

Dondurma İşleminin Bazı Gıdalarda Yapı Üzerine Etkileri ve Donma Süresinin Tayini

Doç. Dr. Ünal YURDAGEL

E. Ü. Ziraat Fakültesi Bornova — İZMİR

Arşt. Uzm. Yrd. Nezih MÜFTÜGİL

Marmara Arşt. Enst. Beslenme ve Gıda Tekn. Ünitesi — GEBZE

ÖZET

Diğer gıda koruma yöntemlerine göre gıdada daha az değişikliğe neden olduğu için dondurarak koruma günümüzde önem kazanmaktadır. İyi uygulanmış bir dondurma tekniği ile gıdanın renk, tad ve besleyici değerleri büyük ölçüde korunur. Bununla birlikte bazı değişikliklerin olması kaçınılmazdır. Genellikle dondurma esnasında gıdanın içinde oluşan buz kristalleri olumsuz değişikliklerin başlıca nedenidir. Kristallerin oluşması hücre zarlarını dolayısıyla yapıyı etkilerken, hücre içindeki enzimleride açığa çıkarırlar.

Dondurma hızı buz kristallerinin oluşumunu etkilediğinden dondurma işleminde önemli bir yer tutar. Bazı teorik ve deneysel donma hızı ve süresi eşitlikleri araştırmacılar tarafından ortaya konmuştur.

Mevsimsel olarak üretilen gıda maddeleri insanların tüketilmesi için korunmak zorundadır. Bazıları, örneğin tahıllar türü maddeler normal bir sıcaklıkta depolanabilirken, üretilen taze gıda maddelerinin büyük bir kısmı ve bu arada meyve ve sebzeler hasattan kısa bir süre sonra tüketilmeli veya çeşitli şekilde koruma altına alınmalıdır. Diğer gıda koruma yöntemlerine göre gıdada daha az değişikliğe neden olduğu için dondurarak koruma gittikçe önem kazanmakta ve büyük miktardaki gıda maddesinin korunmasında kullanılmaktadır. Bununla birlikte gıdada bazı değişikliklerin oluşmasına engel olmak mümkün değildir. Bu değişiklikleri en az seviyede tutmak için dondurma işlemini ve dondurulacak gıda maddesini iyice tanımak gerekir.

DONDURMA NEDİR?

Dondurma bir maddenin fiziksel durumunun sıvıdan katı hale geçmesidir. Maddeden enerji alınmasıyla meydana gelen bu durumda dağınık haldeki moleküller düzgün bir durum

alırlar. Bu işlem maddenin donma noktası altında soğutularak enerjisinin alınmasıyla meydana gelir. Moleküllerin düzenli bir şekil alması içinde, kristallendirmeyi başlatan bir madde gerekirken bu aynı kristal yapıya sahip bir yabancı madde veya bir moleküller hareket tarafından oluşturulan ve ani olarak kristallenmeyi sağlayan küçük bir katı kısım olabilir. Bu ikinci durum donma noktasının oldukça altındaki sıcaklıklarda ve saf sıvılarda görülür. Saf bir sıvı içinde kristallenme başlayınca, soğuk ortam tarafından çekilen ısının ayrılma hızı kristallenme ısısı tarafından dengeleininceye kadar maddede ısı ayrılması devam eder, ve tüm maddenin sıcaklığı, madde tamamıyla donuncaya kadar, donma noktasında kalır. Gıdalar kendi donma noktalarından daha soğuk ortamlarda donarlar. Bu koşullar altında homojen bir sıcaklığı ulaşılamaz fakat her bir gıda parçasının yüzeyinden merkezine kadar olan mesafede dereceli bir sıcaklık farkı mevcuttur.

