

## Donmuş Muhafaza Sırasında Meyve ve Sebzelerde Oluşan Kalite Değişimleri

Engin Demiray, Yahya Tülek

Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 20070 Kınıklı, Denizli  
E-posta: edemiray@pau.edu.tr

### ÖZET

Yapılarında yaklaşık olarak %95 oranında su bulunan meyve ve sebzelerin tüketim aşamasına kadar geçen süreçte çeşitli yöntemlerle dayanıklı hale getirilmeleri gerekir. Bozulmaya neden olan biyokimyasal reaksiyonlar ile mikrobiyolojik faaliyetler yüksek su aktivitesi değerlerinde daha kolay gerçekleşir. Bu nedenle, meyve ve sebzelerin bozulmalarını önlemek için su aktivitesini düşürecek işlemler uygulanmalıdır. Su aktivitesini düşürmede etkili olan dondurma, meyve ve sebzelerin muhafazasında sık kullanılan işlemlerden biridir. Sıcaklığın düşürülmesiyle ürün yapısında bulunan serbest su dondurulmakta ve böylece mikroorganizma faaliyetleri ile enzim aktivitesinden kaynaklanabilecek bozulmalar da önemli ölçüde engellenebilmektedir. Teknolojik ve ekonomik nedenler dikkate alındığında, meyve ve sebzelerin muhafazası için dondurma ve dondurarak muhafaza yöntemi diğer birçok yöntemle göre avantajlı görünmektedir. Taze meyve ve sebze özelliklerine en yakın ürün dondurularak muhafaza ile elde edilebilmektedir. Bu çalışmada dondurma işleminin temel prensipleri ve dondurulmuş meyve ve sebzelerde meydana gelen kalite değişimleri hakkında bilgiler derlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Dondurarak muhafaza, Meyve ve sebze, Kalite değişimleri

### Quality Changes in Fruits and Vegetables During Frozen Storage

#### ABSTRACT

Stability of fruits and vegetables with about 95% water in their contents should be increased by various preservation methods until consumption. The rates of microbiological activities and biochemical reactions are faster at high water activity levels. Reducing the water activity of fruits and vegetables is a common practice in the prevention of spoilage. Freezing is an effective and widely used technology for preservation of fruits and vegetables. By decreasing the temperature below the freezing point of fruits and vegetables, free water in plant tissues is frozen. Microbial and enzyme activities are limited, and this prevents the spoilage of fruits and vegetables. From technological and economical point of view, freezing seems to have more advantages compared to other preservation techniques since the quality of frozen products is closer to their fresh counterparts. In this study, basic principles of freezing and quality changes in fruits and vegetables during freezing are reviewed.

**Key Words:** Freezing technology, Fruits and vegetables, Quality changes

#### GİRİŞ

Dondurma işlemi, meyve ve sebzelerin uzun süreli muhafaza edilmesi için uygulanan en iyi işlemlerden biridir. Dondurarak muhafaza ile birçok meyve ve sebzelerin rengi, aroması ve besin değeri korunmuş olur. Taze meyve ve sebzeler hasat edildikten sonra yapılarında kimyasal, biyokimyasal ve mikrobiyolojik değişimler devam eder. Dondurarak muhafaza ile bu tür reaksiyonlar ya tümten durdurulmakta ya da en aza indirilmektedir. Kaliteli, güvenilir dondurulmuş meyve ve sebze üretimi için taze, kaliteli meyve ve sebze

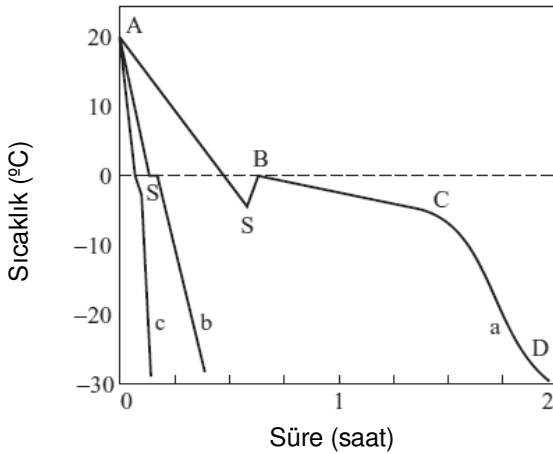
kullanılmalıdır. Bunun yanında, ürünün tür ve çeşidi, olgunluk durumu, uygulanan bazı ön işlemler, ambalaj tipi ve dondurma derecesi de kaliteli ürün elde edilmesinde dikkat edilmesi gereken özelliklerdir. Dondurma işlemi sonunda meyve ve sebzelerin sıcaklığı, donmuş ürünlerin depolama sıcaklığına (-18°C) indirilmektedir. Bu sıcaklıkta, donmuş ürünler uzun süre dayanıklı kalmaktadır [1, 2].

Meyve ve sebzeler, bütün veya yarıya kesilerek, dilimler halinde, küp şeklinde dondurabilirler. Meyveler, belirtilen şekillerde şeker şuruplarının içinde ya da şeker ilave

etmeden dondurulabilir. Bunun dışında meyve ve sebze suları, püreleri veya konsantreleri de gıda sanayinde yaygın olarak dondurulmaktadır. Bu makale kapsamında, dondurma işleminin temel prensipleri ve dondurulmuş meyve ve sebzelerde meydana gelen kalite değişimleri hakkında bilgiler derlenmiştir.

## DONDURMA İŞLEMİNİN TEMEL PRENSİPLERİ

Gıdaların dondurulması, gıda sıcaklığının donma noktasının altındaki bir sıcaklığa düşürüldüğü (kabul edilen  $-18^{\circ}\text{C}$ ), içerdiği suyun önemli bir kısmının buz kristallerine dönüştüğü (yaklaşık suyun %85'i) bir işlemdir. Meyve ve sebzelerde %85-90 arasında donabilir nitelikte (serbest) su bulunmakta olup, bu suyun buza dönüştürülmesiyle ürünlerin su aktivitesi düşürülmektedir. Su aktivitesiyle birlikte sıcaklığın da düşürülmüş olması kimyasal ve biyokimyasal reaksiyonlar ile mikrobiyal faaliyetlerin hızını azaltmaktadır [2]. Dondurma işlemi sırasında, ilk buz kristallerinin oluştuğu sıcaklık gıdanın su aktivitesine göre değişmektedir. Örneğin yaklaşık %70 su içeriğine sahip taze et ve ürünlerinin başlangıç donma sıcaklığı  $-1^{\circ}\text{C}$  civarında olduğu halde, yaklaşık %90 su içeriğine sahip olan meyvelerin başlangıç donma sıcaklığı ise  $-2$  ila  $-3^{\circ}\text{C}$  civarındadır. Daha fazla su içeriğine sahip oldukları halde, meyvelerde şeker ve organik asit konsantrasyonunun fazla olması, su aktivitelerinin daha düşük olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle de meyveler etlere göre daha düşük donma başlangıç sıcaklığı göstermektedir [3, 4, 5]. Şekil 1'de dondurma sürecinde gıda maddelerinde görülen sıcaklık değişimi (donma eğrileri) genel hatlarıyla gösterilmiştir.



Şekil 1. Gıdaların üç farklı hızda dondurulması sırasında elde edilen donma eğrileri (a) Çok yavaş (b) Hızlı (c) Çok hızlı [6].

