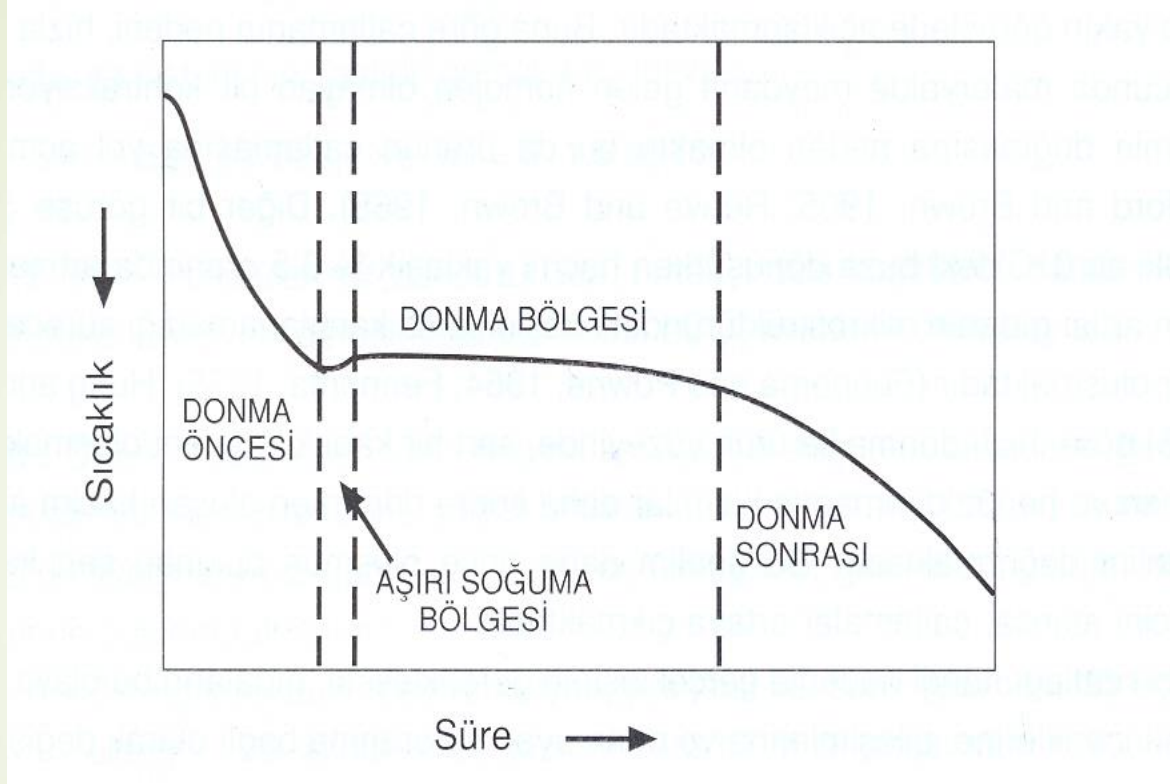


Gıdaların Dondurularak Muhafazası¹

- ❖ Donma hızı ve donma süresi
- ❖ Gıdaların dondurulmasında soğutma yükü

DONMA SÜRESİ VE DONMA HIZI

- Bir gıdada donma üç aşamada gerçekleşmektedir;
 - 1) Gıda bulunduğu sıcaklıktan, donma başlangıç sıcaklığına soğumaktadır (donma öncesi soğuma).
 - 2) Donma aşaması. Donma başlangıç sıcaklığından son ötektik sıcaklığa ulaşincaya kadar geçen süreyi kapsar. Bu süreç boyunca dondurulan materyalin sıcaklığı sabit kalmaktadır.
 - 3) Soğuma aşaması. Gıda, donmanın sona erdiği sıcaklıktan son sıcaklığa veya dengeleme sıcaklığına kadar soğur. Son sıcaklık; gıdanın termal merkezi dahil her noktasının depolama sıcaklığına eriştiği sıcaklıktır.
- Dengeleme sıcaklığı ise; çevre ile bir ısı alışverişi gerçekleşmeksizin, yani adyabatik şartlarda materyalde ulaşılması hedeflenen dereceyi sağlayan sıcaklıktır.



Bir gıdanın donmasında çeşitli aşamalar

Donma süresi

4

- Nominal donma süresi
- Efektif donma süresi

Nominal donma süresi

5

- Dondurulan gıdanın yüzey sıcaklığının 0°C 'ye eriştiği andan, termal merkez sıcaklığının 0°C 'den -15°C 'ye düşmesi için geçen süredir.
- Nominal donma süresi, dondurulacak gıdanın dondurucuya girdiği andaki başlangıç sıcaklığını değil, yüzeyin 0°C 'ye erişmiş olmasını temel almaktadır. Bu nedenle nominal donma süresi, donma hızı hakkında bilgi veren bir değerdir.

Efektif donma süresi

6

- Dondurulacak gıdanın bulunduğu sıcaklıktan, termal merkez sıcaklığının belli bir dereceye düşmesi için geçen süreye “efektif donma süresi” denir.
- Örneğin bir gıda dondurucuya 18°C 'de (başlangıç sıcaklığı) giriyorsa ve donma sonunda termal merkez sıcaklığının -15°C 'ye düşmesi hedef alınmışsa, efektif donma süresi; gıdanın 18°C 'den termal merkez sıcaklığı -15°C 'ye inene kadar geçen süredir.
- Efektif donma süresi uygulamada karşılaşılan gerçek donma süresidir. Yani bu süre; dondurucunun işgal edildiği süredir. Bu nedenle dondurucu kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılacak nitelikte bir değerdir.

