

Soğutma Teknolojisi

Bahar Y.Y.

Prof. Dr. Ayla Soyer

Gıdaların Dondurularak Muhafazası

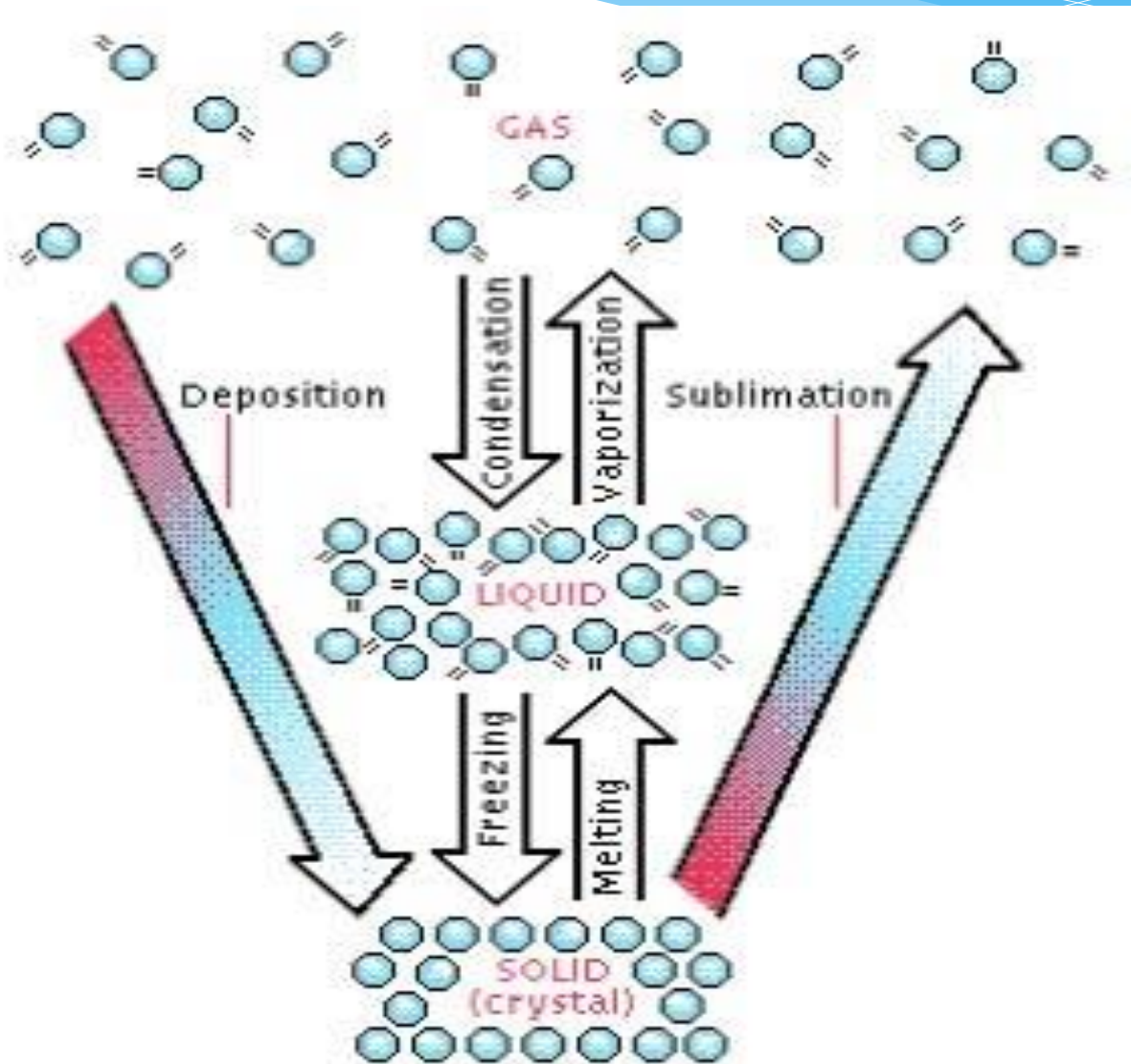
İçerik

- ❖ Gıda dondurma ve donma olayı
- ❖ Gıda dondurma sistemleri



GIDALARIN DONDURULARAK MUHAFAZASI

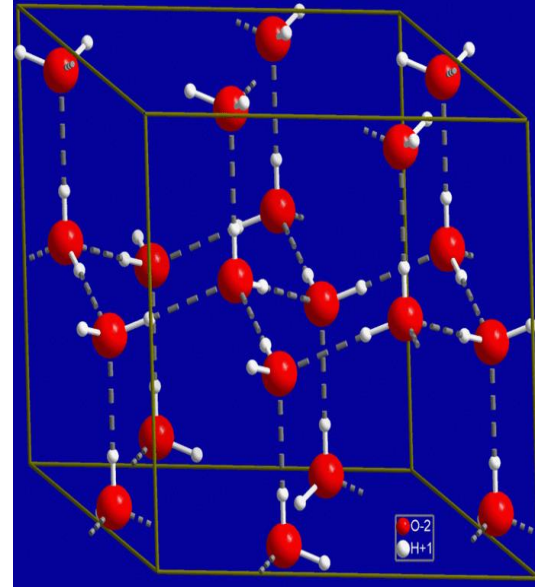
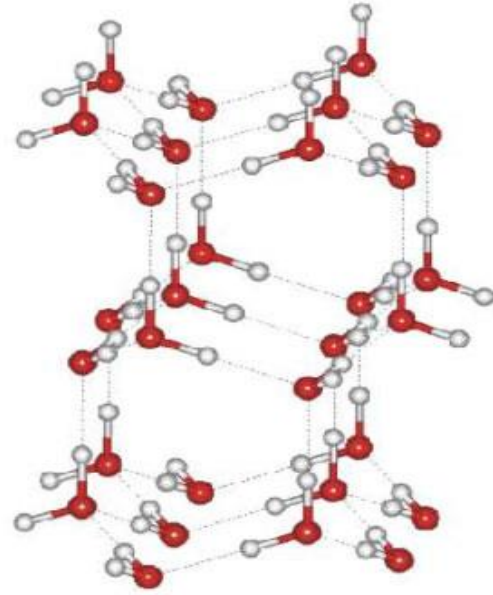
- Bir gıdanın donması, içerdiği suyun donması demektir.
- Gıdadaki su, içerisinde çeşitli maddelerin çözündüğü bir çözelti halindedir.
- Saf su ile çözeltilerin donması farklı şekilde gelişir.
- Su ve buzun fiziksel nitelikleri birbirinden çok farklıdır.
- Bu nedenle donma sonucu gıdanın fiziksel özellikleri değişmektedir.



Su ve buz

Buz, düzenli bir yapıya sahip inorganik bir kristal (mineral) olarak değerlendirilir.

- * Suyun, H ve O moleküllerinden oluşan, yani bir oksijen atomunun iki hidrojen atomuna kovalent bağlanmasıyla (H-O-H) oluşan düzenli bir yapısı vardır.
- * Suyun buza dönüşmesiyle fiziksel özelliklerinde önemli değişimler olur. Bunun nedeni, komşu oksijen ve hidrojen atomları arasında oluşan hidrojen bağlarıdır. Bu bağlar zayıf bağlardır, fakat hem suyun hem de buzun yapısını kontrol ederler.



Buzun hekzagonal yapısı

Su ve buzun başlıca fiziksel nitelikleri

- Yoğunluk

Suyun 0°C'deki yoğunluğu 999.8 kg/m³

Buzun 0°C'deki yoğunluğu 916.8 kg/m³ (hacimde yaklaşık %8.3 artış)

- Özgül ısı

Suyun 0°C'deki özgül ısı 4.2176 kJ/kg K

Buzun 0°C'deki özgül ısı 2.1009 kJ/kg K

Sıcaklık düştükçe özgül ısı da düşmektedir.

