T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAYISI VE ATIKLARININ KURUTMA KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ VE KALİTE PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

SEDA KAYRAN

DOKTORA TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMAN
PROF. DR. İBRAHİM DOYMAZ

İSTANBUL, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAYISI ve ATIKLARININ KURUTMA KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ ve KALİTE PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Seda KAYRAN tarafından hazırlanan tez çalışması 20.05.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı
Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri
Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Sabriye PİŞKİN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ş. İsmail KIRBAŞLAR
İstanbul Üniversitesi -Cerrahpaşa

Prof. Dr. Murat ÖZDEMİR
Gebze Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. A. Seyhun KIPÇAK
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Kayısı, kayısı çekirdeği ve kayısı posası gibi yan ürünleriyle sağlık için önemli biyoaktif bileşikler ve mineralleri içeren, kuru olarak Türkiye dış ticaretinde önemli paya sahip, sert çekirdekli kendine has renk, tat ve aromasıyla Anadolu'da yüzyıllardan beri ticareti yapılan bir meyvedir. Dünya üretiminde önemli bir paya sahip Türkiye gen kaynakları ve üretim alanları bakımından büyük bir potansiyele sahiptir. Ülkenin en önemli kayısı üretim bölgesi Malatya'dır. Üretilen birçok kayısı çeşidi arasında kurutmaya en elverişli türlerden Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi Malatya bölgesinde üretilen kayısıların büyük bölümünü oluşturmaktadır.
Üç bölümden oluşan çalışmanın ilk aşamasında, Malatya bölgesinde yetişen iki farklı kayısı türünün karakteristiklerinin belirlenmesi ve kuru kayısı üretiminde farklı ön işlemlerin etkisinin incelenmesi amacıyla sitrik asit çözeltisi ve sodyum metabisülfit çözeltileri ile muamele edilmesinin ardından kabin kurutucu, kızılötesi (infrared) kurutucu ve kombine kurutma sırasında meydana gelen kuruma karakteristiklerinin belirlenmesi, kullanılan yöntemlerin, kurutulmuş renk kalitesi ve kuruma süresi açısından karşılaştırılması, modellenmesi ve en uygun modelin seçilmesini kapsar. Çalışmanın ikinci aşamasında birçok meyve suyu işletmesinde değerlendirilmeden atılan kayısı posasının değerlendirilmesi amacıyla kimyasal kompozisyonun belirlenmesinden sonra infrared ve kabin kurutucular kullanılarak kurutma denemeleriyle posanın kurutma karakteristiklerinin belirlenmesi ve matematiksel modellenmesini içerir. Üçüncü aşamada ise kurutulan Çataloğlu ve Hacıhaliloğlu kayısı çekirdeklerinin kimyasal içeriklerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Tez çalışmam sırasında bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösteren değerli danışman hocam Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tez izleme jürisinde yer alan ve çalışmalarıma değerleri katkılarını sağlayan Prof. Dr. Sabriye PİŞKİN ve Prof. Dr. İsmail KIRBAŞLAR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca manevi desteklerini her zaman hissettiğim sevgili aileme, sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında manevi desteklerini benden esirgemeyen arkadaşlarım Bekir ÇİÇEK, Birgul UYAN, Yasemin BUDAMA KILINÇ ve Yeliz BAŞARAN ELALMIŞ'a teşekkür ederim.

Mayıs, 2019

Seda KAYRAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ ix
KISALTMA LİSTESİ x
ŞEKİL LİSTESİ xi
ÇİZELGE LİSTESİ xiii
ÖZET xv
ABSTRACT xvii
BÖLÜM 1
GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 3
1.3 Hipotez 3

BÖLÜM 2
KURUTMA 5

2.1 Kurutma ve Kurutma Yöntemleri 5
2.1.1 Kontakt Kurutma 7
2.1.2 Konveksiyon Kurutma 7
2.1.3 Mikrodalga Kurutma 8
2.1.4 Kızılötesi (Infrared) Kurutma 8
2.1.5 Kombine Kurutma Yöntemleri 14
2.2 Kurumanın Kinetiği ve Modellenmesi 17
2.3 Efektif Difüzyon Katsayısı ve Aktivasyon Enerjisi 22

BÖLÜM 3
KAYISI VE KAYISI ATIKLARI 26

3.1 Kayısı 26
3.1.1 Kayısının Besin Değeri 28

3.1.2 Kayısıların Kurutulmasında Uygulanan Önişlemler 31
3.1.3 Kayısıların Kurutulması 40
3.1.4 Renk 44
3.1.5 Rehidrasyon 47
3.2 Kayısı Posası 48
3.3 Kayısı Çekirdek Atıkları 53

BÖLÜM 4

MATERYAL VE YÖNTEM 57

4.1 Materyal 57
4.1.1 Kayısı ve Kayısı Posası 57
4.1.2 Kullanılan Cihazlar 58
4.1.2.1 Kabin Kurutucu 58
4.1.2.2 Hava Hızı Ölçüm Cihazı 59
4.1.2.3 İnfrared Kurutucu 60
4.1.2.4 Etüv 60
4.1.2.5 Terazi 61
4.1.2.6 Paketleme Aleti 62
4.1.2.7 Renk Ölçüm Cihazı 62
4.1.2.8 Yağ Tayin Cihazı 63
4.1.2.9 Protein Tayin Cihazı 63
4.1.2.10 Kül Fırını 64
4.1.2.11 pH Metre 65
4.1.2.12 Refrektometre 65
4.1.2.13 Gaz Kromotografisi 66
4.2 Yöntemler 66
4.2.1 Fiziksel ve Kimyasal Analizler 66
4.2.1.1 Nem Tayini 66
4.2.1.2 Çözünür Katı Madde Miktarı Tayini 67
4.2.1.3 pH Tayini 67
4.2.1.4 Titrasyon Asitliği 67
4.2.1.5 Kül Tayini 68
4.2.1.6 HCl'de Çözünmeyen Kül 68
4.2.1.7 Yağ Tayini 68
4.2.1.8 Ham Selüloz Tayini 69
4.2.1.9 Protein Tayini 70
4.2.1.10 Yağ Asitleri Kompozisyonu 70
4.2.1.11 Mineral Analizleri 70
4.2.2 Renk Ölçümleri 71
4.2.3 Rehidrasyon 71
4.2.4 Kurutma Öncesi Uygulanan Önişlemler 72
4.2.5 Kurutma İşleminin Matematiksel Modellenmesi 75
4.2.6 Regresyon Analizi 76
4.2.7 Efektif Difüzyon Katsayısının Belirlenmesi 77
4.2.8 Aktivasyon Enerji Hesaplanması 78

BÖLÜM 5

DENEYSEL BULGULARIN İRDELENMESİ 79

5.1 Kayısıların Fiziksel ve Kimyasal Analiz Sonuçları 79
5.1.1 Fiziksel Analiz Sonuçları 79
5.1.2 Kimyasal Analiz Sonuçları 80
5.2 Hacıhaliloğlu Kayısı Kurutma Karakteristiklerinin Belirlenmesi 81
5.2.1 Hacıhaliloğlu Kayısıların Kabin Kurutucuda Kurutma Sonuçları 81
5.2.2 Hacıhaliloğlu Kayısıların Infrared Kurutucuda Kuruma Sonuçları .. 88
5.2.3 Hacıhaliloğlu Kayısıların Kombine Kurutucu Kuruma Sonuçları 91
5.2.4 Hacıhaliloğlu Kayısı Modelleme Sonuçları 93
5.2.4.1 Kabin Kurutucu ile Kurutulanlar 93
5.2.4.2 İnfrared Kurutucu ile Kurutulanlar 98
5.2.5 Hacıhaliloğlu Kayısıları Efektif Difüzyon Katsayılarının Hesaplanması 101
5.2.6 Aktivasyon Enerjilerinin Hesaplanması 104
5.2.7 Kayısıların Renk Ölçüm Sonuçları 105
5.2.7.1 Kabin Kurutucudaki Sonuçlar 105
5.2.7.2 İnfrared Kurutucudaki Sonuçlar 108
5.3 Çataloğlu Kayısı Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi 109
5.3.1 Çataloğlu Kayısıların Kabin Kurutucuda Kuruma Sonuçları 109
5.3.2 Çataloğlu Kayısıların Infrared Kurutucuda Kuruma Sonuçları 117
5.3.3 Çataloğlu Kayısıların Kombine Kurutucuda Kuruma Sonuçları 118
5.3.4 Çataloğlu Kayısı Çeşidi için Modelleme Sonuçları 121
5.3.4.1 Kabin Kurutucu ile Kurutulanlar 121
5.3.4.2 İnfrared Kurutucu ile Kurutulanlar 125
5.3.5 Çataloğlu Kayısıların Efektif Difüzyon Katsayılarının Hesaplanması 128
5.3.6 Aktivasyon Enerjilerinin Hesaplanması 131
5.3.7 Kayısıların Renk Ölçüm Sonuçları 131
5.3.7.1 Kabin Kurutucudaki Renk Ölçüm Sonuçları 131
5.3.7.2 İnfrared, kabin ve kombine kurutmadaki renk ölçüm sonuçları 134
5.4 Kayısı Posası Kimyasal Analiz Sonuçları 141
5.5 Kayısı Posasının Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi 143
5.5.1 Kayısı Posasının Kabin Kurutucuda Kurutulması 143
5.5.2 Kayısı Posasının İnfrared Kurutucuda Kurutulması 145
5.5.3 Kayısı Posası için Modelleme Sonuçları 148
5.5.4 Kayısı Posasının Efektif Difüzyon Katsayılarının Hesaplanması ... 154
5.5.5 Aktivasyon Enerjilerinin Hesaplanması 155
5.5.6 Posanın Renk Ölçüm Sonuçları 156
5.6 Kayısı Çekirdeklerinin Kimyasal Analiz Sonuçları 158

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER 162

6.1 Kayısıların sonuçları 163
6.1.1 Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu Kayısıların Karakteristik özellikleri: ... 163
6.1.2 Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu Kayısıların Kurutma sonuçları 163
6.2 Kayısı Posası Sonuçları 165
6.3 Kayısı Çekirdek Sonuçları 166
KAYNAKLAR 167

ÖZGEÇMİŞ 187

SİMGE LİSTESİ

a, b, c	Model katsayıları
D_{eff}	Efektif difüzyon katsayısı (m^2/s)
D_0	Sonsuz sıcaklıkta difüziviteye eşdeğer bir sabit (m^2/s)
E_a	Aktivasyon enerjisi kabin kurutucu (kJ/mol) ve infrared kurucu (kW/kg)
k	Kinetik sabit (1/dak)
L	Dilim kalınlığı (m)
M	Nem içeriği (kg su/kg kuru madde)
M_t	t anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde)
$M_{t+\Delta t}$	t+Δt anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde)
M_e	Denge anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde)
M_0	t=0 anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde)
M_w	Su miktarı (kg)
M_d	Kuru madde miktarı (kg)
MR	Nem oranı (birimsiz)
MR_{exp}	Deneysel nem oranı (birimsiz)
MR_{pre}	Tahmini nem oranı (birimsiz)
n	Page model sabiti (birimsiz)
r	Yarıçap (m)
P	Ortalama relatif yüzde hata
R	Üniversal gaz sabiti (kJ/(mol×K))
R^2	Regresyon katsayısı
RO	Rehidrasyon oranı
RK	Rehidrasyon kapasitesi
RMSE	Hata karelerinin ortalamasının karekökü
t	Kuruma süresi (dak)
T	Kurutma sıcaklığı (°C)
W	Rehidrasyon işleminde ürün ağırlığı (kg)
W_k	Rehidrasyon işleminde kuru madde miktarı (kg)
χ^2	Khi-kare
Δa	Kırmızı renk sapması
Δb	Sarı renk sapması
C	Kroma
ΔE	Toplam renk değişimi
H(h)	Metrik renk tonu açısı sapması
ΔL	Renk parlaklığı sapması

KISALTMA LİSTESİ

ADI	Acceptable daily intake- Kabul edilebilir günlük alım miktarı (İnsan vücut ağırlığının kg'ı başına mg olarak).
AOAC	Kurumsal Analitik Kimyacılar Birliği (Association of Official Analytical Chemists)
CIE	Commission International de I'Eclairage-Uluslararası Aydınlatma Komisyonu
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agriculture Organization)
FDA	Food and Drug Administration - Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi
GRAS	Generally Recognized as Safe (Genel olarak güvenli olarak tanımlamasının bir kısaltılmasıdır).
IU	Bir etken maddenin biyolojik etkinliğinin ölçümü esas alınarak belirlenen, vitaminler, hormonlar, bazı ilaçlar, aşılar ve kan ürünleri ile biyolojik etkin maddeler için kullanılan, Dünya Sağlık Örgütü tarafından belirlenmiş ve etken madde miktarını tanımlamak için kullanılan ölçü birimi.
JECFA	Gıda katkı maddeleriuzman komitesi. FAO ve WHO tarafından ortaklaşa yürütülen uluslararası bir uzman bilimsel komitedir.
RDA	Recommended Daily Allowance -Önerilen günlük alım miktarı
TSE	Türk Standartı Enstitüsü
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Kabin kurutucu 8
Şekil 2.2 Kızılötesi radyasyonun elektromanyetik spektrumdaki yeri 10
Şekil 2.3 Radyasyon geçişi (absorpsiyon, geçiş ve yansıma) 10
Şekil 2.4 Konveksiyonel ve infrared kurutmanın şematik gösterimi 12
Şekil 2.5 Adsorpsiyon ve desorpsiyon eğrileri 18
Şekil 2.6 Karakteristik kuruma eğrileri 18
Şekil 3.1 Kayısı 26
Şekil 3.2 Sülfitlerin pH dengesi 36
Şekil 4.1 Hacıhaliloğlu kayısı (üst) Çataloğlu kayısı (alt) 57
Şekil 4.2 Kayısı posasının infrared kurutmadan önceki ve sonraki görüntüleri 58
Şekil 4.3 Kabin kurutucu 59
Şekil 4.4 Anemometre 59
Şekil 4.5 İnfrared kurutucu 60
Şekil 4.6 Etüv 61
Şekil 4.7 Kaba terazi (sol) ve hassas terazi (sağ) 61
Şekil 4.8 Kurutulmuş ürünleri ısısal paketlemede cihazı 62
Şekil 4.9 Renk ölçüm cihazı 62
Şekil 4.10 Sokslet sistemi 63
Şekil 4.11 Protein cihazı 64
Şekil 4.12 Kül fırını 64
Şekil 4.13 pH metre 65
Şekil 4.14 Refraktometre 65
Şekil 4.15 GC-FID 66
Şekil 4.16 Rehidrasyondan önce kükürtlü ve rehidrasyon sırasında kurutulmuş kayısı örnekleri 71
Şekil 5.1 Hacıhaliloğlu kayısıların 50°C sıcaklıkta kurumada nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi 83
Şekil 5.2 Hacıhaliloğlu kayısıların 60°C sıcaklıkta kurumada nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi 84
Şekil 5.3 Hacıhaliloğlu kayısıların 70°C sıcaklıkta kurumada nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi 85
Şekil 5.4 Hacıhaliloğlu kayısıların 80°C sıcaklıkta kurumada nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi 86

Şekil 5.5 İkiye bölünmüş Hacıhaliloğlu kayısıların nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi 87
Şekil 5.6 Bütün olarak kurutulan Hacıhaliloğlu kayısıların kuruma hızının kuruma süresi ile değişimi 88
Şekil 5.7 İnfrared kurutucuda Hacıhaliloğlu kayısıların kuruma süresi boyunca nem içeriğindeki değişim 90
Şekil 5.8 İnfrared kurutucuda Hacıhaliloğlu kayısıların kurutma hızının 91
Şekil 5.9 Hacıhaliloğlu kayısıların kombine kurutmada nem içeriği değişimi……92
Şekil 5.10 Deneysel ve Midilli vd. modelinin tahmini nem oranı değerleri..... 97
Şekil 5.11 Deneysel ve Midilli vd. modelinin tahmini nem oranı değerleri..... 100
Şekil 5.12 Farklı sıcaklıklarda kurutulan Hacıhaliloğlu kayısıların D_{eff} değerleri .. 102
Şekil 5.13 Farklı güçlerde kurutulan Hacıhaliloğlu kayısı D_{eff} değerleri .....……...103
Şekil 5.14 Çataloğlu kayısıların 50°C sıcaklıkta kurumada nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi 111
Şekil 5.15 Çataloğlu kayısıların 60°C sıcaklıkta kurumada nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi 112
Şekil 5.16 Çataloğlu kayısıların 70°C sıcaklıkta kurumada nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi 113
Şekil 5.17 Çataloğlu kayısıların 80°C sıcaklıkta kurumada nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi 114
Şekil 5.18 Bütün olarak kurutulan Çataloğlu kayısıların kuruma hızının kuruma süresi ile değişimi 115
Şekil 5.19 İkiye bölünmüş Çataloğlu kayısıların farklı sıcaklıklarda nem değişimi116
Şekil 5.20 İnfrared kurutucuda Çataloğlu kayısıların kuruma süresince..... 117
Şekil 5.21 Çataloğlu infrared kurutucudaki kayısıların nem içeriğindeki değişim . 118
Şekil 5.22 Kombine ve kabin kurutucuda ikiye bölünmüş kayısıların nem içeriği . 119
Şekil 5.23 Deneysel ve Midilli vd. modelinin tahmini nem oranı değerleri..... 125
Şekil 5.24 Deneysel ve Midilli vd. modelin tahmini nem oranları..... 127
Şekil 5.25 Farklı sıcaklıklarda kurutulan Çataloğlu kayısılarının D_{eff} değerleri 129
Şekil 5.26 Çataloğlu kayısı örneklerinin farklı güç seviyelerindeki D_{eff} değerleri.. 130
Şekil 5.27 50°C'de kurutulan kayısıların 25°C'deki rehidrasyon oranları..... 136
Şekil 5.28 60°C'de kurutulan kayısıların 25°C'deki rehidrasyon oranları..... 137
Şekil 5.29 70°C'de kurutulan kayısıların 25°C'deki rehidrasyon oranları..... 138
Şekil 5.30 80°C'de kurutulan kayısıların 25°C'deki rehidrasyon oranları..... 139
Şekil 5.31 Farklı sıcaklıklarda kurutulan kayısıların rehidrasyon kapasitesi değeri 140
Şekil 5.32 Kabin kurutucuda kurutulan kayısı posasına ait nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi 144
Şekil 5.33 Kabin kurutucuda kurutulan kayısı posasına ait kurutma hızının kurutma süresi ile değişimi 145
Şekil 5.34 İnfrared kurutucuda kayısı posasının nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi 146
Şekil 5.35 İnfrared kurutucuda kayısı posasına ait kurutma hızının kurutma süresi ile değişimi 147
Şekil 5.36 Deneysel ve Midilli vd. modelinin tahmini nem oranı değerleri..... 150
Şekil 5.37 Deneysel ve Aghbashlo vd. modelinin tahmini nem oranı değerleri 151
Şekil 5.38 Deneysel ve Midilli vd. modelinin tahmini nem oranı değerleri..... 153
Şekil 5.39 Farklı sıcaklıklarda kurutulan kayısı posası D_{eff} değerleri..... 154
Şekil 5.40 Farklı infrared güç seviyelerinde kurutulan kayısı posası D_{eff} değerleri 155

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Bazı gıdalar ve kimyasal gruplar için İnfrared absorbsiyon bandları 11
Çizelge 2.2 Farklı araştırmacılar tarafından verilen matematiksel modeller 20
Çizelge 3.1 Türkiye'de ve Dünya'da kayısı üretimi 27
Çizelge 3.2 Taze ve kurutulmuş kayısıların 100 g için besin içeriği 29
Çizelge 3.3 Kayısıların farklı ön işlemlerle kurutulması ilgili bazı çalışmalar 34
Çizelge 3.4 GRAS statüsündeki bazı sülfit tuzları 37
Çizelge 3.5 Kayısıların güneşte kurutulması ile ilgili bazı çalışmalar 42
Çizelge 3.6 Kayısıların kombine sistemlerle kurutulması ile ilgili bazı çalışmalar .. 43
Çizelge 3.7 Farklı kayısı türleri için renk değerleri 46
Çizelge 3.8 Türkiye'de ve Dünya'da meyve üretimi 48
Çizelge 4.1 Kayısılara kabin kurutucu öncesi uygulanan önişlemler 73
Çizelge 4.2 İnfrared ve kombine kurutuculardа kurutulan kayısılara uygulanan önişlemler..... 74
Çizelge 4.3 İnce tabaka kurutma modelleri 75
Çizelge 5.1 Kayısı çeşitlerine ait bazı fiziksel özellikler……. 79
Çizelge 5.2 Kayısı çeşitlerinin bazı kimyasal özellikleri…… 81
Çizelge 5.3 Hacıhaliloğlu kayısıların farklı sıcaklıklardaki kuruma süreleri…….82
Çizelge 5.4 Hacıhaliloğlu kayısılarının infrared kurutucuda kuruma süreleri…… 89
Çizelge 5.5 Sitrik asit çözeltisiyle muamele edilen Hacıhaliloğlu kayısı örneklerine ait istatistiksel analiz sonuçları……... 94
Çizelge 5.6 SMB çözeltisiyle muamele edilen Hacıhaliloğlu kayısı örneklerine ait istatistiksel analiz sonuçları…….95
Çizelge 5.7 Kontrol kodlu Hacıhaliloğlu kayısı örneklerine ait istatistiksel analiz sonuçları……...96
Çizelge 5.8 İnfrared kurutucuda kurutulan Hacıhaliloğlu kayısı örneklerine ait istatistiksel analiz sonuçları…….98
Çizelge 5.9 SMB çözeltisiyle muamele edilen Hacıhaliloğlu kayısı örneklerine ait istatistiksel analiz sonuçları……... 99
Çizelge 5.10 Farklı sıcaklıklardaki kurutulan Hacıhaliloğlu kayısıların efektif difüzyon katsayısı değerleri……...101
Çizelge 5.11 Kabin kurutucuda kurutulan kayısı örneklerine ait renk değerleri… 106
Çizelge 5.12 Infrared kurutma ile kurutulan Hacıhaliloğlu renk değerleri…… 109
Çizelge 5.13 Çataloğlu kayısıların farklı sıcaklıklardaki kuruma süreleri . 110
Çizelge 5.14 Sitrik asit çözeltisiyle muamele edilen Çataloğlu kayısı örneklerine ait istatistiksel analiz sonuçları…….. 122
Çizelge 5.15 SMB çözeltisiyle muamele edilen Çataloğlu kayısı örneklerine ait istatistiksel analiz sonuçları…….. 123

Çizelge 5.16 Kontrol kodlu Çataloğlu kayısıların modellerin istatistiksel analiz sonuçları……... 124
Çizelge 5.17 İnfrared kurutucuda kurutulan Çataloğlu için ait istatistiksel analiz sonuçları…… 126
Çizelge 5.18 Çataloğlu kayısı örneklerine ait farklı sıcaklıklardaki hesaplanan efektif difüzyon katsayıları…… 128
Çizelge 5.19 Kabin kurutucuda kurutulan Çataloğlu kayısılarının renk değerleri... 133
Çizelge 5.20 Çataloğlu kayısılarının infrared, kabin ve kombine kurutma renk değerleri……135
Çizelge 5.21 Kayısı posasının kimyasal özellikleri……..141
Çizelge 5.22 Kayısı posasının mineral içerikleri……..142
Çizelge 5.23 Kabin kurutucuda kurutulan kayısı posa örneklerine ait istatistiksel analiz sonuçları……149
Çizelge 5.24 İnfrared kurutucuda kurutulan posanın istatistiksel analiz sonuçları.. 152
Çizelge 5.25 Yaş ve kabin kurutucuda kurutulan kayısı posanın renk değerleri…. 156
Çizelge 5.26 Yaş ve İnfrared kurutucuda kurutulan posanın renk değerleri…… 157
Çizelge 5.27 Kayısı çekirdeklerinin kimyasal özellikleri…… 159
Çizelge 5.28 Kayısı çekirdeklerinin mineral içerikleri…… 160

ÖZET

KAYISI VE ATIKLARININ KURUTMA KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ VE KALİTE PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Seda KAYRAN

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ

Gülgiller ailesinden gelen kayısı (*Prunus armeniaca* L.) sert çekirdekli meyveler grubu içinde etli, sarı tomurcuk renkli, güzel kokulu ve tek çekirdekli meyvedir. Türkiye Dünya kayısı üretiminin %23.14'ünü tek başına üreterek birinci sırada yer almaktadır. Ülkemizde kuru kayısı ihracat kalemlerinde önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada, Malatya bölgesinde yetişen Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu iki farklı kayısı türü incelenmiştir.

Üç bölümden oluşan çalışmanın ilk bölümünde Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu kayısı türlerinin fiziksel ve kimyasal karakteristikleri belirlemek amacıyla renk ölçümü, ortalama ağırlık, çekirdek ağırlıkları, nem tayini, kül tayini, pH, titrasyon asitliği ve çözünür kuru madde analizleri yapılmıştır. Kuru kayısı üretiminde farklı ön işlemlerin etkisinin incelenmesi amacıyla sitrik asit çözeltisi ve sodyum metabisülfit (SMB) çözeltileri ile muamele edilmiştir. Bu işlemden sonra kayısılar kabin kurutucuda (50, 60, 70 ve 80°C sıcaklıklarda), infrared kurutucuda (62, 74, 88, 104 ve 125 W infrared güçlerinde) ve bu iki kurutucunun kombine bir şekilde kullanılarak (88W+50°C, 88W+60°C, 88W+70°C ve 88W+80°C) üç farklı şekilde kurutulmuştur. Farklı kurutucuların ve uygulanan önişlemlerin Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu kayısılarının kuruma süresi ve renk değerleri üzerine etkisi incelenmiştir. Kombine kurutmanın kabin kurutucuya ve infrared kurutucuya göre daha iyi renk değerleri verdiği tespit edilmiştir. Çataloğlu kayısıların farklı önişlemler ve sıcaklıklarda kurutulmasının rehidrasyon özelliklerine etkisi incelenmiştir. Kurutma sırasında elde edilen verilerden yararlanarak kuruma kinetiğinin belirlenmesinde on farklı matematiksel model kullanılmıştır. Bu modeller arasından tüm kurutma koşulları için en uygun modelin Midilli vd. modeli olduğu tespit edilmiştir. Kabin kurutucuda Hacıhaliloğlu kayısı için efektif difüzyon katsayısı değerleri 5.078×10^{-10} ile 2.125×10^{-9} m^2/s arasında, Çataloğlu kayısı için 6.849×10^{-10} ile 2.491×10^{-9} m^2/s arasında değişmiştir. İnfrared kurutucuda Hacıhaliloğlu

kayısı için difüzyon katsayısı değerleri 2.37×10^{-9} ile 6.23×10^{-9} m^2/s arasında, Çataloğlu için 3.98×10^{-9} ile 9.75×10^{-9} m^2/s arasında değişmiştir. Aktivasyon enerjisi değerleri kabin kurutucuda kontrol, SMB ve sitrik asit çözeltisi ile önişlem uygulanan Hacıhaliloğlu kayısılar için sırasıyla 38.75 kJ/mol, 37.01 kJ/mol ve 37.47 kJ/mol, Çataloğlu kayısılar için sırasıyla 34.24, 35.39 ve 35.90 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. İnfrared kurutucu için aktivasyon enerjisi değerleri kontrol ve SMB çözeltileri ile önişlem uygulanan Hacıhaliloğlu kayısılar için sırasıyla 1.63 kW/kg, 1.67 kW/kg, önişlemsiz Çataloğlu kayısılar için 1.38 kW/kg olarak bulunmuştur.

İkinci aşamasında birçok meyve suyu işletmesinde değerlendirilmeden atılan kayısı posasının değerlendirilmesi amacıyla önce kimyasal kompozisyonu belirlenmesinde yağ, protein, kül, ham selüloz ve mineral analizleri yapılmıştır. Kayısı posasının mineral bakımından zengin bir kaynak olduğu tespit edilmiştir. Kabin kurutucu 40, 50, 60 ve 70°C sıcaklık değerlerinde ve infrared kurutucuda 62, 74, 88, 104 ve 125 W güç değerleri için posanın kurutma karakteristikleri incelenmiştir. Farklı kurucuların posanın kurutulması sırasında renk parametrelerini etkisinin incelenmesi amacıyla ile L, a, b, C, ΔE ve h renk parametreleri kullanılmıştır. Kuruma karakteristiklerinin belirlenmesi için on farklı matematiksel model arasından Midilli vd. ve Aghbashlo vd. modellerinin en uygun modeller olduğu tespit edilmiştir. Kayısı posasının kabin kurutucuda farklı sıcaklıklar için efektif diffüzyon katsayısı (D_{eff}) değerleri 1.014×10^{-9} ile 1.859×10^{-9} m^2/s ve infrared kurutucuda farklı güçler için D_{eff} değerleri 1.670×10^{-9} ile 6.030×10^{-9} m^2/s arasında değişmektedir. Kabin ve infrared kurutucularda kurutulan kayısı posası için aktivasyon enerji değerleri sırası ile 19.41 kJ/mol ve 2.32 kW/kg olarak bulunmuştur.

Üçüncü aşamada Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu kayısı çekirdeklerinin ve kayısı çekirdek yağının kimyasal özellikleri belirlenmiş ve literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu için sırasıyla protein oranı %25.32 ve 24.29, yağ oranı %52.35 ve 54.31, selüloz oranı %6.58 ve 5.75, kül oranı %2.40 ve 2.25 olarak tespit edilmiştir. Kayısı çekirdeklerinin yağ asitleri kompozisyonu incelendiğinde Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu kayısı çekirdekleri için sırasıyla palmitik asit miktarı %5.03 ve %5.28, stearik asit miktarı %1.00 ve %1.71, oleik asit miktarı %66.56 ve %68.73, linoleik asit miktarı %23.15 ve %22.19, linolenik asit miktarı %0.14 ve %0.11 olarak bulunmuştur. Çekirdeklerin mineral kompozisyonu incelendiğinde yüksek oranda potasyum ve fosfor, düşük oranda demir ve bakır içeriği saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kayısı, kayısı posası, kayısı çekirdeği, kurutmada önişlemler, matematiksel modelleme.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE DRYING CHARACTERISTICS OF APRICOT AND APRICOT WASTE AND DETERMINATION OF QUALITY PARAMETERS

Seda KAYRAN

Department of Chemical Engineering

PhD. Thesis

Adviser: Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ

Apricot (*Prunus armeniaca* L.) from the family of the Rosaceae is a fleshy, yellow-colored, fragrant and single-core fruit in the group of stone fruits. Turkey alone produces 23% of world apricot production is located in the first place. Dried apricots have an important place in our exports. In this study, Hacıhaliloğlu and Çataloğlu grown in Malatya region were investigated.

The study consists of three parts. In the first part, Hacıhaliloğlu and Çataloğlu apricot species color measurement, average weight, seed weights, moisture, ash, pH, titratable acidity and soluble dry matter analyzes were performed to determine physical and chemical characteristics. In order to investigate the effect of different pre-treatments in dried apricot production, it was treated with citric acid solution and sodium metabisulphite (SMB) solutions. After this process, apricots are used in the cabinet dryer (at temperatures of 50, 60, 70 and 80 °C), in the infrared dryer (62, 74, 88, 104 and 125 W in infrared power) and in combination of these two dryers (88W + 50°C, 88W + 60°C, 88W + 70°C and 88W + 80 °C) were dried in three different ways. The effect of different dryers and pre-treatments on drying time and color values of Hacıhaliloğlu and Çataloğlu apricots were investigated. Combined drying has been found to give better color values than the cabinet and infrared dryers. The effect of drying of different pre-treatments and temperatures on the rehydration properties of dried Çataloğlu apricots was determined.Using the data obtained during drying, ten different mathematical models were used to determine the kinetics of drying. Among these models, the most suitable model for all drying conditions is Midilli et al. model. The values of effective diffusion coefficient (D_{eff}) for Hacıhaliloğlu apricot in the cabinet dryer were between 5.078×10^{-10} and 2.125×10^{-9} m^2/s, for Çataloğlu from 6.849×10^{-10} to 2.491×10^{-9} m^2/s. The D_{eff} values for Hacıhaliloğlu apricot in the infrared dryer were between 2.37×10^{-9} and 6.23×10^{-9} m^2/s, ranging from 3.98×10^{-9} to 9.75×10^{-9} m^2/s for Çataloğlu apricot. Activation energy

values were found as 38.75 kJ/mol, 37.01 kJ/mol and 37.47 kJ/mol for Hacıhaliloğlu apricots, which were pretreated with SMB and citric acid solutions and control samples in cabinet dryer, respectively, whereas 34.24, 35.39 and 35.90 kJ/mol for Çataloğlu apricots, respectively. Activation energy values for the infrared dryer were found to be 1.63 kW/kg, 1.67 kW/kg for Hacıhaliloğlu apricots were control and SMB solution, respectively, and 1.38 kW/kg for the for Çataloğlu apricot.

In the second part, in order to evaluate the chemical composition of the apricot pomace, which was discarded in many fruit juice plants, fat, protein, ash, crude cellulose and mineral analyses were performed. Apricot pomace was found to be a mineral-rich source. Cabinet drier 40, 50, 60 and 70°C temperature and infrared dryer 62, 74, 88, 104 and 125 W power values were examined for drying characteristics of the pomace. The color parameters of L, a, b, C, ΔE and h were used to investigate the effect of color parameters during drying of the pomace. 10 different mathematical models for the determination of drying characteristics of apricot pomace, Midilli et al. and Aghbashlo et al. models were found to be the most suitable models. The D_{eff} values of the apricot pomace in the cabinet dryer for different temperatures range from 1.014×10^{-9} to 1.859×10^{-9} m^2/s and for the different powers in the infrared dryer the D_{eff} values range from 1.670×10^{-9} to 6.030×10^{-9} m^2/s. Activation energy values for apricot pomace dried in the cabinet and infrared dryers were found as 19.41 kJ / mol and 2.32 kW / kg respectively.

In the third part, the chemical properties of Hacıhaliloğlu and Çataloğlu apricot kernels and apricot seed oil were determined and compared with the studies in the literature. For Hacıhaliloğlu and Çataloğlu, respectively, protein ratio was 25.32% and 24.29%, fat content was 52.35% and 54.31%, cellulose ratio was 6.58% and 5.75%, ash ratio was 2.40% and 2.25%, respectively. When the fatty acid composition of apricot kernels is examined, the amount of palmitic acid in apricot kernels is 5.03% and 5.28%, stearic acid content is 1.00 and 1.71%, oleic acid amount is 66.56% and 68.73%, linoleic acid is 23.15% and 22.19%, linolenic is the amount of acid was 0.14% and 0.11%. When the mineral composition of the kernels was examined, high content of potassium and phosphorus, low iron and copper content were determined.

Keywords: Apricot, Apricot pomace, apricot kernel, pretreatment of drying, mathematical modelling.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Kayısı gülgiller familyasından Prunoidae alt familyasının *Prunus armeniaca* L. türüne dahil olan özellikle Orta Asya, Batı Asya, Akdeniz bölgesi ve Batı Çin kadar geniş bir alanda yetişen yüksek düzeyde A vitamini, diyet lifi potasyum ve kalsiyum gibi besin değerine sahip mevsimsel bir meyvedir [1], [2], [3]. Yüksek bir solunum oranı ve hızlı olgunlaşma süreci nedeni ile kısa raf ömrüne sahiptir. Kurutma, paketleme, meyve suyuna işleme, meyve püresi ve meyve konservesi yapımı gibi farklı koruma yollarıyla kayısının raf ömrünün uzatılması sağlanır [3]. FAO'ya göre Dünyadaki toplam kayısı üretimi yaklaşık dört milyon ton olmakla beraber Türkiye, İran, Özbekistan, Cezayir ve İtalya başlıca üreticilerdir. 2017 yılı için Dünya kayısı üretimi 4257241 ton iken Türkiye 985000 ton ile %23.14'ünü üretmiştir. Türkiye Dünya kuru kayısı üretiminin % 60-65 ve kuru kayısı ihracatının % 80-85 karşılamaktadır. Ülkemizde büyük potansiyeli bulunan kuru kayısının yüksek kalitede ve düşük maliyetle tüketicinin doğal ürün taleplerini karşılayacak verimde üretmek önem kazanmıştır. Türkiye'de 2013 yılında ihraç edilen kuru kayısı miktarı 117861 ton iken 95000 tonunu Malatya bölgesinde kurutulan kayısılar oluşturmaktadır. Malatya kayısılarının en önemli özelliği kurutmaya elverişli olmasıdır. Bu bölgede yetişen kayısılarda meyvede suda çözünür kuru madde miktarı yüksek, organik asit miktarı ise düşüktür. Malatya bölgesinde yetişen kayısı çeşitliliği fazladır. Yetiştirilen kayısı çeşitlerinin %60-65'ni Hacıhaliloğlu, %30-35'ini Kabaaşı geriye kalan %3-5'lik kısmı ise Çataloğlu, Hasanbey, Soğancı ve %1'lik bölümü ise diğer çeşitlerden oluşmaktadır [4], [5], [6], [7].

Gıdaların son tüketiciye ulaşmadan hasat, taşıma, işleme ve depolama aşamalarında kayıplar meydana gelmektedir. Atık olarak atılan bu kayıpların değerlendirilmesi hem

ekonomik hemde çevresel olarak önem arz etmektir. İşleme tesislerinde yılda büyük miktarlarda meyve kabuğu, meyve posası ve çekirdekleri ortaya çıkar. Değerlendirilmeden atılması sadece potansiyel olarak değerli bir kaynağı israf edilmesinin yanında ciddi bir atık problemi oluşturur. Şarap, meyve suyu gibi içecek endüstrisi kabuk, tohum, çekirdek ve posa atıklarının miktarı ürüne göre farklılık göstermekle birlikte meyve suyuna işlenen hammaddenin yaklaşık %25'i posa olarak atılmaktadır [8]. Kayısı posası, meyve suyu işleme endüstrisinin bir yan ürünüdür. Karbonhidratlar, asitler, vitaminler, mineraller ve diyet lifi içeriği yüksek olan posanın yüksek su içeriğinden dolayı hızlı bozulması ve nakliyesinin maliyetli olması farklı ürünlere işlenerek değerlendirilmesini sınırlamaktadır [3], [5]. Ülkemizde birçok meyve suyu fabrikasından atık veya yan ürün olarak ortaya çıkan meyve posaları; ekmek, kurabiye, makarna ve kek içinde un yerine gıdalarda kullanılmasının yanında atık meyve ve sebze posasından elde edilen; diyet lifi ve fenolik bileşiklerin çorba, sos, mayonez, reçel, meyve suları ve yoğurtlara eklenebilmektedir. Posanın atılmasının yerine değerlendirilmesi son yıllarda popüler olan fonksiyonel gıda üretimi için karotenoid, tokoferol ve askorbik asit gibi çeşitli bileşiklerin üretiminde doğal ve ucuz hammadde kaynağı sağlamaktadır [9], [10].

Kayısı çekirdeği değerli bir yan ürün oluşturmaktadır. Tatlı çekirdekler badem gibi çerezlik olarak tüketilir. Kayısı çekirdeği, yağ, benzaldehit, kozmetik, aktif karbon, aroma ve parfüm üretiminde kullanılır [11]. Kayısı çekirdeklerinin kül içeriği düşük (%4.8-5.2), ancak ham protein oranı (%23-31.4) zengin ve yağ oranı %45.0-53.4 arasında, şeker oranı dektroz olarak %8.1 oranındadır. Kayısı çekirdek içi için kalsiyum, potasyum, magnezyum ve fosfor içeriği bakımından zengindir. Kayısı çekirdeklerinden yağı çıkartıldıktan sonra kalan kalıntı (pres keki) yüksek protein içeriklidir. Kayısı çekirdeği ayrıca toplam fenoller içerir ve kayısı çekirdeği ve yağı önemli düzeyde antioksidan aktiviteye ve serbest radikaller üzerinde temizleyici etkiye sahiptir. Ayrıca çekirdekten çıkarılan kayısı çekirdek yağı yüksek oleik asitli değerli bir yağdır. Kayısı çekirdeğin içerdiği yağ, yağda çözünen vitaminler ve mineraller bakımından zenginliği ile yaşlanmaya karşı en iyi ilaç olduğu eski Çin kaynaklarda bile bulunmaktadır [12], [13], [14].

1.2 Tezin Amacı

Literatür çalışması sonucunda edinilen bilgiler doğrultusunda dünyadaki kayısı yetiştiriciliği ve kuru kayısı üretiminde önemli yeri olan Malatya bölgesinde yetişen Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu kayısı çeşitlerinin ve kayısı posasının kurutulması amaçlanmıştır.

- Çataloğlu ve Hacıhaliloğlu kayısı çeşitlerinin farklı sıcaklık ve ön işlemlerle kabin kurutucuda ve farklı güçlerde infrared kurutucuda kuruma kinetiğinin belirlenmesi,
- Kayısı çeşitlerinin daha önce denenmemiş kombine (sıcak hava + infrared) kurutma ile kurutulmasının kuruma süresi ve son ürünün rengine etkisinin incelenmesi,
- Kayısı suyu üretiminde atık olarak çıkan kayısı posasının kimyasal karakterizasyonun yapılması ve farklı kurutucularda (infrared ve kabin kurutucu) kurutma kinetiğinin araştırılması,
- Literatürde farklı ürünlerin kurutulmasının modellenmesinde kullanılmış 10 farklı matematiksel model kullanılarak kayısı çeşitleri ve atık kayısı posanın kurutulmasında en uygun modelin tespit edilmesi ve efektif difüzyon katsayısı ile aktivasyon enerjilerinin hesaplanması,
- Çataloğlu ve Hacıhaliloğlu kayısıların ve çekirdeklerinin fiziksel ve kimyasal özeliklerinin incelenmesi ve çekirdek yağlarının karakteristik özelliklerinin incelenip karşılaştırılması amaçlanmaktadır.

1.3 Hipotez

Bu çalışmada, kayısı ve atıklarının bütün olarak incelenmesi amacı ile Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu kayısı çeşitleri, bu çeşitlerin çekirdekleri ve meyve suyu fabrikası atığı kayısı posası incelenecektir. Kayısı çeşitleri farklı infrared güçlerde infrared kurutucuda ve farklı sıcaklıklarda ve önişlemlerle (sodyum metabisülfit çözeltisi, sitrik asit çözeltisi ile muamele ve ikiye bölünerek) kabin kurutucuda kurutma çalışmaları yapılacaktır. Kayısı çeşitlerinin ve kayısı posasının her iki kurutucuda kuruma süresi ve son ürünün renk bakımından karşılaştırılması yapılacaktır. Kayısı çeşitlerinin ve kayısı posasının kurutma davranışlarının belirlenmesinde literatürde yer alan 10 matematiksel model arasından kurutma davranışını gösteren en uygun model istatiksel hesaplamalar sonucunda belirlenecektir. Kabin ve infrared kurutucu için kayısı çeşitlerinin ve kayısı posasının efektif difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjileri hesaplanacaktır. Çataloğlu kayısı

çeşidinin ön işlemli (sodyum metabisülfitle muamele (SMB) ve doğal (kontrol) olarak kurutulmasının rehidrasyon davranışları belirlenmeye çelışılacaktır. Kayısı posası ve kayısı çekirdeklerinin kimyasal karakterizasunu yapılacak ve kayısı çekirdek yağlarının yağ asitleri kompozisyonu incelenecektir.

Kayısı ve kayısı atıklarının incelenmesi doğrultusunda yapılan çalışmalar önemli ihraç ürünü olan kayısının farklı tekniklerle kurutulmasının, kayısı çekirdeklerinin ve çekirdek yağının kimyasal karakterizasyonun endüstriyel boyuttaki işlemlere ışık tutması beklenmektedir. Her iki kurutucuda kurutulan kayısı posalarının matematiksel modellenmesi ve kimyasal karakterizasyonu yapılarak atık ürünün ülke ekonomisine katkısının araştırılmasının literatürdeki veri eksikliğini gidereceği öngörülmektedir.

BÖLÜM 2

KURUTMA

2.1 Kurutma ve Kurutma Yöntemleri

Kurutma, eş zamanlı ısı ve fizikokimyasal dönüşümler eşliğinde kütle ve ısı transferinin gerçekleştiği karmaşık bir süreçtir. Kurutma işlemi farklı sistemlerle farklı şekillerde yapılabilmektedir. Meyve-sebze ve etlerin güneşte kurutularak saklanması ilk çağlardan beri kullanılmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerin birçoğu meyve-sebzelerin, aromatik otların, kerestelerin kurutulmasında güneşte kurutmadan yararlanmaktadır. Güneşte kurutma işlemini iki ana grupta toplayabiliriz

a) Doğrudan açık havada güneş kurutma.

b) Dolaylı güneşte kurutma veya konvektif güneş kurutma diye ikiye ayrılabilir [15].

Kurutma, nemin maddeden uzaklaştırılmak için kullanılan enerjinin aktarılma mekanizmasına göre dört kategoride sınıflandırılır:

(i) Güneşte kurutma: Madde güneş radyasyonuna doğrudan sergi üzerinde maruz bırakılarak kurutulur. İklim koşulları özellikle rüzgâr, havanın bağıl nemi ve sıcaklığı önemli olmaktadır.

(ii) Direkt güneş kurutma: Bu kurutuculardа, kurutulacak madde saydam örtme aracının veya yan panellere sahip bir muhafazanın içine yerleştirilmiştir. Isı, ürünün kendisinin güneş radyasyonunu emmesiyle gerçekleşir.

(iii) Dolaylı güneş kurutma: Bu kurutuculardа, hava ilk olarak bir güneş hava ısıtıcı içinde ısıtılır ve daha sonra kurutma odasına verilir. Kuruma havasının sirkülasyonu için fanlardan yararlanılır.

(iv) Karma tipi güneş kurutucular: Bu tip kurutuculardа güneş ışınımlarının tutulduğu kısım ve ürünün saydam bir şekilde kaplandığı kurutma bölümleri vardır. Bu tip kurutucuda ürün hem direkt güneş ışınımından hem de içeriye gönderilen sıcak havadan faydanılarak kurutulmaktadır.

Kurutma, yöntem olarak "güneşte kurutma" ve "yapay kurutma" olarak iki gruba ayrılabilir [16]. Yapay kurutma yönteminin esasını, kurutmaya tabi tutulan üründeki nemin uzaklaştırılması amacı ile sağlanan ısının transfer şekli oluşturmaktadır. Kurutmada en çok kullanılan yapay kurutma sistemleri, konveksiyonlu kurutuculardır. Endüstride kullanılan kurutucuların %85'i bu tip kurutuculardan oluşmaktadır [17].

Kurutma sırasında kurutulan üründe fiziksel ve kimyasal olarak bazı değişmeler meydana gelir. Kurutulmuş üründe yöresel madde birikimi, kabuk bağlama ve kitle yoğunluğunda değişmeler gibi fiziksel değişimlerin yanında kurutulmuş ürünün renginde, lezzetinde, tekstüründe, viskozitesinde, beslenme değerinde ve depolama stabilitesi gibi kimyasal özelliklerinde de değişiklikler meydana gelir [5]. Kurutma işleminde uygulanan sıcaklık, süre ve kurutma sisteminin şekli bu değişimleri etkiyen en önemli faktörlerdir. Kurutulacak ürüne göre kurutucu veya kurutma işleminin seçiminde birçok faktöre dikkat edilir. Genel olarak son ürünün kalitesi, kullanım alanı ve seçilen yöntemlerin ekonomisi göz önüne alınır [18], [19].

Ürünlerin güneş enerjisine direkt maruz bırakılarak kurutulmaları, ürün kalite parametreleri ve ürün verimi açısından uygun değildir. Güneşte kurutmanın pek çok dezavantajı vardır. Yağış, rüzgâr, nem ve toz nedeniyle ürünlerde bozulma; kuşlar ve bazı hayvanlardan dolayı ürün kaybı; böcek saldırıları ve mantarlara bağlı olarak hasat edilen ürünlerde bozulma dezavantajlardan bazılarıdır. Ayrıca ürünün kuruması için geniş alan gereksiniminin yanı sıra yüksek iş gücü ve zaman gerektirir. Bu dezavantajları ortadan kaldıracak farklı kurutma metotları ve kurutucular geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır [19], [20].

Kurutmada hammaddeye sağlanan ısı sayesinde içindeki suyun buharlaşması ve bu buharın üründen uzaklaşması sağlanır. Isının transfer mekanizmasına dayanarak genel olarak konveksiyon, kontakt ve radyant (radyasyon) kurutma olarak ayrılabilir [16]. Radyasyon ile kurutmada; mikrodalga, dielektrik ve infrared gibi elektromanyetik spektrumdaki farklı enerji türlerinden yararlanılmaktadır.

2.1.1 Kontakt Kurutma

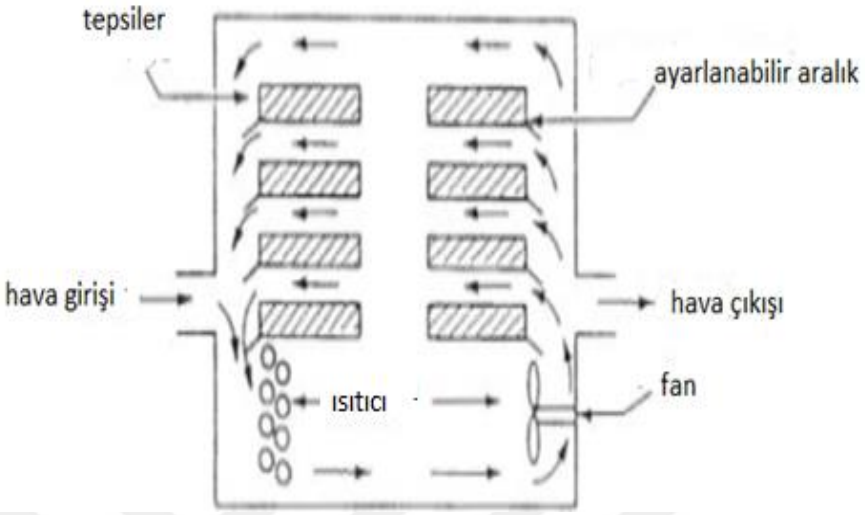
Kontakt kurutma yönteminde evaporasyon için gerekli ısı, kondüksiyonla taşınır. Başka bir ifadeyle kurutulacak madde hareketsiz kalırken veya hareket ederken temas ettiği sıcak yüzeyden maddeye ısı taşınır. Bu nedenle iletken kurutucular olarak adlandırılırlar. Genellikle ısıya duyarlı gıdalar, ilaçlar ve biyomalzemeler için tercih edilirler. Birçok fiziksel olayın gerçekleştiği kontakt kurutma mekanizması zor anlaşılır. Endüstriyel kurutucuların büyük bir kısmı konvektif tip olmasına rağmen; kontakt kurutucular yüksek ısıl verim sunması gibi konvektif kurutmaya göre ekonomik ve çevresel avantajlara sahiptir [21]. Yüksek ısıl iletim sağlayan valsli kurutucular en ucuz kontakt kurutma sistemlerinin başında gelmektedir [5], [16].

2.1.2 Konveksiyon Kurutma

Isının konveksiyon (taşınım) yolu bir gaz genellikle hava tarafından kurutulacak maddeye iletilmesi prensibine dayanır. Gazın sistemde akışkan olarak kullanıldığı sistem genellikle sıcak hava ile kurutma olarak da bilinir. Bu yöntemin ısıl etkinliği kontakt kurutmaya göre daha düşüktür. Genel olarak kabin kurutucular, tünel kurutucu, sürekli bant kurutucu, sandık kurutucu ve akışkan yatak kurutucu olmak üzere değişik çeşitleri vardır [5], [16], [22].

Kabin, raf veya kompartıman kurutucular olarak adlandırılan kurutucula (Şekil 2.1) çok amaçlı kesikli sitemler olup, genel olarak izole edilmiş kabin, fan ve ısıtıcıdan oluşur. Havanın rahat dolaşabileceği belirli boşluk bırakılarak dizilmiş tepsilerden oluşur. Bu tepsiler tavanı delikli veya ızgaralı tepsilerdir. Sıcak hava, delikli tepsiler sayesinde ürüne ulaşır ve üründen çıkan nemi de kabin dışına taşır. En önemli sorunu, ürünün her yerinde aynı kuruma hızına ulaşılamamasıdır. Genel olarak sıcak havanın ilk girdiği alandaki ürün daha hızlı kurumaktadır. Bu durum içerdeki havanın hızının, sıcaklığının ve neminin her yerde aynı olmamasından kaynaklanmaktadır. Bunu önlemek için uygun fan sistemleri kurulmalıdır. Fan sistemleri, kullanım alanına göre laboratuvar tipinden endüstriyel tipe kadar farklı boyutlarda olabilmektedir. Kabin tipi kurutucular genellikle dilimlenmiş sebze ve meyve kurutmada kullanılmaktadır. Yüksek kapasitede ürün kurutmak için paralel şekilde kabin sistemleri kurulmaktadır. Kabin kurutucular havanın akış yönüne göre paralel ve çapraz akışlı olmak üzere ikiye ayrılır. Kabin kurutucuların daha gelişmiş türü tünel kurutuculardır. Tünel kurutucuların en önemli farkı, dizilmiş tepsileri taşıyan arabaların kurutma tüneli boyunca hareket etmesidir. Akışkan yatak kurutucularda

kurutulacak ürüne alttan belirli hızda verilen sıcak hava ile ürün askıda kalarak akışkan halde bulunmaktadır [5].



Şekil 2.1 Kabin kurutucu [22]

Sandık kurutucular özellikle sebzelere kurutmanın son aşamasında kullanılır. Genel olarak belli su içeriğine kadar kurutulmuş ürünün ılımlı kurutma koşullarında istenen nem oranına kadar ekonomik kurutmaya imkân veren sistemlerdir [5].

2.1.3 Mikrodalga Kurutma

Mikrodalgalar, elektromanyetik spektrumda 1 mm-1 m dalga boyu ve 300 MHz-300 GHz frekans aralığında kızıl ötesi ışınlarla radyo dalgaları arasında bulunur. Mikrodalga fırınların magnetronu, pozitif ve negatif kutupların sürekli olarak hızlı bir şekilde yön değiştirdiği elektromanyetik bir alan oluşturur. Bir maddenin mikrodalga ile ısıtılması için uygulanan elektrik alan şiddetinin sonucu olarak enerji, dipolar moleküller ve tuzların pozitif ve negatif iyonları ile etkileşime girer. Mikrodalga ile ısıtma için değişken bir elektromanyetik alan uygulandığında, madde içinde dipolar elektrik yüklerinin oluşması gerekmektedir. Su molekülleri kolaylıkla dipolar elektrik yükleri oluşturabildiğinden, su içeren yapıda her ürün, mikrodalga ile ısıtmaya uygundur. Mikrodalga ile ısıtmanın en önemli özelliği hacimsel ısıtmadır. Hacimsel ısıtma, maddelerin doğrudan içten mikrodalga enerjisini emerek ısı enerjisine dönüştürmesidir. Bu yöntemde ısı, doğrudan materyal içerisinde oluşmakta; materyal içindeki su kısa bir süreçte ısıtılarak buharlaşmakta ve nem transferi içten dışa doğru olmaktadır. Sıcaklık ve nem gradyanları aynı yönde olmasından dolayı konvektif ısıtmanın aksine nem çıkışı kolay olur.

Mikrodalga, geleneksel kurutmalarla karşılaştırıldığında hızlı bir ısınma oluşturmakta, kolay başlatma ve durdurmanın yanında yüksek güvenlikli otomasyon avantajları sağlamaktadır [23], [24], [25].

Mikrodalga alanındaki ısı üretimini iki farklı mekanizma ile açıklanır. Bunlar, iyonik yer değiştirme ve dipol dönmesidir. Elektrik alanı uygulandığında gıda içerisindeki moleküller, frekansa bağlı olarak değişen elektrik alanı nedeniyle dönme eğilimi gösterir. Gıda içerisindeki iyonik bileşenler ise üzerlerindeki elektriksel yük nedeniyle uygulanan elektrik alanının tersi yönünde hareket yapar. Bu hareketten ve çarpışmadan doğan enerji, ısı enerjisine dönüşür. Mikrodalga ısıtma ve ısı dağılımını etkileyen faktörler; ürünün dielektrik özellikleri, penetrasyon derinliği, fırın çalışma frekansı, çalışma modu (tek veya çok mod), ürün geometrisi ve fırın geometrisidir. Mikrodalga ile kurutma yöntemi, konveksiyonla kurutma yöntemlerinden farklı olarak, doğrudan materyal bünyesindeki su molekülleri hedef alınarak seçici bir ısıtma sağlanmaktadır [26], [27], [28].

Meyve sebzelerin kurutulmasında mikroldaga kurutmanın kullanımı farklı araştırmacılar tarafından birçok üründe örneğin elma [29], kivi [30], sarımsak [31], şeftali [32], erik [33] ve kayısı [34] denenmiştir.

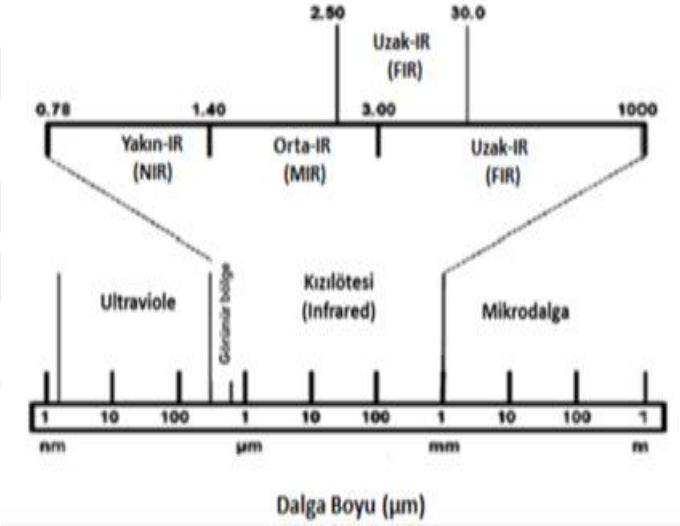
Chayjan ve Alaei [33] yaptıkları çalışmada vakumlu infrared kurutucuda 50 ve 60°C ve mikrodalgada 90, 270, 450 ve 630 W kurutulan eriklerin kahverengileşme indeksi (BI) değerinin vakumlu infrared kurutmada mikrodalga kurutmaya göre daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir.

Igual vd. [34] yaptıkları bir çalışmada, sodyum metabisülfitle ön muamele yaptıkları kayısıları sıcak havada, mikrodalgada ve kombine sistemde (sıcak hava + mikrodalga) kurutulan kayısılardan elde edilen sonuçlara göre mikrodalga kurutmanın kuruma süresini önemli ölçüde azaltığı görülmüştür. Toplam fenolik madde bakımından kurutulmuş üründe en yüksek değerlere mikrodalga kurutma ile kurutulan örneklerde elde edilmiştir.

Fratianni vd. [35], kayısıların 60 ve 70°C'de sıcak hava ve aynı sıcaklıkta mikrodalga enerjisi kurutmanın karotenoidlerin bozunmasına etkisini incelenmişlerdir. 70 °C'de 2 saatlik mikrodalga ısıtmasından sonra, önemli bir düşüş (%30) gözlendiğini kurutma işlemi sonunda ise her iki sıcaklık için %50 civarında toplam karotenoidlerde azalma gözlendiğini bildirmiştir.

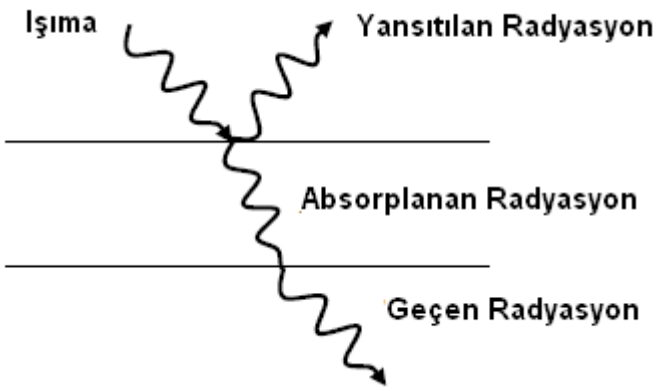
2.1.4 Kızılötesi (Infrared) Kurutma

Kızılötesi (IR veya Infrared) radyasyon güneşin elektromanyetik spektrumunun bir parçasıdır. IR enerjisi, elektromanyetik enerjinin bir formudur. Isıl enerjiyi, radyo frekansı ve mikrodalga ile ısıtmada olduğu gibi elektromanyetik dalga olarak transfer etmektedir. Şekil 2.2'de görüldüğü gibi elektromanyetik spektrumdaki yeri görünür ışıkla mikrodalga arasındadır. Uluslararası Aydınlatma Komisyonu'na (CIE) göre kızılötesi (infrared) radyasyonu yakın infrared (NIR), 0.75–1.4 μm orta infrared (MIR), 1.4-3 μm ve uzak infrared (FIR) olmak üzere 3–1000 μm spektral aralıklarında sınıflandırılabilmektedir [36].



Şekil 2.2 Kızılötesi radyasyonun elektromanyetik spektrumdaki yeri [36]

Radyasyon kaynağından gelen enerjinin kurutulacak olan materyalde izlediği yol Şekil 2.3'de verildiği gibi materyal tarafından absorplanır, geçer (iletilir) ve yansıtılır [37].



Şekil 2.3 Radyasyon geçişi (absorpsiyon, geçiş ve yansıma)

Gıda yüzeyine çarpan infrared radyasyon, gıdanın içine nüfus eder ve ısı enerjisine dönüştürülür. Kızılötesi ışınların biyolojik materyale penetrasyonu (nüfus etmesi), materyalin içerisinde bulunan su moleküllerinin titreşimine sebep olur. Nüfus edebilme derinliği, gıdanın bileşen kompozisyonuna, yapısal özelliklerine ve radyasyon kaynağının dalga boyuna bağlı olarak değişir. Su ve bazı bileşiklerin 2.5 μm'den büyük dalga boyunda, özellikle su ve organik bileşiklerin 3-6 μm arasında infrared enerjiyi daha iyi absorbladığı bildirilmiştir. Örneğin, proteinlerin maksimum absorblamayı 3 ile 6 μm arasında gösterdiği tespit edilmiştir. Kalın gövdelerin kurutulmasında NIR bölgesinde kurutmanın, ince tabaka kurutmada ise FIR bölgesinde kurutmanın daha etkili olduğunu belirlenmiştir. Birçok meyve sebzenin kurutulmasında ve modellenmesinde FIR kullanımı yaygındır [36], [37], [38], [39], [40], [41].

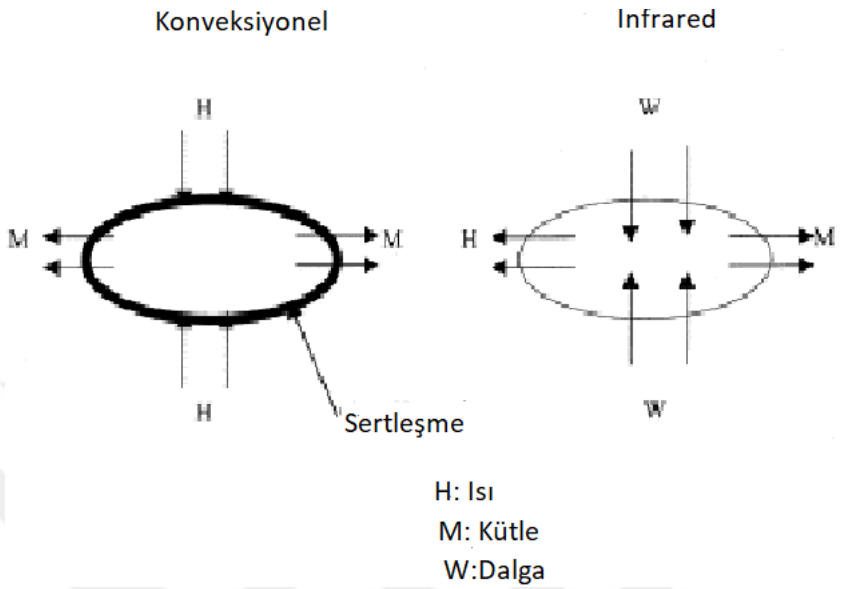
Gıda, içinde su, organik ve inorganik maddeler ile farklı biyokimyasal moleküllerden oluşan karmaşık bir yapıdır. Kurutulmak istenen gıda maddesinin fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre, doğru infrared dalga boyu seçimi önemlidir. Farklı kimyasal grupların içerdikleri bağ yapısına göre infrared absorblama dalga boyları farklıdır. Örneğin su NIR dalga boyunda ışını geçirirken FIR dalga boyunda absorblamaktadır [36]. Bazı gıdalar ve kimyasal gruplar için infrared absorbsiyon bandları Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Bazı gıdalar ve kimyasal gruplar için İnfrared absorbsiyon bandları [36].

Kimyasal gruplar	**Absorbsiyon dalga boyu (μm)**	**Uygun bazı gıdalar**
Hidroksil grup (O-H)	2.7- 3.3	Su, şeker
Alifatik Karbon-Hidrojen bağları	3.25-3.7	Yağ, protein, şeker
Karbonil grup(C=O) (ester)	5.71- 5.76	Yağlar,
Karbnil grup (C=O) (amid)	5.92	Proteinler
Nitrojen-Hidrojen (-NH-)	2.83-3.33	Proteinler
Karbon-Karbon çift bağları (C=C)	4.44-4.76	Doymamış yağlar

Kızılötesi ile kurutmanın diğer yöntemlere göre farklılığı hem ısı kaynağından hem de ısıtma şeklinden doğmaktadır. Radyasyona maruz kalan madde, kısa süre içinde yoğun bir şekilde ısınır. Konveksiyonel kurutmada gıdaya dışardan ısı aktarımı olurken, gıdanın

içinden dışarıya doğru nem aktarımı olur. İnfrared kurutmada ise gıdaya radyasyon kaynağından elektromanyetik enerji gelir. Bu enerji ısıya dönüşerek gıdanın merkezinden dışarıya doğru Şekil 2.4'te görüldüğü gibi nem ve ısı akışı sağlar. Bu şekilde üründe uniform bir ısınma sağlanırken yüksek kaliteli son ürün elde edilir [42].



Şekil 2.4 Konveksiyonel ve infrared kurutmanın şematik gösterimi [42]

Gıdalar konveksiyon kurutma esnasında düşük termal iletkenlik gösterdiğinden ısı transferi sınırlı olmaktadır. İnfrared ısıtmada, ısı transferi dirençle karşılaşmaz. Kızılötesi ışınım etraflarındaki havayı ısıtmadan cisimlerin ısıtılması, kurutulması, kavurma, çözdürme, pastörizasyon, sterilizasyon ve pişirilmesinde kullanılabilir [43], [44].

İnfrared kurutmada güç yoğunluğu konveksiyonla ısıtmaya göre 6-10 kez daha fazladır. Bu durum, düşük kurutma süresi sağlarken uzun süre ısıya maruz kalmayan üründe kalite parametrelerinin iyi olması sağlanır. Örneğin Lee vd. [45] yaptıkları çalışmada, FIR kurutma ile pirinç kabuklarının kurutulmasında polifenolik ve antioksidan içerikleri bakımından daha iyi ürün elde edildiğini bildirmişlerdir. Sakai ve Hanzawa tarafından [39] yapılan bir çalışmada, yapraklı sebzelerin kurutulmasında infrared kurutucu kullanılarak renk ve koku özellikleri yüksek son ürün elde edilmiştir. İnfrared kurutmada sıcaklığın kurutulacak materyale uniform dağılımı, kalite kriterlerinin artmasını; sürenin ise kısalmasını sağlar. Son zamanlarda kızılötesi kurutmanın kullanımının artmasında sağladığı birçok avantaj sayılabilir. Bunlar:

- İlk kurulum ve işletme maliyetlerinin düşük olması,

- Kurutma prosesine göre ön kurutma aşamasında veya kombine sistemlere kolay entegre olması,
- İşletme parametrelerinin kolay kontrolü, farklı dalga boylarında ve güçlerinde uygulanabilme özelliği, düzgün sıcaklık dağılımı sağlaması,
- Çevre dostu olması,
- Kısa kurutma süresi sağlamasından dolayı enerji tüketimini azaltması,
- Yüksek ısıl verim sağlaması,
- Mevsimsel faktörlerden bağımsız kurutma ortamı ve dar alanlarda uygulanabilme özelliği sağlaması,
- Ön kurutma, kurutma, pastörizasyon, sterilizasyon, pişirme, çözdürme, kavurma gibi farklı amaçlarla kullanım olanakları sağlamasıdır [37], [41], [46], [47] [48].

Konveksiyonel kurutmada düşük enerji verimi, uzun kurutma süresi ve kalite kayıpları olmasının dezavantajlarını ortadan kaldıracak ekonomik seçenekler ortaya çıkmıştır. Örneğin infrared, mikrodalga kurutma ve kombine kurutma sistemlerinin kullanımına yol açmıştır [44].

Meyve sebzelerin kurutulmasında infrared kurutucu, farklı ürünlerin kurutulmasında farklı araştırmacılar tarafından kullanılmıştır. Wang ve Sheng [44] tarafından yapılan çalışmada, mikrodalga ve infrared kurutma uygulanan şeftalilerde, materyalin maruz kaldığı şiddetin artması ile kuruma hızının arttığı, enerji tüketiminin azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca şeftalilerin kuruma süresinde iki farklı azalan kuruma hızı bölgesi olduğunu bildirmişlerdir.

Samadi ve Loghmanieh [49] tarafından yapılan çalışmada, infrared lamba kullanarak elma dilimlerinin infrared kurutulması ve sıcak hava ile kurutulması enerji verimliliği açısından karşılaştırılmıştır. Çalışmada, infrared kurutmanın sıcak hava ile kurutmaya göre daha kısa sürede kuruma sağladığı ve spesifik enerji tüketiminin %82-86 arasında daha az olduğu tespit edilmiştir. İnfrared ısıtmada enerjinin ortamı ısıtmadan, direkt ürüne verilmesinin enerji veriminde büyük etkisi olduğu ifade edilmiştir.

Ning ve Han [50], FIR kurutucu ile ginseng kurutulmuştur. FIR kurutucunun sıcak havayla kurutmaya göre daha kısa sürdüğünü, kurutma hızına ürünün boyutlarının etki ettiğini ve kurutma davranışlarını gösteren en uygun modelin Page modeli olduğunu bildirmişlerdir.

Celma vd. [51], üzüm atıklarının infrared kurutucuda 4 farklı sıcaklıkta (100, 120, 140 ve 160ºC) kurutma davranışlarının belirlenmesi amacıyla, 13 tane matematiksel modelle yapılan denemelerde Midilli vd. modelinin en uygunu olduğu tespit edilmiştir.

Doymaz [52], karpuz çekirdeklerinin farklı güçlerde (83, 125, 167 ve 209 W) kurutulması konusunda yapılan çalışmada, kurutma karakteristiğini en iyi gösteren matematiksel modellerin Midilli vd. ve Hii vd. olduğu ifade edilmiştir.

Ponkham vd. [53], kaynar suda 5 dakika haşladıktan sonra %0.25 potasyum metabisülfit çözeltisi ve %2 sitrik asit çözeltisiyle altışar dakika önişleme tabi tuttukları ananasları FIR infrared kurutucuda 1–5 kW/m^2, hava sıcaklığı 40–60°C ve hava hızı 0.5–1.5 m/s olan sıcak hava kurutucu ile kombine bir şekilde kurutmuşlardır. Tüm kurumanın azalan hız periyodunda gerçekleştiği, sabit bir kuruma hızı periyodunun görülmediği tespit edilmiştir.

Karataş ve Kamışlı [54] tarafından farklı olgunluktaki kayısıların infrared ve mikrodalga kurutulmasının vitamin miktarı (A, C ve E), kurutma hızı ve renk parametreleri açısından bakıldığında mikrodalga kurutmanın infrared kurutmaya göre daha yüksek kuruma oranı, daha az vitamin kaybı ve yaş ürüne daha yakın renk değerleri olduğunu bildirmiştir.

2.1.5 Kombine Kurutma Yöntemleri

Son yıllarda gelişen dielektrik ısıtma (mikrodalga, radyo frekansı), ohmik ısıtma, elektromanyetik ısıtma (infrared) gibi kurutma tekniklerinin yanı sıra yüksek güçlü ultrason, vakum altında kurutma tekniklerinin bir veya birkaçının birlikte kombine kullanıldığı uygulamalar artmıştır. Tarımsal ürünlerin sıcak hava ile kurutulması (HAD), yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem homojen, toksik olmayan hijyenik ürün elde etmeyi sağlar. Bununla birlikte yöntem, üründe ciddi büzülme, renk ve rehidrasyon oranı gibi kalite paramertelerinde düşme, yüksek enerji maliyeti ve uzun kuruma süresi gibi dezavantajlara sahiptir [55].