Saf suya nazaran daha düşük donma noktasına sahip çözeltilerde donmanın başlangıcında su buz teşkil edecek şekilde ayrılır ve geri kalan sıvı kısım donma noktası daha düşük olan konsantre bir çözelti haline gelir. Donma işlemi ilerledikçe sıcaklık düşmeye devam eder. Su, likit fazdan ayrıldıkça bazı maddeler doygunluk konsantrasyonuna erişirler ve katılaşır. Bunun sonucunda konsantre olmuş bu çözeltinin sadece küçük bir miktarı olan bağlı su buz kristalleri ve diğer katı maddelerin arasında kalır. Endüstriyel olarak yapılan dondurma işleminde uygulanan sıcaklıkta bu sıvı donmamış olarak kalır fakat görülmeyecek kadar küçük damlacıklara sahiptir (6).

Bitkisel gıda maddeleri tek bir sıvı faz olmayıp kolloidlerden meydana gelmişlerdir. Canlı hücreler, içindeki maddeleri tutan yarı geçirgen bir zarla çevrilidir. Canlı hücreleri

içeren bir madde dondurulduğu zaman aynı donma işlemi her bir hücre içinde yer alır. Hücreleri arasında boşluk bulunan bitki dokularında ilk kristallenme bu boşluklarda oluşur. Çünkü suyun donma noktası hücre içindeki çözeltinin donma noktasından daha yüksektir (11). Soğutma işlemi devam ettikçe serbest su hücre içinden hücre dışındaki buza doğru göç eder. Bunun sonucunda hücre suyu hücre zarı içindeki deliklerden biri içinde büyüyen bir buz kristali tarafından çekirdekleştirilir. Hücrede çekirdekleşme olunca hücre içi aşırı derecede soğur ve süratle donar. Hücre içinde donma ile konsantre bir çözelti meydana gelir ve bu da donma ile hücrenin ölmesinde bir faktördür.

Hemen hemen bütün sebzeler ve bazı meyveler dondurma işlemi öncesinde haşlanırlar. Bu işlem hücre zarının yarı geçirgenliğini bozar, hücre içi havasının dışarı çıkmasına ve bu boşluklara suyun dolması ile bir sıvı faz meydana gelmesine neden olur. Haşlanmış bir üründe de donma işlemi başlayınca, kristallenme kesintiye uğramaksızın gıdanın bütün kısımlarında ilerler.

Cryogeniç ve diğer hızla ısı çekilerek yapılan dondurma işlemlerin de gıda maddesi çok çabuk soğur ve çekirdekleşme hemen hemen her tarafta aniden oluşacak şekilde meydana gelir. Oluşan fazla sayıdaki küçük kristaller ani donmuş gıda maddesinde renk açılmasına neden olurlar. Bu renk açılması çok sayıdaki küçük kristalin yansıttığı ışık nedeniyledir. Donma işlemi hücre içinde meydana gelmeyecek şekilde yavaş yapılırsa bazı kristalleri öncelikle hücre aralarında oluşur ve çözülme sırasında hücreler arasındaki boşlukta bulunan şu haşlanmış sebzelerde gözlenen renk koyulaşmasına neden olur.

FİZİKSEL VE KİMYASAL DEĞİŞMELER

Gıdanın en iyi şekilde korunması donmuş muhafaza süresince meydana gelen bütün reaksiyonları durdurarak, çözüldükten sonra gıdanın tazeden fark edilmeyecek halde bulunmasıdır ki bu henüz gerçekleştirilememiştir. Donma işlemi ile gıdada bazı değişikliklerin olması kaçınılmaz olmakla birlikte bu değişikliklerin iyi tedbir alınarak gıdayı yenemez duruma getirmesine engel olunabilir.

Bu değişmelerin çoğu enzimlerin sebep olduğu tepkimelerin sonucunda olur. Hücre organizasyonunun bozulmasından sonra oluşan bu tepkimeler daha önce sağlam hücre içinde birbirinden ayrı olup temas etmeyen enzim ve substratları birbirleriyle temas ettirir. Bu değişmelerden kaçınmak için birçok sebzeler dondurmadan önce haşlanırlar. Enzimlerin etkinliğinin giderilmesi uygulanan ısı işlemde sıcaklık ve süreye bağlıdır. Birçok araştırma göstermiştir ki katalaz ve peroksidaz enzimlerin etkinliğini gideren ve klorofilin feofitine dönüşümünü en az seviyede sağlayan bir haşlama işlemi kaliteyi en az şekilde etkiler (4). Süre ve sıcaklık şartlarına bağlı olarak haşlamanın diğer etkileri; yumuşama, nişastanın jelleşmesi ve suda çözünebilen maddelerin özütlenmesidir. Dondurulma işlemi haşlanmış sebzelerde haşlanmadan dondurulanlara göre daha zararlı etki yapmakla birlikte donmuş muhafaza sırasındaki stabilite haşlama işlemini gerektirir (1).