Dondurulması istenilen üründe, donma noktası sıcaklığına ulaşılması ile buz kristal oluşumu hemen başlamaz. Öncelikle, kristal çekirdeklerinin oluşup kaybolması şeklinde gerçekleşen, kararsızlığın hüküm sürdüğü bir süreç yaşanmaktadır. Bu süreçte kristalizasyonun gecikmiş olmasından dolayı, ürün sıcaklığı donma sıcaklığının birkaç derece altına kadar düşebilir. Bu olay aşırı soğuma olarak bilinmektedir

(Şekil 1'de  $0^{\circ}\text{C}$  ile S bölgesi arası). Bu aşamadan sonra SB bölgesinde, buz kristallerinin oluşmaya başlamasıyla açığa çıkan kristalizasyon gizli ısısının etkisiyle sıcaklık hızlı bir şekilde donma noktasına yükselir. Donma bölgesi diye de adlandırılan BC bölgesinde gıdadaki suyun tamamına yakınının kristalizasyon gizli ısısı uzaklaştırılmaktadır. Bu bölgenin başlangıcında saf buz kristalleri, daha sonra ise çözünmüş madde kristalleri ile karışmış olan buz kristalleri oluşmaktadır. Meyve sebzelerin dondurulmasında bu aşamada konsantr olmuş fakat donmamış, ancak "donabilir nitelikte" sıvı faz bazı fiziksel özelliklerin (pH, viskozite vb.) değişimine yol açabilir. Bunun sonucunda da meyve ve sebzelerde enzimatik ve kimyasal reaksiyonların gerçekleşme riski artabilir. Enzimatik esmerleşme, oksidasyon ve indirgenme reaksiyonları meydana gelebilir. Bu reaksiyonlar dondurulmuş ürün kalitesinin düşmesine neden olur. BC bölgesi ne kadar hızlı geçilirse kalite kayıpları da o kadar az olur. Bu yüzden hızlı dondurma işlemi tercih edilmektedir. C noktası (son kriyohidrik nokta), donma işleminin sona erdiği noktadır. Buradan sonra gıdanın sıcaklığı hızla düşmektedir. Şu halde donmanın tam olarak gerçekleşmesi için, her gıda maddesinin kendine özgü son kriyohidrik noktaya kadar soğutulması zorunludur [3, 4, 7]. CD bölgesinde ise ürünün soğutulması depolama sıcaklığına kadar devam eder. Çünkü dondurulmuş gıdalarda bir miktarda olsa daima donmamış fakat donabilir nitelikte su bulunmaktadır. Çoğunlukla bu su ile birlikte proteinler veya polisakaritler gibi makromoleküller ortamda bulunabilir. Bu büyük moleküller, fiziksel ve kimyasal reaksiyonların oluşmasına neden olabilir [7].

Bitkisel bir doku dondurulurken, suyun kristalizasyonu ilk önce hücreler arası boşluklarda gerçekleşir. Dondurulan dokudan ısı uzaklaştırıldıkça, hücrelerin çevresi, sıcaklığı gittikçe düşen bir buz yuvası ile sarılır. Hücre dışında buz kristallerinin oluşumu ve bunların büyümesi sonucunda, hücre dışında, başlangıçtaki aksine hücre içi sıvısına kıyasla konsantrasyonu daha yüksek ve donamamış durumda yoğun bir çözelti oluşur. Böylece hücre içindeki donmamış sıvının su buharı basıncı hücre dışındaki sıvının su buharı basıncından daha yüksek duruma geçer. İşte bu nedenle ozmotik basınç bakımından bir dengeye ulaşmak için hücre içinden hücre dışına su buharı transferi gerçekleşir ve bu oluşum, hücre dışındaki kristallerin daha da büyümesini sağlar. Bu yolla hücre, içindeki kendi öz suyunu kaybederek adeta kurur. Böylece hücre içi sıvısının yoğunluğu gittikçe artar. Buna bağlı olarak hücre içi sıvısının donma noktası daha da düşer ve adeta hücre içinde buz kristalleri oluşma şansı kaybolur [8].

Bitkisel dokularda hücre duvarı ve membranı hücre içinde buz oluşumuna karşı bir engel gibi davranmaktadır. Bu engelleme daha çok haşlanmamış bitkisel dokular için söz konusudur. Buna karşın haşlama sonucunda zedelenmiş sebze dokularında, bir hücreden bile daha iri buz kristallerinin oluşma olasılığı vardır. Eğer soğuma hızı düşükse; hücrede oluşmuş tek bir kristal, hücrenin duvarındaki bir pordan komşu hücrenin içine doğru geçebilir. Böylece ikinci hücredeki kristal, aslında birinci hücredeki kristalin devamından

başka bir şey değildir. Haşlama gibi bir işlemin uygulanmadığı zedelenmemiş normal bir hücrede ise böyle bir oluşum gerçekleşemez [2, 3].

Gıda maddelerinin dondurulması, gıda maddesinin cinsine, bileşimine, kütlesine, dondurma işleminde kullanılan ortam şartlarına (sıcaklık, hava sirkülasyonu, vb.) ve ısı transfer şekline bağlı olarak farklı hızlarda gerçekleşebilir [3, 9]. Genel olarak, hızlı dondurma işlemiyle daha kaliteli donmuş meyve sebze ürünü elde edilir. Bitki dokusunun donması açısından donma hızı önemli bir parametredir. Donma olayı çok yavaş gerçekleşirse büyük buz kristallerinin hücre dışına çıkışı yavaş olur. Dahası gözenekli yapıdaki hücre zarı çözünme esnasında zarar görür. Hücre içinde büyük buz kristallerinin oluşmasıyla, organeller de bu durumdan etkilenir. Sonuç olarak, enzimatik sistemler ve substratları reaksiyona girebilir nitelik kazanır ve aroma ve renk kaybı gibi olumsuz durumlar meydana gelebilir. Bu olumsuzlukları önlemek için dondurma işleminden önce bazı ön işlemler uygulanabilir. Örneğin, kimyasal maddelerle muamele veya haşlama yapılabilir. Haşlama işlemiyle enzimler inaktif hale getirilir [3, 7].

Hızlı dondurmanın yavaş dondurmaya göre en iyi yönü, depolama esnasında olası sıcaklık değişimlerine karşı meydana gelebilecek rekristalizasyon kayıplarının az olmasıdır. Yavaş hızda dondurma işlemiyle bütün halde dondurulan meyveler depolama esnasında düşük sıcaklıklara maruz bırakılırsa hacim genişlemesi, büzülme ve iç basınç gibi faktörlerden dolayı çatlamalar meydana gelebilir [4, 5, 10].

