



T.C.
KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM
DALI



**BOZULABİLİR GIDALARIN TAZE
DEPOLANMASI VE KORUNMASI İÇİN ÖN
SOĞUTMA VE NEMLENDİRME
KOŞULLANDIRMASI: DENEYSEL
ÇALIŞMA**

RAAD FAISAL AJAJ AL-AZZAWI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KIRŞEHİR
2024**



T.C.
KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM
DALI



**BOZULABİLİR GIDALARIN TAZE
DEPOLANMASI VE KORUNMASI İÇİN ÖN
SOĞUTMA VE NEMLENDİRME
KOŞULLANDIRMASI: DENEYSEL
ÇALIŞMA**

RAAD FAISAL AJAJ AL-AZZAWI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANISMAN

Dr. Öğr. Üyesi Merdin DANIŞMAZ

İKİNCİ DANISMAN

Asst. Prof. Dr. Omer Adil Zainal ALBAYATI

**KIRŞEHİR
2024**

KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesini okuduğumu ve anladığımı ve Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değerliklik yapmadığımı,
- Tez olarak sunduğum bu çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda bu konuda hakkımda yapılacak tüm yasal işlemleri ve aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim. 07/05/2024

Öğrenci

Raad Faisal Ajaj AL-AZZAWI

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	V
TEŞEKKÜR.....	VI
ÖZET	VII
ABSTRACT	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Besin Kıtlığı ve Muhafaza Yöntemleri	1
1.2. Gıda Ambalajlama ve Kapsülleme	7
1.3. Meyve ve Sebze Depolama.....	8
1.4. Gıda Taşımacılığı.....	10
1.5. Ön Soğutma ve Çeşitleri.....	11
1.6. Nem	21
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	23
3. MATERYAL VE METOT.....	35
3.2. Deneysel Konfigürasyonun Açıklaması	35
3.3. Ekipman Özellikleri	37
3.4. Deney Düzenineğinin İmalatı	39
3.5. Deneysel Prosedürler	40
3.6. Ölçüm ve Kontrol	41
3.7. Isı Transfer Katsayısının Ölçülmesi.....	43
3.8. Başlangıç ve Sınırlayıcı Koşullar.....	46
3.9. Nem ve Buharlaşmalı Isı.....	47
3.10. Soğutma Verimliliği	48
3.11. Nusselt-Reynolds İlişkileri.....	49
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	51
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	67
6. KAYNAKLAR.....	69
EKLER	73
EK-1.....	73
EK-2.....	75
EK-3.....	79
EK-4.....	85

TEŞEKKÜR

Değerli baŐ danıŐmanım Dr. Öğr. Üyesi Merdin Danışmaz ve İkinci Danışman Asst. Prof. Omer Adil Zainal Al-Bayati, yüksek lisans ve yüksek lisans çalıŐmalarım boyunca tanıştığım günden bu yana her zaman yanımda olan, bana yardımcı ve rol model olan, faydalı ve bilgili yaklaŐımıyla referans olarak gördüğüm iki kiŐidir. değerli bilgi. Dr. Mardin, Dr. Ömer, ikinize de tüm kalbimle teşekkür ederim.

Hayatımın her anında yanımda olan, bu güne gelmemde en büyük payı olan, beni her zaman destekleyen sevgili aileme, babama, anneme kardeŐlerime, ve eŐim teşekkür ederim. İhtiyaç duyduğumda yanımda olan sevgili dostlarım Mehmet Oral, Halil Hasan ve Ali Abdulrahman'a sonsuz Őükranlarımı sunuyorum.

Son olarak projeyi tamamlamamda ve verilere ulaŐmamda yardımcı olan, araştırmayı hazırlarken ve verileri toplarken bana destek olan veya bilgi veren herkese teşekkür ederim.

Mayıs 2024

Raad Faisal Ajaj AL-AZZAWI

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BOZULABİLİR GIDALARIN TAZE DEPOLANMASI VE KORUNMASI İÇİN ÖN SOĞUTMA VE NEMLENDİRME KOŞULLANDIRMASI: DENEYSSEL ÇALIŞMA

Raad Faisal Ajaj AL-AZZAWI

KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Merdin DANIŞMAZ
Yıl: 2024 Sayfa: 85

İkinci Danışman Asst. Prof. Dr. Omer Adil ZAINAL

Jüri: Dr. Öğr. Üyesi Merdin DANIŞMAZ
Prof. Dr. Ali Osman KURBAN
Prof. Dr. Levent URTEKİN
Asst. Prof. Dr. Abbas Mohammed ISMAIL
Asst. Prof. Dr. Omer Adil ZAINAL

Bozulabilir gıda ürünlerine yetiştirme ve hasat mevsimleri dışında ve ekimin zor olduğu bölgelerde talebin yüksek olması ve bozulabilir gıda ürünlerinin hasat, toplama veya kesim sonrasında muhafaza edilmesi ihtiyacı, depolama ve ön soğutma teknolojisi dahil muhafaza tekniklerine olan ihtiyacı artırmıştır. Ön soğutma, hasat, toplama veya kesimden sonra ve depolanmadan ve pazarlara taşınmadan önce, tarla veya kesim ısını uzaklaştırmak için gıda ürünlerinin düşük sıcaklıklara soğutulmasını içeren soğutma işleminin ilk adımıdır. Bu çalışmada, geri dönüşüm için kullanılan ikinci bir kanala bağlanan (25-200) mikrometre kalınlığında alüminyum tabaka ile kaplanmış poliüretan malzemeden yapılmış dikdörtgen bir kanalda gerçekleştirilen ön soğutma işlemi sırasında ısı transferi deneysel olarak analiz edilmiştir. Sonuçlar, kapalı hava giriş ve çıkış kapılıyla hava geri dönüşümünün, hava hızının artırılmasının ve 4,8m/s yüksek hava akışı hızında nemlendirme kullanılmasının, sarı karpuzun boyutsuz sıcaklığını azaltırken, soğutma katsayısını ve ısı transfer katsayısını artırdığını göstermiştir. Kırmızı lahana için hava hızı, hava geri dönüşümü ve nemlendirme, boyutsuz sıcaklık değişimi üzerinde benzer bir etkiye sahip olmuş, boyutsuz sıcaklıkta bir azalmaya ve soğutma katsayısı ile ısı transfer katsayısında bir artışa neden olmuş, ancak bu etki sarı karpuzdakinden daha az düzeyde olmuştur. Patlıcan için yüksek hava hızı ters etki yaparak boyutsuz sıcaklık oranını artırırken soğutma ve ısı transfer katsayılarını azaltmıştır. Çıkış kapısının açılması ve hava geri dönüşümüne güvenmemek, boyutsuz sıcaklıkta çok yavaş bir düşüşe neden olurken, hava giriş ve çıkış kapıları kapalıyken en yüksek hızda nemlendirmenin kullanılması, gıda ürünlerinin tazeliğini korurken önemli ölçüde dengeli bir sıcaklık düşüşü sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Süreç, ön soğutma, sebze, meyve, muhafaza, soğutma.

ABSTRACT

MASTER'S THESIS

PRE-COOLING AND HUMIDIFICATION CONDITIONING FOR FRESH STORAGE AND PRESERVATION OF PERISHABLE FOODS: AN EXPERIMENTAL STUDY

Raad Faisal Ajaj AL-AZZAWI

KIRŞEHİR AHİ EVRAN UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Merdin DANIŞMAZ
Year: 2024 Pages: 85
Co-supervisor Asst. Prof. Dr. Omer Adil ZAINAL
Juries: Dr. Öğr. Üyesi Merdin DANIŞMAZ
Prof. Dr. Ali Osman KURBAN
Prof. Dr. Levent URTEKİN
Asst. Prof. Dr. Abbas Mohammed ISMAIL
Asst. Prof. Dr. Omer Adil ZAINAL

The high demand for perishable food products outside their growing and harvesting seasons, as well as in areas where cultivation is difficult, and the need to preserve perishable food products after harvesting, picking, or slaughtering, has increased the need for storage and preservation techniques, including precooling technology. Precooling is the first step in the cooling process after harvesting, picking, or slaughtering, and before storage and transportation to markets. which involves cooling food products to low temperatures to remove field or slaughter heat. In this study, we experimentally analyze heat transfer during the precooling process, which takes place in a rectangular channel made of polyurethane material coated with a layer of aluminum with a thickness of (25-200) micrometers, connected to a second channel used for recycling air into the main channel, with the possibility of air entry and exit. The results showed that air recycling with closed air entry and exit doors, increasing air velocity, and using humidification in high-speed of air flow (4.8) reduced the dimensionless temperature of yellow watermelon, while increasing the refrigeration coefficient and heat transfer coefficient. For red cabbage, air velocity, air recycling, and humidification had a similar effect on dimensionless temperature change, resulting in a decrease in dimensionless temperature and an increase in refrigeration coefficient and heat transfer coefficient, but to a lesser extent than in yellow watermelon. For eggplant, high air velocity had an inverse effect, increasing dimensionless temperature rate, while decreasing the refrigeration and heat transfer coefficients. Opening the exit door and not rely on air recycling resulted in a very slow decrease in dimensionless temperature, while using the humidification at highest speed air with closed air entry and exit doors resulted in a significantly balanced decrease in temperature while preserving the freshness of food products.

Keywords: Process, precooling, vegetables, fruits, preservation, refrigeration.

TABLULAR DİZİNİ

Sayfa no

Tablo 1.1: Taze meyve ürünleri için soğutma ve depolama gereklilikleri.....	73
Tablo 2.1: Kapılar kapalıyken $V = 1,8$ 'de gıda ürünleri için boyutsuz sıcaklık verileri.....	75
Tablo 2.2: Kapılar kapalıyken $V=3,6$ 'da boyutları olmayan gıda ürünleri sıcaklık verileri.....	75
Tablo 2.3. Kapılar kapalıyken $V = 4,8$ 'de gıda ürünleri için boyutsuz sıcaklık verileri.....	76
Tablo 2.4: Kapılar açıkken $V = 4,8$ 'de gıda ürünleri için boyutsal sıcaklık verileri.....	77
Tablo 2.5: Kapılar kapalıyken $V = 4,8$ hidrasyon koşulunda gıda ürünleri için boyutsal sıcaklık verileri.....	78

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa no

Şekil 1.1. Dünyadaki nüfus ve kıtalar 1950–2100.....	3
Şekil 1.2. Sıcaklığın yaban mersini 'Killarney' depolanmasına etkisi.....	9
Şekil 1.3. Taze işlenmiş meyve ve sebzelerin simüle edilmiş dağıtım zinciri.....	11
Şekil 1.4. Banyo tipi hidro-soğutma ön soğutma ünitesi.....	13
Şekil 1.5. Soğutmadan önceki gecikmenin Shasta çileklerinin kalitesi üzerindeki etkisi...14	14
Şekil 1.6. Gecikmiş soğuma sonucu karpuzun bozulmasına bir örnek.....	14
Şekil 1.7. Altı saatlik yarı soğutma süresi örneği.....	15
Şekil 1.8. Üzümlerin farklı yöntemlerle karşılaştırmalı soğutulması.....	17
Şekil 1.9. Şeftalilerin farklı yöntemlerle soğutulmasının karşılaştırılması.....	19
Şekil 1.10. Kavun soğutma hızlarının farklı soğutma yöntemleriyle karşılaştırılması.....	20
Şekil 1.11. Buharlaştırıcı basınçlı hava soğutucusu.....	21
Şekil 2.1. Zorlanmış konveksiyon sistemi için hat şeması.....	23
Şekil 2.2. Basınçlı havayla ön soğutma deney düzeneğinin taslağı.....	24
Şekil 2.3. Deneysel tesisin şematik diyagramı.....	26
Şekil 2.4. Yarı römorkta soğutma sistemi ve hava sirkülasyonu.....	28
Şekil 2.5. Taşınabilir ön soğutma ünitesinin şematik diyagramı.....	33
Şekil 3.1. Zorunlu havayla ön soğutma için deneysel düzenlemeyi gösteren diyagram.....	36
Şekil 3.2. Deney düzeneğini gösteren diyagram.....	37
Şekil 3.3. Hava kanalının son şekli ve kanal duvarının kesiti.....	37
Şekil 3.4. Santrifüjlü üfleyici.....	38
Şekil 3.5. Kondenser.....	38
Şekil 3.6. Hava kanalı parçalarının montajı.....	39
Şekil 3.7. Düşük sıcaklıkları ölçmek için termokupllar.....	41
Şekil 3.8. Nem ve sıcaklığı ölçmek için termokupllar.....	42
Şekil 3.9. okuma alırken gıda ürünlerini göstermektedir.....	43
Şekil 3.10. Tipik soğuma eğrisi.....	45
Şekil 4.1. 1,8 m/s hızında karpuz soğutma işlemi (kapılar kapalı).....	51
Şekil 4.1. 3,6 m/s hızında karpuz soğutma işlemi (kapılar kapalı).....	52
Şekil 4.1. 4,8 m/s hızında karpuz soğutma işlemi (kapılar kapalı).....	52
Şekil 4.2. Çıkış kapısının 4,8 m/s hızla açılmasının karpuz ürününe etkisi.....	53
Şekil 4.3. Kırmızı lahananın 1,8 m/s hızla soğutulması (kapılar kapalı).....	54
Şekil 4.3. Kırmızı lahananın 3,6 m/s soğutma işlemi (kapılar kapalı).....	54

Şekil 4.3. 4,8 m/s'de kırmızı lahana soğutma işlemi (kapalı kapılar).....	55
Şekil 4.4. Çıkış kapısının 4,8 m/s hızla açılmasının kırmızı lahana ürününe etkisi.....	56
Şekil 4.5. 1,8 m/s hızında patlıcan soğutma işlemi (kapılar kapalı).....	57
Şekil 4.5. 3,6 m/s hızla patlıcan soğutma işlemi (kapılar kapalı).....	57
Şekil 4.5. 4,8 m/s hızla patlıcan soğutma işlemi (kapılar kapalı).....	58
Şekil 4.6. Çıkış kapısının 4,8 m/s hızla açılmasının patlıcan ürününün soğuma sürecine etkisi.....	58
Şekil 4.7. Nemlendirmenin 4,8 m/s hızdaki karpuz ürününün soğuma işlemine etkisi.....	59
Şekil 4.7. 4,8 m/s hızında nemlendirmenin kırmızı lahananın soğuma işlemine etkisi.....	60
Şekil 4.7. Patlıcan ürününün 4,8 m/s hızında soğuma işlemine nemlendirmenin etkisi.....	60
Şekil 4.8. Üç hızın (1,8, 3,6, 4,8) m/s'nin karpuz ürününe etkisi.....	61
Şekil 4.8. Üç hızın (1,8, 3,6, 4,8) m/s'nin kırmızı lahana ürününe etkisi.....	61
Şekil 4.8. Üç hızın (1,8, 3,6, 4,8) m/s'nin patlıcan ürününe etkisi.....	62
Şekil 4.9. 4,8 m/s hızında üç çözümün etkisi (hava devridaimi, çıkış kapısının açılması nemlendirme).....	63
Şekil 4.10. Hava üfleme hızının ısı transfer katsayısına etkisi.....	65
Şekil 4.10. Her ürün için hava üfleme hızının Reynolds sayısına etkisi.....	65
Şekil 4.10. Her ürün için hava üfleme hızının Nusselt sayısına etkisi.....	66

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
Y	: Boyutsuz sıcaklık
Bi	: Biot numarası, hl/K
T	: Ürünün sıcaklığı, ° C
T_a	: Soğuk havanın sıcaklığı, ° C
T_i	: Ürünün merkezindeki başlangıç sıcaklığı, ° C
H	: Isı transfer katsayısı, W/m ² –C
K	: Gıda ürününün ısı iletkenliği, W/m-C
K_a	: Havanın ısı iletkenliği, W/m-C
Re	: Reynolds sayısı
Pr	: Prandtl Sayısı
Nu	: Nusselt sayısı
U	: Havanın hızı, m/s
α	: Termal yayılma, m ² /s
λ_1	: Aşkın denklemin 1. Kökü
ν	: Kinematik viskozite, m ² /s
$ Fo$: Fourier sayısı, $\alpha t/l^2$
C	: Soğutma katsayısı, l/s
t	: Zaman, saniye
d	: Çap, m
R	: Yarıçap, m

W	: Ağırlıkça su içeriği
j	: Kesişme
A_0, A_1, A_2	: Katsayılar
w	: Nem oranı, (kg/kg) kuru hava
w_b	: Islak ampul
ma	: Nemli hava
DH_{vap}	: Gizli buharlaşma ısısı (J/kg)
M	: Üründen nem kaybı yüzdesi (%)
V	: Isı yükünün yüzdesi olarak buharlaşmalı ısı kaybı
ΔT	: Belirli bir süre ile ilişkili sıcaklıktaki değişiklik ön soğutma (lar)
c	: Isı kapasitesi (J/kg·K)
p	: Üretmek
kt	: Terleme kütle transfer katsayısı (kg/kg·s Pa veya kg/m ² sn Pa)
P_{surf}	: Ürün yüzeyindeki kısmi su basıncı (Pa)
K_{air}	: Hava filmi kütle aktarım katsayısı (kg/m ² s Pa)
K_{skin}	: Cilt kütle transfer katsayısı (kg/m ² s Pa)
S	: Doymuş (aynı zamanda yüzeysel için de kullanılır) (hız)
μ	: Soğutma verimliliği, %, Yeterlik
1	: Giriş veya buharlaşmalı soğutmadan önce
2	: Çıkış veya evaporatif soğutma sonrası

1. GİRİŞ

1.1. Besin Kıtlığı ve Muhafaza Yöntemleri

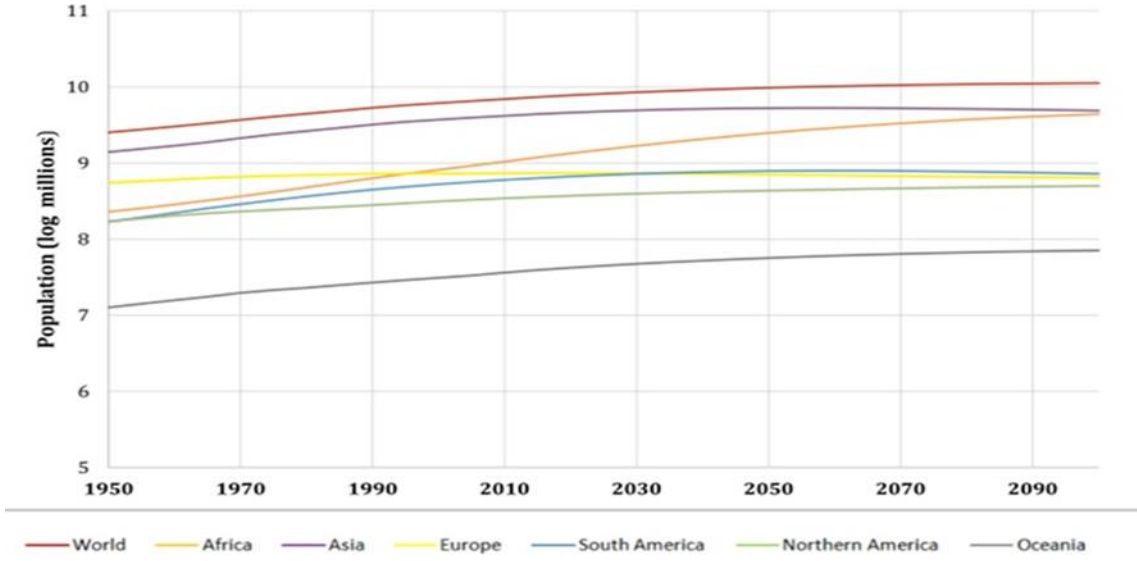
"Gıda bozulması" terimi, bakterilerin büyümesi nedeniyle gıdanın görünümünde, tadında ve kokusunda meydana gelen ve gıdanın bozulmasına yol açan değişiklikleri ifade eder (Gowda, 1997). Aynı zamanda bozulma, gıdada kahverengileşme, morarma, böcek istilası ve mikrobiyal büyüme gibi kimyasal ve fiziksel değişiklikleri içerir. Gıdaların bozulmasının temel nedeni küf, maya ve bakteri gibi mikroorganizmaların oluşmasıdır. Sonuç olarak küf büyür, yiyeceğin üzerini kaplar, bu da periyodik olarak hoş olmayan bir koku yaratır. Bakteriler daha tehlikeli olabilir. Yiyeceklere, herhangi bir kısmi belirti göstermeden, tamamen normal bir şekilde başlayan bir virüs bulaşabilir (Rawat 2015). İnsanlığın küresel olarak karşılaştığı en acil sorunlardan biri gıda kıtlığı sorunudur. Bu zorluk, nüfusun sürekli büyümesiyle daha da kötüleşmektedir. Tüketilebilir gıda ürünlerine, özellikle de tarımsal ürünlere yönelik giderek artan talep, önemli bir ikilem ortaya çıkarmaktadır. Nitekim, belirli mevsimlerde ve değişen çevresel koşullar ve topraklarda mahsul yetiştirmek zorlaşmaktadır. Bu sorunlar, iklim değişikliğinin gezegen üzerindeki etkisi ve dünya çapında farklı bölgelerde suyun değişken mevcudiyeti nedeniyle daha da karmaşık hale gelmektedir. Sonuç olarak, bu gıda ürünlerinin, tarım ürününün cinsine uygun, hasat sonrası ve nakliye öncesinde çevreye uygun koşullarda depolanması zorunlu hale gelmektedir. Bitki bazlı gıda ürünlerinin mevsimlik olması nedeniyle hasat mevsiminde bol miktarda bulunabilmektedir. Ancak, bozulmaya karşı hassas olmaları ve depolama tesislerinin sınırlı olması nedeniyle ekonomik değerleri hızla azalmaktadır. Bu sorunu çözmek için, gıda ürünlerinin depolanmasından veya taşınmasından önce saha ıslığını uzaklaştırmak veya ön kesim işlemini başlatmak için ön soğutma teknikleri kullanılır. Ön soğutma, depolama ve nakliye sırasında soğutma için gereken enerjinin azaltılmasına katkıda bulunur. Ön soğutma işlemi sırasında gıda malzemelerindeki sıcaklık dalgalanmalarının analiz edilmesi, optimum soğutma sürelerinin belirlenmesine ve gerekli soğutma enerjisinin en aza indirilmesine yardımcı olur. Tarımsal ürünlerin çoğunluğunun mevsimlik olmasına rağmen, gıda ürünlerine olan talep, nüfus artışına paralel olarak heryıl artmaya devam etmektedir (Albayati, 2007). ABD Tarım Bakanlığı tarafından yürütülen araştırmalar, 2050 yılına kadar nüfus artışına paralel olarak gıda talebinin %70-100 oranında artacağını göstermektedir (Şekil 1.1).

Su kıtlığı, çatışmalar, iklim değışikliği ve doğal afetler toplu olarak gıda üretimini azalmasına neden olarak gıda güvenliğini tehlikeye atmaktadır (Diner, 2019).

Odak noktası, sürdürülebilir gıda bulunabilirliğini sağlamak ve arz sıkıntılarını önlemek için gıda ürünlerini korumanın önemidir. Gıda işleme, hammaddelerin insan tüketimi için lezzetli, besleyici ve güvenli ürünlere dönüştürülmesinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Yetersiz koruma nedeniyle bozulmada dâhil olmak üzere, gıda depolama ve taşıma süreçlerini kapsayan çok sayıda zorluk vardır. Yetersiz saklama koşulları gıdanın kalitesinin bozulmasına yol açarak bulunabilirliğini ve kalitesini etkileyebilir. Bu zorluklar, gıda ürünlerine yönelik mevsimsel taleplerden ve hasat dönemlerindeki arz fazlalığından kaynaklanmaktadır ve bunların etkili bir şekilde yönetilmesi için stratejiler gerekmektedir. Ayrıca gıda ürünlerine yönelik mevsimsel talepler ve hasat dönemlerindeki arz fazlalığı nedeniyle zorluklar ortaya çıkmaktadır. Belirli durumlarda, gıdanın yoğun olduğu dönemlerde aşırı üretim, pazar fazlasına ve ürün fiyatlarının düşmesine neden olabilir. Bunun tersine, çiftçiler ürünlerini hasat dönemi dışında depolama ve pazarlamada zorluklarla karşılaşabilir, bu da karlılıklarını ve tüketicilere makul fiyatlarla sürdürülebilir tedarik sağlanmasını etkileyebilir. Bu nedenle, bu zorluklara çözüm bulmak, gıda ürünlerinin korunması açısından büyük önem taşımaktadır. Gıda ürünlerini korumak, sürdürülebilir gıda bulunabilirliğini sağlamak ve arz sıkıntılarını önlemek için verilen çaba hayati bir önem taşımaktadır. Gıdaları işleyerek iştah açıcı, besleyici ve insan tüketimi için güvenli ürünlere dönüştürmek, beslenme ihtiyaçlarımızı karşılamada çok önemli bir husus olmaya devam etmektedir.

Ön soğutma teknolojisi, bozulabilir gıda ürünlerini depolama ve taşıma öncesinde korumak için yenilikçi bir çözüm olarak ortaya çıkmaktadır. Bu teknik, ürünün raf ömrünü uzatabilir ve kaliteyi koruyabilir, yıl boyunca sürdürülebilir gıda tedarikinin sağlanmasına katkıda bulunarak tüketici ihtiyaçlarını etkili bir şekilde karşılayabilir. Ön soğutma gibi işleme ve muhafaza yöntemleri, gıda kalitesini korumak ve bozulmayı önlemek için temel araçlar olarak hizmet eder. Bununla birlikte, işlenmiş gıdalardaki kanserojen maddelerin veya aşırı tuz içeriğinin bulunmadığından emin olmak için bazı geleneksel teknikleri kullanırken dikkatli olunmalıdır. Kalitenin korunması ve bozulmanın önlenmesi, gıdayı koruyan ve bozulmayı önleyen işleme teknikleri ile sağlanır. Gıda koruma teknikleri, hasattan sonra meydana gelen doğal kimyasal ve fiziksel değışikliklerden sorumlu olan enzimleri ve proteinleri nötralize etmeye yardımcı

olur (Albayati, 2006). Dünya nüfus artış hızı mevcut kaynaklar denklemindeki en önemli değişkenlerden biridir. Şekil 1.1'de nüfus artışı üstel olarak gösterilmektedir (logaritmik ölçekte gösterilmektedir), mevcut kaynaklara olan talep artışını belirleyen şey nüfus artışıdır. Not: 2016-2100 nüfus verileri BM orta büyüme tahminlerine dayanmaktadır (Ariel Din,2015).



Şekil 1.1. Dünyadaki nüfus ve kıtalar 1950–2100.

Gıda işleme operasyonu, gıda işleme operasyonu en eski muhafaza yöntemlerinden biridir. İşleme, yiyeceğe tuz, şeker, sirke, baharat ve sodyum nitrit karışımının eklenmesini içerir. Tütsüleme, balık veya etin odundan düşük ısıda yavaş pişirilmesini içeren, yaygın olarak kullanılan eski bir koruma tekniğidir. Bu yöntemlerin her ikisi de, mikroorganizmaların büyümesini önlemek için suyu bağlayarak veya uzaklaştırarak gıdayı korur. Sodyum ve nitritler gibi belirli işleme faktörlerinin diğer kimyasallarla etkileşime girerek kanserojen maddeler oluşturabileceği öne sürülmektedir (Amit, 2017). Isı sterilizasyon, zararlı mikroorganizmaları öldürmek için gıdanın belirli bir süre belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılmasını içeren bir işlemdir. Rutin sterilizasyon süt, şarap, bira ve meyve suları gibi ürünleri içerir. Ultra yüksek sıcaklık (UYS) sterilizasyonu, ambalajlı gıdalar için kapları sterilize etmek için ısı yerine hidrojen peroksit kullanan nispeten modern bir tekniktir. Bu, plastik poşetlerin ve folyoyla kaplı karton ambalajların kullanılmasına olanak tanıyarak maliyetleri azaltır. Uygun fiyatı, lezzet kalitesi, besin değeri ve kullanım kolaylığı nedeniyle steril ambalajın popülaritesi artmaktadır (Tavman, 2019).

Aseptik gıda ambalajı, aseptik paketleme süt ve meyve suyu gibi içeceklerin paketlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Aseptik paketleme hem gıdanın ısıyla sterilizasyonunu hem de kabın bireysel sterilizasyonunu içerir. Kaplar ısı yerine hidrojen peroksit kullanılarak sterilize edilmekte, böylece plastik poşetlerin ve folyo kaplı karton ambalajların kullanılması sağlanmakta ve böylece maliyetler azaltılmaktadır. Aseptik ambalajın popülaritesi, uygun fiyatı, lezzet kalitesi, besin değeri ve kullanışlılığı nedeniyle artmaktadır (Sanjana, 2019).

Yiyecek konserveleme, konserveleme işlemi çorbalar, soslar, meyveler, sebzeler, meyvesuları, etler, balıklar ve süt ürünleri dahil olmak üzere çeşitli gıdaları korumak için kullanılır. Yiyecekler hava geçirmez kaplarda kapatılarak muhafaza edilir. Kap yiyeceklerle doldurulur ve kalan hava şeker kamışı samanı ile vakumlanarak vakum oluşturulur. Daha sonra kap kapatılır ve imbik adı verilen özel bir bölmede ısıtılır, ardından aşırı sterilizasyonu önlemek için soğutulur. Bu işlem oksijeni uzaklaştırır, gıdanın bozulmasına neden olan enzimleri yok eder ve potansiyel mikroorganizmaların çoğunu öldürür. Konserveleme, sterilizasyon işleminde kullanılan yüksek sıcaklıklar nedeniyle gıdanın rengini, dokusunu, lezzetini ve besin değerini etkiler (Albayati, 2006).

Gıda kurutma işlemi, gıda kurutma gıdadaki suyun uzaklaştırılmasını içeren bir koruma yöntemidir. Kurutma, meyveler, balıklar, etler ve diğer gıdalar için mükemmel bir uzun süreli koruma tekniği olarak kullanılır. Bu işlem, mikroorganizmaların büyümesini

yavaşlatarak, enzimatik aktiviteyi ve kimyasal reaksiyonları azaltarak bozulmayı önler. İnsanlar kurutulmuş meyvelerin uzun süre yenilebilir kalabileceğini keşfettiklerinden, kurutma eski çağlardan beri kullanılmaktadır. Günümüzde üç ana kurutma yöntemi kullanılmaktadır: güneşte kurutma, sıcak havayla kurutma ve dondurarak kurutma. Kurutmanın faydalarına rağmen, tüketimden önce rehidrasyon gerekli olabilir ve rehidrasyondan sonra gıdanın dokusu ve çiğnenebilirliği değişebilir. Dondurarak kurutma özellikle hazır kahve ve kurutulmuş çorba karışımları, çilek, mantar ve karides gibi ürünlerde kullanılır (Sharif, 2017).

Gıdaların dondurulması ve soğutma işlemi, çabuk bozulan gıda maddelerinin ortam sıcaklığında saklanması, artan enzimatik ve metabolik aktivite nedeniyle bozulmalarını hızlandırır. Ayrıca ortam sıcaklıkları, su kaybı nedeniyle tarımsal ürünlerin ve genel gıda maddelerinin solmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, bu tür koşullar altında alınabilecek bir karşı önlem, ön soğutmadır (Gowda, 1997). Dondurma ve soğutma işlemleri eski çağlardan beri uygulanmakta olup, et ve gıdaların buz mağaralarında saklanması için düşük sıcaklıklar kullanılmaktadır. Yiyecekleri düşük sıcaklıklarda saklamak, bozulmaya neden olan enzimatik reaksiyonları yavaşlatır ve mikroorganizmaların büyümesini azaltır. Soğutma, gıdada herhangi bir kimyasal veya fiziksel değişikliğe neden olmadığından avantajlıdır. Ancak dondurmanın en büyük dezavantajı gıdanın içinde buz kristallerinin oluşmasıdır. Bu durum hem bitki hem de hayvan hücrelerinin hücresel yapısını bozarak, çözüldükten sonra daha yumuşak bir doku oluşmasına neden olur. Bu sorunu hafifletmek için, buz kristallerinin boyutunu en aza indirmek için hızlı dondurmaya içeren modern dondurma teknikleri geliştirilmiştir. Sebzelerin dondurulmadan önce kısa süreliğine kaynar suya batırılmasını içeren haşlama, enzimleri etkili bir şekilde devre dışı bırakan, renk değişimini ve besin kaybını önleyen yaygın bir işlemdir. Yüksek kaliteli dondurulmuş ürünler taze tada çok yakın olabilir (Ishevskiy, 2017).