Haşlama işlemi gerektirmeyen meyvelerde dondurulan işleminin doku üzerindeki olumsuz etkisinin sebzelerden daha fazla olduğu görülmektedir. Bunda her bir hücre içindeki sıvının iç basıncı rol oynar. Dondurma işlemi hücre zarını bozduğundan, çiğneme basıncı altında hücre sıvısı hücreden kolaylıkla dışarı çıkar. Taze bir meyvede hücre aniden patlayıncaya kadar basınca karşı bir mukavemet vardır. Taze meyvedeki gevrekliği sağlayan bu durum donmuş haşlanmış veya pişirilmiş meyve ve sebzelerde görülmez. Dolayısıyla dondurulmuş meyveler sadece işlenmiş diğer meyvelerle mukayese edilebilirler.

Bazı meyveler dondurma esnasında veya daha sonraki muhafaza süresince oksidatif değişmelere uğrarlar. Bu tepkimeler kükürlü bileşikler veya askorbik asit ilavesiyle önenebilir. Dondurulacak meyveler için kullanılan diğer bir koruyucu madde karbonhidratlardır. Bu meyvedeki su ile bir şurup teşkil ederek meyvenin oksidasyon ve enzim etkinliğinden bir ölçüde korunmasını sağlamaktadır.

Dondurma işlemi yapısal değişikliklerin yer aldığı bir safhadır. Dondurma işlerinin uzun sürdüğü modern olmayan dondurucularda hücre içindeki sıvının kristallenmenin olduğu hü-

re arası boşluklara doğru göç etmesi bitkisel dokuların sert hücre duvarlarının parçalanmasına ve dolayısıyla dokusunun yumuşamasına neden olur. Akışkan yataklı, karyogenik veya R-12 dondurucuları kullanılarak yapılan hızlı dondurmada suyun gücü azalır ve hücre duvarlarında az parçalanma görülür. Hücre duvarlarının bozulması sonucunda sebze de oluşan yumuşama, pişirme esnasındaki yumuşamadan farklıdır. Uzun süren pişirme işleminden sonra bile, değişik derecelerde zarar görecektir şekilde dondurulmuş sebzeler duyuşal panellerde fark edilirler.

DEPOLAMA ÖMRÜ

Dondurarak muhafazanın önemli safhalarından biri gıdanın kalitesini tüketme kadar en iyi şekilde koruyacak uygun düşük sıcaklıkta tutulmasıdır. Muhafaza sırasındaki bozulma, gıda maddelerinin depolanma ömrünü sınırlar. Her bir gıda maddesi için özelliklerine ve depolama sıcaklığına bağlı olarak bir depolama ömürleri vardır. Bozulmanın hızı gıda maddesinin tipine, dondurma öncesi yapılan ön işlemlere, paketlenme ve muhafaza şartlarına bağlıdır. Ticari depolamada sıcaklık — 12 ile — 30°C arasındadır ve gıdanın kalitesinde meydana gelecek değişimler muhafaza sıcaklığı düşürüldükçe azalır. Depo sıcaklığını 10°C düşürmek bazı meyve sebzelerdeki kalite değişikliklerini 4 ile 6 kat azaltır (8).