## MEYVE ve SEBZE DONDURMA TEKNOLOJİSİ

Kaliteli bir dondurulmuş gıda üretiminde kalite üzerinde en etkili faktör hammaddedir. Ülkemizde, dondurulmuş meyve sebze üretimine konu olan her türlü meyve sebze üretimi için tarımsal kaynaklar açısından yeterli zenginliğe sahiptir. Türkiye'de dondurulmuş meyve ve sebze üretiminde kullanılan ham ve yardımcı maddelerin tamamı yurt içinden karşılanmaktadır. Ancak dondurulmaya uygun birçok ürün kendi çeşitleri içinde değişkenlik göstermekte ve bazı çeşitler donma esnasında kalite kayıplarına daha fazla uğramaktadır. Dondurulmak üzere üretimi yapılan başlıca meyve ve sebzeler çilek, vişne, patates, yeşil ve kırmızıbiber, domates, fasulye ve bezelyedir. Dondurulmuş sebze üretiminin yaklaşık %80'lik kısmı Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve kısmen de Ekim aylarında gerçekleştirilmektedir. Kasım, Aralık aylarında dondurulmuş pırasa ve karnabahar üretimi ile sektörde çalışan fabrikaların dondurulmuş meyve ve sebze üretim sezonu kapanmakta, bu aydan itibaren kısıtlı bir kadro ile zaman zaman sezon imalatlarının paketlenmesi yapılmaktadır. Patatesin ise depolamak suretiyle 10 ay boyunca işlenmesi mümkün olabilmektedir. Sektörde dondurulmuş sebze üretimi yanı sıra dondurulmuş su ürünleri, konserve meyve ve sebze, meyve suyu, reçel, marmelat ve kurutulmuş sebze üretimi de yapılmaktadır. Sektördeki tüm firmalar üretici/ihracatçı niteliğindedir [11].

Sebzelerin lezzet ve tekstürel özellikleri çok tazeyken en üst düzeyde bulunur. Bu yüzden dondurulacak hammaddenin taze olması istenir [8]. Sebzelerin hasat zamanının saptanması için bazı cihazlar geliştirilmişse de, birçok sebzenin hasat zamanı oldukça subjektif ölçülerle belirlenmektedir. Hasat zamanının saptanmasında; olgunlaşmaya paralel olarak nişasta miktarının azalışı, şeker oranının artışı, sebze öz suyunun refraktif indeksi ve alkolde çözünmeyen madde miktarının yükselmesi gibi çeşitli kimyasal ve fiziksel değişimlerin belirlenmesine dayalı diğer metotlar da vardır [8].

Ürünün hasadı ile işlenmesi arasındaki sürenin olabildiğince azaltılması, kaliteye etki eden en önemli faktörlerden biridir. Bazı sebzelerin soğuk su, soğuk hava veya buz ile soğutulmuş taşınması, hasat sonu değişimleri önemli ölçüde önleyerek, en iyi kaliteye ulaşabilmede işletmeye zaman kazandırmaktadır. Dondurulacak her sebze, sanki hemen sofraya gelecekmişçesine hazırlanır. Buna göre sebzeler ayıklanır, yıkanır, yenmeyen kısımları (kabuk, uç, sap vs.) kesilip atılır. Gerekli olduğu takdirde kalitesine göre gruplandırılır. İriliğine göre sınıflandırılır, doğranır, bölünür, kesilir. Bunlar, sebzelerin her türlü muhafaza ve işleme yönteminde uygulanan genel işlemlerdir. Genel bir ilke olarak dondurulacak tüm sebzeler haşlanırlar. Ancak soğan, pırasa gibi bazı sebzeler haşlama uygulamaksızın dondurulunca kalitelerinde herhangi bir olumsuzluk belirlenmediği saptanmıştır [8, 12].

Dondurulacak ürüne, uygulanacak dondurma yöntemine ve hatta elde edilecek ürünün kullanım alanına göre sebzeler ya önce ambalajlanıp sonra dondurulur ya da önce dondurulup daha sonra ambalajlanırlar [12]. Dondurma teknolojisi açısından meyve ve sebzeler arasındaki bazı farklılıklar, bu ürünlerin kendi niteliklerinden kaynaklanmaktadır. Sebzeler, genellikle pişirildikten sonra tüketilmektedir. Pişirme işlemi bunların lezzetini hatta tekstürünü olumlu yönde değiştirmekte ve geliştirmektedir. Buna karşın meyveler, daima doğal hali ile, yani pişirilmeden tüketilmekte ve bu haliyle kalite özellikleri en üst düzeyde bulunmaktadır [2].

Meyve ve sebzeler arasında yapılan kıyaslamalar, bunların dondurulmalarında uygulanan işlemlerin farklılık nedenlerini de ortaya koymaktadır. Dondurularak muhafazada, mikrobiyolojik bozulmaların kesinlikle önlenemesine karşın, enzimatik değişimlerin yavaş bir hızla da olsa devam etmesi gibi bir olumsuzluk, sebzelerin haşlanmasıyla önemli oranda ortadan kaldırılmakla birlikte, meyvelerde bu olanak bulunmamaktadır [8].

Dondurulmuş bir meyvenin kalitesi, tamamen hammadde kalitesine bağlıdır. Hammaddenin dondurulmaya elverişliliği, çeşit karakterine, yetiştirme yönteminin ekolojik niteliklerine, hasat sırasındaki olgunluk aşamasına ve buna benzer çeşitli faktörlere bağlıdır [3]. Dondurulacak meyveler sofraya olgunlukta toplanırlar. Eğer hasat edilmiş meyveler olgunluk açısından homojen değilse, ham olanlarla aşırı olgunlar mutlaka ayrılmalıdır. Sofra olgunluğuna erişmiş meyveler renk ve

aroma açısından en üst düzeyde bulunmalarına karşın bunlar; hasat, taşıma ve işlemede kolaylıkla zedelenir ve yaralanırlar. Ayrıca bunlar dondurulup tüketim için çözülünce orijinal şekil ve tekstürlerini daha çok kaybederler [12].

Meyvelerin tam olgunlukta toplanmaları, onların mikroorganizmalar ve genellikle küfler tarafından kolaylıkla bozulmasına da neden olmaktadır. Bu durumun oluşmaması için ürünün hasat edilmesiyle birlikte hemen soğutulması ve soğukta nakledilmesi gerekmektedir. Dondurulacak meyvelere uygulanan önlemler, onları sanki hemen sofrada tüketilecekmişçesine hazır hale getiren işlemler topluluğudur. Buna göre meyveler, ayıklanır, yıkanır, sapları ayrılır, sınıflandırılır, çekirdekleri çıkarılır, kabukları soyulur, bazıları doğranır veya dilimlenirler. Dondurulmuş meyvede oluşabilecek enzimatik değişimleri önlemek veya sınırlamak amacıyla sebzelerde uygulanan haşlama yerine geçebilecek bazı uygulamalar yapılmaktadır. Bu uygulamaların başında meyvenin şeker şurubu içinde dondurulması, askorbik asit kullanılması ve kükürt dioksit uygulaması gelmektedir [8].

Dondurulacak meyvelerin ve özellikle açık renkli meyvelerin renklerinin enzimatik yolla esmerleşip bozulmasını önlemede değişik antioksidanlardan yararlanılma olanağı vardır. Bu antioksidanların başlıcalarını askorbik asit ve türevleri oluşturmaktadır [13, 14]. Bu bileşikler, ya şeker şurubuna eklenmekte veya meyve, bu bileşiklerden hazırlanmış çözeltilere daldırıldıktan sonra dondurulmaktadır. Değinen bu son uygulama şekliyle sadece yüzey renk esmerleşmesinden korunabilmektedir. Dondurulmuş meyvelerin rengini esmerleşme reaksiyonlarından korumada sadece antioksidanlar değil, sitrik asit, malik asit ve sodyum asit pirofosfat gibi ortamdaki metal iyonları ile şelat yapan bileşiklerin de kullanılması olanağı vardır. Sitrik ve malik asit sadece şelat yapma yeteneği ile değil, ortamın pH derecesini de düşürerek bu yolla enzim aktivitesini sınırlandırmaktadır [8].