Gıda katkı maddeleri gıdalara az miktarda eklenen kimyasal maddelerdir. Bazı katkı maddeleri gıdanın içindeki kimyasal değişiklikleri ve mikrobiyal büyümeyi önleyerek gıdanın korunmasına yardımcı olur. Gıdanın görünüşünü, tadını ve besin değerini arttırmak için işleme sırasında katkı maddeleri kasıtlı olarak eklenir. Gıda katkı maddelerinin sağlık üzerindeki etkisine ilişkin endişeler vardır ve bazı katkı maddelerinin potansiyel kanserojenliğine ilişkin çelişkili inanışlar mevcuttur. Gıdaları güçlendirmek için kullanılan vitaminler gibi bazı katkı maddeleri sağlık açısından faydalar sağlayabilir (Amit, 2017).

Işınlama işlemi, gıdayı kimyasal bağları kıran ve mikroorganizmaları öldüren gama veya X ışınlarına maruz bırakır. Işınlama, bozulmaya neden olan mikroorganizmaları ve enzimleri ortadan kaldırmak ve böylece gıdanın korunmasına yardımcı olmak için kullanılır. Işınlama işleminin gıdanın tadı, dokusu ve besin değeri üzerinde minimum etkisi vardır. Ancak tüketici grupları arasında gıda güvenliği ve toksik bileşenlerin potansiyel oluşumu konusunda endişeler mevcuttur. Bu nedenle, Amerika Birleşik Devletleri'nde ışınlamanın kullanımı kısıtlanmıştır (Farkas, 2011).

Fermantasyon süreci, karmaşık organik maddeleri mikroorganizmaları kullanarak daha basit moleküllere dönüştüren bir işlemdir. Bazı durumlarda fermantasyon tercih edilir ve gıdalara canlı mikroorganizmalar eklenir. Bira, şarap, yoğurt ve peynir üretimi gibi endüstrilerde maya ve bakteriler şekeri alkole, asitlere ve diğer bileşiklere dönüştürür. Bu bileşikler, mikrobiyal büyümeyi engelleyen koruyucu maddeler olarak görev yapar. Ayrıca mayalı ekmeğe, soya sosu, turşu, lahana turşusu ve diğer ürünlerin üretiminde fermantasyon kullanılmaktadır (McElhatton, 2006).

Genetik modifikasyon, gıda ve tarımsal kaynakların genetiğinin değiştirilmesi, genetik özellikleri ve tarımsal performansı artırmak için canlı organizmaların DNA'sının değiştirilmesini içerir. Bu, hastalıklara dayanıklı mahsuller üretilmesine, zorlu çevre koşullarına dayanıklılığa, kaynak kullanımının optimize edilmesine ve mahsullerin besin değerinin artırılmasına olanak tanır. Genetik mühendisliğinin önemli faydalarına rağmen, genetiği değiştirilmiş organizmaların potansiyel çevresel ve sağlık etkilerine ilişkin tartışmalar devam etmektedir (Encarta, 2005).

Kontrollü atmosferde depolama, kontrollü atmosfer depolama alanları ortam havasındaki gaz konsantrasyonlarının hassas bir şekilde düzenlenmesinde mükemmeldir. Oksijen konsantrasyonu azalırken karbondioksit ve etilen konsantrasyonları artar. Olgunlaşma sürecini hızlandırdığı bilinen etilen ortam havasından uzaklaştırılır. Kontrollü atmosferde depolamanın, meyve ve sebzelerin tazeliğini uzun süre korumanın etkili bir yolu olduğu kanıtlanmıştır. Ortamdaki sıcaklık, nem ve gaz konsantrasyonları, ayrışma ve bozunma süreçlerini en aza indirecek ve depolanan ürünlerin kalitesini artıracak şekilde ayarlanır (McElhatton, 2006).

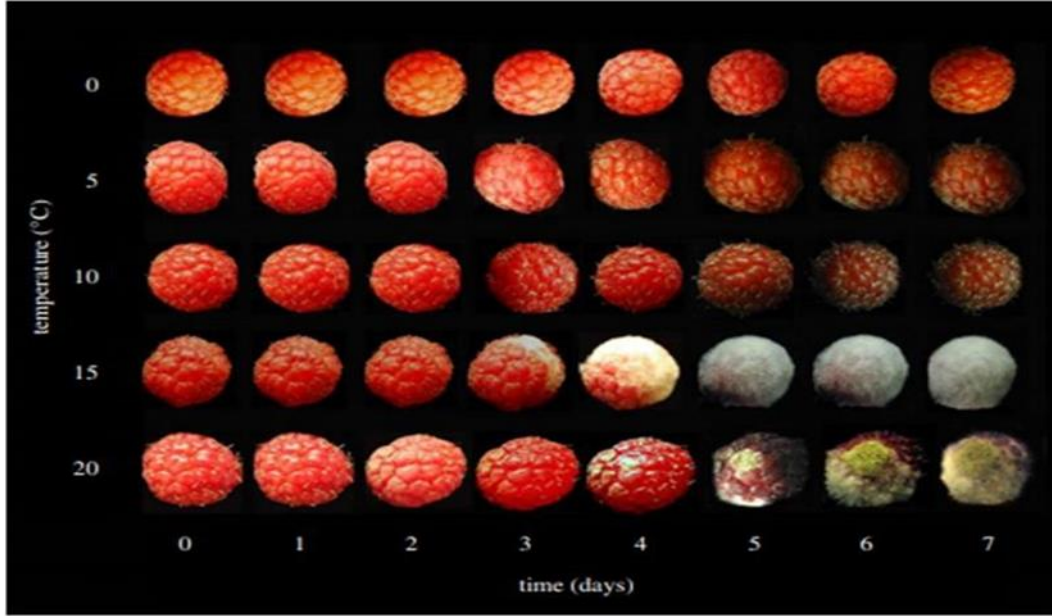
1.2 Gıda Ambalajlama ve Kapsülleme

Gıdanın sağlıklı olmasını sağlamak, taşıma ve depolama sırasında korumak için gıdanın doğru ambalajlanması önemlidir. Bu amaçla alüminyum kutu, cam, plastik, kağıt gibi ambalaj malzemeleri kullanılmaktadır. Yenilenemeyen doğal kaynakları korumak için alüminyum kutuların ve diğer ambalaj malzemelerinin geri dönüştürülmesi uygulanmaktadır. Geri dönüşüm şirketleri alüminyum kutuları merkezi toplama noktalarında işlemektedir. Uygun gıda ambalajı ve kapsülleme, kontaminasyona, çevresel değişikliklere karşı korunma ve besin özelliklerinin korunması açısından çok önemlidir. Ambalaj, gıdayı mikroorganizmalardan ve potansiyel olarak kirletici kimyasallardan korur. Ayrıca gıdanın kalitesini koruyarak fiziksel ve kimyasal değişimlerin önlenmesine yardımcı olur. Paketleme ve kapsülleme yöntemleri, gıdanın türüne ve işleme tekniklerine göre değişir. Örneğin yağları paketlemek ve yağın bozulmasını önlemek için oksijen geçirilmeyen kaplar kullanılmaktadır. Gözenekli plastik ambalajlar meyve ve sebzelerin nefes almasını sağlarken etlerin doğal renklerini korumasını da sağlar. Tarihsel olarak, metal kutuların kullanımı 19. yüzyılda ortaya çıkmış ve modern ambalaj endüstrisinin başlangıcına işaret etmiştir. Günümüzde gıda kutuları korozyona karşı dayanıklılık açısından çok katmanlı çelikten yapılırken, içecek kutuları ise hafif ve kolay üretilebilir olmaları nedeniyle içecek kutularında tercih edilmektedir. Isı ile sterilize edilen gıdaların ambalajlanmasında metalin yanı sıra cam da kullanılmaktadır. Cam oksijen ve su geçirmezdir ve gıdanın tadını etkilemez. Hafif ve kırılmaya karşı dayanıklı olan plastik, gıda ambalajlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Isıya dayanıklı plastikler, gıdaları yüksek sıcaklıklarda sterilize etmek için kullanılır. Çeşitli formlarda bulunan plastik, şişe ve poşet üretiminde kullanıldığı gibi ambalaj kapakları yapımında da kullanılmaktadır. Kağıt, bazı kuru gıdalar dışında ambalajlamada daha az kullanılır. Dondurulmuş gıda ambalajlarında kuşe karton ve plastik kaplı karton kullanılmaktadır. Nakliye konteynirleri genellikle oluklu mukavvadan yapılır. Son yıllarda bilim insanları geri dönüştürülebilir, biyolojik olarak parçalanabilen veya daha kompakt ambalajlar geliştirmektedirler. Birçok ülkede cam ve alüminyum içecek kaplarına yönelik geri dönüşüm programları yürütülmektedir. Plastik içecek şişeleri ambalajlarında başka ürünler üretmek için geri dönüştürülebilir ve yeni sterilize edilmiş malzeme kullanılır (Nedovic, 2011).

1.3 Meyve ve Sebze Depolama

Katkı maddesi içermeyen taze gıdalar, kalite ve güvenlik tercihleri doğrultusunda muhafaza yöntemleri ve işleme teknikleri geliştirilmiştir. Oldukça rekabetçi olan yiyecek ve içecek pazarında, gıda koruma kalitesini artırmaya yönelik teknolojilerin, üretim birimleri için uygun bir ticari maliyetle pratik olarak uygulanması gerekmektedir (Atuonwu, 2018). İnsanlığın başlangıcından bu yana gıdaların korunması insanın hayatta kalması için hayati önem taşımaktadır. Mikrobiyoloji bilgisinden önce gelen geleneksel teknikler daha az sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yöntemler mikrobiyal büyümeyi ve aktiviteyi engellemek için tuzlama, kurutma, ısıl işlem ve fermantasyon gibi çeşitli yaklaşımları kapsar. Gıda bozulması, bir gıda ürününün tüketiciler açısından istenmeyen durumunu ifade eder. Fiziksel hasar, kimyasal değişiklikler, mikrobiyal aktivite, enzimatik aktivite veya istenmeyen kokulardan kaynaklanabilir. Hasat veya kesim sonrasında mikrobiyal bozulma nedeniyle küresel gıda arzının tahminen %25'i israf edilmektedir (Gram, 2002). Yiyecek sıcaklığının düşürülmesi zararlı kimyasal reaksiyonları en aza indirir, hastalığa neden olan patojenlerin ve diğer mikroorganizmaların büyümesini kısıtlar. Önerilen sıcaklık 18 santigrat derece veya daha düşüktür. Donma sıcaklıklarına ulaşıldığında başta su olmak üzere biyolojik materyalden dolayı buz kristalleri oluşur, bu da hücrelerin içinde ve dışında yapısal değişikliklere yol açar ve korunan gıdanın kalitesini etkiler (Năstase, 2016). Taze meyveler için soğutma ve soğuk hava depolarının tasarlanması, solunumun dikkate alınmasını gerektirir. Üretilen karbondioksitin yoğunluğu, sıcaklığın düşürülmesiyle azaltılabilen olgunlaşma hızıyla doğrudan ilişkilidir. Elma ve armut gibi meyvelerin çoğu olgunlaşmadan önce daha yoğun solunum yaparken, turuncgiller solunum yapmaz. Solunum hızı ve potansiyel depolama süresi de çevredeki havanın bileşiminden etkilenir. Çürümeyi teşvik etmeden istenmeyen kurumayı önlemek için bağıl nem yükseltilmelidir. Depolama potansiyeli farklı bitki ürünleri arasında büyük farklılıklar gösterir. Tropikal meyveler ve turuncgiller daha kapsamlı depolama olanakları ve dağıtım esnekliği sunar. Meyve ve sebzeler depolama sırasında diğer ürün türlerine göre daha karmaşık davranırlar. Çeşitlilik, iklim, toprak özellikleri, tarımsal uygulamalar, çevre koşulları, hasadın olgunluğu ve işleme süreçleri gibi faktörlerin tümü depolamayı önemli ölçüde etkiler. Daldırma, kimyasal spreyler, fümigasyon, etilen koşullandırma ve ısıl işlem gibi ek işlemler, depolama potansiyelini önemli ölçüde değiştirebilir. Bu nedenle, belirli bir meyve veya sebze için en uygun saklama koşullarına ilişkin tek bir önerinin evrensel olarak sağlanması mümkün değildir (Albayati, 2006). Meyvelerin soğutma sıcaklığı 0°C olmalı, depolama sıcaklığı ise

0°C'ye mümkün olduğunca yakın olmalıdır. 10°C sıcaklıkta meyveler raf ömrünü üçkat daha hızlı kaybeder ve 30°C'de 10°C'ye göre dokuz kat daha hızlıdır. Şekil 1.2, sıcaklığın kırmızı meyvelerin depolanması üzerindeki etkisini göstermektedir. Yaban mersininin 2°C sıcaklıkta sürekli depolanması, 11 güne kadar kabul edilebilir bir kaliteyi korumuştur. Buna karşılık yaban mersinin perakende kalitesi, 21°C sıcaklıkta 4 gün ile 3gün arasında muhafaza edildikten sonra düşmüştür. Yaban mersini bozulmaya en duyarlı küçük meyveler arasında yer almakta olup, -0,5 ile 0°C arasındaki sıcaklıklarda depolandığında maksimum saklama ömrünün 2 ila 7 gün arasında değişeceği öngörülmektedir. Çileklerin raf ömrü depolama sırasında bile 5-7 güne ulaşabilir (Nunes,2014).

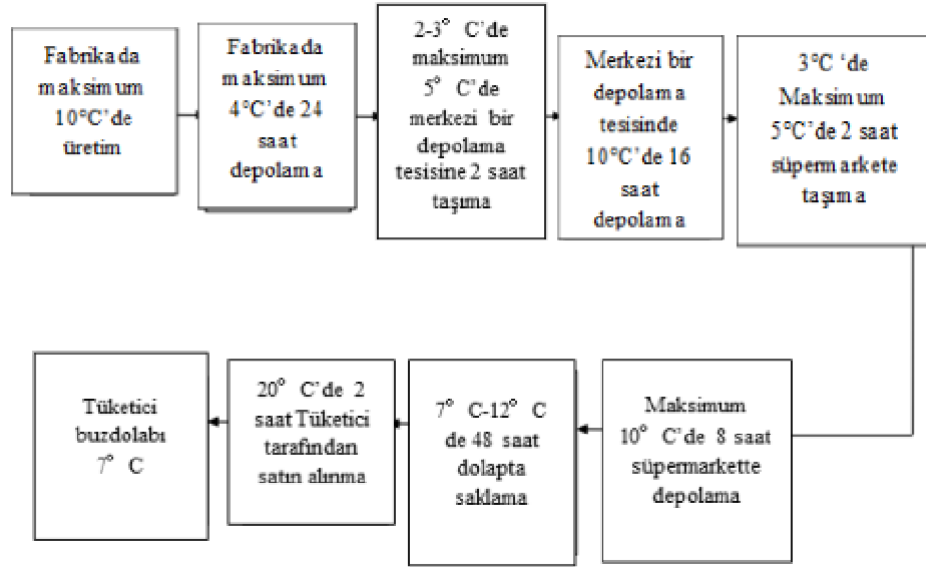


Şekil 1.2. Sıcaklığın yaban mersini 'Killarney' depolanmasına etkisi.

1.4 Gıda Taşımacılığı

Yaşam standartlarının iyileşmesi, taze gıdaya olan talebin artmasına ve dolayısıyla ön soğutma ihtiyacının artmasına neden olmuştur (Gao, 2020). Soğutmalı taşıma süreçleri, taşınan gıda maddelerinin kalitesinin sağlanması açısından çok önemli olan homojen sıcaklıkların korunmasında zorluklarla karşı karşıyadır. Sıcak hava ve nemin kapılardan ve açıklıklardan sızması nedeniyle homojen olmayan sıcaklık seviyeleri ortaya çıkar ve soğutma sistemi etkilenir. Bu sorunların bir sonucu olarak, her yıl küresel gıda üretiminin yaklaşık üçte biri kaybolmaktadır (Taher, 2019). Gelen gıdanın güvenliği ağırlıklı olarak depolama ve taşıma sırasındaki soğuk zincire bağlıdır. Artan küresel nüfusun ihtiyaçlarının karşılanması için gıda üretiminin artırılması şarttır. Ancak üretime gıda kayıplarının en aza indirilmesi de eşlik etmelidir. Özellikle Sahra Altı Afrika'daki tedarik zinciri boyunca önemli gıda kayıpları gıda güvenliği, beslenme, kaynaklar ve gezegenin iklimi için tehdit oluşturmaktadır. Soğuk hava deposu ve ön soğutmayı kapsayan soğuk zincir sistemi, taze meyve ve sebzelerde hasat sonrası kayıpların azaltılmasında büyük önem taşımaktadır. Soğuk depolama ve soğutma tekniklerinin gıda değer zincirine verimli bir şekilde entegre edilmesi, gıda ürün kalitesinin korunması için esastır. Sahra Altı Afrika'da soğuk depolama ve ön soğutma sistemlerinin uygulanması, yetersiz altyapı ve yönetim becerileri gibi önemli zorluklarla karşı karşıyadır. Bununla birlikte, soğutmaya erişimi artırmak, gıda kayıplarını azaltmak ve gıda güvenliğine ve sürdürülebilir kalkınmaya katkıda bulunmak için önemli fırsatlar bulunmaktadır (Makule, 2022). Gıda maddeleri konteyner taşımacılığı, modern yük trenleri ve diğer gelişmiş ulaşım araçlarıyla dağıtılmaktadır. Taze ürünler ve çeşitli gıdalar uzun mesafelere taşınarak çok çeşitli gıdaların küresel pazarlarda yıl boyunca mevcut olması sağlanır. "Yük konteynerleri" olarak bilinen büyük konteynerler yaygın olarak kullanılır ve genellikle "düz vagon" olarak adlandırılan yük vagonlarında taşınır. Gıda, işlendikten ve pakatlendikten sonra, üreticileri ülke genelindeki ve dünya çapındaki çeşitli perakende satış noktalarına bağlayan geniş bir ağ üzerinden dağıtılır. Kamyonlar, trenler ve uçaklar da dahil olmak üzere modern yüksek hızlı taşıma yöntemleri, bozulabilir gıdaların uzun mesafelere taşınması için güvenilir çevresel kontrol sistemlerinden, özellikle de soğutmadan yararlanır. Bu ağlar, gıdanın yerel olarak üretilmediği veya işlenemediği uzak bölgelerde bile tüketicinin çeşitlilik ve bulunabilirlik talebini karşılamaktadır. Ortalama tüketici tarafından neredeyse hiç görülmesi de gıda dağıtımını, en temel gıda maddelerinin bile bulunabilirliğinin sağlanmasında hayati bir rol oynamaktadır (Albayati,

2006). Soğutma sistemleriyle donatılmış taşıma kamyonları, bozulabilir gıdaların taşınması ve depolanmasında dünya çapında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kamyonlarda soğutma sistemi temel olarak iki parçadan oluşur: Termostat, taşıma işlemi sırasında gerekli sıcaklığın elde edilmesini sağladığı için soğutma sistemindeki en önemli unsur olarak kabul edilir. Havanın yükün üst kısmına ve ardından yükün arkasına yönlendirildiği soğutma kutusu içindeki hava sirkülasyonunu sağlar. Soğutma sistemi ısıyı içeriden emer ve dışarı atar. Kutunun içindeki sıcaklığın eşitliği ürün kalitesini garanti eder ve sağlık risklerini azaltır (Taher, 2019). Yiyecekler, geniş bir dağıtım ağı aracılığıyla marketlere, süpermarketlere, restoranlara ve fast-food satış noktalarına dağıtılmaktadır. Süpermarketler en yaygın olanıdır ve tüketicilere daha ucuz ürünler sunmaktadır. Şekil 1.3'te yiyecek dağıtımının bir örneği gösterilmektedir (Albayati, 2006).



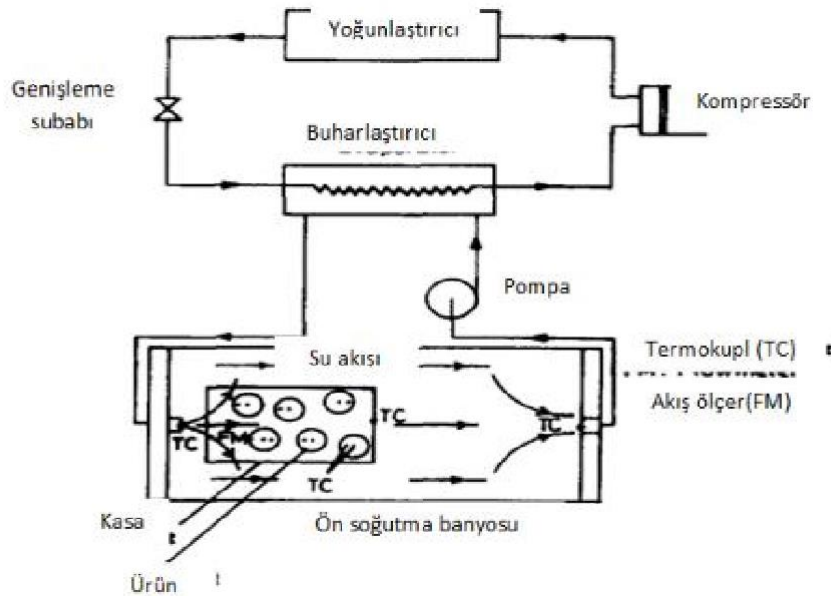
Şekil 1.3. Taze işlenmiş meyve ve sebzelerin simüle edilmiş dağıtım zinciri.

1.5. Ön Soğutma ve Çeşitleri

Ön soğutma, depolama veya taşıma sırasında bozulmayı, solmayı azaltmak ve raf ömrünü uzatmak için gıda maddelerinin hava, su veya her ikisini birden kullanarak sıcaklığının düşürülmesi işlemidir. Soğutma sürecindeki ilk adımı işaret eder (Gowda, 1997). Ön soğutma, meyve ve sebzelerin tedarik zincirinde çok önemli bir faktördür. Kabuklu ürünlerin kalitesinin korunması, satış ekonomisinin iyileşmesine katkıda bulunarak bunları tüketiciler için daha önemli hale getirir. Birçok araştırmacı, ön soğutma tasarımını geliştirmek, çalışma ortamlarını iyileştirmek ve enerji tüketimini en az indirmek için simülasyon ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) deneylerinden

yararlanmaktadır. Meyve ve sebzelerin verimli bir şekilde soğutulmasında soğuk hava hızı çok önemlidir (Han, 2016). Ön soğutma, tarım ürünlerinin hasat sonrası, ambalajlamadan önce veya sonra, bozulmalarını önlemek amacıyla hızlı bir şekilde soğutulması işlemidir. Bu işlem, ürünlerden başlangıçtaki "saha ısını" ortadan kaldırır ve daha sonraki depolama ve taşıma sırasındaki ısı yükünü azaltır. Hasat sonrası hızla soğutulması gereken patates, domates, brokoli, karnabahar, lahana gibi çabuk bozulan ürünler başta olmak üzere tüm meyve ve sebzeler ön soğutmadan faydalanır. Guava, mango, papaya, ananas, armut, şeftali, elma ve portakal gibi ticari açıdan önemli meyveler bile, nispeten daha yavaş bozulma oranlarına rağmen, depolama ömrünü uzatmak ve pazarlamadan önce daha uzun depolamaya izin vermek için ön soğutma gerektirir (Hall, 1974). Mitchell ve Casimir (1974) tarafından yapılan kapsamlı tartışma, tüm ön soğutma yöntemlerini kapsamakta, zamanlama, gerekli soğutma miktarı, çeşitli yöntemler ve ilgili dezavantajlarla ilgili hususları ele almaktadır (Albayati, 2006). Hasattan sonra mümkün olduğu kadar hızlı bir şekilde gerçekleştirilen ilk soğutma aşamasına "ön soğutma" adı verilir. Ürünü soğuk depoya yerleştirmeden veya pazara taşımak için frigorifik kamyonlara veya deniz konteynerlerine yüklemeye önce meydana gelir. Ön soğutma yöntemleri oda soğutmayı, suyla soğutmayı, basınçlı havayla soğutmayı, tünel soğutmayı, vakumla soğutmayı, nemli havayla soğutmayı, buzla soğutmayı ve buharlaşmalı soğutmayı kapsar. Radyant soğutma ve gece havalandırması gibi bazı düşük maliyetli alternatiflere rağmen, genellikle mekanik soğutma sistemleri kullanılmaktadır. Uygun sistemin seçimi, mahsul özellikleri, gerekli soğutma kapasitesi, hedef sıcaklık, sermaye ve işletme maliyetleri ve beklenen kâr artışı gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Düşük maliyetli ön soğutma sistemleri oda soğutmayı ve buharlaşmalı soğutmayı içerir (Kitinoja, 2010). Sıcaklık, bahçe bitkilerinin kalitesini ve hasat sonrası ömrünü etkileyen çok önemli bir faktördür. Hasat sonrası kalite kaybı, ortam sıcaklığından etkilenen fizyolojik ve biyolojik süreçler nedeniyle meydana gelir. Bu nedenle ön soğutma, gıda kalitesinin korunması ve raf ömrünün uzatılması açısından hasat sonrası en önemli stratejilerden biri olarak kabul edilmektedir. Hasat sonrası sebze ve çiçeklerde meydana gelen fizyolojik ve kimyasal etkilerin yanı sıra kalitenin bozulmasına yol açan yaşlanma sürecinin anlaşılması, bu süreçlerin geciktirilmesine katkıda bulunan hasat sonrası tekniklerden biri olarak ön soğutmanın önemini vurgulamaktadır (Brosnan, 2001). Ön soğutmanın başarısı, katı ürünlerdeki soğutma hızlarının, termal özelliklerin, sıcaklık dağılımlarının ve ısı transfer hızlarının doğru tahminlerine dayanır.

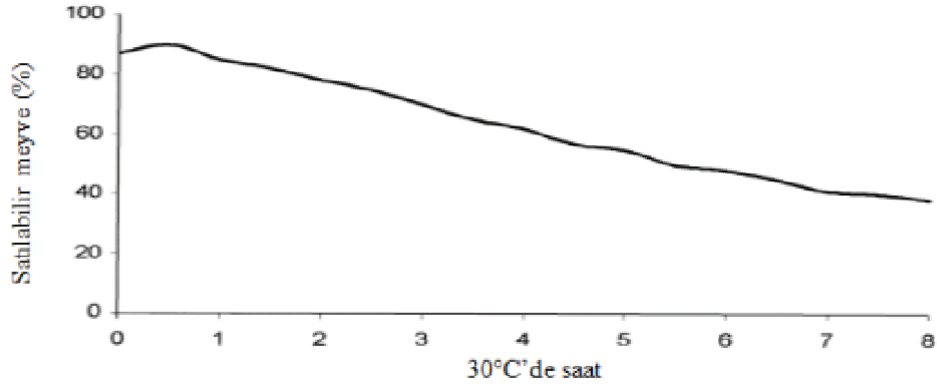
Isı iletkenliği, ısı dağılımı ve iletim yoluyla ısı transfer katsayıları gibi etkili parametreler hesaplanır. Ön soğutma sırasındaki geçici ısı transferi, Biot sayısının yüksek olması nedeniyle hem iç hem de yüzey dirençlerinden etkilenir (Dinçer,1992). Kaliteyi korumanın en önemli adımı, tarla ısını ortadan kaldırmak için hasattan sonra ön soğutmadır. Ön soğutma, solunum hızını ve enzimatik aktiviteleri azaltır, bu da mikroorganizmaların büyümesini ve dolayısıyla ürünün bozulmasını geciktirir. Ön soğutma ile nem kaybı en aza indirilebilir, bu da kalitenin korunmasına katkıda bulunur (Hüseyin, 2021). Domatesler, 10 kg taze hasat edilmiş domatesin polietilen torbaya yerleştirildiği pratik bir suyla ön soğutma deneyi ile soğutulmuştur. Su ve ürün sıcaklıkları on iki ürün termokupl ve üç su termokupl kullanılarak ölçülmüştür. Domatesler 1°C sıcaklıktaki soğuk su dolu bir kapta 0,05 m/s su akış hızıyla soğutulurken, ürünlerin ısısu suya aktarılmaktadır. Merkez sıcaklığı ve ısı transfer hızı değerlerini belirlemek için domateslerin merkezinde ve ortasında boyutsuz sıcaklıklar ölçülmüştür. Belirtilen koşullar altında yaklaşık ısı transfer katsayısının 673 W/m² olduğu bulunmuştur. Su, Şekil 1.4'te gösterilen soğutma cihazı ile soğutulmaktadır (Dinçer, 1992).



Şekil 1.4. Banyo tipi hidro-soğutma ön soğutma ünitesi.

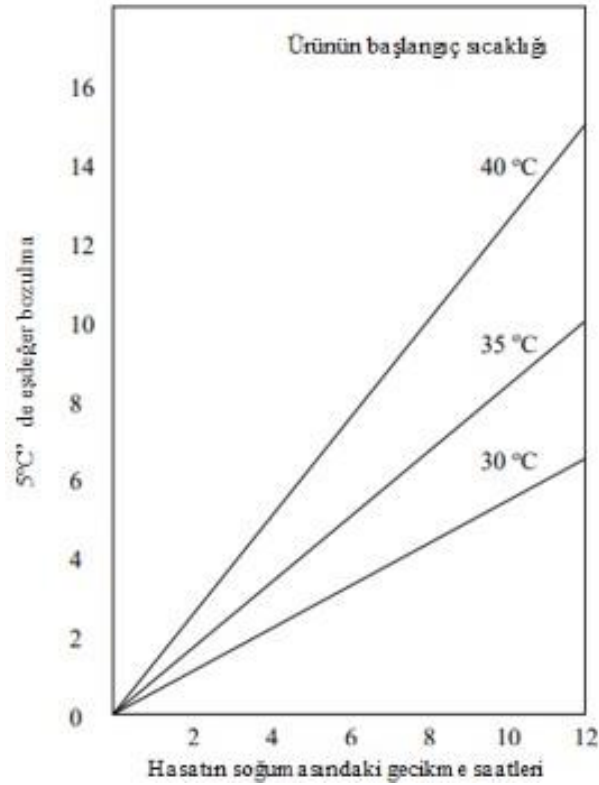
Ürün kalitesi söz konusu olduğunda, hasattan sonraki her dakika önemlidir ve ön soğutma, ticari mahsul kalitesini korumanın en etkili ve ekonomik yollarından biridir. Ön soğutma işlemindeki gecikme çileğin kalitesini etkiler. 30°C sıcaklıkta 2 saatlik kısa bir sürenin ardından çileklerin yalnızca %80'inin pazarlanabilir olduğu kabul edilir. Bu,

hasattan sonra hemen soğutma yapılmaması nedeniyle kalitede açık bir kayıp olduğunu gösterir; Şekil 1.5'te, çileklerin soğutulmasındaki gecikmenin etkisini göstermektedir (Brosnan, 2001).



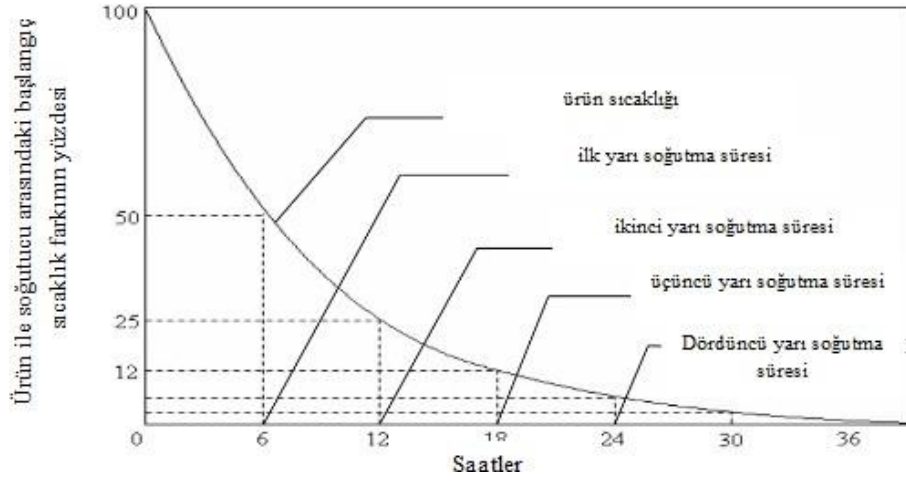
Şekil 1.5. Soğutmadan önceki gecikmenin Shasta çileklerinin kalitesi üzerindeki etkisi.

Bazı ürünler pazarlama sürecine başlamadan önce birkaç ay saklanabildiğinden, ön soğutma gıda ürünlerinin raf ömrünü uzatır. Şekil 1.6'da Hasat sonrası gecikmeli ön soğutma nedeniyle kavun bozulmasının tipik bir örneğini göstermektedir. Gıda ürünleri hasattan sonra ne kadar erken soğutulursa, kalitelerini koruma şansı da o kadar artar (Kasmire ve Parsons, 1971).



