli elektrik alan uygulamasının dondurularak kurutulmuş ürünün protein kalitesi üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir (Palma-Acevedo vd., 2022).

Midyenin kurutulması ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde özellikle dondurarak kurutma yöntemi ilgili çalışmaların azlığı dikkat çekmektedir. Geleneksel yöntemlerin kullanıldığı birkaç çalışma bulunmaktadır.

Kıpçak (2017), çalışmasında mikrodalga kurutma yöntemini kullanarak midyenin kuruma özelliklerini incelemiştir. Midyeye çeşitli mikrodalga güç seviyeleri uygulayarak kurutma kinetiği, rehidrasyon özellikleri ve enerji tüketimi üzerindeki etkilerini belirlemiştir (Kıpçak, 2017).

Özyalçın ve Kıpçak (2021), etüv ve vakum etüv kullanarak mavi midyeleri geleneksel yöntemlerle kurutarak, midyelerin rehidrasyon davranışını incelemişlerdir (Özyalçın & Kıpçak, 2021).

Kıpçak ve ark. (2021), geleneksel yöntemlerle dolap tipi etüv ve vakumlu etüv kurutma yöntemleriyle kurutulan mavi midyelerin karakteristik kurutma davranışları ve kinetikleri incelenmiştir (Kıpçak vd., 2021).

Kocabay (2021) çalışmasında, kara midye numuneleri ultrason destekli vakum kurutmaya tabi tutarak kimyasal bileşimler, kurutma kinetikleri, kalite parametreleri ve enerji tüketimleri analiz etmiştir. Çalışma sonucunda ultrason

destekli vakumlu kurutma tekniği kullanılarak çok dk enerji tetimi sağladığı bildirilmiştir (Kocabay, 2021).

1.2 Tezin Amacı

Bu alışma ile besin içeriği bakımından kırmızı ve beyaz et ürünleri ile eşdeğer içeriğe sahip, mavi midye numuneleri dondurarak kurutma yöntemi kullanılarak kurutulmuştur. Midye numunelerine farklı ön işlemler uygulanarak mavi midyenin kurutma özellikleri incelenmiştir. Elde edilen kuruma verileri matematiksel modeller kullanılarak en uygun modeller belirlendi ve etkili nem difüzyonu değerleri hesaplanmıştır. Mavi midye dondurarak kurutulması sırasında n işlemsiz ve ön işlem uygulanan numunelerin nem içeriği %7 olana kadar liyofilizasyon sırasında saat başı ağırlık lm alınmıştır. Numunelerde nem kaybına bağlı olarak herhangi bir yapısal bozukluk, renk değerikliği gözlenmemiştir.

Kurutma besinlerin saklanması için kullanılan en eski yöntemler arasında yer almaktadır. Fazla ve mevsiminde olan yiyeceklerin kurutularak diğer dönemlerde de kullanılması yaygın olarak kullanılan yöntemlerin başında yer almaktadır. Özellikle herhangi bir ekipman kullanılmadan basit olarak gerçekleştirilen kurutmalarda bölge iklimi oldukça önemli olmaktadır. İklim koşulları ürünlerin içindeki nemin zamanla uzaklaştırılması sırasında besinlerin degrade olmadan korunması için önemli bir parametredir (Costenbader, 1996). Nemli iklime sahip bölgelerde teknolojinin de gelişmesi ile kurutucu ve fırınlar gibi cihazların kullanımı yaygınlaşmıştır. Kurutmada işlemi ile koruma yöntemi oldukça basit bir metalojiye dayanmaktadır. Malzemelerin içerdikleri nem zamanla bakteri, küf, maya gibi mikroorganizmaların oluşması ile bozulmaya neden olmaktadır. Üründen nem içeriğinin uzaklaştırılması ile bu organizmaların üremesi ve çoğalmaları için gerekli olan nemli ortam yok edilmiş olacaktır (Diaz-Maroto vd., 2002).

Kurutma işlemi denildiğinde aklımız ilk olarak besinlerin kurutulması gelse de çeşitli ürünlerin kurutma işlemi yapılmaktadır. Tütün, yem, tekstil yünleri, katkı kimyasalları gibi malzemelerde içerisindeki nem oranının kullanım sürecinde performans üzerine etkileri nedeniyle kurutma işlemi uygulanması gerekmektedir. Genellikle kullanım ve raf ömrünü geliştirmek için kurutulan malzemelerde içerdiği nem oranı yapılacak uygulamaya göre kontrol edilmektedir.

2.1 Kurutma Mekanizması

Gıda maddelerinin kurutulması süreci son derece karmaşık olup, fiziksel, kimyasal ve faz değişim dönüşümlerinin eşlik ettiği ısı, kütle ve momentum transfer süreçlerinin geçici mekanizmalarını içerir. Kurutma işlemi her ne kadar basit bir işlem olarak görülse de aslında karmaşık bir süreçtir. Ürünlerde meydana gelen fiziksel, kimyasal değişimlerin yanı sıra ısı, kütle ve momentum transferlerinin geçici mekanizmalarını da içerebilmektedir. Kurutma işleminde ürün ve ortam arasında meydana gelen konveksiyon ve radyasyon ile

buharlaşmanın yanı sıra ürün içerisinde de nemin yzeeye taşınması sırasında difüzyon ve iletim transferleri gerçekleşmektedir. Bu transferlerin gerçekleşmesi sonucu kuruyan ürünün ağırlığı azalır ve gözeneklerdeki nemin uzaklaşmasına bağlı olarak bzlmeler meydana gelebilmektedir (Sabarez, 2015).

Kurutma, ürün işlemede önemli bir adımdır ve tanımlanmış bir ürün durumuna ulaşmak ve ürün genelinde homojen bir kalite seviyesini korumak için doğru kurutma gereklidir. Kurutma işlemi ürünlerin son kullanıma hazır hale getirilmesi için oldukça önemli bir prosestir. Homojen ve stabil kurutulmuş ürünlerin elde edilmesi endüstriyel olarak önemli bir adımdır. Kurutulan ürünlerde raf ömrü, lezzet, dış görünüş gibi kalite parametreleri ile ürünlerin kurutulmasının tutarlılığı belirlenmektedir. Kurutma işlemi sırasında gerçekleşen kütle transferinin kontrol edilmesi için ürün içerisindeki nemin difyon hızı veya nemin buharlaşma hızı belirlenmektedir (Wernecke &Wernecke, 2014).

2.2 Kurutma eşitleri

Kurutma işlemi geleneksel ve modern kurutma olarak iki ana başlıkta sınıflandırılabilir. İlk zamanlarda yaygın olarak kullanılan geleneksel yöntemler yerini modern teknolojinin kullanımına bırakmaya başlamıştır. Günümüzde Anadolu kesimlerinde sıklıkla kullanılmaya devam etsede endüstriyel boyutlardaki kurutmalarda modern teknolojinin kullanılması yaygınlaşmıştır.

2.2.1 Geleneksel kurutma yöntemleri

Geleneksel kurutmada güneşe serme yöntemi ile ürünlerdeki nem içeriği uzaklaştırılmaktadır. Güneş ve havanın kullanılması gerçekleştirilen kurutma işleminde iklim koşulları oldukça önemli olmaktadır. Geleneksel kurutma yöntemi açık hava kurutma veya güneş enerjili kurutma olarak da isimlendirilmektedir (Bux vd., 2002). şekil 2.1’de patlıcanların güneşe kurutulmasının öncesi ve sonrası görseli bulunmaktadır.



Şekil 2.1 Güneşte kurutma örneği (Al-Qudsi ve diğerleri, 2017)

Geleneksel kurutmada ısı aktarımı hava ile konveksiyon ile veya doğrudan ve dolaylı radyasyon ile gerçekleşir. Isı bir kısmı ürünün yüzeyinden iletilerek içerdiği nemin ürünün yüzeyine doğru hareketini sağlar. Kalan ısı ise yüzeye iletilen nemin buharlaşmasını sağlar. Kurutmanın yüksek verimle gerçekleşmesi için yüzeye ulaşan su buharlarının ürün etrafından uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu işlem istenilen nem yüzdesine ulaşana kadar devam ettirilir. Güneşe bırakılan besinler özellikle patlıcan, elma, kayısı, biber, domates gibi mevsiminde toplanan ve yılın diğer zamanları da kullanılmak üzere kurutulan besinlerde kurutma için ortam havası kullanılır. Kurutma sırasında güneşli alanda bekletilen ürünlerde renk değişiklikleri, şekilde büzülme meydana gelebilmektedir (Rahman, 2020).

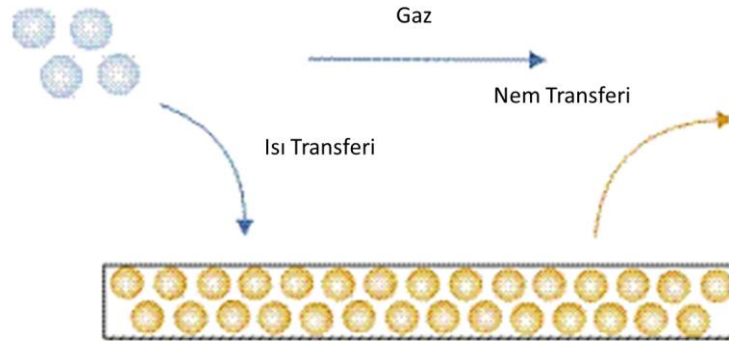
2.2.2 Modern kurutma yöntemleri

Geleneksel kurutma yöntemlerinde iklim koşullarının sabit olmaması, besinlerin kurutma sırasında bozulmalara uğraması, kuş, böcekler gibi dış tehlikeler ve steril, hijyenik ortam sağlama güçlüğü ve uzun süren kurutma prosesi gibi nedenlerden dolayı gelişen teknoloji ile modern kurutma sistemleri üzerine yapılan çalışmalar hızlanmıştır.

2.2.2.1 Konvektif kurutma

Konvektif kurutma yöntemi nem uzaklaştırmak için kullanılan modern kurutma yöntemlerinden biridir. Bu yöntemde ısı transferini sağlamak için sıcak hava kullanılmaktadır. Çoğu çalışmada farklı meyve ve sebzeleri kurutmak için ozmotik ve konvektif kurutma sistemleri hibrit olarak kullanılmaktadır (Brennan, 2015). Konvektif kurutmada kurutma işlemi ürünün gaz ile temas ettirilmesi gerçekleştirilmektedir. Buharlaşma için gerekli ısı gazın soğumasıyla elde edilmektedir. Aynı zamanda gaz akışı buhar haline gelen nemin

uzaklaştırmasında da görev almaktadır. Şekil 2.2’de konvektif kurutma prosesi gösterilmektedir.



Şekil 2.2 Konvektif kurutma prorsesi (Land, 2012)

Konvektif kurutucular genellikle ürünün tamamının gaz akışkan ile sürüklendiği flaş veya sprey kurutucular, ürünün bir kısmının gaz akışı ile sürüklendiği akışkan yataklı kurutucular ve ürünün ihmal edilemeyecek kadar az bir kısmının gaz akışı ile sürüklendiği plaka kurutucular olarak üç gruba ayrılabilirler (Land, 2012).

2.2.2.2 Ozmotik kurutma

Ozmotik kurutma sistemlerinde kurutma, membran kullanılarak nemin düşük konsantrasyondaki ortamdan daha yüksek konsantrasyondaki ortama geçmesi ile gerçekleşmektedir. Kurutucuda kullanılan membran yarı geçirgen özellikte olup iki tarafın denge halinde kalmasını sağlamaktadır (Tiwari, 2005). Ozmotik kurutma ürünlerin renk, tat ve besin değerlerini korumasının yüksek olması nedeniyle diğer kurutma yöntemlerine göre tercih edilmektedir. Bu yöntemde çözelti kullanılarak suyun membran ile difüzyonu gerçekleştirilmektedir.

2.2.2.3 Mikrodalga kurutma

Mikrodalga kurutma, elektromanyetik dalgalar salınımı ile hacimsel ısıtma yaparak ürünlerdeki nemi uzaklaştırmak için kullanılmaktadır. Mikrodalga kurutmada, dalga boyları 1 mm-1 m arasında olmaktadır (Joardder vd., 2013). Özellikle besinlerin kurutulması için 915 ve 2450 MHz frekansları genellikle kullanılmaktadır. Bu kurutma yöntemi ile kuruma süresi hacimsel ısıtmanın etkisiyle kısaltılırken diğer yöntemlere kıyasla daha düşük maliyet sağlamaktadır. Üründe hasara neden olmamak için diğer yöntemlerle hibrit

uygulaması üzerine çalışmalar bulunmaktadır. Bu hibrit uygulamalar vakumlu/mikrodalga kurutma örnek verilebilmektedir (Jiang vd., 2010).

2.2.2.4 Vakumlu kurutma

Vakumlu kurutma sistemleri, diğer atmosfer ortamı kullanılarak yapılan kurutmalar gibi yağın olarak kullanılan bir yöntem değildir. Fakat ısıya duyarlı, kurutulması zor olan malzemelerde, uçucu bileşenin geri dönüştürülmesi veya tehlikeli maddelerin kurutulması için kullanılabilir. Bu şekilde belirtilen uygulamalar için avantaj sağlamaktadır. Kurutma esnasında vakum uygulanması ile kuruma hızı ve kurutma sıcaklığını etkilemektedir (Borquez vd., 2014).

2.2.2.5 Ultrasonik kurutma

Ultrasonik kurutma sistemleri ürünün özelliklerini korumak ve kuruma kalitesi arttırmak için kullanılmaktadır. Sıcak hava kullanılarak uygulanan kurutmaya göre ürün özellikleri daha iyi korunmaktadır (Musielak vd., 2016). Ultrasonik kurutma sistemleri tek başına kullanıldığı gibi diğer kurutma sistemleri ile hibrit olarak da kullanılmaktadır. Hibrit uygulamalar ile sıcaklık ve kurutma süresi kısaltılarak ürünün kalitesi artırılabilir (Schossler vd., 2012).

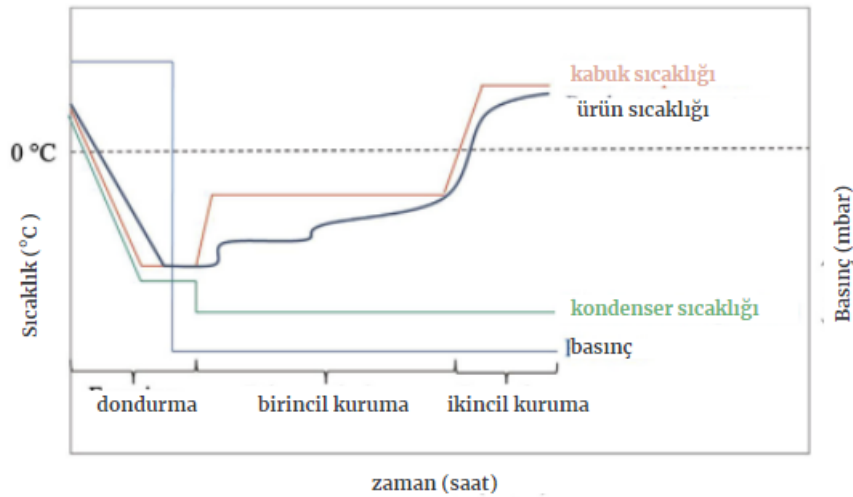
2.2.2.6 Dondurarak kurutma

Dondurarak kurutma, ürünlerin lezzetinin ve diğer özelliklerinin korunmasını sağlayan önemli kurutma sistemleri arasında yer almaktadır. Liyofilizasyon olarak da adlandırılan dondurarak kurutmada, ürünün içerdiği nem veya sıvı düşük sıcaklık altında kristalleştirilerek süblimleşme ile üründen uzaklaştırılması sağlanmaktadır (Sadikoglu & Lipais, 1997). Süblimleşme temel olarak katı haldeki suyun eriyip sıvılaşma gerçekleşmeksizin gaz hale geçmesi olarak tanımlanabilmektedir. Hal geçişinin doğrudan gerçekleşmesi liyofilizasyon ile kurutmada temel işlemi oluşturmaktadır (Rey & May, 2016).

Süblimleşme prensibi gereği ürünün içerdiği su buz formuna gelmesi için dondurulması için soğutulmaktadır. Dondurma işlemi sonrasında ürüne kuru gaz uygulanarak buzun buharlaşarak gaz formuna geçmesi yani süblimleşmesi sağlanmaktadır. Bu süreçte kurutma işleminin süresinin kısaltılması için ortam basıncı azaltılmaktadır (Wernecke vd., 2014). Liyofilizasyon ile kurutma diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında daha çevre dostu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Liyofilizasyon biyolojik, ilaç sektörü ve besinlerin kurutulmasında kullanılan, ısıya duyarlı sistemlerin kurutulması için uygun olan kurutma yöntemlerinden biri olmaktadır (Garcia-Pascual vd., 2003).

Dondurarak kurutma işleminde genellikle üç aşama vardır: dondurma (katılaşma), süblimasyon kurutma ve desorpsiyon kurutma. Dondurarak kurutma işleminde ilk aşama olarak ürünlerdeki suyun soğutulmasıyla kristalleştirilmesi gerekmektedir. Bu aşamada dondurma olarak ifade edilen işlem aslında ürün içerisindeki diğer bileşenlerinde camsı yapı oluşturması (kristalle olmamış katı form) için yapılan katılaştırma işlemi olarak ifade etmek daha doğru bir kullanım olacaktır. Katılaştırma işlemi liyofilizasyon için oldukça önemli bir adımdır. Bu işlemin tamamlanmış olması son ürünün kalitesi için önemli olmaktadır (Oetjen & Haseley, 2004).



Şekil 2.3 Dondurarak kurutma işlemi aşamaları (Morais ve diğerleri, 2016)

Süblimasyon yani birincil kurutma sırasında donmuş suyun düşük sıcaklıkta ısıtılarak süblimleşmesi sağlanmaktadır. Basınç değerinin düşürülmesi ile ürüne yeterli ısı sağlanarak süblimleşme gerçekleştirilmektedir. Bu aşamada ürünün içerdiği suyun yaklaşık %95'i buharlaşmaktadır. Bu aşamada kurutma işlemi uzun sürmektedir. Süblimleşme hızını arttırmak için vakum basıncı uygulanması yöntemin daha uygulanabilir olmasını sağlamak için kullanılmaktadır (Jennings, 1999).

İkincil kurutma adımı, birincil kurutma adımıyla kurutulamayan donmamış su ürünün uzaklaştırılır. Ürünün gözenekli yapısında adsorbe edilen donmamış suyun desorpsiyonu için yüksek sıcaklık ve yeterli ısı gereklidir. Bu aşamada daha

fazla enerjiye ve daha yüksek vakuma ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca bu adım desorpsiyonlu kurutma olarak da adlandırılmaktadır (Kudra & Mujumdar, 2002).

Dondurarak kurutmanın birincil ve ikincil aşamalarından sonra ürünlerin şartlandırma paketleme ve depolama aşamalarından geçmesi gerekir. Kurutmanın iki aşamalı gerçekleştirilmesi sonucunda elde edilen ürünün paketlenerek uygun şartlarda depolanması gerekmektedir. Ürünün saklanması için nemden uzak, kuru ortamda paketlenmesi ve sızdırmaz ambalaj kullanılması ürünün kullanım ömrü için önem arz etmektedir. Dondurarak kurutma sonrasında kullanılmak istenen ürünün yeniden nem ortamına maruz bırakılması gerekmektedir. Dondurarak kurutulan ve uygun paketleme ve depolama koşulları sağlanan ürünlerin raf ömrü 25 yılı bulabilmektedir (Rahman, 2020).

3

DENİZ CANLILARI

İnsan yaşamında başlıca enerji kaynaklarından olan ve protein, vitamin ve mineral içeriği ile et ve et ürünleri artan talep, fazla tüketilmesi sonucu çeşitli hastalıklara sebep olması nedeniyle araştırmalar et yerine muadil olacak çeşitli besin grupları üzerinde yoğunlaşmaktadır (Thomsen ve diğ., 2022). Beslenme biçimi olarak et, balık, tavuk ve hayvansal gıdaların tüketilmediği veganlığın yanı sıra, vejeteryanlık ve pesketaryenlik adı verilen beslenme çeşitleri yaygınlaşmaya başlamıştır. Tüketilen besinler maruz kaldıkları kimyasal katkıları nedeniyle insanlarda alerjik reaksiyonlara neden olabilmektedir. Pesketaryenlik deniz canlıları dışındaki et benzeri besinlerin tüketilmediği beslenme çeşididir ve her geçen gün bu şekilde beslenme biçimini benimseyen insanların sayısı artmaktadır (Global Seafood Market Overview).

Deniz ürünleri, sağlıklı yağlar, proteinler, vitaminler ve mineraller içermektedir. Deniz ürünleri, kalp hastalığı, depresyon ve karaciğer kanseri dahil olmak üzere birçok hastalık riskinin azaltılması ile ilişkilendirilmektedir. Balık, midye ve kabuklu deniz ürünleri de dahil olmak üzere deniz ürünleri, ideal bir besin içeriği sağlamaktadır ve sağlıklı beslenmenin önemli bir parçasını oluşturmaktadırlar (Chen, ve diğ., 2022). Deniz canlıları sınıflandırmasında genellikle üç ana grup olarak kafadan bacaklılar, balıklar ve kabuklu deniz canlıları şeklinde verilebilmektedir.

3.1 Kafadan Bacaklılar

Kafadan bacaklı deniz canlıları, okyanuslarda yaşayan oldukça zeki canlı gruplarını oluşturmaktadır. Cephalopoda sınıfı olarak da isimlendirilmektedirler. Oluşumlarının ilk zamanlarında sahip oldukları kabuklar zamanla yok olarak yerini güçlü, esnek kollara bırakarak ortama uyum sağlayarak adaptasyon geçirmişlerdir. Esnek kolları ve zekası ile saklanma yeteneği gelişen kafadan bacaklılar okyanus koşullarına uyum sağlamaktadır.

3.1.1 Ahtapot

Kafadan bacaklı deniz canlılarında sınıflandırılan ahtapotlar, yumuşak gövdeli olup sekiz kollu deniz canlısıdır. Okyanusun farklı katmanlarında yaşam sürmekte olan ahtapotların yaklaşık 300 türü bulunmaktadır. Ahtapotlar su içerisinde çok hızlı hareket etmektedir. Avcılara karşı kendilerini korumak için mürekkep fişkırtmaktadırlar. Kamuflaj yetenekleri gelişmiş olan ahtapotlar, saklanma yeteneğine sahiplerdir. Tüm ahtapot türleri zehirli olmakla birlikte mavi halkalı ahtapotlar (Şekil 3.1), insanlar için ölümcül olan zehiri taşımaktadırlar (Mäthger ve diğerleri, 2012). Şekil’de zehirli bir tür olan mavi halkalı ahtapotun fotoğrafı bulunmaktadır. Bir porsiyon yaklaşık 100 gram ahtapot 164 kaloridir. Ahtapot 100 gramında 30 gram protein, 3 gram karbonhidrat ve 5 gram yağ içermektedir.



Şekil 3.1 Mavi halkalı ahtapot (Roy Caldwell, <https://www.scotlandisland.org.au/environment/bites-and-stings/blue-ringed-octopus/>)

3.1.2 Kalamar

Kalamar, kafası büyük olup gözleri kafasının ortasında bulunmaktadır. Şekil 3.2’de kalamar gösterilmektedir. Ticari açıdan balıkçılıkta önemli yer alan kafadan bacaklılar türlerinden biri olmaktadır. Kalamar düşük kalori ile yüksek besin içeriğine sahip olması ile yemeklerde kullanılmaktadır. Kalamar, ağızda özel bir tat bırakmaktadır ve benzersiz bir kokuya sahiptir. Tüketilirken tütsülenerek ve baharatlanmış şekilde tercih edilmektedir. Kalamar, kemiksiz olup

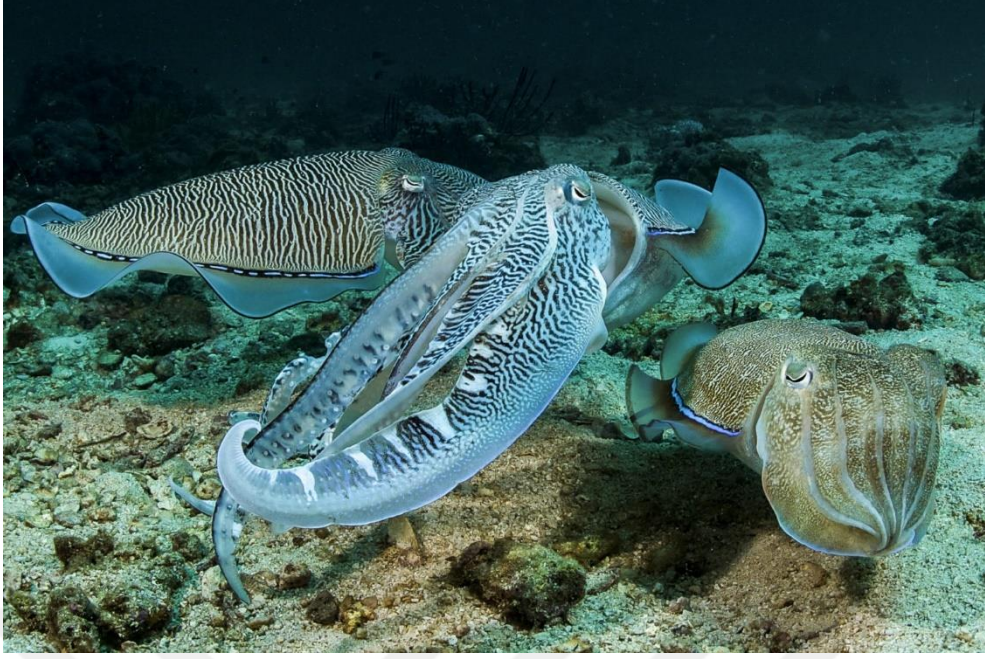
yumuşakçalardandır (Japanese Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, 2015).



Şekil 3.2 Kalamar görseli (Russ Hopcroft, 2007, Exploring the Inner Space of the Celebes Sea)

3.1.3 Mürekkep balığı

Mürekkep balıkları, kalamarlarla oldukça benzer fiziksel özellikler sahiptir. Mürekkep balığını kalamardan ayıran en önemli özelliği saha gelişmiş kafa yapısına sahip olmasıdır. Mürekkep balıkları büyük gözlere ve gaga şeklinde bir ağıza sahiptir ve Şekil 3.3’de gösterilmiştir. Vücudunun etrafında sekiz adet vantuzlu kolları bulunmaktadır ve ağız çevresinde iki tane solungaçları bulunmaktadır (Thanonkaew ve diğ., 2006).



Şekil 3.3 Mürekkep balığı (David Robinson, 2020, National Marine Sanctuary Foundation)

3.2 Balıklar

Balıklar, içerdikleri protein, vitamin, mineral ve omega 3 içeriği ile ana protein kaynaklarından biri haline gelmektedir. Balıklar suda yaşıyan canlılardır. Solunumu solungaçları yardımıyla yapmaktadırlar.

4 MİDYE

Avrupa midyesi (Şekil 4.1) olarak da bilinen mavi midye, Mytilidae ailesinin *Mytilus* cinsinin *edulis* türünde yer almaktadır. Midye, temiz ve besleyici bir protein kaynağı olmasının yanı sıra harika bir omega 3 yağ asitleri, çinko ve folat kaynağıdır. Günlük protein ihtiyacının %26'sını, demir ihtiyacının %22'sini karşılar. Ayrıca C ve A vitamini bakımından zengin, şeker içermeyen bir besindir.