Meyvelerin şeker şurubu içinde dondurulmasının ise, bir taraftan enzimatik reaksiyonları engellemede, diğer taraftan uçucu aromatik bileşikleri korumada önemli yararları vardır. Şeker, hava oksijeninin meyve dokusunun derinliklerine difüzyonuna engel olmaktadır. Şeker ayrıca, dondurulan meyvenin kriyohidrik noktasını düşürmekte ve böylece donma sonucu oluşacak hacim artışını sınırlamaktadır [3, 8].

## **DONDURULMUŞ MEYVE ve SEBZELERİN KALİTESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER**

Dondurulmuş gıdaların daha üstün alternatifleri, ya tazesini ya da uygun koşullarda soğukta saklanmış olanıdır. Ancak şu husus özellikle unutulmamalıdır ki; hiçbir dondurma yöntemi, dondurmaya alınan hammaddenin sahip olduğu kaliteyi artırıp geliştirmez. Sadece mevcut kaliteyi en iyi şekilde korur. Dondurma ve donmuş halde depolama aşamalarında ve hatta çözmede kaliteyi olumsuz yönde etkileyen bazı kimyasal, biyokimyasal ve fiziksel değişimlerden

kaçınılmaz. Ancak en iyi dondurma yöntemi ve en iyi depolama koşullarının sağlanması halinde, beklenen olumsuzluklar en aza indirilebilmektedir [2]. Bu değişimlerin yavaş da olsa seyretmesinden dolayı başta besin değeri ve duyuşal özelliklerinde kayıplar meydana gelebilmektedir. Bu yüzden meyve ve sebzelerin dondurma işleminin tüm aşamalarında kayıpları en aza indirmek için kontrollü işlem yapılması gerekmektedir.

Kaliteli ve güvenli donmuş meyve ve sebze üretimi için iki önemli faktör vardır [3]:

### **1) Hammadde-İşlem-Ambalajlama (PPP)**

*Hammadde:* Yüksek kalitede donmuş meyve ve sebze ürünü için kaliteli hammaddeye ve yardımcı maddelere ihtiyaç vardır.

*İşlem:* Hızlı ve etkili dondurma yöntemleri ve uygun ön işlemler (haşlama vs.) tercih edilmelidir.

*Ambalajlama:* Kullanılacak ambalaj materyali fiziksel ve kimyasal etkilere karşı koruyucu nitelikte olmalıdır.

### **2) Zaman-Sıcaklık-Tolerans (TTT)**

1. Kullanılacak hammadde uygun olmalı
2. PPP faktörlerine dikkat edilmeli
3. Dondurma, donmuş halde depolama ve çözme esnasında meyve ve sebze dokusunda meydana gelebilecek fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal değişimlerin nasıl önlenebileceği bilinmeli
4. Çözme işlemi uygun koşullarda yapılmalıdır.

TTT faktörleri donmuş halde depolama aşamasında kaliteyi korumak açısından önemlidir [3, 9]. Yüksek kalitede donmuş meyve ve sebze üretimi için kaliteli hammaddeye ihtiyaç vardır. Dondurma işlemi esnasında kalitede bir artma meydana gelmez fakat kayıplar olabilir. Meyve ve sebzeler yeterince olgun olarak hasat edildikten sonra dondurulduklarında kalitesi en yüksek seviyeye ulaşır. Renk, tekstür, aroma ve besin değeri açısından kalite korunmuş olur. Farklı meyve ve sebze türlerinde dondurma işlemi yapılırken farklı kayıplar meydana gelebilir. Çünkü her meyve ve sebzenin kendine özgü bir hücre duvarı yapısı, enzim aktivitesi, şeker, organik asit ve vitamin içeriği bulunmaktadır.

Dondurma işleminin meyve ve sebzeler üzerine etkisin daha iyi anlamak için bitki hücresinin yapısını iyi bilmek gerekir. Bu yüzden hücre yapısı ve donmuş hücrede meydana gelen zararlar arasındaki ilişki çoğu araştırmacı tarafından incelenmektedir. Bitki hücresi incelendiğinde hücre içinde organeller görülmektedir. Hayvan hücresiyle karşılaştırıldığında bitki hücresinde kloroplast bulunmaktadır. Ayrıca bitki hücresinde bulunan koful daha büyük yapıda ve hücrenin merkezine yayılmış şekildedir. Hücre hacminin büyük bir kısmını koful oluşturmaktadır. Bu yapı, hücre içinde yüksek ozmotik basıncın oluşmasını engellemekte ve bu sayede hücre içindeki bazı bileşiklerin (inorganik iyonlar, organik asitler, şekerler, asitler, aminoasitler, lipidler, flavonoidler gibi) korunmasına yardımcı olmaktadır.

## Fiziksel Değişimler ve Kalite

### Hacim Genişlemesi

Donma sırasında gerçekleşen en belirgin değişme gıdanın hacminde meydana gelir. Saf su 0°C'de buz haline dönüşünce hacmi yaklaşık olarak %8.3 oranında artmaktadır. Ancak herhangi bir çözelti veya gıdanın donması sırasında bu oranda bir hacim artışı görülmez. Bunun nedeni ise donma sonucu suyun hacminin artmasına karşın, ortamdaki katı maddelerin hacminin azalmasıdır. Örneğin donma sonunda %30'luk sakaroz çözeltisinin hacmi ancak %6 artmakta, fakat %60'luk sakaroz çözeltisinde aksine %1 hacim azalması görülmektedir [8]. Bitkisel dokularda hacim artışını sınırlandırıcı diğer bir etken de özellikle bitkisel dokularda belirgin bir şekilde varolan hücreler arası boşluklardır. Gerçekten bu boşluklar, buzun hacim artışını dengelemektedir. Ancak hacim artışı ne olursa olsun, dondurulmuş ürün çözülme sonunda başlangıçtaki hacmini kaybetmektedir. Bu durum özellikle meyve ve sebze dokularında oldukça belirgindir [8].

### Rekristalizasyon

Dondurulmuş gıdadaki suyun katı faza dönüşmesiyle oluşmuş kristallerin daha sonra; sayısında, boyutunda, şeklinde oluşan her türlü değişikliğe "rekristalizasyon" denir. Rekristalizasyon; "bütün sistemler, minimum enerjinin egemen olduğu bir konuma dönüşmeye yönelirler" şeklindeki termodinamik yasaya uygun olarak gelişen bir olaydır. Dondurulmuş gıdaların depolanması ve taşınması sırasında sıcaklıktaki oynamalar rekristalizasyonun başlıca nedenidir [15, 16]. Bir gıdanın kalitesini yüksek düzeyde tutmak amacıyla hızlı bir dondurma uygulanmış olsa bile, daha sonraki uygun olmayan koşullar nedeniyle oluşan kristalizasyon sonucu, hızlı dondurmanın sağladığı avantajlar kaybedilebilir [7].