Gıdaların azalan hız periyodunda kuruması sırasında, ürünün düşük ısı iletkenliği nedeniyle kuruma süresi uzamakta ve enerji verimi düşmektedir [41]. Mikrodalga ile kurutma hızlı enerji dağılımı, seçici ısıtma (odaklanma etkisi), düşük oranda suda çözünür bileşenlerin ayrılması gibi avantajlar sağlarken; vakum kurutma, düşük sıcaklıklarda kurutma ve azalan hız bölgesinde daha verimli kurutma gibi avantajlar sağlamaktadır. Mikrodalga kurutma tek başına kullanıldığında mikrodalga ışınlarının ürünler üzerindeki

etkisinin sınırlı olması, düzensiz ısı dağılımının etkisiyle üründe yapısal zararlar meydana getirmesi ve yüksek yatırım maliyetleri gibi dezavantajları bulunmaktadır [56].

İnfrared kurutmanın konvektif kurutmaya göre daha hızlı ve verimli ısı transferi, üniform ürün ısıtması, organoleptik ve yüksek besin içerikli kaliteli son ürün eldesi düşük işletme maliyeti gibi avantajlar sağlamaktadır. Ürünün yapısına göre farklı dalga boyu gereksinimi, uzun süreli uygulamalarda ürünlerde yapısal bozukluklara neden olması, yığın olarak kurutulan ürünlerde homojen kurutma sağlayamaması gibi dezavantajları bulunmaktadır [43], [57], [58].

Farklı gıda maddelerini kurutmak için birçok yöntem başarıyla kullanılmaktadır. Ancak her kurutma tekniğinin kendi içinde avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Farklı kurutma tekniklerinin birlikte kullanımı ile kurutmada önemli olan minimum enerji ve maliyet ihtiyacıyla, kısa sürede yüksek kalitede son ürün elde edilmektir. Bununla birlikte, mikrodalga kurutmada düzgün olmayan ısıtma nedeniyle, üründe aşırı ısınma ve kalite bozulması da meydana gelebilmektedir. Sıcak hava-mikrodalga uygulamaları, ürünün içerisine mikrodalga radyasyonunun hızlı nüfus etmesine ve içsel ısınmasına neden olur. Bu ısınmayla birlikte ürünün içerisindeki iyon hareketi ile kütle transferi gerçekleşir. Ürünün içerisindeki su buharı, ürünün yüzeyine doğru hareket eder. Yüzeyden konvektif hava akışı ile minimum enerji ihtiyacıyla atmosfere atılır. İnfrared sıcak hava kombine kurutulmasında, ürünün IR radyasyonuna maruz kalmasıyla iç yüzeydeki moleküler titreşim, ürünün çevresi ısıtılmadan ısı oluşarak nemin ürünün içerisinden yüzeye hareketini sağlar. Yüzeydeki konvektif sıcak hava sayesinde enerji harcanmadan nem uzaklaştırılır. Bu sırada ürünün sıcaklığında düşme, son ürünün kalitesi bakımından olumlu etki yapar. Literatürde farklı ürünlerin kurutulmasında kombine kurutma sistemlerinden yararlanılmıştır.

İncedayı vd. [59] yaptıkları çalışmada, kayısıların sıcak hava (50-75^{o}C), mikrodalga (90-160W) ve kombine (50°C + 90W, 50°C + 160W, 75°C + 90W, 75°C + 160W) kurutma yöntemleri kullanarak kurutmuşlardır. Farklı kurutma işlemlerinden mikrodalga-konvektif yöntem, kısa bir kurutma süresi ile antioksidan aktivite muhafaza ederken daha yüksek bir β-karoten içeriği elde edildiği bildirilmiştir. Renk değerleri bakımından yüksek sıcaklık ve mikrodalga güçlerinde L değerlerinde düşmenin çok yüksek olması genel olarak düşük sıcaklık değerlerinde (50°C + 90 W) en iyi sonuç gözlenmiştir. Özellikle en düşük L değerlerine 160 W mikrodalga gücünde kurutulan ürünlerde gözlenmiştir.

İsmail vd. [32] yaptıkları çalışmada şeftali dilimlerini önişlemli (%5'lik sitrik asit çözeltisinde 3 dakika) ve ön işlemsiz olarak mikrodalga (90, 180, 360 ve 600 W), infrared (125 W) ve kombine [IR (125W) + MW (180W)] olmak üzere üç farklı kurutma yöntemi ile kurutulmuştur. Mikrodalga ile kurutulan örneklerin 90, 180, 360 ve 600 W için kurutma süreleri sırasıyla 58, 13, 7 ve 5 dakika sürmesine rağmen yüksek şeker içerikleri nedeniyle şeftali yüzeyinde yanmalar görülmüştür. Infrared kurutmada ön işlem ugulanan ve uygulanmayan şeftaliler sırasıyla 210 ve 225 dakikada, kombine kurutma ise bu süre %40 ve %44 oranında kısalmıştır. Kombine kurutmanın şeftali kurutmada başarılı bir şekilde uygulanabileceği görülmüştür.

El-Mesery ve Mwithiga [60], elma dilimlerinin infrared ve sıcak hava (IR+HA), (2000 W/m^2 + 60°C), infrared ve soğuk hava ile kombine (IR+CA) (2000 W/m^2 + 30°C) kurutulması ve sadece 60°C'de sıcak hava (HA) olmak üzere 3 farklı kurutma sistemini karşılaştırmışlar. Kombine (infrared + sıcak hava) kurutmanın sadece sıcak hava ve infrared + soğuk hava kombine kurutmasına göre daha kısa sürede ve daha az enerji gerektirdiği tespit edilmiştir. Ayrıca kombine sistemde (IR+CA) kurutulan ürünlerde daha az büzülme, daha yüksek rehidrasyon oranı ve daha iyi renk özelliğine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Si vd. tarafından [61] yapılan çalışmada, ahududunun infrared-mikrodalga vakum kombine kurutulmasının, kurutma süresini kısaltmasının yanında yüksek rehidrasyon kapasitesi ve antioksidan aktivitesine sahip ürün elde edilmesini sağladığı bildirilmiştir.

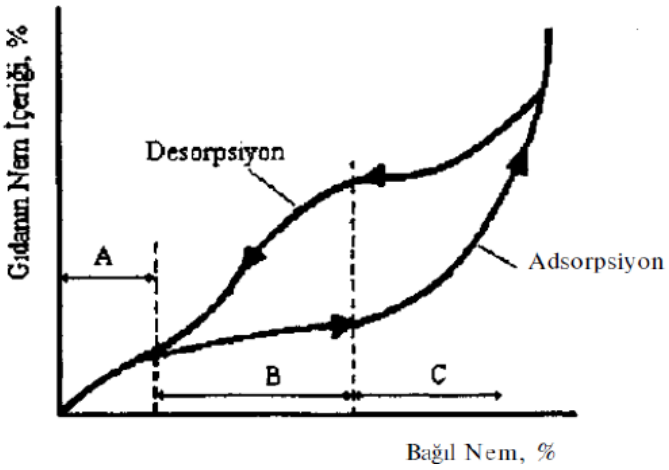
Nathakaranakule vd. [62], Tayland'ta mevsimsel olarak yetişen uzun süreli kullanımı için kurutulan logan meyvesinin %84-86 (yb) nem içeriğinin %18 (yb) düşürülmesinde ısı pompası (55°C), sıcak hava (65ºC) ve farklı şiddetlerde (250, 350 ve 450 W) infrared (FIR) kurutucu ile kombine sistemler kullanılarak ürünün kurutma davranışlarını ve son ürünün kalitesi üzerinde etkilerini incelemişlerdir. İnfrared kurutucu ile kombine bir şekilde yapılan kurutmaların hepsinde kurutma hızının arttığı kurutma süresinin azaldığı tespit etmişlerdir. Kalite parametreleri açısından elde edilen son ürünün daha fazla porositeye sahip olduğu bununda büzülmeyi önlediği ve yüksek rehidrasyon kapasitesine sahip yumuşak ve dayanıklı kurutulmuş son ürün elde edildiği bildirilmiştir. Renk açısından infrared (IR) tekniğinin kullanıldığı tüm kurutmalarda taze ürüne göre meyvenin a ve b değerlerinin artığı L değerlerinin ise azaldığı tespit edilmiştir.

2.2 Kurumanın Kinetiği ve Modellenmesi

Kurutma sırasında ürünün gösterdiği yaklaşımlar ve teorik bilgilerin oluşturulması son derece önemlidir. Tüketicilerin değişen ve artan taleplerinin karşılamaya yönelik kaliteli son ürün eldesi için, optimum proses koşullarının, ekipman dizaynı ile birleştirilerek artan rekabet ortamında kurutmada ihtiyaç duyulan yüksek enerji gereksinimlerini düşük maliyette karşılabilecek koşulların belirlenmesinde matematiksel modeller kullanılmaktadır. Tarım ürünlerinin kurutma davranışı, nem difüzyonu, aktivasyon enerjisi, kütle ve ısı transferi gibi ürünün termal ve fiziksel özelliklerine bağlı olarak belirlenmektedir. Gıdaların homojen olamayan yapısı göz önüne alındığı zaman modelleme sırasında bu faktörlerin bilinmesi ideal bir kurutucu tasarımı için gereklidir [63]. Modellemenin prensibinde kurutma sistemini en iyi açıklayan bir dizi matematiksel denklem çözümünün belirtilen koşullarda proses parametrelerinin zamanın fonksiyonu olarak açılımına dayanır [64].

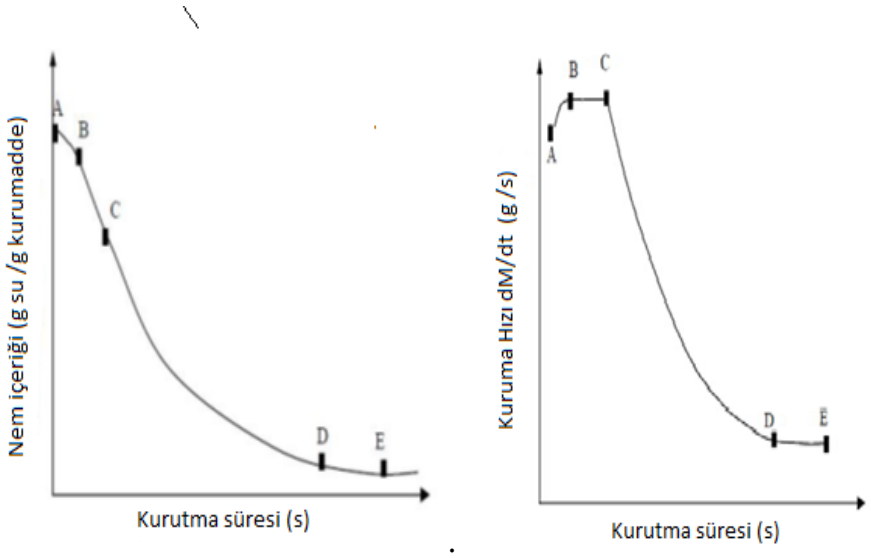
Kurutma, gıda maddesinde bulunan suyun buharlaşması için gerekli ısının verilmesi ve buharın gıda maddesinden uzaklaştırılması işlemidir. Eş zamanlı olarak ısı, kütle ve momentum transferlerinin gerçekleştiği karışık bir işlemdir. Kurutulacak maddenin yapısı önemlidir. Higroskobik olmayan materyallerde bulunan su, serbest su niteliğinde olduğundan kuruma su oranı sıfır oluncaya kadar devam ederken, gıda maddeleri gibi higroskopik materyalde bulunan su farklı şekillerde bulunur. Gıdalar su aktivitelerine göre nemli gıdalar ($a_w > 0.92$), yarı nemli gıdalar ($0.62 < a_w < 0.92$) ve kuru gıdalar ($a_w < 0.62$) olarak gruplandırılmaktadır [65].

Gıdaların su içeriğinin tanımlanmasında soprsiyon izotermlerinden yararlanılmaktadır. Gıdanın absorbe ettiği su miktarının (denge su içeriği) etrafındaki havanın bağıl neminin fonksiyonu olarak grafiğe geçirilmesi ile soprsiyon izotermleri elde edilir. Şekil 2.5'deki gibi izotermler vasıtasıyla gıda bulunan suyun 3 farklı fiziksel niteliği gösterilmektedir. Bağlı su dediğimiz bağlandığı grubun unsuru gibi davranan çözücü nitelikte olmayan su (A bölgesi), ikinci bölge (B bölgesi) daha zayıf bağlanmış su görülürken, C bölgesinde tamamen serbest su dediğimiz kurutmada en kolay ve hızlı uzaklaşan sudur.



Şekil 2.5 Adsorpsiyon ve desorpsiyon eğrileri [5]

Kinetik açıdan kurumanın incelenmesi sırasında, materyal ile çevresindeki hava arasındaki nem alışverişi, kuruma süresince geçen zaman da dikkate alınarak incelenir. Kurumakta olan bir gıda maddesinin nem düzeyi ile kuruma süresi arasındaki ilişki kuruma eğrileri ile belirlenir. Kuruma hızı birim zamanda gıdadan uzaklaşan nem miktarı olarak tanımlanır. Şekil 2.6'da kurutma süresiyle gıdanın nem içeriğinin ve kuruma hızının değişimleri gösterilmiştir. Genel olarak artan, azalan ve sabit hızda kuruma hızı evreleri olmak üzere üç farklı kuruma hızı evresi görülmektedir. Bu evreler, materyalin ısınma evresi (AB), sabit hızla kuruma periyodu veya evresi (BC) ve azalan hızla kuruma evresi veya azalan hız periyodu (CE) şeklinde adlandırılabilir [16], [22].



Şekil 2.6 Karakteristik kuruma eğrileri

AB aşaması gıdanın genel ısınma aşamasıdır. Bu aşama gıdanın sıcaklığının kurutucu gazın sıcaklığıyla dengelendiği zamana kadar devam eder. Bu evre birçok gıda kurutulması sırasında çok hızlı olmasından dolayı görülmemekte veya tüm kurutmanın çok küçük bir kısmını oluşturduğundan ihmal edilebilmektedir.

BC bölümü sabit hızda kurutma evresini göstermektedir. Bu aşamada gıdanın yüzeyi suyla doygun durumdadır. Gıdada bulunan serbest suyun uzaklaşma dönemidir. Gıdanın yüzey sıcaklığının ıslak termometre sıcaklığına eşit olduğu dönemdir. Bu evrenin bitiminde gıda kritik nem seviyesine ulaşır. Şekil 2.6'da C noktası ile gösterilmiştir. Kritik nem içeriği, genellikle maddenin kalınlığı ve dış kurutma koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Bazı meyve ve sebzelerin kritik nem içeriği, meyvelerin 5.5-7.7 g su/g kurumadde, sebzelerin ise 3.5 ile 5.0 g su/g kurumadde arasında değişmektedir. Bu oran meyve sebzelerin başlangıçtaki nem içerine çok yakındır.

CD azalan hız evresi veya periyodu olarak bilinir ve bu evrede gıdanın yüzeyi tamamen kurudur. Gıdanın yüzey sıcaklığı ıslak termometre sıcaklığının üzerine çıkmaktadır. Bu evre bazı gıdalarda birden fazla görülürken bazılarında ise tek bir azalan hız evresi olarak görülmektedir. Su, gıdanın yüzeyine iç kısımlardan difüzyon ile taşınır. Bu azalan hız evresinde gıdanın üst kısımlarında kabuk bağlama, büzüşmeler ve kırılmalar görülür. Bu aşama nem kaybı sona erene kadar devam etmektedir. Kurutulan örneğin bazı bölgelerinde nem kaybından dolayı gözenekli hale gelmesine rağmen materyalin büyük bir kısmı, bu sürenin erken evrelerinde gözeneksiz kalır [66],

Kurutma sırasında birçok tarım ürünleri gibi gözenekli ürünlerde nemin taşınması farklı mekanizmalarla olur. Bunlar: sıvı difüzyonu, kapiler difüzyon, yüzey difüzyonu, buhar difüzyonu ve bunların kombinasyonları ile meydana gelir. Gıdalarda azalan hız periyodunda Fick'in ikinci kanunu olarak bilinen sıvı difüzyon teorisi yaygın olarak kullanılmaktadır [17], [66], [67].

Kurutmanın modellenmesinde birçok meyvenin kuruma karakteristiğini göstermek amacıyla kuruma eğrilerini tanımlayan ince tabaka modelleri kullanımı yaygındır. Genel olarak ince tabaka modelleri; teorik, yarı-teorik ve ampirik modeller olmak üzere üçe ayrılmaktadırlar [68], [69], [70]. Tarım ürünlerinin kurutmasında teorik modeller yerine daha kolay ve pratik olan yarı-teorik ve ampirik modeller tercih edilir.

Literatürde farklı araştırmacılar tarafından gıdaların kurutulmasında kullanılan bazı matematiksel modeller Çizelge 2.2'de gösterilmiştir. Teorik modeller nem transferinin iç

direnç mekanizmaları ile kontrolünü temel alırken, diğer modeller dış kütlesel dirençleri baz almaktadırlar. Ayrıca yarı-teorik modeller Fick kanunun çözümü ile elde edilir. Henderson ve Pabis modeli Fick'in ikinci kanunun genel bir dizi çözümün ilk terimidir.

Çizelge 2.2 Farklı araştırmacılar tarafından verilen matematiksel modeller

Model Adı	Model	Referans
Lewis/Newton	$MR = exp(-kt)$	[71]
Henderson ve Pabis	$MR = aexp(-kt)$	[72]
Logarithmic	$MR = aexp(-kt) + c$	[73]
Verma *vd.*	$MR = aexp(-kt) + (1-a)exp(-gt)$	[74]
Parabolic	$MR = a + bt + ct^2$	[75]
Wang ve Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	[76]
Page Modifiye Page	$MR = exp(-kt^n)$ $MR = exp(-(kt)^n)$	[77], [78]
Midilli vd.	$MR = aexp(-kt^n) + bt$	[76]
Weibull	$MR = exp(-(\frac{t}{b})^a)$	[79]
Aghbashlo vd.	$MR = exp(-(\frac{at}{1+bt}))$	[80]
Difüzyon yaklaşımı	$MR = aexp(-kt)(1-a)exp(-kbt)$	[81]
Two-term Exponential	$MR = aexp(-kt)(1-a)exp(-kat)$	[82]
Diamante vd.	$ln(-lnMR) = a + b(lnt) + c(lnt)^2$	[83]
Thompson	$t = a\ ln(MR) + b((lnMR))^2$	[84]
Silva vd.	$MR = exp(-at - b\sqrt{t})$	[85]

Ampirik modeller nem içeriği ve zaman arasındaki istatistiksel ilişkilerden türetilebilmektedir ve zamanla boyutsuz nemin değişiminin tahmini amacına dayanır [86], [87]. Yarı-teorik modellerin kullanımı kolaydır ve deneysel verilerin kullanımında daha az varsayıma ihtiyaç duymasına rağmen sadece uygulanan proses koşullarında geçerlidirler. Ampirik modellerde yarı-teorik modellerle benzer özelliktedir. Deney koşullarına bağlıdır ve ürünün kuruma davranışları hakkında sınırlı bilgi verirler.

Yarı teorik modeller türevlerine göre sınıflandırılabilir. Newton'un soğutma yasasından türetilen modeller: Lewis, Page ve Modifiye Page'dir. Fick'in ikinci kanunundan türetilen modeller ise: Yarı teorik modeller Henderson ve Pabis, Midilli vd. ve Logaritmik modellerdir. Ampirik modeller ise: Thompson ve Wang ve Singh modelleridir [88].

Farklı araştırmacılar tarafından kullanılan ve Çizelge 2.2'de verilen modellerde kullanılan MR boyutsuz nem oranı olarak isimledirilir ve Denklem (2.1)'deki şekilde hesaplanır.

$$\mathrm{MR} = \left(\frac{\mathrm{M} - \mathrm{M_e}}{\mathrm{M_0} - \mathrm{M_e}}\right) \tag{2.1}$$

Ürünün belli bir t anında sahip olduğu nem içeriğinin (M), ürünün ilk nem içeriğine (M_0), denge nem içeriği (M_e) bu değer için genelde zamanla ağırlık değişiminin gözlenmediği andaki son nem içeriği kullanılır. Uzun kurutma prosesi koşullarında ihmal edilebilir [64], [89], [90].

Kuruma hızı (DR), denklem (2.2)'de ki gösterildiği gibi hesaplanmaktadır [52].

$$DR = \left(\frac{M_t - M_{t+dt}}{dt}\right) \tag{2.2}$$

Bu denklemde; *DR* kuruma hızıdır [(kg su) / (kg kuru madde × s)] M_t, t anındaki ve M_{t+dt}, t+dt aralığındaki nem içeriği [(kg su) / (kg kuru madde)].

Kuruma hızına etki eden faktörlerin başında ürünün spesifik özellikleri ve kurutma havasının özellikleri gelir. Ürünün büyüklüğü, geometrisi, kurutucuya yerleştirilme şekli ve yüzey alanı gibi fiziksel özelliklerinin yanı sıra üründeki şeker, tuz içerikleri gibi maddenin kimyasal yapısıda önemlidir. Kurutulan ürünün küçük parçalara ayırmak koşulu ile yüzey alanı artırılarak kurutma hızı artırabilir. Suda çözünmüş maddelerce zengin gıdalarda suyun buhar basıncının düşük olması, buharlaşmayı zorlaştırır ve buharlaşmanın yavaşlamasına neden olmaktadır. Gıdanın yapısında bulunan suyun glikoz monohidratta olduğu gibi suyun bağlı veya suyun hücreden ayrılmasını kontrol eden hücre zarının geçirgenlik gibi ürüne has özellikleri kurutma hızına etkilemektedir. Kullanılan havanın nem içeriği fazla olduğunda kurutma hızı düşer ve kuruma süresi uzar. Kurutma havasının kuru termometre sıcaklığı ile yaş termometre arasındaki sıcaklık farkı artıkça kurutma hızı da artar. Kurutma havasının hızı belli bir hıza kadar artıkça kuruma hızında artış gözlenirken belli hızdan sonra etkisi olmamaktadır Cemeroğlu vd. [5].

2.3 Efektif Difüzyon Katsayısı ve Aktivasyon Enerjisi

Kurutma işlemi sırasında katılar içinde gerçekleşen sıvı, buhar ve yüzey difüzyonu gibi farklı mekenizmaları içerir. Belirgin (veya efektif) bir difüzyon katsayısı veya difüzivite tüm nem transfer mekanizmalarının iletken terimini temsil eden efektif nem difüzivitesi (D_{eff}) olarak tanımlanır. Bu parametre genellikle deneysel kurutma eğrilerinden belirlenir. Biyolojik maddeler için azalan hız periyodu sırasındaki kurutma işlemini tanımlanması, efektif difüzyon katsayısının belirlenmesi ve nem difüzyonunun açıklanması için denklem (2.3)'deki Fick'in ikinci kanunu kullanılmaktadır;

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \nabla\left[D_{eff}(\nabla M)\right] \tag{2.3}$$

Burada; m nem içeriği (k.b.), t süre (s) ve D_{eff} efektif difüzyon katsayısısıdr (m^2/s). Gıda ürünlerinin tek boyutlu oldukları ve ilk nem içeriklerinin ürün içerisinde üniform olarak dağıldığı varsayılmaktadır. Ayrıca, nem transferinin sadece difüzyonla, difüzyon katsayısının ve sıcaklığın sabit, kurutma süresince büzülmenin olmadığı, dış ve iç ısı transferinin etkisinin ihmal edilerek, kütle transferinin merkeze göre simetrik olduğu kabul edilmiştir [66], [71], [88], [91], [92], [93]. Bu durumda gerekli sadeleştirmeler yapıldıktan sonra Fick kanunu;

Kartezyen kordinatlarda;

$$MR = \frac{8}{\pi^2}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{1}{(2n+1)^2}exp\left(-\frac{(2n+1)^2\pi^2 D_{eff}t}{4L^2}\right) \tag{2.4}$$

Küresel kordinatlarda;

$$MR = \frac{6}{\pi^2}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n^2}exp\left(-\frac{n^2\pi^2 D_{eff}t}{r^2}\right) \tag{2.5}$$

Bu denklemlerde (2.4 ve 2.5) D_{eff} efektif difüzyon katsayısını (m^2/s), t zamanı (s), L örnek kalınlığının yarısını (m), r yarıçapı (m) ve n pozitif tamsayıyı gösterir. Uzun kurutma sürelerinde denklem (2.4 ve 2.5) serilerinin ilk terimi alınabilir ve denklem (2.6 ve 2.7) şeklinde ifade edilir.

$$MR = \frac{8}{\pi^2} exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (2.6)$$

$$MR = \frac{6}{\pi^2} exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{r^2}\right) \quad (2.7)$$

Zamana karşı ln (MR)- t grafiğinin eğim (π^2 $D_{eff}/4L^2$ ve $\pi^2 D_{eff}/r^2$) değerlerine eşittir ve yarıçapın veya dilim kalınlığının bilinmesi ile her bir deneme koşulu için efektif difüzyon katsayısı hesaplanabilmektedir [91], [92].

Efektif difüzyon katsayısı (D_{eff}) sıcaklıktan etkilenir. Efektif difüzyon katsayısının sıcaklık ile değişimi Arrhenius tipi üstel bir fonksiyonla denklem (2.8)'deki gibi açıklanmaktadır:

$$D_{eff} = D_0 exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (2.8)$$

Burada D_{eff} efektif difüzyon katsayısı (m^2/s), D_0 sonsuz sıcaklıkta difüziviteye eşdeğer bir sabit, E_a aktivasyon enerjisi (kJ/mol), R üniversal gaz sabiti (8.314 kJ /mol×K), T mutlak kurutma havası sıcaklığıdır (K). ln (D_{eff}) ile 1/T karşı çizilen grafikten sıcaklığın efektif difüzyon katsayısına etkisi incelendiğinde bir doğru elde edilir ve bu doğrunun eğiminden aktivasyon enerjisinin değeri hesaplanır [63], [88].

Termodinamik olarak aktivasyon enerjisi, ürün içinde nem transferi sırasında enerji engelini geçen su molekülleri ile ifade edilir. Aktivasyon enerjisi, gıdalarda kütle difüzyonunu başlatmak için gereken enerjidir [93]. Başka bir deyişle kurutma ürünün iç kısmından dışına nem transferini başlatmak için gereken enerjinin bir göstergesidir [94]. Örnek kalınlığı ve kurutma yöntemleri, örnek yüzey alanı ve ön işlemlerin aktivasyon enerji değerlerini önemli ölçüde etkilemektedir [94], [95]. Aktivasyon enerjisi (E_a) değeri, difüzivitenin sıcaklığa duyarlılığını gösterir. Aktivasyon enerjisi E_a değeri arttıkça küçük sıcaklık değişimleri daha fazla difüzivitenin değerinde değişikliğe neden olur. Bu prosesin sıcaklık değişimine daha duyarlı olduğunu göstermektedir [95], [96].

Mengeş ve Ertekin [97] yaptıkları çalışmada 1, 2 ve 3 m/s hava hızında 70, 75 ve 80ºC laboratuvar tipi kurutucuda kükürtlü ve doğal olarak kurutulan kayısıların verilerinden yararlanarak 14 farklı model için yaptıkları bir kinetik çalışmada Page modelin en uygun model olduğunu bildirmişlerdir.

Toğrul ve Pehlivan [98], bir kurutma bölmesi içinde, sıcak havanın akış yönünde asılı kayısıları havanın farklı akış hızı (0.2, 0.5, 1.0 ve 1.5 m/s) ve sıcaklıklarda (50, 60, 70 ve 80^{o}C) kurutma denemeleri yapmışlardır. Sonuç olarak kurutma yönteminin kuruma hızı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla zamanla nem içeriğindeki ve kuruma hızındaki değişim grafiğe geçirerek kayısı kurumasının azalan kuruma hızı evresinde gerçekleştiğini tespit etmişlerdir.

Mengeş vd. [99], Malatya Bölgesi'nde yetiştirilen Hacıhaliloğlu çeşidi kayısılar 70, 75 ve 80^{o}C hava sıcaklıklarında, 1, 2 ve 3 m/s hava hızlarında kükürtlü ve kükürtsüz olarak kurutmuşlardır. Kayısıların kükürtleme işlemi ile kuruma hızının artığı tespit etmişler ve ayrıca artan sıcaklık ile hem kuruma hızının hem de efektif difüzyon katsayısının arttığı görülmüştür. Efektif difüzyon katsayısı, kükürtlenerek kurutulan kayısılarda 4.952×10^{-10} ile 1.362×10^{-9} m^2/s arasında, kükürtlenmeden kurutulan kayısılarda ise 3.549×10^{-10} ile 7.180×10^{-10} m^2/s arasında olduğunu bildirmişlerdir.

Bozkır [100], kayısıları farklı sıcaklık ve hızdaki hava ile yaptığı kurutma çalışmasında tüm kurutmanın azalan kuruma hızı evresinde olduğunu bildirmiştir. Kayısıların kurutma karakteristiğini belirlemek için kuruma hızının zamanla ve nem içeriğiyle ilgisini anlamak için 14 farklı modelle uygunluğunu hesaplamışlar ve en uygun modelin logaritmik olduğunu bildirmişlerdir.

Mirzaee vd. [101] yaptıkları çalışmada, kayısıların 1 ve 2 m/s hızda ve 40, 50, 60 ve 70ºC sıcak havayla kurutmuşlar ve çalışmalardan elde ettikleri verileri 12 farklı matematiksel modelle test etmişlerdir. Midilli vd. ve Logaritmik modellerin en iyi modeller olduğu belirtmişlerdir.

Toğrul ve Pehlivan [74] çalışmalarında, ikiye bölünmüş ve çekirdekleri çıkartılmış kayısıları kükürtlenmesinde sodyumbisülfit ($NaHSO_3$) çözeltisi ve SO_2 gazı kullanmışlardır. Kükürtlenen ve ön işlem uygulanmayan kayısıların güneş altında kurutulmasının modellenmesi üzerine yaptıkları çalışmada kurutmanın azalan kuruma hızı bölgesinde olduğunu sabit kurutma hızının görülmediğini bildirmişlerdir. Kurutmadan elde edilen verilerle kurutma model seçimi için istatiksel olarak on iki farklı modelle uygunluğunu araştırmışlar ve önişlemsiz ve SO_2 gazı ile kükürtlenen kayısıların kurutmasını en iyi gösteren modelin difüzyon modeli olduğunu bununla birlikte $NaHSO_3$ çözeltisi ile kükürtlenen kayısıların kurutulmasının en iyi gösteren modelin modifiye Henderson ve Pabis modeli olduğunu bildirmişlerdir.

Igual vd. [34], ikiye böldükleri ve sodyum metabisülfitle ön işlem yaptıkları kayısıları sıcak hava (40 ve 60ºC), mikrodalgada ve sıcak hava mikrodalga kombine olmak üzere 3 farklı şekilde kurutma uygulamışlardır. Sıcak havayla kurutma ve kombine kurutmanın azalan hız periyodu için Page modelinin uygun model olduğunu tespit etmişler. Lineer modelin ise mikrodalga kurutmaya ve kombine kurutma sistemindeki başlangıç periyodu için uygun olduğunu tespit etmişlerdir.

Faal vd. [102], kayısının sıcak hava ve güç kaynağı kullanılan kombine bir kurutma sisteminde 50, 60, 70, ve 80°C sıcaklık ve %25, %50, %75 ve tam dolu güç seviyelerinde 0.5 m/s hava hızında gerçekleştirdikleri kurutma sonunda kayısı kurutma işleminin iki farklı azalan kurutma periyodunda gerçekleştğini ve en uygun kurutma modelin seçiminde kulladıkları on bir farklı model arasından logaritmik modelin en iyi sonuç verdiğini bildirmişlerdir.

Übeyitoğulları ve Çekmecelioğlu tarafından [103] hemiselüloz ve kitozan ile kaplananan Hacıhaliloğlu kayısıların ve kükürtlenmiş olarak kurutulan kayısılarla karşılaştırıldığı çalışmada, renk değerleri bakımından en iyi sonucu kükürtlü kayısıların verdiği, kitozan ile kaplanan kayısıların doğal olarak kurutulan kayısılar arasında renk değerlerinde fark gözlenmediği, hemiselüloz ve kitozan ile kaplı kayısıların ön işlemsiz kayısılara göre daha yüksek rehidrasyon oranı olduğu bildirilmiştir. Kaplanmış ve kaplanmamış kayısılar için sabit bir kuruma bölgesinin gözlenmediği ve iki tane azalan hız periyodu olduğu gözlenmiştir. Kuruma sırasında çeşitli sıcaklıklarda %2 hemiselüloz kaplanan kayısıların 60, 70 ve 80°C'de sıcaklıklarda ve 1 m/s hava hızı ile kurutulmasının sonucunda Page, Newton ve Logaritmik modeller arasından 60 ve 70°C sıcaklıklarda kuruma için en iyi modelin Logaritmik olduğunu 80ºC'de kuruma için Page modelin en iyi olduğu tespit edilmiştir.

İzli [104], kurutmadan önce küp şekline (9×9×9 mm) getirilmiş kayısıların, konvektif kurutucu (50 ve 75ºC), mikrodalga kurutucu (90 ve 160 W) ve kombine kurutucu (90W + 50ºC, 90W + 75ºC, 160W + 50ºC ve 160W + 75ºC) kullanarak yaptıkları çalışmada kurutucuları karşılaştırmışlardır. Örneklerin kuruma süreleri açısından birbirleriyle karşılaştırıldıklarında, mikrodalga-konvektif kombine yöntem ile kurutulan örneklerin, yalnızca mikrodalga ile ve yalnızca sıcak havayla kurutulan örneklere göre daha kısa sürede kuruduklarını bildirmiştir. İncelenen dokuz farklı ince tabaka kurutma modeli arasından istatistiksel olarak Midilli vd. modelinin kullanılan 3 farklı kurutma yöntemi içinde en uygun model olduğunu bildirmiştir.

BÖLÜM 3

KAYISI VE KAYISI ATIKLARI

3.1 Kayısı

Kayısı (*Prunus armeniaca* L.), Rosales takımının Rosaceae familyasının Prunaideae alt familyasının Prunus cinsine girer. Bu tür, zerdalinin (*P. Armeniaca L.)* aşı ile çeşit halinde çoğaltılan bir kültür tipidir [1]. Bilimsel araştırmalara göre Şekil 3.1'de gösterilen kayısının ana vatanı, Orta Asya'dan Batı Çin'e doğru uzanmaktadır. Kayısı, meyve şekillerine göre; küçük meyveli kayısılar ve büyük meyveli kayısılar, kullanım amaçlarına göre ise sofralık kayısı (Şekerpare ve Takaloğlu), kurutmalık kayısı (Hacıhaliloğlu, Çataloğlu, Kaba aşı, Çöloğlu ve Takaloğlu) ve sanayi tipi kayısı (Royal, Tilton ve Macar) olmak üzere sınıflandırılabilirler [2]. Bugün dünyada 1750'nin üzerinde kayısı çeşidi ve melezi bulunmakla birlikte, her ülkede ekonomik anlamda yetiştiriciliği yapılan kayısı çeşidi sayısı 5-10'u geçmemektedir [3].



Şekil 3.1 Kayısı [6]

Ülkemiz Dünya yaş kayısı üretiminde, kurutulmuş kayısı ihracatında ve kayısı üretim alanları bakımından önemli bir yere sahiptir. FAOSTAT verilerine [4] göre 2015 yılında

dünyada 3965406 ton kayısı üretilirken Türkiye bu miktarın %17.55'ni tek başına karşılayarak birinci sırada yer almaktadır. 2016 yılında Dünyada 568014 hektar alanda 3881204 ton kayısı üretilirken, Türkiye'de 123805 hektar alanda 730000 ton kayısı; 2017 yılında Dünyada 508947 hektar alanda 3365738 ton kayısı üretilirken, Türkiye'de 117907 hektar alanda 278210 ton kayısı üretilmiştir. Son yıllarda kayısı üretim alanları ve üretilen kayısı miktarları Çizelge 3.1'de verilmiştir. 2017 yılında Türkiye %23.14 kayısı üretim oranı ile Dünya kayısı üretiminde önemli bir yere sahiptir. En önemli kayısı üretim bölgesi Malatya bölgesidir. Malatya ili tek başına Türkiyede yaş kayısı üretiminin yarısını, kuru kayısı üretiminin de %80-90'ını üretmektedir. Örneğin 2013 yılında Türkiye'de 811609 ton yaş kayısı ve 161893 ton kuru kayısı üretilmiş. Malatya bölgesi 411825 ton yaş kayısı ve 115945 ton kuru kayısı ile en yüksek oranı oluşturan bölgemizdir. Türkiye'de 2013 yılında ihraç edilen kuru kayısı miktarı 117861 ton iken 95000 tonunu Malatya bölgesinde kurutulan kayısılar oluşturmaktadır [6].

Çizelge 3.1 Türkiye'de ve Dünya'da kayısı üretimi [4]

	2015		2016		2017	
	Üretim (Ton)	Alan (Hektar)	Üretim (Ton)	Alan (Hektar)	Üretim (Ton)	Alan (Hektar)
Türkiye	696100	123176	730000	123805	985000	125049
Dünya	3965406	563742	3881204	568014	4257241	536072
Dünyadaki payı (%)	17.55	21.85	18.81	21.79	23.14	23.32

Malatya kayısılarının en önemli özelliği, kurutmaya elverişli olmasıdır. Bu bölgede yetişen kayısılarda meyvede suda çözünür kuru madde miktarı (SÇKM) yüksek, organik asit miktarı ise düşüktür. Suda çözünür kuru madde miktarı/asit oranı, meyve olgunluk indeksi olarak kullanılmaktadır [7]. Kayısıların %22–28 arasında değişen yüksek kuru madde oranıyla 1 kilo kuru kayısı elde etmek için 3-5 kilo yaş kayısı yeterli olurken, diğer bölgelerde yetişen kayısılardan 1 kilo kuru kayısı elde etmek için 5-7 kilo yaş kayısıya ihtiyaç duyulmaktadır. Meyvelerde tatlılık 'briks/asit' oranı ile belirlenir. Malatya bölgesinde yetişen kayısılarda bu tatlılık oranı 80-120 değerlerle diğer bölgelerde yetişen çeşitlere oranla oldukça yüksektir [5], [6]. Malatya bölgesinde yetişen kayısı çeşitliliği fazladır. Yetiştirilen çeşitlerinin %60-65'ini Hacıhaliloğlu, %30-35'ini Kabaaşı, geriye kalan %3-5'lik kısmı ise Çataloğlu, Hasanbey, Soğancı ve %1'lik bölümü ise diğer çeşitlerden oluşmaktadır [3], [6].

Kurutmalık olan Hacıhaliloğlu kayısı meyveleri, çözünür kuru madde miktarı %24-28 olan orta irilikte, 20-35 g ağırlıkta, meyve şekli oval, simetrik ve et rengi sarı, kırmızı yanak oluşturma eğilimindedir. Kabaaşı kayısısı kuru madde miktarı %24-26 arasında değişen, meyve şekli ve çekirdekleri oval biçimde olan, tatlı ve sert dokulu olan bir çeşittir. Çataloğlu kayısısı meyvesi ise orta irilikte olup 25-35 g ağırlığında, meyve kabuk ve et rengi sarıdır. Bu çeşidin meyve eti tatlı ve sert olup simetrik iki parçadan oluşur. Meyve çekirdeği 1.7-2.1 g ağırlığında olup şekli ovaldir. Bunların dışında Hasanbey Şekerpare, Sofralık Şalak (Aprikoz), Karacabey, Hacıkız ve Çiğli kayısısı gibi farklı kayısı türleri ülkemizde yetişmektedir [3], [5].

3.1.1 Kayısının Besin Değeri

Kayısı vitamin, mineral, polifenoller, karotenoidler ve doğal salisilik asitler gibi sağlığı arttırıcı bileşikleri içeren iyi bir kaynaktır. Mevsimsel ve çabuk bozulan yapısı nedeniyle kayısı, uzun süreli tüketim için daha çok kurutularak veya işlenerek değerlendirilmektedir. Kuru ve taze kayısının besin değerleri Çizelge 3.2'de verilmiştir [3], [5], [9].

Kayısı, minerallerden potasyum ve vitaminlerden A vitaminin öncül maddesi beta karoten yönünden çok zengindir. Meyvelerin karotenoidler ve polifenoller gibi antioksidan bileşikleri yüksek içerikleri nedeniyle hastalıklarla mücadelede rol oynadığı bilinmektedir. Kayısı meyvesi, önemli bir provitamin A karotenoid kaynağıdır. Provitamin A aktivitesi, retinol eşdeğeri (RE) veya uluslararası ünite (IU) olarak kullanılmaktadır. 1 Retinol Eşdeğeri yaklaşık 3.33 IU ve 6 µg beta-karotene eşittir. 30 g kurutulmuş olarak veya 250 g taze olarak tüketilen kayısı meyvesi önerilen günlük A vitamini değerini sağlayabilir [16], [105].

Gündoğdu vd. tarafından [106] yapılan bir çalışmada, kayısının A vitamini değerinin 4.61-6.60 µg/g arasında değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. Tokoferol miktarlarının alfa tokoferol 0.011-0.015 mg/g, gamma tokoferol miktarı 0.001-0.016 mg/g ve delta tokoferol miktarı 0.00-0.007 mg/g arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Munzuroğlu vd. [107] tarafından kayısılarda vitamin düzeylerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada ise bazı kayısı türlerinde A vitamini düzeyi ortalama olarak 0.149 µg/g olarak belirlenmiştir. Sağlıklı bir birey günde 50-260 g kuru kayısı tükettiğinde günlük A-C vitamini, beta-karoten ve selenyum ihtiyacını (RDA miktarı) karşılayabilmektedir.

Buna karşın kayısının E vitamini açından yüksek E vitamini içeren meyve sebzelere göre fakir bir besin kaynağı olduğunu tespit etmişlerdir.

Çizelge 3.2 Taze ve kurutulmuş kayısıların 100 g için besin içeriği [3]

Besin türü	**Taze**	**Kuru**
Su (g)	86.4	30.9
Enerji (kcal)	48	241
Protein (g)	1.4	3.4
Yağ (g)	0.4	0.5
Karbonhidrat (g)	11.1	62.6
Diyet lifi (g)	2	7.3
Kül (g)	0.8	2.6
A vitamini (β-karoten) (I.U)	1926	3600
Tiamin (B1Vitamini (mg)	0.03	0.02
Riboflavin (B2 Vitamini (mg)	0.04	0.07
Niasin (mg)	0.6	2.6
Vitamin C (mg)	10	1
Vitamin K (mcg)	3.3	3.1
Vitamin E (mg)	0.9	4.3
Kalsiyum (mg)	13	55
Magnezyum (mg)	10	32
Çinko (mg)	0.2	0.4
Demir (mg)	0.4	2.7
Sodyum (mg)	1.0	10
Potasyum (mg)	259	1162
Fosfor (mg)	23	71

Fenolik maddeler, çok az miktarda bulunmasına rağmen beslenme açısından önem taşımaları ve gıdaların tat ve renk gibi duyusal özelliklerinde rol oynamaların yanı sıra enzimatik esmerleşme reaksiyonlarında substrat olarak görev almaları nedeni ile meyve ve sebzelere uygulanacak işletme parametrelerin belirlenmesinde önem taşırlar. Fenolik maddeler düşük konsantrasyonlarda gıdaları oksidatif bozulmalardan korurken; yüksek

konsantrasyonlarda gıdaların renginin bozulmasına ve protein gibi gıda bileşenleri ile etkileşimlere neden olmaktadır [108].

Hacıseferoğulları vd. tarafından [109] yapılan çalışma sonucunda 6 farklı kayısı çeşidi için ham protein %2.8 -4.29, ham yağ %0.55-3.12, ham lif %0.77-2.41 değerleri arasında değiştiği belirtmişlerdir. Ham kül %2.72-5.34, suda çözünebilen içerik %48.3-74.7, alkolde çözünebilen içerik %19.9-25.9, kuru madde içeriğinin %16.73-22.63, pH değerleri 4.16-5.23 ve asidite oranının %0.17-0.79 (malik asit) değerleri arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Bütün çeşitlerde yüksek miktarda potasyum (K) (20791-33364 ppm), fosfor (P) (1436.49-2643.42 ppm), kalsiyum (Ca) (843.28-1896.53 ppm), sodyum (Na) (773.95-1129.74 ppm) ve magnezyum (Mg) (402.82-765.62 ppm) mineralleri içerdiğini tespit etmişlerdir. Ham protein içeriği genel olarak yabani meyvelerde %5'ten daha düşüktür [16]. Kayısı çeşitli seleksiyonlarıyla ilgili yapılan çalışma sonucunda, kayısıların titre edilebilir asit değerleri 0.51-1.85 ve pH değerleri ise 3.84-5.47 arasında değiştiğini Çukadar vd. [110] tarafından bildirmişlerdir.

Malatya'da yetiştirilen kayısılar, yüksek kuru madde içeriğinden dolayı taşınma ve kurutma gibi işlemler için daha uygundur. Diğer bölgelerde yetişen düşük kuru madde içerikli kayısılar da sofralık tüketime daha uygundur. Türkiye'de yetişen diğer çeşitlere göre Malatya bölgesinde yetiştirilen kayısılar, fenolik bileşikler, karotenoidler, şekerler, organik asitler ve mineral bakımından daha zengin olduğundan iyi bir besin kaynağıdır. Bu bağlamda bakıldığında günlük 3-4 tane taze kayısı yiyerek mineral ihtiyacımızın (K, Mg, Fe, Se, Mn, P ve Zn) büyük bir bölümü karşılanabilmektedir.

Birçok çalışmada belirtildiği gibi, antioksidanca zengin gıdalar tüketmek sağlık açısından önemlidir. Antioksidan bileşenleri ile polifenoller, biyolojik sistemdeki serbest radikalleri temizleme kabiliyetleri ile kalp-damar hastalıklarını ve kanseri önlerken bağışıklık sistemini güçlendirmektedir. Kayısı, antioksidan ve fenolik bileşikler bakımından zengin bir meyvedir [111], [112].

Farklı bölgelerden 11 farklı kayısı çeşidinin toplam fenolikler 4233.70 ile 8180.49 mg/100 g kuru madde (gallik aside eşdeğer) arasında değişirken; toplam karotenoid miktarının 14.83 ile 91.89 mg/100 g kuru madde ve beta karoten miktarının 5.74 ile 48.69 mg/100 g kuru madde arasında değiştiği Akın vd. [113] tarafından bildirilmiştir. Kan ve Bostan [114] çalışmalarında, Malatya'da yoğun olarak yetiştirilen Hacıhaliloğlu, Kabaaşı ve Hasanbey kayısı çeşitleri ile bir zerdali tipinin taze meyve örneklerindeki polifenol

içerikleri belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre her bir kayısı örneğindeki polifenol miktarları birbirinden farklılık göstermiştir.

Muradoğlu vd. [12] yaptıkları çalışmada, Iğdır yöresinde yaygın olarak yetiştirilen kayısı genotiplerinin beslenmede rol oynayan protein ve bazı mineral madde içerikleri belirlemiştir. Kayısı çeşitlerinde protein oranının %0.46-1.16 arasında değiştiğini ve Teberze kayısı çeşidinin protein, potasyum, magnezyum, kalsiyum ve çinko düzeyleri diğer kayısı çeşitlerine göre daha yüksek miktarda olduğu bulunmuştur.

Ruiz vd. [115], kabuk ve et rengine göre 4 gruba ayırdıkları 37 çeşit kayısı üzerindeki renk ölçümlerinde, A vitamini göstergesi olan beta karotenoid içeriklerinin renk yoğunluğundaki etkilerini araştırmışlardır. Toplam karoten içeriği ile renk arasında lineer bir ilişki olduğunu tespit etmişlerdir. Toplam karotenoid miktarının 100 g örnek için 1512-16500 µg arasında, en yüksek miktarların beta karotenden sonra beta kriptoksantin ve gama karoten olduğunu tespit etmişlerdir.

3.1.2 Kayısıların Kurutulmasında Uygulanan Önişlemler

Meyve ve sebzelerin işlenmesinde uygulanan ön işlemler türlere göre değişebilmektedir. Meyve ve sebzelerin kuruma hızını arttırmak, kurutma sırasında ve sonrasında istenmeyen reaksiyonları önlemek, son ürünün besleyici ve organoleptik özelliklerini korumak, son ürün kalitesini artırmak veya kurutma koşullarını, verimini artırmak, maliyetleri azaltmak gibi farklı amaçlarla meyve ve sebzelere farklı ön işlemler uygulanır. Ön işlemler, fiziksel ve kimyasal olarak ikiye ayrılır. Ön işlemlere örnekler; ayıklama, kabuk soyma, haşlama, farklı çözeltilere daldırma, alkali çözeltilere daldırma, kükürtleme ve ultrasonik uygulamalardır.

Önem taşıyan nokta, ürüne en uygun yöntemin seçimidir. Kimyasal ön işlemlerde potasyum ve sodyum hidroksit, potasyum karbonat, potasyum metabisülfat, metil ve etil ester emülsiyonlar, sitrik ve askorbik gibi asitler yaygın olarak kullanılmaktadır [91], [116], [117], [118], [119], [120], [121], [122].

Literatürde uygulanan ön işlemler fiziksel veya kimyasal olarak farklı ürünler için çalışılmıştır. Meyve ve sebzelere uygulanan önişlemlerden yenilebilir kaplamalar, gazların difüzyonunu kontrol etme, meyvelerin olgunlaşma oranını düşürmek, yağlı ürünlerde acılaşmayı önlemek, kararma reaksiyonları geciktirmek, mikrobiyolojik açıdan stabil ve raf ömrünü uzatmak gibi çeşitli avantajlar sağlanabilmektedir [103], [123],

[124]. Kaplama materyalleri genellikle polisakkarit bazlı kaplamalar (selüloz, nişasta, pektin ve kitosan) protein bazlı kaplamalar (soya proteini ve süt proteinleri) lipid bazlı kaplamalar (trigliseritler, yağ asitleri) ve kompozit kaplamalar (polisakkarit-lipit) olmak üzere farklı kaplama malzemeleri kullanılmaktadır. Yapılan bir çalışmada, balkabağının nişasta ile kaplanıp 70^{o}C kurutulmasında renk ve karoten içeriği bakımından iyi ürün elde edildiği Lago-Vanzela vd. [125] tarafından bildirilmiştir. Kayısıların hemiselüloz, kitosan kaplanması ve kükürtlenip kurutulmasında en iyi renk değerlerini kükürtlü kayısıların daha sonra hemiselülozla kaplı kayısılarda tespit edilmiştir. Rehidrasyon oranı bakımından ise kitosanla kaplı kayısıların ön işlem görmeden kurutulan kayısılara oranla daha yüksek rehidrasyon oranına sahip olduğu bildirilmiştir [103]. Elmaların süt proteinine daldırılması sonucunda enzimatik esmerleşme reaksiyonlarının engellendiği gözlenmiştir [123]. Zencefil dilimlerinin alkali etiloleat (%2 EO + %5 K_2C0_3) ile ön işleme tabi tutulması kurutma süresini azaltmıştır. Şeftalilerin %5'lik sitrik asit çözeltisinde 3 dakika bekleterek, infrared ve kombine kurutma (infrared ve mikrodalga) sonucunda ön işlem uygulanan çözeltilerin az da olsa kurutma süresinde kısaltma sağladığı, renk değerlerinde ise toplam renk değişiminin (ΔE) önişlem uygulanan örneklerde daha düşük kaldığı, a/b değerinin taze ürüne en yakın sonucu verdiği İsmail vd. [32] tarafından bildirilmiştir. Yaban mersinin 93°C olan %0.1 NaOH çözeltisinde 5 saniye süreyle daldırılmasının yüksek kuruma sıcaklıkları kullanıldığında kuruma hızını artırmak için çok önemli olduğu Shi vd. [126] tarafından bildirilmiştir. Kayısıların kurutulmasında 5, 10 ve 15 mm kalınlığındaki kayısıların sodyum metabisülfit (1g/L) çözeltisinde 15 dakika daldırma işleminden sonra 30^{o}C kurutulmasında kurutma süresinin sırasıyla 996, 1134 ve 2256 dakika sürdüğünü dilim parça kalınlığının artmasının kuruma süresinde artışa neden olduğu Jafarinaeimi vd. [127] tarafından belirtilmiştir.

Değişen tüketici alışkanlıklarıyla, sağlıklı yaşam ve fonksiyonel ürünlere olan ilgi artmıştır. Üreticiler de tüketicilere daha güvenli, sağlıklı ve yüksek kalite parametreleri içeren gıdalar sunabilmek için kurutma teknolojilerinde yeni sistem geliştirmeye yönelik çalışmalar önem kazanmaktadır. Kurutmada kalite parametrelerinin en üst düzeyde, maliyetlerin de minimum düzeyde tutulması ön plana çıkmaktadır. Kurutma cihazlarındaki gelişmelerle birlikte kurutmada uygulanan ön işlemlerde de değişiklikler ortaya çıkmıştır [55]. Kurutmada uygulanan ön işlemin seçimi son üründe istenilen özelliklere göre değişmektedir. Buhar ile atmosferik şartlar altında doğrudan haşlama ve sıcak suya daldırma yöntemleri daha çok sebze kurutmada ön işlem olarak yaygındır. Bu

işlem yüksek sıcaklıkta kısa süre (100°C'de 3 dakika) veya düşük sıcaklıkta (70ºC'de 20 dakika) uzun süre şeklinde uygulanabilir. Gıda endüstrisinde en yaygın kullanılan ön işlem tekniklerinden olan haşlama, enzimleri inaktive eder; doku yumuşamasına neden olur, kurutma ve depolama esnasında renk ve lezzet kaybını en aza indirir. Bununla birlikte, uygulama sırasında suda çözünür vitaminler ve şekerler, amino asitler ve mineraller gibi katılar gibi bazı besin maddelerinin kaybı olabilir. Bu aşamada haşlama işleminin nasıl yapıldığında önem kazanmaktadır. Abdelhaq ve Labuza [128] tarafından yapılan çalışmada kayısıların haşlama ve sülfit çözeltine daldırmanın kurutma süresini kısaltmada etkili olduğunu bildirmiştir.

Son yıllarda farklı bir önişlem olarak ultrasonik ses yardımıyla kurutmada değişik tarım ürünleri örneğin mantar [129] ve maydanoz [130] üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Garcia-Perez vd. [131], havuç, hurma ve limon kabuğu kurutma sırasında ultrasonik gücün etkisinin incelendiği çalışmada, ultrasonik gücün yardımıyla önemli ölçüde ısıya maruz kalmadan kütle transferinin gerçekleştiği ve ürün kalitesinin de arttığı belirlenmiştir. Ultrasonik dalgaların neden olduğu kavitasyon sayesinde, meyve ve sebzede mikroskobik kanalların oluşumu ile nem transferinde kolaylık sağlanmaktadır [132].

Ön işlemin seçiminde kurutulacak gıdanın fiziksel ve kimyasal özelliklerini bilmek önemlidir. Üzüm, kiraz, erik, kayısı, yaban mersini, domates gibi mumsu tabaka ile kaplı ürünlerde fiziksel veya kimyasal olarak uygulanan önişlemler kurutma hızını artırmaktadır. Üzümlerin kurutulmasında üstündeki mumsu yapının kurutmaya direnç göstermesini engellemek amacıyla $NaOH/K_2CO_3$ veya yağ emülsiyonları kullanılmaktadır [117], [133]. Kimyasal çözeltiler, meyve yüzeyindeki mumsu tabakada nem geçirgenliğini artıran mikroskoik çatlaklar oluşturur [134].

Sert çekirdekli meyvelerden kayısı, şeftali ve eriklerin ön işlem olarak farklı çözeltilerle (%5 potasyum karbonat ve %2 etiloleat karışımı, %1 potasyum metabisülfit, askorbik asit ve sitrik asit çözeltisi) muamelesinin kuruma süresinde azalma gibi olumlu etkilerin olduğu bildirilmiştir [90], [135], [136], [137].

Kayısıların sıcak hava ile kurutulmasında farklı ön işlemlerin kurutmaya etkisini incelemek amacıyla çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları Çizelge 3.3'de verilmiştir. Kurutma öncesinde %1 KOH ya da %1 NaOH ile 60ºC daldırma sıcaklığında muamele edilmiş eriklerin %75 ağırlık kaybına tepsili kurutucuda 54 saatte ulaşırken aynı

sürede ön işlemsiz eriklerin ilk ağırlıklarının %28.81'ini, sadece sıcak suya (60ºC) daldırılarak ön işlem uygulanan eriklerin ise %55.54 ağırlık kaybettiği Tarhan [134] tarafından bildirilmiştir. Jafarinaeimi vd. tarafından [127] yapılan çalışmalarda, kayısıların 3 farklı kalınlıkta (5, 10 ve 15 mm) ve iki farklı kükürtleme (SO_2 ve $Na_2S_2O_5$) uygulamasının ardından 3 farklı sıcaklıkta (30, 40 ve 50ºC) kurutulmasında kurutma süresine en büyük etkinin çözelti şeklinde uygulanan kükürdün olduğunu bildirmişlerdir. Malatya bölgesinde yetişen Alkaya çeşidi kayısının kükürtlü ve kükürtsüz olarak güneş kurutmanın ardından kükürt işleminin kayısının fizikokimyasal ve aroma bileşikleri üzerindeki etkisi incelendiğinde doğal olarak kurutulan kayısıların kükürtlü kayısılara oranla daha yüksek aroma konsantrasyonu ve yeni aroma bileşikleri içerdiği tespit edilmiştir. Terpen bileşiklerinin oranı doğal olarak kurutulan kayısıda kükürtlü kayısıya göre daha fazla iken, Maillard reaksiyonları sonucu oluştuğu bilinen pirazinlerin kükürtlü olarak kurutulan kayısılarda hiç olmadığı tespit edilmiştir.

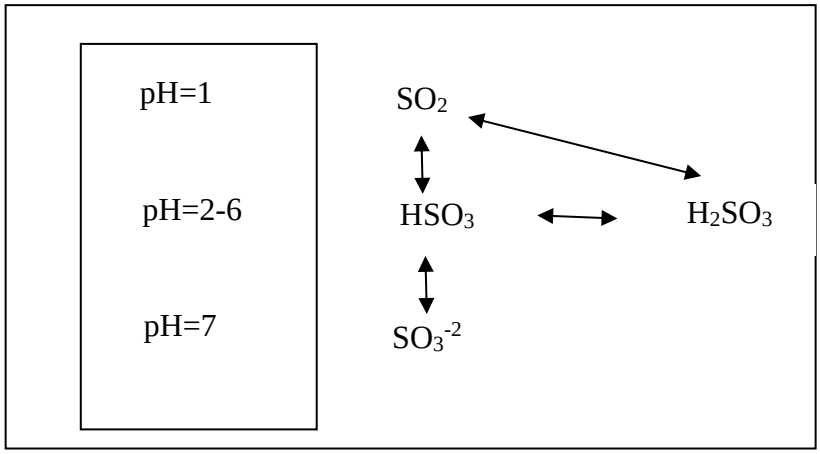
Çizelge 3.3 Kayısıların farklı ön işlemlerle kurutulması ilgili bazı çalışmalar

T (ºC)	Son ürün	Ön işlemler	Kuruma (saat)	Kayısı çeşidi	Referans
40, 60	20-25 g su / g kurumadde	İkiye bölünmüş Sodyum metabisülfit (1.5 g/L)(ikiye bölünmüş)	10.8 12.9	Valencia	[138]
50, 60		Kükürtlü Önişlemsiz	23.75 28.25 33.75 55.00	Hacıhaliloğlu	[139]
55	%25 (yb)	(%2 $C_{17}H_{33}COOC_2H_5$ + %5 K_2CO_3) (%5 $K_2S_2O_5$) (%8 $K_2S_2O_5$) (%8$K_2S_2O_5$ + (%2$C_{17}H_{33}COOC_2H_5$ + %5K_2CO_3)	40 44 32 30	Hacıhaliloğlu	[90]
60	%25(yb)	İkiye bölünmüş	18	Şekerpare	[140]
60, 80, 100	0.40 kg su/ kuru madde	8 parçaya bölünmüş	10.5-5.30-3.4	South red	[141]
60,70	%20 (yb)	İkiye bölünmüş	21 -15	Vitillo	[35]

Kükürtleme denilince sülfitler ve uygulamalarından bahsedilmektedir. Sülfit denilince doğrudan SO_2 veya parçalandığında SO_2 veren inorganik tuzları (sodyum ve potasyum) anlatılmaktadır. Sülfitler, gıda ve ilaç endüstrisinde koruyucu ve antioksidan katkı maddeleri olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Sülfitlerin gıda endüstrisinde birçok fonksiyonel kullanımı vardır. Ağartma ajanı olarak, oksijen süpürücü, indirgeme ajanı, enzim inhibitörü gibi özellikler gösterirken genellikle gıdaların hazırlanma, saklanma ve depolanması süresince bozulmayı önleyici koruyucu ve antioksidan olarak katılmaktadır. E kodları 220-228 arasında değişen kükürt dioksit, sodyum sülfit, sodyum hidrojen sülfit, sodyum metabisülfit, potasyum metabisülfit, kalsiyum sülfit, kalsiyum hidrojen sülfit ve potasyum hidrojen sülfit Türk Gıda Kodeksi tarafından izin verilenlerdir. Sülfitlere farklı yollarla maruz kalma sonucunda, dermatit, ürtiker, kızarıklık, hipotansiyon, karın ağrısı ve diyareden hayati tehlike oluşturan anafilaktik ve astım reaksiyonlarına kadar kişilerin hassasiyetine göre değişen birtakım istenmeyen klinik etkiler yarattığı bildirilmiştir. Özellikle gıda katkı maddesi olarak kullanıldığında, sülfitlerin insan sağlığına gerçek etkisini belirlemek için daha fazla araştırma yapılmalıdır [142], [143].

Sülfit veya sülfit tuzları, gıdanın korunmasına yardımcı olan aktif bileşen olan $S0_2$'yi serbest bırakabilen bir grup sülfür bazlı bileşiklerdir SO_2, kendine has koku ile renksiz bir gazdır. Sodyum sülfitin, beyazımsı, açık kahverengimsi ve hafif pembe renkte; potasyum sülfit, beyaz, kokusuz ve granül; sodyum bisülfit ise, beyaz, kristal ve toz haldedir. Potasyum bisülfit, sodyum metabisülfit, potasyum metabisülfit ($K_2S_2O_5$), sodyum bisülfit ile aynı özellikler gösterirken alkolde çözünmezler. Sülfitler suda çözündüklerinde, sülfür asidi (H_2SO_3), bisülfit iyonu (HSO_3) ve sülfit iyonu (SO_3) oluştururlar [144].

Kükürtlü bileşiklerin uygulanmasında pH değeri, büyük önem taşımaktadır. Gıdaların çoğu pH 4-7 aralığındadır. Bu aralıkta baskın yapıda olan HSO^{-3} etkilidir. pH 2 ve 6 aralığında baskın tür hidrojen sülfit olduğu; daha yüksek pH değerlerinde, bisülfit baskın özellik gösterdiği Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Sülfitlerin pH dengesi [145]

Gıdalarda bozulmalar mikrobiyolojik ve mikrobiyolojik olmayan olarak ikiye ayrılır. Mikrobiyolojik olmayan bozulmalar ise enzimatik bozulmalar ve enzimatik olmayan bozulmalar olarak iki alt gruba ayrılmaktadır. Enzimatik bozulmalar: enzimatik esmerleşme, enzimatik olmayan renk bozulmaları (enzimatik olmayan esmerleşme ve metal iyonlarının etkisiyle oluşan bozulmalar) şeklinde ayrılabilir. Enzimatik esmerleşmede fenolik maddeler ve polifenoloksidaz adıyla bilinen enzimler rol oynar. Enzimatik esmerleşme reaksiyonlarında genel olarak meyvenin cinsi, olgunluk durumu ve ortamın pH durumu etkilidir. Örneğin okside olabilir nitelikte fenolik maddeler ve fenoloksidaz enzimi bulunmadığından turunçgil meyvelerinde esmerleşme görülmez. Askorbik asit oksidaz enzimi meyve sebzelerin yapılarındaki C vitaminini okside ederek besin değerinde azalmaya neden olur. Kükürtün tiyamini (B1 vitamini) parçalaması nedeniyle tiyamince zengin meyvelerin kükürt dioksit ile muhafazası uygun değildir [16].

Enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları; karamelizasyon ve Maillard reaksiyonlarıdır. Maillard reaksiyonları indirgen şekerler (indirgen şeker olması serbest aldehit ya da keton grubu içermesi azotla kolay tepkimeye girmesi açısından önemlidir.) ile proteinlerin alfa amino grubundaki azotu arasında gerçekleşir. Bu reaksiyonda yüksek ısı, yüksek pH ve metal iyonlarının (Na^{+2}, Fe^{+3}, Fe^{+2}) varlığının artırıcı etki yapmakta ve esmerleşmenin derecesinde rol oynamaktadır [16], [146]. Sülfitler, şekerler, proteinler ve amino asitler, aldehitler, ketonlar da dâhil olmak üzere birçok gıda bileşeni ile reaksiyona girer. Oksijen tutucu özelliğiyle keratonlerin stabilitesine yardımcı olur. Kükürt dioksit meyve tarafından absorbe olunca bisülfit iyonlarına dönüşür. İndirgen şekerlerdeki aldehit veya keton grubu ile reaksiyona girerek onların amino asitlerle birleşmesini engelleyerek Maillard reaksiyonunu geciktirir [145], [147], [148].

Sülfitler, hücredeki bazı enzimlerin, özellikle oksidasyon enzimlerinin inaktive edilmesi ile birikte ortam pH'ını düşürmesi yoluyla antimikrobiyal etki gösterirler. Antimikrobiyal etkileri, Gram negatif bakteriler>Gram pozitif bakteriler> küfler> mayalar şeklindedir. Oksidatif bozulmayı önleyen antioksidandır. Ayrıca oksidazlar, proteazlar ve peroksidazlar gibi enzimler için inhibitör özellik gösterir. Antioksidan etki, Maillard reaksiyonlarını ve polifenol oksidaz enzimini inhibe ederek meydana gelir.

Kükürtlü bileşiklerin olumlu özelliklerinden birisi, kullanıldıkları gıdadan belli oranda geri alınabilmeleridir. Gıdadan SO_2'in uzaklaştırılmasında daha çok ısıl işlemden yararlanılmaktadır. Gıdalarda kullanımına izin verilen GRAS (Generally Recognised as Safe) statüsündeki inorganik sülfit tuzları ile bu tuzların teorik SO_2 verimleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4 GRAS statüsündeki bazı sülfit tuzları [149]

Kimyasal adı	Formülü	Teorik SO_2 verimi (%)
Kükürt dioksit	SO_2	100
Sodyum sülfit	Na_2SO_3	50.8
Sodyum bisülfit	$NaHSO_3$	61.6
Sodyum metabisülfit	$Na_2S_2O_5$	67.4
Potasyum metabisülfit	$K_2S_2O_5$	57.6
Potasyum bisülfit	$KHSO_3$	53.5

Sülfitler çok yönlüdür ve birçok üründe birden fazla amaca hizmet etmesi, uygulamasının kolay ve ucuz olması nedeniyle gıda sanayinden (şarap, meyve sebzelerin dondurma, kurutma, konserve ve marmelata işlemesinde), ilaç ve kozmetik sanayine kadar geniş bir kullanım alanı vardır [145]. Bununla birlikte SO_2'inin korrozif etkisi, üründe yabancı koku ve tat bırakması, besin kaybı ve astım reaksiyonlarına neden olması gibi dezavantajları bulunmaktadır. Ayrıca kuru kayısı ihracatında ülkelerin mevzuatında izin verilen kükürt limitlerini aşmamak ve organik ürünlerde kükürtün yerini alacak doğal maddeler veya farklı metodlarla ile ilgili çalışmalar yoğunluk kazanmıştır. Bunlar, askorbik asit, tokoferoller, sistein gibi bazı doğal antioksidanların kullanılması veya farklı kurutma tekniklerinin uygulanmasıdır [3], [6], [16], [152].

Kuru kayısı üretiminde kayısıların kükürtlenmesinde; kapalı ortamda yakılan kükürtten oluşan SO_2 gazına maruz bırakılarak, kükürtün suda çözünen farklı bileşiklerinin çözeltisine bandırılması ve gaz halinde SO_2 gazının kapalı bir ortamdaki kayısılara verilmesi gibi farklı yollar kullanılabilir. Bunların birbirlerine göre bazı avantaj ve dezavantajları vardır. Örnegin; sülfit tuzlarının çözeltisine bandırılarak yapılan kükürtleme işleminde kükürtleme odasına ihtiyaç duyulmadan kısa sürede yapılmasının yanında, yüksek konsantrasyonda (3000-4000 ppm) kükürt verilmek istediğinde çözelti konsantrasyonlarının artırılması veya bandırma süresinin artırılması meyve dokusunda zararlara ve kuru madde kaybına yol açmaktadır [3], [149]. Bununla birlikte askorbik asidin suda çözünebilen karakteri nedeni ile sülfit çözeltisine geçmesine ve askorbik asit kaybına neden olmaktadır [138].

Kayısıların absorbe ettiği kükürt miktarına; meyvenin çeşidi, olgunluk durumu , bütün veya yarım olması gibi faktörlerle birlikte kükürtleme şekli, kükürtün saflığı, kükürte maruz kalma süresi ve uygulama sıcaklığı etki etmektedir. Bütün bu nedenlerden dolayı; kuru kayısıların absorbe ettikleri SO_2 miktarı yönetmeliklerde izin verilen 2000 mg/kg altında veya üzerinde (1000-6000 ppm) olabilmektedir. Kuru kayısılarda fazla kükürtün uzaklaştırılmasında sıcak hava akımına tutma, buharlama, hidrojen peroksit buharına tutma, hidrojen peroksit çözeltisine daldırma, ozon (O_3) ve nemlendirip tekrar kurutma gibi farklı işlemler uygulanabilir [3], [149]. Kuru kayısılardan, SO_2'nin uzaklaştırılması amacıyla yapılan bir çalışmada kuru kayısılar; farklı sıcaklıklarda (40, 50 ve 60°C sıcaklıklarda) kuru hava akımında tutulmuş ve en fazla SO_2 kaybının, yüksek sıcaklıklarda meydana geldiğini ve bu yöntemin yasal sınırın hemen üzerinde (3000 ppm gibi) kükürt içeren kayısılar için uygulanabileceği belirtilmiştir [151].

Türk Gıda Kodeksi'ne göre kuru kayısıdaki izin verilen sülfit miktarı maksimum 2000 mg/kg (CODEX STAN 130-1981) olarak bildirilmiştir. JECFA (Ortak FAO / WHO Gıda Katkı Maddeleri Uzman Komitesi) sülfit için günlük alınabilir kabul düzeyini (ADI) günde 0-0.7 mg/kg olarak açıklamışlardır.

Literatürde kayısıların kurutulmasında ön işlem olarak kükürt kullanımı birçok çalışmada yer almaktadır. Örneğin Türkyılmaz vd. [152] tarafından Hacıhaliloğlu, Kabaaşı, Çöloğlu ve Çataloğlu kayısı türlerinde yapılan çalışmada kayısı çeşitleri arasında polifenoller, karotenoidler, organik asitler ve antioksidan aktiviteleri arasında önemli farklılıklarının olduğunu tespit edilmiştir. Kükürtlenmiş olarak kurutulan kayısılarda toplam polifenol içeriğinde %11-26, organik asit içeriğinde (OA) %4-32 arasında, β-karoten %6-21

arasında ve antioksidan aktiviteleri %2-21 arasında düşme gözlenmiştir. Kayısı çeşitlerinde SO_2 emiliminde pH, titrasyon asitliği ve toplam polifenol içeriğinin etkisi olduğunu Hacıhaliloğlu ve Kabaaşı kayısı çeşitlerinin en yüksek SO_2 absorpsiyonu olmasına rağmen kurutmadan sonra en yüksek SO_2 kaybı gözlenmiştir. Çöloğlu kayısı en düşük SO_2 absorbsiyonuna rağmen en düşük kahverengileşme değeri gösterdiğini bildirmiştir.

Pala vd. [120] yaptıkları çalışmada, Malatya yöresinde yetişen Hacıhaliloğlu tip kayısıların SO_2 gazı, SMBS (sodyum metabisülfit solusyonu) ve etiloleat çözeltisiyle muamele ön işlemlerinin kurutma kinetiği açısından güneşte kurutma ve güneş enerjili kurutma olarak iki farklı yöntemin etkilerini karşılaştırmışlar ve efektif difüzyon katsayılarını hesaplamışlardır. Uygulanan SO_2 gazı miktarının artmasıyla kurutma süresinin hem güneşte serilerek kurutmada hem de solar kurutucuda kurutma süresinin azalttığını tespit etmişler. Hem güneşte kurutma hem de solar kurutma için sodyum metabisülfit çözeltisinin SO_2 gazına göre daha yüksek efektif difüzyon katsayısı verdiğini ve her iki kurutma metodunda SO_2 gazını sodyum metabisülfit çözeltisine göre daha büyük Hunter L değeri (42-50) ve düşük a değeri ile uluslararası standartlarda kabul görülen değerlerde olduğunu belirtmişler. Ayrıca etil oleat çözeltisinin ise renkte koyulaşmaya neden olduğunu tespit etmişlerdir.

