

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BROKOLİ VE KARNABAHAİRİN KURUTMA KARAKTERİSTİKLERİNE ÖN
İŞLEM SICAKLIĞININ VE SÜRESİNİN ETKİSİ**

MEDİNE ŞAHİN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. İBRAHİM DOYMAZ**

İSTANBUL, 2014

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BROKOLİ VE KARNABAĞARIN KURUTMA KARAKTERİSTİKLERİNE ÖN
İŞLEM SICAKLIĞININ VE SÜRESİNİN ETKİSİ**

Medine ŞAHİN tarafından hazırlanan tez çalışması 16/07/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. İbrahim DOYMAZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. İbrahim DOYMAZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Osman İsmail
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Başlar
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Sebze ve meyvelerin yaş olarak tüketilmesinin yanında kurutularak farklı amaçlarla kullanılması, besin değerlerinin daha uzun süreler korunabilmesi, saklama koşullarının kolaylığı ve ekonomik açıdan kazançlı olması nedeniyle tercih edilmekte ve yaygın olarak uygulanmaktadır. Meyve ve sebzelerin en yaygın muhafaza yöntemlerinden biri olan kurutma ile, ürünün hasatından sonra meydana gelebilecek enzimatik ve mikrobiyolojik değişimlerin önüne geçilmektedir. Böylece gıda maddelerinin besin değerleri korunarak raf ömrünün uzatılması mümkün olmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, kurutma materyali olarak seçilen brokoli ve karnabaharın kurutma karakteristiklerine ön işlem sıcaklığının ve süresinin etkisini incelemektir. Yapılan deneysel çalışmalarla en uygun kurutma sıcaklığında, bu sebzeler için geçerli olan kurutma parametrelerini optimum değerlerde tutmak, kurutma süresinin kısaltılması ile ekonomik avantaj sağlayacak en iyi ön işlem şartlarının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu şekilde birçok ülkede endüstrileşmiş durumda olan hazır çorba üretimine hammadde kaynağı olan kurutulmuş sebzelerin daha uygun koşullarda üretimine katkı sağlayacak bir çalışma olması beklenmektedir.

Çalışmanın tasarımı, yürütülmesi ve sonuçlarının değerlendirilmesine kadar geçen süreçte değerli katkılarını esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. İbrahim DOYMAZ'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca her zaman desteğini yanımda hissettiğim değerli aileme, başta Zeynep KERVANCI olmak üzere arkadaşlarıma ve gösterdiği sabır ve anlayıştan dolayı sevgili eşim Yakup ŞAHİN'e teşekkür ederim.

Eylül, 2014

Medine ŞAHİN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMA LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ÖZET	xv
ABSTRACT.....	xvii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Orijinal Katkı.....	2
BÖLÜM 2	
KURUTMA	3
2.1 Kurutmanın Tanımı	4
2.2 Gıda İşlemede Suyun Önemi.....	5
2.3 Başlıca Kurutma Çeşitleri	5
2.3.1 Konveksiyon kurutma	5
2.3.2 Kontakt kurutma.....	6
2.3.3 Radyasyon kurutma	6
2.4 Kurutmanın Amaçları	6
2.5 Kuruma Hızı Eğrileri.....	9
2.6 Kuruma İşlemine Etki Eden Faktörler	11
2.7 Kurutma Sistemleri	12
2.7.1 Kabin kurutucular (Tavalı)	13

2.7.2	Tünel kurutucular	14
2.7.3	Konveyör kurutucular	15
2.7.4	Akışkan yatak kurutucular	15
2.7.5	Sandık kurutucular.....	16
2.7.6	Diğer kurutma çeşitleri	16
2.8	Kurutma Sırasında Ürün Kalitesine Etki Eden Etmenler	17
2.8.1	Kurutma sıcaklığı.....	17
2.8.2	Kurutma süresi.....	17
2.8.3	Kurutma % nem oranı.....	17
2.9	Rehidrasyon (Tekrar Su Alma Yeteneği)	17

BÖLÜM 3

SEBZE KURUTMA.....	19	
3.1	Hammadde ve Hasat.....	21
3.2	Taşıma	22
3.3	Yıkama.....	24
3.4	Ayıklama.....	25
3.5	Kabuk Soyma.....	25
3.6	Kesme-Doğrama.....	25
3.7	Ön İşlemler	26
3.8	Kurutma	27
3.9	Kurutulmuş Sebzeleri Soğutma.....	33
3.10	Kurutma Sistemlerinin Bakım, Onarım ve Temizliği	33
3.11	Kurutulmuş Sebzelere Uygulanan İşlemler	33
3.12	Ambalajlama	35
3.13	Etiketleme	36
3.14	Depolama	37
3.15	Fumigasyon	37

BÖLÜM 4

BROKOLİ VE KARNABAHAAR	38	
4.1	Brokoli (<i>Brassica Oleracea Italica</i>)	38
4.1.1	Tarihçesi.....	39
4.1.2	Besin değerleri	39
4.1.3	Özellikleri ve sağlığa yararları	40
4.1.4	Brokolide bulunan glukozinolatlar ve etkileri.....	43
4.1.5	Yetiştirme koşulları	44
4.1.6	Toprak çeşidi ve gübreleme.....	44
4.1.7	Hasat.....	45
4.1.8	Türkiye’de ve dünyada brokoli üretim miktarları.....	46
4.2	Karnabahar (<i>Brassica Oleracea</i>)	47
4.2.1	Besin değerleri	48
4.2.2	Özellikleri ve sağlığa yararları	48
4.2.3	Yetiştirme koşulları	50
4.2.4	Toprak çeşidi.....	51

4.2.5	Gübreleme	51
4.2.6	Yetiştiriciliği ve hasatı	51
4.2.7	Türkiye’ de ve dünyada karnabahar üretim miktarları.....	53
BÖLÜM 5		
LİTERATÜR ÖZETİ		54
5.1	Brokoli	54
5.2	Karnabahar.....	60
BÖLÜM 6		
MATERYAL VE YÖNTEM		64
6.1	Materyal.....	64
6.2	Yöntemler	64
6.2.1	Kurutma sistemi.....	64
6.2.2	Kuru madde tayini	65
6.2.3	Dijital termometre.....	66
6.2.4	Hava akış hızı	66
6.2.5	Terazi	67
6.2.6	Numune saklama	68
6.3	Kurutma Denemeleri	69
6.3.1	Brokoli kurutma	69
6.3.2	Karnabahar kurutma.....	70
6.3.3	Rehidrasyon (tekrar su alma yeteneği) oranının ölçülmesi.....	72
6.4	Matematiksel Modelleme.....	73
6.5	Regresyon Analizi.....	74
6.6	Difüzyon Katsayısının ve Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması	75
BÖLÜM 7		
DENEYSEL BULGULARIN İRDELENMESİ		77
7.1	Brokoli Kurutma	77
7.1.1	Nem içeriği ile kuruma süresinin değişimi.....	77
7.1.2	Kuruma hızı ile nem içeriğinin değişimi.....	82
7.1.3	Ön işlem sıcaklığı ve süresinin etkisi.....	86
7.1.4	Kuruma eğrilerinin matematiksel modellenmesi	89
7.1.5	Difüzyon katsayılarının hesaplanması	95
7.1.6	Aktivasyon enerjisinin hesaplanması	97
7.1.7	Rehidrasyon oranlarının belirlenmesi	99
7.2	Karnabahar Kurutma.....	104
7.2.1	Nem içeriği ile kuruma süresinin değişimi.....	104
7.2.2	Kuruma hızı ile nem içeriğinin değişimi.....	109
7.2.3	Ön işlem sıcaklığı ve süresinin etkisi.....	113
7.2.4	Kuruma eğrilerinin matematiksel modellenmesi	117
7.2.5	Difüzyon katsayılarının hesaplanması	122
7.2.6	Aktivasyon enerjisinin hesaplanması	124

7.2.7	Rehidrasyon oranlarının belirlenmesi	126
BÖLÜM 8		
	SONUÇ VE ÖNERİLER	131
	KAYNAKLAR	137
	ÖZGEÇMİŞ	143

SİMGE LİSTESİ

a, b, c	Modellerdeki katsayılar
°C	Santigrat derece
D_0	Sonsuz sıcaklıkta difüzyon katsayısına eşdeğer bir sabit (m^2/s)
D_{eff}	Etkin difüzyon katsayısı (m^2/s)
E_a	Aktivasyon enerjisi (kJ/mol)
k	Kinetik sabit (1/dk)
k_0, k_1	Modellerdeki katsayılar
L	Dilim yarı kalınlığı (m)
M	Herhangi bir anda örnekteki nem miktarı (kg su/kg kuru madde)
M_0	Kurutmaya başlamadan önce örnekteki nem miktarı (kg su/kg kuru madde)
m_d	Kuru madde miktarı (kg)
M_e	Kurutma koşullarındaki havanın içerdiği nem miktarı (kg su/kg kuru madde)
MR_{exp}	DeneySEL nem oranı (birimsiz)
MR_{pre}	Tahmin edilen nem oranı (birimsiz)
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_w	Nem miktarı (kg)
N	DeneySEL veri sayısı
n	Kullanılan denklemdaki katsayı sayısı
R	Gaz sabiti (kJ/(mol.K))
R^2	Regresyon katsayısı
t	Süre (dk)
T	Kurutma sıcaklığı (°C)
χ^2	khi-kare

KISALTMA LİSTESİ

FDA	Food and Drug Administration
B_i	Biot sayısı
D_i	Diğer sayısı
dk	Dakika
cm	Santimetre
g	Gram
kg	Kilogram
kJ	Kilojoule
kHz	Kilohertz
kW	Kilowatt
LPDE	Düşük yoğunluklu polietilen
m	Metre
mg	Miligram
MJ	Megajoule
ml	Mililitre
mm	Milimetre
μg	Mikrogram (μg)
μm	Mikrometre
RR	Rehidrasyon oranı (birimsiz)
RMSE	Tahminin standart hatası
Rpm	Dakikadaki devir sayısı (Revolution per minute)
s	Saniye

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Doğada kendiliğinden (doğal olarak tarlada) kuruyan baklagiller..... 3
Şekil 2.2	Kurutulmuş bazı sebzeler..... 4
Şekil 2.3	Ürünün nem içeriğinin kurutma süresiyle değişimi..... 9
Şekil 2.4	Kuruma hızının kurutma süresiyle değişimi..... 10
Şekil 2.5	Kuruma hızının ürün nem içeriğiyle değişimi..... 10
Şekil 2.6	Güneş kollektörlü kurutma sistemi..... 13
Şekil 2.7	Kabin kurutucular..... 14
Şekil 2.8	Konveyör kurutucu..... 15
Şekil 2.9	Akışkan yatak kurutucu..... 16
Şekil 3.1	2011-2012 yıllarında bitkisel üretim miktarlarındaki değişim..... 19
Şekil 3.2	Sebze kurutma akım şeması..... 20
Şekil 3.3	Brokoli sebzesinin hasat edilmesi..... 22
Şekil 3.4	Plastik kasalarla sebze taşınması..... 22
Şekil 3.5	Sebze yıkama makinası..... 24
Şekil 3.6	Aydınlatmalı ve oturma düzenli ayıklama bandı..... 25
Şekil 3.7	Doğrama çeşitleri..... 26
Şekil 3.8	Kurutulan ürünlerin metal detektörden geçirilmesi..... 34
Şekil 3.9	Paketleme ve dikiş makinası..... 36
Şekil 3.10	Etiketleme işlemi..... 36
Şekil 4.1	Brokoli çiçeklerinin yakın plan görünümü..... 38
Şekil 4.2	Brokoli bitkisinin genel görünümü..... 40
Şekil 4.3	Olgunlaşmış bir brokoli bitkisinin yapraklarıyla birlikte görünümü..... 42
Şekil 4.4	Şeker ve kükürt içeren glukozinolat molekülü..... 43
Şekil 4.5	Brokoli yetiştiriciliği yapılan bir tarlanın görünümü..... 45
Şekil 4.6	Karnabahar bitkisinin genel görünümü..... 47
Şekil 4.7	Karnabahar ve lahanaya tohumları..... 49
Şekil 4.8	Karnabahar yetiştirilen bir tarlanın görünümü..... 52
Şekil 6.1	Brokoli ve karnabahar kurutulmasında kullanılan kurutucunun genel görünüşü..... 64
Şekil 6.2	Brokoli ve karnabahar örneklerinin nem tayini görüntüleri..... 65
Şekil 6.3	Nem tayininde kullanılan etüvün genel görünüşü..... 66
Şekil 6.4	Dijital termometrenin genel görünüşü..... 66
Şekil 6.5	Anemometre..... 67
Şekil 6.6	Mettler marka terazinin genel görünüşü..... 67

Şekil 6.7	Precisa marka terazinin genel görünüşü.....	68
Şekil 6.8	Kurutulmuş ürünleri ısısal paketlemede kullanılan cihazın genel görünümü	68
Şekil 6.9	Kurutma denemelerinde kullanılan dilimlenmiş brokolilerin genel görünüşü	70
Şekil 6.10	Kurutma denemelerinde kullanılan dilimlenmiş karnabaharların genel görünüşü.....	71
Şekil 6.11	Kurutulmuş brokolilerin ve karnabaharların rehidrasyon işlem görünümleri	72
Şekil 7.1	Brokolilerin 45°C'deki nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi.....	79
Şekil 7.2	Brokolilerin 55°C'deki nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi.....	80
Şekil 7.3	Brokolilerin 65°C'deki nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi	81
Şekil 7.4	Brokolilerin 75°C'deki nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi	82
Şekil 7.5	Brokolilerin 45°C'deki kuruma hızının nem içeriği ile değişimi	83
Şekil 7.6	Brokolilerin 55°C'deki kuruma hızının nem içeriği ile değişimi.....	84
Şekil 7.7	Brokolilerin 65°C'deki kuruma hızının nem içeriği ile değişimi	85
Şekil 7.8	Brokolilerin 75°C'deki kuruma hızının nem içeriği ile değişimi	86
Şekil 7.9	Farklı sürelerde sıcak suyla ön işlem uygulanmış brokolilerin 65°C kurutma sıcaklığında nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi	87
Şekil 7.10	Farklı sürelerde sitrik asitle ön işlem uygulanmış brokolilerin 65°C kurutma sıcaklığında nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi	88
Şekil 7.11	Farklı sıcaklıklarda ön işlem uygulanmış brokolilerin 65°C kurutma sıcaklığında nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi	89
Şekil 7. 12	65°C'de kurutulmuş brokoliler için deneysel ve Midilli vd. denkleminin tahmini nem oranı değerleri	95
Şekil 7.13	Brokolinin etkin difüzyon katsayısının kurutma sıcaklığı ile değişimi.....	96
Şekil 7.14	Sıcaklığın etkin difüzyon katsayısına etkisi	98
Şekil 7.15	65°C'de kurutulmuş brokolilerin 20°C'de rehidrasyon süresi ile rehidrasyon oranı arasındaki değişim	100
Şekil 7.16	65°C'de kurutulmuş brokolilerin 40°C'de rehidrasyon süresi ile rehidrasyon oranı arasındaki değişim	101
Şekil 7.17	65°C'de kurutulmuş brokolilerin 60°C'de rehidrasyon süresi ile rehidrasyon oranı arasındaki değişim.....	102
Şekil 7.18	65°C'de kurutulmuş brokolilerin 80°C'de rehidrasyon süresi ile rehidrasyon oranı arasındaki değişim	103
Şekil 7.19	Karnabahar dilimlerinin 45°C'deki nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi	105
Şekil 7.20	Karnabahar dilimlerinin 55°C'deki nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi	106
Şekil 7.21	Karnabahar dilimlerinin 65°C'deki nem içeriğinin kurutma zamanı ile değişimi.....	107
Şekil 7.22	Karnabahar dilimlerinin 75°C'deki nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi	108
Şekil 7.23	Karnabahar numunelerinin 45°C'deki kuruma hızının nem içeriği ile değişimi.....	109

Şekil 7.24	Karnabahar numunelerinin 55°C'deki kuruma hızının nem içeriği ile değişimi	110
Şekil 7.25	Karnabahar numunelerinin 65°C'deki kuruma hızının nem içeriği ile değişimi	111
Şekil 7.26	Karnabahar numunelerinin 75°C'deki kuruma hızının nem içeriği ile değişimi	112
Şekil 7.27	Farklı sürelerde sıcak suyla ön işlem uygulanmış karnabaharların 65°C kurutma sıcaklığında nem içeriğinin kuruma süresi ile değişim	114
Şekil 7.28	Farklı sürelerde sitrik asitle ön işlem uygulanmış karnabaharların 65°C kurutma sıcaklığında nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi	115
Şekil 7.29	Farklı sıcaklıklarda ön işlem uygulanmış karnabaharların 65°C kurutma sıcaklığında nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi	116
Şekil 7.30	65°C'de kurutulan karnabaharlar için deneysel ve Midilli vd. denkleminin tahmini nem oranı değerleri.....	122
Şekil 7.31	Karnabaharın etkin difüzyon katsayısının kurutma sıcaklığıyla değişimi ...	123
Şekil 7.32	Karnabahar numuneleri için sıcaklığın etkin difüzyon katsayısına etkisi....	125
Şekil 7.33	65 °C'de kurutulmuş karnabaharların 20°C'de rehidrasyon süresi ile rehidrasyon oranı arasındaki değişim.....	127
Şekil 7.34	65°C'de kurutulmuş karnabaharların 40°C'de rehidrasyon süresi ile rehidrasyon oranı arasındaki değişim.....	128
Şekil 7.35	65°C'de kurutulmuş karnabaharların 60°C'de rehidrasyon süresi ile rehidrasyon oranı arasındaki değişim.....	129
Şekil 7.36	65°C'de kurutulmuş karnabaharların 80°C'de rehidrasyon süresi ile rehidrasyon oranı arasındaki değişim.....	130

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Yapay kurutma ve doğal kurutmanın karşılaştırılması.....	8
Çizelge 3.1 Bazı yaş sebzelerin taşınma koşulları	23
Çizelge 3.2 Kurutucu tiplerine göre üründen uzaklaştırılan su başına harcanan enerji miktarı.....	30
Çizelge 3.3 Bazı sebze ve meyvelerin kurutma sıcaklıkları ve kuruma süreleri	31
Çizelge 3.4 Bazı sebze ve meyvelerin kurutma başlangıcı ve sonu nemlilikleri ve izin verilen en yüksek kurutma sıcaklıkları	32
Çizelge 4.1 Brokolinin bilimsel sınıflandırılması.....	39
Çizelge 4.2 Dünyada brokoli ve karnabahar üretiminde ilk on ülke ve ton bazında üretim miktarları	46
Çizelge 4.3 Türkiye’de yıllara göre brokoli üretim miktarları (ton).....	46
Çizelge 4.4 Karnabaharın bilimsel sınıflandırılması	47
Çizelge 4.5 Türkiye’de yıllara göre karnabahar üretim miktarları (ton).....	53
Çizelge 6.1 Brokolilerin ve karnabaharların kuruma eğrilerinin modellenmesinde kullanılan denklemler.....	74
Çizelge 7.1 Brokoli kurutma denemelerine ait kuruma süreleri (dakika).....	77
Çizelge 7.2 45°C’de brokoli için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayısı, khi-kare ve RMSE değerleri	91
Çizelge 7.3 55°C’de brokoli için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayısı, khi-kare ve RMSE değerleri	92
Çizelge 7.4 65°C’de brokoli için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayısı, khi-kare ve RMSE değerleri	93
Çizelge 7.5 75°C’de brokoli için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayısı, khi-kare ve RMSE değerleri	94
Çizelge 7.6 Brokoli için hesaplanan etkin difüzyon katsayıları.....	96
Çizelge 7.7 Literatürden bulunan bazı brokoli örneklerinin etkin difüzyon katsayıları	97
Çizelge 7.8 Bazı sebzelerin aktivasyon enerjileri	99
Çizelge 7.9 Karnabahar kurutma denemelerine ait kuruma süreleri (dakika)	104
Çizelge 7.10 45°C’de karnabaharlar için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayısı, khi-kare ve RMSE değerleri.....	118
Çizelge 7.11 55°C’de karnabaharlar için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayısı, khi-kare ve RMSE değerleri.....	119
Çizelge 7.12 65°C’de karnabaharlar için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayısı, khi-kare ve RMSE değerleri.....	120

Çizelge 7.13	75°C 'de karnabaharlar için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayısı, khi-kare ve RMSE değerleri.....	121
Çizelge 7.14	Karnabahar için etkin difüzyon katsayıları.....	123

BROKOLİ VE KARNABAHAARIN KURUTMA KARAKTERİSTİKLERİNE ÖN İŞLEM SICAKLIĞININ VE SÜRESİNİN ETKİSİ

Medine ŞAHİN

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. İbrahim DOYMAZ

Bu çalışmada, ön işlem sıcaklığının ve süresinin kurutma karakteristiklerine etkilerini incelemek amacıyla, brokoli ve karnabahar sebzeleri bir kabin kurutucuda kurutulmuştur.

İstanbul'da bir süpermarketten temin edilen brokoli ve karnabahar sebzelerinin öncelikle nem tayinleri yapılmıştır. Yapılan tayinler neticesinde brokolilerin kuru madde içeriği %12,92 ve nem içeriği ise %87,08; karnabaharların kuru madde içeriği %9,81 ve nem içeriği ise %90,19 olarak tespit edilmiştir.

Her iki sebze için de yaklaşık 100'er gram olacak şekilde dilimlenip tartılarak üç farklı grup numune hazırlanmıştır. Birinci gruptaki numuneler herhangi bir ön işlem yapılmadan, ikinci gruptakiler 80°C sıcaklığındaki sıcak suda 1 dakika ön işleme tabi tutularak ve üçüncü gruptaki numuneler ise oda sıcaklığındaki sitrik asit çözeltisinde 1 dakika ön işleme tabi tutulduktan sonra sıcak hava ile kurutulmuştur. Kurutma deneyleri, her iki sebze için de 45, 55, 65 ve 75°C sıcaklıklardaki hava ile gerçekleştirilmiştir.

İkinci aşama kurutma deneyleri için ise önce numunelerin ön işlem sıcaklığı 80°C'de sabit tutularak 1, 2, 3, 4 ve 5 dakika olarak farklı sürelerde ön işlem uygulandıktan sonra sebzeler 65°C'deki hava ile kurutulmuştur. Üçüncü aşamada ise, ön işlem süresi 2 dakikada sabit tutularak 40, 60 ve 80°C sıcaklıktaki sıcak su ve sitrik asit çözeltileri ile ayrı ayrı muamele edilen numuneler 65°C'deki hava ile kurutulmuştur. Bu şekilde

brokoli ve karnabahar kurutmaya etki eden parametrelere ön işlem sıcaklığının ve ön işlem süresinin etkisi incelenmiştir.

Kurutma denemeleri sonucunda ilk olarak kurutma eğrileri çizilmiş, sebzelerdeki nem içeriğinin zamanla azaldığı tespit edilmiştir. Kurutma havasının sıcaklığının artmasıyla kurutma süresinin kısaldığı görülmüştür. Ayrıca ön işlem uygulanarak kurutulan sebzelerin ön işlem uygulanmadan kurutulan sebzelere oranla kurutma süresinin daha kısa olduğu saptanmıştır. Bu durumun, sıcak suyla muamele edilerek kurutulan ürünlerde, sitrik asitle muamele edilerek kurutulan örneklerle göre daha belirgin olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Aynı şekilde ön işlem sıcaklığının ve ön işlem süresinin artmasının da kurutma süresini kısalttığı belirlenmiştir.

Kurutma verileri yedi matematiksel modele uygulanmıştır (Newton, Page, Henderson ve Pabis, Logaritmik, Two-term, Wang ve Singh, Midilli vd.). Her bir model için katsayılar, regresyon katsayısı (R^2), khi-kare (χ^2) ve tahmini standart hatası (RMSE) değerleri hesaplanmıştır. Midilli vd. denklemini, maksimum R^2 değeri, minimum χ^2 ve RMSE değerleri verdiği için deneysel verilere en uygun denklem tipi olarak belirlenmiştir. Ayrıca brokoli ve karnabahar örnekleri için 45, 55, 65 ve 75°C sıcaklıklardaki etkin difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi değerleri hesaplanmıştır. Sonuçların literatürdeki benzer çalışmalarla da örtüştüğü görülmüştür.

Son olarak 65°C'de kurutulan örneklerin rehidrasyon oranları incelenmiştir. Rehidrasyon sıcaklığının artmasıyla rehidrasyon oranı da artmaktadır. Ayrıca ön işlem görmüş örneklerin rehidrasyon oranının daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kurutma, brokoli, karnabahar, ön işlem, rehidrasyon oranı, difüzyon katsayısı, aktivasyon enerjisi

**EFFECT OF PRETREATMENT TEMPERATURE AND TIME ON DRYING
CHARACTERISTICS OF BROCCOLI AND CAULIFLOWER**

Medine ŞAHİN

Department of Chemical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ

In this study, broccoli and cauliflower were dried in a cabinet dryer in order to examine effect of pretreatment temperature and time on drying characteristics of broccoli and cauliflower.

At first, it was determined the moisture contents of broccoli and cauliflower which bought from a supermarket in İstanbul. As a result of determination of moisture, dry matter of broccoli and moisture contents were determined 12,92% and 87,08%; dry matter of cauliflower and moisture contents were determined 9,81% and 90,19%, respectively.

Three different samples were prepared by slicing approximately 100 grams of both vegetables. First sample was not pretreated at all. The second sample was pretreated in water at 80°C for 1 minute and then dried with hot air. The third sample was pretreated in citric acid solution at room temperature for 1 minute and then dried with hot air. Drying experiments were done with hot air at 45, 55, 65 and 75°C for both vegetables.

For the other drying experiments, the samples were pretreated 1, 2, 3, 4 and 5 minutes at a fixed temperature of 80°C and then dried with hot air at 65°C. In the next step, fixing the pretreatment time to 2 minutes, samples were pretreated in hot water and citric acid solution at 40, 60 and 80°C. Then, the samples were dried with hot air at

65°C. In this way, effect of pretreatment temperature and time to drying parameters of broccoli and cauliflower was investigated.

As a result of the drying experiments, at first, drying curves were drawn and moisture content was observed to decrease over time. Increasing the temperature of drying air, drying time is shorter. Also it was observed that drying time of samples pretreated is shorter than the other samples. This determination is more remarkable for dried product which pretreated with hot water than the product which pretreated with citric acid solution. Also while pretreatment temperature and time are increasing, drying time is shorter.

The drying data were fitted to seven mathematical models (Newton, Page, Henderson and Pabis, Logarithmic, Two-term, Wang and Sing and Midilli et al.). Coefficients, regression coefficient (R^2), chi-square (χ^2) and root mean square error (RMSE) values were calculated for each mathematical model and compared with each other. The Midilli et al. model was found to be most suitable in describing the drying characteristics of broccoli and cauliflower. Because the Midilli et al. model has given maximum R^2 , minimum χ^2 and RMSE values. Effective moisture diffusivity and activation energy values were calculated at 45, 55, 65 and 75°C for both vegetables. The results match with similar studies done before.

Finally, rehydration rate of the samples which were dried at 65°C were analysed. Increasing the temperature of rehydration, rehydration rate is higher and it was observed that rehydration rate of pretreated samples is higher than untreated samples.

Keywords: Drying, broccoli, cauliflower, pretreatment, rehydration rate, diffusion coefficient, activation energy

1.1 Literatür Özeti

Brokoli, turpgiller (*Brassicaceae*) familyasından küçük yeşil yumrular hâlinde olan, çiğ tüketilmesinin yanı sıra haşlanarak yemeği de hazırlanabilen besleyici içeriği yüksek bir kışlık sebzedir [1]. Brokoli, beslenme ve insan sağlığı açısından önemli bir sebze olarak bilinmesi nedeniyle son yıllarda üretim ve tüketimi hızlı bir şekilde artmıştır [2]. Yapılan araştırmalar, brokoli ve karnabahar sebzelerinin kanser riskini sırasıyla %56 ve %67 oranında azalttığını göstermektedir [3].

Karnabahar, yine turpgiller familyasından, çiçekleri etli ve tanecikli bir görünüşte olan, yaprakları lahanaya benzeyen, sebze olarak kullanılan bir bitkidir. Karnabaharın vatanı Doğu Akdeniz Bölgesi'dir. Özellikle Antalya'dan İskenderun'a kadar uzanan kıyı şeridinde dünyanın en güzel karnabahar çeşitlerini yetiştirmek mümkündür [4].

Karnabahar, fosfor, demir ve vitamin bakımından çok zengindir [2]. Zihin yorgunluğunu giderme, sinirleri kuvvetlendirme, idrar söktürme, kansızlığı önleme gibi özelliklere sahiptir. Dalak hastalıklarına, şeker hastalıklarına faydalı olduğu bilinmektedir. Antioksidan madde yönünden de zengin olduğu için kalp hastalıklarına yakalanma, kalp krizi geçirme ve katarakta tutulma riskini de azaltır. Potasyum minerali yönünden zengin olduğu için de yüksek tansiyonu düşürür, tansiyonu belli düzeyde tutar [5].

Dünyada brokoli ve karnabahar üretiminde ilk beş ülke Çin, Hindistan, İspanya, Meksika ve İtalya'dır [6].

Gıdaların kurutulması eski zamanlardan günümüze kadar devam eden; kullanılan enerjinin azaltılması ve kalitenin yükseltilmesi için kendini teknolojik gelişmelere sürekli uyarlamak zorunda olan bir temel işlemdir. Gıda işleminde kurutma, yeni ürün formülasyonlarının tasarlanabilmesine ve aynı zamanda meyve ve sebzelerin raf ömürlerinin uzatılabilmesine imkân vermektedir [7].

Meyve ve sebzeleri kurutmaya başlamadan önce, amaca ve ürüne uygun bir kurutma yöntemi seçilmelidir. Tek bir kurutma yönteminin tüm gıdalar için ekonomik ve son ürün kalitesi açısından uygun olduğunu söylemek mümkün değildir. Dolayısıyla son ürünün arzu edilen kalite kriterlerine uygun olması ve aynı zamanda da ekonomik olarak üretilebilmesi için farklı ürünlere farklı kurutma işlemleri optimum kurutma parametreleriyle uygulanmalıdır [7].

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada, brokoli ve karnabahar sebzelerinin kurutma karakteristikleri incelenecektir. Sebzeler, kurutulmadan önce ön işlem olarak farklı sıcaklıklarda ve sürelerde su ve sitrik asit çözeltisi ile muamele edilerek kurutulacak, bu işlemlerin kurutma karakteristiklerine olan etkileri araştırılacaktır. Ayrıca rehidrasyon özellikleri belirlenecektir.

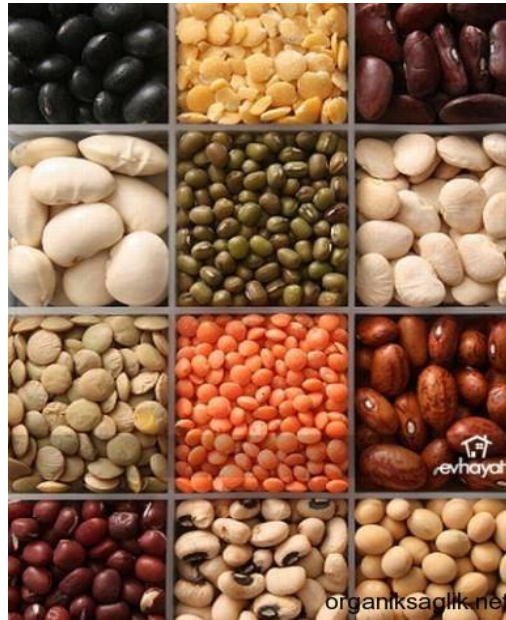
1.3 Orijinal Katkı

Çalışmada brokoli ve karnabahar örnekleri farklı sıcaklıklarda kurutulmuş ve her bir sıcaklık için kurutma eğrileri çizilmiştir. Matematiksel modelleme çalışmaları yapılmış, farklı denklemlere ait katsayılar, regresyon katsayısı, khi-kare ve RMSE değerleri hesaplanarak yorumlanmıştır. Farklı sıcaklıklarda ön işlem sıcaklığı ve ön işlem süresi uygulanarak örneklerin kurutma karakteristiklerine olan etkileri araştırılmıştır. Difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjileri hesaplanmış, literatürden bulunan değerlerle karşılaştırılmıştır. Son olarak sebze örneklerinin rehidrasyon özellikleri incelenmiştir. Araştırma sonuçlarının, gelişmekte olan kurutma sektörüne, özellikle de hazır gıda ve hazır çorba üretim teknolojisine faydalı olması beklenmektedir.

BÖLÜM 2

KURUTMA

Gıdaların kurutularak dayanıklı hâle getirilmesi, insanların doğadan öğrendiği bir yöntem olup, ilk çağlardan beri uygulanmaktadır. Bu yöntem, doğada çoğu zaman kendi kendine gerçekleşmekte ve Şekil 2.1’de görüldüğü gibi çeşitli ürünler (kuru baklagiller, tahıllar gibi) tarlada kendi hâlinde kuruyarak dayanıklı hâle gelmektedir. Doğada kuruma, güneş ısıyla gerçekleştiğinden kurumanın her yerde ve her zaman bu yolla sağlanması olanaksızdır. Ayrıca her ürünün güneşte kurutulması da doğru değildir. Bu yüzden birçok ürünün diğer yöntemlerle kurutulma yolları geliştirilmiştir [8].



Şekil 2.1 Doğada kendiliğinden (doğal olarak tarlada) kuruyan baklagiller [9]

2.1 Kurutmanın Tanımı

Gıda maddelerinin içerdiği nemin, kontrollü koşullarda buharlaştırılması işlemine “kurutma” veya “dehidrasyon” denir. Kurutma ve dehidrasyon terimleri aynı anlamda kullanılsa da genel olarak doğal koşullarda yapılan işlem için kurutma, kapalı ortamlarda sıcak hava veya vakum vb. yoluyla yapılan işleme dehidrasyon denilmektedir [8].

Gıdaların kurutulması, insanlığın doğadan öğrendiği ve bu yüzden ilk çağlardan beri uygulanmakta olan en eski gıda muhafaza yöntemidir. Öyle ki kurutma işlemi tabiatta çoğu zaman kendi kendine gerçekleşmekte ve örneğin, çeşitli tahıllar ve baklagiller tarlada kendi halinde kuruyarak dayanıklı hale gelebilmektedir. Birçok gıda muhafaza yöntemi arasında kurutmanın yeri ve ayrıcalıkları değişik açılardan irdelenebilir. Her şeyden önce, gıdadaki mevcut su, onun bozulmasına olanak vermeyecek bir düzeye kadar azaltıldığı için kesin bir muhafaza olanağı doğmaktadır. Kurutulmuş gıdalar, diğer yöntemlerle dayandırılanlardan farklı olarak besin öğeleri açısından yoğunlaştırılmış bir nitelik kazanmışlardır. Ayrıca kurutma en ucuz dayandırma yöntemidir. Nitekim kurutulmuş gıda üretiminde, daha az işçilik ve daha az ekipman gerektiği gibi bunların depolanması ve taşınmasında da daha az masraf yapılır [10]. Şekil 2.2’de kurutulmuş bazı sebzeler görülmektedir.



Şekil 2.2 Kurutulmuş bazı sebzeler [11]

2.2 Gıda İşlemede Suyun Önemi

Gıdaların temel bileşenleri olarak su, karbonhidratlar, yağlar, proteinler, organik asitler, vitaminler, mineral maddeler, renk maddeleri, aromalar, alkoller ve yabancı maddeler sayılabilir [8].

Su, gıdaların en önemli bileşenidir. Gıdalar %3-95 oranlarında su içerirler. Gıda işlemede en önemli konu suyun fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal açıdan kontrol altına alınmasıdır. Bir gıdada su ne kadar çok bulunuyorsa, o gıda o kadar çabuk bozulmaktadır. Çünkü su, gıdalarda meydana gelen enzimatik ve mikrobiyolojik reaksiyonları hızlandırmakta ve mikroorganizmaların (küf, mantar, bakteri gibi) çoğalmasına yardımcı olmaktadır [8].

Genel olarak kurutma ile gıda maddelerinin içerdikleri suyun büyük bir bölümünün kontrollü koşullarda ısı uygulayarak buharlaştırma ya da süblimasyon yolu ile uzaklaştırma işlemi kurutma olarak tanımlanmaktadır. Kurutma sonucu olarak gıdalar uzun süre bozulmadan korunabilmektedir. Bilindiği gibi su gıdaların bozulmasında en önemli etmen olarak karşımıza çıkmaktadır [12].

2.3 Başlıca Kurutma Çeşitleri

Kurutma yöntemi doğal kurutma ve yapay kurutma olarak iki ana gruba ayrılmakta beraber kurutma işleminin gerçekleştiği mekanizmaya bağlı olarak “konveksiyon kurutma”, “kontakt kurutma” ve “radyasyon kurutma” olmak üzere başlıca üç farklı kurutma yöntemi söz konusudur [8].

2.3.1 Konveksiyon kurutma

Konveksiyon kurutmada suyun buharlaşması için gerekli ısı, bir gaz tarafından yani çoğunlukla olduğu gibi hava tarafından taşınır. Sıcak hava, kurutulacak materyalin içinden, üzerinden ve arasından geçirilir ve genel olarak; sıcak hava kurutma tekniği olarak bilinir.

Kabin kurutucular, sandık kurutucular, tünel kurutucular, akışkan yatak kurutucular, püskürterek kurutucular, bu yöntemin bazı uygulamalarıdır [8].

2.3.2 Kontakt kurutma

Kontakt kurutma yönteminde ise buharlaşma için gerekli ısı, kondüksiyon mekanizmasıyla taşınır. Yani, kurutulacak madde hareketsiz kalırken veya hareket ederken maddeye temas ettiği sıcak yüzeyden kondüksiyonla ısı taşınır. Yöntemin en yaygın uygulama şekli valsli (silindirik) kurutuculardır [8].

2.3.3 Radyasyon kurutma

Radyasyon kurutmada, kurutulacak materyale ısı, herhangi bir maddi taşıyıcıya gerek duyulmaksızın sistemdeki bir radyasyon kaynağı ile ulaştırılmaktadır. Başka bir ifadeyle radyasyon ile kurutmada; mikrodalga, dielektrik veya infrared gibi elektromanyetik enerji türlerinden yararlanılmaktadır [8].

Kurutulacak materyale hangi kurutma yönteminin uygulanacağı, hangi tip cihazın kullanılacağı, materyalin nitelikleri ve kurutulmuş ürünün kullanılma alanı vb. gibi çeşitli faktörler göz önünde tutularak belirlenir. Bu konuda kurutulacak maddenin özellikle sıvı, katı veya lapa halde oluşu gibi fiziksel niteliği çok önemlidir. Örneğin sıvı haldeki bir maddeye valsli ve püskürterek kurutma yöntemi uygulanabildiği halde, katı parçacıklar halindeki maddelerde bu yöntemlerin uygulanması olanaksızdır. Diğer taraftan yüksek sıcaklık, gıda maddelerinin niteliklerinde önemli değişikliklere neden olduğundan, herhangi bir gıdanın kurutulmasında uygulanan yöntem, bu açıdan dikkatle seçilmelidir [8].

2.4 Kurutmanın Amaçları

Kurutma işleminin başlıca amaçları şunlardır:

- Gıda maddesinin dayanma süresini uzatmak,
- Ürün hacminin küçültülmesi sonucu depolama ve taşımada tasarruf sağlamak,
- Yeni ürün formülasyonları geliştirmek şeklinde sıralanabilir [7].

Gıda maddelerinin kurutulmasının birinci ve en önemli amacı, dayanma süreleri kısa olan ürünlerin dayanma sürelerini arttırmaktır. Nem içerikleri belirli bir miktarın altına düşürülmüş olan gıdalar, normal atmosfer koşullarında, kimyasal, enzimatik ve

mikrobiyolojik bozulmalara karşı daha dayanıklıdır. Kurutulan pek çok gıda maddesinin hacmi de önemli oranda azaldığından taşıma ve depolamada kolaylık sağlanır. Bunlardan başka, gıda maddeleri hammadde, ara madde ve mamul maddeye istenilen fiziksel ve kimyasal özelliklerin kazandırılması için de kurutulurlar. Son olarak, gıdaların dondurulması işleminde olduğu gibi, enerjiden tasarruf etmek amacıyla da kurutma işlemi yapılmaktadır [8].

Genel olarak meyve ve sebzeler, güneşte veya yapay kurutucularda kurutulabilmektedir. Ancak her ürün, güneşte kurutulmaya uygun değildir. Ayrıca her yer, her bölge, güneşte kurutma uygulanmasına elverişli olmayabilir. Özellikle kurutma yapılacağı sıradaki iklim koşullarına son derece bağlıdır. Ayrıca güneşte kurutma hijyenik değildir; kurutulan ürün açık alanda, toz, rüzgar, çeşitli böcek, kuş ve benzeri hayvanların zararına açıktır. Bunun gibi, güneşte kurutulan meyvelerde solunumun bir süre devam etmesi ve hatta çoğu kez hafif bir fermentasyon belirmesi nedeniyle, madde kayıpları oluşmakta ve sonuçta randıman, yapay kurutmaya göre biraz düşmektedir. Ancak, güneşte kurutulmuş bazı meyvelerin renginin, yapay yolla kurutulanlardan daha iyi olduğu gözlenmektedir. Bunun nedeni ise; güneşte kurutmada, tam olgunlaşmamış bazı meyvelerde kurutma başlangıcında olgunlaşmanın devam ederek renkte olumlu bir gelişme olmasıdır. Bütün bunlara ek olarak güneşte kurutmanın geniş bir alan gerektirmesi başka bir dezavantajdır. Tüm bu olumsuz yönlerine rağmen güneşte kurutma, yapay kurutmaya göre daha ekonomik bir yöntemdir. Yurdumuzda çeşitli bölgeler güneşte kurutma uygulamasına son derece elverişli olup, başta üzüm ve kayısı gibi ürünler güneşte başarıyla kurutulmaktadır [8].

Yapay kurutmada, güneşte kurutmanın birçok olumsuzlukları ortadan kaldırılmış olup, daha iyi kalitede ürün alınabilmektedir. Özellikle yapay yolla kurutulmuş sebzelerin pişme özellikleri daha üstündür. Buna karşın yapay kurutma; gerek kuruluş yatırımı ve gerekse işletme masrafları açısından güneşte kurutmaya göre daha maliyetli bir yöntemdir [8,13].

Çizelge 2.1’de yapay kurutma ve doğal kurutma yöntemleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 2.1 Yapay kurutma ve doğal kurutmanın karşılaştırılması [13]

Yapay kurutma	Doğal kurutma
Son ürün nemi %6-7'lere düşer.	Son ürün nemi %13-18'lere düşer.
Kısa süreli bir metottur.	Uzun süreli bir metottur.
Az alan gerektirir.	Geniş alan gerektirir.
Mikrobiyolojik açıdan daha hijyeniktir.	Mikrobiyolojik açıdan hijyenik değildir.
Daha kaliteli ürün elde edilir.	Daha düşük kalitede ürün elde edilir.
Kontrollü kurutma gerçekleştirilir.	KontROLSÜZ kurutma gerçekleştirilir.
Ürünler radyasyona maruz kalmaz.	Ürünler radyasyona maruz kalır.
Ürün randımanı yüksektir.	Ürün randımanı düşüktür.
Daha pahalı bir yöntemdir.	Daha ucuz bir yöntemdir.

Kurutulmuş ürünlerin çoğunun özel kullanım alanları vardır. Örneğin, birçok ülkede bir endüstri halinde gelişmiş olan kuru çorba üretiminin hammaddesi kurutulmuş sebzelerdir [8].

Kurutma işleminde başarılı olabilmek için aşağıdaki hususların sağlanması gerektiği belirtilmiştir:

- a) Ürün kalitesi açısından;
 - Minimum kimyasal ve biyokimyasal bozulma reaksiyonları,
 - Ürün yapısının korunması,
 - Suyun, gıdanın aroma ve tadını etkilemeden seçici olarak uzaklaştırılması,
 - Son ürünün arzulanan renkte olması,
 - Hızlı ve kolay rehidrasyon,
 - Kurutma sırasında mikrobiyal bulaşma olmaması.

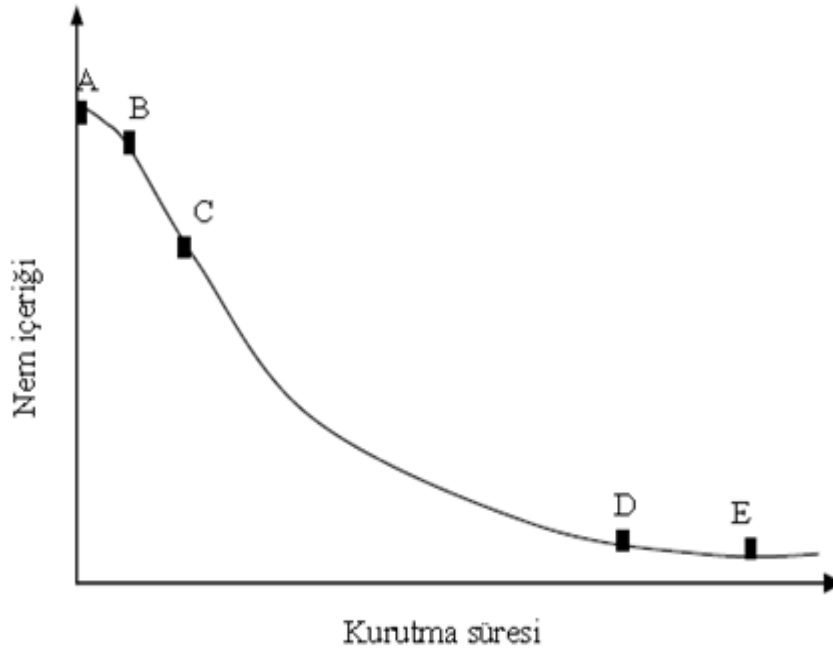
b) Kurutma ekonomisi açısından;

- Minimum ürün kaybı,
- Suyun hızlı bir şekilde uzaklaştırılması
- Ucuz enerji kaynağı,
- Güvenilirlik ve minimum işçilik [7].

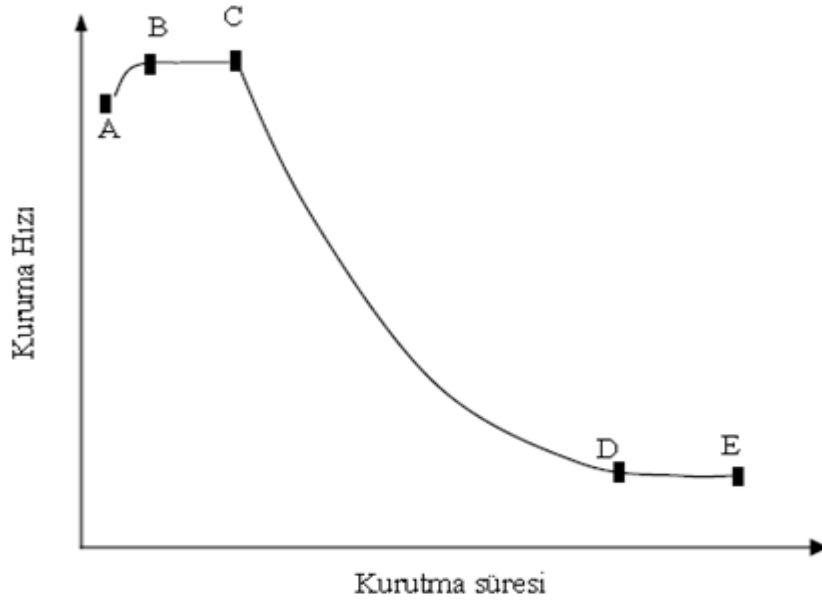
2.5 Kuruma Hızı Eğrileri

Kurutma, bir ısı ve nem transferi işlemidir. Kurutma sırasında, gıda maddesine bünyesindeki suyun buharlaşması için gerekli ısı sıcak havayla verilir. Ayrıca hava, buharlaşmış olan suyun gıda yüzeyinden ayrılmasını sağlar [8].