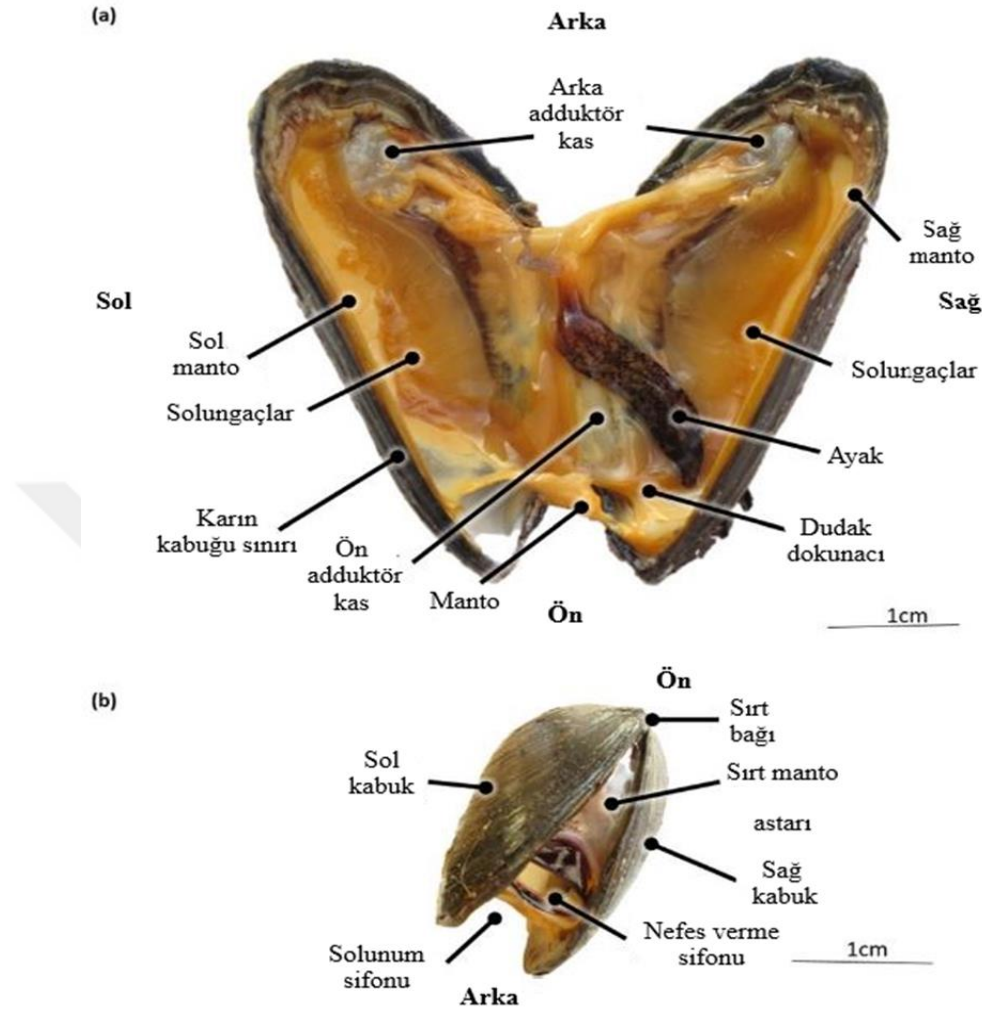
Şekil 4.1 Mavi midye

Midyeler, çevreye hiçbir olumsuz etkisi olmadan sürdürülebilir bir şekilde oldukça kolay yetiştirilmektedir (Murphy ve diğ., 2019). Mavi midye, Fransa, Hollanda, Kanada, İngiltere, İrlanda, Almanya, Norveç civarında yaygın olarak üretilmektedir.

Midyeler, ılıman ve tropical iklim koşullarında üretilmektedir. Midyeler, deniz yatağında ya da askıda olmak üzere iki farklı şekilde üretilmektedir. Midye çiftliklerinde tüm mevsimlerde üretim yapılabilmektedir. Midye kabuklu canlılar içerisinde yer almaktadır.

Midyelerde sert sırt kabuğunun içerisinde yumuşak solungaçlar ve kaslar bulunmaktadır. Şekil 4.2'de mavi midyenin ön ve arka yüzünden anatomik

görünümü verilmiştir. Midyelerin arka addüktör kasları sağ ve sol olarak iki yönde bulunmaktadır.



Şekil 4.2 Mavi midye (*Mytilus edulis*) dokularının genel anatomisi. (a) Addüktör kasların kesilmesi ve kapakçıkların açılması ile iç görünümü. (b) Bir numunenin eğik sırt görünümü (Eggermont, ve diğ., 2020)

Midye, Türk mutfağına Osmanlı zamanında girmiş olan bir sokak yemeğidir. Etin pahalı olması nedeniyle deniz ürünlerine talebin artması ile midye dolma sofralarda kendine yer bulmuştur. Denizden kolayca toplanılan midyeler pirinç ve baharatlarla harmanlanarak günümüzde de sokak yemeği olarak yaygın bir şekilde tüketilmektedir (Çolakoğlu ve diğ., 2022). Türkiye'de yıllık midye üretimi resmi kaynaklarda 4.6 bin tondur. Bu üretimin resmi olmayan kaynaklara göre açılan çiftliklerin tam kapasite ile çalışması halinde yıllık 9 bin ton civarına çıkması beklenmektedir (TEPGE, 2022).

5.1 Numunelerin Hazırlanması

Çalışmalarda kullanılmak üzere yerel marketten dondurulmuş olarak alınan mavi midyeler deney çalışmalarına başlama sürecinde buzdolabının buzluk bölümünde -18°C sıcaklıkta saklanmıştır. Numuneler deneylere başlamadan önce $+4^{\circ}\text{C}$ buzdolabında çözünmesi sağlanmıştır.



Şekil 5.1 Midye numunesi

Çözünen midye numuneleri (Şekil 5.1) yaklaşık 10 gr ağırlık olmak üzere ortalama 3,5 cm çapında (en geniş uçlardan ölçüm yapılmıştır.) ikişer adet olarak numune kabına alınmıştır. Deneylere başlamadan önce numunelerin ön işlemsiz ve ön işlemlilerle toplam 6 grup numunenin ağırlıkları alınarak etüvde kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Başlangıç nem oranları etüv sonuçlarının değerlendirilmesi ile elde edilmiştir. Numuneler tartılırken ortalama ağırlığın 10 gram olması önemli parametrelerden biridir. Numunelerde kurutma performansının sağlıklı incelenmesi ve süre karşılaştırılması yapılabilmesi için numuneler benzer boyutlarda, ikişer midyeden oluşması hedeflenmiştir.

5.2 Ön İşlemliler Numunelerin Hazırlanması

Ön işlemliler uygulanmadan önce numuneler 10'ar gram olacak şekilde tartılmıştır. Ön işlemliler ultrasonik, haşlama, tuzlu haşlama (%10), tuzlu suya daldırma %10

ve tuzlu suya daldırma %20 olarak 5 grup altında uygulanmıştır. Numuneler iki farklı süre parametreleri incelenerek dondurarak kurutmaya tabi tutulmuştur.

5.2.1 Ultrasonik ön işlem uygulanması

Ultrasonik su banyosuna numuneler beher ile konularak 1 ile 5 dakika (Şekil 5.2) olmak üzere iki farklı sürede bekletilmiştir. Oda sıcaklığında gerçekleştirilen ön işlem uygulamasında midyelerin koyulduğu beherlere 1/100 ağırlık/hacim oranında saf su koyulmuştur.



Şekil 5.2 Ultrasonik ön işlem uygulaması

Ön işlem uygulaması sonrası su süzülerek numunelerde kalan fazla suyun filtre kağıdı ile alınması sonrası numuneler ivedilikle tartılıp dondurarak kurutma işlemine tabi tutulmuştur.

5.2.2 Haşlama ön işlem uygulanması

Haşlama ön işlemi numunelerin 90°C'deki saf su içeren bir beherde bekletilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Beherdeki sıcak su 1/100 ağırlık/hacim oranında saf su içermektedir. Haşlama ön işlemi 30 ve 60 saniye sürelerde (Şekil 5.3) olmak üzere iki farklı numune grubuna uygulanmıştır.



Şekil 5.3 Haşlama ön işlem uygulaması

Numunenin sıcak suda haşlanması sonucu fazla suyun kaba filter kağıdı ile alınmasının ardından tarılarak dondurarak kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Numuneler ön işlem sonrası fazla ısının atılması için 30 saniye oda sıcaklığında bekletilmiştir.

5.2.3 Tuzlu haşlama ön işlem uygulaması

Tuzlu haşlama ön işlem uygulamasında ağırlık/hacim 1/100 oranında 90 °C'deki saf su ya ağırlıkça %10 olacak şekilde tuz ilave edilmiştir. Eklenen tuzun homojen bir şekilde dağılması sağlandıktan sonra numunelere ön işlem uygulaması 30 ve 60 saniye (Şekil 5.4) olmak üzere uygulanmıştır.

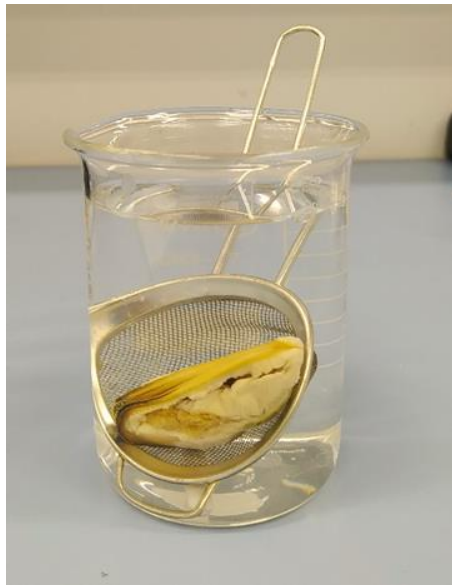


Şekil 5.4 Tuzlu suda haşlama ön işlemi

Ön işlem sonrasında numuneler tuzlu sudan hızlı bir şekilde çıkartılarak fazla ısının atılmasını sağlamak için 30 saniye oda sıcaklığında bekletilmiştir. Daha sonrasında dondurarak kurutma işlemine tabi tutulmuştur.

5.2.4 %10 Tuzlu suya daldırma ön işlem uygulaması

Tuzlu suya daldırma ağırlıkça %10 oranında tuz oda sıcaklığındaki saf suyun içerisinde homojen olarak dağıtılmıştır. Ön işlem uygulaması 1 ile 5 dakika olmak üzere iki farklı sürede (Şekil 5.5) gerçekleştirilmiştir.

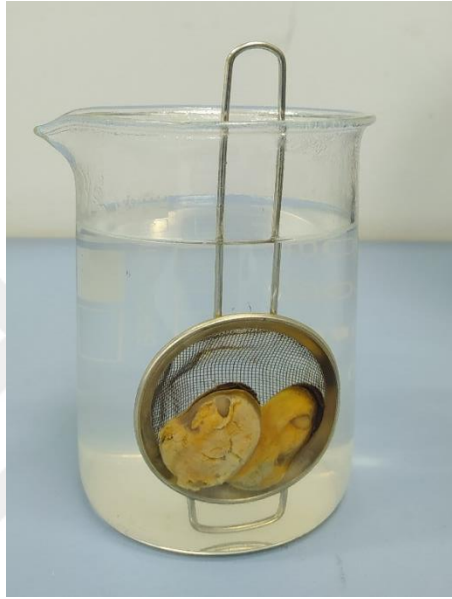


Şekil 5.5 %10 Tuzlu suya daldırma ön işlemi

Numunelerin ön işlem sonrası numunelerin üzerindeki fazla sıvı filter kağıdı yardımıyla alındıktan sonra tartılmıştır. Tartım işleminin ardından numuneler dondurarak kurutma işlemine tabi tutulmuştur.

5.2.5 %20 Tuzlu suya daldırma ön işlem uygulaması

Tuzlu suya daldırma ağırlıkça %20 oranında tuz oda sıcaklığındaki saf suyun içerisinde homojen olarak dağıtılmıştır. Ön işlem uygulaması 1 ile 5 dakika olmak üzere iki farklı sürede (Şekil 5.6) gerçekleştirilmiştir.

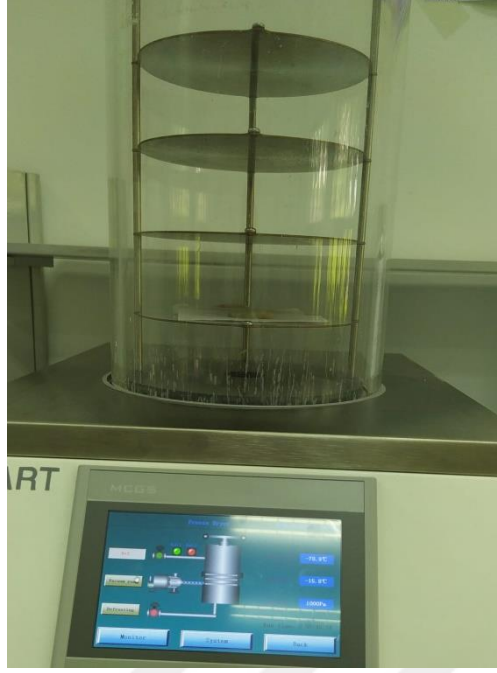


Şekil 5.6 %20 Tuzlu suya daldırma ön işlem uygulaması

Numunelerin ön işlem sonrası numunelerin üzerindeki fazla sıvı filter kağıdı yardımıyla alındıktan sonra tartılmıştır. Tartım işleminin ardından numuneler dondurarak kurutma işlemine tabi tutulmuştur.

5.3 Yöntem

Deneyler Labart LFD-10N Model Dondurarak Kurutucu (Şekil 5.7) (ART Laborteknik, İstanbul, Türkiye) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Freeze dryer cihazı, -70 °C sıcaklıkta çalışan kondenser ve 0.5 Pa kabin basıncı ile çalışmaktadır. Şekil 'de cihazın görseli yer almaktadır.



Şekil 5.7 Labart LFD-10N model dondurarak kurutucu

Hazırlanan numuneler dondurarak kurutucunun raflarına koyularak kurutma işlemine hazır hale getirilmiştir. Şekil 5.8’de dondurarak kurutucunun panel bölümü yer almaktadır. Kurutucu çalıştırılırken ilk olarak soğutucu açılarak ve soğutma sıcaklığının -40°C seviyelerine inmesi beklenmiştir. Sıcaklık belirlenen seviyeye indikten sonar cihazın cam haznesi rafların üzerine herhangi bir hava kaçağına neden olmayacak şekilde yerleştirilir. Gaz çıkış vanası kapatılarak cihaz vakuma alınmıştır. Pompa davranışı ve basınç takibi yapılarak deneyler başlatılmıştır.



Şekil 5.8 Dondurarak kurutucunun panel bölümü

Numunelerin nem oranındaki azalma saat başı alınan ağırlık ölçümleri ile control edilmiştir. Kurutma işlemi tamamlanan yaklaşık, %7 oranında nem içeriğine düşürülen numuneler vakumlu poşetler ile içerisindeki havanın alınması ile ortam koşullarında saklanmıştır.

5.3.1 Nem içeriğinin belirlenmesi

Mavi midye nem içeriğinin belirlenmesi için numuneler ön işlemsiz ve ön işlemlili olmak üzere toplam 11 numunenin etüv yardımıyla kurutulması ile nem içerikleri belirlenmiştir. İçerdiği nem yüzdesinin bulunması ile dondurarak kurutma prosesi sırasında numunelerin %7 nem içeriğine ulaşmak için gerekli kuru madde ağırlığı belirlenmiştir. Tablo 5.1’de numunelerin nem içeriğinin belirlenmesi ile ilgili veriler yer almaktadır.

Tablo 5.1 Numunelerin nem içeriğinin belirlenmesi

	Ön işlemsiz	ÜS 1dk	ÜS 5dk	Haşlama 30 sn	Haşlama 60 sn	%10 Tuzlu Haşlama 30 sn	%10 Tuzlu Haşlama 60 sn	10% Tuzlu daldırma 5 dk	10% Tuzlu daldırma 5 dk	20% Tuzlu daldırma 1 dk
İlk (g)	10,0897	10,8807	10,311	10,551	10,502	10,865	10,257	10,0314	10,4444	10,7378
İşlem sonrası (g)	10,0897	12,7629	10,906	9,7199	8,59	9,5138	9,0781	10,7531	10,8358	11,0820
Son (g)	2,8360	3,26235	2,8058	2,9732	2,5866	3,2095	3,0556	3,1088	3,4352	3,1949
kuru (%)	28,11	25,56	25,73	30,59	30,11	33,74	33,66	28,91	31,70	28,83
nem (%)	71,89	74,44	74,27	69,41	69,89	66,26	66,34	71,09	68,30	71,17
kg W / kg DM	2,5577	2,9122	2,8871	2,2692	2,3209	1,9643	1,9710	2,4589	2,1543	2,4687

Taze midye numunelerindeki nem içeriğinin belirlenmesi ilk olarak 10’ar gram ağırlığında gelen iki adet midye cam petri kabına alınıp tartıldı. Numuneler ön işlemsiz ve ön işlem uygulanan numuneler ilk olarak ön işlem öncesi ve ön işlem sonrası olmak üzere tartılmıştır. Daha sonrasında etüv ortamında kurutulan numunelerin son kuru ağırlığı ölçülmüştür. Nem miktarı (5.1) eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır.

$$M = \frac{m_w}{m_d} \quad (5.1)$$

Eşitlikte yer alan M, nem miktarını (kg su/kg kuru madde); m_w mavi midye içerisinde bulunan su miktarını (kg) ve m_d kuru madde miktarını (kg) ifade etmektedir.

5.3.2 Dondurarak kurutma sonuçları

Ön işlemsiz ve ön işlemli numuneler %7 nem içeriğine ulaşılan kadar saat başı tartım alınarak dondurarak kurutulmuştur.

Kurutma işlemi verilerine bağlı olarak kuruma hızı eşitlik (5.2) ile, nem oranı eşitlik (5.3) ile hesaplanmıştır.

$$DR = \frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \quad (5.2)$$

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} \quad (5.2)$$

Eşitlik (5.2)'de verilmiş olan DR kuruma hızı (kg su/kg kuru madde.dk), M_t kuruma süresi t (dakika) süresindeki nem miktarını, $t+dt$ süresindeki nem miktarını M_{t+dt} , (kg su/kg kuru madde) temsil etmektedir. Eşitlik (5.3)'te verilen MR boyutsuz sayıdır ve nem oranını ifade etmektedir. N_t , N_i ve N_e ise sırasıyla herhangi bir andaki, başlangıçtaki ve dengedeki nem miktarını temsil etmektedir. Dengedeki nem miktarı genellikle ihmal edilmektedir.

Tablo 5.2'de ön işlemsiz numune için dondurarak kurutma işlemi (Şekil 5.9) verileri yer almaktadır. Ön işlemsiz numune başlangıç ağırlığı 10,4252 gr olarak tartılmıştır. Kurutma işlemi %7 nem oranı elde edilebilmesi için 420 dakika sürmüştür. Kurutma işlemi sonrasında numune ağırlığı 3,4285 gr olarak elde edilmiştir ve nem oranı 0,0665 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.2 Ön işlemsiz numune dondurarak kurutma tartım sonuçları ve veriler

Ön işlemsiz						
t (dk)	Numune (g)	kgW/kgDM	DR	MR	ln (MR)	Zaman (s)
0	10,4252	2,5577	0,0000	1,0000	0,0000	0
60	7,8215	1,6692	0,0148	0,6526	-0,4268	3600
120	6,5435	1,2330	0,0073	0,4821	-0,7296	7200
180	5,5262	0,8859	0,0058	0,3464	-1,0603	10800
240	4,7476	0,6202	0,0044	0,2425	-1,4169	14400
300	4,1641	0,4210	0,0033	0,1646	-1,8041	18000
360	3,7398	0,2763	0,0024	0,1080	-2,2256	21600
420	3,4285	0,1700	0,0018	0,0665	-2,7110	25200

Kurutma işlemi sonrasında numune ağırlığı 3,4285 gr olarak elde edilmiştir ve nem oranı 0,0665 olarak hesaplanmıştır.



Önişlemsiz FD öncesi



Önişlemsiz FD 1h



Önişlemsiz FD 2h



Önişlemsiz FD 3h



Önişlemsiz FD 4h



Önişlemsiz FD 5h



Önişlemsiz FD 6h

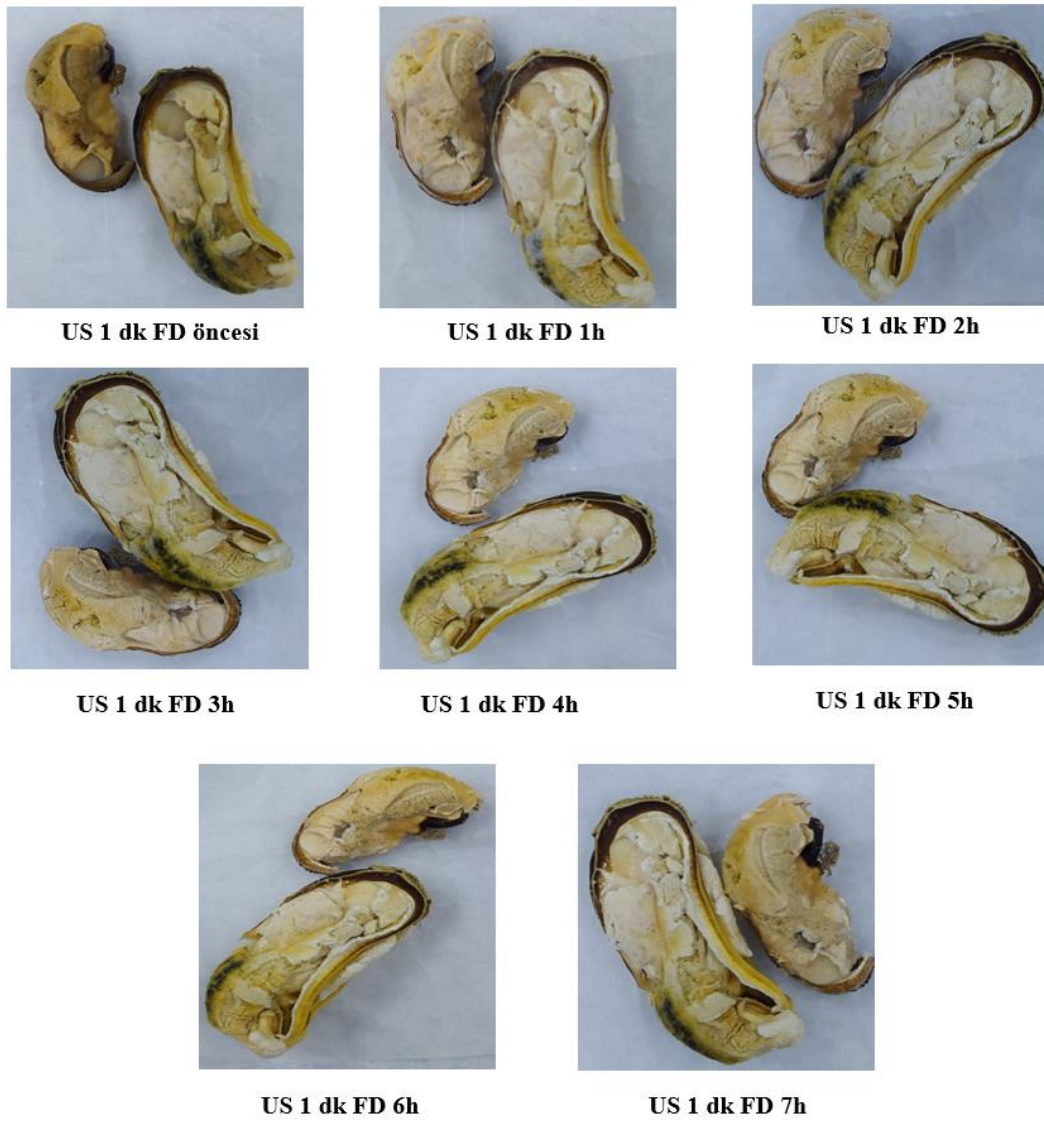
Şekil 5.9 Ön işlemsiz numuneler FD süreci

Tablo 5.3’de 1 dk ultrasonic ön işlem uygulaması yapılan numunelerin dondurarak kurutma işlemi verileri yer almaktadır. Numuneler %7 nem içeriğine ulaşılabilmesi için 420 dakika boyunca dondurarak kurutucuda (Şekil 5.10) kalmıştır.

Tablo 5.3 1 dakikalık ultrasonik ön işlem uygulanan numunelerin tartım sonuçları ve veriler

1 dk US ön işlemli						
t (dk)	Numune (g)	kgW/kgDM	DR	MR	ln (MR)	Zaman (s)
0	10,4785	2,9122	0,0000	1,0000	0,0000	0
60	7,9155	1,9553	0,0159	0,6714	-0,3984	3600
120	6,6618	1,4872	0,0078	0,5107	-0,6720	7200
180	5,6374	1,1047	0,0064	0,3794	-0,9693	10800
240	4,8055	0,7941	0,0052	0,2727	-1,2994	14400
300	4,1265	0,5406	0,0042	0,1856	-1,6839	18000
360	3,5945	0,3420	0,0033	0,1174	-2,1418	21600
420	3,2022	0,1956	0,0024	0,0671	-2,7008	25200

Başlangıçta 10,4785 gr olan numune ağırlığı kurutma işlemi sonrasında 3,2022 g olarak elde edilmiştir ve nem oranı 0,0671 olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.10 1 dakika US ön işlemleri FD işlemleri süreci

Tablo 5.4 5 dakikalık ultrasonik ön işlem uygulanan numunelerin tartım sonuçları ve veriler

5 dk US ön işlemleri						
t (dk)	Numune (g)	kgW/kgDM	DR	MR	ln (MR)	Zaman (s)
0	10,2974	2,8871	0,0000	1,0000	0,0000	0
60	7,7491	1,9252	0,0160	0,6668	-0,4052	3600
120	6,3614	1,4014	0,0087	0,4854	-0,7228	7200
180	5,3158	1,0066	0,0066	0,3487	-1,0536	10800
240	4,5176	0,7053	0,0050	0,2443	-1,4093	14400
300	3,9273	0,4825	0,0037	0,1671	-1,7890	18000
360	3,5147	0,3268	0,0026	0,1132	-2,1788	21600
420	3,1972	0,2069	0,0020	0,0717	-2,6358	25200

Tablo 5.4’de 5 dk ultrasonik ön işlem uygulanan numunelerin tartım sonuçları ve verileri yer almaktadır. Ultrasonik ön işlem sonucu 10,2974 gr olarak tartılan başlangıç numunesi ağırlığı 420 dk dondurarak kurutma işlemi sonrasında 3,1972 gr olarak (Şekil 5.11) tartılmıştır. Elde edilen mavi midye numunesinde nem oranı 0,0717 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.11 5 dk US ön işlem FD süreci

Tablo 5.5’de mavi midye numunelerinin 30 saniye boyunca haşlama ön işlemi sonrası kurutma verileri yer almaktadır. Tüm numuneler yaklaşık 10 gr olacak şekilde tartılmıştır. 30 sn haşlama işlemi sonrasında kurutma başlangıç ağırlığı 9,5339 gr olarak belirlenmiştir. Numune 360 dk sonunda 3,5445 gr ağırlık ile 0,0949 nem oranı değerine ulaştığı görülmüştür. Hedef değer olan %7 nem oranı elde edilmek üzere ilave 1 saatlik FD işlemine tabi tutulan numune 3,2299 gr ağırlığa ulaşmıştır. 420 dk sonunda (Şekil 5.12) nem oranı 0,0474 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.5 30 saniyelik haşlama ön işlem uygulanan numunelerin tartım sonuçları ve veriler

30 sn haşlama						
t (dk)	Numune (g)	kgW/kgDM	DR	MR	ln (MR)	Zaman (s)
0	9,5339	2,2692	0,0000	1,0000	0,0000	0
60	7,0221	1,4079	0,0144	0,6204	-0,4773	3600
120	5,8926	1,0206	0,0065	0,4498	-0,7991	7200
180	5,0602	0,7351	0,0048	0,3240	-1,1271	10800
240	4,4272	0,5181	0,0036	0,2283	-1,4770	14400
300	3,9327	0,3485	0,0028	0,1536	-1,8735	18000
360	3,5445	0,2154	0,0022	0,0949	-2,3546	21600
420	3,2299	0,1075	0,0018	0,0474	-3,0494	25200

Lineer interpolasyon yapılarak %7 nem içeriğine ulaşılması için yaklaşık olarak 392 dk FD işlemine tabi tutulması gerekmektedir.



Haşlama 30 sn FD öncesi



Haşlama 30 sn FD 1h



Haşlama 30 sn FD 2h



Haşlama 30 sn FD 3h



Haşlama 30 sn FD 4h



Haşlama 30 sn FD 5h



Haşlama 30 sn FD 6h



Haşlama 30 sn FD 7h

Şekil 5.12 Haşlama 30 sn ön işlemlili numune FD uygulaması

Tablo 5.6' da 60 sn haşlama ön işlemi numunelerinin kurutma tartım sonuçları yer almaktadır. Ön işlem öncesi yaklaşık 10 gr olarak tartılan midyee numuneleri 60 sn haşlama işlemi sonucu 9,009 gr ağırlığa düşmüştür.