- Isıl iletkenlik katsayısı

Suyun 0°C'deki ısı iletkenlik katsayısı 0.5610 W/m K

Buzun 0°C'deki ısı iletkenlik katsayısı 2.240 W/m K

Buzun sıcaklığı düştükçe ısı iletkenliği daha da iyileşmektedir.

- Isıl yayılım katsayısı

Suyun 0°C'deki ısı yayılım katsayısı 1.31x10⁻⁷ m²/s

Buzun 0°C'deki ısı yayılım katsayısı 11.70x10⁻⁷ m²/s

- Entalpi değişimi

Suyun donma gizli ısı 335 kJ/kg dır.

Donma olayı

- ❖ Sıvı bir maddeden enerji uzaklaştırılması sonucu, sıvı fazdan katı faza dönüşmesi olayına “donma” denir.
 - ❖ Saf bir maddenin faz değiştirmesi sadece kendine özgü bir sıcaklıkta gerçekleşebilmektedir. Su için bu sıcaklık 0°C'dir.
 - ❖ İster saf su ister bir çözelti olsun, donmanın gerçekleşmesi için önce çekirdek oluşması gereklidir.
Çekirdek = buz kristali
- Eğer çekirdek oluşumu gerçekleşmezse, sıvı aşırı soğur.
- ❖ Ortamda moleküllerin katı faza dönüşmesine öncülük edebilecek bir yapının olması gereklidir. Bu bir çekirdek veya yabancı bir materyal olabilir.

Donma olayı

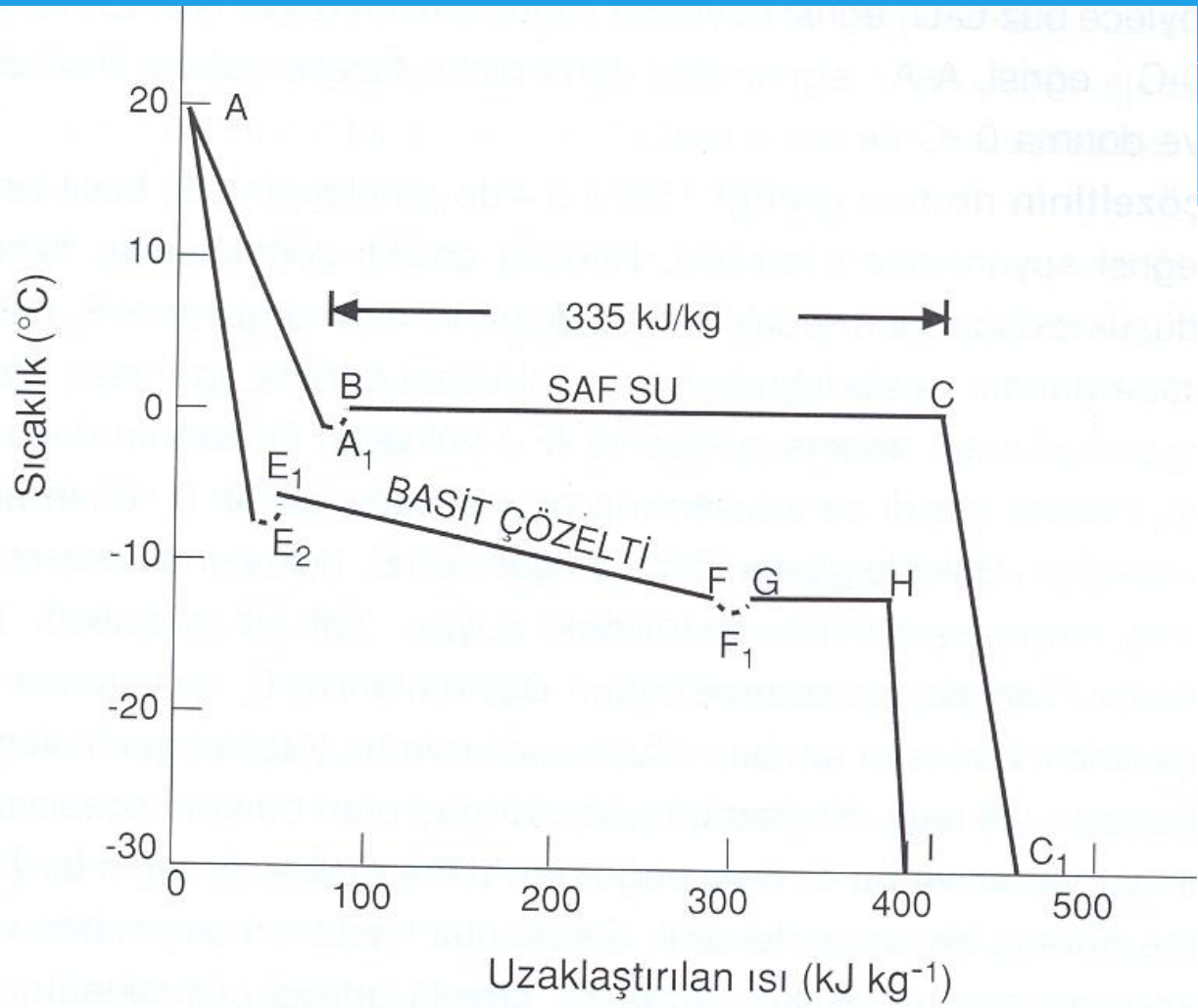
- Çekirdek, su moleküllerinin belirli bir düzen içinde yan yana gelmesidir.
- Donan sıvının bizzat kendisinin oluşturduğu çekirdeklenmeye “homojen çekirdeklenme” denir.
- Ortamdaki yabancı bir parçacığın katalize ettiği çekirdeklenmeye “heterojen çekirdeklenme” denir.