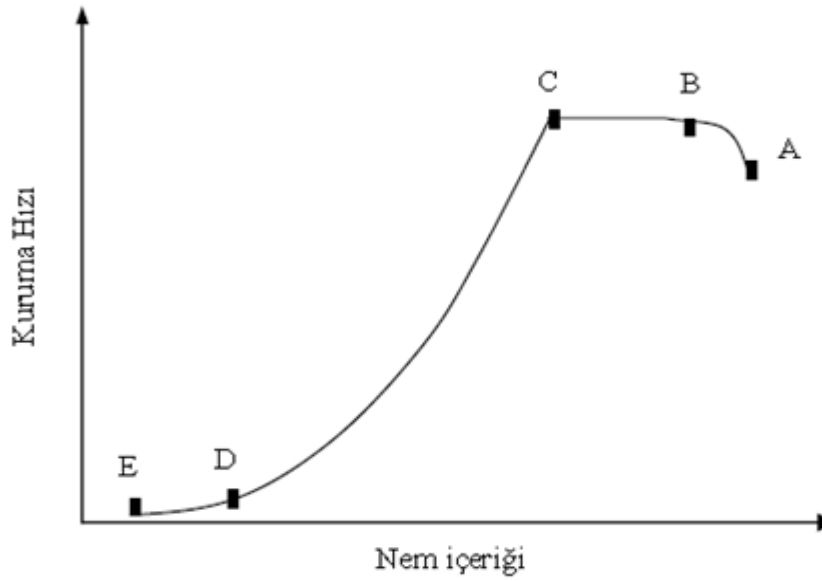
Kurutulmakta olan bir gıda maddesinin nem düzeyi ile kuruma süresi arasındaki ilişki, kuruma eğrileri ile belirlenebilir. Şekil 2.3-2.5'te kuruma eğrileri görülmektedir [8].



Şekil 2.3 Ürünün nem içeriğinin kurutma süresiyle değişimi [14]



Şekil 2.4 Kuruma hızının kurutma süresiyle değişimi [14]



Şekil 2.5 Kuruma hızının ürün nem içeriğiyle değişimi [14]

Bu kuruma diyagramlarından da anlaşılacağı gibi kurumada üç önemli aşama vardır:

A-B Bölgesi: Gıda maddesinin yüzey koşullarının sıcaklık ile dengeye gelmesidir. Bu bölgede kuruma hızında bir artma görülmekle birlikte tüm kuruma işleminin çok az bir bölümünü oluşturduğundan göz önüne alınmayabilir [14].

B-C Bölgesi: Bu bölge, kurumanın sabit kuruma bölgesi olarak adlandırılır. Burada yüzey, su ile doymuş durumdadır. Çünkü yüzeyden kuruma ile su uzaklaştıkça gıda maddesi içerisinde difüzyon ve kapiler güçler yardımıyla yüzey sürekli beslenmektedir. Yüzeyden buharlaşma ile olan kuruma hızı difüzyon hızından daha yavaştır. Kurutma sırasındaki kütle transferi ile ısı transferi belli bir denge oluşturmakta ve bu nedenle kuruma yüzeyi sıcaklığı sabit kalmaktadır [14].

C-D Bölgesi: Kuruma hızının gıda içerisinde gelen suyun difüzyon hızını aşması durumunda kuruma hızı düşmeye başlamakta ve bu noktadaki nem içeriği kritik nem olarak tanımlanmaktadır. Kritik nem, her gıda maddesi için farklıdır. Ancak genel olarak birçok gıda maddesinin kritik nemi, bu gıdanın %50-60 bağıl nemli hava ile dengeye eriştiği zaman içerdiği su miktarına eşittir. Kritik nemden itibaren yüzey sıcaklığı yükselmekte ve kuruma durumuna göre kuru termometre sıcaklığına doğru yaklaşmaktadır. Şekil 2.4'de görüldüğü gibi genellikle azalan hız periyotları, birinci (C-D bölgesi) ve ikinci (E-D bölgesi) azalan hız periyodu olmak üzere iki kısımdan oluşur [14].

2.6 Kuruma İşlemine Etki Eden Faktörler

Bir gıda maddesinin yüzeyinden suyun buharlaşma hızını saptayan faktörler: Sıcaklık derecesi, kurutucu havanın nemi ve hızı, üründe maksimum yüzey alanı sağlayan geometrik şekil (parça büyüklüğü, şekli, kalınlığı), kurutma ortamının basıncı (atmosferik, vakum) gibi fiziksel faktörler ile ürünün kendine özgü diğer özellikleridir [15].

Kimyasal özellikler: Gıda içerisinde şeker, tuz ve benzeri küçük moleküllü maddeler varsa daha zor kuruduğu görülür. Nişasta ve pektince zengin olan maddelerin kurutulması da oldukça zordur. En zor uzaklaştırılan su ise hidrat formunda kimyasal bağlı sudur [15].

Aynı şekilde, ortamda yağ bulunması kuruma hızını olumsuz olarak etkileyen bir faktördür; çünkü yağ damlacıkları su moleküllerinin etrafını sardığından böyle bir sistemde suyun buharlaşarak uzaklaşması da çok güçtür [15].

Hava Hızı: Gıdaların kuruma hızına etki eden diğer bir faktör, kurutucudaki kurutma havasının hızıdır. Havanın, hızının çok düşük olması halinde doymuş halde olmayan

kurutma havası ile yer değiştirmesi zaman alır, madde yüzeyinde biriken nem zamanında uzaklaştırılmaz ve böylece madde yüzeylerine doğru olarak hareketi engellenir. Ancak, yüksek kurutma havası hızlarında, doğgun havanın, hava dolaşımı sayesinde doğgun halde olmayan kurutma havası ile yer değiştirmesi daha çabuk olacağından, kurutma işlemlerinde yüksek hava hızı tercih edilir. Fakat hava hızı çok yüksek olursa buharlaşma hızı da artmakta ve dış yüzey iç kısımlara göre daha çabuk kuruyarak yüzeye doğru olan su akışındaki düzen bozulmaktadır. Bu nedenle kurutma havasının hareket hızının belli sınırların üstüne çıkması kurutmanın kalitesi bakımından önemlidir [15].

Hava Sıcaklığı: Kurutma işlemi sırasında sıcaklık derecesi arttıkça difüzyon hızı artar, buna bağlı olarak kuruma hızı yükselir ve kurutma süresi kısalır. Ancak, her maddenin çıkabileceği belirli bir sıcaklık derecesi vardır. Bu sıcaklığın üzerine çıkarıldığı takdirde maddelerde çatlama, renk değişmesi ve içine göçme gibi kurutma kusurları ve kalitede kayıplar meydana gelmektedir [15].

Ortamın nem içeriği: Kurutulan gıdanın içerdiği nem miktarı ortamda bulunan su buharı miktarına göre değişiklik göstermektedir. Ortamın nemi arttırıldığında ve azaltıldığında maddedeki nem değişimi farklı karakteristiklere sahip olmaktadır [15].

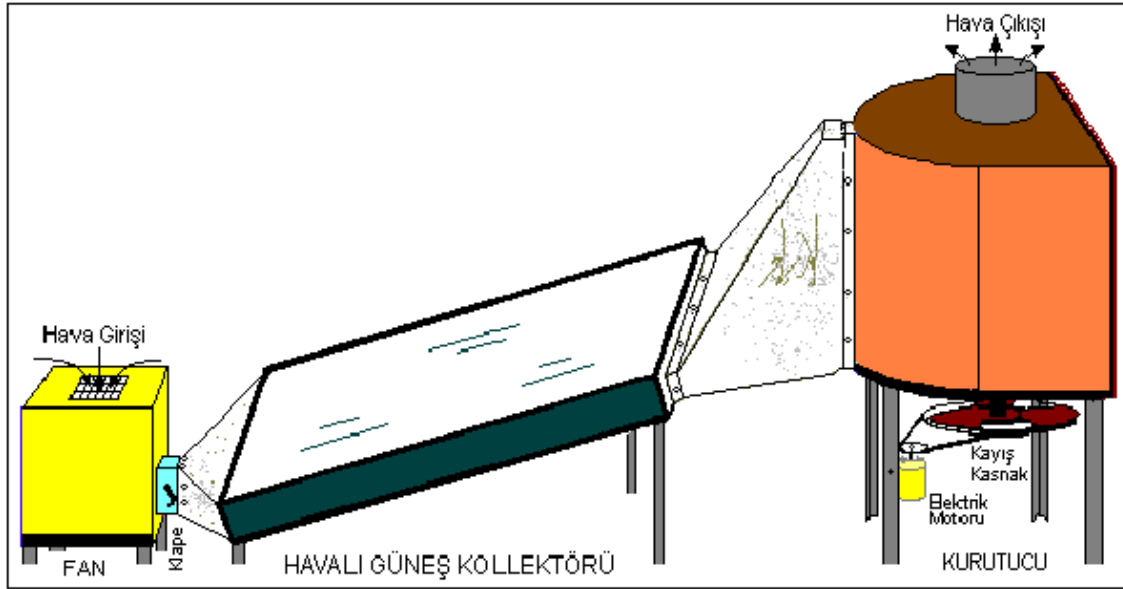
Kurutulan gıdanın yüzey alanı: Kurutulacak gıdanın birim yüzey alanı, ısı ve kütle aktarım hızını etkilediğinden daha büyük yüzey alanı elde ederek daha geniş bir yüzeyde ısı transferini sağlayabilmek için, ürün küçük parçalara ya da ince dilimlere bölünmelidir [15].

Kurutma ortamının basıncı: Çevre hava basıncı düştükçe kurutma hızı, yani buharlaşma yükselir [15].

2.7 Kurutma Sistemleri

Güneşte kurutma, insanoğlunun doğadan öğrendiği bir yöntem olarak güneş enerjisinden yararlanılarak açık havada yapılan kurutma işlemidir. Tabii kurutma olarak da isimlendirilir. Güneş kollektörlü kurutma yöntemi ise, güneş enerjisi ve çeşitli yakıtlardan yararlanılarak yapılan kurutmadır. Şekil 2.6'da güneş kollektörlü kurutma sisteminin genel görünümü verilmiştir. Sistemde güneşli mevsimlerde güneş enerjisinden, güneş enerjisinin yeterli olmadığı günlerde ise katı, sıvı veya gaz

yakıtlardan sıcak hava elde edilmektedir. Fazla yatırım gerektirmediği ve kaliteli ürün elde etme imkânı olduğu için özellikle güneşte kurutmanın yerine tavsiye edilmektedir [8].



Şekil 2.6 Güneş kollektörlü kurutma sistemi [12]

Dondurarak kurutma yönteminde ise, kurutulacak madde önce dondurulur sonra oluşan buz, vakumla buhar hâlinde emilir ve su buharı buz kondansatörlerinde dondurularak uzaklaştırılır. Bu yöntemle kurutulan ürün, duyuşal özellikleri ve besin ögesi değeri yönünden üstündür. Ancak yatırım masrafı yüksektir. Dondurarak kurutma farmakolojik ürünler, serumlar, bakteri kültürleri, meyve suları, sebze, kahve ve çay özlerinin eldesinde, et ve süt üretiminde uygulanabilir [10].

Kurutma tesislerinde, dışarıdan alınan havanın bir ısıtıcı yardımıyla ısıtıldıktan sonra kurutulacak gıda maddesiyle temas ettirilmesiyle yapılan kurutma işlemi ise yapay kurutma işlemidir. Birçok çeşidi vardır. Bunlar:

2.7.1 Kabin kurutucular (Tavali)

Çok çeşitli kabin kurutucu tipleri vardır. Çalışma ilkeleri hepsinde aynıdır. Kurutulacak ürün alt tarafı ızgara şeklinde bir tür tepsi olan “kerevet”lere yerleştirilir. Kerevetler üst üste getirilerek vagon oluşturulur ve kurutma kabine alınır. Kurutma boyunca kerevetler hareketsiz kalırken sıcak hava kabinin yan duvarlarındaki ayarlanabilir panjurlarından girerek kerevetler arasından geçer. İçeriğindeki nemli hava da aynı

şekilde yan duvarlardan kabin dışına çıkarak ısıtıcıya ulaşır. Kabin kurutucular, çoğunlukla az miktarda ürün kurutmak üzere imal edilir [8]. Kabin kurutucunun genel görünümü Şekil 2.7’de görülmektedir.



Şekil 2.7 Kabin kurutucular [12]

2.7.2 Tünel kurutucular

Bu kurutucularda kurutma kabini, uzun bir tünel şeklinde yapılır. Tünelin içine tepsilerin yerleştirildiği arabalı raflar sırayla sokulur. Bu arabalı raf düzeni, zaman zaman ileri doğru hareket ettirilir. Tünelin bir ucundan kurumuş ürünleri içeren raf arabası çıktığında, diğer uçtan yaş ürünle yüklenmiş yeni bir araba tünele sokulur. Raflarla tünelin iç yüzeyleri arasındaki boşluğun 5 cm’den fazla olmamasına dikkat etmek gerekir. Aksi takdirde, kurutma havası rafların arasından geçmeyip bu boşluklardan akar [10].

Çeşitli tipteki tünel kurutucularda hava ve ürünün birbirlerine göre hareket yönleri farklıdır. Eğer arabalarla sıcak hava aynı yöne hareket ederse bu tip tünellere “paralel akış tüneli” denir. Bu tip tünel kurutucularda sıcak hava, önce taze ürünle karşılaşır, gittikçe soğuyup nemi artarken daha ileri düzeyde kurumuş olan ürünle temas eder. Sıcak hava ile arabaların hareketi birbirine zıt yönde ise bu tip tünellere “zıt akış tüneli” denir. Bu tip tünellerde sıcak ve kuru hava ilk önce en fazla kurumuş olan ürünle temas eder. Daha sonra gittikçe soğuyarak nemi artarken son defa ıslak ürünle temas eder.

Diğer taraftan bir bölmesi paralel akış, diğer bölmesi zıt akışlı olan iki kademeli tüneller de vardır. İki kademeli tünellerin birinci aşaması genellikle paralel akış tüneli, ikinci aşaması ise zıt akış tüneli şeklindedir. Meyve ve sebzelerin kurutulmasında genellikle en yaygın kullanılan sistem paralel ve zıt akış tünelleridir. Zıt akış tüneli, özellikle erik gibi yumuşak meyveler için çok uygundur. Aksi hâlde kurumanın ilk aşamasında ürünün öz suyu dışarı çıkar. Tünel kurutucular çeşitli kapasitelerde yapılabilir. 5–6 araba (vagon) alabilecek tünelden, 15 araba alabilecek kadar büyüklükte olanlara kadar farklı kapasitelerde tünel kurutucular vardır [8].

2.7.3 Konveyör kurutucular

Konveyör kurutuculara sürekli bant sistemi de denir. Çalışma ilkesi, tünel kurutucular gibidir. Bu tip kurutucularda tünel kurutuculardaki kerevet ve vagonların yerine sürekli çalışan bir bant bulunur. Paslanmaz çelikten yapılmış elek şeklinde bir bantla taşınan ürüne, alttan ve üstten sıcak hava verilmektedir. Konveyör kurutucular, bir sezon boyunca aynı ürünü büyük miktarda kurutmaya elverişlidir ve genel görünümü Şekil 2.8’de gösterilmiştir. Elma, havuç, soğan ve fasulye gibi doğranmış, kıyılmış, parça hâlindeki gıdaların kurutulmaları için uygundur [8].



Şekil 2.8 Konveyör kurutucu [16]

2.7.4 Akışkan yatak kurutucular

Akışkanlaştırılmış yatakta tanecik yapısındaki maddeler arasından hava akımı geçirilir. Toz veya taneli yapıdaki kurutucular madde ile akışkanlaştırma gazı arasında temas çok iyi olduğundan, kurutma havası ve tanecikler arasında ısı transferi de etkin şekilde

gerçekleşir. Bu mekanizma ile büyük sıcaklık farkları sakıncası olmaksızın maddelerin kurutulması mümkündür.

Otomatik yükleme ve boşaltmanın mümkün olduğu bu sistemin en önemli avantajı, kurutma işleminin kısa sürede tamamlanmasıdır [10]. Şekil 2.9'da akışkan yatak kurutucunun genel görünümü gösterilmiştir.



Şekil 2.9 Akışkan yatak kurutucu [17]

2.7.5 Sandık kurutucular

Sandık kurutucular; özellikle sebzelerde, kurumanın son aşamasında kullanılan kurutma sistemleridir. Bu bakımdan bunlar bağımsız kurutucular değildir; ancak tünel veya konveyörde kurutulmuş sebzelerdeki nem oranının, istenen son düzeye düşürülmesinde yararlanır. Sandık kurutucularda ilke, ana kurutucuda kurutulmuş ürünün bir sandığa doldurulup, alttan ılık ve kuru hava verilmesinden ibarettir. Böylece, örneğin büyük bir tünelin 30-35 saat süreyle büyük işletme masraflarıyla işgal edilmesi yerine, birkaç metreküp bir sandık kullanılarak aynı amaca ulaşılmakta, böylece hem yerden hem de işletme masraflarından tasarruf sağlanabilmektedir [8].

2.7.6 Diğer kurutma çeşitleri

Meyve ve sebzeler parçacıklar veya taneler hâlinde yukarıda anlatılan sistemlerde kurutulur. Ancak meyve ve sebzelerden elde edilen domates suyu, meyve suyu ve patates püresi gibi sıvı ve yarı sıvı ürünlerin kurutulmasında başka yöntemlerden yararlanılmaktadır. Bu yöntemler arasında püskürtme sistemli kurutucular, valsli

kurutucular, vakumlu kurutucular, puf kurutucular ve köpük kurutucular gibi değişik sistemler sayılabilir [8].

2.8 Kurutma Sırasında Ürün Kalitesine Etki Eden Etmenler

2.8.1 Kurutma sıcaklığı

Kurutma sıcaklığı, gıdanın içerdiği su ile alakalı bir parametredir. Katı gıdaların bünyesinde serbest su bulunduğu sürece sıcaklığı fazla yükselmez ve çevresinden ısı alır. Su buharlaşırken yüzey soğur ve su sıvı halden gaz hâline geçerken çevreden sürekli ısı alır [8].

2.8.2 Kurutma süresi

Yüksek sıcaklıkta kısa sürede kurutmak doğrudur. Uzun süre yüksek sıcaklığa maruz kalma gıdanın besleyici içeriğinin kaybolmasına yol açmaktadır. Fırında 4 saatte kurutulan sebzenin kalitesi güneşte 2 günde kurutulan sebzenin kalitesinden daha iyidir. Kurutma süresi ürünün cins ve miktarına göre değişiklik gösterir. Önemli olan kurutmayı kısa sürede gerçekleştirmektir [8].

2.8.3 Kurutma % nem oranı

Kurutulan ürünün nem oranı %10 civarında olmalıdır. Nem oranı bu değer altında olduğu zaman kullanım sırasında su çekme özelliği değişir ve sert bir yapı oluşturur. Bu oran %10'un üstünde olduğu zaman ise depolama süresi kısalarak mikroorganizmaların üremesi için ortam şartları uygun hale getirilmiş olur [8].

2.9 Rehidrasyon (Tekrar Su Alma Yeteneği)

Ürünün kullanılması sırasında verilen su ile eski hâline dönüşebilme düzeyidir. Yani kurutulmuş bir ürün, suda bekletilince taze hâlde içerdiği kadar su alarak eski hâline ve şekline dönüşürse mükemmel nitelikte olduğu kabul edilir [8].

Kurutulmuş ürünlerin rehidrasyon yeteneği bizzat fiziksel bir olaya da, bunun kurutma sırasında azalması, materyaldeki kimyasal, fizikokimyasal ve fiziksel değişmelerle ilgilidir. Nitekim kurutma koşullarına bağlı olarak buruşma ve parçalanma sonucu,

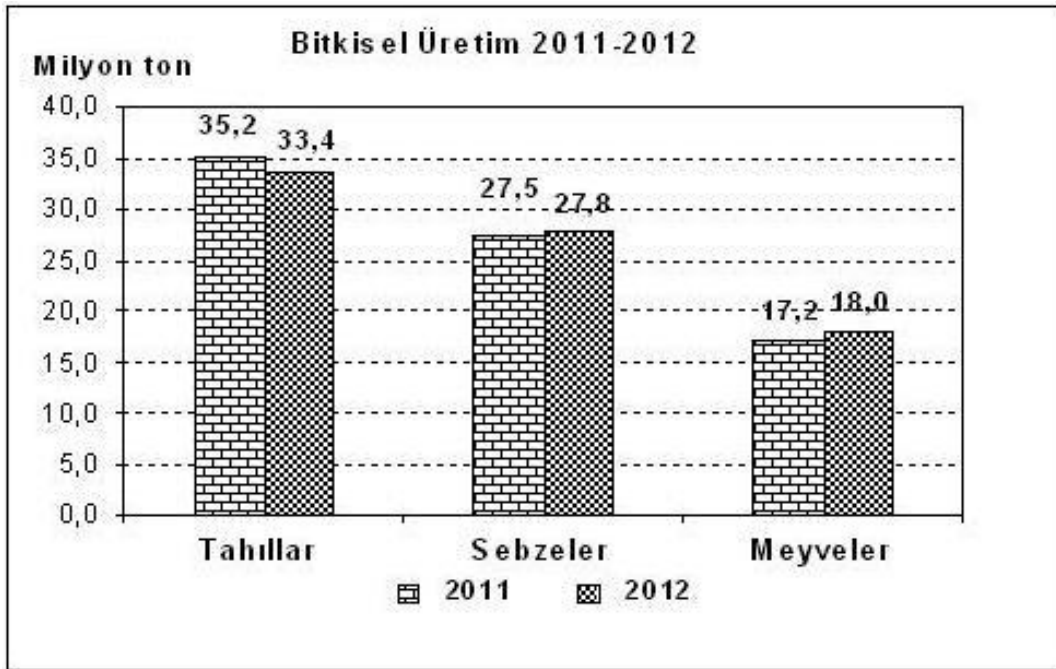
hücreler ve dokunun kapiler yapısının bozulması, rehidrasyonu olumsuz yönde etkileyen fiziksel faktörlerdir. Buna karşın rehidrasyon yeteneği daha çok, kimyasal ve fizikokimyasal nedenlerle etkilenmektedir [16].

Kurutulmuş bir ürünün rehidrasyon yeteneği, onun suda belli koşullarda ıslatılması sonucu kazandığı su miktarıyla ölçülür. Ancak rehidrasyon sırasındaki koşullar, özellikle suyun sıcaklığı ve süre, rehidrasyon yeteneği üzerine son derece etkilidir. Donmuş ürünlerin donunun çözülmesinde olduğu gibi, kurutulmuş ürünlerin rehidrasyonu sırasında kaybedilen kuru madde, kuru ürünün kalitesinin bir ölçüsüdür. Rehidrasyonda, sadece yeterli miktar su kullanılarak bu kayıp azaltılabilir [16].

BÖLÜM 3

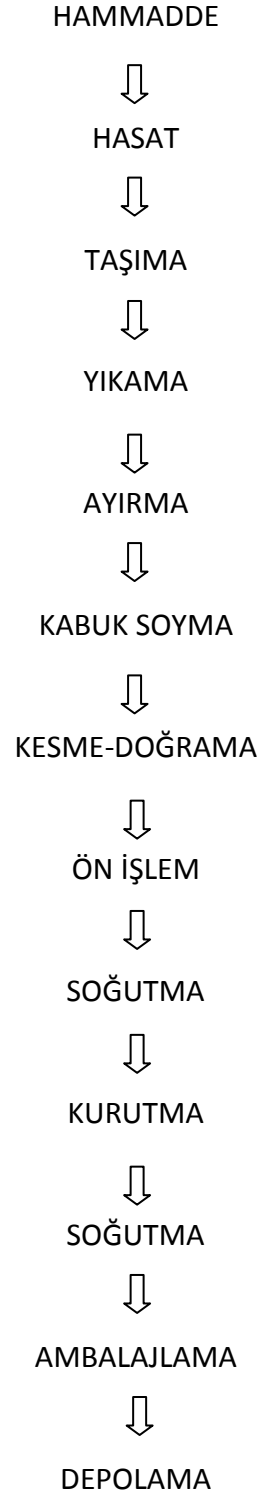
SEBZE KURUTMA

Şekil 3.1’de gösterilen 2011-2012 yıllarında bitkisel üretim miktarlarındaki değişim grafiğine göre, Türkiye’de sebze üretiminde 2012 yılında bir önceki yıla göre artış meydana gelmiştir. 2012 yılında sebze ürünleri üretim miktarı bir önceki yıla göre %0,7 oranında artarak yaklaşık 27,8 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Sebze ürünleri alt gruplarında üretim miktarları incelendiğinde yumru ve kök sebzelerde %11,2 oranında azalış, başka yerde sınıflandırılmamış diğer sebzelerde %0,6 oranında, meyvesi için yetiştirilen sebzelerde ise %2,6 oranında artış gerçekleşmiştir [18].



Şekil 3.1 2011-2012 yıllarında bitkisel üretim miktarlarındaki değişim [18]

Sebzeler yaş olarak tüketilmesinin yanısıra kurutularak da tüketilmektedir. Şekil 3.2’de sebze kurutma basamakları gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Sebze kurutma akım Şeması [8]

3.1 Hammadde ve Hasat

Sebzelerin pazar için hazırlanmasında ilk adım hasattır. Bu işlemde hasat olgunluğunun saptanması ve ürünün toplanması önemlidir. Bitki veya toprak üzerinde belirli bir gelişme aşamasına erişen veya gelişmesini tamamlayan sebzeler bitkiden koparılır veya topraktan sökülürler. Bu işleme “hasat” veya “derim” adı verilir [19]. Şekil 3.3’de brokolinin hasatı görülmektedir.

Eğer hasat erken yapılırsa, sebzeler henüz hızlı gelişme dönemlerinde olduğu için yeterli irilik, şekil ve ağırlığa ulaşamamışlardır. Bu nedenle sebzeler küçük kalır ve verim düşer. Buna ilave olarak, sebze bünyesinde kimyasal değişimler tamamlanmadığı için kalite düşük olacaktır. Bu sebzelerde kabuk yapıları olgunlaşmadığı için depolama veya taşıma sırasında ağırlık kaybı ve fizyolojik bozulmalara duyarlılık artacaktır. Hasadın gecikmesi halinde ise dökümler görülür, çürümelere daha hassastırlar ve gelişme devam ettiği için kartlaşma denilen kalite kayıpları görülür [19].

Kurutulacak olan sebzeler:

- En bol bulunduğu mevsimde toplanmalı,
- Hasat olgunluğuna ulaşmış olmalı,
- Doğal rengine sahip olmalıdır.

Kurutmada kullanılacak hammaddenin kaliteli olması, kaliteli bir ürün elde etmenin ön şartıdır. Hasattaki meydana gelen zarar görmeler kaliteyi bozucu, hastalıkları artırıcı ve olgunluğu hızlandırıcı etki yaparlar. Çeşitli ezilme, berelenme, çatlama, çizilmeler ve yırtılmaların önlenmesi için hasada gereken özenin gösterilmesi gerekmektedir [19].



Şekil 3.3 Brokoli sebzesinin hasat edilmesi [20]

3.2 Taşıma

Kurutulacak olan sebzeler zarar görmeyecek biçimde Şekil 3.4'te gösterildiği gibi tercihen plastik kasalar içerisinde sebze için en uygun koşullarda taşınmalıdır. Bu şekilde sebzelerin çizilerek, ezilerek ya da olumsuz ortam koşulları nedeniyle zarar görmesinin önüne geçilmelidir [8].



Şekil 3.4 Plastik kasalarla sebze taşınması [21]

Çizelge 3.1’de bazı yaş sebzelerin taşınma koşulları verilmiştir.

Çizelge 3.1 Bazı yaş sebzelerin taşınma koşulları [22]

Yaş sebzelerin taşınma koşulları				
Ürünler	Sıcaklık (°C)	Süre (gün)	Donma noktası (°C)	Nem (%)
Bakla	6-8	5-7	-1,8	90-95
Bamya	8-12	3-8	-1,8	90-95
Biber (çarli)	9-10	4-7	-0,8	90-95
Biber (dolma)	8-12	4-6	-0,7	90-95
Brokoli	2-4	6-12	-2,0	90-95
Domates	7-8	5-7	-0,8	90-95
Enginar	1-3	7-14	-1,9	90-95
Fasulye	4-8	4-7	-0,9	90-95
Havuç	0-4	8-18	-1,3	90-95
Hıyar	8-12	7-10	-0,5	90-95
Ispanak	2-4	3-6	-0,8	90-95
Kabak (yazlık)	7-10	4-8	-1,8	85-90
Kabak (kışlık)	6-12	10-16	-2,2	75-85
Karpuz	5-7	7-12	-1,4	85-90
Kavun	4-8	5-10	-1,7	85-90
Kereviz	0-4	7-14	-1,3	90-95
Lahana	0-4	6-12	-1,8	90-95
Mantar	0-2	3-5	-1,2	90-95
Patlıcan	8-12	5-8	-1,0	90-95
Kuru soğan	0-4	8-14	-1,8	75-80
Sarımsak	0-4	10-16	-4,1	65-70

3.3 Yıkama

Dökme hâlde veya kasalarla fabrikaya taşınan sebzelerin ısı işlemleri kolaylaştırmak, mikroorganizma yükünü azaltmak ve toz-toprak, tarımsal ilaç, çamur gibi yabancı maddelerden temizlemek amacıyla yıkanması gereklidir. Ürünün cinsine ve özelliğine göre yıkama işlemi üç aşamada gerçekleştirilir. Bunlar;

- Ön yıkama (yumuşatma)
- Yıkama
- Durulama

Sebzelerin yıkanmasında çeşitli ilkelere göre çalışan, Şekil 3.5'te görüldüğü gibi çeşitli yıkama makineleri geliştirilmiştir. En sağlıklı yıkama işlemi, su içinde farklı sistemlerle hareket ettirerek yıkamadır. Tüm yıkama işlemlerinde ilke olarak daima soğuk su ve temiz su kullanılır. Yıkama suyu istenirse 0,5-2 ppm aktif klor içerecek düzeyde klorlanabilir [8].



Şekil 3.5 Sebze yıkama makinası [23]

Sebzeler genellikle su ile yıkanmaya uygundur. Ancak suyla yıkamaya uygun olmayan soğan, sarımsak, kavun, karpuz ve patates gibi sebzeler, yalnızca kuru fırça ile temizlenir [19].

3.4 Ayıklama

Temizlenen sebzelerin kurutulmadan önce ayıklanması gerekir. Bozuk, ezik, küflü ve çürümüş olan sebzeler ya tamamen atılır ya da bozuk olan kısımları kesilerek uzaklaştırılır. Şekil 3.6'da aydınlatmalı ve oturma düzenli bir ayıklama bandı gösterilmektedir. Ayıklama işlemi, sebzeler hareketli bantlar üzerinde ilerlerken bantların her iki yanında bulunan işçiler tarafından yapılır [24].



Şekil 3.7 Aydınlatmalı ve oturma düzenli ayıklama bandı [24]

3.5 Kabuk Soyma

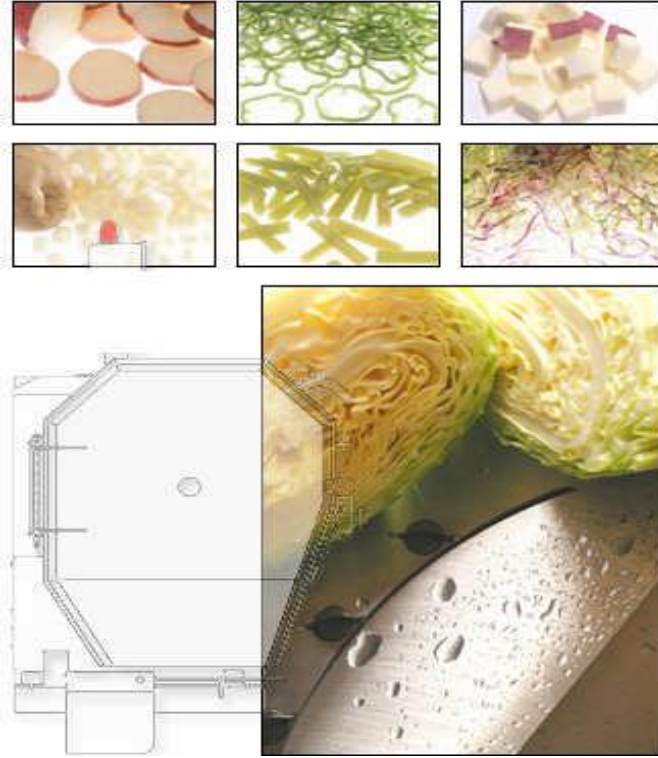
Kurutma işlemi yapılacak bazı sebzelerin kuruma hızını yavaşlattığı için sebzelerin kabukları soyulur. Kabuklar, sebzenin özelliğine göre haşlamadan önce veya sonra soyulabilir. Kabuk soyma işlemi:

- Elle ya da mekanik bir sistemle kabuk soyma
- Isı uygulaması ile soyma
- Dondurarak soyma
- Kimyasal maddelerle kabuk soyma olmak üzere 4 şekilde gerçekleştirilir [8].

3.6 Kesme-Doğrama

Sebzelerin kurumasını hızlandırmak üzere sebzeler ya ikiye ayrılır ya dilimlere bölünür ya da belli bir şekle sahip olmamak üzere doğranır.

Sebzeler için kesim ölçüleri 6x6, 9x9, 20x20 mm boyutlarında veya oval kesimdir. Sebzelerin çeşit ve içeriğine göre değişir. Doğrama işlemi, genellikle müşteri isteği doğrultusunda gerçekleştirilir [24]. Şekil 3.7’de bazı doğrama çeşitleri gösterilmektedir.



Şekil 3.8 Doğrama çeşitleri [24]

3.7 Ön İşlemler

Bezelye, mısır, biber, kabak, bamy, soğan ve yeşil fasulye kurutmak için pratik sebzelerdir. Sebzelerin kurutma özelliklerini iyileştirmek için kurutulmadan önce bazı ön işlemlerden geçmesi gerekir. Ön işlem, sebzelerin kurumadan önce içlerindeki nemin daha hızlı alınması, renklerinin, tatlarının, besin değerlerinin korunması, üzerlerindeki olası mikrobik aktivitelerin engellenmesi ve daha hijyenik olmasının sağlanması, standartlara uygun şekil ile boyut özelliklerinin elde edilmesi için yapılan fiziksel ve kimyasal işlemlerin bütünü olarak tanımlanabilir. Kurutulacak sebzelere uygulanabilecek ön işlemler aşağıda verilmiştir:

a) Haşlama: Sebzeleri kurutma ve depolamada rastlanan en önemli sorunlar renk, tat kaybı ve esmerleşmedir. Bu sorunların temel nedeni, enzim aktivitesinin devam etmesi ve bu aktiviteye bağlı esmerleşmedir. Haşlama ile bu etkiler ortadan kaldırılır [8].

Haşlama ile sebzelerin hücre zarlarını oluşturan dokular daha geçirgen hâle gelmekte ve kuruma daha hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir.

Haşlama işlemi;

- Mikrobiyal yükü hafifletir.
- Gıdaların kurutma süresini kısaltır.
- Depolama esnasında yağda eriyen vitaminleri korur.
- Suda eriyen vitaminlerin azalmasına neden olur. Bu nedenle haşlama suyuna sodyumbisülfat eklenerek sebzelerin gerekli nitelikleri korunabilir. Kırmızı soğan, sarımsak ve pırasa gibi sebzelere bu işlem uygulanmamaktadır [8].

Haşlama iki şekilde yapılmaktadır:

i) Kaynar suyla haşlama: Ayıklanıp doğranan ürünler, yıkandıktan sonra kaynatılan suyun içine sebzeler, tel kutu ya da süzgeçler içinde daldırılır. Her sebze için uygun süre boyunca kaynar su içinde tutulduktan sonra çıkartılır. Daha sonra sebzeler soğuk suyla soğutulur ve alınan ürünler kurutma tepsilerine koyularak kurutulur [8].

ii) Buharda haşlama: Kaynar suyla haşlamada olduğu gibidir. Tel kutu ve süzgeçlere koyulan sebzeler, büyük kaplarda kaynatılan suların çevresine asılır. Sebzeler suya batırılmadan her sebze için uygun süre boyunca buharda haşlanır. Haşlanan ürün, soğuk suyla soğutulduktan sonra kurutma tepsilerine alınır [8].

b) Daldırma çözeltileri ile muamele etme: Gıda maddelerinin kalite ve kuruma hızları üzerine daldırma çözeltilerinin etkileri birçok araştırmaya konu olmuştur. Daldırma çözeltileri, gıda maddelerin dışında bulunan mumsu tabakayı çözerek daha çabuk kurumasını sağlamaktadır. Çeşitli derişimlerde ve sıcaklıklarda sitrik asit, askorbik asit, potasyum karbonat, potasyum hidroksit, sodyum hidroksit, potasyum metebisülfat, etil ve metil ester emülsiyonları gibi çözeltileri ya da bunların karışımlarına daldırma yoluyla gıdalara istenilen sürelerde ön işlemler uygulanmaktadır [25].

3.8 Kurutma

Meyve ve sebzelerin bünyesindeki %80-95 oranındaki suyun %10-20 oranına düşürülerek uzun süre dayanmasını sağlama işlemidir. Kurutma yöntemi, kurutulacak

sebzenin türüne uygun olarak 2.Bölüm’de ayrıntılı olarak anlatılan doğal ya da yapay kurutma yöntemlerinden uygun olan tercih edilerek yapılabilir [8,13].

Sebze ve meyvelerin geleneksel olarak sıcak hava ile kurutulması en yaygın kullanılan dehidrasyon prosesidir. Prosesin kinetiği, kullanılan havanın sıcaklığı ve kurutulan materyalin boyutları ile değişmektedir [26].

Kurutucu seçimi daha önceki tecrübeler ve üretici tavsiyelerine, bilimden daha fazla bağımlı hale gelmiştir. Kurutma teknolojileri daha fazla gelişip daha karmaşık ve farklı bir hale geldikçe, kurutucu seçimi çok daha fazla sayıda takım ve bunların uygulanması açısından bilgisi ve tecrübesi olmayan kişiler için artan bir şekilde zor ve ilgi gerektiren bir görev olmuştur [27].

Bir mühendis için kurutucu seçmek çok önemlidir, bunun yanında piyasada hangi tip kurutucuların bulunduğu, seçim aşamasında önemli noktaların neler olduğunun ve ilave olarak satıcıya gitmeden önce (rekabetçi bir kota oluşturabilmek için) sisteme alternatif olabilecek donanımların bilincinde olunması bir kurutma sistemi tasarımı için çok daha uygun olacaktır. Geçmişteki tecrübeler önemli bir nokta olmasına rağmen kurutma sistemlerinin seçiminde tek başına bir kriter olamaz. Verilen bir uygulama için ön kurutma ve son kurutma işlemleri ile uygun kurutucu seçimi arasında önemli bir ilişki vardır. Dikkat edilmesi gereken diğer bir nokta ise farklı kurutucu tipleri verilen bir uygulama için aynı derecede uygun olabilir. Seçimi etkileyecek mümkün olduğunca çok faktörün değerlendirilmesi elimizdeki opsiyonların sayısını düşürecektir. Yeni bir uygulama için (yeni ürün ya da yeni proses) kurutucu seçiminde dikkatli bir prosedür izlenmesi çok önemli bir rol oynamaktadır. Kurutucu seçimi yapılırken kurutucuların karakteristik özellikleri göz önünde tutulmalıdır. Aynı kurutucunun çalışma şartlarında yapılan değişiklik ürünün kalitesini etkileyebilir. Bu yüzden kurutucu tipinin yanında optimum kalite ve ısı nem almanın maliyeti için doğru çalışma şartlarını da seçmek ayrıca önemlidir. Değişik gereksinimler kurutucunun tasarım esaslarını belirler. Örneğin ürünün kurutucuda taşınması çok önemli olup kurutucuda kalma süresiyle yakından ilgilidir. Ürünün başlangıçtaki niteliği (sıvı, pasta, katı, toz, granüler, levha vb.) tasarım esaslarında büyük etkiye sahiptir. Çizelge 3.2’de kurutucu tiplerine göre üründen

uzaklaştırılan su başına harcanan enerjiler görülmektedir. Çizelge 3.3'de ise bazı ürünlerin kuruma sıcaklıkları ve kurutma süreleri verilmiştir [27].

Kurutma cihazlarının seçimi aşağıdaki sıralama dahilinde gerçekleştirilir:

a) Kurutucuların ön seçimi: Islak malzeme ve kuru ürün teminine en uygun kurutucu tipleri ön seçimi gerçekleştirilir. Kurutucularda bütün işlemlerin sürekliliği ve istenen fiziksel ve kalite özelliklerini elde etmesi ön koşulu aranır.

b) Kurutucuların ön karşılaştırılması: Ön seçim yapıldıktan sonra kurutucular eldeki veriler ışığında yaklaşık maliyet ve verimlilik açısından karşılaştırılır. Bu değerlendirmede verimlilik açısından uygunsuz veya ekonomik olmayan kurutucular sonraki değerlendirmelerde dikkate alınmaz.

c) Kurutma denemeleri (testleri): Kurutma denemeleri değerlendirmeye alınmakta olan kurutucu tipleri için gerçekleştirilir. Bu testler optimum çalışma koşullarını ve ürün karakteristiklerini belirler.

d) Kurutucu seçiminde karar verme: Kurutma testlerinden elde edilen sonuçlardan ve kurutulmuş maddenin özelliklerinin değerlendirilmesiyle kurutucu seçimine karar verilir [27].

Çizelge 3.2 Kurutucu tiplerine göre üründen uzaklaştırılan su başına harcanan enerji miktarı [27]

Kurutucu tipleri	Uzaklaştırılan su (MJ/kg)
Isı pompalı kurutucu	0,5-0,8
Direkt egzoz gazları ile çalışılan kurutucu	3,2 – 3,8
Hava ile çalışan kurutucu (70-100°C)	4,5 – 5,5
Kazandan alınan egzoz gazları ile kurutma (400°C)	5,0 – 6,0
Kazandan alınan egzoz gazları ile kurutma (200°C)	9,0 – 12,0
Ters akışlı tepsili-bantlı kurutucu	8,0-16,0
Ters akışlı raflı-tünel kurutucu	6,0-16,0
Arasından akışlı tepsili-bantlı kurutucu	5,0-12,0
Vakumlu tepsili-bantlı-levhalı kurutucu	3,5-8,0

Çizelge 3.3 Bazı sebze ve meyvelerin kurutma sıcaklıkları ve kuruma süreleri [27]

Sebze veya meyve cinsi	Kurutma sıcaklığı (°C)	Kuruma süresi (saat)
Meyveler	55-80	6-24
Üzüm	60-65	24
Elma	1. kademe: 70-88, 2. kademe: 74	8
Şeftali, armut	68	24-30
Kabuksuz Hindistan cevizi	65-92	4-20
Sebzeler	50-65	2-18
Havuç	1. kademe: 70, 2. kademe 65	14-24
Soğan	1. kademe: 70-88, 2. kademe: 55-60	10-15

Gıdaların kurutulmasında bilinmesi gereken en önemli verilerden biri de kurutmanın başlangıcındaki nemliliği ve kurutma işlemi sonunda ulaşacağı nemlilik değerleridir. Çizelge 3.4'de bu özellikler değişik sebze ve meyveler için verilmiştir [27]. Ayrıca bu ürünler için izin verilen maksimum kurutma sıcaklığı değerleri de Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Çizelge 3.4 Bazı sebze ve meyvelerin kurutma başlangıcı ve sonu nemlilikleri ve izin verilen en yüksek kurutma sıcaklıkları [27]

Gıda adı	Kurutma başlangıcındaki nemlilik (yaş esas %)	Kurutma sonundaki nemlilik (yaş esas %)	İzin verilen en yüksek kurutma sıcaklığı (°C)
Mısır	35	15	60
Buğday	20	16	45
Pirinç	24	11	50
Yeşil bezelye	80	5	65
Karnabahar	80	6	65
Havuç	70	5	75
Yeşil fasulye	70	5	75
Lahana	80	4	55
Patates	75	13	75
Biber	80	5	65
Elma	80	24	70
Kayısı	85	18	65
Üzüm	80	15-20	70
Bamya	80	20	65
Domates	96	10	60

3.9 Kurutulmuş Sebzeleri Soğutma

Ambalajlama işleminden önce kurutulmuş ürünlerin soğutulması gerekir. Kurutuculardan çıkan kurumuş ürünler, hemen ambalajlandığında raf ömrü kısılır ve nem miktarı artarak mikroorganizmaların üremesi kolaylaşır. Bu gibi istenmeyen özelliklerin oluşumunu engellemek için mutlaka belli bir sıcaklığa kadar uygun ortamlarda soğutulması gerekir [12].

Soğutma iki şekilde gerçekleştirilebilir;

- Fırın içine yerleştirilen özel fanlarla,
- Özel arabalarla uygun ortama alınarak istenilen sıcaklığa kadar soğutulur.

Ürünün özelliğine ve müşteri isteğine göre nem derecesi de değişir; ancak normal şartlarda nem derecesi, Türk Gıda Kodeksi'nde belirtilen oranların altında veya üstünde olmamalıdır [12].

3.10 Kurutma Sistemlerinin Bakım, Onarım ve Temizliği

Her ürün değişiminde kurutma sistemi sökülür, kurutma için kullanılan tepsiler özel dezenfektanlarla yıkanır, durulanır ve kurulanır. Daha sonra teknik personel tarafından tekrar monte edilir ve yeni ürün için kullanıma hazırlanır. İşletme ortamı da ayrıca belirli zaman aralıklarında temizlenir ve dezenfekte edilir [12].

3.11 Kurutulmuş Sebzelere Uygulanan İşlemler

Sebzeler boyutları çeşitli boyutlarda (oval, dilim, küp vb.) kurutulur. Müşteri isteği de göz önünde bulundurulabilir [12].

Kurutulmuş gıdalara ayrıca şu işlemler uygulanmalıdır:

- Nem, homojen seviyeye getirilmelidir.
- Her sebzenin içerdiği su oranı birbirinden farklıdır. Kurutma sonunda nem oranı, standartlarda belirtilen %8-10 oranına getirilmelidir.
- Kurutulan ürünler, fırın çıkışı bulaşılara karşı ayıklanmalıdır.

- Kurutulan ürün elekten geçirilmek suretiyle büyüklüğüne göre tasnif edilmeli ve yabancı maddelerden arındırılmalıdır. Tasnif için kullanılan elek boyutları birbirinden farklıdır. Boyutlar, müşteri isteğine göre değişiklik gösterebilir.
- Müşteri isteğine göre kurutulan ürün değirmenden geçirilerek un hâline de getirilebilir.
- Kurutulan ürün, metal dedektörden geçirilmelidir.
- Metal dedektörden geçirilen ürünler ambalajlanmalıdır [12].

Metal dedektör, kurutulmuş ürünlerde bir kritik kontrol noktasıdır, kurutulmuş ürünün kalitesini belirler. Kurutulmuş ürüne değişik yollardan metal bulaşabilir. Bu bulaşlar dedektörden geçirilerek temizlenir [12]. Şekil 3.9'de kurutulan ürünlerin metal detektörden geçirilmesi işlemi gösterilmiştir.

Ürüne metal bulaşma yolları şunlardır:

- Dışarıdan ürünle birlikte,
- İşleme esnasında (fırın içinde herhangi bir vidanın düşmesi, kullanılan alet ve ekipmanlardan),
- Çalışanların üzerinden (takı, küpe vb.) ürüne metal bulaşabilir [12].



Şekil 3.10 Kurutulan ürünlerin metal detektörden geçirilmesi [12]

3.12 Ambalajlama

Kurutulmuş sebzeler uygun ambalajlara doldurularak depolanır. Kurutulmuş sebzenin ömrü ambalajın niteliğine bağlıdır. Kurutulmuş sebzeler; uzun süre dayanıklılığını artırmak, dışarıdan gelecek nem, ışık, hava ve tozdan korumak, sevkiyatı gerçekleştirmek amacıyla ambalajlanır [12].

Kurutulmuş sebzeler dört şekilde ambalajlanabilir:

- Polietilen torbalarda (dış kısmı kanaviçeli)
- Kağıt torbalarda
- Karton kutularda
- Teneke kutularda

Depolamada metal kaplar, ürüne dışarıdan ışık sızmasını engellediği için cam, plastik vb. kaplara göre daha avantajlıdır. Ancak cam veya plastik kaplar, karton kutu, fıçı ya da siyah plastiklerle dışarıdan ışık sızmayacak şekilde kaplanırsa metal kapların yaptığı görevi yapabilirler [12].

Ambalaj materyali olarak cam kavanozlar kullanılıyorsa dolum vakum altında yapılmalıdır. Boya kutusu şeklinde olan metal kutular nem ve haşere geçirmediğinden kuru sebzeler için uygun bir ambalaj materyalidir [12].

Ambalaj maddelerinin genel özellikleri:

- Isıyı ve ışığı geçirmemeli,
- Ürünü nemden korumalı,
- Güneş ışığını geçirmemeli,
- Depolanmaya elverişli olmalı,
- Sevkiyat sırasında fazla zarar görecektir nitelikte olmamalıdır.

Müşteri isteğine göre ambalaj boyutları farklılık göstermektedir. Farklı boyutlardaki iç ambalaj dolum makinelerine veya metal dedektöre takılarak dolum gerçekleştirilir. Kontrol amacıyla tartılır. İç ve dış ambalajın ağzı sıkıca kapatılır [12].