Haşlama 60 sn FD öncesi



Haşlama 60 sn FD 1h



Haşlama 60 sn FD 2h



Haşlama 60 sn FD 3h



Haşlama 60 sn FD 4h



Haşlama 60 sn FD 5h



Haşlama 60 sn FD 6h



Haşlama 60 sn FD 7h

Şekil 5.13 Haşlama 60 sn ön işlemlili FD süreci

420 dk süren FD sonrası (Şekil 5.13) numunelerin ağırlığı 3,1495 gr olarak tartılmıştır ve nem oranı 0,0698 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.6 60 saniyelik ön işlem uygulanan numunelerin tartım sonuçları ve veriler

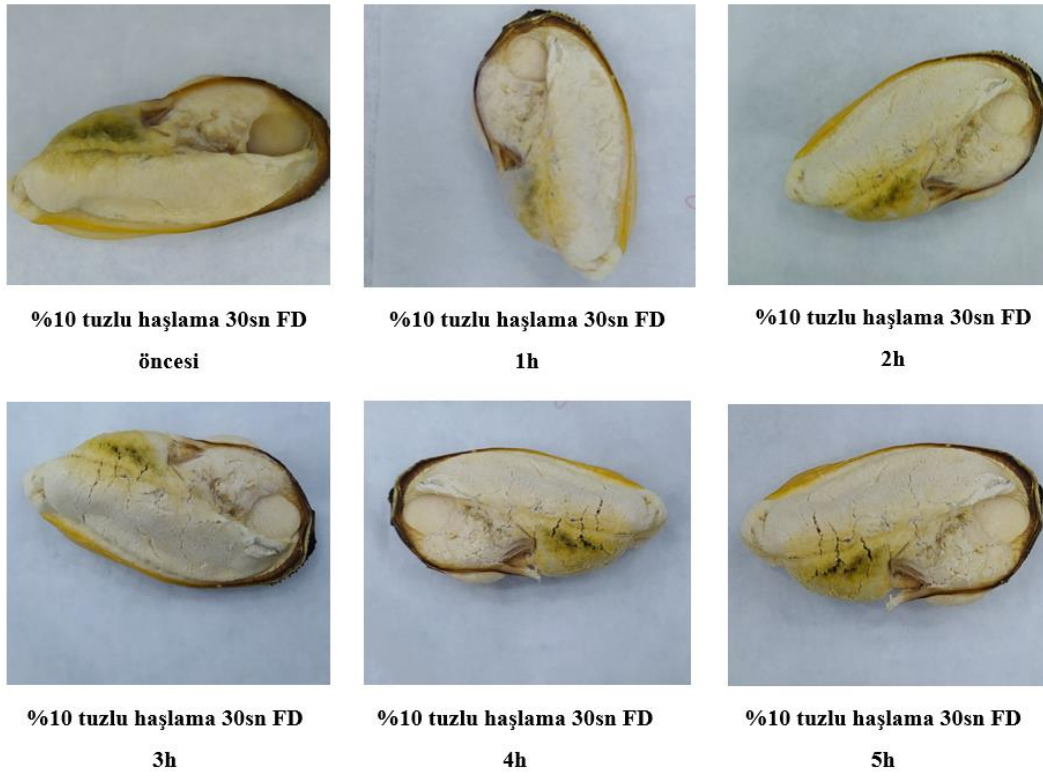
60 sn haşlama						
t (dk)	Numune (g)	kgW/kgDM	DR	MR	ln (MR)	Zaman (s)
0	9,0009	2,3209	0,0000	1,0000	0,0000	0
60	6,8468	1,5262	0,0132	0,6576	-0,4192	3600
120	5,7825	1,1335	0,0065	0,4884	-0,7167	7200
180	4,9659	0,8322	0,0050	0,3586	-1,0257	10800
240	4,3365	0,6000	0,0039	0,2585	-1,3528	14400
300	3,8382	0,4161	0,0031	0,1793	-1,7187	18000
360	3,4477	0,2721	0,0024	0,1172	-2,1437	21600
420	3,1495	0,1620	0,0018	0,0698	-2,6620	25200

Tablo 5.7’de %10 tuz içeren suda 30 saniye haşlama ön işlemine tabi tutulan midye numunelerinin FD verileri yer almaktadır. Ön işlem sonrası numune ağırlığının 9,2896 gr ağırlığa düştüğü görülmüştür.

Tablo 5.7 30 saniye %10 tuzlu haşlama ön işlem uygulanan numunelerin tartım sonuçları ve veriler

30 sn %10 tuzlu haşlama						
t (dk)	Numune (g)	kgW/kgDM	DR	MR	ln (MR)	Zaman (s)
0	9,2896	1,9643	0,0000	1,0000	0,0000	0
60	6,9725	1,2249	0,0123	0,6236	-0,4723	3600
120	5,7332	0,8294	0,0066	0,4223	-0,8621	7200
180	4,8006	0,5318	0,0050	0,2708	-1,3065	10800
240	4,0756	0,3005	0,0039	0,1530	-1,8774	14400
300	3,5449	0,1312	0,0028	0,0668	-2,7065	18000

Kurutma işlemi (Şekil 5.14) 300dk boyunca uygulanarak 3,5449 gr numune ağırlığına ve 0,0668 nem oranı değerine ulaşılmıştır.

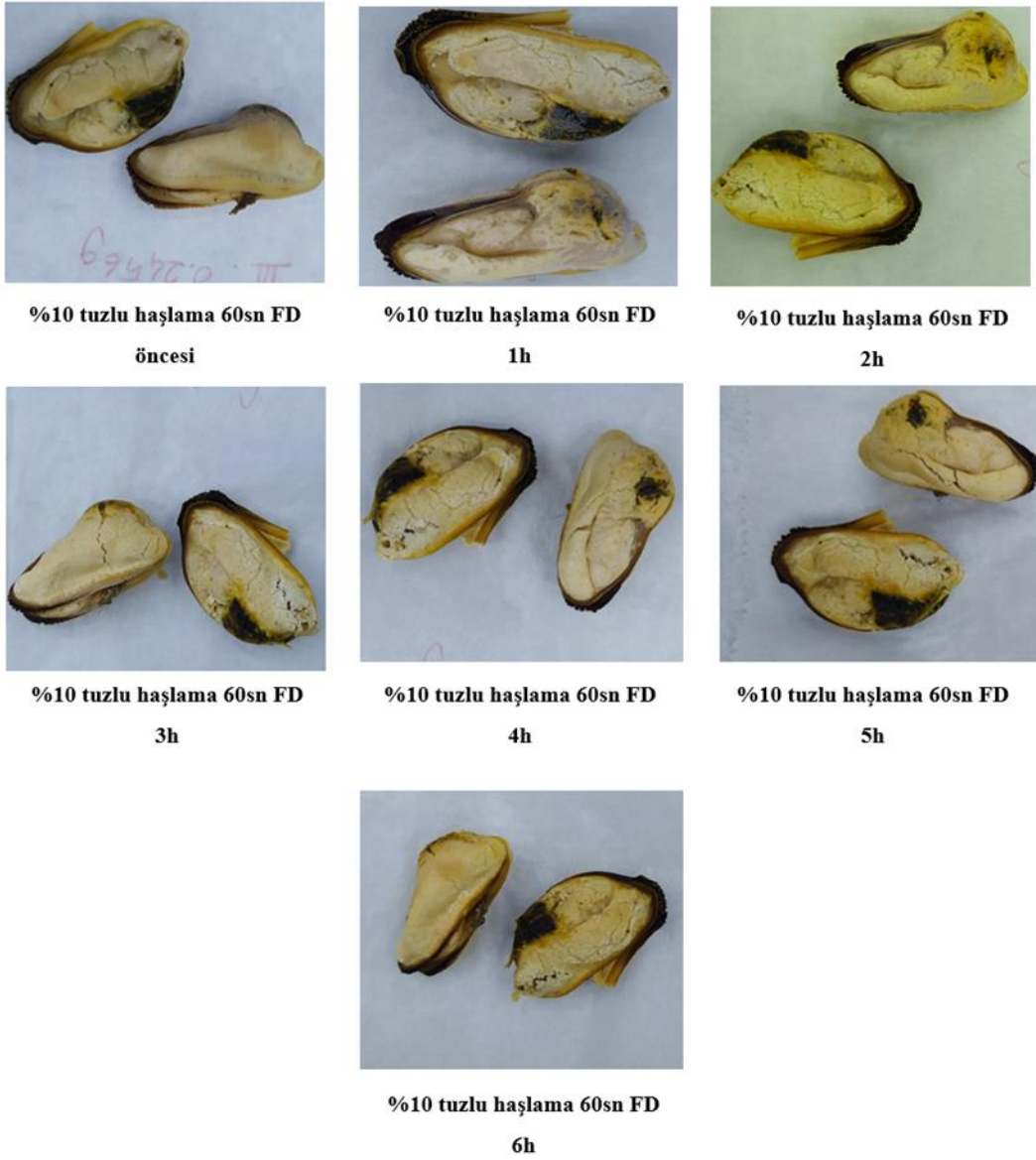


Şekil 5.14 %10 tuzlu haşlama 30sn ön işlem uygulaması sonrası FD süreci

Tablo 5.8’de 60 saniye %10 tuz içeren suda haşlama ön işlemi uygulanan numunelerin FD verileri yer almaktadır. %10 tuz içeren suda 60 sn boyunca haşlama ön işlemine tabi tutulan numunenin FD başlangıç ağırlığı 9,0482 gr olarak tartılmıştır. Kurutma işlemi (Şekil 5.15), 300 dk sonra 3,4181 gr numune ağırlığına ve 0,0621 nem oranına ulaşıldığında tamamlanmıştır.

Tablo 5.8 60 saniye %10 tuzlu haşlama ön işlem uygulanan numunelerin tartım sonuçları ve veriler

60 sn %10 tuzlu haşlama						
t (dk)	Numune (g)	kgW/kgDM	DR	MR	ln (MR)	Zaman (s)
0	9,0482	1,9710	0,0000	1,0000	0,0000	0
60	6,5158	1,1395	0,0139	0,5781	-0,5480	3600
120	5,3502	0,7567	0,0064	0,3839	-0,9573	7200
180	4,5104	0,4810	0,0046	0,2440	-1,4104	10800
240	3,8854	0,2758	0,0034	0,1399	-1,9667	14400
300	3,4181	0,1223	0,0026	0,0621	-2,7795	18000



Şekil 5.15 %10 tuzlu haşlama 60 sn ön işlemleri uygulaması sonrası FD süreci

%10 tuz içeren suya daldırma işlemi 1 dk boyunca uygulanmış ve ardından numune FD işlemine 11,4065 gr numune ile başlanmıştır. Numune 420 dk sonra 0,0899 nem oranına 4,0267 gr ağırlık ile ulaşmıştır. Kurutma hedefi olan %7 nem oranı değerine ulaşmak için kurutma işlemine devam edilmiştir. Şekil 5.16’da yer aldığı üzere 480 dk sonra 0,0498 nem oranına ulaşılmıştır. Lineer interpolasyon yöntemi ile %7 nem oranına yaklaşık 450 dk FD sonucu ulaşılmaktadır. Tablo 5.9’da 1 dk %10 tuzlu daldırma ön işlem uygulaması yapılan numunelerin verileri yer almaktadır.

Tablo 5.9 1 dakikalık %10 tuzlu daldırma ön işlem uygulanan numunelerin tartım sonuçları ve veriler

1 dk tuzlu daldırma - 10%						
t (dk)	Numune (g)	kgW/kgDM	DR	MR	ln (MR)	Zaman (s)
0	11,4065	2,4589	0,0000	1,0000	0,0000	0
60	8,4822	1,5722	0,0148	0,6394	-0,4473	3600
120	7,1514	1,1686	0,0067	0,4752	-0,7439	7200
180	6,1578	0,8673	0,0050	0,3527	-1,0421	10800
240	5,4322	0,6473	0,0037	0,2632	-1,3347	14400
300	4,8664	0,4757	0,0029	0,1935	-1,6427	18000
360	4,4133	0,3383	0,0023	0,1376	-1,9836	21600
420	4,0267	0,2211	0,0020	0,0899	-2,4090	25200
480	3,7013	0,1224	0,0016	0,0498	-3,0003	28800



%10 tuzlu daldırma 1dk FD
öncesi



%10 tuzlu daldırma 1dk FD
1h



%10 tuzlu daldırma 1dk FD
2h



%10 tuzlu daldırma 1dk FD
3h



%10 tuzlu daldırma 1dk FD
4h



%10 tuzlu daldırma 1dk FD
5h



%10 tuzlu daldırma 1dk FD
6h



%10 tuzlu daldırma 1dk FD
7h



%10 tuzlu daldırma 1dk FD
8h

Şekil 5.16 %10 tuzlu daldırma 1 dk ön işlemi uygulaması sonrası FD süreci

Tablo 5.10’da midye numunelerine %10 tuzlu daldırma işleminin 5 dk uygulanması sonrası FD verilerini içermektedir. Ön işlem sonrası numune ağırlığı yaklaşık 10 gramdan 11,9876 grama yükselmiştir. Kurutma işlemi (Şekil 5.17) 420 dk boyunca uygulanarak 4,0864 gr ağırlık ile 0,0739 nem oranı değerine ulaşılmıştır.

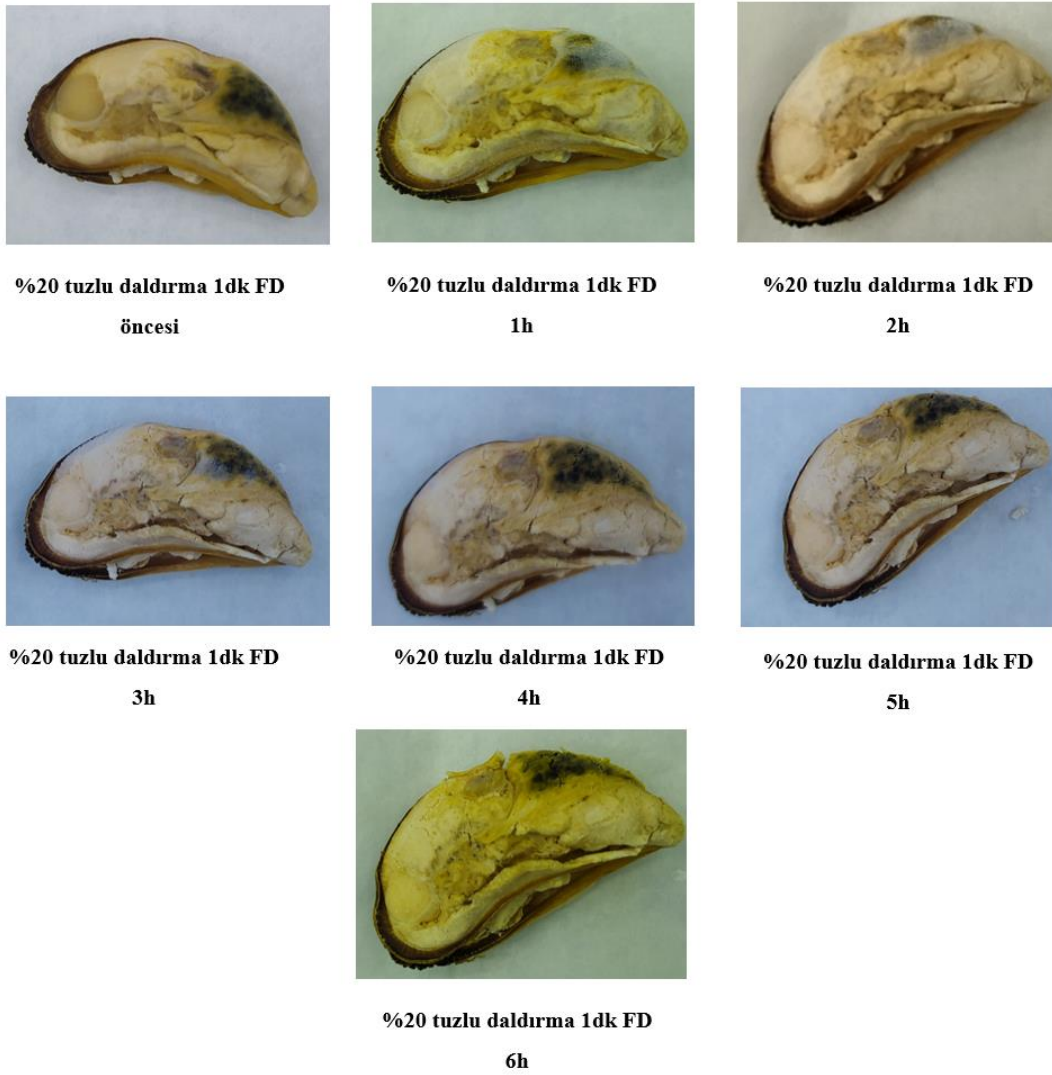
Tablo 5.10 5 dakikalık %10 tuzlu daldırma ön işlem uygulanan numunelerin tartım sonuçları ve veriler

5 dk tuzlu daldırma - 10%						
t (dk)	Numune (g)	kgW/kgDM	DR	MR	ln (MR)	Zaman (s)
0	11,9876	2,4687	0,0000	1,0000	0,0000	0
60	8,9686	1,5951	0,0146	0,6461	-0,4367	3600
120	7,4683	1,1610	0,0072	0,4703	-0,7544	7200
180	6,3878	0,8483	0,0052	0,3436	-1,0682	10800
240	5,5592	0,6086	0,0040	0,2465	-1,4003	14400
300	4,9226	0,4244	0,0031	0,1719	-1,7608	18000
360	4,4434	0,2857	0,0023	0,1157	-2,1564	21600
420	4,0864	0,1824	0,0017	0,0739	-2,6051	25200
480	3,8333	0,1092	0,0012	0,0442	-3,1184	28800



Şekil 5.17 %10 tuzlu daldırma 5 dk ön işlemin uygulaması sonrası FD süreci

Tablo 5.11’ de 1 dk boyunca %20 tuzlu daldırma ön işlemine tabi tutulan numunelerin FD işlemi sonucu saatlik tartım sonuçları verilmiştir. Ön işlem sonrasında numune ağırlığı 11,2218 gr olarak ölçülerek FD işlemine başlanmıştır. Kurutma işleminde (Şekil 5.18) 300 dk sonra 4,3992 gr ağırlık 0,1098 nem oranına ile ulaşılmıştır. Hedef değeri olan %7 nem oranına ulaşmak üzere kurutma işlemine devam edilmiştir. 360 dk sonunda nem oranı 0,0490 olarak hesaplanmıştır. Lineer interpolasyon metodu ile %7 nem oranına ulaşılması yaklaşık 340 dk içinde gerçekleşmektedir.



Şekil 5.18 %20 tuzlu daldırma 1 dk ön işlemi uygulaması sonrası FD süreci

Tablo 5.11 1 dakikalık %20 tuzlu daldırma ön işlem uygulanan numunelerin tartım sonuçları ve veriler

1 dk tuzlu daldırma - 20%						
t (dk)	Numune (g)	kgW/kgDM	DR	MR	ln (MR)	Zaman (s)
0	11,2218	2,1543	0,0000	1,0000	0,0000	0
60	8,3199	1,3386	0,0136	0,6214	-0,4758	3600
120	6,9062	0,9413	0,0066	0,4369	-0,8280	7200
180	5,8291	0,6385	0,0050	0,2964	-1,2161	10800
240	5,0189	0,4108	0,0038	0,1907	-1,6572	14400
300	4,3992	0,2366	0,0029	0,1098	-2,2090	18000
360	3,9334	0,1056	0,0022	0,0490	-3,0152	21600

Tablo 5.12’de %20 tuzlu daldırma ön işlemine 5 dakika tabi tutulan numunelerin FD işlemi sonucu verileri yer almaktadır. Ön işlem sonucunda yaklaşık 10 gr olan numune ağırlığı 11,6504 gr olmuştur. FD işlemi 360 dk boyunca uygulanarak (Şekil 5.19) 4,3571 gr numune ağırlığı ile 0,0786 nem oranı değerine ulaşılmıştır.

Tablo 5.12 5 dakikalık %20 tuzlu daldırma ön işlem uygulanan numunelerin tartım sonuçları ve veriler

5 dk tuzlu daldırma - 20%						
t (dk)	Numune (g)	kgW/kgDM	DR	MR	ln (MR)	Zaman (s)
0	11,6504	2,1195	0,0000	1,0000	0,0000	0
60	8,8698	1,3750	0,0124	0,6487	-0,4327	3600
120	7,3928	0,9795	0,0066	0,4621	-0,7719	7200
180	6,3043	0,6880	0,0049	0,3246	-1,1251	10800
240	5,4676	0,4640	0,0037	0,2189	-1,5190	14400
300	4,8312	0,2936	0,0028	0,1385	-1,9767	18000
360	4,3571	0,1667	0,0021	0,0786	-2,5430	21600
420	4,0196	0,0763	0,0015	0,0360	-3,3244	25200



**%20 tuzlu daldırma 5dk FD
öncesi**



**%20 tuzlu daldırma 5dk FD
1h**



**%20 tuzlu daldırma 5dk FD
2h**



**%20 tuzlu daldırma 5dk FD
3h**



**%20 tuzlu daldırma 5dk FD
4h**



**%20 tuzlu daldırma 5dk FD
5h**



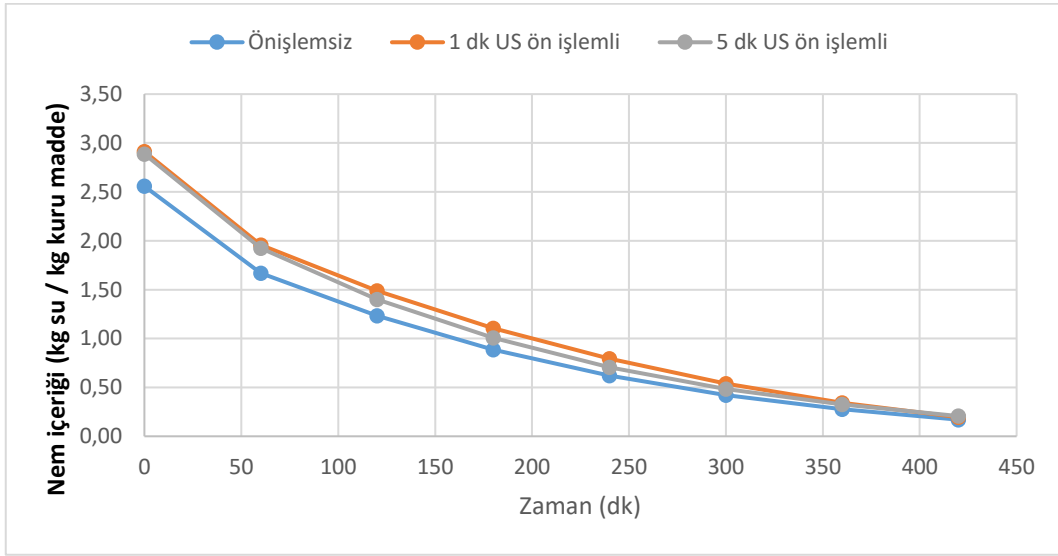
**%20 tuzlu daldırma 5dk FD
6h**

Şekil 5.19 %20 tuzlu daldırma 5 dk ön işlemi uygulaması sonrası FD süreci

6

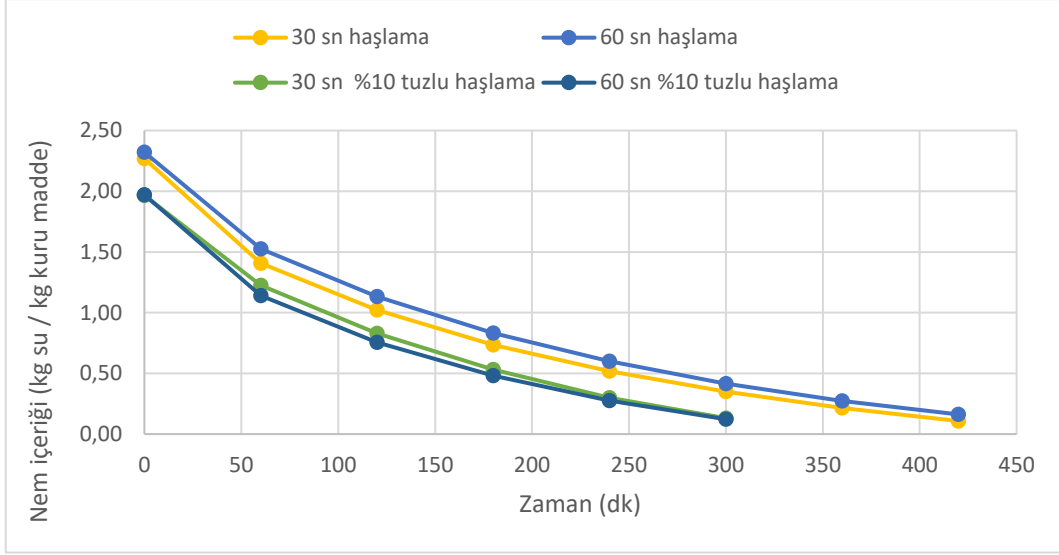
SONUÇ

Çalışmada kullanılan mavi midye numunelerinin nem içeriği, nem analizi yöntemi kullanılarak $2,3713 \pm 0,2$ kg su/kg kuru madde olarak belirlenmiştir. Şekil 6.1, 6.2 ve 6.3 ile verilen grafikler numunelerin zamanla değişen nem içeriğini göstermektedir. Kurutma işlemi ortalama 7 saatte tamamlanmıştır.



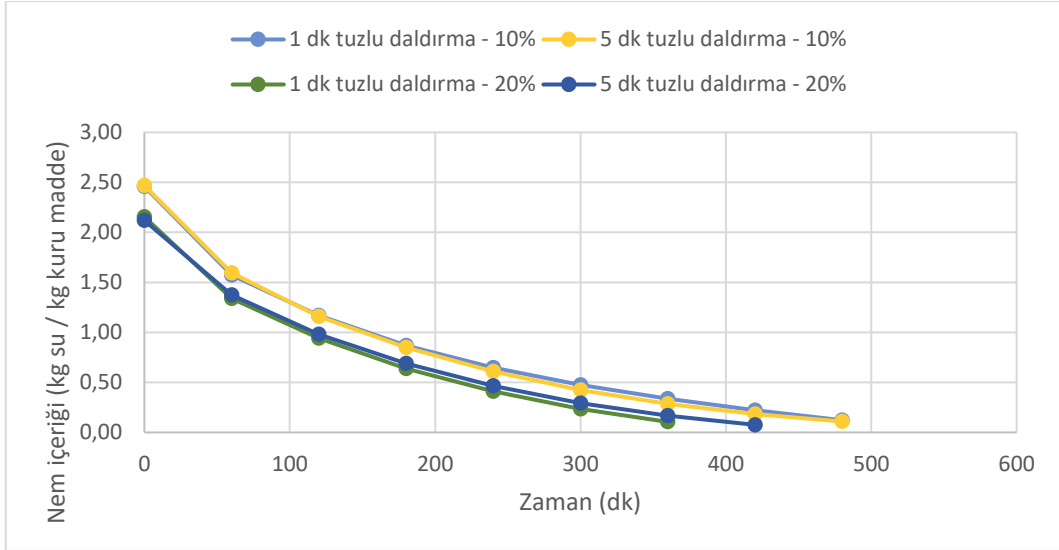
Şekil 6.1 Ön işlemsiz, 1 dk US ve 5 dk US ön işlemlili numunelerin nem içeriği/zaman grafiği

Ön işlemsiz, ultrasonic ön işlem uygulanan numune kurutulması sırasında zamana bağlı nem içerikleri karşılaştırılmıştır. Numunelerin kuruma hızı US1 ve US5 için yaklaşık aynı değerde iken, ön işlemsiz numunede kuruma hızı daha yavaş ilerlemektedir. Kurutma hızı, sürenin ilerlemesi ile yavaşlamaktadır.