Türkyılmaz vd. [146] tarafından kükürt dioksit konsantrasyonun kuru kayısıların fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerini araştırdıkları çalışmada, kuru kayısıların içerdiği kükürt dioksit (SO_2) konsantrasyonu ile pH, titrasyon asitliği, esmerleşme değerleri ve β-karoten miktarları arasında güçlü korelasyonlar tespit etmişler. Düşük konsantrasyon SO_2 içeren (188 mg SO_2/kg) içeren kuru kayısıların mikrobiyal yükü ve renk değerleri açısından uygun olmakla birlikte β-karoten miktarlarının başlangıçtaki seviyesinin korunması açısından daha yüksek konsatrasyonlarda SO_2 olması gerektiğini belirtmişlerdir.

Karabulut vd. [139] yaptıkları çalışmada ise Malatya bölgesinde yetişen Hacıhaliloğlu çeşidi kayısıların kükürtlenmiş ve kükürtlenmemiş olarak farklı sıcaklıklarda (50, 60, 70 ve 80^{o}C) sıcak hava ile ve güneşte kurutmanın renk değerleri ve β-karoten miktarları açısından etkilerini inceledikleri çalışmada sıcak hava ile kurutmanın güneşte kurutmaya göre daha kısa sürdüğünü ve uzun kurutma süresinin kayısının renk pigmentinde ana rol oynayan β-karotenin oksidasyon sonucunda azaldığı tespit edilmiştir. Kükürtlenmiş kayısıların tüm kurutma koşullarında kurutma süresinin kükürtlenmemiş kayısılara göre

kısa olduğunu tespit etmişler Renk değerleri, besinsel kompozisyon ve mikrobiyal kalite bakımından en uygun kurutma sıcaklığın 70ºC olduğunu ve sıcaklıklığın 80 ºC'ye çıkarılmasıyla üründe yer yer yanıklar oluştuğunu tespit etmişlerdir.

Doymaz [90] kabin kurutucu kullanılarak kurutulan kayısılarda ön işlemlerin kurutma süresine etkinliği incelenmesi için farklı konsantrasyonlarda potasyum metabisülfit ve alkali etiloleat çözelti karışımları ile muamele edilen kayısıların hiç işlem görmeden kurutulan kayısılara göre daha kısa sürede kuruduğunu ve bu kurutma verilerini bazı kurutma modellerine (Henderson ve Pabis, Lewis, Page, logaritmik ve ikili terimli) olan uygunluğunu istatiksel parametrelerle ölçümünün sonucunda logaritmik modelin kurutma karakteristiklerini en iyi gösteren model olduğu bildirmiştir.

Meyve ve sebzelerden yüksek konsantrasyonda şeker ve / veya tuz çözeltisine batırılarak suyun uzaklaştırılması işlemi olan osmatik dehidrasyon son yıllarda vakumlu kurutma, dondurarak kurutma ve sıcak hava ile kurutma sistemlerinde önce ön işlem olarak uygulanması artmıştır. Suyun dokulardan çözeltiye çıkarılması için itici güç, dokular ve hipertonik çözelti arasındaki ozmotik basınçtaki farktır. Farklı formülasyonlarda hazırlanan çözeltilerin kullanılması ile üründen çözeltiye su ve kütle geçişi, çözeltiden ürüne istenilen maddelerin geçişinin sağlandığı yüksek kalitede ürün elde edildiği özellikle orta nemli gıda üretimde yaygın olarak kullanılan osmatik kurutma diğer kurutma yöntemlerinden farklıdır. Osmatik kurutma ile üründeki nem içeriğinin ancak belli bir seviyenin altına kadar indirilebilmesi ve uzun işlem süresi gibi dezavantajlarını ortadan kaldıracak kombine sistemler üzerine çalışmalar artış göstermiştir. [153], [154], [155]. Riva vd. [156] yaptıkları çalışmada, ozmotik ön işlem uygulanan kayısılarda kurutma hızının arttığı, kurutmanın azalan kuruma bölgesinde olduğunu, renk stabilitesini ve büzülmenin düzgün olmasının yanı sıra askorbik asit içeriğinin daha iyi korunmasının sebebinin sorbitol şurubunun koruma etkisinden olduğunu bildirmişlerdir.

3.1.3 Kayısıların Kurutulması

Kuru kayısı, TSE 485'e göre [157] *Armeniaca vurgaris Lam (Prunus armeniaca L.)* türüne giren ağacın sağlam, olgun meyvelerinin güneşte veya bilinen diğer metotlardan biri ile kurutulmuş, kükürtlenmiş veya kükürtlenmemiş hali şeklinde tanımlanmaktadır. Hasat zamanı, kayısının cinsine, yumaşaklığına, tadına ve renginine göre tespit edilir. Kayısı ağaçlarında en uygun hasat, elle toplama şeklindedir. Elle toplama, meyvelerin zarar görmemesini ve yeterli olgunlukta toplanmasını sağlar.

Kayısı, “Gün Kurusu’’ ve “Kükürtleme’’ olmak üzere halen iki metotla kurutulmaktadır. Kayısılar güneşte bütün veya ikiye bölünmüş halde kurutulabilir. Kuruma süresini kısaltmak, kalite parametrelerinden rengin kararmasını engellemek ve kurutma ve depolama süresince haşerelere karşı korunması amacı ile kükürtleme işlemi yapılır. Bu işlem için kükürtleme odalarında kerevetlere dizilen kayısılar yakılan kükürtle birlikte oluşan kükürt dioksit gazı ile belli süre tutulur. Bu süre meyve kabuğunun şeffaflaşması ve yumuşaması ile belirlenir. Kükürtleme işlemi çözelti şeklinde de uygulanabilir. Kurutma amacıyla güneş ışığı alan ve temiz yerlerde betondan yapılmış sergi alanlarında örtü üstünde veya kerevetlerde belli oranda su kaybedinceye kadar kurutulur ve daha sonra gölgede elle çekirdek çıkarma işlemi yapılır. Depolanmadan önce %25 nem oranın altında olucak şekilde kurutma işlemine devam edilir. Gün kurusu kayısılar ise kükürt işlemi uygulanmadan kurutulur [3].

TS 485’e göre [157] kuru kayısılar, piyasaya arz ediliş durumlarına göre gruplara, hazırlama şekillerine göre tiplere, kalite özelliklerine göre sınıflara, 1 kg’daki tane sayısına göre de boylara ayrılır. Kuru kayısılar piyasaya arz ediliş durumlarına göre natürel ve kükürtlenmiş olmak üzere ikiye ayrılır. Kuru kayısılar kalite özelliklerine göre ekstra, sınıf 1, sınıf 2 ve endüstriyel olmak üzere dörde ayrılır. Kuru kayısıların rutubet içeriği %25’ten fazla olmamalı ve kükürtlenmiş kuru kayısıların kükürt dioksit oranı 2000 mg/kg’ı geçmemelidir. Literatürde kayısı ile ilgili güneşte kurutularak yapılmış bazı çalışmalar Çizelge 3.5’te verilmiştir.

Kurutma işleminin başarılı olabilmesi için kurutma ekonomisi bakımından suyun hızlı uzaklaştırılması, ürün kaybının az olması, güvenli ve minimum maliyetle son üründe kimyasal, fiziksel değişimin az olduğu maksimum rehidrasyon kapasitesine sahip kaliteli ürün elde edilmesi önemlidir.

Çizelge 3.5 Kayısıların güneşte kurutulması ile ilgili bazı çalışmalar

Son nem içeriği (yaş baza göre)	Ön işlemler	Kuruma süresi (gün)	Kayısı türü	Referans
%13-14	Önişlemsiz	4	Elâzığ	[74]
	SO_2	3		
	$NaHSO_3$	4		
%25	İkiye bölme	3	Şekerpare	[140]
%25	Kükürtlü	6	Hacıhaliloglu	[139]
	Önişlemsiz	7.50		
%24	SO_2 gazı	8	Hacıhaliloglu	[158]
%18	SO_2 gazı	5		[159]
%16	Kükürtlü	7.50	Şekerpare	[160]
%22.58	Kükürt yakarak	6	Hacıhaliloğlu	[161]
%22.27	SO_2 gazı			
%21.27	Sodyum metabisülfit			

Kayısıların kurutulmasında doğal olarak güneşte kurutmanın geliştirildiği kollektör tipi güneş kurutucuların yanında yapay kurutucuların kombine bir şekilde kullanılarak kurutulması son yıllarda öne çıkmıştır. Kayısıların kurutulmasında kullanılan kombine yöntemlerin kurutma süresine etkisini gösteren bazı çalışmalar Çizelge 3.6'da verilmiştir. Yapılan bir çalışmada %25 nem içeriğine kadar kurutulan kayısıların güneşte kurutulmasının 3 gün sürdüğü, sıcak havayla kurutmanın 60^{o}C ve 1.0 m/s hızda 18 saatte sürerken 70 W için mikrodalga kurutmanın 140 dakika sürdüğü Gögüş vd. [140] tarafından bildirilmiştir.

Çizelge 3.6 Kayısıların kombine sistemlerle kurutulması ile ilgili bazı çalışmalar

Sıcaklık (°C) ve Güç seviyesi (W)	Son ürün su içeriği	Ön işlemler	Kurutma süresi (dakika)	Referans
50 °C-75 °C 90 W-160 W 90 W+50 °C 90 W+75 °C 160 W+50 °C 160 W+75 °C	0.1 kg su/kg kurumadde	Küp şekli (9×9×9 mm)	610-310 590-210 320 220 190 120	[104]
180 W+ 50 °C 180 W+ 70 °C 120 W+ 50 °C 120 W+ 70 °C	%25	İkiye bölünmüş	820 440 1560 720	[162]
40 °C +100 W	20-25 g su/100 g kurumadde	İkiye bölünmüş Sodyum metabisülfit (1.5 g/L)	130,2	[138]

Gıdanın kalitesinde, besin değeri ve sağlık bakımından yararları belirleyici rol oynar. Meyve ve sebzelerin yapısında bulunan vitaminler, aroma maddeleri, mineraller, şekerler, organik asitler, karotenoid ve fenolik bileşiklerin korunması, kurutmadan önce ön işlemlere, kurutma yöntemine, uygulama şekline, kurutucuya ve kurutma süresine bağlı olarak değişmektedir. Taze üründeki kalite parametrelerinin son üründe korunabilmesini sağlayacak kurutma işleminin seçiminde, tüketici taleblerini karşılamanın yanında ekonomik ve çevre dostu kurutma seçimi önemlidir. Bu anlamda son yıllarda kombine kurutma sistemleri (iki veya daha fazla kurutucunun birlikte veya sırasıyla kullanıldığı teknolojiler) özellikle ısıya duyarlı ürünlerin kurutulmasında kullanılmaktadır [55], [163], [164], [165], [166].

3.1.4 Renk

Kramer'e [167] göre gıdaların kalitesi, bir ürünün kullanıcıya kabul edilebilirlik derecesini belirlemede ayırtedici öneme sahip özelliklerinin birleşik olarak tanımlanmasıdır. Genel olarak meyve sebzelerde kalite parametreleri; renk ve görünüş, tat ve aroma, tekstür ve besinsel değeri olmak üzere dört gruba ayrılır [168]. Renk ve görünüş, tüketicilerin bir ürünü kabul veya reddetme aşamasında en önemli parametredir [167]. Gıda kalite parametreleri arasında renk görsel olarak tüketiciye hitap etmesi yönünden önemlidir.

TSE 485 [157]'e göre de kayısıların kalite parametrelerinde renk önemli yer tutar. Kükürtsüz kurutulmuş kayısılar için aşırı kahverengileşmiş kayısı rengi kusur sayılmazken, kükürtlü kayısılar için açık sarıdan koyu portakal rengine kadar tonlar normal kabul edilmektedir.

Gıda endüstrisinde renk değerlendirilmesinde CIE sistemi, Hunter L, a, b sistemi ve Munsell renk en sık kullanılanlardır. Bugün gıdaların renk ve renk farklılığı enstrümental olarak değerlendirilmesinde genellikle CIE tarafından 1931 yılında oluşturulan CIE XYZ yönteminin geliştirilmesiyle oluşturulan yöntem, "1976 CIElab, CIELab üç nokta ölçüm yöntemi" ve Hunter Lab renk yöntemleri kullanılmaktadır. CIE Lab parametreleri daha sarı rengin daha yoğun olduğu, Hunter Lab ise maviliğin yoğun olduğu ölçümlerde daha hassas sonuç vermesiyle öne çıkmaktadır. Bu üç nokta ölçüm yönteminde L, ışık geçirgenlik, (parlaklık derecesi) değerlerini, 0 (geçirgenlik yok) ve 100 (tamamen geçirgenlik), a kırmızılık, (-a, yeşillik) ve b sarılık (-b, mavilik) değerlerini belirtmektedir. CIE C değeri 0 ile 60 arasında değişmekte ve renk düzleminin merkezinde 0 (mat) ve merkezden uzaklaştıkça parlak (vivid) tonlar artmaktadır. H/h değeri 0°-360° arasında değişmekte; 0° ve 360° kırmızı, 90° sarı, 180° yeşil ve 270° mavi olarak değerlendirilmektedir. Bitkisel materyal renk ölçümlerinde genellikle geliştirilen CIE L, a, b (CIELAB) veya Hunter Lab olarak adlandırılan yöntemler kullanılmaktadır [169], [170], [171], [172], [139], [173], [141].

Kayısı meyvesinin duyusal özellikleri, besin içeriği (şekerler, organik asitler ve uçucu bileşikler), renk, boyut, doku sertlik ve tat tarafından etkilenir [174], [175]. Meyve rengi, bazı meyvelerin meyve olgunluğu ve hasat tarihi için önemli bir göstergedir. Renk tanımlaması için genellikle L, C ve h değerleri yaygın olarak kullanılır [115]. L ve H^o değerlerindeki düşüş, portakal kabuğunun rengini gösterirken, bu değerlerin artışı kabuk

renginin aydınlanmasına ve C değerinin artması portakal rengini ifade eder. Renk değerlerinden H değerinin kayısının karotenoid içeriğini tahmin etmek için uygun bir parametre olduğu Ruiz vd. [115] ve İncedayı vd. [59] tarafından bildirilmiştir. Kayısının içeriği ile ilgili bir çalışmada turuncu veya kırmızı kabuk renk kayısı çeşitlerinin daha yüksek toplam şeker içerdiğini bunun yanı sıra, daha yüksek toplam şeker ve sakaroz seviyeleri, daha yüksek toplam çözünebilir katı (TSS) anlamına geldiğini, toplam çözünebilir katı (TSS) ile TSS/asit oranı ve fruktoz arasında belirgin bir korelasyon olduğunu bildirilmiştir [7].

Melgarejo vd. [176] dört farklı taze kayısı çeşidi için L, a, b, C ve h değerlerinin sırasıyla 51.9-64.6, 19.2-26.4, 28.5-42.1, 34.9-47.4 ve 46.7-56.2 arasında değiştiğini, Akın vd. [113] Hacıhaliloğlu taze kayısı L, a, b, C ve h değerlerinin yüzey ve etli kısmı için sırasıyla 59.3-62.6, 13.3-9.6, 25.4-27.8, 28.6-29.4 ve 62.5-71.1 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Benzer bir çalışma Suna vd. [177] tarafından yapılmış ve bu çalışmada ise pestil yapımında kullandıkları Malatya bölgesinden tehmin ettikleri kayısıların L, a, b, C ve h değerlerinin sırasıyla 65.77, 21.97, 49.90, 54.15 ve 66.14 olduğunu bildirmişlerdir. Hegedus vd. [178], taze kayısı çeşitleri ve farklı hibrit türleri için renk değerlerinden h değerlerinin 62.63-84.63, L değerlerinin 60.15-72.43 ve C değerlerinin 51.66-68.48 arasında değiştiğini bildirmiştir.

Renklerdeki değişimde genel olarak meyve çeşidi, hasat yılı ve olgunluk derecesi önemli olmaktadır. Olgunlaşma meyvenin uç kısmında başlar ve hasat zamanı ham meyveye özgü yeşil meyve rengi yerine dış kabuk kısmının sarı renge dönmesi ile anlaşılır. Çataloğlu meyvesi renk görünüş ve şekil bakımından Hacıhaliloğlu meyvesine çok benzer ve çoğu zaman karıştırılmasına rağmen Çataloğlu meyvesinde daha az tüy bulunduğundan meyve daha parlak görünüşlüdür [3].

İncedayı vd. [59] tarafından yapılan çalışmada küp şeklinde doğranmış kayısıların yaş kayısılar için renk değerlerinin L, a ve b sırasıyla 65.77, 21.97 ve 49.90, C ve h değerleri 54.15 ve 66.14 olarak ölçülmüştür. Kayısıların sıcak hava, mikrodalga ve kombine (mikrodalga ve sıcak hava) kurutulmasından sonra L, b, ΔE, h ve C renk değerlerinin azaldığını a renk değerinin arttığı gözlenmiştir.

Farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda yaş kayısı türlerinin renk değerleri Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.7 Farklı kayısı türleri için renk değerleri

Çeşit/Tür	L	a	b	C	h	Referans
Hacıhaliloğlu	63.28	8.59	38.42			[103]
Malatya	65.77	21.97	49.80	54.15	66.14	[59]
-	67.2	-0.5	9.7	9.8	93.2	[138]
Southern	52.2	24.3	44.5	50.7	61.4	[141]
Moopark	56.9	26.7	50.1	57.8	62.4	[141]
Hacıhaliloğlu	70.7	6.4	50	49.3	82.7	[139]
Hacıhaliloğlu	63.68	8.84	42.45	-	-	[179]
Çataloğlu	60.51	8.12	38.67	-	-	[179]
Çin	72.65	11.58	41.97	-	-	[94]
Hacıhaliloğlu	32.51-36.07	7.21-8.89	17.52-20.47	-	66.67-75.37	[161]
Kabaaşı	30.52-35.87	4.33-6.53	13.49-16.37	-	66.67-75.37	[161]
Alyanak	55.0	21.10	28.0	35.1	53.0	[113]
Iğdır	53.6	11.1	20.4	23.4	61.1	[113]
Bursa	60.1	19.9	28.6	34.8	55.2	[113]

Karataş [179] yaptığı çalışmada, Hacıhaliloğlu yaş kayısı L, a ve b değerlerini 63.68, 8.84 ve 42.45 olarak ölçülmüş. Bu değerler güneşte kurutma sonuncunda 31.94, 6.87 ve 10.25, kükürtlenerek kurutulan kayısılarda 40.42, 5.07 ve 17.01, dondurarak kurutulan örneklerde 63.99, 11.25 ve 45.51 değerleri tespit edilirken mikrodalga kurutma sonucunda 39.64, 6.76 ve 22.98 olarak tespit edilmiştir.

Garcia-Martinez [138] yılında yaptığı çalışmada ikiye bölünmüş kayısıların 40 ve 60^{o}C sıcak hava ile 100 W mikrodalga ve 100W + 40^{o}C mikrodalga sıcak hava kombine şekilde kurutulmuştur. Kayısıların başlangıçtaki L, a ve b değerleri sırasıyla 67.2, 0.5 ve 9.7 olarak okunmuştur. Sıcak havayla ön işlemsiz kurutmanın sonucunda 40^{o}C için sırasıyla

L, a ve b değerleri 33.4, 14 ve 21 sodyummetabisülfit çözeltisi ile ön işlem uygulanarak 40^{o}C'de kurutulan kayısıların L, a ve b değerleri sırasıyla 38, 17 ve 31 olarak ölçülmüştür. Genel olarak a, b ve C değerleri artarken L ve h değerinde düşme gözlenmiştir. En yüksek ΔE (37) değeri 40^{o}C ön işlemsiz kurutulan kayısılarda gözlenirken en düşük ΔE (24) değeri sodyum metabisülfit çözeltisi ile önişlem uygulanarak 100W + 40^{o}C mikrodalga sıcak hava kombine kurutmada gözlenmiştir. En düşük h değeri 60^{o}C sıcak hava ile kurutulan kayısılarda gözlenirken en yüksek h değeri kombine kurutmada gözlenmiştir. Genel olarak L değerindeki düşme en az kükürtlü ve kombine kurutmada %27 gibi bir düşüş gözlenmiş en yüksek L değeri düşüşü ön işlemsiz mikrodalgada kurutulan kayısılarda %50 civarında olduğu gözlenmiştir. Übeyitoğulları ve Çekmecelioğlu [103] tarafından yapılan çalışmada taze kayısının sırasıyla L, a ve b değerleri 63.28, 8.59 ve 38.42 olarak ölçülmüştür. Bu kayısı örneklerinin 80^{o}C'de kurutulmadan sonraki renk değerleri ise 39.18, 9.44 ve 16.12'ye ulaştığını bildirmişlerdir.

3.1.5 Rehidrasyon

Gıdalarda kalite tanımını müşterinin taleplerini karşılama derecesi olarak düşündüğümüzde son yıllarda değişen tüketici talepleri ve üreticilerin pazardaki yerlerini koruma yarışı değişen teknoloji ile birlikte ürüne özgü yasal kısıtlamaları da kapsayacak ürünleri üretmek zorunluluk haline gelmiştir. Son ürünün kullanım alanına göre beklenen özellikler değişmektedir.

Genel olarak kalite parametreleri ve mühendislik özellikleri olmak ikiye ayrılmaktadır. Kurutma kinetiği, spesifik ısı ve denge nemi gibi özellikleri gibi mühendislik özelliklerini oluşturmaktadır. Termal özellikler, yapısal özellikleri (yoğunluk ve porozite), tekstürel özellikleri, optik özellikleri (renk, görünüş), gıdaların aroma ve tat gibi duyusal özellikleri, besinsel özellikleri (protein, vitamin) ve rehidrasyon özellikleri kalite parametrelerini oluşturmaktadır [180].

Rehidrasyon yeteneği, genel olarak su ile muamele sonucunda eski haline dönebilme yeteneği olarak tanımlanır. Kurutulmuş gıdalar gelişen gıda pazarında kullanım kolaylığı, düşük taşıma maliyetleri, uzun raf ömrü, katma değer gibi avantajlar sağlarken kurutulmuş gıdaların rehidrasyon yeteneği endüstriyel anlamda çok önem kazanmıştır.

Rehidrasyon ürünün kimyasal bileşimi, kurutma koşulları, daldırma oranı ve sıcaklığı ve ürünün şekli gibi birçok faktör tarafından etkilenen karmaşık bir işlemdir. Kurutma aşamasında kurutulmuş ürünün hücre yapısındaki hasarın boyutunun bir göstergesidir.

Düşük rehidrasyon kapasitesi kurutma sırasında iç yapının hasarını ve gözenek tıkanıklıklarını göstermektedir [147], [181], [182], [183].

Sıcak hava ile kurutulmuş kabak dilimlerinin sıcak hava ve mikrodalga kombine bir şekilde kurutulmuş kabak dilimlerine göre daha yüksek rehidrasyon yeteneği gösterdiği tespit edilmiştir [184]. Kurutma sıcaklıklarının yüksek olduğu kurutma şartlarında kuruyan meyvelerin daha hızlı bir şekilde nem kazandığı tespit edilmiş [185]. Mir vd. [147] tarafından yapılan çalışmada, kayısıların potasyum metabisülfit (KMS) ile 30, 45 ve 60 dakika boyunca %2-8 konsantrasyonlar ile muamelesinin ardından güneşte ve tünel kurutucuda kurutmanın son ürünün rehidrasyon oranına etkisi incelenmiş ve tünel kurutucuda kurutulan kayısılarda güneşte kurutmaya göre daha yüksek rehidrasyon oranı gözlenirken önişlem uygulanan kayısıların rehidrasyon yeteneği doku ve hücresel bütünlüğün kaybı nedeniyle ön işlemsiz kayısılara oranla düşük olduğunu tespit edilmiştir.

3.2 Kayısı Posası

Küresel anlamda insan tüketimi için üretilen tüm gıdaların her yıl kabaca üçte biri kayıp ya da atık olmaktadır. Bu oran tahıl ürünleri için kabaca %30 olurken meyve sebzeler ve kök bitkiler için %40-50 gibi oranlara ulaşmaktadır. Bu kayıpların çoğu son tüketiciye ulaşmadan hasat, taşıma ve depolama süreçlerinde meydana gelmektedir [186]. Türkiye domates sosu, meyve suyu/konsantresi ve dondurulmuş sebze ve meyve üreticileri arasında dünyada ilk 10 arasındadır. Son yıllardaki meyve üretimi Çizelge 3.8'de görüldüğü gibi, ülkemizde yetişen meyvelerden kayısı önemli bir yere sahiptir. Yetiştirilen meyve miktarının yüksek olmasıyla birlikte atık olarak atılan miktarlarda artmaktadır.

Çizelge 3.8 Türkiye'de ve Dünya'da meyve üretimi [4]

Üretim yılı/miktarı	Elma	Kayısı	Üzüm	Şeftali /Nektarin
2015 yılı (ton)	2569759	696100	3650000	642727
2016 yılı (ton)	2925828	730000	4000000	674136
2017 yılı (ton)	3032164	985000	4200000	771459
Türkiye'nin 2017 yılında Dünyadaki üretimi (%)	3.64	23.14	5.65	3.12

Şarap, meyve suyu gibi içecek endüstrisi kabuk, tohum, çekirdek ve posa atıklarının miktarı ürünü göre farklılık göstermekle birlikte meyve suyuna işlenen hammaddenin %25'i posa olarak atılmaktadır [8]. İşlenmiş kayısı meyvesinden alınan çekirdek dışında posa oranı %12.5 ve yaş posadan kuru posa verimi yaklaşık %16-17 oranındadır [187]. Kabuk, posa ve tohumlardan ekstre edilen biyoaktif bileşikler gıda, ilaç ve kozmetik sanayi için doğal ham madde için kaynak oluşturur.

Ülkemizde birçok meyve suyu fabrikasından yan ürün veya atık olarak ortaya çıkan meyve posaları yüksek su ve şeker içerikleri nedeniyle kolayca bozulabilmektedir. Bu nedenle posanın bir kısmı, hayvan beslenmesinde kullanılmakta; önemli bir kısmı ise değerlendirilemeden atılmaktadır. Bu durum çevre kirliliği ve besinsel kayıplara yol açmaktadır. Gıda atıklarının değerlendirilmesi sadece ekonomik kayıpların önlenmesi bakımından değil, çevresel etki ve doğal kaynakların korunması açısından da önem taşımaktadır. Meyve sebze atıklarının yüksek su içeriği nedeniyle hızlı mikrobiyal bozulmalar, yüksek taşıma ve depolama maliyetleri gibi sorunlar farklı değerlendirme olanaklarını sınırlamaktadır. Posanın, yem sektöründe değerlendirilmesi; hayvan yemi ve hayvan yem katkı maddeleri, tarımsal sanayinde değerlendirilmesi; gübre ve kompost, gıda ve ilaç endüstrilerinde değerlendirilmesi; fonksiyonel bileşiklerin elde edilmesi (pektin, diyet lifi vb.), aynı zamanda yakıt üretimi için biyoproseslerde substrat olarak kullanılabilmesi gibi farklı alanlarda kullanım olanağı bulunmaktadır [188], [189], [190], [191].

Literatürde farklı meyve sebze posalarının değerlendirilmesine ilişkin çalışmalar bulunmaktadır. Meyve posası; ekmek, kurabiye, makarna ve kek içinde un yerine gıdalarda kullanılmasının yanında atık meyve ve sebze posasından elde edilen; diyet lifi, fenolik bileşiklerin çorba, sos, mayonez, reçel, meyve suları ve yoğurtlara eklenebilir. Yapılan bir çalışmada kayısı posasının emülsiyon tipi et ürünlerine (%10 kadar) eklenmesinde pişirme özelliklerini iyileştirdiği, fiziksel ve duyusal özellikler üzerinde olumsuz bir etki yaratmadığı Adıbelli ve Serdaroğlu [192] tarafından bildirilmiştir. Posanın atılmasının yerine değerlendirilmesi son yıllarda popüler olan fonksiyonel gıda üretimi için karotenoid, tokoferol ve askorbik asit gibi bileşiklerin üretiminde doğal ve ucuz hammadde kaynağı sağlamaktadır [9], [10]. Kayısı posasının kozmetik, gıda ve ilaç sanayinde kullanılan biyoaktif moleküllerin (koruyucu ve antioksidan olarak) elde için iyi bir kaynaktır [193]. Kayısı posanın içerdiği yüksek provitamin-A içeriğine sahip β-karoten, insan vücudu için besinsel olarak önemlidir. β-karoten, sarı ve turuncudan

kırmızıya antioksidan ve doğal pigment olarak kullanılır ve sebze, meyve gibi doğal kaynaklardan üretilmektedir. β-karotenin süperkritik karbondioksit ($SC\text{-}CO_2$) ekstraksiyonu ile kayısı posasından üretilebileceği Şanal vd. [194] tarafından belirtilmiştir.

Kuru kayısının, beslenme ve sağlık açısından en önemli bileşiklerinden birisi de diyet lifidir. Yetişkin bir insanın günlük diyet lifi gereksinimi ise 25 gramdır. Diyet lifi sindirim sisteminde salgılanan enzimler tarafından hidrolizlenemeyen polisakkarit ve lignin gibi bileşiklerden oluşmaktadır. Diyet lifi bileşenleri genellikle iki ana sınıfa ayrılır: suda çözünür (pektinler ve sakızlar) ve suda çözünmeyen (selüloz, lignin ve hemiselülozdan bazıları). Diyet lifi, tamponlayıcı bir etki yaparak midede fazla miktardaki hidroklorik asit bağlar, dışkının hacmini arttırır ve istenen bağırsak florasının büyümesi için elverişli bir ortam sağlar. Diyet lifi, obezitenin, koroner kalp hastalıklarının, kalın bağırsak kanserinin ve diyabetin önlenmesinde ve tedavisinde önemli bir rol oynar. [8]. Üçüncü vd. tarafından [195] yapılan çalışmada, kayısı posasının %22 indirgen şeker, %1.29 protein, %14.6 toplam diyet lifi ve %0.79 kül içeriğinin olduğunu bildirmiştir.

Özkaya vd. [196] yaptıkları çalışmada, bisküvi üretiminde eklenen meyve ve sebze lifi konsantrelerinin hamurun reolojik özellikleri, bisküvilerin duyusal özellikleri, bisküvilerin diyet lif içeriği, toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Lif kaynağı olarak kayısı, elma, limon, greyfurt, havuç ve balkabağı gibi ürünlerin posa ve/veya kabuk kısımlarından konsantre olarak elde edilmiş lifler kullanılmıştır. Toplam diyet lifi, suda çözünen ve çözünmeyen diyet lif miktarları bakımından kayısı lifinin diğer meyve ve sebzelerden elde edilen liflere kıyasla çok daha düşük değere sahip olduğu görülmüştür. Duyusal değerlendirme sonucunda kayısı ve elma lifi katılan bisküvilerin daha iyi sonuç verdiği tespit etmişler. Diğer meyve sebzeler için ise en fazla %15 oranına kadar katılmanın duyusal değerlendirmede olumlu sonuç verdiğini bildirmiştir. Li ve Cardozo [197] meyve ve sebze numunelerinin toplam diyet lifi tayini için nonenzimatik-gravimetrik bir metodu doğrulamak için yaptıkları çalışmada kayısının lif içeriğini %26.56 olarak tespit etmişlerdir. Şeker [198] yaptığı araştırmada, Hacıhaliloğlu kayısı çeşidinin dondurarak kurutmadan sonra elde edilen life ait besinsel özelliklerinde % 5.1 nem, %2.82 protein ve lif içeriğinin %26.79 olduğunu bildirilmiştir.

Ashraf vd. [199] tarafından kayısı tozunun buğday ununa ile %18'e kadar farklı oranda karıştırılması ile üretilen krakerlerin besinsel ve duyusal özelliklerine etkisini

araştırdıkları çalışmada, %5.85 nem içeriğinde, %3.24 protein, %3.85 ham selüloz, %2.31 ham yağ, %59.18 şeker ve %4.29 kül içeriğine sahip kayısı ununun maksimum %18'e kadar buğday ununa katılması ile elde edilen krakerlerin fiziko-kimyasal ve duyusal özellikleri bakımından iyi sonuçlar elde edildiği bildirilmiş. Ayrıca kayısı unun unlu mamüllerin besin değerini artırmak için düşük maliyetli bir olanak olduğunu belirtilmiştir.

Meyve sebze diyet lifinin, yağ ikamesi olarak kullanımı hem düşük yağ hem de yüksek lif içerikli ürün eldesini sağlamaktadır. Meyve ve sebze liflerinin et ürünlerinin pişirilmesi sırasında üründeki yağı tutma mekanizması, liflerin fiziksel yapısından kaynaklanmaktadır. Nişasta ve lifin şişmesinin yanı sıra lifin yağ absorbsiyonu ve et proteinleri arasında gelişen matriks yağın üründen dışarı çıkmasını engellemektedir [200].

Wani vd. [201], taze kayısı posası ve işlenmiş ürünleri (meyve barı, sos ve pestil) fizikokimyasal (nem içeriği, titre edilebilir asitlik (TA), askorbik asit ve indirgen şekerler) ve antioksidan özellikleri (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH), toplam fenolik içerikleri bakımından karşılaştırdıklarında kayısı posasının nem içeriği en yüksek (%88) ve en düşük pestil (%16.45) olarak bulunmuştur. C vitamini içeriği bakımından taze posa, sos, meyve barı ve pestil sırasıyla 5.0, 6.5, 7.5 ve 9.8 mg/100 g, indirgen şekerler bakımından taze posa, meyve barı, pestil ve sos için sırasıyla %26.73, %47.61, %59.52, ve %66.66 olarak tespit edilmiştir, Taze kayısı posası, pestil, meyve barı ve sostaki toplam fenol içeriği 81.8, 47, 38 ve 30 mg GAE/100 g. toplam fenolik içerik özelliklerinin maksimum değeri taze posa içerisindeki zengin polifenol içeriğine, işlenmiş ürünlerde bulunan polifenollerin ısı ve şeker ilavesi nedeniyle azalma gözlendiğini bildirmiştir. En yüksek DPPH radikal süpürme aktivitesi kayısı posasında, işlenmiş ürünlerden de meyve barında gözlenmiştir. Kayısı posasının farklı işleme yöntemleriyle, ısıtma ve şeker ilavesi nedeniyle toplam antioksidan özelliklerini azalma gözlenmesine rağmen en az düşüş göz önüne alındığında, taze kayısı posasının meyve barı olarak işlenmesi uygun olduğunu bildirmiştir.

Atık posaların yüksek oranda su ve mikrobiyal yüke sahip, yığın halinde bulunması hızlı bozulmalarına sebep olmaktadır. Saklama süresinin uzatılması ve taşıma işleminin kolaylaştırılması açısından uygun kurutma prosesi uygulanabilir. Bu anlamda kurutma karakteristiklerinin bilinmesi ve en uygun kurutma modelinin tanımlanması önem kazanmaktadır. Literatürde kayısı posasının kurutulmasıyla ilgili bilgi bulunmamaktadır.

Meyve posalarının kurutulmasında en çok elma posasının kurutulması üzerine çalışmalar bulunmaktadır.

Kara ve Doymaz [202] tarafında yapılan bir çalışmada, elma posasının kabin tipi kurutucuda farklı sıcaklıklarda (50, 60, 70 ve 80^{o}C) kurumasında kurumanın azalan hız periyodunda olduğunu ve sabit hız periyodunun olmadığını bildirmişler. On farklı modelle yaptıkları kinetik çalışmada, elma posasının kuruma davranışının en iyi Midilli vd. modelli ile olduğunu bildirmişlerdir.

Wang vd. [73], laboratuvar tipi konvektif kurutucuda farklı sıcaklıklarda (75, 85, 95 ve 105 ^{o}C) elma posasının kurutulmasında iki farklı azalan hız periyodunun olduğunu bildirmişlerdir. İkinci azalan hız periyodunun efektif difüzyon katsayısının birinci periyottakinin iki katı olduğunu tespit etmişlerdir. On farklı model üzerinden yapılan kurutma kinetiği çalışması sonucunda en uygun modelin Logaritmik model olduğunu tespit etmişlerdir.

Kumar vd. [203], havuç posasının kurutma karakteristiğinin konvektif kurutucuda farklı sıcaklıklarda (60, 65, 70 ve 75^{o}C) ve 0.7 m/s hava hızında yaptıkları çalışmada çok kısa artan hız periyodunun olduğunu ama kurutmanın tamamının azalan hız periyodunda olduğunu bildirmişler. Elde ettikleri veriler yardımıyla yapılan matematiksel modelleme sonucunda Hii et al. modelinin en uygun model olduğunu bildirmişlerdir.

Wang vd. [204], elma posalarının ön işlem olarak 105^{o}C'de sıcak havada kurutma sonrasında kurutma işlemine mikrodalga kurutucuda devam edilmiştir. Ayrıca örnekler sadece mikrodalga kurutucuda kurutmuşlardır. Deneysel verilerinden yararlanılarak kurutma kinetik çalışmasında değişik modeller uygulamışlar ve sonuçta en uygun modelin Page olduğunu bildirmişlerdir.

Oberoi ve Sogi [205], kabin kurutucu ve akışkan yatak kurutucuda karpuz posasını kurutmuşlardır. Deneysel verilere Page modelini uygulamışlardır. Ayrıca kurtma işleminin azalan hız periyodunda gerçekleştiğini belirtmişlerdir.

Celma vd. [51], nemli üzüm atıklarının kurutulmasında 200 W'lık iki tane halojen lambaya sahip infrared kurutucu kullanarak farklı sıcaklıklarda (100, 120, 140 ve 160^{o}C) kurutmuşlerdır. Kurutma karakteristikleri belirlemek için deneysel verilere 13 farklı yarı teorik model uygulamışlar ve sonuçta en uygun modelin Midilli vd. modeli olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca efektif difüzyon katsayısının sıcaklıkla artığı bildirilmiştir.

Celma vd. [206] tarafından yapılan başka bir çalışmada, endüstriyel domates kabuk ve tohumlarının kurutulmasında 200 W'lık iki tane halojen lambaya sahip infrared kurutucu kullanarak farklı sıcaklıklarda (100, 120, 140 ve 160^{o}C) kurutulmuştur. Nem oranın kurutma süresi ile değişimini belirlemek amacıyla deneysel verilere 13 farklı yarı teorik model kullanılmış ve çalışmanın sonucunda kurutma karakteristiğini gösteren en uygun modelin Midilli vd. modeli olduğunu belirtmişlerdir. Tüm kurutmanın azalan hız kurutma periyodunda gerçekleştiğini bildirmişlerdir.

3.3 Kayısı Çekirdek Atıkları

Kayısı çekirdeklerin tatlı olanları çerez olarak tüketilmekte, acı olanlar ise kozmetik ve ilaç üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır. Kayısının iç çekirdeği ise, badem yağı, benzaldehit, furfural, aktif karbon, aroma esansı, amigdalin ve hidrosiyanik asit yapımında kullanılmaktadır. Kayısı ağacının gövde ve dalları ile kayısı çekirdeği kabuğu yakacak olarak kullanılırken, yaprakları hayvan yemi olarak değerlendirilmektedir [12].

Yapılan bir çalışmada kayısı çekirdeği kabuklarının biyoyakıt ve biyogaz üretiminde de oldukça başarılı bir şekilde kullanılabileceği gösterilmiştir [13]. Kayısı ve atıklarının aktif karbon üretiminde kullanılarak yüksek verimde alternatif bir adsorbent olarak kullanılabileceğini bazı araştırmacılar tarafından belirtilmiştir [207], [208], [209]. Çin'de yüzyıllardan beri kayısı çekirdeğinin içerdiği yağ, yağda çözünen vitaminler ve mineraller bakımından zenginliği ile yaşlanmaya karşı en iyi ilacın kayısı olduğuna inanılmaktadır. Eski zamanlardan beri kayısı ve çekirdeğinden elde edilen yağın birçok hastalıklarının tedavisinde ilaç ve kozmetik sanayinde kullanıldığı belirlenmiştir [12], [210].

Kayısıların türlerine göre meyve boyutu çekirdek ve iç çekirdek oranları değişiklik göstermektedir. Kayısı çekirdeklerinin fiziksel özellikleri, işleme, taşıma, tasnif, kırma ve ayırma ekipmanlarının tasarımı için önemlidir. Halen kullanılan sistemler genel olarak bu kriterleri dikkate almadan tasarlandığından, ortaya çıkan tasarımlar yetersiz uygulamalara yol açmaktadır. Bu, iş verimliliğinde bir düşüşe, ürün kaybında bir artışa neden olur. Bu nedenle bu ekipmanların tasarlanmasında bu kriterlerin belirlenmesi ve dikkate alınması önemli bir role sahiptir [13].

Açkurt [211], kayısı çeşitlerinin iç çekirdeklerinde protein oranının %14.06–18.18 arasında olduğunu belirtmiş ve K, Mg, Zn, Fe içeriklerinin ise sırasıyla 421–579 mg/100

g, 85.4–134 mg/100 g, 2.41–3.79 mg/100 g, 1.22–4.40 mg/100 g arasında değiştiğini belirtmiştir.

Muradoğlu vd. [12], tarafından yapılan çalışmada Iğdır'da yetiştiriciliği yapılan Beyaz kayısı, Şalak, Malatya aşması, Şekerpare, Teberze ve Zerdali kayısı çeşitlerinin iç çekirdeklerinin protein miktarının %1.40–19.50 arasında değiştiğinin mineral madde içeriklerinin ise K, Mg, Ca, Cu, Zn, Fe, Mn sırasıyla 674.5–467.6, 164.53–126.86, 40.63–30.46, 1.51–1.05, 2.39–2.01, 2,91–2,11, 0.53–0.36 mg/100 g arasında tespit edilmiştir.Malatya aşması çeşidinde Cu, Zn ve Mn miktarı en yüksek, Potasyum (K) minerali bakımından en yüksek Şalak, magneyum(Mg) ve demir(Fe) bakımından Şekerpare, kalsiyum(Ca) bakımından Zerdali çeşidinde en yüksek değerlere sahip olduğu bildirilmiştir. İç çekirdeklerin protein içeriklerinde en yüksek değerin Beyaz kayısı çeşidinde olduğu bildirilmiştir.

Pala vd. [212] tarafından kayısı çekirdekleri üzerinde yaptığı araştırmada, çekirdeklerin ortalama %16 protein, %2.35 kül ve %5 selüloz içerdiğini belirlenmiştir. Çekirdeklerin mineral içeriklerinde özellikle potasyum ve magnezyum düzeyleri yüksek bulunmuştur. Kayısı çekirdeğinin B grubu vitaminler açısından meyvesine kıyasla daha zengin olduğu gözlenmiştir. Kayısı çekirdeklerinin yüksek oranda yağ içerdiğini, yağın yağ asitleri bileşimi incelendiğinde %8.27'sinin doymuş yağ asitlerinden, %91.73'ünün ise doymamış yağ asitlerinden oluştuğunu bildirmişlerdir. Elde edttikleri sonuçların literatür bulguları ile farklılık göstermesinin sebebini değişik kayısı çeşitleri, yetişme ortamındaki iklim koşulları, hasat yılları ve agroteknik önlemlerden kaynaklandığını ifade etmişlerdir.

Alpaslan ve Hayta [213], farklı kayısı türlerinde çekirdeklerinin protein oranlarının %14.1 ile 45.3 oranında değiştiğini yağ oranının ise %27.7 ile %66.7 arasında olduğu bildirmiştir.

Femenia vd. [214] yaptıkları çalışmada ise tatlı ve acı kayısı çekirdeğinin kimyasal kompozisyonlarını bakınca, tatlı kayısı çekirdeğinde (53 g/100 g) acı kayısı çekirdeğine (43g/100 g) göre daha fazla yağ yüzdesi bulunmuş. Yağ asitleri kompozisyonu bakımından oleik asit ve linoleik miktarı 92 g/100 g yağ asidi ile daha fazla bulunduğunu tespit etmişler. Tatlı kayısı çekirdeğinde daha az çözünür şeker ve nem içeriği bulunurken, tatlı ve acı kayısı çekirdeklerinin protein miktarları bakımından fark gözlenmemiştir. Yapılan çalışmalarda protein miktarları 22.4-29.3/100g kuru maddede değiştiğini belirtmişlerdir. Amogladin bakımından acı kayısı çekirdeğinde 4.5-6.5g/100

g kuru maddede değişirken tatlı kayısı çekirdeğinde rastlanmamıştır. Ayrıca çalışmalarında buldukları bazı değerler literatürle uygunluk gösterirken bazılarının farklılık göstermesini kayısı çeşidine ve iklim koşullarındaki farklılıktan kaynaklandığını belirtmişlerdir. Kayısı çekirdekleri yağca zengindir ve yağ üretiminde kullanılmaktadır. Kayısı çekirdeği yağı içerdiği tokoferolden dolayı aynı zamanda doğal vitamin E kaynağıdır. Kayısı çekirdeği yağı doymamış yağ asitlerince zengindir ve bu doymamış yağ asitlerinin ise büyük kısmını oleik ve linoleik yağ asitleri oluşturmaktadır. Gündoğdu vd. [106] çalışmalarında, üç farklı kayısı çeşidi (Bebeco, Sakıt ve, Colomer) çekirdeklerinin yağlarının içerdiği yağ asidi (% metil ester) içeriklerini gaz kromotografi yöntemiyle inceledikleri farklı kayısı çeşitlerinde doymamış yağ asidi içeriklerinden linolenik asit içeriği Bebeco çeşidinde %10.65, Sakıt çeşidinde %6.02 ve Colomer çeşidinde %8.66, Linoleik asit içerikleri bakımından ise Bebeco çeşidi %53.65 Sakıt çeşidi %39.37 ve Colomer çeşidi %29.24 şeklinde, Oleik asit içeriği, Bebeco çeşidinde %26.51, Sakıt çeşidinde %42.01 ve Colomer çeşidinde %59.88 olarak ölçülmüştür. Doymuş yağ asitlerinden Palmitik asit içeriğinin 5.73-10.89 arasında ve ve stearik asit içeriğinin %3.05-3.84 arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Özcan vd. [215] tarafından yapılan çalışmada Malatya'da yetişen kayısılardan elde edilen çekirdeklerle yaptıkları çalışmalar sonunda farklı çeşitlerden elde edilen çekirdeklerin yağ oranın %42.2-57.2 arasında değiştiğini, lif oranın %4.06-7.63 arasında, protein oranın %15.1-24.2 arasında, peroksit değerinin 0.834-8.294 meq O_2/kg arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. %53.06-70.90 arasında değişen oranıyla en yüksek oleik asit, %21.43-35.67 oranıyla linoleik asitin ikinci sırada olduğunu daha sonra ise palmitik asit içeriğiyle kayısı çekirdeği yağının endüstride kullanılabilecek iyi bir kaynak olduğunu bildirmişlerdir.

Eyidemir [216], kayısı çekirdeği unu ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 oranlarında buğday karıştırılarak elde edilen eriştenin bazı kimyasal, fiziksel, pişme ve duyusal özellikleri incelemiş ve kayısı çekirdeği unu ilaveli tüm eriştelerin ilavesiz erişteden daha yüksek protein, yağ ve kül içerdiği tespit edilmiştir. Buğday ununa %15 oranına kadar kayısı çekirdeği unu ilavesiyle erişteyi zenginleştirmede ve fizikokimyasal ve duyusal nitelikler bakımından kabul edilebilir kalitede eriştelerin üretilebileceği bildirilmiştir. Yapılan başka bir çalışmada %35.8 diyet lifi, %21.8 protein, %2.71 kül ve % 40.2 yağ içeren kayısı çekirdeklerinden elde ettikleri kayısı çekirdeği unun duyusal kalite

parametrelerinin etkilenmeden %10 ile 20 arasında kurbiyelere ilave edilebileceği Şeker vd. [217] tarafından bildirilmiştir.

Kayısı çekirdeklerinin kül ve selüloz içeriği düşüktür (%4.8-5.2); ancak ham protein oranı (%23.0-31.4) zengin ve yağ oranı %45.0-53.4 oranında değişirken, şeker oranı dektroz olarak %8.1 oranındadır. Kayısı çekirdeklerinden yağı çıkartıldıktan sonra kalan kalıntı (pres keki) hayvancılık yeminde protein kaynağı olarak kullanılabilen yaklaşık %50 ham protein içerir. Ağırlıklı olarak düşük moleküler ağırlıklı proteinden oluşur. Kayısı çekirdeği press keki birçok gıda formülasyonlarının beslenme durumunu iyileştirmek için protein izolatının hazırlanması için kullanılabilir [218].

BÖLÜM 4

MATERYAL VE YÖNTEM

4.1 Materyal

4.1.1 Kayısı ve Kayısı Posası

Çalışmalarda kullanılmak üzere Malatya yöresinden Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu kayısı çeşitleri tehmin edilmiştir. Analizler süresince buzdolabında muhafaza edilmiştir. Şekil 4.1'de kayısıların taze ve kurutma sonraki görünüşleri gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Hacıhaliloğlu kayısı (üst) Çataloğlu kayısı (alt)

Çalışmalarda kullanılan kayısı posaları, Döhler firmasının Karaman Meyve Suyu Fabrikasından temin edilmiştir. Kayısı posası analiz işlemleri boyunca buzdolabında

saklanmıştır. Şekil 4.2'de kayısı posasının infrared kurutucudaki yaş ve kurutulmuş hali gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Kayısı posasının infrared kurutmadan önceki ve sonraki görüntüleri

4.1.2 Kullanılan Cihazlar

4.1.2.1 Kabin Kurutucu

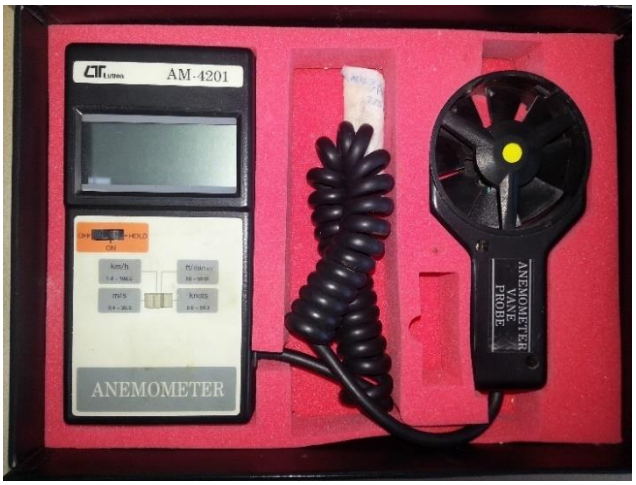
Bu çalışmada, konveksiyon kurutma yapmak amacıyla kabin kurutucudan yararlanılmıştır. Kabin kurutucular genel olarak alt tarafı ızgaralı bir tür tepsi olan kerevetlere sahip sıcak hava kerevetler arasından geçerek ürünün kurumasını sağlamaktadır. Kayısılar belirtilen ön işlemlerden sonra sıcak havayla kurutma yöntemiyle TS 485 belirtilen %22 nem içeriğine kadar kurutulmuştur. Sıcak havayla kurutma yönteminde 1.4 m genişlik, 54 m derinlik ve 1.2 m yükseklikteki Şekil 4.3'de gösterilen kabin kurutucu (APV ve Pasilac, England) kullanılmıştır.



Şekil 4.3 Kabin kurutucu

4.1.2.2 Hava Hızı Ölçüm Cihazı

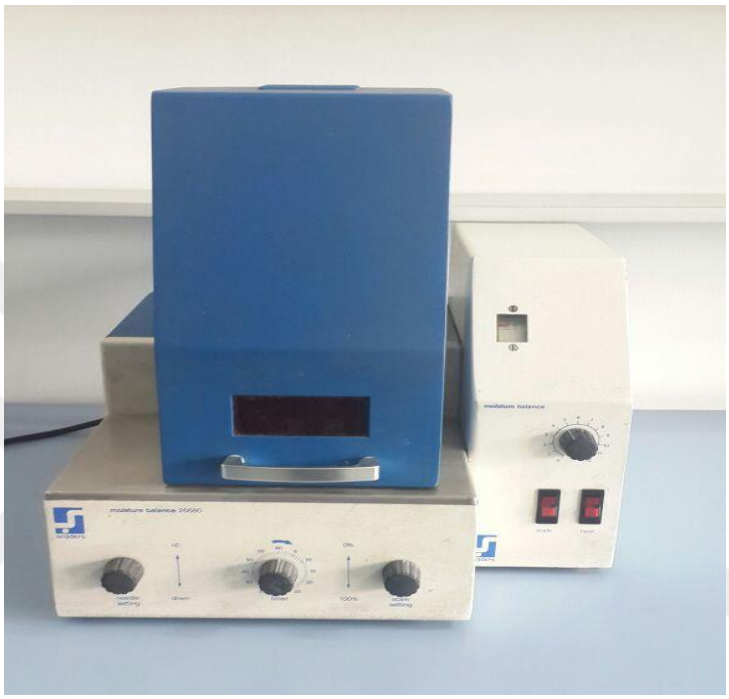
Her iki kayısı türü ve kayısı posası 50, 60, 70 ve 80ºC sıcaklıklarda kabin kurutucuda kurutulurken hava hızı Şekil 4.4'de gösterilen Testo (440 vane probe anemometer) ile kurutma alanında doğrudan ölçülmüştür.



Şekil 4.4 Anemometre

4.1.2.3 İnfrared Kurutucu

Radyasyon kurutma sistemlerinden ise infrared kurutma yöntemi uygulanmıştır. İnfrared kurutmada kullanılan infrared quartz ampuller ayarlanabilir ısı kaynaklarıdır. Kurutmada 250 W halojen lambaya sahip (Snijders Moisture Balance, Snijders b.v., Tilburg, Holland) infrared kurutucu Şekil 4.5'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5 İnfrared kurutucu

4.1.2.4 Etüv

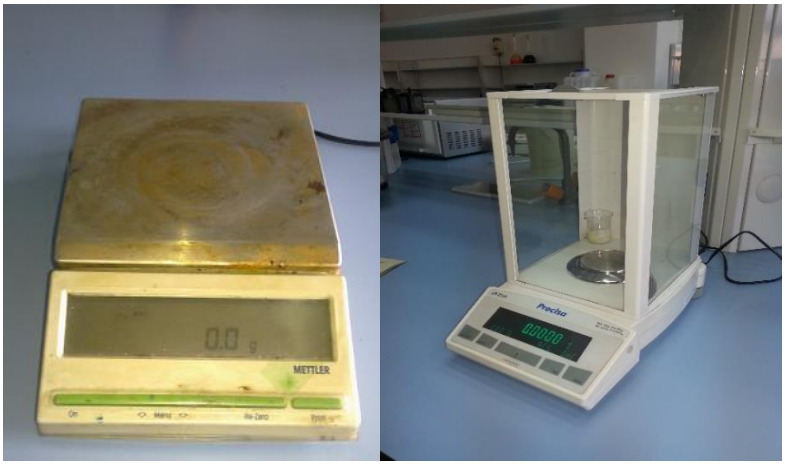
Nem tayini için örnekler Şekil 4.6'da gösterilen Selecta (Barcelona, Spain) marka etüvde sabit tartıma gelene kadar kurutulmuştur. Desikatörde bekletilip soğutulması sağlanmış ve tartılmıştır.



Şekil 4.6 Etüv

4.1.2.5 Terazi

Kurutulan ürünlerde ağırlık ölçümleri Şekil 4.7'de gösterilen Mettler marka (model BB3000, Grefensee, Switzerland) bir terazi ile yapılmıştır. Bu terazi 3 kg'a kadar olan ağırlıkları 0.1 g hassaslıkla ölçebilmektedir. Deney sırasında her 30 dakikada bir ölçümler alınarak kaydedilmiştir.



Şekil 4.7 Kaba terazi (sol) ve hassas terazi (sağ)

Nem tayini gibi daha hassas ölçümlerde Şekil 4.7'de gösterilen Precisa marka (XB 220 A model, Precisa Instruments AG, Dietikon, Switzerland) hassas terazi kullanılarak yapılmıştır.

4.1.2.6 Paketleme Aleti

Kurutma işleminin ardından kurutma kabininden alınarak oda sıcaklığında getirilen örnekler, düşük yoğunluklu polietilen (60 µm kalınlığındaki LDPE) torbalara doldurulduktan sonra Şekil 4.8'de görülen KRUPS firması (Fransa) yapımı Vacupak 2 Plus cihazı kullanılarak ısısal yöntemle torbaların ağzı sıkıca kapatılarak muhafazaya alınmıştır.



Şekil 4.8 Kurutulmuş ürünleri ısısal paketlemede cihazı

4.1.2.7 Renk Ölçüm Cihazı

Renk ölçümleri Şekilde 4.9'da gösterilen Konica Minolta Kromametre (CR-400, Osaka, Japan) marka cihazla yapılmıştır.



Şekil 4.9 Renk ölçüm cihazı

4.1.2.8 Yağ Tayin Cihazı

Yağ tayini amacıyla petrol eteriyle veya benzer çözücüler ile alt kısımdaki kaynatma sisteminden balon içinde kaynayan çözücü üst kısımda kartuş içindeki numuden geçerek yağın çözünmesini sağlar üst kısımda bulunan geri soğutucu sitemi musluk suyuna bağlıdır. Yağ tayininde kullanılan Soxhelet sistemi Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10 Sokslet sistemi

4.1.2.9 Protein Tayin Cihazı

Numune tartılıp yüksek sıcaklıktaki fırında, oksijen atmosferi altında yakılarak içerisindeki toplam azot miktarının tayin edilmesinde Şekil 4.11'deki Leco FP-528 (3000 Lakeview Ave, USA) protein tayin cihazı kullanılmıştır. Cihaz birer adet Helyum, Oksijen ve Kuru Hava tüpü, 1 adet bilgisayar ve yazıcı sistemiyle çalışmaktadır.



Şekil 4.11 Protein cihazı

4.1.2.10 Kül Fırını

Kül analizleri için kullanılan Nabertherm MF 100 marka kül Şekil 4.12'de gösterilmiştir.



Şekil 4.12 Kül fırını

4.1.2.11 pH Metre

Numunelerin pH ölçümlerinde Şekil 4.13'deki Hanna marka pH metre kullanılmıştır.



Şekil 4.13 pH metre

4.1.2.12 Refrektometre

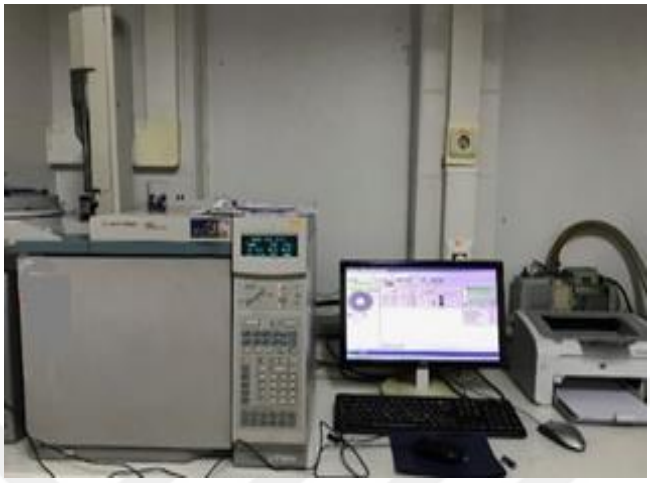
Çözünür kuru madde tayininde kullanılan refraktometre ve su banyosu sistemi Şekil 4.14'deki gibidir.



Şekil 4.14 Refraktometre

4.1.2.13 Gaz Kromotografisi

Yağ asitleri kompozisyonu tayininde Şekil 4.15'de gösterilen Agilent marka GC-FID kullanılmıştır.



Şekil 4.15 GC-FID

4.2 Yöntemler

Kayısılar kurutma öncesinde fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla renk ölçümü, ortalama ağırlık, çekirdek ağırlıkları, meyve/çekirdek oranları, çekirdek içi/çekirdek oranları, nem tayini, kül tayini, pH, titrasyon asitliği ve çözünür kuru madde tayini yapılmıştır. Posanın kurutma öncesinde nem, pH, titrasyon asitliği, protein, kül, yağ, selüloz, HCl'de çözünmeyen kül ve mineral analizleri yapılmıştır.

4.2.1 Fiziksel ve Kimyasal Analizler

Çataloğlu ve Hacıhaliloğlu kayısı örneklerinden 20 adet alınarak kumpas yardımıyla boy, çap ve çekirdek oranları ölçüldü. Çekirdek ve tane ağırlıkları 20 adet örnek hassas terazide tartılarak ortalama olarak alınmıştır.

4.2.1.1 Nem Tayini

Ürünlerin ortalama başlangıç nem içerikleri, etüvde kurutularak AOAC 934.06, [219] metoduna göre 4 paralel olarak ölçülmüş ve yaş baza göre aşağıdaki denklem (4.1)'de gösterildiği şekilde hesaplanmıştır.

$$M = \left(\frac{\mathrm{m_w}}{\mathrm{m_w} + \mathrm{m_d}}\right) \times 100 \qquad (4.1)$$

burada M: Yaş baza göre nem içeriği (%), m_w: Su miktarı (g) ve m_d: Kuru madde miktarı (g).

4.2.1.2 Çözünür Katı Madde Miktarı Tayini

Kayısıların pulp haline getirilerek berrak suyu refraktometrik olarak saptanmış olup, bu amaçla Abbe refraktometreden yararlanılmıştır. Yapılan ölçümler 4 paralel ölçüm sonucundaki ortalama olarak verilmiştir.

4.2.1.3 pH Tayini

Kayısıların pH değeri, pH-metre ile Cemeroğlu [220], tarafından önerilen yönteme göre belirlenmiştir. Bu amaçla homojen hale getirilen kayısılardan 10 g örnek alınarak 90 mL damıtık su içinde karıştırılmış ve kapağı kapatılarak +4°C'de buzdolabında 1 gün süre ile rehidrasyona bırakılmıştır. Bu karışım, daha sonra yüksek devirli bir karıştırıcıda homojenize edildikten sonra, süzme hunisi yardımı ile kaba filtre kâğıdından filtre edilmiştir. Elde edilen filtrat hem pH hem de titrasyon asitliği tayinlerinde kullanılmıştır.

4.2.1.4 Titrasyon Asitliği

Titrasyon asitliği analizinde , pH-metre kullanıralarak Cemeroğlu [220] tarafından önerilen işlemler uygulanmıştır. Bu amaçla; yukarıda pH tayini için hazırlanmış örnekten 25 mL alınarak, fenolftalein indikatörlüğünde normalitesi 0.1 olan NaOH çözeltisi ile titre edilmiştir. Titrasyon asitliği, susuz sitrik asit cinsinden "g/100 g" aşağıdaki denklem (4.2) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$A = \frac{1000 \times V \times 0.1 \times 0.064 \times F}{m} \qquad (4.2)$$

Çözeltinin faktörünü yapmak için potasyum hidrojen fitalat deney yapılmadan önce etüvde (110 ºC) 2 saat kurutulur ve desikatörde soğutulur. Tartım işlemi hassas terazide 0.7-0.9 g arası potasyum hidrojen tartımının ardından üzerine kaynatılmış soğuk saf sudan 50 mL koyularak manyetik karıştırıcıda karıştırarak çözündürülür. Üzerine indikatör olarak 0,25 mL- 0,5 mL fenolftalein (%1'lik) çözeltisi damlatılır. 0.1 M NaOH çözeltisi ile 30 saniye kadar kalıcı olan pembe renk elde edilene kadar titrasyon yapılır. Harcanan NaOH hacmi kaydedilir. Denklem (4.3)'de yerine konularak hesaplanır.

$$F = \frac{m}{0.20422 \times N \times V} \qquad (4.3)$$

Kayısı posasının asitliği sitrik asit yerine Demir ve Özcan [221] tarafından belirtildiği gibi % malik asit cinsinden hesaplanmıştır.

4.2.1.5 Kül Tayini

Homojen haline getirilen deney numunesinden AOAC 940.26, [222] metoduna göre 3 paralel olarak yapılmıştır.

4.2.1.6 HCl'de Çözünmeyen Kül

Sabit tartıma gelmiş kapsül tartılarak kaydedilir ve daha sonra numuneden 5 g örnek koyulur. Kapsül sıcaklığı 525±25°C olan bir fırına konularak önce karbonlaştırılır ve sonra tamamıyla yakılırak kül elde edilir. Elde edilen kül üzerine 10-25 mL HCl (%10'luk) çözeltisi katılır. Bir saat camı ile kapatılarak kaynar su banyosunda 15 dakika ısıtılır ve daha sonra bir huniye yerleştirilmiş külsüz süzgeç kâğıdına aktarılır. Kapsül sıcak damıtık su ile çalkalanır ve içindekiler süzgeç kâğıdına aktarılır. Süzgeç kâğıdı ve kalıntı; daha önceden yakma sıcaklığındaki kül fırınında ısıtılıp soğutulan ikinci bir kapsüle alınır 103±2ºC'de etüvde kurutulur ve kül fırınında 30 dakika ısıtılır. Desikatörde soğutulur. Aynı numune üzerinde en az üç paralel tayin yapılarak ortalaması alınmıştır. Denklem (4.4)'de yerine konularak hesaplanır.

$$K=\left(\frac{m_2\text{-}m_3}{m_1}\right)\times 100 \qquad (4.4)$$

K = HCl'de çözünmeyen kül miktarı (%)

m_1 =Deney numunesinin ağırlığı (g)

m_2 =Kroze ve asitte çözünmeyen kül kütlesi (g)

m_3 =Boş kroze kütlesi (HCL ile muamele sonrası yakılan) (g)

4.2.1.7 Yağ Tayini

Hacıseferoğulları vd. [109] tarafından önerilen yönteme göre analiz numunesinden 10-20 g tartılır ve sokselet kartuşuna aktarılır. Kartuşun ağzı yağsız pamukla kapatılır ve daha önceden içine kaynama taşı konup darası alınmış olan balonla birlikte soxhelet cihazına yerleştirilir. Soğutucunun üzerinden huni yardımı ile 250 mL petrol eteri eklenir ve

elektrikli ısıtıcıya bağlanır. 16 saat süre sonunda ısıtıcı kapatılıp kartuş dışarı alınır. Sokselet balonundaki petrol eteri bir buharlaştırıcıda uzaklaştırılır. Balonda kalmış olabilecek petrol eteri hava akımıyla tamamen uzaklaştırılıp 103±2ºC etüvde 6 saat tutulur, desikatörde soğutulup tartılır, iki tartım arası fark 1 mg'dan fazla olmayıncaya kadar kurutmaya devam edilir. Denklem (4.5)'te yerine konularak hesaplanır.

$$\text{Yağ (\%)} = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_0}\right) \times 100 \quad (4.5)$$

m_0 = Alınan numune miktarı, g

m_1 = Yağ balonun darası, g

m_2 = Yağ balonu + yağ miktarı, g

4.2.1.8 Ham Selüloz Tayini

Ham selüloz analizi için AOAC 934.06, [219] göre numune üzerine 100 mL kaynamış sülfürik asit çözeltisi, birkaç damla köpük önceleyici eklenip ısıtılır. Kaynamaya başladıktan sonra kaynama taşı atılarak soğutma düzeni altında 30 dakika kaynatıldı. Süre bitiminden sonra 100 mL sodyum hidroksit çözeltisi eklenir ve 30 dakika daha kaynatılır. Kaynatılan numune, sıcak olarak hazırlanmış olan delikli süzme krozesinden (gooch krozesi) vakum yardımı ile düzenekte süzülür. Süzme işleminden sonra sülfürik asit, sodyum hidroksit, su ve alkolle yıkanır. Daha sonra kalan kalıntı 2 saat 130ºC sıcaklıkta kurutmanın ardından desikatöre alınan örnekler tartıldı. Tartılan süzme krozesi kül fırınına konarak 600°C'de 30 dakika yakıldı. Desikatörde soğutulup ve son tartımları alındı. Denklem (4.6)'da yerine konularak hesaplanır.

$$\text{Ham selüloz(\%)} = \left(\frac{a-b}{m}\right) \times 100 \quad (4.6)$$

Burada;

a = Cam süzgeç ve deney numunesinin süzme ve kurutma işleminden sonraki ağırlığı, g

b = Cam süzgecin ağırlığı, g

m = Deney numunesinin ağırlığı, g

4.2.1.9 Protein Tayini

AOAC 990.03 [223] metoduna göre, deney numunesinin öğütülerek homojen hale getirildikten sonra 0.25 g civarında numune tartılıp yüksek sıcaklıktaki (975°C) fırında, oksijen atmosferi altında yakılarak içerisindeki toplam azot (protein) miktarının Leco FP-528 protein tayin cihazı kullanılarak protein miktarlarının yüzde olarak tespit edilmesidir. Azot oranı belli EDTA (azot oranı %9.56±0.04) standart örneği olarak kullanılmıştır. Denklem (4.7)'de yerine konularak protein oranı hesaplanır.

Protein (%) = % N × Protein Faktörü (6.25) (4.7)

4.2.1.10 Yağ Asitleri Kompozisyonu

Çekirdek yağı çıkarıldıktan sonra 0.1 gram yağ alınır ve 10 mL n-heptanda çözündürülür. Üzerine 0.5 mL Metilante (11.2 g KOH metanol ile çözündürülür ve 100 mL'ye metanol ile tamamlanır.) çözeltisinden ilave edilir. Karıştırıldıktan sonra faz ayrımı için yaklaşık 1 saat bekletilir üst fazdan alınıp viallenir. Gaz kromatografisi (GC-FID) cihazına enjekte edilir. Çalışma şartları aşağıdaki şekildedir:

— Kolon: SP-234 0.60m × 0.25 mm iç çap, 0.20 µm film kalınlığı.

— Fırın sıcaklığı: 110°C başlangıç sıcaklığında 3 dakika bekletildikten sonra 4°C/dakika sıcaklık artışı ile 120°C'ye çıkarılır. Bu sıcaklıktan sonra 10°C/dakika sıcaklık artışı ile önce 170°C'ye ve daha sonra 2 °C/dakika sıcaklık artışı ile 240°C'ye çıkarılır.

— Detektör sıcaklığı: 280ºC,

— Enjeksiyon miktarı: 0.2 µL

— Taşıyıcı gaz: Hidrojen gazı.

4.2.1.11 Mineral Analizleri

Mineral analizleri için NMK-186 [224] metoduna göre 1 gr tartılan örnekler asitle (HNO_3 veya HCl) kapalı hücrelerde mikrodalga sistem ile ısıtılarak parçalanır. 50 ml'lik balon jojede seyreltilip falcon tüpü ile ICP-MSD (AGILENT 7700X) cihazına verilir ve mineral miktarı tespit edildi

.

4.2.2 Renk Ölçümleri

Renk ölçümleri Minolta cihazında yapılmıştır (Chroma Meter-CR-400 from Konica Minolta, Osaka, Japonya). Yaş ve kuru kayısıların renk ölçümü için L (açıklık/koyuluk), a (+ kırmızılık ve- yeşillik) ve b (+ sarılık ve- mavilik) değerleri ölçülmüştür. Toplam renk değişimi (ΔE*)* aşağıdaki denklem (4.8)'e, C değeri (4.9)'a ve H değeri denklem (4.10)'a göre hesaplanmıştır [172].

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \tag{4.8}$$

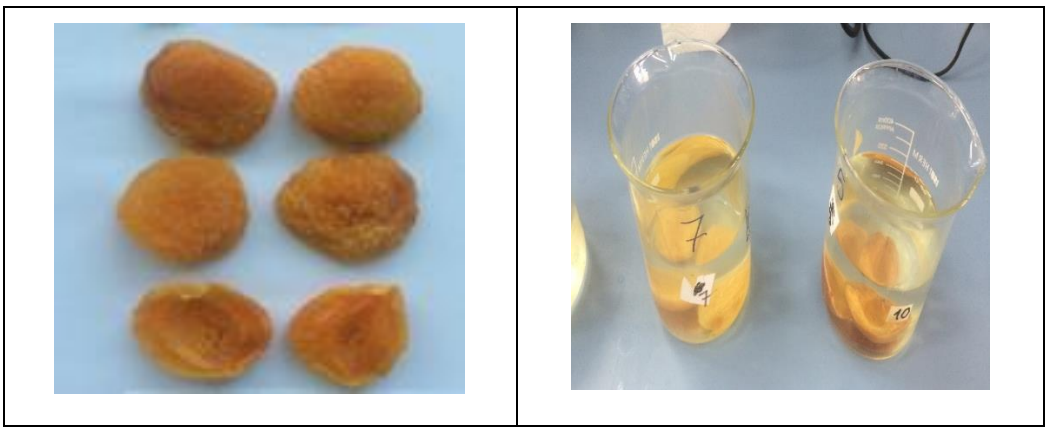
$\Delta L=L-L_0$, $\Delta a=a-a_0$, $\Delta b=b-b_0$ hesaplanarak denkleme yerleştirilir.

$$C = \sqrt{a^2 + b^2} \tag{4.9}$$

$$Huge(H) = arctan(\frac{b}{a}) \tag{4.10}$$

4.2.3 Rehidrasyon

Farklı sıcaklık ve önişlem uygulanarak kurutulmuş örneklerden 10 gr tartılarak rehidrasyon oranları hesaplanmak için Şekil 4.16'da gösterildiği gibi 500 mL'lik beher içerisinde 25ºC'de distile suda bekletilmiştir. Numune her 30 dakikada suyun içersinden alınmış yüzeydeki su nem çekici özelliği bir kâğıt ile kuruladıktan sonra elektronik dijital terazi (Precisa, XB220A modeli, Precisa Instruments AG, Dietikon, İsviçre) ile ağırlıkları ölçülmüştür. Rehidrasyon oranı hesaplamak için (4.11) denklemi kullanılmıştır [225].