Şekil 3.11'da gıda paketlemede kullanılan bir paketleme ve dikiş makinası görülmektedir.



Şekil 3.12 Paketleme ve dikiş makinası [12]

3.13 Etiketleme

Etiket, tüketiciye ürün hakkında bilgi verir nitelikte olmalıdır. Üzerinde üretici firmanın adı, adresi, ürünün adı, parti numarası, net-brüt miktarı, raf ömrü, imal ve son kullanım tarihi, üretim izni, hazırlama ve kullanma talimatı, depolama ve saklama koşulları, içindikiler, metal dedektörden geçirilip geçirilmediği ve alerjen olup olmadığı vb. bilgiler bulunmalıdır [12]. Şekil 3.13’da etiketleme işlemi gösterilmiştir.



Şekil 3.14 Etiketleme işlemi [12]

3.14 Depolama

Depolamanın amacı, bir ürünün özelliklerinin ve kalitesinin bozulmadan belli bir süre korunmasıdır. Kurutulmuş sebzeler için en ideal depo alanı soğuk, karanlık ve kuru olmalıdır. Deponun soğuk olması depoya koyulan soğutucular sayesinde sağlanır. Böylece sebzelerin raf ömrü daha uzun hâle getirilebilir [12].

Kalitenin maksimum düzeyde korunması ve kalite üzerinde olumsuz etkide bulunan değişimlerin en aza indirgenmesi için depolama şartlarının kontrol altında tutulması gerekir. Kurutulmuş sebzeler, genel olarak 0-4°C'de %50–60 bağıl nemli depolarda bozulma belirtisi olmadan ortalama bir yıl depolanabilir [12].

Depo yerleştirmede dikkat edilecek hususlar şu şekilde sıralanabilir:

- Depoya ilk giren ürün ilk çıkmalıdır.
- Depoda bulunan raflar, duvardan en az 50 cm önde olmalıdır.
- Raf aralıkları belli standartlarda ayarlanmalıdır.
- Raflara ürünler istiflenerek yerleştirilmelidir.
- Ürünler özelliklerine ve cinslerine göre gruplandırılmalıdır.
- Belli aralıklarla ısı ve nem kontrolleri yapılmalıdır.

Kurutulmuş ürün depoları belli aralıklarla temizlenmeli, belli aralıklarla fumigasyon işlemi de uygulanmalıdır [12].

3.15 Fumigasyon

Depolanmış her türlü ürüne ekonomik zarar veren haşerelere karşı, tamamıyla izole edilmiş ortamda katı, sıvı veya gaz fumigantlar kullanılarak yapılan yok etme işlemi "fumigasyon" olarak tanımlanır. Kurutulmuş ürünlerin depolanması sırasında haşerelerden korunması için uygulanan bir koruma yöntemidir. Fumigasyon uygulaması ile ürüne bulaşabilecek zararlılara karşı önlem alınmış olur [12].

Etilen dipromid, sulfuril florid, metilen iyodid, etilen diklorit, etilen oksit, karbonil sülfid, hidrojen fosfit, fosfin ve bileşikler fumigant olarak kullanılan bileşiklerdir. Haşerelerin biyolojik takvimi göz önüne alınarak uygulamalar gece yapılmalıdır [12].

BROKOLİ VE KARNABA HAR

4.1 Brokoli (*Brassica Oleracea Italica*)

Brokoli, turpgiller (*Brassicaceae*) familyasından küçük yeşil yumrular hâlinde olan, çiğ tüketilmesinin yanı sıra haşlanarak yemeği de hazırlanabilen besleyici içeriği yüksek bir sebzedir [1]. Şekil 4.1’de brokoli çiçeklerinin yakın plan görünümü gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Brokoli çiçeklerinin yakın plan görünümü [1]

Günümüzde sebze ve meyve tüketiminin başta kanser olmak üzere pek çok hastalığa karşı koruduğu, yaşlanmayı geciktirici etki gösterdiği bilinmektedir. Brokoli, zengin vitamin ve mineral içeriğinin yanı sıra içerdiği sulforofan (4-methylsulphinylbutyl isothiocyanate) sayesinde kansere karşı koruyucu özelliğe sahip bir sebze türü olarak önem kazanmıştır [1].

Çizelge 4.1’de brokolinin bilimsel sınıflandırılması verilmiştir.

Çizelge 4.1 Brokolinin bilimsel sınıflandırılması [2]

Alem	<i>Plantae</i> (Bitkiler)
Bölüm	<i>Magnoliophyta</i> (Kapalı tohumlular)
Sınıf	<i>Magnoliopsida</i> (İki çenekliler)
Takım	<i>Brassicales</i>
Familya	<i>Brassicaceae</i> (Turpgiller)
Cins	<i>Brassica</i>
Tür	<i>B. Oleracea</i>

4.1.1 Tarihçesi

Brokoli, İtalya yarımadası ile özdeşleşmiş bir sebzedir. Romalı yazarlardan doğa tarihçisi Büyük Plinius'un metinlerinde ve Apicius'un yemek kitabında lahana benzeri bir sebze olarak tarif edilen bitkinin kesin hükme varılamasa da brokoli olduğu tahmin edilmektedir. Brokoli Yakın Çağ Avrupa'sında egzotik bir bitki olarak görülmüş, dünyada tanınması ise ancak 20.yüzyıl başlarında ABD'deki İtalyan göçmenler aracılığıyla gerçekleşmiştir [2].

Brokoli ismi Latince'de "kol" anlamına gelen "*brachium*" kelimesinden (İtalyancası braccio) türetilmiştir [2].

4.1.2 Besin değerleri

Brokoli, zengin mineral ve vitamin içeriği sayesinde içerdiği sulforofan (4-methylsulphinylbutyl isothiocyanate) sayesinde kansere karşı koruyucu özelliğe sahip bir sebze türü olarak önem kazanmıştır. Antikanserojenik aktiviteye sahip olduğu bildirilen sulforofan, doğal olarak sadece lahana grubu sebze türlerinde ve en çok da brokolide bulunan bitkilerin ikincil metabolizma ürünüdür [1].

100 gram çiğ (pişirilmemiş) brokolinin içerdiği besin değerleri yaklaşık olarak şöyle sıralanır: 34 kalori; 2,5 g protein; 2,9 g karbonhidrat; 0,2 g yağ; 0 kolesterol; yüksek oranlarda lif; 76 mg fosfor; 100 mg kalsiyum; 0,8 mg demir; 10 mg sodyum; 336 mg potasyum; 24 mg magnezyum; 0,6 mg çinko; 0.10 mg B1 vitamini; 0,20 mg B2 vitamini; 87 mg C vitamini; 1,3 mg E vitamini ve küçümsenemeyecek oranda A vitamini kaynağı betakaroten [2].

Brokolinin içerdiği glukozinolatlar ve bunların parçalanmasıyla oluşan sulforofan sayesinde kansere karşı koruyucu etki gösterdiği bilinmektedir. Ancak gerek kültür çeşitlerindeki glukozinolat miktarlarının genellikle düşük düzeylerde bulunması, gerekse yetiştiricilik sırasındaki ve sonrasındaki şartlara bağlı olarak değişiklik göstermesi gibi nedenlerle tüketicilerin sağlayacağı yarar düzeyi önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Ayrıca, tüketen bireylerin genetik yapısına bağlı olarak yarar düzeyi değişebilmektedir. Bu nedenle, sağlık açısından beklenen yararları sağlayabilmek için öncelikle glukozinolat içeriğini etkileyen faktörlerin bilinmesi ve ardından glukozinolat içeriğini artırmaya yönelik hedefler oluşturulması önem taşımaktadır [1].

4.1.3 Özellikleri ve sağlığa yararları

Brokoli yüksek düzeylerde diyet lifi ve vitaminler içeren bir gıda kaynağıdır. Ayrıca görünümü Şekil 4.2’de gösterildiği gibi minyatür bir ağacı anımsatır [28].



Şekil 4.2 Brokoli bitkisinin genel görünümü [28]

Brokoli beslenme ve insan sağlığı açısından önemli bir sebze olarak bilinmesi nedeniyle son yıllarda üretim ve tüketimi hızlı bir şekilde artmıştır. Yaz aylarında sıcaklığın 20°C'nin üzerinde olduğu yerlerde ekonomik olarak yetiştiriciliği yapılamamaktadır. Bu iklimsel seçicilik nedeniyle özellikle sonbahar- kış yetiştiriciliği için brokoli Çukurova Bölgesi'nde önemli bir sebze haline gelmiştir. Bölgede henüz birkaç yıllık geçmişe sahip olan brokoli 2003 yılı istatistik kayıtlarına göre Adana İli için 125 ton üretime sahip olmuştur. Besin değeri çok yüksek kışlık bir sebzedir [2].

Brokoli yeşil renkli olgunlaşmamış çiçek taslakları ile kalın ve etli çiçek sapsarı yenilen bir sebze türü olup, lahana, karnabahar, brüksel lahanası, alabaş ve şalgam ile aynı familyada yer alır [2].

Lahana, brokoli, karnabahar ve brüksel lahanasının kanser riskini sırasıyla %70, %56, %67 ve %29 oranında azalttığı belirtilmektedir. Ayrıca bitkisel kaynaklı fonksiyonel gıdalar sınıfında yer alan sebzelerdir [3].

Gıda ve İlaç Teşkilatı (Food and Drug Administration-FDA)'na göre fonksiyonel gıdaların şu özellikleri taşıması gerekir:

- Önemli düzeyde besin unsurları içermeli
- Bu unsurların yapısı ve vücuttaki fonksiyonu bilinmeli
- Besin öğelerinin yanı sıra sağlık kazancı da sunduğu ispatlanmalı
- FDA tarafından kabul edilen hastalık/diyet ilişkisi konusunda iddiasını kanıtlamış bilimsel çalışmalar bulunmalıdır [3].

Brokoli bu özellikleri taşıdığı için FDA tarafından bitkisel kaynaklı fonksiyonel gıdalar sınıfına dahil edilen bir sebzedir.

Brokoli karnabahara oldukça benzemektedir. Karnabaharla arasındaki esas farklılık; her iki sebzede de yenen kısım olan olgunlaşmamış çiçek taslaklarının karnabaharda genellikle beyaz olmasına karşılık brokolide grimsi veya yeşil renkte olmasıdır. Ayrıca karnabahardan farklı olarak brokolide kalın etli çiçek sapsarı da yeme değeri sahiptir. Brokolide dallanma çok sayıda olup, çiçeklenme bu dalların ucunda meydana gelir. Brokolide başlar korunmasız olarak açıkta gelişir. Brokoliyi karnabahardan ayıran diğer bir özellik de, ortadaki esas başın kaldırılması ile ikinci derecede çiçek taslaklarının hemen oluşması olayıdır [2].

Şekil 4.3'de olgunlaşmış bir brokoli bitkisinin yapraklarıyla birlikte görünümü gösterilmektedir.



Şekil 4.4 Olgunlaşmış bir brokoli bitkisinin yapraklarıyla birlikte görünümü [20]

Brokoli, besleyici değerinin yanı sıra içerdiği bazı fitokimyasallar sayesinde insan sağlığı bakımından yararlı olduğu bilinen bir sebze türüdür. Son yıllarda özellikle kansere karşı koruyucu etki gösterdiğinin bildirilmesiyle daha fazla önem kazanmıştır. Bu etki brokolinin zengin antioksidan içeriğinin yanı sıra bazı ikincil metabolizma ürünlerine dayandırılmaktadır [1].

Brokoli antioksidan özellik taşıdığı bilinen vitamin E (α -tokoferol), vitamin A (öncül maddesi β -karoten) ve vitamin C (askorbik asit) bakımından zengin bir sebzedir. Bu vitaminler, vücudumuzda çeşitli metabolik aktivitelerin sonucunda açığa çıkan serbest oksijen radikallerini nötralize ederek organizmayı, serbest radikallerin neden olabileceği zararlı etkilerden korumaktadır. Brokolinin antioksidan aktivitesini ortaya koymaya yönelik olarak yürütülen bir araştırmada, askorbat, β -karoten, ve α -tokoferol miktarları diğer lahana grubu sebzelerle karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda brokolinin askorbat miktarının lahana grubu diğer sebze türlerine göre oldukça yüksek düzeylerde olduğu (74,71 mg/100 g taze ağırlık), ayrıca β -karoten ve α -tokoferol miktarlarının yaprak lahanadan sonra en fazla brokoli ve brüksel lahanasında bulunduğu belirlenmiştir [1].

Brokoli ayrıca iyi bir folik asit kaynağı olarak da gösterilmektedir. Folik asit, pek çok metabolik olayda, DNA sentezi ve tamirinde görev alan, özellikle de alyuvarların

oluşumunda yer alan temel bileşendir. Ayrıca, bebeklerde oluşabilecek gelişim bozukluklarını önlediğinden hamilelik döneminde alınması önerilmektedir [1].

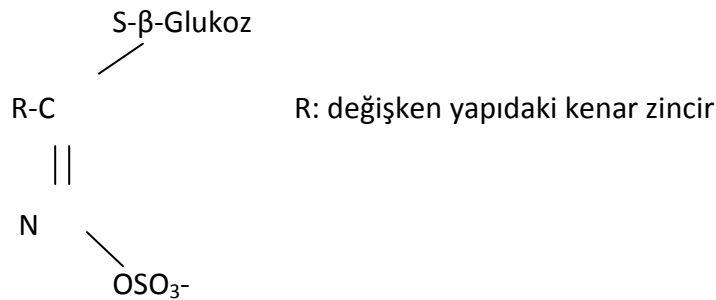
Sebze ve meyvelerin folat miktarını belirlemeye yönelik yapılan bir araştırmada, incelenen türler arasında brokoli, en yüksek folat içeriğiyle (240 µg/100 g) ilk sırada gösterilirken brokoliyi sırasıyla çilek (113 µg/100 g), portakal (44 µg/100 g), kivi (36 µg/100 g), beyaz üzüm (32 µg/100 g), ahududu (31 µg/100 g), muz (29 µg/100 g) ve domatesin (12 µg/100 g) izlediği belirlenmiştir [1].

Tüm bu özelliklerinin yanı sıra, glukozinolat adı verilen şeker ve kükürt içerikli ikincil metabolizma ürünlerinin parçalanması sonucunda açığa çıkan sulforofanın kanser başta olmak üzere çeşitli hastalıklara karşı koruyucu etki gösterdiğinin belirlenmesiyle brokolinin antikanserojen özelliği araştırmalara konu olmuştur [1].

4.1.4 Brokolide bulunan glukozinolatlar ve etkileri

Glukozinolatlar, brokoli başta olmak üzere tüm lahana grubu sebzelere özgü keskin ve acımsı tat ve aromayı veren ve bitkide savunma mekanizması olarak görev yaptıkları düşünülen ikincil metabolizma ürünleridir. Molekülünde şeker ve kükürdün yanı sıra, değişken yapıda bir kenar zincire (R) sahiptir. Şekil 4.5'te şeker ve kükürt içeren glukozinolat molekülünün genel yapısı gösterilmiştir.

Değişken kenar zincir yapı sayesinde, doğada var olduğu bilinen 120'den fazla farklı glukozinolat vardır. En fazla rastlanan glukozinolatlar sentezi metionin amino asidi tarafından başlatılan alifatikler, ardından sentezi triptofan tarafından başlatılan indoller, ve sentezi fenilalanin/tirosin tarafından başlatılan aromatik glukozinolatlardır. Brokolide ağırlıklı olarak alifatik ve indol glukozinolatlarla rastlanmaktadır [1].



Şekil 4.6 Şeker ve kükürt içeren glukozinolat molekülü [1]

Başta sulforofan olmak üzere glukozinolatların parçalanma ürünleri, insanlarda bağışıklık sistemi enzimlerini (glutathione transferase gibi) harekete geçirerek, zararlı maddelerin tutulması ve idrar yolu ile vücuttan atılmasını sağlamaktadır. Böylece potansiyel kanserojenlerin DNA'yı hedef alarak zarar vermesi ve ilerde kontrolsüz hücre bölünmesi yani kansere dönüşmesinin engellenmesi sağlanmaktadır. Bu bilgiler ışığında, bitki türlerinin yararlı metabolitlere dönüşebilecek yapıdaki glukozinolatlar bakımından zengin olması tercih edilen bir durumdur. Ancak, bitkilerin glukozinolat içeriği genetik ve çevresel faktörlere bağlı olarak büyük oranda farklılıklar göstermektedir [1].

4.1.5 Yetiştirme koşulları

Brokoli serin iklim sebzesi olup, karnabahara göre iklim ve toprak istekleri bakımından daha az seçicidir. Brokolinin yetiştirilmesi için en uygun hava sıcaklığı 15-17°C olup, en fazla 24°C'ye kadar dayanır. Brokolinin yeşil sürgünlerinin kalitesinin korunması açısından yaz aylarındaki kurak ve sıcak havalarda uygun değildir. Sıcak havalarda sürgünlerdeki çiçek taslakları normal gelişme göstermez, gevşek yapılı olur ve hasattan birkaç saat sonra sürgünlerde pörsüme görülür. Çiçek tomurcuklarının gelişmesini engeller ve gevşek yapılı olmalarına neden olur. Bu nedenle yaz aylarında sıcaklık 20°C'nin üstünde olan yerlerde brokoli yetiştiriciliği uygun değildir [2].

4.1.6 Toprak çeşidi ve gübreleme

Brokoli için en uygun topraklar, su tutma kapasitesi yüksek topraklardır. Yetiştiriciliğin yapıldığı topraklarda iyi drenaj yapılmalıdır. Bu durum özellikle kış döneminde yetiştirilen bitkiler için daha fazla önem kazanmaktadır [2].

Şekil 4.5'te brokoli yetiştiriciliği yapılan bir tarlanın görünümü verilmiştir.



Şekil 4.7 Brokoli yetiştiriciliği yapılan bir tarlanın görünümü [20]

Brokolinin gübrenmesi lahanalar ile benzerlik gösterir. Ancak gübre ihtiyaçları çeşitlere, toprak yapısına, topraktaki organik madde içeriğine ve bölgelere göre değişiklik gösterir. Bu nedenle yetiştiricilikten önce toprak analizi yaptırılmalı ve yapılan tavsiyelere göre gübrenmelidir [2].

Brokolide azotlu gübre ihtiyacının belirlenebilmesi amacıyla yapılan bir çalışmada farklı dozlardaki azot uygulamalarının brokolide verim ve taç çapı üzerine etkileri ile yaprak ve taçta toplam azot içeriğinin değişimi incelenmiştir. Araştırmada bitkisel materyal olarak Marathon brokoli çeşidi kullanılmıştır. Denemede 0, 6, 12, 18, 24, 30 ve 36 kg/dk azot dozları kullanılmıştır. Çalışma sonucunda taç çapında meydana gelen değişimlerin istatistiksel olarak önemsiz olduğu, en yüksek verimin ise azotun 30 kg/dk dozundan elde edildiği saptanmıştır [29].

4.1.7 Hasat

Brokolide hasat, çiçek tomurcukları açmadan önce yapılmalıdır. Şayet tomurcukları açmaya ve sarı çiçek petalleri görülmeye başlarsa başlar aşırı olgunlaşmış ve pazar kalitesini kaybetmiş demektir. Ortadaki ana başın kesilmesi ile birlikte yan taraftaki sürgünler büyümeye devam ederek daha küçük başlar oluştururlar. Hasat 2-3 günde bir olmak üzere bir vegetasyon döneminde 4-6 kez yapılır [2].

4.1.8 Türkiye’de ve dünyada brokoli üretim miktarları

Ülkeler bazında en yüksek karnabahar ve brokoli üretimine ilişkin 2011 yılına ait Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) verilerine göre dünyada brokoli ve karnabahar üretiminde ilk on ülke ve ton bazında üretim miktarları Çizelge 4.2’deki gibidir. Çizelge 4.3’te ise Türkiye’ de yıllara göre brokoli üretim miktarları gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 Dünyada brokoli ve karnabahar üretiminde ilk on ülke ve ton bazında üretim miktarları [6]

Ülke	Üretim (ton)
Çin	8.935.000
Hindistan	6.745.000
İspanya	513.783
Meksika	427.884
İtalya	420.989
Fransa	364.558
ABD	301.590
Polonya	297.649
Pakistan	227.591
Birleşik Krallık	180.577
Dünya	20.884.672

Çizelge 4.3 Türkiye’de yıllara göre brokoli üretim miktarları (Ekim 2013, TÜİK) [30]

Yıllar	2009	2010	2011	2012	2013*
Üretim miktarı (ton)	20.541	26.493	29.076	30.807	34.666

*TÜİK tahmini değer

4.2 Karnabahar (*Brassica Oleracea*)

Turgillerden (*Brassicaceae*), çiçekleri etli ve tanecikli bir görünüşte olan, yaprakları lahana yaprağına benzeyen, sebze olarak kullanılan bir bitkidir [2]. Şekil 4.6'da karnabahar bitkisinin genel görünümü, Çizelge 4.4'te ise bilimsel sınıflandırılması verilmiştir.



Şekil 4.8 Karnabahar bitkisinin genel görünümü

Çizelge 4.4 Karnabaharın bilimsel sınıflandırılması [2]

Alem	<i>Plantae</i> (Bitkiler)
Bölüm	<i>Magnoliophyta</i> (Kapalı tohumlular)
Sınıf	<i>Magnoliopsida</i> (iki çenekliler)
Takım	<i>Brassicales</i>
Familya	<i>Brassicaceae</i> (Turpgiller)
Cins	<i>Brassica</i>
Tür	<i>B.Oleracea</i>

Karnabaharın vatanı Doğu Akdeniz Bölgesi'dir. Çok eski zamanlardan beri bilhassa Kıbrıs adasında yetiştirilen karnabaharların ünleri büyüklük, gösteriş ve lezzet itibariyle dünyaya yayılmıştır. Bugün ülkemizde Güney Akdeniz kıyılarımızda ve Ege Bölgesi'nin denize yakın dolaylarında çok kaliteli karnabaharlar yetiştirilmektedir. Bilhassa Antalya'dan İskenderun'a kadar uzanan kıyı şeridinde dünyanın en güzel karnabahar çeşitlerini yetiştirmek ve bunlardan yüksek kaliteli tohumlar almak mümkündür. Soğuk bölgelerimizde karnabaharın taç kısımları zarar gördüğü için üretimi yapılmamaktadır [4].

Ülkemizde karnabahar haşlanıp salata olarak, kızartılıp çeşitli şekillerde yemekleri yapılarak turşu olarak ve dondurulmuş sebze olarak değerlendirilmektedir [4].

4.2.1 Besin değerleri

100 gram çiğ karnabaharın içerdiği besin değerleri şöyle sıralanabilir: 27 kalori; 2,7 g protein; 5,2 g karbonhidrat; 0 kolesterol; 0,2 g yağ; 1 g lif; 56 mg fosfor; 21 mg kalsiyum; 0,7 mg demir; 295 mg potasyum; 60 IU A vitamini; 0,09 mg B1 vitamini; 0,08 mg B2 vitamini; 0,6 mg B3 vitamini ve 55 mg C vitamini [2].

4.2.2 Özellikleri ve sağlığa yararları

Karnabaharın sebze olarak değerlendirilen kısımlarına baş, taç, çiçek ve çiçek salkımı gibi isimler verilmektedir. Bunlardan taç terimi karnabahar için en uygun ifade şeklidir. Çünkü baş terimi daha çok lahana için kullanılır. Karnabaharda taç bitkinin büyüme konisi olan uç kısmının dallanması ile ortaya çıkmaktadır. Tacın oluşması ile yaprak oluşumu durmakta, sadece gelişmiş olan tacın çevresindeki yapraklar büyümelerine devam etmektedir [4].

Karnabaharların taç büyüklüğü, ekim dikim zamanı, dikim sıklığı ve çeşit özelliğine bağlı olarak 20-50 cm arasında değişir. Ekim ve dikimin erken veya geç yapılması, bitkiler arası mesafenin azalması karnabaharların taç büyüklüğünü etkilemektedir. Ağırıkları ise çeşit özelliğine göre 0,5- 2 kg arasındadır. Tacın büyüklüğü, ağırlığı ve kalitesi üzerinde iklim ve yetiştirme koşullarının etkisi büyüktür [4].

Karnabaharda tohumlar, şekil ve renk bakımından lahanaya çok benzer ancak biraz daha küçüktür. Şekil 4.7’de karnabahar ve lahanaya tohumlarının genel görünümü verilmiştir. Karnabahar tohumları oval veya yuvarlak 2-3 mm çapında, açık kahverengi veya koyu kırmızı kahverengi renktedir. 1 gramdaki tohum sayısı 250-400 adettir [4].



Şekil 4.9 Karnabahar ve lahanaya tohumları [31,32]

Karnabaharın döllenme biyolojisi lahanaya çok benzer. Karnabaharda çiçekler tacın yan taraflarından çıkar. Orta kısımda genellikle çiçek sapı gelişimi olmaz. Ana çiçek sapı dallanmış 60-90 cm boydadır. Çiçeklenme süresi yaklaşık üç haftadır. Sıcaklığın düşmesi ile bu süre uzar, yükselmesi ile kısalır. Karnabaharlarda sıkı taçlı bitkilerin çiçeklenmesi daha geç ve uzun süre devam etmektedir. Çiçeklerin açılmasından 3-4 hafta sonra baklada tohumlar oluşur. Bir bakla içinde 5-15 arasında tohum bulunur [4].

Karnabaharın yenen kısmı, henüz açmamış yoğun çiçek durumudur. Yurdumuzda; güzlük turfanda karnabahar, kışlık karnabahar ve mart karnabahar olmak üzere üç çeşidi vardır. Fosfor ve vitamin bakımından çok zengindir [2]. Zihin yorgunluğunu giderir, sinirleri kuvvetlendirir, idrar söktürür. Dalak hastalıklarına iyi gelir, şeker hastalarına faydalıdır. Karnabahar, demir minerali oranı yüksek olduğu için kansızlığı önler. Antioksidan madde yönünden de zengin olduğu için kalp hastalıklarına yakalanma, kalp krizi geçirme ve katarakta tutulma riskini de azaltır. Potasyum minerali yönünden zengin olduğu için de yüksek tansiyonu düşürür, tansiyonu belli düzeyde tutar [5].

4.2.3 Yetiştirme koşulları

Karnabaharın iklim istekleri değerlendirildiğinde kışlık sebzeler arasında yer aldığı söylenebilir. Ancak karnabahar yetiştiriciliğinde sıcaklığın önemi ışık ve neme göre çok fazladır. Lahanalarla aynı familyadan oldukları hâlde onlar kadar soğuklara dayanıklı değildir [4].

Fide döneminde sıcaklığın yükselip azalması, bitkilerde taçların kalitesinin bozulmasına neden olur. Bu koşullarda yetiştirilen bitkilerin gelişmesi yavaşlar, yaprakları küçülür ve taçlar dağınık olarak gelişir. Sonbahar ve kış dönemi dikimlerinde sıcaklığın 0°C'nin altına düşmesi ile bitkilerde büyüme ucu zarar görür ve bitkiler sadece yaprak meydana getirir. Bunun yanında fideler birkaç yapraklı iken sıcaklık düşerse bitkilerin büyüme ucunun kaybolduğu kör bitkiler oluşmaktadır. Kör bitkilerin yaprakları karbonhidrat depolanması nedeniyle normal yapraklardan daha kalın ve sert yapılı olur. Hasat dönemine gelmiş bitkiler, fidelere göre düşük sıcaklıklara karşı daha duyarlıdır. Taçlar pazar olgunluğu dönemine geldiğinde sıcaklığın 0°C'nin altına düşmesi taç yüzeyinde havlı bir yapının oluşmasına neden olur. Düşük sıcaklığın devam etmesi hâlinde taçlarda morlaşma meydana gelmekte ve bu taçların pazar değeri düşmektedir [4].

Karnabaharın sebze olarak değerlendirilen kısımları taç olarak isimlendirilmektedir. Karnabaharlarda taç, bitkinin büyüme konisinin uç kısmının dallanmasıyla ortaya çıkmakta ve tacın oluşması ile yaprak gelişimi durmaktadır [33].

Kaliteli karnabahar yetiştiriciliğinde birim alandan en yüksek verimin elde edilmesinde tohum ekimi ve fide dikim zamanları en önemli kriterler olarak karşımıza çıkmaktadır. Yapılan çalışmalarda karnabahar fidelerinin esas yetiştirme yerlerine geç dikilmesiyle kök, gövde ve yaprağın nispi büyüme oranı oransal olarak azalmış, minyatür taç teşekkülünün arttığı belirlenmiştir. Yetiştirme yerlerine erken dönemde dikilen fideler ile (genç fide) yapılan yetiştiricilikte meydana gelen tacın, geç dönemde dikilen fidelerden (yaşlı fide) elde edilen taçlara oranla daha büyük olduğu bildirilmektedir. Yapılan çalışmalarda karnabahar yaprak sayısı ile erkencilik arasında ilişki olduğu, geçici çeşitlerdeki yaprak sayısının erkenci çeşitlere oranla daha fazla olduğu bildirilmektedir [33].

4.2.4 Toprak çeşidi

Karnabahar bitkisi toprak istekleri bakımından seçici değildir. pH değeri 5-5,5 arasında olan kumlu-tınlı, su tutma kapasitesi yüksek topraklarda iyi sonuç alınır. Ağır bünyeli topraklarda özellikle kış dönemi yetiştiriciliğinde yağışlar nedeniyle oluşan suyun iyi bir şekilde drene edilmesi gereklidir. Kuraklığa hassas olduğu için hafif bünyeli topraklarda yetiştiricilik yapılmamalıdır [2].

Toprak hazırlığı, dikim, çapalama ve sulama işlemleri lahanaya yetiştiriciliğinde olduğu gibidir. Ancak dikim mesafesinde; çeşidin erkenci ya da geçici oluşuna, yayvan veya dik büyümesine göre değişiklik gösterir [2].

4.2.5 Gübreleme

Toprak tahliline göre dikimden en az 2-3 ay önce dekara 3-6 ton çiftlik gübresi verilir. Başarılı bir yetiştiricilik için 15-17 kg/dk azot, 4-5 kg/dk fosfor ve 15-17 kg/dk potasyum verilir. Azotun 1/3'lük kısmı ile potas ve fosforun tamamı dikimden önce, geri kalan azotun 2/3' lük kısmı ise ikinci çapa yapılırken bitkinin 5-10 cm uzağına verilir [2].

4.2.6 Yetiştiriciliği ve hasatı

Karnabahar yetiştiriciliğinde bitkilerin tarlada kalma süresini kısaltmak ve bakım işlerini kolaylaştırmak için önce fide yetiştirilir. Doğrudan tohum ekimi suretiyle üretim uygulanmaz [4].

Karnabahar yetiştiriciliğinde fide kalitesi çok önemlidir. Karnabahar fideleri topraklı ve topraksız olarak yetiştirilir. Topraksız fide yetiştiriciliği tavalarda yapılır. Tohumların ekileceği tavalarda düzgün bir şekilde hazırlanır. Tohumlar 6-8 cm sıra arası ve 2-3 cm sıra üzeri mesafelerle 0,5-1 cm derinliğe ekilir ve daha sonra hastalık ve zararlılardan tamamen temizlenmiş kapak harcı ile örtülür. Tohum ekiminden sonra tavalarda süzgeçli kovalar ile sulanır. Tavalarda sulama ve bakım işlemleri düzenli olarak yapılırsa 3-4 gün sonra tohumlar çimlenerek toprak yüzeyine çıkar [4].

Şekil 4.10'de karnabahar yetiştirilen bir tarlanın görünümü verilmiştir.



Şekil 4.11 Karnabahar yetiştirilen bir tarlanın görünümü [34]

Tavalarda gelişen fideler 2-3 gerçek yapraklı döneme ulaştıklarında 6x6 cm mesafeler olacak şekilde seyreltilmelidir. Seyreltme sırasında fide yetiştirme tavalarında en iyi gelişen fideler bırakılır, diğer fideler makas veya keskin bir bıçak ile toprak seviyesinden kesilir. İstenmeyen fideler kesinlikle sökülmemelidir. Çünkü söküm sırasında kuvvetli gelişen ve tavalarda bırakılan fidelerin kökleri zarar görür. Seyreltmeden sonra kalan fidelerin sarsıntı geçirmemesi için hemen su verilmelidir. Tavalarda bırakılan fideler esas yetiştirme yerlerine dikilinceye kadar kültürel işlemleri düzenli olarak yapılmalıdır. Topraklı fide yetiştirme farklı şekillerde, naylon torbalarda veya fide yetiştirme viyollerinde yapılır. Organik maddece zengin, hastalık ve zararlılardan arındırılmış harç materyali naylon torbalara veya fide yetiştirme viyollerine düzgün bir şekilde doldurulur ve sulanır. Bir gün sonra 0,5-1 cm derinliğinde açılan deliklere 2-3 tohum bırakılır. Tohum ekiminden sonra üstleri örtülür ve sulanır. Fideler 2-3 gerçek yapraklı döneme ulaştıklarında sağlıklı ve kuvvetli gelişen bir fide bırakılır. Diğer fideler bir makas veya keskin bir bıçak ile toprak seviyesinden kesilir. Seyreltmeden hemen sonra kalan fidelere su verilmelidir. Fideler esas yetiştirilme yerlerine dikilinceye kadar kültürel işlemler düzenli olarak yapılır [4].

Sökümden önce fideler dikkatli bir şekilde sulanır. Hem tavalarda hem de naylon torba ve fide yetiştirme viyollerinde dikim büyüklüğüne ulaşmış 5-6 gerçek yapraklı fideler topraklı olarak esas yetiştirme yerlerine dikilir [4].

Yetiştirme yerleri dikimden önce sulanır ve dikim tavına geldiği zaman tahtalara veya karıkların boyun noktasına fidelerin ucu su seviyesinden yukarıda kalacak şekilde açılan çukurlara dikim yapılır. Dikim bulutlu günlerde veya öğleden sonra yapılmalı ve dikimden sonra hemen su verilmelidir. Taçlar dağılmadan, renkler bozulmadan önce, tacın gövdeyle birleştiği yerden kesilmesi suretiyle hasat yapılmalıdır [4].

4.2.7 Türkiye’ de ve dünyada karnabahar üretim miktarları

Ülkemizde sebze olarak pazara yönelik üretimin yaklaşık %75’i Ege Bölgesinde, %25’i ise Marmara ve Akdeniz Bölgelerinde yapılmaktadır [33]. Çizelge 4.5’te Türkiye’de yıllara göre karnabahar üretim miktarları verilmiştir.

Çizelge 4.5 Türkiye’de yıllara göre karnabahar üretim miktarları (Ekim 2013, TÜİK) [30]

Yıllar	2009	2010	2011	2012	2013*
Üretim miktarı (ton)	157.051	158.579	162.134	169.097	165.234

*TÜİK Tahmini Değer

2011 yılı verilerine göre dünyada üretilen toplam karnabahar miktarı ise 16.948.166 tondur [35].

LİTERATÜR ÖZETİ

Brokoli ve karnabaharın çeşitli özellikleri, kurutulmaları ve rehidrasyonu ile ilgili olarak literatürde yapılmış olan bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir:

5.1 Brokoli

Güven ve Gülmez [3], fonksiyonel gıdaların sağlıkla ilişkisini araştırmışlardır. Gıdaların sağlık amaçlı olarak çeşitli hastalıkların tedavisinde ve önlenmesinde kullanılmaları çok eskilere dayanmaktadır. Son yıllarda tüketici bilincinin artması, gıdalar üzerindeki bilimsel araştırmalar, yeni gıdaların bulunması gıda-sağlık ilişkileri konusunda yapılan bilimsel araştırmalar fonksiyonel gıdaları ön plana çıkarmaktadır. Bitkisel kaynaklı fonksiyonel gıdalar her ne kadar fazla ise de; hayvansal kaynaklı ürünlerde de optimal sağlık için potansiyel role sahip çok sayıda bileşik mevcuttur. Sağlığa faydalı bakterileri içeren probiyotik gıdalar, fonksiyonel gıdaların en önemli ve en iyi bilinen grubunu oluşturur. Bu çalışmada fonksiyonel gıdalar çeşitli literatürlerden yararlanılarak derlemeye çalışılmıştır. Bu gıdalar içerisinde bitkisel kaynaklı olan fonksiyonel gıdalar içerisinde brokoli ve benzeri sebzeler de yer almaktadır. Lahana, brokoli, karnabahar ve brüksel lahanasının kanser riskini sırasıyla %70, 56, 67 ve 29 oranında azalttığı belirtilmektedir. Antikanserojenik etki, sebzelerde bulunan glukozinolatlar ile ilişkilidir. Glukozinolat, glikozit grubunda olup bitki hücre vakuollerinde birikmektedir. Bu sebzeler ayrıca vitamin C, karoten, folik asit, kalsiyum ve demir kaynağıdır.

Gıda ve İlaç Teşkilatı (FDA)'na göre fonksiyonel gıdaların aşağıdaki özellikleri taşımaları gerekmektedir:

- Önemli düzeyde besin unsurları içermeli
- Bu unsurların yapısı ve vücuttaki fonksiyonları bilinmeli
- Besin öğelerinin yanısıra sağlık kazancı da sunduğu ispatlanmalı
- FDA tarafından kabul edilen hastalık/diyet ilişkisi konusunda iddiasını kanıtlamış bilimsel çalışmalar bulunmalıdır.

Brokoli ve karnabahar bu özellikleri taşımaları bakımından fonksiyonel gıdalar sınıfına dahil edilen sebzelerdir.

Altındışli Atağ vd. [29], brokolide azotlu gübre ihtiyacının belirlenebilmesi amacıyla bu çalışmayı yapmışlardır. Farklı dozlardaki azot uygulamalarının, brokolide verim ve taç çapı üzerine etkileri ile yaprak ve taçta toplam azot içeriğinin değişimi incelenmiştir. Araştırmada bitkisel materyal olarak Marathon brokoli çeşidi kullanılmıştır. Denemede 0, 6, 12, 18, 24, 30 ve 36 kg/dk N dozlarında çalışılmıştır. Araştırma sonucunda taç çapında meydana gelen değişimlerin istatistiksel olarak önemsiz olduğu, en yüksek verimin ise azotun 30 kg/dk dozundan elde edildiği saptanmıştır.

Lin ve Chang [36], farklı pişirme davranışları altında brokolinin tekstürel değişimi ve antioksidan özelliklerini incelemişlerdir. Taze brokoliden 4 farklı şekilde numuneler hazırlanıp test edilmiş, özelliklerindeki değişim incelenmiştir. Taze brokoli, 50°C'de 10 dakika ön pişme yapılarak, 8 dakika haşlama yapılarak ve ön pişme+haşlama birlikte yapılarak üç farklı şekildeki bu uygulamalarla brokolideki değişimler gözlemlenmiştir. Bu çalışma sonucunda bu sıcaklık değerinde yapılan ön pişme ve haşlama işlemlerinin brokolinin antioksidan özelliklerine ciddi bir etkisinin olmadığı ortaya çıkmıştır.

Mrkić vd. [37], brokolinin konvektif kurutulması için nem transferini incelemişlerdir. Brokoli kurutmada nem transfer parametrelerinin belirlenmesi için Biot sayısı ve Dincer sayısı korelasyonuna başvurulmuştur. Brokoli çiçekleri, kurutma havasının sıcaklığı ve akış hızı değiştirilerek kurutulmuştur. Marketten alınan brokoliler 10 mm uzunluğunda küçük parçalara ayrılmıştır. Kurutma işleminden önce taze brokoliler, kaynayan suda 3 dakika süresince bekletilip, 12±2°C deki suyla tekrar soğutulup, hava ile kurutulmuştur. Brokoliler kalınlığı 0,01 m olacak şekilde tek katmanlar halinde, sebze kurutmada

genellikle kullanılan 50, 60 ve 75°C sıcaklık değerlerinde hava ile kurutulmuştur. Her bir sıcaklıktaki havanın akış hızı 1,2, 1,75 and 2,25 m/s aralıklarında seçilmiştir. Her 10 dakikada bir kütle kaybı ölçülerek elde edilen verilerden kurutma eğrileri çizilmiştir. Ayrıca etkin difüzyon katsayıları ile Bi ve Di parametreleri (kütle transfer parametreleri) hesaplanmıştır. 50-60°C sıcaklık aralığında etkin difüzyon katsayısı $1,22-1,93 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$, 60-75°C sıcaklık aralığında etkin difüzyon katsayısı ise $1,72-2,94 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ aralığında bulunmuştur. Bi değerleri 0,2060-0,3000 aralığında değerler alırken; Di değerleri ise $1,27-3,66 \times 10^{-5}$ aralığında değerler almıştır.

Jin vd. [38] tarafından yapılan çalışmada, sıcak hava ile kurutma deneyleri yapılarak kurutma süresince brokolideki nem dağılımını belirlemeyi amaçlamışlardır. Marketten alınan brokolilerin çiçekleri saplarından ayrılarak 0,005 m yüksekliğinde ve 0,005 m yarıçapında parçalara ayrılmıştır. Hava sıcaklığı 30 ve 50°C, akış hızı 1,0 m/s ve hava nemi %10 olarak seçilmiştir. Brokoli örneklerinin renk yoğunlukları ile örneklerin yüzey ve merkezlerindeki nem yoğunlukları ölçülmüştür. Kurutma eğrileri çizilmiştir. Ürünler için etkin difüzyon katsayıları 30-50°C sıcaklık aralığında $0,5-3,2 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ bulunmuştur.

Lemoine vd. [39], sıcak hava ve UV ışınları kombinasyonu ile minimal bir brokoli kurutma prosesi oluşturarak, prosesin parametrelerini belirlemişlerdir. 42, 45 ve 48°C sıcaklık değerlerinde 3 saat süresince, 5, 8 ve 10 kJ/m² UV dozlarında çalışılarak iki ortamın kombinasyonu gerçekleştirilmiştir. Kalite parametreleri (protein içeriği, renk özellikleri vs.) incelenmiştir. Bu kombinasyonun brokolinin kalitesi üzerine yararlı olduğu saptanmıştır. Özellikle yeşil renk, klorofil ve protein içeriğine olumlu katkısının olduğu gözlemlenmiştir. Ancak brokolinin toplam şeker seviyesine bir etkisi görülmemiştir.

Reyes vd. [40], brokoli çiçeklerini akışkan yatakta kurutmuşlardır. 60 ve 80°C sıcaklık değerlerinde, 1-3 cm aralığında değişen brokoli boyutlarında, 1-3 m/s aralığındaki farklı hava akış hızlarında ve 60 ile 100 rpm dönme hızlarında çalışılmıştır. Akışkan yatakta kurutulan brokoli örneklerinin nem içeriğine, difüzivitesine, antioksidan kapasitesine, polifenol içeriğine, yine selenyum bakımından zengin bir sebze olan brokolinin selenyum içeriğine, hava akış hızının ve hava sıcaklığının etkisi araştırılmıştır. Haşlanmış brokoli örneklerinde antioksidan kapasitesinin, haşlama işlemi nedeniyle taze brokoliye

göre %77'lik oranla en belirgin düşüşü gösterdiği görülmüştür. Maksimum polifenol içeriğine ise 1 cm boyutunda dilimlenmiş, 3 m/s hava akış hızı ve 80°C hava sıcaklığında kurutulmuş brokoli örneklerinde rastlanmıştır.

Brokolinin selenyum içeriğine ise yalnızca kurutma havasının akış hızının belirgin bir etkisinin olduğu, selenyum içeriğinin hava sıcaklığından ve brokoli boyutundan fazla etkilenmediği anlaşılmıştır. Selenyum içeriği ile ilgili optimum kurutma koşulları 53°C hava sıcaklığı ve 2 m/s hava akış hızıdır.

Sanjuan vd. [41], brokoli rehidrasyonunun modellenmesini yapmışlardır. Brokoliler $0,0046 \pm 0,0002$ m kalınlığında dilimlenmiş ve 55°C'deki suyla 4 dakika süresince haşlanıp, sonra oda sıcaklığında 45 dakika bekletilmiş, daha sonra ikinci haşlama 100°C'deki suyla 4 dakika süresince yapılmıştır. Örnekler, bir kabin kurutucuda 65°C'de 4 saat süreyle kurutulmuştur. Daha sonra kurutulan brokoli örneklerinin rehidrasyonu yapılmıştır. Rehidrasyon hızının brokolinin haşlanması için kullanılan suyun sıcaklığının atmasıyla arttığı gözlemlenmiştir. Rehidrasyon prosesi için etkin difüzyon katsayısı Arrhenius bağlantısı ile hesaplanmıştır. Prosesin etkin difüzyon katsayısı $1,78-3,32 \times 10^{-10}$ m²/s aralığında değişirken, aktivasyon enerjisi 17,9 kJ/mol olarak hesaplanmıştır.

Sanjuan vd. [42] tarafından yapılan başka bir çalışmada ise, kurutulmuş brokoli çeşitlerinin depolanması sırasında kalitesinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Brokoli çiçekleri saplarından ayrılarak $0,043 \pm 0,012$ m yarıçapında kesilen çiçekler deneyde kullanılmıştır. Rehidrasyonu iyileştirmek için kurutmadan önce haşlama işlemi yapılmıştır. İlk haşlama 55°C'de 4 dakika süreyle yapılmış, ardından örnekler oda sıcaklığında 45 dakika bekletilip tekrar 100°C deki suyla 4 dakika süreyle haşlanmıştır. Ön işlemlerin ardından örnekler, bir kabin kurutucuda 65°C'de 4 saat süresince final nemi 7,54 kg su/100 kg olana kadar kurutulmuştur. Kurutulan brokoli çiçekleri, 5, 15, 25 ve 40°C sıcaklıklarda depolanarak kalitelerindeki değişimler incelenmiştir. Kalite parametreleri olarak brokoli çiçeklerinin rehidrasyon kapasitesi, rehidre edilen ürünün sertliği ve brokoli çiçeklerinin klorofil içeriği esas alınmıştır. Rehidrasyon kapasitesinin değerlendirilmesinde ise denge nemi ve etkin difüzyon katsayısı ölçüt alınmıştır. Kurutulmuş örnekler, 5°C'de 427 gün süreyle depolanmış, bu süre içerisinde tüm kalite parametrelerinde çok az değişiklik olduğu gözlemlenmiştir. 15 ve 25°C'de depolanan

ürünlerde bu değişiklikler biraz daha belirgin hale gelmiştir. 40°C'de depolanan örneklerde ise 116. güne kadar çok büyük değişimler görülmüş, denge nemi değerinde sert bir düşüş, etkin difüzyon katsayısında ise çok belirgin bir artış olduğu görülmüştür. Örneklerin sertliği, 5, 15 ve 25°C depolama koşullarında benzer iken, 40°C'de depolanan ürünlerde zamanla arttığı görülmüştür. Klorofil içeriğinin de, zaman içerisinde sıcaklık arttıkça artış gösterdiği görülmüştür.

Femenia vd. [43], rehidrasyon sıcaklığının brokolinin hücre duvarı bileşenlerine etkisini araştırmışlardır. Brokoli çiçekleri saplarından ayrılarak $4,3 \pm 1,2$ cm yarıçapında kesilen çiçekler halinde deneylerde kullanılmıştır. İlk haşlama 55°C'de 4 dakika süreyle yapılmış, ardından örnekler oda sıcaklığında 45 dakika bekletilip tekrar 100°C'deki suyla 4 dakika süreyle haşlanmıştır. Ön işlemin ardından örnekler, bir kabin kurutucuda 65°C'de 4 saat süresince kurutulmuştur. Hava akış hızı 1 m/s ve havanın geri dönüş oranı %57-60'dır. Final nemi 5,6 kg H₂O/100 kg'dır. Daha sonra kurutulan örneklerin rehidrasyonu için deneyler yapılmış ve hücre bileşenlerine rehidrasyon sıcaklığının etkisi incelenmiştir. Brokoli çiçekleri ve sapsarı 25, 40, 55, 65 ve 80°C sıcaklıklarda rehidre edilmiştir. Su sorpsiyon kapasitesi değerlerindeki değişim sıcaklığa bağlı olarak incelenmiştir. Düşük sıcaklıklarda rehidre edilen örneklerin rehidrasyon kapasitelerinin maksimum olduğu görülmüştür. Brokoli örneklerinin toplam arabinoz (C₅H₁₀O₅) içeriği ile su sorpsiyon kapasitesi arasında belirgin bir korelasyon olduğu anlaşılmıştır. Arabinozca zengin pektinin nötr yan zinciri, kurutulmuş brokoli örneklerinin su sorpsiyon prosesi üzerinde çok önemli bir role sahip olduğu görülmüştür.