Şekil 6.2 Haşlama esaslı ön işleme tabi tutulan numunelerin nem içeriği/zaman grafiği

Haşlamaya dayalı uygulanan ön işlemlili numunelerin nem içeriğinin zamana bağlı değişimi incelenmiştir. Tuzla haşlama numuneleri normal haşlama numunelerinden daha kısa sürede istenen nem içeriğine ulaşmıştır. Haşlama 30 sn ve 60 sn kuruması ile tuzlu haşlama 30 sn ve 60 sn numuneleri kendi içlerinde benzer kuruma göstermiştir.

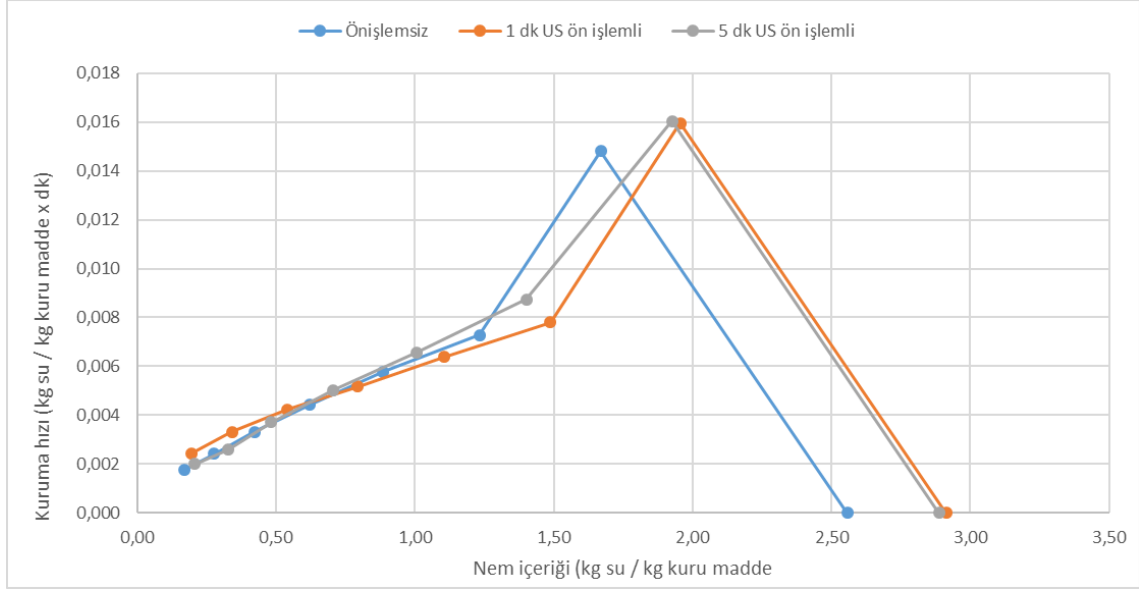


Şekil 6.3 Tuzlu daldırma esaslı ön işleme tabi tutulan numunelerin nem içeriği/zaman grafiği

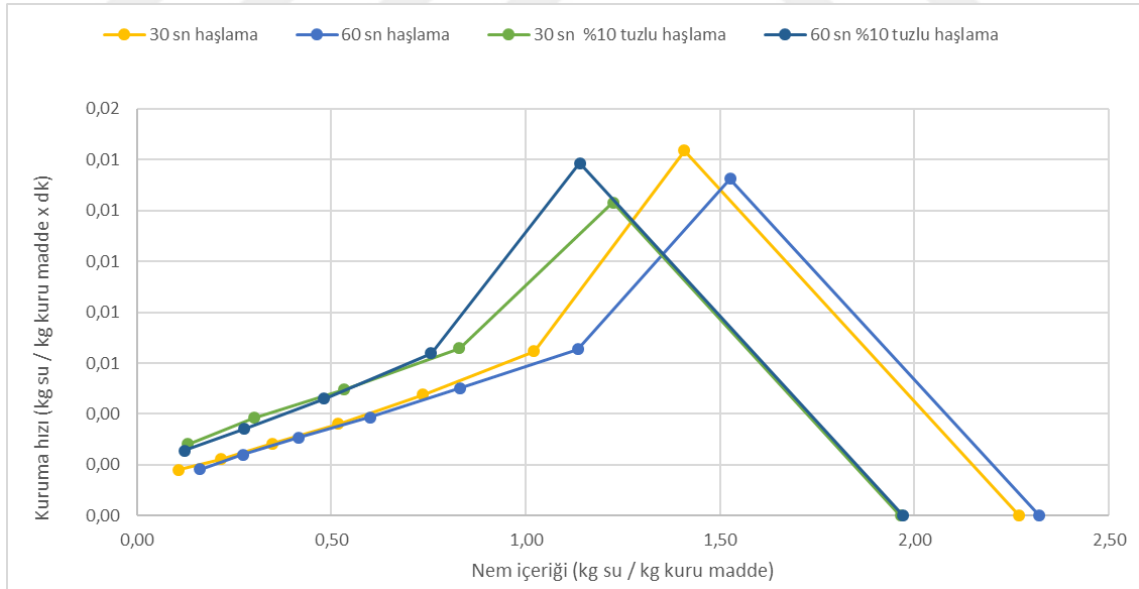
Tuzlu daldırma ön işlemlili numunelerde 1 dakika %20'lik tuzlu suya maruz bırakılan numune hızlı bir kuruma profili göstermiştir.

6.1 Kurutma Hızı ve Efektif Nem Difüzyonu

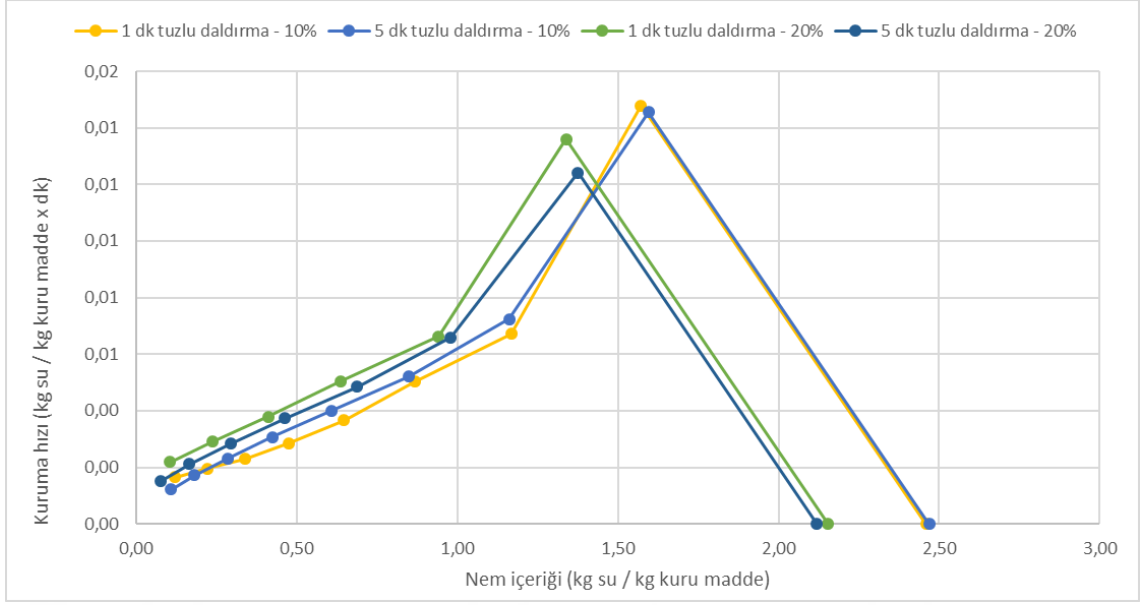
Ön işlem uygulanan midye numunelerinin kuruma hızı grafikleri Şekil 6.4, 6.5 ve 6.6 ile verilmiştir.



Şekil 6.4 Ön işlemsiz, US1 dakika ve US 5 dakika ön işlemli numune kurutma hızına nem içeriği grafiği



Şekil 6.5 Haşlama ön işlemli numuneler kurutma hızına karşı nem içeriği grafiği



Şekil 6.6 Tuzlu daldırma numuneler kurutma eğrisi

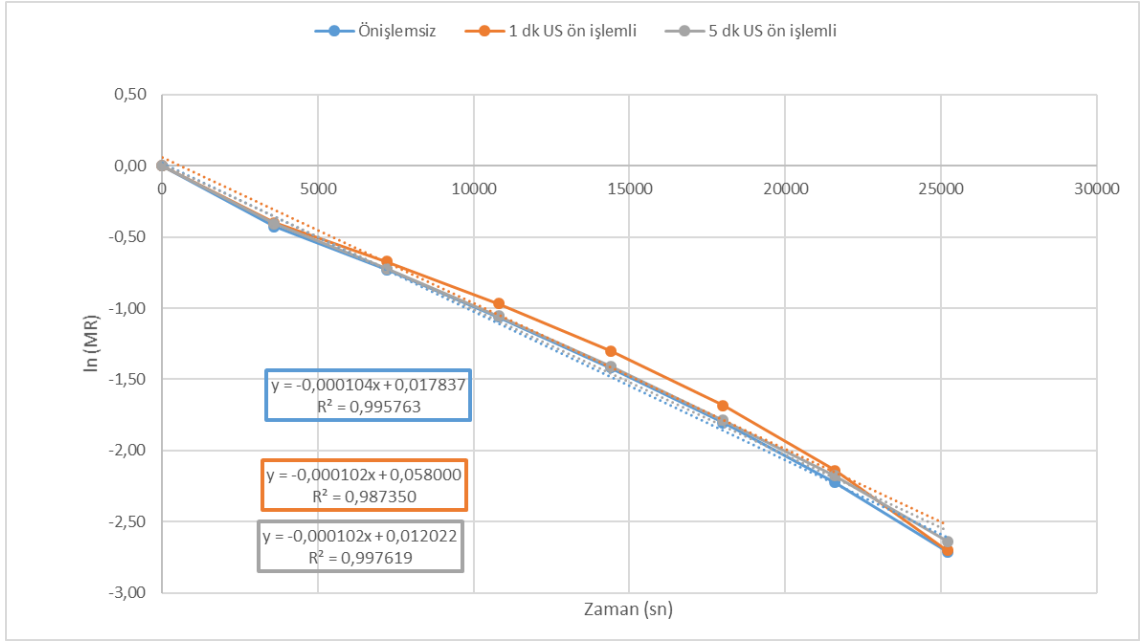
6.2 Matematiksel Modelleme

Dondurarak kurutma işleminde kurutma kinetiği incelenirken matematiksel modeller kullanılmaktadır. Kurutma verileri zamana bağlı olarak azalan nem içeriği ölçülerek elde edilmiştir. Kurutma kinetiğinin incelenmesinde kullanılan kurutma modelleri Tablo 6.1’de verilmiştir.

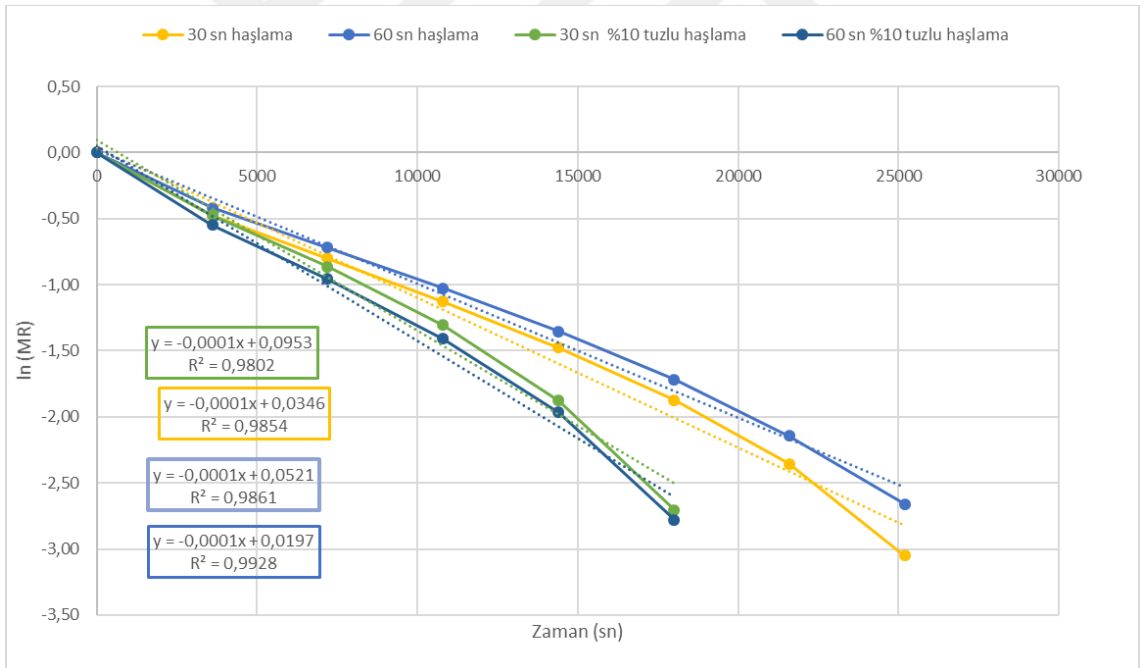
Tablo 6.1 Yaygın kullanılan matematiksel modeller

Matematiksel Model	Denklem	Referans
Aghbashlov.d.	$MR = e^{\frac{-k_1 t}{1+k_2 t}}$	Aghbashlo ve diğ., 2009
Alibas	$MR = ae^{(-kt^n)} + bt + g$	Alibas, 2012
Hendersen ve Pabis	$MR = ae^{(-kt)}$	Kıpçak. 2017
Jena ve Das	$MR = ae^{(-kt+bt^{0.5})} + c$	Jena, 2007
Lewis	$MR = e^{(-kt)}$	İsmail ve diğ., 2017
Logaritmik	$MR = ae^{(-kt^n)} + b$	Darvishi ve diğ., 2013
Midilli ve Küçük	$MR = ae^{(-kt^n)} + bt$	Midilli ve diğ., 2002
Page	$MR = e^{(-kt^n)}$	Guan ve diğ., 2013
Parabolik	$MR = a + bt + ct^2$	Kıpçak. 2017
Verma	$MR = ae^{(-kt)} + (1 + a)e^{(-gt)}$	Alibas, 2014
Wang ve Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	Alibas, 2014
Weibull	$MR = e^{(-\left(\frac{t}{b}\right)^a)}$	İsmail ve diğ., 2017
Peleg	$MR = a + \frac{t}{(k_1 + k_2 t)}$	Peleg, 1988
İki terimli	$MR = ae^{(-bt)} + ce^{(-dt)}$	Kıpçak ve diğ., 2021
İki terimli üstel	$MR = ae^{(-kt)} + (1 - a)e^{(-kat)}$	Kıpçak ve diğ., 2021

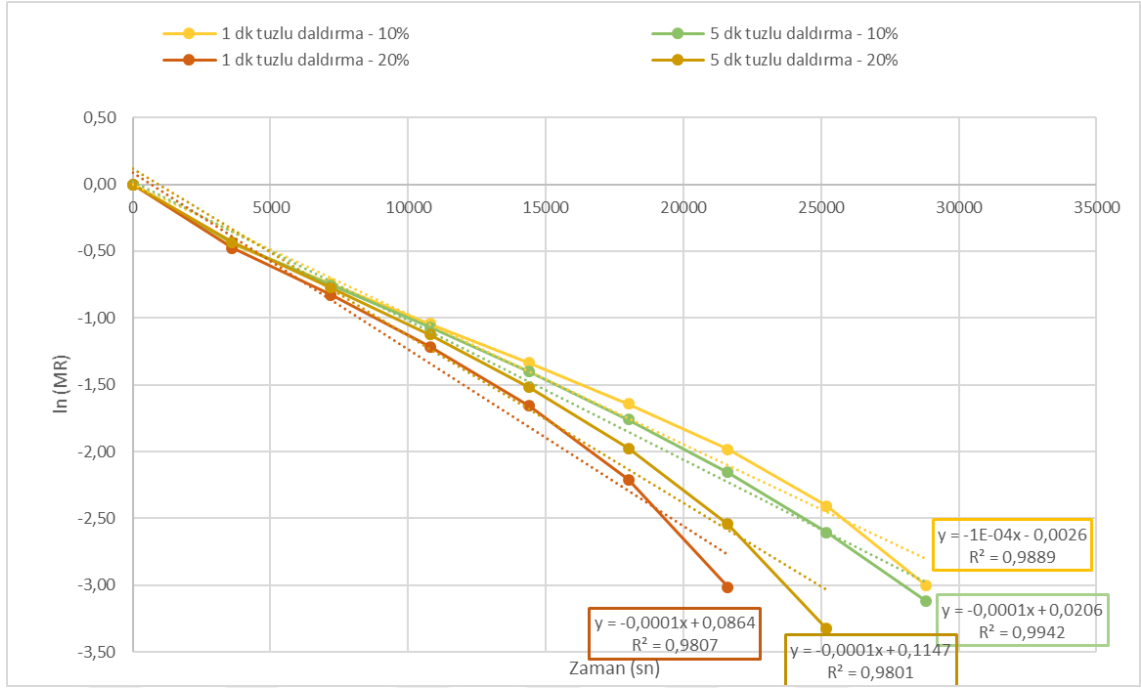
Çalışmada Statica program kullanılarak, elde edilen kurutma verilerini analiz etmek için Levenberg-Marquardt algoritması ile doğrusal olmayan regresyon çalışmaları yapıldı. Kurutma analizinde yaygın olarak kullanılan 14 matematiksel model kullanılarak parametreler belirlenmiş ve en uyumlu modeller belirlenmiştir. Kurutma işlemi sırasında katı halden gaz hale geçiş sırasında kütle transferi meydana gelmektedir. Fick's 2. Difüzyon denklemi kullanılarak efektif nem difüzyon katsayısı (D_{eff}) belirlenmektedir. D_{eff} değerleri, farklı ön işlem uygulanan mavi midyeler için $\ln(MR)$ -zaman grafiklerinden (Şekil 6.6, 6.7 ve 6.8) elde edilen eğim yardımıyla da hesaplanabilmektedir.



Şekil 6.7 Ön işlemsiz, US1 dk ve US5 dk ön işlemlili numuneler $\ln (MR)$ 'a zaman grafiği



Şekil 6.8 Haşlama ön işlemlili numuneler $\ln (MR)$ 'a zaman grafiği



Şekil 6.9 Tuzlu daldırma ön işlemleri numuneler $\ln(MR)$ 'a zaman grafiği

Grafiklerden elde edilen eğim değerleri ve D_{eff} değerleri Tablo 6.2'de verilmiştir.

Tablo 6.2 Ön işlemsiz ve ön işlemleri numuneler efektif nem difüzyon katsayıları

	Eğim ($\ln(MR)-t$)	Deff	$\ln(Deff)$
Ön işlemsiz	-0,000104	3,79E-10	-21,6926
1 dk US ön işlemleri	-0,000102	3,72E-10	-21,7120
1 dk US ön işlemleri	-0,000102	3,72E-10	-21,7120
30 sn haşlama	-0,0001	3,65E-10	-21,7318
60 sn haşlama	-0,0001	3,65E-10	-21,7318
30 sn %10 tuzlu haşlama	-0,0001	3,65E-10	-21,7318
60 sn %10 tuzlu haşlama	-0,0001	3,65E-10	-21,7318
1 dk tuzlu daldırma - 10%	-1,00E-04	3,65E-10	-21,7318
5 dk tuzlu daldırma - 10%	-0,0001	3,65E-10	-21,7318
1 dk tuzlu daldırma - 20%	-0,0001	3,65E-10	-21,7318
5 dk tuzlu daldırma - 20%	-0,0001	3,65E-10	-21,7318

Tablo 6.3 Ön işlemsiz, US 1 dakika ve US 5 dakika numuneleri matematiksel model ve parametreleri

Model	Parametre	Ön işlemsiz	US 1dk	US 5dk
Aghbashlo et al.	k1	0,00637	0,00566	0,00621
	k2	0,000178	-0,000034	0,000132
	R2	0,997	0,996	0,999
	χ^2	0,000317	0,000506	0,000174
	RMSE	0,0154	0,0195	0,0114
Alibas	a	3,25	2,1	3,16
	k	0,00608	0,00909	0,0053
	n	0,764	0,73	0,805
	b	0,00132	0,0004	0,00153
	g	-2,25	-1,1	-2,16
	R2	1	1	1
	χ^2	0,0000312	0,0000462	0,00000774
	RMSE	0,00342	0,00416	0,0017
Midilli	a	0,999	0,999	0,999
	k	0,0145	0,0162	0,0114
	n	0,808	0,756	0,859
	b	-0,000204	-0,000355	-0,000145
	R2	1	1	1
	χ^2	0,0000524	0,0000503	0,0000267
	RMSE	1	0,00502	0,00366
Two terms exponential	a	0,0637	12,5	10,4
	b	0,301	0,0064	0,00597
	k0	0,936	-11,5	-9,44
	k1	0,00573	0,0065	0,00597
	R2	0,999	0,996	0,999
	χ^2	0,000225	0,000708	0,00025
	RMSE	0,0106	0,0188	0,0112
Henderson	a	0,986	0,988	0,989
	k	0,00604	0,00563	0,00597
	R2	0,997	0,996	0,999
	χ^2	0,000305	0,000478	0,000167
	RMSE	0,0151	0,0189	0,0112
Jena	a	1,95	0,152	0,423
	k	0,00539	0,00526	0,00549
	b	-0,00968	-0,00569	-0,00721
	c	-0,669	1,88	0,858
	R2	0,998	0,996	0,999
	χ^2	0,000296	0,000654	0,000159
	RMSE	0,0122	0,0181	0,00893
Lewis	k	0,00613	0,0057	0,00604
	R2	0,997	0,996	0,998
	χ^2	0,000298	0,000435	0,000164
	RMSE	0,0162	0,0195	0,012

Tablo 6.3 Ön işlemsiz, US 1 dakika ve US 5 dakika numuneleri matematiksel model ve parametreleri (devamı)

Model	Parametre	Ön işlemsiz	US 1dk	US 5dk
Logarithmic	a	0,987	1,02	0,99
	k	0,00601	0,00518	0,00596
	c	-0,0019	-0,0358	-0,00107
	R ²	0,997	0,996	0,999
	χ^2	0,000365	0,000494	0,0002
	RMSE	0,0151	0,0176	0,0112
Page	k	0,00828	0,00668	0,00757
	n	0,943	0,97	0,957
	R ²	0,998	0,996	0,999
	χ^2	0,000243	0,000479	0,000132
	RMSE	0,999	0,019	0,00996
Parabolic	a	0,952	0,954	0,957
	b	-0,00437	-0,00408	-0,00438
	c	0,000006	0,000005	0,000006
	R ²	0,989	0,99	0,991
	χ^2	0,00162	0,00144	0,00131
	RMSE	0,994	0,03	0,0286
Verma	a	0,936	0,2	0,952
	k	0,00573	0,0057	0,00574
	g	0,265	0,0057	0,301
	R ²	0,999	0,996	0,999
	χ^2	0,00018	0,000609	0,0000966
	RMSE	0,0106	0,0195	0,00777
Wang	a	-0,00479	-0,00448	-0,00476
	b	0,000006	0,000006	0,000006
	R ²	0,984	0,985	0,987
	χ^2	0,0019	0,00169	0,00152
	RMSE	0,0377	0,0356	0,0337
Weibull	b	161	175	164
	a	0,943	0,97	0,957
	R ²	0,998	0,996	0,999
	χ^2	0,000243	0,000479	0,000132
	RMSE	0,0135	0,019	0,00996
Two-Term	a	0,063	0,0469	0,0475
	k	0,0911	0,116	0,121
	R ²	0,999	0,997	0,999
	χ^2	0,000151	0,000386	0,0000806
	RMSE	0,0106	0,017	0,00778

Tablo 6.4 Haşlama esaslı ön işlemlili numuneler matematiksel model ve parametreleri

Model	Parametre	Haşlama 30 sn	Haşlama 60 sn	%10 Tuzlu Haşlama 30 sn	%10 Tuzlu Haşlama 60 sn
Aghbashlo et al.	k1	0,00713	0,00623	0,00703	0,00847
	k2	0,000393	0,000226	-0,000448	0,00012
	R2	0,995	0,997	0,997	0,997
	χ^2	0,00056	0,000394	0,000381	0,000471
	RMSE	0,0205	0,0172	0,0159	0,0177
Alibas	a	1,65	2,86	1,37	2,37
	k	0,0167	0,00748	0,0131	0,0128
	n	0,682	0,73	0,777	0,69
	b	0,000243	0,0009	-0,000065	0,00068
	g	-0,645	-1,86	-0,371	-1,37
	R2	1	1	1	1
	χ^2	0,00000588	0,00000878	0,0000233	0,00000668
	RMSE	0,00149	0,00181	0,00197	0,00105
Midilli	a	1	1	1	1
	k	0,0232	0,0168	0,0161	0,0248
	n	0,722	0,769	0,798	0,734
	b	-0,00028	-0,00026	-0,000512	-0,000452
	R2	1	1	1	1
	χ^2	0,0000114	0,000019	0,0000162	0,0000094
	RMSE	0,00239	0,00309	0,00232	0,00177
Two terms exponential	a	0,899	0,0713	-0,0085	0,0609
	b	0,00591	0,302	1	0,292
	k0	0,101	0,929	1,01	0,939
	k1	0,31	0,00549	0,00767	0,00781
	R2	0,998	0,998	0,996	0,998
	χ^2	0,000344	0,000271	0,00105	0,000675
	RMSE	0,0131	0,0116	0,0187	0,015
Henderson	a	0,979	0,983	1	0,992
	k	0,00644	0,00583	0,00762	0,00824
	R2	0,995	0,997	0,996	0,997
	χ^2	0,00056	0,000384	0,000529	0,000462
	RMSE	0,0205	0,017	0,0188	0,0175
Jena	a	0,275	0,195	0,378	30,2
	k	0,0053	0,0051	0,00794	0,00745
	b	-0,0166	-0,011	0,00408	-0,00982
	c	1,29	1,63	0,97	-3,41
	R2	0,997	0,998	0,997	0,997
	χ^2	0,000464	0,000355	0,00102	0,000756
	RMSE	0,0152	0,0133	0,0185	0,0159
Lewis	k	0,00658	0,00593	0,00761	0,00831
	R2	0,994	0,996	0,996	0,997
	χ^2	0,000593	0,000381	0,000424	0,000384
	RMSE	0,0228	0,0182	0,0188	0,0179

Tablo 6.4 Haşlama esaslı ön işlemlili numuneler matematiksel model ve parametreleri (devamı)

Model	Parametre	Haşlama 30 sn	Haşlama 60 sn	%10 Tuzlu Haşlama 30 sn	%10 Tuzlu Haşlama 60 sn
Logarithmic	a	0,973	0,983	1,06	1
	k	0,00657	0,00582	0,00652	0,008
	c	0,00727	-0,00035	-0,0732	-0,0121
	R ²	0,995	0,997	0,998	0,997
	χ^2	0,000712	0,00046	0,000342	0,0006
	RMSE	0,0211	0,017	0,0131	0,0173
Page	k	0,0109	0,00849	0,00628	0,0104
	n	0,904	0,932	1,04	0,955
	R ²	0,997	0,997	0,997	0,997
	χ^2	0,000389	0,000293	0,000484	0,000416
	RMSE	0,0171	0,0148	0,018	0,0167
Parabolic	a	0,938	0,95	0,974	0,964
	b	-0,00445	-0,00424	-0,00562	-0,00602
	c	0,000006	0,000005	0,000009	0,00001
	R ²	0,981	0,987	0,994	0,988
	χ^2	0,00272	0,00175	0,00128	0,00244
	RMSE	0,0412	0,0331	0,0253	0,0349
Verma	a	0,101	0,0713	-0,0085	0,0609
	k	0,231	0,273	2,39	0,426
	g	0,00591	0,00549	0,00767	0,00781
	R ²	0,998	0,998	0,996	0,998
	χ^2	0,000275	0,000217	0,000702	0,00045
	RMSE	0,0131	0,0116	0,0187	0,015
Wang	a	-0,005	-0,00468	-0,00593	-0,00645
	b	0,000007	0,000006	0,00001	0,000011
	R ²	0,973	0,982	0,992	0,985
	χ^2	0,00317	0,00204	0,00117	0,00222
	RMSE	0,0488	0,0392	0,0279	0,0385
Weibull	b	149	167	132	119
	a	0,904	0,932	1,04	0,955
	R ²	0,997	0,997	0,997	0,997
	χ^2	0,000389	0,000293	0,000484	0,000416
	RMSE	0,0171	0,0148	0,018	0,0167
Two-Term	a	0,099	0,563	0,00189	0,0433
	k	0,0599	0,00772	4,02	0,183
	R ²	0,998	0,997	0,996	0,998
	χ^2	0,000241	0,000396	0,000531	0,000351
	RMSE	0,0134	0,0172	0,0188	0,0153