Suyun ve basit bir çözeltinin donma grafiklerinin irdelenmesi

- * Suyun donma grafiđi
- * Basit bir çözeltinin donma grafiği. Örneğin %90'lık glukoz çözeltisi (Şekil 5.4)

Ötektik nokta (sıcaklık): Bir çözeltinin eriştiği sabit donma sıcaklığıdır.

Çözücü su ise, **kriyohidrik** terimi kullanılır. Buna göre kriyohidrik nokta; Sulu bir çözeltide çözünmüş madde ve suyun maksimum düzeyde kristalizasyonunun gerçekleştiği en yüksek sıcaklıktır.



Şekil 5.4. Saf suyun ve basit bir çözeltinin donma grafikleri

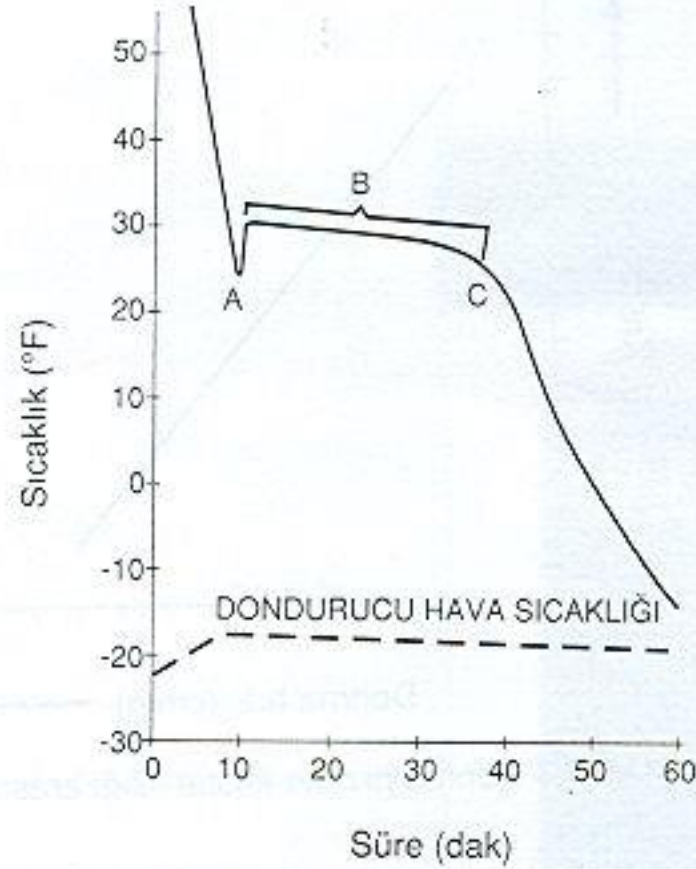
Örnek : Donma noktası -1.15°C olan %10'luk glukoz çözeltisinin 20°C 'den -30°C 'ye soğutulması için uzaklaştırılması gereken ısı miktarı nedir?