Sarıkamış [1], brokolinin insan sağlığına yararlarını araştırmıştır. Brokoli, zengin vitamin ve mineral içeriğinin yanı sıra içerdiği sulforofan (4-methylsulphinylbutyl isothiocyanate) sayesinde kansere karşı koruyucu özelliğe sahip bir sebze türü olarak önem kazanmıştır. Antikanserojenik aktiviteye sahip olduğu bildirilen sulforofan, doğal olarak sadece lahana grubu sebze türlerinde ve en çok da brokolide bulunan bitkilerin ikincil metabolizma ürünüdür. Sunulan makalede, etki mekanizması büyük ölçüde açıklanmış brokolinin insan sağlığı bakımından yararlarına güncel araştırma sonuçlarına dayanılarak yer verilmesi amaçlanmıştır. Brokoli, içerdiği glukozinolatlar ve bunların parçalanmasıyla oluşan sulforofan sayesinde kansere karşı koruyucu etki gösterdiği bildirilen önemli bir sebze türüdür.

Ancak gerek kültür eitlerindeki glukozinolat miktarlarının genellikle düşük düzeylerde bulunması, gerekse yetiştiricilik sırasındaki ve sonrasındaki Şartlara bağlı olarak değişiklik göstermesi gibi nedenlerle tüketicilerin sağlayacağı yarar düzeyi önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Ayrıca, tüketen bireylerin genetik yapısına bağlı olarak yarar düzeyi değişebilmektedir. Bu nedenle, sağlık açısından beklenen yararları sağlayabilmek için öncelikle glukozinolat içeriğini etkileyen faktörlerin bilinmesi ve ardından glukozinolat içeriğini artırmaya yönelik hedefler oluşturulması önem taşımaktadır.

Keeba [44], farklı halama uygulamaları ile saklamanın kurutulmuş brokolinin renk ve antioksidan aktivitesi üzerine etkilerini incelemiştir. Bu çalışmada, kurutma öncesi uygulanan farklı bileimdeki (su, %3'lk NaCl, CaCl₂, MgO, MgCO₃ zelteleri) halama sularının ve depolama süresinin kurutulmuş brokolinin antioksidan aktivitesi, renk, klorofil ve askorbik asit içeriği üzerine olan etkisi araştırılmıştır. Duyusal değerlendirme sonucunda su ve tuz ile halanarak kurutulan brokoliler renk ve koku bakımından en yüksek puanları alarak en çok beğeni yi kazanmıştır. 24 saat sonundaki en yüksek rehidrasyon kapasitesine tuz çözeltisine daldırılarak kurutulan örnekler ulaşmıştır. MgO uygulaması dışında örneklerin L askorbik asit değerleri üzerine depolamanın etkisi önemsiz bulunmuştur. Depolama süresi boyunca klorofil a değerinde artış olmuştur. Depolamanın baından sonuna kadar klorofil a içeriğinde en az kaybı %5,27 ile MgCO₃, en fazla kaybı %23,96 ile MgO grubu vermiştir. CaCl₂ ve kontrol grubunda toplam fenolik madde miktarlarına depolama süresinin etkisi önemlidir. Antioksidan aktivitesi MgO ve MgCO₃ çözeltisine daldırılarak kurutulanlarda daha düşük bulunmuştur. Depolama sırasında kontrol grubu L askorbik asit içeriğini en iyi koruyan gruptur. Halanmamı taze brokoli en fazla L askorbik asit içeriğine sahiptir.

Klaus Peter Latte vd. [45], brokolinin insan sağlığına yararları ve muhtemel riskleri üzerine araştırma yapmışlardır. Brokolinin besin değerleri açısından yüksek değerde bir sebze oluu uzun süredir bilinmektedir. Birçok alıma, brokolinin kanser oluşum riskini azalttığı ortaya çıkarmıştır. Bu etki de brokoli yapısında bulunan glikozinolatlarla bağlantılıdır. Yapılan çalışmalarla glikozinolatlara etki eden çevresel ve genetik faktörler olduğu tespit edilmiştir. Brokolide gerçekleşen genotoksik ve kimyasal bazı aktivitelerin de olduğu tespit edilmiştir. Ancak genotoksik aktivitelerin insan sağlığına etkileri henüz

bilinmemektedir. Bu çalışma brokolinin genotoksik, antigenotoksik, besleyici ya da besleyici olmayan özelliklerini değerlendirmek amacıyla yapılmıştır. Brokolinin faydaları ile muhtemel riskleri karşılaştırılmış ve faydalarının daha ağır bastığı görülmüştür.

5.2 Karnabahar

Eşiyok vd. [33], bazı karnabahar çeşitlerinin verim, kalite ve bitki özelliklerini araştırmışlardır. Karnabahar ülkemizde sonbahar kış aylarında yetiştiriciliği yapılmaktadır. Ülkemizde 2001 yılı verilerine göre 90.000 ton karnabahar üretimi yapılmıştır. Ülkemizde sebze olarak pazara yönelik üretimin yaklaşık %75'i Ege Bölgesinde, %25'i ise Marmara ve Akdeniz Bölgelerinde yapılmaktadır. Karnabaharın sebze olarak değerlendirilen kısımları taç olarak isimlendirilmektedir. Karnabaharlarda taç, bitkinin büyüme konisinin uç kısmının dallanmasıyla ortaya çıkmakta ve tacın oluşması ile yaprak gelişimi durmaktadır. Kaliteli karnabahar yetiştiriciliğinde birim alandan en yüksek verimin elde edilmesinde tohum ekimi ve fide dikim zamanları en önemli kriterler olarak karşımıza çıkmaktadır. Yapılan çalışmalarda karnabahar fidelerinin esas yetiştirme yerlerine geç dikilmesiyle kök, gövde ve yaprağın nispi büyüme oranı oransal olarak azalmış, minyatür taç teşekkülünün arttığı belirlenmiştir. Yetiştirme yerlerine erken dönemde dikilen fideler ile (genç fide) yapılan yetiştiricilikte meydana gelen tacın, geç dönemde dikilen fidelerden (yaşlı fide) elde edilen taçlara oranla daha büyük olduğu bildirilmektedir. Yapılan çalışmalarda karnabahar yaprak sayısı ile erkencilik arasında ilişki olduğu, geçici çeşitlerdeki yaprak sayısının erkenci çeşitlere oranla daha fazla olduğu bildirilmektedir.

Bu araştırma ile Ege Bölgesi koşullarında denemeye alınan 10 karnabahar çeşidinin bitki boyu, yaprak boyu, yaprak eni, tacın sıklığı, tacın rengi, tacın örtülü olma durumu, tüylülük, brakte oluşumu gibi bitki gelişim özellikleri yanında, ortalama yaprak sayısı, gövde boyu, taç çapı, taç yüksekliği, minimum ve maksimum taç ağırlığı, ortalama taç ağırlığı ve dekar verim özelliklerinin belirlenmesi amacıyla 1999-2001 yılları arasında yürütülmüştür.

Deneme sonuçlarına göre çeşitler arasında dekar verimi ile ortalama taç ağırlığı arasında doğru orantı, bazı çeşitler arasında ise yaprak sayısı ile verim arasında ters orantı olduğu belirlenmiştir.

Jambrak vd. [46] tarafından mantar, brüksel lahanası ve karnabaharın rehidrasyon özellikleri ve ultrases (yüksek frekansta ses) enerjisinden yararlanılarak daha hızlı kurutulmasına dair bir çalışma yapılmıştır. Çalışmanın amacı, kurutmada ön işlem olarak ultrases enerjisinin kullanılması, kütle transferine ultrases enerjisinin etkisi ve difüzyon hızını incelemektir. Ön işlem 20 kHz ve 40 kHz aralığında, 3 dakika ve 10 dakika süreyle uygulanmış ve 80°C'de 3 dakika haşlanarak ön işlem uygulanan örneklerle karşılaştırılmıştır. Kütle kaybı ölçülmüş ve rehidrasyon özellikleri araştırılmıştır. Çalışma, ön işlem olarak ultrases kullanılmasının kurutma boyunca kütle kaybını hızlandırdığını ve bunun sonucu olarak kurutma süresini de kısalttığını göstermiştir. Örneklerin rehidrasyon yeteneğinde de olumlu etkisinin olduğu görülmüştür.

Shukla vd. [47], karnabahar, mantar ve bezelyeyi ozmotik kurutma prosesinde kurutmuşlardır. Uygun konsantrasyonlarda şeker-tuz, tuz ve şeker-tuz+MgCO₃ çözeltisi kullanılmıştır. Karnabaharlar, bıçak yarımıyla 34 mm genişliğinde ve 29 mm yüksekliğinde parçalara kesilmiştir. Sebze örnekleri kireç suyuna 4 saat süreyle daldırıldıktan sonra 30-35°C oda sıcaklığında bekletilmiştir. Daha sonra %10 tuz ve %10 şeker çözeltisi kullanılarak hazırlanan ozmotik konvektif proses ile kurutularak nem kaybı tayin edilmiştir. 5 saat süren ozmotik kurutma prosesi boyunca nem içeriğindeki azalma, %40-60 civarında olmuştur. Osmoz ürünleri daha sonra bir rafli kurutucuya alınarak 60°C'de nem içeriği %6-8 olana kadar kurutmaya devam edilmiştir. Ürünlerin nem içeriği, tekstürel özellikleri, rehidrasyon özellikleri ve mikrobiyal yük gibi kalite parametreleri değerlendirilmiş ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Kadam vd. [48], karnabahar kurutmak için düz plakalı konvektif bir güneş kolektörü kullanmışlardır. Birbirine paralel olarak dört panel konumlandırılmış ve sıcak hava kurutma odasına hava üfleyici sayesinde gönderilmiştir. Kurutma havasının sıcaklığı 1,7°C ile 13,5°C arasında değişmektedir. Karnabahar örnekleri 3 dakika süresince kaynayan suda haşlanmış ve 15 dakika süresince %1'lik sodyum klorür, potasyum metabisülfid ve sodyumbenzoat çözeltileri ile muamele edilmiştir. Daha sonra güneş kolektöründe kurutulmuştur. Her biri için kurutma süresi, kurutma sabiti ve nem oranı hesaplanmıştır. Kullanılan çözeltilere bağlı olarak kurutma davranışının da farklılık gösterdiği görülmüştür. Deneysel verilerden hesaplanan kurutma sabitinin minimum ve maksimum değerleri 0,616 ve 0,202 bulunmuştur. Potasyummetabisülfid, sodyum

benzoat ve sodyum klorür çözeltileri ile ön işlem uygulandıktan sonra kurutulan ürünlerin kurutma katsayıları sırayla 2 saatlik süre için 0,585, 0,616 ve 0,599; 3 saatlik süre için 0,428, 0,467 ve 0,457; 4 saatlik süre için ise 0,390, 0,369 ve 0,362 olarak hesaplanmıştır. R^2 değerleri de aynı sırayla 0,9968, 0,9887 ve 0,983 bulunmuştur. Sodyum klorür ve sodyum benzoat çözeltileriye ön işlem uygulanan örnekler kıyasla en iyi sonuca potasyummetabisülfat çözeltisi ile ön işlem uygulandığında ulaşılmıştır.

Kadam vd. [49] tarafından yapılan başka bir çalışmada ise, güneşte kurutulan karnabaharların ön işlemlerinin optimizasyonu üzerine çalışılmıştır. Kurutmada haşlama süresinin ve ön işlem konsantrasyonunun optimizasyonu önem taşımaktadır. Bunun için elde edilen veriler bilgisayar programları (ANOVA, PROC GLM of SAS) ile değerlendirilmiş, haşlama süresinin rehidrasyon oranı ve rehidrasyon katsayısı açısından oldukça önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Kaynamış su metodu, yıkanmış karnabaharın haşlanması için kullanılmıştır. Bu işlem, karnabahar parçalarının temiz bir beze sarılıp kaynamış suya 3, 5, 7 ve 9 dakika bekletilmesiyle yapılmış, daha sonra musluk suyu altında soğutulmuştur. Haşlanmış ve soğutulmuş karnabahar örnekleri 15 dakika süresince %0,5, %1,0 ve %1,5 olmak üzere üç farklı konsantrasyonda sodyum klorür, potasyum metabisülfat ve sodyum benzoat çözeltilerine daldırılmıştır. Daha sonra karnabahar örnekleri tepsiye dağıtılarak güneşte kurutulmuştur. Örneklerdeki kütle kayıpları her 4 saatte bir alınan ölçümlerle kaydedilmiştir. En iyi sonuca potasyum metabisülfat kullanıldığında ulaşılmıştır. Karnabaharın kurutma zamanı üzerine haşlama zamanının ve diğer çözeltilerle uygulanan ön işlemlerin önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

Femenia vd. [50], karnabahar liflerinin özelliklerine sıcaklık ve kurutma davranışının etkisini araştırmışlardır. Çalışmada karnabahar çiçekleri ve sapları kullanılarak kurutmanın karnabaharın özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Taze materyalden 100 g tartılarak, 25 mm³ hacmine sahip tüplere koyulmuş ve örnekler hemen sıvı azotta dondurularak -20°C de depolanmıştır. Kurutma işlemi, 40 ve 75°C aralığında yapılmıştır. Örneklerin her 5-10 dakikada bir ağırlık ölçümleri yapılarak kurutmanın ilerleyişi adım adım kaydedilmiştir. Kaybedilen toplam nem miktarı %50-80 olana kadar devam edilmiştir. 40°C'nin üzerindeki sıcaklıkların pektik polisakkaritlerin esterifikasyon derecelerini (taze karnabaharda %60), %12 oranında düşürdüğü gözlemlenmiştir. Bu,

pektin metil esteraz enzimini aktivitesinden kaynaklanan bir durumdur. Reaksiyon, sıcaklık ve neme duyarlı olduğundan proses koşullarından da etkilenmektedir. Taze, dondurularak kurutulmuş ve 40°C'de kurutulmuş örneklerdeki nişasta olmayan polisakkaritlerin çözünürlükleri %6 civarında iken; haşlanmış örneklerde bu oran %12'ye çıkmış ve 75°C'de kurutulmuş örneklerde ise düşüş göstermiştir. Benzer durumun örneklerin şişme ve su tutma kapasitesi için de geçerli olduğu görülmüştür. Sonuçlar, fonksiyonel özellikler ve lifçe zengin gıdalar elde edilmesi üzerinde uygulanan işlemin önemini ortaya koymuştur.

Lopez vd. [51], marketlerden alınan sebze artıklarının (marul ve karnabahar atıkları) ince tabakalı kurutma davranışlarını incelemiştir. 50-150°C sıcaklık aralığında çalışılmıştır. Deneysel veriler basit üstel model ve Page denklemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Her iki model de iyi sonuçlar vermiştir. Hesaplanan etkin difüzyon katsayıları $6,03 \times 10^{-9}$ ile $3,15 \times 10^{-8}$ m²/s aralığında değişmektedir. Aktivasyon enerjisi ise 19,82 kJ/mol olarak hesaplanmıştır.

Mulet vd. [52], patates ve karnabaharın şeklinin, kurutulmaları süresince büzüşme özelliklerine etkisini incelemiştir. Patatesler, kübik, silindirik ve paralel yüzlü olmak üzere üç farklı geometrik şekillerde kesilip kurutulmuştur. Kurutma prosesi boyunca şekil analizi yapılarak geometrik değişimler iki farklı yöntemden yararlanılarak izlenmiş ve benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Parçacık şeklinin eksenlerle ilgili olarak farklı bir yolla büzüşme özelliğini etkilediği bulunmuştur. Daha büyük boyuttaki örneklerin büzüşmesi küçük boyuttaki örneklerin büzüşmesinden daha az olmuştur. Bu durum, büzüşen yapının merkezinin kuruması ile ilişkilendirilebilir.

Aynı şekilde patatesler için yapılan deneyler karnabahar artıkları için de yapılmıştır. Büzüşmede yönler arasındaki farklılıkların, karnabaharlar için çok daha belirgin olduğu görülmüştür. Bu hususta, eksenler boyunca liflerin sıralanışının etkisi vardır.

MATERYAL VE YÖNTEM

6.1 Materyal

Kurutma deneylerinde kullanılan karnabahar ve brokoli İstanbul'da bir süpermarketlerden temin edilerek taze olarak deneylerde kullanılmıştır. Sitrik asit ise Merck Firması'ndan (Almanya) temin edilmiştir.

6.2 Yöntemler

6.2.1 Kurutma sistemi

Brokoli ve karnabaharın kurutulması, bir kabin kurutucuda (APV&Pasilac Ltd., Carlisle, Cumbria, UK) gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan kurutucunun genel görünümü Şekil 6.1'de görülmektedir.



Şekil 6.1 Brokoli ve karnabahar kurutulmasında kullanılan kurutucunun genel görünüşü

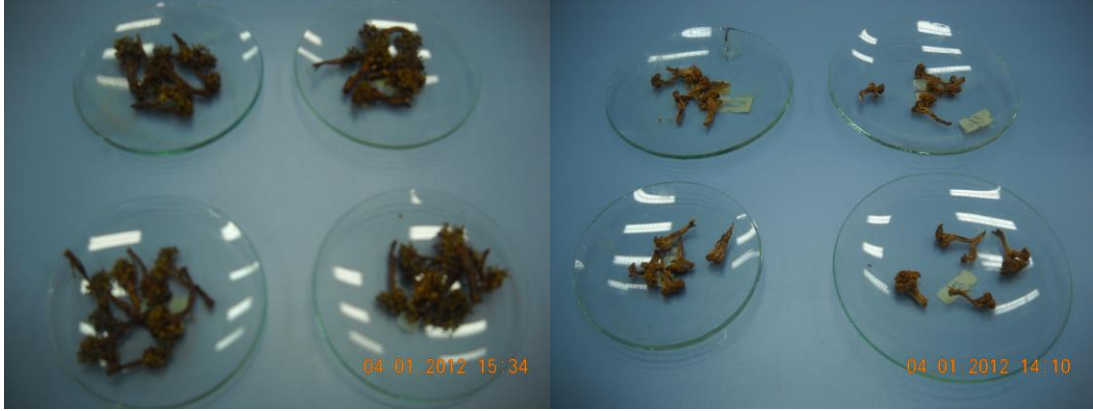
Kurutma kabini, delikli bir tepsi içerisinde, çeşitli maddelerin kurutulmasına uygun, istenilen sıcaklıkta hava akımı sağlayabilen pilot ölçekli bir kurutucudur. Kurutucu çelikten imal edilmiş olup 50 mm kalınlığında yarı rijit yassı izolasyon maddesi ile kaplanmıştır.

Kabin içerisinde sirkülasyon halinde bulunan havanın hızı ise, hızı değiştirilebilen sirkülasyon fanı tarafından kontrol edilebilmektedir. Sirkülasyon fanı 0,37 kW gücünde bir elektrik motoruyla çalışmaktadır.

Kullanılacak olan havanın ısıtılması ise, sirkülasyon fanının karşısında bulunan 14 adet şerit halindeki ısıtıcılar ile sağlanmaktadır. Kurutucuda, 200°C sıcaklığa kadar çalışmak mümkündür. İstenilen sıcaklık ayarları, cihaz üzerinde bulunan kontrol panelindeki dijital sıcaklık göstergesinden ayarlanabilmektedir.

6.2.2 Kuru madde tayini

Brokoli ve karnabahar örneklerinin kurutma deneylerinden önce nem içerikleri tayin edilmiştir.



Şekil 6.2 Brokoli ve karnabahar örneklerinin nem tayini görüntüleri

Şekil 6.2'de görüldüğü gibi darası önceden belirlenmiş örnek kabında yaklaşık 5 gram civarında tartılan örnekler, Şekil 6.3'de gösterilen 105°C'ye ayarlanmış Selecta (Barcelona, Spain) marka etüvde sabit tartıma gelene kadar kurutulmuştur. Desikatörde bekletilip soğutulması sağlanmış ve tartılmıştır. Örneklerin içerdiği nem miktarı ve kuru madde miktarı tayin edilmiştir.



Şekil 6.3 Nem tayininde kullanılan etüvün genel görünüşü

6.2.3 Dijital termometre

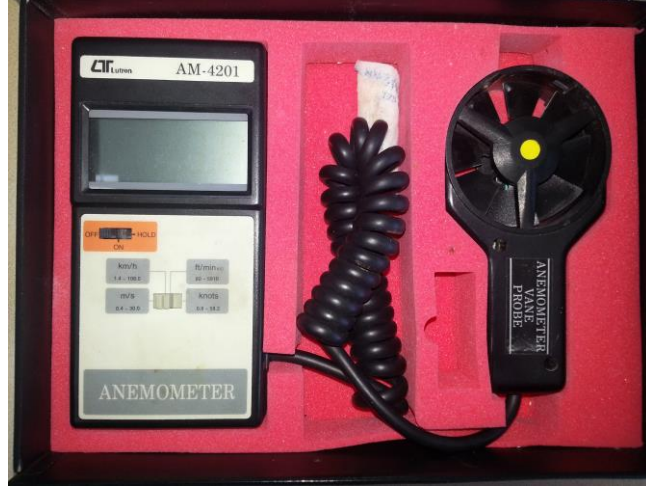
Deneyler sırasında kullanılan suyun sıcaklığı Şekil 6.4’de görülen ve 0-600°C arasında çalışabilen 8 kanallı ve taramalı Meter Elektronik Fe-Konstant dijital termometreden yararlanılarak ölçülmüştür.



Şekil 6.4 Dijital termometrenin genel görünüşü

6.2.4 Hava akış hızı

Kurutma denemeleri sırasında havanın akış hızı, Şekil 6.5’te gösterilen TESTO 440 Vane Anemometre (AM-4201, Lutron, Taipei, Taiwan) ile $2\pm 0,1$ m/s olarak ölçülmüştür.



Şekil 6.5 Anemometre

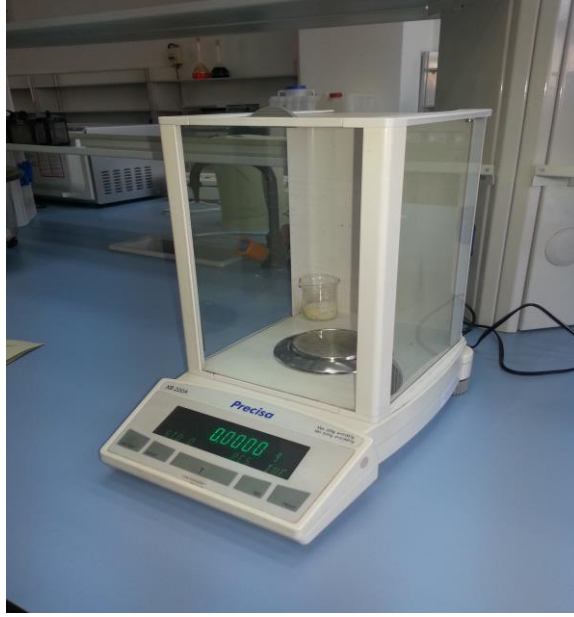
6.2.5 Terazi

Kurutulan ürünlerde ağırlık ölçümleri Şekil 6.6'da 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 15 dakikada bir ölçümler alınarak kaydedilmiştir.



Şekil 6.6 Mettler marka terazinin genel görünüşü

Nem tayini ve rehidrasyon işlemleri esnasındaki ağırlık ölçümleri ise daha hassas veriler elde etmek amacıyla Şekil 6.7'de gösterilen Precisa marka (XB 220 A model, Precisa Instruments AG, Dietikon, Switzerland) hassas terazi kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 6.7 Precisa marka terazinin genel görünüşü

6.2.6 Numune saklama

Kurutma işleminin ardından kurutma kabininden alınarak oda sıcaklığında 10 dakika bekletilen örnekler, düşük yoğunluklu polietilen (60 µm kalınlığındaki LDPE) torbalara doldurulduktan sonra Şekil 6.8’de görülen KRUPS firması (Fransa) yapımı Vacupak 2 Plus cihazı kullanılarak ısıl yöntemle torbaların ağzı sıkıca kapatılarak muhafazaya alınmıştır.



Şekil 6.8 Kurutulmuş ürünleri ısıl paketlemede kullanılan cihazın genel görünümü

6.3 Kurutma Denemeleri

6.3.1 Brokoli kurutma

Brokolinin kurutma süresi, kurutma havasının sıcaklığı ve hızına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Ayrıca belli büyüklükte parçalara dilimlenen brokoli numunelerinin, farklı sıcaklıklarda ve sürelerde ön işlemler uygulanarak kurutma karakteristiklerini incelemek mümkündür. Bu amaçla numuneler, farklı sıcaklık değerlerindeki saf suya ve sitrik asit çözeltilerine daldırılarak değişik sürelerde bekletilmiş, ardından kontrollü koşullarda kurutulmuştur. Bu şekilde brokoli numunelerinin kurutma hızını kısaltmak ve ürünün kalitesini kontrol eden kurutma parametrelerinin istenilen değerlerde tutulması mümkün olmaktadır. Kurutma süresindeki kısalma, kullanılan enerjiden tasarruf edilmesini de sağlamaktadır. Daldırma çözeltileri, brokoli çiçeklerine etki ederek nem transferine direnç gösteren dış tabakayı çözerek etkilemekte, doku geçirgenliğini arttırmakta, bunun sonucu olarak nem transferinin artışı sağlayarak ürünlerin daha kısa sürede kuruyarak istenilen kalitede bir ürün elde edilmesine imkan tanımaktadır. Ayrıca uygulanan ön işlemler, enzimleri inaktif hale getirerek ürünlerde meydana gelebilecek renk kayıplarını da önlemektedir [53].

Kurutma denemelerinde kullanılan brokoliler farklı sıcaklıklarda ve sürelerde ön işlemlere tabi tutularak kurutulmuş ve kurutma karakteristiklerindeki değişimler incelenmiştir. Bu amaçla brokoli numuneleri $2,2\pm 0,1$ cm boyutunda parçalara ayrılarak kurutma için hazırlanmıştır.

İlk kurutma denemelerinde dilimlenen brokoli numunelerinden 100'er gram tartılarak üç grup numune hazırlanmıştır. Birinci gruptaki brokoliler herhangi bir ön işlem yapılmadan (KONTROL), ikinci gruptaki brokoliler 80°C 'deki sıcak suda 1 dakika süre ile ön işleme tabi tutularak (HAŞLAMA), üçüncü gruptaki brokoliler ise oda sıcaklığındaki sitrik asit çözeltisinde 1 dakika süre ile ön işleme tabi tutularak $45, 55, 65$ ve 75°C 'deki hava ile kurutulmuştur.

İkinci kurutma denemeleri için ise önce brokoli numunelerinin ön işlem sıcaklığı 80°C 'de sabit tutularak 1, 2, 3, 4 ve 5 dakika olarak farklı sürelerde ön işlem uygulanarak 65°C 'de hava ile kurutulmuştur. Daha sonra ise, ön işlem süresi 2 dakikada sabit

tutulularak 40, 60 ve 80°C sıcaklıktaki sıcak su ve 40, 60 ve 80°C sıcaklıktaki sitrik asit çözeltileri ile muamele edilen numuneler 65°C'deki hava ile kurutulmuştur. Bu şekilde brokoli kurutmaya etki eden parametrelere sırasıyla ön işlem süresinin ve sıcaklığının etkisi incelenmiştir.

Kurutucudaki hava hızı sabit tutulmuş ve $2\pm 0,1$ m/s olarak ölçülmüştür. Kurutulan üründe ağırlık ölçümleri Şekil 6.6'da görülen terazi ile yapılmıştır. Kurutma işlemi sırasında madde ağırlığı her 15 dakikada bir kaydedilmiş ve bu işlem örneklerdeki nem içeriği yaklaşık %10'a düşüncüye dek devam etmiştir. Daha sonra örnekler oda sıcaklığında 10 dakika bekletildikten sonra düşük yoğunluklu polietilen (60 µm kalınlığındaki LDPE) torbalara doldurulduktan sonra ısısal yöntemle torbaların ağzı kapatılarak muhafazaya alınmıştır.



Şekil 6.9 Kurutma denemelerinde kullanılan dilimlenmiş brokolilerin genel görünüşü

6.3.2 Karnabahar kurutma

Kurutma denemelerinde kullanılan karnabaharlar, Şekil 6.10'da görüldüğü gibi bir bıçak yardımıyla dikkatli bir şekilde $2,2\pm 0,1$ cm boyunda dilimlere bölünmüştür.



Şekil 6.10 Kurutma denemelerinde kullanılan dilimlenmiş karnabaharların genel görünüşü

Dilimlenmiş karnabaharlardan 100'er gram tartılarak ilk kurutma denemeleri için üç grup numune hazırlanmıştır:

Birinci gruptaki numuneler herhangi bir ön işlem yapılmadan (KONTROL), ikinci gruptakiler 80°C sıcaklığındaki sıcak suda 1 dakika süre ile ön işleme tutularak (HAŞLAMA) ve üçüncü gruptaki karnabaharlar ise oda sıcaklığındaki sitrik asit çözeltisinde 1 dakika süre ile ön işleme tabi tutulduktan sonra (SİTRİK ASİT) 45, 55, 65 ve 75°C'deki hava ile kurutulmuştur.

İkinci kurutma denemeleri için ise önce karnabahar numunelerinin ön işlem sıcaklığı 80°C'de sabit tutularak 1, 2, 3, 4 ve 5 dakika olarak farklı sürelerde ön işlem uygulanarak 65°C'de hava ile kurutulmuştur. Daha sonra ise, ön işlem süresi 2 dakikada sabit tutularak 40, 60 ve 80°C sıcaklıktaki sıcak su ve 40, 60 ve 80°C sıcaklıktaki sitrik asit çözeltileri ile muamele edilen numuneler 65°C'de hava ile kurutulmuştur. Bu şekilde karnabahar kurutmaya etki eden parametrelere ön işlem sıcaklığının ve ön işlem süresinin etkisi incelenmiştir.

Kurutucudaki hava hızı sabit tutulmuş ve $2\pm 0,1$ m/s olarak ölçülmüştür. Kurutulan ürünler, Şekil 6.6'da görülen terazi yardımıyla tartılmıştır.

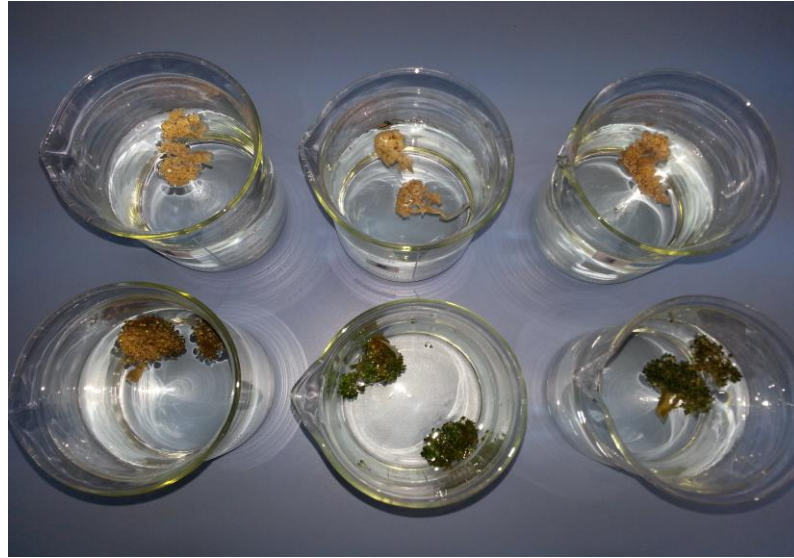
Kurutma işlemi sırasında madde ağırlığı her 15 dakikada kaydedilmiş ve bu işleme örneklerdeki nem içeriği yaklaşık %10'a düşünceye dek devam edilmiştir. Daha sonra örnekler, oda sıcaklığında 10 dakika soğuması için bekletildikten sonra düşük

yoğunluklu polietilen (60 µm kalınlığındaki LDPE) torbalara doldurularak Şekil 6.8’de görülen pakeleme cihazı yardımıyla torbaların ağzı sıkıca kapatılarak muhafazaya alınmıştır.

6.3.3 Rehidrasyon (tekrar su alma yeteneği) oranının ölçülmesi

Kurutulmuş bir ürünün rehidrasyon yeteneği, onun suda belli koşullarda ıslatılması sonucunda kazandığı su miktarı ile ölçülür. Ancak rehidrasyon sırasındaki koşullar, özellikle suyun sıcaklığı ve süresi, rehidrasyon yeteneği üzerinde son derece etkilidir. Bu yüzden bir ürünün rehidrasyon yeteneğine ilişkin sayısal bir değer verilirken, bunun nasıl saptandığına ait yöntemin ve koşulların da ayrıntıyla tanımlanması gerekir [40].

Rehidrasyon deneyleri, 65°C’de kurutulmuş brokoli ve karnabahar örnekleri kullanılarak 20, 40, 60 ve 80°C rehidrasyon sıcaklıklarında gerçekleştirilmiştir. 1-2 gram civarında tartılan kurutulmuş ürünler, Şekil 6.11’de gösterdiği gibi 500 ml’lik beherlerde yaklaşık 400 gram su içerisinde farklı rehidrasyon sıcaklıklarında bekletilmiş, her yarım saatte bir sudan çıkarılarak yüzey nemi havlu kağıt yardımıyla alınmış ve Şekil 6.7’de gösterilen terazi ile tartılmıştır.



Şekil 6.11 Kurutulmuş brokolilerin ve karnabaharların rehidrasyon işlem görünümleri
Deneyler iki kez tekrarlanmış ve elde edilen değerlerin ortalamaları alınmıştır. Rehidrasyon oranı (RR) aşağıda gösterilen formülle hesaplanmıştır [54]:

$$RR = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \quad (6.1)$$

Burada W_1 ve W_2 simgeleri sırasıyla kuru madde miktarını (kg) ve nem miktarını (kg) göstermektedir.

6.4 Matematiksel Modelleme

Kurutma denemelerinde kullanılan ürünlerin nem içeriği kuru baza göre aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$M = \frac{m_w}{m_d} \quad (6.2)$$

Denklemden; M: Nem içeriğini (kg su/kg kuru madde), m_w : Su miktarını (kg), m_d : Kuru madde miktarını (kg) göstermektedir.

Kurutma hızı ise aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır [55]:

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{M_{t+\Delta t} - M_t}{\Delta t} \quad (6.3)$$

Denklemden; $\frac{\Delta M}{\Delta t}$: Kurutma hızı (kg su/(kg kuru madde x dak.)), 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) ve t: süre (dk) olarak ifade edilmektedir.

Nem oranı (MR) ise (6.4) eşitliği yardımıyla hesaplanmıştır [56,57]:

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (6.4)$$

Denklemden; M: Herhangi bir andaki su miktarını (kg su/kg kuru madde), M_0 : Kurutmaya başlamadan önceki ürünün içerdiği su miktarını (kg su/kg kuru madde), M_e : Kurutma koşullarındaki havanın içerdiği su miktarını (kg su/kg kuru madde) belirler. Bu ya bir higrometre ile ya da kurutma sırasında ölçülen yaş ve kuru termometre sıcaklıkları yardımıyla psikrometri diyagramından bulunur.

Deneysel verilerden yararlanarak nem içeriği ile kuruma süresi arasında bir ilişki sağlanması amacıyla Çizelge 6.1'de gösterilen Newton, Page, Henderson ve Pabis,

Logaritmik, Two-term, Wang ve Singh, Midilli vd. olmak üzere toplam yedi denklem test edilmiş ve istatistiksel olarak birbiriyle kıyaslanmıştır.

Çizelge 6.1 Brokolilerin ve karnabaharların kuruma eğrilerinin modellenmesinde kullanılan denklemler

Model Adı	Denklem	Kaynaklar
Newton	$MR=\exp(-kt)$	Senadeera vd. [58]
Page	$MR=\exp(-kt^n)$	Doymaz [55]
Henderson and Pabis	$MR=a \exp(-kt)$	Aktaş vd. [59]
Logaritmik	$MR=a \exp(-kt)+c$	Sacilik [60]
Two-term	$MR=a \exp(-k_0t)+b \exp(-k_1t)$	Toğrul ve Pehlivan [61]
Wang and Singh	$MR=1+at+bt^2$	Pereira da Silva vd. [62]
Midilli vd.	$MR=a \exp(-kt^n)+bt$	İzli vd. [63]

6.5 Regresyon Analizi

Regresyon analizlerinde Statistica programı (Statsoft, Inc., Tulsa, OK) kullanılmıştır. Regresyon katsayısı (R^2) ürünlerin kuruma eğrilerini tanımlayan denklemi seçmek için ana kriter olarak alınmıştır. Ayrıca khi-kare (χ^2) ve tahminin standart hatası (RMSE) değerleriyle de kullanılan denklemin uygunluğu saptanmıştır [62,64].

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

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

Burada MR_{exp} ve MR_{pre} deneysel ve tahmin edilen nem oranlarını, N deneysel veri sayısı ve n kullanılan denklemdaki katsayı sayısı olarak ifade edilmektedir.

Tahminin standart hatası, ampirik ve deneysel değerler arasındaki sapmayı gösterir. Bu değerlerin sıfıra yakın olması arzu edilmektedir. Ayrıca uyumun iyilik derecesini gösteren χ^2 değerinin azalması ile uyumun arttığı belirtilmektedir [65].

6.6 Difüzyon Katsayısının ve Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Çeşitli gıdaların ince tabaka kurutma işleminde geniş bir araştırma olanağı bulmuş olan teorik model, Fick'in ikinci difüzyon denkleminin çözümüdür [66]:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \nabla \cdot (D_{eff} \cdot \nabla M) \quad (6.7)$$

(6.7) denklemini difüzyon katsayısı sabit alınarak çözülüp uygun sınır koşulları ile basitleştirme yapılırsa;

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (6.8)$$

Burada; D_{eff} : Etkin difüzyon katsayısı (m^2/s), L: Dilim yarı kalınlığı (m), ve t: süre (s) olarak ifade edilmektedir. Uzun kurutma süreleri için, (6.8) denkleminin ilk terimi çözüm için kullanılır [55]:

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

Kurutma süresine karşı $\ln(MR)$ grafiklerinin eğimleri:

$$K_1 = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} \quad (6.10)$$

Etkin difüzyon katsayısının sıcaklık ile değişimi Arrhenius tipi üstel bir fonksiyonla açıklanmaktadır [66]:

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{R(T + 273.15)}\right) \quad (6.11)$$

Burada D_{eff} etkin difüzyon katsayısı (m^2/s), D_0 sonsuz sıcaklıkta difüzyon katsayısına eşdeğer bir sabit (m^2/s), E_a aktivasyon enerjisi (kJ/mol), R üniversal gaz sabiti (8,314 kJ/(molxK)) ve

T kurutma sıcaklığıdır ($^{\circ}\text{C}$). $\ln(D_{\text{eff}})$ ile $1/T$ arasında çizilen eğrilerin eğimlerinden yararlanılarak aktivasyon enerjisi değerleri hesaplanır [51].

Termodinamik açıdan aktivasyon enerjisi, ürün içinde nem transferi olduğunda, enerji engelini geçen su molekülleri ile ifade edilir. Aktivasyon enerjisinin düşük değerleri kuruma işleminde daha yüksek nem difüzyon değerleri verir. Bir prosesin aktivasyon enerjisindeki azalma, su moleküllerinin ortalama enerjilerinde artıştan meydana gelir [67].

DENEYSEL BULGULARIN İRDELENMESİ**7.1 Brokoli Kurutma****7.1.1 Nem içeriği ile kuruma süresinin değişimi**

Deneylerde $2,2\pm 0,1$ cm uzunluğunda dilimlere ayrılan brokolilerin kuruma kinetiği 45, 55, 65 ve 75°C 'de ve $2\pm 0,1$ m/s hava hızında incelenmiştir. Yapılan nem tayini deneyleriyle brokolilerin içerdiği nem miktarı %87,08 ve kuru madde miktarı %12,92 oranlarında (yaş baza göre) tayin edilmiştir. Kurutulan ürünlerde nem içeriği yaklaşık olarak %10'a inince kurutma işlemine son verilmiştir. Deneyler sonucu ulaşılan kuruma süreleri Çizelge 7.1'de görülmektedir.

Çizelge 7.1 Brokoli kurutma denemelerine ait kuruma süreleri (dakika)

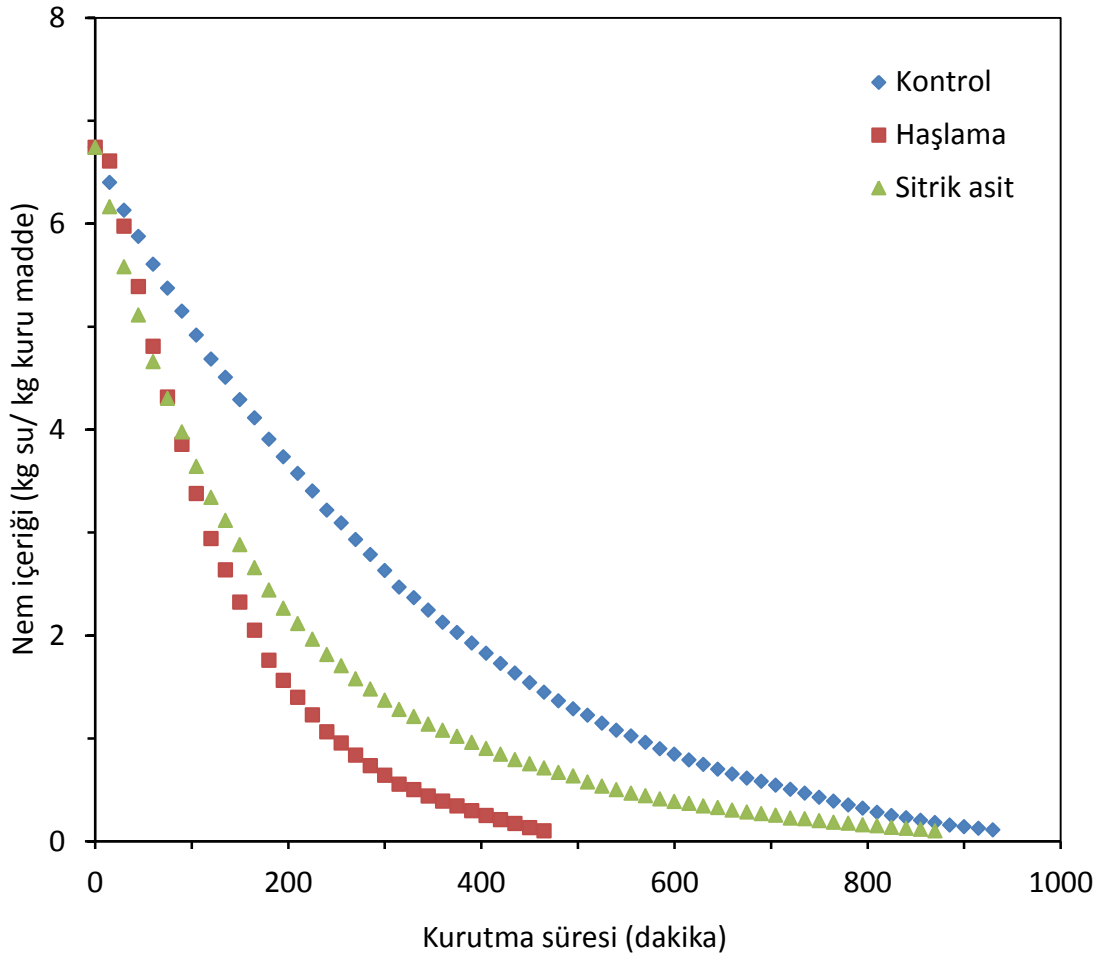
Kurutma Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	Kontrol	Haşlama	Sitrik Asit
45	930	465	870
55	600	405	435
65	465	330	375
75	285	255	270

Çizelge 7.1'de görüldüğü gibi, ön işleme tabi tutularak kurutulan örneklerin kuruma sürelerinin ön işlem görmeden kurutulan örneklere göre daha kısa olduğu saptanmıştır. Örneğin 65°C'de kurutulan örneklerin kurutma süreleri değerlendirildiğinde, ön işlem uygulanmayan örneklerde 465 dakikada kuruma gerçekleşirken, sitrik asit çözeltisinde 1 dakika ön işlem uygulanan örneklerin 375 dakikada kuruduğu, 80°C'deki sıcak suda 1 dakika ön işlem uygulanan örneklerin ise 330 dakika gibi daha kısa sürelerde kurudukları görülmektedir. Bu sonuçlar, ön işlem uygulanan örneklerde, kontrol numunelerine oranla sitrik asite daldırılmış örnekler için %19,4 ve sıcak suda haşlanmış örnekler için ise %29 oranında kurutma süresinden tasarruf sağlandığını göstermektedir. Benzer durum, diğer sıcaklıklarda kurutulan örneklerde de görülmektedir.

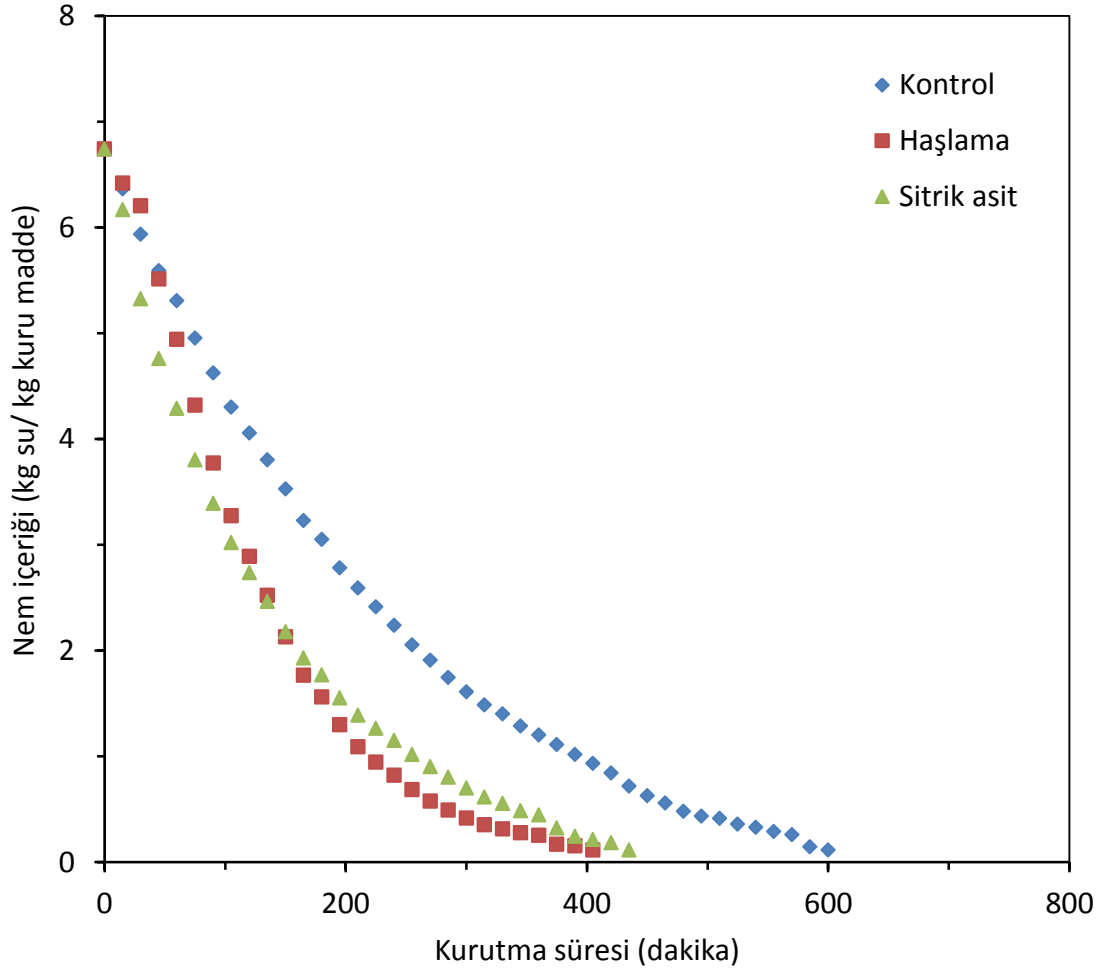
Kuruma süresi kurutma havası sıcaklığından etkilenmektedir. Hava sıcaklığının yükselmesine bağlı olarak nem kaybı hızlanmakta ve kuruma süresi kısalmaktadır [55].

Çizelge 7.1 incelendiğinde; kontrol, haşlama ve sitrik asit kodlu brokolilerin 65°C ve 75°C'deki kuruma süreleri sırasıyla 465 ve 285, 330 ve 255, 375 ve 270 dakikadır. Kurutma havasının sıcaklığındaki 10°C'lik artış sonucunda kuruma sürelerinde yaklaşık %28-38,7 arasında bir azalma saptanmıştır. Kurutma havası sıcaklığının yükselmesiyle hem difüzyon hem de kütle transferinin hızlandığı bilinmektedir [57]. Bu etkiler, ürünün daha çabuk kurumasına sebep olmaktadır. Bu da aynı şekilde enerjiden tasarruf manasına gelmektedir.