Depolama sırasında belli bir sıcaklıkta üründe bulunan buz miktarı sabit kalırken kristal sayısı azalır ve kristaller büyür. Gerek sabit bir sıcaklıkta, gerekse dalgalanan sıcaklıkta kristaller, daima yüzey alanlarını küçültme yönünde bir eğilime sahiptirler. Bu eğilim dalgalanan sıcaklıkta artmaktadır. Soğutma sistemlerinin çalışmalarını daima küçük aralar vermek suretiyle sürdürmesi yüzünden depo sıcaklığı az veya çok mutlaka dalgalanır. Depo kapısının açılıp kapanması, bu dalgalanmanın diğer bir nedenidir. Ayrıca soğutma sisteminin arızaları da depo sıcaklığındaki dalgalanmaları çok artırır. Depo sıcaklığı dalgalanırken, sıcaklığın yükselme evresinde küçük kristaller büyüklere göre oransal olarak daha fazla küçülürler. Buna karşın sıcaklığın düşme evresinde büyük kristaller bir önceki evrede küçük kristallerin erimesiyle oluşmuş su moleküllerini kendi üzerlerine çekerek onları katı faza geçirme yeteneği küçük kristallerden daha yüksek olduğundan, küçükler aleyhine büyürler. Bu yolla küçükler kaybolurken büyükler gittikçe irileşirler. Hangi şekilde gerçekleşirse gerçekleşsin, kristallerin büyümesi dondurulmuş meyve ve sebzelerde doku hasarına neden olarak kalitenin düşmesine neden olmaktadır [8].

## Süblimasyon

Donmuş halde depolama esnasında buzların süblimasyonu söz konusu olabilir. Nem migrasyonu ve ağırlık kayıpları donmuş ürünlerin yüzeyinde en fazla görülmekte, bunun sonucu olarak da görünüm, renk ve tekstürde değişimlere yol açmaktadır [3]. Genelde bu durum, ürünün yüzeyi ve merkezi arasındaki veya ürün yüzeyi ile dondurucu evaporatörlerin arasındaki sıcaklık farkından kaynaklanmaktadır. Eğer ürün sıkı bir şekilde, su geçirmeyen bir ambalaj materyali ile sarılırsa, oluşabilecek buharlaşma tamamen durdurulabilmektedir. Oluşan dehidrasyon uygulanan fiziksel işlemlerden, ısı aktarım ortamının sıcaklığından ve ürün boyutları gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Meydana gelen su kaybı oluşan buzun süblimasyonu ile gerçekleşmektedir. Süblimasyonun küçük bölgeler halinde gerçekleşmesiyle yüzeyde "don yanığı" denen lekeler oluşmaktadır [8]. Rekristalizasyon ve don yanığının donmuş meyve ve sebzelerde kalite kayıplarına neden olmaması için depolama sıcaklığının -18°C'nin altında olmasına ve sıcaklık değişimlerinin en aza indirilmesine dikkat edilmelidir [3].

## Kimyasal ve Biyokimyasal Değişimler ve Kalite

Sıfırın altındaki sıcaklıklarda dahi donmuş meyve ve sebzelerde kimyasal ve biyokimyasal reaksiyonlar tamamen durmaz, az da olsa devam eder. Bu yüzden ürünün duyu ve besinsel özelliklerinde kayıplar meydana gelir. Kimyasal ve biyokimyasal reaksiyonların başlıca neden olduğu değişimler renk kayıpları, esmerleşme, tat ve aroma değişimleri, tekstür değişimleri ve oksidasyon sayılabilir. Bunun yanında donma ve donmuş halde depolama esnasında meydana gelen pH değişimleri yüzünden meyve ve sebze dokusunda hasarlar oluşur.

### Renk Değişimleri

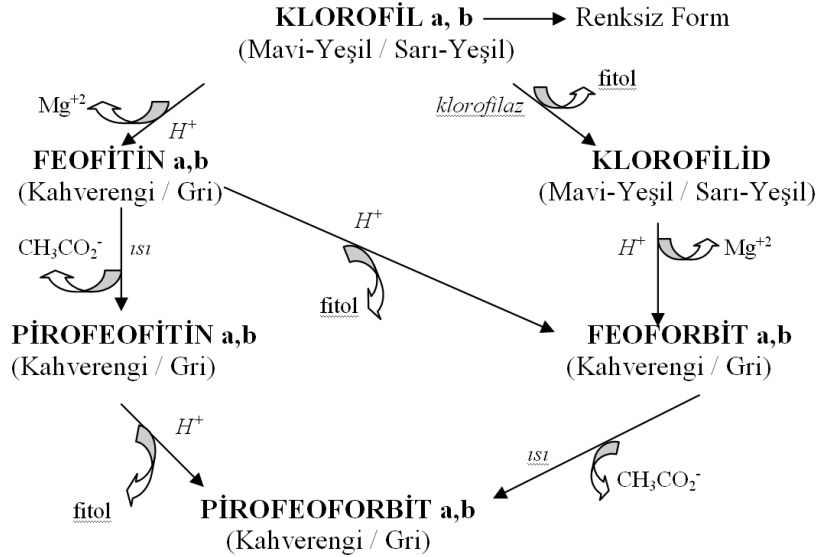
Renk, donmuş meyve ve sebzeler açısından önemli bir kalite kriteridir. Çünkü tüketicilerin üründe ilk olarak dikkat ettiği özellik ürünün rengidir. Ayrıca işlemeye uygun olup olmadığını belirlemede de ürünün rengine bakılır. Meyve ve sebzelerin dondurulmaları sırasında meydana gelen renk değişimleri kimyasal, biyokimyasal ve fizikokimyasal reaksiyonlar sonucu oluşmaktadır. Kloroplast ve kromoplast yapısının bozulması, klorofil, karotenoid ve antosiyanin gibi doğal renk maddelerinin değişimi, enzimatik esmerleşme reaksiyonları renk değişimlerinin meydana geldiği başlıca olaylardır. Mekaniksel zararlar (buz kristalleri ve hacim genişlemesi) donma işlemi sırasında kloroplast ve kromoplast kırılma yapısının dağılmasıyla oluşur. Bu yüzden kolofil ve karotenoidler serbest kalır ve böylece oksidasyon ve enzimatik reaksiyonların oluşması kolaylaşır. Bunun yanında meydana gelen antosiyanin kayıpları hacim genişlemesinden kaynaklanmaktadır [3].

### (i) Klorofiller

Meyve ve sebzelerde bulunan yeşil renkli doğal renk maddeleridir. Yapıları, tetrapirollerin magnezyum iyonları ile birleşmesinden oluşur. Magnezyum iyonları

merkezde bulunur. Yeşil renkli meyve ve sebzelerin dondurulmaları ve donmuş ürünlerin depolanmaları esnasında klorofiller (a ve b) bazı reaksiyonlar sonucu feofitinlere dönüşür. Son üründe kahverengimsi bir renk meydana gelir [17]. Klorofil bozulmalarının farklı mekanizmaları vardır; ısı ve asit etkisiyle klorofiller feofitinlere dönüşür, ya da fitol grubunu kaybetmesiyle klorofilaz enziminin de etkisiyle feoforbite dönüşür. Şekil 2'de bu reaksiyonlar daha ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir. Sıcaklık, asit, ışık, oksijen ve enzim gibi etmenler kolaylıkla klorofillerin parçalanmasına ve beraberinde renk kayıplarına neden olmaktadır. Bu yüzden, klorofillerin muhafazası açısından haşlama (sıcaklık/zaman), donmuş ürün depolama (sıcaklık/zaman) ve asitlik seviyesi kontrol edilmesi gereken önemli faktörlerdir [3]. Cano ve arkadaşları [18], kivi dilimlerini dondurduktan sonra 300 gün boyunca -20°C'de depolamışlar ve bu süre sonunda klorofil konsantrasyonunda %40-60 arasında bir kaybın olduğunu belirlemişlerdir.