Şekil 4.16 Rehidrasyondan önce kükürtlü (sol) ve rehidrasyon sırasında (sağ) kurutulmuş kayısı örnekleri

$$RO = \frac{W - W_k}{W_k} \quad (4.11)$$

Burada, rehidrasyon oranı (RO), W ürün ağırlığı (kg) ve W_k ise kurumadde ağırlığını (kg) göstermektedir.

Rehidrasyon kapasitesi (RK) hesaplamak için denklem (4.12) kullanılmıştır.

$$RK = \frac{W_3}{W_1 - W_2} \quad (4.12)$$

W_1: Taze kayısıların içerdiği su miktarı, gram olarak

W_2: Kayısıların kurutulduktan sonraki su miktarı, gram

W_3: Rehidrasyonda kazanılan su miktarı, gram [226].

Kurutulmuş bir materyalin rehidrasyon kapasitesi (RK) ona uygulanan kurutma koşullarını yansıtan bir değerdir. Bu nedenle farklı kurutma yöntemlerini karşılaştırmada yararlanılan bir yöntemdir. Kurutulmuş materyal rehidrasyon sonucunda, kurutma sırasında kaybettiği kadar su kazanırsa RK değeri 1'e eşittir. RK değeri 1'e ne kadar yakınsa kurutma koşulları veya kuru ürün kalitesi o kadar iyidir [226].

4.2.4 Kurutma Öncesi Uygulanan Önişlemler

Kayısı örnekleri kurutulmadan önce üç gruba ayrılmıştır. Birinci gruptaki kayısılar, %8'lik sodyum metabisülfit ($Na_2S_2O_5$) çözeltisinde 10 dakika süre ile bekletilmiştir (SMB). İkinci gruptaki kayısılar Şekil 4.15'de görüldüğü gibi %1'lik sitrik asit çözeltisiyle 2 dakika muamele edilmiştir (Sitrik Asit). Üçüncü gruptaki kayısılar ise herhangi bir çözelti ile işlem yapılmamıştır (Kontrol). Kayısı çeşitlerine uygulanan ön işlemler farklı kurutma cihazları için Çizelge 4.1 ve 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Kayısılara kabin kurutucu öncesi uygulanan önişlemler

Kurutma Sıcaklığı (^oC)	Kayısı Cinsi	Uygulanan Önişlemler
50	Hacıhaliloğlu Çataloğlu	Bütün olarak (Kontrol)
		Sitrik asit (%1'lik çözeltisinde 2 dakika)
		Sodyum metabisülfite (%8'lik çözeltisinde 10 dakika) (SMB)
		İkiye bölünmüş doğal (Kontrol)
	Çataloğlu	İkiye bölünmüş (SMB)
60	Hacıhaliloğlu Çataloğlu	Bütün olarak (Kontrol)
		Sitrik asit (%1'lik çözeltisinde 2 dakika)
		Sodyum metabisülfite (%8'lik çözeltisinde 10 dakika) (SMB)
		İkiye bölünmüş doğal (Kontrol)
	Çataloğlu	İkiye bölünmüş (SMB)
70	Hacıhaliloğlu Çataloğlu	Bütün olarak (Kontrol)
		Sitrik asit (%1'lik çözeltisinde 2 dakika)
		Sodyum metabisülfit (%8'lik çözeltisinde 10 dakika) (SMB)
		İkiye bölünmüş doğal (Kontrol)
	Çataloğlu	İkiye bölünmüş (SMB)
80	Hacıhaliloğlu Çataloğlu	Bütün olarak (Kontrol)
		Sitrik asit (%1'lik çözeltisinde 2 dakika)
		Sodyum metabisülfite (%8'lik çözeltisinde 10 dakika)
		İkiye bölünmüş doğal (Kontrol)
	Çataloğlu	İkiye bölünmüş (SMB)

Çizelge 4.2 İnfrared ve kombine kurutuculardaki kurutulan kayısılara uygulanan önişlemler

Güç (W)	Kayısı Cinsi	Uygulanan Önişlemler
62	Çataloğlu Hacıhaliloğlu	İkiye bölünmüş doğal (Kontrol)
	Hacıhaliloğlu	Sodyum metabisülfite (%8'lik çözeltisinde 10 dakika) (SMB)
74	Çataloğlu Hacıhaliloğlu	İkiye bölünmüş doğal (Kontrol)
	Hacıhaliloğlu	Sodyum metabisülfite (%8'lik çözeltisinde 10 dakika) (SMB)
88	Çataloğlu Hacıhaliloğlu	İkiye bölünmüş doğal (Kontrol)
	Hacıhaliloğlu	Sodyum metabisülfite (%8'lik çözeltisinde 10 dakika) (SMB)
104	Çataloğlu Hacıhaliloğlu	İkiye bölünmüş doğal (Kontrol)
	Hacıhaliloğlu	Sodyum metabisülfite (%8'lik çözeltisinde 10 dakika) (SMB)
125	Çataloğlu	İkiye bölünmüş doğal
Kombine 88 W+(50-80°C)	Çataloğlu Hacıhaliloğlu	İkiye bölünmüş doğal

Bazı kayısılara kombine kurutma işleminin etkisinin incelenmesi amacıyla ilk olarak 2 saat boyunca infrared kurutucuda (88 W) kurutulan ikiye bölünmüş kayısılar daha sonra 50, 60,70 ve 80^{o}C olmak üzere farklı sıcaklıklarda kabin kurutucuda kurutmaya devam edilmiştir.

Kayısı posasına herhangi bir ön işlem uygulamaksızın infrared kurutucuda (62, 74, 88, 104 ve 125 W) ve kabin kurutucuda (50, 60, 70, 80°C) kurutulmuş ve kuruma karakteristiklerine bakılmıştır.

4.2.5 Kurutma İşleminin Matematiksel Modellenmesi

Kayısı kuruma özelliklerini değerlendirmek için kurutma işleminin modellenmesi çok önemlidir. Bu nedenle, kayısı kurutulmasından elde edilen veriler, ince tabaka kuruma davranışlarının incelenebilmesi için on farklı kurutma modellerine yerleştirildi. Kullanılan modeller Çizelge 4.3'de gösterilmiştir. Kurutma denemelerinde kullanılan ürünlerin nem içeriği kuru baza göre denklem (4.13) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\mathrm{M} = \left(\frac{\mathrm{M_w}}{\mathrm{M_d}}\right) \tag{4.13}$$

Denklemde; M: Nem içeriğini (kg su/kg kuru madde), M_w: Su miktarını (kg), ve M_d: Kuru madde miktarını (kg) göstermektedir.

Çizelge 4.3 İnce tabaka kurutma modelleri

Model Adı	Denklemler	Referans
Lewis	$MR = exp(-kt)$	Roberts vd. [71]
Henderson ve Pabis	$MR = aexp(-kt)$	Chinenye vd. [72]
Logarithmic	$MR = aexp(-kt) + c$	Faal vd. [102]
Verma vd.	$MR = aexp(-kt) + (1-a)exp(-gt)$	Togrul ve Pehlivan [74]
Page	$MR = exp(-kt^n)$	Falade vd. [77]
Midilli vd.	$MR = aexp(-kt^n) + bt$	Midilli vd. [70] Izli vd. [76]
Parabolic	$MR = a + bt + ct^2$	Sharma ve Prasad [75]
Wang ve Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	Izli vd. [76]
Weibull	$MR = exp(-(\frac{t}{b})^a$	Corzo vd. [79]
Aghbashlo vd.	$MR = exp(-(\frac{at}{1+bt}))$	Aghbashlo vd. [80]

Kurutma deneyler sırasında kayısı dilimlerin nem oranı (MR), aşağıdaki denklem (4.14) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\mathrm{MR} = \left(\frac{\mathrm{M}_t - \mathrm{M_e}}{\mathrm{M_0} - \mathrm{M_e}}\right) \tag{4.14}$$

Ürünün belli bir t anında sahip olduğu nem içeriğinin (Mt), ürünün başlangıç nem içeriği (M_0), denge nem içeriği (M_e) ile gösterilmiştir. Denge nem içeriği (M_e), M_0 ile karşılaştırıldığında nispeten küçüktür. Bu nedenle, (4.14) denklemi (4.15)'e dönüşür [102], [227]:

$$MR = \left(\frac{M_t}{M_0}\right) \tag{4.15}$$

Kuruma hızı *(DR)*, zaman aralığında meydana gelen nem içeriği değişimi olarak denklem (4.16)'daki gibi hesaplanmıştır [52].

$$DR = \left(\frac{M_t - M_{t+\Delta t}}{\Delta t}\right) \tag{4.16}$$

Burada; M_t ve $M_{t+\Delta t}$, sırasıyla t ve t+Δt anındaki nem içeriği (kg su / kg kuru madde), DR ise kuruma hızıdır [(kg su) / (kg kuru madde×dakika)], ve t ise zaman (dakika) ifade etmektedir.

4.2.6 Regresyon Analizi

Regresyon analizi için Statistica 8.0.550 bilgisayar yazılımı (StatSoft, Inc., Tulsa, OK) kullanılmıştır. Model parametreleri Levenberg-Marquardt lineer olmayan regresyon algoritmasına dayanarak değerlendirilmiştir. Regresyon katsayısı (R^2) ürünlerin kuruma eğrilerini tanımlayan denklemi seçmek için ana kriter olarak alınmıştır. Tüm modeller için deneysel verilerin uygunluğunu belirlemede regresyon katsayısı (R^2), ortalama relatif yüzde hata (P), ki-kare (χ^2) ve hata karelerinin ortalamasının karekökü (RMSE) değerleri hesaplanarak değerlendirildi. R^2, P, χ^2 ve RMSE değerleri aşağıda belirtilen (4.17), (4.18), (4.19) ve (4.20) deki denklemler kullanılarak hesaplanır.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(MR_{pre,i} - MR_{exp,i}\right)^2}{\sum_{i=1}^{N}\left(\overline{MR}_{pre,i} - MR_{exp,i}\right)^2} \tag{4.17}$$

$$P = \frac{100}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{\left|MR_{pre,i} - MR_{exp,i}\right|}{MR_{exp,i}} \tag{4.18}$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(MR_{pre,i} - MR_{exp,i}\right)^2}{N - z} \tag{4.19}$$

$$\mathrm{RMSE}=\left[\frac{1}{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{N}}\left(\mathrm{MR}_{\mathrm{pre,i}}\text{-}\mathrm{MR}_{\mathrm{exp,i}}\right)^{2}\right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.20)$$

MR_{exp} ve $MR_{pre,}$ deneysel ve tahmin edilen nem ornlarını, N deneysel veri sayısı ve n denklemlerde kullanılan katsayı olarak ifade edilir. En uygun modelin seçiminde, en yüksek R^2 (1'e en yakın değer) ve en düşük P, χ^2 ve RMSE değerleri sağlayan model dikkate alınmıştır [77] [118].

4.2.7 Efektif Difüzyon Katsayısının Belirlenmesi

Efektif difüzyon katsayının hesaplanabilmesi için genellikle Fick'in ikinci kanunu kullanılmaktadır:

$$\frac{\partial M}{\partial t}=\nabla\left[D_{eff}(\nabla M)\right] \quad (4.21)$$

Denklemde; M nem içeriği (k.b.), t süre (s) ve D_{eff} efektif difüzyon katsayısıdır (m^2/s). Fick'in ikinci kanunun analitik çözümünde bazı kabuller yapılır. Bunlar; gıda ürünlerinin tek boyutlu oldukları ve ilk nem içeriklerinin ürün içerisinde üniform olarak dağıldığı varsayılmaktadır. Ayrıca, içsel su hareketinin oluştuğu, difüzyon katsayısının sabit, kurutma süresince büzülmenin olmadığı, materyalin büyüklüğü ve şeklinin değişmediği, dış ve iç ısı transferinin etkisinin ihmal edildiği kabul edilmiştir. Kurumanın üründeki su ya da buhar fazında hareketin difüzyonla oluştuğu, kullanılan havanın kuruma süresinde özelliklerinin sabit olduğunu varsayılır [92], [99], [102], [120]. Bu durumda gerekli sadeleştirmeler yapıldıktan sonra Fick kanunu küresel materyaller için denklem (4.22):

$$MR=\frac{6}{\pi^2}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n^2}exp\left(-\frac{n^2\pi^2D_{eff}t}{r^2}\right) \quad (4.22)$$

Kartezyan veya kalınlık esas alınacak ürünler için denklem (4.23):

$$MR=\frac{8}{\pi^2}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{1}{(2n+1)^2}exp\left(-\frac{(2n+1)^2\pi^2D_{eff}t}{4L^2}\right) \quad (4.23)$$

Bu denklemlerde D_{eff} efektif difüzyon katsayısını (m^2/s), t zaman (s), L örnek kalınlığının yarısını (m), r yarıçap (m) ve n pozitif tamsayıdır. Uzun kurutma periyodunda serilerin ilk terimleri alınır:

$$MR = \frac{6}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{r^2}\right) \quad (4.24)$$

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (4.25)$$

Kurutma zamanına karşı çizilen ln (MR) grafiğinin eğim (K) aşağıda verilen (4.26) ve (4.27) denklemleri ile gösterilir. Bu denklemlerden yararlanarak D_{eff} değerleri hesaplanır.

$$K = \frac{\pi^2 D_{eff}}{r^2} \quad (4.26)$$

$$K = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} \quad (4.27)$$

4.2.8 Aktivasyon Enerji Hesaplanması

Kabin kurutucuda yapılan kurutma işlemleri için efektif difüzyon katsayısının sıcaklık ile değişimi denklem (4.28) kullanılarak aktivasyon enerjisi değerleri (E_a) hesaplanmıştır.

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (4.28)$$

Burada E_a, aktivasyon enerjisini (kJ/(mol), R üniversal gaz sabitini (8.314 kJ /kg mol K) ve T mutlak kurutma havası sıcaklığını (K) göstermektedir.

İnfrared kurutucunun kullanıldığı çalışmalarda sıcaklık doğrudan ölçülemediğinden dolayı aktivasyon enerjisi hesaplanmasında modifiye edilmiş Arrhenius denklemi kullanılmıştır [88], [228].

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a m}{P}\right) \quad (4.29)$$

Burada D_0 Arrhenius denklemi ön eksponansiyel bir faktörü (m^2/s), E_a aktivasyon enerjisini (W/kg), P kızıl ötesi güç seviyesini (W) ve m örnek ağırlığını (kg) göstermektedir.

BÖLÜM 5

DENEYSEL BULGULARIN İRDELENMESİ

5.1 Kayısıların Fiziksel ve Kimyasal Analiz Sonuçları

5.1.1 Fiziksel Analiz Sonuçları

Hasat edilen Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu kayısı çeşitlerinde fiziksel özelliklerin belirlenmesi için ölçülen ağırlık, boy çap ve hesaplanan çekirdek meyve oranları Çizelge 5.1'de verilmişitir. Çataloğlu ve Hacıhaliloğlu kayısılarının meyve ağırlıkları sırasıyla 43.20 ve 29.53 g, çekirdek ağırlıkları 1.74 ve 1.83 g olarak tespit edildi. Elde edilen sonuçlara göre olgun Hacıhaliloğlu kayısı ve çekirdek ağırlıklarının sırasıyla 31.97 ve 2.27 g olduğu Asma [3] tarafından yapılan bir çalışmadaki sonuçlarına yakın bulunmuştur. Literatürde yapılan çalışmalarda kayısının iç çekirdeğinin dış çekirdeğe oranın %18.8 ile %38.0 arasında, 100 adet çekirdek içi ağırlıklarının 28.7–65.1 g arasında değiştiği Alpaslan ve Hayta [213] tarafından bildirilmiştir.

Çizelge 5.1 Kayısı çeşitlerine ait bazı fiziksel özellikler

Özellikler	Çataloğlu	Hacıhaliloğlu
Ağırlık (g)	43.20	29.53
Çap (mm)	42.20	36.14
Boy (mm)	44.20	38.71
Çekirdek (g)	1.74	1.83
Çekirdek içi (g)	0.55	0.63
Çekirdek/Meyve oranı (%)	4.03	6.20
Çekirdek içi/ Çekirdek oranı (%)	31.61	34.43

Başka bir çalışmada Malatya, Iğdır, İzmir ve Bursa bölgesinden topladıkları 11 farklı kayısı çeşidinin meyve ağırlıklarının 21.16±1.28 ve 38.24±2.96 g arasında değiştiğini Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu çeşidi için meyve ağırlıkları sırasıyla 28.42±1.74 ve 22.17±2.47 gram olarak Akın vd. [113] tarafından verilmiştir. Iğdır yöresinde yetişen kayısı çeşitlerinde meyve ağırlığının 27.88-52.91 g arasında, çekirdek ağırlığının 1.96-2.94 g arasında, iç çekirdek ağırlığının 0.72-0.99 g arasında değişim gösterdiğini Muradoğlu vd. [12] tarafından bildirilmiştir.

Kayısı meyve ve çekirdeklerinin değerlendirme süresinde kullanılacak alet ekipman tasarımı için meyvenin ve çekirdeklerin fiziksel boyutlarının bilinmesi önem kazanmaktadır. Malatya yöresindeki kayısı çeşitleri Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu için meyve ağırlığının 25-35 g arasında değişebilmektedir [3]. Kayısıların boyutlarının bilinmesi kurutma işlemi ve önişlemlerin etkisinde önemli rol oynamaktadır. Yapılan başka bir çalışmada ise, Hacıhaliloğlu kayısı türü için büyük ve küçük boyutlu kayısıların aynı içeriğe sahip olmadığı ve kurutma boyunca SO_2 kayıplarının da farklı olduğu Karabulut vd. [229] tarafından belirtilmiştir. Ayrıca, büyük boyutlardaki kayısılarda organik asit ve şeker oranı fazla iken küçük boyutlu kayısılarda daha fazla β-karoten içeriğine sahip olduğu, kurutma sırasında büyük boyutlardaki kayısıların daha düşük SO_2 içeriğine sahip olduğu aynı çalışmada yer almıştır.

5.1.2 Kimyasal Analiz Sonuçları

Hacıhalioğlu ve Çataloğlu kayısı çeşidi için yapılan ölçümler sonucunda nem içeriğinin için %82.57 ve %74.93 olarak bulunmuştur. Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu için kimyasal analiz sonuçları Çizelge 5.2'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürdeki farklı çalışmalarla benzerlik ve farklılık göstermektedir. Örneğin Hacıseferoğulları vd. [109] tarafından yapılan bir çalışmada, Çataloğlu ve Hacıhaliloğlu kuru madde sonuçları ile (%23.21 ve %17.90) uyum göstermiştir. Kül sonuçları Çataloğlu ve Hacıhaliloğlu için %3.35 ve %3.15 olarak pH sonuçları ise sırasıyla 5.23 ve 5.05 olarak bu çalışmada elde edilen sonuçlardan yüksek bulunmuştur. Titrasyon asitliği malik asit cinsinden Çataloğlu ve Hacıhaliloğlu için %0.17-0.21 olarak bu çalışmadaki sonuçlardan daha düşük tespit edilmiştir. Başka bir çalışmada ise Çataloğlu kayısıların titrasyon asitliği ve pH sonuçları sırasıyla 0.36 ve 4.46 ve Hacıhaliloğlu kayısılar ise 0.34 ve 4.03 olarak bu çalışmada elde edilen sonuçlar ile uyum göstermektedir Karataş [179], Iğdır yöresinde yetişen kayısı üzerinde yapılan bir çalışmada, meyve asitlik (% malik asit) oranları 0.14 ile 0.68, pH

5.49 ile 4.81 ve SÇKM oranı %12.50 ile %24.00 arasında değiştiği Muradoğlu vd. [12] tarafından tespit edilmiştir. Akın vd. [113] yılında yaptıkları çalışmada ise Hacıhaliloğlu kayısıdaki kül %0.88 ve titrasyon asitliği ise 0.20 (% sitrik asit), Çataloğlu kayısı çeşidinde ise kül %0.74 ve titrasyon asitliği 0.10 (% sitrik asit) olarak tespit etmişlerdir ve bu çalışmada elde edilen veriler ile kıyaslandığında daha düşüktür. Benzer bulgular, Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi üzerinde yapılan bir çalışmada ham, yarı olgun ve olgun safhalarında yapılan analizlerde pH sonuçlarının 4.11-4.92 arasında, asitliğin %0.47 ile %0.19 arasında, suda çözünür kuru madde oranın ise %20.67 ile %29.30 oranında değiştiği Asma [3] tarafından bildirilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürde verilen sonuçlar arasında yer almaktadır. Sonuçlardaki farklılıkların iklim, bölge, hasat yılı, hasat zamanı ve hasat sonrası uygulanan işlemlerden kaynaklandığı düşünülmektedir [109].

Çizelge 5.2 Kayısı çeşitlerinin bazı kimyasal özellikleri

Çeşit	Su içeriği (%)	Kül (%)	pH	Titrasyon Asitliği (% Sitrik Asit)	Çözünür Katı Madde (%)
Hacıhalioğlu	82.57	2.59	3.98	0.48	17.33
Çataloğlu	74.93	2.35	4.20	0.34	24.56

5.2 Hacıhaliloğlu Kayısı Kurutma Karakteristiklerinin Belirlenmesi

5.2.1 Hacıhaliloğlu Kayısıların Kabin Kurutucuda Kurutma Sonuçları

Kabin kurutucu ile yapılan denemeler sonucunda sıcaklığın kuruma süresine etkisini incelemek amacıyla farklı ön işlemler uygulanmış bütün haldeki kayısılar değişik sıcaklıklarda (50, 60, 70 ve 80^{o}C) kurutulmuştur. Kurutmadan önce uygulanan ön işlemler ile sıcaklıklığın kuruma süresine etkisi olduğu görülmüştür. Kabin kurutucuda yapılan kurutma çalışmaları, Çizelge 5.3'de görüldüğü gibi, sıcaklık yükseldikçe kuruma süresi azalmaktadır. Örneğin kabin kurutucuda, 50°C'de hiçbir işleme tabi tutulmadan (Kontrol) kurutulan Hacıhaliloğlu kayısıları 2820 dakikada kururken, 80°C'de bu işlem 930 dakika sürmektedir. Yani 30°C'lik bir sıcaklık artışı kuruma süresini %67.02 oranında kısaltmaktadır. Kükürtlü çözelti (SMB, Sodyum metabisülfit) ile ön işlem uygulan kayısıların 80°C'de 780 dakikada (13 saat) kuruduğu gözlenmiştir. Benzer sonuçlar Karabulut vd. [139] tarafından Hacıhaliloğlu çeşidinin %75 kurumaddeye kadar 70°C için 20 saatte ve kükürtlenen kayısıların 17.75 saatte kuruduğunu belirtmiştir ve bu çalışmada çıkan sonuçlara benzer sonuçlar bulunmuştur.

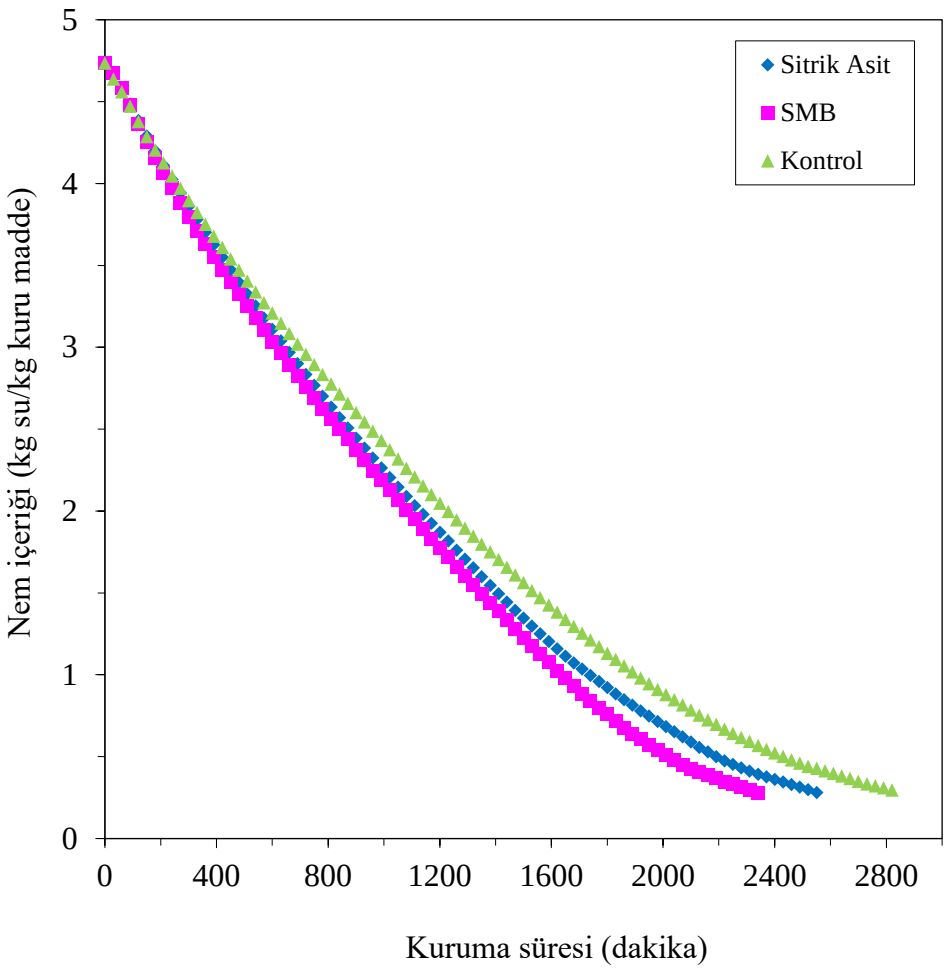
Çizelge 5.3 Hacıhaliloğlu kayısıların farklı sıcaklıklardaki kuruma süreleri (dakika)

Uygulanan önişlemler	Kurutma sıcaklığı			
	50°C	60°C	70°C	80°C
Sitrik asit çözeltiyle muamele	2550	1410	1080	840
Kükürtlü (SMB çözeltisiyle)	2340	1350	1020	780
Doğal (Kontrol) (bütün)	2820	1500	1200	930
Doğal ikiye bölünmüş (yarım)	1380	960	630	540

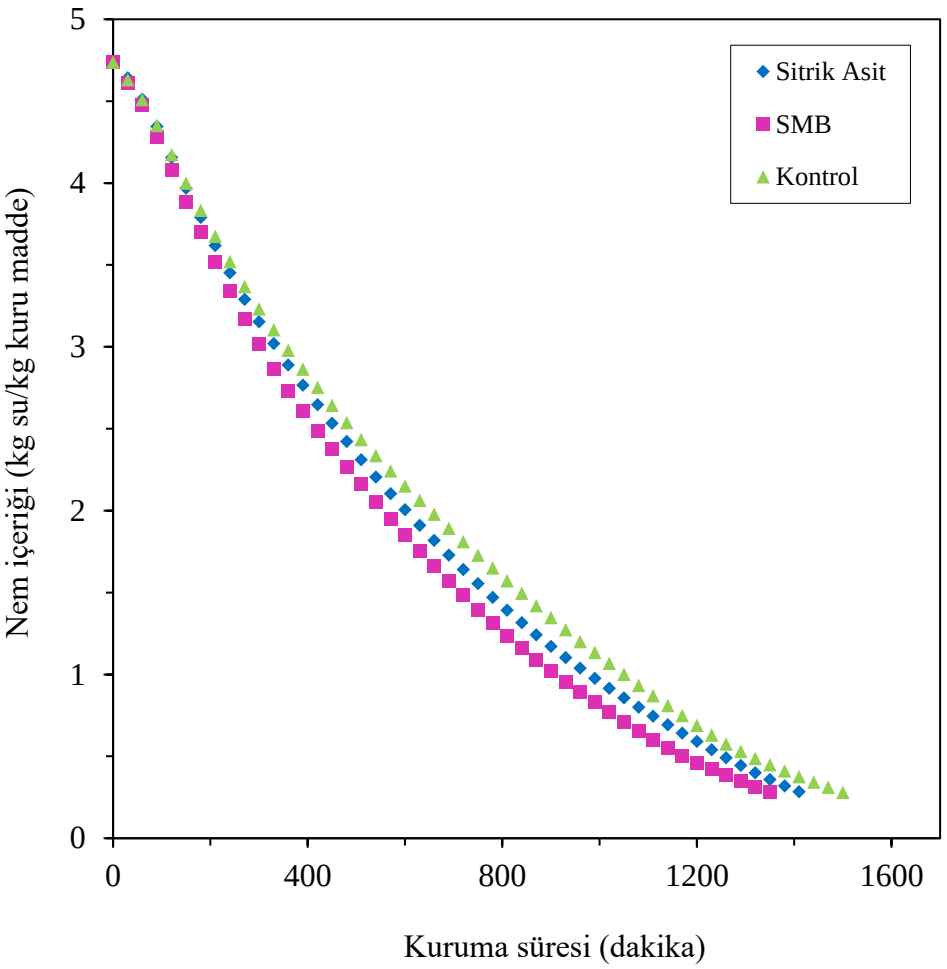
Başka bir çalışmada, %80 kurumaddeye kadar 55 ve 75°C'de kabin kurutucuda kurutukları iki farklı kayısı çeşidi için sıcaklığın 20°C artmasıyla kurutma süresinin %32-35 arasında değiştiği Madrau vd. [112] tarafından bildirilmiştir. Xiao vd. [230] tarafından yapılan başka bir çalışmada ise 3 m/s hızda ve 60^{o}C sıcak hava ile kurutulan kayısıların 18 saatte kuruduğunu aynı sıcaklık için hava hızının 9 m/s hıza artmasıyla kurutma süresi 14 saate düştüğü belirtilmiştir. Doymaz [90] yaptığı çalışmada, başlangıç nemi %80.5 olan Hacıhaliloğlu kayısılarının %25 nem seviyesine kadar ön işlemsiz 1.2 m/s hava hızında 55°C'de kurutulmuştur. Kurutma süresi 50 saat sürmüştür. Kuruma süresinde önişlemde kullanılan çözeltinin konsantrasyonu, maruz kalma süresi, sıcaklık ve uygulanma şekli gibi parametreler etkili olmaktadır. Aynı sıcaklıkta kurutulan farklı ön işlemelere tabi tutulan kayısıların kuruma süresi hiç işlem görmemiş (kontrol) kayısılara göre daha kısa olduğu tespit edilmiştir.

Kayısıların farklı ön işlem uygulanarak kurutulması sırasındaki nem içeriğinin kurutma süresiyle değişimi farklı sıcaklıklar için Şekil 5.1, 5.2, 5.3 ve 5.4'de verilmiştir. Uygulanan ön işlemler arasında kükürtleme işleminin kayısının kurutma süresini azaltmada sitrik asit çözeltine göre daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Örneğin 50^{o}C'de SMB çözeltisiyle kükürtlenen kayısılarda 2340 dakikada kurumasına karşılık sitrik asit asitle muamele edilen kayısılarda 2550 dakikada kurumuştur. Yani sitrik asitle muamele edilen kayısılar önişlemsiz (kontrol) doğal kayısılara göre kuruma süresini %9.57 oranında kısaltırken, SMB çözeltisiyle kükürtlenen kayısılarda bu oran 50^{o}C için %17'e çıkmaktadır. 80^{o}C'de önişlemsiz (kontrol) olarak kurutulan Hacıhaliloğlu kayısılarının kuruma süresi 930 dakika, sitrik asit çözeltisinde 2 dakika bekletilip kurutulan kayısılar 840 dakikada kururken %8'lik sodyum metabisülfit (SMB) çözeltisinde 10 dakika bekletilen kayısılar 780 dakikada kurumuştur. 80^{o}C için kükürtlü kayısılarda kuruma

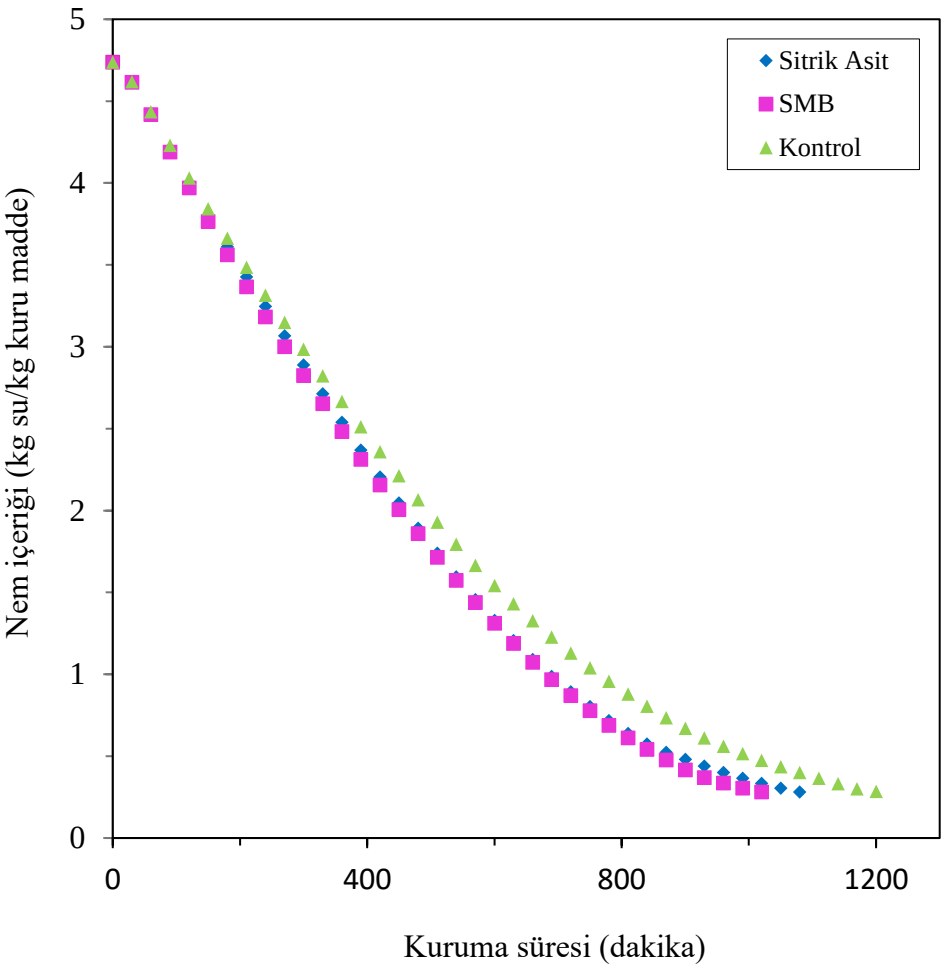
süresi %16.13 azalırken sitrik asitle muamele edilen kayısılarda bu oran %9.67 gibi düşük kalmıştır. Benzer sonuçlar farklı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir. Yapılan bir çalışmada 55°C de 1.2 m/s hızda kabin kurutucuda %5 ve %8'lik $K_2S_2O_5$ çözeltisinde 20 dakika bekletilen Hacıhaliloğlu kayısılarının kuruma süresi 44 ve 32 saat olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre %5 ve %8'lik $K_2S_2O_5$ çözeltisinde 20 dakika gibi süre bekletilen kayısıların kontrol örneklerine göre kurutma süresinde sırasıyla %12 ve %36 oranında azalma gözlenmiştir [90].



Şekil 5.1 Hacıhaliloğlu kayısıların 50°C sıcaklıkta kurumada nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi

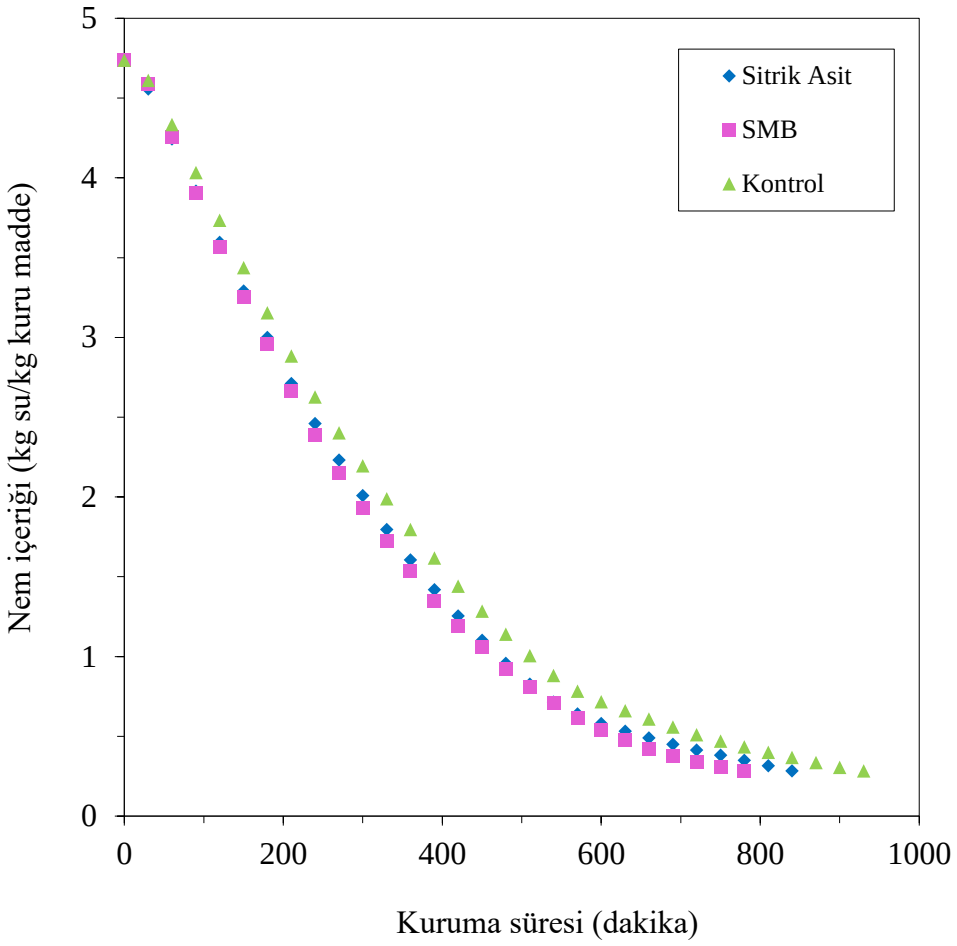


Şekil 5.2 Hacıhaliloğlu kayısıların 60°C sıcaklıkta kurumada nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi



Şekil 5.3 Hacıhaliloğlu kayısıların 70°C sıcaklıkta kurumada nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi

Önişlem uygulanan kayısıların kurutma süresine etkisi literatürde verilen sonuçlarla benzerlik göstermektedir. Ön işlem uygulanmamış (doğal) ve kükürtlenmiş kayısıların 80°C ve 1 m/s hızdaki kuruma süresinin 12 ve 8 saat ile kuruma süresinde %33 azalma olduğu Mengeş ve Ertekin [97] tarafından bildirilmiştir. Ön işlemlerin kayısının kurutma süresinin azalmasında belirgin etkisinin olduğu farklı çalışmalarda belirtilmiştir [120], [155]. Kayısıların kurutulmasında sıcaklığın 50°C'den 80°C çıkarılmasında kuruma süresinde %50 oranında düşme, ön işlem uygulanan (haşlama ve sodyum metabisülfit uygulaması) kayısılarda kurutma süresinde %10 ile %20 arasında azalmıştır [128].

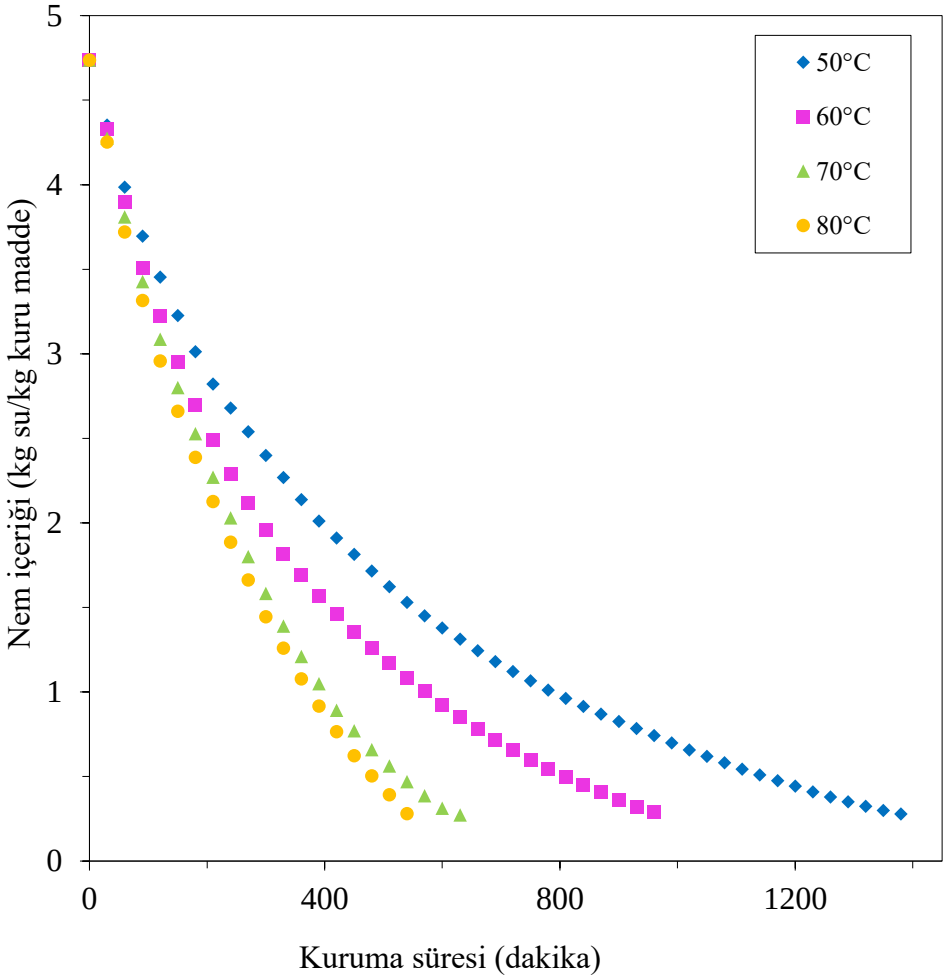


Şekil 5.4 Hacıhaliloğlu kayısıların 80°C sıcaklıkta kurumada nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi

Kurutma sonucunda sıcaklığın 70°C'den 80°C'ye çıkarılmasında doğal ve SMB muamele edilen kayısılar için sırasıyla %22.5 ve %23.53 oranında kurutma süresinde azalma gözlenmiştir. Bu sonucun artan havanın sıcaklığı ile birlikte bağıl neminde azalma meydana gelmekte bu da kurutma potansiyelini artırdığı Mengeş vd. [99] tarafından bildirilmiştir. Hacıhaliloğlu kayısı kurutulmasının 70°C ve 2 m/s hızda kükürtlü (kükürt odasında) ve doğal olarak kurutulmasında kükürtlü kayısıların doğal kayısılara göre kurutma süresinin %21 oranında azaltığı belirtilmiştir. Buna karşılık kurutma sıcaklığının 70°C'den 80°C'e çıkıldığında doğal kayısılarda kurutma süresi %28 ve kükürtlü kayısılar için %36 oranında azalma olduğu Mengeş ve Ertekin [97] tarafından bildirilmiştir.

İkiye bölünmüş olarak kurutulan kayısıların nem içeriğindeki değişim Şekil 5.5'de verilmiştir. 50°C sıcaklıkta doğal bütün olarak kurutulan kayısılar 2820 dakikada kururken ikiye bölünmüş olarak kurutulan kayısılar 1380 dakikada kuruma gözlenmiştir. İkiye bölünerek kurutulan kayısılarda kuruma süresi bütüne göre 50°C için %51 kadar

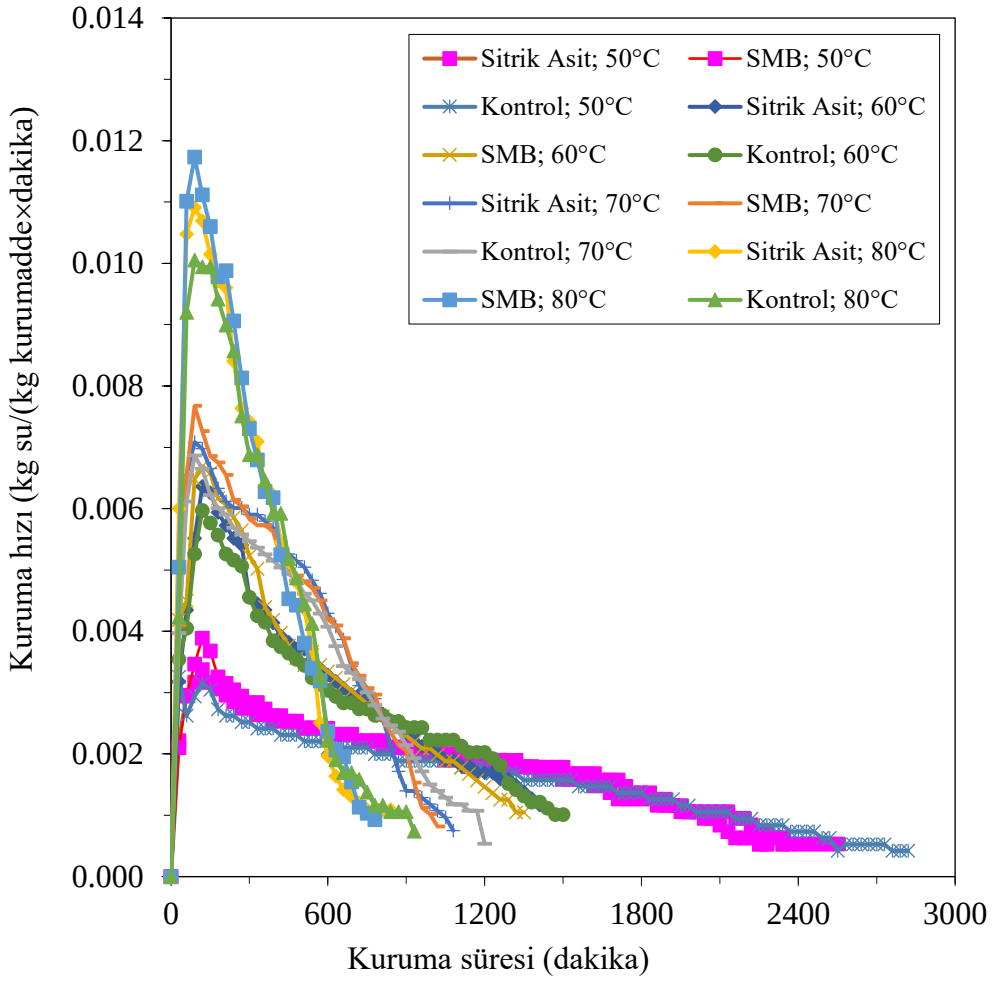
kısalma gözlenirken 80°C için bu oran %33 olarak ölçülmüştür. Kayısıların kurutma sıcaklığının 50°C'den 80°C'ye çıkarılması ile kuruma süresinde %60 azalma meydana gelmiştir. Mirzae vd. [63] tarafında yapılan çalışmada, kayısıların %84.17 nem içeriğinden %15 nem içeriğine kadar kurutmada sıcaklığın 50°C'den 80°C'ye çıkarılması ile kuruma süresinde %52 azalma olduğunu tespit etmiştir.



Şekil 5.5 İkiye bölünmüş Hacıhaliloğlu kayısıların nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi

Hacıhaliloğlu kayısıların kurutma hızının zamanla değişimi Şekil 5.6'da verilmiştir. Bu şekilde görüldüğü gibi, kurutmanın ilk aşamasında kurutma hızında artış ve daha sonra kuruma süresi ile birlikte sürekli olarak azalma eğilimi gözlenmiştir. Tüm kurutma azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir. Sabit kuruma evresi görülmemiştir. Üründen nem çıkışının tamamen difüzyon mekanizmasıyla meydana gelmiştir. Kayısıların kurutulmasında elde edilen grafik literatürde birçok tarım ürünlerinin kurumasında gözlenmiştir. Literatürde kayısıların kurutulmasında yapılan farklı birçok çalışmada tüm

kurutmanın azalan hız periyodunda olduğu sabit hız periyodunun gözlenmediği bildirilmiştir [34], [90], [98], [102], [230].



Şekil 5.6 Bütün olarak kurutulan Hacıhaliloğlu kayısıların kuruma hızının kuruma süresi ile değişimi

5.2.2 Hacıhaliloğlu Kayısıların Infrared Kurutucuda Kuruma Sonuçları

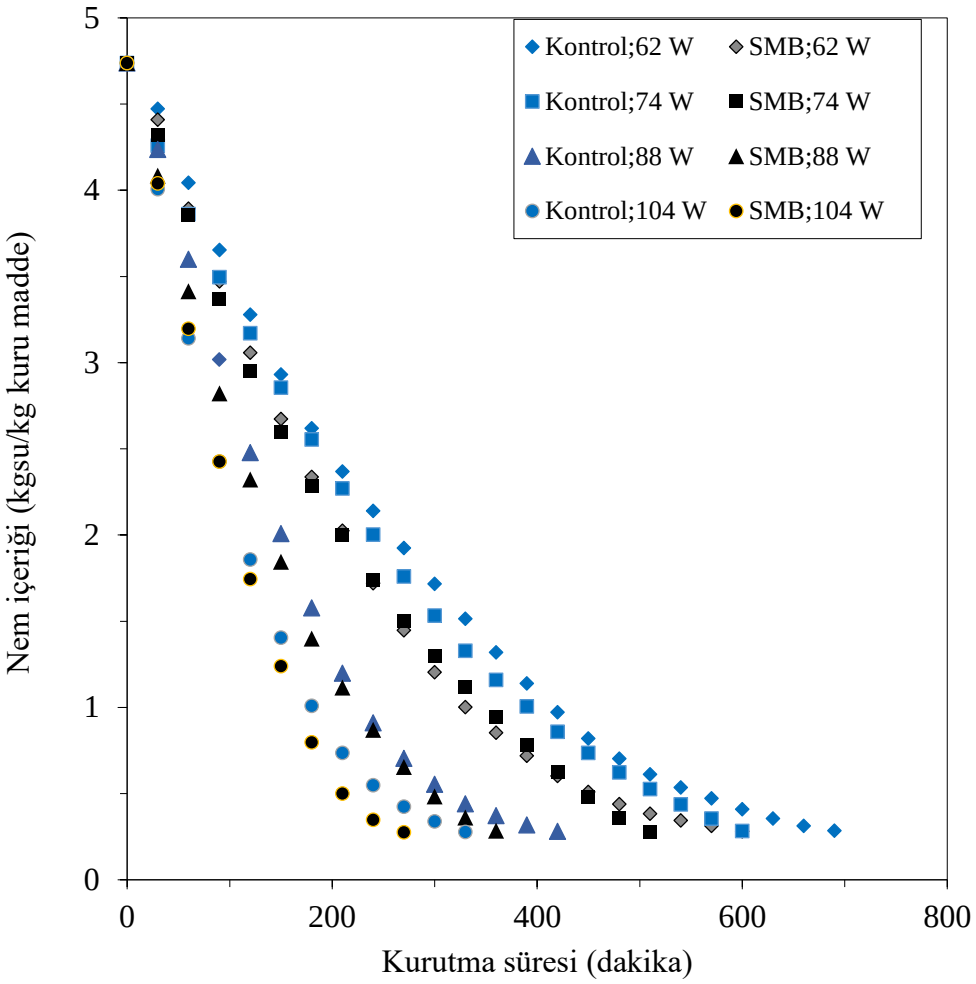
Değişik infrared güç seviyelerinde kurutulan ikiye bölünmüş Hacıhaliloğlu kayısı örneklerin kurutma süreleri Çizelge 5.4'de verilmiştir. Kurutma sırasında ikiye bölünmüş kayısıların kuruma eğrileri Şekil 5.7'de gösterilmiştir. Bu kurutma eğrilerinden görüleceği gibi örneklerin nem içeriği kurutma süresiyle ile azalmıştır. Ayrıca infared güç seviyesi arttıkça kuruma süresi büyük ölçüde azaldığını göstermektedir. Son su içeriği 0.285 (kg su/kg kuru madde) kadar kurutulan ikiye bölünmüş ön işlemsiz (kontrol) örnekleri kayısıların kuruma süreleri Çizelge 5.4'de görüldüğü gibi 62, 74, 88 ve 104 W arasında infrared güç seviyelerinde sırasıyla 690, 600, 420 ve 330 dakika olarak bulunmuştur. Ortalama kuruma hızı infrared gücü 62 W'dan 104 W çıktığında kuruma

hızı 2.09 kez artmıştır. Yani kuruma süresi %52.17 oranında azalmıştır. Beklendiği gibi artan infrered gücü ile birlikte, üründe yüksek ısı absorbsiyonu sonucu yüksek ürün sıcaklığı, yüksek kütle transferi, yüksek kuruma hızı ve düşük kuruma süresi gözlenmiştir [48], [53], [231], [232], [233].

Çizelge 5.4 Hacıhaliloğlu kayısılarının infrared kurutucuda kuruma süreleri

Güç (W)	Kontrol (dakika)	SMB (dakika)
62	690	600
74	600	510
88	420	360
104	330	270

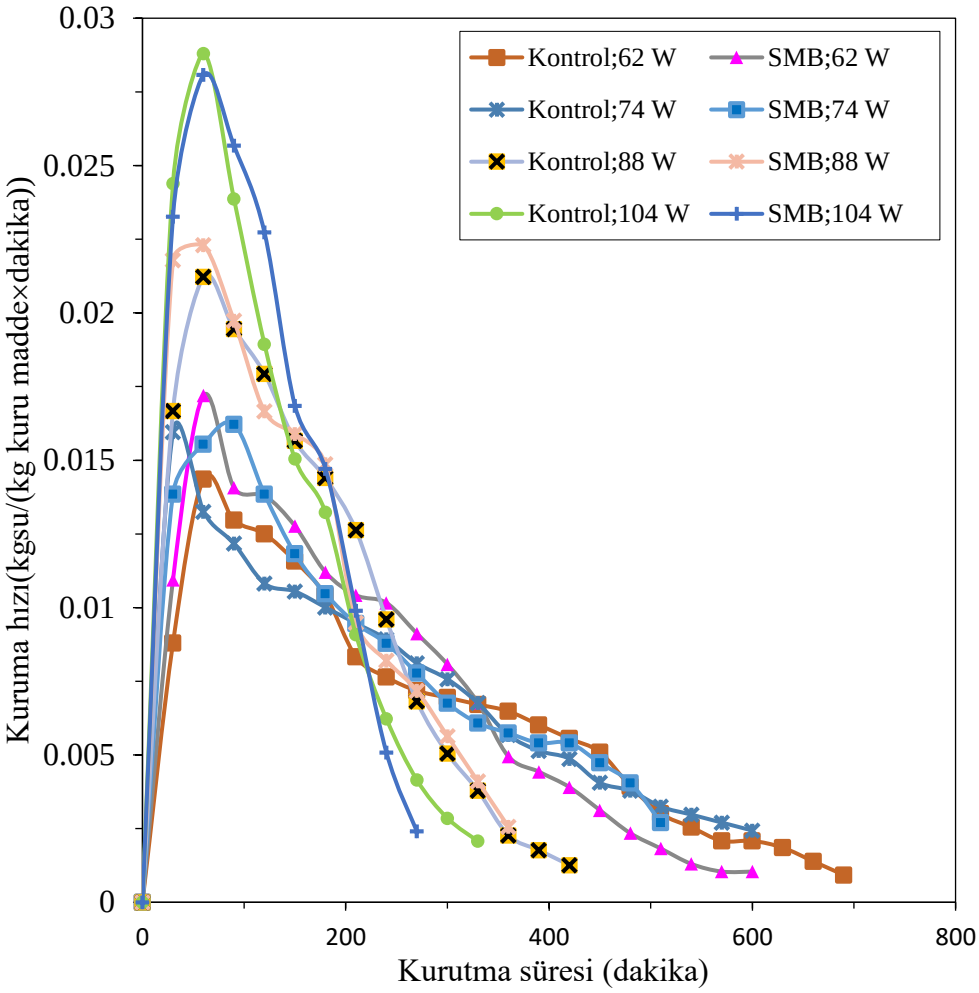
Farklı infrared güç ve ön işlemlerin uygulandığı kayısıların nem içeriğinin kurutma süresiyle değişimi Şekil 5.7'de verilmişitr. Önişlemlerin kurutma hızına önemli etkisi olduğu gözlenmektedir. %8'lik SMB çözeltisinde bekletilen kayısıların ön işlemsiz (kontrol) örneklerine göre daha kısa sürede kuruduğu gözlenmiştir. Kuruma süresinde %15 ile %22.2 değişim oranıyla kükürdün kuruma süresinde etkili olduğu gözlenmiştir. Literatürde farklı meyveler için verilen sonuçlarda olduğu gibi kükürt çözeltisinin kayısı dilimlerinin hücre duvarındaki geçirgenliği artırması ile kurutma süresinin kısaldığı bildirilmiştir [122]. Aktaş vd. [234] yaptıkları çalışmada ise, 4.56 g su/g kurumaddeden 0.34 g su/g kurumaddeye kadar infrared kurutucuda ikiye bölünmüş kayısıların 60-65ºC ve 0.25-0.5 m/s hava hızında kuruma süreleri sırasıyla 690, 650, 410 ve 450 dakika sürdüğünü ve ortalama kuruma süresinin 550 dakika olduğunu bildirmiştir.



Şekil 5.7 İnfrared kurutucuda Hacıhaliloğlu kayısıların kuruma süresi boyunca nem içeriğindeki değişim

Kayısıların kuruma hızının zamanla değişimi Şekil 5.8'de gösterilmiştir. Kurutmanın başında kısa bir ısınma evresi boyunca kısa süreliğine kurutma hızında artış gözlenmiştir. Bu ısınma periyodunun ardından kayısı dilimleri azalan hız periyoduna girmiştir. Bu evrede artan kuruma süresi boyunca, kuruma hızında azalma gözlenmiştir. Kurutma hızındaki artış kurutma gücündeki artışla paralellik göstermiştir. Bunun anlamı yüksek infrared güç seviyesinde, ısı ve kütle transferi artarken üründeki nem kayıpları çok fazla olmaktadır. Kurutmanın başlangıcında artan kurutma hızı gözlenirken daha sonra nem oranındaki azalmayla birlikte kurutma hızında azalma gözlenmektedir. Bu kurutma hızındaki düşüşün sebebi nem kaybının artması ve ürünün porozitesinin düşmesiyle birlikte su hareketine karşı direnç artmaktadır. Elde edilen sonuçlar literatürde çeşitli araştırmacılar tarafından bazı tarımsal ürünleri için verilen sonuçlarla uyumluluk göstermektedir. Shi vd. [126] tarafından yapılan çalışma sonucunda taze yaban mersinin infrared kurutucuda başlangıçta ısınma evresinde kurutma hızında az bir artış evresi

gözlense de kurutmanın azalan kurutma hızı periyodunda gerçekleştiğini sabit kurutma hızı evresinin gözlenmediğini bildirmişlerdir. Benzer sonuçları Igual vd. [34], Wang ve Sheng, [44] ve Kocabıyık vd. [235] tarafından da verilmiştir.



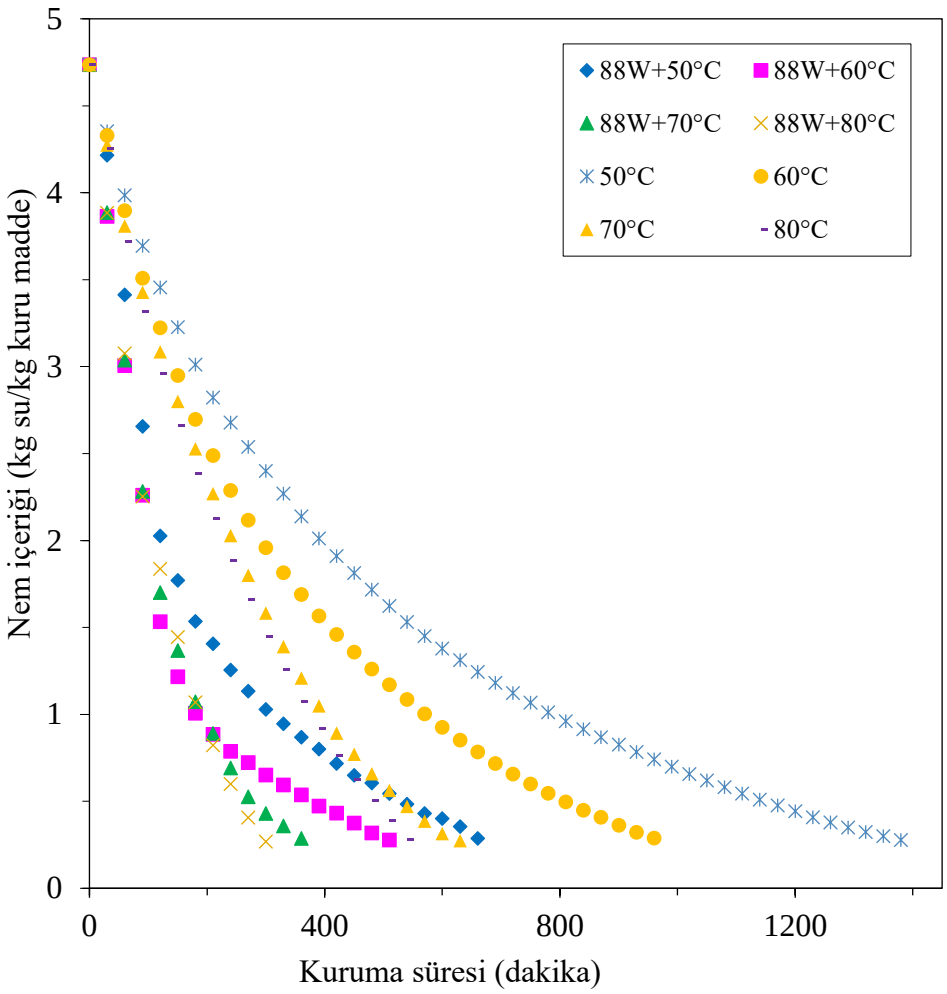
Şekil 5.8 İnfrared kurutucuda Hacıhaliloğlu kayısıların kurutma hızının kuruma süresi ile değişimi

5.2.3 Hacıhaliloğlu Kayısıların Kombine Kurutucu Kuruma Sonuçları

Hacıhaliloğlı kayısıların ikiye bölünmüş olarak 2 saat boyunca infrared kurutucuda 88 W gücünde kurumasının ardından kabin kurutucuda 50, 60, 70 ve 80°C'de kuruma işlemine devam edilmiştir. Kurutma süreleri 88W+50°C, 88W+60°C, 88W+70°C, 88W+80°C kuruma koşullarında sırasıyla 660, 510, 360 ve 300 dakika olarak tespit edilmiştir.

Doğal (Kontrol) kayısılar ikiye bölünmüş olarak kabin kurutucuda 50, 60, 70 ve 80°C'deki ve kombine olarak (88W+50°C, 88W+60°C, 88W+70°C, 88W+80°C) kurutulan kayısıların kurutulmasının nem içeriğinin zamanla değişimi karşılaştırmalı

Şekil 5.9'da verilmiştir. Kombine kurutmanın sadece sıcak havayla kurutmaya göre daha kısa sürede kuruma sağladığı ve ürünün daha kısa süre sıcaklığa maruz kaldığı gözlenmiştir. Örneğin, kabin kurutucuda 80°C'de kurutulan ikiye bölünmüş kayısıların kurutma süresi 540 dakikada iken kombine kurutmada (88W+80°C) kurutulan kayısıların kurutma süresi 300 dakikadır. Bu sonuç kurutma süresinde yaklaşık %45 oranında azalma meydana getirmiştir. Kabin kurutucuda kurutulan kayısılarda gözlendiği gibi kombine olarak kurutulan kayısılarda da sıcaklık artıkça kurutma süresi kısalmıştır. Örneğin 88 W ve 50°C'de kurutulan kayısılar 660 dakikada kururken 88 W ve 80°C bu süre 300 dakikaya inmiştir.



Şekil 5.9 Hacıhaliloğlu kayısıların kombine kurutma süresi boyunca nem değişimi

60ºC'de sıcak hava ile kurutulan kayısılar 960 dakikada kururken kombine kurutmada (88W + 60°C) kuruma süresi 510 dakika düşmüştür. Kayısıların sıcak hava ve kombine (infrared+ sıcak hava) kurutumanın karşılaştırıldığı çalışma literatürde bulunmamaktadır. Yapılan bir çalışmada, Şekerpare kayısısının infrared ısı kaynağı ve sıcak hava

pompasının birlikte kullanıldığı kurutucuda 0.5 m/s ve 60^{o}C sıcaklıkta kurutulmasının 650 dakika sürdüğü aynı hava hızında kurutma sıcaklığının 65^{o}C'ye çıkarılmasında ise 410 dakika sürdüğü Aktaş vd. [234] tarafından bildirilmiştir.

Garcia-Martinez [138] yaptığı çalışmada ikiye bölünmüş kayısıların sıcak hava (40 ve 60^{o}C), mikrodalga (100W) ve kombine kurutma (100W + 40^{o}C) olmak üzere üç farklı şekilde kurutulmasında mikrodalga kurutmanın sıcak havaya göre %82 daha kısa sürede kurutma sağladığını belirtmişlerdir. Horuz vd. [162] mikrodalga (120-180W) ve sıcak havanın (50-70^{o}C) kombine kurutma sisteminde nem oranın %77'den %25 nem içeriğine kurutmuşlardır. Kurutma süreleri 180W + 70^{o}C, 180W + 50^{o}C 120W + 70^{o}C 120W + 50^{o}C sırasıyla 440, 820, 720 ve 1560 dakikadır. Sıcak havanın sıcaklık derecesinin mikrodalga gücünden daha etkili olduğunu bildirmişlerdir.

5.2.4 Hacıhaliloğlu Kayısı Modelleme Sonuçları

5.2.4.1 Kabin Kurutucu ile Kurutulanlar

Kabin kurutucuda bütün olarak kurutulan kayısıların farklı sıcaklıklarda elde edilen nem içeriği verileri (4.15) denklemi kullanılarak MR değerlerine dönüştürüldü. Çizelge 4.3'de verilen 10 farklı matematiksel modellere uygunluğu araştırıldı. Sitrik asit ve SMB çözeltisiyle ön işlem uygulanan ve hiç işlem uygulanmayan doğal olarak kurutulan kayısıların modellere ilişkin istatiksel parametreleri Çizelge 5.5, 5.6 ve 5.7'de verilmiştir. Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi için farklı sıcaklık ve ön işlemler için Midilli vd. modelin en uygun model olduğu tespit edilmiştir. Midilli vd. modelin R^2, P, χ^2 ve RMSE değerleri sırasıyla 0.9984–0.9999, 0.66576-3.607413, 0.000011–0.000135 ve 0.013119–0.068543 arasında değişmektedir.