Tablo 6.5 Tuzlu daldırma esaslı ön işlemlili numuneler matematiksel model ve parametreleri

Model	Parametre	10% Tuzlu daldırma 1 dk	10% Tuzlu daldırma 5 dk	20% Tuzlu daldırma 1 dk	20% Tuzlu daldırma 5 dk
Aghbashlo et al.	k1	0,00668	0,00656	0,00707	0,0064
	k2	0,000559	0,000295	-0,000065	-0,000142
	R2	0,995	0,997	0,996	0,997
	χ^2	0,000502	0,000327	0,000472	0,00034
	RMSE	0,0198	0,0159	0,0184	0,016
Alibas	a	0,362	2,39	3,06	3,01
	k	477	0,00894	0,00784	0,00631
	n	0,01	0,741	0,729	0,779
	b	-0,0013	0,0009	0,00106	0,0013
	g	0,638	-1,39	-2,06	-2,01
	R2	0,978	1	1	1
	χ^2	0,00421	0,00000413	0,0000136	0,00000483
	RMSE	0,0432	0,00136	0,00197	0,00135
Midilli	a	1	0,999	1	0,999
	k	0,0218	0,0155	0,0186	0,0133
	n	0,725	0,804	0,771	0,834
	b	-0,000204	-0,000147	-0,000362	-0,00023
	R2	1	1	1	1
	χ^2	0,00000515	0,0000235	0,0000227	0,0000234
	RMSE	0,00169	0,00362	0,00312	0,00342
Two terms exponential	a	0,119	0,917	0,957	0,0279
	b	0,388	0,00563	0,00685	0,591
	k0	0,881	0,0834	0,0431	0,972
	k1	0,00518	0,395	0,282	0,00641
	R2	0,999	0,999	0,997	0,997
	χ^2	0,000174	0,000108	0,000659	0,000491
	RMSE	0,00984	0,00917	0,0168	0,0157
Henderson	a	0,97	0,98	0,992	0,994
	k	0,00572	0,00602	0,0071	0,00655
	R2	0,994	0,997	0,997	0,997
	χ^2	0,000645	0,000346	0,000461	0,000354
	RMSE	0,0224	0,0164	0,0182	0,0163
Jena	a	0,00605	0,319	10,2	3,76
	k	0,00445	0,00515	0,00669	0,00637
	b	-0,0199	-0,0134	-0,00556	-0,00262
	c	5,11	1,14	-2,32	-1,33
	R2	0,998	0,999	0,997	0,997
	χ^2	0,00028	0,000222	0,000717	0,00052
	RMSE	0,0125	0,0111	0,0175	0,0161
Lewis	k	0,00591	0,00614	0,00715	0,00659
	R2	0,993	0,996	0,996	0,997
	χ^2	0,000707	0,000363	0,000396	0,000309
	RMSE	0,0251	0,018	0,0184	0,0164

Tablo 6.5 Tuzlu daldırma esaslı ön işlemlili numuneler matematiksel model ve parametreleri (devamı)

Model	Parametre	10% Tuzlu daldırma 5 dk	10% Tuzlu daldırma 5 dk	20% Tuzlu daldırma 1 dk	20% Tuzlu daldırma 5 dk
Logarithmic	a	0,953	0,976	1,02	1,02
	k	0,00612	0,00612	0,00659	0,006
	c	0,0237	0,00598	-0,0311	-0,0355
	R ²	0,995	0,997	0,997	0,998
	χ^2	0,00069	0,000399	0,000489	0,000298
	RMSE	0,0214	0,0163	0,0167	0,0136
Page	k	0,0115	0,00939	0,00803	0,00678
	n	0,874	0,92	0,977	0,994
	R ²	0,997	0,998	0,997	0,997
	χ^2	0,000283	0,000213	0,000459	0,00036
	RMSE	0,0148	0,0129	0,0181	0,0164
Parabolic	a	0,927	0,934	0,958	0,952
	b	-0,00392	-0,00408	-0,00505	-0,00452
	c	0,000005	0,000005	0,000007	0,000006
	R ²	0,978	0,983	0,989	0,989
	χ^2	0,0028	0,00223	0,00192	0,00162
	RMSE	0,0432	0,0385	0,0331	0,0318
Verma	a	0,881	0,0834	33,8	0,0588
	k	0,00518	0,319	0,00773	0,00659
	g	0,293	0,00563	0,00775	0,00659
	R ²	0,999	0,999	0,996	0,997
	χ^2	0,000145	0,000126	0,000593	0,000433
	RMSE	0,00984	0,00917	0,0184	0,0164
Wang	a	-0,00449	-0,00459	-0,00548	-0,00494
	b	0,000005	0,000006	0,000008	0,000006
	R ²	0,967	0,975	0,985	0,985
	χ^2	0,00356	0,00284	0,00201	0,00188
	RMSE	0,0526	0,047	0,0379	0,0376
Weibull	b	165	160	139	152
	a	0,874	0,92	0,977	0,995
	R ²	0,997	0,998	0,997	0,997
	χ^2	0,000283	0,000298	0,000459	0,00036
	RMSE	0,0148	0,0129	0,0181	0,0164
Two-Term	a	0,121	0,0828	0,043	0,0279
	k	0,0429	0,068	0,159	0,23
	R ²	0,999	0,999	0,997	0,997
	χ^2	0,000149	0,000112	0,000396	0,000327
	RMSE	0,0108	0,00932	0,0168	0,0157

6.3 İstatiksel Analiz

Matematiksel modellerin uyumlu olup olmadığı bilgisi Kök Ortalama Kare Hatası (RMSE) ve ki-kare değerlerinin analizi ile belirlenebilmektedir. Kök ortalama kare hatası değeri matematiksel modelin uyumluluğu hakkında bilgi vermektedir. RMSE değerinin düşük olması modelin uyumlu olduğunu ifade etmektedir.

Kareler ortalaması (R^2) değeri yüksek olması istenmektedir. Matematiksel modelin deneysel verilerle sağladığı uyum ile ilgili bilgiler tüm bu değerlerin tüm hepsi birlikte değerlendirilmelidir.

6.4 Sonuç

Bu çalışmada mavi midyenin ön işlemsiz ve ön işlemlili numunelerinin freeze dryer ile kurutulmasının kurutma kinetiği ve matematiksel modellemesi incelenmiştir. Kurutma sonuçlarına göre dondurarak kurutma işleminde ön işlem uygulamalarının kuruma süresini büyük ölçüde etkilemediği görülmüştür. Ortalama 420 dakika sürede %7 nem içeriğine ulaşılmıştır. Matematiksel modeller incelendiğinde tüm modellerin uyumlu olduğu söylenebilmektedir. En bilinen 14 matematiksel model kullanılarak elde edilen kurutma verilerine göre, ön işlemsiz, 30 sn haşlama, 60 sn haşlama, 1 dk US, 5 dk US, 30 sn %10 tuzlu su ile haşlama, 60 sn %10 tuzlu su ile haşlama, 5 dk %10 tuzlu daldırma, 1 dk %20 tuzlu daldırma, 5 dk %20 tuzlu daldırma numuneleri için sırasıyla 0,99986776, 0,99980162, 0,99996722, 0,99997531, 0,99996199, 0,99996097, 0,99998884, 0,99997912, 0,99995939 ve 0,99998087 R^2 değerleri Alibas modeli en iyi uyumu sağladı. 1 dk %10 tuzlu daldırma numuneleri için 0,99996596 R^2 değeri ile en iyi uyumu Midilli modeli sağladı. D_{eff} değerleri 3,79E-10, 3,72E-10, 3,72E-10, 3,65E-10, 3,65E-10, 3,65E-10, 3,65E-10, 3,65E-10, 3,65E-10, 3,65E-10 ve 3,65E-10 m^2/s olarak hesaplandı. Tüm numunelerde görsel bozulmaların olmadığı gözlemlendi.

Midye, yetiştiriciliğinin kontrol altına alınarak beslenme çeşitliliği oluşturulması sağlanacaktır. Deniz canlılarının hepsinde görülen neme bağlı kolay bozunmanın önüne geçilmesi israfın önlenmesi ve sürdürülebilirlik hedeflerine uyum sağlanması konusunda önem oluşturmaktadır. Bu amaç doğrultusunda besin içeriğinin ve görselin korunmasını sağlayan dondurarak kurutma teknolojileri umut vadetmektedir. Ön işlem uygulamaları dondurarak kurutma işleminde süreyi kısaltmaya yönelik uygulanmıştır. Tuzlu su ile haşlama ön işleminin uygulanması diğer ön işlemlere göre numunenin kurummasını hızlandırmıştır. Gelişen teknoloji ile kurutma süresinin kısaltılması için farklı ön işlemler ve FD ile hibrit kurutma teknolojileri kullanılması daha verimli ve besin içeriği yüksek, taze ürüne muadil ürün elde edilmesine yardımcı olacaktır.

- Adak, N., Heybeli, N., & Ertekin, C. (2017). Infrared drying of strawberry. *Food Chemistry*, 219, 109–116
- Aghbashlo, M., Kianmehr, M. H., Khani, S., & Ghasemi, M. (2009). Mathematical modeling of carrot thin-layer drying using new model. *International Agrophysics*, 23, 313–317
- Alemán, A., Marin, D., Taladrid, D., Montero, P., & Gomez-Guillen, M. C. (2019). Encapsulation of antioxidant sea fennel (*Crithmum maritimum*) aqueous and ethanolic extracts in freeze-dried soy phosphatidylcholine liposomes. *Food Res.Int.* 119, 665–674
- Alibas, I. (2012). Microwave drying of grapevine (*Vitis vinifera* L.) leaves and determination of some quality parameters. *Journal of Agricultural Sciences*, 18, 43-53
- Alibas, I. (2014). Mathematical modeling of microwave dried celery leaves and determination of the effective moisture diffusivities and activation energy. *Food Science and Technology*, Campinas, 34(2), 394-401
- Al-Qudsi, G., Yayvan, E., Balci, F., & Bayram, M. (2017). An Alternative Method For The Sun Drying Of Traditional Dried Eggplant. *The International Journal of Energy and Engineering Sciences*, 2(1), 13-18
- Borquez, R., Melo, D., & Saavedra, C. (2014). Microwave-vacuum drying of strawberries with automatic temperature control. *Food and Bioprocess Technology*, 8, 266–276
- Brennan, J. G., & Grandison, A. S. (2015). Evaporation and Dehydration. In *Food Processing Handbook*. Wiley VCH Verlag GmbH & Co. KGaA
- Bux, M., Muhlbauer, W., Bauer, K., & Kohler, B. (2002). Solar crop drying in developing countries. Berne
- Caldwell, R. (n.d.). Blue ringed octopus. Scotland Island. Retrieved from <https://www.scotlandisland.org.au/environment/bites-and-stings/blue-ringed-octopus/>

- Chen, J., Jayachandran, M., Bai, X., & Xu, B. (2022). A critical review on the health benefits of fish consumption and its bioactive constituents. *Food Chemistry*, 369, 130874. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130874>
- Costenbader, C. (1999). Food drying techniques. Storey's Country Wisdom Bulletin A-197
- Çolakoğlu, F., Yüzgeç, İ. U., & Çolakoğlu, S. (2022). Türk mutfak kültüründe midye dolma: Osmanlı İmparatorluğu dönemi. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 39(2), 170–173. <https://doi.org/10.12714/egejfas.39.2.12>
- Darvishi, H., Azadbakht, M., Rezaeiasl, A., & Farhang, A. (2013). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 12, 121
- Diaz-Maroto, M. C., Perez-Coello, M. S., & Cabezudo, M. D. (2002). Effect of different drying methods on the volatile components of parsley (*Petroselinum crispum* L.). *European Food Research and Technology*, 215(3), 227–230. <https://doi.org/10.1007/s00217-002-0529-7>
- Duan, X., Zhang, M., Mujumdar, A. S., & Wang, S. (2010). Microwave freeze drying of sea cucumber (*Stichopus japonicus*). *Journal of Food Engineering*, 96(4), 491–497
- Eggermont, M., Cornillie, P., Dierick, M., Adriaens, D., Nevejan, N., Bossier, P., Van den Broeck, W., Sorgeloos, P., Defoirdt, T., & Declercq, A. M. (2020). The blue mussel inside: 3D visualization and description of the vascular-related anatomy of *Mytilus edulis* to unravel hemolymph extraction. *Scientific Reports*, 10(1), 6773
- Garcia-Pascual, P., Alves-Filho, O., Strommen, I., & Eikevik, T. M. (2003). Heat pump atmospheric freeze-drying of green peas. In Proceedings of the Second Nordic Drying Conference (pp. 1–10). Copenhagen, Denmark
- Hopcroft, R. (2007). Larval squid Exploring the Inner Space of the Celebes Sea. Retrieved from https://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/07philippines/logs/oct13/media/squid_600.html
- Hu, Y., Huang, Q., & Bai, Y. (2013). Combined electrohydrodynamic (EHD) and vacuum freeze drying of shrimp. *Journal of Physics:Conference Series*, 418

- İsmail, O., Kıpçak, A. S., Doymaz, I., & Piskin, S. (2017). Thin-layer drying kinetics of nectarine slices using IR, MW and hybrid methods. *Bulgarian Chemical Communications*, 49, 92-100
- Jena, S., & Das, H. (2007). Modelling for vacuum drying characteristics of coconut presscake. *Journal of Food Engineering*, 79(1), 92-99
- Jennings, T. A. (1999). Lyophilization: Introduction and Basic Principles. Interpharm/CRC Press
- Jiang, H., Zhang, M., & Mujumdar, A. S. (2010). Physico-chemical changes during different stages of MFD/FD banana chips. *Journal of Food Engineering*, 101(2), 140–145
- Joardder, M. U. H., Karim, A., & Kumar, C. (2013). Effect of temperature distribution on predicting quality of microwave dehydrated food. *Journal of Mechanic Engineering Science*, 5, 562–568
- Kıpçak, A. S. (2017). Microwave drying kinetics of mussels (*Mytilus edulis*). *Research on Chemical Intermediates*, 43(3), 1429-1445
- Kıpçak, A. S., Derun, E. M., Tuğrul, N., & Doymaz, İ. (2021). Drying Characteristics Of Blue Mussels By Traditional Methods. *Chem. Ind. Chem. Eng. Q.*, 27(3), 279–288
- Kocabay, G.Ö. (2021). The experimental study and modelling the drying kinetics of mussels using ultrasound assisted vacuum drying. *Journal of the Indian Chemical Society* 98:100148
- Kudra, T., & Mujumdar, A. S. (2002). Advanced Drying Technologies. *Marcel Dekker*
- Land, C. M. (2011). Drying in the Process Industry (1st ed.). Wiley
- Li, D., Xie, H., Liu, Z., Li, A., Li, J., Liu, B., Liu, X., & Zhou, D., (2019). Shelf life prediction and changes in lipid profiles of dried shrimp (*Penaeus vannamei*) during accelerated storage. *Food Chemistry*, 297:124951
- Mäthger, L. M., Bell, G. R., Kuzirian, A. M., Allen, J. J., & Hanlon, R. T. (2012). How does the blue-ringed octopus (*Hapalochlaena lunulata*) flash its blue

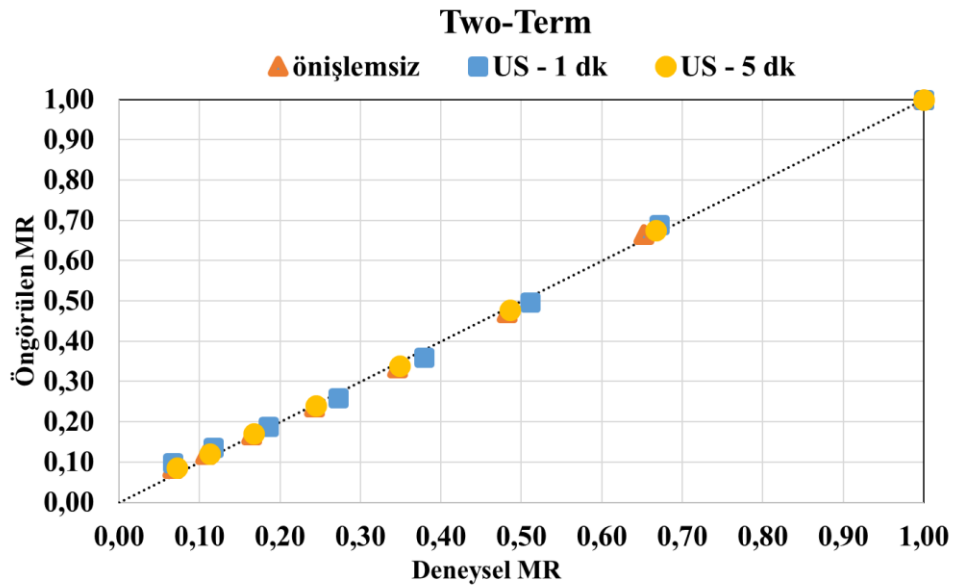
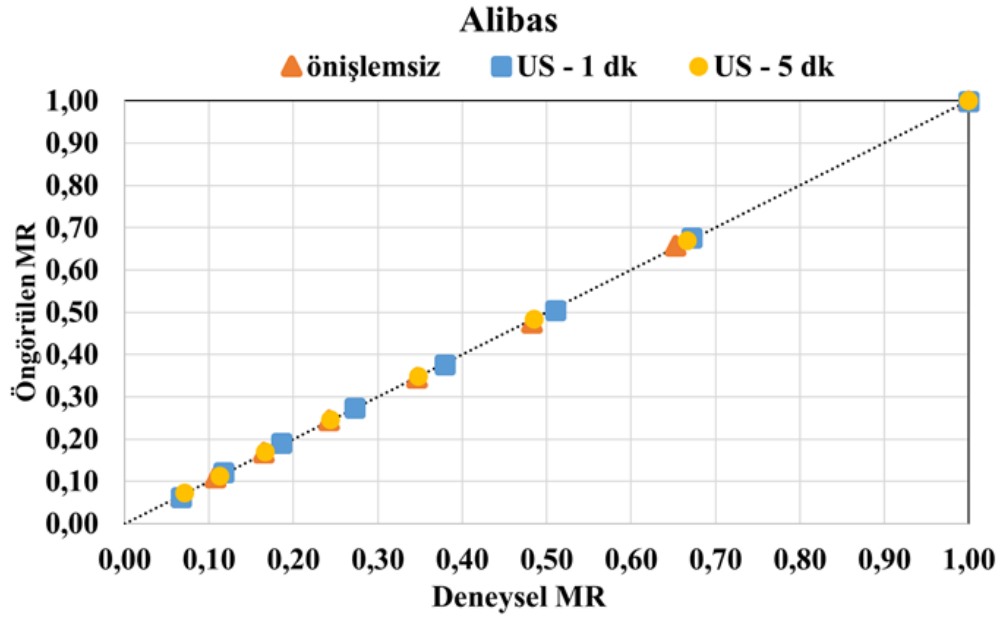
- rings? *Journal of Experimental Biology*, 215(21), 3752–3757.
<https://doi.org/10.1242/jeb.076869>
- Midilli, A., Kucuk, H., & Yapar, Z. (2002). A new model for single-layer drying. *Drying Technology*, 20(7), 1503-1513
- Musielak, G., Mierzwa, D., & Kroehnke, J. (2016). Food drying enhancement by ultrasound-A review. *Trends in Food Science and Technology*, 56, 126–141.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.08.003>
- Oetjen, G. W., & Haseley, P. (2004). *Freeze-Drying* (2nd ed.). Wiley-VHC
- Özyalçın Z. Ö., & Kıpçak A. S., (2021). Rehydration characteristics and kinetics of traditionally dried mussels at different temperatures. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, Vol. 39, No. 1, pp. 1-12
- Palma-Acevedo, A., Pérez-Won, M., Tabilo-Munizaga, G., Ortiz-Viedma, J., & Lemus-Mondaca, R., (2022). Effects of PEF-Assisted Freeze-Drying on Protein Quality, Microstructure, and Digestibility in Chilean Abalone “Loco” (*Concholepas concholepas*) Mollusk. *Front. Nutr.* 9:810827
- Peleg, M. (1988). An empirical model for the description of moisture sorption curves. *Journal of Food Science*, 53(4), 1216–1217
- Rahman, M. S. (Ed.). (2020). *Handbook of Food Preservation*. Informa UK Limited
- Rey, L., & May, J. (2016). *Freeze-Drying/Lyophilization of Pharmaceutical and Biological Products* (Third ed.). Informa healthcare
- Robinson, D. (2020). Sea Wonder: Cuttlefish. National Marine Sanctuary Foundation. Retrieved from <https://marinesanctuary.org/blog/sea-wonder-cuttlefish/>
- Sabarez, H. T. (2015). Modelling of drying processes for food materials.
<http://dx.doi.org/10.1016/B978-1-78242-284-6.00004-0>
- Sadikoglu, H., & Liapis, A. I. (1997). Mathematical Modelling of the Primary and Secondary Drying Stages of Bulk Solution Freeze-Drying in Trays: Parameter Estimation and Model Discrimination by Comparison of Theoretical Results

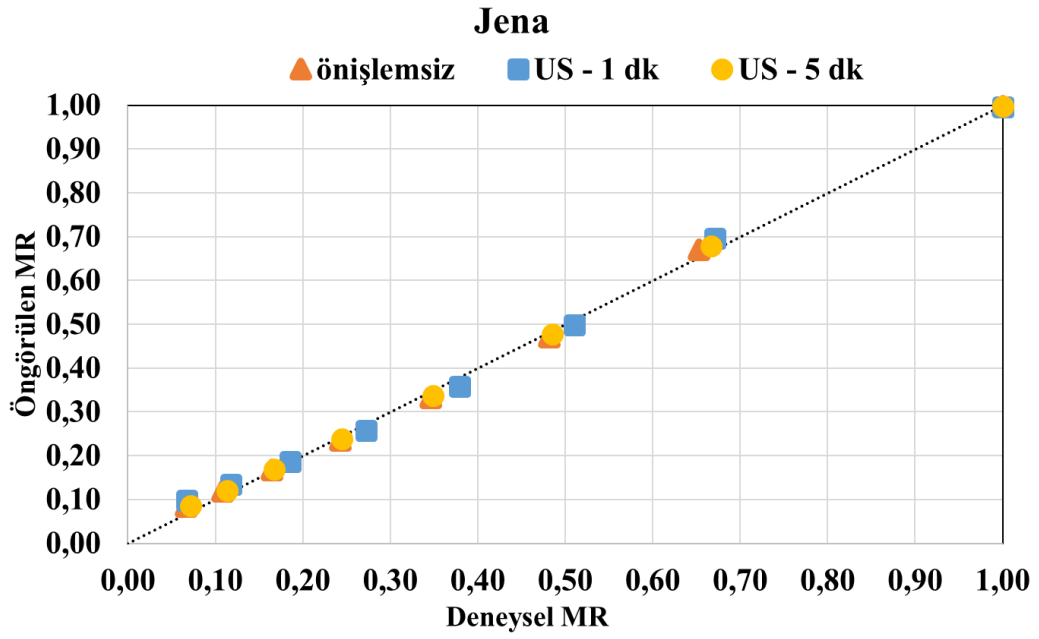
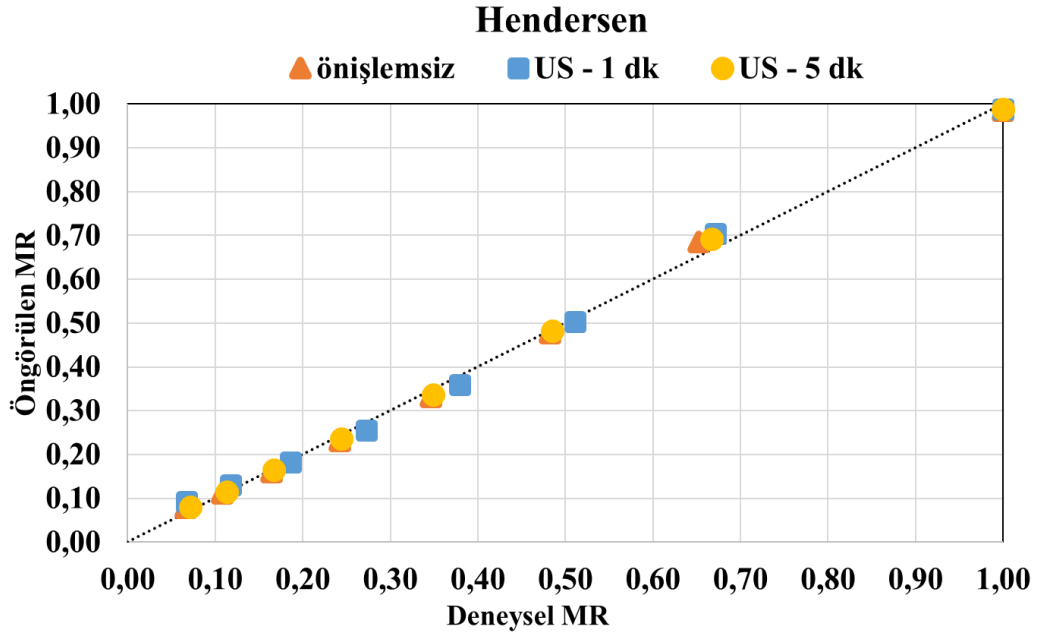
With Experimental Data, Drying Technology.
<https://doi.org/10.1080/07373939708917262>

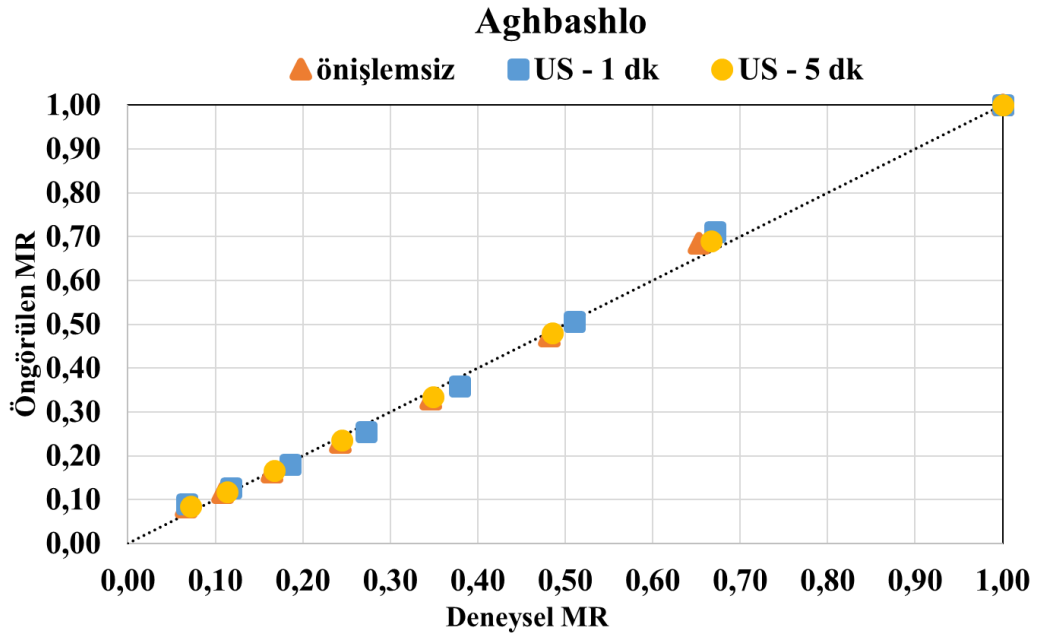
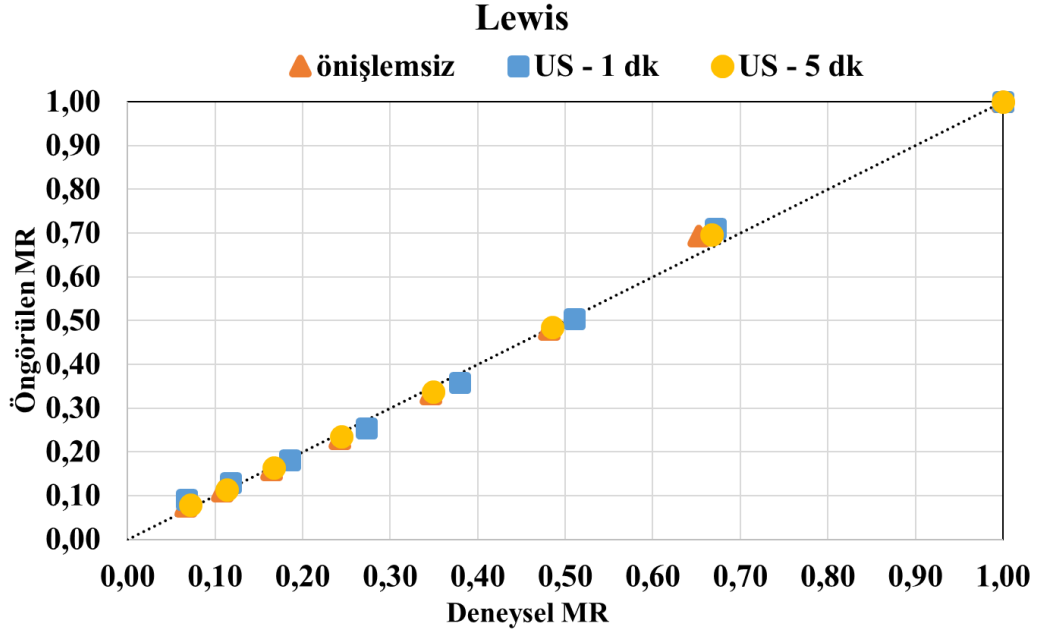
- Schossler, K., Jager, H., & Knorr, D. (2012). Contact ultrasound system for accelerated freeze-drying of vegetables. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 18, 433–445
- TEPGE, Tarımsal Ekonomi Ve Politika Geliştirme Enstitüsü. (Ağustos 2022).
Ürün Raporu: Su Ürünleri. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge>
- Thanonkaew, A., Benjakul, S., Visessanguan, W., & Decker, E. A. (2006). Development of yellow pigmentation in squid (*Loligo peali*) as a result of lipid oxidation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(3), 956–962
- Tiwari, R. B. (2005). Application of osmo-air dehydration for processing of tropical fruits in rural areas. *Indian Food Industry*, 24(6), 62–69
- Wernecke, R., & Wernecke, J. (2014). Industrial Moisture and Humidity Measurement: A Practical Guide. Wiley-VCH