Şekil 1.6. Gecikmiş soğutma sonucu karpuzun bozulmasına bir örnek.

Şekil 1.7’de, yarım soğuma sürelerinin belirtildiği tipik bir üstel soğuma eğrisini göstermektedir. İlk yarı soğutma süresi, soğutma ortamı ile ürün merkezi arasındaki sıcaklık farkının yüzde 50’ye düşmesi için gereken süre olarak tanımlanırken, farkın yüzde 25’e düşürülmesi de ikinci yarı soğutma süresi olarak adlandırılmaktadır. Genellikle ilk yarı soğuma periyodunun vurgulanmasıyla birlikte sonraki yarı soğuma periyotları da biraz artma eğilimindedir (Albayati, 2006).



Şekil 1.7. Altı saatlik yarı soğutma süresi örneği.

Soğutma tekniklerinin sınıflandırılması şu şekilde özetlenebilir:

Oda soğutma, meyve ve sebzeleri soğutmanın en basit yöntemi, ister oda sıcaklık kontrolüne izin veriyor olsun ister soğutmalı bir araç içinde olsun, onları soğuk bir odadaki kaplara yerleştirmektir. Soğutma, üründen kaptaki diğer öğelere, açık bir alana veya kap duvarı boyunca ulaşana kadar iletim yoluyla ısı transferi yoluyla gerçekleşir. Soğutma süresi, açıkta kalan yüzey alanının ürün ağırlığına bölünmesiyle ters orantılıdır. Soğuk hava tavanın altından yatay olarak doğrudan soğutma odasına yönlendirilir. Bu, soğuk havanın yerden yükselmesine ve zeminde dikey olarak istiflenen ürünler arasında dolaşarak düzgün bir soğutma elde edilmesine neden olur. Soğuk hava tek tek öğelerin etrafında değil, kap içindeki yiyecek kaplarının etrafında dolaşır. Bu yöntemin tasarımı ve kullanımı basit olmasına rağmen, düşük ısı hızlarının aktarılmasında sınırlamalar yaşanmaktadır. Soğutma odasında sıcaklığın yükselmesi durumunda ürünler soğumak yerine ısınabilir ve bu da önemli kayıplara yol açabilir. Soğutuculu bir araçta soğutma, ek gıda işleme gerektirmediği için genellikle daha uygun maliyetlidir. Bu durumda, fanın çalıştırılması ve soğuk buz eklenmesinin yeterli olduğu soğutmadan yalnızca şarj cihazı

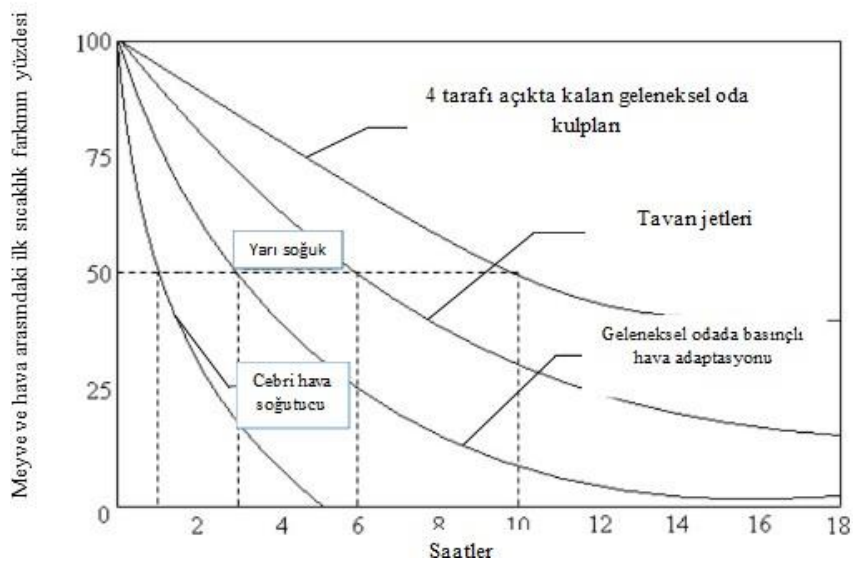
sorumludur; bu, bu yöntemi tüm soğutma yöntemleri arasında en az maliyetli seçenek haline getirir (Guillou, 1958). Oda soğutma: Oda soğutma, düşük maliyetli ön soğutma türlerinden biri olarak kabul edilir. Soğutulacak ürünlerin bir soğuk odaya yerleştirildiği, soğuk havanın oda içindeki karton, torba veya kutuların etrafına dağıtıldığı çok yavaş bir ön soğutma işlemidir. Bu yöntem turunçgiller, patates, elma ve soğan gibi çabuk bozulan ürünler için kullanılır (Kitinoja 2010).

Tünel soğutma, gıda ürünlerini önceden soğutmak için yüksek hızlı hava tüneli soğutması kullanılır. Nispeten kapalı ürün paketlerini içeren soğutma tünelinden yüksek hızlı hava itilir. Hava, paketler arasında eşit olarak dağıtılmış hava boşlukları ile saniyede 5 metre hızla dağıtılır. Bu teknik iki olası dezavantajla karşı karşıyadır: Birincisi, yüksek hızlı hava sirkülasyonunu sürdürmek için daha güçlü bir fana duyulan ihtiyaç, ikincisi ise soğutulan ürünlerden önemli miktarda nem kaybıdır (Albayati, 2006).

Su Soğutma, ön soğutma yöntemlerinden biri de nem kaybının istenmediği gıda ürünlerinde etkili olan su soğutmadır (Rao, 1993). Suyla soğutma, Amerika Birleşik Devletleri'nde kırk yıl önce sebze ve meyveleri soğutmak için kullanılmıştır ve marul, kereviz, bezelye, kuşkonmaz ve tatlı mısır gibi çok sayıda sebzenin yanı sıra şeftali, kayısı, kiraz ve armut gibi meyvelerin soğutulması için yaygın olarak benimsenen bir yöntem haline gelmiştir. Bu yöntem, havayla soğutma yöntemlerine göre daha hızlı soğutma sonuçları sağlar ve iki türü içerir: sprey soğutma ve taşma soğutma. Sprey soğutmada, ürünün üzerinden su akıtılarak havanın soğutma etkisini simüle etmek için soğuk su kullanılır. Taşkın soğutmada ürün soğuk suya batırılarak etkili bir şekilde soğutulur. Suyla soğutma, havayla soğutma yöntemleriyle karşılaştırıldığında kavunların daha hızlı soğutulmasını sağlar ancak depolamadan kaynaklanan hastalıkların önlenmesi ve soğutma sistemine yeterli güç sağlanması için su drenajı ve günlük temizlik gerektirir (Albayati, 2006). Buz kullanımı, açık buzla işlem yapma ve genel yalıtım eksiklikleri için değilse, oldukça uygun maliyetli olabilir. Sürekli çalışma sırasında kullanılan buzun %55'i, aralıklı çalışma sırasında %23'ü ürünü soğutmakta ve tankta kalan buz günsonunda erimekte ve ertesi sabah kullanılmak üzere yeniden dondurulmaktadır (Guillou, 1958).

Cebri havayla hoğutma, cebri hava soğutması iki tipten oluşur: basınçlı soğutma ve hız soğutması. Basınçlı soğutmada, yığın etkilerini kullanarak soğutma havasını ayrı ayrı kaplara zorlamak için basınç gradyanları oluşturulur. Konteynerler, serbest hava hareketini sağlamak ve verimliliği artırmak için özel tasarım ve havalandırma açıklıklarına ihtiyaç duyar.

Hızlı soğutmada, yüksek hızlı hava, sürekli konveyörler üzerindeki bir soğutma tüneline dökme gıda ürünlerinin boşluklarından geçirilir. Hava hızı ısı transferini artırır, istiflerin veya havalandırılan konteynerlerin karşıt taraflarında hava basıncı farkıyla hızlı soğutma sağlar. Havayla ön soğutmanın hızlı olduğu ve daha az karmaşık ekipman gerektirdiği açıktır. Ancak fanın enerji tüketiminden dolayı çok büyük soğutma gereksinimleri gerektirir (Albayati, 2006). Ön soğutma yöntemlerinden en önemlilerinden biri cebri havayla soğutmadır. Cebri havayla soğutma, soğuk hava mahsulün üzerinde belirli bir hızla hareket ettirildiğinden ürünün sıcaklığını azaltmak için soğutulmuş havayı kullanır. Hava sıcaklığı, bir soğutucu akışkan kullanılarak harici bir soğutma döngüsü ile korunur. Havayı ürün üzerine etkili bir şekilde yönlendirmek için bir santrifüj fan kullanılır. (Taliv Hüseyin2021). Portakal ve domateslerde basınçlı hava ile ön soğutmanın deneysel olarak incelenmesi sonucunda, 1 saatlik soğutma sonrasında 4,4 m/s hava hızına maruz kalan portakalların boyutsuz sıcaklığının (T) diğer portakallara göre %56 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Portakallar 1,2 m hava hızında soğumuştur. Daha sonra hava hızının etkisi azalmıştır. Domates örneğinde ise, 1 saat sonra, 4,4 m/s hava hızında boyutsuz sıcaklık (T), 1,2 m/s'ye kıyasla %71'lik bir azalma göstermiştir. Hava hızının domateslerin boyutsuz sıcaklığı (T) üzerindeki etkisi, soğutmanın ilk saatinden sonra bile önemli düzeyde kalmıştır (Kumar, 2008). Cebri hava soğutması, şekil 1.8'de gösterildiği gibi diğer soğutma yöntemleri arasında en hızlısı olarak kabul edilir. Şekilde farklı hava soğutma yöntemleri kullanılarak üzümün karşılaştırmalı soğutma hızları gösterilmektedir (Albayati, 2006).



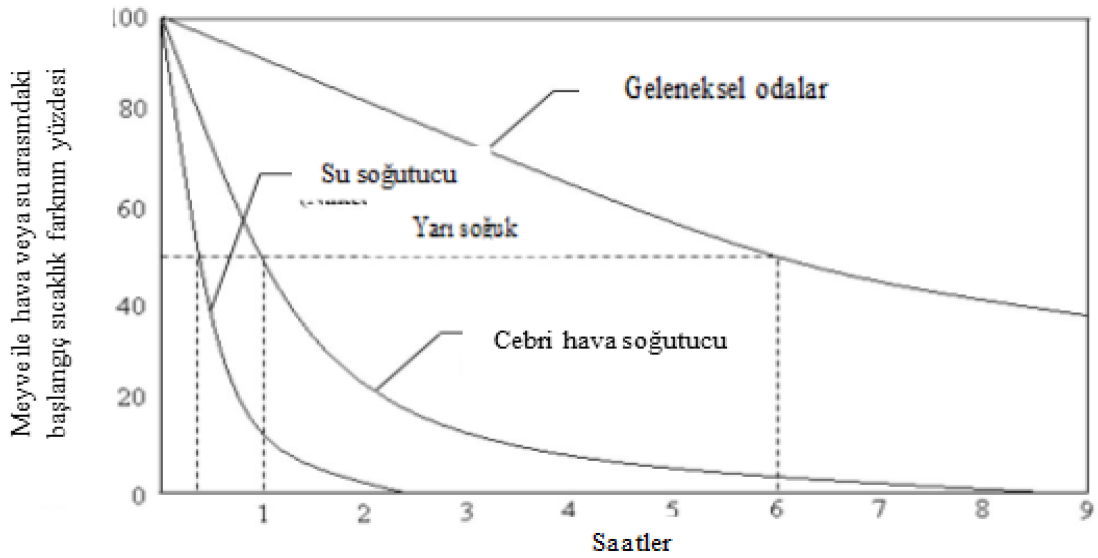
Şekil 1.8. Üzümün farklı yöntemlerle karşılaştırmalı soğutulması.

Çilekler üç seansta basınçlı hava ön soğutması ile soğutulmuştur. Soğutma işleminin başlangıcında çilekler hasat sırasındaki dış sıcaklıktan, depolama ve taşıma koşullarından ve soğutma işleminin gecikmesinden etkilenmektedir. Soğutma işleminin başlangıcında sıcaklık 21,5°C ölçülmüştür. Çileğin sıcaklığı ilk seansta 15,7°C, ikinci seansta 14,1°C ve dış hava sıcaklığı 20°C, üçüncü seansın başında ise 10,6°C ölçülmüştür. Üçüncü seansta hasat sırasında dış hava sıcaklığı 15°C ölçülmüştür. Gelen havaya bakan tarafta sıcaklık düşüşünün daha hızlı olduğu belirtilmektedir. Dış hava sıcaklığı ve kapıların açılma sıklığı gibi faktörlerin soğutma etkinliğine etkisi vardır. Ortalama hava hızı, 5 m/s, çilekleri soğutmak için en uygun hız olduğundan soğutma süresini kontrol etmek, tekdüze sıcaklığı kontrol etmek ve enerji tüketimini azaltmak için önemli bir tasarım faktörüdür (hava geçiş alanı 0,8*1,8 m) (Samuel Mercier, 2018).

Vakumlu soğutma, vakumlu soğutma işlemi taze ürünler, özellikle lahana ve marul gibi yapraklı sebzeler için kullanılır. Vakumlu soğutma, yüksek yüzey alanı/hacim oranı nedeniyle suyun üründen hızla buharlaştırılmasından yararlanır. Bu teknik, ürünü hızlı ve eşit bir şekilde soğutur, ancak ilk ekipman masraflarının yüksek olması nedeniyle maliyetli olduğu düşünülmektedir. Vakumlu soğutma yöntemi, soğutulacak ürünün hızlı bir şekilde boşaltılan bir basınç odasına yerleştirilmesini içerir. Haznedeki hava basıncı, ürünün yükleme sıcaklığında suyun kaynamasını sağlayacak seviyeye düştüğünde hızlı buharlaşma ve soğuma başlar. Bu, suyun 4,6 mm Hg basınçta ve 0°C sıcaklıkta kaynadığı alevlenme noktasında elde edilir. Bu prensip vakumlu soğutma teknolojisinde kullanılır. Su miktarının yüzde birini buharlaştırmak için gereken ısı, kalan suyun sıcaklığını yaklaşık 6°C düşürmek için yeterlidir. Su buharı soğutma yoluyla yoğuşur ve yoğuşturucuya çarpar. Hazne, barometrik kondansatörlere sahip yüksek basınçlı buhar ejektörleri veya döner vakum pompaları aracılığıyla boşaltılır (Albayati, 2006). Yapraklı sebzelerin aksine farklı ürünlerin vakumla soğutmaya uygun olmadığı görülmektedir. Bunun nedeni nem kaybı veya ürün içindeki buhar basıncının ciltte buhar hareketini kolaylaştırmak için yetersiz olması olabilir. ABD'nin Fresno kentindeki tarım istasyonu şu anda mükemmel bir vakumlu soğutma odası geliştirmekte ve bu alanda değerli bilgiler sağlaması beklenmektedir (Guillou,1958).

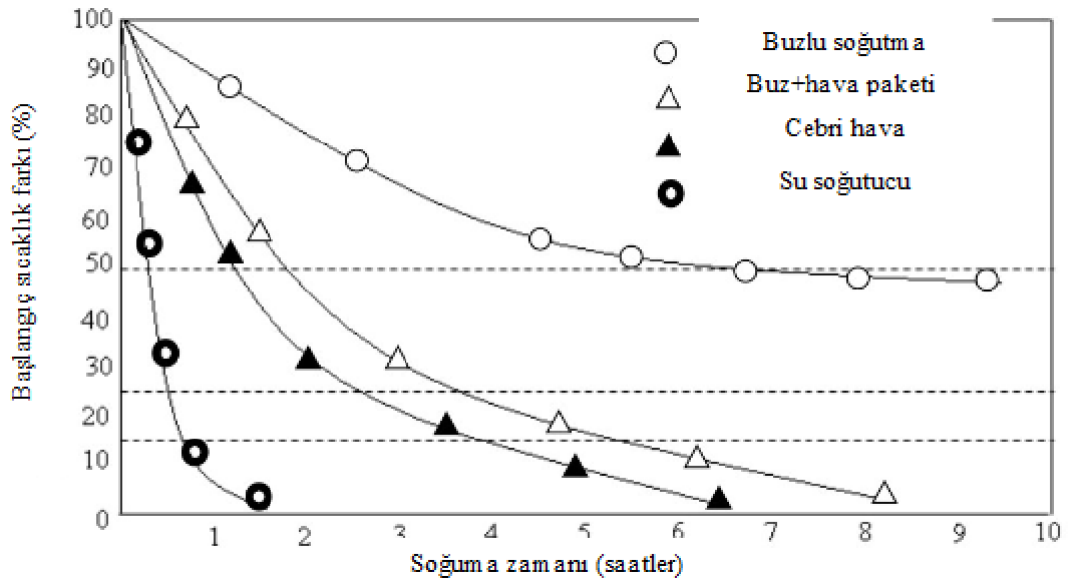
Su Soğutma, buharlaştırıcı soğutma gıda ürünlerinin ön soğutulması için kullanılan modern bir tekniktir. İstenmeyen nem kaybını önleyen etkili bir yöntemdir. Bu yöntem hem hava hem de su soğutmanın avantajlarını birleştirir. 1973 yılında Henry ve Bennett tatlı mısırın ön soğutulması için hava-su soğutma ünitesi (bir ünite = 40 kutu) üzerinde

deneyle yapmışlardır. 6,3 kg/s su akış hızı ve küçük püskürtme nozulları kullanmışlardır. Buharlaştırıcı soğutma ile soğutma hızının, 25,2 kg/s su akış hızı içeren geleneksel su soğutmadan daha iyi olduğunu bulmuşlardır. Ek olarak, Bennett ve Wells, (1976)'da şeftalilerin buharlaşarak soğutulmasına ilişkin sonuçları sunmuşlardır. Bu yöntemde ince bir su filmi ile kaplanan gıda ürünlerinin üzerinden sürekli olarak soğuk hava geçirilir. Bu, diğer geleneksel yöntemlere kıyasla daha az kurutmayla daha verimli soğutma sağlar (Albayati, 2006). Şekil 1.9'da, havayla ön soğutma yöntemi ile su soğutma yöntemi arasındaki şeftali soğutmanın karşılaştırmasını göstermektedir. Soğutma eğrileri, su soğutma kullanılarak daha hızlı soğutma hızına ulaşılabileceğini göstermektedir. Ek olarak şekil, geleneksel oda soğutmaya kıyasla cebri hava soğutma işlemiyle elde edilen nispeten daha hızlı soğuttuğunu göstermektedir (Guillou, 1963).



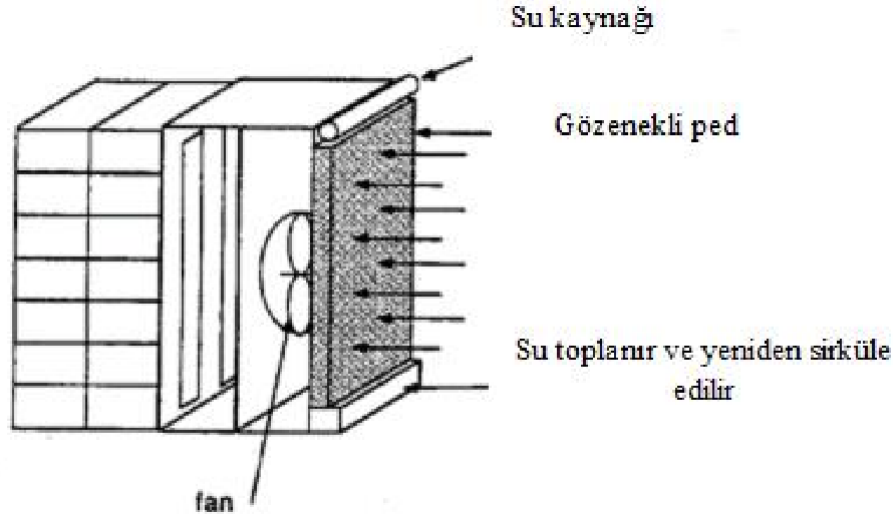
Şekil 1. 9. Şeftalilerin farklı yöntemlerle soğutulmasının karşılaştırılması.

Şekil 1.10'da, kavun soğutma oranları için dört farklı ön soğutma yönteminin karşılaştırmasını göstermektedir ve ilk üç yarı soğutma süresi işaretlenmiştir. Su soğutma şeklinde görüldüğü gibi elde edilen en hızlı soğutma yöntemidir. Ancak depolama hastalıklarını önlemek için günlük sanitasyon ve temizlik gerektirir (Kasmire ve Parsons, 1971).



Şekil 1.10. Kavun soğutma hızlarının farklı soğutma yöntemleriyle karşılaştırılması.

Bu soğutma türü özellikle nem oranının düşük olduğu bölgelerde etkilidir. Kuru hava, ıslak bir ped veya ince bir su sisi içinden çekilir ve daha sonra havalandırma delikleri ile donatılmış kaplardan geçirilir. Su sıvıdan buhara geçerken çevredeki havadan ısı emilir ve bu da ürünün soğumasına neden olur. Etkili buharlaştırıcı soğutma, kapların içindeki havanın nem seviyesinin yüzde 65'in altında olmasını gerektirir. Sıcaklıklar yaklaşık 9 ile 12°C düşürülür ve bu yöntem, domates, biber, salatalık ve patlıcan gibi orta dereceli sıcaklıklar (yaklaşık 7,5 ile 12,5°C) gerektiren ısıya duyarlı mahsullerin depolanması için uygun hale gelir (Albayati, 2006). Buharlaştırıcı soğutmada hava suyla pratik olarak temas eder ve bu temas havanın nemlendirilmesinin ve soğutulmasının sebebidir. Nem seviyeleri bazen %80'lere kadar çıkabildiğinden, yüksek nemli havanın kullanılması uygun olmayabilir. Buharlaştırıcı soğutma işleminde suyun buharlaşması nedeniyle havadan gizli ısı çekilir (He, 2015). Buharlaştırıcı soğutmaya bataklık soğutucuları veya çöl soğutucuları denir. Havayı soğutmak için suyun buharlaştırılması kullanılır. Çöl iklimlerine uygun olması, az elektrik enerjisi kullanması ve ekonomik maliyetinin düşük olmasıyla öne çıkıyor. Buharlaşarak soğutulan havanın kaçmasına izin vermek için yükün arkasında bir çıkış deliği sağlanmalıdır. Şekil 1.11'de olduğu gibi, yaş termometre sıcaklığının 2 ila 3°C üzerindeki sıcaklıklara kadar önceden soğutulması gereken küçük miktarlardaki ürünler için bir buharlaştırıcı soğutucu, basınçlı hava soğutucusuyla eşleştirilebilir (Kitinoja 2010).



Şekil 1.11. Buharlaştırıcı basınçlı hava soğutucusu.

Buzla soğutma, "Buzla soğutma" nakliye kutularında paketlenmiş belirli ürünleri soğutmak için bir teknik olarak kullanılır. Buz ince bir şekilde kırılabilir, traşlanabilir veya "sıvı buz" olarak adlandırılabilir. Sıvı buz, diğer buz türlerine göre ürünlerle daha iyi temas ettiği için kaplara enjekte edilir. Bununla birlikte, buz paketlerinin kullanılması, su barındırması gerektiğinden daha yüksek maliyetli nakliye kapları gerektirir ve buzun ilave ağırlığı, taşınabilecek gerçek ürün ağırlığını azaltır (Albayati, 2006). Dondurma, bir soğutma ortamı kullanılarak bir gıda ürününün dış yüzeyinden ısının uzaklaştırılmasını içeren bir işlemdir. Biyolojik materyal yapısal bir biçimde korunduğunda, korunan materyallerin kalitesi de artar. Hızlı dondurma, dondurulmuş gıdalar için en yüksek kaliteyi sağlar, çünkü küçük buz kristalleri dondurulmuş gıdanın her tarafında eşit şekilde oluşamaz. Hızlı dondurma dış yüzeyden iç yüzeye doğru hareket ettiği için daha az etkilidir. Tekdüze bir dondurma hızı (sabit hacim), uzun vadeli ve ekonomik açıdan verimli gıda depolama için en iyi yöntem olarak kabul edilmektedir (Năstase, 2016).

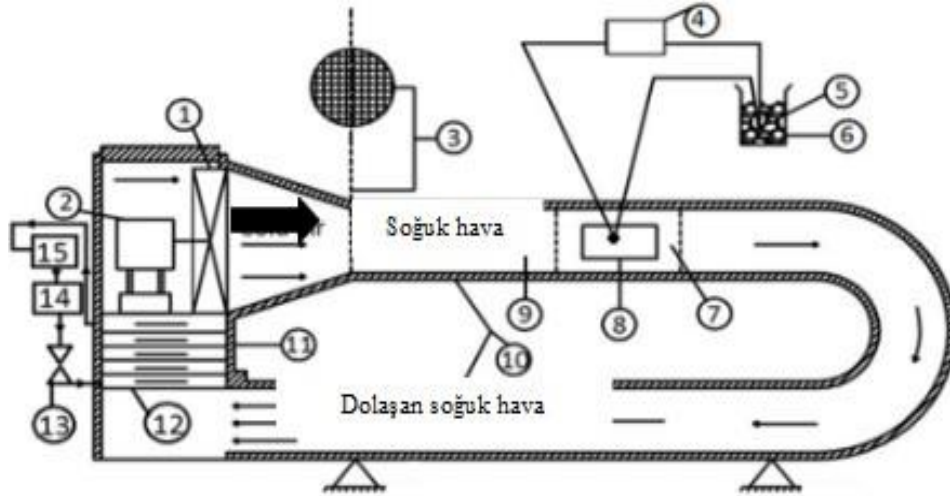
1.6. Nem

Sıcaklıkla birlikte nem de çok önemli bir faktördür. Taze meyve ve sebzeleri işlerken bağıl nem kontrol edilmelidir. Ürün ile çevre ortam arasındaki su buharı basıncı farkını belirleyen en önemli iki faktör sıcaklık ve bağıl nemdir. Nem düşük olduğunda terleme artar ve dolayısıyla nem kaybolur. Terleme bağıl nemin artırılmasıyla azaltılabilir (Nunes 2014). Gıda ürünlerinden gelen nem çılgınlığı nedeniyle kullanılan havanın doymuş olması gerekir (Gowda,1997). Buharlaştırma sırasında meyveden kaybedilen ısı, hava akımındaki su buharının basıncı ile meyvenin yüzeyindeki basıncı arasındaki farka bağlıdır ve bu, havanın sıcaklığına, nem yüzdesine ve meyvenin

yüzeyindeki suya bağlıdır. Ayrıca meyve yüzeyinden su kaybı oranı, derinin buharlaşma işlemine sağladığı dirençten etkilenmektedir ve dolayısıyla ürünün cinsine ve durumuna bağlıdır. Neme doymuş hava akımı aynı zamanda buharlaşmayı sağlayan itici kuvveti de azaltarak buharlaşmaya bağlı ısı kaybını azaltır. Bahçecilikte soğutma ve depolama işlemleri genellikle %85'i aşan bağıl nem seviyelerinde gerçekleşir. 2009 yılında yapılan bir araştırma, çileklerdeki yaklaşık %0,5'lik nem kaybının, 2 saatlik soğutma süresi boyunca toplam ısı kaybının %15-26'sına katkıda bulunduğunu bildirmiştir (Redding, 2016). Depolama sırasında düşük sıcaklıklarda yapılan tüm uygulamalarda ve ön soğutma sonrası ortamda depolamada fizyolojik ağırlık kaybının arttığı gözlenmiştir. Daha düşük sıcaklıklarda ve daha yüksek ortam bağıl nem koşullarında depolanan meyveler, fizyolojik ağırlık kaybında daha yavaş değişiklikler göstermiştir. Bunun nedeni tamamen, ortamda daha yüksek bir bağıl nemin muhafaza edilmesi durumunda, soğutulmuş ürünlerden nem kaybının gecikmesi olabilir. Su kaybının hızı, meyve dokusu ile çevredeki atmosfer arasındaki su basıncı farkına ve depolama sıcaklığına bağlıdır (Wijewardane, 2014). Bu çalışmanın temel amacı, çıkış kapısını açarak hava devridaiminin enerji tüketimi üzerindeki etkisini test etmek ve devridaimsiz hava geçişine kıyasla soğutma süresini azaltmaktır. Çalışma ayrıca nemlendirmenin soğutma süresi ve enerji tüketimi üzerindeki etkisini araştırmayı ve nemlendirme işleminin gıda tazeliğini nasıl etkilediğini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca çalışmada kırmızı lahana, kavun ve patlıcanın sıcaklık verileri ve saklama koşulları da analiz edilmektedir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

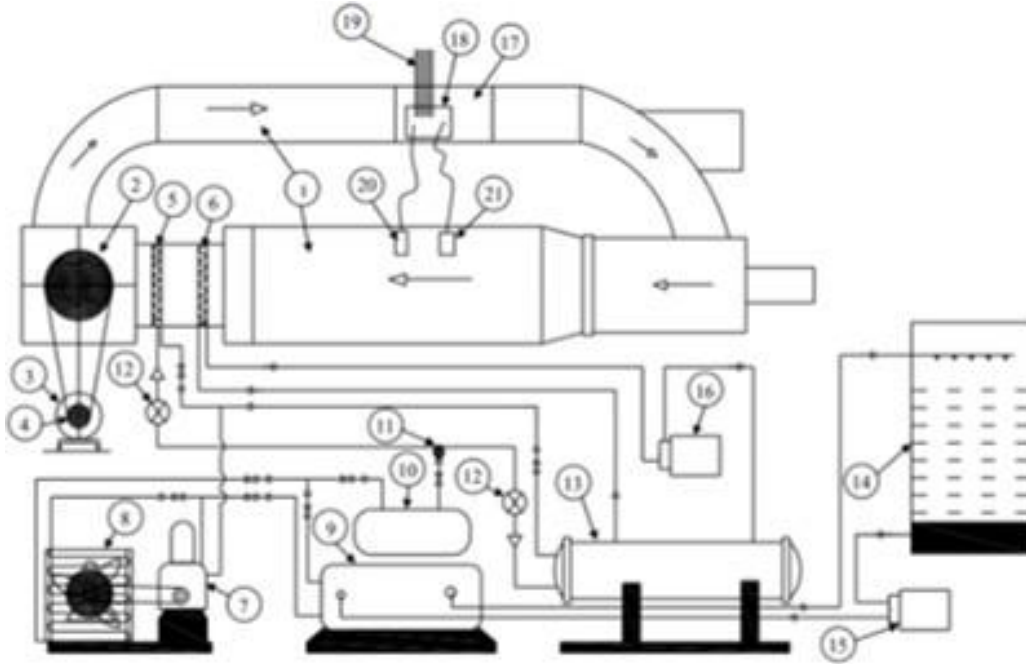
Hussain (2021) tarafından yapılan çalışma, ısı transferini iyileştirmeye ve sonuçları portakal ve elmaların soğutulması sırasında hava akışı ve ısı transferinin 3 boyutlu matematiksel modeliyle karşılaştırmaya odaklanmıştır. Araştırma, ön soğutma sırasında hava hızının gıda ürünleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışma, hava hızının artırılmasının belirli bir hıza kadar soğutmayı önemli ölçüde iyileştirdiğini bulmuştur. Ancak elma (2,5 m/s) ve portakal (2,0 m/s) için kritik değerlerin aşılmasının soğutma işlemi üzerinde önemli bir etkisi bulunamamıştır. Bu hız sınırlarının aşılması, önemli soğutma faydaları olmaksızın enerji israfına neden olmaktadır. Bu çalışma, hava akışını, ürün sıcaklığı homojenliğini arttırmak ve ürünlerin cebri konveksiyonla soğutulması sırasında gereksiz enerji tüketimini azaltmak için güvenilir bir teorik temel sağlamaktadır (Şekil 2.1).



1. Üfleyici	9. Soğutma Kanalı
2. Motorlu	10. İzolasyon (Cam Yünü)
3. Demir Izgara	11. Yahtım (Termo-Dondurma)
4. Termokupullar	12. Soğutma Bobini
5. Buz	13. Genişletme Cihazı
6. Termos Şişesi	14. Hava Soğutmalı Kondenser
7. Test Bölümü	15. Kompresör
8. Yiyecek Örneği	

Şekil 2.1. Zorlanmış konveksiyon sistemi için hat şeması.