Donma Süresine Etki Eden Faktörler

7

- Gıdanın ısı iletkenlik katsayısı
- Isı transferinin gerçekleştiği yüzey alanı
- Gıdanın kalınlığı
- Ambalaj
- Gıda ve dondurucu ortam (frizantın) sıcaklık farkı
- Yüzey filmi

Gıdanın ısı iletkenlik katsayısı

8

- Dondurulan gıdanın ısı, kondüksiyonla yüzeye taşınarak buradan dondurucu ortama ulaşır. uzaklaştırıldığına göre, gıdanın ısı iletkenlik katsayısının donma süresine ne kadar etkili olduğu kolaylıkla anlaşılabilir.
- Donma süresinin hesaplanmasında kullanılacak olan ısı iletkenlik katsayısı değeri, tercihen deneysel yolla saptanmış değer olmalıdır. Eğer böyle bir değere ulaşılamazsa, gıdanın bileşenlerinden yararlanılarak daha önce değinilen yolla hesaplanmış bulunan değer kullanılabilir.

Isı transferinin gerekleŖtiđi yüzey alanı

- ⁹ Donma süresi üzerine, gıdanın ısı transferine elveriŖli yüzey alanı etki etmektedir.
- Bu alan gıdanın geometrik Ŗekline bağlıdır.
- Bu nedenle, donma süresinin hesaplanmasında yararlanılan birçok eŖitlikte, yüzey alanının etkisini yansıtma amacıyla, geometrik Ŗekil ile ilgili bazı katsayılar yer almaktadır.
- Plank eŖitliđinde yer alan P ve R katsayıları böyle değerlerdir ve bunlar dondurulan materyalin Ŗekline bağlı olarak deđiŖmektedir.

Gıdanın kalınlığı

10

- Dondurulan gıdanın iç kısımlarındaki ısının yüzeye ulaşması için katedilen yol, donma süresine etkili faktörlerden birisidir.
- Bu nedenle donma süresinin hesaplanmasında, gıdanın kalınlığı dikkate alınarak bu önemli faktörün etkisi karşılanmaktadır.
- Kalınlık arttıkça donma süresi uzar.

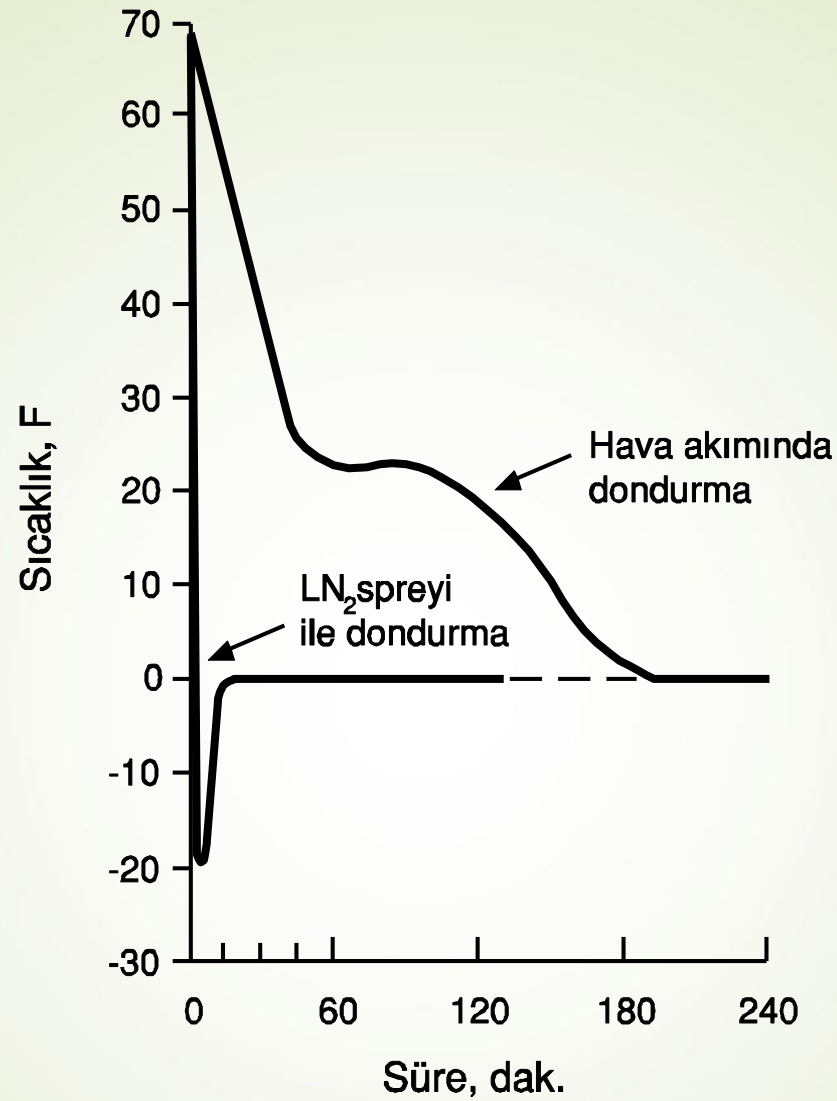
Ambalaj

- Gıdanın ambalajlanmış olması, donma süresini uzatan en önemli faktörlerden birisidir.
- Ambalaj materyalinin ısı iletkenlik katsayısı ve kalınlığı, ambalajın donma süresi üzerine etkisini tayin eder.
- Dondurulmuş gıdalarda kullanılan ambalajların yapıldığı materyaller genellikle kötü ısı iletkenidirler ve bu nedenle donma süresine olumsuz etki ederler.
- Ancak ambalajın etkisi sadece ısı iletkenlik katsayısı ve kalınlığından kaynaklanmaz. Ambalaj gıdayı ideal olarak bir deri gibi sarmalı, arada boşluk kalmamalıdır.
- Ambalajla gıda arasında kalabilecek hava boşluğu yüzünden oluşan iki yeni sınır yüzey filmi, bu hususta ek olumsuzluklara neden olmaktadır.
- Eğer ambalajla gıda arasında bir boşluk varsa, bu katman dikkate alınmadan yapılan bir donma süresi hesabı, tutarlı olmaz.
- Normal olarak ambalajın donma süresine etkisi, toplam ısı transfer katsayısının hesaplanmasında dikkate alınmaktadır.