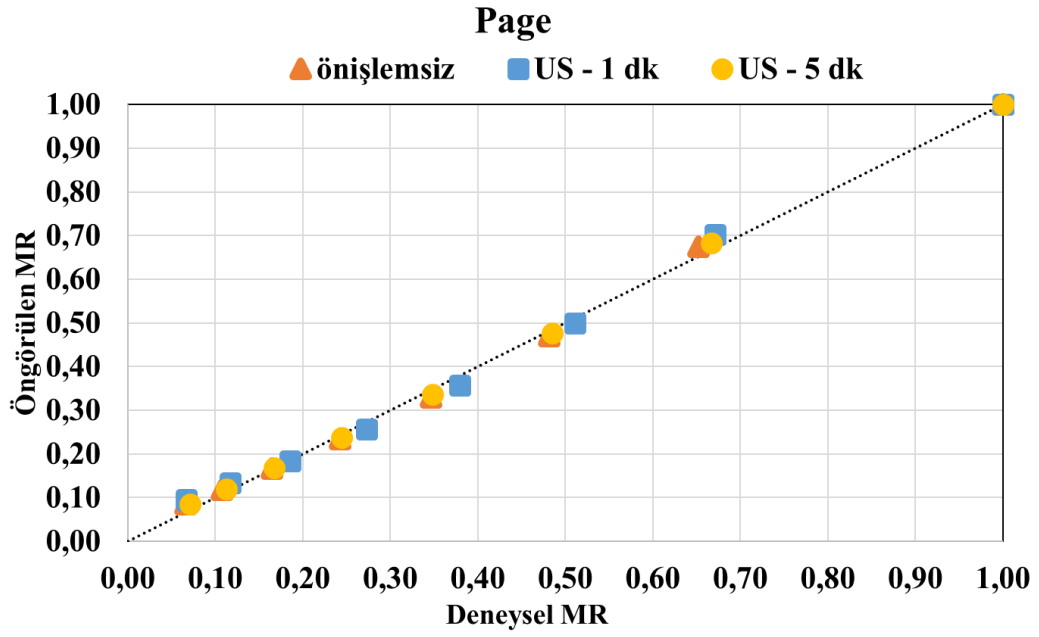
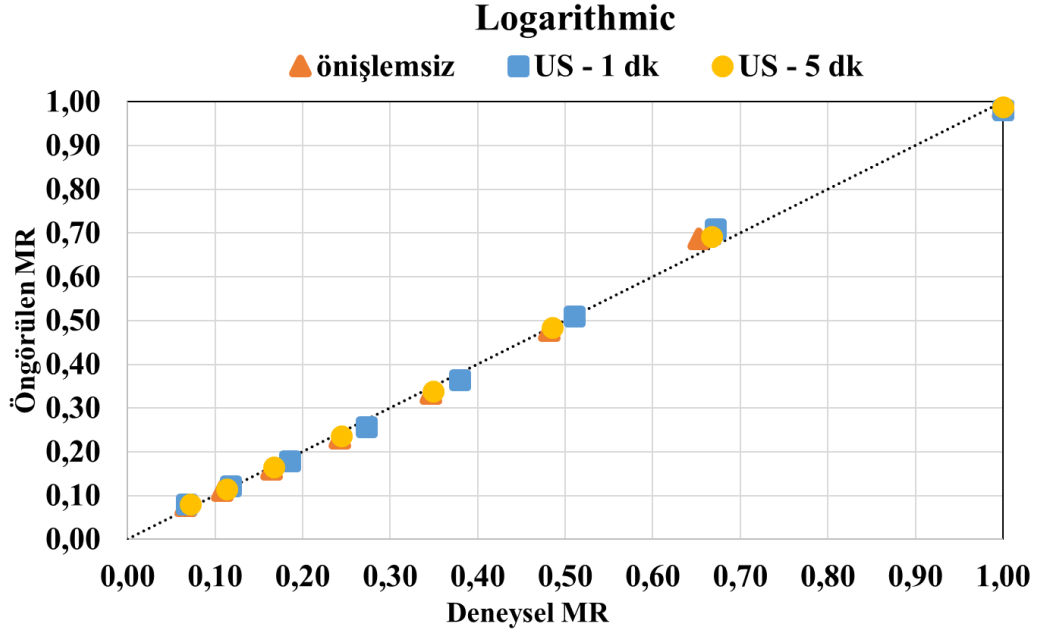
A

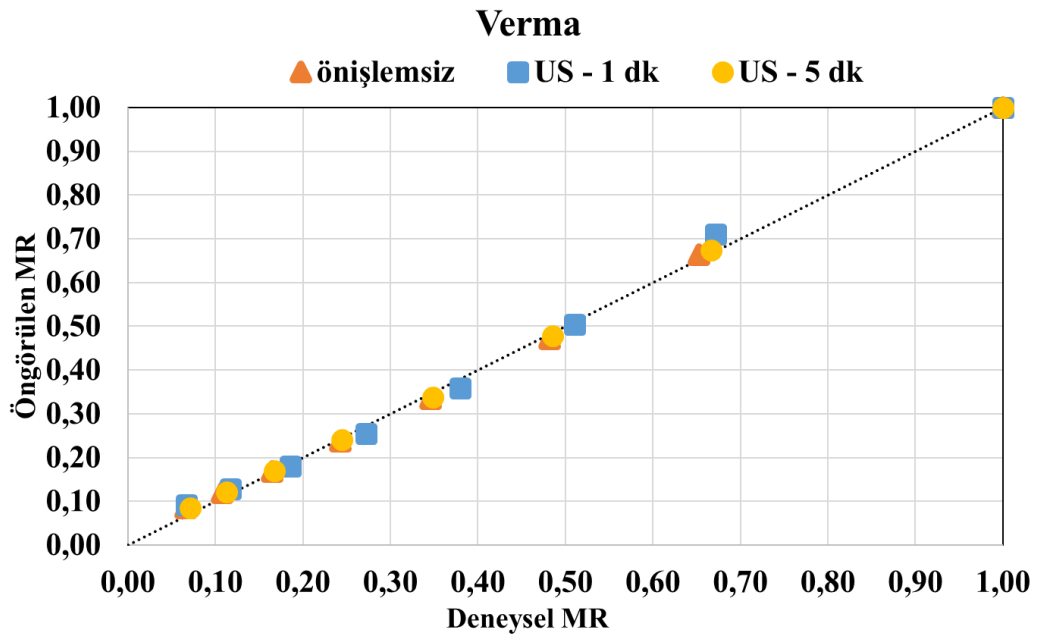
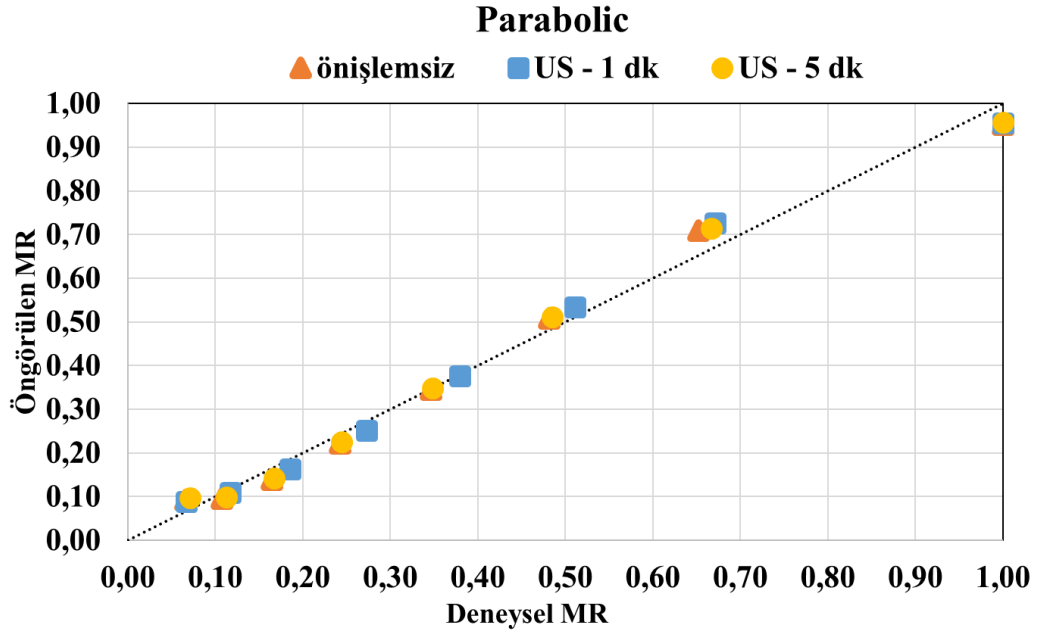
MODEL GRAFİKLERİ: ÖN İŞLEMSİZ, US1 VE US

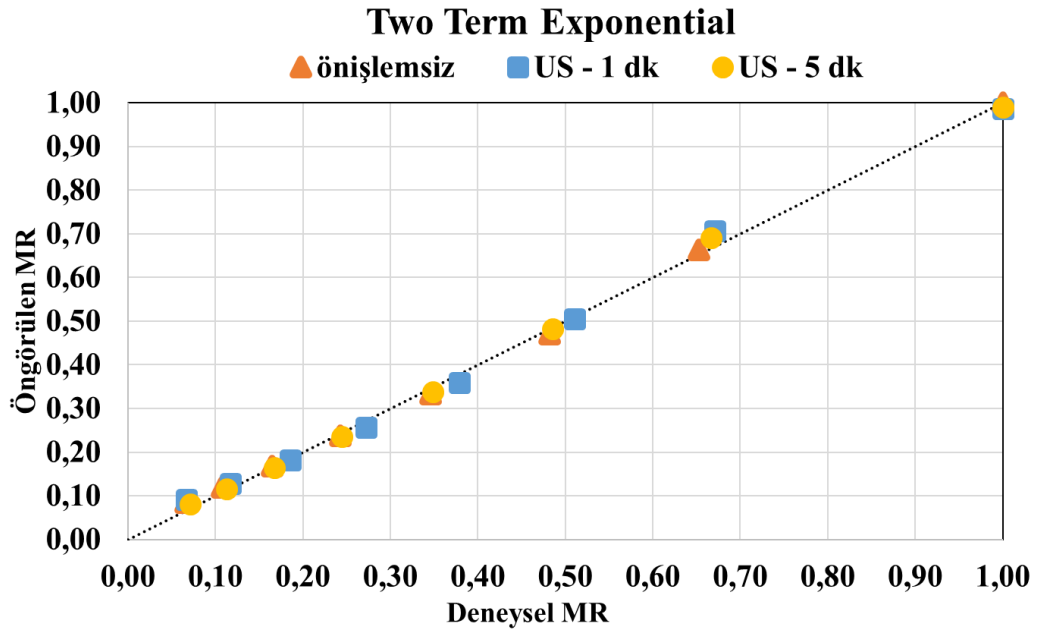
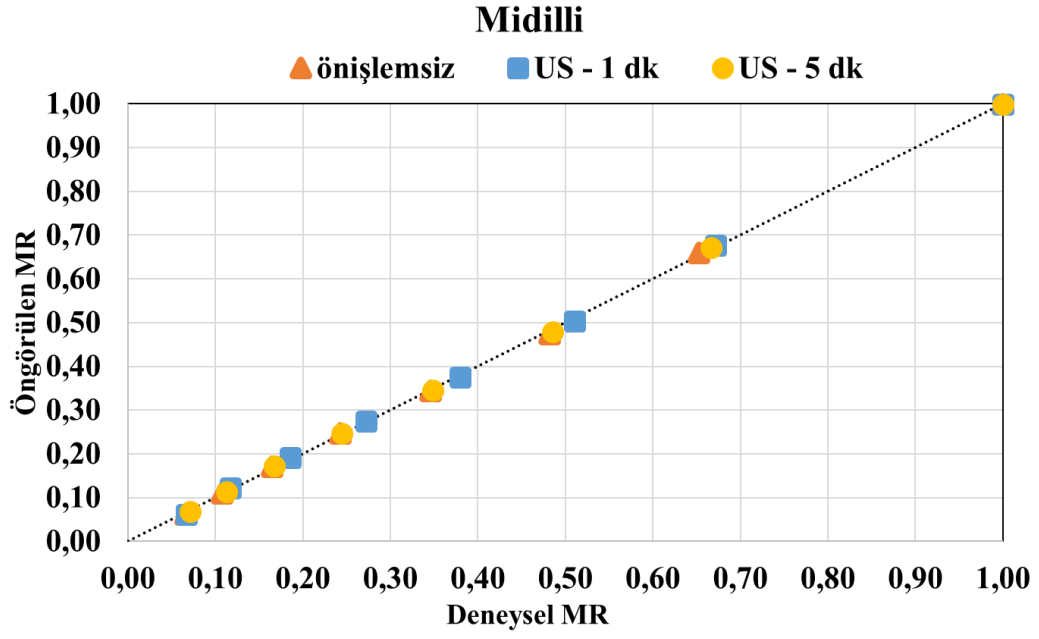


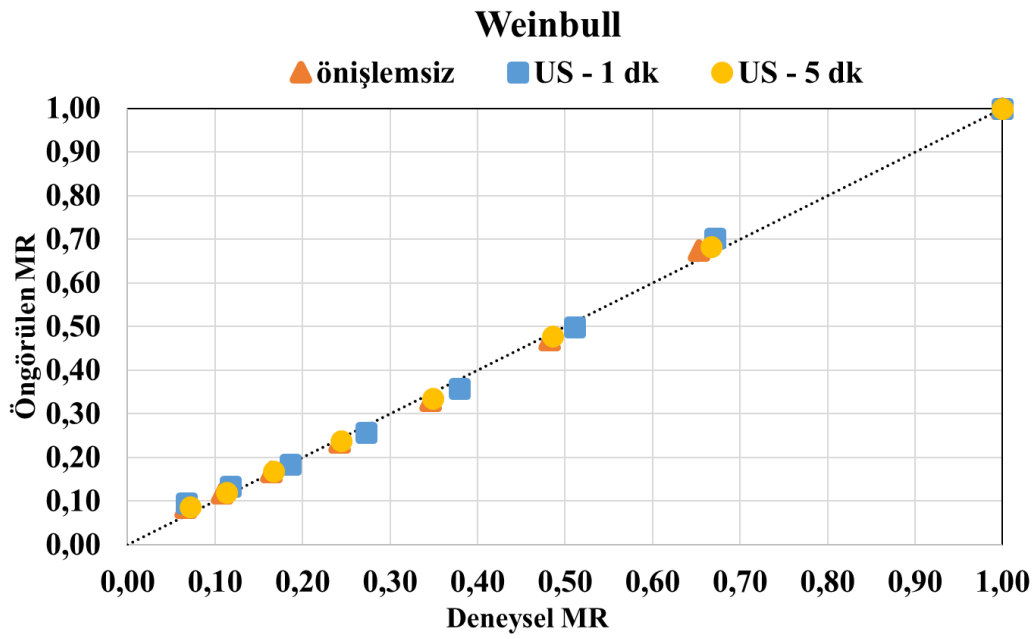
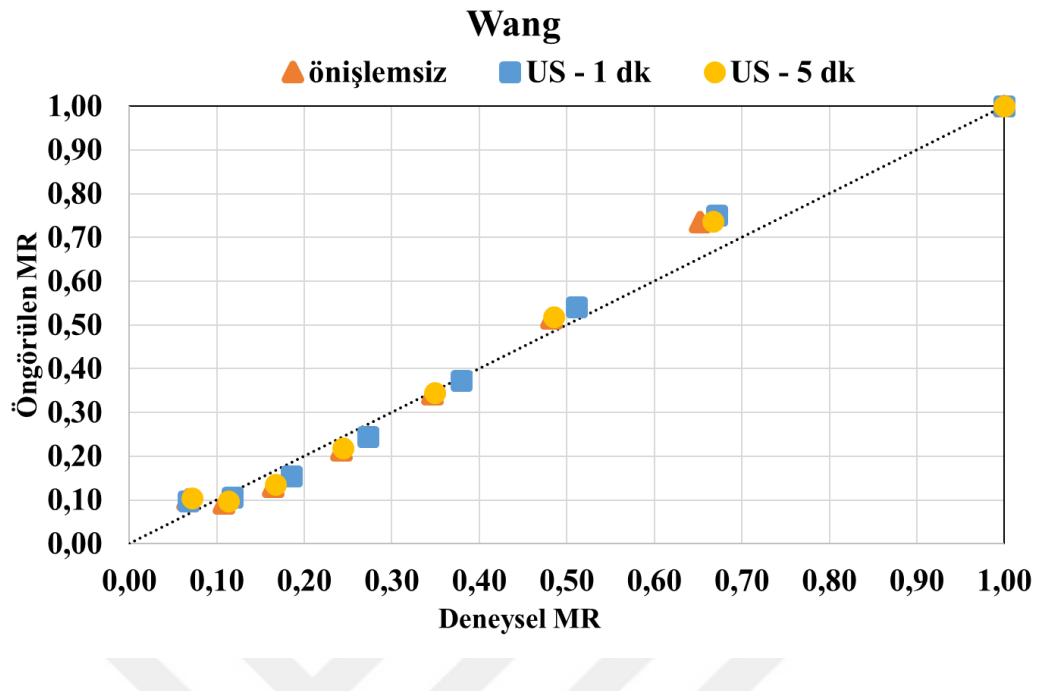