Dondurma öncesi haşlama işleminin yapılmaması halinde enzimler gıda içinde düşük sıcaklıklarda bile etkinliklerini sürdürürler. Hidrolitik ve oksidatif enzimler donmuş gıdanın yapısı ve tadında değişiklik meydana getirirler. Bunlardan bazıları örneğin katalaz ve lipazın donmuş durumda etkinliklerinin arttığı anlaşılmıştır. Donmuş gıdada lipid maddelerdeki değişikliklere düşük sıcaklıkta etkin olan lipaz ve lipoksidaz enzimlerinin neden olduğu anlaşılmıştır. Lipid maddelerin karakteristik oksidasyon ürünleri olup tad değişmesine neden olan asetalhedit, etanol ve heksan haşlanmadan dondurulan bezelyede belli bir muhafaza süresi sonunda tesbit edilmiştir (9). Bunun dışında klorofil diğer bazı pigmentler ve vitaminlerin bozulması donmuş muhafaza süresince meydana gelen başlıca kimyasal değişikliklerdir. Oksijenin bu kimyasal tepkimele-

rin çoğunda rol alması, bu gazın depolama sırasında ortamdan alınması, bunun içinde vakumla paketlenme veya antioksidantların kullanılması gibi önlemler gerektirir. Bu durum gıdanın yüzeyinin havanın oksijeninden korunmasını sağlanmakta ama gıdanın içinde enzimler ve diğer biyokimyasal reaksiyonların neden olduğu kalite değişmelerine engel olamamaktadır (17).

Ticari depolarda kaçınılmaz bir şekilde meydana gelen sıcaklık değişimleri donmuş gıda içindeki kristal büyüklüğünü etkiler. Gıdanın içindeki donmamış kısım bu sıcaklık değişimleriyle miktar ve konsantrasyon olarak değişir ve bazen kristal büyüklüğünü etkiler. Konsantrasyondaki bu değişimler gıdanın pH değerinde önemli değişiklikler meydana getirmektedir. Birçok fiziko kimyasal değişimler gıdanın donmamış kısmı içindeki artan tuz konsantrasyonu ile artar ve en çok gıdanın donma noktası ile —10°C arasında gıdayı zarar verecek şekilde etkiler. Dolayısıyla gerek dondurma ve gerekse de çözme işlemleri sırasında bu sıcaklık bölgesi mümkün olduğu kadar hızlı geçilmelidir.

Meyve ve sebzelerde donmuş depolama sırasında görülen önemli bir fiziksel bozulmada yüzeyde kuruma ve buna bağlı olarak ağırlık kaybıdır. Depo sıcaklığında meydana gelen değişimlerle ürünün yüzeyindeki buz tanelikleri paketin içine göç ederek yüzeyde kurumaya neden olur. Bu durumda düşük ve sabit bir depolama sıcaklığı kaliteyi korumak ve gıda yüzeyindeki kurumaya engel olmak için gereklidir.

DONMA HIZI VE SÜRESİ

Gıdaların dondurulmasında kaliteyle ilgili olan önemli bir konu dondurma işleminin hızı ve süresinin saptanılmasıdır. Bu sadece ürünün doku yapısında etkili olmayıp dondurulma donatılarının dizaynını ve üretimin hızını da etkiler. Çeşitli vesillerde donma hızının çeşitli tanımlarına rastlanmaktadır. Uluslararası Soğuk Enstitüsü donma hızının tarifini şöyle yapmıştır: «Bir gıda kütesinin donma hızı gıdanın merkezi ile yüzey arasındaki en kısa mesafenin, yüzey sıcaklığı 0°C olduğu anda merkezdeki sıcaklık gıda maddesinin donma nok-

tasının 10°C daha aşağısına düşene kadar geçen süreye oranıdır. Mesafe cm ve zaman saat olarak ölçülürse donma hızı cm/saat olarak ifade edilir.» (10).

Endüstriyel olarak yapılan dondurma işlemlerinde donma hızı 0.2 ile 100 cm/saat arasında değişir. 0.2 cm/saat yavaş 0.5 - 3 cm/saat hızlı, 5 - 10 cm/saat çok hızlı ve 10 - 100 cm/saat şok dondurma olarak tesbit edilmiştir.

Araştırmacıların bir kısmı donma hızını ve süresini etkileyen 4 faktörü şu şekilde belirtmişlerdir (1) ürün ile soğutma ortamı arasındaki sıcaklık farklılıkları (2) ısı enerjisinin ürüne ve ürün içindeki ısı transferi (3) Ambalajlanmış gıda ürünlerinde paketin boyutu, tipi ve şekli (4) ürünün boyutları, şekli ve ısı özellikleri (3).