Fikiin (1983), soğutma havası hızının artırılmasının ve prosesin daha yüksek bir son sıcaklıkta sonlandırılmasının, meyve ve sebzeler için soğutma prosesinin iyileştirilmesine etkili bir şekilde katkıda bulunduğu sonucuna varmıştır. Meyve ve sebzelerin kasalara dizilmesi ve üzerinin ince kağıtla kaplanması ısı dağılımını artırıp ısı sızıntısını azaltabilir. Bu iyileştirmeler üretkenliği ve süreç verimliliğini artırarak meyve ve sebze soğutma endüstrisinde maliyet ve enerji tasarrufu sağlar. Kumar (2008) da soğutma hava hızının, portakal ve domates gibi taze meyvelerin belirli sıcaklık seviyelerinde soğuma hızı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu keşfetmiştir. Hem portakal hem de domates için uygun maksimum soğutma hava hızları sırasıyla saniyede 3,5 metre ve saniyede 2,6 metre olarak belirlenmiştir. Ek olarak, ısı transfer katsayısını tahmin etmek için bir matematiksel korelasyon geliştirilmiştir ve bu korelasyon, deneysel sonuçlarla %77,5'e kadar doğru bir şekilde uyum sağlamaktadır.



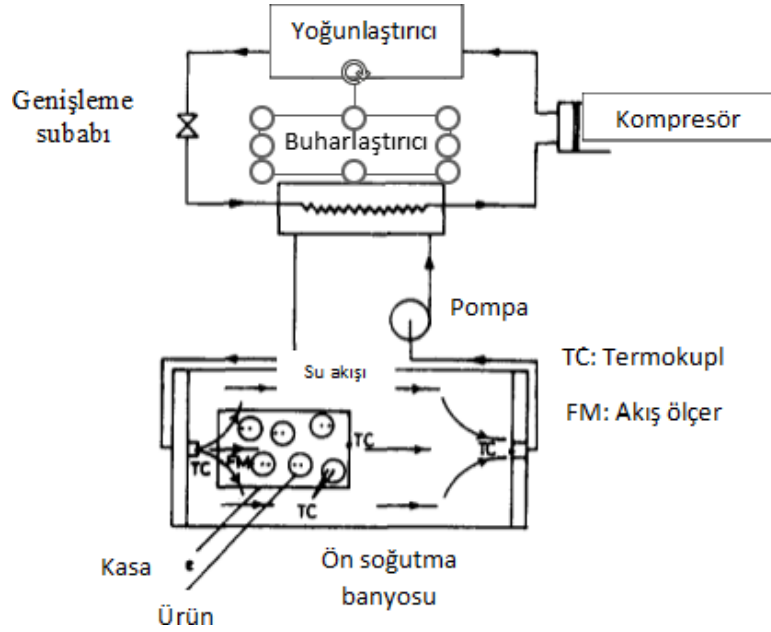
1. Hava kanalı	12. Genleşme valfleri
2. Üfleyci	13. Soğutucu
3. Elektrik motoru	14. Soğutma kule
4. Kaskak-kayı düzeni	15. Kondenser pompası
5. R-22 Buharlaştırıcı soğutma bobini	16. Soğutma pompası
6. Soğutulmuş su soğutma bobini	17. Test bölümü
7. Kompresör	18. Gıda paketi
8. Hava soğutmalı kondenser	19. Termokupllar
9. Su soğutmalı kondenser	20. Anemometre
10. Abacı	21. Dijital multimetre
11. Gözetleme camı	

Şekil 2.2. Basınçlı havayla ön soğutma deney düzeneğinin taslağı.

Albayati (2007), şekil 2.2'deki gibi dikdörtgen bir kanalda basınçlı hava teknolojisi kullanılarak bozulabilir gıda ürünlerinin ön soğutma işlemi sırasında ısı transferinin nasıl artırılabilceği sonucuna varmıştır. Buna göre hava hızındaki artış, ısı transfer katsayısının artmasına neden olmakta, böylece soğutma işlemi hızlandırılır ve gıda ürünleri için ön soğutma performansı artmaktadır. Ayrıca ön soğutma işlemi sırasında meyve ve sebzelerin daha iyi ısı transferini kolaylaştıran basit ve etkili bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen modelin, gıda koruma endüstrisindeki mühendisler ve tasarımcılar için ön soğutma prosesindeki performansı ve verimliliği artırmak amacıyla faydalı bir araç olarak hizmet ettiği tespit edilmiştir.

Rao ve ark. (1993) tarafından laboratuvar deneyleri ve matematiksel analizlerden, bozulabilir gıda ürünlerinin basınçlı hava ve soğutulmuş su teknolojisi kullanılarak ön soğutulmasının etkili olduğu ve hem hava hem de su ile soğutmanın avantajlarını birleştirdiği sonucuna varılmıştır. Çok katmanlı bir küresel ürün demeti içindeki hidromekaniği, ısı transferini ve eşzamanlı kütle transferini tanımlamak için matematiksel bir model geliştirilmiştir. Buna göre soğutma suyu üstten püskürtülür ve ardından soğuk doymamış hava alttan yönlendirilir. Ön soğutma, taze tarım ürünlerinde bozulma ve yaşlanma süreçlerini durduran, kalitesini müşteri memnuniyetini sağlayacak düzeyde koruyan, hasat edilen üründen tarla ısısının uzaklaştırılması işlemidir. Ön soğutma, tüm bozulabilir bahçe bitkileri için uygun sıcaklık seviyelerinin yönetilmesinde karmaşık ve önemli bir bileşen olarak kabul edilir. Su soğutma, vakumlu soğutma, basınçlı havayla soğutma, kriyojenik soğutma ve diğerleri gibi tarım endüstrisinde kullanılan çeşitli farklı yöntemleri kapsar. Bu inceleme, ön soğutma sürecine odaklanmayı artırmayı ve bunun tarım ve bahçecilik mühendisliği sektörlerinde daha geniş kullanımını teşvik etmeyi amaçlamaktadır (Brosnan, 2000). Dinçer (1992) tarafından yapılan çalışmada, Şekil 2.3'te gösterilen küresel ürünlerin soğutulması sırasındaki sıcaklık dağılımlarını ve ısı transfer hızlarını hem deneysel hem de teorik sonuçlardan yararlanarak belirlemek için su soğutma yöntemi kullanılmıştır. Sıcaklık değerleri ürün merkezinde ve hesaplama merkezinde ölçüldü ve daha sonra boyutsal forma dönüştürülerek radyal sıcaklık dağılımları ve ısı transfer hızı değişimleri elde edilmiştir. Teorik sıcaklıkların ve ısı transfer hızlarının boyutsal değerleri, “Biot” sayısının 0 ile 100 arasında değiştiği geçici ısı transferinde üçüncü sınır limiti koşullarında değişkenlerin ayrılması yöntemine dayanan bir matematiksel model kullanılarak hesaplanmıştır. Bu radyal dağılımlar,

hesaplanan sıcaklıklar ve ısı transfer hızları ölçülen değerlerle karşılaştırıldığında aralarında iyi bir uyum elde edilmiştir.



Şekil 2.3. Deneysel tesisin şematik diyagramı.

Meyve ve sebzelere yönelik ön soğutma işleminin incelenmesinde Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) tekniklerinin kullanılması, ambalajlama ve tasarım konfigürasyonlarının geliştirilmesine ve dolayısıyla soğutma verimliliğinin artırılmasına katkıda bulunmuştur. Analiz, ambalaj içindeki hava akışının iyileştirilmesine ve enerji tüketiminin azaltılmasına yol açabilir. Uygun performans kriterlerinin oluşturulması, deneysel ve düzenleyici standartların iyileştirilmesi, tarımsal ürünlerin soğutulmasına yönelik sürdürülebilir ve verimli tasarımlar elde edilebilir (Kumar, 2022). Bu çalışma, ön soğutma alanındaki önceki araştırmalara ve potansiyel iyileştirmelere ışık tutarak, bu alanda sürdürülebilir ve ekonomik ilerlemeler elde etmek için gelecekteki araştırmalara rehberlik etmektedir.

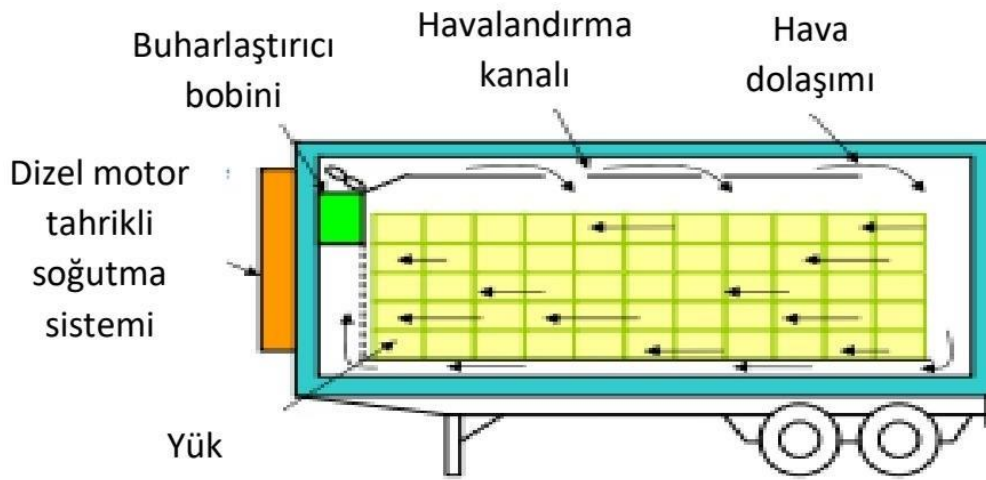
Gıda soğutma uygulamalarında hava akışına yönelik sayısal modellerin geliştirilmesi, sistem performansını doğrudan etkileyen olayların anlaşılmasını geliştirme fırsatı sunarak sıcaklıktaki düzensizliklerin azalmasına ve soğutma sistemlerinin etkinliğinin ve verimliliğinin artmasına yol açar. Son yıllarda hesaplamaların ilerlemesi ve hesaplama gücünün artmasıyla birlikte, HAD tekniklerinin bu alanda kullanımı yaygınlaşmıştır (Smale, 2006). Soğuk zincir sırasında mangoların termal evrimini simüle etmek için mekanik analiz kullanılarak meyvelere yönelik bir dijital model geliştirilmiştir. Bu dijital model, meyveyi çevreleyen ortam sıcaklığı verilerini dikkate

olarak, taşıma ve soğutmanın gerçek çevresel koşullarına dayalı olarak meyvenin termal kalite bozulmasını tahmin edebilir. Meyve içindeki sıcaklık değişimlerini izleyebilir ve sıcaklık değişimleri nedeniyle kalite kaybının meydana geldiği bölgeleri belirleyebilir, böylece soğutma süreçlerini ve lojistiği iyileştirerek gıda ürünü kayıplarını en aza indirebilir ve soğuk zinciri daha çevre dostu hale getirebilir (Defraeye, 2019). HAD, akışkan hareketini ve ısı transferini tanımlayan kısmi diferansiyel denklemleri çözmek için kullanılan matematiksel ve sayısal bir tekniktir. Ürün, hava ve çevre arasındaki karmaşık akışları ve etkileşimleri simüle edebildiği için gıda malzemelerine yönelik ön soğutma işlemlerinin analizinde ve tasarımında yaygın olarak kullanılmaktadır. HAD, ön soğutma sistemi içindeki basınç, hız ve sıcaklık dağılımları hakkında ayrıntılı bilgi sağlayarak soğutma verimliliğinin ve ürün kalitesinin artırılmasına yardımcı olur. (Wang ve ark., 2019).

Wang ve ark. (2020), gıda ürünlerinin soğuk depolama sıcaklıklarını ölçmek için ortam ışığıyla desteklenen esnek bir kablosuz etiket geliştirmiştir. Etiket esnek bir güneş pili, elektronik devre, termal sensör ve antenden oluşmaktadır. Etiket, Bluetooth teknolojisini kullanarak sıcaklık verilerini bir akıllı telefona veya başka bir cihaza aktarabilmektedir. Bu etiket, küçük boyutu, hafifliği, uygun fiyatı, takma ve çıkarma kolaylığı ile karakterize edilmekte ve gıda ürünleri için soğuk depo sıcaklıklarının sürekli ve doğru bir şekilde izlenmesini sağlamaktadır.

Daha önce Ansari ve Afaq (1986), küresel malları doymamış hava akımlarına maruz bırakarak soğutma işlemi sırasındaki sıcaklıkları ve süreleri hesaplamak için bir hesaplama şeması geliştirmiştir. Bu çalışmada bu şema silindirik ürünleri kapsayacak şekilde genişletilmiştir. Muz, havuç, salatalık ve turpların hesaplanan sıcaklıkları deneysel ölçümlerle karşılaştırılmış ve aralarında mükemmel bir uyum olduğu ortaya çıkmıştır. Üç boyutlu bir matematiksel model kullanılarak elma ve portakalların zorlanmış konveksiyonla soğutulması üzerine karşılaştırmalı bir çalışma yapılmıştır. Sonuçlar, üretim simülasyonunun, özellikle tarımsal ürünler için hasat sonrası soğutma ve sıcaklık kontrol süreçlerinde araştırma ilerlemesini hızlandırma kapasitesine sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak araştırmalarda üretim simülasyonu için uygun tasarım kılavuzlarında bir eksiklik vardır ve bu da bazı durumlarda uygunsuz kullanıma yol açmaktadır. Literatürün analiz edilmesi, tarım ürünlerine yönelik soğutma çalışmalarına odaklanmakta olup, tarım ürünlerinde ısı transferi olayını taklit edebilen üretim simülasyonlarının geliştirilmesine katkıda bulunan tasarım kısıtlamalarının

belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Bu alandaki gelecekteki araştırmaların, ürün geometrisi varyasyonunun akış modelleri üzerindeki etkisini kapsayan, üretim simülasyonu için tasarım kılavuzlarının oluşturulmasına ayrılması gerektiği önerilmektedir (Redding, 2016). Tassou (2009), gıda taşımacılığında kullanılan soğutma sistemlerini tartışmış ve en yaygın soğutma sisteminin şekil 2.4'te gösterildiği gibi buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi olduğunu belirtmiştir. Ek olarak, bu sistemlerden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının önemli düzeyde olabileceğine ve potansiyel olarak otomotiv motorları tarafından üretilen sera gazı emisyonlarının %40'ına tekabül edebileceğine dikkat çekmiştir. Bu bilgi, genel enerji tüketimini ve mevcut soğutma sistemlerinden kaynaklanan çevresel etkileri azaltan alternatif teknolojilerin kullanılmasına yönelik araştırma ve geliştirmenin önemini vurgulamaktadır.



Şekil 2.4. Yarı römorkta soğutma sistemi ve hava sirkülasyonu.

Han (2016), hava akış hızının arttırılmasının, soğutma süresini kısaltırken, elmaların yüzeyindeki soğutma hızını ve ısı transfer oranlarını arttırdığı sonucuna varmıştır. Ancak hava akış hızı 2,5 m/s'yi aştığında elmanın yüzeyindeki soğutma ve ısı transferi süreçleri artık hava akış hızından etkilenmez. Bu nedenle, hava akış hızının bu eşiğin üzerine çıkarılması, soğutma hızında ve elmanın yüzeyi boyunca ısı transferinde önemli bir iyileşme sağlamaksızın, basitçe enerji israfına neden olmaktadır. Makule (2022), depolama sırasında soğutulmuş ortamın kontrol edilmesinin, meyve ve sebzeler de dahil olmak üzere bozulabilir tarım ürünlerinin kalitesini ve miktarını önemli ölçüde koruduğu sonucuna varmıştır. Bu, gıda güvenliğine, beslenmeye, hane gelirine ve çevrenin korunmasına önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Entegre soğuk zincir sistemlerinin sağlanmasıyla meyve ve sebzelerin hasat sonrası kayıplarının önüne geçilmesi ve değer zincirlerinin iyileştirilmesi mümkün hale gelmektedir. Ancak

gelişmekte olan ülkeler, özellikle toplam gıda kayıplarının %60'a varan kısmının meydana geldiği kırsal alanlarda, entegre soğuk zincir sistemlerinin gelişimini desteklemek için yetersiz temel altyapı ve vasıflı işgücü gibi çok sayıda zorlukla karşı karşıyadır.

Gao ve ark. (2020), önerilen yenilikçi hibrit soğutma teknolojisinin, katı absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin performansını artırmak ve geleneksel buhar sıkıştırımlı soğutma sistemlerinde enerji tüketimini azaltmak için etkili bir çözüm sunduğunu öne sürmüştür. Hibrit sistem çok daha düşük bir ısı kaynağı sıcaklığı gerektirir ve üstün performansa ulaşmaktadır.

Küçük ölçekli tarım ve bahçecilik üreticileri için mekanik, elektrik, buharlaştırımlı, buz veya alternatif soğutma kaynaklarını kullananlar da dahil olmak üzere çok çeşitli ön soğutma sistemleri mevcuttur. En uygun sistemin seçimi, soğutulacak ürün tipi için maliyeti, verimliliği ve güvenliğinin yanı sıra beklenen finansal faydalara da dayanmalıdır. Finansal avantajları artırmak için enerji tasarrufu yönetimi uygulamalarını kullanmak için de çaba gösterilmelidir (Kitinoja1 ve Thompson, 2010).

Sabit hacimli termodinamik sistem (izokorik) kullanılarak gıdaların dondurulması, gıdaların korunmasında çeşitli avantajlar sunar. Teorik çalışma, sabit hacimli termodinamik sistemin kullanılmasının, dondurma işlemi sırasında sıcaklık değişikliklerine yol açtığını ve bunun da sistem içinde basınç değişikliklerine yol açtığını göstermektedir. Sabit hacimli sistem içindeki donma sürecini tanımlamak için problem analizini kolaylaştıran önemli bir unsuru tanımlayan yeni bir denklem seti geliştirilmiştir. Bu sistem, sistemin yalnızca bir kısmının önerilen depolama sıcaklığında dondurulabilmesini sağlar ve bu da önemli miktarda enerji tasarrufuna ve depolanan gıdanın kalitesini artıracak depolama koşullarına yol açar (Năstase, 2016).

Tommie Månsson, süpermarketlerin, özellikle gıda endüstrisinde, Almanya'daki en önemli enerji tüketicilerinden birini oluşturduğu ve enerji verimliliğini artırma konusunda önemli bir potansiyele sahip olduğu ve aynı zamanda yenilenebilir enerji kaynaklarına büyük oranda bağımlı olan elektrik şebekesinin dengesine katkıda bulunduğu sonucuna varmıştır. Almanya'nın Hannover kentinde REWE tarafından Pasif Ev Enstitüsü'nün gereksinimlerine uygun modern bir süpermarket inşa edilmiştir. Ölçümler, enerji tüketiminde tasarım beklentilerinin çok ötesinde önemli bir azalma olduğunu göstermiştir. Veriler ayrıca soğutma süreçlerinde depolama kapasitesinde önemli miktarda potansiyelin altını çizmektedir. Geleceğe yönelik projeksiyonlar

yoluyla, termal depolama, özellikle buz depolama sistemlerinin eklenmesiyle Almanya'nın elektrik şebekesinin dengelenmesinde önemli bir esneklik öngörülmektedir. Mercier (2017), biyolojik bozulmayı azaltmak ve tüketicilere güvenli, yüksek kaliteli gıda sağlamak için bozulabilir gıda maddelerinin uygun sıcaklık aralıklarında korunmasından ve taşınmasından sorumlu olan Soğuk Zincirin optimumundaki verimlilikten muzdarip olduğuna dikkat çekmiştir. Her ürün için optimum aralığın üzerindeki veya altındaki sıcaklıklarda sık sık sapmalar düzenli olarak meydana gelmekte ve bu da gıda israfına yol açmakta ve gıda güvenliğini tehlikeye atmaktadır. Ticari Soğuk Zincirin mevcut durumunu değerlendirmek için kritik aşamalardaki zaman koşulları ve sıcaklıklara ilişkin saha çalışmaları gözden geçirilmiştir. Ambuko (2018), çabuk bozulan hasat sonrası malzemeler için üç düşük maliyetli depolama teknolojisini değerlendiren bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu teknolojilerin amacı soğuk zincir yönetimini geliştirmek ve hasat sonrası kayıpları azaltmaktır. Bu çalışmada, tarım ürünlerinin kalitesini korurken düşük sıcaklıklara ulaşmak için kullanılan Coolbot, buharlaştırıcı kömür soğutucu (BKS) ve sıfır enerjili tuğla soğutucu (SETS) olmak üzere üç teknoloji sergilenmiştir. Bu teknolojiler, hasat sonrası çabuk bozulan tarım ürünlerinin kaybını azaltmak amacıyla küçük ölçekli çiftçiler arasında kullanılmak üzere genişletilebilir. Hem SETS hem de BKS, hızla bozulan hasat sonrası ürünlerin geçici olarak depolanması için kullanılabilecekleri, elektriğin bulunmadığı bölgelerde faydalı olarak değerlendirilmektedir. Mittal (2014), mantarların raf ömrünü uzatmak amacıyla ön soğutma ve paketleme malzemeleri için en uygun yöntemin seçilmesi amacıyla ön soğutma yöntemlerinin beyaz düğme mantarlarının raf ömrüne etkisi üzerine bir çalışmaya yürütmüştür. Suyla soğutma, oda soğutma, vakumla soğutma, sürekli havayla soğutma gibi çeşitli ön soğutma yöntemlerinden yararlanılmıştır. Araştırmacı, ağırlık kaybı yüzdesi, görünüm, doku, tirozinaz aktivitesi gibi kriterlere göre vakumlu soğutmanın en etkili yöntem olduğunu bulmuştur. Ayrıca Yüksek Etkili Polistiren (YEP) ve Polivinil Klorür (PVC) punnetleri gibi ambalaj malzemelerinin 4 güne kadar depolama boyunca kaliteyi koruyan en iyi ambalaj malzemeleri olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, farklı yöntemler için ön soğutma süresinin önemini ve bunların depolama sırasında renk değişimi ve doku üzerindeki etkisini doğrulamak için istatistiksel analiz yapılmıştır.

Wijewardane (2014) tarafından yürütülen çalışma aracılığıyla, taze mangoların depolama ömrünü uzatmak için yerel mango üreticileri ve ihracatçıları tarafından kolaylıkla benimsenebilecek düşük maliyetli tedavilerin belirlenmesine yönelik

girişimlerde bulunulmuştur. Deneysel, "Karuthacolomban" çeşidinin mango meyveleri kullanılarak gerçekleştirilmiş ve meyvelerin %5'lik bir sodyum bikarbonat çözeltisine batırılması ve ardından ön soğutma ile 8 ppm oksalik asit uygulanması dahil olmak üzere çeşitli işlemler karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, bu yöntemin taze mangoların depolama ömrünü oda sıcaklığında ve düşük sıcaklık koşullarında sırasıyla 12 ve 24 güne kadar uzatmada en etkili yöntem olduğunu göstermiştir. Ek olarak, düşük sıcaklık koşullarında depolanan meyveler, oda sıcaklığında depolananlarla karşılaştırıldığında test edilen tüm fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerin daha iyi korunduğunu göstermiştir.

Çeşitli soğutma yöntemlerinin sarı şeftalilerin hasat sonrası kalitesine ve muhafaza süresine etkisinin araştırılması amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Sonuçlar, tüm soğutma yöntemlerinin sarı şeftalilerin depolama süresini olumlu yönde etkilemediğini göstermiştir. Bununla birlikte, buzdolabında ön soğutma (BÖS) ve soğuk suyla ön soğutma (SSÖS), şeftalilerin kalitesini koruma ve saklama sürelerini uzatmada daha iyi performans göstermiştir. Öte yandan, vakumla ön soğutma (VÖS), akışkanlaştırılmış buzla ön soğutma (ABÖS) ve kuvvetli rüzgarla ön soğutma (KRÖS) işlemleri sarı şeftalilerin bozulmasını hızlandırmıştır. Bu soğutma tedavilerinin etkileri, sarı şeftalilerdeki metabolik süreçlerdeki değişikliklerle ve antioksidan enzimlerin aktivitesiyle bağlantılı bulunmuştur. Sonuçlar, soğutma işlemlerinin etkilerinin kullanılan yöntemle ilgili olarak değiştiğini göstermektedir; bu da sarı şeftalilerin hasat sonrası depolanmasında en iyi sonuçları elde etmek için uygun yöntemin seçilmesinin önemini vurgulamaktadır (Zhang, 2022).

Rab ve ark. (2013), 2008-2009 yılları arasında hasat aşamaları ve ön soğutmanın depolanan domates meyvelerinin kalitesi üzerindeki etkisini analiz eden bir çalışma yürütmüştür. Domatesler üç farklı olgunluk döneminde hasat edilmiş ve ön soğutmaya tabi tutulmuş, ardından depolama sonrası fiziko-kimyasal özellikleri değerlendirilmiştir. Çalışma, hasat aşamalarının meyve kalitesini önemli ölçüde etkilediğini, sarı olgun aşamada hasat edilen domateslerin en düşük ağırlık kaybını ve en yüksek meyve suyu ve askorbik asit içeriğini sergilediğini, kırma aşamasında hasat edilenlerin ise en yüksek sertliği gösterdiğini bulmuştur. Ön soğutma genel olarak meyve kalitesini iyileştirmiş; işlenmiş meyvelerde sertlik ve askorbik asit içeriği artmış ve hastalık vakaları azalmıştır; özellikle sarı dönem domateslere uygulandığında etkili olmuştur.

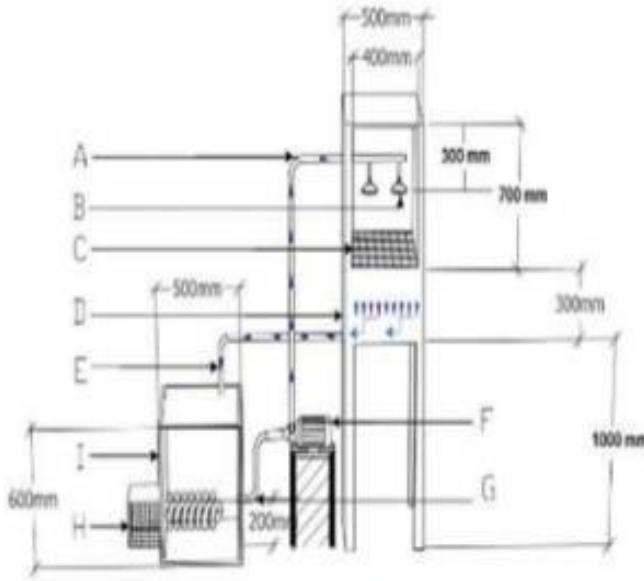
Jia (2021), havanın ön soğutulmasına alternatif havalandırma yönteminin kirazların kalitesi ve raf ömrü üzerindeki etkisi üzerine bir çalışma yürütmüştür.

Alternatif havalandırmanın kullanılmasının kirazlardaki sıcaklık heterojenliğini azaltabileceği, böylece kalitelerini artırabileceği ve raf ömrünü uzatabileceği belirtilmiştir. Ek olarak çalışma, havalandırma değişikliklerinin sayısı ile toplam ön soğutma süresi arasında orantılı bir ilişki olduğunu ortaya çıkarmıştır. Ayrıca araştırma, sıcaklık heterojenliği ve ön soğutma süresine ilişkin kapsamlı bir analiz sunarak, kirazlar için havanın ön soğutulması için en uygun yöntem olarak alternatif havalandırmanın bir kez uygulanmasını önermektedir.

Farklı paketleme sistemlerindeki ürünlerin basınçlı havayla ön soğutulmasında ön soğutma süresi, homojenlik ve enerji tüketimi gibi çeşitli faktörleri analiz etmek için Wang (2020) tarafından Hesaplama Dinamik kullanılarak bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. Sonuçlar paketleme sisteminin açılma oranının ön soğutma süresi üzerindeki sınırlı etkisini göstermiştir. Ancak ambalajın açılma oranının artmasıyla enerji tüketimi ve soğutma homojenliği azalmıştır.

Wang, (2021), vakumlu ön soğutma son sıcaklığının (VÖSSS) şeker kamışı sapının ısı ve kütle transferi üzerindeki etkisi üzerine bir çalışma yürütmüştür. Vakumlu ön soğutma sırasında toplam sistem basıncını, termal iletkenliği, ağırlık kaybını, su buharlaşma oranını ve sıcaklık dağılımını analiz etmek için deneyler ve simülasyonlar yapılmıştır. Geçici ısı transferi ve kütle korunumu etkilerini hesaba katmak için silindirik bir model geliştirilmiştir. Hem sayısal simülasyonlardan hem de deneylerden elde edilen sonuçlar, maksimum sapmaların kabul edilebilir sınırlar içinde kalmasıyla iyi bir uyum sergilemiştir. Bu nedenle güvenilir silindirik model, vakumlu ön soğutma proseslerinde ısı ve kütle transferini incelemek için etkili bir araç olarak düşünülebilir. Matouk ve EL-Kholy (2018) şekil 2.5'te gösterildiği gibi üç farklı su sıcaklığı seviyesinde, üç farklı su akış hızı seviyesinde ve iki farklı meyve boyutunda laboratuvar deneyleri yaparak bir çalışma yürütmüştür. Bu laboratuvar çalışması, elma meyveleri için taşınabilir bir ön soğutma ünitesini test etmek ve değerlendirmek ve ayrıca soğutulmamış örneklerle karşılaştırıldığında ön soğutmanın elmaların güvenli bir şekilde saklanması üzerindeki etkisini değerlendirmek için gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, soğutma işleminin ilk aşamasında elma sıcaklığının azalmasıyla bir hızlanma olduğunu, ürün sıcaklığı soğutma suyunun sıcaklığına yaklaştıkça soğutma hızının yavaşladığını göstermiştir. Ayrıca su akış hızının artması, meyve boyutunun küçülmesi ve su sıcaklığının azalmasıyla soğutma katsayısı değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Depolama deneyleri, önceden soğutulmuş elma meyvelerinin, soğutulmamış örneklerle karşılaştırıldığında daha düşük nem kaybı,

daha düşük toplam çözünür katı madde içeriği, daha yüksek meyve sertliği ve daha yüksek toplam şeker içeriği sergilediğini göstermiştir.



Ölçek 1:20

Tüp	A
Püskürtücüler	B
Paslanmaz çelik ağ	C
Su dönüş tankı	D
Dönen tüp	E
Su pompası	F
Buharlaştırıcı	G
Soğutma ünitesi	H
Ana su tankı	I

Şekil 2.5. Taşınabilir ön soğutma ünitesinin şematik diyagramı.

Mango meyvelerinin mevsiminin kısa olması, raf ömrünün sınırlı olması ve raf ömrünün acilen artırılmasına ihtiyaç duyulması nedeniyle, rastgele tasarımı tamamlanmış faktörler kullanılarak ön soğutma ve soğuk depolama üzerine bir çalışma yapılmıştır. Çalışma farklı ön soğutma sıcaklıklarını ve çeşitli depolama sıcaklıklarını içermektedir. Araştırmada Kesar ve Alphonso gibi Hint mango çeşitleri kullanılmıştır. Sonuçlar, 12°C depolama ve ön soğutmanın, meyvelerin ağırlık ve boyutunda artışa katkıda bulunurken, kayıp oranlarını da önemli ölçüde azalttığını göstermiştir (Mane ve ark., 2021).

3. MATERYAL VE METOT

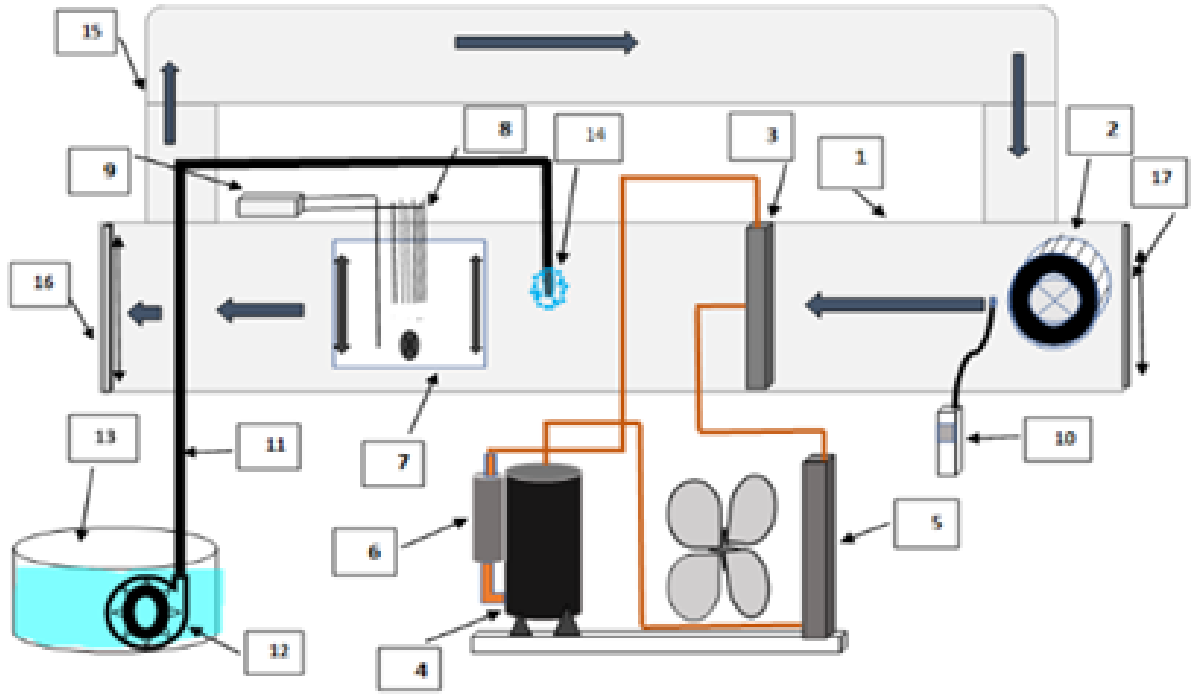
3.1 Genel Bakış

Bu bölümde kullanılan bileşenlerin, bunların teknik özelliklerinin ve üretim süreçlerinin açıklanmasıyla ilgili konular ele alınmaktadır. Ek olarak, deneylerin yürütülmesi için kullanılan metodoloji de tartışılmaktadır.