Çizelge 5.5 Sitrik asit çözeltisiyle muamele edilen Hacıhaliloğlu kayısı örneklerine ait istatistiksel analiz sonuçları

Sıcaklık	Model	R^2	P	χ^2	RMSE
50ºC	Lewis	0.9799	20.230899	0.001590	0.332287
	Henderson ve Pabis	0.9863	16.375605	0.001095	0.269685
	Logarithmik	0.9995	3.314637	0.000045	0.050953
	Verma vd.	0.9995	3.263976	0.000043	0.049504
	Page	0.9969	6.883742	0.000249	0.126476
	Midilli vd.	0.9996	2.507853	0.000031	0.044006
	Parabolic	0.9999	0.988249	0.000007	0.020502
	Wang ve Singh	0.9999	0.939651	0.000007	0.020993
	Weibull	0.9969	6.883758	0.000249	0.126476
	Aghbashlo vd.	0.9999	1.047785	0.000012	0.025891
60ºC	Lewis	0.9875	15.005186	0.000993	0.189673
	Henderson ve Pabis	0.9931	11.396216	0.000561	0.129765
	Logarithmik	0.9997	0.459637	0.000024	0.016333
	Verma vd.	0.9992	0.960959	0.000064	0.029621
	Page	0.9984	5.439488	0.000129	0.064341
	Midilli vd.	0.9998	0.665776	0.000020	0.018031
	Parabolic	0.9989	3.459925	0.000094	0.055358
	Wang ve Singh	0.9989	3.459925	0.000092	0.055358
	Weibull	0.9984	5.439491	0.000129	0.064341
	Aghbashlo vd.	0.9993	2.196230	0.000060	0.038589
70ºC	Lewis	0.9715	24.999217	0.002603	0.281354
	Henderson ve Pabis	0.9832	18.735114	0.001578	0.209825
	Logarithmik	0.9966	8.531774	0.000328	0.090390
	Verma vd.	0.9951	10.073082	0.000477	0.113743
	Page	0.9990	2.926835	0.000090	0.046909
	Midilli vd.	0.9994	3.173617	0.000059	0.038827
	Parabolic	0.9990	3.547560	0.000090	0.045571
	Wang ve Singh	0.9976	5.943002	0.000221	0.078458
	Weibull	0.9990	2.926854	0.000090	0.046909
	Aghbashlo vd.	0.9985	6.153076	0.000140	0.060416
80ºC	Lewis	0.9845	15.922433	0.001417	0.174924
	Henderson ve Pabis	0.9922	10.188050	0.000735	0.117950
	Logarithmik	0.9957	9.293945	0.000418	0.087002
	Verma vd.	0.9935	11.241860	0.000635	0.109545
	Page	0.9992	5.419518	0.000072	0.033524
	Midilli vd.	0.9997	2.193112	0.000030	0.022801
	Parabolic	0.9991	4.682328	0.000093	0.039667
	Wang ve Singh	0.9981	4.678412	0.000176	0.052456
	Weibull	0.9992	5.419522	0.000072	0.033524
	Aghbashlo vd.	0.9962	9.714104	0.000357	0.082532

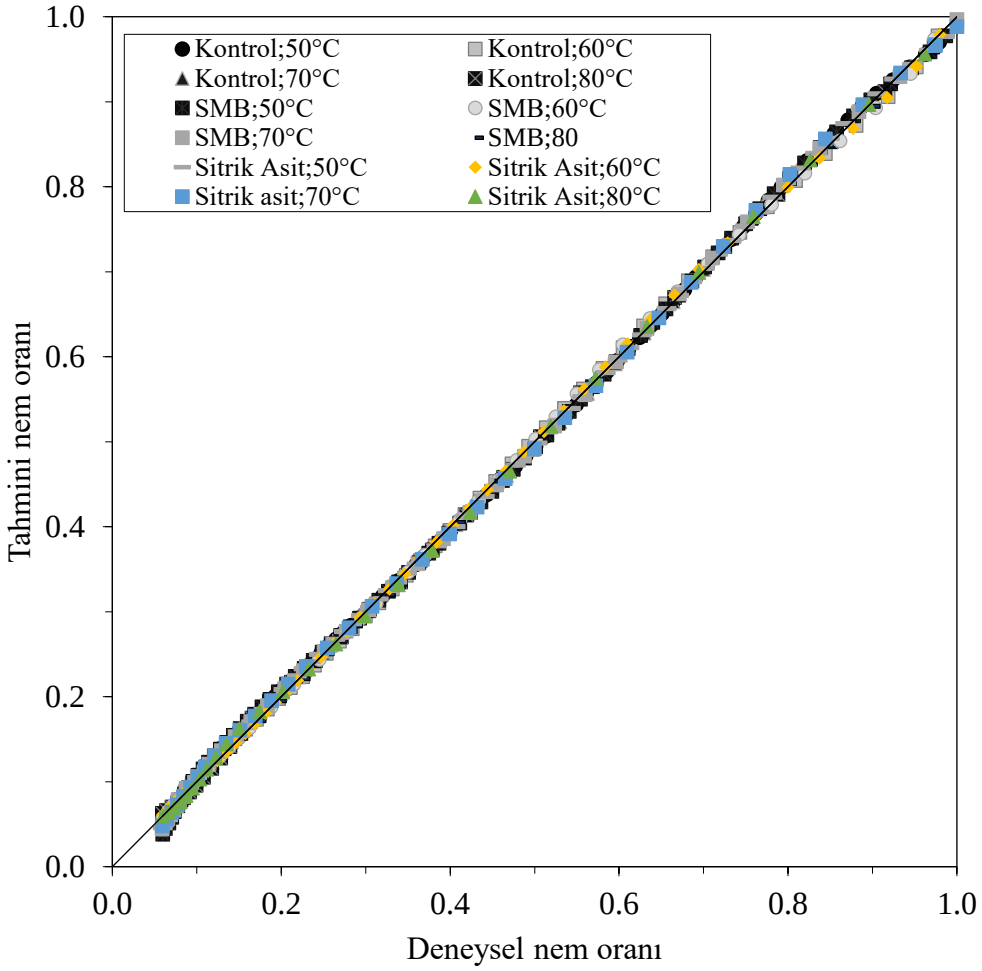
Çizelge 5.6 SMB çözeltisiyle muamele edilen Hacıhaliloğlu kayısı örneklerine ait istatistiksel analiz sonuçları

Sıcaklık	Model	R^2	P	$\chi 2$	RMSE
50ºC	Lewis	0.9758	22.579183	0.001919	0.346042
	Henderson ve Pabis	0.9823	18.915872	0.001418	0.292220
	Logarithmik	0.9993	3.666451	0.000053	0.052446
	Verma vd.	0.9994	3.518828	0.000050	0.050425
	Page	0.9945	9.347754	0.000443	0.165064
	Midilli vd.	0.9993	3.607413	0.000058	0.056333
	Parabolic	0.9996	2.363767	0.000035	0.045666
	Wang ve Singh	0.9995	2.278771	0.000040	0.048978
	Weibull	0.9945	9.347772	0.000443	0.165064
	Aghbashlo vd.	0.9992	2.358931	0.000061	0.059479
60ºC	Lewis	0.9894	14.489460	0.000841	0.171726
	Henderson ve Pabis	0.9941	11.098513	0.000483	0.119880
	Logarithmik	0.9997	0.960933	0.000029	0.022793
	Verma vd.	0.9894	14.489894	0.000880	0.171725
	Page	0.9986	5.376907	0.000118	0.062607
	Midilli vd.	0.9997	1.005003	0.000025	0.023449
	Parabolic	0.9986	3.621462	0.000115	0.058666
	Wang ve Singh	0.9986	3.811176	0.000113	0.059459
	Weibull	0.9986	5.376913	0.000118	0.062607
	Aghbashlo vd.	0.9993	1.972759	0.000057	0.037449
70ºC	Lewis	0.9720	25.257196	0.002508	0.266076
	Henderson ve Pabis	0.9831	19.532407	0.001564	0.200269
	Logarithmik	0.9983	5.756439	0.000155	0.057948
	Verma vd.	0.9720	25.255620	0.002584	0.266076
	Page	0.9984	5.351970	0.000145	0.060993
	Midilli vd.	0.9996	2.943230	0.000039	0.030522
	Parabolic	0.9996	2.324804	0.000038	0.026074
	Wang ve Singh	0.9988	3.947865	0.000111	0.049814
	Weibull	0.9984	5.352063	0.000145	0.060993
	Aghbashlo vd.	0.9995	2.724434	0.000050	0.027953
80ºC	Lewis	0.9826	18.086764	0.001613	0.179265
	Henderson ve Pabis	0.9916	12.071578	0.000807	0.119697
	Logarithmik	0.9968	7.026848	0.000309	0.069264
	Verma vd.	0.9826	18.085246	0.001678	0.179262
	Page	0.9998	2.064532	0.000024	0.015516
	Midilli vd.	0.9999	1.186852	0.000011	0.013119
	Parabolic	0.9991	3.060741	0.000088	0.035864
	Wang ve Singh	0.9979	2.701728	0.000205	0.047149
	Weibull	0.9998	2.064533	0.000024	0.015516
	Aghbashlo vd.	0.9970	6.954471	0.000294	0.068063

Çizelge 5.7 Kontrol kodlu Hacıhaliloğlu kayısı örneklerine ait istatistiksel analiz sonuçları

Sıcaklık	Model	R^2	P	χ^2	RMSE
50ºC	Lewis	0.9826	18.350705	0.001347	0.318995
	Henderson ve Pabis	0.9873	15.209710	0.000993	0.272371
	Logarithmik	0.9993	3.596960	0.000054	0.059318
	Verma vd.	0.9994	3.266465	0.000044	0.052248
	Page	0.9966	6.673455	0.000262	0.138848
	Midilli vd.	0.9995	2.735714	0.000040	0.052669
	Parabolic	0.9999	1.122061	0.000010	0.026084
	Wang ve Singh	0.9997	0.927476	0.000021	0.033398
	Weibull	0.9966	6.673641	0.000262	0.138849
	Aghbashlo vd.	0.9997	1.376726	0.000024	0.039262
60ºC	Lewis	0.9860	17.042749	0.001097	0.206495
	Henderson ve Pabis	0.9910	13.803557	0.000724	0.154646
	Logarithmik	0.9996	1.709970	0.000033	0.033700
	Verma vd.	0.9994	1.678172	0.000047	0.035377
	Page	0.9969	7.731466	0.000246	0.093925
	Midilli vd.	0.9984	3.553534	0.000135	0.068543
	Parabolic	0.9987	3.053488	0.000107	0.061549
	Wang ve Singh	0.9986	3.411961	0.000110	0.063828
	Weibull	0.9969	7.731582	0.000246	0.093925
	Aghbashlo vd.	0.9990	3.435980	0.000081	0.056085
70ºC	Lewis	0.9790	20.728202	0.001836	0.247599
	Henderson ve Pabis	0.9881	15.254104	0.001066	0.179442
	Logarithmik	0.9979	6.120601	0.000191	0.072668
	Verma vd.	0.9790	20.727966	0.001933	0.247599
	Page	0.9994	2.544692	0.000052	0.037981
	Midilli vd.	0.9997	1.934099	0.000026	0.026892
	Parabolic	0.9997	1.256988	0.000025	0.022634
	Wang ve Singh	0.9991	2.839392	0.000084	0.048755
	Weibull	0.9994	2.526967	0.000052	0.037999
	Aghbashlo vd.	0.9991	4.281004	0.000085	0.049904
80ºC	Lewis	0.9839	15.187032	0.001464	0.184362
	Henderson ve Pabis	0.9927	8.959458	0.000686	0.117292
	Logarithmik	0.9955	8.702118	0.000440	0.092201
	Verma vd.	0.9924	11.147887	0.000738	0.121913
	Page	0.9989	6.135598	0.000101	0.044142
	Midilli vd.	0.9998	1.851928	0.000022	0.021164
	Parabolic	0.9985	6.144576	0.000148	0.055354
	Wang ve Singh	0.9972	5.677212	0.000263	0.068426
	Weibull	0.9989	6.136303	0.000101	0.044140
	Aghbashlo vd.	0.9951	10.224896	0.000457	0.097822

Teorik ve deneysel MR verileri Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Bu grafikten de görüleceği üzere MR değerleri grafikte 45° açı ile çizilen düz çizginin etrafında toplanmış olup seçilen modelin kayısının kurutma davranışlarını gösteriminin uyumlu olduğunu belirtmektedir. Literatürde kayısıların kurutulmasında farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar incelendiğinde Midilli vd. modeli birçok araştırmacı tarafından en uygun model olarak tespit edilmiştir [101], [104], [160].



Şekil 5.10 Deneysel ve Midilli vd. modelinin tahmini nem oranı değerleri

5.2.4.2 İnfrared Kurutucu ile Kurutulanlar

Hacıhaliloğlu için infrared kurutucu ikiye bölünmüş kontrol ve SMB örneklerinin hesaplanan istatiksel analiz sonuçları Çizelge 5.8 ve 5.9'da verilmiştir.

Çizelge 5.8 İnfrared kurutucuda kurutulan Hacıhaliloğlu kayısı örneklerine ait istatistiksel analiz sonuçları

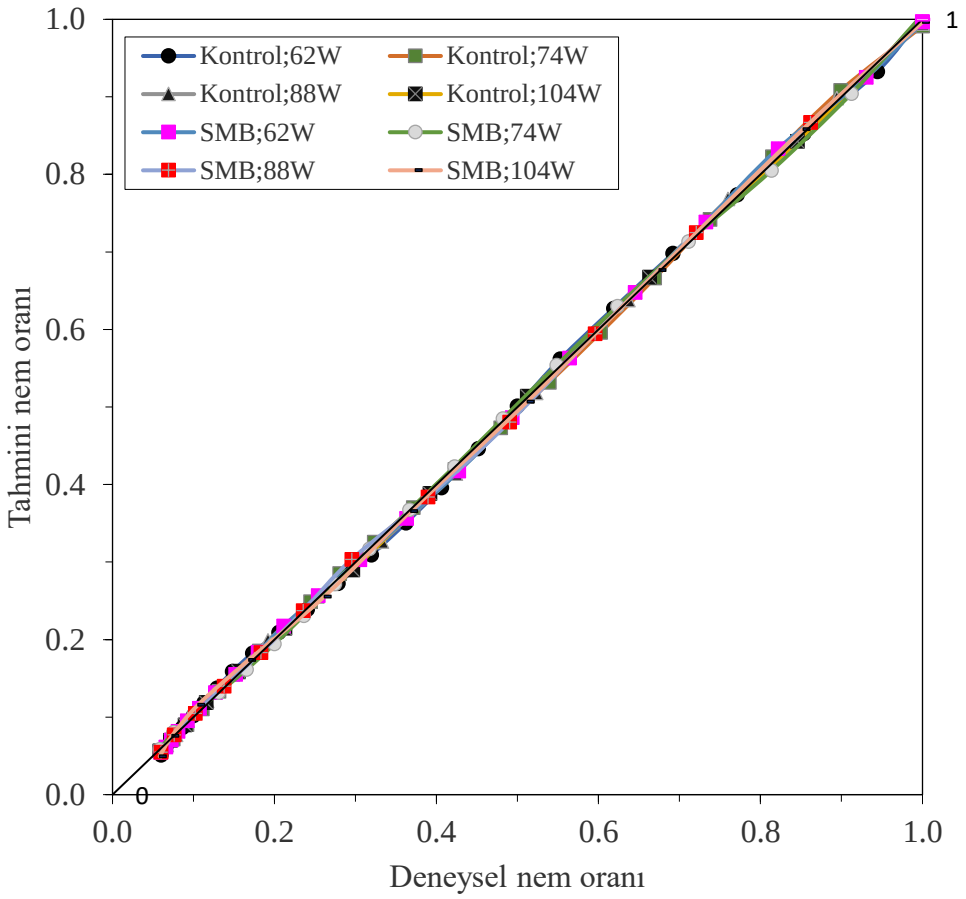
IR gücü	Model	R^2	P	χ^2	RMSE
62 W	Lewis	0.9856	15.370215	0.000913	0.131881
	Henderson ve Pabis	0.9941	11.473177	0.000542	0.096079
	Logarithmik	0.9985	5.298995	0.000144	0.043702
	Verma vd.	0.9992	2.609844	0.000072	0.031949
	Page	0.9993	2.800588	0.000065	0.031996
	Midilli vd.	0.9994	2.975227	0.000060	0.029462
	Parabolic	0.9991	2.947699	0.000086	0.032273
	Wang ve Singh	0.9990	2.795809	0.000083	0.031384
	Weibull	0.9993	2.800593	0.000065	0.031996
	Aghbashlo vd.	0.9989	4.000280	0.000099	0.034807
74 W	Lewis	0.9913	14.050663	0.000731	0.105903
	Henderson ve Pabis	0.9933	11.950229	0.000597	0.093990
	Logarithmik	0.9995	2.635742	0.000042	0.024429
	Verma vd.	0.9990	4.104748	0.000093	0.033870
	Page	0.9984	4.672758	0.000135	0.041049
	Midilli vd.	0.9996	1.574714	0.000030	0.019644
	Parabolic	0.9995	2.628486	0.000039	0.020995
	Wang ve Singh	0.9991	3.522201	0.000074	0.029469
	Weibull	0.9984	4.672797	0.000135	0.041049
	Aghbashlo vd.	0.9998	0.732932	0.000014	0.011160
88 W	Lewis	0.9834	18.526175	0.001692	0.133751
	Henderson ve Pabis	0.9891	13.878506	0.001189	0.110037
	Logarithmik	0.9941	12.242317	0.000689	0.081943
	Verma vd.	0.9994	5.034599	0.000070	0.024145
	Page	0.9992	5.978844	0.000085	0.024826
	Midilli vd.	0.9997	2.423267	0.000038	0.018386
	Parabolic	0.9989	4.704318	0.000128	0.033279
	Wang ve Singh	0.9982	4.518201	0.000194	0.038187
	Weibull	0.9992	5.978854	0.000085	0.024826
	Aghbashlo vd.	0.9963	11.160191	0.000406	0.060674
104 W	Lewis	0.9913	12.599779	0.000894	0.081442
	Henderson ve Pabis	0.9941	9.556952	0.000667	0.070756
	Logarithmik	0.9966	8.390329	0.000419	0.052154
	Verma vd.	0.9963	8.851143	0.000466	0.050704
	Page	0.9995	4.481381	0.000051	0.016996
	Midilli vd.	0.9998	1.327072	0.000016	0.009446
	Parabolic	0.9987	6.452198	0.000163	0.032286
	Wang ve Singh	0.9986	6.268246	0.000148	0.031110
	Weibull	0.9995	4.481378	0.000051	0.016996
	Aghbashlo vd.	0.9977	7.937949	0.000256	0.039815

Çizelge 5.9 SMB çözeltisiyle muamele edilen Hacıhaliloğlu kayısı örneklerine ait istatistiksel analiz sonuçları

IR gücü	Model	R^2	P	χ^2	RMSE
62 W	Lewis	0.9875	15.595676	0.001165	0.136199
	Henderson ve Pabis	0.9928	10.803304	0.000703	0.098808
	Logarithmik	0.9963	9.086502	0.000374	0.071822
	Verma vd.	0.9995	3.706938	0.000048	0.025247
	Page	0.9994	4.403424	0.000054	0.025838
	Midilli vd.	0.9996	2.292788	0.000035	0.021136
	Parabolic	0.9992	4.322451	0.000074	0.029522
	Wang ve Singh	0.9990	3.879216	0.000095	0.031230
	Weibull	0.9994	4.403423	0.000054	0.025838
	Aghbashlo vd.	0.9974	8.381076	0.000251	0.056636
74 W	Lewis	0.9899	15.477248	0.000883	0.102038
	Henderson ve Pabis	0.9931	12.899403	0.000638	0.081982
	Logarithmik	0.9996	1.386772	0.000038	0.017982
	Verma vd.	0.9899	15.477463	0.001000	0.102037
	Page	0.9984	6.581366	0.000141	0.039027
	Midilli vd.	0.9997	1.407473	0.000027	0.016211
	Parabolic	0.9986	4.511297	0.000139	0.040950
	Wang ve Singh	0.9985	4.833746	0.000137	0.040344
	Weibull	0.9984	6.581375	0.000141	0.039027
	Aghbashlo vd.	0.9993	3.165515	0.000061	0.026358
88 W	Lewis	0.9889	16.623231	0.001089	0.103123
	Henderson ve Pabis	0.9921	13.581101	0.000843	0.088135
	Logarithmik	0.9983	5.679671	0.000200	0.039804
	Verma vd.	0.9996	1.871048	0.000030	0.013710
	Page	0.9996	1.985384	0.000039	0.016184
	Midilli vd.	0.9997	1.712772	0.000031	0.013607
	Parabolic	0.9996	2.564480	0.000039	0.015429
	Wang ve Singh	0.9996	2.488041	0.000037	0.015302
	Weibull	0.9996	1.985402	0.000039	0.016184
	Aghbashlo vd.	0.9993	3.322849	0.000066	0.020617
104 W	Lewis	0.9756	26.558742	0.002806	0.136488
	Henderson ve Pabis	0.9818	22.439375	0.002352	0.126060
	Logarithmik	0.9942	12.721585	0.000858	0.070465
	Verma vd.	0.9994	4.147841	0.000076	0.019908
	Page	0.9995	3.812741	0.000044	0.015550
	Midilli vd.	0.9996	3.690620	0.000056	0.016464
	Parabolic	0.9981	4.734632	0.000269	0.036719
	Wang ve Singh	0.9971	6.604591	0.000373	0.043273
	Weibull	0.9995	3.812744	0.000044	0.015550
	Aghbashlo vd.	0.9974	9.357598	0.000327	0.040739

İnce tabaka kurutma modelleri arasında Midilli vd. modelinin kayısının kuruma kinetiğini en iyi temsil ettiği bulunmuştur. Yüksek R^2 değerleri ve düşük P, χ^2 ve RMSE değerleri farklı infrared güçleri için sırasıyla 0.9994-0.9998, 1.3271-3.6906, 0.000016-0.000060 ve 0.009446-0.029462 arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Şekil 5.11'de deneysel ve tahmini değerlerinin dağılımı görülmektedir. Bu 45°'lik açı ile çizilen düz bir çizgi üzerinde MR verileri toplanmıştır. Bu durum Midilli vd. modelden elde edilen nem oranları ile deneysel nem oranları arasındaki iyi uyum içerisinde olduğunu göstermektedir. Literatürde çeşitli tarımsal ürünlerinin infrared kurutucuda kurutulmasında farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar incelendiğinde Midilli vd. modelin en uygun model olarak bazı araştırmacılar tarafından tespit edilmiştir [89], [206].



Şekil 5.11 Deneysel ve Midilli vd. modelinin tahmini nem oranı değerleri

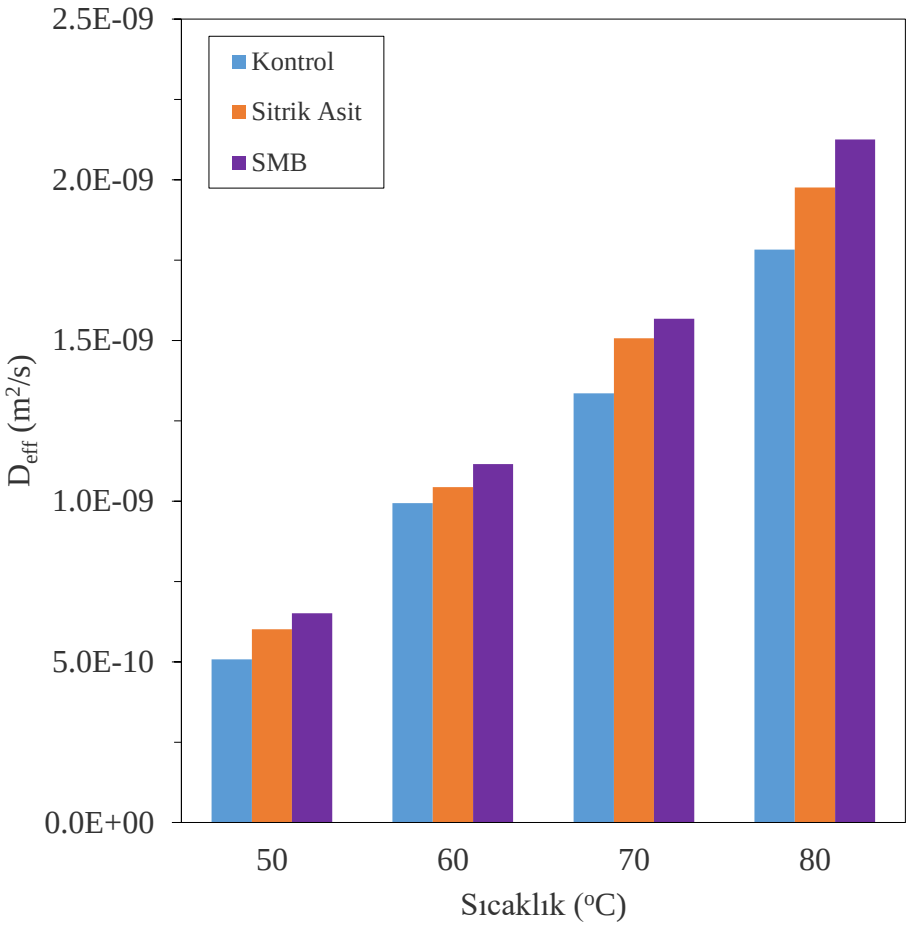
5.2.5 Hacıhaliloğlu Kayısıların Efektif Difüzyon Katsayılarının Hesaplanması

Kabin kurutucuda bütün olarak önişlemli ve önişlemsiz kurutulan Hacıhaliloğlu kayısıların efektif difüzyon katsayıları (4.26) denklemi kullanılarak hesaplanmıştır ve Çizelge 5.10 ve grafiksel olarak da Şekil 5.12'de gösterilmiştir. Genel olarak farklı önişlemler uygulanarak kabin kurutucuda kurutulan Hacıhaliloğlu kayısı için efektif difüzyon katsayısı değerleri kontrol örnekleri için 5.078×10^{-10} ile 1.783×10^{-9} m^2/s, SMB örnekleri için 6.513×10^{-10} ile 2.125×10^{-9} m^2/s ve sitrik asit örnekleri için 6.016×10^{-10} ile 1.976×10^{-9} m^2/s arasında değişmektedir.

Çizelge 5.10 Farklı sıcaklıklardaki kurutulan Hacıhaliloğlu kayısıların efektif difüzyon katsayısı değerleri

Sıcaklık (°C)	Önişlem	D_{eff} (m^2/s)
50	Kontrol	5.078×10^{-10}
	SMB	6.513×10^{-10}
	Sitrik Asit	6.016×10^{-10}
60	Kontrol	9.935×10^{-10}
	SMB	1.115×10^{-9}
	Sitrik asit	1.043×10^{-9}
70	Kontrol	1.336×10^{-9}
	SMB	1.568×10-9
	Sitrik Asit	1.507×10^{-9}
80	Kontrol	1.783×10^{-9}
	SMB	2.125×10^{-9}
	Sitrik Asit	1.976×10^{-9}

Kurutma havası sıcaklığının artmasıyla birlikte gerek ön işlem görmüş gerekse ön işlemsiz kurutulan kayısıların efektif difüzyon katsayısı değerleri artmaktadır. Bu durum, yüksek sıcaklık değerlerinde ürün içerisindeki nemin daha kolay buharlaşması ve kurutma hızının artması ile ilgilidir.

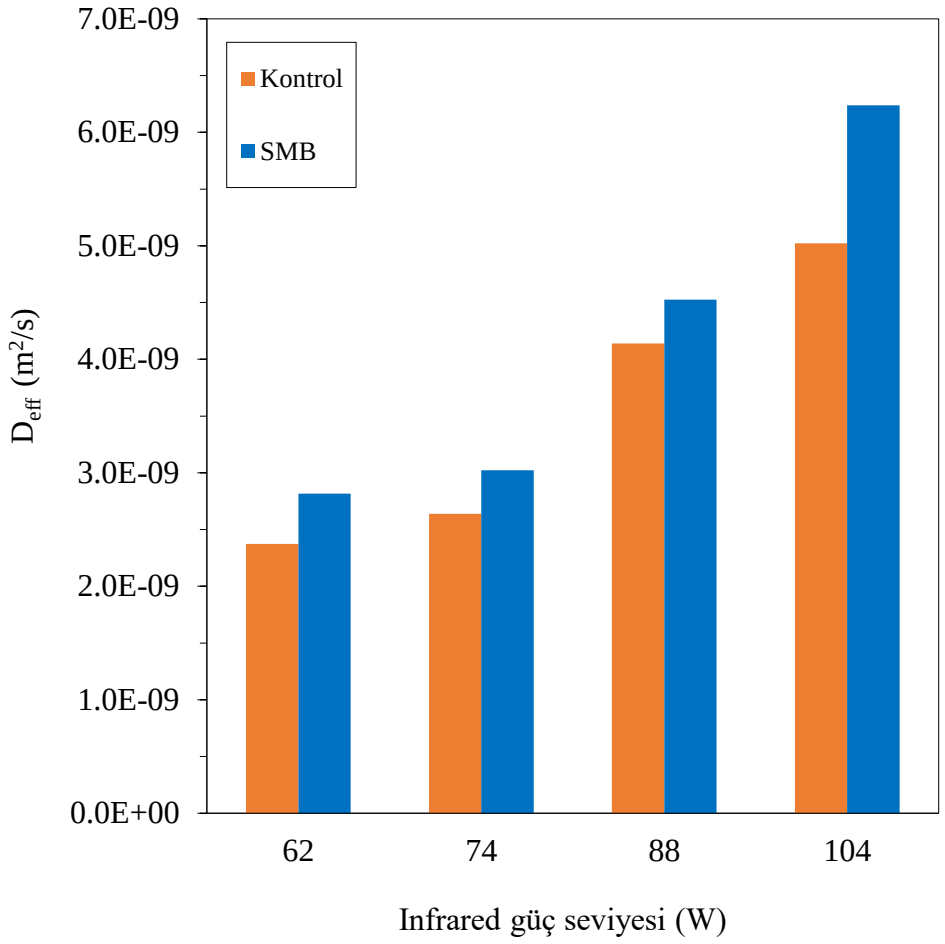


Şekil 5.12 Farklı sıcaklıklarda kurutulan Hacıhaliloğlu kayısıların D_{eff} değerleri

Hem kurutma sıcaklığının hemde ön işlemlerin D_{eff} değerini etkilediği görülmüştür. Daha önce yapılan kayısı kurutmalarında benzer sonuçlar bulunmuştur [90], [120]. Mengeş vd. [99] tarafından yapılan bir çalışmada kayısıların 70°C, 75°C ve 80°C sıcaklıklarda ve 1, 2 ve 3 m/s hava hızlarında kurutulmasında elde edilen verilerden yararlanılarak hesaplanan efektif difüzyon katsayısılarının kükürtlenerek kurutulan kayısılarda 4.952×10^{-10} ile 1.362×10^{-9} m^2/s ve kükürtlenmeden kurutulan kayısılarda ise 3.549×10^{-10} ile 7.180×10^{-10} m^2/s arasında değiştiği bildirmişlerdir. Kayısıların 55ºC ve 1.2 m/s hava hızında kurutulmasında ön işlem olarak potasyum metabisülfit ve alkali etil oleat çözeltilerinin bir kombinasyonu kullanılarak ve kontrol örneklerinin kurutma sonucunda için efektif düfüzyon katsayıları (D_{eff}) katsayısıları 1.26×10^{-11} ile 6.75×10^{-10} m^2/s arasında olduğu Doymaz [90] tarafından belirtilmiştir. Bir başka çalışmada da 50 ve 80°C arasındaki hava sıcaklıklarında ve 0.5 m/s hava akışında kurutulan kayısıların D_{eff} değerlerinin 1.6260×10^{-9} ile 4.3612×10^{-9} m^2/s arasında değiştiği Faal vd. [102] tarafından

bildirilmiştir. Benzer sonuçlar potasyum metabiulfit çözeltisiyle önişlem uygulanan mango dilimlerinde kontrol örneklerinden daha yüksek efektif difüzyon katsayısıları Goyal vd. [236] tarafından belirtilmiştir.

İnfrared kurutucuda Hacıhaliloğlu kayısı çeşidinin ikiye bölünmüş kükürtlü (SMB) ve doğal (kontrol) olarak kurutulması sonucunda farklı infrared güç değerleri için efektif difüzyon katsayısıları denklem (4.27) kullanılarak hesaplanmıştır. Farklı infrared güç değerleri için D_{eff} değerleri 2.37×10^{-9} ile 6.23×10^{-9} m^2/s arasında değişmektedir. Kontrol ve SMB ile muamele edilen kayısılar için D_{eff} sonuçları Şekil 5.13'de verilmiştir.



Şekil 5.13 Farklı güç seviyelerinde kurutulan Hacıhaliloğlu kayısıların D_{eff} değerleri

Kurutmada uygulanan infrared gücün artmasıyla birlikte gerek ön işlem görmüş gerekse ön işlem görmeden kurutulan kayısıların efektif difüzyon katsayısı değerleri artmaktadır. Bu durum, yüksek infrared güç seviye değerlerinde sıcaklığın artışı ile beraber ürün içerisindeki nemin daha kolay buharlaşması ve kurutma hızının artmasına bağlanabilir.

Biyolojik materyallerde D_{eff} değerleri 10^{-13} ve 10^{-6} m^2/s arasında değişirken %92 gibi bir bölümü 10^{-12} ile 10^{-8} m^2/s arasında değişmektedir Zogzas vd. [237]. Kayısıların 120, 150 ve 180 W mikroldalga ve 50, 60 ve 70°C sıcak hava ile hibrit bir şekilde kurutulmasının sonucunda efektif difüzyon katsayısının 6.75×10^{-10} ile 2.56×10^{-9} m^2/s değerleri arasında değiştiğini Horuz vd. [162] tarafından bildirmişlerdir. Başka bir çalışmada infrared ve sıcak hava pompasının birlikte kullanıldığı kurutucuda kurutulan ikiye bölünmüş kayısıların farkı hava hızı ve sıcaklıklar için 7.0×10^{-10} ve 1.15×10^{-9} m^2/s arasında değiştiği Aktaş vd. [234] tarafından bildirilmiştir.

5.2.6 Aktivasyon Enerjilerinin Hesaplanması

Kabin kurutucuda farklı ön işlemler uygulanarak kurutulan Hacıhaliloğlu kayısıların aktivasyon enerjisi denklem (4.28) kullanılarak hesaplanmıştır. Kayısılar için kontrol, SMB ve sitrik asit çözeltisi için aktivasyon enerjileri sırasıyla 38.75 kJ/mol, 37.01 kJ/mol ve 37.47 kJ/mol değerleri bulunmuştur. E_a değeri, difüzivitenin sıcaklığa duyarlılığını gösterir ve E_a değeri arttıkça difüzivitenin sıcaklıktaki duyarlılığı artar. Bon vd. [14] tarafından yapılan bir çalışmada, 50-90ºC arasında kurutulan kayısılar için aktivasyon enerjisi 32.8-46.3 kJ/mol olarak belirtilmiştir. Mirzaee vd. [101], kayısıların 40ºC, 50ºC, 60ºC, 70ºC sıcaklık ve 1-2 m/s hava hızında kurutmuşlardır. Elde edilen verilerden yararlanarak aktivasyon enerjilerinin 24.01-25.00 kJ/mol arasında değiştiğini bildirilmiştir. Başka bir çalışmada ise kurutma sırasında kayısı için 25-40 kJ/mol arasında aktivasyon enerjisinin değişmektedir [128]. Übeyitoğulları ve Çekmecioğlu [103] tarfından yapılan çalışmada ise kayısıların (60-80ºC) aktivasyon değerinin 33.78 kJ/mol olarak verilmiştir. Aktivasyon enerjisinin değerleri, birçok gıda maddeleri 12.7-110 kJ/mol arasında değişmektedir [237]. Aktivasyon enerjisi değerlerini , sitrik asit ile ön işlemden geçirilmiş, kontrol örnekleri, etil oleat ile ön işlem gören ve haşlanmış bezelyeler için sırasıyla 22.01, 26.86, 30.31 ve 30.99 kJ /mol olarak Doymaz ve Kocayigit [225] tarafından belirtilmiştir.

İnfared kurutucuda kurutulan örneklerin aktivasyon enerjileri denklem (4.29) kullanarak hesaplanmış ve önişlemsiz olarak kurutulan kayısılarda 1.63 kW/kg ve SMB çözeltiyle ön işlem uygulanan kayısılar için 1.67 kW/kg olarak hesaplanmıştır.

5.2.7 Kayısıların Renk Ölçüm Sonuçları

Yaş kayısıda yapılan renk ölçümleri sonucunda Hacıhaliloğlu kayısı çeşidinin L, a ve b sırasıyla 57.37, 5.15 ve 21.15 değerleri ölçülmüş ve denklem (4.8) kullanılarak hesaplanan C değeri 21.77 olarak bulunmuştur. Hacıhaliloğlu taze kayısı için bulunan sonuçlar literatürde farklı araştırmacılar tarafından verilen değerler arasında kalmaktadır. Akın vd. [113] Hacıhaliloğlu kayısının L, a ve b değerleri yüzey ve etli kısmı için sırasıyla 59.3-62.6, 9.6-13.3 ve 25.4-27.8 ve C değerlerinin 28.6-29.4 arasında değiştiğini bildirmiştir. Pala vd. [120] Hacıhaliloğlu kayısı çeşidinde yaptıkları çalışmada yaş kayısı için L, a ve b değerlerini sırasıyla 60.91-69.75, 5.48-7.42 ve 38.89-45.62 değerleri arasında değiştiğini bildirmişler. Başka bir çalışmada ise Hacıhaliloğlu yaş kayısının L, a ve b sırasıyla 32.51- 36.07, 7.21-8.89 ve 17.52-20.47 arasında değiştiğini Coşkun vd. [161] tarafından bildirilmiştir.

5.2.7.1 Kabin Kurutucudaki Sonuçlar

CIELAB renk parametreleri, L, a, b meyve ve sebze ürünlerinin ısıl işleminde renk değişimlerini tanımlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Kabin kurutucuda kurutulan kayısı örneklerin renk ölçüm ve hesaplama sonuçları Çizelge 5.11'de verilmiştir. Kurutma işleminden sonra elde edilen renk değerleri ile yaş kayısı renk değerleri karşılaştırılırsa L, b ve C değerleri azalırken a değeri artmıştır. Bu sonuç birçok araştırmacı tarafından da sunulmuştur [59], [103], [139], [238], [239], [240], [241]. Buna karşılık Ihns vd. [141] tarafından yapılan çalışmada ise a değerinin kurutma işleminden sonra azaldığını tespit etmişlerdir.

Çizelge 5.11 Kabin kurutucuda kurutulan kayısı örneklerine ait renk değerleri

Örnekler	Sıcaklık (°C)	L	a	b	ΔE	C
Taze kayısı	-	57.37	5.15	21.15	-	21.77
Kontrol	50	32.49	5.94	1.37	31.79	6.10
	60	32.71	6.47	1.79	31.38	6.72
	70	33.75	6.59	2.08	30.39	6.91
	80	32.90	6.79	1.48	31.44	6.95
SMB	50	35.70	6.54	3.91	27.73	7.62
	60	39.37	6.68	6.39	23.33	9.25
	70	40.08	7.12	8.72	21.39	11.26
	80	37.12	7.24	4.16	26.52	8.35
Sitrik Asit	50	32.97	6.24	1.57	31.31	6.43
	60	33.07	6.88	1.91	31.05	7.14
	70	33.61	6.97	2.90	30.02	7.55
	80	33.36	7.33	1.65	31.01	7.51

Renk sonuçları incelenecek olursa L değeri (beyazlık (açıklık) ve siyahlık (koyuluk) derecesini ve b değeri kayısının sarılık (-b, mavilik) derecesini belirtmektedir. Kurutmadan sonra tüm kurutma sıcaklıkları ve uygulanan ön işlemler için Hacıhaliloğlu kurutulmuş kayısıların L değerinde azalma gözlenmiştir. En düşük L ve b değeri ön işlem uygulanmayan ve 50°C'de kurutulan kayısılarda gözlenmiştir. Kontrol, sitrik asit ve SMB ile ön işlem uygulanmış tüm kayısı örnekleri için kurutma sıcaklığının 50°C'den 70°C'e kadar artışında L ve b değeri artmıştır. Buna karşılık 80°C'de kurutulan kayısı örneklerinde ise azalma gözlenmiştir. Bu durum literatürde kayısıların kurutulmasında bazı araştırıcılar tarafından da belirtilmiştir. Örneğin kayısıların 75°C sıcaklıkta kurutmadan sonra L ve b değerleri, 50°C sıcaklıktaki kurutmaya göre daha yüksek olduğu İncedayı vd. [59] tarafından bildirilmiştir. İki farklı kayısı çeşidi için kurutma sıcaklığının artması ile kurutulmuş kayısıların L ve b değerinin artığı çok yüksek sıcaklıkta (100°C) düştüğü Ihns vd. [141] tarafından beyan edilmiştir. Yapılan başka bir çalışmada ise doğal olarak kurutulan kayısıların 70°C kurutma sıcaklığına kadar L ve b değerlerinin artığı ve buna karşılık 80°C kurutma sıcaklığında ise azaldığı Karabulut vd. [139] tarafından

bildirilmiştir. Benzer sonuçlar 0.5 m/s kurutmada hızında 65^{o}C kadar L ve b değerinin arttığı 80^{o}C ise tekrar bir miktar düştüğü Ivanova vd. [238] tarafından belirtilmiştir. Kayısıların L değerindeki azalma kayısıların renginin koyuluğunu ifade ederken b değerindeki azalma kayısıların başlangıçtaki sarı rengin kaybolduğunu ifade etmektedir.

Önişlem uygulanan kayısıların doğal olarak kurutulan kontrol örneklerine göre daha yüksek L ve b değeri göstermiştir. Ön işlem olarak SMB çözeltisiyle kükürtlenerek kurutulan kayısıların sitrik asitle muamele edilen kayısılardan daha yüksek L ve b değeri verdiği başka bir ifade ile sarı rengi koruduğu gözlenmiştir. Yaş kayısıya göre L ve b değerlerindeki düşüşün en az olduğu grup SMB çözeltisiyle kükürtlenen ve kurutulan kayısılarda gözlenmiştir. Benzer sonuçlar farklı çalışmalarda literatürde belirtilmiştir. Örneğin kükürtlenerek kurutulmuş Alkaya çeşidi kayısılarda L değerinin (66.5 ve 78.7 dış ve etli kısmı için sırasıyla), doğal olarak kurutulmuş kayısıların L değerine (22.6 ve 18.8 dış ve etli kısmı için sırasıyla) göre daha yüksek olduğunu Inserra vd. [148] tarafından belirtilmiştir. Übeyitoğulları ve Çekmecelioğlu [103] tarafından yapılan bir başka çalışmada ise yaş kayısının sırasıyla L, a ve b renk değerlerini 63.28, 8.59 ve 38.42 ve 80°C'de doğal olarak kurututulan kayısı örneklerinde bu renk değerleri 39.18, 9.44 ve 16.12 ölçülmüştür. Ön işlem olarak sodyum sülfit (%0.2) çözeltisi ile muamele edilen yaş kayısıların kurutmadan önce ve sonra L, a ve b değerleri ise sırasıyla 59.02, 7.65, 36.18 ve 46.68, 10.98, 28.57 olarak saptanmıştır.

Kurutulan kayısıların a değerinde yaş kayısılara göre artış gözlenmiştir. Pozitif değerlerinde kırmızılığın negatif değerlerinde yeşilliğin göstergesi olan a değeri önişlem uygulanan ve uygulanmadan kurutulan kayısılarda kurutma sıcaklığıyla birlikte artış göstermiştir. Başka bir ifade ile ile yüksek sıcaklıkta kurutulan kayısılar daha yüksek kırmızılık içermektedir. Bu sonuç literatürde farklı yazarlar tarafından tespit edilmiştir [99], [139].

Renk değişiminin göstergesi olan ΔE değerinin kurutma sıcaklık değerleriyle değiştiği gözlenmiştir. Kurutma sırasındaki meyve ve sebzelerin renk değişimleri öncelikle pigment bozulması, enzimatik ve enzimatik olmayan reaksiyonlarla birleştirilir [138]. İki örnek arasındaki renk değişimi ΔE 1.0'dan düşükse, farkın duyusal olarak algılanamayacağı varsayılabileceği Sumic vd. [242] ifade edilmiştir. ΔE değerinin düşük olması tercih edilir. Bu yaş meyveye göre kurutmadan sonra renk kayıplarının az olduğunun göstergesidir. Tüm kurutma sıcaklıklarında ve uygulanan ön işlemlerden sonra en yüksek ΔE değerinin 50^{o}C'de kurutulan örneklerde ve minimum renk

değişiklikleri ise 70ºC'de kurutulan kayısı örneklerde elde edilmiştir. Benzer sonuçlar kurutma sıcaklığının 50ºC'den 70ºC'ye arttırıldığında ΔE değerinde düşme gözlendiği Dai vd. [94] belirtmiştir. Kayısıların 0.5 m/s hızda ve 50, 65 ve 80ºC sıcaklıklarda kurutulmasında en yüksek ΔE değerinin 50ºC'de gözlendiği daha sonra 65ºC sıcaklıkta bu değerin düştüğü, kurutma sıcaklığının 80ºC çıkarılmasıyla tekrar bir miktar yükseldiği Ivanova vd. [238] tarafından bildirilmiştir.

Chroma (C), 0 (soluk renk) ve +60 (parlak renk) arasında değişen renk canlılığını ifade eder. Çizelge 5.11'de görüldüğü gibi C değerinin ise kurutmadan sonra azaldığı gözlenmiştir. C değeri rengin parlak derecesini ifade etmektedir ve yüksek kurutma sıcaklıklığında kurutulan kayısılar daha yüksek C değerleri vermiştir. Artan sıcaklık değeri ile artığı gözlenmiştir. Benzer sonuçlar kurutma sıcaklığının 50ºC'den 75ºC'ye çıkarılan kayısıların C değerlerinde artma olduğu İncedayı vd. [59] tarafından belirtilmiştir. SMB çözeltisi ve sitrik asitle önişlem uygulanmış ve kurutulmuş kayısı örneklerinde kontrol örneklerine göre daha yüksek C değerlerine ulaşılmıştır. Benzer sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından da belirtilmiştir [139], [241], [138].

5.2.7.2 İnfrared Kurutucudaki Sonuçlar

Hacıhaliloğlu kayısıların infrared kurutucudan sonra yaş kayısının L, b, ΔE ve C değerleri azalmış a değeri ise artmıştır. Sıcaklığa bağlı olarak renk değişiminde ortaya çıkan bu sonuç genel literatür verileri ile uyumludur. L değerlerindeki yüksek düşüşün ürün yüzeyinde oluşan eşmerleşme reaksiyonları sonucunda rengin koyulaştığını göstermektedir [138]. Doğal olarak kurutulan kayısıların SMB çözeltisi ile kükürtlenen kayısılara göre daha yüksek esmerleşme değerleri verdiği gözlenmiş ve kurutulan kayısıların renk değerlerinin (L ve b) yaş kayısıda ölçülen değerlere göre daha düşük olduğu gözlenmiştir. Kükürtlenip kurutulan kayısıların kükürtlenmeyenlere göre daha yüksek L ve b değerleri gösterdiği yaş kayısıya daha yakın renk değerleri ölçüldüğü literatürde belirtilmiştir [94], [138], [139].

İnfrared kurutucuda kurutulan Hacıhaliloğlu kayısı için yaş kayısıya en yakın L değerini kükürtlenmiş olarak kurutulan kayısılar verirken optimum renk değerlerini 88 W infared gücünde kükürtlü olarak kurutulan kayısılarda elde edilmiştir. İnfrared kurutmada uygulanan önişlemlerin ve kurutma güçlerinin Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi için ölçülen L, a ve b ve hesaplanan C ve ΔE değerleri Çizelge 5.12'de verilmiştir.

Önişlemlerin renk üzerindeki etkisi incelendiğinde, ön işlem uygulanan örneklerin kontrol örneklerine göre renk değişim (ΔE) değerlerinin daha düşük olduğu bulunmuş ve benzer sonuçlar Garcia-Martinez vd. [138] tarafından bildirilmiştir. Karabulut vd. [139] yapılan çalışmalara benzer olarak ön işlem uygulanan örneklerin kontrol örneklerine göre C değerlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 5.12 Infrared kurutma ile kurutulan Hacıhaliloğlu renk değerleri

	Infrared gücü (W)	L	a	b	ΔE	C
Taze kayısı	-	57.37	5.15	21.15	-	21.77
Kontrol	62	33.48	6.79	1.01	31.29	6.86
	74	34.15	8.12	2.45	29.96	8.48
	88	33.98	8.07	2.61	29.99	8.48
	104	32.47	7.71	2.64	31.13	8.15
SMB	62	36.84	9.01	4.92	26.45	10.27
	74	39.65	9.08	8.61	22.06	12.51
	88	39.67	8.32	9.81	21.26	12.86
	104	39.51	8.21	9.74	21.41	12.74

5.3 Çataloğlu Kayısı Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi

5.4 Çataloğlu Kayısıların Kabin Kurutucuda Kuruma Sonuçları

Farklı kurutma sıcaklıklarının (50, 60, 70 ve 80°C) ve önişlemlerin (Sitrik asit çözeltisiyle muamele, SMB çözeltisiyle kayısıların kükürtlenmesi ve ön işlemsiz(kontrol)) kayısıların kuruma sürelerine olan etkisi Çizelge 5.13'de verilmektedir. Sıcaklık artıkça tüm kayısılarda kuruma süresi azalmıştır. Örneğin, 50°C'de bütün olarak hiçbir işleme tabi tutulmadan (kontrol) Çataloğlu kayısıları 2640 dakikada kururken, 80°C'de bu işlem 900 dakika kurumaktadır. Bunun anlamı 30°C'lik bir sıcaklık artışında kuruma süresinde %65.91 oranında azalma gözlenmiştir. Sıcaklığın artışıyla birlikte, yüksek ürün sıcaklığı, yüksek kütle transferi sonucunda yüksek kuruma hızı verileri ve düşük kuruma süresi gözlenmiştir. Hava sıcaklığındaki bir artış ile kuruma süresinde meydana gelen azalma,

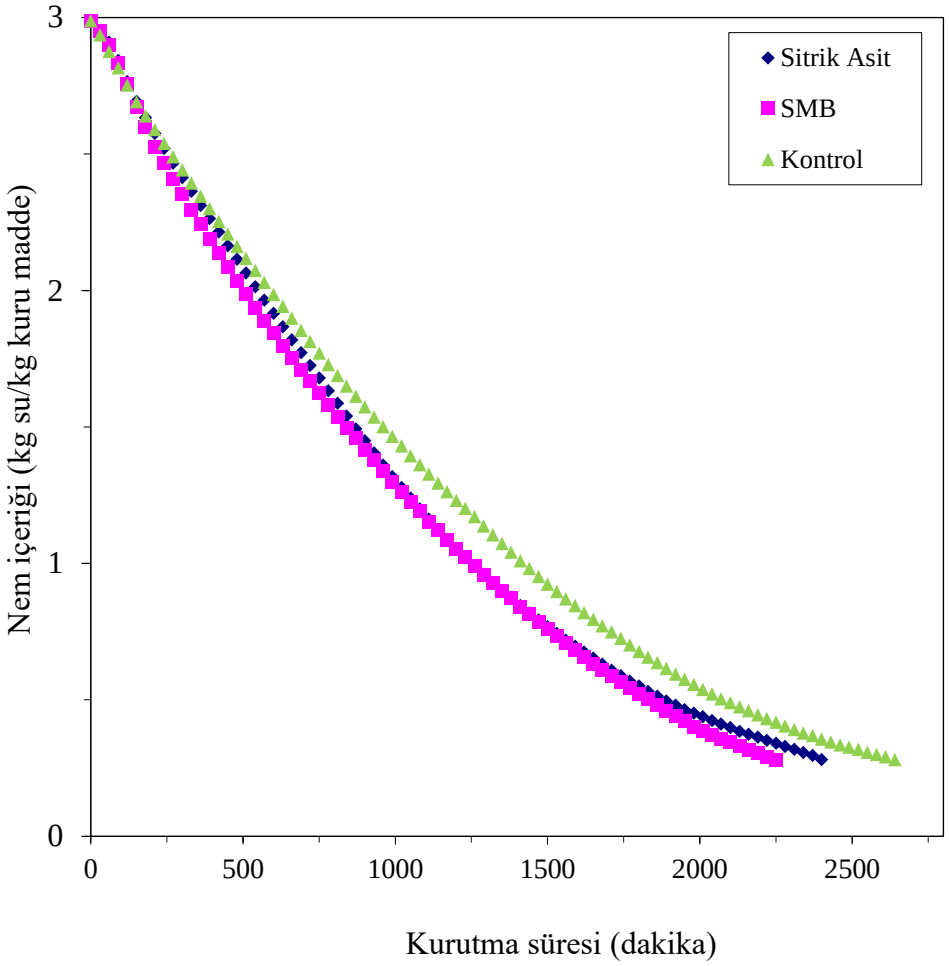
literatürde kayısı ve farklı meyveler için bazı yazarlar tarafından rapor edilmiştir [102], [162], [243].

Garcia-Martinez tarafından [138] yapılan bir çalışmada, sıcak hava ile kurutulan kayısıların sıcaklığın 40^{o}C'den 60^{o}C'a çıkarılmasıyla kuruma süresinin %16.28 azaldığı belirtilmiştir. Xiao vd. [230] yaptığı çalışmada, sıcaklığın 50°C'den 65^{o}C'ye arttırılmasıyla kuruma süresinin %40 azaldığını bildirmiştir. Yapılan başka bir çalışmada ise kayısıların kurutma sıcaklığının 50°C'den 70°C'a çıkarıldığında kurutma süresinde azalma olduğu (%8) olduğu tespit edilmiştir [98].

Çizelge 5.13 Çataloğlu kayısıların farklı sıcaklıklardaki kuruma süreleri (dakika)

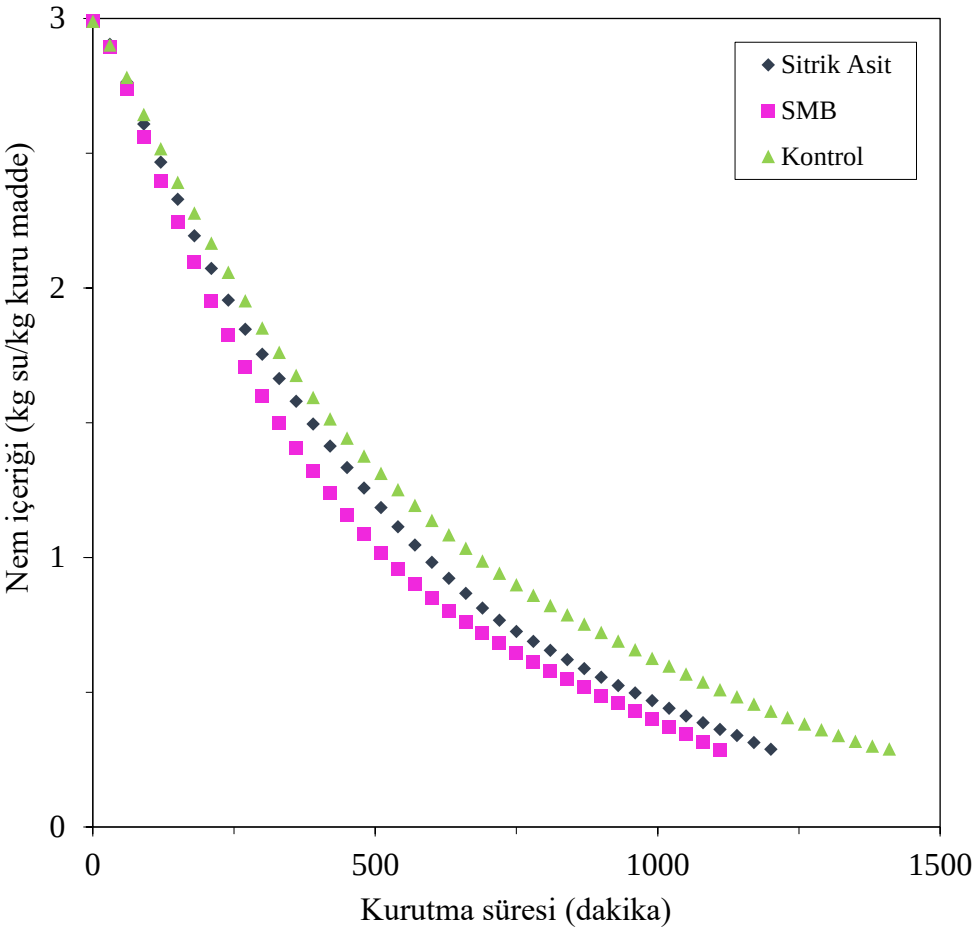
Uygulanan önişlemler	Kurutma sıcaklığı			
	50°C	60°C	70°C	80°C
Sitrik asit çözeltiyle muamele	2400	1200	1020	810
Kükürtlü (SMB çözeltisiyle)	2250	1110	960	750
Kontrol (Doğal)	2640	1410	1170	900
İkiye bölünmüş	1320	900	600	540
İkiye bölünmüş (kükürtlü SMB)	690	420	270	210

Çataloğlu kayısıların farklı önişlemler ve sıcaklıklarda kurutulma esnasında nem içeriğinin kurutma süresiyle değişimi Şekil 5.14-5.17'de verilmiştir. Genel olarak bakıldığında uygulanan kurutma sıcaklığı arttıkça kuruma süresinde azalma gözlenmiştir. Tüm kurutma sıcaklıklarında ön işlem uygulanan kayısılar uygulanmayan kayısılara oranla daha kısa sürede kuruduğu gözlenmiştir. Kayısıların kurutulması sırasında kurutma sıcaklığına ve uygulanan önişleme bağlı olarak farklı çalışmalarda farklı sonuçlar literatürde verilmiştir [90], [99], [103], [120], [127], [138], [139], [244].



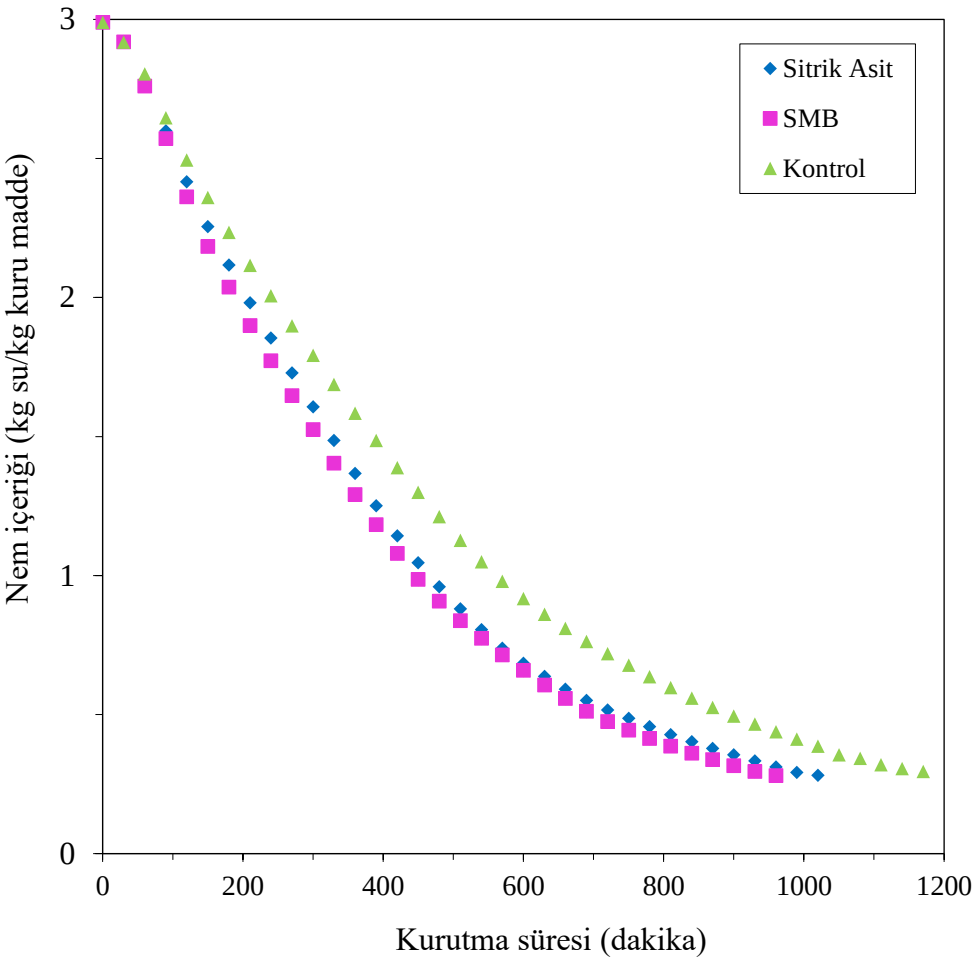
Şekil 5.14 Çataloğlu kayısıların 50°C sıcaklıkta kurumada nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi

Madrau vd. [112], Cafona ve Pelese çeşidi kayısıların bir kabin kurutucuda 55 ve 75°C'de %16 kurumaddeden %80 kurumadde oranına kadar kurutma sonucunda kuruma sürelerinin 55°C'de sırasıyla 31 ve 39 saat (1860 ve 2340 dakika) sürerken 75°C'de 21 ve 25 saate (1260 ve 1500 dakika) düşmektedir. Xiao vd. [230] yaptıkları çalışmada ise 60°C sıcaklıkta ve farklı hava hızında (3 ve 9 m/s) kurutulan kayısıların 3 ve 9 m/s hız için kurutma süreleri sırasıyla 18 ve 14 saat olarak tespit edilmiştir. Karathanos ve Belessiotis [245] tarafından yapılan çalışmada ise %85 nem içeriğine sahip kayısıların 70ºC sıcaklıkta 19 saatte kuruduğunu bildirilmiştir.

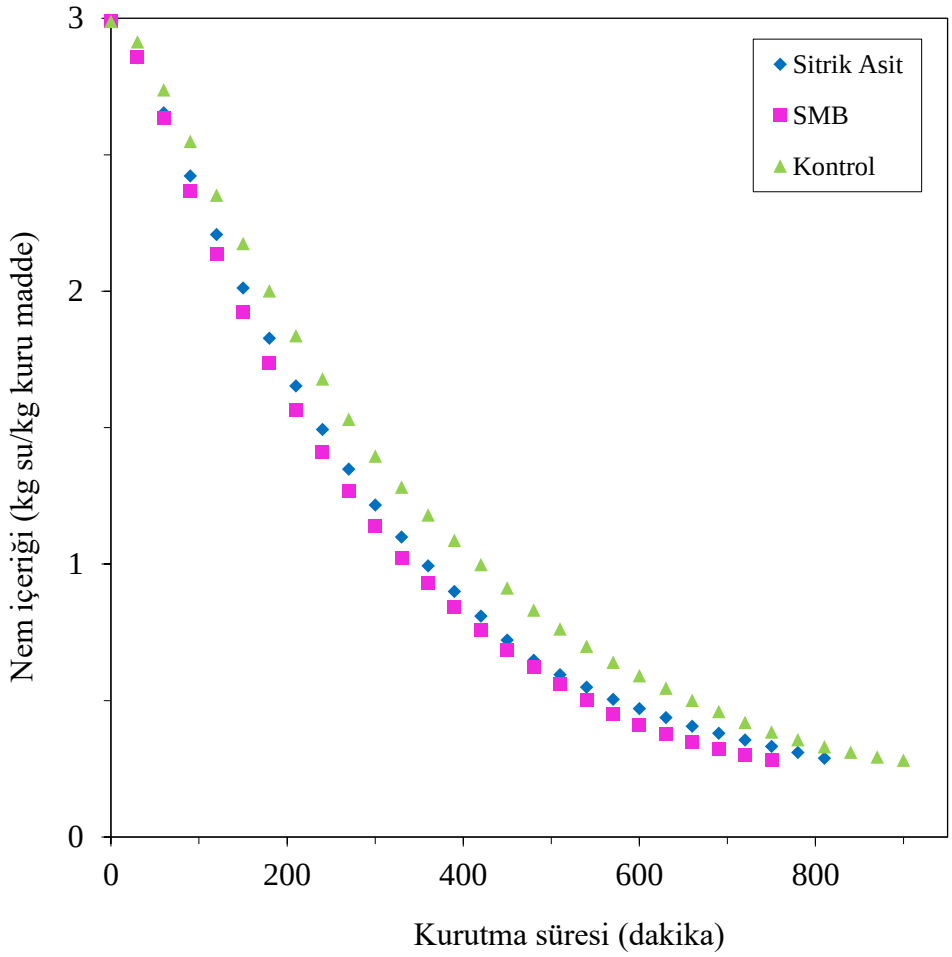


Şekil 5.15 Çataloğlu kayısıların 60°C sıcaklıkta kurumada nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi

Aynı sıcaklıkta kurutulan farklı ön işlemelere tabi tutulan kayısıların kuruma süresi hiç işlem görmemiş (kontrol) kayısılara göre daha kısa olmaktadır. Sodyum metabisülfit çözeltisinin kuruma süresine etkisi sitrik asit çözeltisinden daha etkili olmuştur. Örneğin 80^{o}C'de önişlemsiz olarak kurutulan Çataloğlu kayısılarının kuruma süresi 900 dakika, sitrik asit çözeltisinde 2 dakika bekletilip kurutulan kayısılar 810 dakikada kururken %8'lik sodyum metabisülfit (SMB) çözeltisinde 10 dakika bekletilen kayısılar 750 dakikada kurumuştur. Bu verilerden yararlanarak 80^{o}C'de kükürtlenniş kayısıların kuruma süresinde ön işlemsiz kurutulan örneklere göre %16.66 bir azalma meydana gelmiştir. Sitrik asit ile muamele edilen kayısılarda bu oran %10 olarak saptanmıştır. Bu eğilim diğer sıcaklıklarda kurutulan kayısı örneklerinde de görülmüştür. Bu sonuçlar daha önce yapılan kayısı kurutma çalışmalar ile bir paralellik saptanmıştır [90], [98],[139].

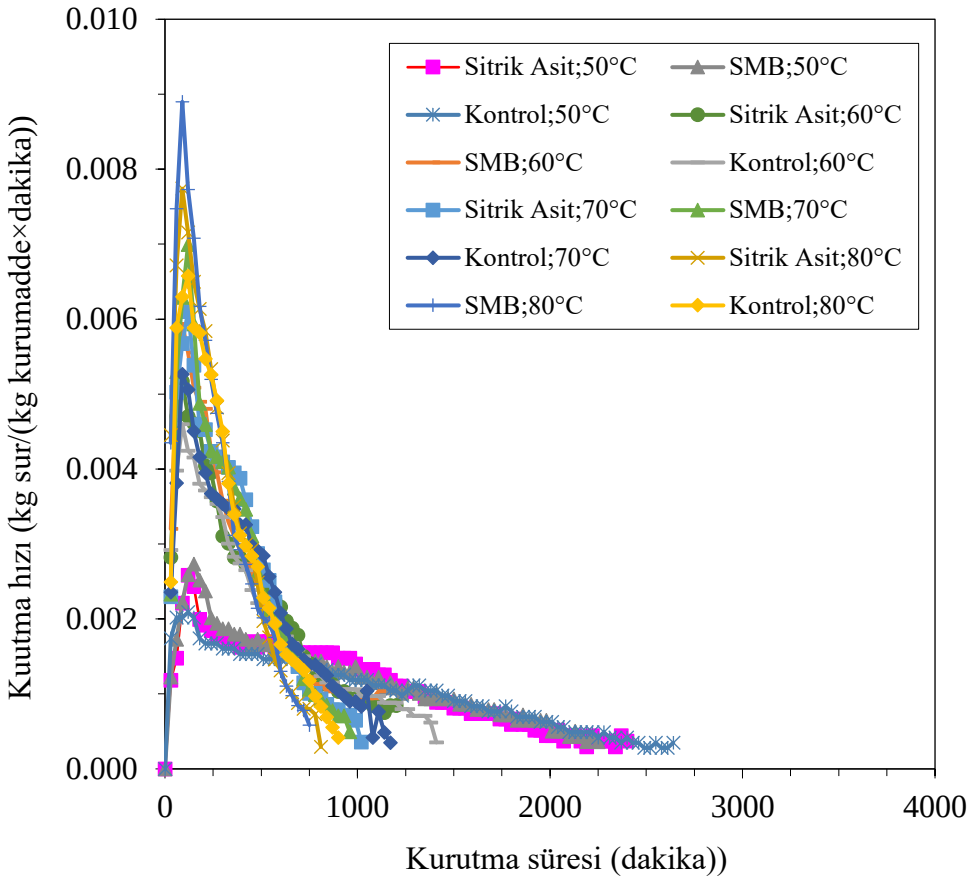


Şekil 5.16 Çataloğlu kayısıların 70°C sıcaklıkta kurumada nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi



Şekil 5.17 Çataloğlu kayısıların 80°C sıcaklıkta kurumada nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi

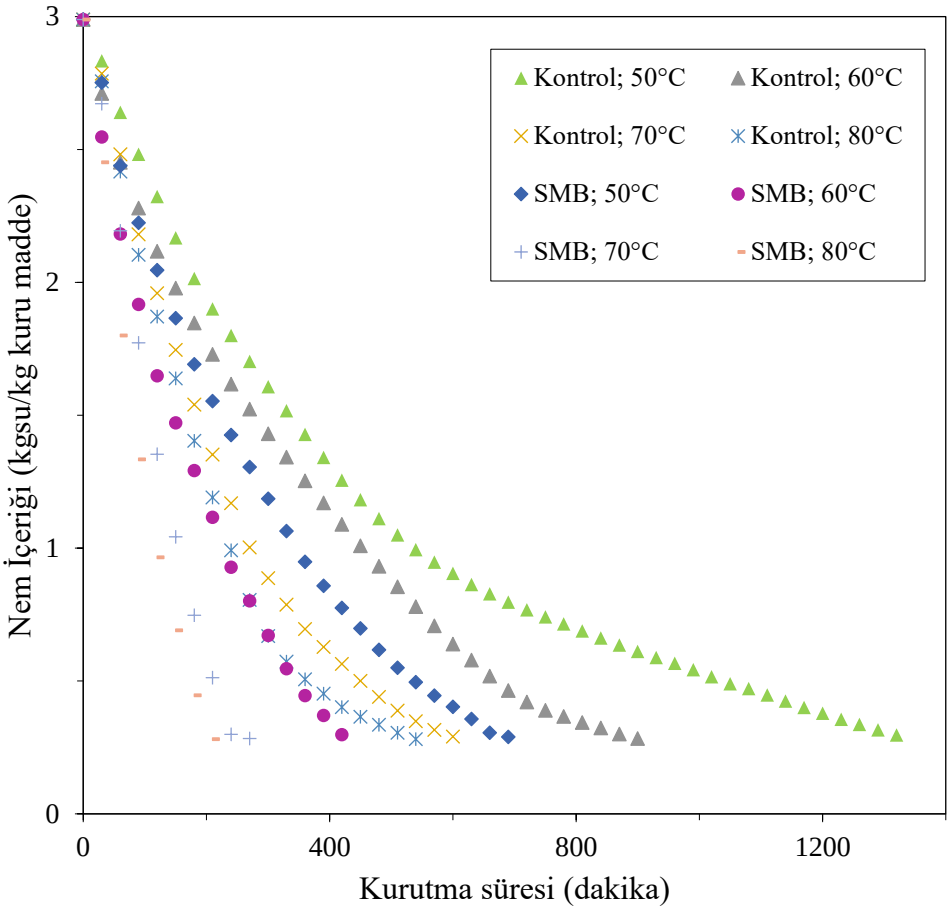
Kayısıların kurutma hızı ile kuruma süresi arasındaki değişimi gösteren eğriler Şekil 5.18'de verilmiştir. Kurutmanın ilk evresinde kurutma hızında artış gözlenmiş daha sonra kuruma süresi ile birlikte azalma eğilimi meydana gelmiştir. Şekil 5.18'de kurutma hızı eğriler incelendiğinde kurutma işleminin azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir. Üründen nem çıkışının tamamen difüzyon mekanizmasıyla meydana geldiği kabul edilir. Diğer bir deyişle yüzey ve katı merkezi arasındaki konsantrasyon farkından oluşan difüzyonla gerçekleşmektedir. Benzer sonuçlar kayısıların ve diğer meyve sebzelerin kurutulmasındaki birçok araştırmada belirtilmiştir [90], [101], [162], [230], [235], [244]. Toğrul ve Pehlivan [74] güneşte kuruttukları kayısı, şeftali, üzüm, incir ve eriklerin kurumasında sabit hız periyodunun gözlenmediği sadece azalan hız periyodunda kurumanın gerçekleştiğini bildirmişlerdir.



Şekil 5.18 Bütün olarak kurutulan Çataloğlu kayısıların kuruma hızının kuruma süresi ile değişimi

Kuruma hızının başlangıçta yüksek olup sonradan azalmasında numunede büzülme nedeniyle gözenekliliğin azalmasıyla birlikte suyun hareketine karşı direnç artması ile kuruma hızını azaltmaktadır [246]. Benzer sonuçlar bazı çalışmalarda da daha önce gözlenmiştir [98], [159], [162].

İkiye bölünmüş Çataloğlu kayısılar için kuruma grafiği Şekil 5.19'da verilmiştir. İkiye bölünmüş olarak kurutulan kayısılarda sıcaklık artıkça tüm kayısılarda kuruma süresi azalmıştır. Örneğin kabin kurutucuda, 50°C'de ikiye bölünmüş olarak hiçbir işleme tabi tutulmadan (kontrol) Çataloğlu kayısıları 1320 dakikada kururken, 80°C'de bu işlem 540 dakika sürmektedir. Yani 30°C'lik bir sıcaklık artışı kuruma süresini %59.09 kısaltmaktadır. Benzer sonuç Fratianni vd. [35] tarafından ikiye bölünmüş kayısıların nem içeriğinin oranın %87'den %20'e getirilmesinde tespit edilmiştir.



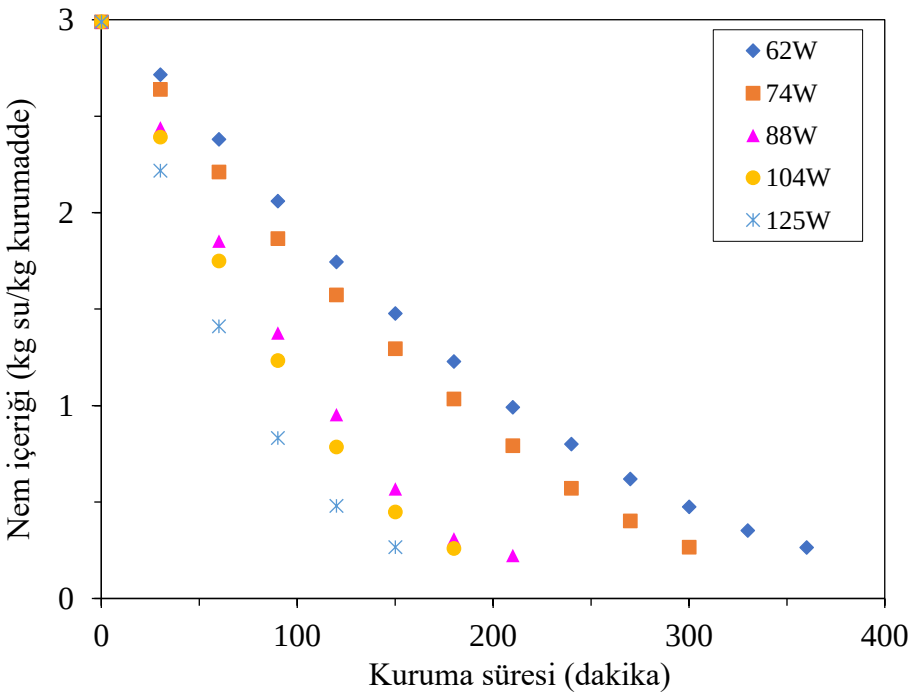
Şekil 5.19 İkiye bölünmüş Çataloğlu kayısıların farklı sıcaklıklardaki nem değişimi

Şekil 5.19'daki kurutma eğrileri incelendiğinde kayısı örneklerinin 50°C ve 60°C için kuruma süreleri sırasıyla 1320 ve 900 dakikadır. Sıcaklık değerinde 10°C'lik bir artış olduğunda kuruma süresinde %31 oranında azalma gözlenmiştir. Benzer sonuçlar Albanese vd. [240] tarafından yapılan çalışmada sıcaklığın 60°C'den 70°C'a çıkarılmasıyla kayısıların kurutma süresinde %28 kısalma olduğu tespit edilmiştir. Diamante vd. [83] yaptıkları çalışmada ise sekiz parçaya böldükleri Moopark ve Southern red çeşidi kayısıları 60, 80 ve 100°C'de kurutma sonucunda kurutma süresinin sıcaklık artıkça kısaldığı, türler arasında aynı sıcaklıkta kurutma için kurutma süresinde farklılık olduğu, örneğin 60°C için Moopark ve Southern çeşidi için sırasıyla 1100 ve 650 dakikada kuruma gözlenirken, kurutma sıcaklığının artmasıyla (100°C için) bu farkın daha az olduğu gözlenmiştir. Aynı sıcaklıkta kurutulan SMB çözelti ile ön işleme tabi tutulan kayısıların kuruma süresi hiç işlem görmemiş (kontrol) örneklere göre daha kısa olmaktadır.