Klorofil parçalanmasında başta gelen etmenlerden biri enzim aktivitesidir. Özellikle peroksidaz ve lipoksigenaz enzimleri dondurulmuş meyve sebze üretiminde dikkat edilmesi gereken enzimlerdir. Meyve ve sebzelerin dokusunda bulunan peroksidaz enzimi özellikle oksidasyon reaksiyonlarının temel etmenidir. Lipoksigenaz enzimi de donmuş ürünlerde yağ asitlerinin parçalanmasına neden olur. Bunun yanında klorofilaz enzimi de klorofilden bir fitol grubunun ayrılmasıyla klorofilidlere dönüşmesine neden olur. Ayrıca bu enzim feofitinden de bir fitol grubunun ayrılmasıyla yapının feoforbite dönüşmesine de neden olur. Bu tür istenmeyen renk değişimlerinin oluşmasını engellemek için haşlama veya inorganik tuz çözeltisi ilavesi yapılabilir. Tuz çözeltisi olarak sodyum klorür ve potasyum klorür ya da sodyum veya potasyum sülfat kullanılabilir. Böylece yeşil renkli meyve ve sebzelerin dondurulması ve donmuş ürünlerin depolanması esnasında doğal yeşil renk korunmuş olur [3, 20].



Şekil 2. Klorofilin parçalanma mekanizması [3, 19].

## (ii) Karotenoidler

Meyve ve sebzelerin sarı-kırmızı tondaki doğal rengini veren, yağda çözünebilir nitelikteki maddelerdir. Bilinen başlıca karotenoidler;  $\beta$ -karoten (domates ve havuçta), likopen (domates, karpuz ve papayada), lutein (domateste),  $\beta$ -kriptoksantin (portakalda),  $\alpha$ -karoten (muz ve avakadoda)'dir [3]. Karotenoidler pH, enzim aktivitesi, ışık ve oksijenden etkilenen bileşiklerdir. Yapılarında çift bağ içerdikleri için kolaylıkla oksidasyona uğrayabilmektedirler. Karotenoidlerin başlıca bozulma reaksiyonu izomerizasyondur. Bitkilerde genellikle karotenoidlerin *trans* formları bulunur. Sıcaklığın artmasıyla, ışığın etkisiyle asitlerin katalizör etkisiyle izomerizasyon meydana gelmekte ve karotenoidlerin *cis* formları ortaya çıkmaktadır. *Cis* formlarının ortaya çıkmasıyla karotenoidlerin biyolojik aktiviteleri azalmaktadır. İzomerizasyon reaksiyonlarını engellemek için dondurma işleminden önce

yapılabilecek ısı işlem uygulamalarını meyve ve sebze için uygun olacak şekilde yapmak gerekir. Haşlama gibi ısı işlemleri enzimleri inaktif hale getirir ve böylece karotenoidlerdeki izomerizasyon da engellenmiş olur. Bu işlemi yaparken ısı duyarlılığı yüksek olan karotenoidler (epoksikarotenoidler) unutulmamalıdır [27].

Karotenoidler, yağda çözünen renk maddeleri olup kromoplastın parçalanmasıyla oluşur. Bu parçalanma ısı işlemle ya da mekanik bir etkiyle meydana gelebilir. Karotenoid bakımından zengin olan mango ve papayada yapılan bir çalışmada, herhangi bir ön işlem uygulanmadan yapılan dondurma işlemiyle karotenoid konsantrasyonunda %20 oranında azalma meydana geldiği belirlenmiştir [20]. Aynı çalışmada, dondurdukları bu ürünleri -18°C'de 12 ay boyunca depolamışlar ve %40-65 arasında bir kayıp belirlemişlerdir. Bunun yanında karotenoidlerin yapısında bir değişimin olmadığını tespit etmişlerdir. Bir başka çalışmada [21]

ise küp şeklinde doğranmış domatesler dondurulmuş ve depolanmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda -20°C'de depolama işleminin üçüncü ayından itibaren β-karoten ve likopen miktarında önemli kayıpların olduğu belirlenmiştir. On iki ay depolanan ürünlerde β-karotende %51 oranında likopende ise %48 oranında bir kaybın olduğu tespit edilmiştir. Dondurulmuş ve donmuş ürünlerin depolanmasında karotenoid özelliklerinde ve konsantrasyonunda meydana gelen kayıpların nedeni olarak meyve çeşidi, pH, antioksidan oranı ve işleme sırasındaki ortam koşulları (sıcaklık, süre, ışık ve oksijen) gibi özellikler sayılabilir.

### (iii) Antosiyaninler

Flavonoidlerin bir sınıfı olan antosiyaninler pembe, kırmızı, mor veya mavi renklerdeki meyve ve sebzelerde bulunan maddelerdir. Özellikle üzümde, çilekte ve (ahududu ve böğürtlen gibi) üzümü meyvelerde bol miktarda bulunur. Suda çözünür niteliktedirler. Meyve ve sebzelerin dondurulması, donmuş halde depolanması ve çözünmeleri sırasında antosiyaninlerin olumsuz etkilendiği yapılan çalışmalar sonucunda belirlenmiştir [1]. Chaovanalikt ve Wrolstad [22] yaptıkları bir çalışmada üzümü meyvelerin dondurulduktan sonra -23°C'de depolanması sırasında altı ay sonunda %87 oranında antosiyanin kaybının olduğunu fakat -70°C'de ise herhangi bir kaybın olmadığını belirlemiştir.

Meyve ve sebzelerin hasat zamanları, olgunluk durumları donma ve donmuş ürünlerin depolanması sırasında antosiyanin seviyelerinin farklı olmalarına neden olabilir. Örneğin ahudududa yapılan bir çalışmada [23] ilkbaharda hasat edilip dondurulan ürünlerin -20°C'de bir yıl süreyle depolanması sonrasında herhangi bir kayıp belirlenmemiştir. Fakat sonbaharda hasat edilip dondurulan ahududuların yine -20°C'de bir yıl depolanmasından sonra %4-17 arasında bir antosiyanin kaybı olduğu belirlenmiştir. Aynı araştırmada kayıpların dondurma işlemi sırasında olmadığı, donmuş ürünlerin depolanması sırasında meydana gelen farklı kimyasal ve biyokimyasal reaksiyonlar sonucu olduğu belirtilmiştir. Dondurma işlemi sırasında meydana gelen pH değişimleri de antosiyanin stabilitesini etkilemektedir. Bu yüzden kırmızı meyvelerin dondurulmaları sırasında pH seviyesinin 3.5'in altında olmasına özen gösterilmelidir. Eğer pH 3.5'in üzerine çıkarsa doğal kırmızı renkte kayıplar söz konusu olmaktadır. Antosiyaninler suda çözünür renk maddeleri olup bitki hücresinde kofullarda bulunur. Hücre zarının zarar görmesiyle birlikte kofullarda etkilenir. Oksidasyon antosiyaninlerin bozulmasındaki en önemli etkidir. Özellikle ışığın katalizör etki ettiği oksidasyon reaksiyonlarında kayıplar daha fazla olmaktadır. Bunun yanında antosiyanin bozulmasında polifenol oksidaz ve peroksidaz enzimlerinin de aktiviteleri söz konusudur.