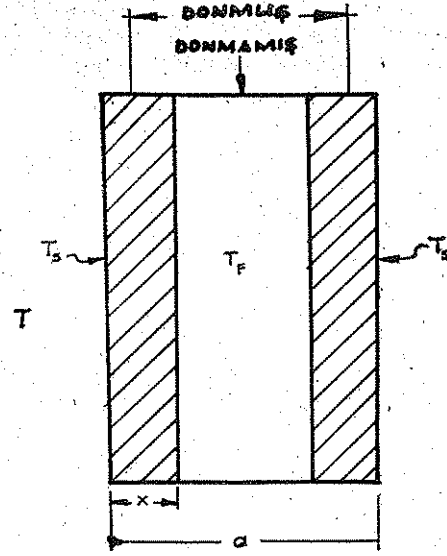
Soğuk hava ile dondurmada yüzey ısı transfer katsayısı hava hızına ve ürünün şekline bağlıdır. Böyle bir soğutucuda donma hızı havanın debisi ve hızıyla artar. Bu durum özellikle hava püskürtmeli soğutucuların dizaynında önem taşır. Diğer önemli bir konu gıda maddesinin hava sirkülasyonu içinde yer alması ve havayla direk temasının sağlanmasıdır.

Herhangi bir gıda maddesinin dondurma süresinin hesaplanmasında belirli geometrik şekiller için basitleştirici varsayımlar göz önüne alınır. Bunun nedeni gıdanın donmuş, ve donmamış kısımlarındaki fiziksel özellikleri belirten parametreler değişir, ısı transferi kararsızdır ve gizli ısının absorpsiyonuyla beraber ilerleyen bir faz değişimi söz konusudur. Dolayısıyla donma sürelerini saptayan yöntemlerde bazı sınırlamalar ve varsayımlar yapılmaktadır.

PLANK FORMÜLÜ

Donma süresinin hesaplanmasında Plank değişik geometriye sahip ürünler için kullanılabilen bir formül geliştirmiştir (10). Şekil 1 de bir A alanı boyunca dondurulan örnek bir gıdanın kesiti, gösterilmektedir. Dondurma sırasında ürünün değişik fazları içinde ısı transferiyle ilgili tanımlamalar için üç temel eşitlik kullanılır. Birinci ifade değişen (X) kalınlığa sahip bir donma alanı için temel ısı iletkenlik eşitliğidir.

$$q = A (T_s - T_F) k/x \dots\dots\dots (1)$$



Şekil 1 : A alanı boyunca dondurulan örnek bir gıdanın kesiti

Burada (T_F) ürünün başlangıç donma noktası olup ürünün donmamış kısmındaki sıcaklığı gösterir, (k) ise donmuş gıdanın ısı iletkenliğidir. İkinci eşitlik ürünün yüzeyinden soğutma ortamına doğru olan ısı transferini gösterir.

$$q = hcA (T - T_s) \dots\dots\dots (2)$$

(hc) ürünün yüzeyindeki konvektif (ulaşım) ısı transfer katsayısıdır. (1) ve (2) ısı transferini ifade eden bir eşitlik olarak bir araya getirilebilir.

$$q = \frac{A (T - T_F)}{l/hc + x/k} \dots\dots\dots (3)$$

Böylece yüzey sıcaklığı için herhangi bir bilgi gereksinimine gerek kalmaz. Üçüncü bir eşitlik donma yüzeyindeki ısı transferinin hızını ifade eder.

$$q = ALd \frac{dx}{dt} \dots\dots\dots (4)$$

$\left(\frac{dx}{dt}\right)$ diferansiyel donma yüzeyindeki hızı,

L ve d ürünün gizli ısı ve yoğunluğunu ifade eder. (3) ve (4) eşitlikleri bir araya getirilip uygun sınırlar içinde değerlendirilirse aşağıdaki donma süresi eşitliği elde edilir.