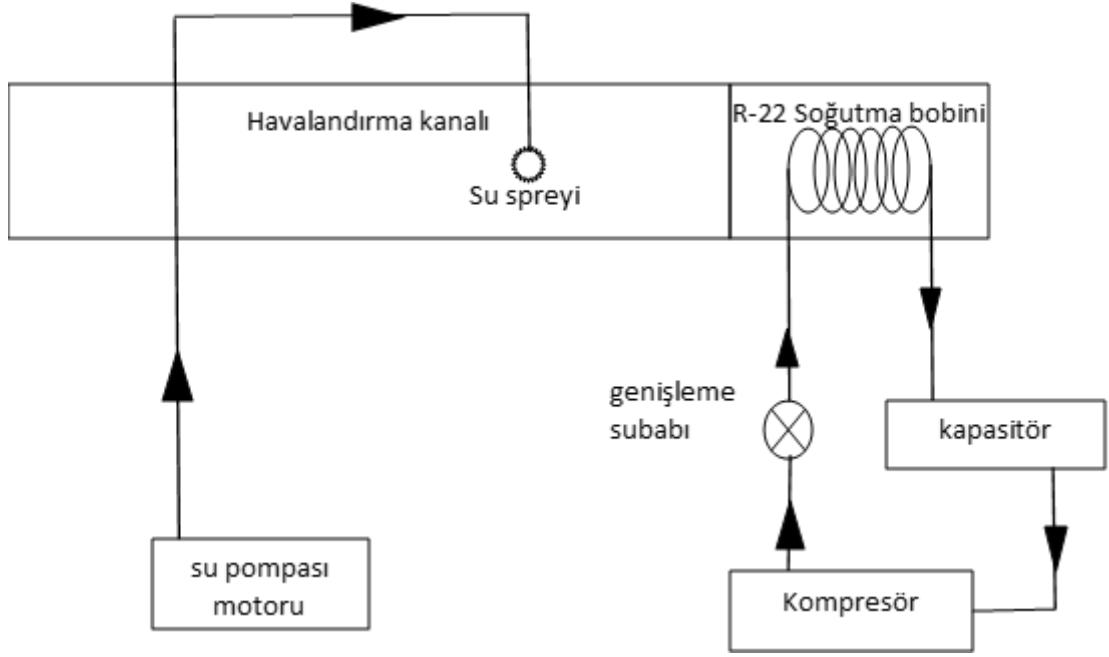
3.2 Deneysel Konfigürasyonun Açıklaması

Deney düzeneği Şekil 3.1'de, karşılık gelen elektrik şeması ise Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Bu düzenek kesit alanı alüminyum kaplı poliüretan malzemeden (kalınlığı 200-25 mikrometre arasında değişen) yapılmış dikdörtgen bir hava kanalından (1) oluşmaktadır. Hava, sıcaklığı düzenlemek için elektrik motoru görevi gören değişken hızlı bir fan (2) vasıtasıyla kanal içerisinde sirküle edilir. Havanın soğutulması, doğrudan soğutma olarak bilinen buhar sıkıştırma döngüsü (R-22) için havanın bir dizi evaporatör soğutma bobini (3) üzerinden geçmesiyle gerçekleşir. Daha sonra ortaya çıkan buhar kompresör (4) tarafından çekilmektedir. Kompresör, ısısını hava soğutmalı kondensere (5) aktarır ve burada yoğunlaşarak sıvı hale gelir. Bu sıvı soğutucu daha sonra genişleme valfleri (6) kullanılarak düşük basınçlı, düşük sıcaklıktaki bir buhara kısıılır. Gıda ambalaj bölgesi olarak bilinen bir alanla donatılmış, gıda malzemelerinin test edilmesi için soğutulmuş hava kanalı içerisinde özel bir alan (7) tasarlanmıştır. Test bölgesi ve gıda paketi bölgesinin farklı alanlarındaki sıcaklık, termokupl çiftleri (8) kullanılarak ölçülür. Hava sıcaklığı ve nemi dijital bir multimetre (9) kullanılarak ölçülür. Hava hızı, anemometre (10) adı verilen taşınabilir bir dijital cihaz kullanılarak ölçülür. Nemlendirme işlemi, su emme pompasına (12) bağlı bir hortumdan (11) oluşan ve haznedan (13) suyu hortum vasıtasıyla püskürtme başlığına (14) çeken bir su spreyi ile gerçekleştirilir. Gıda maddelerinin gerektiği gibi nemlendirilmesi için püskürtme başlığının manuel kontrolü mevcuttur. Ana kanalın ucunu başlangıcına bağlayan, ana kanalla aynı malzemelerden yapılmış ikincil bir kanal (15) aracılığıyla soğuk hava devridaim yapılabilmektedir. Ayrıca ana kanalın ucundaki çıkış kapısı (16) gerektiğinde havanın tahliyesi için kullanılabilir. Ana kanalın (17) başlangıcında yer alan ikinci bir kapı, ana ve tali kanallar arasındaki hava sirkülasyonunun kontrol edilmesine ve kapatılmasına olanak sağlamaktadır.

1. Ana hava kanalı	9. dijital ölççek
2. Ufleyici	10. anemometre
3. R-22 buharlaştırıcı soğutma bobini	11. hortum
4. Kompresör	12. su pompası motoru
5. Yoğunlaştırıcı	13. Su havzası
6. Genleşme valfleri	14. su spreyi
7. Gıda paketi	15. ikincil hava kanalı
8. Termokupllar	16. hava kapısı sonu
	17. birincil hava kapısı



Şekil 3.1. Zorunlu havayla ön soğutma için deneysel düzenlemeyi gösteren diyagram.



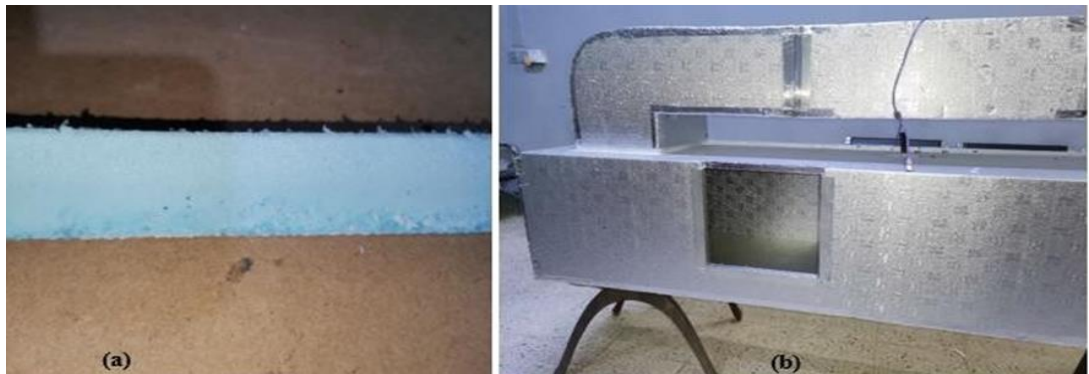
Şekil 3.2. Deney düzeneğini gösteren diyagram.

Şekil 3.2, ön soğutucunun bileşenlerinin deney düzeneğini gösteren şematik bir diyagramdır

3.3. Ekipman Özellikleri

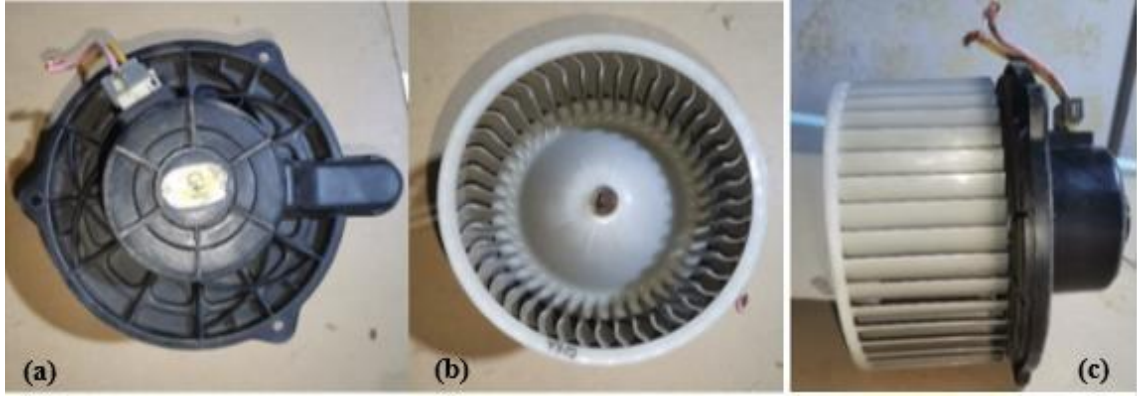
Deney düzeneğinin çeşitli bileşenlerinin özellikleri aşağıdaki gibi detaylandırılmıştır:

Hava kanalı, kalınlığı 25-200 mikrometre arasında değişen bir alüminyum tabakası ile kaplanmış poliüretandan yapılmıştır. Şekil 3.3a Hava kanalı duvarının kesiti. Uzunluğu 2 metre, genişliği 46 cm, yüksekliği 39 cm, duvar kalınlığı ise 8 mm'dir. Bu kanal 185 cm uzunluğunda, 30 cm genişliğinde, 24 cm yüksekliğinde ve 8 mm kalınlığında bir hava kanalına bağlanmaktadır. Bu ikincil kanal, havayı ana kanalın ucundan başına kadar yeniden sirküle etmek için kullanılır, Şekil 3.3b. Birincil ve ikincil hava yollarının son görünümü.



Şekil 3. 3, a, b. hava kanalının son şeklini ve kanal duvarının kesitini göstermektedir.

Hava üfleyici: Kullanılan tip doğrudan tahrikli, hız kontrollü santrifüj üfleyicidir (üç hızlı). Hyundai Sonata otomobillerine soğutma havası üflemek için kullanılır. Hava kanalının duvarına monte edilir ve hava giriş kapısına yakındır (Şekil 3.4), (a) Üfleyicinin arkadan şekli, (b) Üfleyicinin önden şekli, (c) Üfleyicinin yandan görünüşü



Şekil 3.4. Santrifüjlü üfleyici.

Kompresör tipi Samsung olup, motor voltajı 1PH/220 VOLT olup R-22 soğutucu gazla çalışmaktadır.

Hava soğutmalı yoğunlaştırıcı kondenser tipi, 3/8 inç çapında bakır borulara ve alüminyum kanatlara sahip hava basınçlı hava kondenser tipidir. Kapasitesi 2 tondur (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Kondenser.

Genleşme valfleri, buharlaştırıcı soğutma bataryası (R-22) ile birlikte tek genleşme valfi kullanılır.

3.4. Deney Düzenəğinin İmalatı

Kurulum hazırlığı, ekipman etiketlemesinin yanı sıra deney kurulumu için belirli parçaların gerekli şekillere, boyutlara ve spesifikasyonlara göre temizlenmesini, onarılmasını ve üretilmesini içerir. Her bileşen için gerçek deneysel kurulum sırayla açıklanmaktadır:

Kompresör, iki ton kapasiteli Samsung kompresörün onarımları yapılmıştır. Kompresör onarım prosedürleri şunları içermektedir:

1. Bakır bağlantı borularının boylarında değişiklik yapılması ve değiştirilmesi.
2. Kompresör yağının değiştirilmesi.
3. Bakır boruların uygun malzemelerle yalıtılması.

Hava Kanalı, 2 metre uzunluğunda dikdörtgen hava kanalı imalatı yapılmıştır. Kare şeklindeki, hareketli ve yalıtımlı cam pencereden görülebilen, gıda malzemelerinin yerleştirilmesi için belirlenmiş bir alana sahiptir. Bu birincil hava kanalı, kanal içindeki soğuk havanın devridaim edilmesi amacıyla ana kanalın ucunu başlangıcına bağlayan nispeten daha küçük bir ikincil kanala bağlanır. Ana hava kanalı, hava tahliyesi için kontrol edilebilir bir kapı içerir. Hem birincil hem de ikincil hava kanalları, yalıtkan bir alüminyum katmanla kaplanmış poliüretan malzemedir yapılmıştır. Bu malzeme yalıtım özellikleri ve hafif yapısı nedeniyle seçilmiştir. Kanal bileşenleri yapışkan malzeme kullanılarak birleştirilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Hava kanalı parçalarının montajı.

Yoğunlaştırıcı, iki tonluk hava soğutmalı yoğunlaştırıcı, gerekli temizlik prosedürlerinin yanı sıra sızıntı olmadığından emin olmak için gerekli incelemelerden geçtikten sonra kullanılmıştır.

Elektrik panosu, deneyin kurulumu için ayrı bir elektrik panosu tasarlanmıştır. Üfleleyici hızını düzenlemek, başlatmak ve durdurmak için kontrol anahtarları içermektedir. Ayrıca kompresör için ayrı anahtarlar mevcuttur.

3.5. Deneysel Prosedürler

Deneysel prosedürler borularda sızıntı tespiti ve kompresör yağı dolumu gibi çeşitli aşamaları kapsar.

Borularda su ve sabun yöntemi ile sızıntı tespiti, kompresöre yağ doldurulmadan önce soğutma sistemindeki tüm boruların sağlamlığı kontrol edilir. Bu, sisteme basınçlı hava ile basınç uygulanarak ve ardından incelenecek parçalara su ve sabun karışımı uygulanarak gerçekleştirilir. Eğer delik varsa kabarcıklar oluşur ve gerekli onarımlar klasik yöntemlerle gerçekleştirilir. Ayrıca tüm vanaların düzgün çalışıp çalışmadığı kontrol edilir.

Kompresör yağının doldurulması, su ve sabun yöntemiyle incelenen sistemin tüm parçalarında sızıntı olmadığı teyit edildikten sonra, varlığı sistemi olumsuz etkilediği için sistem bir süre hava ve nemden arındırılması için bırakılır. Daha sonra sistem, R-22 soğutucu kapasitesinin tamamıyla doldurulur.

Bakır köstence termokuplları, bakır ve konstantan gibi farklı malzemelerden yapılmış tellerden oluşan bir termokupl türüdür. Bakır, yüksek ısı ve elektrik iletkenliğine sahip, verimli bir ısı ve elektrik iletkenidir. Öte yandan köstence, ısıya maruz kaldığında yüksek stabilitesi ile karakterize edilen bir nikel-bakır alaşımıdır. Bakır ve köstence malzemelerinin sıcaklık değiştikçe farklı özellikleri nedeniyle, bakırın sıcak bağlantı noktasını köstencenin soğuk bağlantı noktasına bağlamak, iki nokta arasındaki sıcaklık farkına bağlı olarak bir elektrik akımı üretir. Bu elektrik sinyali uygun ölçüm cihazları kullanılarak ölçülebilir ve belirli bir sıcaklığa dönüştürülebilir. Bu termokupllar deneyde kullanılan gıda maddelerinin çeşitli yerlerindeki sıcaklığı ölçmek için kullanılmıştır.

Aşağıdakiler de dahil olmak üzere farklı tipte bakır köstence termokuplları mevcuttur:

- Tip K: Geniş sıcaklık ölçüm aralığı (-200°C ila 1260°C) nedeniyle çeşitli uygulamalarda yaygın olarak kullanılan, sıcak bakır bağlantısı ve soğuk köstence bağlantısından oluşur.

- Tip J: Tipik olarak sıcaklık ölçümleri için orta sıcaklık aralığında (-40°C ila 750°C) kullanılan, sıcak bakır bağlantısı ve soğuk köstence bağlantısından oluşur.

- Tip T: Genellikle düşük ila orta sıcaklık ölçümlerinde (-200°C ila 350°C) kullanılan, sıcak bir bakır bağlantısı ve soğuk bir köstence bağlantısından oluşur.

- Tip E: Genellikle sıcaklık ölçümleri için orta aralıkta (-200°C ila 900°C) kullanılan, sıcak bakır bağlantısı ve soğuk köstence bağlantısından oluşur.

3.6 Ölçüm ve Kontrol

Sıcaklık meyve veya sebzelerin ortasında, ortamının içinde ve yüzeyinde ölçülür. Bu, bakır-köstenceden yapılmış bimetalik termokupllar kullanılarak elde edilir. Ayrıca gıda maddelerini çevreleyen hava kanalındaki sıcaklık ve nem de ölçülür (Şekil 3.7) (Şekil 3.8).

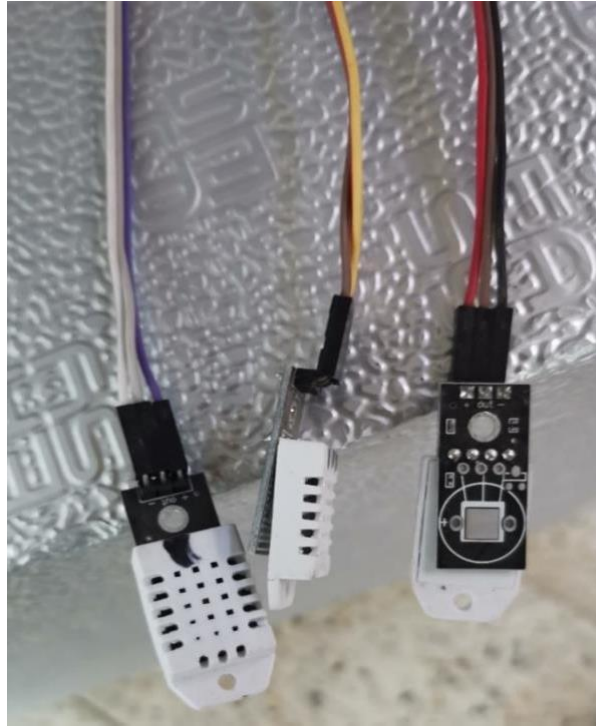


Şekil 3.7. Düşük sıcaklıkları ölçmek için termokupllar.

Hava hızı ölçümü, hava hızı hareketli bir anemometre cihazı kullanılarak ölçülür. Bu kompakt dijital cihaz, istenilen yerlerde hava hızını ölçmek için kullanılır.

Nem ölçümü, nem, hava kanalının hem içindeki hem de dışındaki nem seviyelerini kaydeden özel nem sensörleri kullanılarak ölçülür.

Gıda ürünleri belirlenen yere (gıda paketi) yerleştirildikten sonra nemlendirme işlemi sırasında, kaynağından su pompalamak için kullanılan elektrik motoruna bağlı küçük bir su spreyi kullanılarak hava kanalına su püskürtülür.



Şekil 3.8. Nem ve sıcaklığı ölçmek için termokupllar.

Gıda ürünleri, piyasalarda talebin artması ve bunlarla ilgili mevcut çalışmaların bulunmaması nedeniyle seçilmiştir. Bu ürünler şunları içerir:

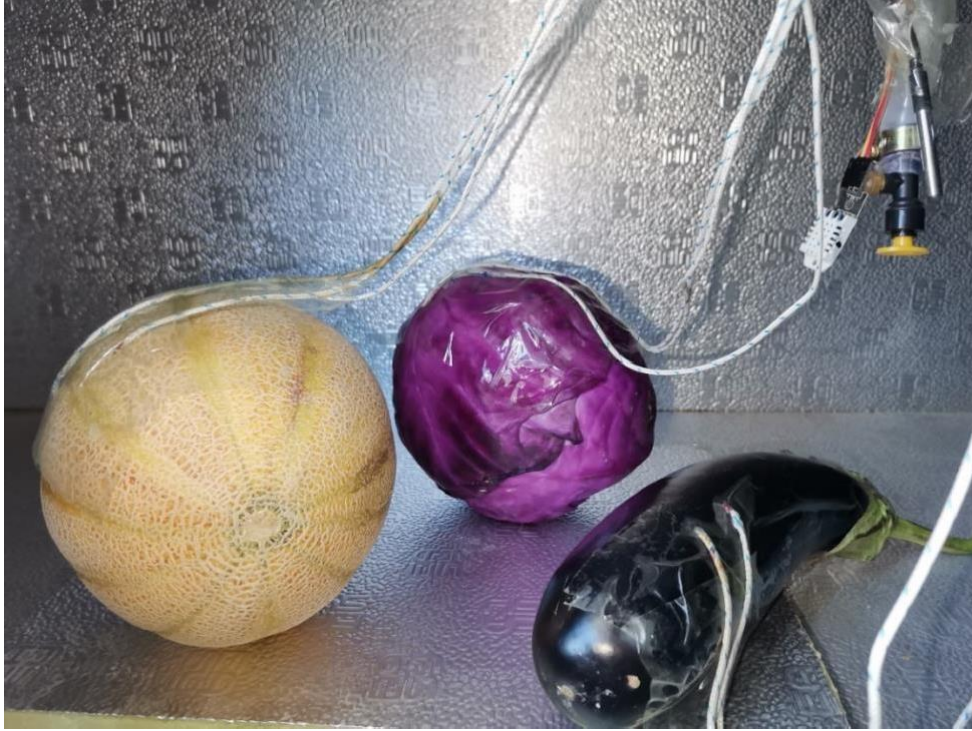
Kavun: Yetiştirilmesi için ılık toprağa ihtiyaç duyan ve yazın hasat edilen mevsimlik bir üründür. Depolama sıcaklığı (-2,2-5) izin verilen maksimum sıcaklıktır (-2,2) ve depolama süresi (2-3) hafta arasında değişmektedir. Kavunun soğuma durumunu incelemek için birincisi merkezde, ikincisi merkez ile yüzey arasındaki ortalama mesafede ve üçüncüsü yüzeyde olmak üzere üç termokupl kullanıldı.

Patlıcan: Verimli kumlu topraklarda yetişen tek yıllık otsu bir bitkidir. Depolama sıcaklığı (10-12) arasında değişmekte olup patlıcanın tolere edebileceği maksimum sıcaklık (-0,8) olup depolama süresi 14 gündür. Patlıcanın sıcaklığını ölçmek için birincisi kutunun içinde, ikincisi yüzeyde olmak üzere iki termokupl kullanıldı.

Kırmızı lahanalar: Kışlık bir bitki olup, soğuk ve nemli iklimlerde yetişir. Yapraklarının rengi toprağın pH'ına bağlıdır çünkü toprak ne kadar asitli olursa yapraklar o kadar kırmızı olur. Depolama sıcaklığı (0-4) arasında ve depolama süresi (2-4) hafta arasında değişmektedir. Kırmızı lahanadaki sıcaklıkları hesaplamak için birincisi merkezde,

ikincisi yüzey ile merkez arasındaki ortalama mesafede ve üçüncüsü yüzeyde olmak üzere üç termokupl kullanıldı.

Termokupllar gıda ürünlerine, Şekil 3.9’da gösterildiği gibi eklenir; Kavun ve kırmızı lahananın her birine üç adet termokupl, patlıcana ise iki adet termokupl eklenir.



Şekil 3.9. Okuma alırken gıda ürünleri.

3.7 Isı Transfer Katsayısının Ölçülmesi

Isı transfer katsayılarını hesaplamak için kullanılan teknikler bilimsel olarak üç bölüme ayrılır:

1. Kararlı Durum Sıcaklık Mekanizmalarının Hesaplanması.
2. Geçici Sıcaklık Mekanizmalarının Hesaplanması.
3. Yüzey Isı Akış Mekanizmalarının Hesaplanması.

Geçici sıcaklık mekanizmalarının, özellikle de ısı transfer katsayılarının hesaplanması, bu yöntemler arasında en yaygın kullanılan tekniktir. Bu teknik, yüzeydeki ısı transfer katsayısını belirlemek için soğutma veya dondurma işlemi sırasında ürünün sıcaklığının zaman içinde ölçülmesini içerir.

Yüzeydeki ısı transfer katsayısını bulmak için geçici sıcaklık hesaplama yöntemi kullanılarak yapılan deneylerde iki durum dikkate alınmıştır:

1. Düşük Biot sayısı ($Bi \leq 0,1$).

2. Büyük Biot sayısı ($Bi > 0,1$).

Biot sayısı Bi , dış ısı transfer direncinin iç ısı transfer direncine oranıdır ve matematiksel olarak şu şekilde tanımlanır (Albayati, 2006):

$$Bi = \frac{hR}{k} \quad (3.1)$$

Biot sayısı küçük olduğunda, vücut içindeki ısı transfer direnci ihmal edilebilir düzeydedir, dolayısıyla herhangi bir zamanda vücut boyunca eşit sıcaklık elde edilir.

Öte yandan Biot sayısının büyük olması vücut içindeki ısı transfer direncinin ihmal edilemeyecek düzeyde olduğunu ve vücut içinde sıcaklık farklılıklarına yol açtığını gösterir.

Bir gıda ürününün yüzeyindeki ısı transfer katsayısının dahili termal değişimle ölçülmesi, soğutma eğrileri kullanılarak gerçekleştirilebilir. Plakalar, silindirler veya sonsuz küreler gibi tek bir boyuttan oluşan geometrik olarak basit gıdalar için, tek boyutlu geçici ısı denklemi için pratik ve hesaplamalı çözümler mevcuttur. Bu çözümlerle soğutma eğrisinin eğiminden yararlanılarak soğutma işlemine ilişkin Biot sayısı hesaplanabilir. Biot numarası aracılığıyla ısı transfer katsayısı belirlenebilir (Albayati, 2006).

$Bi < 1$ olduğunda ısı transferi termal yük ile sınırlıdır. Bu senaryoda, ürünün şekli ve hava akış hızı ürün simülatörü tarafından taklit edilirse, hacimsel ısı kapasitesinin simetrik olması koşuluyla herhangi bir termal iletkenlik kullanılarak ürünün eğrisine uygun bir termal eğri elde edilebilir.

$Bi > 1$ olduğunda iletim ısı transferini kısıtlar. Bu gibi durumlarda Biot sayıları eşit olmak şartıyla (Redding, 2016) sadece ısı yayılım kapasitesi eşleştirilerek ürün eğrisine uygun bir termal eğri elde edilebilir.

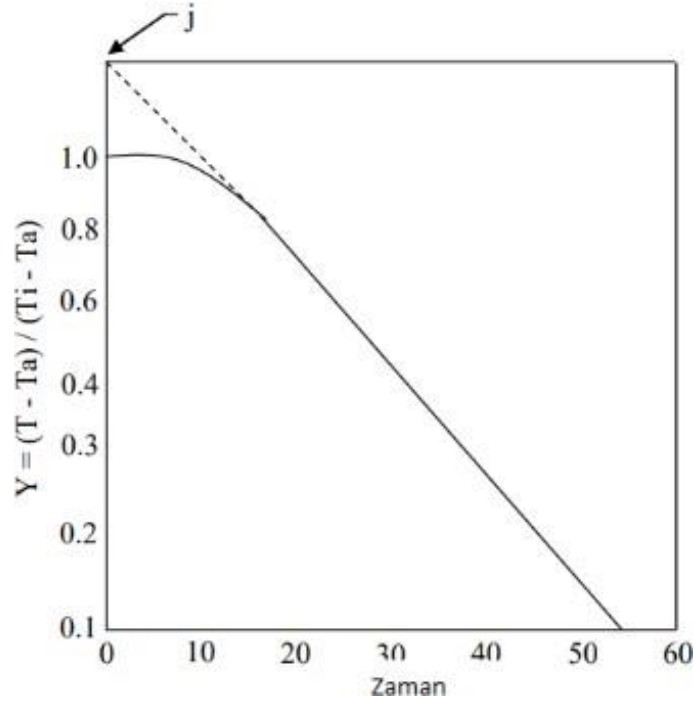
Tamamlanmamış bağıl termal fark, Y , aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$Y = \frac{T - Ta}{Ti - Ta} \quad (3.2)$$

Şekil 3.1'den soğuma eğrisinin doğrusal kısmı aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$Y = je^{-ct} \quad (3.3)$$

C, soğutma eğrisinin doğrusal bölümünün eğiminin çıkarılmasıyla elde edilen soğutma katsayısıdır.



Şekil 3.10. Tipik soğuma eğrisi.

Paralel plakalar, silindirik nesnelere ve sonsuz büyük küreler gibi basit geometrik şekiller için soğuma veya donma süresi için analitik bir ifade elde edilebilir. Bu ifadeleri elde etmek için aşağıdaki varsayımlar benimsenmiştir:

1. Yiyeceğin ve soğutma ortamının özellikleri sabittir.
2. Gıdanın içindeki ısı oluşumu veya nem kaybı dikkate alınmaz.
3. Besin her yönde homojen ve izotropdur.
4. Gıdanın içindeki başlangıç sıcaklık dağılımı aynıdır.
5. Isı iletimi yalnızca tek yönde gerçekleşir.
6. Gıda yüzeyi ile soğutma ortamı arasında konveksiyon yoluyla ısı transferi gerçekleşir.

Bu varsayımlar altında, sonsuz büyük geometrik şekiller için tek yöndeki geçici ısı transferi denklemi aşağıdaki şekilde formüle edilebilir:

$$\frac{1}{x^m} \frac{\partial}{\partial x} \left(x^m \frac{\partial T}{\partial x} \right) = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3.4)$$

$$0 \leq X \leq X_0 \text{ For } t \geq 0,$$

Burada:

m = Döşeme için 0, silindir için 1, küre için 2

x = dikkate alınan noktanın levhanın merkezi düzleminde, silindirin merkezi ekseninden veya kürenin merkezinden uzaklığı (Albayati, 2006).

3.8. Başlangıç ve Sınırlayıcı Koşullar

Başlangıç durumu, bilimsel literatürde ön soğutma işlemine ilişkin önceki analizlerin çoğu, ayırt edilen boyut (döşemenin yarı genişliği, silindirin veya kürenin yarı yarıçapı) boyunca sabit bir başlangıç sıcaklığı varsayımına dayanmaktadır.

$$T = T_i \quad (3.5)$$

Bu koşul, düzenli geometriye sahip gıda ürünlerine yönelik simetrik soğutma senaryolarının her durumunda geçerlidir.

Merkez sınır durumu, döşemenin merkez yüzeyindeki veya silindirin merkez çizgisi boyunca veya kürenin merkezindeki simetrik koşul, aşağıdaki şekilde tanımlandığı gibi başlangıç sınır koşulunu sağlar:

$$\frac{\partial T}{\partial X} = 0 \quad (3.6)$$

$$t \geq t^o \quad X = 0$$

Sınır yüzey durumu, ikinci sınır koşulu ürün yüzeyindeki ısı transferinin türünden kaynaklanmaktadır. Ürün yüzeyinden iletim yoluyla ısı transferi sorumluyorsa sınır koşulu aşağıdaki gibi temsil edilebilir:

$$h(T - T_a) = \frac{dT}{dr} K \quad (3.7)$$

Böylece, ön soğutma sırasında geçici ısı transferini analiz etmek için matematiksel problemin formülasyonu tamamlanmıştır. Bu çalışmada deneysel soğutma eğrilerinden ısı transfer katsayılarını hesaplamak için kullanılan yöntem, bir kürenin boyutsuz merkez sıcaklığı için Incropera ve Dewitt tarafından sunulan denklemin (3.4) sonsuz seri çözümüne dayanmaktadır:

$$Y = \frac{T - T_a}{T_i - T_a} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2Bi \sin \lambda n}{\lambda n - \sin \lambda n \cos \lambda n} e^{-\lambda n^2 f^o} \quad (3.8)$$

$Fo \geq 0,2$ olan ilk gecikme süresi sona erdiğinde, denklem 3.8'deki ikinci ve daha yüksek dereceli sınırlar dikkate alınmaz. Bu nedenle denklem 3.8 aşağıdaki forma dönüştürülebilir:

$$Y = \frac{2Bi \sin \lambda i}{\lambda i - \sin \lambda i \cos \lambda i} e^{-\lambda i^2 f^o} \quad (3.9)$$

λi : katsayı ayrı bir denklemle belirlenir.

$$\lambda i \tan \lambda i = Bi \quad (3.10)$$

λ_1 katsayısı aynı zamanda denklem (5.3)'te görünen soğuma katsayısı C'den de türetilebilir. (5.3) ve (5.9) denklemlerini karşılaştırarak şu gözlemlenebilir:

$$-Ct = \lambda l^2 f^\circ \quad (3.11)$$

λ_1 değeri denklem (3.11) değiştirilerek elde edilebilir.

$$\lambda l = \sqrt{\frac{\overline{Ct}}{f^\circ}} \quad (3.12)$$

Daha sonra Biot sayısı B_i , denklem (5.10)'dan çıkarılabilir ve yüzey ısı transfer katsayısı h , Biot sayısı tanımı denklem (5.1)'in cebirsel manipülasyonu yoluyla elde edilebilir. Gıdaların termal iletkenliği ve yayılımı, Sweed ve Ryedale tarafından türetilen aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanabilir:

$$K = 0.148 + 0.493 \quad (3.13)$$

$$\alpha = 0.088 * 10^{-6} + (\alpha_w - 0.088 * 10^{-6})W \quad (3.14)$$

B , ağırlığa göre nem içeriği oranıdır (ondalık birimler halinde).