Gıda ve dondurucu ortam (frizantın) sıcaklık farkı

12

- Gıdanın sıcaklığı ile dondurucu ortamın sıcaklığı arasındaki fark, ısı transferinin itici gücüdür.
- Bu fark büyüdükçe ısı transferi hızlanır ve donma süresi kısalır.
- Kriyojenik dondurmada donma süresinin kısalmasının nedenlerinden birisi budur. Bu durum şekilde açıklıkla görülmektedir.



Soğuk hava akımında ve LN₂ spreyi ile dondurma sürelerinin kıyaslanması

Yüzey filmi

14

- Gıdaların bir akışkandan yararlanılarak ısıtılması veya soğutulmasında ısı transferine direnç gösteren faktörlerden birisi, yüzey filmidir (boundary film).
- Yüzey filminin kalınlığı arttıkça, ısı transferi güçleşir. Dondurulacak materyalin yüzeyindeki filmin kalınlığı, hava hızı ve sıcaklığı başta olmak üzere çeşitli faktörler tarafından etkilenmektedir.
- Hava hızı arttıkça, bu filmin kalınlığı azalmakta ve böylece ısı transferi iyileşmektedir. Yüzey filminin donma süresine etkisi, “yüzey film ısı transfer katsayısı” (h) değeri üzerinden hesaba dahil edilmektedir.
- h değeri arttıkça donma süresi kısalmaktadır.

Çeşitli yöntemlerle dondurmada hakim olan koşullara göre gerçekleşen yüzey ısı transfer katsayıları, h_c

15

Dondurma yöntemi ve hakim olan koşullar	Yüzey ısı transfer katsayısı (W/m ² K)
Plakalı dondurma:	
Yüzey teması zayıf	50 – 100
Yüzey teması yeterli	200 – 500
Hava akımında dondurma:	
Doğal konveksiyon (hava hızı < 4 ms ⁻¹)	5 – 10
Akışkan yatak	120 – 200
Daldırarak dondurma :	
Salamura ve glikollere daldırma	300 – 600
Kriyojenik dondurma :	
LN ₂ 'nin sprej olarak uygulanması	150 – 200

Donma hızı

16

- Donma hızı genellikle, “termal merkezin yüzeye olan en kısa mesafesinin nominal donma süresine oranı” olarak tanımlanmaktadır.

$$V = L / t$$

Burada;

V: Donma hızı, cm/h veya cm/dak

L : Termal merkezin yüzeye olan en kısa mesafesi, cm

t : Dondurulan gıdanın merkez noktasının 0°C den -15°C'ye düşmesi için geçen süre (nominal donma süresi), h

Örnek: 2.6 cm çapında orta irilikte çilekler “akışkan yatak” dondurucuda dondurulmaktadır. Çileklerin merkez sıcaklığının 0°C’den -15°C’ye erişmesi için 12 dakika süre geçtiği saptandığına göre donma hızı nedir?

Çözüm: Bu değerler yukarıda verilen eşitlikteki yerlerine konursa;

$$D : 2.6/2 = 1.3 \text{ cm}$$

$$t : 12 \text{ dakika} = 0.2 \text{ h}$$

$$V = 1.3 \text{ cm} / 0.2 \text{ h} = 6.5$$

Buna göre; donma hızı 6.5 cm/h’dır.



Donma hızı

18

- Bu tanıma göre donma hızı, buz cephесinin yüzeyden içeriye doğru gelişme hızını ifade etmektedir.
- Donma hızı gerçekte sabit değildir ve donma süresi boyunca hızlanarak artar. Bu nedenle verilen eşitliği ile hesaplanan donma hızı “Ortalama donma hızı” veya “Integral donma hızı” olarak anılır.
- Donma hızı, dondurulan gıdanın kalitesi üzerine etkili en önemli faktörlerden birisidir. Bu yüzden donma hızının çeşitli ülkelerin mevzuatında sınıflandırıldığı ve tanımlandığı görülmektedir.

Donma hızı ve dondurucu tipleri

19

Donma hızı	Donma hızı (cm/h)	Dondurucu tipi
Çok hızlı donma	5'den fazla	Kriyojenik dondurucu
Hızlı donma	1-5	Akışkan yatak dondurucu
Yavaş donma	0.5–1.0	Hava dolaşımli dondurucu ve plakalı dondurucu
Çok yavaş donma	0.5'den az	Durgun soğuk hava dondurucu

Bugünkü tekniklerle çeşitli dondurma sistemlerinde istenen donma hızına ulaşılması olanaklıysa da, her gıdada mutlaka hızlı bir donma sağlanması gerekmektedir.

Çünkü birçok gıda maddesinde donma hızının belli bir sınırın üstüne çıkması, kalite üzerinde artık daha fazla olumlu bir etki yaratmamaktadır.

Bu yüzden birçok dondurucuda 1-3 cm/h düzeyinde donma hızı sağlanacak şekilde çalışılır ve bunun ötesinde kalitenin iyileştirilmesine yararı olmayan daha hızlı dondurmanın aşırı işletme masraflarından kaçınılır.

- Dondurulan materyaldeki buz cephesinin dışarıdan içeriye doğru adeta hareket hızını gösteren ve cm/ h birimiyle ifade edilen donma hızı tanımına ek olarak, başka tanımlar da vardır.
- Donma hızı; dondurulan materyalin dondurucuya giriş sıcaklığı ile son sıcaklığı arasındaki farkın, donma süresine bölümüyle elde edilen değer (birimi, °C/ h veya °C/ dak) şeklindeki tanım da yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu, belli bir zaman diliminde kaç derece soğuma sağlandığını göstermesi bakımından daha anlamlı bulunabilir.