### (iv) Enzimatik Esmerleşme

Meyve ve sebzelerde enzimatik esmerleşme hasat esnasında, işlemede ve depolamada meydana gelmekte olup, esmerleşme reaksiyonları, fenolik bileşiklerin

polifenol oksidaz enzimi ile oksidasyonu sonucu oluşmaktadır. Dondurulmuş ve donmuş ürünlerin depolanmaları ve çözünmeleri sırasında hızlı renk dönüşümleri belirlenmektedir. Bu renk dönüşümlerinin geri dönüşümsüz esmerleşme reaksiyonları olduğu yapılan çalışmalarla belirlenmiştir. Dondurma işlemi ile meyve ve sebzelerde bulunan enzimler tamamen inaktif hale getirilemez. Donmuş depolama ile enzimlerin aktiviteleri yavaşlatılmaktadır. Polifenol oksidaz enziminin etkin olduğu esmerleşme reaksiyonları, dondurma işleminden önce ön işlem olarak yapılan sülfite, askorbik asit veya sitrik asit ilavesiyle engellenebilmektedir [3].

### Tat ve Aroma Değişimleri

Alkoller, esterler, aldehitler, ketonlar, asitler, furanlar ve terpenler gibi bileşikler meyve ve sebzelerin kendilerine has tat ve aromalarının oluşumunda etkilidirler. Bu bileşiklerin meyve ve sebzelerdeki miktarı ürünün olgunluk durumuna, hasat zamanına, işleme şekline ve depolanmasına bağlıdır. Meyve ve sebzelerin dondurulması ile genel olarak tat ve aroma maddeleri korunmuş olur. Fakat bazı meyve ve sebzelerde dondurma ve çözme işlemleri doğal aromalarında kayba neden olmaktadır. Kivi ve ahududu gibi meyvelerde ise herhangi bir kayıp meydana gelmez. Tat ve aroma kayıplarında renk değişimlerinde olduğu gibi enzimlerin rolü büyüktür. Bu yüzden dondurma işleminden önce yapılabilecek bir haşlama işlemi ile enzimler inaktif hale getirilir. Fakat bu işlem sadece sebzelerin dondurulmaları sırasında yapılabilir. Çünkü meyvelerde dondurma işleminden önce yapılan haşlama ile tekstürel bozulmalar meydana gelir. Özellikle peroksidaz enzimi tat ve aroma kayıpları açısından önemlidir. Çünkü bu enzim lipidlerin oksidasyonuna neden olup kötü tat ve aromaların oluşmasına yol açmaktadır [3].

### Tekstürel Değişimler

Dondurulmuş meyve ve sebzelerde meydana gelen tekstürel değişimler, kimyasal ve biyokimyasal reaksiyonlar sonucu oluşmaktadır. Bu reaksiyonlar bitki hücresi duvarının yapısında bulunan pektin, hemiselüloz ve selüloz gibi bileşiklerin parçalanmasından dolayı oluşur [2]. Donma sırasında oluşan buz kristallerinin boyutları ve hücre içindeki bulunduğu yer hücre duvarı açısından önemlidir. Çünkü buz kristallerinden dolayı meydana gelen enzimatik ve kimyasal reaksiyonlar hücre duvarında mekanik bir zarara neden olur. Donmuş ürünlerin depolanması sırasında meydana gelen rekristalizasyon nedeniyle de tekstürel değişimler meydana gelmektedir.

### Besin Öğeleri ve Antioksidan İçeriğindeki Değişimler

Meyve ve sebzelerin besin öğelerini su, karbonhidratlar, proteinler, yağlar, vitaminler ve mineraller oluşturmaktadır. Meyve ve sebzeler antioksidan içeriği bakımından da zengindir. Bu yüzden insan sağlığı açısından da önemli gıdalar arasında yer alırlar. Meyve ve sebzelerde bulunan A ve C vitaminleri, karotenoidler ve fenolik maddeler insan sağlığı açısından önemli

antioksidan bileşiklerdir. Meyve ve sebzelerin dondurulması ve donmuş halde depolanması sırasında besin öğeleri ve antioksidan madde içeriği az da olsa zarar görmektedir. Dondurma işleminin bazı bileşenler üzerine etkileri aşağıda irdelenmektedir.

### (i) C Vitamini (Askorbik Asit)

Dondurma işlemi ve donmuş ürünlerin depolanması sırasında meyve ve sebzelerin C vitamini içeriğinde az miktarda kayıplar meydana gelmektedir. C vitamini kayıplarının başlıca nedeni askorbat oksidaz enzimidir. Eğer bu enzim ön işlemler sırasında ve dondurma işlemi sırasında inaktif hale getirilmezse, donmuş ürünlerin depolanmasında da aktif olabilirler. Dondurma işlemi sırasında C vitamini kayıplarının birçok nedeni olabilir. Bunlar arasında sıcaklık-süre ilişkisi, meyve ve sebze çeşidi, uygulanan ön işlemler, ambalaj türü ve dondurma yöntemi sayılabilir. Bu nedenle, donmuş depolama sırasında sıcaklık salınımları meydana gelirse, yüksek miktarda C vitamini kayıpları olabilir. Çilek gibi meyvelerde C vitamini stabilitesi dondurma ve donmuş depolamada önemli bir olaydır. Uygun olmayan işlemler sonucunda fazla kayıpların olması söz konusudur. Yapılan bir çalışmada [24] çilekler -20°C'de ve -50°C'de dondurulmuş ve sıcaklığın çileklerdeki askorbik asit kaybı üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Bununla birlikte, donmuş çileklerin depolanması (depolama sıcaklığı -18°C veya -24°C) sırasında askorbik asit kayıplarında önemli farkın olduğu belirlenmiştir.

### (ii) A Vitamini Türevleri ve Likopen

β-Karoten, α-karoten ve β-kriptoksantin A vitaminin provitaminleridir. Bunlara likopen ve lutein karotenoidleri de eklenebilir. Ayrıca tüm bu provitaminler antioksidant karotenoidlerdir. Genel olarak hakim olan düşünce, dondurma işlemi ve donmuş muhafaza ile karotenoid kayıpları engellenemez. Yapılan bilimsel çalışmalarda bu düşünceyi destekler niteliktedir. Marin ve arkadaşlarının [25] yaptıkları bir çalışmada mango meyvesinin donmuş depolanması sırasında β-karoten içeriğinin azaldığı belirtilmiştir. Söz konusu kayıplar, diğer kalite kayıplarında olduğu gibi enzim aktivitesinden (polifenol oksidaz, lipoksigenaz ve katalaz) kaynaklanmaktadır.

Likopen, domatestede bulunan ve domatese kırmızı rengini veren bir karotenoiddir. Yapılan bir çalışmada [21], domatesler dondurulduktan sonra -20°C veya -30°C'de depolanmış ve depolamanın üçüncü ayına kadar likopen miktarı ile stabilitesinde herhangi bir kayıp belirlenmemiştir. Fakat üçüncü aydan sonra yapılan analizlerde kayıplar görülmüştür. On ikinci ayın sonunda -20°C'de depolanan ürünlerde %52 oranında, -30°C'de depolanan ürünlerde ise %74 oranında likopen kaybı olduğu belirlenmiştir. Başka bir araştırmacı [26], -20°C'de bir ay depolanan domateslerde likopen miktarının arttığını belirlemiştir. Fakat 3. ve 6. aylarda likopen konsantrasyonunda belirgin bir azalma (%40'dan fazla) belirlemiştir. Yapılan bir çalışmada [17], dondurularak -20°C'de 12 ay depolanan papaya dilimlerinde %34 oranında likopen kaybı belirlenmiştir.