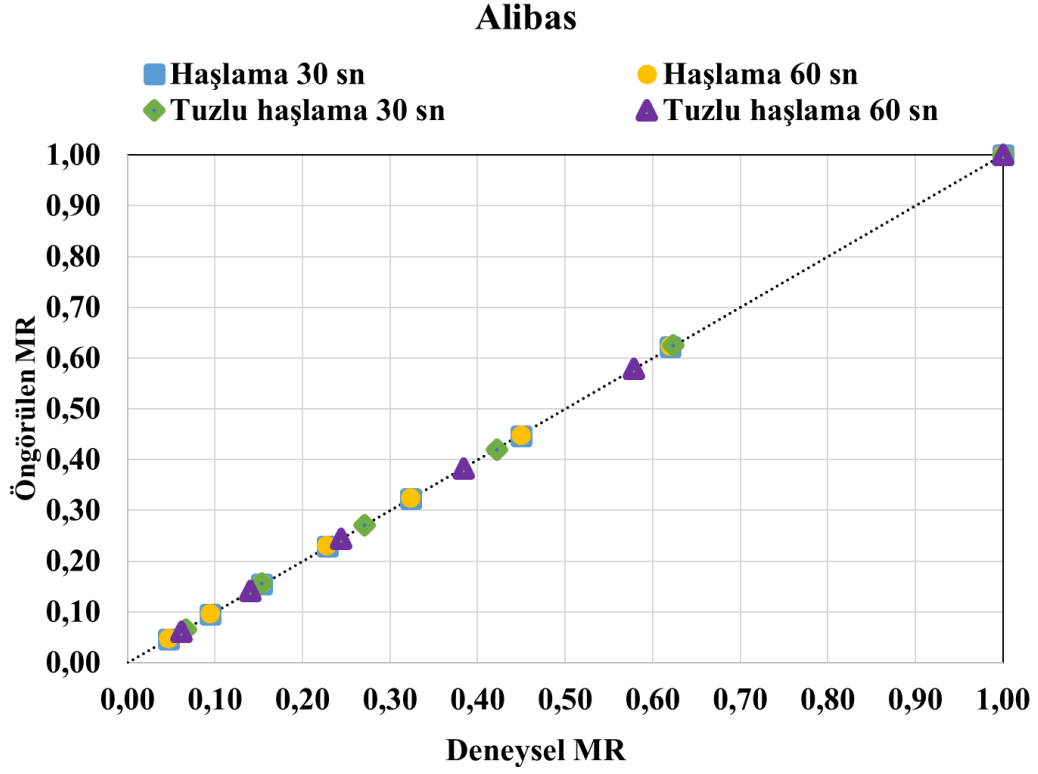




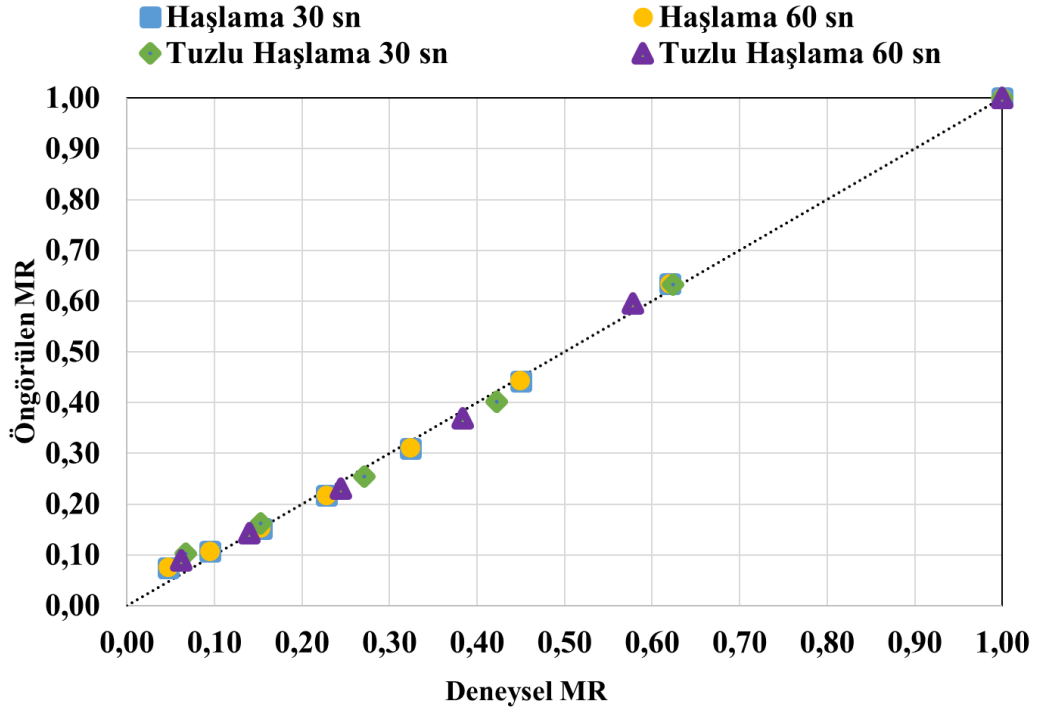


B

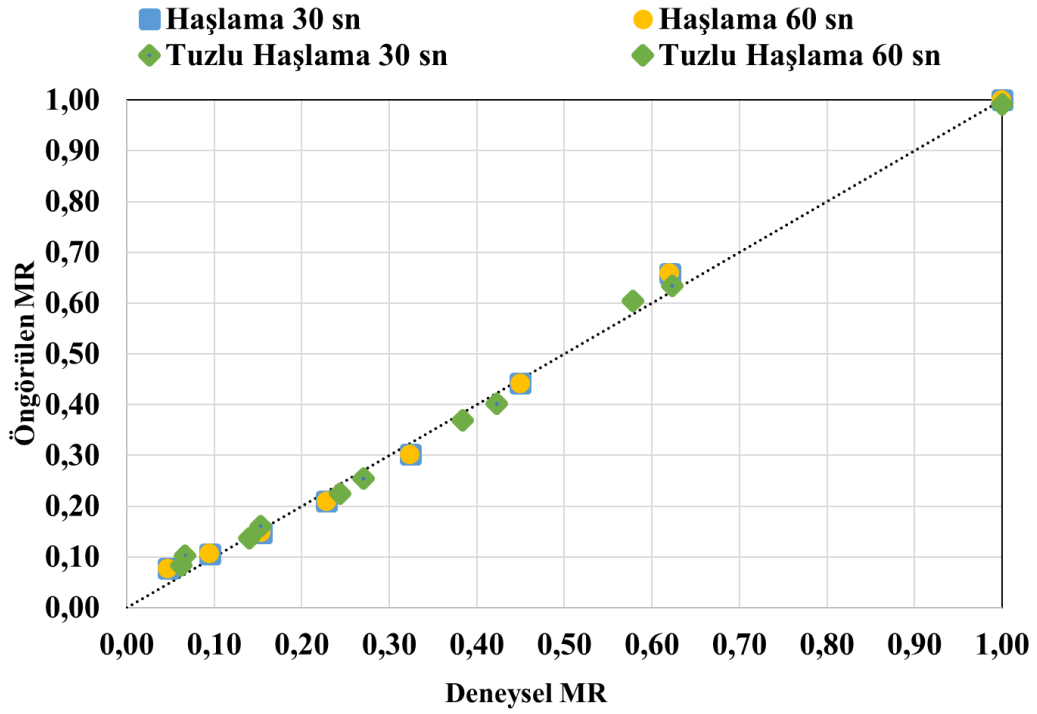
MODEL GRAFİKLERİ: HAŞLAMA ÖN İŞLEMLİLER



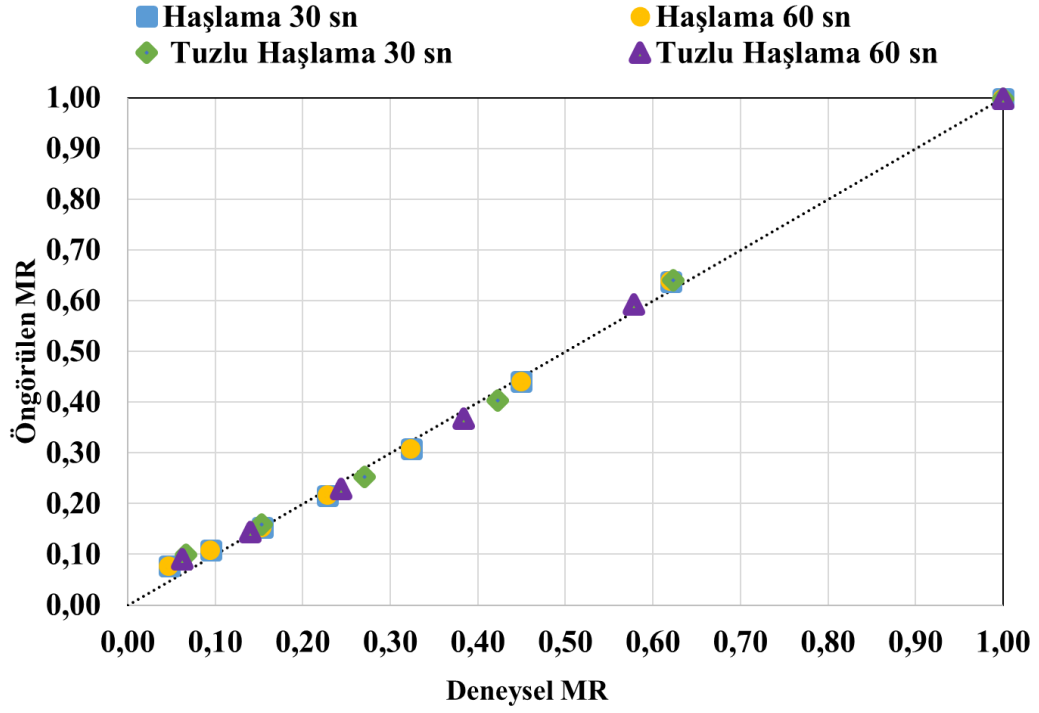
Two-Term



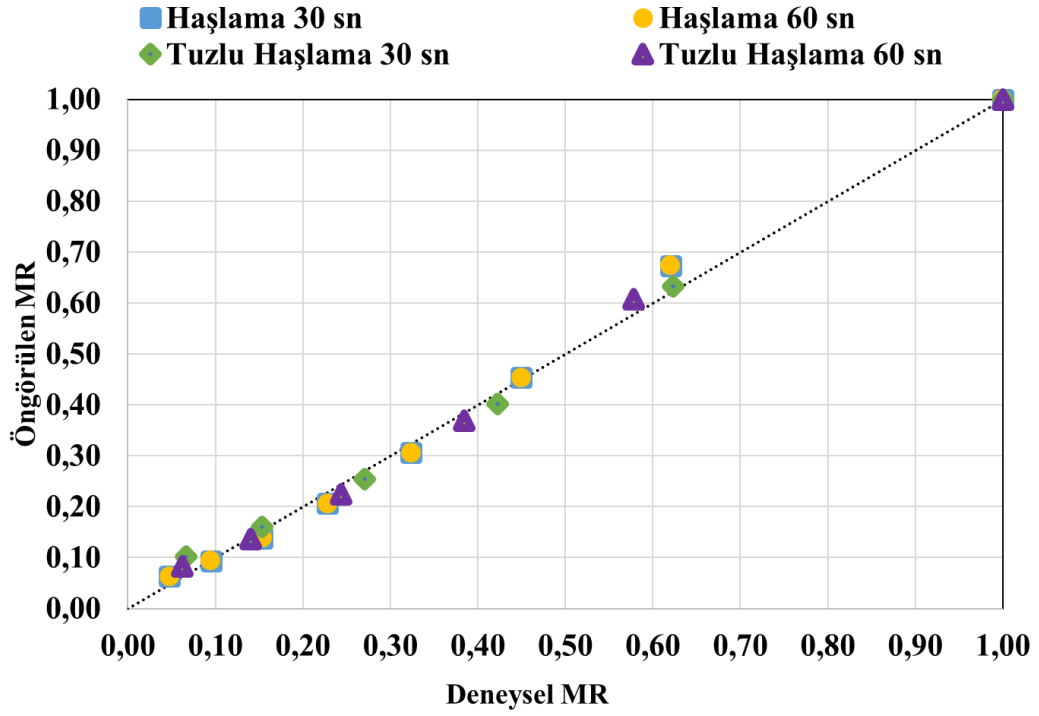
Hendersen



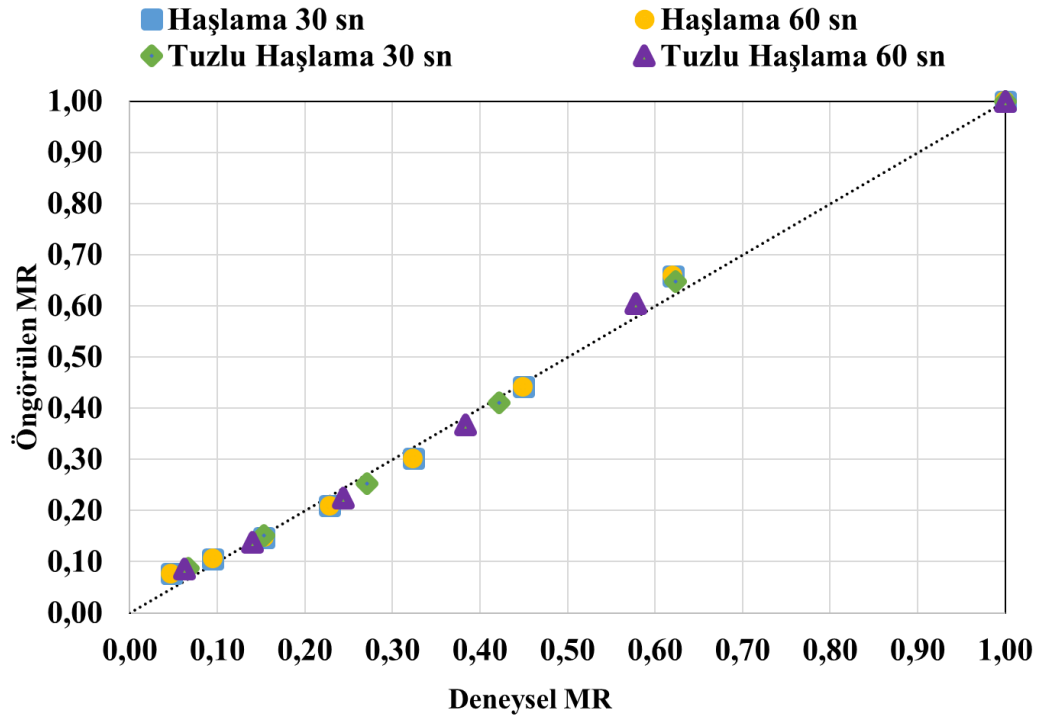
Jena



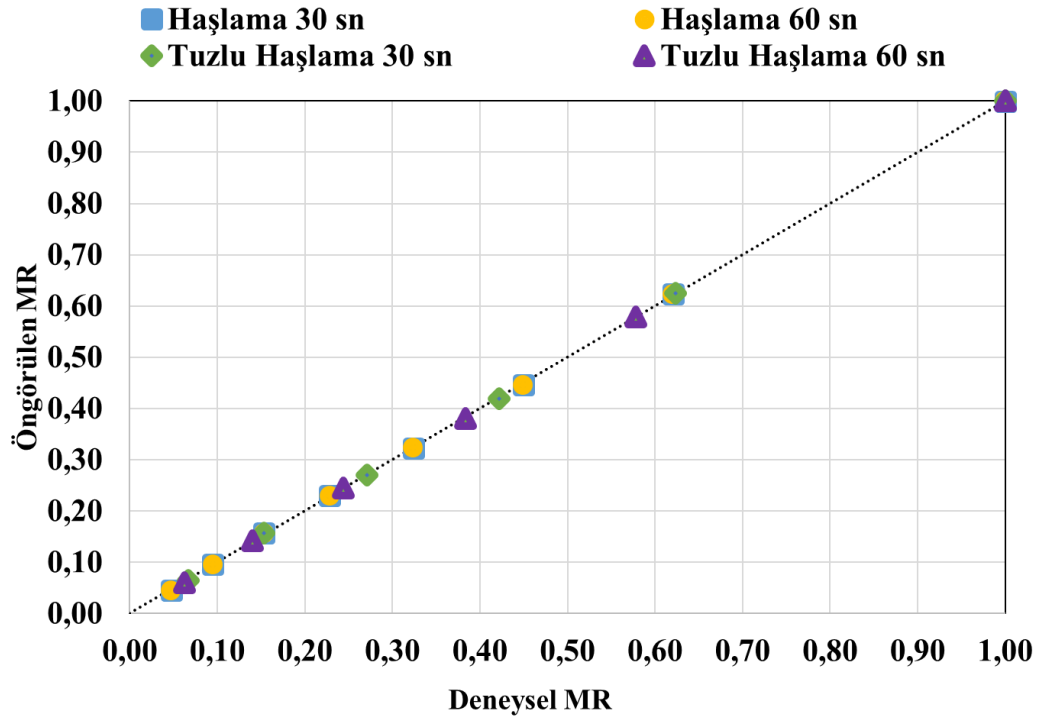
Lewis



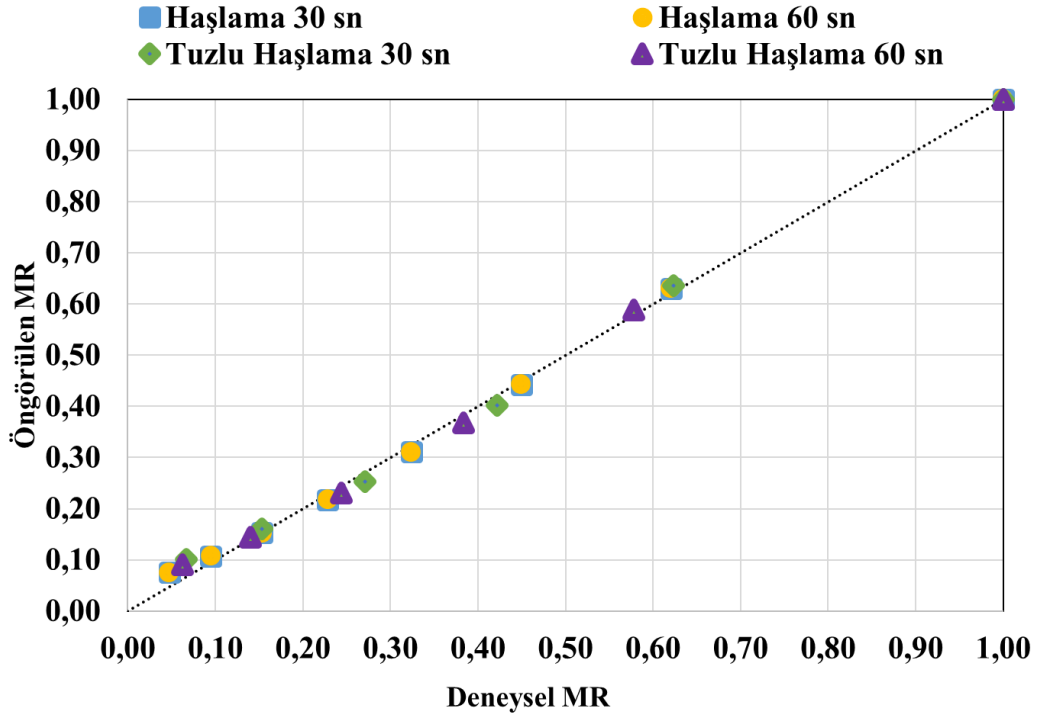
Aghbashlo



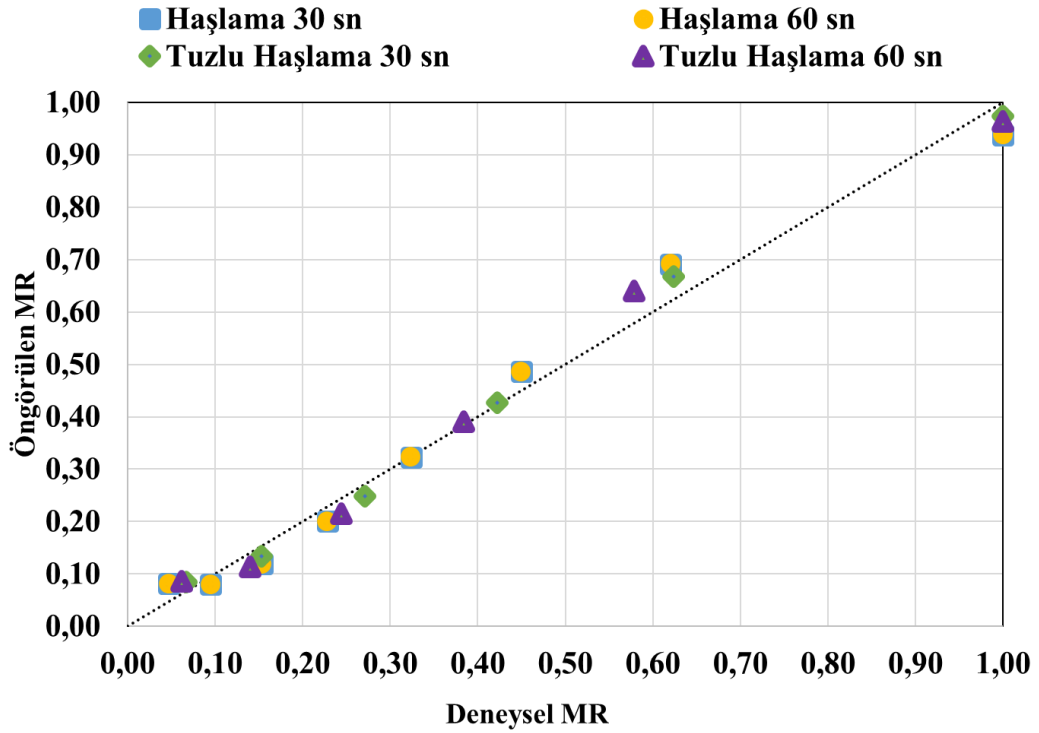
Midilli



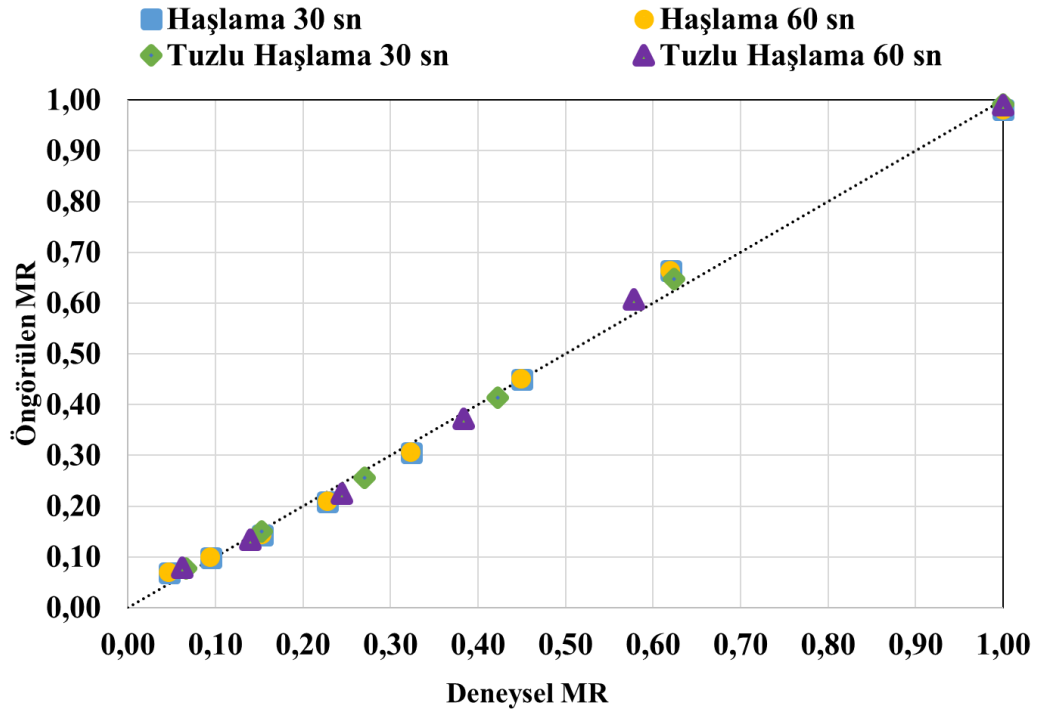
Verma



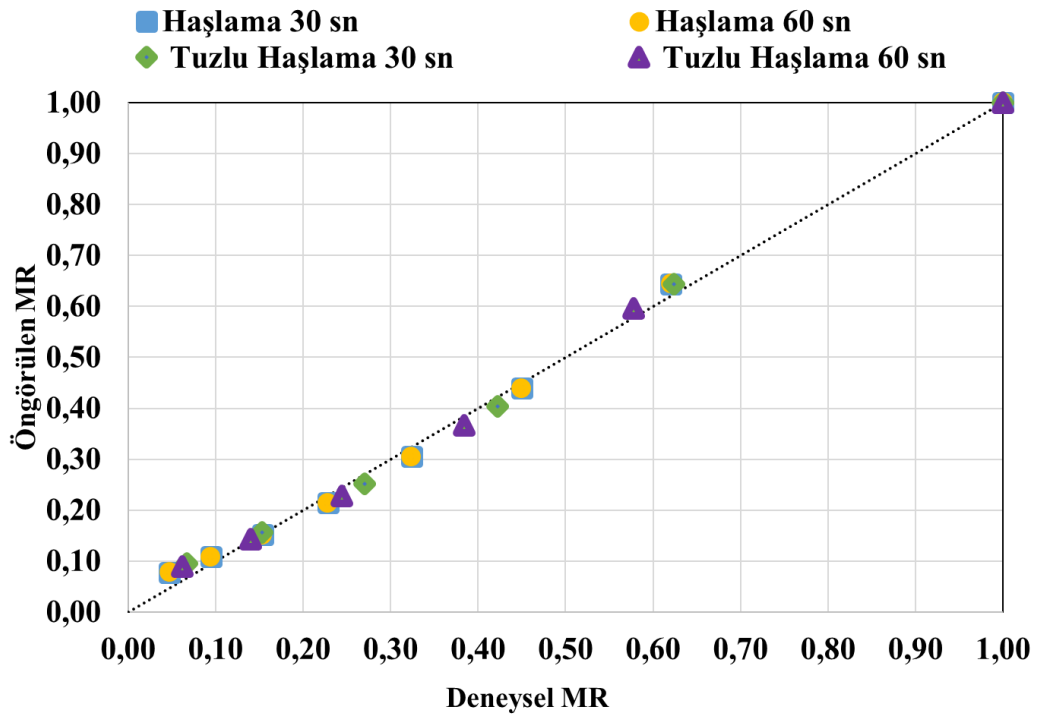
Parabolic



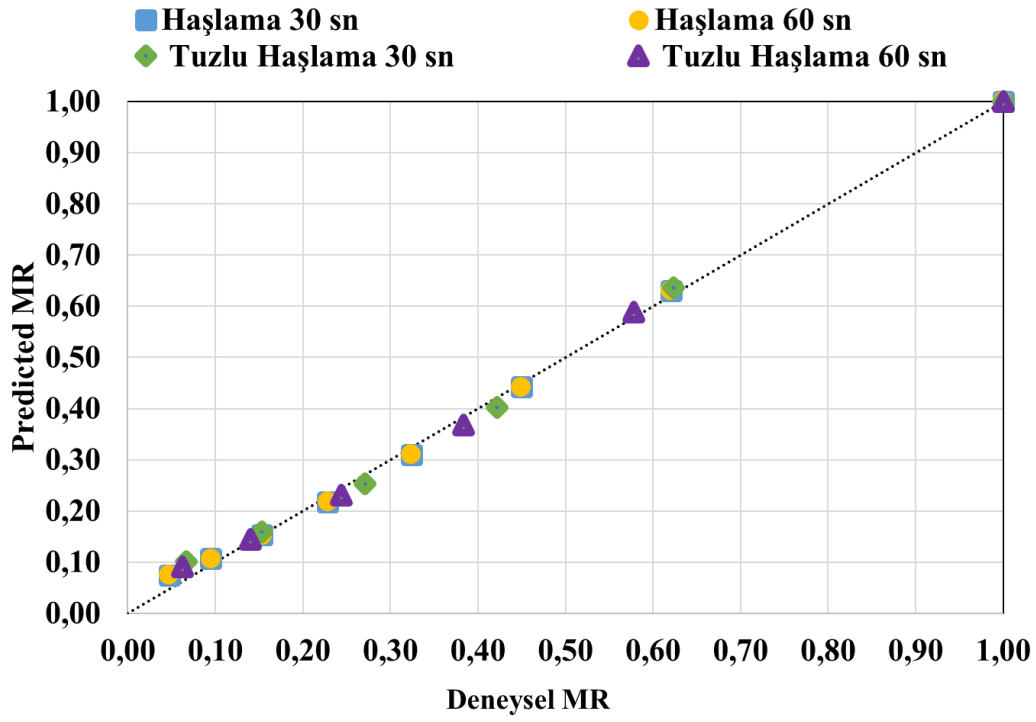
Logarithmic



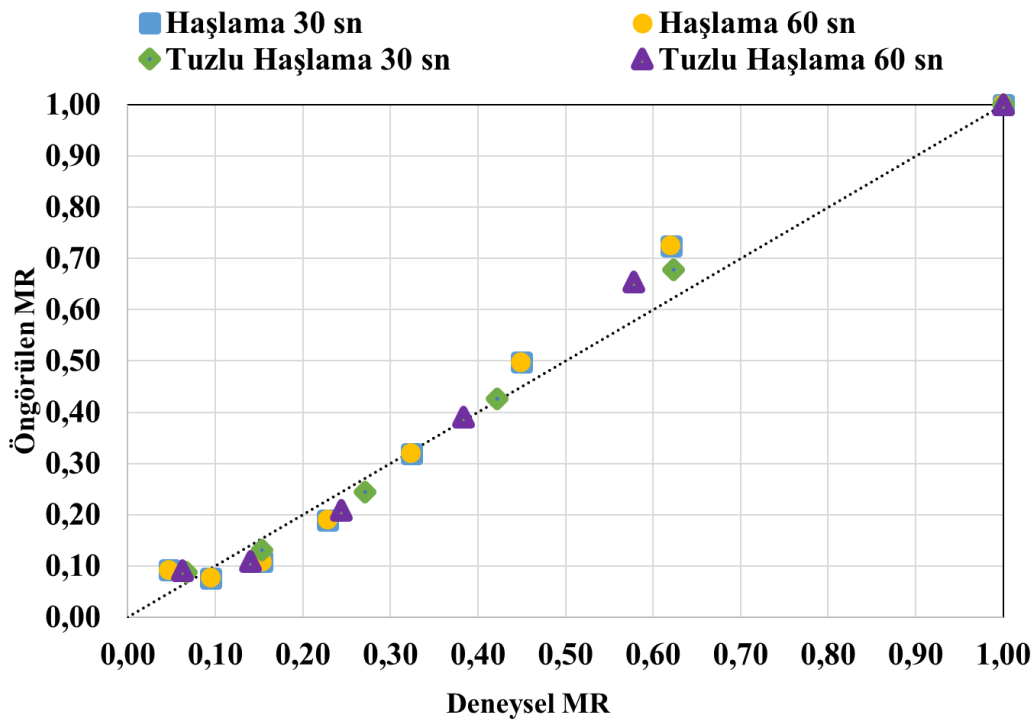
Weinbull



Two Term Exponential

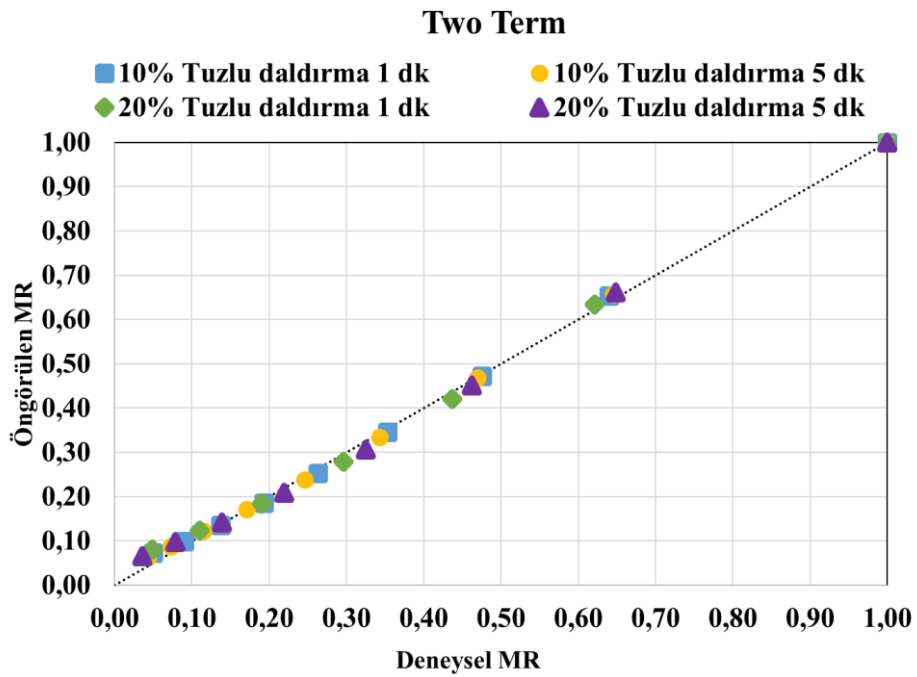
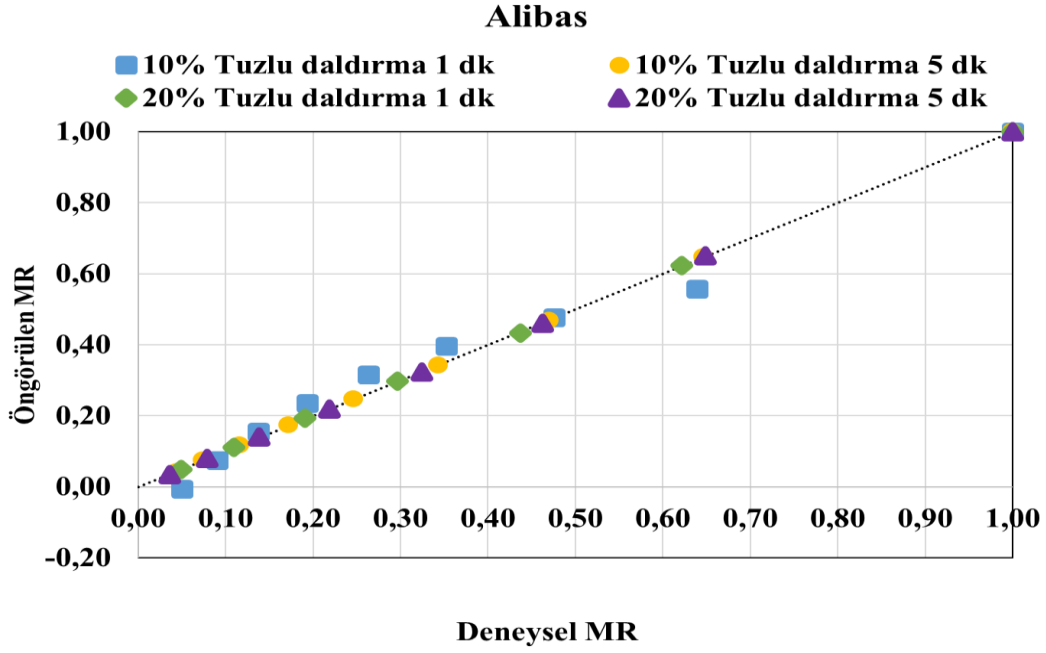