ÖRNEK

Donma Süresinin Hesaplanması

22

- Plank eşitliği ile donma süresinin hesaplanması
- “Tao” grafikleri yardımıyla donma süresinin hesaplanması

Burada Plank eşitliği ile donma süresinin hesaplanması irdelenecektir.

Plank eşitliği ile donma süresinin hesaplanması²³

- Donma süresi, çok çeşitli faktörlere bağlı olarak değişmektedir.
- Tüm koşulları içeren ve duyarlı sonuç veren bir eşitlik henüz geliştirilememiştir.
- Donma süresinin hesaplanmasında yaklaşık bir sonuç veren en basit eşitlik Plank (1941) tarafından önerilmiştir.

Plank eşitliği

$$t_f = \frac{\rho H_L}{T_f - T_\infty} \left(\frac{P L}{h_c} + \frac{R L^2}{\lambda_d} \right)$$

t_f : Donma süresi, saniye

ρ : Dondurulan gıdanın yoğunluğu, kg/m³

H_L : Donma gizli ısı, J/kg

T_f : Donma başlangıç sıcaklığı, °C

T_∞ : Dondurucu ortam sıcaklığı, °C

L : Dondurulan gıdanın kalınlığı, m (Küre veya silindir şeklindeki materyallerde çap, dilim için ise kalınlık)

h_c : Yüzey ısı transfer katsayısı, (konvektif ısı transfer katsayısı), W/m² °C

λ_d : Donmuş gıdanın ısı iletkenlik katsayısı, W/m °C,

P ve R : Dondurulan gıdanın geometrik şekline bağlı katsayılar

Plank eşiliđi

25

► P ve R : Dondurulan gıdanın geometrik şekline bağlı katsayılar

Sonsuz dilim için : $P = 1/2$, $R = 1/8$,

Sonsuz silindir için : $P = 1/4$, $R = 1/16$

Küre ve küp için : $P = 1/6$, $R = 1/24$

Dondurulacak gıda ambalajlı ise; plank eşitliğine ambalaj kalınlığı ve ambalajın ısı iletkenlik katsayısının da dahil edilmesi gerekir. Bu durumda Plank eşitliği tek kat ambalajlanmış gıdanın donma süresinin hesaplanmasında aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$t_f = \frac{\rho H_L}{T_f - T_\infty} \left[\frac{P L (1 + L_1)}{h_c} + \frac{R L^2}{\lambda_1} + \frac{R L^2}{\lambda_d} \right]$$

L_1 : Ambalaj materyalinin kalınlığı, m

λ_1 : Ambalaj materyalinin ısı iletkenlik katsayısı, W/m°C

Not: Eğer, çok katlı bir ambalajlama söz konusu ise, bu eşitlikte parantez içinde bulunan terimde her katın kalınlığı (L_1, L_2, \dots) ve ısı iletkenlik katsayısı ($\lambda_1, \lambda_2, \dots$) sıra ile yer alır.

Plank eşitliğinin dayandığı varsayımlar

27

- ▶ Plank eşitliği ile hesaplanan donma süresi, materyalin donma başlangıç sıcaklığına eriştiği andan sonra geçen süreyi kapsamaktadır.
- ▶ Dondurulan materyaldeki suyun tümünün, donma noktasında katı faza dönüştüğü kabul edilmektedir. Fakat gerçekte gıdadaki su, o gıdaya özgü donma noktasında kristalize olmaya başlamakta ve çoğunluğu donma noktasına yakın sıcaklıklarda kristalize olmakla birlikte, donma gittikçe düşük sıcaklıklarda süren bir olaydır.

Bazı hayvansal ve bitkisel kökenli gıdaların dondurulmasında sıcaklığa bağlı olarak su içeriğinin buza dönüşüm oranları

28	Sıcaklık (°C)	Su içeriğinin buza dönüşme oranı (%)		
		Yağsız et	Morina balığı	Portakal suyu
	-40	89.2	92.5	97.9
	-30	88.5	91.8	96.9
	-20	87.0	90.4	94.9
	-18	86.5	90.0	94.3
	-16	85.9	89.4	93.5
	-14	85.1	88.7	92.4
	-12	84.0	87.7	91.0
	-10	82.5	86.3	89.1
	-9	81.5	85.4	87.7
	-8	80.2	84.3	86.1
	-7	78.6	82.8	84.0
	-6	76.5	80.8	81.2
	-5	73.5	78.1	77.3
	-4	69.9	74.0	71.4
	-3	61.5	67.1	61.6
	-2	46.5	53.4	42.0
	-1	1.5	12.2	0.0
	0	0.0	0.0	0.0

Plank eşitliğinin dayandığı varsayımlar

- Dondurulan gıdanın yoğunluk ve ısıl iletkenlik katsayısının donma süresince sabit kaldığı varsayılmaktadır. Gerçekte ise bu iki değer donma süresince değişmektedir.
- Dondurulan materyalin donma gizli ısı, materyaldeki suyun kütle fraksiyonu ile, suyun donma gizli ısısının (335 kJ/kg) çarpımıyla elde edilen değer olarak kabul edilmektedir. Gerçekte ise donma sonunda ulaşılan sıcaklığa bağlı olarak, suyun az da olsa bir bölümü donmamakta, sıvı fazda kalmaktadır.
- Plank eşitliği, eğer parçacık halindeki gıdaların bulunduğu bir ambalajdaki ürünün donma süresinin hesaplanmasında uygulanırsa, ambalajdaki gıda sanki bir blokmuş gibi kabul edilmektedir. Halbuki parçacıklardan oluşan bu kitlenin yoğunluğu ve ısıl iletkenlik katsayısı gibi özellikleri, aradaki hava boşlukları nedeniyle materyalinkinden çok farklıdır.