5.4.1 Çataloğlu Kayısıların Infrared Kurutucuda Kuruma Sonuçları

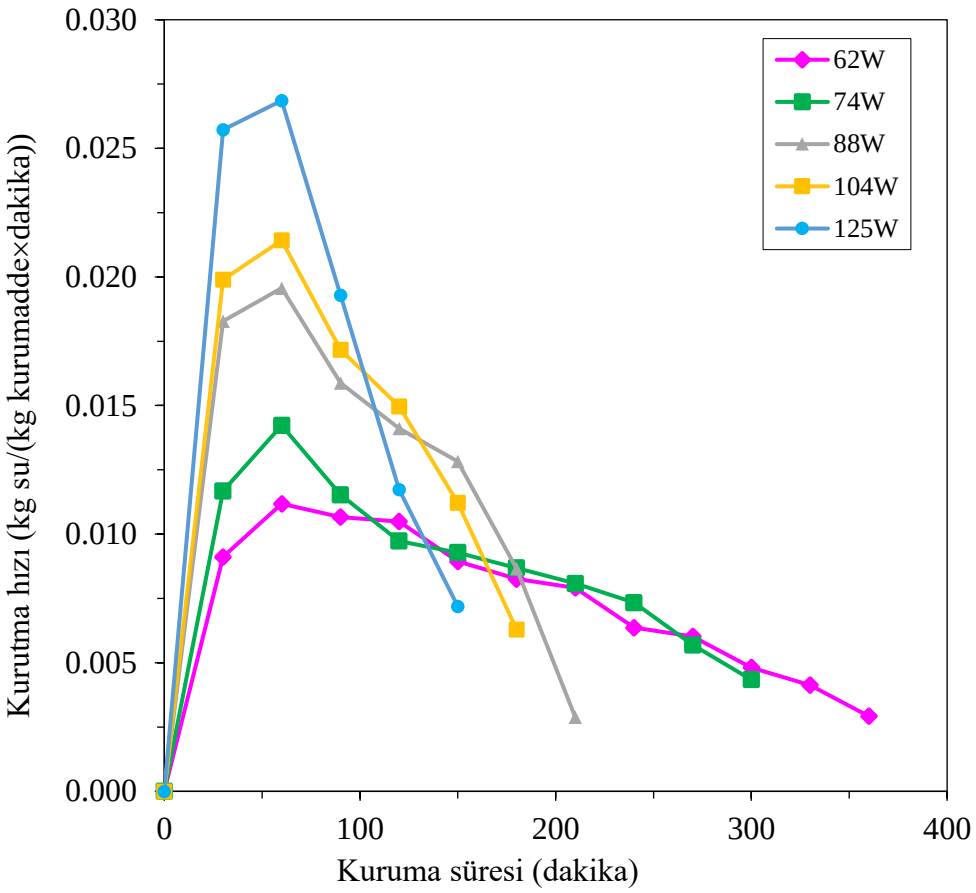
İkiye bölünmüş kayısı dilimlerinin değişik infrared güç seviyelerindeki kurutma eğrileri Şekil 5.20'de gösterilmiştir. Bu eğrilerde nem içeriğinin kurutma süresi ile azaldığı görülmektedir. Ayrıca infrared güç seviyesi arttıkça kuruma süresi büyük ölçüde azalmıştır.

İkiye bölünmüş doğal olarak kurutulan kayısıların kuruma süreleri 62, 74, 88, 104 ve 125 W arasında infrared güç seviyelerinde sırasıyla 360, 300, 210, 180 ve 150 dakika olarak bulunmuştur. Ortalama kuruma hızı infrared gücü 62 W'dan 125 W çıktığında kuruma hızı 2.4 kat artmıştır. Beklendiği gibi artan infrerad gücü ile birlikte, üründe yüksek ısı absorbsiyonu, yüksek ürün sıcaklığı, yüksek kütle transferi, yüksek kuruma hızı ve düşük kuruma süresi göstermiştir. İnfrared kurutucu ile farklı meyvelerde yapılan kurutmalarda benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Wang ve Sheng [44] şeftalilerin kurutulmasında artan infrared ve mikrodalga gücü ile birlikte kurutma hızında artış bildirmişlerdir. Samadi ve Loghmanieh [49] elma dilimlerinin infrared lamba altında kurutulmasının sıcak havayla kurutmaya göre %82 daha kısa sürdüğünü bildirmişlerdir. Başka bir çalışmada ise mikrodalga kurutucudaki kuruttma işleminin kabin kurutucudaki kurutma işlemine göre kayısıların kuruma süresini %25 azalttığı Albanese vd. [240] tarafından tespit edilmiştir.



Şekil 5.20 İnfrared kurutucuda Çataloğlu kayısıların kuruma süresince nem içeriğindeki değişim

İkiye bölünmüş kayısı dilimlerinin değişik infrared güç seviyelerindeki kurutma hızının zamanla değişimi Şekil 5.21'de gösterilmiştir. Kurutmanın başlangıcında artan kurutma hızı gözlenirken daha sonra nem oranındaki azalmayla birlikte kurutma hızında azalma gözlenmektedir. Sabit kuruma hızı bölgesi gözlenmemiştir. Bu kurutma hızındaki düşüşün sebebi suyun ürünün içerisinden yukarıya doğru taşınımı sırasındaki karşılaştığı dirençtir. Bu direnç ürünün su kaybıyla birlikte porozitesinin düşmesinden kaynaklanmaktadır.



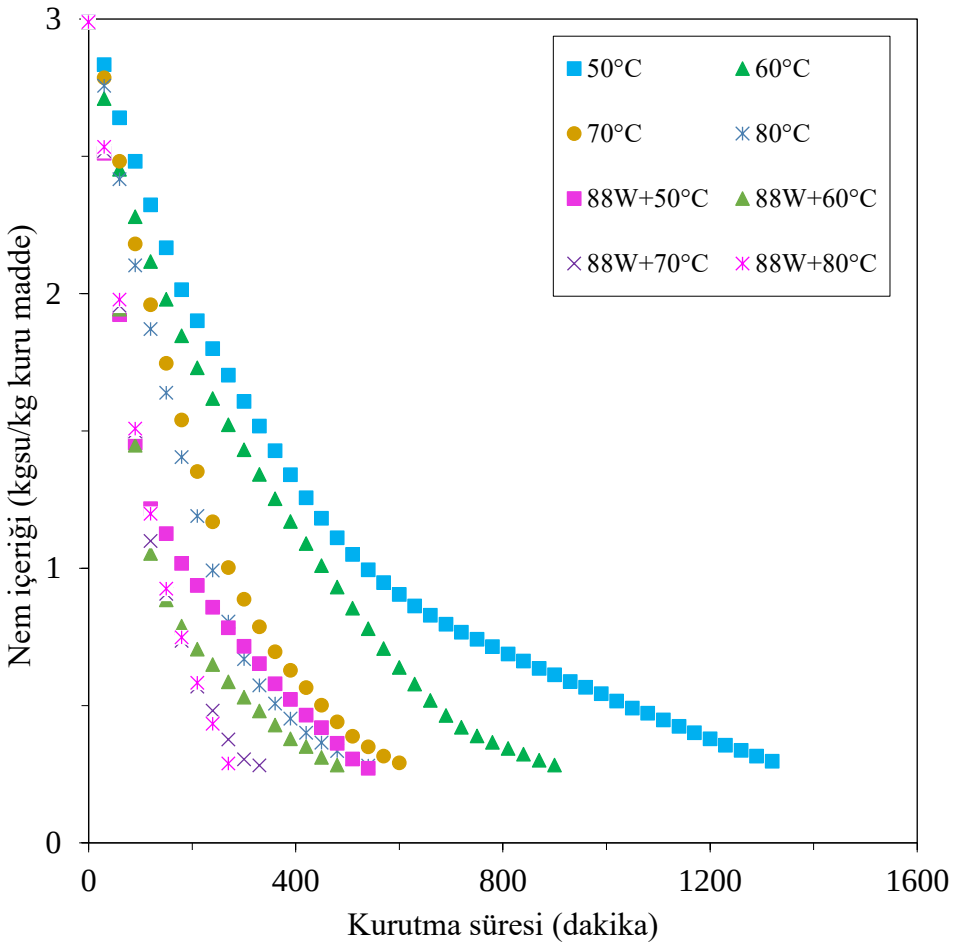
Şekil 5.21 Çataloğlu infrared kurutucudaki kayısıların nem içeriğindeki değişim

5.4.2 Çataloğlu Kayısıların Kombine Kurutucuda Kuruma Sonuçları

Çataloğlu kayısıların ikiye bölünmüş olarak 2 saat boyunca infrared kurutucuda 88 W gücünde kurumasının ardından kabin kurutucuda 50, 60, 70 ve 80°Cde kuruma devam edilmesi şeklinde kombine kurutmanın kayısı kuruma karakteristikleri incelenmiştir. Kontrol örneği olarak önişlemsiz doğal kayısı dilimlerinin kabin kurutucuda 50, 60, 70 ve 80°C'deki kurutulmasının nem içeriğinin zamanla değişimi Şekil 5.22'de verilmiştir. 50, 60, 70 ve 80°Cdeki kurutma süreleri sırasıyla 540, 480, 330 ve 270 dakika olarak

tespit edilmiştir. Kombine kurutmada sıcak havayla kurutmaya benzer sonuçlar çıkmış olup kurutma süresi uygulanan sıcaklık artışı ile birlikte azalmıştır.

Kombine kurutmanın sadece sıcak havayla kurutmaya göre daha kısa sürede kuruma sağladığı ve ürünün daha kısa süre sıcaklığa maruz kaldığı gözlenmiştir. Kabin kurutucuda 80°C'de kurutulan kayısılar 540 dakikada sıcaklığa maruz kalırken 2 saat ve 88 W gücünde infrared kurutucu ile ön kurutma yapılan kayısılarda bu süre %50 azalmıştır. Kombine olarak kurutulan kayısılarda sıcaklık artıkça kurutma süresi kısalmıştır. Örneğin 88 W ve 50°C'de kurutulan kayısılar 540 dakikada kururken 88 W ve 80°C'de kurutulan örneklerde bu süre 270 dakika olup kuruma süresinde %50 oranında bir azalma olmuştur. Benzer sonuçlar kayısıların Faal vd. [102] tarafından yapılan kayısı kurutma çalışmasında kayısı örneklerin kurutma süresinde %50 azalma olduğu bildirilmiştir.



Şekil 5.22 Kombine ve kabin kurutucudaki ikiye bölünmüş kayısıların nem içeriği

Kurutma sırasında en önemli etken iç difüzyon mekanizmasıdır. Sıcak hava ve infrared kurutmadaki kurutma hızı farkı bu mekanizmadan kaynaklanmaktadır. İnfrared kurutmada radyasyon materyelin içine işlemekte ve içteki su moleküllerinin titreşimiyle içeriden ısı üretilir ve ürünün iç sıcaklığı dışından fazla olur. İnfrared kurutmada difüzyon sırasındaki taşınımın yolu hem su molekülleri hem de ısı için içeriden dışarıya doğru olur. Sıcak hava ile kurutmada ise ürünün dış yüzeyi iç yüzeyine göre daha sıcak olduğundan ısı dışardan içeriye doğru taşınırken, su molekülleri içerden dışarı doğru ters yönde olmaktadır. Bu olay sıcak havayla kurutmada iç difüzyonda engellemelere neden olduğundan kurutma hızı infrared kurutmaya göre düşük olmaktadır [247]. Kombine kurutmada farklı iki mekanizmanında aynı kurutma periyodunda kullanılmasıyla iki farklı kurutucunun sinerjik etkisinden dolayı daha verimli bir kurutma sağlanır [58], [247]. Özellikle kurutma maliyeti yüksek, son ürünün kalite parametrelerinin tüketiciler tarafından önemli olduğu ürünlerde kısa süre sıcaklığa maruz kalan ürünler elde etmek mümkün olmaktadır. Wang ve Sheng [44] yaptıkları çalışmada şeftalilerin infrared ve mikrodalga kurutmada kombine kurutmanın azalan hız periyodunda olduğunu ve sabit hız periyodunun görülmediğini bildirmişlerdir.

Genel olarak Çataloğlu kayısıların farklı kurutuculardaki kurutulma sürelerini karşılaştırma yapıldığında doğal ikiye bölünmüş kayısıların kabin kurutucuda 70^{o}C'de 600 dakikada kururken, kombine kurutucuda 88W ve 70^{o}C'de 330 dakikada ve infrared kurutucuda 88W gücünde 210 dakikada kuruduğu göz önüne alınırsa en yüksek kurutma hızının infrared kurutucuda ve en düşük kurutma hızının ise kabin kurutucuda kurutulan örneklerde elde edildiği gözlenmiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda benzer sonuçlara ulaşılmıştır. El-Mesery ve Mwithiga [60] tarafından yapılan çalışmada elmaların infrared ve sıcak hava ile kombine kurutulmasında %57 kurutma süresinde azalma olduğunu bildirmişlerdir. Praveen Kumar vd. [248] soğan dilimlerinin infrared-sıcak hava kurutucuda kombine bir şekilde kurutulmasının kurutma süresinde sıcak havaya göre %36 kısalma olduğunu bildirmiştir. Tuncel vd. [249], mısırın kombine bir şekilde infrared ve sıcak havayla kurutulmasında enerji verimi ve son ürünün kalite parametreleri bakımından kombine sistemin infrared kurutmaya göre daha uygun kurutma olduğunu bildirmişlerdir.

5.4.3 Çataloğlu Kayısı Çeşidi için Modelleme Sonuçları

Hem kabin kurutucuda ve hemde infrared kurutucuda kurutulan Çataloğlu kayısı örneklerinin kurutma kinetiğini belirlemek için matematiksel modelleme yapılmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen verilere literatürde yer alan bazı matematiksel modeller uygulanmıştır. En uygun modelin seçiminde en yüksek R^2 ve düşük P, χ^2 ve RMSE değerleri göz önüne alınmıştır.

5.4.3.1 Kabin Kurutucu ile Kurutulanlar

Kabin kurutucuda bütün olarak kurutulan Çataloğlu kayısıların farklı sıcaklıklarda elde edilen nem içeriği verileri (4.14) denklemi kullanılarak MR değerlerine dönüştürüldü. Çizelge 4.3'de verilen 10 farklı matematiksel modele uygunluğu araştırıldı. Sitrik asit ve SMB çözeltisiyle ön işlem uygulanan ve hiç işlem uygulanmayan doğal olarak kurutulan kayısıların modelleme sonuçlarına ilişkin istatiksel parametreleri Çizelge 5.14, 5.15 ve 5.16'da verilmiştir. Bu çizelgelerdeki verilerden anlaşılacağı gibi Çataloğlu kayısı çeşidi için farklı sıcaklık ve ön işlemler için Midilli vd. modelin en uygun model olduğu tespit edilmiştir. Midili vd. denklemin R^2, P, χ^2 ve RMSE değerleri sırasıyla 0.9994–0.9999, 0.588931-7.343573, 0.000008–0.00048 ve 0.010200–0.034925 arasında yer almıştır.

Çizelge 5.14 Sitrik asit çözeltisiyle muamele edilen Çataloğlu kayısı örneklerine ait istatistiksel analiz sonuçları

Sıcaklık	Model	R^2	P	χ^2	RMSE
50°C	Lewis	0.9889	9.869908	0.000827	0.233616
	Henderson ve Pabis	0.9943	6.661858	0.000432	0.161845
	Logarithmik	0.9949	3.360438	0.000108	0.080988
	Verma vd.	0.9890	6.265124	0.000387	0.152144
	Page	0.9996	1.021152	0.000032	0.036610
	Midilli vd.	0.9997	1.058336	0.000025	0.034925
	Parabolic	0.9998	1.154739	0.000017	0.031197
	Wang ve Singh	0.9994	1.211313	0.000027	0.037578
	Weibull	0.9996	1.021153	0.000032	0.036610
	Aghbashlo vd.	0.9991	2.898157	0.000071	0.066469
60°C	Lewis	0.9980	3.456187	0.000145	0.064698
	Henderson ve Pabis	0.9994	1.651399	0.000045	0.029770
	Logarithmik	0.9996	1.117033	0.000029	0.023432
	Verma vd.	0.9980	3.456213	0.000152	0.064699
	Page	0.9997	1.178737	0.000025	0.023525
	Midilli vd.	0.9998	1.074892	0.000017	0.021056
	Parabolic	0.9979	4.078786	0.000160	0.064278
	Wang ve Singh	0.9977	4.478513	0.000170	0.066428
	Weibull	0.9997	1.178735	0.000025	0.023525
	Aghbashlo vd.	0.9993	1.568302	0.000054	0.031698
70°C	Lewis	0.9903	7.536408	0.000796	0.140132
	Henderson ve Pabis	0.9961	3.883725	0.000333	0.079912
	Logarithmik	0.9968	5.182738	0.000282	0.079593
	Verma vd.	0.9903	7.535250	0.000846	0.140125
	Page	0.9983	5.086282	0.000147	0.058849
	Midilli vd.	0.9997	1.383988	0.000028	0.024423
	Parabolic	0.9988	3.923483	0.000109	0.047606
	Wang ve Singh	0.9980	3.791364	0.000171	0.059870
	Weibull	0.9983	5.090536	0.000147	0.058806
	Aghbashlo vd.	0.9956	6.757734	0.000375	0.096321
80°C	Lewis	0.9939	5.139271	0.000500	0.088895
	Henderson ve Pabis	0.9974	3.727697	0.000220	0.056384
	Logarithmik	0.9975	4.369375	0.000219	0.058360
	Verma vd.	0.9939	5.139196	0.000540	0.088895
	Page	0.9982	5.144246	0.000151	0.052678
	Midilli vd.	0.9999	0.658544	0.000008	0.010200
	Parabolic	0.9982	4.751716	0.000155	0.053283
	Wang ve Singh	0.9981	4.411375	0.000161	0.052346
	Weibull	0.9982	5.144226	0.000151	0.052678
	Aghbashlo vd.	0.9963	6.099643	0.000316	0.075515

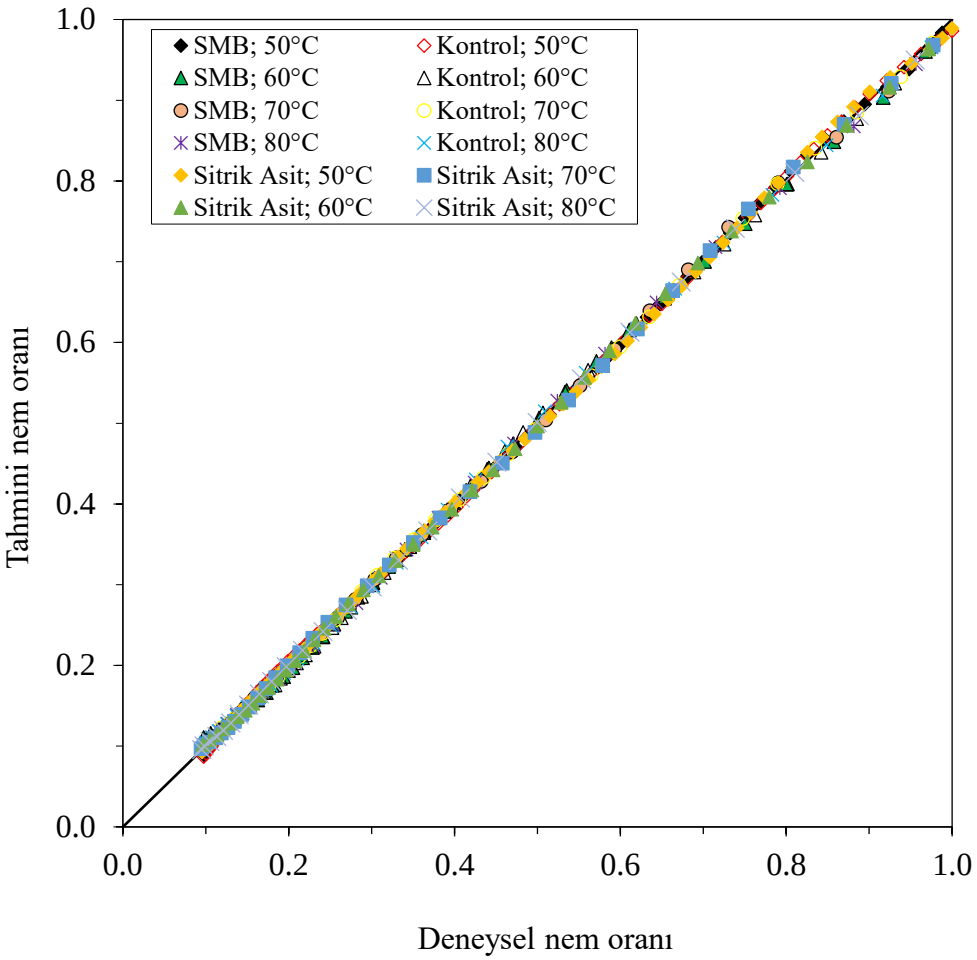
Çizelge 5.15 SMB çözeltisiyle muamele edilen Çataloğlu kayısı örneklerine ait istatistiksel analiz sonuçları

Sıcaklık	Model	R^2	P	χ^2	RMSE
50°C	Lewis	0.9911	9.714639	0.000635	0.195522
	Henderson ve Pabis	0.9943	7.620617	0.000406	0.151029
	Logarithmik	0.9998	1.046807	0.000013	0.024500
	Verma vd.	0.9997	0.973548	0.000016	0.022580
	Page	0.9984	1.413208	0.000110	0.078563
	Midilli vd.	0.9998	1.846431	0.000014	0.026446
	Parabolic	0.9994	3.590945	0.000038	0.041488
	Wang ve Singh	0.9993	1.105692	0.000047	0.049881
	Weibull	0.9984	3.590961	0.000110	0.078563
	Aghbashlo vd.	0.9997	0.875764	0.000017	0.027636
60°C	Lewis	0.9983	2.104420	0.000116	0.046760
	Henderson ve Pabis	0.9990	2.423524	0.000069	0.044024
	Logarithmik	0.9992	1.866347	0.000055	0.032928
	Verma vd.	0.9992	2.524092	0.000055	0.039739
	Page	0.9985	6.737132	0.000104	0.050437
	Midilli vd.	0.9994	7.343573	0.000048	0.033490
	Parabolic	0.9948	2.661549	0.000386	0.101760
	Wang ve Singh	0.9944	2.203849	0.000408	0.104586
	Weibull	0.9985	2.661557	0.000104	0.050437
	Aghbashlo vd.	0.9983	2.269729	0.000118	0.048553
70°C	Lewis	0.9924	6.776115	0.000610	0.117345
	Henderson ve Pabis	0.9973	3.17838	0.000220	0.061133
	Logarithmik	0.9980	3.634077	0.000172	0.055551
	Verma vd.	0.9995	1.853435	0.000035	0.027628
	Page	0.9988	3.714515	0.000098	0.040818
	Midilli vd.	0.9997	3.194477	0.000029	0.019731
	Parabolic	0.9986	3.288873	0.000119	0.051358
	Wang ve Singh	0.9982	0.686318	0.000148	0.048517
	Weibull	0.9988	3.288871	0.000098	0.040818
	Aghbashlo vd.	0.9968	4.826849	0.000265	0.069919
80°C	Lewis	0.9951	4.150452	0.000398	0.071818
	Henderson ve Pabis	0.9981	2.331592	0.000157	0.040566
	Logarithmik	0.9982	2.730570	0.000157	0.041799
	Verma vd.	0.9997	1.668024	0.000018	0.013852
	Page	0.9984	5.263882	0.000131	0.041846
	Midilli vd.	0.9996	5.016515	0.000032	0.020224
	Parabolic	0.9973	3.510447	0.000234	0.064594
	Wang ve Singh	0.9973	1.153537	0.000228	0.062792
	Weibull	0.9984	3.510536	0.000132	0.041846
	Aghbashlo vd.	0.9969	4.122118	0.000261	0.057026

Çizelge 5.16 Kontrol kodlu Çataloğlu kayısıların modellerin istatistiksel analiz sonuçları

Sıcaklık	Model	R^2	P	χ^2	RMSE
50°C	Lewis	0.9901	10.240402	0.000708	0.227239
	Henderson ve Pabis	0.9935	7.995399	0.000472	0.183742
	Logarithmik	0.9993	2.555081	0.000046	0.054788
	Verma vd.	0.9994	2.417652	0.000040	0.048702
	Page	0.9988	0.321478	0.000087	0.074530
	Midilli vd.	0.9997	0.588931	0.000023	0.038139
	Parabolic	0.9999	2.747815	0.000003	0.012011
	Wang ve Singh	0.9998	1.590582	0.000009	0.021323
	Weibull	0.9988	2.747834	0.000087	0.074530
	Aghbashlo vd.	0.9998	1.283706	0.000011	0.026567
60°C	Lewis	0.9992	1.864837	0.000054	0.036195
	Henderson ve Pabis	0.9996	1.651449	0.000027	0.030034
	Logarithmik	0.9996	1.652028	0.000028	0.030030
	Verma vd.	0.9993	1.585641	0.000048	0.036272
	Page	0.9994	5.936461	0.000039	0.034986
	Midilli vd.	0.9996	7.013668	0.000028	0.029947
	Parabolic	0.9955	1.671546	0.000321	0.105574
	Wang ve Singh	0.9944	1.600163	0.000380	0.115797
	Weibull	0.9994	1.671546	0.000039	0.034986
	Aghbashlo vd.	0.9993	1.624599	0.000047	0.036499
70°C	Lewis	0.9931	6.715172	0.000535	0.127040
	Henderson ve Pabis	0.9975	3.390722	0.000199	0.068221
	Logarithmik	0.9984	2.975756	0.000127	0.054959
	Verma vd.	0.9997	1.192024	0.000024	0.023788
	Page	0.9993	3.250656	0.000050	0.034661
	Midilli vd.	0.9998	2.941288	0.000015	0.019622
	Parabolic	0.9990	2.410916	0.000078	0.045779
	Wang ve Singh	0.9988	0.900543	0.000095	0.047325
	Weibull	0.9993	2.410917	0.000050	0.034661
	Aghbashlo vd.	0.9977	3.940358	0.000178	0.068381
80°C	Lewis	0.9915	6.563152	0.000695	0.111643
	Henderson ve Pabis	0.9971	2.877741	0.000246	0.055814
	Logarithmik	0.9976	3.208609	0.000208	0.05427
	Verma vd.	0.9998	1.143456	0.000100	0.011923
	Page	0.9984	4.333793	0.000130	0.049703
	Midilli vd.	0.9997	3.700069	0.000025	0.020604
	Parabolic	0.9980	3.751535	0.000173	0.060231
	Wang ve Singh	0.9974	1.220485	0.000220	0.061349
	Weibull	0.9984	3.751570	0.000130	0.049703
	Aghbashlo vd.	0.9960	4.958367	0.000342	0.077758

Çataloğlu kayısının kabin kurutucuda kurutma sonucunda elde edilen deneysel ve Midilli vd. denkleminden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin dağılımı Şekil 5.23'de görülmektedir. Modelin performansının göstergesi olan bu grafiğe göre farklı sıcaklık ve ön işlemler için elde edilen tüm veriler düz bir çizgi etrafında dağılımı seçilen modelin kayısı kurutmada uygunluğunu gösterir.



Şekil 5.23 Deneysel ve Midilli vd. modelinin tahmini nem oranı değerleri

5.4.3.2 İnfrared Kurutucu ile Kurutulanlar

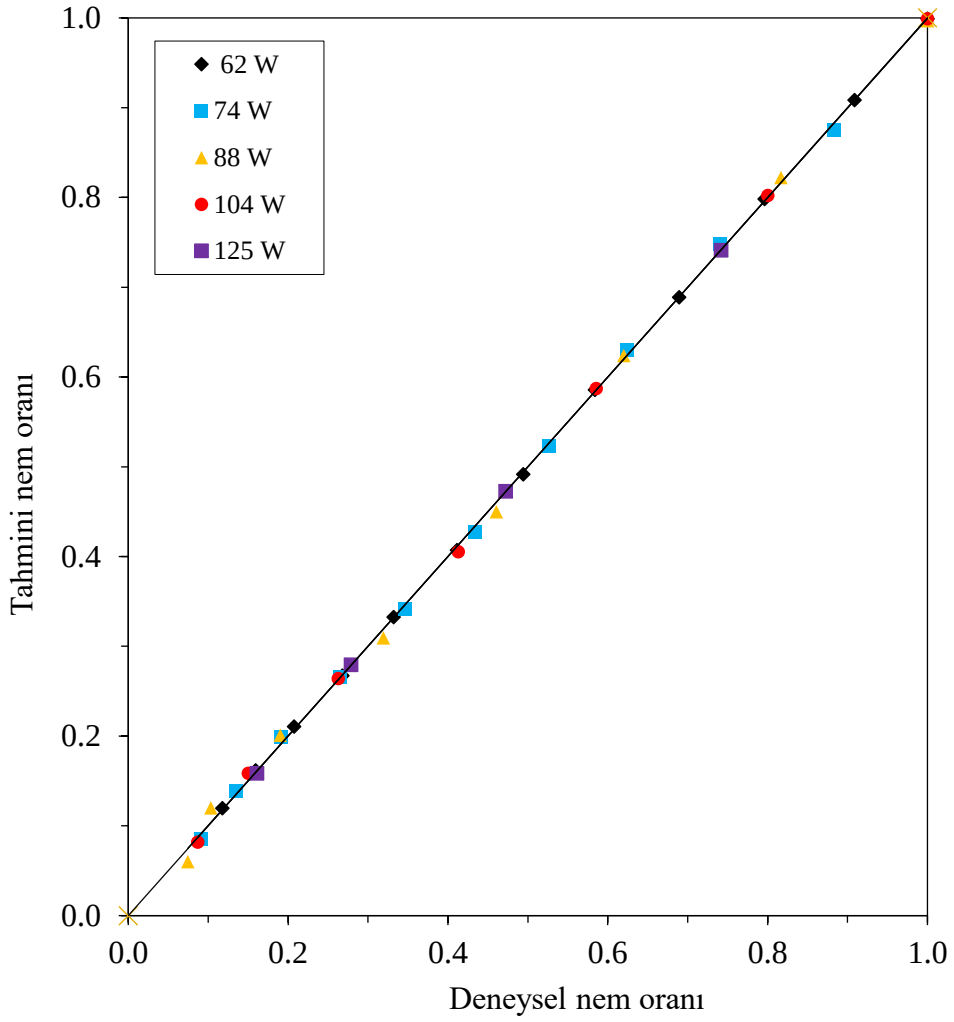
Farklı infrared güçlerde elde edilen nem oranı verilerinin (MR) Çizelge 4.3'de verilen model denklemleri kullanılarak regresyon katsayıları (R^2), khi-kare (χ^2) ve tahminin standart hatası (RMSE) değerleri hesaplanmıştır. En yüksek R^2 değerleri, düşük P, χ^2 ve RMSE değerleri göz önüne alınarak en uygun model seçildi. Hesaplanan istatiksel sonuçlar Çizelge 5.17'de verilmiştir.

Çizelge 5.17 İnfrared kurutucuda kurutulan Çataloğlu için ait istatistiksel analiz sonuçları

IR gücü	Model	R^2	P	χ^2	RMSE
62 W	Lewis	0.9760	17.571711	0.002284	0.144885
	Henderson ve Pabis	0.9836	14.248359	0.001696	0.294540
	Logaritmik	0.9984	3.656980	0.000181	0.035675
	Verma vd.	0.9760	17.572287	0.002741	0.144886
	Page	0.9993	3.064962	0.000075	0.024559
	Midilli vd.	0.9999	0.978245	0.000008	0.007065
	Parabolik	0.9993	1.601336	0.000075	0.020160
	Wang ve Singh	0.9988	2.572387	0.000128	0.028072
	Weibull	0.9993	3.064962	0.000075	0.024559
	Aghbashlo vd.	0.9993	2.007760	0.000068	0.021012
74 W	Lewis	0.9787	17.270207	0.002008	0.123720
	Henderson ve Pabis	0.9838	14.978460	0.001696	0.110415
	Logaritmik	0.9995	2.162110	0.000063	0.018155
	Verma vd.	0.9971	6.470935	0.000344	0.044877
	Page	0.9972	6.026918	0.000296	0.045600
	Midilli vd.	0.9997	1.785254	0.000046	0.016311
	Parabolik	0.9996	1.314105	0.000041	0.015187
	Wang ve Singh	0.9996	1.336365	0.000040	0.013892
	Weibull	0.9972	6.026973	0.000296	0.045600
	Aghbashlo vd.	0.9996	1.297136	0.000045	0.015903
88 W	Lewis	0.9748	24.774568	0.002925	0.123599
	Henderson ve Pabis	0.9795	22.362071	0.002773	0.121829
	Logaritmik	0.9967	9.927537	0.000533	0.046024
	Verma vd.	0.9917	14.556763	0.001344	0.073608
	Page	0.9982	4.978597	0.000237	0.031067
	Midilli vd.	0.9989	5.975798	0.000215	0.026353
	Parabolik	0.9985	6.453748	0.000247	0.031826
	Wang ve Singh	0.9981	7.034621	0.000253	0.031493
	Weibull	0.9982	4.978660	0.000237	0.031067
	Aghbashlo vd.	0.9990	5.809242	0.000138	0.021248
104 W	Lewis	0.9769	20.302442	0.002687	0.109357
	Henderson ve Pabis	0.9811	18.383944	0.002637	0.108926
	Logaritmik	0.9978	5.932618	0.000387	0.035589
	Verma vd.	0.9943	10.378931	0.000991	0.053485
	Page	0.9992	3.406653	0.000108	0.019381
	Midilli vd.	0.9998	2.044757	0.000053	0.010067
	Parabolik	0.9990	3.481334	0.000179	0.022853
	Wang ve Singh	0.9987	3.990698	0.000183	0.022882
	Weibull	0.9992	3.406653	0.000108	0.019381
	Aghbashlo vd.	0.9994	3.123634	0.000088	0.016145
125 W	Lewis	0.9843	15.702745	0.001983	0.081910
	Henderson ve Pabis	0.9867	14.369289	0.002094	0.084859
	Logaritmik	0.9963	6.794479	0.000778	0.042064
	Verma vd.	0.9991	4.108595	0.000193	0.019232
	Page	0.9999	1.160936	0.000010	0.005637
	Midilli vd.	0.9999	0.513385	0.000004	0.002224
	Parabolik	0.9985	2.443105	0.000319	0.023804
	Wang ve Singh	0.9982	2.858961	0.000286	0.022596
	Weibull	0.9999	1.160939	0.000010	0.005637
	Aghbashlo vd.	0.9760	4.644158	0.000303	0.026602

İnfrared kurutucuda farklı güç seviyelerinde kurutulan Çataloğlu kayısı verileri için Midilli vd. modelin en uygun model olduğu tespit edilmiştir. Midilli vd. denkleminin R^2, P, χ^2 ve RMSE değerleri sırasıyla 0.9989–0.9999, 0.513385–5.975798, 0.000004–0.000215 ve 0.002224–0.02635 arasında değişmektedir.

Çataloğlu kayısının infrared kurutucuda kurutma sonucunda elde edilen deneysel ve Midilli vd. denkleminden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin dağılımı Şekil 5.24'de görülmektedir. Modelin performansının göstergesi olan bu grafiğe göre farklı sıcaklık ve ön işlemler için elde edilen tüm veriler düz bir çizgi etrafında dağılımı seçilen modelin kayısı kurutmada uygunluğunu gösterir.



Şekil 5.24 Deneysel ve Midilli vd. modelin tahmini nem oranları

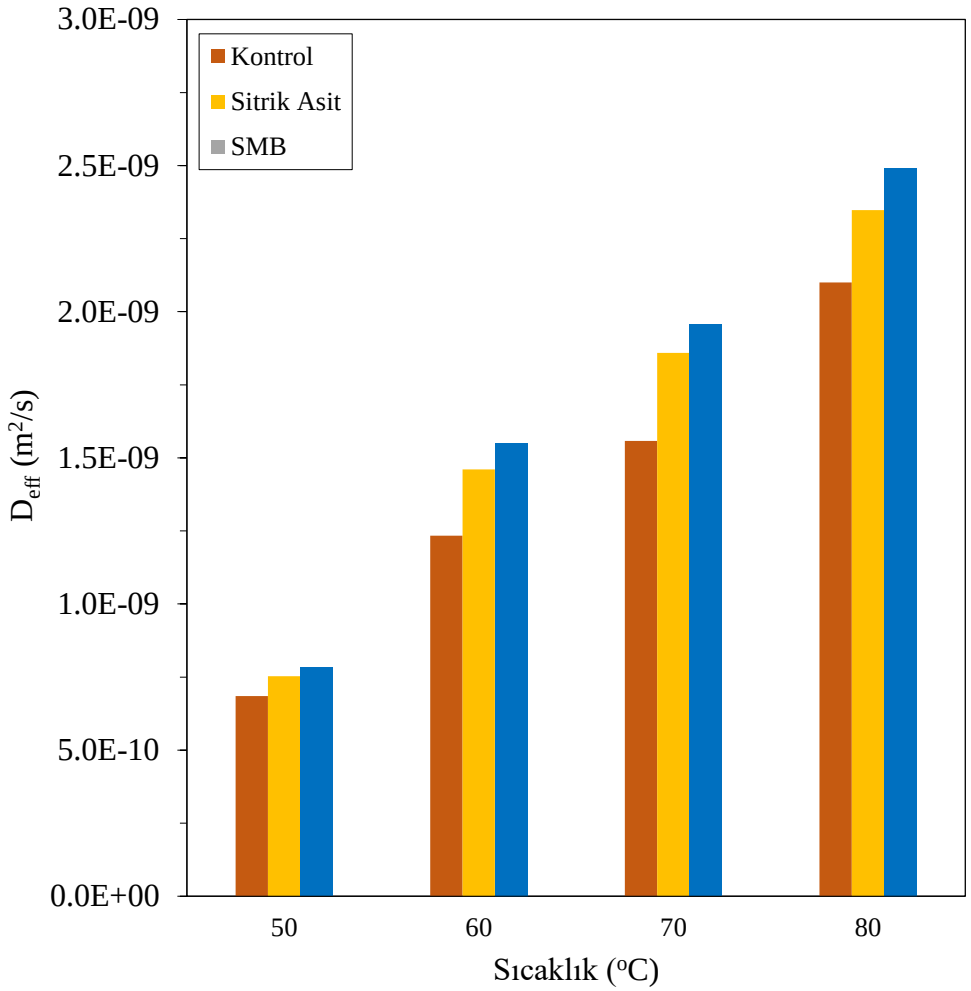
5.4.4 Çataloğlu Kayısıların Efektif Difüzyon Katsayılarının Hesaplanması

Kabin kurutucuda bütün olarak farklı sıcaklıklarda kurutulan önişlemli ve önişlemsiz Çataloğlu kayısıların efektif difüzyon katsayısıları (4.26) denklemi kullanılarak hesaplanmıştır ve Çizelge 5.18'de verilmiştir. Ayrıca sonuçlar grafiksel olarak Şekil 5.24'de gösterilmiştir. Kontrol örnekleri için 6.849×10^{-10} ve 2.099×10^{-9} m^2/s, kükürtlü kayısılar için 7.827×10^{-10} ile 2.491×10^{-9} m^2/s ve sitrik asitle muamele edilen kayısılar için 7.526×10^{-10} ve 2.348×10^{-9} m^2/s arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Kurutma havası sıcaklığının artışı ile birlikte gerek ön işlem görmüş gerekse ön işlemsiz kurutulan kayısıların efektif difüzyon katsayısı değerleri artmaktadır. Bu durum, yüksek sıcaklık değerlerinde ürün içerisindeki nemin daha kolay buharlaşması ve kurutma hızının artması ile ilgilidir.

Çizelge 5.18 Çataloğlu kayısı örneklerine ait farklı sıcaklıklardaki hesaplanan efektif difüzyon katsayıları

Sıcaklık (°C)	Uygulanan Önişlem	D_{eff} (m^2/s)
50	Kontrol	6.849×10^{-10}
	SMB	7.827×10^{-10}
	Sitrik Asit	7.526×10^{-10}
60	Kontrol	1.234×10^{-9}
	SMB	1.550×10^{-9}
	Sitrik Asit	1.460×10^{-9}
70	Kontrol	1.558×10^{-9}
	SMB	1.957×10^{-9}
	Sitrik Asit	1.859×10^{-9}
80	Kontrol	2.099×10^{-9}
	SMB	2.491×10^{-9}
	Sitrik Asit	2.348×10^{-9}

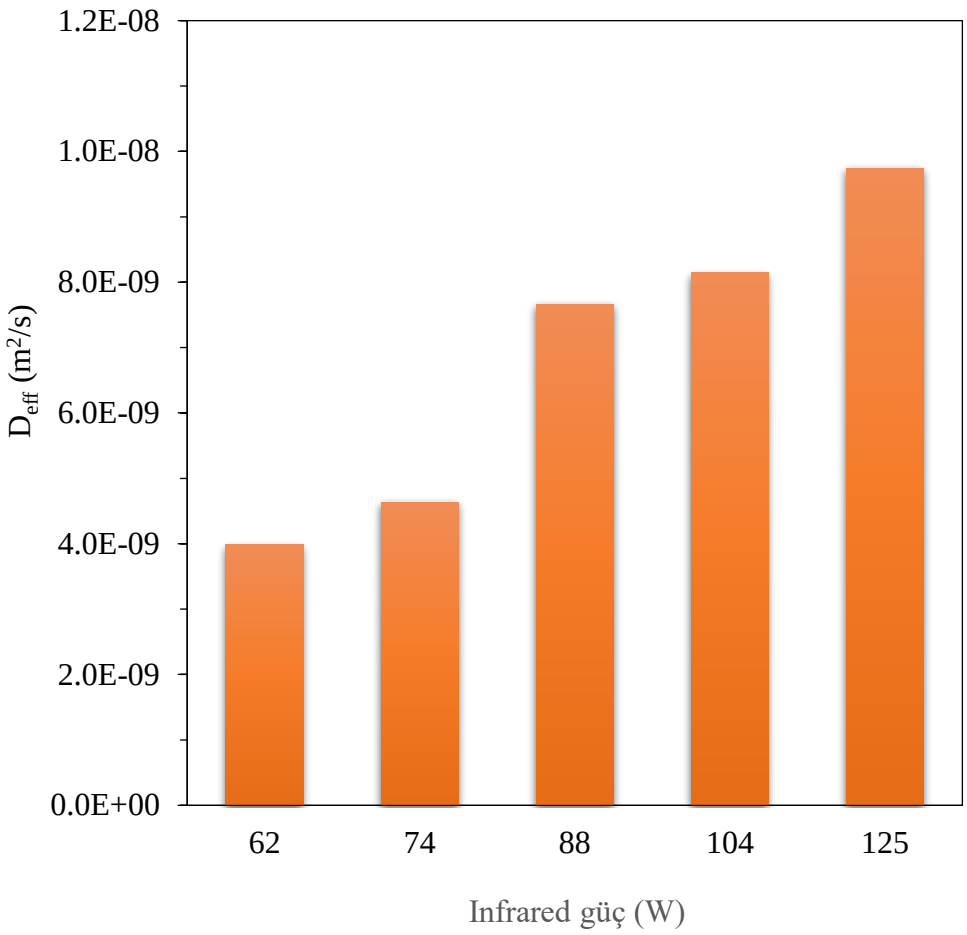


Şekil 5.25 Farklı sıcaklıklarda kurutulan Çataloğlu kayısılarının D_{eff} değerleri

Tuğrul ve Pehlivan [98] tarafından yapılan çalışmada kükürtlenmiş kayısıların 50, 60, 70 ve 80°C'de kurutulmasında D_{eff} katsayısının 4.86×10^{-9} ve 8.32×10^{-9} m^2/s arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Übeyitoğulları ve Çekmecelioğlu [103] tarafından yapılan çalışmada ise kayısıların 60, 70 ve 80°C'de kurutulmasında efektif difüzyon katsayısının 2.499×10^{-9} ile 5.742×10^{-9} m^2/s arasında değiştiğini beyan etmişlerdir. Mirzaee vd. [101], kayısıların 40, 50, 60 ve 70°C ve 1-2 m/s hava hızındaki kurutma sonunda efektif difüzyon sayısının 1.78×10^{-10} ile 5.11×10^{-10} m^2/s arasında; Xiao vd. [230], farklı sıcaklıklarda (50, 55, 60 ve 65°C) ve farklı hava hızında (3, 6, 9 ve 12 m/s) kurutulan kayısı örnekleri için efektif difüzyon katsayısı değerlerinin 8.346×10^{-10} ile 13.846×10^{-10} m^2/s arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Ön işlem uygulanan örneklerin kontrol örneklerine göre her sıcaklık için daha yüksek efektif difüzyon katsayısı verdiği farklı araştırmacılar tarafından da belirtilmiştir [135], [250]. Kurutma sıcaklığının nem difüzyon katsayısı üzerindeki etkisini kayısı, şeftali ve erik gibi farklı meyveler için farklı

çalışmalara konu edilmiştir ve bu çalışmada elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermiştir [90], [135], [137].

İnfrared kurutucuda kurutulan ikiye bölünmüş Çataloğlu kayısıların farklı infrared güç değerleri için efektif difüzyon katsayıları (4.27) denklemi kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuçlar Şekil 5.26'da verilmiştir ve D_{eff} değerleri 3.98×10^{-9} ile 9.75×10^{-9} m^2/s arasında değişmektedir. Bu değerler literatürde yer alan sonuçlarla uyumludur. Farklı güç ve sıcak hava kullanılarak kurutulan kayısıların D_{eff} değerleri 1.6260×10^{-9} ile 4.3612×10^{-9} arasında değiştiği Faal vd. [102] tarafından bildirilmiştir. Genelde gıda maddelerin kurutulmasında D_{eff} değerinin 10^{-11} ile 10^{-9} m^2/s arasında değişitiği Abdelhaq ve Labuza [128] tarafından belirtilmiştir.



Şekil 5.26 Çataloğlu kayısı örneklerine ait farklı güç seviyelerindeki D_{eff} değerleri

5.4.5 Aktivasyon Enerjilerinin Hesaplanması

Kabin kurutucuda farklı ön işlemler uygulanarak kurutulan Çataloğlu kayısıların aktivasyon enerjisi denklem (4.28) kullanılarak hesaplanmıştır. Önişlemsiz (kontrol), kükürtlü (SMB) ve sitrik asitli örnkler için aktivasyon enerji değerleri sırasıyla 34.24, 35.39 ve 35.90 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Elde edilen değerler literatürdeki sonuçlarla benzerlik göstermektedir. Kayısıların 40-80°C sıcaklıklarda hava hızı 1-2 m/s kurutulması sonucunda aktivasyon enerjisi, 29.35-33.78 kJ / mol arasında değiştiği Mirzaee vd. [63] tarafından bildirilmiştir. Başka bir çalışmada, kayısıların 60-80°C arasında kurutulmasında aktivasyon enerjisi 40.52 kJ/mol olarak Übeyitoğullari ve Çekmecioglu [103] tarafından belirtilmiştir. Xiao vd. [230] yaptıkları çalışmada ise bütün olarak 50, 55, 60 ve 65^{o}C ve farklı hava hızında (3, 6, 9 ve 12 m/s) kuruttukları kayısıların aktivasyon enerjisini 30.62 kJ/mol olarak tespit etmişlerdir. Yapılan başka bir çalışmada ise 50, 60 ve 70^{o}C sıcaklıklarda kurutulan kayısıların aktivasyon enerjisinin 38.01 kJ/mol olarak bulunmuştur [251].

İnfared kurutucuda denklem (4.29) kullanarak hesaplanan aktivasyon enerjisi, ikiye bölünmüş Çataloğlu kayısı için 1.38 kW/kg olarak hesaplanmıştır.

5.4.6 Kayısıların Renk Ölçüm Sonuçları

Yaş kayısıda yapılan renk ölçümleri sonucunda Çataloğlu kayısı için ise L: 61.75, a: 9.08 ve b: 34.47 değerleri okunmuştur. ΔE ve C değerleri hesaplamada denklem (4.8) ve (4.9) kullanılmıştır. Yaş ve kuru ürünler için renk ölçümü sonucunda L, gıdalarda rengin açıklık ve koyuluğun bir ölçüsü olup 0'a yaklaştıkça koyu 100'e yaklaştıkça açık renkler alır. Renk a (+ kırmızılık, - yeşillik) ve b (+ sarılık,-mavilik) değerlerini verir. Literatürde Çataloğlu kayısı için farklı L, a ve b değerleri verilmiştir. Akın vd. [113] tarafından yapılan bir çalışmada yaş Çataloğlu kayısı türü için L değeri 58.2-56.3, a değeri 16.2-20.4 ve b değeri 25.8-25.7 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Ihns vd. [141], farklı kayısı türleri için 52.1-56.9, 24.3-26.7 ve 44.5-50.1, ayrıca C değerlerinin farklı kayısı türleri için 50.7-57.8 arasında değiştiğini bildirmiştir. Başka bir çalışmada ise Çataloğlu yaş kayısı renk değerlerini L, a ve b sırasıyla 60.51, 8.12 ve 38.67 olarak verilmiştir [176].

5.4.6.1 Kabin kurutucudaki kurutulan kayısıların (bütün) renk ölçüm

sonuçları

Çataloğlu kayısısıların taze ve kabin kurutucuda kurutma sonucunda oluşan renk değerleri Çizelge 5.18'de verilmiştir. Kurutmadan sonra renk parametreleri olan L, b ve C değerleri tüm sıcaklık ve ön işlemler için azalma buna karşılık a değeri ise artma eğilimi göstermiştir. Literatürdeki birçok araştırmada kayısıların L ve b değerlerinin kurutma işleminden sonra azaldığı a değerinin ise arttığı Dai vd. [94], Übeyitoğullari ve Çekmecelioğlu [103], Karabulut vd. [139] ve Ivanova [238] tarafından bildirilmiş, bununla birlikte a değerinin kurutma işleminden sonra azaldığı Ihns vd. [141] ve Horuz [251] tarafından bildirilmiştir. Farklı kayısı çeşitleri için kurutma yöntemine göre a değeri bazı çeşitlerde güneşte kurutmada azalmış (Alkaya ve Hacıhaliloğlu), kükürtlü güneşte kurutmada azalmış (Hacıhaliloğlu, Alkaya, Çataloğlu, Aprikoz) veya artmış (Hasanbey) ve mikrodalga kurutmada bazı çeşitlerinde azalma (Çataloğlu, Hacıhaliloğlu, Alkaya, Hasanbey) bazılarında ise artma (Aprikoz) gözlendiği Karataş [179] tarafından belirtilmiştir. L, a ve b değerlerindeki bu değişiklikler pigmentlerin bozunmasına veya enzimatik olmayan Maillard reaksiyonlarına bağlıdır [138], [240], [252].

Önişlemsiz kurutulan kontrol, SMB ve sitrik asitle ön muamele edilen Çataloğlu kayısı örneklerinde kurutmadan sonra L ve b değerindeki düşme en fazla 50°C'de kurutulan örneklerde görülmüştür. Bunun nedeni uzun süre ısıya maruz kalmasından kaynaklanmaktadır. Kurutma işlemi ile L değerinin azalması ürün renginin koyuluğunun arttığının ifadesir. Kayısıların kurutmadan sonra b değerindeki azalma ise sarı rengin kaybı olarak nitelendirilmektedir. Kontrol, sitrik asit ve SMB ile ön işlem uygulanmış tüm Çataloğlu kayısılar için kurutma sıcaklığının 50^{o}C'den 70^{o}C'e kadar artışında L ve b değerleri artmıştır. Yüksek sıcaklıklıkta(80^{o}C) ise bir miktar azalma gözlenmiştir. Bu durum literatürde kayısıların kurutulmasında birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir [59], [139], [141], [148]. Örneğin, yapılan bir çalışmada kayısıların 0.5 m/s hızda ve 50, 65 ve 80°C sıcaklıklarda kurutulmasında en düşük L ve b değerlerinin 50°C'de kurutulan kayısılarda gözlendiği daha sonra 65°C sıcaklıkta bu değerlerin artığı, kurutma sıcaklığının 80°C çıkarılmasıyla az miktarda düşüş olduğu Ivanova vd. [238] tarafından bildirilmiştir. Kurutmadan sonra kayısıların a değerinde artma gözlenmiştir. Özellikle ön işlem uygulanan kayısılarda bu artış daha fazladır. Benzer sonuçlar ön işlem uygulanarak kükürtlenen kayısılarda farklı araştırmalarda tespit edilmiştir [103], [138].

Çizelge 5.19 Kabin kurutucuda kurutulan Çataloğlu kayısılarının renk değerleri

Örnekler	Sıcaklık (°C)	L	a	b	ΔE	C
Taze kayısı		61.75	9.08	34.47	-	35.65
Kontrol	50	36.31	8.13	1.67	41.52	8.30
	60	37.03	9.23	3.14	39.90	9.75
	70	38.03	9.56	3.36	39.12	10.13
	80	37.29	9.27	3.19	39.71	9.81
SMB	50	41.29	11.59	9.39	32.46	14.92
	60	45.23	11.78	15.88	25.02	19.77
	70	46.65	11.91	16.40	23.72	20.27
	80	43.66	11.87	14.38	27.18	18.65
Sitrik Asit	50	36.38	10.95	2.25	41.05	11.18
	60	38.38	9.32	5.16	37.49	10.65
	70	38.56	9.68	7.69	35.43	12.37
	80	38.54	9.71	5.27	37.30	11.05

Renk değişiminin göstergesi olan ΔE değerinin artan sıcaklık değerleriyle azaldığı gözlenmiştir. Kurutma sonunda yaş kayısının renk değerlerine en yakın sonuçların göstergesi olan düşük renk değişimi ΔE değeri yüksek sıcaklıkta kurutulan kayısılarda gözlenmiştir. Örneğin kurutma sıcaklığı 50°C'den 80°C'ye artması ile SMB, sitrik asit ve kontrol numunelerinin ΔE değerleri sırasıyla 32.46'dan 27.18'e, 41.05'den 37.30'a ve 41.52'den 39.71'e düşmüştür. Benzer sonuçlar, kayısıların 50, 65 ve 80°C sıcaklıklarda kurutulmasında en yüksek ΔE değerinin 50°C'de gözlendiği daha sonra 65°C sıcaklıkta bu değerin düştüğü, kurutma sıcaklığının 80°C çıkarılmasıyla tekrar bir miktar yükseldiği Ivanova vd. [238] tarafından bulunmuştur. SMB çözeltisi ile ön işlem uygulanarak kurutulan kayısılarda kontrol örneklerine göre daha düşük ΔE değeri gözlenmiştir.

Kayısıda yüksek chroma (C) renk değeri parlaklığı/canlılığını gösterirken düşük değerlerde rengin soluklaştığının gösterir. Çataloğlu kayısının farklı sıcaklıklarda kurutulmasından sonra C değerinde azalma gözlenmiştir. En düşük C değerini önişlemli ve ön işlemsiz (kontrol) örnekleri için düşük sıcaklıkta kurutulan kayısılar göstermiştir.

Özellikle ön işlemsiz kurutulan kontrol örnekleri, SMB çözeltisi ile muamele edilmiş kayısılara göre daha düşük C değeri vermiştir. Sitrik asitle muamele edilen kayısılarda SMB çözeltisi ile kükürtlenen kayısılar kadar yüksek değerler göstermesede kontrol örneklerinden daha yüksek C değerleri vermiştir. Farklı araştırmacılar tarafından benzer sonuçlara ulaşılmıştır [59], [138], [139], [141], [148].

5.4.6.2 İnfrared, kabin ve kombine sisteminde kurutulan kayısıların (yarım) renk ölçüm sonuçları

Çataloğlu ikiye bölünmüş kayısıların infrared, kabin kurutucuda ve kombine kurutucudaki kurutma sonucunda oluşan renk değerleri Çizelge 5.20'de verilmiştir. Tüm kurutma sıcaklıklarında ve güçlerinde kurutulmuş örneklerin L, b ve C değerleri taze kayısının renk değerlerinden düşük bulunmuştur. Yüksek infrared gücünde kurutulan kayısılarda L ve b değerindeki azalma daha fazla ölçülmüştür.

L ve b değerlerine bakıldığında kombine kurutma ile kurutulan kayısıların en yüksek değerler olduğu görülmektedir. En düşük L ve b değerleri infrared kurutucuda ölçülmüştür. Yapılan bir çalışmada kayısıların önişlemsiz sıcak hava, mikrodalga ve mikrodalga-sıcak hava ile kurutulmasında en yüksek L ve b değerlerinin kombine (sıcak hava-mikrodalga) kurutucuda, en düşük değerlerinse mikrodalga ile yapılan kurutmada elde edildiği Garcia-Martinez vd. [138] tarafından bildirilmiştir. Sıcak hava ile kurutulan örneklerin infrared kurutucudaki örneklerden daha yüksek L ve b değeri verdiği gözlenmiştir. Benzer sonuçlar nektarin kurutulmasında sıcak havanın infrared kurutmaya göre daha yüksek L ve b değerleri İsmail vd. [253] ölçüldüğü bildirilmiştir. Başka bir çalışmada ise kayısıların yüksek mikrodalga gücünde (160W) kurutulmasından sonra sıcak havayla kurutmaya göre düşük L ve b değerleri ölçüldüğü İncedayı vd. [59] tarafından bildirilmiştir.

Renk değerlerinden C değerinin kurutmadan sonra tüm kurutucular için azalma eğilimi göstermiş en yüksek C değerleri kombine kurutma ile kurutulan kayısılarda gözlenmişir. En düşük C değeri ise infrared kurutucuda gözlenmiştir. Toplam renk değişimi göstergesi olan ΔE değerinin düşük değerlerde olması kurutma boyunca kayısıların taze kayısı renk değerlerinden fazla değişikliğe uğramadığının göstergesidir. En az renk değişimi (en düşük ΔE) kombine kurutucu ile kurutulan kayısılarda gözlenmiştir. En yüksek ΔE değerleri infrared kurutucuda gözlenmiştir. Benzer sonuçlar kayısıların mikroldalga ve sıcak hava ile kombine kurutulmasında gözlenmiştir [59], [138]. Özellikle kabin

kurutucuda en yüksek sıcaklıkta ve infrared kurutucuda ise en yüksek infrared gücünde renk değişiminin fazla olduğu gözlenmiştir. Kayısıların kurutma sıcaklık değerinin artmasıyla ΔE değerinin artığı farklı araştırmacılar tarafından belirtilmiştir [59], [138], [141], [251].

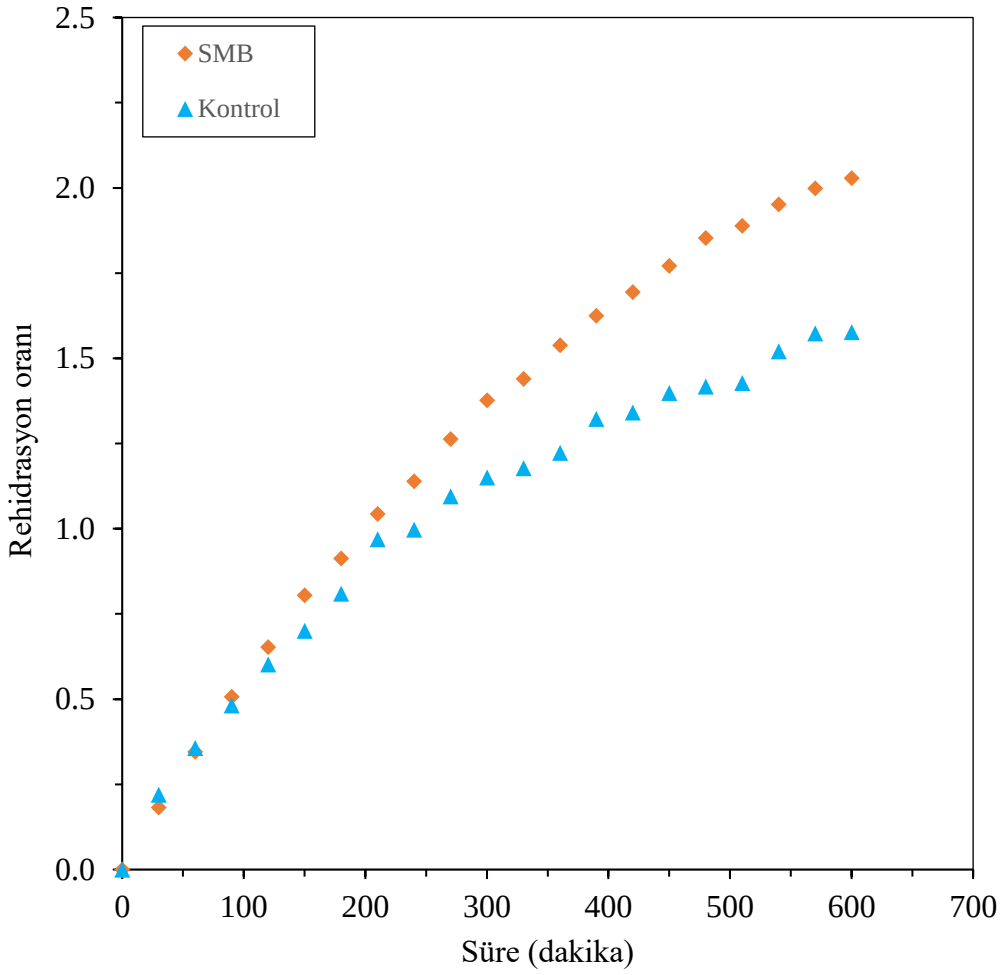
Çizelge 5.20 Çataloğlu kayısılarının infrared, kabin ve kombine kurutma renk değerleri

	L	a	b	ΔE	C
Yaş kayısı	61.75	9.08	34.47	-	35.65
62 W	39.36	9.96	4.03	37.80	10.74
74 W	39.31	9.51	2.19	39.32	9.76
88 W	39.18	9.76	2.62	39.04	10.11
104 W	39.03	9.55	1.98	39.65	9.75
125 W	38.97	9.43	1.91	39.74	9.62
50ºC	40.16	9.34	4.14	37.23	10.22
60ºC	39.76	9.91	3.39	38.08	10.47
70ºC	39.25	9.67	4.51	37.47	10.67
80ºC	39.06	9.12	3.14	38.69	9.65
88 W+50°C	40.33	9.78	5.58	35.97	11.26
88 W+60°C	40.70	9.95	5.19	36.07	11.22
88 W+70°C	40.84	10.29	5.16	36.03	11.51
88 W+80°C	40.94	10.33	5.87	35.39	11.88

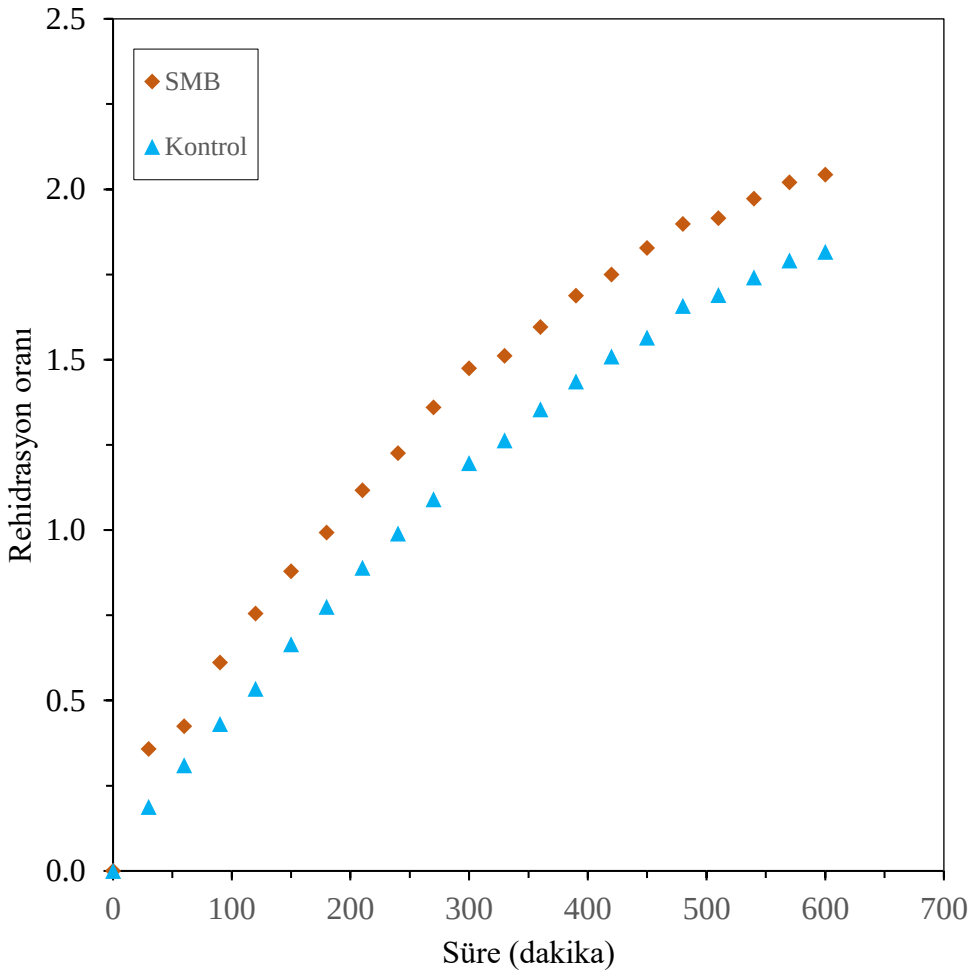
5.4.7 Çataloğlu Kayısıların Rehidrasyon Oranı

Kurutulmuş meyveler yaygın olarak kurutulmuş toz ürünler olarak farklı ürün reçetelerine katılabilir veya atıştırmalıklar olarak tüketilmekle birlikte farklı kullanım alanlarına bağlı olarak, bazen önce bir rehidrasyon adımına ihtiyaç duyulmaktadır. Rehidrasyon işlemi kurutma sırasında bitki dokularında ve hücrelerde oluşan yapısal ve bileşimsel değişikliklere büyük ölçüde bağlıdır. Genellikle rehidrasyon derecesinin ürünün hücresel ve yapısal kompozisyonundaki bozulma derecesine bağlı olduğu kabul edilmektedir. Rehidrasyon, kurutma adımında kurutulmuş ürünün hücre yapısına verilen hasarın bir göstergesidir. Bu anlamda kurutmadan önce uygulanan önişlemler ve kurutmanın şekli önemli oranda etkilerken rehidrasyon işleminin yapıldığı sıcaklık, ön işlem süresi ve ürünün geometrisi de önemlidir [183], [254].

Kurutma sıcaklığının rehidrasyon oranına etkisini incelemek amacıyla, doğal (kontrol) ve %8'lik sodyum metabisülfit (SMB) çözeltisi ile mumaele edilen kayısı örnekleri kabin kurutucuda 50, 60, 70 ve 80°C sıcaklıklarda kurutulmuştur. Kuru kayısı örnekleri 25°C'deki saf suda rehidrasyon deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerden elde edilen verilerden yararlanarak rehidrasyon oranları denklem (4.11) kullanılarak hesaplanmıştır. Rehidrasyon oranları kontrol örnekleri için 1.57-2.02 ve kükürtlenmiş (SMB) kayısılar için 2.01-2.20 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Kontrol ve SMB kayısı örneklerinin rehidrasyon oranlarının rehidrasyon süresi ile değişim eğrileri Şekil 5.27-5.30'da verilmiştir.

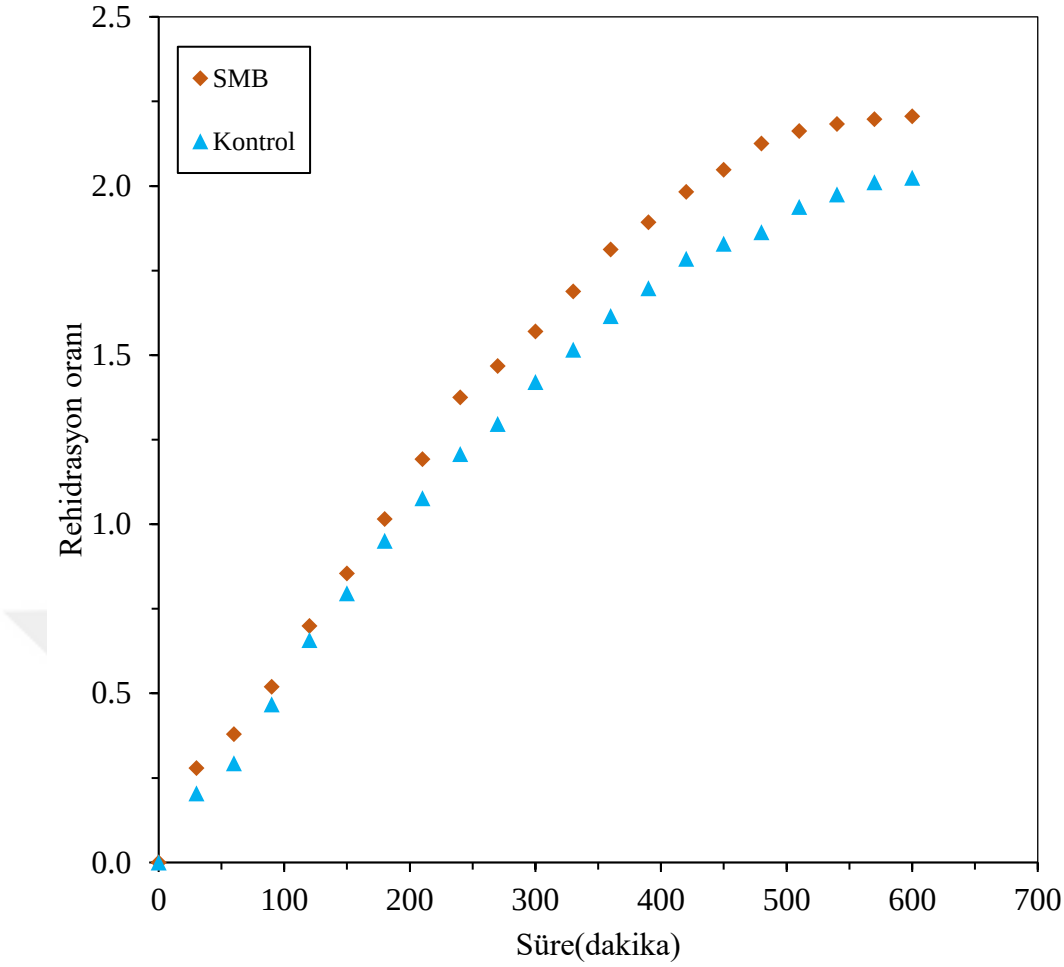


Şekil 5.27 50°C'de kurutulan kayısıların 25°C'deki rehidrasyon oranları



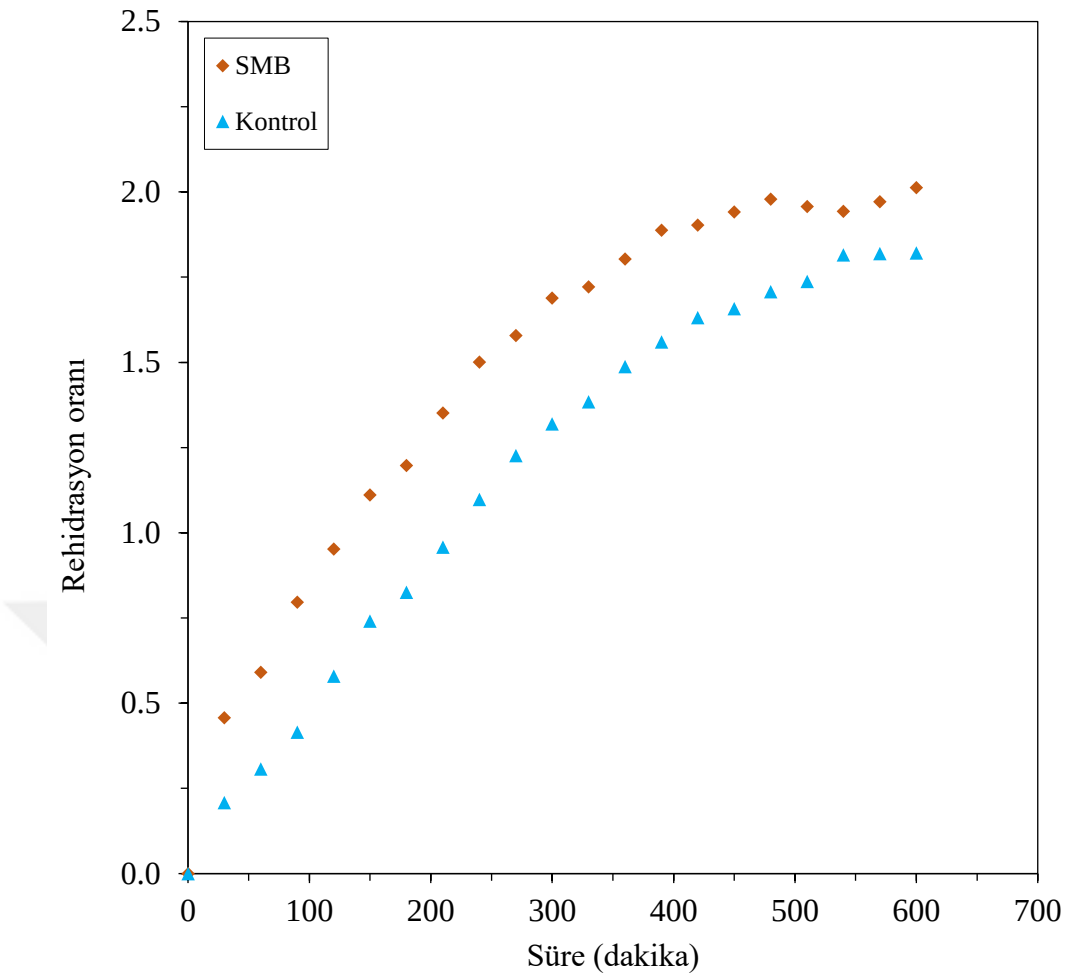
Şekil 5.28 60°C'de kurutulan kayısıların 25°C'deki rehidrasyon oranları

Yüksek sıcaklıkta kurutulan kayısılar daha hızlı ve daha fazla nem aldığı görülmektedir. 80ºC'de kurutulmuş örnekler, 50ºC'de kurutulmuş örneklere kıyasla daha gözenekli yapı elde edildiği ve bunun sonucunda rehidrasyon oranın yüksek olduğu gözlenmiştir. Yüksek sıcaklıkta kuruyan gıdaların daha fazla nem alması literatürde bazı araştırıcılar tarafından belirtilmiştir. Kurutma sırasında yüksek sıcaklığa maruz kalan dokularda doku çökmesi ve hücre hasarları sonucu meydana gelen boşluklara rehidrasyon sırasında suyun difüzyonun arttırmıştır [251],[255], [256], [257].