### (iii) Fenolik Bileşikler

Meyve ve sebzelerde dondurma işlemi ne toplam fenolik madde içeriğinde ne de ellajik asit konsantrasyonunun değişmeye neden olur. Kanser önleme ve antioksidan özelliklerinden dolayı son yıllarda ellajik asit ve gallik asit üzerinde çalışmalara odaklanılmıştır. Polifenol oksidaz enziminin donmuş ürünlere inaktif hale getirilmesiyle donmuş depolama esnasında ellajik asit içeriğinde kayıpların az olduğu belirtilmektedir [2].

## SONUÇ

Dondurularak muhafaza meyve ve sebzelerin tazeliklerinin en iyi korunabildiği muhafaza yöntemidir. Dondurulmuş meyve ve sebze ürünlerinde son ürün kalitesi, hammadde, dondurma koşulları ve ambalaj seçimi ile ön işlemlerin yeterli uygulanmasına bağlıdır. Dondurma işlemi ile donmuş depolama koşulları ve çözünme sırasında kaliteyi olumsuz yönde etkileyen bazı fiziksel ve kimyasal değişimler kaçınılmazdır. Dondurma ve donmuş muhafaza sürecinde karşılaşılabilecek kalite kayıplarının en aza indirilmesi için dondurma teknolojisindeki gelişmelere ihtiyaç vardır. Dondurulmuş gıda tüketimi özellikle yüksek yaşam standardına sahip şehirlerde hızla artmaktadır. Buna bağlı olarak kaliteli, güvenli ve değişik dondurulmuş ürünlere olan talebin artması konuyla ilgili araştırmaların yapılmasını zorunlu kılmaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] Skrede, G., 1996. Fruits. In Freezing Effects on Food Quality, Edited by E.J. Lester, Marcel Dekker Inc., New York. pp 183-245.
- [2] Rickman, C.J., Barrett, D. M., Bruhn, M. C., 2007. Nutritional comparison of fresh, frozen and canned fruits and vegetables. Part 1. Vitamins C and B and phenolic compounds. *Journal of Science of Food and Agriculture* 87: 930-944.
- [3] De Ancos, B., Sanchez-Moreno, C., De Pascual-Teresa, S., Cano, M. P., 2006. Fruit freezing principles. In Handbook of Fruits and Fruit Processing, Edited by Y.H. Hui, Blackwell Publishing, 2121 State Avenue, Ames, Iowa 50014, USA, pp. 59-79.
- [4] Reid, D., 1996. Fruit Freezing : In Processing Fruits edited by Somogyi, L.P. Science and Technology. Vol. 1. Biology, Principles and Application.
- [5] Rahman, M. S., 2006. State diagram of foods: Its potential use in food processing and product stability. *Trends in Food Science and Technology* 17 : 129-141.
- [6] Fennema, O.R., 1976. The U.S. frozen food industry 1776-1976. *Journal of Food Technology* 30(6): 56-61.
- [7] Rahman, M.S., 1999. Food Preservation by Freezing. In Handbook of Food Preservation, Edited by M.S. Rahman, Marcel Dekker Inc., New York, p259.
- [8] Cemeroglu, B., 2005. Gıda Mühendisliğinde Temel İşlemler, Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, No:29, Ankara.



- [9] Anon., 1986 Institute International of Refrigeration (IIR) Recommendations for the Processing and Handling of Frozen Foods. Third edition. Ed. Institute International of Refrigeration, Paris, France.
- [10] Sablani, S.S., Bruno, L., Kasapis, S., Simaladevi M.R., 2009. Thermal transitions of rice: Development of a state diagram. *Journal of Food Engineering* 90: (1) 110-118.
- [11] Topaloğlu, A., Gülten, Ş. 2002. Türkiye’de Dondurulmuş Gıda Sektörü ve Gelişimi. Türkiye V.Tarım Ekonomisi Kongresi, 18-20 Eylül, Erzurum.
- [12] Cemeroğlu, B., Karadeniz, F., Özkan, M., 2003. Meyve Sebze İşleme Teknolojisi Cilt III. Gıda Teknolojisi Yayınları No:28 Ankara.
- [13] Aguilar, M., Rincon, F., 2007. Improving knowledge of garlic paste greening through the design of an experimental strategy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55: (25) 10266-10274.
- [14] Santerre, C. R., Cash, J. N., Van Norman, D. J., 1988. Ascorbic acid citric acid combinations in the processing of frozen apples slices. *Journal of Food Science* 55 : (6) 1713-1720.
- [15] Martino, M. N. and Zarizky N. E., 1988. Ice crystal size modifications during frozen beef storage. *Journal of Food Science* 53 : (6) 1631.
- [16] Hagiwara, T., Hartel, W.T., Matsukawa, S., 2006. Relationship between recrystallization rate of ice crystals in sugar solutions and water mobility in freeze-concentrated matrix. Springer Science Business Media, Inc. 74-82.
- [17] Cano, M.P., 1996. Vegetables : In Freezing Effects on Food Quality, edited by Lester E. Jeremiah, Marcel Dekker Inc., New York USA pp. 247-297.
- [18] Cano, M.P., Marin, M.A., De Ancos, B., 1993. Pigment and color stability of frozen kiwi-fruit slices during prolonged storage. *Zeitschrift fuer Lebensmittel Untersuchung und Forschung* 197: 346-352.
- [19] Heaton, J.W., Lencki, R.W., Marangoni, A.G., 1996. Kinetic model for chlorophyll degradation in green tissue. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 44 : 399-402.
- [20] Cano, M.P., Lobo, M.G., De Ancos, B. Geleazzi, M.A., 1996. Polyphenol oxidase from Spanish hermaphrodite and female papaya fruits (*Carrica papaya* cv Sunrise, Solo group). *Journal of Agricultural Food and Chemistry* 44: 3075-3079.
- [21] Lisiewska, Z., Kmiecik, W., 2000. Effect of storage period and temperature on the chemical composition and organoleptic quality of frozen tomato cubes. *Food Chemistry* 70 : 167-173.
- [22] Chaovanalikt, A., Wrolstad, R.E., 2004. Anthocyanins and polyphenolic composition of fresh and processed cherries. *Journal of Food Science* 69: 73-83.
- [23] De Ancos, B., Ibanez, E., Reglero, G., Cano, M.P., 2000. Ellagic acid, vitamin C and total phenolic contents and radical scavenging capacity affected by freezing and frozen storage in raspberry fruit. *Journal of Agricultural Food and Chemistry* 48 : 4565-4570.
- [24] Sahari, M.A., Boostani, M., Hamidi, E.Z., 2004. Effect of low temperature on the ascorbic acid content and quality characteristics of frozen strawberry. *Food Chemistry* 86: 357-363.
- [25] Marin, M. A., Cano, M. P., Fuster, C., 1992. Freezing preservation of four Spanish mango cultivars (*Mangifera indica*, L.) : chemical and biochemical aspects. *Zeitschrift fuer Lebensmittel Untersuchung und Forschung* 194: 566-569.
- [26] Urbanyi, G., Horti, K., 1989. Color and carotenoid content of quick-frozen tomato cubes during frozen storage. *Acta Alimentaria* 18: 247-267.
- [27] Rickman, C.J., Barrett, D. M, Bruhn, M. C., 2007. Nutritional comparison of fresh, frozen and canned fruits and vegetables II. Vitamin A and carotenoids, vitamin E, minerals and fiber. *Journal of Science of Food and Agriculture* 87: 1185-1196.