Problemler

1) Plakalı bir dondurucuda 15x10x5 cm boyutlarında, en içte 0.6 mm polietilen folyo, dışında 1 mm kalınlığında kartondan yapılmış bir kutu içinde ıspanak püresi dondurulacaktır. Diğer veriler aşağıda verildiğine göre, ıspanak püresinin donma süresini hesaplayınız.

- Ispanak püresinin yoğunluğu, $\rho=1045 \text{ kg/m}^3$
- Ispanak püresinin donma gizli ısı, $H_L=312 \text{ kJ/kg}$
- Ispanak püresinin donma başlangıç sıcaklığı, $T_f= -0.8^\circ\text{C}$
- Plaka yüzey sıcaklığı, $T_\infty = -30^\circ\text{C}$
- Ambalajlanmış ürün kalınlığı, $L= 0.05 \text{ m}$
- $P=0.275$, $R=0.077$
- Donmuş pürenin ısı iletkenlik katsayısı, $\lambda_d = 1.86 \text{ W/m}^\circ\text{C}$
- Polietilen folyo kalınlığı, $L_1= 0.0006 \text{ m}$
- Polietilen folyonun ısı iletkenlik katsayısı, $\lambda_1 = 0.55 \text{ W/m}^\circ\text{C}$
- Karton kalınlığı, $L_2= 0.001 \text{ m}$
- Kartondun ısı iletkenlik katsayısı, $\lambda_2 = 0.12 \text{ W/m}^\circ\text{C}$
- Yüzey ısı transfer katsayısı, $h_c = 90 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$

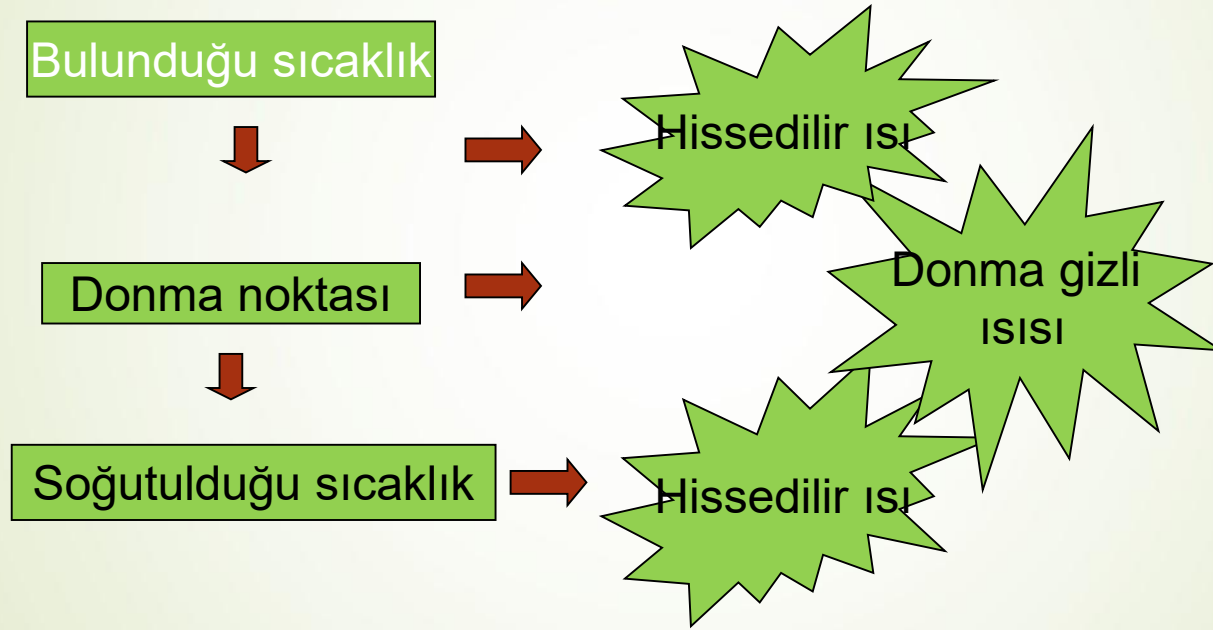
2) Kalınlığı 6 cm olan bir et dilimi kraft kağıda sıkıca sarılmış olarak, yüzey sıcaklığı -35°C olan plakalı bir dondurucuda dondurulmaktadır. Dondurmada hakim olan koşullar aşağıda verilmiştir. Bu verilere göre et diliminin donma süresini hesaplayınız.

- Etin yoğunluğu, $\rho=1080 \text{ kg/m}^3$
- Etin donma gizli ısı, $H_L=256 \text{ kJ/kg}$
- Etin donma başlangıç sıcaklığı, $T_f= -1.8^{\circ}\text{C}$
- Plaka yüzey sıcaklığı, $T_{\infty} = -35^{\circ}\text{C}$
- Et dilim kalınlığı, $L= 0.06 \text{ m}$
- Donmuş etin ısı iletkenlik katsayısı, $\lambda_d = 1.6 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$
- Sargı materyalinin kalınlığı, $L_1= 0.001 \text{ m}$
- Sargı materyalinin ısı iletkenlik katsayısı, $\lambda_1 = 0.09 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$
- Yüzey ısı transfer katsayısı, $h_c = 150 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $P = 1/2$, $R= 1/8$ (sonsuz dilimler için katsayılar)

3) Problem 2'deki tüm veriler geçerli olmak üzere, eğer et dilimi dondurucuya 15°C 'de girmiş ve dondurucuyu -20°C 'de terketmiş ise, toplam donma süresini hesaplayınız.