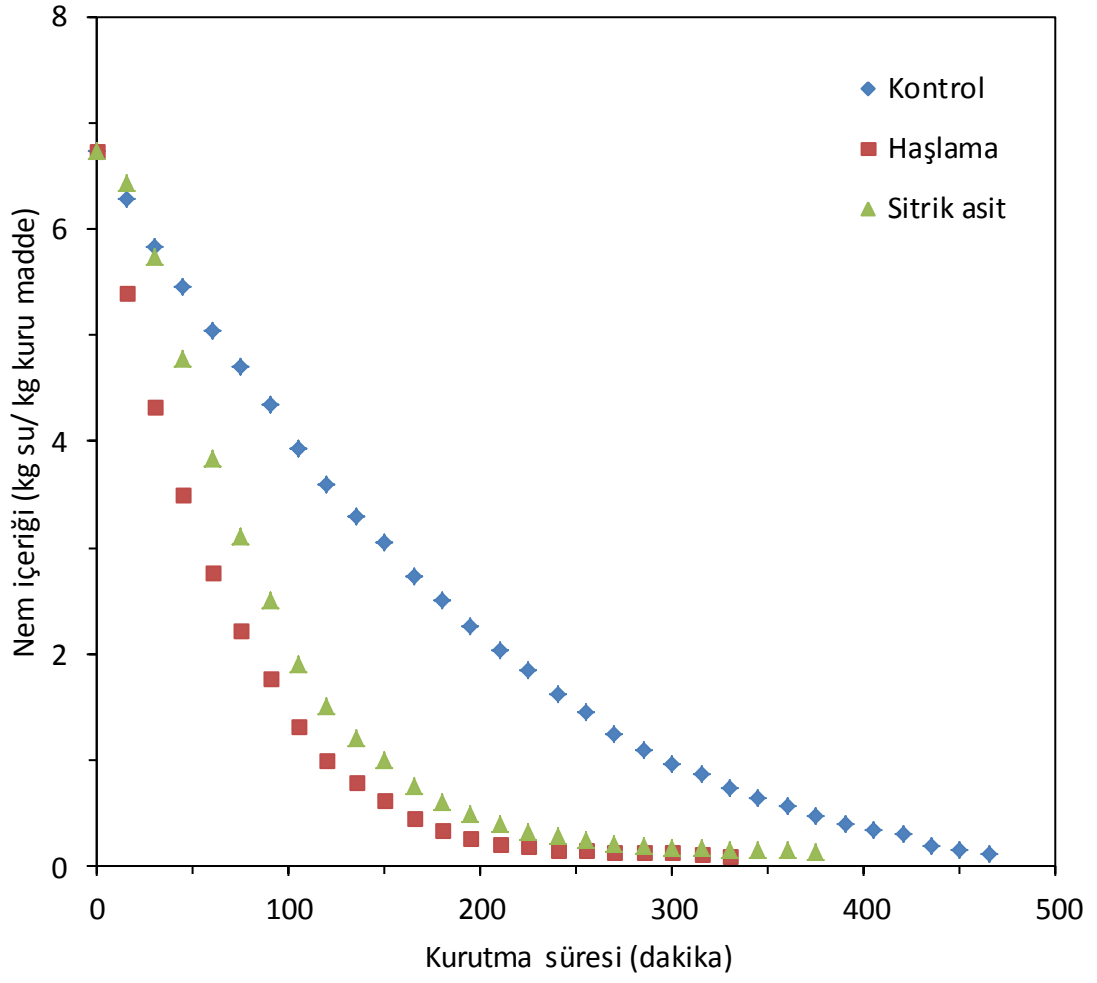
Brokolilerin nem içeriklerinin kuruma süreleri ile değişimi ise Şekil 7.1-7.4'te gösterilmektedir. Şekillerden anlaşılacağı üzere, örneklerdeki nem miktarları kuruma süresi ile azalmaktadır.



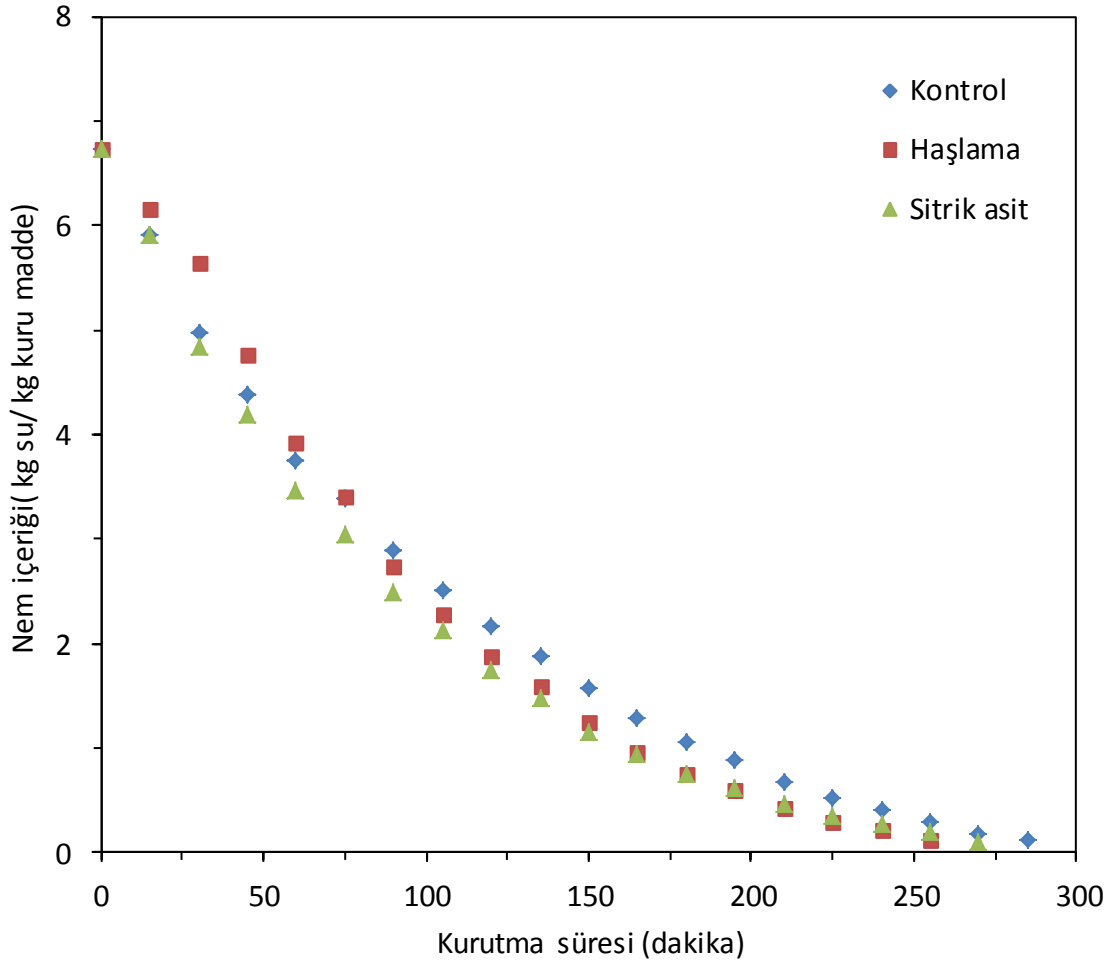
Şekil 7.1 Brokolilerin 45°C'deki nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi



Şekil 7.2 Brokolilerin 55°C'deki nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi



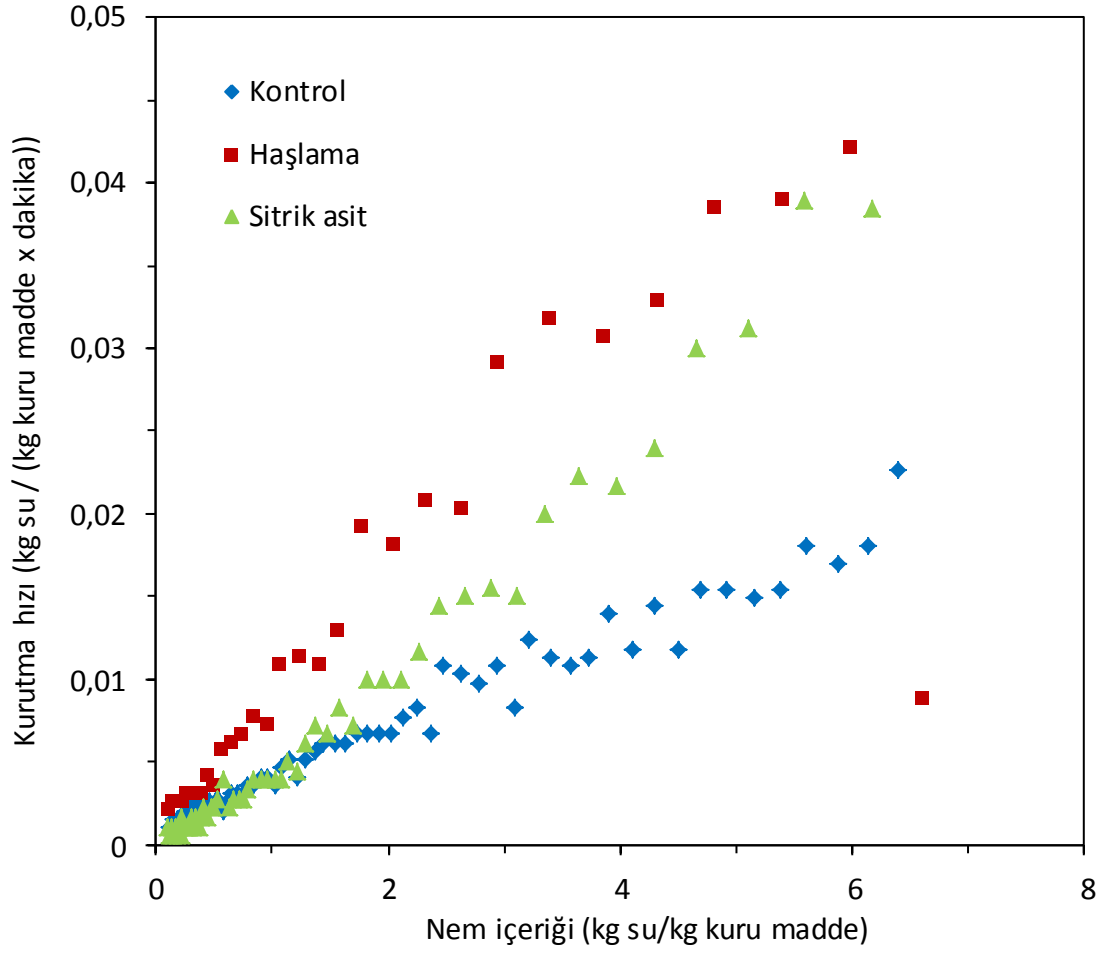
Şekil 7.3 Brokolilerin 65°C'deki nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi



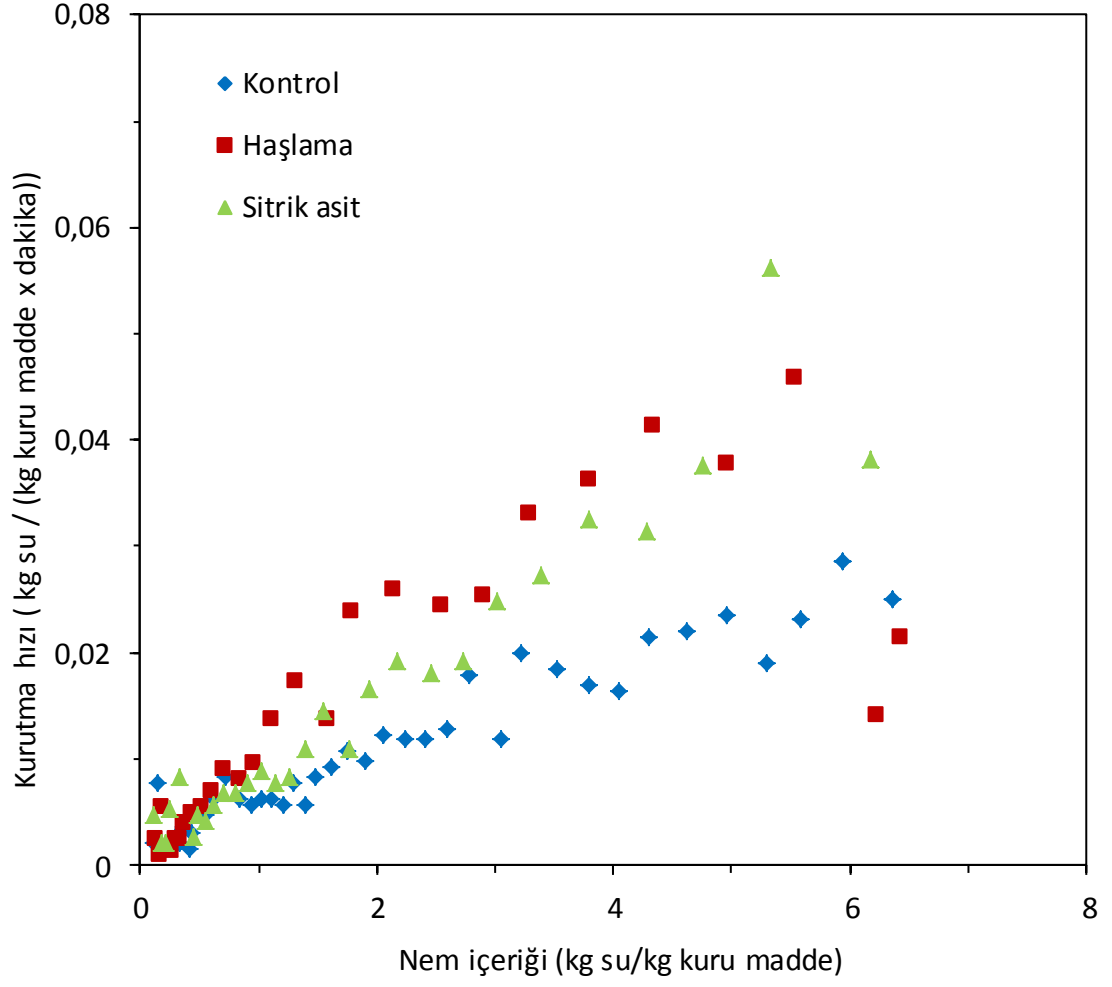
Şekil 7.4 Brokolilerin 75°C'deki nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi

7.1.2 Kuruma hızı ile nem içeriğinin değişimi

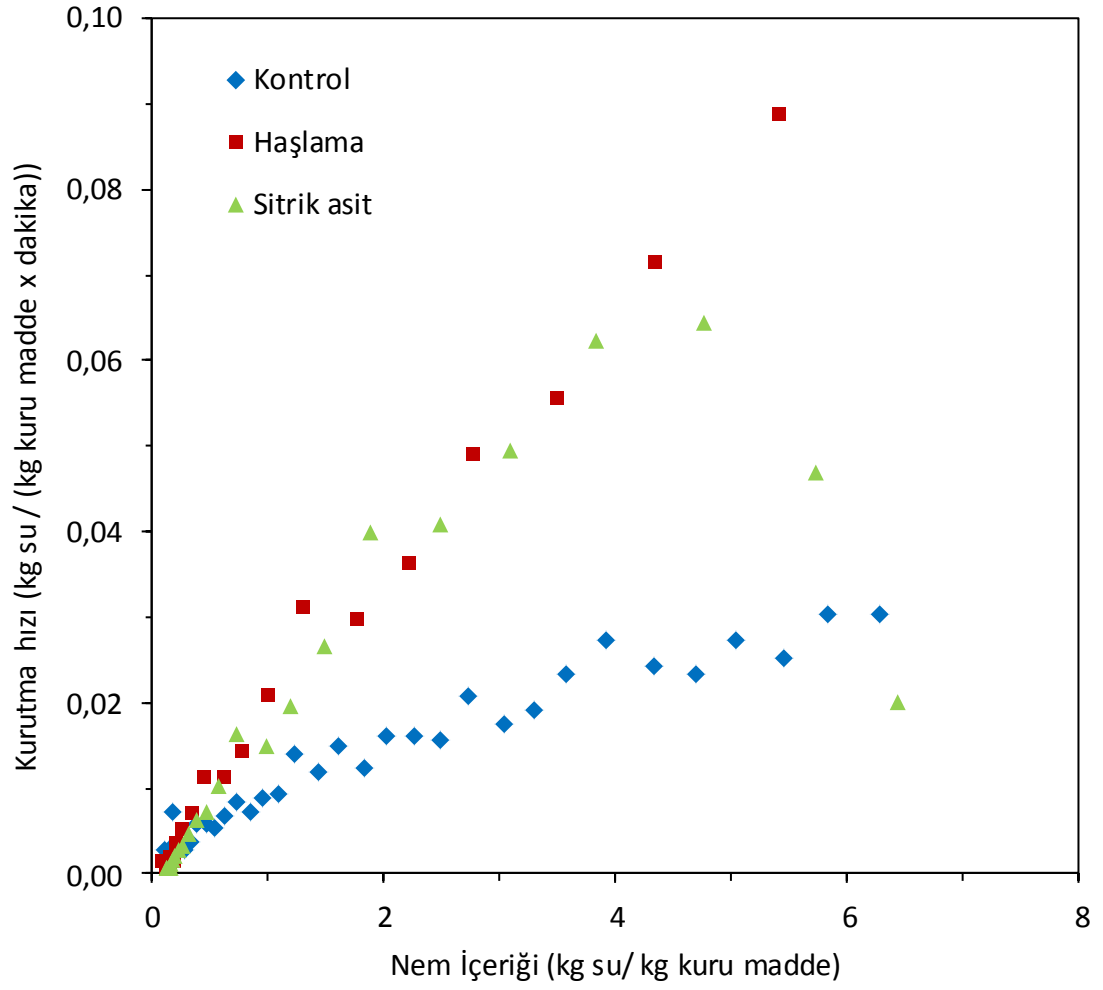
Denklem (6.3) kullanılarak hesaplanan kuruma hızlarının nem içerikleri ile değişimi Şekil 7.5-7.8'de gösterilmektedir. Kurutma hızı eğrilerinde sabit hız periyodu görülmemiş, kurutma azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir. Benzer sonuçlar, literatürde kurutulan patates [68], elma [53], kızılcık [57], biber, havuç, soğan, mantar, balkabağı, domates ve bezelye [26] gibi çeşitli ürünlerde de görülmüştür.



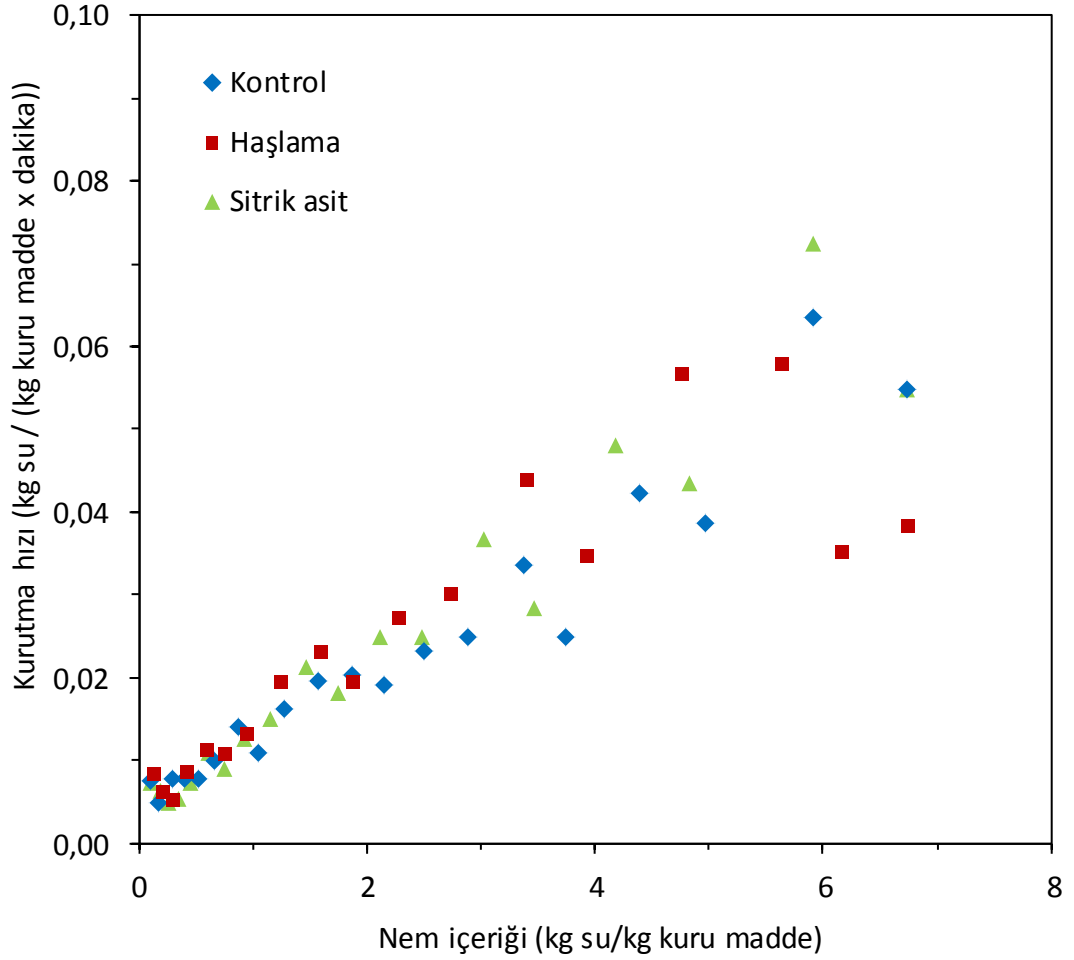
Şekil 7.5 Brokolilerin 45°C'deki kuruma hızının nem içeriği ile değişimi



Şekil 7.6 Brokolilerin 55°C'deki kuruma hızının nem içeriği ile değişimi



Şekil 7.7 Brokolilerin 65°C'deki kuruma hızının nem içeriği ile değişimi



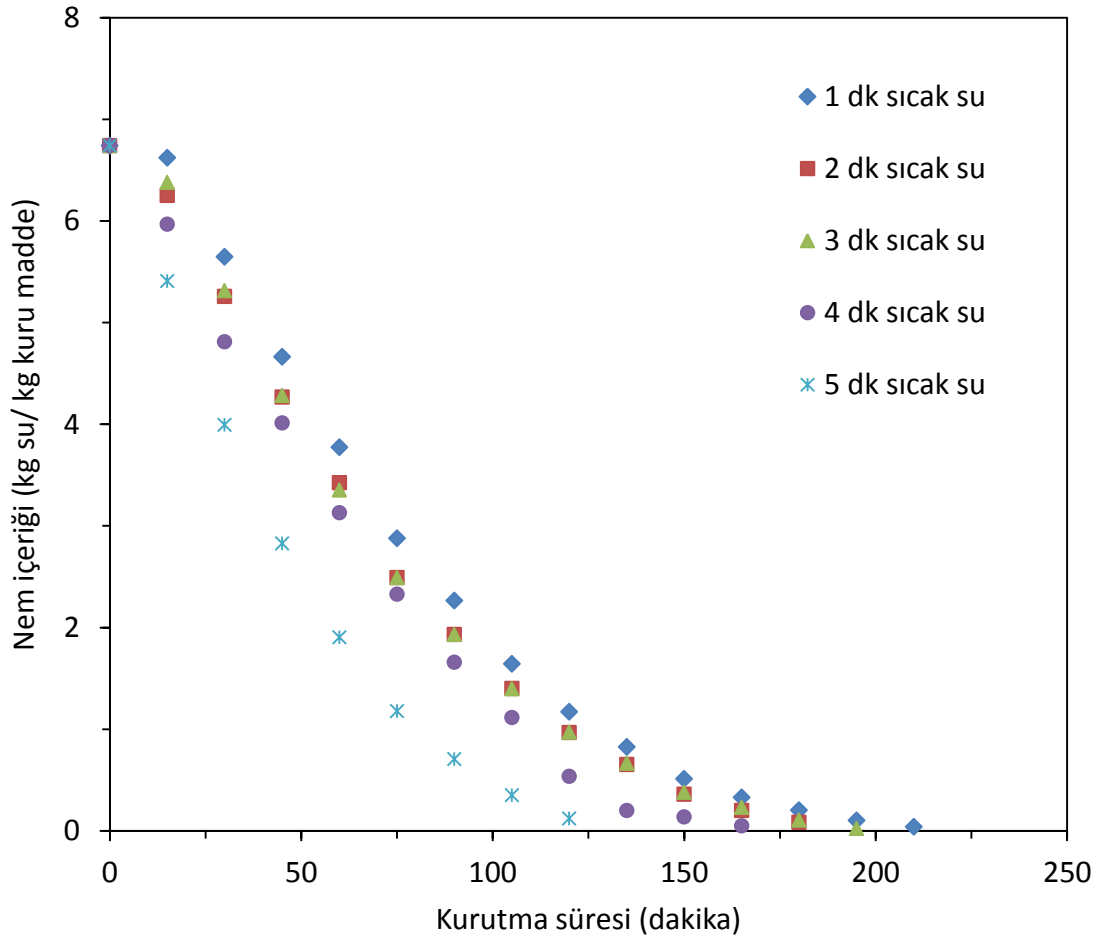
Şekil 7.8 Brokolilerin 75°C'deki kuruma hızının nem içeriği ile değişimi

Şekil 7.5-7.8'den görüldüğü gibi, kurutma havasının sıcaklığı arttıkça nem içeriğinde belirgin bir şekilde azalma görülmüştür. Ayrıca kurutma havasının sıcaklığının artmasıyla kuruma hızının da arttığı görülmektedir. Bu durumda en yüksek kurutma hızları, 75°C'de kurutulan örneklerde söz konusu olmaktadır. Ayrıca, uygulanan ön işlemlerin kurutma hızını arttırdığı tespit edilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda bu sonuçların benzeri durumlar görülmüştür [69,70].

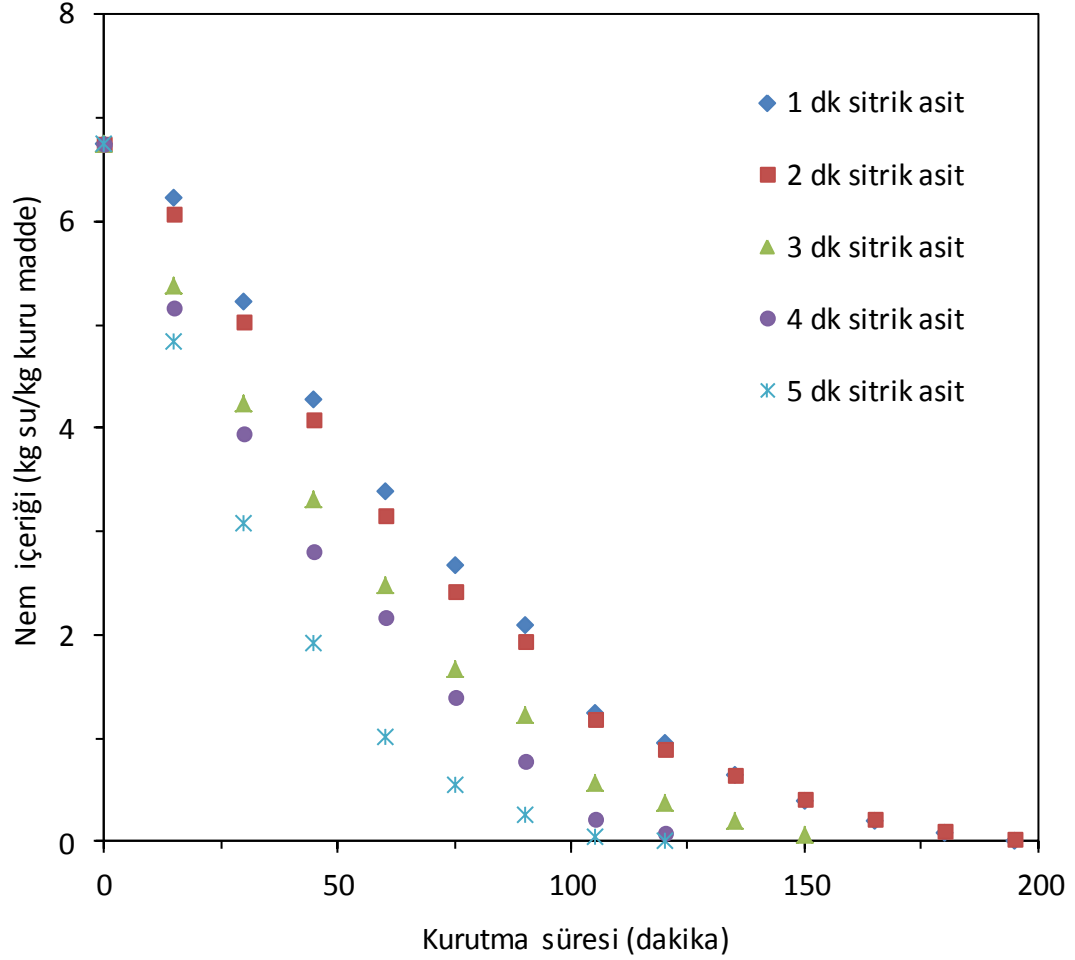
7.1.3 Ön işlem sıcaklığı ve süresinin etkisi

Kurutma hızına dolayısıyla kuruma süresine etki eden diğer bir etken kurutulacak maddeye uygulanan ön işlem sıcaklığının ve ön işlem süresinin etkisidir. Bu amaçla önce, brokoli numunelerine 1, 2, 3, 4 ve 5 dakika olarak farklı ön işlem süreleri boyunca 80°C sıcaklıktaki su ve sitrik asit çözeltileri ile ön işlem uygulanmış, ardından 65°C sıcaklıkta

hava ile kabin kurutucuda kurutulmuştur. Böylece kurutmaya ön işlem süresinin etkisi incelenmiştir. Brokoli numunelerine ön işlem süresinin etkisi Şekil 7.9'da gösterilmiştir.



Şekil 7.9 Farklı sürelerde sıcak suyla ön işlem uygulanmış brokolilerin 65°C kurutma sıcaklığında nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi

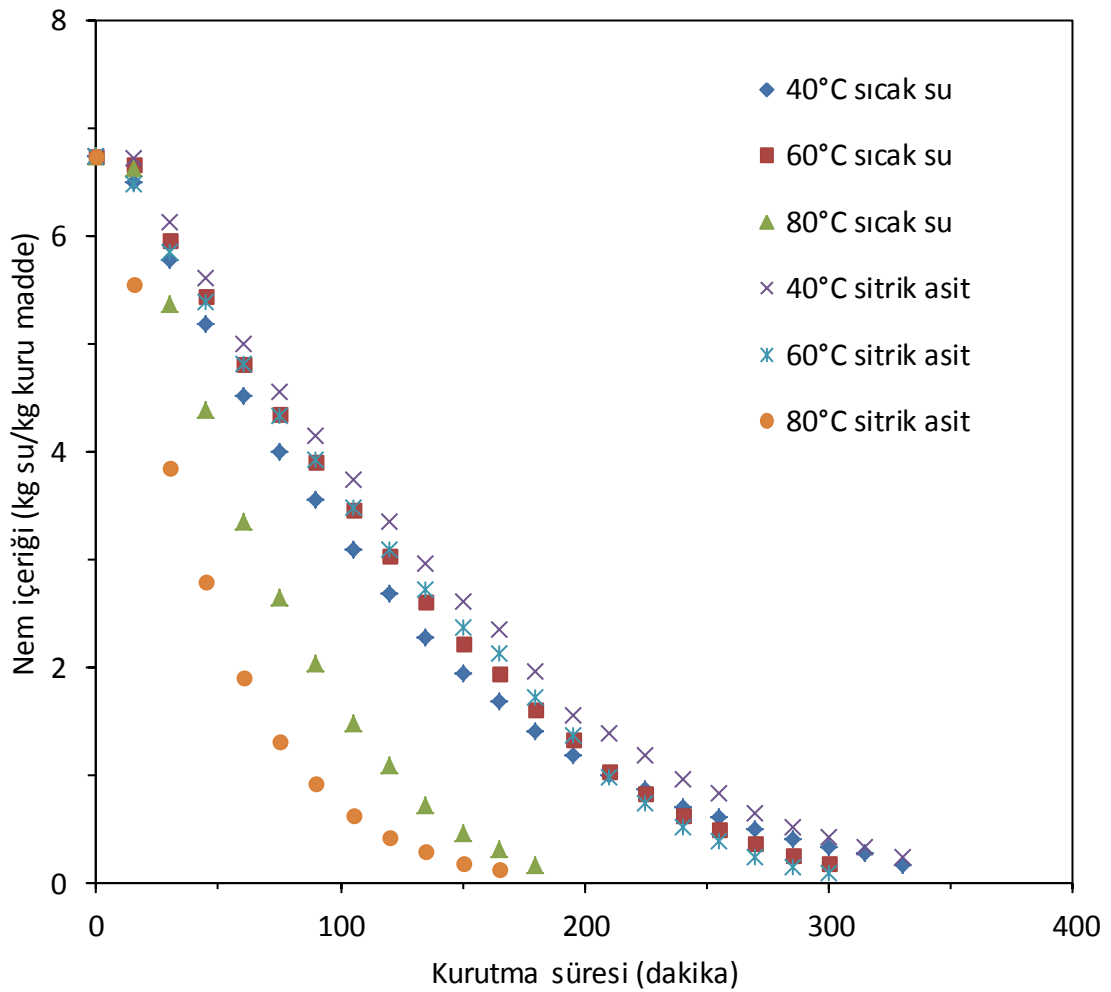


Şekil 7.10 Farklı sürelerde sitrik asitle ön işlem uygulanmış brokolilerin 65°C kurutma sıcaklığında nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi

Şekil 7.9 ve 7.10'da görüldüğü gibi sebzelerin ön işleme maruz kalma süresinin artışı ile birlikte zamanla nem içeriği daha fazla düşüş göstermektedir. Yani ön işlem süresi uzadıkça kurutma hızı artmakta, kuruma süresi de kısalmaktadır. Benzer durum, literatürden bazı çalışmalarda da görülmektedir [71,72].

Daha sonra brokoli numunelerine 40, 60 ve 80°C sıcaklardaki su ve sitrik asit çözeltileri ile 2 dakika süreyle ön işlem uygulanmış, ardından 65°C sıcaklıkta kurutulmuştur. Böylece brokoli kurutmaya ön işlem sıcaklığının etkisi incelenmiştir. Brokoli numunelerine ön işlem sıcaklığının etkisi Şekil 7.11'de gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde ön işlem sıcaklığının artması ile örneklerin daha çabuk kurdukları saptanmıştır. Bunun sebebi, artan ön işlem sıcaklık değerleri ile kurutma sırasında üründe suyun difüzyonunu

kolaylaştırarak kurutma süresini kısaltmasıdır. Benzer sonuçlara literatürde yapılmış çalışmalardan da ulaşılmıştır [71].



Şekil 7.11 Farklı sıcaklıklarda ön işlem uygulanmış brokolilerin 65°C kurutma sıcaklığında nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi

7.1.4 Kuruma eğrilerinin matematiksel modellenmesi

Deney sonuçlarından elde edilen verilerden yararlanarak lineer olmayan regresyon analiz yöntemi yardımıyla nem içeriği ile kurutma süresinin değişimi eğrilerinin matematiksel modellenmesi yapılmıştır. Uygulanan denklemler Çizelge 6.1'de ve bu denklemlerin uygulanması ile elde edilen regresyon katsayıları (R^2), khi-kare (χ^2) ve tahminin standart hatası (RMSE) değerleri hesaplanmış ve Çizelge 7.2-7.5'de verilmiştir.

Bir denklemin uygunluğunun tespitinde yüksek R^2 , düşük χ^2 ve RMSE değerlerine bakılır. Regresyon katsayısı, ürünlerin kurutma eğrilerini tanımlayan en iyi denklemi

seçmek için ana kriter olarak seçilmiştir. Tahminin standart hatası (RMSE), model ile elde edilen tahmini değerler ile deneysel değerler arasındaki sapmayı göstermektedir. Ayrıca khikare (χ^2) değerinin azalması ile uyumun arttığı belirtilmektedir [73].

Çizelge 7.2-7.5'den bütün denklemlerin R^2 , χ^2 ve RMSE değerleri incelendiğinde her sıcaklık değeri için Midilli vd. denkleminin R^2 değerlerinin diğer denklemlere göre daha yüksek olduğu, χ^2 ve RMSE değerlerinin ise daha düşük olduğu bulunmuştur. Buna göre Midilli vd. denkleminin brokolinin kurutma kinetiğini diğerlerinden daha iyi açıkladığı saptanmıştır. Örneğin, 65°C hava sıcaklığında kurutulan brokoli örneklerine ait deneysel değerler ile teorik Midilli vd. denkleminde hesaplanan değerlerden faydalanarak çizilen nem içeriğinin kuruma süresi ile değişim grafiği Şekil 7.12'de görülmektedir. Şekil 7.12'de görüldüğü gibi deneysel veriler ile tahmin edilen veriler uyum içindedir.

Çizelge 7.2 45°C'de brokoli için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayısı, khi-kare ve RMSE değerleri

Ön işlem	Model	Katsayılar	R ²	χ ²	RMSE
Kontrol	Newton	k=0,00327	0,9951	0,00039	0,05559
	Page	k=0,001718 n=1,108992	0,9988	0,00010	0,06325
	Henderson ve Pabis	a=1,030329 k=0,003368	0,9961	0,00031	0,12025
	Logaritmik	a=1,067776 k=0,002840 c=-0,065348	0,9998	0,00002	0,02566
	Two-term	a=6,15965 b=-5,17755 k ₀ =0,00478 k ₁ =0,00522	0,9994	0,00005	0,04245
	Wang ve Singh	a=-0,002411 b=0,000002	0,9922	0,00062	0,17301
	Midilli vd.	a=0,99895 k=0,003404 n=0,94313 b=-0,000287	0,9999	0,000003	0,00565
Haşlama	Newton	k=0,007092	0,9875	0,00116	0,15154
	Page	k=0,002299 n=1,220558	0,9987	0,00013	0,04268
	Henderson ve Pabis	a=1,086596 k=0,007685	0,9949	0,00049	0,08932
	Logaritmik	a=1,105987 k=0,006979 c=-0,035998	0,9966	0,00034	0,07076
	Two-term	a=-2,96122 b=4,02667 k ₀ =0,00477 k ₁ =0,00536	0,9970	0,0003	0,06482
	Wang ve Singh	a=-0,005149 b=0,000007	0,9909	0,00087	0,13872
	Midilli vd.	a=1,014828 k=0,001774 n=1,295419 b=0,000172	0,9994	0,00006	0,02137
Sitrik asit	Newton	k=0,005364	0,9949	0,00031	0,12024
	Page	k=0,009755 n=0,890308	0,9996	0,00003	0,03005
	Henderson ve Pabis	a=0,957024 k=0,005121	0,9968	0,00020	0,09395
	Logaritmik	a=0,952657 k=0,005587 c=0,022366	0,9987	0,00009	0,05798
	Two-term	a=0,409674 b=0,589056 k ₀ =0,003198 k ₁ =0,008281	0,9999	0,000006	0,01553
	Wang ve Singh	a=-0,003309 b=0,000003	0,8907	0,00679	0,53908
	Midilli vd.	a=1,012280 k=0,010251 n=0,884311 b=0,000004	0,9997	0,00002	0,02663

Çizelge 7.3 55°C'de brokoli için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayısı, khi-kare ve RMSE değerleri

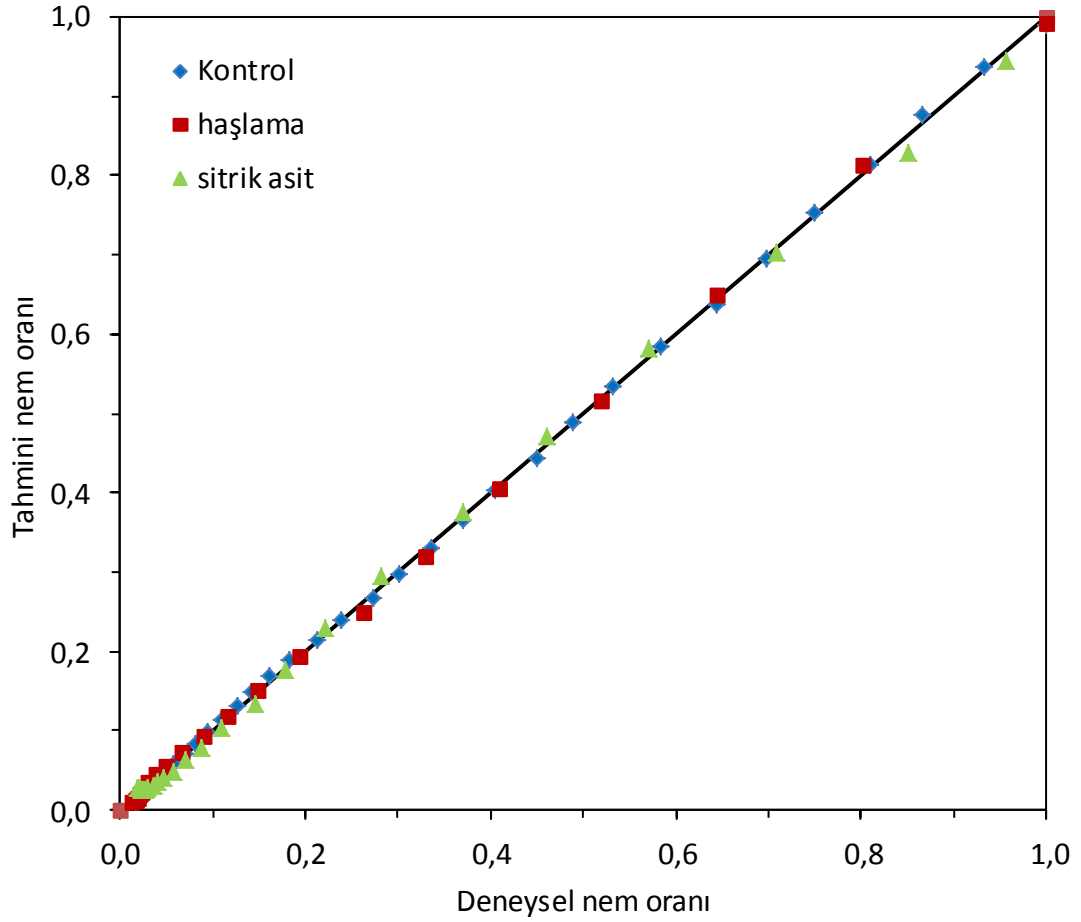
Ön İşlem	Model	Katsayılar	R ²	χ ²	RMSE
Kontrol	Newton	k=0,004702	0,9932	0,00056	0,12680
	Page	k=0,002205 n=1,137248	0,9988	0,00010	0,05292
	Henderson ve Pabis	a=1,040721 k=0,004895	0,9952	0,00040	0,10329
	Logaritmik	a=1,092392 k=0,004015 c=-0,081457	0,9996	0,00003	0,03097
	Two-term	a=3,24388 b=-2,24806 k ₀ =0,00654 k ₁ =0,00780	0,9997	0,00003	0,02127
	Wang ve Singh	a=-0,003524 b=0,000003	0,9953	0,0004	0,10661
	Midilli vd.	a=0,996983 k=0,002955 n=1,071316 b=-0,000067	0,9998	0,00002	0,02448
Haşlama	Newton	k=0,007585	0,9737	0,00270	0,22692
	Page	k=0,001201 n=1,367046	0,9989	0,00012	0,04181
	Henderson ve Pabis	a=1,112769 k=0,008390	0,9862	0,00148	0,16357
	Logaritmik	a=1,160421 k=0,006991 c=-0,076328	0,9918	0,00091	0,11764
	Two-term	a=-0,695074 b=1,691699 k ₀ =0,026387 k ₁ =0,010982	0,9997	0,00004	0,02074
	Wang ve Singh	a=-0,005595 b=0,000008	0,9930	0,00074	0,10827
	Midilli vd.	a=1,010111 k=0,001123 n=1,388409 b=0,000042	0,9994	0,00007	0,03071
Sitrik asit	Newton	k=0,007550	0,9993	0,00005	0,02530
	Page	k=0,007403 n=1,003883	0,9993	0,00005	0,02605
	Henderson ve Pabis	a=1,004792 k=0,007603	0,9991	0,00007	0,03325
	Logaritmik	a=1,011269 k=0,007328 c=-0,012507	0,9993	0,00006	0,03236
	Two-term	a=0,666236 b=0,337399 k ₀ =0,007577 k ₁ =0,007582	0,9993	0,00006	0,02690
	Wang ve Singh	a=-0,005476 b=0,000008	0,9763	0,00192	0,19971
	Midilli vd.	a=1,010773 k=0,009324 n=0,953229 b=-0,000056	0,9995	0,00004	0,02388

Çizelge 7.4 65°C'de brokoli için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayısı, khi-kare ve RMSE değerleri

Ön İşlem	Model	Katsayılar	R ²	χ ²	RMSE
Kontrol	Newton	k=0,005858	0,9856	0,00130	0,18181
	Page	k=0,001790 n=1,224051	0,9982	0,00016	0,05828
	Henderson ve Pabis	a=1,059351 k=0,006202	0,9898	0,00095	0,15319
	Logaritmik	a=1,152950 k=0,004604 c=-0,134582	0,9990	0,00010	0,04357
	Two-term	a=6,01362 b=-5,02798 k ₀ =0,00943 k ₁ =0,01063	0,9990	0,00010	0,04176
	Wang ve Singh	a=-0,004357 b=0,000005	0,9991	0,00009	0,04186
	Midilli vd.	a=0,989450 k=0,002316 n=1,158072 b=-0,000100	0,9997	0,00003	0,02248
Haşlama	Newton	k=0,015257	0,9988	0,00010	0,04200
	Page	k=0,012068 n=1,053219	0,9994	0,00005	0,02948
	Henderson ve Pabis	a=1,011887 k=0,015431	0,9989	0,00010	0,04016
	Logaritmik	a=1,013337 k=0,015278 c=-0,003048	0,9989	0,00010	0,03992
	Two-term	a=-1,75555 b=2,76143 k ₀ =0,01172 k ₁ =0,01289	0,9992	0,00008	0,03470
	Wang ve Singh	a=-0,009090 b=0,000020	0,9342	0,00545	0,29594
	Midilli vd.	a=0,993182 k=0,010809 n=1,079120 b=0,000023	0,9995	0,00004	0,02446
Sitrik asit	Newton	k=0,011215	0,9748	0,00002	0,02248
	Page	k=0,001768 n=1,399368	0,9966	0,00035	0,08199
	Henderson ve Pabis	a=1,113581 k=0,012371	0,9855	0,00149	0,13469
	Logaritmik	a=1,124335 k=0,011702 c=-0,020108	0,9866	0,00144	0,13831
	Two-term	a=-5,12879 b=6,22655 k ₀ =0,00816 k ₁ =0,00874	0,9882	0,00132	0,13053
	Wang ve Singh	a=-0,007507 b=0,000014	0,9740	0,00268	0,22211
	Midilli vd.	a=1,020307 k=0,001658 n=1,426656 b=0,000076	0,9990	0,00011	0,04057

Çizelge 7.5 75°C'de brokoli için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayısı, khi-kare ve RMSE değerleri

Ön İşlem	Model	Katsayılar	R ²	χ ²	RMSE
Kontrol	Newton	k=-0,014147	0,4112	102,0758	38,7960
	Page	k=-0,615130 n=0,320819	0,9948	0,94450	3,41552
	Henderson ve Pabis	a=7,340293 k=-0,006485	0,9384	11,26472	11,90007
	Logaritmik	a=-22,2554 k=12,4871 c=22,2554	0,1429	166,0719	44,78811
	Two-term	a=0,905874 b=6,432815 k ₀ =-0,006485 k ₁ =-0,006486	0,9384	12,67281	11,90166
	Wang ve Singh	a=0,134709 b=0,000039	0,9992	0,14984	1,16699
	Midilli vd.	a=1,003864 k=0,009070 n=1,037847 b=-0,000125	0,9995	0,00006	0,02131
Haşlama	Newton	k=0,010399	0,9766	0,00246	0,17090
	Page	k=0,002187 n=1,332087	0,9992	0,00009	0,02824
	Henderson ve Pabis	a=1,085061 k=0,011256	0,9853	0,00165	0,13305
	Logaritmik	a=1,193355 k=0,008302 c=-0,145471	0,9955	0,00054	0,06694
	Two-term	a=-4,41482 b=5,41379 k ₀ =0,02159 k ₁ =0,01827	0,9991	0,00011	0,03077
	Wang ve Singh	a=-0,007740 b=0,000015	0,9968	0,00036	0,05096
	Midilli vd.	a=1,003915 k=0,002533 n=1,296633 b=-0,000052	0,9993	0,00009	0,02379
Sitrik asit	Newton	k=0,011400	0,9957	0,00039	0,07315
	Page	k=0,006970 n=1,105606	0,9987	0,00013	0,03811
	Henderson ve Pabis	a=1,028683 k=0,011723	0,9967	0,00032	0,06643
	Logaritmik	a=1,063888 k=0,010175 c=-0,054730	0,9994	0,00006	0,02304
	Two-term	a=0,465075 b=0,563599 k ₀ =0,011723 k ₁ =0,011722	0,9967	0,00036	0,06643
	Wang ve Singh	a=-0,008341 b=0,000018	0,9914	0,00083	0,09657
	Midilli vd.	a=1,003864 k=0,009070 n=1,037847 b=-0,000125	0,9995	0,00006	0,02131



Şekil 7.12 65°C'de kurutulan brokoliler için deneysel ve Midilli vd. denkleminin tahmini nem oranı değerleri

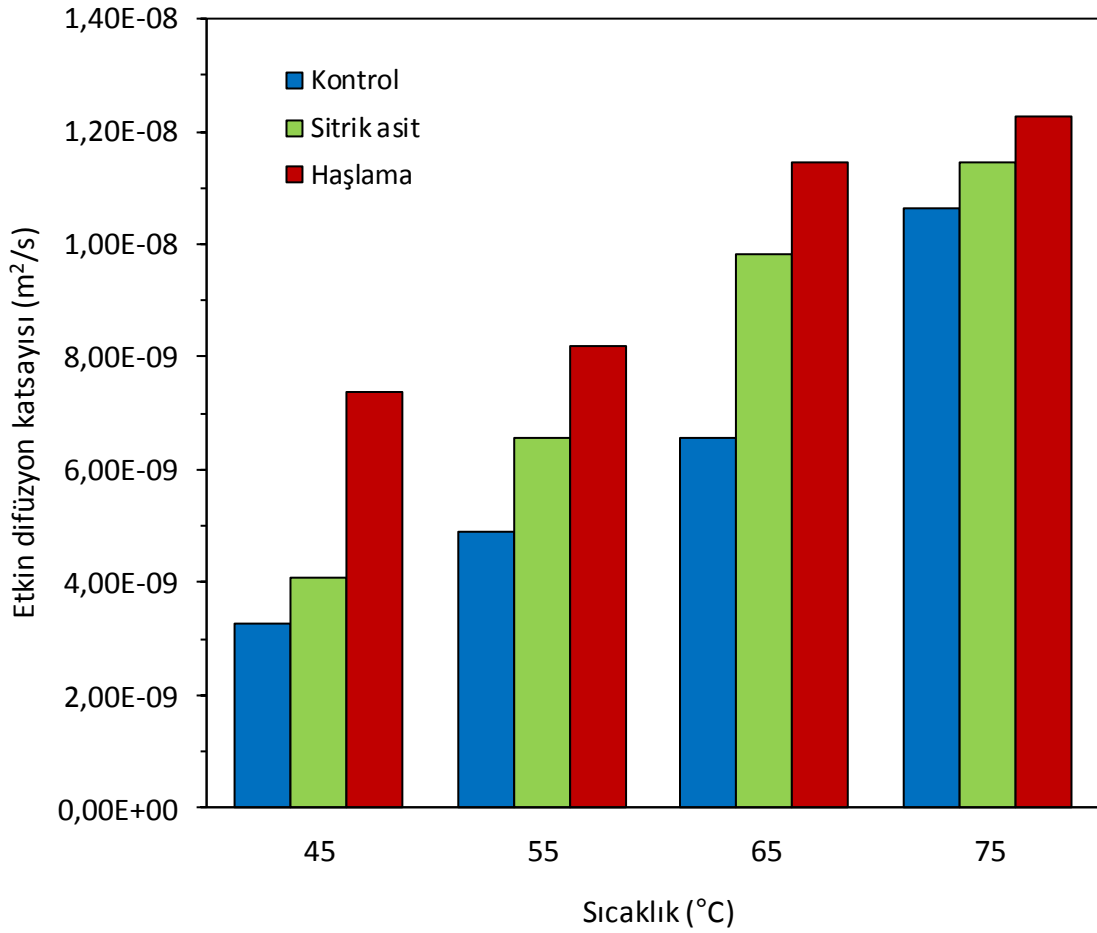
7.1.5 Difüzyon katsayılarının hesaplanması

Ön işlemlili ve ön işlemsiz olarak kurutulan brokoli örneklerinde her bir kurutma havası sıcaklığı için ayrı ayrı difüzyon katsayısı değerleri (6.9) denklemi kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 7.6 ve Şekil 7.13'de gösterilmiştir.