(Glukoz çözeltisinin donma noktası üzerinde özgül ısı: 3.85 kJ/kgK , donma noktası altında özgül ısı: 1.97 kJ/kgK)

Gıdaların donma grafikleri

- * Donma noktası; bir gıdanın soğutulması sonucu ilk buz kristallerinin oluştuğu sıcaklıktır. Doğru terim, donma başlangıç sıcaklığıdır.
- * Gıdalardaki su, içerisinde çok sayıda çözünmüş madde içeren bir çözelti niteliğindedir.
- * Bu nedenle gıdalarda donma, belli bir derecede başlar, içerdiği çözünmüş maddelere bağlı olarak bir çok kriyohidrik noktadan geçerek nihayet, en düşük kriyohidrik noktaya ulaşılır ve donma bu derecede sona erer.
- * Gıdalarda çok sayıda ve değişik miktarlarda çözünmüş madde bulunduğundan donma grafikleri, basit çözeltinin donma grafiğinde görüldüğü gibi belirgin kriyohidrik noktalar fark edilemez.
- * Çeşitli kriyohidrik noktalar birbirini adeta maskeleydiğinden gıdaların donma grafikleri, kavisli bir eğri olarak ortaya çıkar.

Oranları hızla düşmeye başlamaktadır.



Şekil 5.5 Durgun havada dondurulan çileklerin donma eğrisi (Fennema and Powrie, 1964'den alınmıştır.)

❖ Bir gıda maddesinin tamamen donabilmesi için kendine özgü son kriyohidrik noktaya kadar soğutulması zorunludur.

Son kriyohidrik nokta her gıda için farklıdır. Örneğin etlerde -50 ile -55°C arasında, yumurta akında -55°C civarındadır.

❖ Meyve suyundan konsantre üretiminde,

❖ Deniz suyunun içilebilir hale getirilmesinde,

❖ Kahve ekstraktının konsantre edilmesinde ,

❖ Aroma maddelerinin konsantre edilmesinde bu ilkeden yararlanılmaktadır.

❖ Gıda ötektik noktaya kadar soğutularak donan su ayrılmakta ve geriye konsantre çözelti kalmaktadır.

- * Ticari amaçlı dondurma işlemleri genellikle -20°C civarlarında yapılmaktadır. Buna göre dondurulan ürünlerde amaç, son kriyohidrik noktaya ulaşmak değil, gıdadaki suyun büyük bir kısmının donmasını sağlayacak bir sıcaklıkta donmanın gerçekleştirilmesidir.
- * Buna göre her donmuş ve depolanmış gıdada son derece konsantre olmuş, fakat donmamış, ancak donabilir nitelikte sıvı faz bulunmaktadır.

- * Ayrıca, gıdalarda bulunan suyun bir kısmı, özellikle iyonlara ve elektrik yüklü diğer parçacıklara bağlı bulunmaktadır. Bu suya bağlı su denir.
- * Bağlı su, herhangi bir sıcaklıkta dondurulamaz ve bu yüzden buna “donmayan su” denir.
- * Hayvansal dokulardaki suyun yaklaşık %8-10’u, meyve ve sebzelerdeki suyun yaklaşık %6’sı bağlı sudur.