Gıdaların dondurulmasında soğutma yükü ve hesaplanması

- Gıdaların dondurulması sırasında gıda,



Donma noktası altında;

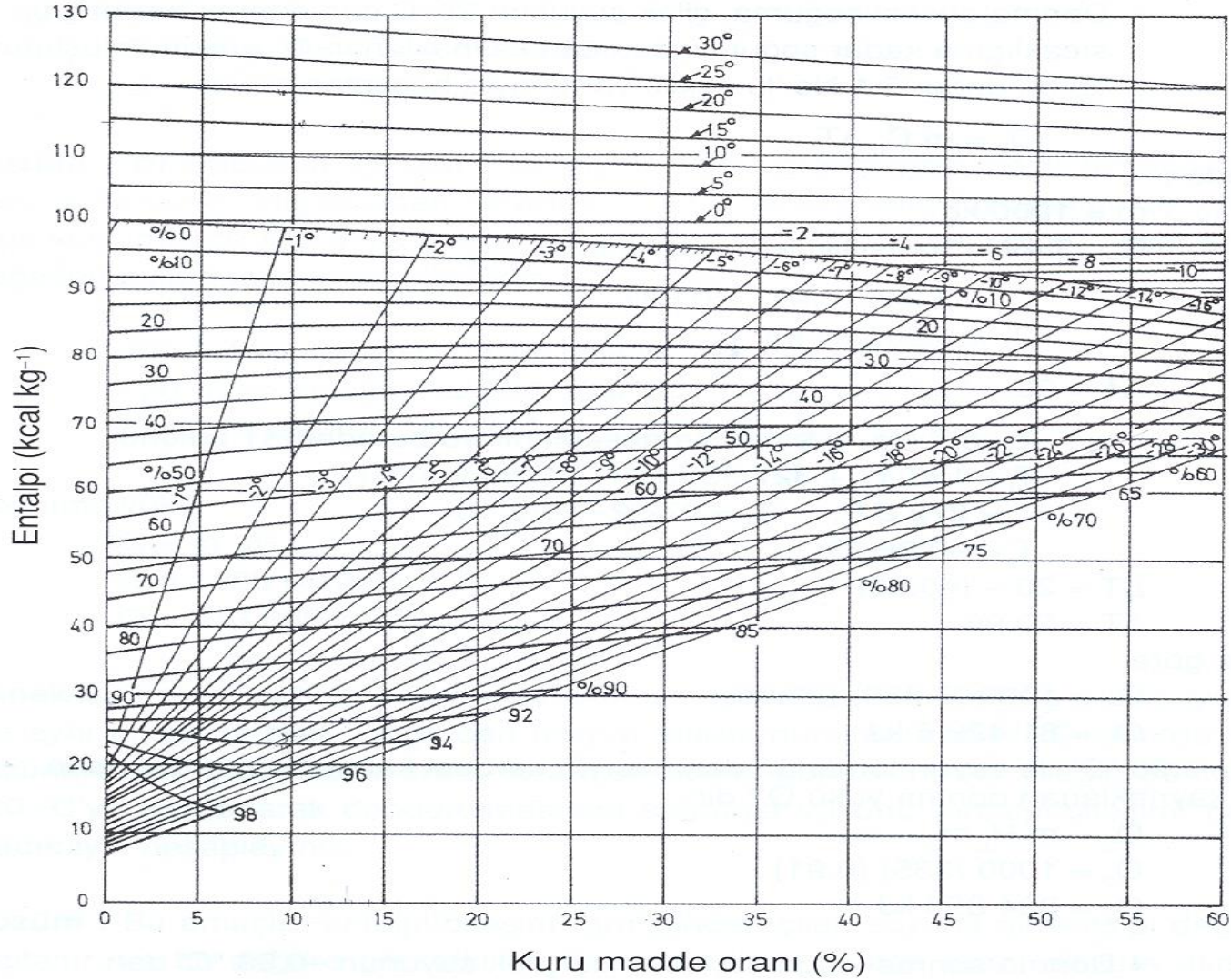
34

Su gittikçe düşen sıcaklıklarda donmakta;

- özgül ısı
- Isıl iletkenlik katsayısı
- Yoğunluk gibi değerler devamlı olarak değişmektedir.

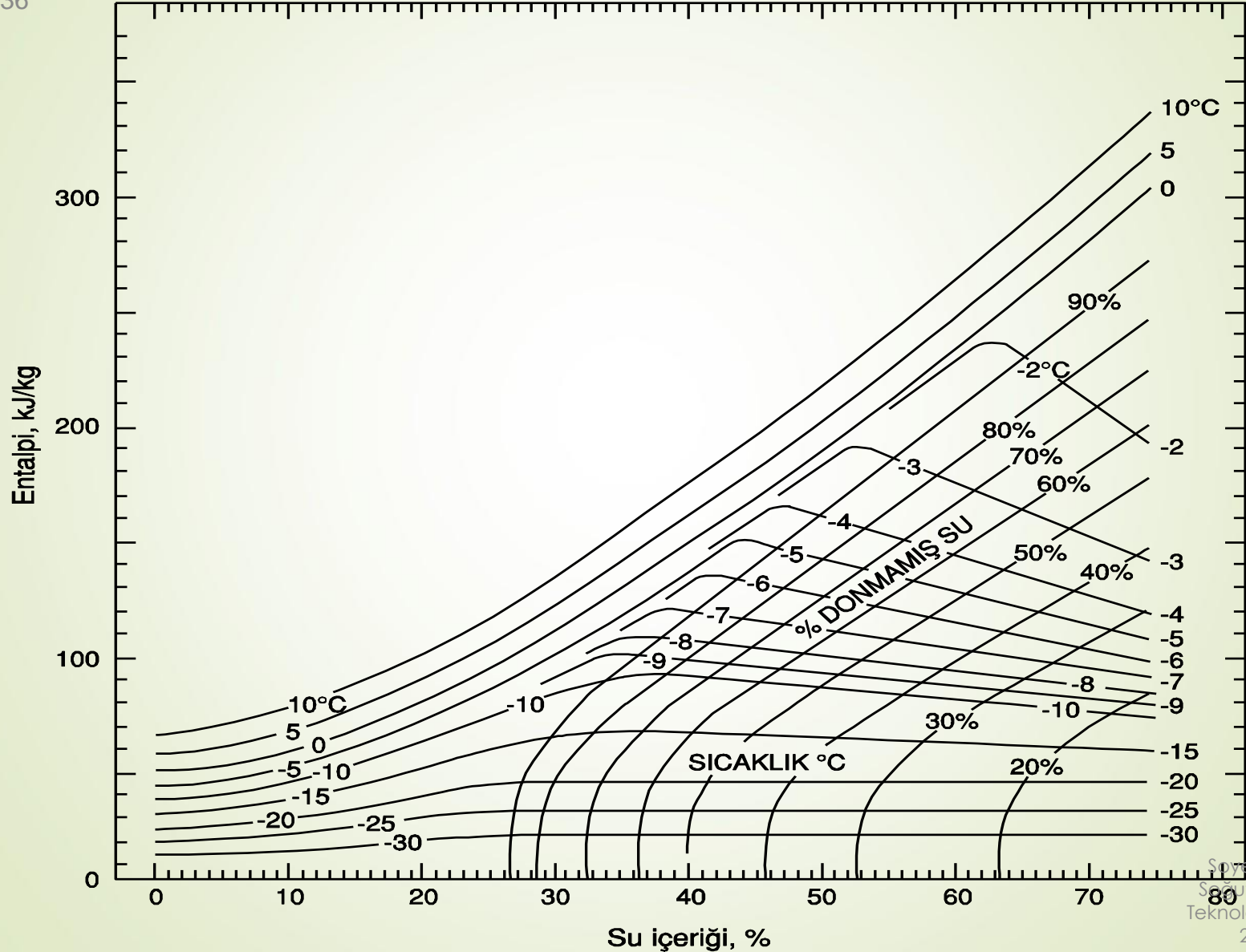
Bu nedenlerle; donma sırasında uzaklaştırılması gereken veya çözülme sırasında verilmesi gereken ısıнын hesaplanmasında en doğru yol entalpi değişiminin deneysel olarak saptanmasıdır.