3.9. Nem ve Buharlaşmalı Isı

Ürünlerin nem içeriğindeki kayıp ihmal edilebilir düzeydeyse ve suyun sıvıdan buhara dönüşümü için gereken ısının, ön soğutma sırasında ürünün sıcaklığındaki değişikliklerle sabit kaldığı varsayılırsa, ürünler tarafından kaybedilen ısının kesirlik kısmı, ürünlerin toplam ısısının bir kesri olarak aşağıdaki şekilde hesaplanabilir (Redding,2016):

$$V = \frac{M\Delta H_{vap}}{C_p \Delta T} \quad (3.15)$$

~~Ürünün~~ soğuma sırasında su emilimi ve yüzey yoğunlaşması nedeniyle kaybettiği nemin kesirli kısmını deneysel olarak ölçmek zor olabilir. Ön soğutma döneminde ölçülen nem kaybı oranı ile aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$M = 100Kt(P_{surf} - P_{air})\Delta T \quad (3.16)$$

Ürüne ait kt olarak ifade edilen kütle aktarım katsayısı, tarım ürününün cinsine ve ölçü birimine göre değişmektedir. Kütle cinsinden ölçülür ancak bazı durumlarda alan cinsinden de ifade edilebilir; bu da kt değerlerinin ürün türüne ve ölçüm koşullarına bağlı olarak önemli ölçüde dalgalandığını gösterir. Bu nedenle, ürünün kütle transfer katsayısı genellikle birimin hava filmi ve ürün dış katmanının kütle transfer katsayılarının terslerinin toplamına bölünmesiyle aşağıdaki şekilde hesaplanır (Redding, 2016):

$$Kt = \frac{1}{\frac{1}{K_{air}} + \frac{1}{K_{skin}}} \quad (3.17)$$

Doymuş havanın bağıl nemi, sıcaklığına bağlı ikinci dereceden bir denklemlerle aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Rao, 1993).

$$Wps = A\sigma + A_1Ts + A_2Ts^2 \quad (3.18)$$

$$A\sigma = 3.879 \times 10^{-3} K^{-1} \quad (3.19)$$

$$A_1 = 2.173 \times 10^{-4} K^{-1} \quad (3.20)$$

$$A_2 = 1.605 \times 10^{-5} K^{-1} \quad (3.21)$$

Ürün yüzeyindeki bağıl nem de aynı denklem (3.18) kullanılarak aşağıdaki sabitlerin değerleri kullanılarak hesaplanabilir.

$$A\sigma = 0.4206547 \times 10^{-2} \quad (3.22)$$

$$A_1 = 0.1077632 \times 10^{-3} K^{-1} \quad (3.23)$$

$$A_2 = 0.2153878 \times 10^{-4} K^{-2} \quad (3.24)$$

Kabın yüksekliği boyunca herhangi bir noktadaki havanın ıslak termometre sıcaklığı, aşağıdaki gibi örtülü psikrometrik ilişki kullanılarak belirlenir (Gowda, 1997)

$$W_{ma} = \frac{(2501 - 2.381T_{wb})Ws - (T_{ma} - T_{wb})}{2501 + 1.805T_{ma} - 4.186T_{wb}} \quad (3.25)$$

3.10. Soğutma Verimliliği

Soğutma verimliliği, buharlaşma yoluyla soğutulan havanın doyma durumuna ne ölçüde yaklaştığını yansıtır. Bu verimlilik ekipmanın tasarımından, durumundan ve ayarlanmasından etkilenir. Doğrudan buharlaşmalı soğutma sistemlerinin performansını etkileyen en önemli faktörlerden biri soğutma verimliliğidir. Bu parametre tahliye edilen havanın doyma durumuna ne kadar yakın olduğunu gösterir. Watt ve Brown soğutma verimliliği için aşağıdaki tanımı yapmıştır (Suoying ve ark., 2015).

$$\eta = \frac{T_{a1} - T_{a2}}{T_{a1} - T_{wb}} \times 100\% \quad (3.26)$$

3.11. Nusselt-Reynolds İlişkileri

Meyveler için Nusselt-Reynolds ilişkilerini kurmak amacıyla boyutsuz analiz kullanılmıştır. Isı transfer katsayısını temsil eden boyutsuz bir parametre olan Nusselt sayısı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır:

$$Nu = \frac{hd}{Ka} \quad (3.27)$$

Fiziksel değerlendirme, ısı transfer sürecinin akış alanı karakteristiklerine ve dolayısıyla Reynolds sayısının değerine bağlı olduğunu ortaya çıkarır:

$$Re = \frac{Ud}{\nu} \quad (3.28)$$

Isı ve momentum difüzyon hızları arasındaki ilişki Prandtl sayısına, Pr'ye bağlıdır ve dolayısıyla Prandtl sayısı, ısı transfer katsayılarının hesaplanmasında önemli bir faktördür:

$$Pr = \frac{\alpha}{\nu} \quad (3.29)$$

Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki ilişki çoğu zaman aşağıdaki gibi bir kuvvet yasası işlevi biçimini alır:

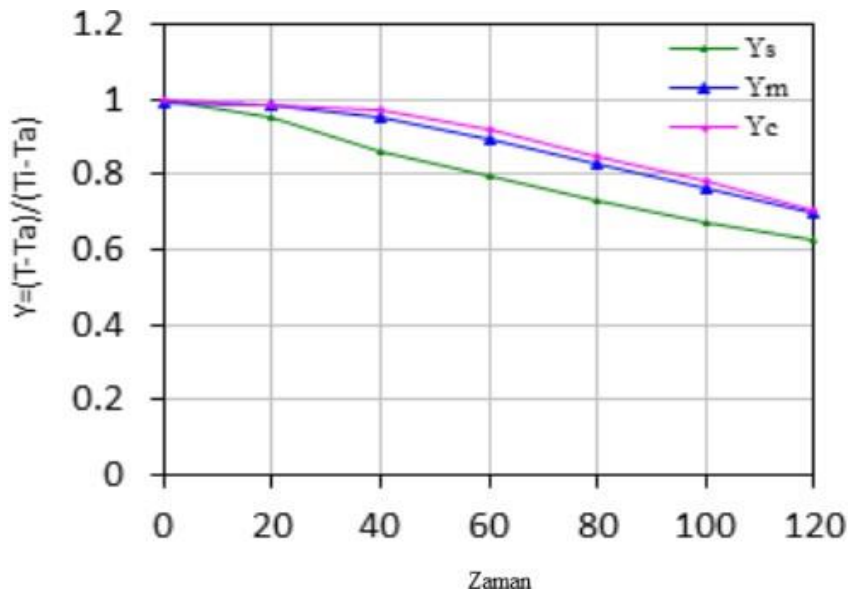
$$Nu = zRe^n \quad (3.30)$$

Burada z ve n deneysel verilerden çıkarılabilecek değerler sabittir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

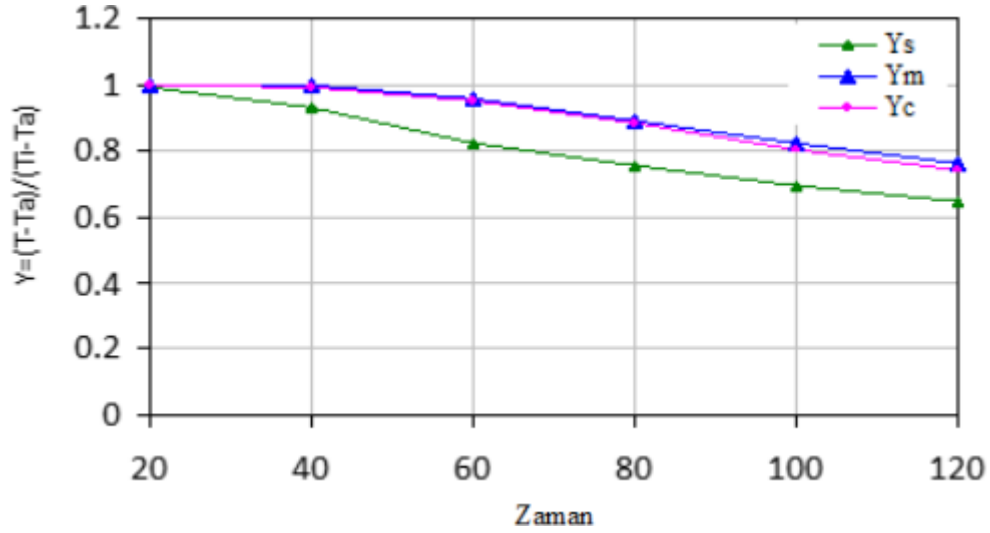
Kavun, kırmızılahana ve patlıcan gibi çabuk bozulan gıda malzemelerinin ön soğutma çalışmalarına yönelik deneysel sonuçlar aşağıda tartışılmaktadır:

Şekil 4.1 (a,b,c)'de, kavun için her 20 dakikada bir, üç hava akış hızı (1,8, 3,6, 4,8) m/s kullanılarak alınan t süresi ve boyutsuz sıcaklık oranı Y çizilmiştir. Şekil 4.1a üç konumdaki üç soğuma eğrisini göstermektedir; ilk eğri (boşluğun) merkezini temsil eder ($R=d/2$), ikinci eğri yüzey ile merkez arasındaki ortalama mesafede 2 cm uzaktadır ($R=d/4$), çizilen üçüncü eğri ise karpuzun yüzeyindedir ($R=0$). Bu şekilde, kapılar kapalıyken karpuzun üzerinden en düşük hız olan 1,8 m/s ile hava geçirilmekte ve iki saatlik bekleme sonunda kanal dışındaki sıcaklığın (25,8-29,5) arasında değiştiği kanal içindeki hava geri dönüşüme tabi tutulmaktadır. Grafikten karpuzun üç konumunda boyutsuz sıcaklık oranında bir azalma olduğunu görülmektedir; yüzeydeki azalma merkezdekenden daha büyük, ortalamadaki ve merkezdeki azalma ise çok yakın ve yüzeyden daha azdır. Soğutmanın ilk 60 dakikasında yüzeydeki sıcaklığın 0,79'a, 60 ila 120 dakika arasında ise 0,625'e düştüğü görülmektedir.



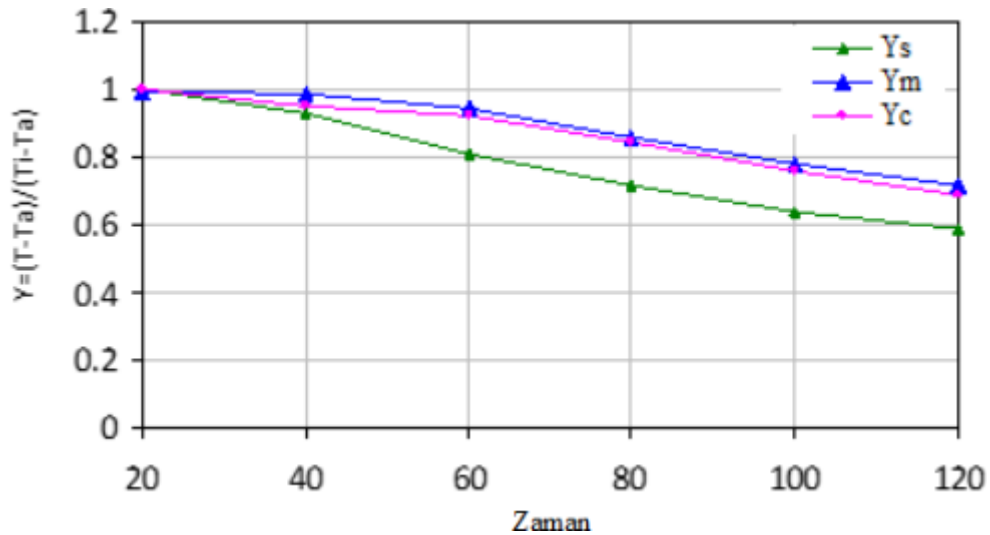
Şekil 4.1a. 1,8 m/s hızında karpuz soğutma işlemi (kapılar kapalı).

Şekil 4.1b'de hava akış hızı aynı hava sıcaklığında ve kapılar kapalıyken ikinci hız olan 3,6 m/s'ye çıkarıldığında, grafikten, üç konumdaki boyutsuz sıcaklık oranının azalmasında bir artış olduğu görülmektedir. Karpuzun iki saat sonra yüzeydeki boyutsuz sıcaklık oranının 0,59 olması, hava akış hızının artmasıyla sıcaklık düşüş oranının da arttığını göstermektedir.



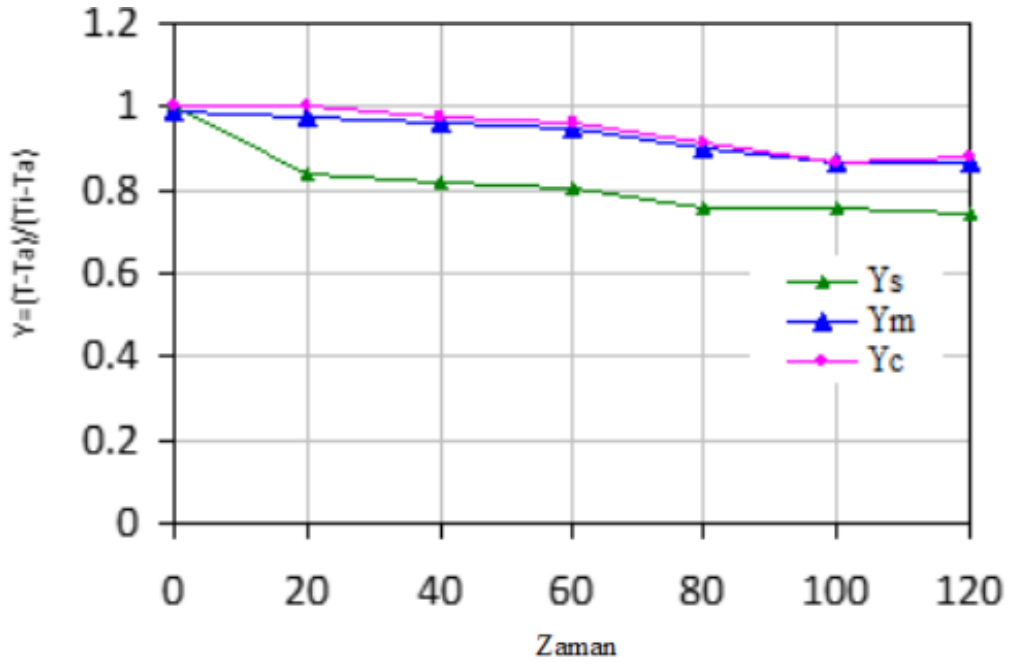
Şekil 4.1b. 3,6 m/s hızında karpuz soğutma işlemi (kapılar kapalı).

Şekil 4.1c'deki gibi hava akış hızını 4,8 m/s'ye çıkardığımızda aynı koşullar altında ve iki saat sonra karpuz yüzeyinde boyutsuz sıcaklık oranının azaldığı ve 0,53'e ulaştığı görülmektedir. Hava akış hızı arttıkça, boyutlar artmadan sıcaklık oranının azaldığını, yüzey sıcaklığı ile merkezdeki sıcaklık arasında ve yüzey ile merkez arasındaki ortalama mesafe arasında oldukça yakın bir fark olduğu görülmektedir. Minimum hava akış hızında 2 saat sonra ulaşılan boyutsuz sıcaklık ortalaması 0,625, maksimum hava akış hızı kullanılarak 1 saat 20 dakikada elde edilebilir. Böylece 40 dakikalık soğutma süresinden, yani %33,3 tasarruf sağlanır.



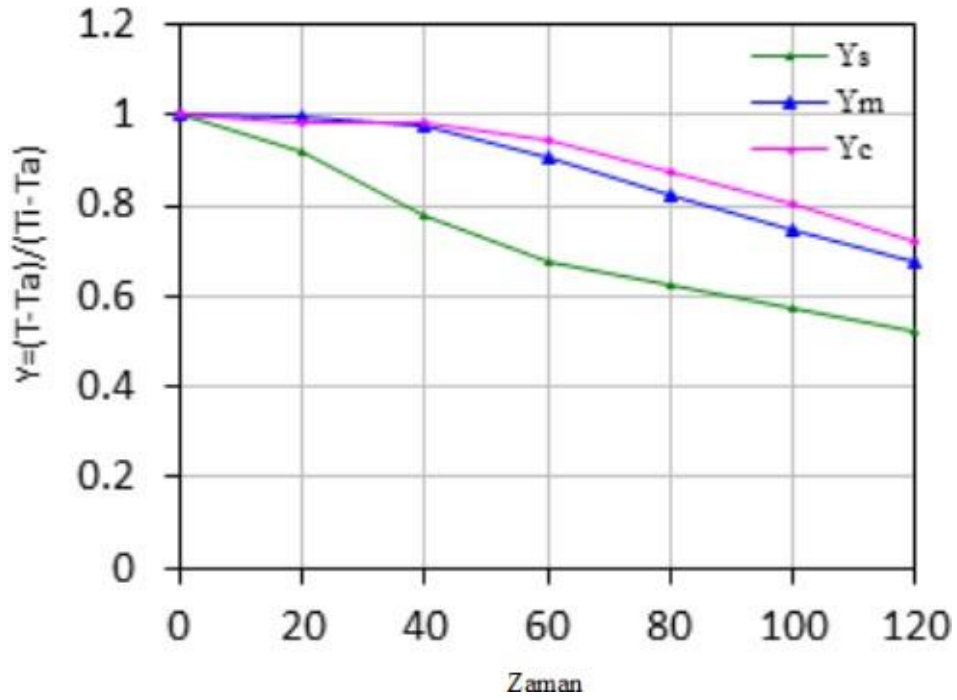
Şekil 4.1c. 4,8 m/s hızında karpuz soğutma işlemi (kapılar kapalı).

Şekil 4.2'de en yüksek hava akış hızı olan 4,8 m/s ve aynı hava sıcaklığını kullanarak kanal çıkış kapısı açıkken iki saat sonra grafikten kavunun boyutsuz sıcaklık oranındaki azalma oranının çok yüksek olduğu, yavaşlayarak 0,741'e ulaştığı görülmektedir. Bu, kapılarını kapatarak hava kanalı içindeki havanın devridaim edilmesinin sıcaklık düşüş oranını önemli ölçüde artıracığı, böylece hava devridaimi kullanılarak zamandan tasarruf edileceği ve enerji tüketiminin azaltılacağı anlamına gelir.



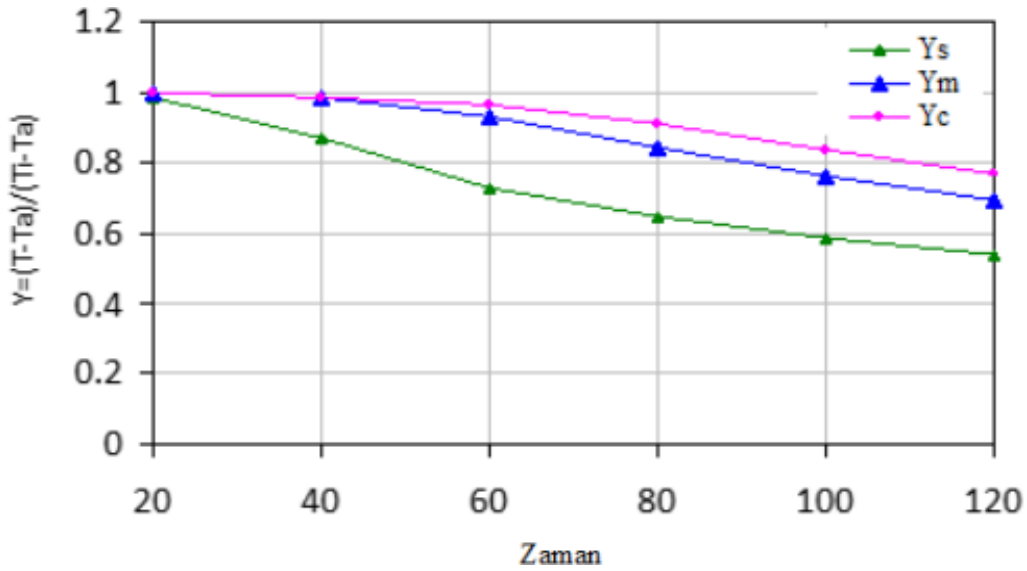
Şekil 4.2. Çıkış kapısının 4,8 m/s hızla açılmasının karpuz ürününe etkisi.

Şekil 4.3 (a, b, c)'de kırmızılahananın soğuma eğrileri t soğuma süresi ve boyutsuz sıcaklık oranı Y kullanılarak gösterilmiş ve çizilmiştir. Kırmızılahananın sıcaklığı merkezde ($R=d/2$), merkez ile yüzey arasındaki ortalama mesafede ($R=d/4$) ve $R=0$ olan yüzeyde (kabuk) hesaplanır. Cihaz açıldıktan sonra kırmızılahananın üzerine art arda üç hızda (1,8, 3,6, 4,8) m/s hava üflenir ve hava sıcaklığı 25,8-29,5 °C arasında değişir. Şekil 4.3a, hava giriş ve çıkış kapılarının kapatılmasını ve hava kanalı içindeki hava geri dönüşümüne güvenilmesini içeren en düşük 1,8 m/s olan birinci hızı göstermektedir. Bu durumda boyutsuz sıcaklık iki saat sonra yüzeyde 0,52'ye düşer. Grafikten boyutsuz sıcaklık oranının merkezde ve ortalamada benzer şekilde azaldığını, ancak yüzeyde daha belirgin bir şekilde azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.3a. Kırmızı lahananın 1,8 m/s hızla soğutulması (kapılar kapalı).

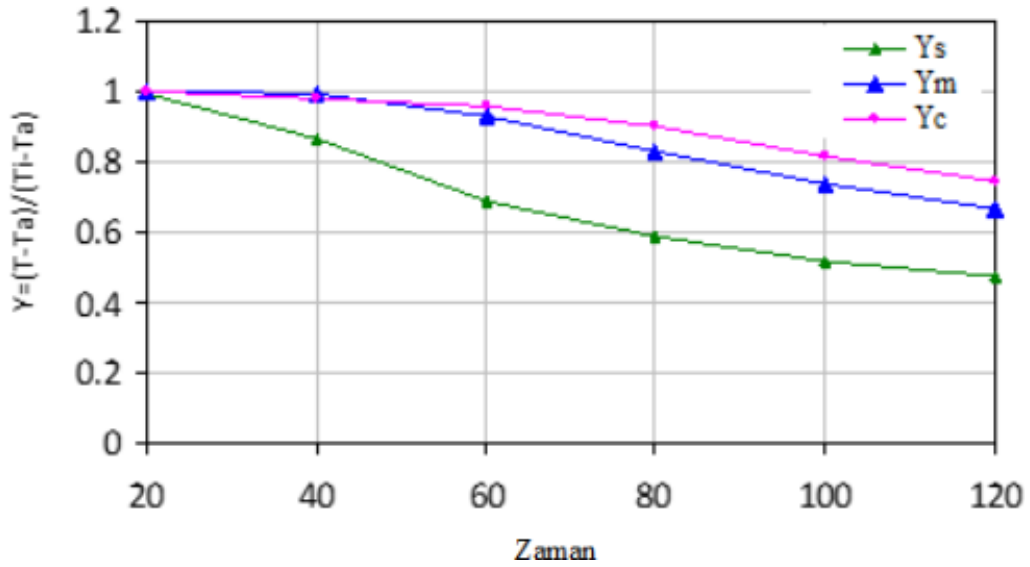
Şekil 4.3b'de görüldüğü gibi 3,6 m/s'lik ikinci hızda kapılar aynı sıcaklıkta kapalıyken iki saat sonra yüzeydeki boyutsuz sıcaklık oranı Kırmızı lahana için 0,49 olmaktadır.



Şekil 4.3b. Kırmızı lahananın 3,6 m/s soğutma işlemi (kapılar kapalı).

Şekil 4.3c, kapılar kapalıyken ve aynı hava sıcaklığında maksimum hızı 4,8 m/s'yi göstermektedir. Kırmızı lahana için iki saat sonra yüzeydeki boyutsuz sıcaklık oranının üç hız arasında en büyük düşüşün 0,43 olduğu grafikten gözlemlenmektedir. Önceki

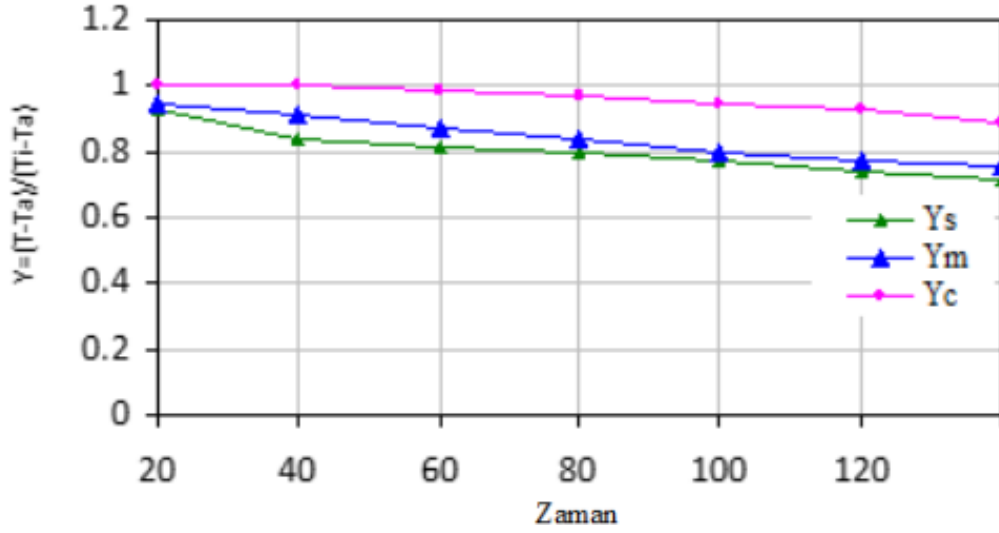
okumalardan hava hızındaki artışın merkezde, ortalamada ve yüzeyde boyutsuz sıcaklıkta önemli bir düşüşe neden olduğu fark edilmektedir. Hava üfleme hızının artmasıyla birlikte merkezdeki, ortalamadaki ve yüzeydeki sıcaklık farkı da artar.



Şekil 4.3c. 4,8 m/s'de kırmızı lahana soğutma işlemi (kapalı kapılar).

Soğuk hava sıcaklığındaki belirgin düşüşe bağlı olarak soğuk hava üfleme hızı arttıkça boyutsuz sıcaklık oranının da arttığı görülebilmekte olup, merkezdeki gerçek sıcaklık en düşük hız olan 1,8m/s ile ikinci hız olan 3,6 ile karşılaştırıldığında ortaya çıkmaktadır. Hava üfleme hızının ikinci hız olan 3,6 m/s'ye yükseltilmesiyle, 3°C'lik gerçek yüzey sıcaklığına bir saat 16 dakikada ulaşılabileceği ve birinci hız olan 1,8 m/s'ye kıyasla 44 dakika tasarruf sağlanabileceği not edilebilir.

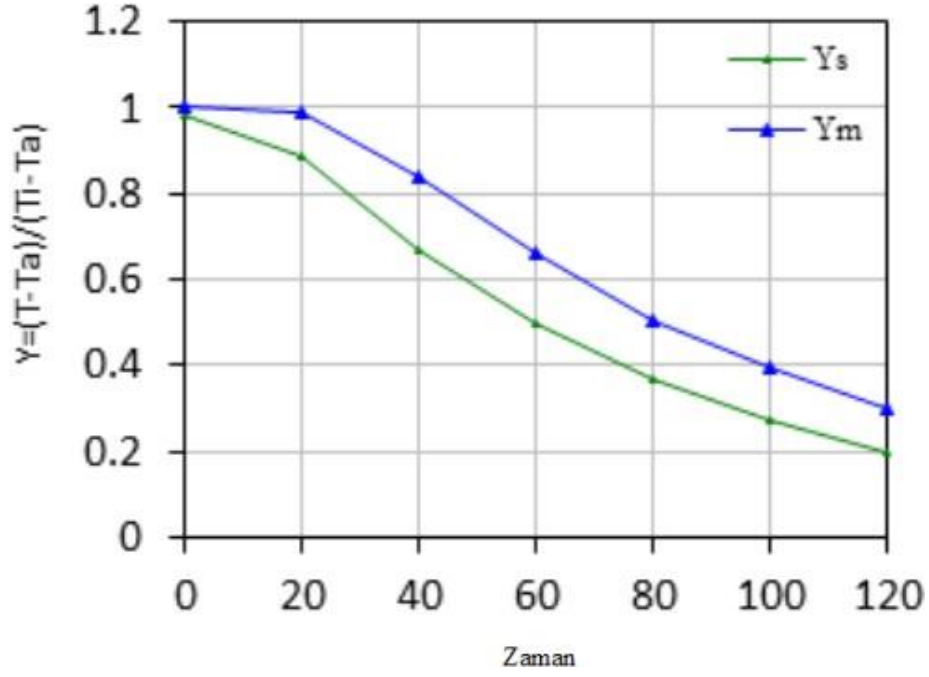
Şekil 4.4'te gösterildiği gibi aynı ortam sıcaklığında, hava devridaimine güvenmeden ve en yüksek hava üfleme hızı olan 4,8 m/s'yi kullanarak çıkış kapısı açık bırakıldığında, boyutsuz sıcaklığın yavaş yavaş azaldığı grafikten görülebilmektedir. Yüzeydeki ve yüzey ile merkez arasındaki ortalama mesafedeki azalma en büyük, merkezdeki boyutsuz sıcaklık düşüşü ise en küçük olanıdır, bu da gerekli sıcaklıklara ulaşmak için daha uzun zamana ihtiyaç olduğu ve dolayısıyla daha fazla enerji harcandığı anlamına gelir. Bu nedenle zamandan tasarruf etmek ve enerji tüketimini azaltmak için hava sirkülasyonunun çok önemli olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.4. Çıkış kapısının 4,8 m/s hızla açılmasının kırmızı lahana ürününe etkisi.