Etkin difüzyon katsayısı değerlerinin ön işlemsiz olarak kurutulan brokolilerde $1,06 \times 10^{-8}$ ile $3,27 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$, sıcak su ile ön işlem görmüş brokolilerde $1,23 \times 10^{-8}$ ile $7,36 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ve sitrik asit ile ön işlem görmüş brokolilerde ise $1,14 \times 10^{-8}$ ile $4,09 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 7.6 Brokoli için hesaplanan etkin difüzyon katsayıları

Sıcaklık (°C)	Etkin difüzyon katsayısı (m ² /s)		
	Kontrol	Haşlama	Sitrik asit
45	3,27x10 ⁻⁹	7,36x10 ⁻⁹	4,09x10 ⁻⁹
55	4,91x10 ⁻⁹	8,18x10 ⁻⁹	6,54x10 ⁻⁹
65	6,54x10 ⁻⁹	1,14x10 ⁻⁸	9,82x10 ⁻⁹
75	1,06x10 ⁻⁸	1,23x10 ⁻⁸	1,14x10 ⁻⁸



Şekil 7.13 Brokolinin etkin difüzyon katsayısının kurutma sıcaklığı ile değişimi

Elde edilen etkin difüzyon katsayıları, literatürde Zogzas vd. [77] tarafından genel gıda kurutma difüzyon katsayı değerleri olarak belirlenmiş olan 10^{-12} ile 10^{-8} m²/s aralığındadır. Ayrıca bulunan değerler ile Çizelge 7.7’de bazı brokoli örneklerine Etkin difüzyon katsayıları arasındaki farklılıkların nedeni ise, deneylerde kullanılan brokolilerin çiçek ya da sap kısımlarının kurutulmasından, farklı hava akış hızlarında çalışılmasından, uygulanan farklı ön işlemlerden, kurutma sıcaklıklarından ve kurutma cihazlarından ileri gelmektedir.

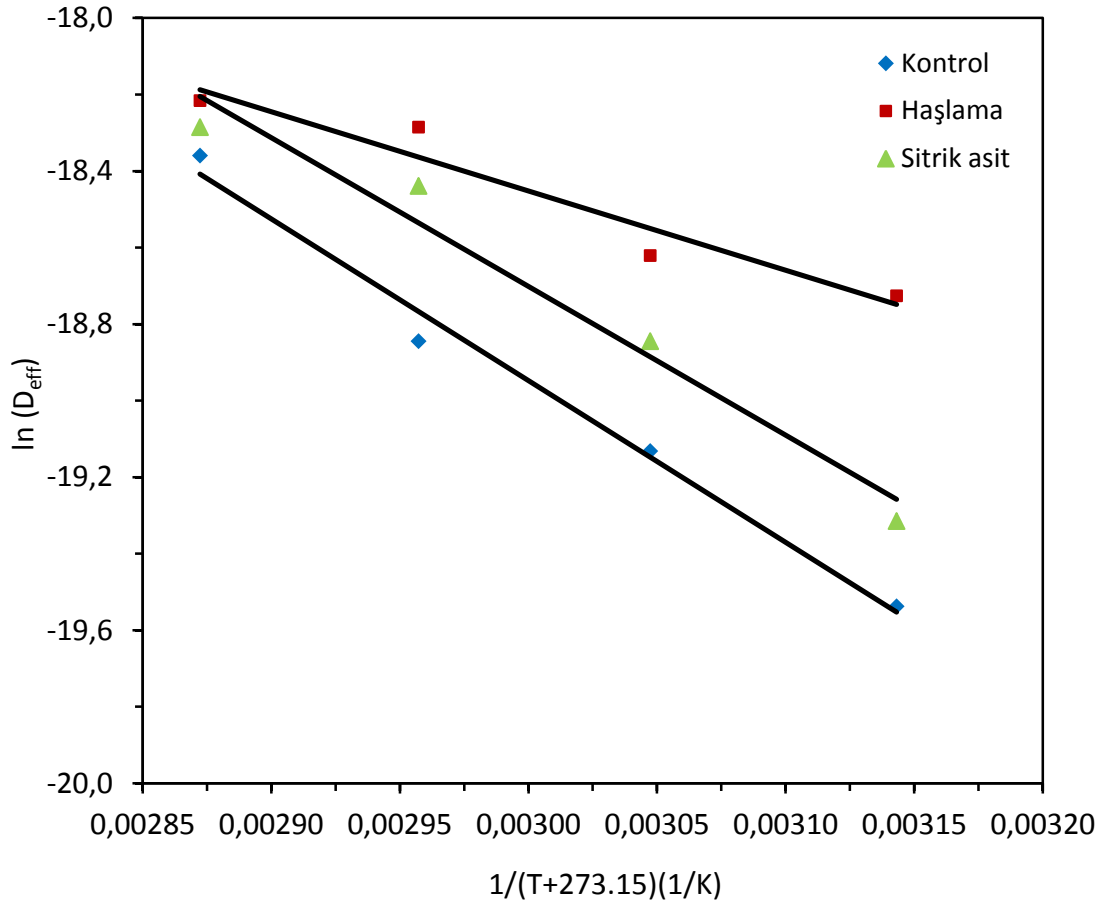
Çizelge 7.7 Literatürden bulunan bazı brokoli örneklerinin etkin difüzyon katsayıları

Kurutma sıcaklık aralığı (°C)	Etkin difüzyon katsayısı (m ² /s)	Kaynaklar
50-75	1,22-2,94x10 ⁻⁸	Mrkić vd. [37]
30-50	0,50-3,20x10 ⁻⁹	Jin vd. [38]
60-80	0,60-1,78x10 ⁻⁹	Reyes vd. [40]
55-100	3,00-6,23x10 ⁻⁸	Mulet vd. [74]

7.1.6 Aktivasyon enerjisinin hesaplanması

Aktivasyon enerji (E_a) değerleri hesaplanmasında (6.11) denklemini kullanılmış ve Şekil 7.14’te gösterildiği gibi $\ln(D_{eff})$ ile $1/(T+273,15)$ arasında grafikler çizilmiştir.

Çizilen grafiklerdeki doğruların denklemleri kullanılarak aktivasyon enerjileri hesaplanmıştır.



Şekil 7.14 Sıcaklığın etkin difüzyon katsayısına etkisi

Aşağıdaki denklemlerde kontrol ve diğer ön işlemler ile muamele edilen ürünler için sıcaklığın etkisi gösterilmiştir:

Kontrol:

$$D_{eff} = 1,897 \times 10^{-3} \exp\left(-\frac{4226,5}{(T + 273,15)}\right) \quad (R^2=0,9880) \quad (7.1)$$

Haşlama:

$$D_{eff} = 4,828 \times 10^{-6} \exp\left(-\frac{2070,3}{(T + 273,15)}\right) \quad (R^2=0,9933) \quad (7.2)$$

Sitrik asit:

$$D_{eff} = 8,802 \times 10^{-4} \exp\left(-\frac{3888,6}{(T + 273,15)}\right) \quad (R^2=9677) \quad (7.3)$$

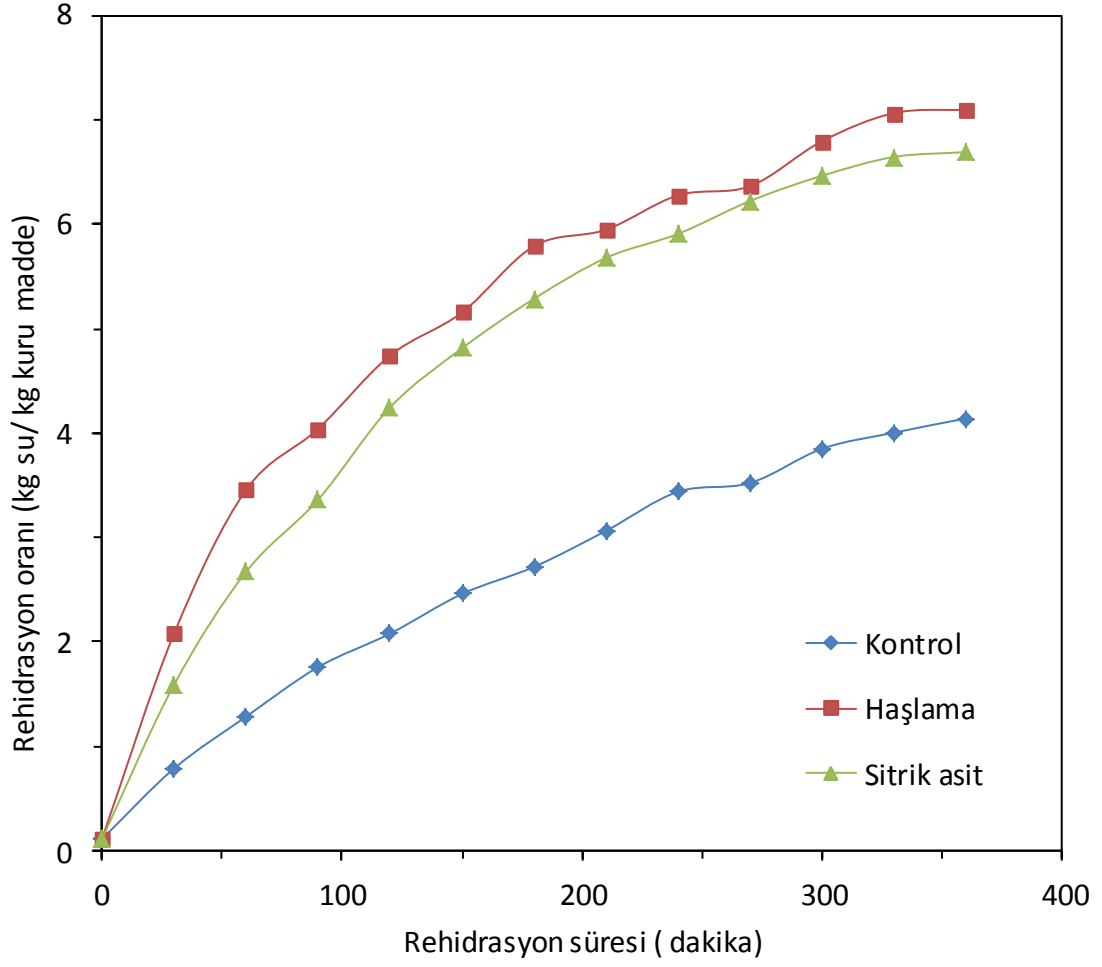
Yukarıdaki denklemlerden (7.1-7.3) yararlanarak kontrol, haşlama ve sitrik asitli brokolilerin aktivasyon enerji değerleri sırasıyla 35,14, 17,21 ve 32,33 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan aktivasyon enerjisi değerlerinin, Çizelge 7.8'de gösterilen brokoli ve bazı sebzelerin aktivasyon enerjisi değerleriyle de uyduğu görülmektedir. Ayrıca gerek brokoli kurutma gerekse literatürden yapılmış çalışmalardan bulunan çeşitli sebzelerin aktivasyon enerjisi değerlerinin, Zogzas vd. [77] tarafından belirlenmiş genel gıda kurutma aktivasyon enerjisi değerleri olan 12,7 ile 110 kJ/mol aralığında olduğu görülmektedir.

Çizelge 7.8 Bazı sebzelerin aktivasyon enerjileri

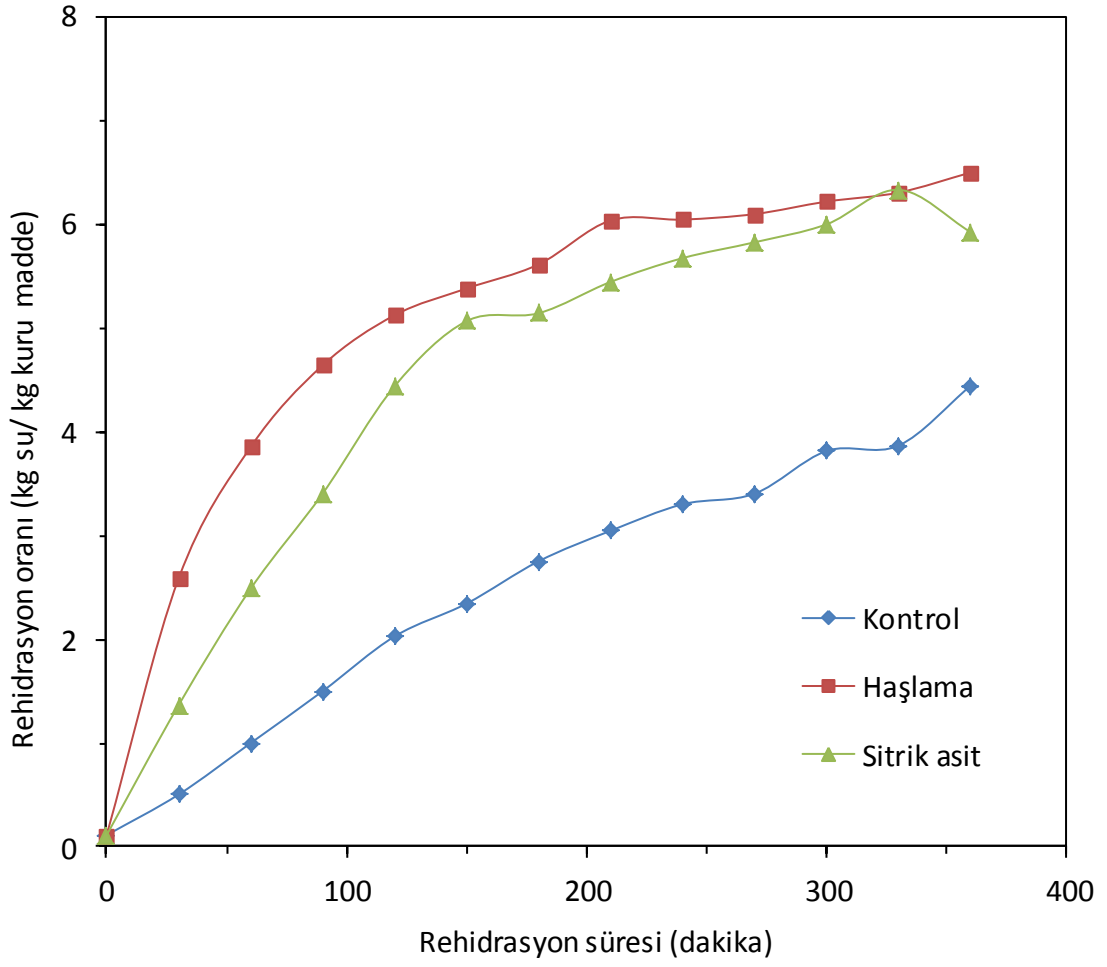
Adı	E _a (kJ/mol)	Kaynaklar
Brokoli	18,50	Mulet vd. [74]
Havuç	22,43	Niamnuy vd. [75]
Domates	17,40-32,94	Doymaz [76]
Mısır	29,56	Madhiyanon vd. [66]

7.1.7 Rehidrasyon oranlarının belirlenmesi

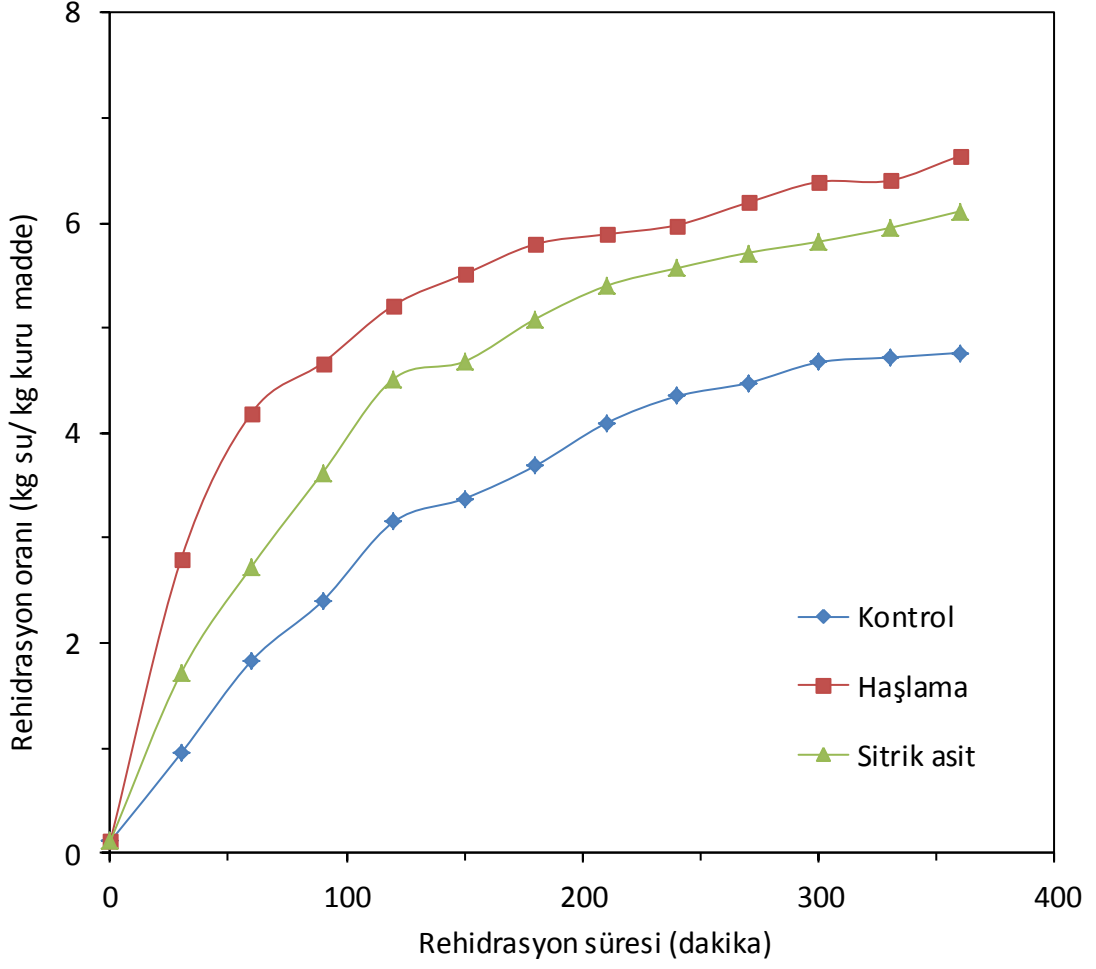
65°C'de kurutulmuş ve nem almayacak şekilde paketlenerek muhafaza edilmiş brokolilerin rehidrasyon oranlarını belirlemek için 20, 40, 60 ve 80°C rehidrasyon sıcaklıklarında deneyler yapılmış ve elde edilen veriler ile Eşitlik (6.1) kullanılarak rehidrasyon oranları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlardan yararlanılarak rehidrasyon oranı ile rehidrasyon süresi değişimi Şekil 7.15-7.18'de gösterilmiştir.



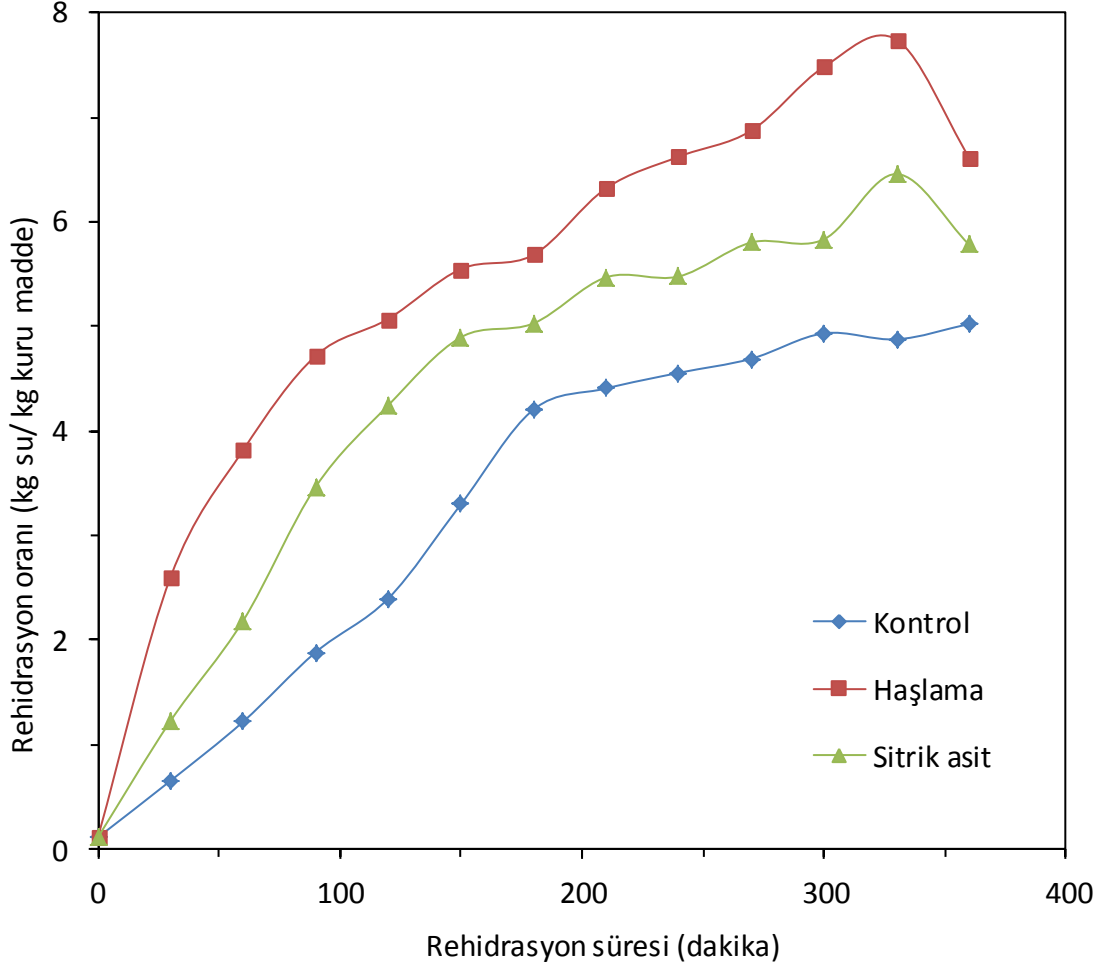
Şekil 7.15 65°C'de kurutulmuş brokolilerin 20°C'de rehidrasyon süresi ile rehidrasyon oranı arasındaki değişim



Şekil 7.16 65°C'de kurutulmuş brokolilerin 40°C'de rehidrasyon süresi ile rehidrasyon oranı arasındaki değişim



Şekil 7.17 65°C'de kurutulmuş brokolilerin 60°C'de rehidrasyon süresi ile rehidrasyon oranı arasındaki değişim



Şekil 7.18 65°C'de kurutulmuş brokolilerin 80°C'de rehidrasyon süresi ile rehidrasyon oranı arasındaki değişim

Şekil 7.15-7.18'den görüldüğü gibi rehidrasyon sıcaklığı arttıkça rehidrasyon oranı da artmaktadır. Ayrıca ön işlem uygulanarak kurutulan örneklerin, ön işlem uygulanmadan kurutulan örneklere göre daha yüksek rehidrasyon oranlarına sahip olduğu, dolayısıyla daha fazla su absorpladıkları saptanmıştır.

7.2 Karnabahar Kurutma

7.2.1 Nem içeriği ile kuruma süresinin değişimi

Deneylerde 2 cm dilim kalınlıklarındaki karnabahar numunelerinin kuruma kinetiği 45, 55, 65 ve 75°C'de ve $2\pm 0,1$ m/s hava hızında incelenmiştir. Karnabaharların nem tayini yaş baza göre yapılarak kuru madde miktarı %9,81 ve nem miktarı %90,19 oranında belirlenmiştir. Kurutulan ürünlerde nem içeriği %10'a ininceye kadar kurutma işleme devam edilmiştir. Karnabahar kurutma denemeleri için elde edilen kuruma süreleri Çizelge 7.9'da görölmektedir.

Çizelge 7.9 Karnabahar kurutma denemelerine ait kuruma süreleri (dakika)

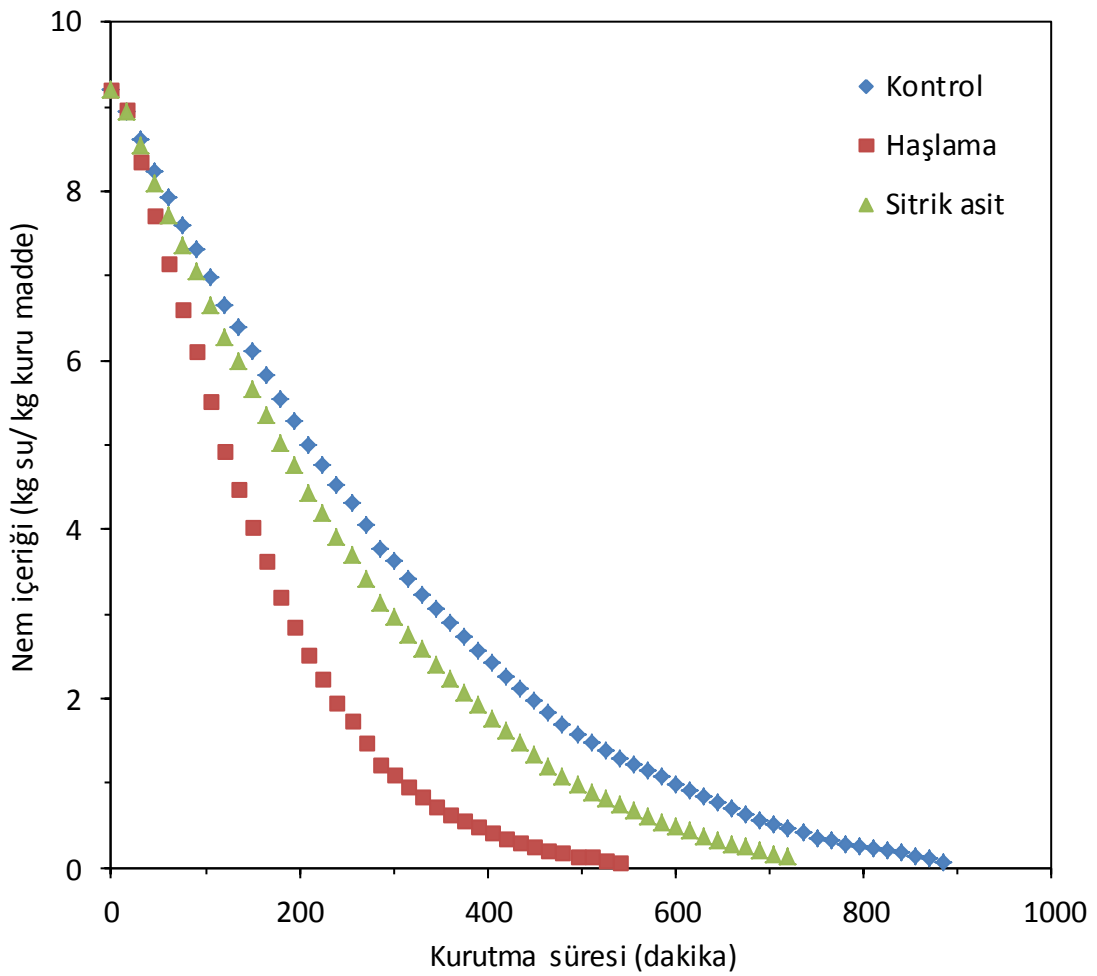
Kurutma sıcaklığı (°C)	Kontrol	Haşlama	Sitrik Asit
45	885	540	720
55	480	375	465
65	420	270	390
75	345	180	360

Çizelge 7.9'dan anlaşıldığı üzere, örneklerin kuruma süresi sıcaklık artttıkça azalmaktadır. Ön işleme tabi tutularak kurutulan örneklerin kuruma sürelerinin ise ön işlem uygulanmadan kurutulan örneklere göre daha kısa olduğu görölmektedir.

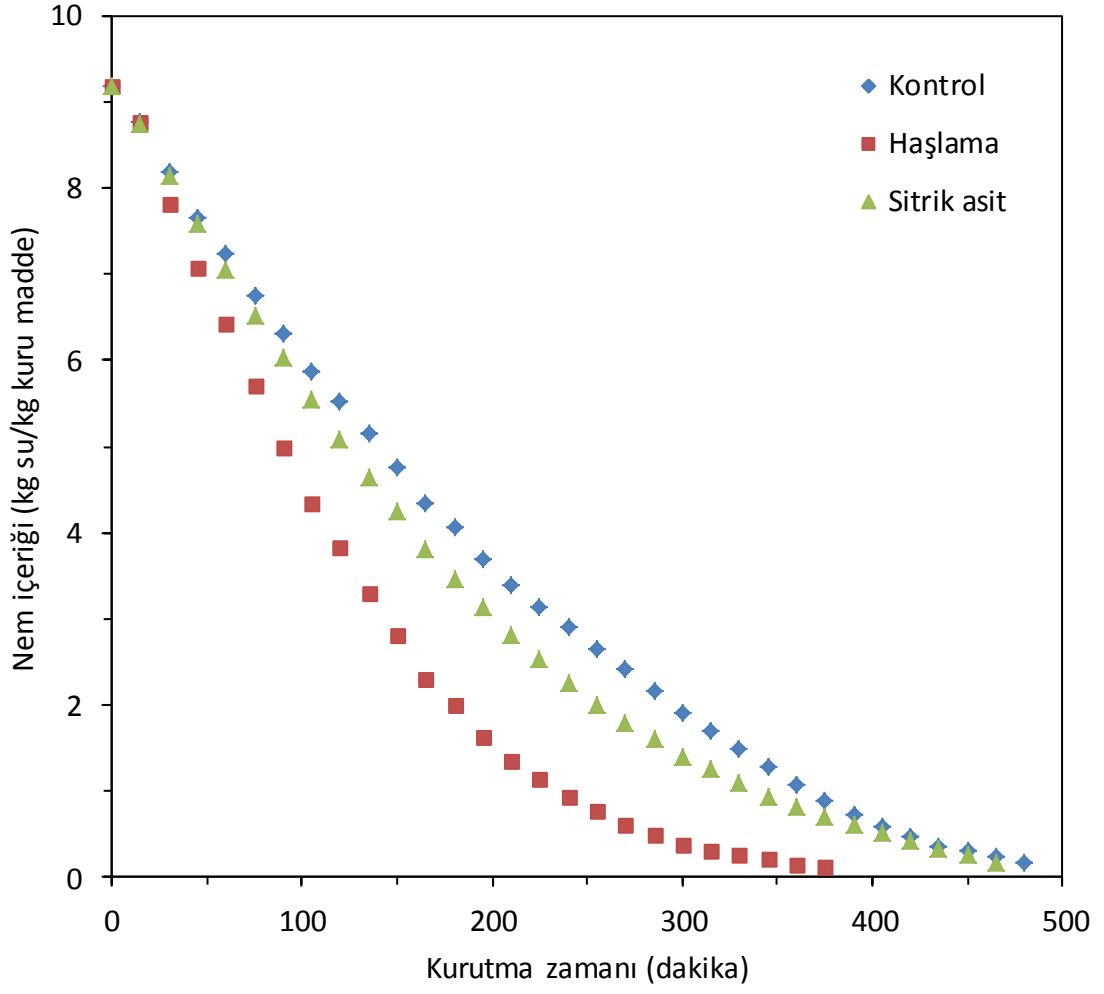
Örneğin, 65°C'de sıcak su ve sitrik asitle 1 dakika süreyle muamele edilen karnabahar dilimlerinin kuruma sürelerinin sırayla 270 ve 390 dakika olduğu görölmektedir. Herhangi bir ön işleme tabi tutulmadan kurutulan örneklerin ise kuruma süresinin 420 dakika olduğu görölmektedir. Aynı şekilde diğer sıcaklık değerlerinde de bu durumun açıkça göröldüğu anlaşılmaktadır. Yani, ön işlem uygulanmasının örneklerde kuruma süresinden tasarruf sağladığı görölmektedir.

Kurutma sıcaklığının artışıyla kuruma süresindeki azalmalar, enerjiden kazanım anlamına gelmektedir. Örneğin; kuruma sıcaklığındaki 10°C'lik artış sonucunda 55°C sıcaklıkta kuruma süresinde haşlama için % 30,6 oranında bir azalma saptanmıştır. Bu da enerjide büyük bir kazanım demektir.

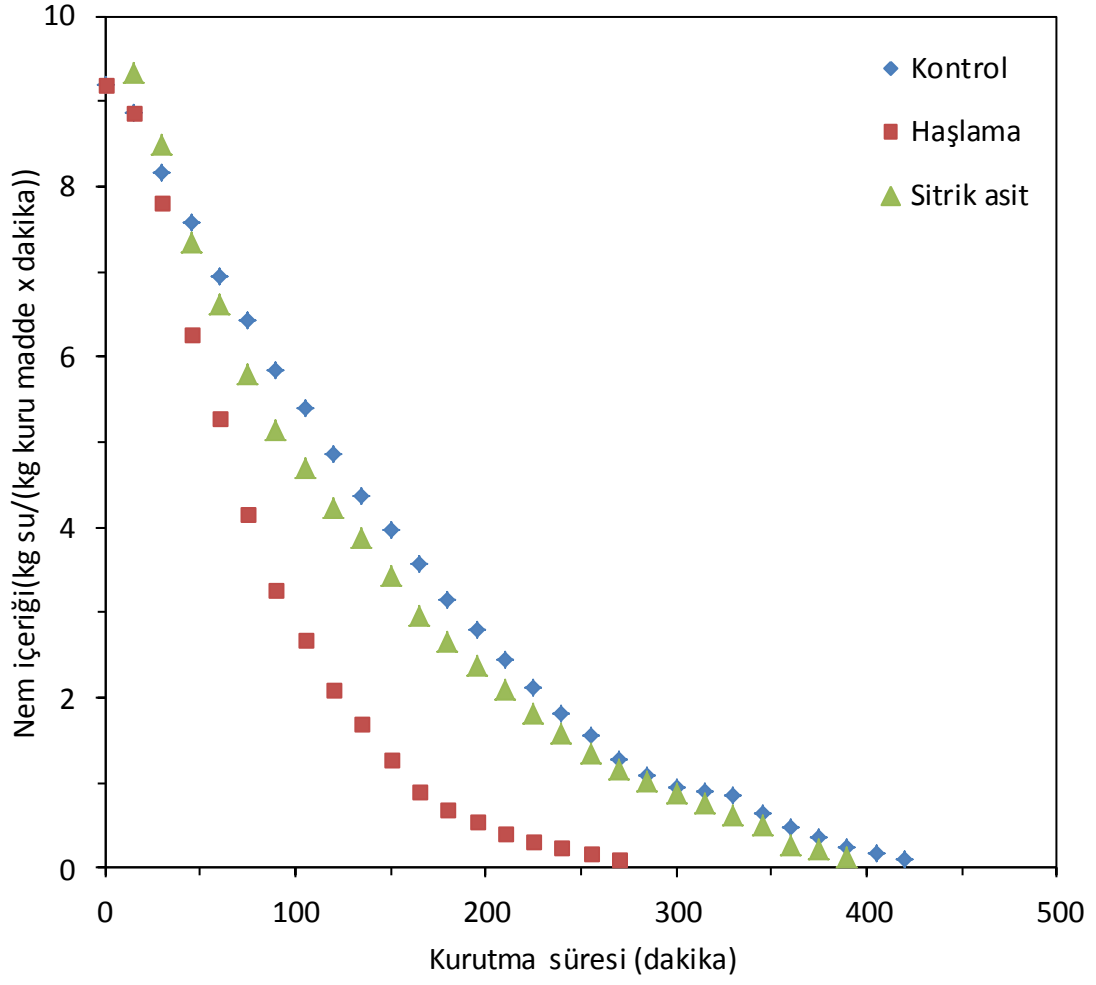
Karnabahar numunelerinin nem içerikleri ile kurutma sürelerinin değişimi Şekil 7.19-7.22'de gösterilmektedir. Bu şekillerden de görüldüğü gibi, örneklerdeki nem miktarları kuruma süresi ile azalmaktadır.



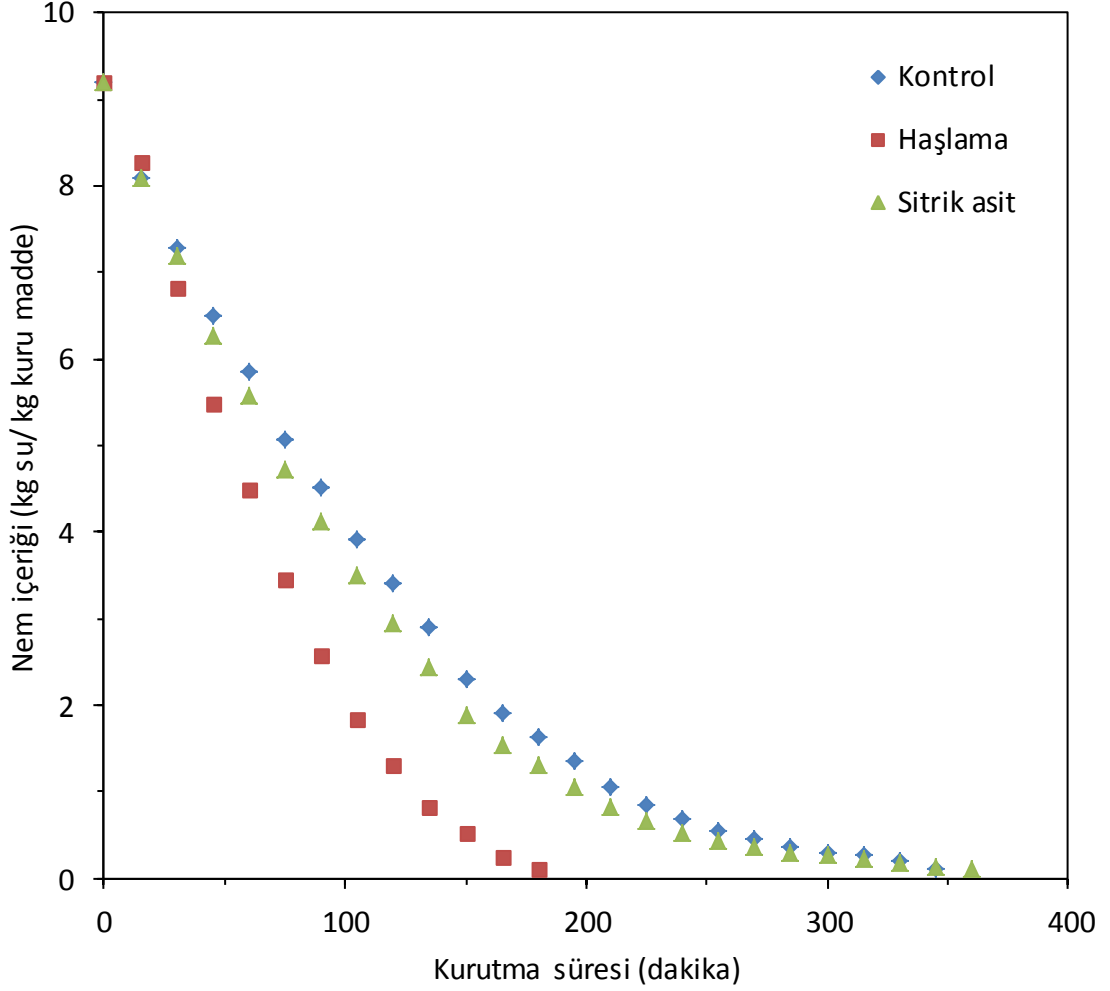
Şekil 7.19 Karnabahar dilimlerinin 45°C'deki nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi



Şekil 7.20 Karnabahar dilimlerinin 55°C'deki nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi



Şekil 7.21 Karnabahar dilimlerinin 65°C'deki nem içeriğinin kurutma zamanı ile değişimi



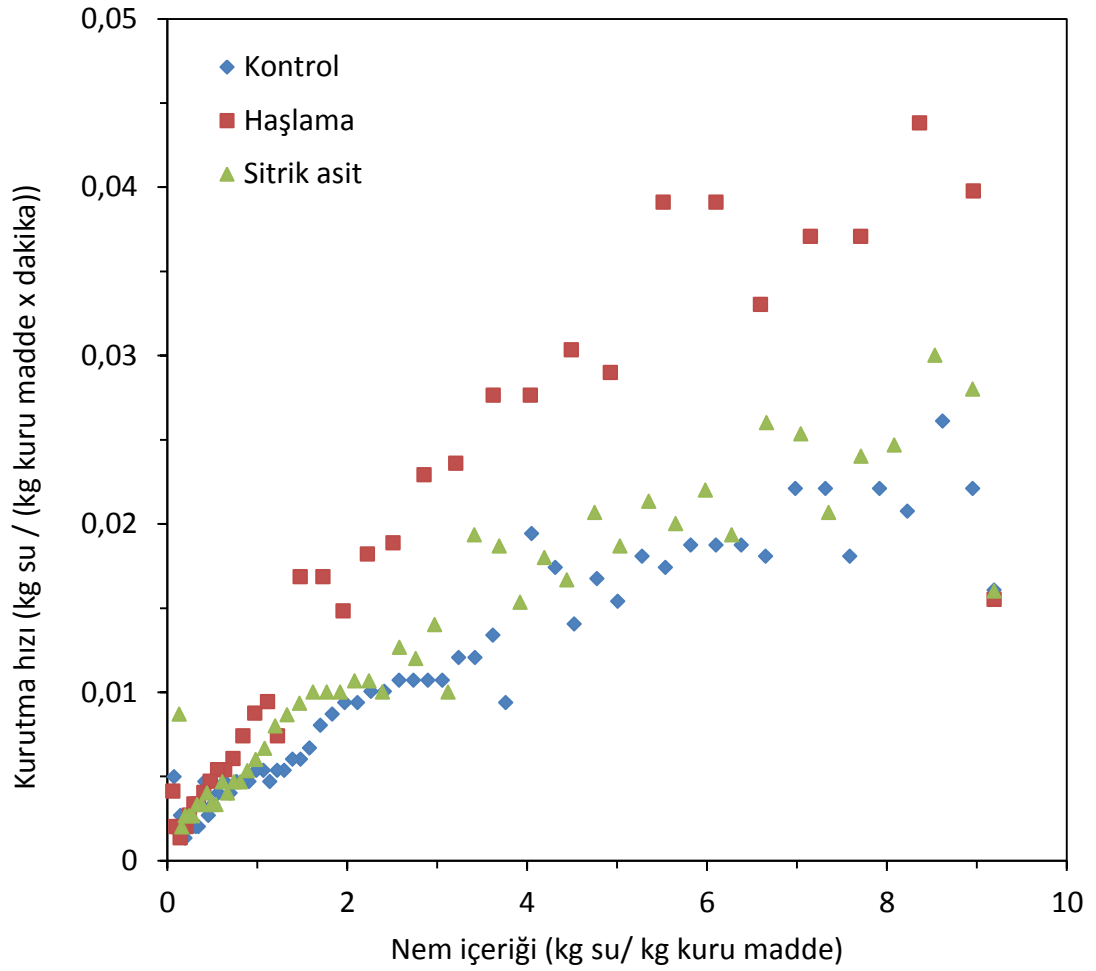
Şekil 7.22 Karnabahar dilimlerinin 75°C'deki nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi

Kurutma süresi, kurutma havası sıcaklığından etkilenmekte, hava sıcaklığının yükselmesine bağlı olarak nem kaybı hızlanmakta ve buna bağlı olarak kuruma süresi de kısalmaktadır. Sıcaklığın artışıyla ortaya çıkan bu etki, sıcaklık artışının doğal bir sonucu olarak kurutma havası bağıl neminin düşmesine bağlanabilir. Dolayısıyla sıcaklık artışıyla bağıl nemi düşen ve daha yüksek bir kurutma potansiyeline sahip olan kurutma havası kurutmada çok daha etkin bir rol üstlenmektedir. Ayrıca, kuruma hızı yüksek sıcaklıklarda daha yüksek değerlere sahiptir. Bunun sonucu olarak, yüksek sıcaklıklarda maddedeki suyun daha yüksek buhar basıncı göstermesi ve buharlaşma derecesinin artması, yüksek sıcaklıkta daha yüksek kuruma hızının görülmesine neden olmaktadır [79].