Şekil 5.29 70°C'de kurutulan kayısıların 25°C'deki rehidrasyon oranları

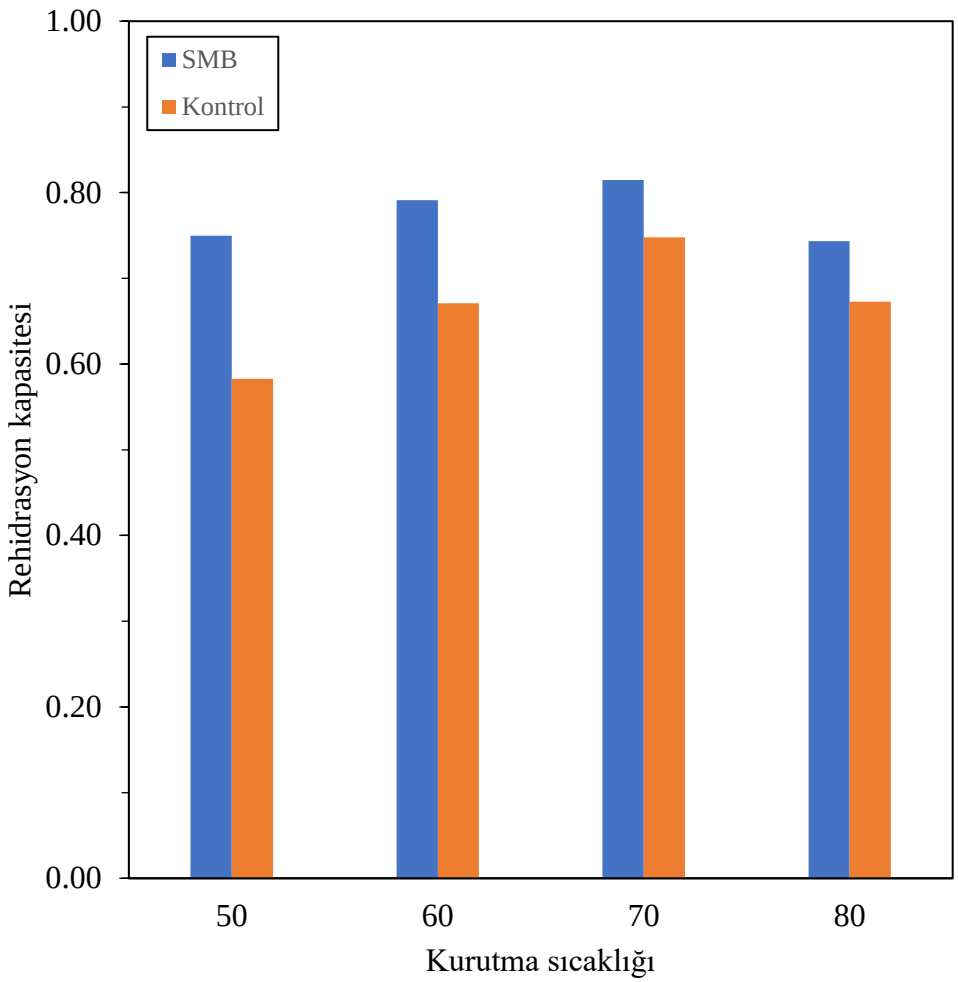
Yapılan bir çalışmada, rehidrasyon sırasında kükürtleme işleminin kurutulmuş elma ve şeftalilerde önişlemsiz kurutulan örneklere göre daha fazla miktar su absorpladığı Lewicki [258] tarafından tespit edilmiştir. Ön işlem uygulanan kayısılarda her sıcaklık için doğal olarak kurutulan kayısılara oranla daha yüksek rehidrasyon oranı olduğu tespit edilmiştir. Benzer sonuçlar Doymaz ve Kocayiğit, [222] tarafından yapılan çalışmada ise farklı önişlemler uygulanan bezelyelerin ön işlemsiz kurutulanlardan daha yüksek rehidrasyon oranına sahip olduklarını tespit edilmiştir. Kitosanla ön işlem uygulanan kayısıların ön işlem görmeden kurutulan kayısılara oranla daha yüksek rehidrasyon oranına sahip olduğu belirtmişlerdir [103].



Şekil 5.30 80°C'de kurutulan kayısıların 25°C'deki rehidrasyon oranları

Rehidrasyon kapasitesi (4.12) nolu denklem kullanılarak farklı sıcaklıklarda kurutulan kontrol ve SMB örnekleri için hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonunda 70°C'de kurutulup rehidrasyona maruz bırakılan kontrol ve SMB örnekler en yüksek kapasite gözlenmiştir. Aghbashlo vd. [259], tepsili kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70 ve 80ºC) ve farklı hava hızlarında (0.3, 0.6 ve 0.9 m/s) kurutulan vişnelerin rehidrasyon oranı için 20°C'deki suda 24 saat beklettikleri vişnelerden en yüksek rehidrasyon kapasitesini 70ºC'de kurutulan örneklerde gözlenmiştir.

Rehidrasyon kapasitesi değerinin 1'e yakın olması kuru ürün kalitesinin iyi olduğunu göstermektedir [226]. Kontrol örnekleri için rehidrasyon kapasitesi (RK) 0.58 ile 0.74 arasında değişmektedir. SMB ile önişlem uygulanıp kurutulan kayısılar 0.74 ile 0.81 arasında değişen değerler göstermişlerdir. Farklı sıcaklıklarda kurutulan kayısıların rehidrasyon kapasitesi (RK) toplu olarak Şekil 5.31'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürdeki sonuçlara benzerlik göstermiştir.



Şekil 5.31 Farklı sıcaklıklarda kurutulan kayısıların rehidrasyon kapasitesi değerleri

Karataş [179] tarafından yapılan bir çalışmada farklı kayısı çeşitlerinin güneşte kurutma, kükürtlenmiş ve güneşte kurutma, dondurarak kurutma ve mikrodalga kurutma yöntemleri ile kuruttukları Çataloğlu kayısı örnekleri 24°C'deki saf suda 24 saat süre sonunda hesaplanan rehidrasyon kapasitesi değerleri sırasıyla 0.81, 0.79, 0.83 ve 0.75 olarak tespit edilmiştir. En yüksek değerin dondurarak kurutma uygulanan kayısılarda olduğunu bildirmiştir.

5.5 Kayısı Posası Kimyasal Analiz Sonuçları

Kayısı atık posasının içeriği meyve suyu fabrikasında kullanılan kayısı türleri ve hasat zamanları gibi birçok faktöre bağlıdır. Kayısı posanın değerlendirme olanaklarının araştırılmasında içeriğinin tespiti önemli olmaktadır. Kayısı posasının nem içeriği 4.6179 kg su/kg kuru madde olarak tespit edilmiştir. Posanın pH ve titreedilebilir asitliği sırasıyla 3.66 ve %2.56 (malik asit) olarak tespit edilmiştir. Kayısı posasının karakterizasyonu belirlemek amacıyla yapılan analizler sonucunda %0.74 protein, %0.2 yağ, %2.9 ham selüloz, %0.87 kül ve %0.11 asitte çözünmeyen kül olduğu tespit edildi. Yaş ve kuru kayısı posasına ait sonuçlar Çizelge 5.21'de verilmiştir.

Çizelge 5.21 Kayısı posasının kimyasal özellikleri

	Ham protein	Kül	Yağ	Selüloz oranı	HCl'de çözünmeyen kül
Yaş posa (%)	0.74	0.87	0.20	0.56	0.11
Kuru posa (%)	4.87	4.37	1.37	2.96	0.44

Literatürde kayısı posasının kimyasal analiz sonuçları incelendiğinde sonuçların kayısı türüne ve yetişme koşullarına göre değiştiği görülmüştür. Ekşi ve Artık [187] yaptıkları çalışmada kayısı posasının ham protein, ham yağ, ham selüloz, toplam kül ve HCl'de çözünmeyen kül oranını sırasıyla %3.02, %0.2, %2.81, %0.50 ve %0.17 olarak bildirmiştir. Üçüncü vd. [195] yaptıkları çalışmada ise protein oranını %1.29 ve kül oranını %0.6 olarak tespit etmiştir.

Meyvelerin asitliği, protein, yağ, kül ve mineral bileşimi ekim bölgesine, ürün yılına ve türüne göre değişmekle birlikte genel olarak yabani meyvelerde protein oranı %5'den az ve yağ oranı ise %2'den az olmaktadır [16]. Haciseferogullari vd. [109] Malatya bölgesinde yetişen kayısı çeşitleri için ham proteinin %2.84-4.29, ham yağ %0.55-3.12, kül %2.72-5.34 ve asitliğin %0.17-0.79 (malik asit) arasında değiştiği bildirmiştir. Malatya kayısının kül içeriği %0.5 ile %0.89, titrasyon asitliği 0.1-1.0 (% sitrik asit) ve pH değeri 2.83-5.63 arasında değiştiği Akın vd. [113] tarafından belirtilmiştir. Khan vd. [260] tarafından yapılan bir çalışmada, taze kayısıların kimyasal bileşimini nem %83.3, kül %0.72, ham yağ oranın %0.03, ham protein oranı %0.9, ham lif oranın %1.02 ve karbonhidrat içeriğinin ise %14.03 oranında tespit edilmiştir. Probiyotik yoğurt

üretiminde kayısıların %5 rutubet içeriğine kadar kurutularak un haline getilmiş kayısı posasında %4 protein, %0.4 yağ, %3.80 kül içeriği Karaca vd. [261] tarafından bildirilmiştir.

Kayısı posasının mineral içerikleri incelendiğinde kayısı meyvesi ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. Kurutulmuş posanın mineral içeriğinin arttığı gözlenmiş sonuçlar Çizelge 5.22'de verilmiştir.

Çizelge 5.22 Kayısı posasının mineral içerikleri

Element (ppm)	Yaş	Kuru
Kalsiyum (Ca)	694.06	2353.38
Demir (Fe)	42.79	141.69
Sodyum (Na)	2.72	29.11
Potasyum (K)	3414.64	13336.74
Fosfor (P)	229.19	1106.12
Magnezyum (Mg)	116.80	473.72
Bakır (Cu)	4.45	8.20
Çinko (Zn)	1.28	25.61

Yapılan bir çalışmada kurutulmuş kayısı posasına ait mineral içerikleri kalsiyum (1032 ppm), potasyum (12000 ppm), fosfor (527 ppm), demir (38 ppm), sodyum (234 ppm), bakır (4 ppm) olarak Ekşi ve Artık [187] tarafından bildirilmiştir. Haciseferogullari vd. [109], Malatya bölgesindeki altı farklı kayısı çeşidi için mineral sonuçlarını kalsiyum (843.28–1896.53 ppm), potasyum (20 791–33 364 ppm), magnezyum (402.82–765.62 ppm), fosfor (1436.49–2643.42 ppm), demir (396.12-433.16 ppm), sodyum (773.95–1129.74 ppm) arasında değiştiği tespit edilmiştir. Muradoğlu vd. [12] tarından Iğdır yöresindeki altı farklı kayısı için mineral sonuçlarının 100 gram yaş meyve için K, Mg, Ca, Cu, Zn, Fe ve Mn içerikleri sırasıyla 198.25, 11.57, 12.36, 0.18, 0.09, 0.67 ve 0.06 mg düzeyinde bulunmuştur. Yapılan başka bir çalışmada ise Akın vd. [113] tarafından Malatya, Iğdır, İzmir ve Bursa bölgelerindeki kayısı örneklerinin mineral içeriklerinin 100 gram kuru kayısı için kalsiyum (87–240.50 mg), potasyum (1227–3455 mg), magnezyum (110.4–284.4 mg), fosfor (97–237.9 mg), demir (2.34-11.3 mg) ve sodyum (8-17.8 mg) bulunmuştur. Suna vd. [177] tarafından yapılan çalışmada, pestil yapımında

kullandıkları Malatya bölgesinden kayısıların mineral içeriklerinin kalsiyum (245 ppm), potasyum (3849 ppm), magnezyum (101 ppm) ve çinko (0.27 ppm) olarak bulunmuştur.

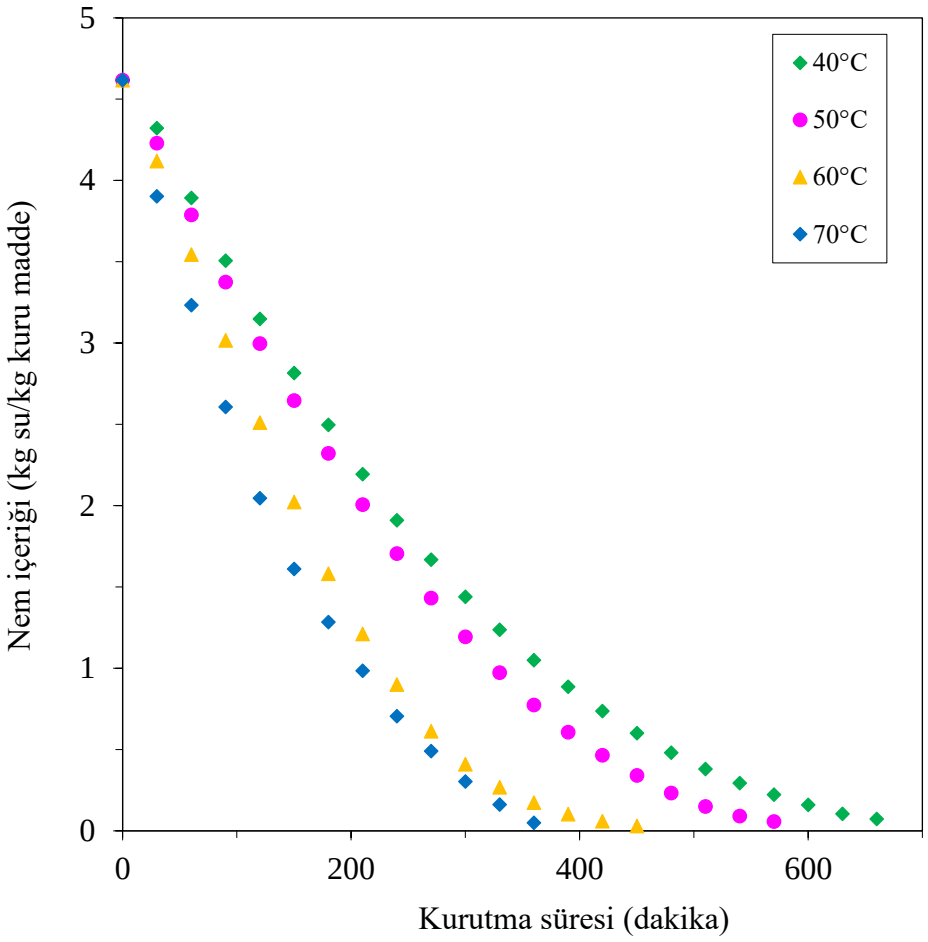
Genel olarak kayısı yaş ve kuru kayısının mineral miktarlarının literatürde farklılıklar gösterdiği görülmüştür. Aynı bölgede yetişen farklı kayısı türleri arasında bile farklıklıklar mevcut olmakla birlikte tüm çalışmalarda en yüksek mineral içeriğinin potasyum, kalsiyum ve fosfor içeriklerinin yüksek olduğu birçok araştrmacı tarafından bildirilmiştir. Kayısının kabuk ve etli kısmındaki mineral değerleri farklıklık gösterebilmektedir. Meyve suyu fabrikasının atığı olan kayısı posanın mineral sonuçları literatürdeki mineral sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir. Kayısı çeşitlerinin bazı kimyasal bileşimlerindeki farklar çoğunlukla genetik ve çevresel değişimlerle açıklanmıştır. Bunlara ek olarak, meyvelerin hasat edilmesi ve olgunlaşma seviyeleri de içeriği etkilemektedir [107], [113].

5.6 Kayısı Posasının Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi

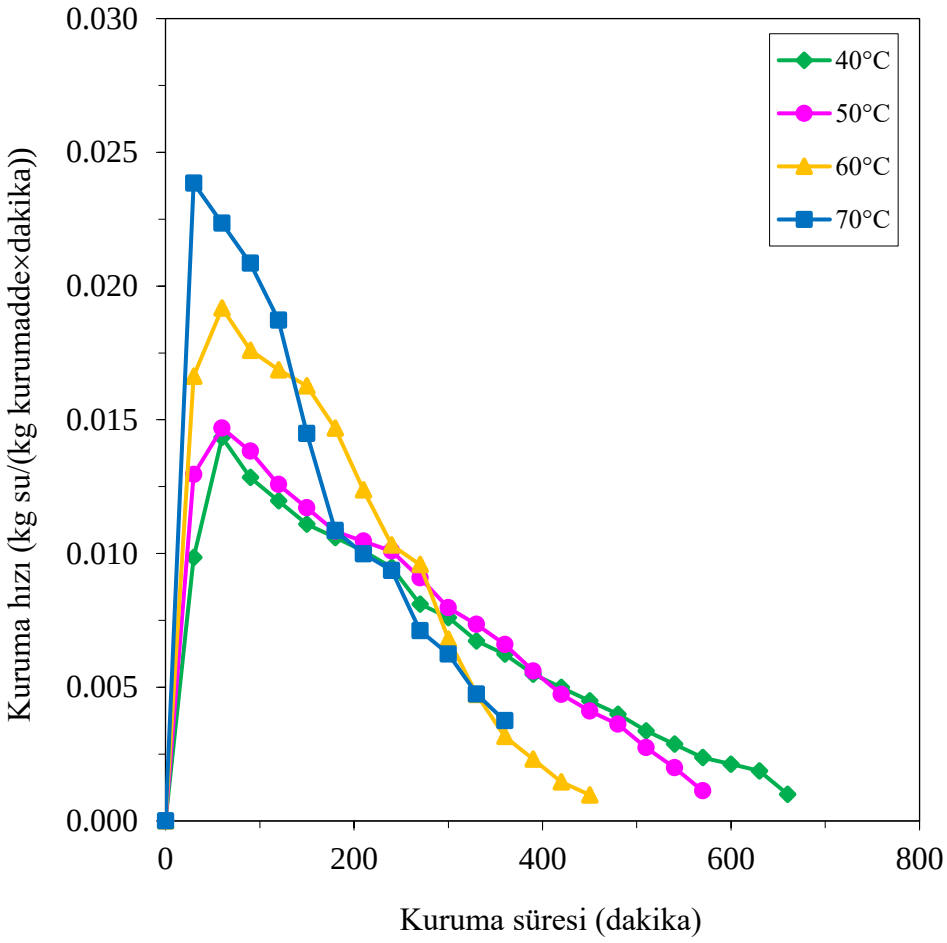
5.6.1 Kayısı Posasının Kabin Kurutucuda Kurutulması

Kayısı posası örneklerinin nem içeriği 0.05 kg su/kg kuru madde oranına kadar kabin kurutucuda kurutulmuştur. Yapılan denemeler sonucunda sıcaklığın kuruma süresine etkisini incelemek amacıyla farklı sıcaklıklarda (40, 50, 60 ve 70^{o}C) kurutularak posanın kuruma karakteristiklerini belirlenmiştir. Kayısı posasının kabin kurutucuda kuruma süresi boyunca nem içeriğindeki değişim Şekil 5.32'de verilmiştir. Kabin kurutucuda kurutulan posa 40, 50, 60 ve 70^{o}C sıcaklıklar için kurutma süreleri sırasıyla 660, 570, 450 ve 360 dakika sürmüştür.

Uygulanan kurutma sıcaklığının kurutma süresine doğrudan etkisi olduğu gözlenmiştir. Kayısı posasının kabin kurutucuda 40°C'den 70^{o}C'ye çıkarılmasıyla kurutma süresi %45.45 azalma gözlenmiştir. Posanın kabin kurutucuda kuruma hızına karşı kuruma süresi Şekil 5.33'de verilmiştir. Posanın kurutma hızında uygulanan sıcaklığın etkisinin olduğu görülmüştür. Uygulanan sıcaklık artıkça kuruma hızı artmıştır. Kayısı posasının kurutma işlemi azalan hız periyodunda gerçekleşmiş, sabit hız kuruma periyodu gözlenmemiştir. Üründen nem çıkışının tamamen difüzyon mekanizmasıyla meydana gelmiştir. Kuruma hızları başlangıcında daha yüksek olup daha sonra kurutma süresince azalmıştır. Kurutmadaki hızındaki azalma, esas olarak, kurutma ilerledikçe nem içeriğindeki azalmaya bağlıdır.



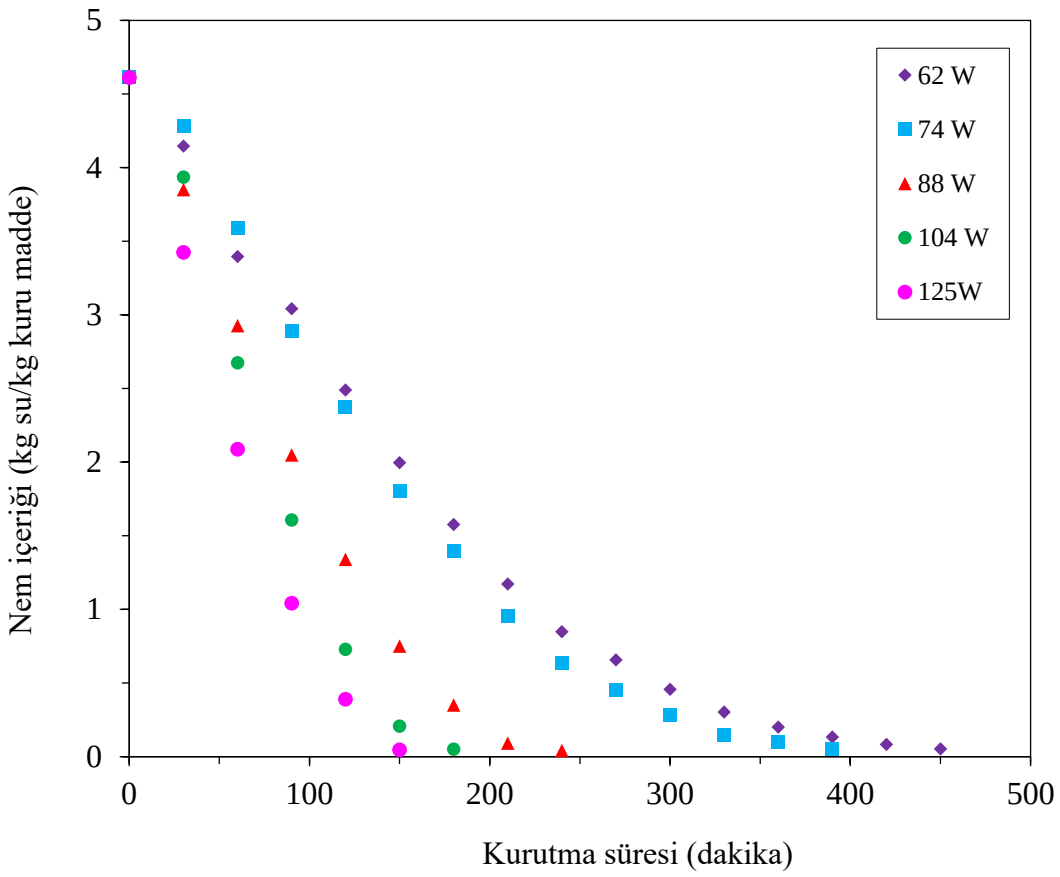
Şekil 5.32 Kabin kurutucuda kurutulan kayısı posasına ait nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi



Şekil 5.33 Kabin kurutucuda kurutulan kayısı posasına ait kurutma hızının kurutma süresi ile değişimi

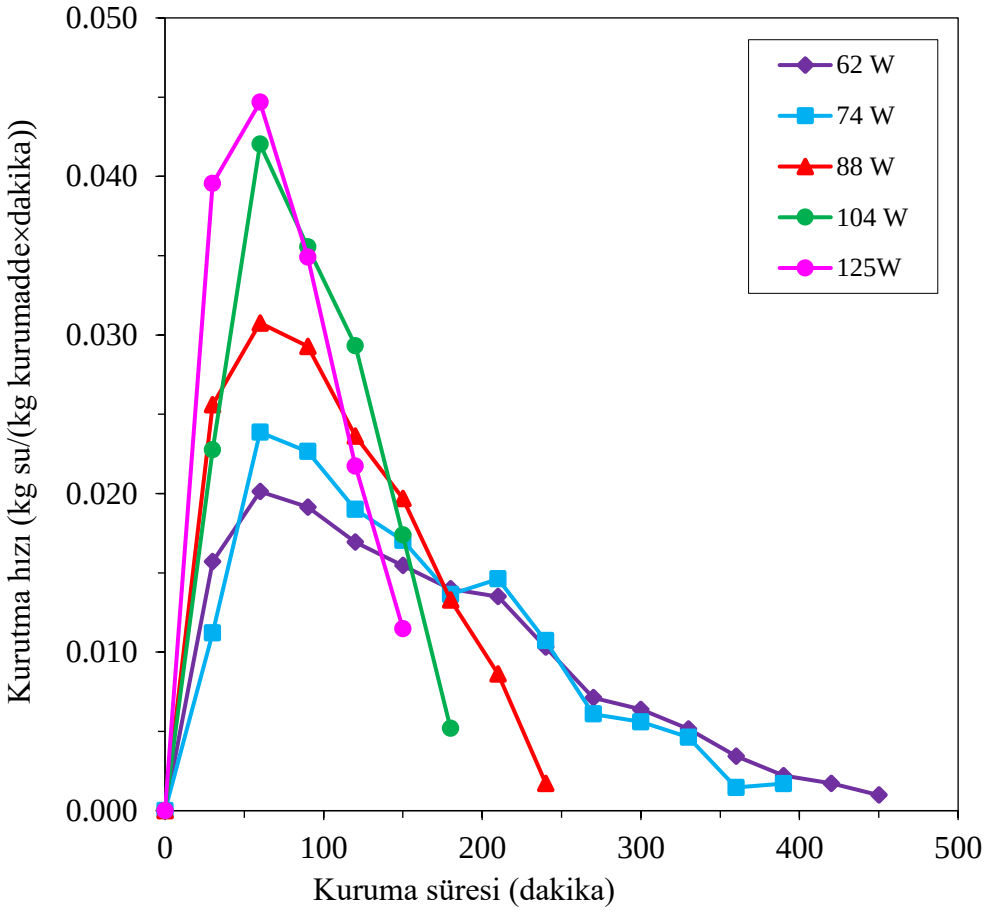
5.6.2 Kayısı Posasının Infrared Kurutucuda Kurutulması

Kayısı posası bir infrared kurutucuda farklı infrared güç seviyelerinde (62, 74, 88, 104 ve 125 W) 0.05 kg su/kg kuru madde nem içeriğine kadar kurutulmuştur. Posanın infrared kurutucuda 62, 74, 88, 104 ve 125 W infrared güç değerlerinde kurutulması ile kurutma süreleri sırasıyla 450, 390, 240, 180 ve 150 dakikadır. Farklı güç seviyesi için posanın nem içeriğinin zamanla değişimi Şekil 5.34'de verilmiştir. İnfrared kurutucuda güç seviyesinin 62 W'dan 125 W'a çıkarılmasıyla kuruma süresinde %66.7 oranında bir azalma gözlenmiştir.



Şekil 5.34 İnfrared kurutucuda kayısı posasının nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi

Uygulanan gücün kurutma süresine doğrudan etkisi olduğu gözlenmiştir. Posanın infrared kurutucuda kuruma hızının kuruma süresi ile değişimi Şekil 5.35'de verilmiştir. Posanın kurutma hızında uygulan gücün etkisinin olduğu görülmüştür. Uygulanan güç artıkça kuruma hızı artmıştır. Güç seviyesinin artmasıyla kurutma oranındaki artış; yüksek güç seviyelerinde, ısı ve kütle transferinin daha yüksek olduğu ve su kaybının daha fazla olduğu anlamına gelir. Kurutma işlemi sırasında, kurutma hızları işlemin başlangıcında yüksek daha sonra numunelerdeki nem içeriğinin azalmasıyla azalmıştır. Kayısı posasının infrared kurutucu kurutulmasında kurutmanın azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir, sabit hız kuruma periyodu gözlenmemiştir. Üründen nem çıkışının tamamen difüzyon mekanizmasıyla meydana gelmiştir. Benzer sonuçlar meyve ve sebzelerin kurutulmasındaki birçok araştırmada belirtilmiştir [48], [233].



Şekil 5.35 İnfrared kurutucuda kayısı posasına ait kurutma hızının kurutma süresi ile değişimi

Infrared kurutma sıcak hava kurutma ile karşılaştırıldığında infrared kurutma işleminde kurutma hızı değerleri daha yüksektir. Bunun sonucu olarak kurutma süreleri daha kısadır. Yüksek infrared güç ve sıcaklık seviyelerinde ısı ve kütle transferi daha yüksektir ve su kaybı daha fazladır. Kurutma işlemi sırasında, kurutma hızı sürecin başında yüksektir ve daha sonra örneklerde nem içeriğinin azalması ile azalmıştır. Kurutma hızının azalması içten gelen suyun hareketine karşı büzülmeye bağlı dış direnç artışı ile örneklerin porozitesinde azalma nedeniyle olabilir [246]. Sonuçlar çeşitli tarım ürünlerinin kurutulması ile ilgili bazı araştırıcılar tarafından yapılan çalışmalar ile tutarlıdır [53], [126], [203], [232], [262].

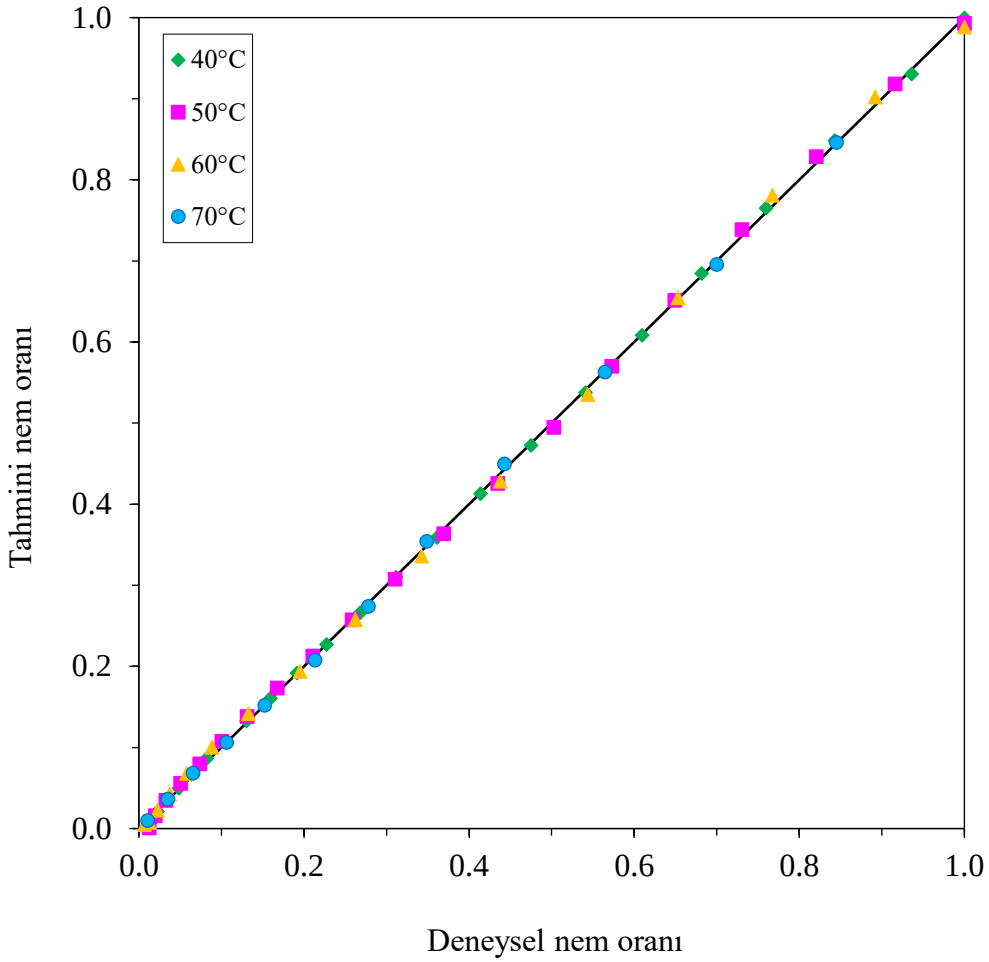
5.6.3 Kayısı Posası için Modelleme Sonuçları

Farklı sıcaklıklarda elde edilen nem içeriği verileri (4.14) denklemi kullanılarak MR değerlerine dönüştürüldü. Çizelge 4.3'de verilen modellere uygunluğu araştırıldı. En uygun modelin seçiminde en yüksek R^2, düşük P, χ^2 ve RMSE değerleri göz önüne alınmıştır. Kabin kurutucuda kurutulan kayısı posanın kurutma verilerinin modellenmesi sonucunda ortaya çıkan istatistiksel sonuçları Çizelge 5.23'de verilmiştir. Bu çizelgedeki verilerden yararlanarak kabin kurutucuda kurutulan kayısı posasının verilerine en uygun modeller Midilli vd. ve Aghbashlo vd. modelleri olduğu tespit edilmiştir. R^2, P, χ^2 ve RMSE değerleri sırasıyla 0.9993 ve 0.9999, 1.7117–17.2464, 0.000011 ve 0.000094, 0.007448 ve 0.029740 arasında değişmektedir.

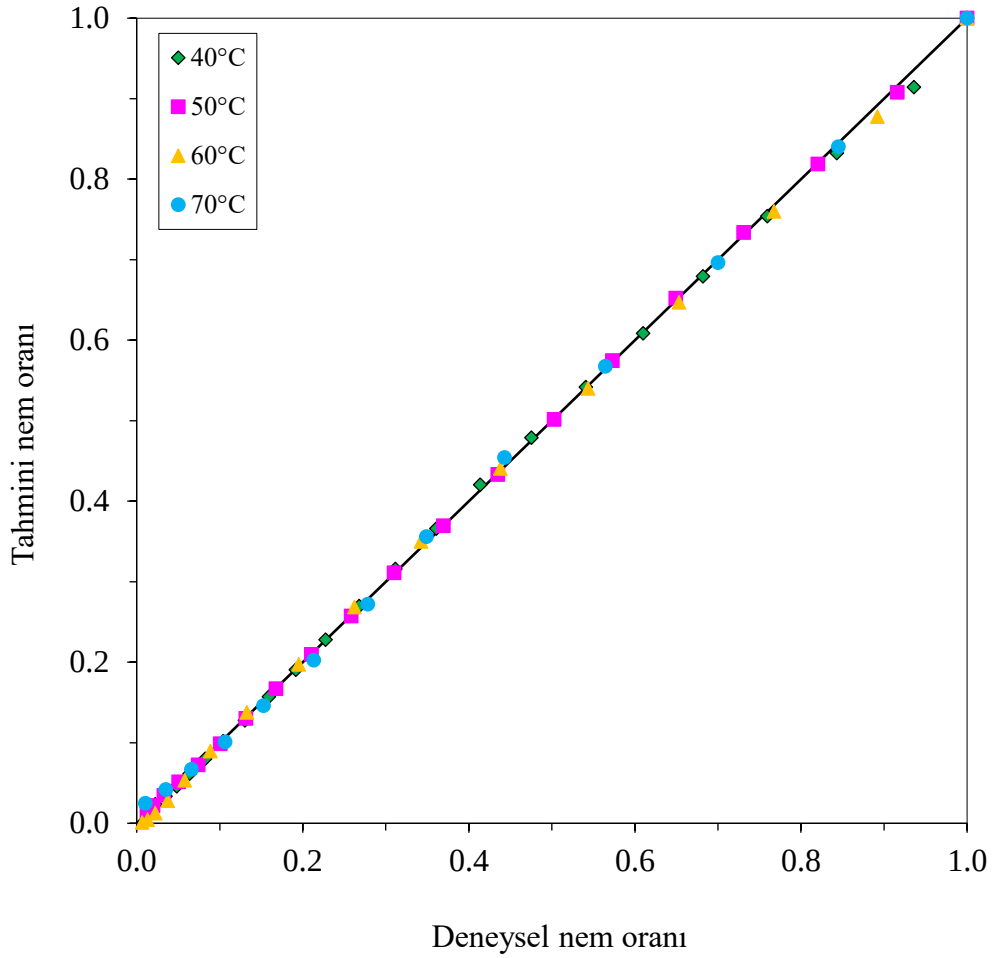
Çizelge 5.23 Kabin kurutucuda kurutulan kayısı posa örneklerine ait istatistiksel analiz sonuçları

Sıcaklık	Model	R^2	P	χ^2	RMSE
40°C	Lewis	0.9792	53.359215	0.002041	0.189325
	Henderson ve Pabis	0.9862	44.235251	0.001412	0.150234
	Logaritmik	0.9985	11.991913	0.000158	0.047081
	Verma vd.	0.9983	18.683500	0.000180	0.050685
	Page	0.9986	15.867646	0.000143	0.047046
	Midilli vd.	0.9998	3.264633	0.000011	0.012202
	Parabolic	0.9995	6.394381	0.000044	0.024836
	Wang ve Singh	0.9994	5.406467	0.000051	0.024901
	Weibull	0.9986	15.868080	0.000143	0.047046
	Aghbashlo vd.	0.9996	1.711789	0.000036	0.016841
50°C	Lewis	0.9739	75.168877	0.002656	0.201962
	Henderson ve Pabis	0.9808	64.696240	0.002053	0.171509
	Logaritmik	0.9983	18.770006	0.000188	0.048530
	Verma vd.	0.9963	31.365892	0.000412	0.072847
	Page	0.9970	25.680957	0.000323	0.066837
	Midilli vd.	0.9996	8.899930	0.000048	0.024419
	Parabolic	0.9993	0.852028	0.000074	0.034809
	Wang ve Singh	0.9992	2.203208	0.000086	0.036617
	Weibull	0.9969	25.681340	0.000323	0.066837
	Aghbashlo vd.	0.9999	1.837214	0.000061	0.007448
60°C	Lewis	0.9689	125.742108	0.003507	0.206411
	Henderson ve Pabis	0.9770	107.272201	0.002773	0.177322
	Logaritmik	0.9943	60.23377	0.000742	0.087271
	Verma vd.	0.9971	41.915373	0.000377	0.063430
	Page	0.9983	26.084401	0.000203	0.048081
	Midilli vd.	0.9993	17.246407	0.000094	0.029740
	Parabolic	0.9991	11.525852	0.000111	0.032295
	Wang ve Singh	0.9984	12.067870	0.000188	0.042194
	Weibull	0.9983	26.084764	0.000203	0.048081
	Aghbashlo vd.	0.9995	15.106752	0.000053	0.023390
70°C	Lewis	0.9854	69.832369	0.001526	0.113847
	Henderson ve Pabis	0.9885	63.012160	0.001309	0.103448
	Logaritmik	0.9994	7.021566	0.000069	0.021344
	Verma vd.	0.9977	33.489541	0.000278	0.038992
	Page	0.9977	31.860125	0.000255	0.040141
	Midilli vd.	0.9998	1.880197	0.000017	0.009597
	Parabolic	0.9987	15.787183	0.000156	0.034147
	Wang ve Singh	0.9986	17.905951	0.000159	0.034561
	Weibull	0.9977	31.860071	0.000255	0.040141
	Aghbashlo vd.	0.9994	13.829295	0.000063	0.022465

Şekil 5.36'da deneysel ve Midilli vd. ve Aghbashlo vd. modellerden elde edilen tahmini nem oranlarının dağılımı görülmektedir. Değerler 45°'lik açı ile düz bir çizgi üzerinde dağılım göstermiştir. Bu da deneysel sonuçları ile modellerin sonuçları arasındaki uyumun bir göstergesidir.



Şekil 5.36 Deneysel ve Midilli vd. modelinin tahmini nem oranı değerleri



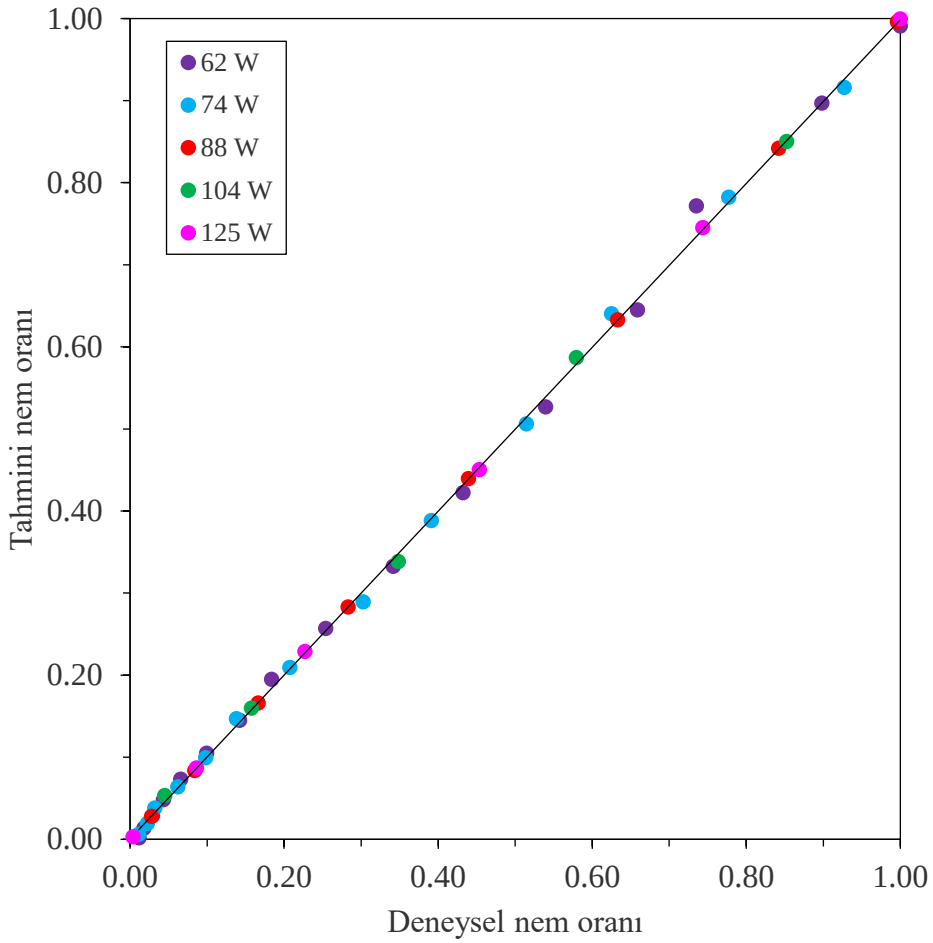
Şekil 5.37 Deneysel ve Aghbashlo vd. modelinin tahmini nem oranı değerleri

Infrared kurutucuda kurutulan kayısı posası verileri için Midilli vd. modelinin en uygun model olduğu tespit edilmiştir. Infrared kurutucudaki R^2, P, χ^2 ve RMSE değerleri sırasıyla 0.9986 ve 0.9999, 4.038198-13.800227, 0.000019 ve 0.000158, 0.005653 ve 0.035177 arasında Çizelge 5.24'de görüldüğü gibi değişmektedir.

Çizelge 5.24 İnfrared kurutucuda kurutulan posanın istatistiksel analiz sonuçları

İnfrared power (W)	Model	R^2	P	χ^2	RMSE
62	Lewis	0.9732	80.713984	0.002947	0.190603
	Henderson ve Pabis	0.9803	68.237733	0.002324	0.163180
	Logaritmik	0.9944	35.624990	0.000711	0.082500
	Verma vd.	0.9971	23.638226	0.000359	0.057406
	Page	0.9979	14.897150	0.000245	0.043972
	Midilli vd.	0.9986	10.001777	0.000158	0.035177
	Parabolic	0.9985	6.982856	0.000191	0.038860
	Wang ve Singh	0.9981	10.001777	0.000214	0.039025
	Weibull	0.9979	6.982856	0.000245	0.043972
	Aghbashlo vd.	0.9986	8.641978	0.000178	0.037267
74	Lewis	0.9594	97.785406	0.004916	0.222986
	Henderson ve Pabis	0.9721	81.390264	0.003661	0.193622
	Logaritmik	0.9914	42.429295	0.001227	0.099753
	Verma vd.	0.9981	24.758849	0.000263	0.047157
	Page	0.9992	10.896374	0.000097	0.028368
	Midilli vd.	0.9994	7.430430	0.000080	0.023479
	Parabolic	0.9966	7.844552	0.000474	0.050386
	Wang ve Singh	0.9935	18.505396	0.000842	0.071585
	Weibull	0.9992	10.896259	0.000098	0.028369
	Aghbashlo vd.	0.9967	19.537481	0.000421	0.053072
88	Lewis	0.9581	162.720012	0.005619	0.182065
	Henderson ve Pabis	0.9658	146.730703	0.005236	0.178480
	Logaritmik	0.9929	67.100310	0.001264	0.078144
	Verma vd.	0.9957	60.393770	0.000765	0.057601
	Page	0.9981	35.245207	0.000288	0.037090
	Midilli vd.	0.9994	13.163833	0.000099	0.019912
	Parabolic	0.9970	30.793276	0.000527	0.049032
	Wang ve Singh	0.9956	40.148397	0.000663	0.054671
	Weibull	0.9981	35.246998	0.000289	0.037089
	Aghbashlo vd.	0.9993	25.024615	0.000118	0.021600
104	Lewis	0.9314	635.792293	0.010644	0.212211
	Henderson ve Pabis	0.9426	580.268396	0.010677	0.216322
	Logaritmik	0.9848	274.777769	0.003526	0.109600
	Verma vd.	0.9951	233.151407	0.001138	0.058295
	Page	0.9991	103.937080	0.000162	0.023027
	Midilli vd.	0.9996	13.800227	0.000121	0.015284
	Parabolic	0.9881	184.479649	0.002758	0.094550
	Wang ve Singh	0.9846	228.973178	0.002864	0.096915
	Weibull	0.9991	103.936910	0.000162	0.023027
	Aghbashlo vd.	0.9965	22.353235	0.000635	0.040530
125	Lewis	0.9609	464.498406	0.005933	0.145363
	Henderson ve Pabis	0.9653	438.273751	0.006574	0.151906
	Logaritmik	0.9945	112.081820	0.001374	0.056570
	Verma vd.	0.9967	200.003373	0.000820	0.041215
	Page	0.9986	138.088628	0.000251	0.026360
	Midilli vd.	0.9999	4.038198	0.000019	0.005653
	Parabolic	0.9970	51.262883	0.000755	0.040665
	Wang ve Singh	0.9963	63.268271	0.000687	0.039245
	Weibull	0.9986	138.083998	0.000251	0.026360
	Aghbashlo vd.	0.9992	19.494005	0.000143	0.019516

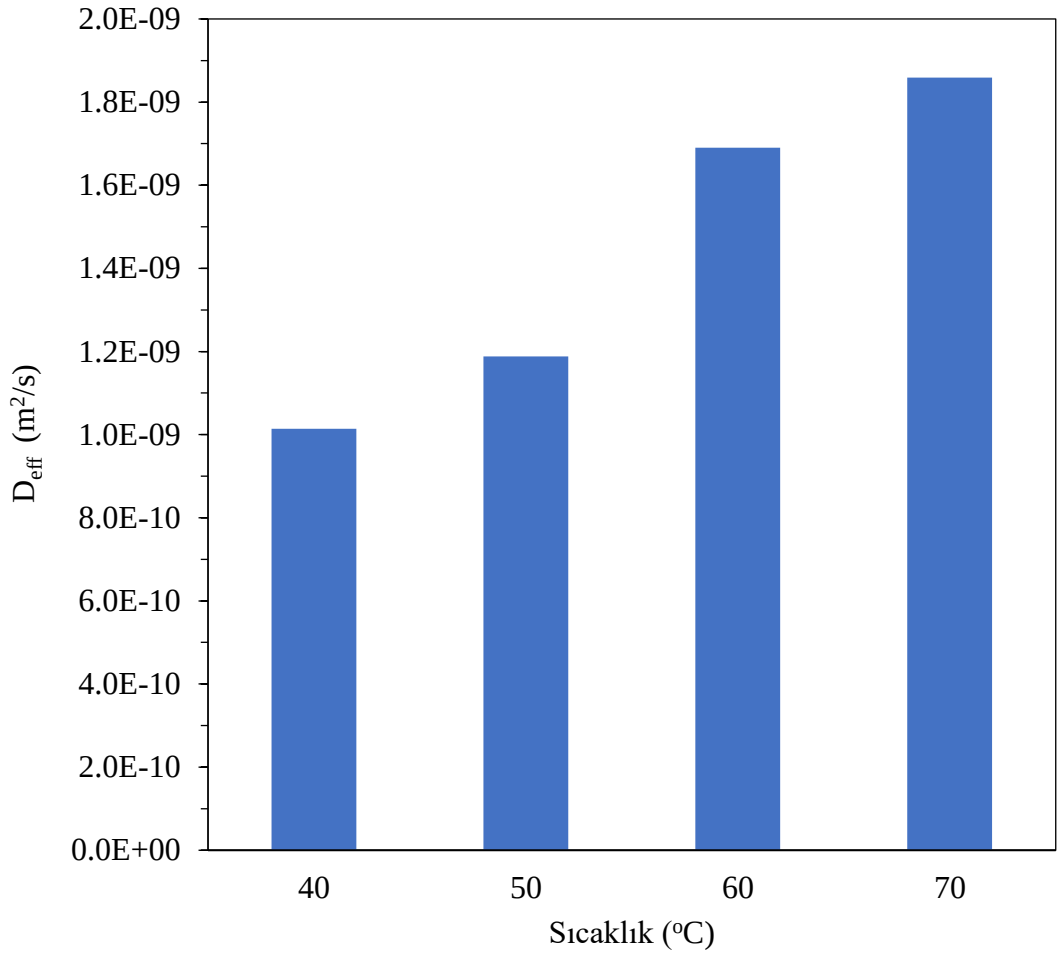
Elde edilen sonuçlar literatürde yer alan çalışmalardaki sonuçlar ile uyumludur. Kara ve Doymaz [202] tarafından yapılan çalışmada elma posasının kabin tipi kurutucuda kurutulmasında, Celma vd. [51] tarafından yapılan çalışmada üzüm artıklarının infrared kurutucuda kurutulmasında ve Celma vd. [206] domates kabuk ve tohumlarının infrared kurutucuda kurutulmasında Midilli vd. modeli en uygun model olduğu bildirmişlerdir. Ayrıca, Sui vd. [247] üzüm posasının kurutulmasında konvektif, infrared ve infrared/konvektif kombine kurutucu sistemi ile kuruttukları posanın kuruma kinetiğini Midilli vd. en iyi gösteren model olduğunu bildirmişlerdir.



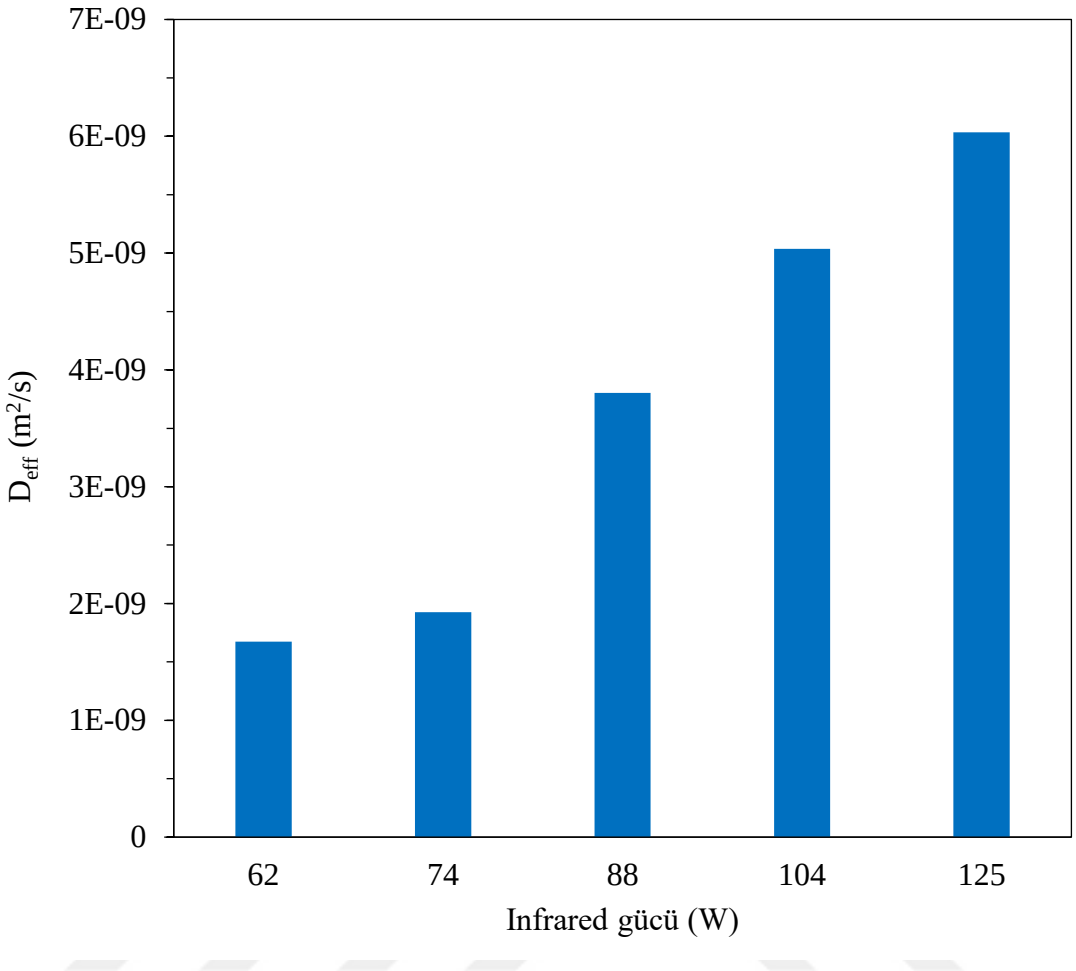
Şekil 5.38 Deneysel ve Midilli vd. modelinin tahmini nem oranı değerleri

5.6.4 Kayısı Posasının Efektif Difüzyon Katsayılarının Hesaplanması

Kayısı posasının kabin ve infrared kurutuculardа kurutulmasında farklı infrared güç ve sıcaklık değerleri için efektif difüzyon katsayısı değerleri (4.27) denklemlemi kullanılarak hesaplanmıştır. Kayısı posasının kabin kurutucuda farklı sıcaklıklar için değerleri 1.014×10^{-9} ile 1.859×10^{-9} m^2/s ve infrared kurutucuda farklı güçler için D_{eff} değerleri 1.670×10^{-9} ile 6.030×10^{-9} m^2/s arasında değişmektedir. Sonuçlar Şekil 5.39 ve Şekil 5.40'da verilmiştir.



Şekil 5.39 Farklı sıcaklıklarda kurutulan kayısı posası D_{eff} değerleri



Şekil 5.40 Farklı infrared güç seviyelerinde kurutulan kayısı posası D_{eff} değerleri

Kabin ve infrared kurutuculardaki kurutulan kayısı posa örnekleri için hesaplanan D_{eff} değerleri literatürde tarımsal ürünler için verilen değerler (10^{-12} ile 10^{-8} m^2/s) arasındadır. Literatürde posa ve tarımsal atıkların D_{eff} değerleri için çeşitli araştırmalarda rapor edilmiştir. Örneğin, karpuz posası için $0.347–0.868\times10^{-8}$ m^2/s [205], elma posası için $3.47–6.47\times10^{-9}$ m^2/s [263], havuç posası için $2.74–4.64 \times 10^{-9}$ m^2/s [203] ve domates atıkları için $3.238\times10^{-9}–1.245\times10^{-8}$ m^2/s [264] arasında değişmekte olup bu çalışmada elde edilen sonuçlar ile benzerlik göstermektedir.

5.6.5 Aktivasyon Enerjilerinin Hesaplanması

Kabin ve infrared kurutuculardaki kurutulan kayısı posa örneklerine ait aktivasyon enerji değerlerini (4.28) ve (4.29) denklemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Kabin ve infrared kurutuculardaki kurutulan örnekler için aktivasyon enerji değerleri sırası ile 19.41 kJ/mol ve 2.32 kW/kg olarak bulunmuştur. Genel olarak literatürde farklı kurutma yöntemleri

kurutulan kayısı ve çeşitli gıda posası sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Örneğin, sıcak hava ile kurutuculardа kurutulan elma posası 24.51-25.292 kJ/mol [73], havuç posası 23.05 kJ/mol [203], kayısı 35.88 kJ/mol [162], kayısı 33.78 kJ/mol [103], kayısı 31.40-74.18 kJ/mol [94], kayısı 23.5–29.3 kJ/mol [141] rapor etmişlerdir. İnfrared kurutucuda kurutulan bazı örnekler: elma dilimleri 12.15 kW/kg [29], nar atıkları 4.42 kW/kg [265], mango dilimleri 4.48 kW/kg [266].

5.6.6 Posanın Renk Ölçüm Sonuçları

Yaş posanın kurutulmadan önceki renk değerleri L, a ve b değeri sırasıyla 65.6, 11.2 ve 48.2 olarak ölçülmüştür. Posanın kabin kurutucu ile kurutulması sonucunda ortaya çıkan renk değerleri, hesaplanan Chroma(C), Huge (h) ve renk değişim değeri (ΔE) Çizelge 5.25'de verilmiştir. Uygulanan sıcaklıkla birlikte kabin kurutucuda L, a, b, C ve h renk değerlerinde azalma gözlenmiştir. Renk değişim ΔE değeri artan sıcaklıkla birlikte artmıştır. Karabulut vd. [139] sıcak havada ve güneş altında kurutulan kayısı örneklerinin renk değerlerini incelenmişler ve L, b, C ve h renk değerleri yüksek sıcaklıkta kurutulan örneklerde daha fazla azaldığını bildirmişlerdir.

Ihns vd. [141], kurutma sırasında sıcaklık artış ile L renk değeri sonuçlarının azaldığını belirtmişlerdir. Posanın kurutulmasıyla elde edilen sonuçlarda L değeri 40°C için %28.78 azalma gösterirken sıcaklığın 30°C artışı ile bu azalma oranı %43.79 çıkmıştır. Albanese vd. [240], kayısı örneklerinin 70°C'deki sıcak hava ile kurutulmasında L değerinde %34.4 azalma olduğunu bildirmişlerdir. Maksimum renk değişim değeri ΔE 70ºC'de gözlenmiştir. Alam vd. [267] havuç posasında renk değişimi (ΔE) sıcaklığın 55°C dereceden 65°C'e çıkarılmasıyla artığını bildirmiştir.

Çizelge 5.25 Yaş ve kabin kurutucuda kurutulan kayısı posanın renk değerleri

Sıcaklık (°C)	L	a	b	ΔE	C	h
Yaş posa	65.60	11.20	48.24	-	49.52	76.93
40	46.71	10.84	24.75	6.54	27.02	66.34
50	39.46	10.71	21.94	7.27	24.41	64.74
60	38.69	10.62	20.50	7.43	23.09	62.61
70	36.87	10.49	20.20	7.58	22.76	62.57

Posanın infrared kurutucu ile kurutulması sonucunda ortaya çıkan renk değerleri ve hesaplanan renk değişim değeri ΔE Çizelge 5.26'da verilmiştir. Uygulanan güç değerleriyle birlikte L, b, C ve h renk değerlerinde azalma gözlenmiştir. Düşük infrared güç değerlerinde a değeri artmış, yüksek güç değerlerinde ise bir miktar azalma gözlenmiştir. Renk değişim ΔE değeri artan güç değeriyle birlikte artmıştır.

Çizelge 5.26 Yaş ve İnfrared kurutucuda kurutulan posanın renk değerleri

İnfrared güç (W)	L	a	b	ΔE	C	h
Yaş posa	65.60	11.20	48.24	-	49.52	76.94
62	31.39	11.96	18.48	7.95	22.01	57.10
74	30.78	11.94	18.62	8.04	21.60	59.57
88	29.39	11.58	15.99	8.25	19.74	54.11
104	25.08	9.62	13.48	8.77	16.56	54.51
125	21.83	8.07	8.31	9.32	11.58	45.83

CIE lab renk değerleri (L, a, b, C, h, ΔE) meyve ve sebzelerin optik özelliklerinin tanımlanmasında kullanılmaktadır. Posanın kabin ve infrared kurutucuda kurutulması işleminden sonra L ve b değerleri artan sıcaklık ve infrared güç seviyelerinde azaldığı gözlenmiştir. Farklı kurutucuda kurutulan ürünlerin renk değerlerinde en yüksek L ve b değerine 40ºC'de kabin kurutucuda kurutulan örneklerde ulaşılmıştır. Yaş kayısı renk değerlerine göre L ve b değerleri kayısının kurutulmasından sonra azalma olduğu bazı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir [139], [240], [251].

Kabin kurutucuda kurutulan posanın a değerinde kurutmadan sonra yaş posaya göre tüm sıcaklıklar için azalma gözlenmiştir. Düşük infrared güçlerindeki (62-74W) kurutmada az bir artış gözlenmiştir. Bu artış kırmızılığın artışının göstergesidir. Kayısıların kurutmadan sonra a değerinde bazı çalışmalarda artma gözlenmiş [59], [103], [138]. Bazı araştırmalarda ise kurutucu çeşidine göre kurutma sıcaklığına ve kayısı çeşidine göre artma ve azalma bir arada gözlenmiştir [94], [176], [241]. Bazı araştırmalarda a değerinin tüm sıcaklıklar için azalma gösterdiği belirtilmiştir [141], [251].

C ve h değerleri kurutmadan sonra kabin ve infrared kurutucu için azalma gözlenmiştir. Hue açısı (h), 0 ve 360 arasında değişmekle birlikte 0'a yakın değerlerde kırmızı, 90'a yakın değerlerde sarı rengi göstermektedir. Kurutmadan sonra posanın h değerindeki

azalma ise ürünün sarı-turuncu renkten kırmızılığa doğru geçişin ifadesidir. Kabin kurutucuda infrared kurutucuya göre daha yüksek C ve h değerleri elde edilmiştir.

Renk değişiminin göstergesi olan ΔE değerinin kabin ve infrared kurutucuda artan sıcaklık ve güç değerlerinde arttığı gözlenmiş bu durum farklı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir [59], [141], [251]. Kurutmada son üründe başlangıçtaki ürüne yakın renk değerler elde edilmek istenir buda ΔE değerinin düşük olduğu kurutma koşullarında sağlanmaktadır. Kabin ve infrared kurutucu karşılaştırıldığında ΔE kabin kurutucuda biraz daha düşük bulunmuştur. Örneğin, 70°C sıcaklıkta kabin kurutucuda kurutulan örneklerde renk değişiminin 7.58 ölçülürken düşük infrared güç (62 W) seviye için 7.95 gibi yakın sonuçlar tespit edilmiştir.

5.7 Kayısı Çekirdeklerinin Kimyasal Analiz Sonuçları

Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu kayısı çekirdeklerinin kimyasal özellikleri Çizelge 5.27'de verilmiştir. Çekirdeklerin yağ içeriği çeşitleri arasında değişiklik göstermekle birlikte genel olarak %50'den fazla yağ içeriğine sahiptir. Yağın ekonomik değeri nedeniyle bu çekirdekler potansiyel yağ kaynakları olarak kullanılabilir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlarla literatürde farklı araştırmacılar tarafından tespit edilen sonuçlar benzerlik göstermektedir. Örneğin, Özcan vd. [215] farklı kayısı türlerinin çekirdeklerinin kimyasal analizi sonucunda türler arasında ham selüloz miktarının %4.06-7.63, ham kül %2.138-3.45, ham protein %14.94-20.87, ham yağ %42.19-57.18 arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Hacıhaliloğlu kayısı çekirdeklerinin yağ oranını %52.71, kül oranını %2.50 olarak bu çalışmadaki sonuçlarla benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Ham selüloz ve protein miktarlarını sırası ile %4.45 ve %17.34 olarak bulmuşlar ve bu çalışmadaki sonuçlardan daha düşük değerlerdir. Turan vd. [268] Hasanbey ve Hacıhaliloğlu kayısı çekirdeklerinin yağ oranları sırası ile %40.23 ve %53.19 beyan etmişlerdir. Çataloğlu kayısı çekirdeğinde yağ oranını %47.07 olarak tespit etmişlerdir. Başka bir çalışmada ise yağ oranın %45-50, protein oranın %23.6-26.2, kül oranının %4.2, hamselüloz %5.42 ve karbonhidrat ise %8.2 olarak bildirilmiştir [269].

Çizelge 5.27 Kayısı çekirdeklerinin kimyasal özellikleri

	Protein (%)	Kül (%)	Yağ oranı (%)	Selüloz oranı (%)
Hacıhaliloğlu	25.32	2.40	52.35	6.58
Çataloğlu	24.29	2.25	54.31	5.75

Kappor vd. tarafından [270] Hindistan bölgesindeki acı kayısı çekirdekleri üzerinde yaptıkları çalışmada protein oranın %17.75-22.56 arasında değiştiğini bildirmiştir. Femenia vd. [214], acı ve tatlı kayısı çekirdeklerin protein miktarlarında fark gözlenmediği ve protein miktarları 22.4-29.3/100g kuru madde arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Özcan [271], Malatya yöresindeki kayısı çekirdeklerinin selüloz miktarının %13.49-17.98, ham kül %2.10-2.67, ham protein %23.58-27.70 ve ham yağ %45.3-51.4 arasında değiştiğini bildirilmiştir. Gezer vd. [272], Malatya bölgesindeki 5 farklı kayısı çekirdeklerinin selüloz miktarının %15.3-17.1, ham kül %2.91-3.83, ham protein % 15.7-18.3, ham yağ %28.26-42.48 ve kuru madde miktarı %96.75-97.82 arasında değiştiğini belirtmiştir. Ayrıca Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu için sırasıyla kül miktarının %2.91 ve %3.83, ham yağ miktarının %42.43 ve %30.82, ham protein miktarının %17.6 ve %16.3, ham selüloz miktarının ise %15.3 ve %16.2 olarak bildirmiştir. Yapılan başka bir çalışmada ise nem miktarı %3.4, yağ miktarı %44.6, protein miktarı %20.2 ve selüloz miktarı %18 olarak Joshi vd. [273] tarafından bildirilmiştir. Genel olarak bu çalışmadaki sonuçlar Pala vd. [212], Alpaslan ve Hayta [213], Özcan vd. [215], Kappor vd. [270] ve Femenia vd. [214] tarafından yapılan çalışmalarla uyumludur.

Yağ asitleri kompozisyonu incelendiğinde Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu kayısı çekirdekleri için sırasıyla palmitik asit miktarı %5.03 ve %5.28, stearik asit miktarı %1.00 ve %1.71, oleik asit miktarı %66.56 ve %68.73, linoleik asit miktarı %23.15 ve %22.19, linolenik asit miktarı %0.14 ve %0.11 olarak bulunmuştur. Kayısı çekirdeği yağı doymamış yağ asitlerince zengindir ve bu doymamış yağ asitlerinin ise büyük kısmını oleik (%31-80) ve linoleik (%6.3-51) yağ asitleri oluşturmaktadır [214]. Juhaimi vd. [275] yaptıkları çalışmada, Çataloğlu çekirdeklerinin nemi %14.68 ve yağ oranın ise %55.78 oranında olduğunu tespit etmişlerdir. Yağ asidi kompozisyonunda oleik asit miktarının %68.13, linoleik asit miktarının %21.74, stearik asit miktarının %1.27 ve palmitik asit miktarının %5.87 olarak bizim sonuçlarımızla benzer sonuçlar göstermektedir.

Kayısı yağındaki palmitik asit miktarı %4.4 oranında, stearik asit miktarı %0.2 oranında, oleik asit miktarı %69 oranında, linoleik asit miktarı %26 oranında ve linolenik asit miktarı %0.11 oranında olarak Beyer ve Melton tarafından [274] belirtilmiştir. Matthaus ve Özcan [276] tarafından Prunus türü ait badem, kayısı, erik, şeftali ve kiraz çekirdekleri ile yapılan çalışma sonucunda oleik asit %43.9-78.53, linoleik asit %9.70-37.0 ve palmitik asit miktarının %4.90-7.30 (Hacıhaliloğlu kayısı çekirdeği için %4.90 palmitik asit içeriği) arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Hacihaliloglu kayısı çekirdeklerinin farklı hasat zamanlarındaki yağ oranları Hacıhaliloğlu için %28 (erken) ile %49.2 (geç) arasında oleik asit miktarının %45.74 ile 61.54 arasında, linoleik asit miktarının 29.07 ile 43.50 arasında ve palmitik asit miktarının %4.87-6.39 arasında değiştiği olgunlaşma durumu ve kayısı çeşidine göre yağ asidi kompozisyonun değişkenlik gösterdiği Matthaus vd. [277] tarafından bildirilmiştir.

Kayısı çekirdeklerinin mineral içerikleri incelendiğinde ise Çataloğlu ve Hacıhaliloğlu çekirdekleri arasında farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Çataloğlu çeşidi kayısı çekirdeklerinin demir, sodyum, potasyum ve fosfor içeriği bakımından Hacıhaliloğlu kayısı çeşidine göre daha yüksek tespit edilmiştir. Kayısı çeşitleri için mineral içerikleri Çizelge 5.28'de verilmiştir.

Çizelge 5.28 Kayısı çekirdeklerinin mineral içerikleri

Element (ppm)	Çataloğlu	Hacıhaliloğlu
Kalsiyum (Ca)	690.95	837.79
Demir (Fe)	27.72	23.96
Sodyum (Na)	1245.16	106.73
Potasyum (K)	5572.79	4139.00
Fosfor (P)	4404.04	3169.45
Magnezyum (Mg)	1778.93	1445.88
Bakır (Cu)	17.05	18.94
Çinko (Zn)	30.87	31.48

Özcan tarafından [278] yapılan çalışmada, kayısı çekirdeklerinin mineral içeriğinin kalsiyum 928.70 ppm, potasyum içeriğinin 9730.4 ppm, demir içeriğinin 28.84 ppm, fosfor içeriğinin 5058 ppm, bakır içeriği 10.06 ppm ve sodyum içeriği 697 ppm

bildirilmiştir. Kayısı çekirdeğinin kalsiyum içeriğinin 18-24 ppm, potasyum içeriğinin 4730-5700 ppm, demir içeriğinin 21.4-28.2 ppm, sodyum içeriği 352-368 ppm, magnezyum içeriğinin 1130-2900 ppm ve çinko içeriğinin 23.3-31.5 ppm arasında değiştiği Alpaslan ve Hayta [213] tarafından bildirilmiştir.

Malatya bölgesindeki 17 farklı kültürden elde edilen kayısıların çekirdeklerinin mineral içeriklerinin kalsiyum 1063 -2238.8 ppm, potasyum içeriğinin 6206.5 ppm ile 12715.9 ppm, magnezyum içeriğinin 1513.9 ppm-2115.9 ppm arasında fosfor içeriğinin 3177.0 ppm ile 3762.9 ppm arasında değiştiği bildirilmiştir. Bu çeşitlerden Hacıhaliloğlu kayısı çekirdeklerinin kalsiyum içeriği 1238.38 ppm, potasyum içeriğinin 8383 ppm magnezyum içeriğinin 1452 ppm fosfor içeriğinin 3762, çinko içeriği 35.05 ppm, bakır içeriği 5.987 ppm ve sodyum içeriği 245 ppm olarak Özcan vd. [215] tarafından tespit edilmiştir. Başka bir çalışmada kayısı çekirdek içlerinin K, Mg, Ca, Cu, Zn, Fe, Mn içerikleri sırasıyla 6745–4676, 1645.3–1268.6, 406.3–304.6, 15.1–10.5, 23.9–20.1, 29.1–21.1 ve 5.3–3.6 mg/kg arasında değiştiği Muradoğlu vd. [12] tarafından tespit edilmiştir.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması üç ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu kayısıların fiziksel ve kimyasal karakteristik özellikleri belirlenmiştir. Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu kayısı çeşitlerinin kabin kurutucu, infrared kurutucu ve kabin-infrared kombine şeklinde kurutulması incelenmiştir. Kayısıların kurutulmasında SMB (sodyum metabisülfit) ve sitrik asit çözeltisi önişlem olarak uygulanmış ve önişlemsiz doğal kurutulan (kontrol) kayısı örnekleriyle kurutma karakteristikleri ve renk değerleri karşılaştırılmıştır. Kabin kurutucu ve infrared kurutucuda kurutulan kayısıların 10 farklı matematiksel model için uygunluğu hesaplanmış ve kurutma karakteristiğini en iyi gösteren model istatistiksel olarak seçilmiştir. Ayrıca efektif difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjileri hesaplanmıştır. İnfrared kurutucu ve kabin kurutucunun birlikte kullanıldığı kombine kurutma sistemi ile kurutumanın iki farklı kayısı için kurutma süresine açısından karşılaştırılmıştır. Çataloğlu kayısıların kabin, infrared ve kombine kurutucuda kurutulmalarının kurutma süresine ve son rengine etkisi karşılaştırılmıştır. Çataloğlu kayısı çeşitinin SMB (sodyum metabisülfit) ile ön işlem uygulanan ve doğal olarak farklı sıcaklıklarda kurutulan örneklerin rehidrasyon yeteneği ölçülmüştür.