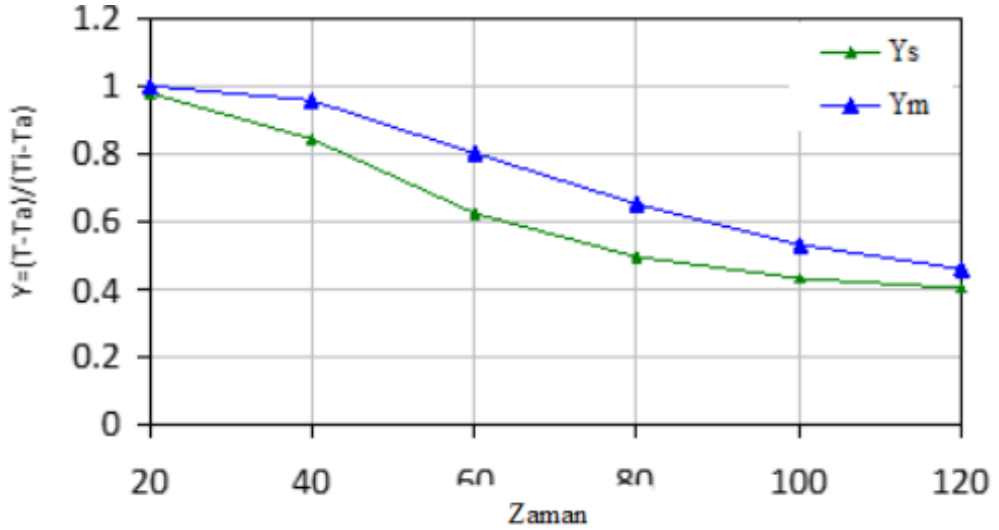
En düşük hız olan 1,8 m/s'deki yüzey sıcaklığı ile ikinci hız olan 3,6 m/s ve maksimum hız olan 4,8 m/s'yi iki saatlik bir süre boyunca karşılaştırdığımızda, en düşük ve en yüksek hava üfleme hızları arasındaki zaman farkının şu şekilde olduğu görülmektedir. Bu süre 50 dakikadır, yani zamanın %41,6'sı. Bu, boyutsuz sıcaklık olan 0,52'ye en yüksek hızda bir saat 10 dakika içinde ulaşabileceği anlamına gelir. Hava kanalının hava çıkış kapısı en yüksek üfleme hızı olan 4,8 m/s'de açıldığında boyutsuz sıcaklığın yavaş yavaş azaldığını, iki saat sonra boyutsuz sıcaklığın 0,711 olduğu grafikten görülmektedir. Dolayısıyla zaman kaybına ve daha fazla enerji tüketilmesine neden olur.

Patlıcandaki soğuma işlemi de Şekil 4.5 (a, b, c)'de gösterildiği gibi soğuma süresi t ve boyutsuz sıcaklık hızı Y alınarak her 20 dakikada bir düzenli aralıklarla incelenmiştir. Yüzey sıcaklığı, üç hız (1,8, 3,6, 4,8) m/s kullanılarak ve aynı hava sıcaklığında (25,8-29,5) °C hesaplanır. Şekil 4.5a'da gösterildiği gibi, iki saatlik bir süre içinde yüzeydeki boyutsuz sıcaklık oranı 0,197 olur, gerçek yüzey sıcaklığı 3 °C olur ve soğuk hava sıcaklığı, en düşük hız olan 1,8 m/s'de -1,94°C olur.



Şekil 4.5a. 1,8 m/s hızında patlıcan soğutma işlemi (kapılar kapalı).

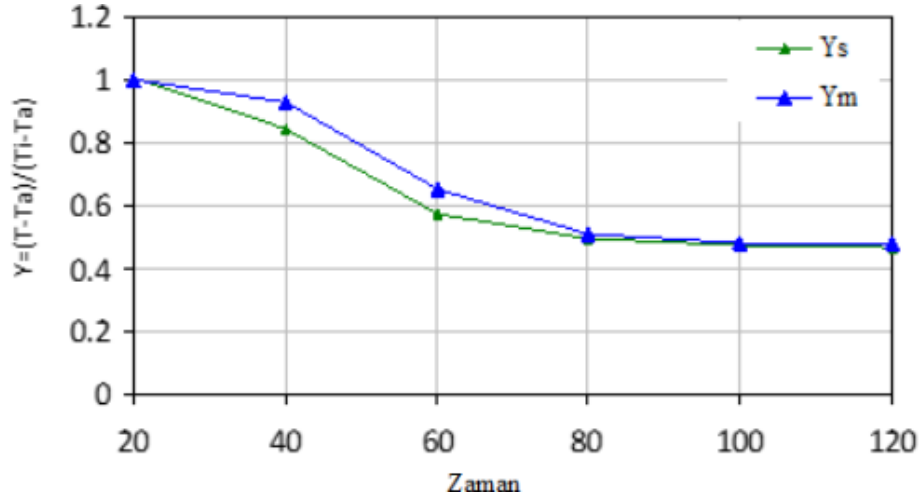
Hava üfleme hızı ikinci hız olan 3,6 m/s'ye çıkarıldığında şekil 4.5b'de görüldüğü gibi yüzeydeki boyutsuz sıcaklık 0,39, gerçek yüzey sıcaklığı 0,75 °C, soğuk hava sıcaklığı ise -17,94 °C olur.



Şekil 4.5b. 3,6 m/s hızla patlıcan soğutma işlemi (kapılar kapalı).

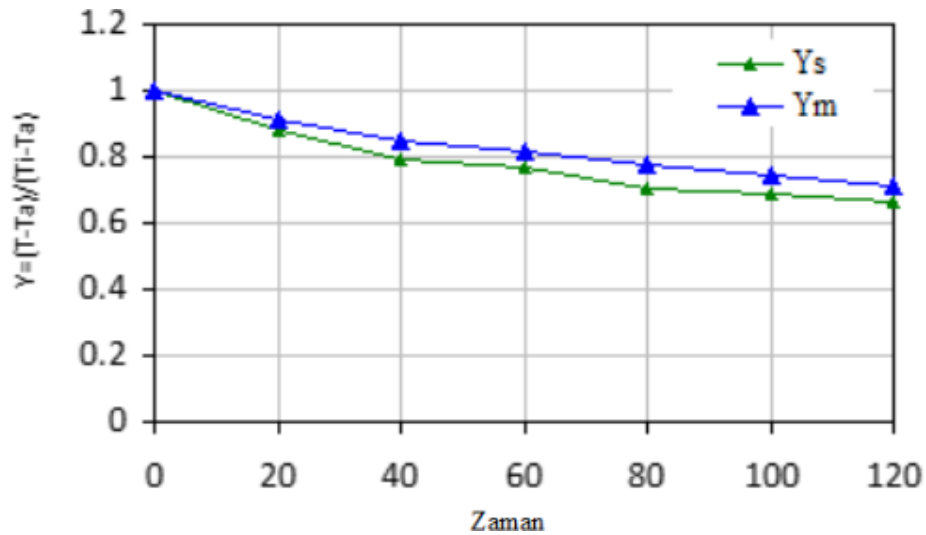
Şekil 4.5c'de gösterildiği gibi en yüksek hava üfleme hızı olan 4,8 m/s kullanıldığında, yüzeydeki boyutsuz sıcaklık 0,464, gerçek yüzey sıcaklığı 0,1°C ve soğuk hava sıcaklığı -18°C olur. Soğuk havanın üfleme hızı arttıkça ve soğuk havanın sıcaklığındaki belirgin düşüş nedeniyle boyutsuz sıcaklık oranının arttığı gösterilmiştir.

Minimum hız 1,8 m/s ile ikinci hız 3,6 m/s'de merkezdeki gerçek sıcaklık karşılaştırıldığında, hava üfleme hızının ikinci hız 3,6 m/s'ye yükseltilmesiyle gerçek yüzey sıcaklığının artırılacağı açıkça görülmektedir. 1 saat 16 dakikada 3 santigrat dereceye ulaşır.



Şekil 4.5c. 4,8 m/s hızla patlıcan soğutma işlemi (kapılar kapalı).

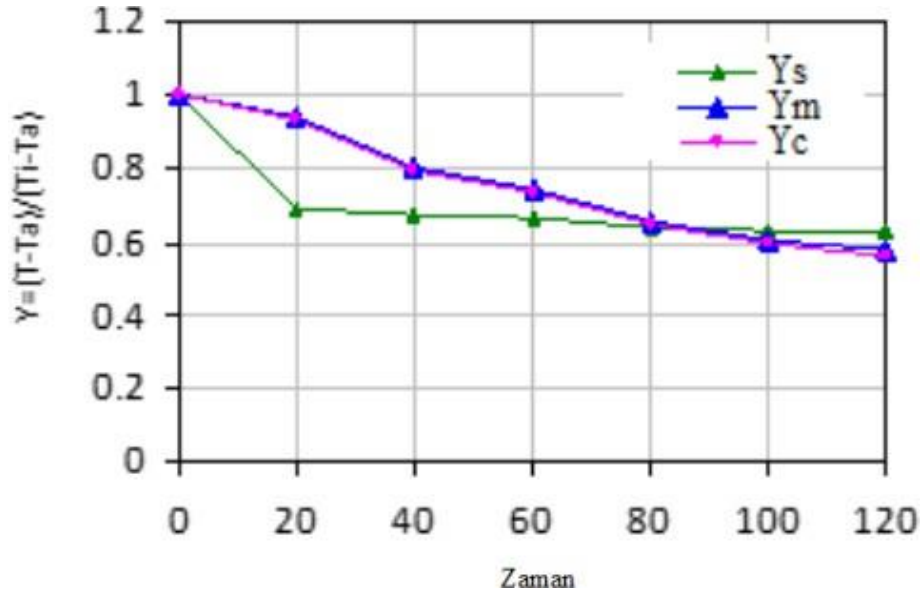
Şekil 4.6'dan, çıkış kapısı aynı ortam sıcaklığında, hava devridaimi kullanılmadan açık bırakıldığında ve en yüksek hava üfleme hızı olan 4,8 m/s kullanıldığında, boyutsuz sıcaklığın yavaş yavaş azaldığı ve ulaştığı nokta görülmektedir (0.66). Bu nedenle zamandan tasarruf etmek ve enerji tüketimini azaltmak için hava geri dönüşümü çok önemlidir.



Şekil 4.6. Çıkış kapısının 4,8 m/s hızla açılmasının patlıcan ürününün soğuma sürecine etkisi.

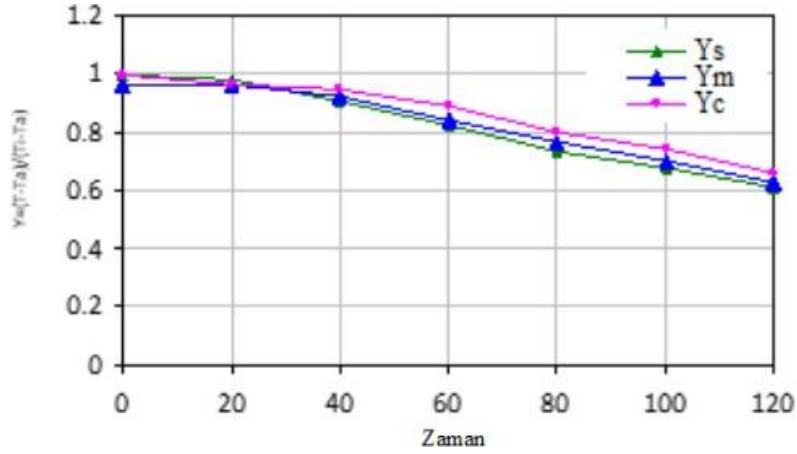
Şekil 4.7(a,b,c)'de soğutma durumu incelenmiş ve boyutsuz sıcaklık Y , kavun, kırmızılahana ve patlıcanda nemlendirme kullanılarak ve en yüksek hava üfleme hızı olan 4,8 m/s'de ölçülmüştür. Eğriler, soğutma cihazının (25,8-29,5) °C arasında değişen bir hava sıcaklığında ve en yüksek hava üfleme hızının 4,8 m/s'de çalıştırıldığı boyutsuz sıcaklık Y ve soğutma süresi t kullanılarak tartışılmıştır ve sıcaklık okumaları alınmıştır. Bu durumda nemlendirme işlemi, hava kanalı içindeki su spreyine su pompalama motorunun düzenli aralıklarla (her 20 dakikada bir) ve iki dakikalık çalışma süresi boyunca, hava kanalı içindeki havanın geri dönüşümüne güvenilerek çalıştırılmasıyla gerçekleştirilir.

Şekil 4.7a'de kavunun iki saat sonra boyutsuz sıcaklığın 0,563'e düştüğü görülmektedir, bu da nemlendirme işleminin kavundaki sıcaklığın kurumadan tazeliğini koruyarak daha verimli ve hızlı bir şekilde azaltılmasına yardımcı olduğu anlamına gelir. Kavun grafiğinden soğuma sonunda boyutsuz sıcaklığın merkezde azaldığı ve yüzey ile merkez arasındaki ortalama mesafenin yüzeye göre daha büyük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni kavunun ortasında bir boşluk (boşluk) bulunmasına bağlanmaktadır.



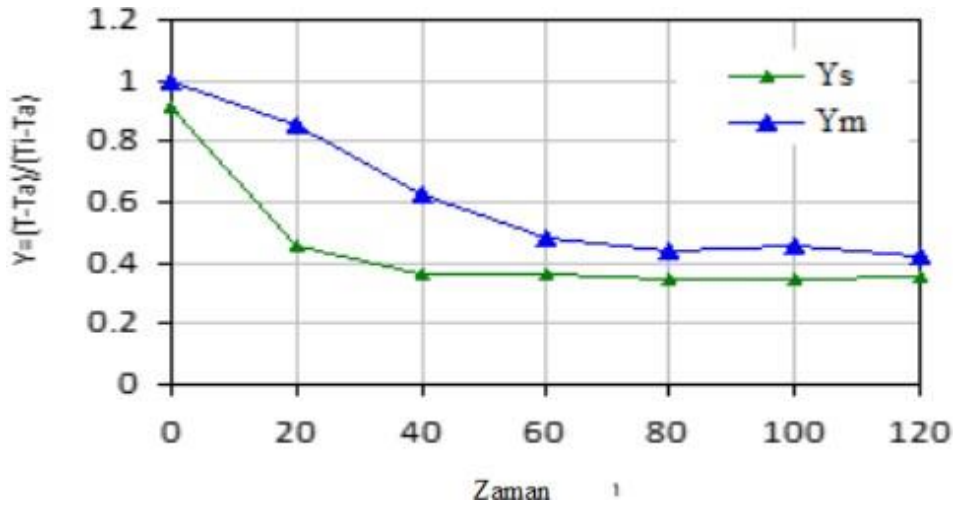
Şekil 4.7a. Nemlendirmenin 4,8 m/s hızdaki karpuz ürününün soğuma işlemine etkisi.

Şekil 4.7b'de kırmızı lahananın en yüksek hızı olan 4,8 m/s'de ve nemlendirme kullanımıyla boyutsuz sıcaklığın 0,664'e düştüğü görülmektedir ki bu da kırmızılahananın nemlendirme olmadan ulaştığı sıcaklığa çok yakındır. Böylece kurumadan taze kalmasını sağlar.



Şekil 4.7b. 4,8 m/s hızında nemlendirmenin kırmızı lahananın soğuma işlemine etkisi.

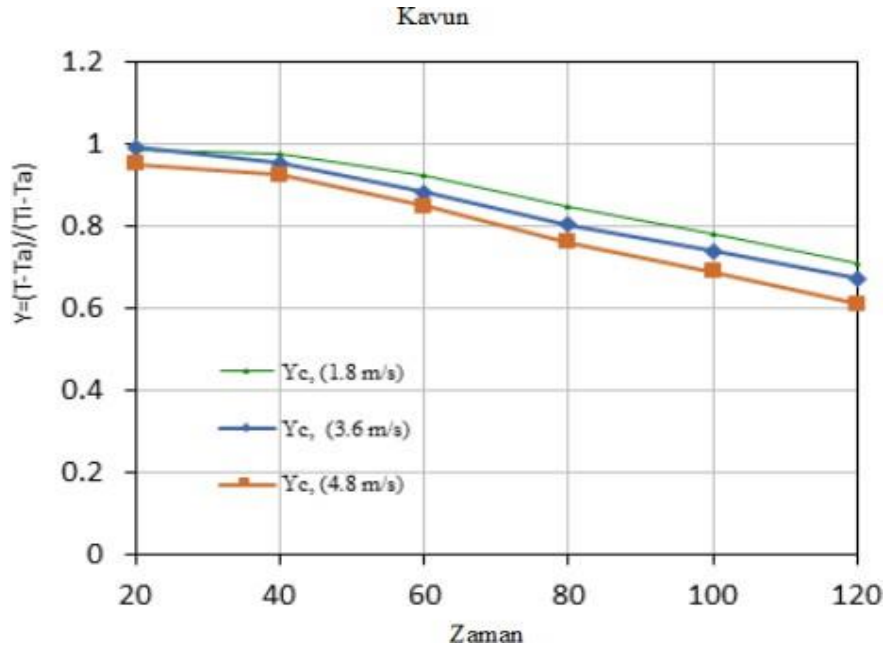
Patlıcanın şekil 4.7c'de gösterildiği gibi soğutulması durumunda, en yüksek hızda ve nemlendirme kullanıldığında boyutsuz sıcaklık 0,426'ya ulaşır; bu, en yüksek hızda ve nemlendirme olmadan ulaşılan boyutsuz sıcaklıktan daha iyidir. Bu, patlıcanın nem içeriğini artırarak tazeliğini korurken zamandan tasarruf etmek ve enerji tüketimini azaltmak anlamına gelir.



Şekil 4.7c. Patlıcan ürününün 4,8 m/s hızında soğuma işlemine nemlendirmenin etkisi.

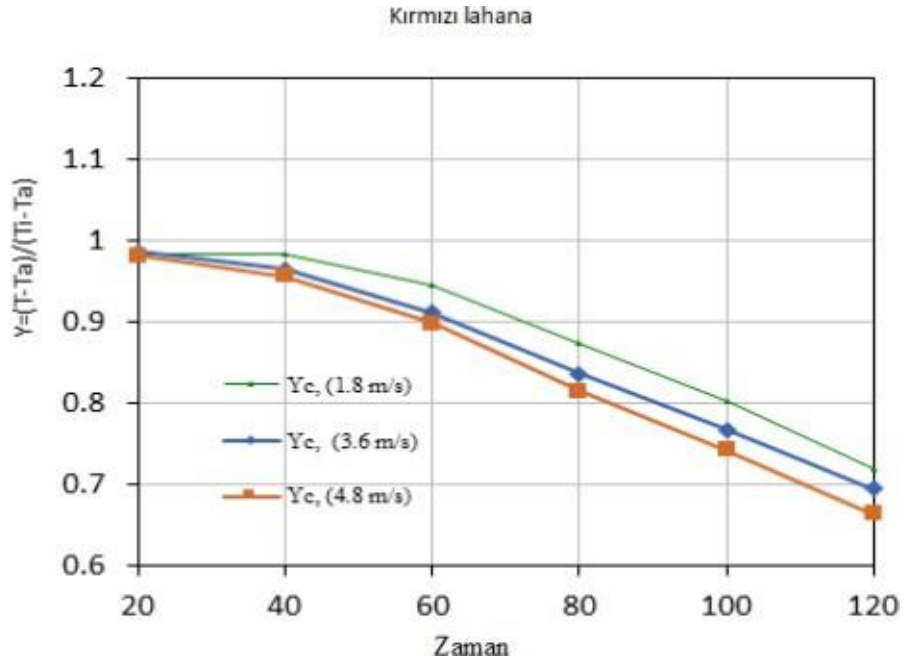
Sonuçta nemlendirme, gıda ürünlerinin sıcaklığının düşürülmesi ve su içeriğinin artırılması, böylece ürünlerin kurumadan taze kalması için iyi bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Şekil 4.8 (a,b,c)'de gıda ürünlerinin (kavun, kırmızılahana ve patlıcan) merkezi için soğuma süresi eğrisi t ile boyutsuz sıcaklık Y eğrileri çizilmiştir. Hava üfleme hızının etkisi, iki saatlik bir süre boyunca en düşük hızda 1,8 m/s, ikinci hızda 3,6 m/s ve maksimum hızda 4,8 m/s'de belirgindir. Şekil 4.8a'da gösterilen kavun durumunda, artan hava akış hızının önemli bir etkisi vardır; burada iki saat sonra boyutsuz sıcaklık,

en düşük hız olan 1,8 m/s'de 0,7071'e ulaşırken, aynı sıcaklık kullanılarak elde edilebilir. Maksimum hıza bir saat 27 dakikada ulaşarak 33 dakika tasarruf sağlar; bu da en düşük hıza göre %27,5 daha az soğutma süresi anlamına gelir.



Şekil 4.8a. Üç hızın (1,8, 3,6, 4,8) m/s'nin karpuz ürününe etkisi.

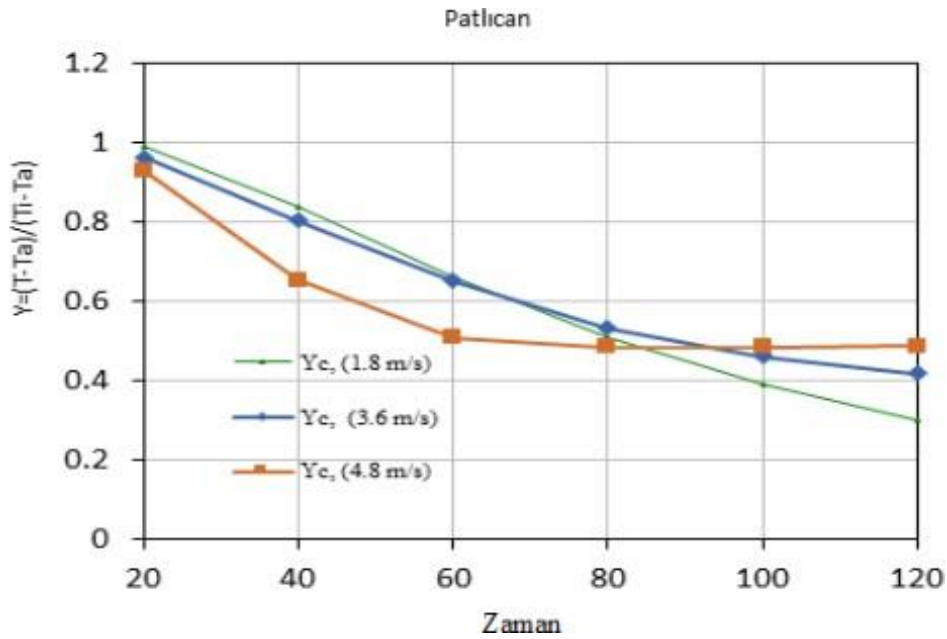
Şekil 4.8b'de gösterilen kırmızilahana için, en yüksek hava üfleme hızı olan 4,8 m/s'nin kullanılması, en düşük hız olan 1,8 m/s'ye kıyasla 24 dakika veya soğutma süresinden %20 tasarruf sağlar.



Şekil 4.8b. Üç hızın (1,8, 3,6, 4,8) m/s'nin kırmızı lahana ürününe etkisi.

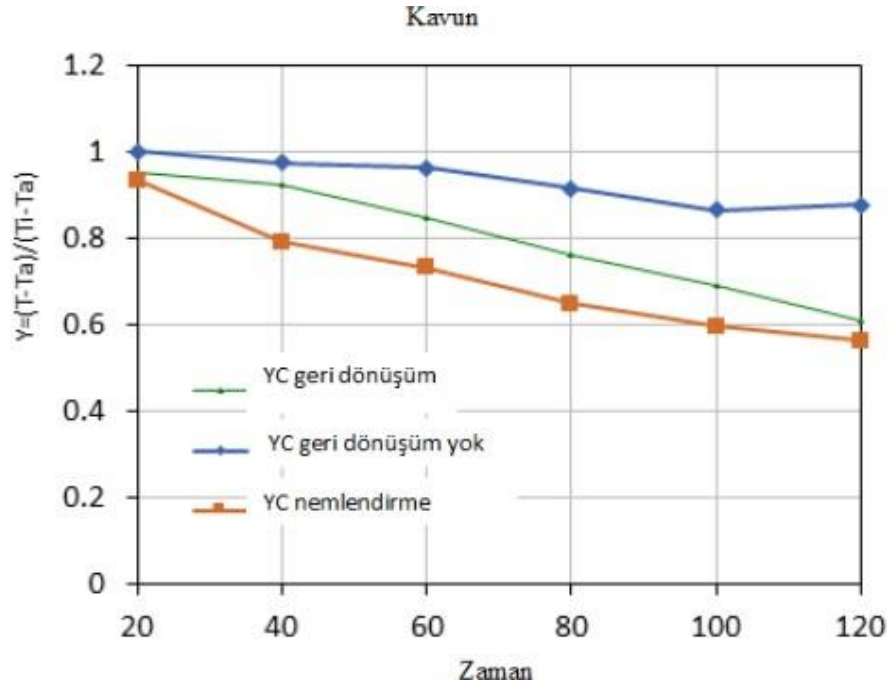
Şekil 4.8c'de patlıcan örneğinde merkezdeki boyutsuz sıcaklık en düşük hava üfleme hızında iki saatlik bir süre içinde 0,298'e ulaşırken, en yüksek üfleme hızı kullanıldığında aynı iki saat içinde boyutsuz sıcaklık 0,485'e ulaşmaktadır.

Ancak sonuçlar, patlıcanın boyutsuz sıcaklığı Y 'de bir çelişki göstermiştir; bu, soğuk havanın $-17,94$ yüksek sıcaklığına ve gerçek merkezi sıcaklığın $0,85$ °C azalmasına atfedilebilir, bu da patlıcanın kısa sürede bozulmasına neden olmuştur. Patlıcanı soğutmak için en iyi hızın en düşük hava üfleme hızı olan $1,8$ m/s olduğu sonucuna varılmaktadır.



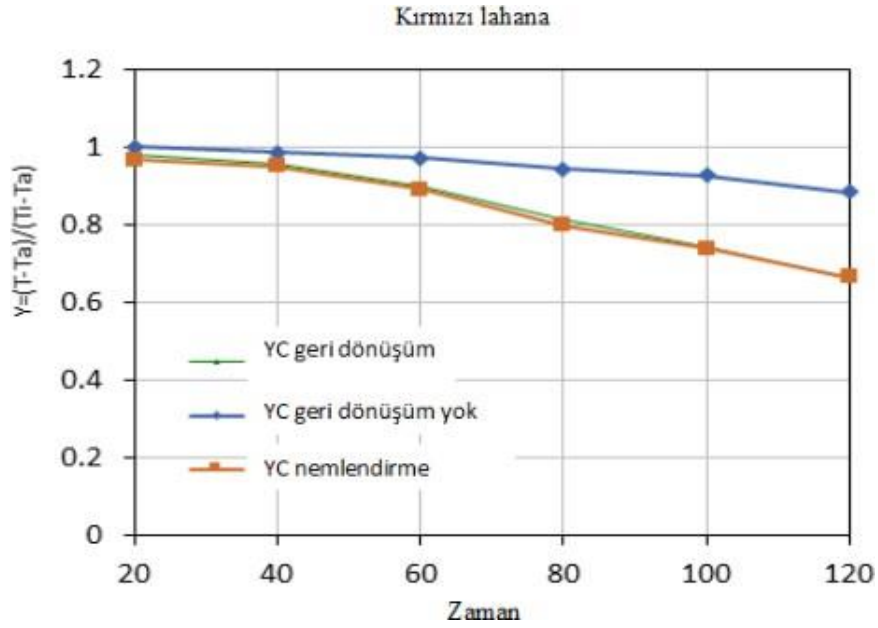
Şekil 4.8c. Üç hızın (1,8, 3,6, 4,8) m/s'nin patlıcan ürününe etkisi.

Şekil 4.9'da (a, b, c), $4,8$ m/s'lik en yüksek hava üfleme hızı ve merkezdeki boyutsuz sıcaklık kullanılarak, her bir ürün için soğutma farkı üç durumda (hava geri dönüşümü, çıkış kapısının açılması ve nemlendirme) gösterilmektedir. Şekil 4.9a'da kavun için nemlendirme durumunda boyutsuz sıcaklıkta önemli bir azalma görülmektedir. Hava devridaim durumunun eğrisi (kapalı kapılar), boyutsuz sıcaklıkta nemlendirme durumuna göre daha az bir azalma gösterir. Çıkış kapısının açılma durumu eğrisi (hava sirkülasyonu olmadan) daha az etki gösterir, çünkü sıcaklıktaki düşüş önceki iki duruma göre daha azdır.



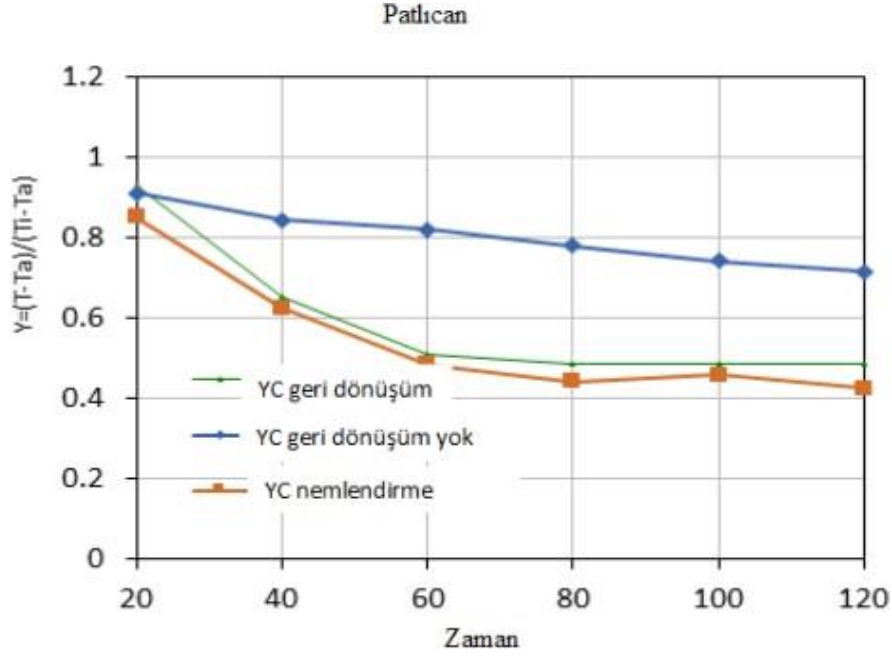
Şekil 4.9a. 4,8 m/s hızında üç çözümün etkisi (hava devridaimi, çıkış kapısının açılması, nemlendirme).

Şekil 4.9b'e, kırmızı lahananın, boyutsuz sıcaklık düşüşü üzerindeki üç durumun etkisini göstermektedir; burada boyutsuz sıcaklık eğrisi, nemlendirme durumunda önemli ölçüde azalır ve hava devridaimi durumunda (kapalı kapılar) boyutsuz sıcaklık düşüşü nemlendirme kutusununkine çok benzerdir ve çıkış kapısının açık olması durumunda boyutsuz sıcaklık eğrisinden daha büyüktür.



Şekil 4.9b. 4,8 m/s hızında üç çözümün etkisi (hava devridaimi, çıkış kapısının açılması, nemlendirme).

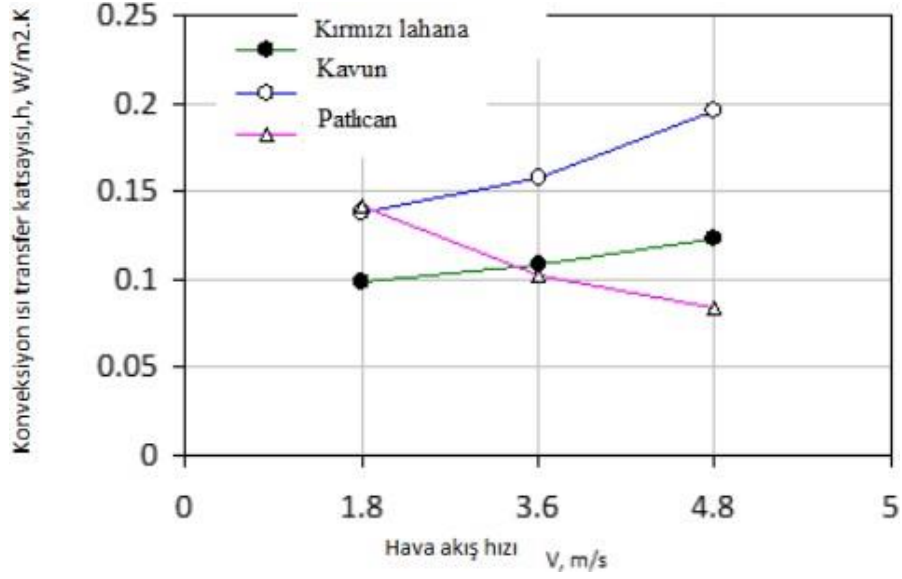
Patlıcan, Şekil 4.9c'de patlıcanın merkezdeki boyutsuz sıcaklık eğrileri gösterilmektedir. Üç durumda incelenmiştir. Nemlendirme durumunda en düşük boyutsuz sıcaklık eğrisi görülür ve bunu hava devridaimi durumunda (kapalı kapılar) boyutsuz sıcaklık eğrisi takip eder. Çıkış kapısı açıldığında en yüksek boyutsuz sıcaklık eğrisine gelince (hava geri dönüşümü olmadan), üç eğri arasında en kötüsüdür ve nemlendirme ve hava geri dönüşüm eğrilerinden uzaktır, dolayısıyla soğutma zamanı israfına ve enerji tüketiminin artmasına neden olur.



Şekil 4.9c. 4,8 m/s hızında üç çözümün etkisi (hava devridaimi, çıkış kapısının açılması, nemlendirme).