Riedel tarafından "meyve ve sebze suları için geliştirilen entalpi-bileşim grafiği"



Sığır eti için geliştirilen Entalpi-bileşim grafiği

36



Soğutma yükünün entalpi-bileşim grafiği yardımıyla hesaplanması

- Örnek : Suda çözünür kuru madde oranı % 9 olan 1000 kg çilek suyu, 20°C'den -20°C'ye soğutularak dondurulacaktır.
 - a) Çilek suyundaki suyun tümünün donma noktasında katı faza dönüştüğü varsayılarak soğutma yükünü hesaplayınız.
 - b) Soğutma yükünü “Entalpi-bileşim” grafiğinden yararlanarak bulunuz.
 - c) -20°C ye soğutulan çilek suyunda donmuş ve donmamış su oranlarını hesaplayınız.

Gıdalar için uygun dondurma sisteminin seçimi

Bir gıdanın dondurulmasında seçilecek en uygun sistemi aşağıdaki faktörler belirler:

- Gıdanın fiziksel nitelikleri,
- Boyutları,
- Ambalajlı olup olmadığı,
- Ulaşılmak istenen donma hızı,
- Üretim maliyeti.

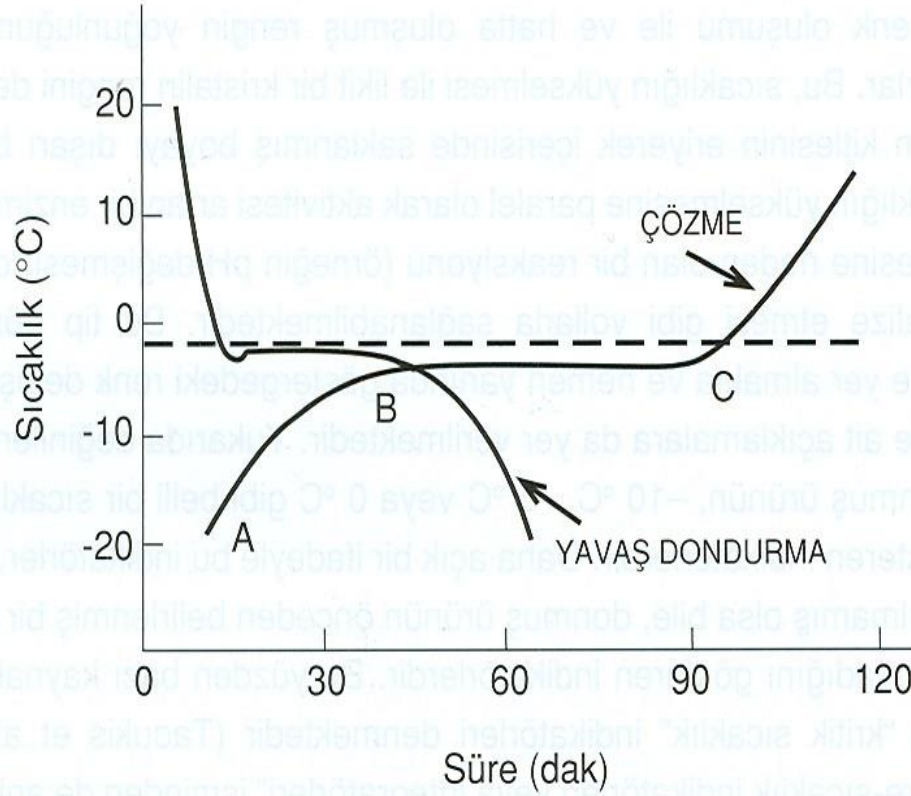
Gıdalar için uygun dondurma sisteminin seçimi

- Meyve suları, pulpları veya konsantreleri gibi akışkan nitelikli gıdalar en iyi kazıyıcı dondurucularda dondurulur.
- Bezelye, çilek veya vişne gibi küçük boyutlu meyve ve sebzeler, doğranmış meyve ve sebzeler en iyi akışkan yatak dondurucularda,
- Ekonomik değeri yüksek ürünler (istakoz, karides, midye gibi) kriyojenik dondurma yöntemiyle,
- Büyük parça etler, tavuk, hindi karkasları, porsiyone etler, balıklar en iyi hava akımlı dondurucularda,
- Belirli şekle sahip ürünler (hamburger köftesi, köfte, kıyma, püre ürünler) plakalı dondurucularda dondurulurlar.