Wang

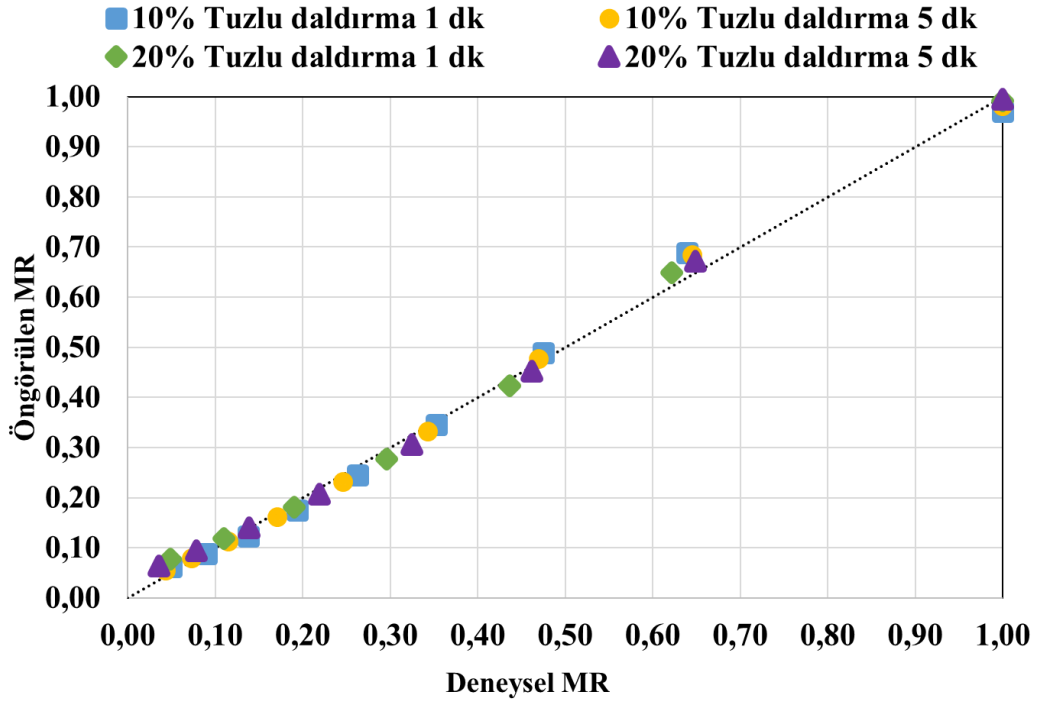


C

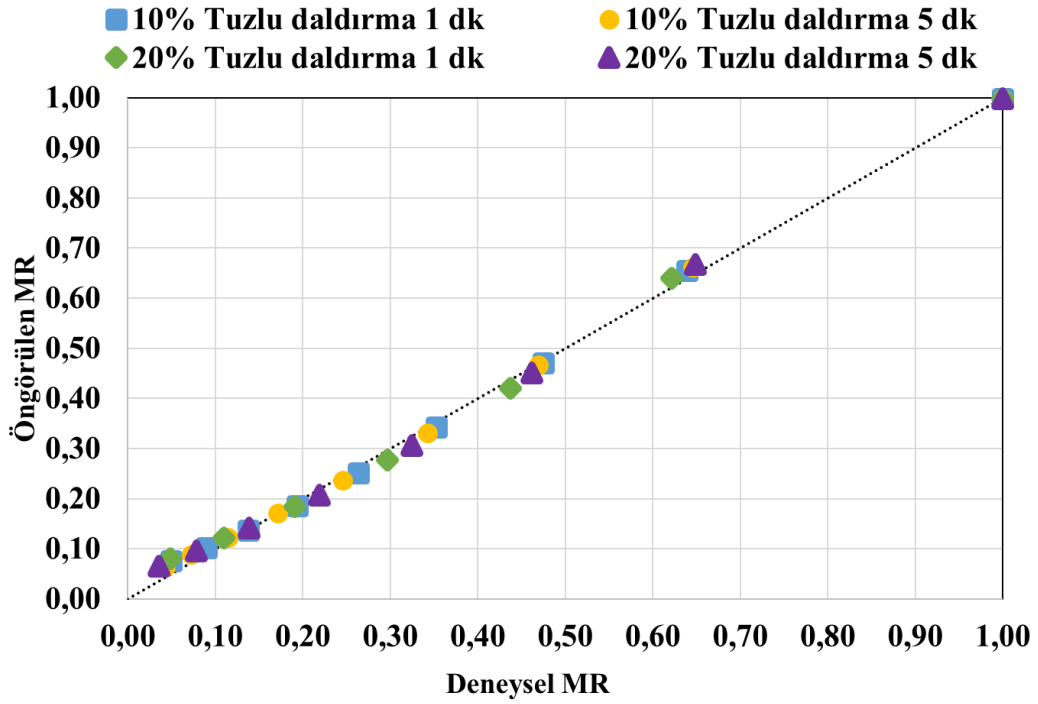
MODEL GRAFİKLERİ: TUZLU DALDIRMA ÖN İŞLEMLİLER



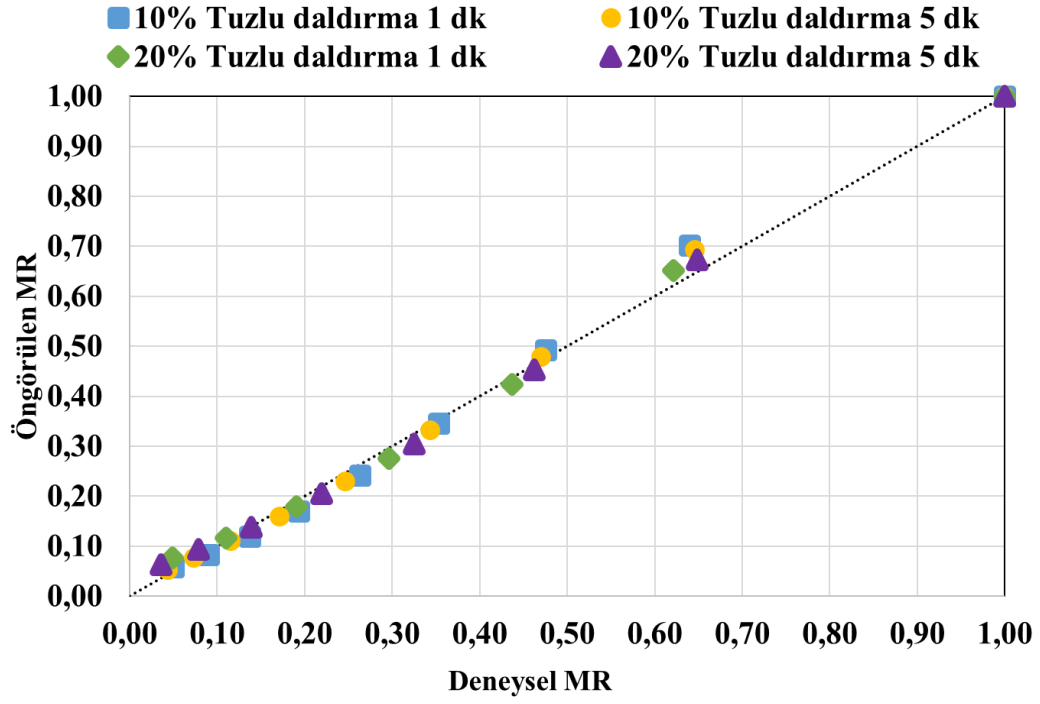
Hendersen



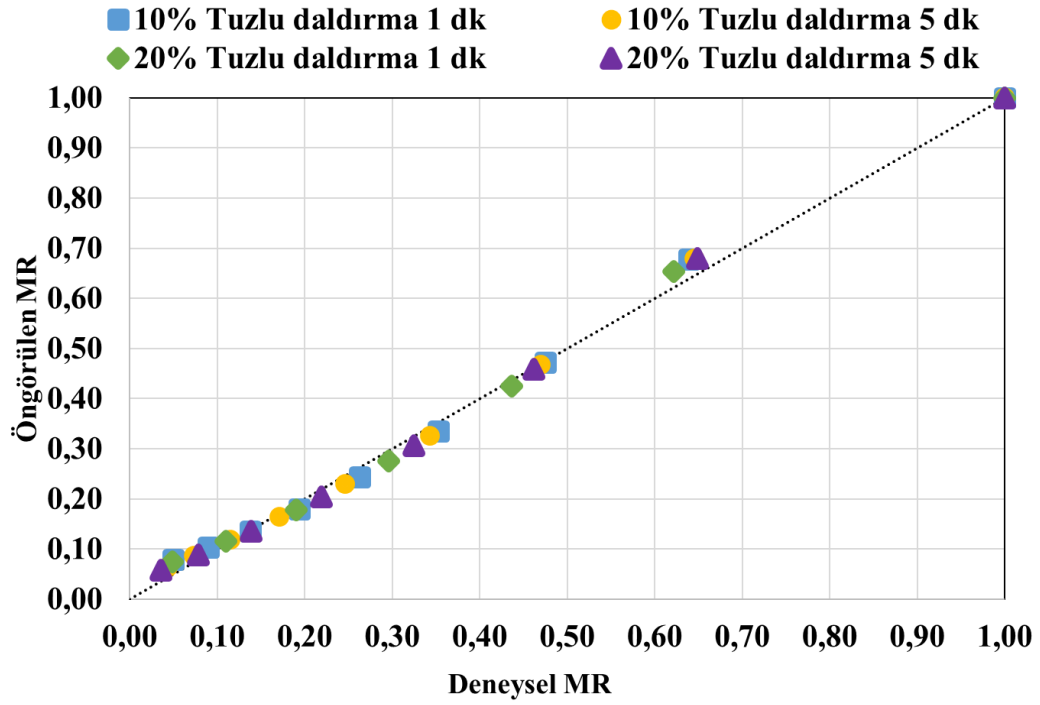
Jena



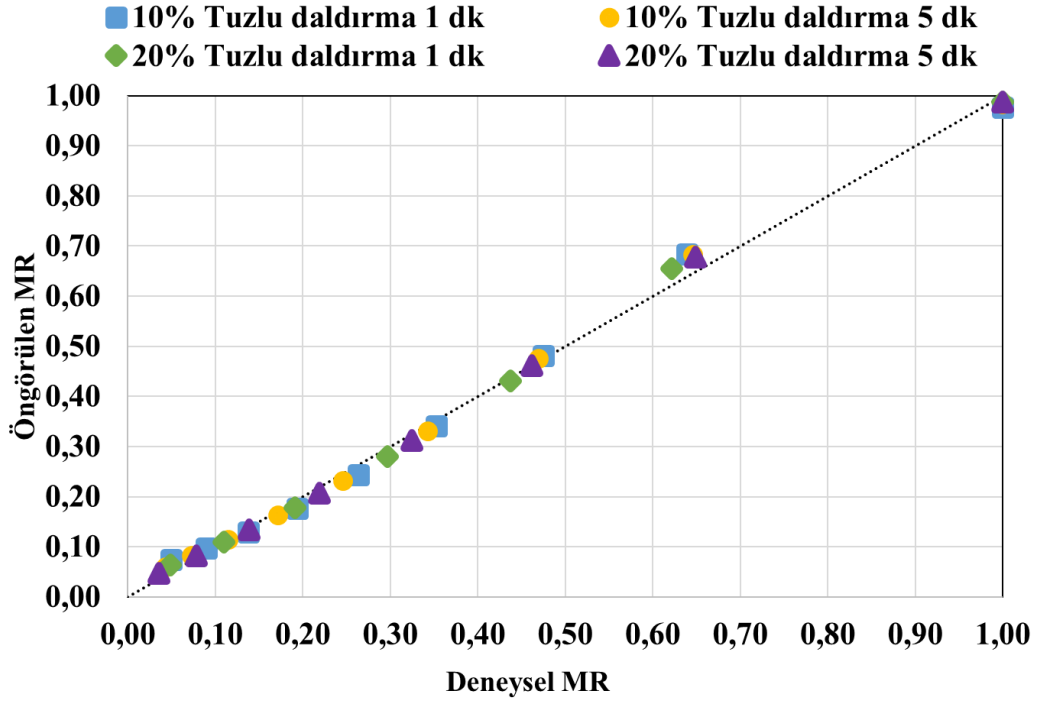
Lewis



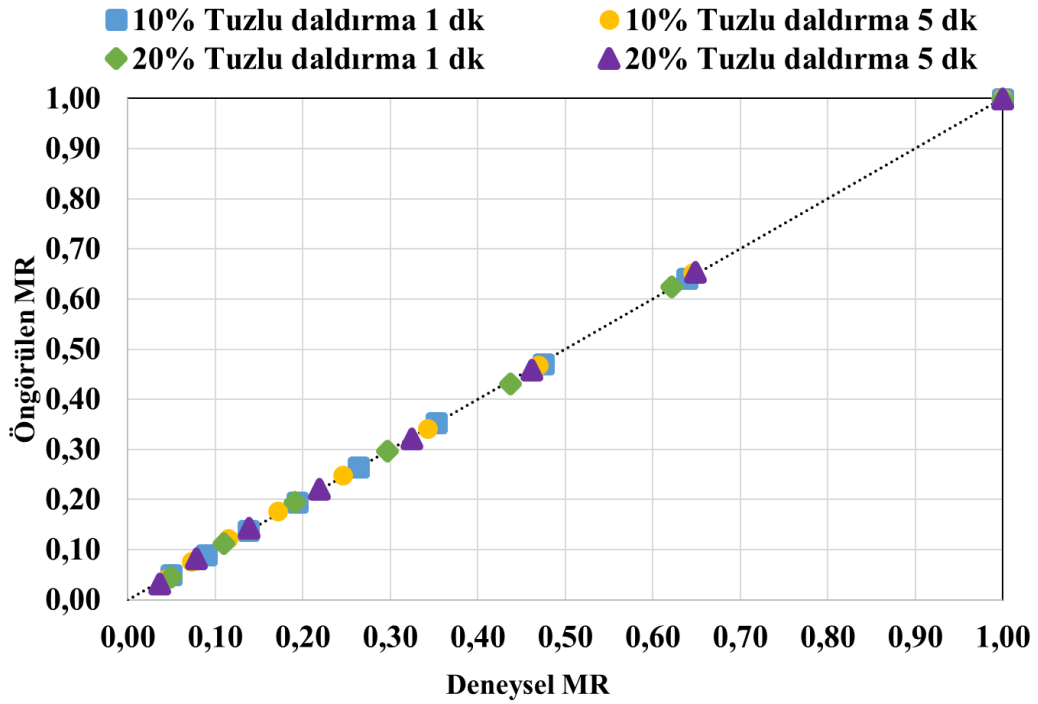
Aghbashlo



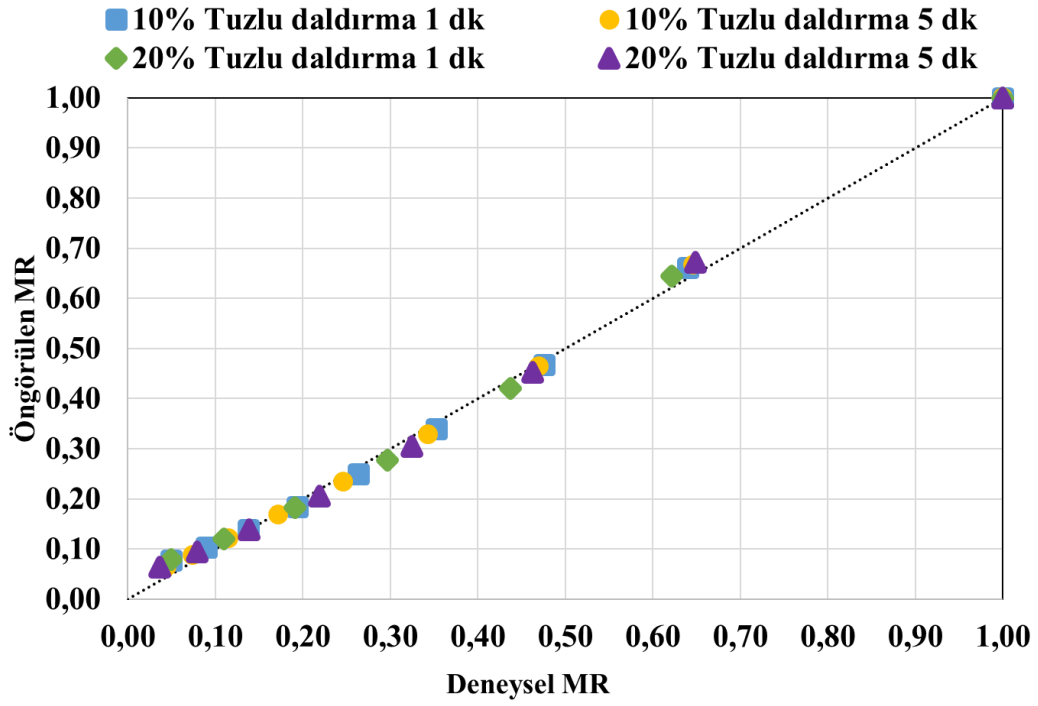
Logarithmic



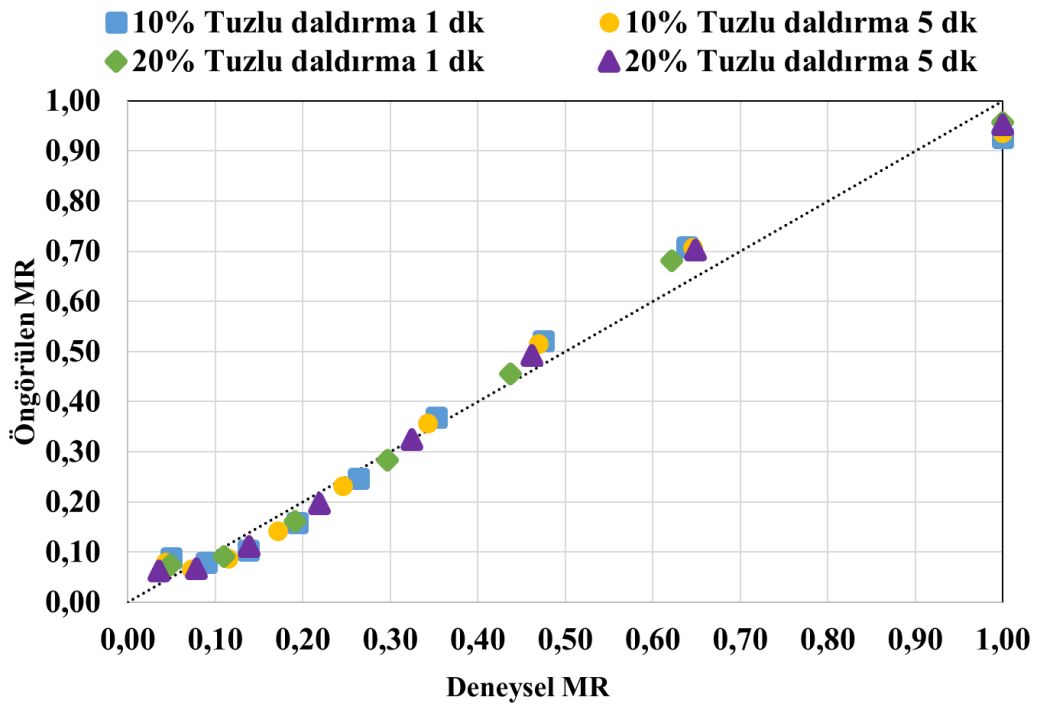
Midilli



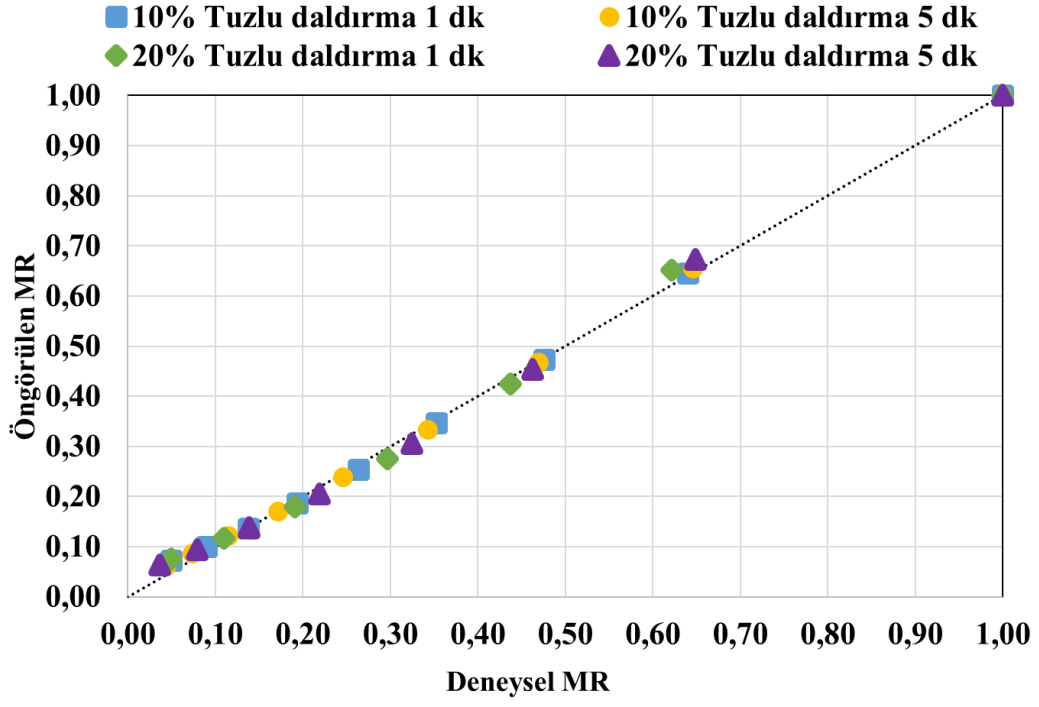
Page



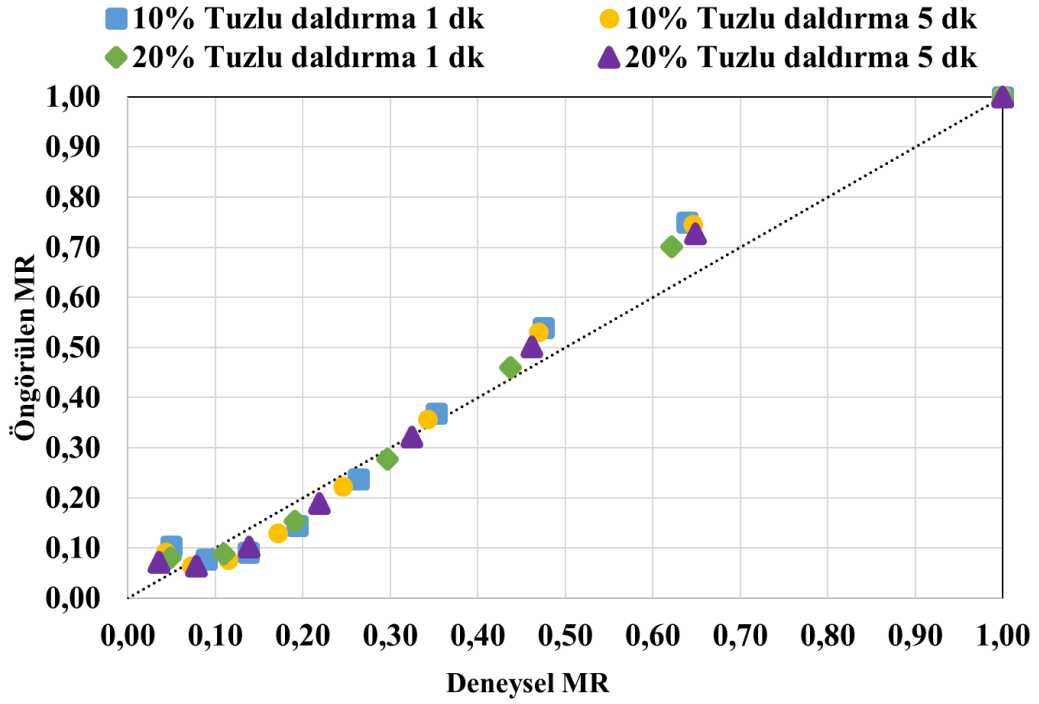
Parabolic



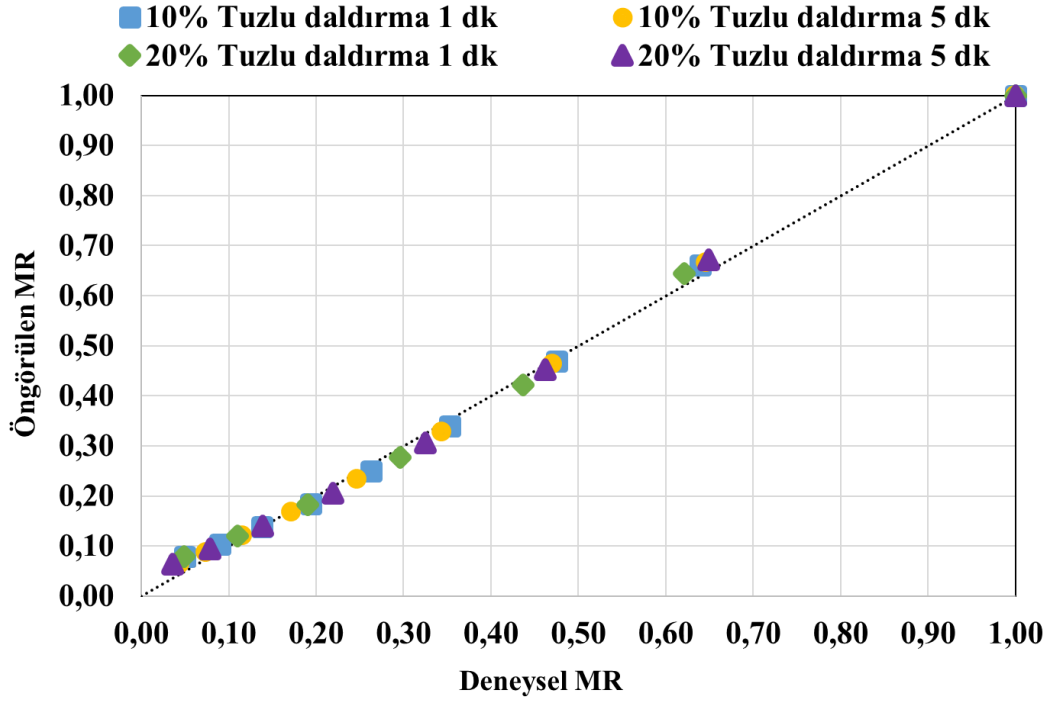
Verma



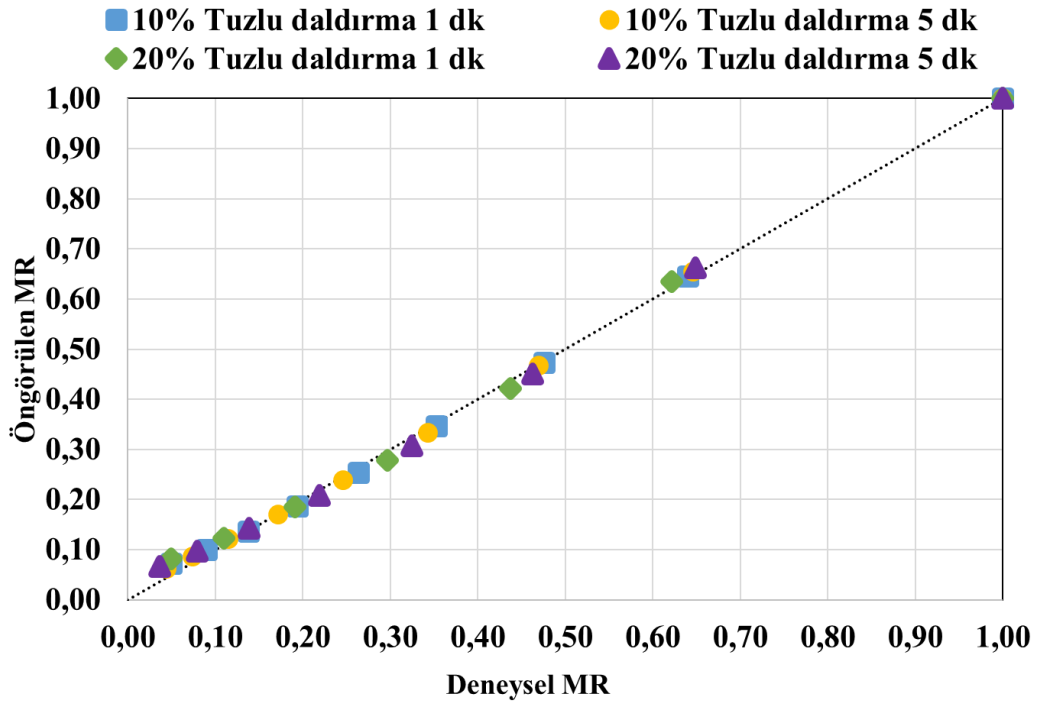
Wang



Weinbull



Two Term Exponential



TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Alp, N., Özyalçın Z. Ö., Kıpçak A. S., "Drying of Blue Mussels by Freeze Drying Technique and Investigating the Effect of Ultrasonic Pretreatment " 6st Internatioanl Eurasian Conference on Biological and Chemical Sciences (EurasianBioChem), October 2023, Ankara/Türkiye Paper ID:820)

Projeler

1. Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü'nün FYL-2023-5830