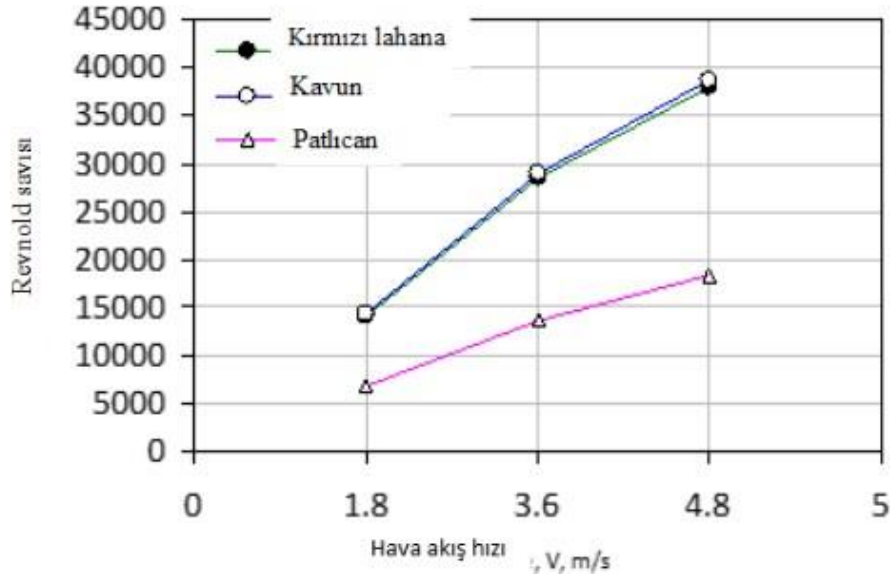
Şekil 4.10 (a,b,c), hava üfleme hızının konvektif ısı transfer katsayısı, Reynolds sayısı ve Nusselt sayısı üzerindeki etkisini göstermektedir.

Şekil 4.10a, kavun, kırmızılahana ve patlıcan için hava hızının konvektif ısı transfer katsayısı üzerindeki etkisini göstermektedir. Hava hızının artırılması, kavun için ısı transfer katsayısının artırılmasında olumlu bir etkiye sahiptir, çünkü konveksiyonla ısı transfer katsayısı artan hava hızıyla birlikte artar. Hava hızının artmasıyla konvektif ısı transfer katsayısı arttığından, hava hızı da kırmızılahana için konvektif ısı transfer katsayısı üzerinde aynı olumlu etkiye sahiptir. Önceki iki durumun aksine patlıcanda hava hızının konvektif ısı transfer katsayısı üzerinde olumsuz etkisi vardır, çünkü hava hızının artmasıyla konvektif ısı transfer katsayısı azalır.



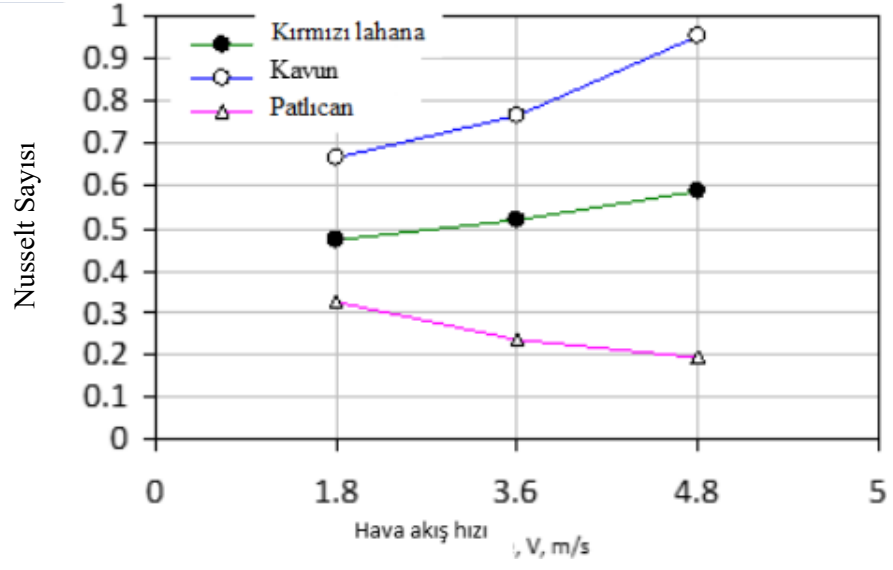
Şekil 4.10a. Hava üfleme hızının ısı transfer katsayısına etkisi.

Şekil 4.10b, kavun, kırmızılahana ve patlıcan için hava hızının Reynolds sayısı üzerindeki etkisini göstermektedir. Hava hızının artmasıyla Reynolds sayısı arttığından, üç gıda ürününde (kavun, kırmızılahana ve patlıcan) hava hızının Reynolds sayısı üzerinde olumlu etkisi vardır.



Şekil 4.10b. Her ürün için hava üfleme hızının Reynolds sayısına etkisi.

Şekil 4.10c'de kavun ve kırmızılahana için Nusselt sayısı artan hava hızıyla birlikte artarken, patlıcanda Nusselt sayısı artan hava hızıyla azalmaktadır.



Şekil 4.10c. Her ürün için hava üfleme hızının Nusselt sayısına etkisi.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ön soğutmada karşılaşılan bazı problemlere çözüm bulunmuş ve bozulabilen gıda malzemelerinin ön soğutulmasında ısı transfer katsayısı hesaplanmıştır. Yukarıda bahsedilen araştırmadan elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

1. Hava hızının yüksek oranlara yükseltilmesi, gıda maddelerindeki sıcaklık düşüş hızını artırır, dolayısıyla gıda maddeleri ile soğutma ortamı arasındaki ısı transfer katsayısı artar.

2. Hava hızının artırılması, minimum hıza göre daha kısa sürede maksimum hava debisini kullanarak belirli bir sıcaklığa ulaşabildiğinde zamandan tasarruf sağlar ve enerji tüketimini azaltır.

3. Soğutma cihazının içindeki havanın devridaimi enerji tüketimini azaltır ve soğutma süresinden önemli ölçüde tasarruf sağlar.

4. Nemlendirme işlemi, gıda malzemelerinin sıcaklığının daha da azaltılmasına yardımcı olur, böylece ısı transfer katsayısı artar, aynı zamanda gıdanın kurumadan tazeliği korunur.

5. Hava çıkış kapısının açık bırakılması, gıda malzemelerinin soğuma sürecini önemli ölçüde geciktirir, soğutma süresinin ve enerji tüketiminin artmasına neden olur.

6. Hava hızının artmasıyla kavun ve kırmızılahana için boyutsuz sıcaklık artarken patlıcan için azalır. Bu nedenle hava hızının artırılması patlıcanın kısa sürede zarar görmesine neden olur.

Bu sonuçlara göre şu önerilerde bulunulmuştur:

- Daha kısa sürede daha yüksek soğutma elde etmek ve enerji tasarrufu sağlamak için deneylerde kullanılan hızlardan daha yüksek hava akış hızları deneyimlenmelidir.

- Sıcaklığın izlenmesi ve kontrol edilmesi için otomatik bir izleme sisteminin kurulması önerilmektedir.

- Nemlendirme dönüşümlü olarak ve kısa bir süre için yüksek hızlarda kullanılmalı.

- Soğutma kanalı içindeki havanın geri dönüşümüne güvenilmeli.

- Gıda ürünlerinde kayıp ve hasar oluşmasını önlemek için gerekli okumalar mümkün olan en kısa sürede yapılmalıdır.

- Daha doğru okumalar elde etmek ve ürünün tüm katmanlarında sıcaklıkların eşitlenmesini beklemeyi önlemek için her ürün için birden fazla model kullanılmalıdır.
- Tasarruf edilebilecek enerjiyi bilmek için belirli bir süre boyunca harcanan enerji hesaplanmalıdır.
- Soğutma cihazını çalıştırmak için güneş enerjisinin kullanılması önerilmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Albayati, O. A. Z., Kumar, R. & Chauhan, G. (2007). Forced Air Precooling Studies of Perishable Food Products. *International Journal of Food Engineering*, 3 (6), doi: 10.2202/1556-3758.1119.
- Amanda, A., Tieu & Huynh, H. (2019). Water scarcity impacts on global food production. *Global Food Security*, 23, 212–226, <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.07.007>.
- Ambuko, Wanjiru¹, Karithi¹, Hutchinson¹, Chemining, Mwachoni, Hansen, Wasilwa, Owino & Nenguwo (2013). Cold chain management in horticultural crops value chains: options for smallholder farmers in Africa. *Acta Horti*, doi: 10.17660/ActaHortic.2018.1225.9.
- Amit, S.K., Uddin, M.M., Rahman, R. et al. (2017), A review on mechanisms and commercial aspects of food preservation and processing. *Agric & Food Secur*, <https://doi.org/10.1186/s40066-017-0130-8>.
- Ansari, F. A. & Afaq, A. (1986). Precooling of cylindrical food products. *Rev. Int. Froid*, 9.
- Ăstase, G., Alejandro, P., Perez, B., Șerban, A., Dobrovicescu, A., Ștefănescu, M. A. & Rubinsky, B. (2016). Advantages of isochoric freezing for food preservation. <http://dx.doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2016.08.026>.
- Ben Taher, M.A., Kousksou, T., Zeraouli, Y., Ahachad, M. & Mahdaoui, M. (2021). A survey of computational and experimental studies on refrigerated trucks. *J. Energy Storage*, 42, 103097. 909 <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103097>.
- Brosnan, T. & Sun, D. (2001). Precooling techniques and applications for horticultural products. *International Journal of Refrigeration*, 24, 154-170.
- Da Wang, Yanhua Laia, Binguang Jiab, Ru Chenc, Xiaoyang Huic, (2020), The optimal design and energy consumption analysis of forced air pre-cooling packaging system, *Applied Thermal Engineering*, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114592>
- Defraeyea, T., Tagliavinia, G., Wub, W., Prawirantoa, K., Schudela, S., Kerisimaf, M. A., Verbovenf, P. & Bühlmann, A. (2019). Digital twins probe into food cooling and biochemical quality changes for reducing losses in refrigerated supply chains. *Resources, Conservation & Recycling*, 149, 778–794, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.06.002>.
- Dincer, I. (1992), Determination of temperature distributions and heat transfer rates during precooling of spherical foodstuffs. *Int. Comm. Heat mass transfer*, 19, 733-748.
- Fikiin, A. G. (1983). Investigating the factors for intensifying fruit and vegetable cooling. *International Journal of Refrigeration*, 6 (3), Ma11983
- Gabe, P., Redding, Yang, A., Shim, Y. M., Olatunji, J. & East, A. (2016). A review of the

- use and design of produce simulators for horticultural forced-air cooling studies. *Journal of Food Engineering*, 190, 80-93, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.06.014>.
- Gao, P., Wang, L.W. & Zhu, F.Q. (2020). A novel hybrid solid sorption-compression refrigeration technology for refrigerated transportation and storage, <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2020.10.041>.
- Gram, L., Ravn, L., Rasch, M., Bruhn, J. B., Christensen, A. B. & Givskov, M. (2002). Food spoilage—interactions between food spoilage bacteria. *International Journal of Food Microbiology*, 78, 79 – 97.
- Guillou, R. & Asae, M. (1958). Some Engineering Aspects of Cooling Fruits and Vegetables.
- Han, E., Badia, R., Yang, X., Garcia, L., Qian, J. P. & Zhao, J. (2016). Cfd simulation of airflow and heat transfer during forced-air precooling of apples. *Journal of Food Process Engineering*, doi:10.1111/jfpe.12390.
- Hussain, T., Kamal, M. A. & Hafiz, A. (2021). Comparative analysis of apple and orange during forced convection cooling: experimental and numerical investigation. *AIMS Energy*, 9(2), 193–212, doi: 10.3934/energy.2021011.
- Ishevskiy A.L., Davydov I.A., (2017), Freezing As A Method Of Food Preservation, Theory and Practice of Meat Processing, DOI 10.21323/2414-438X-2017-2-2-43-59.
- James, C., Atuonwu, Leadley, C., Bosman, A., Savvas, A., Tassou, Quiroga, E. L. & Fryer, P. J. (2018). Comparative assessment of innovative and conventional food preservation technologies: Process energy performance and greenhouse gas emissions. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, doi: 10.1016/j.ifset.2018.09.008.
- Jia, B., Liu, F., Yuan, S., Li Z. (2021). The effect of alternating ventilation on forced airpre-cooling of cherries. *Int. J. Food Eng.*, 17(6), 423–433.
- Jo´zsef Farkasa, and Csilla Moha´csi-Farkas, (2011), History And Future Of Food Irradiation, Trends In Food Science & Technology, doi:10.1016/j.tifs.2010.04.002
- Kasmire, R.F., & Parsons, R.A. (1971). Precooling Cantaloupes, A Guide for Shippers, Agr. Extn., Univ. of California, Berkley.
- Kitinoja, L., & Thompson, J. F. (2010). Pre-cooling systems for small-scale producers. *Int. PO Box 3130 Quartzsite*, doi: 10.2212/spr.2010.2.2.
- Kumar, A., Kumar, R. & Subudhi, S. (2022), Numerical modeling of forced-air pre-cooling of fruits and vegetables: A review. *International Journal of Refrigeration*, 145 (2023), 217–232, <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2022.09.007>.
- Kumar, R., Kumar, A. & Murthy, U. N. (2008). Heat transfer during forced air precooling of perishable food products. *Biosystems engineering*, 99, 228-233, doi:

10.1016/j.biosystemseng.2007.10.012.

- Makule, E., Dimoso, N., & Tassou, S. A. (2022). Precooling and Cold Storage Methods for Fruits and Vegetables in Sub-Saharan Africa. *Horticulturae*, 8, 776 <https://doi.org/10.3390/horticulturae8090776>.
- Mane, S.B., Pawar, C.D., Salvi, B.R., Burondkar, M.M., Haldankar, P.P., Borkar, P.G., & Kulkarni, M.M., (2021). Effect of precooling and storage temperature on physical parameters of Alphonso mango (*Mangifera indica* L.) fruits. *The Pharma Innovation Journal*, 10(4), 984-989.
- Månsson, T., Ostermeyer, Y. The potential of thermal energy storage in food cooling processes in retail markets for grid balancing. Matouk, EL-Kholy, Tharwat & Askar (2018). Pre-Cooling and Temporary Storage of Apple Fruits. *J. Soil Sci. and Agric.*, 9 (7), 269 – 275.
- McElhatton, A., Marshall, R.J., (2006), Food Safety A Practical and Case Study Approach, ISBN-10: 0-387-33509-9
- Mercier, S., Villeneuve, S., Mondor, M. & Uysa, I. (2017). Time–Temperature Management Along the Food Cold Chain: A Review of Recent Developments. *The Journal of Food Science*, doi: 10.1111/1541-4337.12269.
- Narasimha Rao, K. V., Narasimham, G. S. V. L. & Krishna Murthy, M. V. (1993), Analysis of heat and mass transfer during bulk hydraircooling of spherical food products. *Int. J. Hrur Mosr i-r,,r.fir*, 36 (3).
- Nedovica,V., Kalusevica, A., Manojlovicb, V., Levica, S., Bugarskib, B., (2011), An Overview Of Encapsulation Technologies For Food Applications, *Procedia Food Science*, doi:10.1016/j.profoo.2011.09.266
- Ning Wang, Ankang Kan, Shang Mao, Zipei Huang, Fuliang Li, (2021), Study on heat and mass transfer of sugarcane stem during vacuum pre-cooling, *Journal of Food Engineering*, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110288>
- Rab, Rehman, Haq, Sajid, Nawab & Ali (2013). Harvest stages and pre-cooling influence the quality and storage life of tomato fruit. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 23(5), 1347-1352.
- Sadashive, B., Gowda, G. S. V. L., Narasimham & Krishna, M. V. (1997), Forced-air precooling of spherical foods in bulk: A parametric study. *Int. J. Heat and Fluid Flow*, 18, 613-624.
- Sanjana M.C., Hemegowda R., Sushma R. E., (2019), Aseptic Packaging – A Novel Technology To The Food Industry, *International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD)*, ISSN: 2456- 6470, Volume-3.
- Sharif, Z., Mustapha, F., Jai, J., Mohd Yusof, N., & Zaki, N. (2017). Review on methods for preservation and natural preservatives for extending the food longevity. *Chemical Engineering Research Bulletin*, 19, 145–153. <https://doi.org/10.3329/ceb.v19i0.33809>

- Smalea, N.J., Mourehb, J., Cortellac, G. (2006). A review of numerical models of airflow in refrigerated food applications. *International Journal of Refrigeration*, 29, 911e930.
- Tassou, S.A., De-Lille, G. & Ge, Y.T. (2009). Food transport refrigeration – Approaches to reduce energy consumption and environmental impacts of road transport. *Applied Thermal Engineering*, 29, 1467–1477, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2008.06.027.
- Tavman, Ş., Otles, S., Glaue, S., and Gogus, N., (2019), Food Preservation Technologies, Saving Food, doi.org/10.1016/B978-0-12-815357-4.00004-3.
- Wang, N., Kan, A., Mao, S., Huang, Z. & Li, F. (2021). Study on heat and mass transfer of sugarcane stem during vacuum pre-cooling. *Journal of Food Engineering*, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110288>
- Wanga, D., Laia, Y., Jiab, B., Chenc, R. & Huic, X. (2020). The optimal design and energy consumption analysis of forced air pre-cooling packaging system. *Applied Thermal Engineering*, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114592>.
- Wijewardane, R., (2014). Effect of Pre-Cooling Combined with Exogenous Oxalic Acid Application on Storage Quality of Mango (*Mangifera indica*). *Journal of Postharvest Technology*.
- Zhang, Y., Guo, M., Mei, J., & Xie, J. (2022). Effects of Different Postharvest Precooling Treatments on Cold-Storage Quality of Yellow Peach (*Amygdalus persica*). *Plants (Basel, Switzerland)*, 11(18), 2334. <https://doi.org/10.3390/plants11182334>.

EKLER

EK-1

Meyve Ve Sebzelerin Ön Soğutma Detayı

Tablo ek 1.1: Taze meyve ürünleri için soğutma ve depolama gereklilikleri.

Yaygın İsim	İsteğe bağlı Depolama, Sıcaklık oC	İsteğe bağlı Akaraba Nem, %	Yaklaşık Depolama ömrü	En yüksek Freezing Sıcaklık, oC	Etilen Üretim hızı	Solunum oran
TAZE MEYVELER						
Elmalar	0 to 3 -0.5	90 to 95	3 to 6 months 1	-1.5 -	Very high	Low
Kayısı	to 0 13 to	90 to 95	to 3 weeks	1.1 -	Moderate	Low
Muz	15	90 to 95	1 to 4 weeks	0.8	Moderate	Low
Meyveler						
Böğürtlen	-0.5 to 0 -	90 to 95	3 to 5 days	-0.8 -	Low	Moderate
Yaban mersini	0.5 to 0 2	90 to 95	2 weeks	1.3 -	Low	Low
Kızılcık	to 5 -0.5	90 to 95	8 to 16 weeks 2	0.9 -	Low	Low
Çilek	to 0 -0.5	90 to 95	to 3 days	1.3 -	Low	
Mürver Ağacı meyvesi	to 0 -0.5	90 to 95	5 to 14 days	0.9 -	Low	
Bektaş üzüümü	to 0 -0.5	90 to 95	3 to 4 weeks	1.1 -	Low	
Logan meyveleri	to 0 -0.5	90 to 95	2 to 3 days	1.3 -	Low	
Ahududu	to 0 0	90 to 95	3 to 6 days	0.9 -	Low	Moderate
Çilekler		90 to 95	7 to 10 days	0.8	Low	Low
Kavunlar						
Kazaba	7 to 10					
Crenshaw	7 to 10	85 to 90	3 to 4 weeks	-1.0 -		
Tatlı özsu	5 to 10	85 to 90	2 to 3 weeks	1.1 -	Low	
Farsça	7 to 10	85 to 90	3 to 4 weeks	1.1 -	Moderate	Low
		85 to 90	2 to 3 weeks	0.8	Moderate	
					Moderate	
Kirazlar	0					

Ekşi	-1 to 0	90 to 95	3 to 7 days	-1.7 -		Low
Tatlı	0 to 2 -0.5	90 to 95	2 to 3 weeks	2.1		Low
Hindistan cevizi	to 0 -18 to	85 to 90	1 to 2 months 1	-0.9 -		
Kuş üzümü	0 -0.5 to 0	90 to 95	to 4 weeks	1.0 -	Low	
Hurma, tedavi edilmiş	14 to 15	75	6 to 12 months	15.7 -	Very Low	Low
İncir, Taze		85 to 90	7 to 10 days	2.4 -	Moderate	Low
Greyfurt		85 to 90	6 to 8 weeks	1.1	Very Low	Low
	-1to-0.5					
Üzüm	-0.5 to 0 5				Very Low	
Amerikan Gra.	to 10	90 to 95	1 to 6 months 2	-1.4 -	Very Low	Low
Sofralık Üzüm	0	90 to 95	to 8 weeks	2.7	Low	Low
Guavalar	10 to 13	90	2 to 3 weeks		Low	Moderate
Kivi	9 to 10	90 to 95	3 to 5 months 1	-0.9 -		Low
Limonlar	1 to 2	85 to 90	to 6 months 6	1.4 -	Moderate	Low
Misket limonu	13	85 to 90	to 8 weeks	1.6 -	Moderate	Low
Liçi'ler	-0.5 to 0	90 to 95	3 to 5 weeks	1.4 -	Moderate	Low
Mango	5 to 10	85 to 90	2 to 3 weeks	0.9 -		Moderate
Nektarinler		90 to 95	2 to 4 weeks	1.4		Low
Zeytin, Taze		85 to 90	4 to 6 weeks			Low
	3 to 9				Low	
Portakal	0 to 2				Very Low	
CA, Az, kuru ar.	7 to 13 -	85 to 90	3 to 8 weeks	-0.8	Very Low	Low
FL,Nemli alan	0.5 to 0 -	85 to 90	8 to 12 weeks 1	-0.8	High High	Low
Papaya	1.5to0.5 7	85 to 90	to 3 weeks	-0.9 -	Low	Low
Şeftaliler	to 13	90 to 95	2 to 4 weeks	0.9 -	Moderate	Low
Armutlar	0	90 to 95	2 to 7 months 2	1.7 -	Very High	Low
Ananas	-0.5 to 0	85 to 90	to 4 weeks	1.1 -	Very Low	Low
Erik ve Kuru erik	10	90 to 95	2 to 5 weeks	0.8 -	Very Low	Low
Narlar	13 to 15	90 to 95	2 to 3 months 3	3.0		Low
Çarkıfelek	4 to 7	85 to 90	to 4 weeks			VeryHigh
Sapotlar	10 to 15	85 to 90	2 to 3 weeks	-2.3 -		Low
Mandalina		90 to 95	2 to 4 weeks	1.1 -		Low
Karpuz		90	2 to 3 weeks	0.4		

EK-2**Tablo ek-2.1:** Kapılar kapalıyken $V = 1,8$ 'de gıda ürünleri için boyutsuz sıcaklıkverileri.

V=1.8 m/s								
süre, dk.	kırmızı lâhana	kırmızı lâhana	kırmızı lâhana	kavun	kavun	kavun	patlıcan	patlıcan
	Ys	Ym	Yc	Ys	Ym	Yc	Ys	Ym
0	1	1	1	1	0.9913	1	0.9827	1
					61437		22875	
20	0.9176	0.9928	0.9838	0.9533	0.9827	0.9870	0.8859	0.9913
	80744	41804	94059	51762	22875	42156	70974	61437
40	0.7789	0.9776	0.9838	0.8643	0.9542	0.9740	0.6691	0.8358
	90694	30637	94059	74568	15619	84312	43055	67312
60	0.6751	0.9069	0.9454	0.7952	0.8928	0.9222	0.4946	0.6596
	9685	4345	18754	66068	81824	52937	44091	40636
80	0.6232	0.8255	0.8738	0.7313	0.8280	0.8488	0.3685	0.5076
	99928	18969	36793	40705	92605	25155	21078	01935
100	0.5758	0.7476	0.8013	0.6743	0.7641	0.7814	0.2700	0.3918
	76879	73586	60057	26192	67243	44368	41465	45197
120	0.5248	0.6751	0.7181	0.6259	0.7002	0.7071	0.1974	0.2985
	74732	9685	46027	50242	4188	5273	7754	48721

Tablo ek-2.2: Kapılar kapalıyken $V=3,6$ 'da boyutları olmayan gıda ürünleri sıcaklık verileri.

V=3.6 m/s								
süre, dk..	kırmızı lâhana	kırmızı lâhana	kırmızı lâhana	kavun	kavun	kavun	patlıcan	patlıcan
	Ys	Ym	Yc	Ys	Ym	Yc	Ys	Ym
0	1	1	1	1	0.	1	0.	1
					9913614		9827228	
0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
	9176807	9928418	9838940	9533517	9827228	9870421	8859709	9913614
0	44	04	59	62	75	56	74	37

0	0. 7789906 94	0. 9776306 37	0. 9838940 59	0. 8643745 68	0. 9542156 19	0. 9740843 12	0. 6691430 55	0. 8358673 12
0	0. 6751968 5	0. 9069434 5	0. 9454187 54	0. 7952660 68	0. 8928818 24	0. 9222529 37	0. 4946440 91	0. 6596406 36
0	0. 6232999 28	0. 8255189 69	0. 8738367 93	0. 7313407 05	0. 8280926 05	0. 8488251 55	0. 3685210 78	0. 5076019 35
00	0. 5758768 79	0. 7476735 86	0. 8013600 57	0. 6743261 92	0. 7641672 43	0. 7814443 68	0. 2700414 65	0. 3918451 97
20	0. 5248747 32	0. 6751968 5	0. 7181460 27	0. 6259502 42	0. 7002418 8	0. 7071527 3	0. 1974775 4	0. 2985487 21

Tablo ek-2.3. Kapılar kapalıyken $V = 4,8$ 'de gıda ürünleri için boyutsuz sıcaklıkverileri

V=4. 8 m/s								
süre, dk.	kırmızı lâhana	kırmızı lâhana	kırmızı lâhana	\kavun	kavun	kavun	patlıca n	patlıca n
	Ys	Ym	Yc	Ys	Ym	Yc	Ys	Ym
0	0.386595497	0.3865 95497	0.38659 5497	0.3687 38709	0.3687 38709	0.3687 38709	0.4639 90494	0.4639 90494
20	0.386595497	0.3865 95497	0.38659 5497	0.3687 38709	0.3687 38709	0.3687 38709	0.4639 90494	0.4639 90494
40	0.386595497	0.3865 95497	0.38659 5497	0.3687 38709	0.3687 38709	0.3687 38709	0.4639 90494	0.4639 90494
60	0.386595497	0.3865 95497	0.38659 5497	0.3687 38709	0.3687 38709	0.3687 38709	0.4639 90494	0.4639 90494
80	0.386595497	0.3865 95497	0.38659 5497	0.3687 38709	0.3687 38709	0.3687 38709	0.4639 90494	0.4639 90494
100	0.386595497	0.3865 95497	0.38659 5497	0.3687 38709	0.3687 38709	0.3687 38709	0.4639 90494	0.4639 90494
120	0.386595497	0.3865 95497	0.38659 5497	0.3687 38709	0.3687 38709	0.3687 38709	0.4639 90494	0.4639 90494

Tablo ek – 2.4: Kapılar açıkken V = 4,8'de gıda ürünleri için boyutsal sıcaklık verileri.

V=4.8 m/s								
	kırmızı lâhana	kırmızı lâhana	kırmızı lâhana	\kavun	\kavun	\kavun	patlıcan	patlıcan
süre, dk.	Ys	Ym	Yc	Ys	Ym	Yc	Ys	Ym
0	0.9277 87406	0.9422 29925	1	1	0.9876 90793	1	1	1
20	0.8411 32293	0.9133 44887	1	0.8399 80305	0.9753 81585	1	0.8834 80062	0.9093 73382
40	0.8122 47256	0.8700 17331	0.9855 57481	0.8153 61891	0.9630 72378	0.9753 81585	0.7928 53444	0.8446 40083
60	0.7978 04737	0.8411 32293	0.9711 14962	0.8030 52683	0.9507 63171	0.9630 72378	0.7669 60124	0.8187 46763
80	0.7689 197	0.7978 04737	0.9422 29925	0.7538 15854	0.9015 26342	0.9138 35549	0.7022 26825	0.7799 06784
100	0.7400 34662	0.7689 197	0.9277 87406	0.7538 15854	0.8645 9872	0.8645 9872	0.6892 80166	0.7410 66805
120	0.7111 49624	0.7544 77181	0.8844 5985	0.7415 06647	0.8645 9872	0.8769 07927	0.6633 86846	0.7151 73485

Tablo ek – 2.5: Kapılar kapalıyken $V = 4,8$ hidrasyon koşulunda gıda ürünleri için boyutsal sıcaklık verileri.

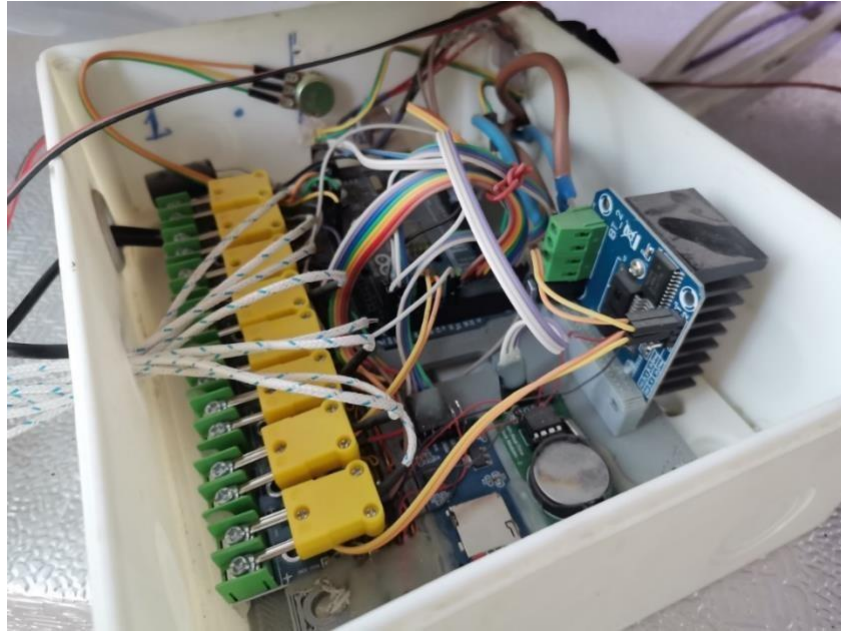
V= 4.8 m/ s	kırmızı lâhana	kırmızı lâhana	kırmızı lâhana	\kavun	\kavun	\kavun	patlıcan	patlıcan
	Ys	Ym	Yc	Ys	Ym	Yc	Ys	Ym
0	1	0.9664 5421	1	1	1	1	0.9085 16301	1
20	0.9832 27105	0.9664 5421	0.9664 5421	0.6897 01442	0.9412 94867	0.9329 0842	0.4594 14504	0.8502 99401
40	0.9077 49077	0.9245 21972	0.9496 81315	0.6729 28547	0.7987 2526	0.7903 38812	0.3596 14105	0.6257 48503
60	0.8238 84602	0.8406 57497	0.8909 76182	0.6645 421	0.7400 20127	0.7316 3368	0.3596 14105	0.4843 64604
80	0.7316 3368	0.7651 7947	0.7987 2526	0.6393 82757	0.6561 55652	0.6477 69205	0.3429 80705	0.4427 81104
100	0.6813 14995	0.6980 8789	0.7400 20127	0.6309 9631	0.6058 36967	0.5974 5052	0.3429 80705	0.4594 14504
120	0.6142 23415	0.6309 9631	0.6645 421	0.6309 9631	0.5806 77625	0.5639 0473	0.3512 97405	0.4261 47705

EK-3

Deney Düzeneginin Bileşenlerinin Resimleri













EK-4

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Raad Faissal Ajjaj AL-AZZAWI
Uyruğu:	Irak
Orcid Numarası:	0009-0000-3457-262X

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Kırkuk Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Makine Mühendisliği Bölümü
Mezuniyet Yılı	2017
Yüksek Lisans	
Üniversite	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Makine Mühendisliği
Mezuniyet Tarihi	2024

Tezden Üretilen Makaleler ve Bildiriler
Ajaj R.F., Danışmaz M. and Al-Bayati O. A. Z., (2024), Taze gıdaların ön soğutma ile muhafaza edilmesi ve saklanması, <i>International Journal of Advances in Electrical Engineering</i> , 5(1): 15-21, (7), doi.org/10.22271/27084574.2024.v5.i1a.48