Donmuş gıdaların çözülmesi

40

- Çözülme, gıdadaki buzun eriyerek sıvı faza yani suya dönüşmesidir.
- Gıdalarda erime terimi yerine çözülme terimi kullanılır.
- Fiziksel olarak donmanın tersine gelişen bir olaydır.



Şekil 5.31 Donma ve çözülmede zamana göre sıcaklık değişimi (Fennema and Powrie, 1964)

Donma ve çözülme işlemleri arasındaki farklar

42

- Çözülme süresi, donma süresinden daha uzundur.
- 0°C'deki suyun ısı iletkenlik katsayısı 0.561 W/m K, aynı sıcaklıktaki buzun ise, 2.24 W/m K 'dir.
- 0°C'deki suyun ısı yayılım katsayısı 1.3×10^{-7} m²/s, buna karşın aynı sıcaklıktaki buzun ise 11.7×10^{-7} m²/s'dir.
- Bu değerlere göre, buzun sıcaklığının suya göre 9 misli hızla değiştiği görülmektedir.
- Bu değerler, donma ve çözülme olayının fiziksel değişiminin, neden farklı olduğunu ortaya koymaktadır.

Çözülme olayında;

- Donmuş bir materyalin çözülme olayında hemen başlangıçta, materyal sıcaklığı hızla çözülme derecesine yaklaşır. Bunun nedeni de yine buzun ısı transfer katsayısının yüksek olmasıdır. Şekil'de AB hattının hızlı yükselişi bunun kanıtıdır.
- Ancak dış yüzeyde çözülme başlayınca, buradaki buz, ısı transfer katsayısı daha düşük olan suya dönüştüğünden ısı transferi zorlaşmaya başlar. Yani alt katmanlarda buzun erimesi için gerekli bulunan gizli ısı, ısı iletimi artık zorlaşmış olan bu dış katmanı aşmak zorundadır.
- Özetle, çözülmüş katmanda bulunan ve fakat akışkan nitelikte olmayan su, buza göre adeta bir yalıtkan gibi davranmaktadır. Çözülme eğrisindeki uzun plato açıklanan bu olgunun sonucudur. Bu plato Şekil'de BC arasındaki bölgedir.

Gıdalarda çözülme süresinin hesaplanması

44

- Gıdaların çözülme süresinin hesaplanmasında Plank eşitliği kullanılabilir.

Ancak bu taktirde;

- Donmuş gıdanın ısı iletkenlik katsayısı yerine, donma noktası üstündeki ısı iletkenlik katsayısı kullanılmalıdır.
- Zira ısı, çözülme sırasında materyalin çözünmüş cephesinden buz cephesine doğru transfer olmaktadır.

- 45
- Örnek: Küp şeklinde doğranmış (kenar uzunluğu 12.5 mm), -35°C 'deki soğuk hava akımında dondurulmuş havuçlar, 20°C 'de durgun bir hava ortamında ($h_c=10 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$) çözülecektir. Havuçların donma başlangıç derecesi ($T_f= -1.5^{\circ}\text{C}$) üzerindeki ısı iletkenlik katsayısı $0.56 \text{ W/m }^{\circ}\text{C}$ 'dir. Buna göre;
 - a) Donmuş havuçların çözülme süresini hesaplayınız.
 - b) Havuçların donma süresini hesaplayarak iki sonucu kıyaslayınız.

Diğer veriler:

- Havucun yoğunluğu: 1050 kg/m^3
- Donma gizli ısı: 290 kJ/kg
- Isı transfer katsayısı: $25 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Isıl iletkenlik katsayısı: $2.4 \text{ W/m }^{\circ}\text{C}$
- P: 1/6, R: 1/24

Çözme yöntemleri

46

- Kondüksiyonla (hava, su, vakum altında)
- Elektriksel çözme (mikrodalga, elektriksel dirence dayalı)

Farklı çözme yöntemlerinin olumlu ve olumsuz yönleri

Yöntem	Çözme ortamı	Olumlu	Olumsuz
Kondüksiyonla çözme yöntemleri	Hava	Kuruluşu kolay, Soğuk oda gibi düzenlenebilir, Düşük hava hızı, etin görünüşünü muhafaza eder,	Yüksek hava hızı ve yüksek sıcaklık kullanılmazsa çözülme hızı yavaş, Ağırlık kaybı fazla, Görünüşte bozulma,
	Su	Hava ile çözmeden daha hızlı,	Fazla ürün kayıpları, Görünüşte kayıplar, Mikrobiyel faaliyet riski,
	Vakum altında-ısı uygulanarak	Hızlı, Ürün yüzey sıcaklığı düşük, Kontrol edilebilir, Temizliği kolaydır,	Ürün görünüşünde kayıplar, Maliyeti yüksek, Kapasitesi sınırlıdır,
Elektriksel çözme yöntemler	Mikrodalga/ Infra red	Çok hızlı	Ürüne ısı penetrasyonunda problemler, Enerji absorpsiyonunda düzensizlik, Bölgesel aşırı ısınma, Maliyet sorunu,
	Elektriksel	Hızlı	Düzensiz olmayan

⁴⁸Bazı farklı çözme yöntemlerinde ısı transfer katsayıları

Çözme ortamı	Isı transfer katsayısı (W/m² °C)
Hava, zorlamasız konveksiyon	5-15
Hava, zorlamalı konveksiyon	10-70
Su	100-400
Vakum-buhar	150-1000
Plaka	100-300