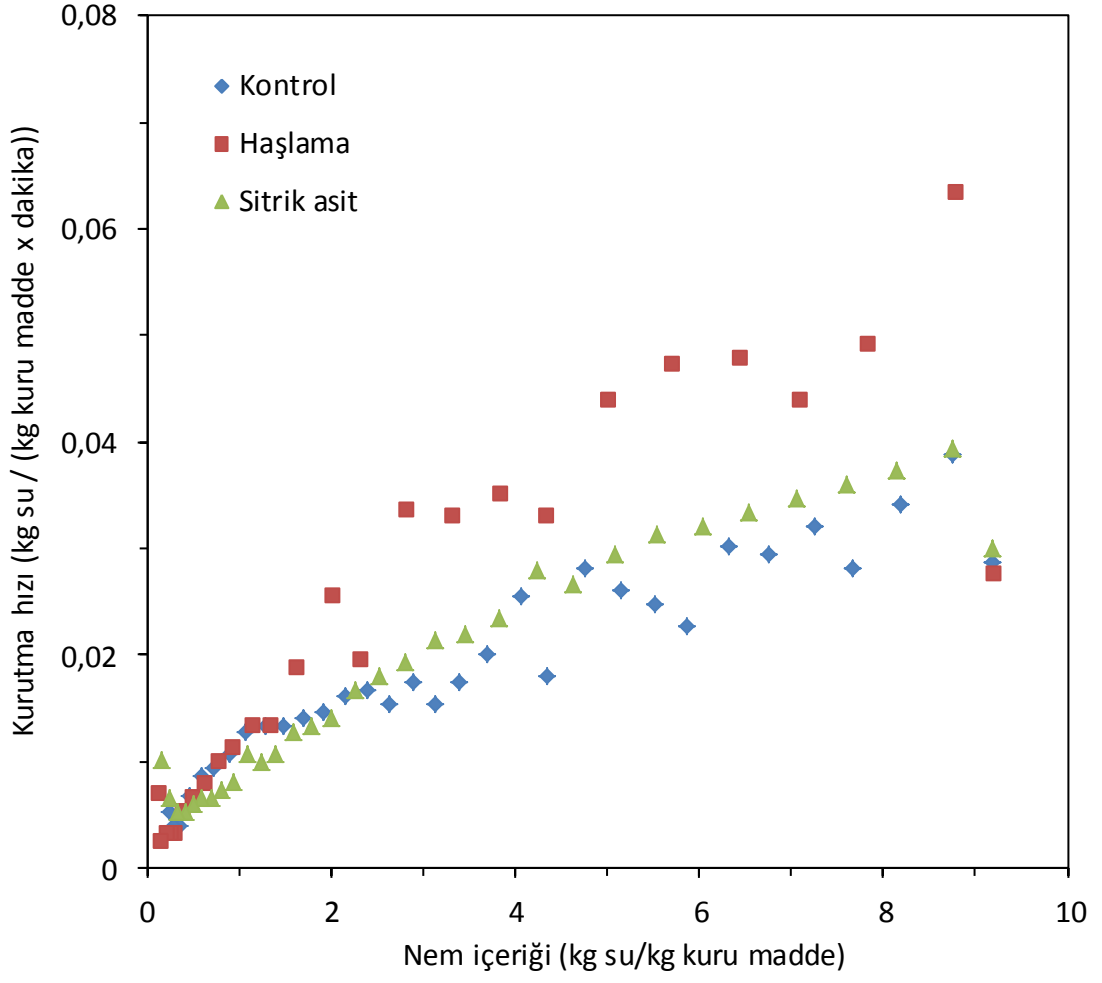
7.2.2 Kuruma hızı ile nem içeriğinin değişimi

Denklem (6.3) kullanılarak hesaplanan kuruma hızlarının nem oranları ile değişimi Şekil 7.23-7.26'da gösterilmektedir. Şekiller dikkatli bir şekilde incelendiğinde, kuruma olayı azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir ve bu eğrilerde sabit hız periyodu gözlenmemiştir.

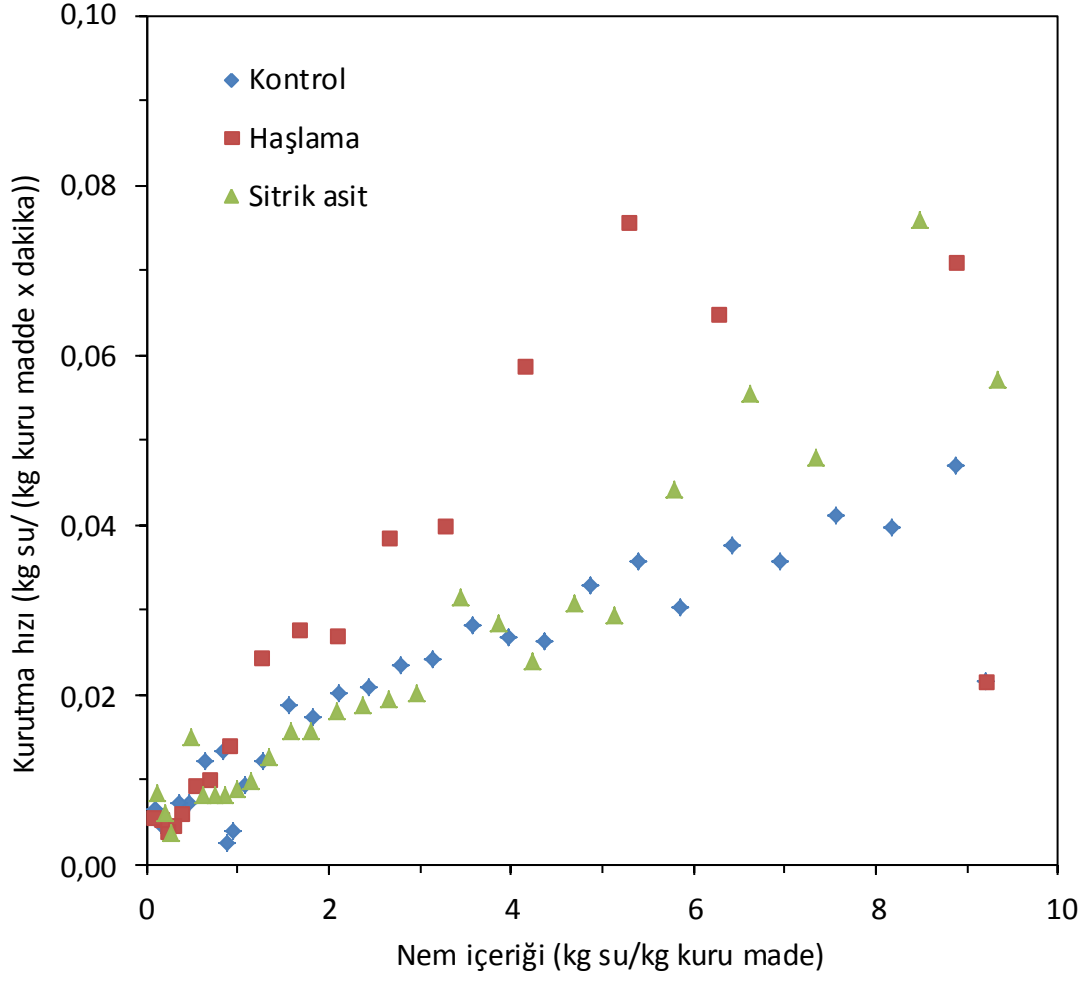
Kurutma havası sıcaklığı arttıkça kuruma hızı da artmaktadır. Ayrıca ön işleme tabi tutulan karnabaharların kuruma hızları, kontrol ürünlerinininkine göre daha yüksektir [83].



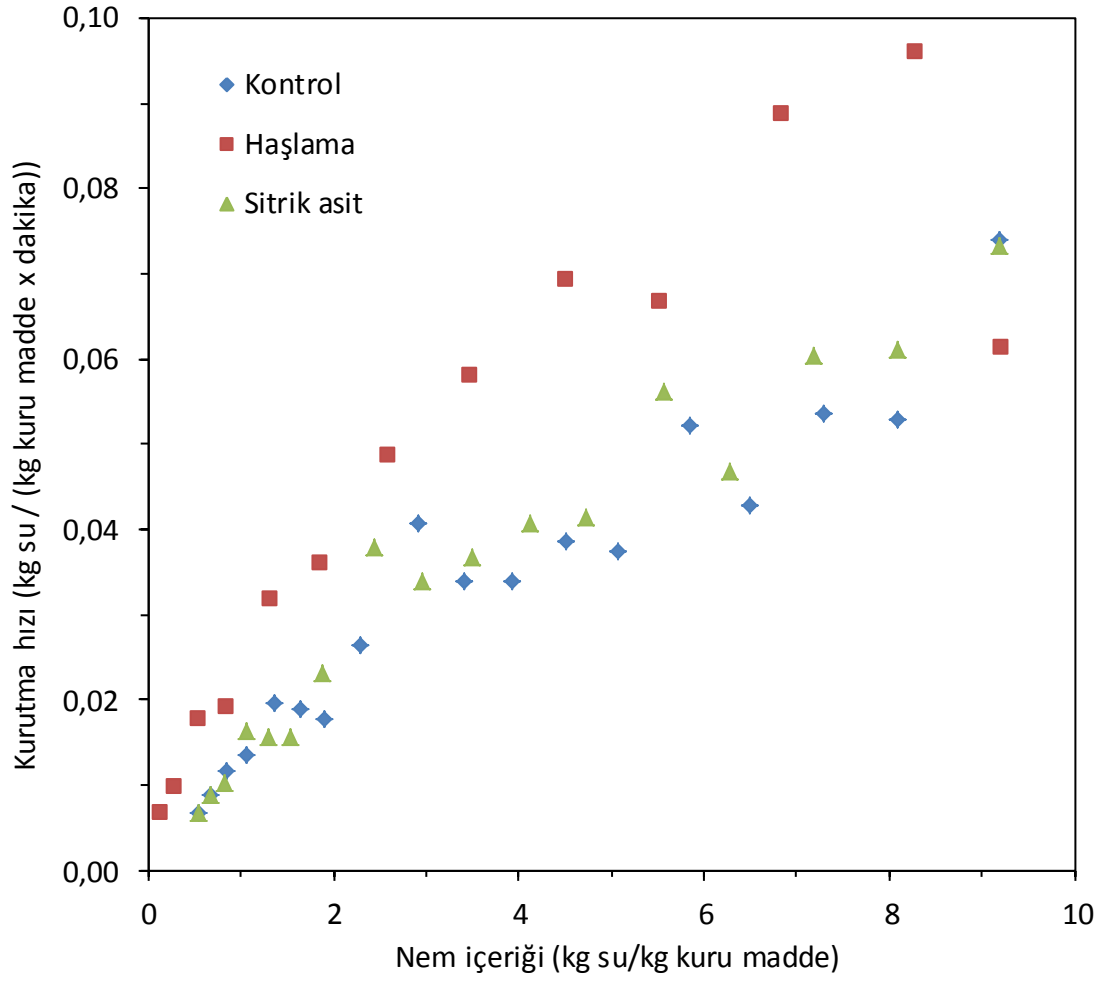
Şekil 7.23 Karnabahar numunelerinin 45°C'deki kuruma hızının nem içeriği ile değişimi



Şekil 7.24 Karnabahar numunelerinin 55°C'deki kuruma hızının nem içeriği ile değişimi



Şekil 7.25 Karnabahar numunelerinin 65°C'deki kuruma hızının nem içeriği ile değişimi

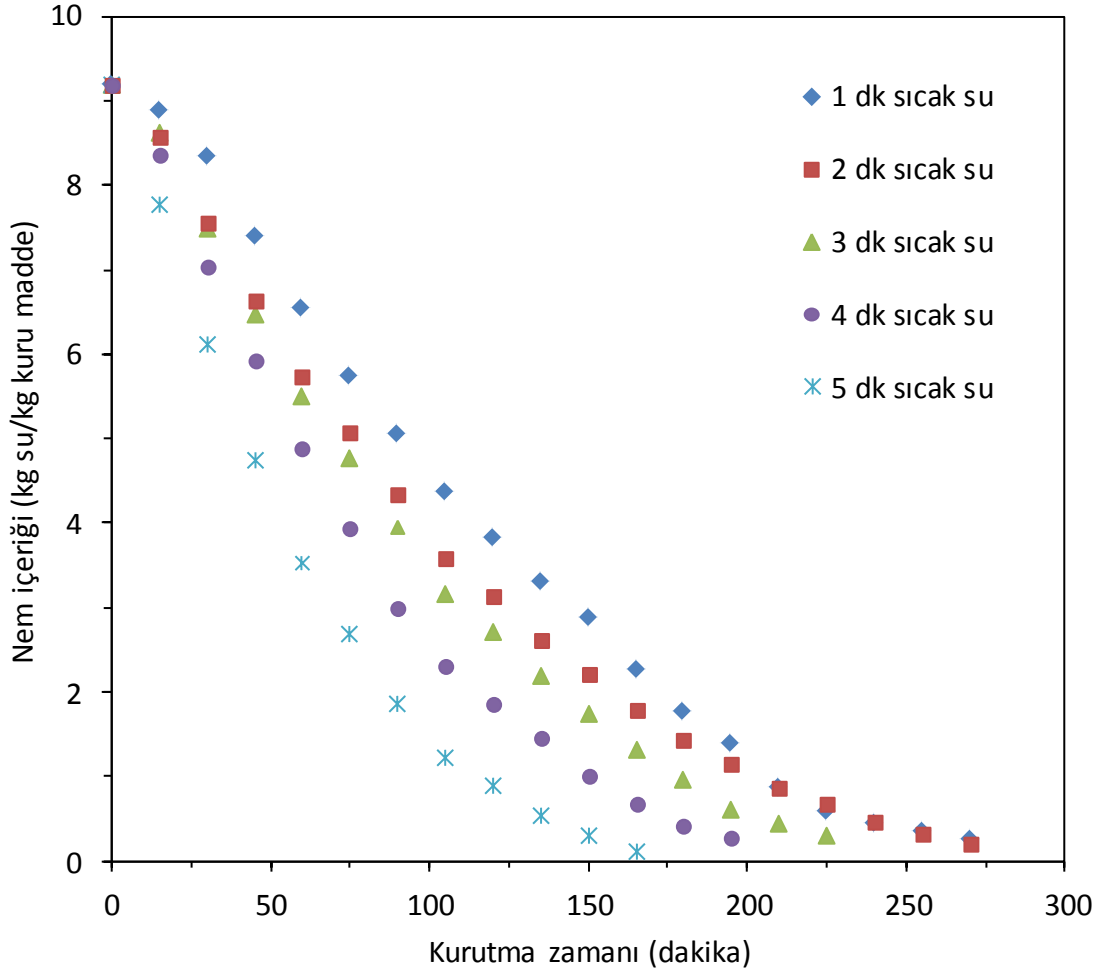


Şekil 7.26 Karnabahar numunelerinin 75°C'deki kuruma hızının nem içeriği ile değişimi

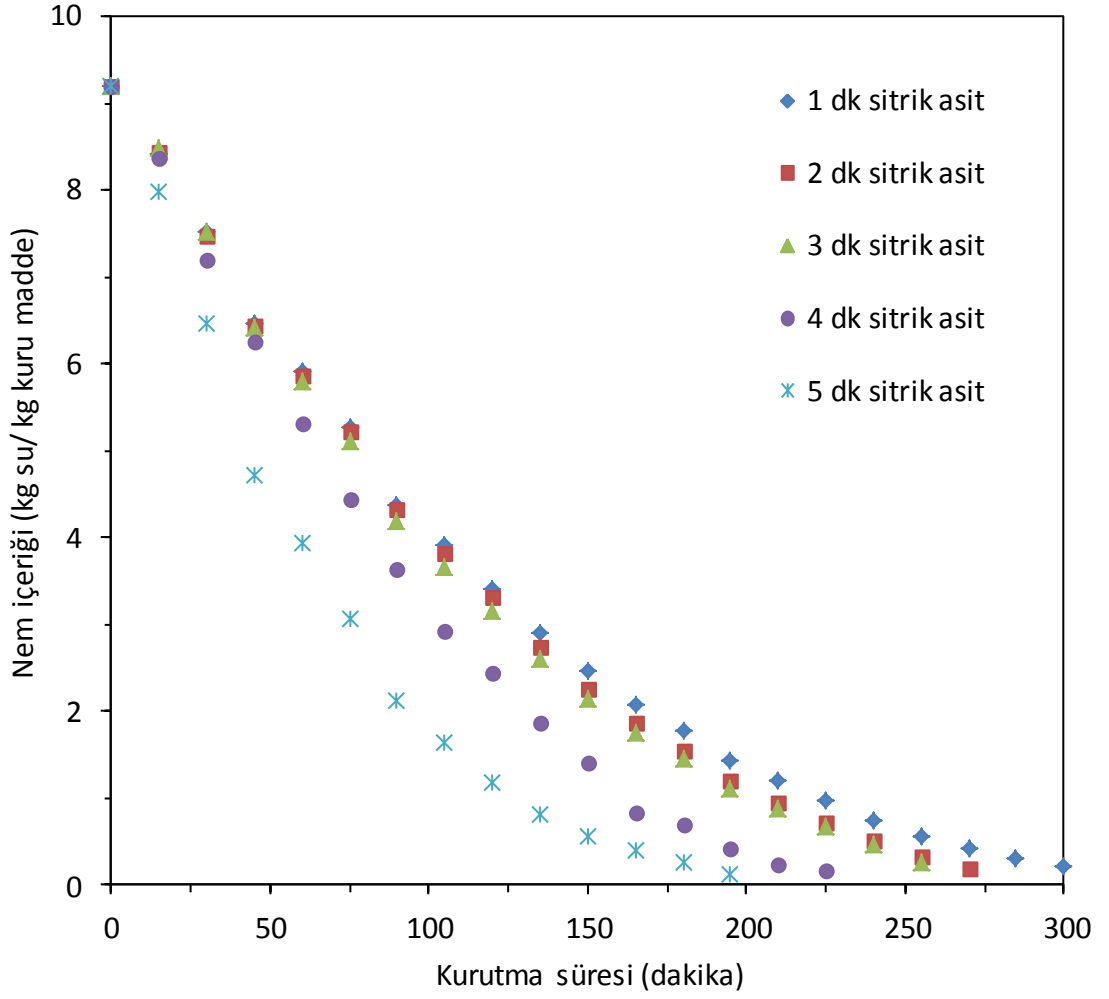
7.2.3 Ön işlem sıcaklığı ve süresinin etkisi

Elde edilen deneysel veriler göstermektedir ki; ön işlem çözeltileri karnabaharların yüzey tabakasına etki etmekte ve böylece kuruma sırasında karnabahardaki suyun sebze yüzeyinden kolayca difüzyonuna olanak sağlamaktadır. Ayrıca kurutma sezonundaki kuruma süresi kısaltılarak kullanılan kurutucunun kapasitesinin artması da sağlanmaktadır. Benzer sonuçlara önceden yapılmış araştırmalarda da ulaşılmıştır [80].

Kurutma hızına, dolayısıyla kuruma süresine etki eden diğer bir etken kurutulacak maddeye uygulanan ön işlem sıcaklığının ve ön işlem süresinin etkisidir. Bu amaçla yapılan deneylerde önce, karnabahar numunelerine 1, 2, 3, 4 ve 5 dakika olarak farklı ön işlem süreleri boyunca 80°C sıcaklıktaki su ve oda sıcaklığındaki sitrik asit çözeltileri ile ayrı ayrı ön işlemler uygulanmış, ardından 65°C sıcaklıktaki hava ile kurutulmuştur. Böylece kurutmaya ön işlem süresinin etkisi incelenmiştir. Karnabahar numunelerinin kurutulmasına ön işlem süresinin etkisi Şekil 7.27 ve Şekil 7.28’de gösterilmiştir.

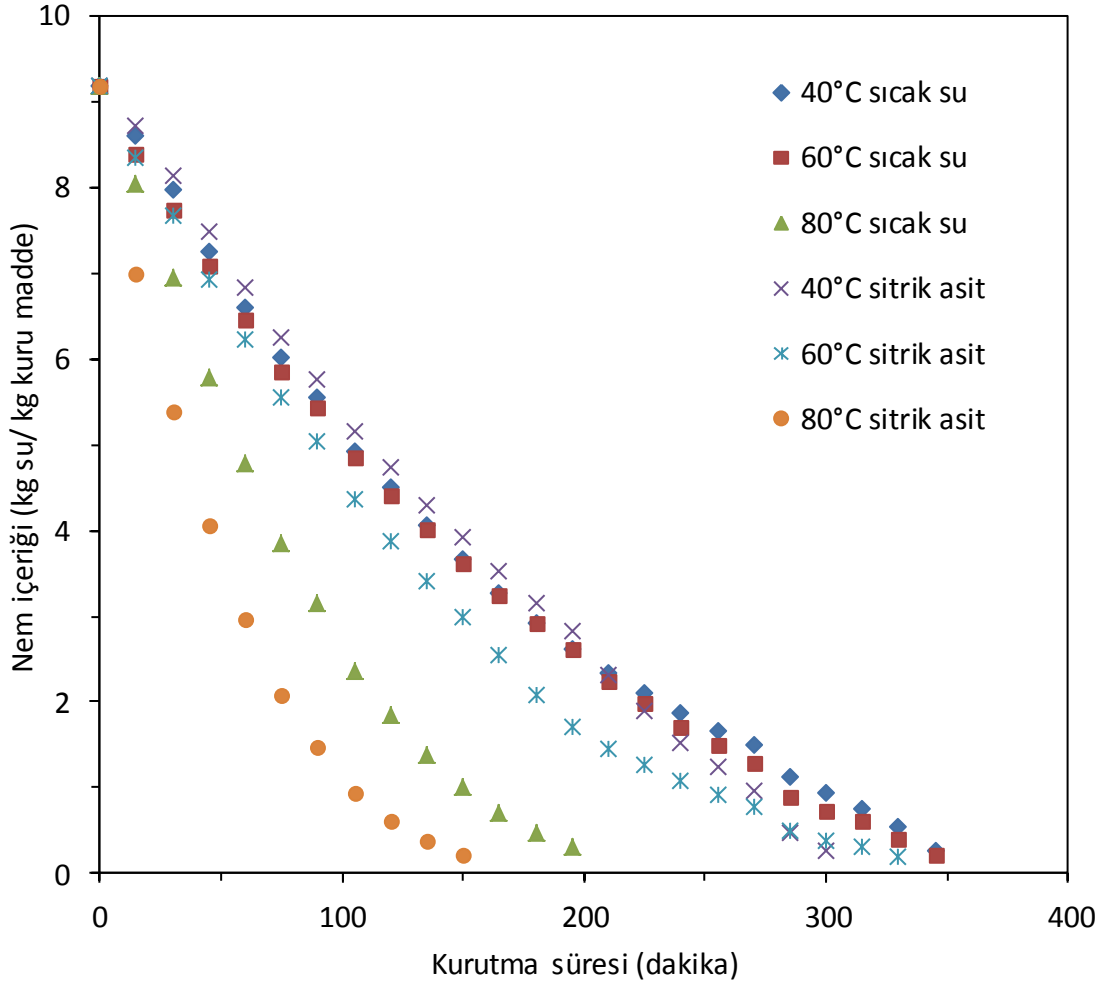


Şekil 7.27 Farklı sürelerde sıcak suyla ön işlem uygulanmış karnabaharların 65°C kurutma sıcaklığında nem içeriğinin kuruma süresi ile değişim



Şekil 7.28 Farklı sürelerde sitrik asitle ön işlem uygulanmış karnabaharların 65°C kurutma sıcaklığında nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi

Daha sonra karnabahar numunelerine 40, 60 ve 80°C sıcaklardaki su ve sitrik asit çözeltileri ile 2 dakika süreyle ön işlem uygulanmış, ardından 65°C sıcaklıkta kurutulmuştur. Böylece karnabahar kurutmaya ön işlem sıcaklığının etkisi incelenmiştir. Karnabahar numunelerine ön işlem sıcaklığının etkisi Şekil 7.29'da gösterilmiştir.



Şekil 7.29 Farklı sıcaklıklarda ön işlem uygulanmış karnabaharların 65°C kurutma sıcaklığında nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi

Grafik incelendiğinde ön işlem sıcaklığının artması ile örneklerin daha çabuk kurdukları saptanmıştır. Bunun sebebi, artan sıcaklık değerlerinin suyun difüzyonunu kolaylaştırarak kurutma süresini kısaltmasıdır. Ön işlemlerin kurutma hızına olumlu etkisi, literatürden benzeri çalışmalarda da görülmektedir [25,80]. Yüksek sıcaklıklardaki ön işlemler, kurutma karakteristiklerine daha belirgin biçimde etki etmektedir [81]. En hızlı kuruma, dolayısıyla en kısa sürede gerçekleşen kuruma 80°C'deki sitrik asit çözeltisi ile ön işlem uygulanan brokoli numunelerinde görülmüştür. İkinci en hızlı kuruma ise 80°C'deki suda haşlanmış brokoli numunelerinde görülmüştür. Burada sitrik asitle ön işlemin kuruma hızını daha belirgin biçimde arttırdığı anlaşılmaktadır. Bu da sıcaklığın artışıyla birlikte sitrik asidin etkisinin de arttığını göstermektedir [82].

7.2.4 Kuruma eğrilerinin matematiksel modellenmesi

Deney sonuçlarından elde edilen verilerden yararlanarak lineer olmayan regresyon analiz yöntemi yardımıyla nem içeriği ile kurutma süresinin değişimi eğrilerinin matematiksel modellenmesi yapılmıştır. Uygulanan denklemler Çizelge 6.1’de ve bu denklemlerin uygulanması ile elde edilen regresyon katsayıları (R^2), khikare (χ^2) ve tahminin standart hatası (RMSE) değerleri hesaplanmış ve Çizelge 7.10-7.13’de verilmiştir. Bir denklemin uygunluğu tespitinde yüksek R^2 , düşük χ^2 ve RMSE değerlerine bakılır [71].

Regresyon katsayısı, ürünlerin kurutma eğrilerini tanımlayan en iyi denklemi seçmek için ana kriter olarak seçilmiştir. Tahminin standart hatası (RMSE), model ile elde edilen tahmini değerler ile deneysel değerler arasındaki sapmayı göstermektedir. Ayrıca khikare (χ^2) değerinin azalması ile uyumun arttığı belirtilmektedir [76].

Çizelge 7.10–7.13’den bütün denklemlerin R^2 , χ^2 ve RMSE değerleri incelendiğinde her sıcaklık değeri için Midilli vd. denkleminin R^2 değerlerinin diğer denklemlere göre daha yüksek olduğu, χ^2 ve RMSE değerlerinin ise daha düşük olduğu görülmüştür. Buna göre Midilli vd. denkleminin karnabaharın kurutma kinetiğini diğerlerinden daha iyi açıkladığı saptanmıştır. Örneğin, 65°C hava sıcaklığında kurutulan karnabahar örneklerine ait deneysel değerler ile teorik Midilli vd. denkleminde hesaplanan değerlerden faydalanarak çizilen nem içeriğinin kuruma süresi ile değişim grafiği Şekil 7.30’da görülmektedir.

Çizelge 7.10 45°C'de karnabaharlar için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayısı, khi-kare ve RMSE değerleri

Ön İşlem	Model	Katsayılar	R ²	χ ²	RMSE
Kontrol	Newton	k=-0,003298	0,9849	0,001320	0,253816
	Page	k=-0,000827 n=1,235368	0,9989	0,000095	0,060502
	Henderson ve Pabis	a=1,074763 k=0,003539	0,9908	0,002312	0,100251
	Logaritmik	a=1,141324 k=0,002744 c=-0,107478	0,9988	0,000100	0,061527
	Two-term	a=6,30432 b=-5,31490 k ₀ =0,00543 k ₁ =0,00612	0,9990	0,000090	0,058234
	Wang ve Singh	a=-0,002426 b=0,000002	0,9984	0,000140	0,073230
	Midilli vd.	a=0,994694 k=0,001084 b=-0,000039 n=1,178285	0,9998	0,000009	0,018762
Haşlama	Newton	k=0,006048	0,9776	0,002192	0,250690
	Page	k=0,001015 n=1,338178	0,9999	0,000013	0,014650
	Henderson ve Pabis	a=1,106101 k=0,006645	0,9881	0,001200	0,176236
	Logaritmik	a=1,152233 k=0,005462 c=-0,079136	0,9950	0,000515	0,106933
	Two-term	a=-5,79976 b=6,80138 k ₀ =0,01220 k ₁ =0,01071	0,9997	0,000030	0,027321
	Wang ve Singh	a=-0,004362 b=0,000005	0,9962	0,000384	0,101344
	Midilli vd.	a=1,002914 k=0,001080 b=-0,000005 n=1,326031	0,9999	0,000013	0,014207
Sitrik asit	Newton	k=0,003861	0,9825	0,001573	0,248008
	Page	k=0,000881 n=1,258837	0,9989	0,000102	0,060984
	Henderson ve Pabis	a=1,079292 k=0,004162	0,9894	0,000973	0,188055
	Logaritmik	a=1,244029 k=0,002714 c=-0,220239	0,9993	0,000055	0,032028
	Two-term	a=5,43782 b=-4,44249 k ₀ =0,00624 k ₁ =0,00717	0,9993	0,000059	0,035350
	Wang ve Singh	a=-0,002862 b=0,000002	0,9993	0,000066	0,046638
	Midilli vd.	a=0,994802 k=0,001150 n=1,200447 b=-0,000049	0,9998	0,000018	0,023853

Çizelge 7.11 55°C'de karnabaharlar için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayısı, khi-kare ve RMSE değerleri

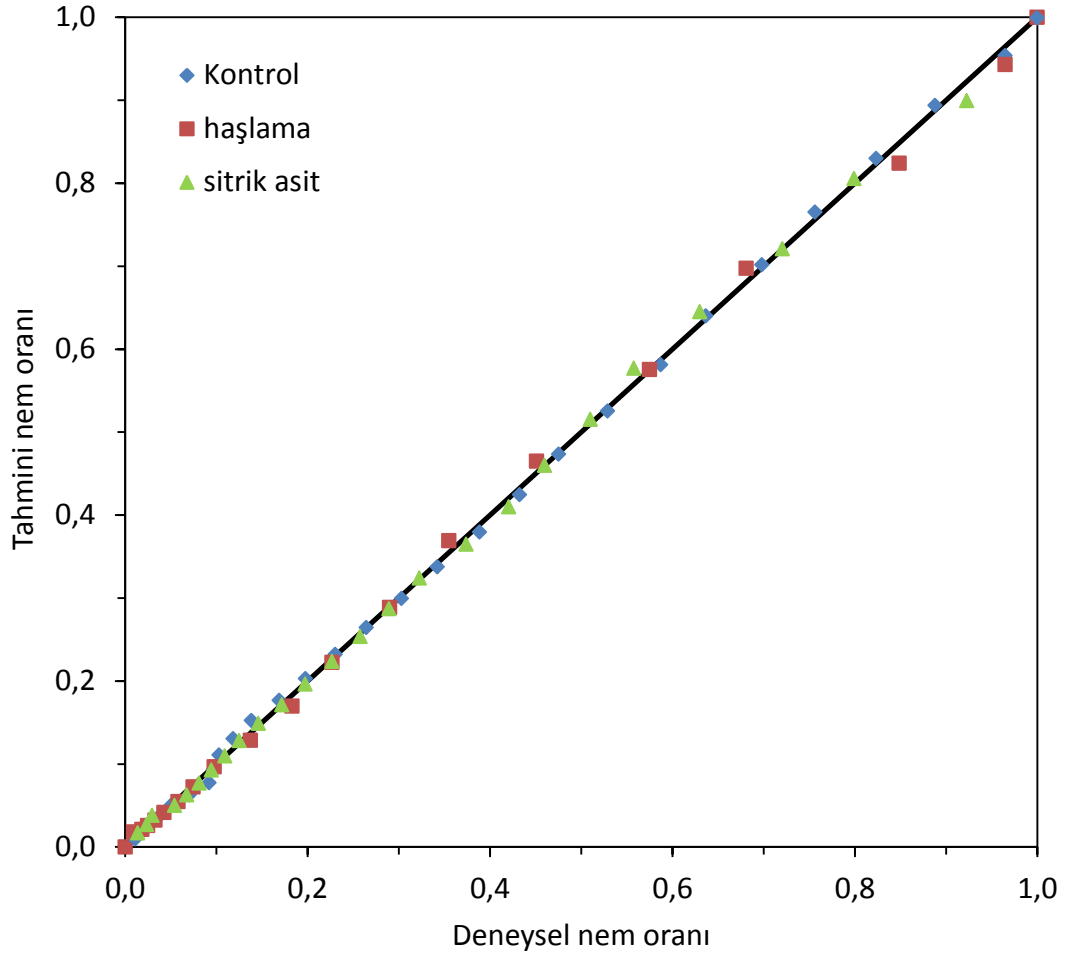
Ön işlem	Model	Katsayılar	R ²	χ ²	RMSE
Kontrol	Newton	k=0,005031	0,9768	0,002115	0,228200
	Page	k=0,0001127 n=1,276565	0,9954	0,000430	0,100803
	Henderson ve Pabis	a=1,069855 k=0,005388	0,9830	0,001600	0,193924
	Logaritmik	a=1,271091 k=0,00330 c=-0,258397	0,9995	0,000047	0,029988
	Two-term	a=8,21649 b=-7,23785 k ₀ =0,00873 k ₁ =0,00962	0,9956	0,000443	0,098699
	Wang ve Singh	a=-0,003706 b=0,000003	0,9996	0,000034	0,027952
	Midilli vd.	a=0,996933 k=0,002354 b=-0,000235 n=1,104384	0,9997	0,028423	0,026644
Haşlama	Newton	k=0,008025	0,9772	0,002309	0,218486
	Page	k=0,001501 n=1,336101	0,9996	0,000046	0,025488
	Henderson ve Pabis	a=1,093782 k=0,008733	0,9863	0,001447	0,163932
	Logaritmik	a=1,165419 k=0,006801 c=-0,108280	0,9955	0,000495	0,089052
	Two-term	a=4,47225 b=-3,41889 k ₀ =0,00481 k ₁ =0,00481	0,9964	0,000411	0,078124
	Wang ve Singh	a=-0,005868 b=0,000009	0,9980	0,000212	0,057574
	Midilli vd.	a=0,998612 k=0,001638 b=-0,000029 n=1,314398	0,9997	0,000036	0,021621
Sitrik asit	Newton	k=0,005686	0,9834	0,001530	0,196067
	Page	k=0,001469 n=1,255097	0,9992	0,000074	0,038092
	Henderson ve Pabis	a=1,073467 k=0,00602	0,9897	0,000943	0,149682
	Logaritmik	a=1,169655 k=0,004537 c=-0,136987	0,9987	0,000127	0,050911
	Two-term	a=7,07142 b=-6,07910 k ₀ =0,00961 k ₁ =0,01071	0,9992	0,000077	0,038156
	Wang ve Singh	a=-0,004254 b=0,000005	0,9992	0,000073	0,039711
	Midilli vd.	a=0,997088 k=0,001899 n=1,194560 b=-0,000076	0,9999	0,000004	0,009526

Çizelge 7.12 65°C'de karnabaharlar için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayısı, khi-kare ve RMSE değerleri

Ön işlem	Model	Katsayılar	R ²	χ ²	RMSE
Kontrol	Newton	k=0,006206	0,9744	0,002516	0,242540
	Page	k=0,001080 n=1,335354	0,9986	0,000139	0,052266
	Henderson ve Pabis	a=1,092672 k=0,006769	0,9842	0,001609	0,183805
	Logaritmik	a=1,223000 k=0,004706 c=-0,178560	0,9974	0,000277	0,070813
	Two-term	a=0,796506 b=0,296146 k ₀ =0,006769 k ₁ =0,006770	0,9842	0,001738	0,183807
	Wang ve Singh	a=-0,004587 b=0,000005	0,9986	0,000146	0,049253
	Midilli et al.	a=0,999216 k=0,001490 b=-0,000094 n=1,260278	0,9995	0,000053	0,028898
Haşlama	Newton	k=0,011463	0,9672	0,003730	0,208985
	Page	k=0,001530 n=1,437060	0,9982	0,000221	0,043415
	Henderson ve Pabis	a=1,118736 k=0,012706	0,9811	0,002278	0,159960
	Logaritmik	a=1,182488 k=0,010248 c=-0,093759	0,9891	0,001389	0,117321
	Two-term	a=-0,732402 b=1,734295 k ₀ =0,043399 k ₁ =0,017061	0,9995	0,000070	0,027535
	Wang ve Singh	a=-0,008374 b=0,000018	0,9903	0,001169	0,097936
	Midilli et al.	a=1,021669 b=0,000039 k=0,001735 n=1,418699	0,9987	0,000172	0,037118
Sitrik asit	Newton	k=0,006874	0,9758	0,002531	0,200606
	Page	k=0,001816 n=1,260670	0,9913	0,000949	0,091039
	Henderson ve Pabis	a=1,142913 k=0,007852	0,9966	0,000365	0,076840
	Logaritmik	a=1,181397 k=0,006788 c=-0,062561	0,9992	0,000086	0,034935
	Two-term	a=0,533402 b=0,609513 k ₀ =0,007852 k ₁ =0,007852	0,9966	0,000397	0,076841
	Wang ve Singh	a=-0,005143 b=0,000007	0,9880	0,001303	0,119280
	Midilli et al.	a=1,123980 b=-0,000142 k=0,007580 n=0,987659	0,9993	0,000080	0,030923

Çizelge 7.13 75°C 'de karnabaharlar için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayısı, khi-kare ve RMSE değerleri

Ön işlem	Model	Katsayılar	R ²	χ ²	RMSE
Kontrol	Newton	k=0,009020	0,9875	0,001162	0,151057
	Page	k=0,003261 n=1,207723	0,9975	0,000241	0,056513
	Henderson ve Pabis	a=1,046225 k=0,009418	0,9899	0,000980	0,137452
	Logaritmik	a=1,106490 k=0,007520 c=-0,091949	0,9972	0,000284	0,071398
	Two-term	a=-5,86505 b=6,84282 k ₀ =0,01619 k ₁ =0,01458	0,9982	0,000187	0,051866
	Wang ve Singh	a=-0,006562 b=0,000011	0,9976	0,000232	0,058646
	Midilli vd.	a=0,977566 b=-0,000068 k=0,003180 n=1,199677	0,9986	0,000147	0,047019
Haşlama	Newton	k=0,014008	0,9683	0,003685	0,185144
	Page	k=0,002257 n=1,415160	0,9988	0,000151	0,035168
	Henderson ve Pabis	a=1,084566 k=0,015134	0,9773	0,002879	0,162416
	Logaritmik	a=1,282264 k=0,009673 c=-0,242023	0,9958	0,000583	0,065540
	Two-term	a=0,577475 b=0,507093 k ₀ =0,015135 k ₁ =0,015132	0,9773	0,003519	0,162416
	Wang ve Singh	a=-0,010218 b=0,000026	0,9975	0,000316	0,040235
	Midilli vd.	a=1,001798 b=-0,000229 k=0,003096 n=1,326827	0,9997	0,000041	0,015932
Sitrik asit	Newton	k=0,009914	0,9901	0,000903	0,135045
	Page	k=0,003795 n=1,199420	0,9988	0,000111	0,039199
	Henderson ve Pabis	a=1,048608 k=0,010361	0,9924	0,000731	0,118257
	Logaritmik	a=1,079474 k=0,008998 c=-0,052442	0,9967	0,000333	0,076966
	Two-term	a=-5,48436 b=6,47089 k ₀ =0,01759 k ₁ =0,01580	0,9992	0,000082	0,034700
	Wang ve Singh	a=-0,006969 b=0,000012	0,9931	0,000655	0,108096
	Midilli vd.	a=0,982094 b=-0,000012 k=0,003324 n=1,221487	0,9991	0,000094	0,038326



Şekil 7.30 65°C’de kurutulan karnabaharlar için deneysel ve Midilli vd. denkleminin tahmini nem oranı değerleri

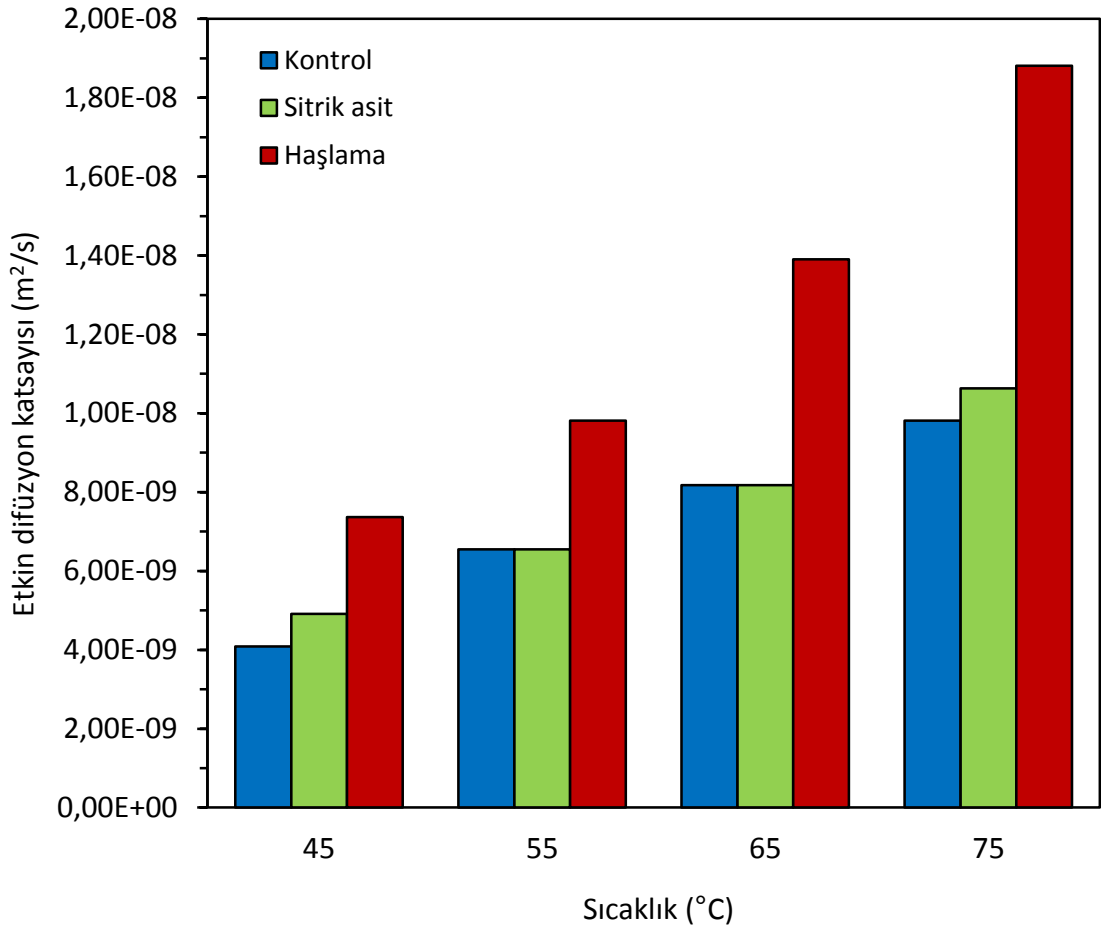
7.2.5 Difüzyon katsayılarının hesaplanması

Ön işlemlili ve ön işlemsiz karnabahar örnekleri için her bir kurutma havası sıcaklığı için (6.9) denklemi kullanılarak etkin difüzyon katsayısı hesaplanmış ve Çizelge 7.14 ve Şekil 7.31’de gösterilmiştir.

Etkin difüzyon katsayısı değerleri ön işlemsiz olarak kurutulan karnabaharlarda $4,0907 \times 10^{-9}$ ile $9,8178 \times 10^{-9}$ m^2/s , sıcak su ile ön işlem görmüş karnabaharlarda $7,3633 \times 10^{-9}$ ile $1,8817 \times 10^{-8}$ m^2/s ve sitrik asit ile ön işlem görmüş karnabaharlarda ile $4,9089 \times 10^{-9}$ ile $1,0635 \times 10^{-8}$ m^2/s arasında değişmiştir.

Çizelge 7.14 Karnabahar için etkin difüzyon katsayıları

Sıcaklık (°C)	Etkin difüzyon katsayısı (m ² /s)		
	Kontrol	Haşlama	Sitrik asit
45	4,0907x10 ⁻⁹	7,3633x10 ⁻⁹	4,9089x10 ⁻⁹
55	6,5452x10 ⁻⁹	9,8178x10 ⁻⁹	6,5452x10 ⁻⁹
65	8,1815x10 ⁻⁹	1,3908x10 ⁻⁸	8,1815x10 ⁻⁹
75	9,8178x10 ⁻⁹	1,8817x10 ⁻⁸	1,0635x10 ⁻⁸



Şekil 7.31 Karnabaharın etkin difüzyon katsayısının kurutma sıcaklığıyla değişimi

Sıcaklığın artması, nem difüzyonunu kolaylaştırmaktadır [58]. Şekil 7.31'den de anlaşılacağı üzere kontrol, haşlama ve sitrik asit numuneleri için sıcaklığın artışı etkin difüzyon katsayılarını da artırmıştır.

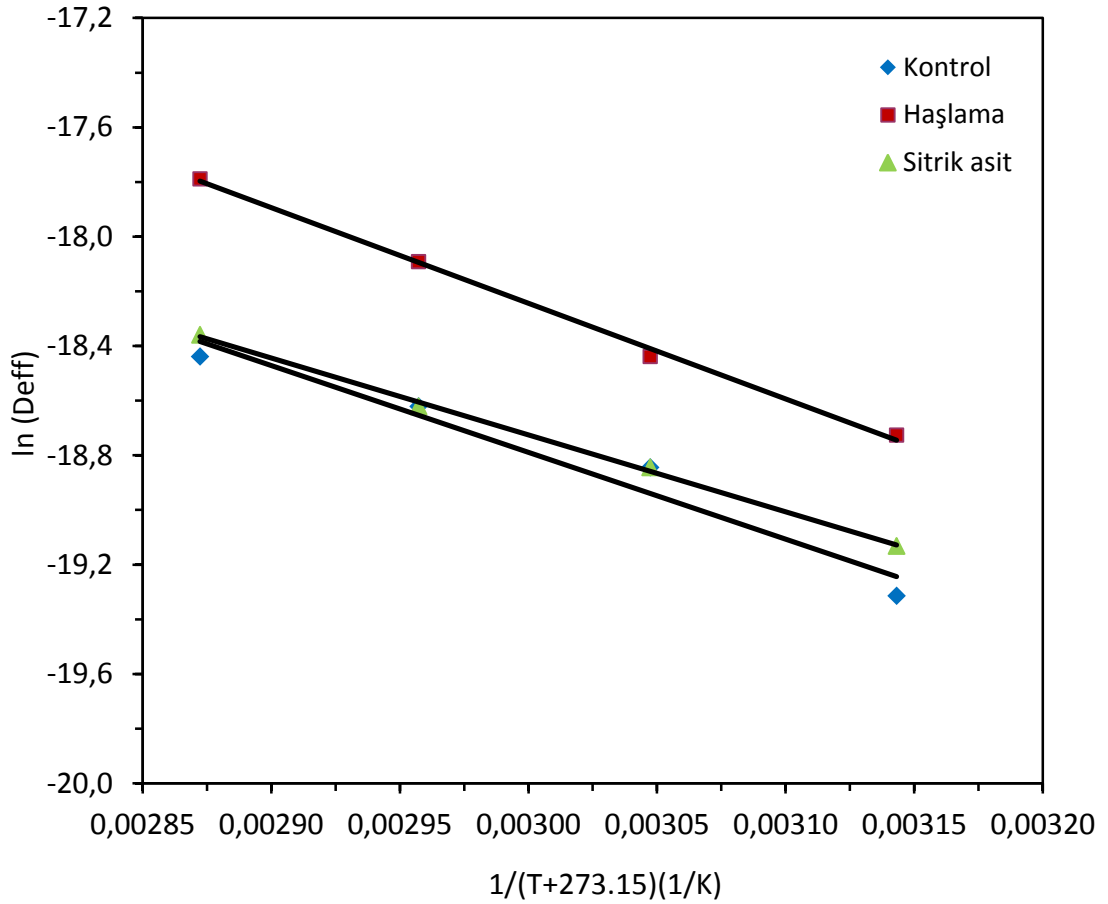
Her bir kurutma sıcaklığındaki etkin difüzyon katsayıları incelendiğinde ise kontrol ve sitrik asit numunelerinde birbirine yakın ya da eşit katsayı değerlerine ulaşılmıştır. Haşlama numunelerinde ise etkin difüzyon katsayılarının artışı daha belirgin şekilde görülmektedir. Bunun nedeni, haşlamanın sebze yüzeyindeki tabakanın geçirgenliğini artırması ile birlikte sebze yüzeyinden nem difüzyonunun daha hızlı şekilde gerçekleşmesidir. Benzer durum önceden yapılmış çalışmalarda da görülmektedir [79].