İkinci bölümde meyve suyu fabrikasında atık olarak atılan kayısı posasının karakteristik özellikleri incelenmiştir. Kayısı posasının kabin ve infrared kurutucudaki kurutma özellikleri ve renk değerleri tespit edilmiştir. Kabin ve infrared kurutucuda kurutulan posanın kurutma karakteristiğini en iyi gösteren model 10 farklı matematiksel model arasından seçilmiş, efektif difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjileri hesaplanmıştır.

Üçüncü bölümde Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu kayısıların çekirdeklerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri tespit edilerek karakteristikleri belirlenmiş ve literatürdeki verilerle karşılaştırılmıştır.

6.1 Kayısıların Sonuçları

6.1.1 Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu Kayısıların Karakteristik Özellikleri:

Malatya yöresinden yetişen Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu çeşitlerinde ölçülen ağırlık, boy çap ve çekirdek meyve oranları ve kimyasal içerikleri bakımından farklılıklar gözlenmiştir.

- Hacıhaliloğlu kayısıların yapılan analiz sonucunda ortalama meyve ağırlığının 29.53 g, çekirdek ağırlığının 1.83 olduğu tespit edilmiştir. Su içeriği %82.57, pH 3.98, asitlik %0.48 (sitrik asit cinsinden), kül miktarı %2.59 olarak tespit edilmiştir.
- Çataloğlu kayısıların yapılan analiz sonucunda ortalama meyve ağırlığının 43.20 g, çekirdek ağırlığının 1.74 olduğu tespit edilmiştir. Su içeriği %74.93, pH 4.20, asitlik %0.34 (sitrik asit cinsinden) ve kül miktarı %2.35 olarak tespit edilmiştir.

6.1.2 Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu Kayısıların Kurutma Sonuçları

Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu kayısı çeşitlerinde kuruma karakteristiklerinde benzerlik ve farklılıklar gözlenmiştir.

- Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu kayısıların kabin kurutucuda 4 farklı sıcaklıkta (50, 60, 70 ve 80°C) bütün, yarım, ön işlemli (sitrik asit, SMB) ve önişlemsiz (kontrol) kurutma denemeleri sonucunda kurutma sıcaklığı artıkça kuruma süresinin kısaldığı tespit edilmiştir.
- Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu kayısıların infrared kurutucuda kurutulmasında artan infrared gücü ile birlikte kuruma süresinde kısalma gözlenmiştir.
- Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu kayısıların kombine kurutucuda kurutulmasında sabit infrared gücü ve artan sıcaklıkla kuruma süresinde kısalma gözlenmiştir.
- Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu kayısıların kabin, infrared ve kombine kurutulmasında kurumanın azalan hız periyodunda olduğu, sabit hız periyodunun gözlenmediği tespit edilmiştir.
- Kabin kurutucuda kurutulan Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu kayısılarda ön işlemlerin kurutmaya etkisi olduğu SMB çözeltisi ve sitrik asit çözeltisi ile muamele edilen kayısıların doğal (kontrol örnekleri) olarak kurutulan kayısılara oranla daha kısa

sürede kurumuştur. Bununla beraber SMB çözeltisi ile kükürtlemenin sitrik asitle muameleden daha kısa sürede kuruduğu tespit edilmiştir

- Her iki kurutucucuda yapılan kurutma işlemlerinde kurutma öncesi uygulanan ön işlemlerden kayısıların SMB çözeltisi ile kükürtlenmesinin kurutma süresinin azalmasında etkisi olduğu tespit edilmiştir.
- Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu kayısıların her iki tür içinde bütün olarak kurutulan kayısıların ikiye bölünmüş (yarım) kayısılara oranla daha uzun sürede kuruduğu tespit edilmiştir. İkiye bölünmüş (yarım) olarak kurutulmuş kayısılar bütün olarak kurutulan kayısılara göre ortalama %50 oranında daha kısa sürede kurumuştur.
- Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu kayısıların kabin, infrared ve kombine kurutmada kuruma süreleri karşılaştırıldığında en hızlı kurumanın infrared kurutucuda olduğu en yavaş kurutmanın ise kabin kurutucuda olduğu tespit edilmiştir. Kombine kurutmanın kabin kurutucuya göre kurutmada yaklaşık %50 oranında kurutma süresinde kısalma sağladığı tespit edilmiştir.
- Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu kayısıların kabin kurutucuda farklı sıcaklık ve ön işlemler için, infrared kurutucuda farklı güç seviyeleri için uygulanan modeller arasından Midilli vd. modelin en uygun model olduğu tespit edilmiştir.
- Kabin ve infrared kurutucuda kurutulan Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu kayısıları için efektif difüzyon katsayısının kurutma sıcaklıklarından, farklı infrared güçlerinden ve uygulanan önişlemlerden etkilendiği tespit edilmiştir. Her iki kurutucuda kurutulan kayısılar için kurutuma sıcaklığının ve uygulanan gücün artması ile efektif difüzyon katsayısında artış gözlenmiştir. Önişlemlerin difüzyon katsayısını arttırdığı tespit edilmiştir.
- Kurutulmuş Çataloğlu kayısıların rehidrasyon yeteneği bakımından yüksek sıcaklıkta kurutulan kayısılar daha fazla nem aldığı görülmektedir. Ön işlem uygulanan kayısılarda her sıcaklık için doğal olarak kurutulan kayısılara oranla daha yüksek rehidrasyon oranı ve rehidrasyon kapasitesi olduğu tespit edilmiştir.
- Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu kayısı çeşitlerinde kurutmadan sonra renk değişim değerlerinin benzer olduğu tespit edilmiştir. Kurutmadan sonra Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu kayısıların renk değerlerinde L, b ve C değerleri tüm sıcaklık ve ön işlemler için azalma eğilimi göstermiş a değeri ise artma eğilimi göstermiştir. Önişlemsiz kurutulan kontrol, SMB çözeltisi ve sitrik asit çözeltisi ile ön muamele

edilen örneklerde kurutmadan sonra L ve b değerindeki düşme en fazla 50°C uzun süre ısıya maruz kalan kayısılarda gözlenmiştir. En fazla renk değişim değeri (ΔE) kontrol ve sitrik asitle önişlem uygulanarak kurutulan örneklerde gözlenmiştir. Özellikle SMB çözeltisiyle ön işlem uygulanan kayısılar sitrik asit çözeltisiyle ön işlem uygulanan kayısılara göre daha iyi renk sonuçları vermiştir.

- Kayısıların rengini muhafazada önişlemlerin ve kurutma sıcaklığının etkisi olduğu kadar uygulanan kurutucu tipininde etkisi olduğu gözlenmektedir. Kabin kurutucuda yarım olarak kurutulan Çataloğlu kayısıların infrared ve kombine kurutucuda önişlemsiz yarım olarak kurutulan kayısılarla karşılaştırıldığında kombine kurutmanın kabin ve infrared kurutucuya göre daha iyi renk değerleri verdiği tespit edilmiştir.

6.2 Kayısı Posası Sonuçları

Meyve suyu fabrikasından atık olarak alınan kayısı posasının pH ve titre edilebilir asitliği sırasıyla 3.66 ve 2.56 (% malik asit) olarak tespit edilmiştir. Kayısı posasının karakterizasyonu belirlemek amacıyla yapılan analizler sonucunda %0.74 protein, %0.2 yağ, %0.56 ham selüloz, %0.87 kül ve %0.11 asitte çözünmeyen kül olduğu tespit edildi. Kayısı posasının mineral içerikleri incelendiğinde kayısı meyvesi ile benzer olduğu tespit edilmiştir. Kurutulmuş posanın mineral içeriğinin arttığı gözlenmiştir. Posanın mineral bakımından yüksek potasyum (K), kalsiyum (Ca) ve fosfor (P) içeri ile zengin bir kaynak olduğu tespit edilmiştir.

- Kayısı posasının kabin kurutucuda (40, 50, 60 ve 70^{o}C) kurutulmasında uygulanan kurutma sıcaklığının kurutma süresine doğrudan etkisi olduğu gözlenmiştir. Artan sıcaklıkla birlikte kuruma süresi azalmıştır.
- Posanın infrared kurutucuda (62, 74, 88, 104 ve 125W) kurutulmasıyla artan güç değerleri ile kurutma süresinde azalma gözlenmiştir.
- Kayısı posasının kabin ve infrared kurutucuda kurutmanın azalan hız periyodunda olduğu, sabit hız periyodunun gözlenmediği tespit edilmiştir.
- Kabin kurutucuda kurutulan kayısı posasının farklı sıcaklıklar için uygulanan 10 farklı matematiksel model arasından Midilli vd. ve Aghbashlo vd. modellerinin en uygun modeller olduğu tespit edilmiştir.

- İnfrared kurutucuda kurutulan kayısı posasının farklı güç seviyesi için Midilli vd. modelinin en uygun model olduğu tespit edilmiştir
- Kayısı posasının kabin ve infared kurutucuda artan sıcaklık ve güç sevileri için efektif difüzyon katsayısının arttığı tespit edilmiştir.
- Uygulanan sıcaklıkla birlikte kurutmadan sonra L ve b renk değerlerinde azalma a değerinde ise artma gözlenmştir. Renk değişim değeri ΔE infrared kurutucuda kabin kurutucuya göre daha yüksek değerler verdiği tespit edilmiştir.
- Atık olarak atılan kayısı posasının kurutma işlemiyle su içeriğinin azalmasıyla raf ömründe artma meydana gelmiştir. Elde edilen kuru posalar öğütücünden geçirildiğinde homojen unsu ve kendine has bir aromalı bir yapı kazanmıştır. Kurutulmuş posa yüksek mineral ve besin değeri ile farklı ürünlere katılarak değerlendirilebilir.

6.3 Kayısı Çekirdek Sonuçları

- Araştırma kapsamında incelenen aynı bölgeden hasat edilen iki farklı tür için çekirdeklerin kimyasal kompozisyonunda farklılık tespit edilmiştir. Her iki kayısı türü içinde çekirdeklerin %20'den fazla protein ve %50'nin üzerinde yağ içerdiği tespit edilmiştir. Çataloğlu kayısı çekirdeklerinin daha yüksek yağ içeriğine sahip olduğu bununla beraber Hacıhaliloğlu çekirdeklerinin daha yüksek kül, ham selüloz ve ham protein oranına sahip olduğu tespit edilmiştir.
- Kayısıların çekirdek yağlarının yağ asitleri kompozisyonu incelendiğinde, bu yağın doymamış yağ asitlerince zengin olduğu tespit edilmiştir. En yüksek palmitik, stearik ve oleik asit içeriğine Çataloğlu kayısı çekirdek yağında rastlanırken, Hacıhaliloğlu kayısı çerkirdek yağında daha yüksek linoleik ve linolenik asit içerdiği saptanmıştır.
- Kayısı çekirdeklerinin mineral içerikleri incelendiğinde Hacıhaliloğlu ve Çataloğlu kayısı çekirdeklerinin yüksek fosfor ve potasyum, düşük demir, bakır ve çinko içeriğine sahip olduğu bulunmuştur. Çataloğlu ve Hacıhaliloğlu kayısı çekirdekleri arasında farklılıklar olduğu belirlenmiştir. Çataloğlu çeşidi kayısı çekirdeklerinin demir, sodyum, potasyum ve fosfor içeriği bakımından Hacıhaliloğlu kayısı çekirdeklerine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

[1] Güner, M., (1998). "Bazı Kayısı Çeşitlerinde Çekirdek Kırılma Karakteristiklerinin Belirlenmesi", Tarım Bilimleri Dergisi, 5:95-103.

[2] Asma, B.M. (2000). Kayısı Yetistiriciligi, Evin Ofset Matbaası, 243 s., Malatya.

[3] Asma, B. M. (2011). Her yönüyle kayısı (Apricots in all aspects). Ankara: Uyum Ajans.

[4] Codex Alimentarius Commission. Food Additives Joint FAO/WHO Food Standards Programme, Rome, Italy. FAO (2018) Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistical Database. www.fao.org/faostat/en/#data/QC. (uptadate December 20, 2018)

[5] Cemeroğlu, B, Karadeniz F, Özkan M., (2003). Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi 3, Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, No:28 Ankara.

[6] Ulusal Kayısı Çalıştayı 18–19 Kasım 2014 Malatya Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Eğitim Yayım ve Yayınlar Dairesi Başkanlığı, Ankara 2015.

[7] Çalışkan, O., Bayazıt, S. ve Sümbül, A., (2012). "Fruit Quality and Phytochemical Attributes of Some Apricot (Prunus armeniaca L.) Cultivars as Affected by Genotypes and Seasons", Notulae Botanicae Horti Agrobotanici, 40(2): 284-294.

[8] Nawirska, A. ve Kwaśniewska, M., (2005). "Dietary fibre fractions from fruit and vegetable processing waste", Food Chemistry, 91(2): 221–225.

[9] Aguedo, M., Kohnen, S., Rabetafika, N., Bossche, S.V., Sterckx, J., Blecker, C., Beauve, C. ve Paquota, M., (2012). "Composition of by-products from cooked fruit processing and potential use in food products", Journal of Food Composition and Analysis, 27(1): 61–69.

[10] Tseng, A., ve Zhao Y., (2013). "Wine grape pomace as antioxidant dietary fibre for enhancing nutritional value and improving storability of yoğurt and salad dressing", Food Chemistry, 138(1): 356–365.

[11] Korekar, G., Stobdan, T., Arora, R., Yadav, A. ve Singh, S.B., (2011). "Antioxidant capacity and phenolics content of apricot (Prunus armeniaca L.) kernel as a function of genotype", Plant Foods for Human Nutrition, 66:376–383

[12] Muradoğlu, F., Pehlivan M., Gündoğdu, M. ve Kaya, T., (2011). "Iğdır Yöresinde Yetiştirilen Bazı Kayısı (Prunus armeniaca L.) Genotiplerin Fizikokimyasal Özellikleri ile Mineral İçerikleri", Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1(1): 17-22.

[13] Gezer, İ., Hacıseferoğulları H., ve Demir, F., (2002). "Some Physcial Properties of Hacıhaliloğlu Apricot Pit and its Kernel", Journal of Food Engineering, 56: 49-57.

[14] Yıldırım, F. A. Yıldırım, A. N. Şan, B. Aşkın, M. A. ve Polat, M. (2010). Variability of phenolics and mineral composition in kernels of several bitter and sweet apricot (Prunus armeniaca Batsch.) cultivars", Journal of Food, Agriculture & Environment, 8:34:179-184.

[15] Belessiotis, V. ve Delyannis, E., (2011). "Solar drying", Solar Energy, 85: 1665-1691.

[16] Cemeroğlu, B. ve Acar, J., (1986), Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, Sanem Matbaası, Ankara.

[17] Mujumdar, A.S., ve Devahastin, S., (2000). Fundamental principles of drying. http://staff.sut.ac.ir/haghighi/download/documents/Drying.pdf, 23 Mart 2018.

[18] McMinn, W.A.M., ve Magee, T.R.A., (1999). "Principles, methods and applications of the convective drying of foodstuff", Food and Bioproducts Processing, 77(3): 175-193.

[19] Sagar V. R. ve Suresh Kumar P., (2010). "Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review", Journal of Food Science Technology, 47(1):15–26.

[20] Sharma, A., Chen, C.R., Lan, N., V., (2009). "Solar-energy drying systems: A review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13: 1185–1210.

[21] Sahni, E. K. ve Chaudhuri B., (2012). "Contact drying: A review of experimental and mechanistic modeling approaches", International Journal of Pharmaceutics, 434(6): 334– 348.

[22] Geankoplis, C.J., (2015). Taşınma Süreçleri ve Ayırma Süreci İlkeleri, ISBN: 978-975 6240, 40-3. Çeviren, Sinan Yapıcı.

[23] Gowen, A., Abu-Ghannam, N., Frias, J. ve Oliveira, J., (2006). "Optimisation of dehydration and rehydration properties of cooked chickpeas (Cicer arietinum L.) undergoing microwave–hot air combination drying", Trends in Food Science ve Technology, 17(4):177–183.

[24] Haque K. E. (1999). "Microwave energy for mineral treatment processes- brief review", International Journal of Mineral Processing, 57(1): 11–24.

[25] Jones, D.A., Lelyveld, T.P., Mavrofidis, S.D., Kingman, S.W., Miles N.J., (2002). "Microwave heating applications in environmental engineering—a review", Resources, Conservation and Recycling, 34: 75-90.

[26] Uslu, M.K., ve Certel, M., (2006). "Dielektrik Isıtma ve Gıda işlemede Kullanımı", Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, 3:61-69.

[27] Chandrasekaran, S., Ramanathan, S., ve Basak, T., (2012). "Microwave Material Processing a review", American Institute of Chemical Engineers, 58: 330–363.

[28] Drouzas, A.E., Tsami, E. ve Saravacos, G.D., (1999). "Microwave/vacuum drying of model fruit gels", Journal of Food Engineering, 39(2):117– 122.

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

[30] Maskan, M., (2001). "Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying", Journal of Food Engineering, 48: 177–182.

[31] Sharma, G.P. ve Prasad, S., (2006). "Optimization of process parameters for microwave drying of garlic cloves", Journal of Food Engineering, 75: 441–446.

[32] İsmail, O., Kipcak, A.S., Doymaz, İ. ve Piskin S., (2017). "Thin-layer drying kinetics of nectarine slices using IR, MW and hybrid methods", Bulgarian Chemical Communications, 4(1):92 – 100.

[33] Chayjan, R.A., ve Alaei, B., (2016). "New Model for Colour Kinetics of Plum under Infrared Vacuum Condition and Microwave Drying", Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria, 15(2):131–144.

[34] Igual, M., García-Martinez, E., Martín-Esparza, M.E. ve Martinez-Navarrete, N., (2012). "Effect of processing on the drying kinetics and functional value of dried apricot", Food Research International, 47:284–290.

[35] Fratianni, A., Albanese, D., Mignogna, R., Cinquanta, L., Panfili, G. ve Di Matteo, M., (2013). "Degradation of Carotenoids in Apricot (Prunus armeniaca L.) During Drying Process", Plant Foods for Human Nutrition, 68:241–246.

[36] Riadh, M.H., Ahmad, S.A.B., Marhaban, M.H., ve Soh, A.C., (2015). "Infrared Heating in Food Drying", An Overview Drying Technology, 33(122): 322–335.

[37] Krishnamurthy, K., Khurana, H.K., Jun, S., Irudayaraj, J. ve Demirci, A., (2008). "Infrared heating in food processing: An overview", Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 7:2-13.

[38] Nowak, D. ve Lewicki, P.P., (2004). "Infrared drying of apple slices", Innovative Food Science and Emerging Technologies, 5(3):353–360.

[39] Sakai, N. ve Hanzawa, T., (1994). "Applications and advances in far-infrared heating in Japan", Trends in Food Science and Technology, 5(11): 357–362.

[40] Jun S., ve Irudayaraj J., (2003). "Selective Far Infrared Heating System—Design and Evaluation", Drying Technology, 21(1):51–67.

[41] Pawar S.B. ve Pratape V.M., (2015). "Fundamentals of infrared heatıng and its applıcatıon in dryıng of food Materıals: A Review", Journal of Food Process Engineering, 40(1):12308.

[42] Hebbar, H.U., ve Rastogi, N.K., (2001). "Mass transfer during infrared drying of cashew kernel", Journal of Food Engineering, 47: 1-5.

[43] Özkoç, S.Ö., (2010). "Kızılötesi ve kızılötesi-kombinasyon ısıtma teknolojilerinin gıda işleme uygulamalarında kullanımı", Gıda 35 (3): 211-218.

[44] Wang, J., ve Sheng, K., (2006). "Far-infrared and microwave drying of peach", LWT- Food Science and Technology, 39(3):247–255.

[45] Lee, S., Kım, J., Jeong, S., Kım, D., Ha, J., Nam, K. C., ve Ahn, D. U., (2003). "Effect of Far-Infrared Radiation on the Antioxidant Activity of Rice Hulls", Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51:15.

[46] Sandu, C., (1986). “Infrared radiative drying in food engineering: A process analysis. Biotechnology Progress”, 2(3):109–119.

[47] Almeida, M., Torrance, K.E. ve Datta, A.K., (2006). “Measurement Of Optical Properties of Foods In Near- and Mid-Infrared Radiation”, International Journal of Food Properties, 9: 651–664.

[48] Kocabıyık, H., ve Tezer, D., (2009). “Drying of carrot slices using infrared radiation”, International Journal of Food Science and Technology, 44: 953-959.

[49] Samadi, S. H., ve Loghmanieh I., (2013). “Evaluatıon of Energy Aspects of Apple Drying in the Hot-air and Infrared Dryers”, Energy Research, 4 (1): 30-38.

[50] Ning, X., v Han, C., (2013). “Drying characteristics and quality of taegeuk ginseng (Panax ginseng C.A. Meyer) using far-infrared rays”, International Journal of Food Science and Technology, 48: 477–483.

[51] Celma, A.R., Lopez-Rodriguez, F., Blazquez, C., (2009). “Experimental modeling of infrared drying of industrial grape by-products”, Food and Bioproducts Processing, 87: 247-253.

[52] Doymaz, İ., (2014). “Experimental study and mathematical modelling of thin-layer infrared drying of watermelon seed”, Journal of Food Process Preservation, 38(3):1377–1384.

[53] Ponkham, K., Meeso, N., Soponronnarıt, S. ve Sırıamornpun, S., (2012). “Modeling of Combined Far-İnfrared Radiation and Air Drying of a Ring Shaped-pineapple with/without shrinkage”, Food and Bioproducts Processing, 90:155-164.

[54] Karataş, F. ve Kamışlı, F., (2007). “Variations of vitamins (A, C and E) and MDA in apricots dried in IR and microwave”, Journal of Food Engineering, 78: 662–668.

[55] Onwude, D.I., Hashim, N. ve Chen, G., (2016). “Recent advances of novel thermal combined hot air drying of agricultural crops”, Trends Food Science Technology, 57:132-145.

[56] Pulıgundla, P., Abdullah, S.A., Choi, W., Jun, S., Oh, S.E. ve Ko, S., (2013). “Potentials of microwave heating technology for select food processing applications – a brief overview and update”, Journal of Food Processing ve Technology, 4:278.

[57] Motevali, A., Minaei, S., Banakar, A., Ghobadian, B. ve Khoshtaghaza, M.H., (2014). “Comparison of energy parameters in various dryers”, Energy Conversion and Management, 87:711-725.

[58] Hebbar, H.U., Viswanathan, K.H. ve Ramesh, M.N., (2004). “Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables”, Journal of Food Engineering, 65:557–563.

[59] İncedayı, B., Tamer, C.E., Sınır, G.O., Suna, S.ve Copur, U.O., (2016). “Impact of different drying parameters on color, β-carotene, antioxidant activity and minerals of apricot (Prunus armeniaca L.)”, Food Science Technology, 36:171–178.

[60] El-Mesery, H.S. ve Mwithiga, G., (2015). "Performance of a convective, infrared and combined infrared- convective heated conveyor-belt dryer", Journal of food science and technology, 52:2721-2730

[61] Si, X., Chen, Q., Bi, J., Wu, X., Yi, J., Zhou, L. ve Li Z., (2016). "Comparison of Different Drying Methods on the Physical Properties, Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Raspberry Powders", Journal of the Science of Food and Agriculture, 96:1845–2268.

[62] Nathakaranakule, A., Jaiboon, P. ve Soponronnarit, S., (2010). "Far-İnfrared Radiation Assisted Drying of Longan Fruit", Journal of Food Engineering, 100: 662–668.

[63] Mirzaee, E., Rafiee, S., Keyhani, A. ve Emam-Djomeh, Z., (2009). "Determining of moisture diffusivity and activation energy in drying of apricots", Researchin Agricultural Engineering, 55:114–120

[64] Taheri-Garavanda, A., Rafieea, S. ve Keyhania, A., (2011). "Mathematical Modeling of Thin Layer Drying Kinetics of Tomato Influence of Air Dryer Conditions", International Transaction Journal of Engineering, Management ve Applied Sciences ve Technologies, 2:2 ISSN 2228-9860.

[65] Aykın, E., Arslan, S., Durak, A. N. ve Erbas M., (2015). "Gıdalarda Bulunan Suyun Fizikokimyasal Durumu Ve Sorpsiyon İzotermleri", Gıda, 40 (2): 109-116.

[66] Srikiatden J. ve Roberts J. S. (2007). "Moisture Transfer in Solid Food Materials: a Review of Mechanisms", Models, and Measurements International Journal of Food Properties, 10: 739–777.

[67] Yağcıoğlu, A., Demir, V. ve Günhan, T. (2007). "Effective moisture diffusivity estimation from drying data", Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 3(4):249-256.

[68] Sharaf-Eldeen, Y.I. ve Hamdy, M.Y., (1979). "Falling Rate Drying of Fully Exposed Biological Materials: A Review of Mathematical Models", 1979 Winter Meeting of ASAE. ASAE Paper No. 79-6622.

[69] Özdemir, M. ve Devres Y.O., (1999). "The Thin Layer Drying Characteristics of Hazelnuts during Roasting", Journal of Food Engineering, 42:225-233.

[70] Midilli, A., Kücük, H. ve Yapar, Z., (2002). "A new model for single-layer drying", Drying Technology, 20:1503–1513.

[71] Roberts, J.S., Kidd, D.R., ve Padilla-Zakour, O., (2008). "Drying kinetics of grape seeds", Journal of Food Engineering, 89:460-465.

[72] Chinenye, N.M., Ogunlowo, A.S., ve Olukunle, O.J., (2010). "Cocoa bean (Theobroma caco L.) drying kinetics", Chilean journal of agricultural research, 70:633–639.

[73] Wang, Z., Sun, J., Liao, X., Chen, F., Zhao, G., Wu, J. ve Hu, X., (2007). "Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace", Food Research International, 40:39-46.

[74] Togrul, I.T. ve Pehlivan, D., (2004). "Modelling of thin layer drying kinetics of some fruits under open-air sun drying process", Journal of Food Engineering, 65:413–425.

[75] Sharma, G.P. ve Prasad, S., (2004). "Effective moisture diffusivity of garlic cloves undergoing microwave-convective drying", Journal of Food Engineering, 65:609–617.

[76] Izli, N., Yıldız, G., Ünal, H., Işık, E. ve Uylaser, V., (2014). "Effect of different drying methods on drying characteristics, colour, total phenolic content and antioxidant capacity of Goldenberry (Physalis peruviana L.)", International Journal of Food Science and Technology, 49:9-17.

[77] Falade, K.O. ve Ogunwolu, O.S., (2014). "Modeling of drying patterns of fresh and osmotically pretreated cooking banana and plantain slices", Journal of Food Processing and Preservation, 38:373-388.

[78] Overhults, D.G., White, G.M., Hamilton, H.E. ve Ross I.J., (1973). "Drying soybeans with heated air" Transactions of American Society of Agricultural Engineers, 16:112–113.

[79] Corzo, O., Bracho, N., Pereıra, A. ve Vásquez, A., (2008). "Weibull distribution for modelling air drying of coroba slices", LWT- Food Science and Technology, 41:2023-2028.

[80] Aghbashlo, M., Kianmehr, M.H., Khani, S. ve Ghasemi, M., (2009). "Mathematical modeling of carrot thin-layer drying using New model", International Agrophysics, 23: 313-317.

[81] Kassem, A. S., (1998). "Comparative studies on thin layer drying models for wheat", In 13th International Congress on Agricultural Engineering, Vol, 6,2–6.

[82] Sharaf-Elden, Y.I., Blaisdell, J.L. ve Hamdy, M.Y. (1980). "A model for ear corn drying", Transactions of the ASAE, 5: 1261-1265.

[83] Diamante, L.M., Ihns, R., Savage, G.P. ve Vanhanen, L., (2010). "A New mathematical model for thin layer drying of fruits", International Journal of Food Science and Technology, 45(9):1956-1962.

[84] Pardeshi, I.L., Arora, S., ve Borker, P.A., (2009). "Thin-layer drying of green peas and selection of a suitable thin-layer drying model", Drying Technology 27(2):288–95.

[85] Pereira, W., Silva, C.M.D.P.S., Gama, F.J.A. ve Gomes, J.P., (2014). "Mathematical models to describe thin-layer drying and to determine drying rate of whole bananas", Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 13(1):67–74.

[86] Babalis, S.J., Papanicolau, E., Kyriakis, N. ve Belessiotis, V.G., (2006). "Evaluation of thin-layer drying models for describing drying kinetics of figs (Ficus carica)", Journal of Food Engineering, 75(2):205-214.

[87] Henderson, S.M. ve Pabis, S., (1961). "Grain Drying theory. II. Temperature effects on drying coefficients", Journal of Agricultural Engineering Research, 6:169-174.

[88] Erbay, Z. ve Icier, F., (2010). "A Review of Thin Layer Drying of Foods: Theory, Modeling, and Experimental Results", Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 50(5):441-464.

[89] Alaei, B. ve Chayjan, R.A., (2015). "Modelling of nectarine drying under near infrared-vacuum conditions", Acta Science Polymer. Technology Aliment, 14:15–27.

[90] Doymaz, İ., (2004). "Effect of Pre-treatments using potassium metabisulphide and Alkaline Ethyl Oleate on the Drying Kinetics of Apricots", Biosystems Engineering, 89(3):281–287.

[91] Doymaz, İ., (2006). "Drying kinetics of black grapes treated with different solutions", Journal of Food Engineering, 76:212–217.

[92] Doymaz, İ., (2008). "Convective drying kinetics of strawberry", Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 47(5), 914-919.

[93] Mittal, G.S., (1999). "Mass diffusivity of food products", Food Reviews International, 15(1):19-66.

[94] Dai, J., Rao, J., Wang, D. Xie, L., Xiao, H., Liu, Y. ve Gao Z., (2015). "Process-Based Drying Temperature and Humidity Integration Control Enhances Drying Kinetics of Apricot Halves", Drying Technology, 33:365–376.

[95] Maskan, A., Kaya, S. ve Maskan M., (2002). "Hot air and sun drying of grape leather (pestil)", Journal of Food Engineering, 54:81-88.

[96] Kutlu, N., Isci, A. ve Demirkol, Ö.S., (2015). "Gıdalarda İnce Tabaka Kurutma Modeller", Gıda 40(1): 39-46.

[97] Mengeş, H.O. ve Ertekin, C., (2006). "Modelling of air drying of Hacıhaliloglu-type apricots", Journal of the Science of Food and Agriculture, 86(2): 279-291.

[98] Toğrul, İ. T. ve Pehlivan, D., (2003). "Modelling of drying kinetics of single apricot", Journal of Food Engineering, 58:23–32.

[99] Mengeş, H., O., Ertekin, C., Hacıseferoğulları, H. ve Gezer, İ. (2007). "Malatya İlinde Yetiştirilen Hacıhaliloğlu Çeşidi Kayısının Kuruma Kinetiğinin İncelenmesi", Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 21(42): 84-88.

[100] Bozkır, O., (2006). "Thin-layer Drying and Mathematical Modelling for Washed Dry Apricots", Journal of Food Engineering, 77:146–151.

[101] Mirzaee, E., Rafiee, S. ve Keyhani, A., (2010). "Evaluation and selection of thin layer models for drying kinetics of apricot (cv. NASIRY)", Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 12: 111–116.

[102] Faal, S., Tavakoli, T. ve Ghobadian, B., (2015). "Mathematical Modelling of Thin Layer Hot Air Drying of Apricot with Combined Heat and Power Dryer", Journal of Food Science and Technology, 52:2950-2957.

[103] Übeyitoğullari, A. ve Çekmecelioğlu, D., (2016). "Optimization of Hemicellulose Coating as Applied to Apricot Drying and Comparison with Chitosan Coating and Sulfite Treatment", Journal of Food Process Engineering, 39(6):542-552.

[104] İzli, N., (2016). "Convective, microwave and microwave-convective drying and mathematical modeling of apricot (Prunus armeniaca L.)", Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 31(3), 375-384.

[105] Drogoudi, P.D., Vemmos, S., Pantelidis, G., Petri, E., Tzoutzoukou, C., Karayiannis, I., (2008). "Physical characters and antioxidant, sugar, and mineral

nutrient contents in fruit from 29 apricot (Prunus armeniaca L.) cultivars and hybrids", Journal of Agriculturel and Food Chemistry, 56(22):10754-10760.

[106] Gündoğdu, M., Özrenk, K., Kan, T. ve Geçer, M.K., (2011). "Van Yöresinde Yetiştirilen Bazı Kayısı Çeşitlerinin Fenolik Bileşik, Tokoferol ve Yağ Asidi İçerikleri", Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1(4):31- 36.

[107] Munzuroglu, O., Karatas, F. ve Geckil, H., (2003). "The vitamin and selenium contents of apricot fruit of different varieties cultivated in different geographical region", Food Chemistry, 83: 205-212.

[108] Akbulut, M., (2001). Kayısı ve Zerdali Meyvelerinde Fenolik Madde İçerikleri ve Bazı Proseslerde Görülen Değişimler Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Konya.

[109] Hacıseferoğulları, H., Gezer, İ. ve Özcan, M.M., (2007). "Post Harvest Chemical and Physical–Mechanical Properties of Some Apricot Varieties Cultivated in Turkey", Journal of Food Engineering, 79: 364–73.

[110] Çukadar, K., Demirel, K., Ünlü, H.M., Aslay, M. ve Bozbek, Ö., (2004). Kayısı Çesit Seleksiyonları II. Bahçe Kültürleri Arastırma Enstitüsü Müdürlüğü Erzincan, Batı Akdeniz Tarımsal Arastırma Enstitüsü Müdürlüğü, Antalya.

[111] Milosevic, T., Milosevic, N., Glisic, I. J., Ladenovic, E., (2012). "Fruit Quality, Phenolıcs Content and Antioxidant Capacıty Of New Apricot Cultıvars From Serbia" Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus, 11(5):3-15.

[112] Madrau, M., Piscopo, A., Sanguinetti, A., Del Caro, A., Poiana, M., Romeo, F., (2009). "Effect of drying temperatura on polyphenolic content and antioxidant activit y of apricots", European Food Research Technology, 228: 441-448.

[113] Akın, E., B., Karabulut, I., Topçu, A., (2008), "Some Compositional Properties of Main Malatya Apricot (Prunus Armeniaca L.) Varieties", Food Chemistry, 107: 939–948.

[114] Kan, T. ve Bostan, S.Z., (2010). "Changes of Contents of Polyphenols and Vitamin A of Organic andTraditional Fresh and Dried Apricot Cultivars (Prunus armeniaca L.)", World Journal of Agricultural Sciences, 6(2): 120-126.

[115] Ruiz, D., Egea, J., Tomas-Barberan, F.A. ve Gil, M.I., 2005. "Carotenoids from New apricot (Prunus armeniaca L.) varieties and their relationship with flesh and skin color", Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53 (16): 6368–6374.

[116] Adiletta, G., Russo, P., Senadeera, W. ve Di Matteo M., (2016). "Drying characteristics and quality of grape under physical pretreatment", Journal of Food Engineering, 172: 9–18.

[117] Pahlavanzadeh, H., Basiri, A., ve Zarrabi M., (2001). "Determination of Parametersand Pretreatment Solutıon for Grape Drying", Drying Technology, 19(1):217–226.

[118] Doymaz, İ., (2009). "An Experimental Study on Drying of Green Apples Drying Technology", 27: 478–485.

[119] Bi, J., Yang, A., Liu, X. Wu, X., Chen, Q. ve Wang, Q. Lv, J., (2015). "Effects of pretreatments on explosion puffing drying kinetics of apple chips", Food Science and Technology, 60:1136–1142.

[120] Pala, M., Mahmutoglu T. ve Saygı B., (1996). "Effects of pretreatments on the quality of open-air and solar dried apricots", Nahrung 40 (3):137-141.

[121] Preki, P.P., (2006). "Design of hot air drying for better foods", Trends in Food Science ve Technology, 17(4):153–163.

[122] İsmail, O., Figen, A.K. ve Pişkin, S., (2015). "Effects of open-air sun drying and pre-treatment on drying characteristics of purslane (Portulaca oleracea L.)", Heat Mass Transfer, 51:807–813.

[123] Letien, C., Vachon, C., Mateescu, M.A. ve Lacroix M., (2001). "Milk protein coating prevent oxidative browning of apples and potatoes", Journal of Food Science, 66 (4):512–516.

[124] Oliveira, S. M., Brandão, T. R. S. ve Silva, C. L. M., (2016), "Influence of Drying Processes and Pretreatments on Nutritional and Bioactive Characteristics of Dried Vegetables", A Review, Food Engineering Reviews, 8(2): 134–163.

[125] Lago-Vanzela, E. S., Nascimento, P., Fontes, E. A. F., Mauro, M. A. ve Kimura, M., (2013). "Edible coatings from native and modified starches retain carotenoids in pumpkin during drying". LWT- Food Science and Technology, 50:420–425.

[126] Shi, J., Pan, Z., McHugh, T.H., Wood, D., Zhu, Y., Avena Bustillos, R.J. ve Hirschberg, E., (2008). "Effect of berry size and sodium hydroxide pretreatment on the drying characteristics of blueberries under infrared radiation heating", Journal of Food Science, 73: 259–265.

[127] JafariNaeimi, K., Ahmadi, R. ve DavariShamsabadi, M., (2016). "Influence of pre-treatment on the drying process of apricots", Iran Agricultural Research, 35(2):71-78.

[128] Abdelhaq, E. ve Labuza, T., (1987). "Air drying characteristics of apricots", Journal of Food Science, 52:342-345.

[129] Çakmak, R.Ş., Tekeoğlu, O., Bozkır, H., Ergün, A. R. ve Baysal T., (2016). "Effects of electrical and sonication pretreatments on the drying rate and quality of mushroom", Food Science and Technology ,69:197–202.

[130] Sledz, M., Wiktor, A., Rybak, K., Nowacka, M. ve Witrowa-Rajchert D., (2016). "The impact of ultrasound and steam blanching pre-treatments on the drying kinetics, energy consumption and selected properties of parsley leaves", Applied Acoustics,103:48–156.

[131] Garcıa-Perez, J. V., Carcel, J. A., Benedito J. ve Mulet A., (2007). "Power ultrasound mass transfer enhancement in food drying", Food and Bioproducts Processing, 85:247–254.

[132] Mothibe, K. J., Zhang, M., Nsor-atindana J. ve Wang, Y., (2011). "Use of Ultrasound Pretreatment in Drying of Fruits: Drying Rates, Quality Attributes, and Shelf Life Extension", Drying Technology, 29: 1611–1621.

[133] Carranza-Concha, J., Camacho M. D. M. ve Martinez-Navarrete N., (2012). "Effects of Blanching on Grapes (Vıtıs Vınıfera) and Changes During Storage In Syrup", Journal of Food Processing and Preservation, 36:11–20.

[134] Tarhan, S., (2007). "Selection of chemical and thermal pretreatment combination for plum drying at low and moderate drying air temperatures", Journal of Food Engineering, 79(1): 255-260.

[135] Kingsly, R.P., Goyal, R.K., Manıkantan, M.R. ve İlyas, S.M., (2007). "Effects of pretreatments and drying air temperature on drying behaviour of peach slice", International Journal of Food Science ve Technology, 42(1): 65–69.

[136] Doymaz, İ. ve Bilici, B., (2014). "Influence of Citric Acid Pretreatment on Drying of Peach Slices", International Journal of Food Engineering, 10(4): 829-837.

[137] Goyal, R.K., Kingsly, A.R.P., Manikantan, M.R., Ilyas, S.M., (2007). "Mathematical modelling of thin layer drying kinetics of plum in a tunnel dryer", Journal of Food Engineering, 79:176–180.

[138] Garcia-Martinez, E., Igual, M., Martin -Esparza, M.E. ve Martinez-Navarrete, N., (2013). "Assessment of the bioactive compounds, color, and mechanical properties of apricots as affected by drying treatment" Food and Bioprocess Technology, 6:3247-3255.

[139] Karabulut, I., Topcu, A., Duran, A. Turan, S. ve Özturk, B., (2007). "Effect of hot air drying and sun drying on color values and b-carotenecontent of apricot (Prunus armenica L.)" LWT- Food Science and Technology, 40(5):753–758.

[140] Gögüş, F., Özel, M.Z. ve Lewis, A.C., (2007). "The effect of various drying techniques on apricot volatiles analysed using direct thermal desorption-GC–TOF/MS", Talanta, 73:321–325.

[141] Ihns, R., Diamante, Geoffrey L., M., Savage P. ve Vanhanen L., (2011). "Effect of temperature on the drying characteristics, colour, antioxidant and beta-carotene contents of two apricot varieties", International Journal of Food Science and Technology, Volume 46,275–283 .

[142] Vally, H., Misso, N.L.A. ve Madan, V., (2009). "Clinical effects of sulphite additives", Clinical ve Experimental Allergy, 39:1643–51.

[143] Carocho, M., Barreiro, M.F., Morales, P. ve Ferreira.C.F.R., (2014). "Adding molecules to food, pros and cons: a review on synthetic and natural food additives. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 13:377-399.

[144] Güneş, F. E., (2014). "Sülfitler ve Gıda Katkı Maddesi Olarak Kullanılması", Akademik Gıda, 12(2):14-119.

[145] Garcia-Fuentes, A. R., Wirtz, S., Vos E. ve Verhagen H., (2015). "Short Review of Sulphites as Food Additives", European Journal of Nutrition and Food Safety, 5(2): 113-120.

[146] Türkyılmaz, M., Tagı, S. Özkan, M., Öztürk, K. ve Öztürk, B., (2013). "Chemical and microbial differences in dried apricots Containing sulfur dioxide at different levels" Gıda: 38 (5): 275-282.

[147] Mir, M.A., Peerzada R., Hussain, S.F. ve Rather A. H., (2009), "Effect of sulphiting and drying methods on physico-chemical and sensorial quality of dried apricots during ambient storage. International Journal of Food Science and Technology, 44, 1157–1166.

[148] Inserra, L., Cabaroğlu, T., Şen, K., Arena, E., Ballıstrerı, G. ve Fallıco, B., (2017). "Effect of sulphuring on physicochemical characteristics and aroma of dried Alkaya apricot: a new Turkish variety", Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 41: 59-68.

[149] Özkan, M., (2001). Kuru kayısılardan kükürt dioksitin uzaklaştırılma yöntemleri üzerinde araştırma, Doktora tezi, Ankara Üniversitesi, 113 s., Ankara.

[150] Gökçe, K., (1966). Malatya kayısılarının kükürtlenmeleri üzerine teknik çalışmalar. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 261, 87 s., Ankara

[151] Özkan, M. ve Cemeroglu, B., (2002). "Desulfiting dried apricots by hydrogen peroxide", Journal of Food Science, 67(5):1631-1635.

[152] Türkyilmaz, M., Ozkan, M. ve Guzel, N., (2014). "Loss of sulfur dioxide and changes in some chemical properties of Malatya apricots (Prunus armeniaca L.) during sulfuring and drying", Journal Science Food and Agriculture. 94:2488–2496.

[153] Derossi, A, De Pilli, T, Severini, C. ve Mc Carty, M.J., (2008). "Mass transfer during osmotic dehydration of apples", Journal of Food Engineering, 86:519-528.

[154] Us, F., (2006). "Ozmotik Kurutma", Türkiye 9. Gıda Kongresi; 24-26 Mayıs, Bolu

[155] Eroğlu, E. ve Yıldız, H., (2011). "Gıdaların ozmotik kurutulmasında Uygulanan Yeni Tekniklerin Enerji Verimliliği Bakımından Değerlendirilmesi", Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, 6(2):41-48.

[156] Riva, M., Campolongo, S., Avitabile Leva, A., Maestrelli, A. ve Torreggiani, D., (2005). "Structure-Property Relationship in Osmo-Air-Dehydrated Apricot Cubes", Food Research International, 38:533-542.

[157] TSE 485, (2013). Kuru Kayısı standartı. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

[158] Mahmutoğlu, T., Saygı, Y. B., Borcakli, M. ve Özay, G., (1996). "Effects of Pretreatment–Drying Method Combinations on the Drying Rates, Quality and Storage Stability of Apricots", LWT- Food Science and Technology, 29(5-6):418–424.

[159] Toğrul, I. T. ve Pehlivan, D., (2002). "Mathematical modelling of solar drying of apricots in thin layers", Journal of Food Engineering, 55: 209–216.

[160] Akpinar, E.K., Sarsilmaz, C., ve Yildiz, C., (2004). "Mathematical modeling of a thin layer drying of apricots in a solar energized rotary dryer", İnternational journal of energy research, 28:739-752.

[161] Coşkun, A.L., Türkyılmaz, M., Aksu, Ö.T., Koç, B.E., Yemiş, O., Özkan M., (2013). "Effects of various sulphuring methods and storage temperatures on the physical and chemical quality of dried apricot", Food Chemistry, 141: 3670-3680.

[162] Horuz, E., Bozkurt, H., Karatas¸ H. ve Maskan, M., (2017). "Drying kinetics of apricot halves in a microwave-hot air hybrid oven", Heat Mass Transfer, 53(6):2117–2127.

[163] Aghbashlo, M., Mobli, H., Rafiee, S. ve Madadlou, A., (2013). "A review on exergy analysis of drying processes and systems", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 22 :1–22.

[164] Chang, S.K., Alasalvar, C. ve Shahidi, F., (2016). "Review of dried fruits: Phytochemicals, antioxidant efficacies, and health benefits", Journal of Functional Foods, 21: 113–132.

[165] Chong, C. H., Law, C. L., Figiel, A., Wojdyło, A. ve Oziembłowski, M., (2013). "Colour, phenolic content and antioxidant capacity of some fruits dehydrated by a combination of different methods", Food Chemistry, 141: 3889–3896.

[166] Vega-Gálvez, A., Scala, K., Rodríguez, D., Lemus-Mondaca, K., Miranda, R., López, M. ve Perez-Won M., (2009). "Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (Capsicum annuum, L.var. Hungarian)", Food Chemistry 117: 647–653.

[167] Kramer, A., (1965). "Evaluation of quality of fruits and vegetables, In: Food Quality, G.W. Irving, Jr.and S. R. Hoover, Eds. American Association for the Advancement of Science, Washington, DC, 9–18.

[168] Barrett, D.M., Beaulieu, J. C. ve Shewfelt, R., (2010). "Color, Flavor, Texture, and Nutritional Quality of Fresh-Cut Fruits and Vegetables: Desirable Levels, Instrumental and Sensory Measurement, and the Effects of Processing Critical Reviews", Food Science and Nutrition, 50:369–389.

[169] Mendoza, F., Dejmek, P., Aguilera, J. M., (2006). "Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis", Postharvest Biology and Technology Volume 41(3):285–295.

[170] Giese, J., (2000). "Color Measurement In Foods As A Quality Parameter food technology", Vol. 54, No. 2

[171] Üren, A., (1999). "Üç boyutlu Renk ölçme yöntemleri", Gıda Journal of food 24(3):193-200.

[172] Nsonzi, F. ve Ramaswamy, H.S., (1998). "Quality evaluation of osmo-convective dried blueberries", Drying Technology, 16:705-723.

[173] Adak, N., Heybeli, N. ve Ertekin C., (2017). "Infrared drying of strawberry", Food Chemistry ,219(15):109–116.-

[174] Gurrieri, F., Audergon, J.M., Albagnac, G. ve Reich, M., (2001). "Soluble sugars and carboxylic acids in ripe apricot fruit as parameters for distinguishing different cultivars", Euphytica, 117:183–189.

[175] Ruiz, D. ve Egea J., (2008). "Phenotypic diversity and relationships of fruit quality traits in apricot (Prunus armeniaca L.) germplasm", Euphytica, 163:143–158.

[176] Melgarejo, P., Calín-Sánchez, A., Carbonell-Barrachina, Á. A., Martinez-Nicolás, J. J., Legua, P., Martinez, R., ve Hernández, F., (2014). "Antioxidant activity, volatile composition and sensory profile of four New very-early apricots (Prunus armeniaca L.)", Journal of the Science of Food and Agriculture, 94(1), 85-94.

[177] Suna, S., Tamer, C. E., İncedayı, B., Ozcan Sinir, G. ve Copur, O. U., (2014). "Impact of drying methods on physicochemical and sensory properties of apricot pestil", Indian Journal of Traditional Knowledge, 13:47-55.

[178] Hegedus, A., Engel, R., Abranko, L., Balogh, E., Blazovıcs, A., Hermán, R., Halász, J., Ercıslı, S., Pedryc, A., ve Stefanovıts-Banyaı, E., (2010). "Antioxidant and antiradical capacities in apricot (Prunus armeniaca L.) fruits: Variations from genotypes, years, and analytical methods", Journal of Food Science, 75:722-730.

[179] Karataş, N., (2014). Farklı Kurutma Yöntemlerinin Bazı Kayısı Çeşitlerinin Kimyasal Ve Fiziksel Özelliklerine Etkisi, Doktora tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum.

[180] Krokida, M.K. ve Philippopoulos, C., (2005). "Rehydration of dehydrated foods", DryingTechnology, 23:799–830.

[181] Al-Khuseibi, M.K., Sablani, S.S. ve Perera, C.O., (2005). "Comparison of water blanching and high hydrostatic pressure effects on drying kinetics and quality of potato", Drying Technology, 23:2449–2461.

[182] Garcia-Pascual, P., Sanjuan, N., Melis, R., Mulet, A., (2006). "Morchalla esculenta (morel) rehydration process modelling", Journal of Food Engineering, 72:346–353.

[183] Marques, L. G., Prado M. M. ve Freire, J. T., (2009). "Rehydration characteristics of freeze-dried tropical fruits", Food Science and Technology, 42:1232–1237.

[184] Seremet Ceclu, L., Botez, E., Nistor, O.V., Andronoiu, D.G. ve Mocanu G.-D., (2016). "Effect of different drying methods on moisture ratio and rehydration of pumpkin slices", Food Chemistry,195(15):104–109.

[185] Taiwo, K. A. ve Adeyemi, O., (2009). "Influence of blanching on the drying and rehydration of banana slices", African Journal of Food Science, 3(10): 307-315.

[186] Lundqvist, J., de Fraiture, C. ve Molden, D., (2008). "Saving water: from field to fork—curbing losses and wastage in the food chain", Stockholm International Water Institute, Sweden. SIWI Policy Brief. SIWI

[187] Ekşi, A., ve Artık, N., (1982). "Kayısı ve şeftali palper posası ile atılan besin öğesi miktarı", Gıda, 3.

[188] Follonier, S., Goydera, M.S., Silvestrib, A., Creliera, S., Kalmana, F., Riesenb, R. ve Zinna, M., (2014). "Fruit pomace and waste frying oil as sustainable resources for the bioproduction of medium-chain-length polyhydroxyalkanoates", International Journal of Biological Macromolecules, 71:42–52.

[189] Paraman, I., Sharif, M.K., Supriyadi, S. Syed Rizvi S.H., (2015). "Agro-food industry byproducts into value-added extruded foods", Food and Bioproducts Processing, 96:78–85.

[190] Dhillon, G. S., Kaur, S. ve Brara, S.K., (2013). "Perspective of apple processing wastes as low-cost substrates for bioproduction of high value products: A review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 27: 789–805.

[191] Serrano, A., Siles, J.A., Chica, F.A. ve Martín. M.A., (2013). "Agri-food waste valorization through anaerobic co-digestion: fish and strawberry residues", Journal of Cleaner Production, 54: 125–132.

[192] Adıbelli, Ç. P. ve Serdaroğlu, M., (2017). "Quality Characteristics of Frankfurters Formulated with Apricot Pomace Obtained from Apricot Juice Processing", Turkish Journal of Agriculture- Food Science and Technology, 5(3): 281-288.

[193] Cheaib, D., El Darra, N., Rajha, H.N., El-Ghazzawi, I., Maroun, R.G. ve Louka, N., (2018). "Effect of the extraction process on the biological activity of lyophilized apricot extracts recovered from apricot pomace", Antioxidants, 7(1) 11.

[194] Şanal, I. S., Bayraktar, E., Mehmetoglu, U. ve Calımlı, A., (2005). "Determination of optimum conditions for SC-(CO_2 + ethanol) extraction of β-carotene from apricot pomace using response surface methodology", The Journal of Supercritical Fluids, 34:331–338.

[195] Üçüncü, C., Tari C., Demir, H., Büyükkileci, A. O., ve Oğuz, B., (2013). "Diluteacid hydrolysis of apple, orange, apricot and peach pomaces as potential candidates for bioethanol production", Journal of Biobased Materials and Bioenergy, 7:376–89.

[196] Özkaya, B., Özkaya, H., Türksoy, S. ve Akbaş, Ş., (2010). "Diyet Lif ve Polifenol Kaynağı Olarak Meyve ve Sebze Lif Konsantrelerinin Bisküvide Kullanım Olanakları" Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, ANKARA.

[197] Li, B.W. ve Cardozo, M.S., (1994). "Determination Toal Dietary Fiber In Foods and Products wilt Little or no Starch, Nonenzymatic-Gravimetric Method, Collabrative Study, Journal of AOAC International, 77(3):687-689.

[198] Şeker, İ.T., (2005). Kayısı ve Elma Besinsel Liflerinin Düşük Yağ ve Yüksek Lif İçerikli Bisküvi Üretiminde Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisligi Anabilim Dalı, Malatya.

[199] Ashraf, U., Bandral, J. D., Sood, M., Rafiq, S. ve Sharma, S. (2018). "Effect of replacement of wheat flour with apricot powder on nutritional and sensory quality of nut crackers", The Pharma Innovation, 7(5, Part J), 695.

[200] Grigelmo-Miguel, N., Abadías-Serós, M.I., ve Martín-Belloso, O., (1999). "Characterisation Of Low-Fat High-Dietary Fibre", Frankfurters Meat Science, 52(3):247 256.

[201] Wani, S.M., Riyaz, U., Wani, T.A., Ahmad, M., Gani, A., Masoodi, F.A., Dar, B.N., Nazir, A., ve Mir, S.A., (2016). "Influence of processing on physicochemical and antioxidant properties of apricot (Prunus armeniaca L. variety Narmo)", Cogent Food and Agriculture, 2: 1176287.

[202] Kara, C. ve Doymaz, İ., (2015). "Effective moisture diffusivity determination and mathematical modelling of drying curves of apple pomace", Heat Mass Transfer, 51:983–989.

[203] Kumar, N.B., Sarkar, C. ve Sharma, H. K., (2012) "Mathematical modelling of thin layer hot air drying of carrot pomace", Journal of Food Science and Technology, 49(1):33–41.

[204] Wang, Z., Sun, J., Chen, F., Liao, X. ve Hu, X., (2007). "Mathematical modeling on thin layer microwave drying of apple pomace with and without hot air pre drying" , Journal of Food Engineering, 80(2):536-544.

[205] Oberoi, D.P.S., ve Sogi, D.S., (2015). "Drying kinetics, moisture diffusivity and lycopene retention of watermelon pomace in different dryers", Journal of food science and technology, 52:7377-7384.

[206] Celma, R. A., Cuadros, F. ve López-Rodríguez F., (2009). "Characterisation of industrial tomato by-products from infrared drying process", Food and bioproducts processing, 87: 282–291.

[207] Demirbaş, E., Kobya, M., ve Sulak, M.T., (2008). "Adsorption kinetics of a basic dye from aqueous solutions onto apricot stone activated carbon", Bioresource Technology, 99:5368–5373.

[208] Tantekin, T., (2006). "Malatya tekstil fabrikalarından kullanılan çeşitli boyaların atık kayısıdan elde edilen aktif karbon ile adsorpsiyonunun incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Malatya,

[209] Jassim, A. N., Amlah, L., K. Ali, D., F. ve Abd Aljabar, A.T., (2012). "Preperation and characterization of Activated Carbon from Iraqi Apricot Stones", The Canadian Journal of Chemical Engineering, 3:60–65.

[210] Yılmaz, İ., (2010). "Antioksidan İçeren Bazı Gıdalar ve Oksidatif Stres", İnönü Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi, 17(2):143-153.

[211] Açkurt, F., (1999). "Sağlıklı beslenmede kayısının önemi ve yeni kayısı ürünleri", I. Kayısı şurası sonuç raporu, s:2129. İnönü Üniversitesi Basım Evi, Malatya. Derleyen: Muradoğlu F., Pehlivan M., Gündoğdu M. Ve Kaya T., (2011). "Iğdır Yöresinde Yetiştirilen Bazı Kayısı (Prunus armeniaca L.) Genotiplerin Fizikokimyasal Özellikleri ile Mineral İçerikleri", Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1(1): 17-22.

[212] Pala, M., Açkurt F., Löker, M., Gürcan, T., ve Yıldız, M., (1996). "Türkiye'de Yetiştirilen Değişik Kayısı Çeşitlerinin Bileşimi ve Beslenme Fizyolojisi Açısından Değerlendirilmesi", Gıda Teknolojisi, 1(4):34–39.

[213] Alpaslan, M. ve Hayta, M., (2006). "Apricot Kernel: Physical and Chemical Properties", Journal of the American Oil Chemists Society,82: 469–471.

[214] Femenia, A., Rossell, C., Mulet, A. ve Caiiellas J., (1995). "Chemical Composition of Bitter and Sweet Apricot Kernels", Journal of Agricultural and Food Chemistry,43(2):356-361.

[215] Özcan, M., M. Özalp, C., Ünver, A., Arslan, D. ve Dursun, N., (2010). "Properties of Apricot Kernel and Oils as Fruit Juice Processing Waste", Food and Nutrition Sciences, 1:31-37.

[216] Eyidemir, E., (2006). "Kayısı Çekirdeği İlavesinin Eriştenin Bazı Kalite Kriterlerine Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.

[217] Şeker, I.T. Ozboy-Özbaş, O. Gokbulut, I. Ozturk, S. ve Koksel, H., (2010). "Utilization of apricot kernel flour as fat replacer in cookies", Journal of Food Processing and Preservation, 34 (1)15-26.

[218] Wadhwa, M., Bakshi, M. ve Makkar, H., (2015). "Waste to worth: fruit wastes and by-products as animal feedy", CAB Reviews, 10:031.

[219] AOAC (1990). Official Methods of Analysis, Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, USA.

[220] Cemeroglu, B., (2007). Gıda analizlerinde genel yöntemler, Gıda Analizleri, Bizim Büro Basımevi, s. 45-128, Ankara.

[221] Demir, F. ve Özcan, M., (2001). "Chemical and technological properties of rose (Rosa canina L.) fruits grown wild in Turkey", Journal of Food Engineering, 47:333–336.

[222] AOAC (1984). Official Methods of Analysis, Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, USA.

[223] AOAC (2002). Official Methods of Analysis, Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, USA.

[224] NMKL, Nordic Committee on Food Analysis. (2007). Trace elements - As, Cd, Hg, Pb and other elements. Determination by ICP-MS after pressure digestion.Method no:186.

[225] Doymaz, İ. ve Kocayiğit, F., (2011). "Drying and rehydration behaviors of convection drying of green peas" Drying Technology, 29:1273-1282.

[226] Cemeroğlu, B., (2013). Gıda analizleri. Bizim Grup Basımevi, s. 176-179-128, Ankara.

[227] Fahloul, D., Lahbari, M., Benmoussa, H., Mezdour, S., (2009). "Effect of osmotic dehydration on the freeze dryig kinetics of apricots", Journal of Food Agriculture Environment, 7:117-21.

[228] Doymaz, İ., Kipcak, A.S. ve Piskin, S., (2015). "Characteristics of thin-layer infrared drying of green bean", Czech Journal of Food Science, 33:83–90.

[229] Karabulut, İ., Bilenler, T., Sislioğlu, K., Gökbulut, I., Özdemir, I.S., Seyhan, F. ve Özturk, K., (2018). "Chemical composition of apricots affected by fruit size and drying methods", Drying Technology an International Journal, 36(16):1937-1948.

[230] Xiao, H.W., Zhang, S.X., Bai, J.W., Fang, X.M., Zhang, Z.J. ve Gao, Z.J., (2010). "Air impingement drying characteristics of apricot", Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineers, 26:318–323.

[231] Doymaz, İ., (2014). "Suitability of thin-layer drying models for infrared drying of peach slices", Journal of food processing and preservation, 38: 2232–2239.

[232] Sharma, G.P., Verma, R.C., Pathare, P.B., (2005). "Thin-layer infrared radiation drying of onion slices", Journal Food Engineering, 67:361-6.

[233] Nasıroğlu, S. ve Kocabıyık, H., (2009). "Thin-layer infrared radiation drying of red pepper slices", Journal of Food Process Engineering, 32(1): 1-16.

[234] Aktaş, M., Sözen, A., Amini, A. ve Khanlari, A., (2017). "Experimental analysis and CFD simulation of infrared apricot dryer with heat recovery", Drying Technology, Vol. 35(6):766-783.

[235] Kocabıyık, H., Yılmaz, N., Tuncel, N.B., Sumer, S.K. ve Büyükcan, N.B., (2015). "Drying, energy, and some physical and nutritional quality properties of

tomatoes dried with short-infrared radiation", Food Bioprocess Technology, 8:516-525.

[236] Goyal, R.K., Kingsly, A.R.P., Manikantan, M.R. ve Ilyas, S.M., (2006). "Thin-layer drying kinetics of raw mango slices", Biosystems Engineering, 95(1): 43-49.

[237] Zogzas, N.P., Maroulis, Z.B., ve Marinos - Kouris, D., (1996). "Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs", Drying Technology, 14: 2225-2253.

[238] Ivanova, D. Valov, N. Valova, I. ve Stefanova, D., (2017). "Optimization of Convective Drying of Apricots", TEM Journal, 6(3):572-577.

[239] Fratianni, A., Niro, S., Messia, M.C., Cinquanta, L., Panfili, G., Albanese, D. ve Di Matteo, M., (2017). "Kinetics of carotenoids degradation and furosine formation in dried apricots (Prunus armeniaca L.)", Food Research International, 99(2):862–867.

[240] Albanese, D., Cinquanta, L., Cuccurullo, G. ve Di Matteo, M., (2013). "Effects of microwave and hot air drying methods on colour, b-carotene and radical scavenging activity of apricots", International Journal of Food Science and Technology, 48:1327–1333.

[241] Çelebi, K., (2011). Kayısının Kuruması Sırasında Renk Değişimi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyon.

[242] Sumic, Z., Tepić, A., Vidović, S., Jokić, S. ve Malbaša, R., (2013). "Optimization of frozen sour cherries vacuum drying process", Food Chemistry, 136:55–63.

[243] Zhu, A. ve Shen X., (2014). "The model and mass transfer characteristics of convection drying of peach slices", International Journal of Heat and Mass Transfer, 72: 347-351.

[244] Stegou–Sagia, A. ve Fragkou, D.V., (2018). "Thin Layer Dryıng Modeling of Apples and Aprıcots in a Solar Assisted Drying System" A Journal of Thermal Engineering, 4(1): 1680-1691.

[245] Karathanos, V.T. ve Belessiotis, V.G., (1997). "Sun and artificial air drying kinetics of some agricultural products", Journal of Food Engineering, 31:35-46.

[246] Singh, B., Panesar, P.S. ve Nanda, V., (2006). "Utilization of carrot pomace for the preparation of a value added product", World Journal of Dairy and Food Sciences, 1(1): 22-27.

[247] Sui, Y., Yang, J., Ye, Q., Li, H. ve Wang, H., (2014), "Infrared, convective, and sequential infrared and convective drying of wine grape pomace", Dry Technology, 32 (6):686-694.

[248] Praveen Kumar, D.G., Umesh Hebbar, H., Sukumar, D., ve Ramesh, M.N., (2005). "Infrared and Hot-Air Drying of Onions", Journal of Food Processing and Preservation, 29:132-150.

[249] Tuncel, N.B., Yılmaz, N., Kocabıyık, H., Oztürk, N. ve Tuncel, M., (2010). "The Effects Of İnfrared and hot air drying on some properties of corn (Zea mays)", Journal of Food, Agriculture ve Environment, 8(1), 63-68.

[250] Doymaz, İ. ve İsmail, O., (2011), "Drying characteristics of sweet cherry", Food and Bioproducts Processing, 89 (1)31-38.

[251] Horuz, E., (2018). Investigation of Dryıng and Quality Parameters of Some Fruits and Vegetables in Home Type Hybrıd (Convectional-Microwave) Oven, Doktora tezi, Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Gaziantep.

[252] Aral, S. ve Beşe, A.V., (2016). "Convective drying of hawthorn fruit (Crataegus spp.): Effect of experimental parameters on drying kinetics, color, shrinkage, and rehydration capacity", Food Chemistry, 210:577-584.

[253] İsmail, O., Beribey, B. ve Doymaz, İ., (2016). "Effect of Dryıng Methods on Drying Characteristic, Energy Consumptıon and Color of Nectarine", Journal Of Thermal Engineering Yildiz Technical University Press, 2: 2, 801-806.

[254] Contreras, C., Martín-Esparza, M.E., ve Martinez-Navarrete, N., (2012). "Influence of drying method on the rehydration properties of apricot and apple", Journal of Food Process Engineering, 35:178-190.

[255] Vega-Gálvez, A., Lemus-Mondaca, R., Bilbao-Sainz, C., Fito, P., Andres, A. (2008). "Effect of air drying temperature on the quality of rehydrated dried red bell pepper (var. Lamuyo)", Journal of Food Engineering, 85:42-50.

[256] Akoy, E.O.M., (2014). "Effect of Drying Temperature on Some Quality Attributes of Mango Slices", International Journal of Innovation and Scientific Research, 4(2): 91-99.

[257] Arısoy, İ., (2010). "Vişne ve Kirazın Kuruması sırasında Büzülmenin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi Afyon kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyon.

[258] Lewicki, P.P., (1998). "Effect of pre-drying treatment, drying and rehydration on plant tissue properties: a review", International Journal of Food Properties, 1:1-22.

[259] Aghbashlo, M., Kianmehr, M.H. ve Hassan-Beygi, S.R., (2010). "Drying and rehydration characteristics of sour cherry (Prunus cerasus L.)", Journal of Food Processing and Preservation, 34 (3):351-365.

[260] Khan, F., Khan, T. U., Tajuddin, M. A., Qasim, M. ve Alam, M., (2016). "Physicochemical and Organoleptic Characteristics of Dehydrated Apricots under Different Drying Conditions", Advances In Food Technology and Nutrition Sciences, 2(1): 3-8.

[261] Karaca, O. B., Güzeler, N., Tangüler, H., Yaşar, K., ve Akın, M. B. (2019). "Effects of Apricot Fibre on the Physicochemical Characteristics, the Sensory Properties and Bacterial Viability of Nonfat Probiotic Yoghurts", Foods, 8(1), 33.

[262] Akhondi, E., Kazemi, A. ve Maghsoodi, V., (2011). "Determination of a suitable thin layer drying curve model for saffron (Crocus sativus L.) stigmas in an infrared dryer" Scientia Iranica, 18: 1397–1401.

[263] Sun, J., Hu, X., Zhao, G., Wu, J., Wang, Z., Chen, F. ve Liao, X., (2007). "Characteristics of thin-layer infrared drying of apple pomace with and without hot air-drying", Food Science and Technology International,13:91–7.

[264] Celma, A.R., Francisco, C., Fernando, L.R. ve Aida, R., (2013). "Thin layer drying behaviour of industrial tomato by-products in a convective dryer at low temperatures", Research Journal of Biotechnology, 8(2):50–60.

[265] Doymaz, İ. ve Kıpçak, A.S., (2018). "Investigation of Infrared Drying of Pomegranate By-Products", Journal of Thermal Engineering, 4(2): 1821-1827.

[266] Doymaz, İ., (2017). "Microwave and Infrared Drying Characteristics of Mango Slices", Celal Bayar University Journal of Science, 13(3): 681-688.

[267] Alam, S., Singh, B., Khaira, H., Kaur, J. ve Singh, S.K., (2013). "Optimization Oextrusion Process Variables for Development of Pulse-Carrot Pomace İncorporated Rice Based Snacks", Journal Food Legumes, 25:1-18.

[268] Turan, S., Topcu, A., Karabulut, I., Vural, H. ve Hayaloğlu, A.A., (2007). "Fatty acid, triacylglycerol, phytosterol, and tocopherol variations in kernel oil of Malatya Apricots from Turkey", Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55:10787-10794.

[269] Sharma, P.C., Tilakratne, B.M.K.S. ve Gupta, A., (2010). "Utilization of Wild Apricot Kernel Press Cake For Extraction Of Protein İsolate", Journal of Food Science and Technology, 47:682–685.

[270] Kappor, N., Bedi, K.L. ve Bhatia, A.K., (1987). "Chemical Composition of Different Varieties of Apricots and Their Kernels Grown in Ladakha Region", Journal Food Science Technology, 24:141–143.

[271] Özcan, M., (2000). "Compostion Of Some Apricot (Prunus Armeniaca L.) Kernels Grown İn Turkey", Acta Alimentaria, 29(3) 289-293.

[272] Gezer, İ., Hacıseferoğulları, H. Özcan, D., Arslan, M. M., Asma, B. M. ve Ünver, A., (2011). "Physıco-Chemical Properties of Apricot (Prunus Armeniaca L.) Kernels", South Western Journal of Horticulture, Biology and Environment, 2(1):1-13.

[273] Joshi, S., Srivastava, R.K., Dhar, D. N., (1986). "The Chemistry of Prunus Armeniaca", British Food Journal, 88:74–80.

[274] Beyer, R. ve Melton, L.D., (1990), "Composition Of New Zealand Apricot Kernels New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science", 18:39-42.

[275] Juhaimia, F., Özcan, M. M., Ghafoora Elfadıl, K. ve Babikera, E., (2018). "The effect of microwave roasting on bioactive compounds, antioxidant activity and fatty acid composition of apricot kernel and oils", Food Chemistry, 243:(15) 414-419

[276] Matthaus, B. ve Özcan, M.M., (2009). "Fatty Acids and Tocopherol Contents Of Some Prunus Spp. Kernel Oils", Journal of food lipids, 16:187–199.

[277] Matthaus, B., Özcan, M.M. ve Al Juhaimi, F., (2016). "Fatty acid composition and tocopherol content of the kernel oil from apricot varieties (Hasanbey, Hacihaliloglu, Kabaasi and Soganci) collected at different harvest times", European Food Research and Technology, 242:221-226.

[278] Özcan, M. M., (2006). “Determination of the mineral compositions of some selected oil-bearing seeds and kernels using Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES)”, Grasasy aceites, 57(2): 211-218.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Seda KAYRAN

Doğum Tarihi ve Yeri : 07.01.1981, Kdz. Ereğli

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : sedakayran8@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Y. Lisans	Mühendislik	Yıldız Teknik Üniversitesi	2009
Lisans	Mühendilik	Ege Üniversitesi	2004
Lise	Fen	Ereğli Süper Lisesi	1999

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	**Firma/Kurum**	**Görevi**
2013-Halen	Kocaeli Gıda Kontrol Laboratuvarı	Kimyasal Laboratuvarı Birim sorumlusu
2009-2013	Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı	Mühendis
2005-2008	Bahar Pastaneleri A.Ş	Mühendis

YAYINLARI

Uluslararası Makale (SCI ve SCI-Expanded)

1. Kayran, S. ve Doymaz, İ., (2017). "Determination of drying kinetics and physicochemical characterization of apricot pomace in hot-air dryer", Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 130 (2):1163-1170.
2. Kayran, S. ve Doymaz, İ., (2017). "Infrared drying and effective moisture diffusivity of apricot halves: Influence of pretreatment and infrared power", Journal of Food Processing and Preservation, 41(2):12827.

Uluslararası Bildiri

1. Kayran, S. ve Doymaz, İ., (2018). "Drying Kinetics of Apricot Halves in Hot Air, Infrared and Infrared-Hot Air Dryer", 1st International Symposium on Graduate Research in Science: Focus on Entrepreneurship and Innovation, 4-6 October 2018, İstanbul.
2. Kayran, S. ve Doymaz, İ., (2018). "Hot-air Drying Apricots (Hacihaliloglu): Effect of Pre-treatments on Drying Kinetics", 4th Conference on Advances in Mechanical Engineering (ICAME), 19-21 December 2018, İstanbul.