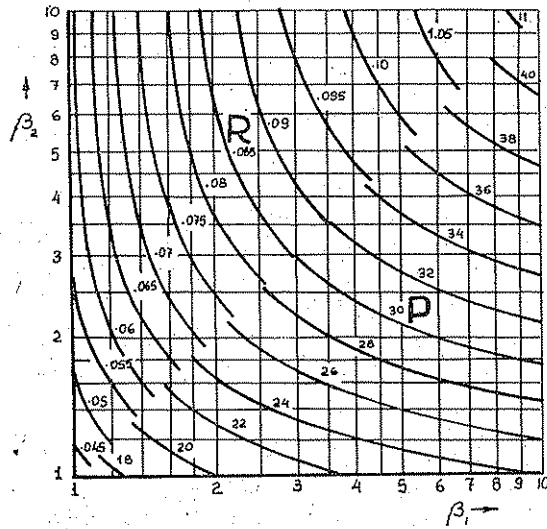
$$t_F = \frac{dL}{T_F - T} \left(\frac{a}{2h_c} + \frac{a^2}{8k} \right) \dots (5)$$

a dondurulan kesitin toplam kalınlığını ifade eder. Uygun sabitlerin ilavesiyle Plank eşitliğinin en genel hali elde edilmiş olur.

$$t_F = \frac{dL}{T_F - T} \left(\frac{Pa}{hc} + \frac{Ra^2}{k} \right) \dots (6)$$

P ve R sabitleri dondurulacak gıda maddesinin geometrik şekline göre değişir. Bu sabitler kesit için $P = 1/2$ ve $R = 1/8$, küre için $P = 1/6$, $R = 1/24$ ve silindir için $P = 1/4$, $R = 1/16$ dir. Kesitin kalınlığı olan (a), silindir ve küre için çapı ifade eder.

Plank eşitliğinin dikdörtgen prizması şeklinde bir gıda maddesine veya pakete uygulanması halinde Şekil 2 de gösterilen bir grafiğin kullanılması gerekir.



Şekil 2 : Dikdörtgen prizması şeklinde bir gıda maddesine veya pakete uygulanan grafik

Bu durumda Plank eşitliğindeki (a) boyutu dikdörtgenler prizmasının en büyük boyutu olur. β_1 ve β_2 çoğaltma faktörleri olup β_1 ürünün en küçük ikinci boyutunun (a) ya bölünmesiyle ve β_2 de ürünün en büyük boyutunun (a) ya bölünmesiyle elde edilir. β_1, β_2 sabitleri ve grafikten faydalanılarak P ve R nin uygun değerleri elde edilir ve Plank formülüyle değişik boyuttaki maddeler için donma süreleri hesaplanabilir.

Donma süresinin hesaplanmasında Plank eşitliğinde bazı sınırlamalar mevcuttur (11). Bunların birincisinde eşitlik bazı gizli ısı değerlerini varsayar ve gıda maddesinin gizli ısısının dondurma işlemi sırasında belli bir sıcaklık mesafesi içinde dereceli olarak ayrılmasını dikkate almaz. İlave olarak, eşitlikte ürünün başlangıç donma noktası kullanılır ve başlangıç donma noktası üzerindeki duyulur ısıyı (sensible heat) gidermek için gerekli zamanı ihmal eder. Diğer bir varsayımla sabit ısı iletkenliğinin donma bölgesi içinde olduğu varsayılır. Aslında donma bölgesi devamlı değişen bir sıcaklığa sahiptir ve donma sırasında faz değişir ve sıcaklığa bağlı olarak değişen bir ısı iletkenliği vardır. Plank eşitliğinin varsaydığı diğer bir hususta ürünün tamamıyla sıvı faz olduğunu kabul etmesidir. Dolayısıyla bir gıda maddesi için Plank eşitliğinin doğruluğu ürün içindeki su miktarına bağlıdır.

Daha sonraları grafik yöntemiyle çeşitli gıdalarda tesbit edilen donma sürelerinin Plank eşitliğiyle de oldukça doğru olarak hesaplanabildiğini açıklamıştır (11).