DeneySEL sonuçlardan elde edilen etkin difüzyon katsayılarının, literatürde Lopez vd. [51] tarafından yapılan çalışmada, brokoli kurutmanın difüzyon katsayı değerleri olan $6,026 \times 10^{-9}$ ile $3,1468 \times 10^{-8}$ m²/s aralığında olduğu belirlenmiştir. Etkin difüzyon katsayıları arasındaki farklılıkların nedeni ise deneylerde kullanılan değişik karnabahar çeşitlerinden, uygulanan farklı ön işlemlerden, farklı kurutma sıcaklıklarından ve kurutma cihazlarından ileri gelmektedir.

DeneySEL sonuçlardan elde edilen difüzyon katsayısı değerleri, Zogzas vd. tarafından yapılmış çalışmada genel gıda kurutma difüzyon katsayısı değerleri olarak belirtilen 10^{-12} ile 10^{-8} m²/s aralığında yer almaktadır [77].

7.2.6 Aktivasyon enerjisinin hesaplanması

Aktivasyon enerji değerleri, $\ln(D_{eff})$ ile sıcaklık arasında çizilen ve Şekil 7.32'de gösterilen grafikten yararlanarak hesaplanmıştır.



Şekil 7.32 Karnabahar numuneleri için sıcaklığın etkin difüzyon katsayısına etkisi

(6.11) denkleminde yararlanılarak Kontrol, Haşlama ve Sitrik asit karnabaharlarının aktivasyon enerji değerleri sırasıyla 29,09, 23,40 ve 26,39 kJ/mol olarak bulunmuştur. Lopez vd. tarafından yapılmış çalışmada karnabahar için aktivasyon enerjisi değeri 19,82 kJ/mol olarak bulunmuştur [51].

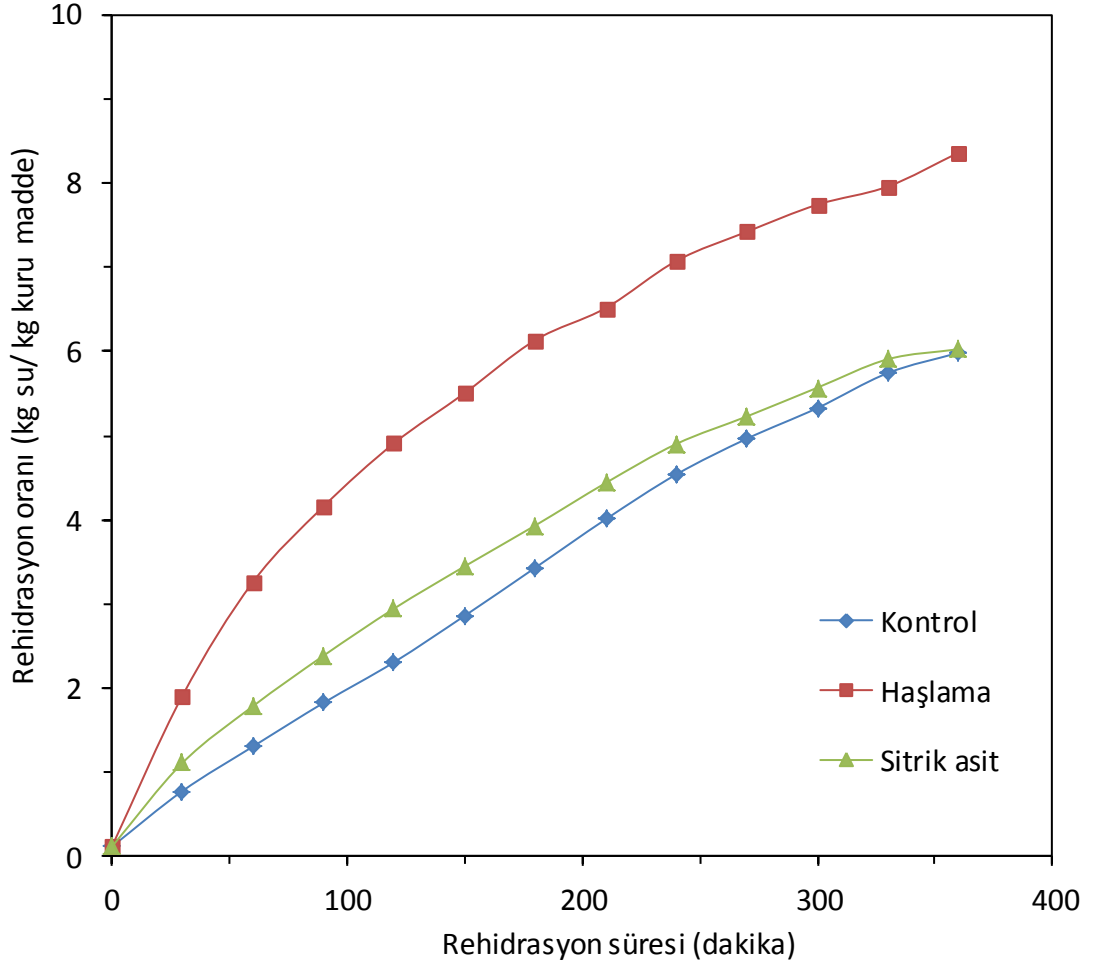
Deneysel olarak bulunan ve literatürden araştırılan karnabaharların aktivasyon enerjisi değerleri Zogzas vd. tarafından bulunmuş genel gıda kurutma aktivasyon enerjisi değerleri olan 12,7 ile 110 kJ/mol aralığında yer almaktadır [77].

7.2.7 Rehidrasyon oranlarının belirlenmesi

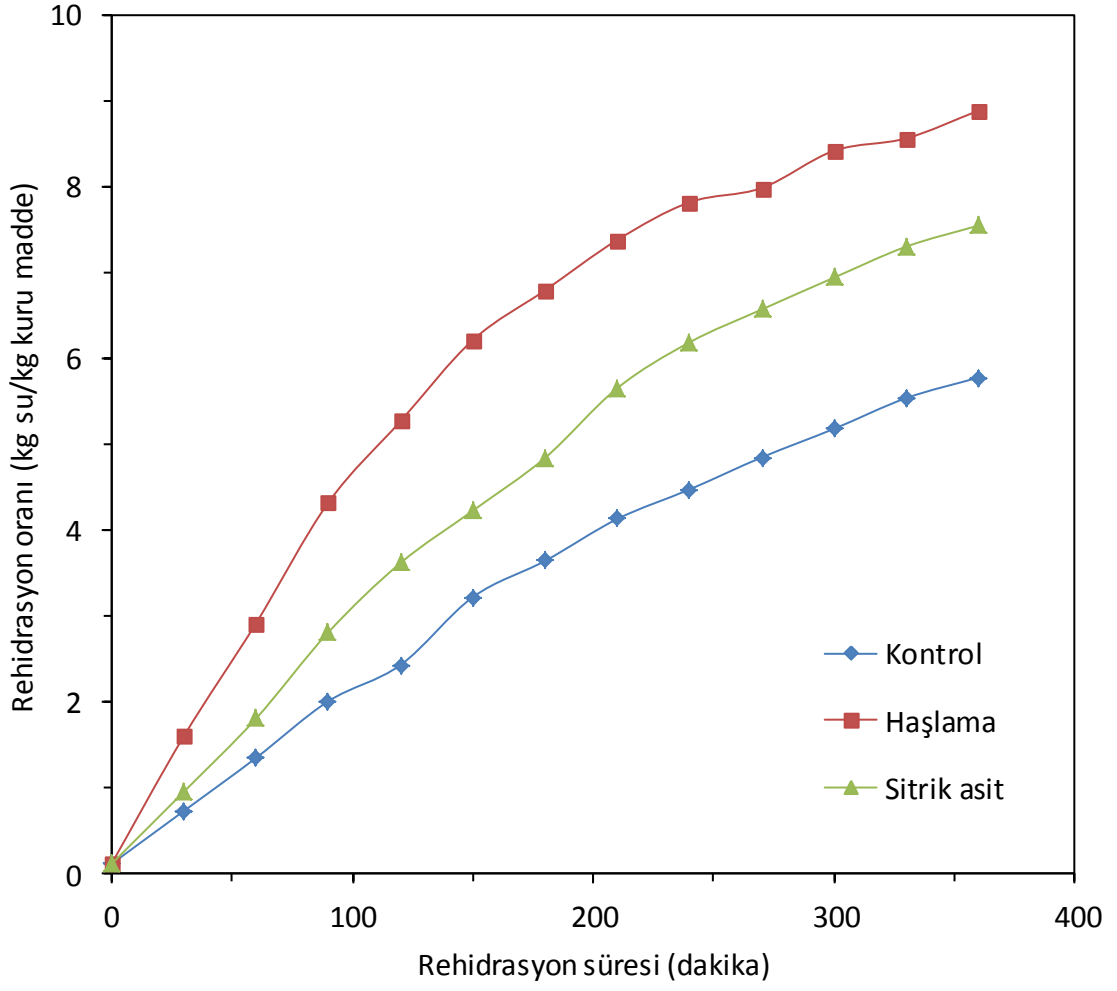
65°C'de kurutulmuş ve nem almayacak biçimde ambalajlanarak saklanmış karnabahar örnekleri rehidrasyon deneyleri için kullanılmıştır. Ön işlem uygulanmadan kurutulan, 80°C'de sıcak su ile 1 dakika süreyle haşlanarak kurutulan ve sitrik asit çözeltisine 1 dakika süreyle daldırılarak kurutulan karnabaharlar 20, 40, 60 ve 80°C sıcaklıklarda rehidre edilerek aldıkları nem miktarları tayin edilmiştir.

Rehidrasyon oranları (6.1) denklemi kullanılarak hesaplanmış ve farklı rehidrasyon sıcaklıkları için bulunan sonuçlar Şekil 7.33-7.36'da gösterilmiştir.

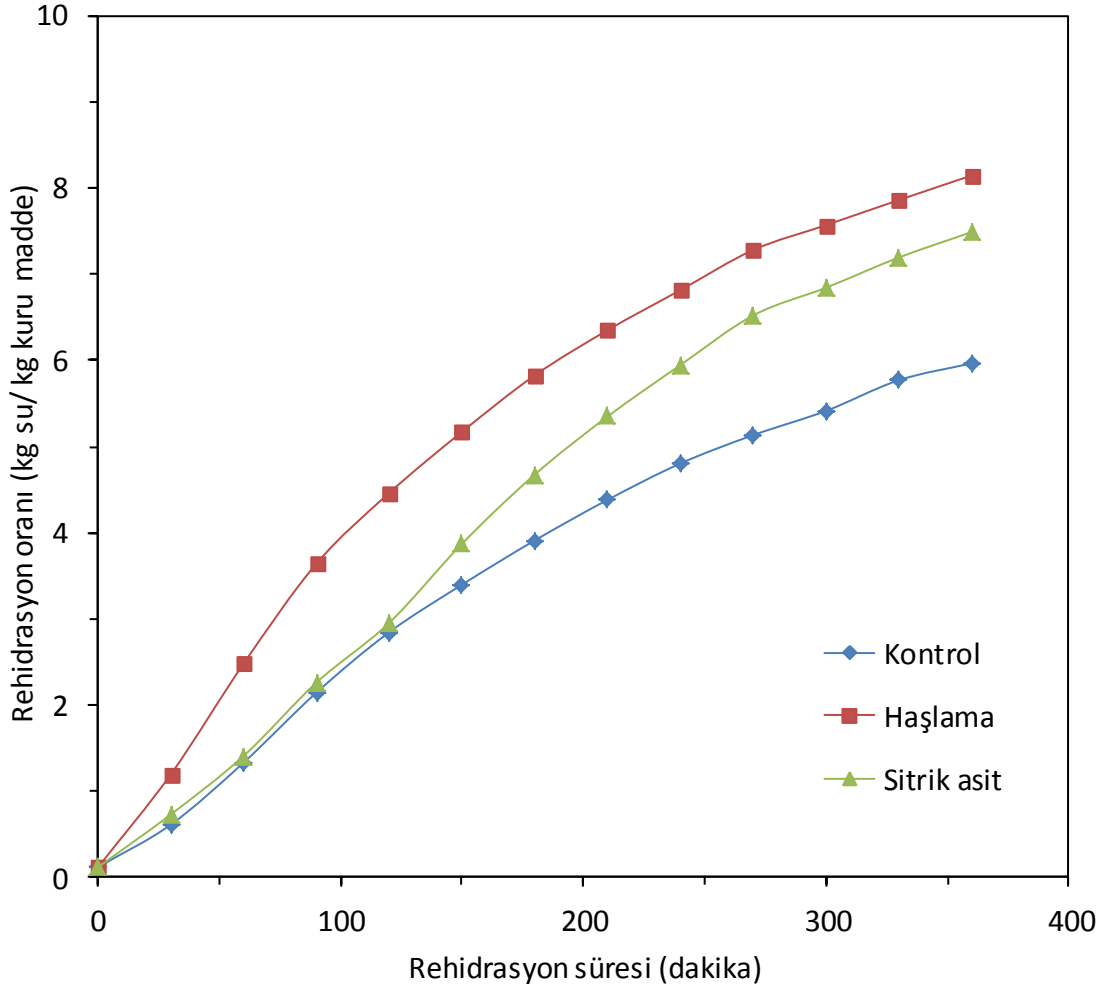
Bu şekiller incelendiğinde, örneklere kurutulmadan önce uygulanan ön işlemlerin ve rehidrasyon sıcaklıklarının rehidrasyon oranlarına etki ettiği görülmüştür. Çizilen rehidrasyon grafikleri incelendiğinde, en yüksek rehidrasyon oranının sıcak su ile muamele edilerek kurutulan ürünlerde olduğu görülmüştür. Ayrıca, rehidrasyon sıcaklığının artışı ile birlikte kontrol ve sitrik asit ürünlerinin rehidrasyon oranları da artmaktadır.



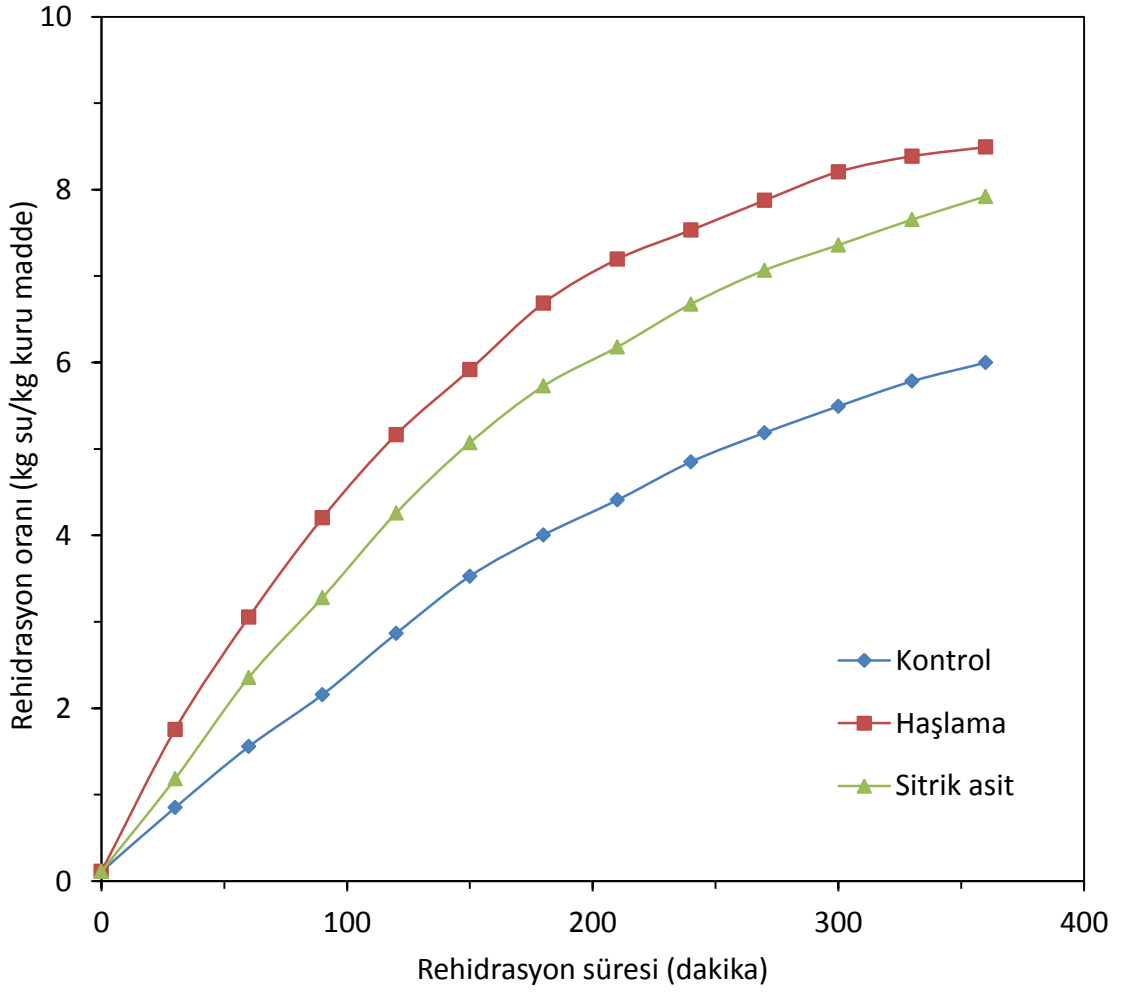
Şekil 7.33 65 °C'de kurutulmuş karnabaharların 20°C'de rehidrasyon süresi ile rehidrasyon oranı arasındaki değişim



Şekil 7.34 65°C'de kurutulmuş karnabaharların 40°C'de rehidrasyon süresi ile rehidrasyon oranı arasındaki değişim



Şekil 7.35 65°C’de kurutulmuş karnabaharların 60°C’de rehidrasyon süresi ile rehidrasyon oranı arasındaki değişim



Şekil 7.36 65°C'de kurutulmuş karnabaharların 80°C'de rehidrasyon süresi ile rehidrasyon oranı arasındaki değişim

Şekil 7.33-7.36'dan görüldüğü gibi rehidrasyon sıcaklığı arttıkça rehidrasyon oranı da artmaktadır. Bu sonucun literatürden benzer çalışmalarla uyduğu görülmektedir [41]. Ön işlem uygulanarak kurutulan örneklerin rehidrasyon oranının ön işlem uygulanmadan kurutulan örneklere göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Benzer sonuçlara daha önce yapılmış çalışmalarda da rastlanmıştır [78].

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, laboratuvar ortamında sıcak havalı bir kabin kurutucuda yapılan kurutma işleminin, deney materyali olarak seçilen brokoli ve karnabahar sebzelerinin kurutma karakteristikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla sebzelerin sıcak havalı kurutucuda farklı sıcaklıklarda kurutma işlemine tabi tutulması sonucunda kuruma hızı ve süresi, ön işlem sıcaklığı ve süresinin etkisi, etkin difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisindeki değişim, rehidrasyon oranları ve ayrıca deneysel verilerden hareket edilerek matematiksel modelleme çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

A) Brokoli numunesi için;

I. Kuruma hızları incelendiğinde;

a) Kurutma kabinde 45, 55, 65 ve 75°C sıcaklıklarında ve $2\pm 0,1$ m/s hava hızında gerçekleştirilmiş brokoli kurutma denemelerinin kuruma süreleri incelendiğinde, kurutma havasının sıcaklığı arttıkça brokoli numunelerinin kurutma süresinin kısaldığı görülmektedir. Örneğin; 55°C'den 65°C'ye kurutma sıcaklığındaki 10°C'lik artış, Kontrol, Haşlama ve Sitrik asit numuneleri için kurutma sürelerinde sırasıyla %22,5, %18,5 ve %13,8 oranlarında kısaltmaya neden olmuştur. Ayrıca kuruma olayı azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir ve bu eğrilerin hiçbirinde sabit hız periyodu gözlenmemiştir.

b) Kurutma denemelerinde brokoli örnekleri ya doğal halde herhangi bir işleme tabi tutulmadan, ya da sıcak su ve sitrik asit çözeltilerine daldırıldıktan sonra kurutulmuşlardır. Ön işleme tabi tutularak kurutulan örneklerin kuruma sürelerinin ön işlemsiz örneklere göre daha kısa olduğu saptanmıştır. Ayrıca farklı kurutma havası sıcaklıklarının her birinde, ön işleme tabi tutularak kurutulan örneklerin kuruma sürelerinin, ön işlem görmeden kurutulan örneklere göre daha kısa olduğu saptanmıştır. Örneğin 65°C'de kurutulan örneklerin kurutma süreleri değerlendirildiğinde, ön işlem uygulanmayan örneklerde 465 dakikada kuruma gerçekleşirken, sitrik asit çözeltisinde 1 dakika ön işlem uygulanan örneklerin 375 dakikada kuruduğu, 80°C'deki sıcak suda 1 dakika ön işlem uygulanan örneklerin ise 330 dakika gibi daha kısa bir sürede kurdukları görülmektedir. Bu sonuçlar, ön işlem uygulanan örneklerde, kontrol numunelerine oranla sitrik asite daldırılmış örnekler için %19,4, sıcak suda haşlanmış örnekler için ise %29 oranında kurutma süresinden tasarruf sağlandığı tespit edilmiştir. Bu durum diğer sıcaklıklarda kurutulan örneklerde de görülmektedir. Bu da enerjide büyük bir kazanım meydana getirmektedir.

c) Kurutma hızına ön işlem süresinin etkisi incelenmiştir. Bu amaçla yapılan deneylerde önce, brokoli numunelerine 1, 2, 3, 4 ve 5 dakika olarak farklı ön işlem süreleri boyunca 80°C sıcaklıktaki su ve sitrik asit çözeltileri ile ön işlem uygulanmış, ardından 65°C sıcaklıkta hava ile kabin kurutucuda kurutulmuştur. Deney sonuçları, ön işlem süresinin artmasının kurutma hızını artırdığını, bunun sonucu olarak da kurutma süresini kısalttığını göstermektedir.

d) Kurutma hızına ön işlem sıcaklığının etkisi incelenmiştir. Bu amaçla ön işlem süresi 2 dakikada sabit tutularak brokoli numuneleri 40, 60 ve 80°C sıcaklardaki su ve sitrik asit çözeltileri ile muamele edilmiş, ardından 65°C sıcaklıktaki hava ile kurutulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde, ön işlem sıcaklığının artması ile örneklerin daha çabuk kurdukları saptanmıştır. Bunun sebebi, artan sıcaklık değerlerinin suyun difüzyonunu kolaylaştırarak kurutma süresini kısaltmasıdır.

II. Kuruma kinetiği incelendiğinde;

Bir laboratuvar kurutucusunda ürünlerin kuruma süresinin belirli bir anındaki nem içeriğini belirlemek amacıyla Newton, Page, Henderson ve Pabis, Logaritmik, Two-term,

Wang ve Singh ve Midilli vd. denklemleri deney sonuçlarına uygulanarak birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Kuruma olayını en iyi açıklayan denklemde bulunan katsayılar ile kuruma havası sıcaklığındaki değişimin etkileri çoklu regresyon yöntemiyle incelenmiştir. Regresyon katsayısı (R^2), khi-kare (χ^2) ve tahmini standart hatası (RMSE) değerleri kullanılarak en uygun denklem saptanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre minimum χ^2 ve RMSE ile maksimum R^2 değerlerine sahip Midilli vd. denkleminin brokoli numunelerinin kuruma davranışlarını diğer denklemlerden daha iyi açıkladığı belirlenmiştir.

III. Etkin difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi incelendiğinde;

Haşlanarak kurutulan ve sitrik asit çözeltisine daldırılıp kurutulan brokolilerin etkin difüzyon katsayılarının, doğal haliyle kurutulan kontrol numunelerine göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Ayrıca kurutma havası sıcaklığının artmasıyla birlikte gerek ön işlem görmüş gerekse ön işlem görmeden kurutulan brokolilerde etkin difüzyon katsayısı değerleri artmaktadır. Etkin difüzyon katsayısı değerleri doğal olarak kurutulan brokolilerde $3,27 \times 10^{-9}$ ile $1,06 \times 10^{-8}$ m²/s, haşlanmış brokolilerde $7,36 \times 10^{-9}$ ile $1,23 \times 10^{-8}$ m²/s ve sitrik asit ile ön işlem görmüş brokolilerde $4,09 \times 10^{-9}$ ile $1,14 \times 10^{-8}$ m²/s arasında değişmiştir. Bu sonuçlar, haşlanmış brokolilerin kuruma hızlarının diğerlerine göre daha yüksek olduğunu göstermektedir. Doğal haliyle kurutulan, haşlanarak ve sitrik asit çözeltisine daldırılarak kurutulan ürünlerin aktivasyon enerjileri ise sırasıyla 35,14, 17,21 ve 32,33 kJ/mol olarak bulunmuştur.

IV. Rehidrasyon oranlarının değişimi incelendiğinde;

Kurutulmuş ve nem almayacak şekilde paketlenerek saklanmış brokoli örneklerinin 20, 40, 60 ve 80°C'de rehidrasyonu gerçekleştirilmiştir. Kurutmadan önce uygulanan ön işlemlerin ve rehidrasyon sıcaklıklarının rehidrasyon oranlarına etki ettiği ve en yüksek rehidrasyon oranının haşlanarak kurutulan ürünlerde olduğu görülmüştür. Ayrıca, rehidrasyon sıcaklığının artışı ile birlikte ürünlerin rehidrasyon oranının arttığı saptanmıştır.

B) Karnabahar numunesi için;

I. Kuruma hızları incelendiğinde;

a) Deneyleerde karnabaharların kuruma kinetiği 45, 55, 65 ve 75°C'de ve $2\pm 0,1$ m/s hava hızında incelendiğinde, sıcaklık arttıkça kuruma süresinin kısaldığı görülmektedir.

Kuruma olayı azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir ve bu eğrilerde sabit hız periyodu gözlenmemiştir.

Sonuçlara göre örneğin; 55°C'den 65°C'ye kurutma sıcaklığındaki 10°C'lik artış, Kontrol, Haşlama ve Sitrik asit numuneleri için kurutma sürelerinde sırasıyla %12,5, %28 ve %16,1 oranlarında kısalmaya neden olmuştur.

b) Kurutma denemelerinde karnabahar örnekleri ya doğal halde herhangi bir işleme tabi tutulmadan, ya da sıcak su ve sitrik asit çözeltilerine daldırıldıktan sonra kurutulmuşlardır. Ön işleme tabi tutularak kurutulan örneklerin kuruma sürelerinin ön işlem uygulanmadan kurutulan örneklere göre daha kısa olduğu saptanmıştır. Ayrıca farklı kurutma havası sıcaklıklarının her birinde, ön işleme tabi tutularak kurutulan örneklerin kuruma sürelerinin, ön işlem görmeden kurutulan örneklere göre daha kısa olduğu saptanmıştır. Örneğin 65°C'de kurutulan örneklerin kurutma süreleri değerlendirildiğinde, ön işlem uygulanmayan örneklerde 420 dakikada kuruma gerçekleşirken, sitrik asit çözeltilisinde 1 dakika ön işlem uygulanan örneklerin 390 dakikada kuruduğu, 80°C'deki sıcak suda 1 dakika ön işlem uygulanan örneklerin ise 270 dakika gibi daha kısa bir sürede kurdukları görülmektedir. Bu sonuçlar, ön işlem uygulanan örneklerde, kontrol numunelerine oranla sitrik asite daldırılmış örnekler için %7,1, sıcak suda haşlanmış örnekler için ise %35,7 oranında kurutma süresinden tasarruf sağlandığı tespit edilmiştir. Bu durum diğer sıcaklıklarda kurutulan örneklerde de görülmektedir. Bu da enerjide kazanım meydana getirmektedir.

c) Kurutma hızına ön işlem süresinin etkisini incelemek amacıyla karnabahar numunelerine 1, 2, 3, 4 ve 5 dakika olarak farklı ön işlem süreleri boyunca 80°C sıcaklıktaki su ve sitrik asit çözeltileri ile ayrı ayrı ön işlemler uygulanmış, ardından 65°C sıcaklıktaki hava ile kurutulmuştur. Böylece kurutmaya ön işlem süresinin etkisi incelenmiştir. Ön işlem süresinin artışıyla beraber kurutma hızının da arttığı, ayrıca

karnabahar örneklerinin kuruma sürelerinin de buna bağlı olarak kısaldığı belirlenmiştir.

d) Kurutma hızına ön işlem sıcaklığının etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla karnabahar numunelerine 40, 60 ve 80°C sıcaklardaki su ve sitrik asit çözeltileri ile 2 dakika süreyle ön işlem uygulanmış, ardından 65°C sıcaklıkta kurutulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde, ön işlem sıcaklığının artması ile karnabahar örneklerinin daha çabuk kurudukları saptanmıştır. Bunun sebebi, artan sıcaklık değerlerinin suyun difüzyonunu kolaylaştırması ve sonuç olarak da kurutma süresini kısaltmasıdır.

II. Kuruma kinetiği incelendiğinde;

Newton, Page, Henderson ve Pabis, Logaritmik, Two-term, Wang ve Singh ve Midilli vd. denklemleri uygulanarak regresyon katsayıları (R^2), khi-kare (χ^2) ve tahmini standart hatası (RMSE) değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre tüm sıcaklıklarda, bu denklemlerin R^2 , χ^2 ve RMSE değerleri karşılaştırılarak yorumlandığında minimum tahmini standart hatası ve khi-kare ile maksimum R^2 değerlerine sahip Midilli vd. denkleminin karnabahar numunelerinin kuruma davranışlarını diğer denklemlerden daha iyi açıkladığı belirlenmiştir.

III. Etkin difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi incelendiğinde;

Ön işlem uygulanarak kurutulan karnabaharların etkin difüzyon katsayıları, doğal haliyle kurutulan karnabaharların difüzyon katsayılarına göre daha yüksek değerdedir. Ayrıca kurutma havası sıcaklığının artmasıyla birlikte tüm ürünlerin etkin difüzyon katsayısı değerleri de artmaktadır. Ön işlemlenmiş ve ön işlemlenmemiş olarak kurutulan karnabahar örneklerinde her bir kurutma havası sıcaklığı için ayrı ayrı difüzyon katsayısı hesaplanmış ve en yüksek etkin difüzyon katsayısına haşlanmış karnabaharlarda ulaşılmıştır. Etkin difüzyon katsayısı değerleri doğal olarak kurutulan karnabaharlarda $4,0907 \times 10^{-9}$ ile $9,8178 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$, haşlanmış karnabaharlarda $7,3633 \times 10^{-9}$ ile $1,8817 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ ve sitrik asit ile ön işlem görmüş karnabaharlarda $4,9089 \times 10^{-9}$ ile $1,0635 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değişmiştir. Bu sonuçlar, haşlanmış karnabaharların kuruma hızlarının diğerlerine göre daha yüksek olduğunu göstermektedir. Doğal haliyle kurutulan,

haşlanarak ve sitrik asit çözeltisine daldırılarak kurutulmuş ürünlerin aktivasyon enerjileri ise sırasıyla 29,09, 23,40 ve 26,39 kJ/mol olarak bulunmuştur.

IV. Rehidrasyon oranlarının değişimi incelendiğinde;

65°C'de kurutulmuş ve muhafazaya alınmış karnabahar örneklerinin rehidrasyon kapasiteleri 20, 40, 60 ve 80°C rehidrasyon sıcaklıklarında belirlenmiş ve sonuç olarak sıcaklık artışıyla rehidrasyon kapasitesinin de arttığı görülmüştür. Ayrıca, ön işlemlerin rehidrasyon oranlarına etki ettiği görülmüş ve en yüksek rehidrasyon oranının haşlandıktan sonra kurutulmuş ürünlerde meydana geldiği saptanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Sarıkamış, G., (2011). "Brokolinin (Brassica Oleracea L. Var. Italica) İnsan Sağlığına Yararları", Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi, 4(2):79-82.
- [2] Smileturkiye, Brokoli ve Karnabahar Arasındaki Farklar ya da Benzerlikler, <http://www.smileturkiye.com/blog/?p=453>, 10 Ocak 2013.
- [3] Güven, A. ve Gülmez M., (2006). "Fonksiyonel Gıdalar ve Sağlıkla İlişkisi", Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 12(1):91-96.
- [4] Antalya Meyve ve Sebze Toptancı Hali, Karnabahar Yetiştiriciliği, <http://www.antalyahal.com/tarimsalbilgiler/uretimbilgileri/karnabaharyetistiriciligi.php>, 3 Mart 2013.
- [5] Forumdaş, Karnabaharın Faydaları, <http://www.forumdas.net/sifalibitkiler/karnabahar-faydalari-67112/>, 12 Ocak 2013.
- [6] Faostat, Food and Agricultural Commodities Production, <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID567#ancor>, 10 Ocak 2013.
- [7] İstanbul Sanayi Odası-İstanbul Teknik Üniversitesi Doktora/Yüksek Lisans Tezlerine Sanayi Desteği Projesi, <http://www.iso.org.tr/tr/documents/mkraporlar/gida-islemede-kurutma-teknolojileri-.pdf?redirected=1>, 11 Ocak 2013.
- [8] Cemeroğlu, B., (2004). Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, 2. Cilt 2. Baskı, Bizim Büro Basımevi, Ankara.
- [9] Organik Sağlık, Baklagiller ile Vejeteryanlara Çözüm, <http://organiksaglik.net/saglikli-beslenme/baklagiller-ile-vejeteryanlara-cozum/>, 12 Ocak 2013.
- [10] Bayhan, H.A., (2011). Kabin Tipi Bir Kurutucuda Kurutma Sürecini Etkileyen Parametrelerin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta
- [11] Karaefe Gıda, Kurutulmuş Sebzeler, <http://www.karaefegida.com.tr/>, 15 Ocak 2014.

- [12] Milli Eğitim Bakanlığı, Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi,<http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/gida/moduller/sebzeleri%20kurutma.pdf>, 23 Ocak 2014.
- [13] Ayan, H., (2010). Güneste Ve Yapay Kurutucuda Kurutulmuş Domates (*Lycopersitcum esculentum*) Üretimi ve Proses Sırasındaki Değişimlerin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [14] Mujumdar, A.S., (1995). Handbook of Industrial Drying, 1, Marcel Dekker, Inc., New York.
- [15] Saldamlı, İ. ve Saldamlı, E., (1990), Gıda Endüstrisi Makinaları, Önder Matbaa, Ankara
- [16] Ultrateknik, Konveyör Kurutucu, <http://www.ultrateknik.com/konveyoer-kurutma-f-r-n-.html>, 14 Aralık 2013.
- [17] Kurutma, Akışkan Yataklı Kurutucu http://www.kurutma.net/akiskan_yatakli_kurutucu.html, 14 Aralık 2013.
- [18] T.C. Türkiye İstatistik Kurumu, Bitkisel Üretim İstatistikleri, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=13661>, 6 Kasım 2013.
- [19] Tarım Kütüphanesi, Sebze Depolanması ve Pazara Hazırlanması, http://www.tarimkutuphanesi.com/SEBZELERIN_DEPOLANMASI_VE_PAZARA_HAZIRLANMASI_00450.html, 22 Haziran 2013.
- [20] Genç Ziraat, Brokoli Yetiştiriciliği, <http://www.gencziraat.com/Bahce-Bitkileri/Brokoli-yetistirciligi-9.html>, 20 Haziran 2013.
- [21] Agroekoloji, Kuzey-Güney, Bir Yolculuk Hikayesi, <http://agroekoloji.wordpress.com/2011/11/10/kuzey-guney-bir-yolculuk-hikayesi/>, 15 Aralık 2013.
- [22] Türkiye Yaş Meyve Sebze Portalı, Yaş Meyvelerin Taşıma Koşulları, <http://www.yms.gov.tr/home/ymstasima.aspx>, 4 Eylül 2013.
- [23] Alveo, Konveyörlü Sebze Yıkama Makinası, <http://www.alveo.com.tr/product-141-konveyorlu-sebze-yikama-makinası.aspx>, 5 Mart 2013.
- [24] Milli Eğitim Bakanlığı, Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi,http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/gida/moduller/sebzemeyvelerde_on_islemler.pdf, 22 Ocak 2014.
- [25] Doymaz, İ., (2007). "Influence of Pretreatment Solution on the Drying of Sour Cherry", Journal of Food Engineering, 78:591-596.
- [26] Krokida, M.K., Karathanos V.T., Maroulis Z.B., ve Marinos-Kouris D., (2003). "Drying Kinetics of Some Vegetables", Journal of Food Engineering 59:391-403.
- [27] Güngör, Ali., (2013). "Sebze ve Meyve Kurutmada Kullanılan Kurutucular ve Kurutma Teknolojileri", 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 17-20 Nisan 2013, İzmir.

- [28] Vikipedi Özgür Ansiklopedi, Brokoli, <http://tr.wikipedia.org/wiki/Brokoli>, 12 Ocak 2013.
- [29] Altındışli Atağ, G., Kuşvuran, K., Şeyhanlı, İ., Kuşvuran, Ş. Ve Daşgan H.Y., (2012). “Marathon Brokoli Çeşidinin Verimi ve Azot İçeriği Üzerine Farklı Azot Dozlarının Etkisi”, Alatarım, 11 (1): 1-6.
- [30] T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Türkiye’de Yıllara Göre Brokoli Üretim Miktarları, www.tarim.gov.tr/Documents/SagMenuVeriler/BUGEM.pdf.
- [31] Etoprakana Tarımsal Bilgi Forumu, Brokoli Tohumu, <http://etoprakana.net/forum/showthread.php?t=8595&langid=1>, 6 Şubat 2014.
- [32] Allbiz, Lahana Tohumları, <http://51722.ua.all.biz/tr/lahana-tohumlar-g1654351>, 6 Şubat 2014.
- [33] Eşiyok, D., Bozokalfa, M.K., Uğur. A. ve Kavak. S., (2003). “Bazı Karnabahar Çeşitlerinin (*Brassica oleracea var. botrytis*) Verim, Kalite ve Bitki Özelliklerinin Belirlenmesi”, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 40(1):9-16.
- [34] Panoramio Google Haritları, Gündüslü Ovası Karnabahar Tarlası, <http://www.panoramio.com/photo/6316670>, 5 Şubat 2014.
- [35] Hekimoğlu, B. Ve Altındağ, M., (2012), Samsun İlinde Sebze Üretim Sektörü, http://samsuntarim.gov.tr/yayinlar/tarimsal_strateji/tarimsal_strateji_pdf/samsun_ilinde_sebze_uretim_sektoru.pdf, 10 Şubat 2014.
- [36] Lin, C-H. and Chang, C-Y., (2005). “Textural Change and Antioxidant Properties of Broccoli Under Different Cooking Treatments”, Food Chemistry, 90:9-15.
- [37] Mrkić, V., Ukrainczyk, M. and Tripalo V. (2007). “Applicability of Moisture Transfer Bi–Di Correlation for Convective Drying of Broccoli”, Journal of Food Engineering, 79:640-646.
- [38] Jin, X., Van der Sman, R.G.M., Gerkema, E., Vergeldt, F.J., van As, H. and Van Boxtel, A.J.B., (2011). “Moisture Distribution in Broccoli: Measurements by MRI Hot Air Drying Experiments”, Procedia Food Science 1:640-646.
- [39] Lemoine, M.L., Civello, P.M., Chaves, A.R. and Martinez, G.A., (2008). “Effect of Combined Treatment with Hot Air and UV-C on Senescence and Quality Parameters of Minimally Processed Broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *Italica*)”, Postharvest Biology and Technology 48:15–21.
- [40] Reyes, A., Mahn, A., Guzmán C. and Antoniz, D., (2012). “Analysis of the Drying of Broccoli Florets in A Fluidized Pulsed Bed”, Drying Technology: An International Journal, 30:11-12, 1368-1376.
- [41] Sanjuan, N., Simal, S., Bon, J. and Mulet, A., (1999). “Modelling of Broccoli Stems Rehydration Process”, Journal of Food Engineering, 42:27-31.
- [42] Sanjuan, N., Bon, J., Clemente, G. and Mulet, A., (2004). “Changes in the Quality of Dehydrated Broccoli Florets During Storage”, Journal of Food Engineering 62:15–21.

- [43] Femenia, A., Bestard M.J., Sanjuan, N., Rossello, C. and Mulet, A. (2000). "Effect of Rehydration Temperature on the Cell Wall Components of Broccoli (*Brassica oleracea* L. Var. *italica*) Plant Tissues", *Journal of Food Engineering* 46:157-163.
- [44] Keçebaş T., Farklı Haşlama Uygulamaları İle Saklamanın Kurutulmuş Brokolinin Renk ve Antioksidan Aktivitesi Üzerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [45] Latte, K.P. and Appel, K-E. Lampen, A., (2011). "Health Benefits and Possible Risks of Broccoli – An Overview *Food and Chemical Toxicology*", 49:3287–3309
- [46] Jambrak, A.Z., Mason T.J., Paniwnyk, L. and Lelas. V., (2007). "Accelerated Drying of Button Mushrooms, Brussels Sprouts and Cauliflower by Applying Power Ultrasound and Its Rehydration Properties *Journal of Food Engineering* 81:88–97.
- [47] Shukla B.D. and Singh S.P., (2007). "Osmo-Convective Drying of Cauliflower, Mushroom and Greenpea", *Journal of Food Engineering*, 80:741–747.
- [48] Kadam, D.M. and Samuel, D.V.K., (2006). "Convective Flat-plate Solar Heat Collector for Cauliflower Drying", *Biosystems Engineering*, 93(2):189–198.
- [49] Kadam, D.M., Samuel, D.V.K. and Parsad, R., (2006). "Optimisation of Pre-treatments of Solar Dehydrated Cauliflower", *Journal of Food Engineering*, 77:659–664
- [50] Femenia, A., Selvendran, R.R., Ring, S.G. and Robertson, J.A., (1999). "Effects of Heat Treatment and Dehydration on Properties of Cauliflower Fiber", *J. Agric. Food Chem.*, 47:728-732.
- [51] Lopez, A., Iguaz, A., Esnoz, A., and Virseda, P., (2000). "Thin-Layer Drying Behaviour Of Vegetable Wastes From Wholesale Market, *Drying Technology: An International Journal*", 18:4-5, 995-1006.
- [52] Mulet A., Garcia-Reverter, J., Bon, J. and Berna A., (2000). "Effect of Shape on Potato and Cauliflower Shrinkage During Drying, *Drying Technology: An International Journal*, 18:6, 1201-1219
- [53] Doymaz, İ., (2010). "Effect of Citric Acid and Blanching Pre-treatments on Drying and Rehydration of Amasya Red apples", *Food and Bioproducts Processing* 88:124–132.
- [54] Lewicki, P.P., (1998). "Some Remarks on Rehydration of Dried Foods", *Journal of Food Engineering*, 36:81-87
- [55] Doymaz, İ., (2006). "Thin-layer Drying Behaviour of Mint Leaves", *Journal of Food Engineering*, 74:370-375.
- [56] Doymaz, İ., (2007). "Influence of Pretreatment Solution on The Drying of Sour Cherry", *Journal of Food Engineering*, 78:591-596.
- [57] Kaya, A. ve Aydın, O., (2008). "Kızılciğın Kurutulması Kurutma Havası Sıcaklığının Kızılciğın Kuruma Süresi ve Sorpsiyon Eğrisine Etkisinin Deneysel İncelenmesi", *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 28(2):45-49.

- [58] Senadeera, W., Alves-Filho, O. and Eikevik, T., (2013). "Influence of Drying Conditions on the Moisture Diffusion and Fluidization Quality During Multi-Stage Fluidized Bed Drying of Bovine Intestine for Pet Food", *Food and Bioproducts Processing*, 91:549-557.
- [59] Aktaş, M., Ceylan, İ. and Yılmaz, S., (2009). "Determination of Drying Characteristics of Apples in A Heat Pump and Solar Dryer", *Desalination*, 239:266-275.
- [60] Sacilik, K., (2007). "Effect of Drying Methods on Thin-Layer Drying Characteristics of Hull-Less Seed Pumpkin (*Cucurbita pepo L.*)", *Journal of Food Engineering*, 79:23-30.
- [61] Toğrul, İ.T. and 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.
- [62] Pereira da Silva, W., M.P.D.S. e Silva, C., J.A. Gama, F. and 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*, 13:67-74.
- [63] İzli, N., Yıldız, G., Ünal, H., Işık, E. and Uylaşer, 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
- [64] Sacilik, K. and Elicin, E.K, (2006). "The Thin Layer Drying Characteristics of Organic Apple Slices", *Journal of Food Engineering*, 73:281-289.
- [65] Akpınar, E.K., Biçer, Y. and Yıldız, C., (2003). "Thin Layer Drying of Red Pepper", *Journal of Food Engineering*, 59:99-104.
- [66] Madhiyanon, T., Phila, A. and Soponronnarit, S., (2009). "Models of Fluidized Bed Drying for Thin-layer Chopped Coconut", *Applied Thermal Engineering*, 29:2849-2854
- [67] Aghbashlo, M.Kianmehr, M.H. and Samimi-Akhijahani, H. (2008). "Influence of Drying Conditions on the Effective Moisture Diffusivity, Energy of Activation and Energy Consumption During the Thin-Layer Drying of Berberis Fruit (*Berberidaceae*)", 49:2865-2871.
- [68] Chouicha, S., Boubekri, A., Mennouche, D. and Berrbeuh, M.H., (2013). "Solar Drying of Sliced Potatoes An Experimental Investigation", *Energy Procedia*, 36:1276-1285.
- [69] İsmail, O., (2005). "Investigation the Effect of Potasium Carbonate Solutions on Drying of Sultana Grapes", *Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi Sigma* 1.
- [70] Doymaz, İ., (2006). "Drying Kinetics of Black Grapes Treated with Different Solutions", *Journal of Food Engineering*, 76:212-217.

- [71] Bai, J.W., Sun, D.W., Xiao, H.W., Mujumdar, A.S. and Zhen-Jiang Gao, (2013). "Novel High-humidity Hot Air Impingement Blanching (HHAIB) Pretreatment Enhances Drying Kinetics and Color Attributes of Seedless Grapes", *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 20:230–237.
- [72] Laopoolkit, P. and Suwannaporn, P., (2011). "Effect of Pretreatments and Vacuum Drying on Instant Dried Pork Process Optimization", *Meat Science*, 88:553-558.
- [73] Doymaz, İ., (2007). "The Kinetics of Forced Convective Air-drying of Pumpkin Slices", *Journal of Food Engineering*, 79:243-248.
- [74] Mulet A., Sanjuán N., Bon J. and Simal, S. (1999). "Drying Model for Highly Porous Hemispherical Bodies", *European Food Science and Technology* 210: 80-83.
- [75] Niamnuy, C., Nachaisin, M., Poomsa-ad, N. ve Devahastin, S., (2012). "Kinetic Modelling of Drying and Conversion/Degradation of Isoflavones During Infrared Drying of Soybean", *Food Chemistry*, 133:946-952.
- [76] Doymaz, İ., (2007). "Air-Drying Characteristics of Tomatoes", *Journal of Food Engineering*, 78:1291-1297.
- [77] Zogzas, N.P., Maroulis, Z.B., Marinos-Kouris, D. (1996). "Moisture Diffusivity Data Compilation in Foodstuffs", *Drying Technology*, 14:2225-2253.
- [78] Vergeldt, F.J., Van Dalen, G., Duijster A.J., Voda, A., Khalloufi, S., Van Vliet L.J., Van As, H., Van Duynhoven, J.P.M. and Van der Sman, R.G.M., (2014). "Rehydration Kinetics of Freeze-dried Carrots", *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, "baskıda".
- [79] Mengeş, H.O. and Ertekin, C., (2006). "Mathematical Modeling of Thin Layer Drying of Golden Apples", *Journal of Food Engineering*, 77:119-125.
- [80] 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, 1-22.
- [81] Hiranvarachat, B., Devahastin, S. and Chiewchan, N., (2011). "Effects of Acid Pretreatments on Some Physicochemical Properties of Carrot Undergoing Hot Air Drying", *Food And Bioproducts Processing* 89:116–127.
- [82] Marquez-Rios, E., Ocaño-Higuera, V.M., Maeda-Martínez, A.N., Lugo-Sánchez, M.E., Carvallo-Ruiz, M.G and Pacheco-Aguilar, R., (2009). "Citric Acid As Pretreatment in Drying of Pacific Lion's Paw Scallop (*Nodipecten Subnodosus*) Meats", *Food Chemistry*, 112:599-603.
- [83] Pangavhane, D.R., Sawhney, R.L. and Sarsavadia, P.N., (1999). "Effect of Various Dipping Pretreatment on Drying Kinetics of Thompson Seedless Grapes", 39:211-216.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Medine ŞAHİN
Doğum Tarihi ve Yeri : 13.05.1988
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : medinesahinnn@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Kimya	Ankara Üniversitesi	2010
Lisans	Kimya Mühendisliği	Ankara Üniversitesi	2011
Lise	Fen Bilimeri	Başkent Y.D.A Lisesi	2006

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2008	Türk Standartları Enstitüsü	Stajyer
2011	CIMPOR YİBİTAŞ Çimento A.Ş	Stajyer