DONDURULMUŞ ÜRÜN ZARARLARINI AZALTMAK

Hızla gelişen ve yapıyı olası olduğu kadar bozmayan dondurma cihazlarının üretimi ve koruyucu yöntemlere karşın hiç bir dondurma işlemi kaliteyi taze meyve ve sebzelerin kalitesinin üzerine çıkaramaz. Mevcut en iyi dondurucular bile sadece dondurma işleminin yaptığı olumsuz etkileri asgariye indirirler.

İyi yapılmayan bir dondurulma işleminin sonrasında en uygun koşullarda yapılan donmuş muhafaza ürünün kalitesini düzeltemez. Benzer şekilde depoda veya nakliye sırasında çözülmüş bir ürün tekrar uygun bir depolamaya alınarak kalitesi eski haline getirilemez. Dokudaki bozulmalar ürünün donma hızına bağlı olduğundan dondurulma işleminin iyi şekilde yapılması gerekir ve muhafaza odalarının soğuklukları paketlenmiş gıda maddelerinin tekrar hızlı olarak donmalarını sağlayamaz.

Bununla birlikte dondurarak koruma meyve ve sebzeleri en az değişikliğe uğratarak ve koruyucu madde ilavesine gerek kalmadan koruyan bir metottür. Ticari amaçla yapılan

dondurulma işlemi meyve ve sebzelerdeki besleyici değerleri evlerimizde buzdolabında taze olarak saklananlarınkine yakın ve belkide daha iyi şekilde korur.

THE EFFECT OF FREEZING ON STRUCTURE OF FOODS AND DETERMINATION OF FREEZING RATE

SUMMARY :

Freezing is the most satisfactory method currently available for long term preservation of foods. Properly conducted freezing is effective for retaining the flavor, color and nutritive value of foods. In spite of the superiority, it almost invariably produces some detrimental effects. In particular it is the production of ice at low temperatures which is responsible directly or indirectly, for nearly all of the undesirable side effects of low temperature

storage. The main effects of crystallization are the mechanical rupture of structural elements through the growth of ice crystals and mechanical rupture of cell organelles releasing enzymes and substrates.

The rate of freezing affects the size of ice crystals therefore its importance in foods is considerable. Some theoretical and experimental equations have been developed to determine the freezing rate and time of foods.

KAYNAKLAR

- 1 — Desrosier, N.W. and Tressler, D.K. 1977, Fundamentals of Food Freezing. Avi. Publ. Compan. p. 132.
- 2 — Ede, A.J. 1949. The calculation of the Freezing and thawing of food stuffs. Mod. Refrig. 52, 52.
- 3 — Fennema, O. and Powrie, W.D., 1964. Fundamentals of Low Temperature food preservation. Adv. Food Research 13. 219 - 348.
- 4 — Gutschmidt, J. 1968. Low temperature Biology of Foodstuffs. Pergamon Press, 299 - 318.
- 5 — Heldman, D.R. and Singh, R.P. 1981. Food Process Engineering Second. Ed. AVI Publ. Comp. Inc., 178 - 181.
- 6 — Holdsworth, S.D. 1968. The effect of rate of freezing on the quality of frozen foods. Campden Research Assoc. Tech. Bull. No. 13.
- 7 — Holdsworth, S.D. 1968, Mathematical procedures for calculating freezing times for foodstuffs and methods of determining temperature distributions in frozen products. Campden Research Assoc. Tech. Bull. No. 16.
- 8 — Kramer, A. 1949. Effects of Freezing and Frozen Storage on Nutrient Retention of fruits and vegetables. Food Technology 58 - 65.
- 9 — Lee, F.A. 1958. The Blanching Process, Advances in Food Research, Vol VII, Academic Press Inc. 63 - 109.
- 10 — Recommendations for the Processing and Handling of Frozen Foods, 1972. International Inst. of Refrigeration. Second Ed. 16.
- 11 — Rogers, L. and Binsted, R. 1972. Quick Frozen Foods, Food Trade Press Ltd, London, p. 50.
- 12 — Singh, R.P. 1977. Quality of Frozen foods. Journal of Food Process Engineering. Vol. 1, No. 2.