Bitkisel dokuların donması

- ✓ Bitkisel dokularda hücreler arasında boşluklar yer alır.
- ✓ Her hücre, çözünmüş maddeyi içinde tutan, yarı geçirgen bir membran ile çevrilidir.
- ✓ Bir hücrede bulunan toplam suyun önemli bir kısmı sitoplazma ve vakuolde, az miktarlarda olmak üzere membranda, hücre duvarında ve hücreler arasındaki boşluklarda bulunur.
- ✓ Bitkisel bir doku dondurulduğunda, hücrenin her tarafında buz kristalleri oluşma şansı vardır.
- ✓ Fakat kristallerin oluşma önceliğini, donma hızına bağlı olarak bazı faktörler etkilemektedir.

Bitkisel dokuların donması

- ✓ Bitkisel bir doku dondurulurken, kristalizasyon ilk önce hücreler arası boşlukta gerçekleşir.
- ✓ Hücre duvarı ve hücre membranı hücre içinde buz oluşumuna karşı bir tür engelleme yapar.
- ✓ Buz oluşumu en geç hücre içinde gerçekleşir.

İlke olarak;

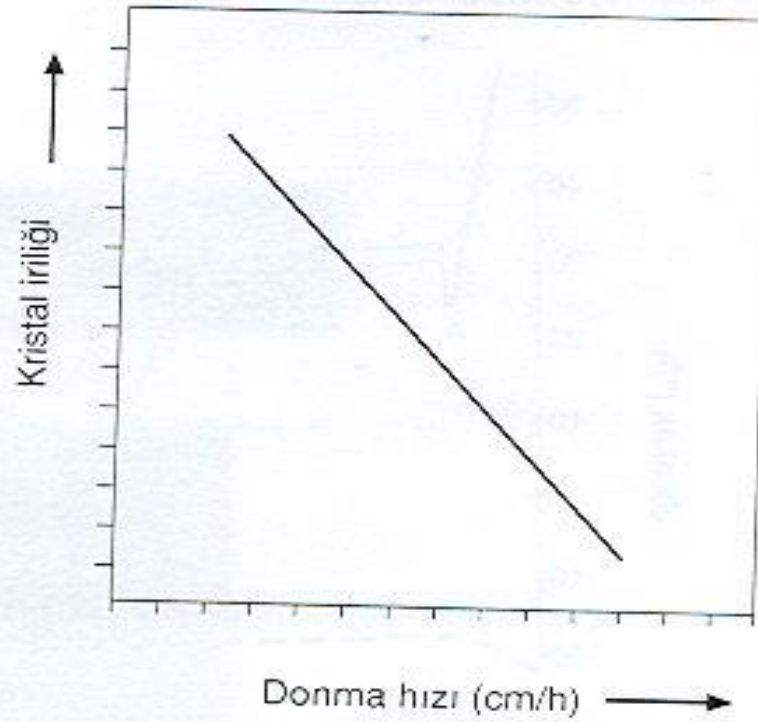
* Yavaş dondurmada;

- Hücre dışındaki donmamış sıvı konsantrasyonu yavaş yavaş artar ve hücre içi suyun hücre dışına transferi de aynı tempoda gerçekleşir.
- Buz kristalleri öncelikle hücreler arası boşluklarda oluşur. Hücre içi sıvı ise aşırı soğur.

* Hızlı dondurmada;

- Buz kristalleri yine öncelikli olarak hücre dışında oluşur ve hücre dışı sıvı konsantrasyonu hızla yükselir
- Ancak hücre içindeki su, hücre dışına aynı hızda transfer olamaz ve bulunduğu yerde aşırı soğumaya uğrar.
- Aşırı soğuma kritik bir değere ulaştınca, hücre içinde çekirdeklenme başlar.
- Hızlı dondurma ile hem hücre dışında, hem hücre içinde donma gerçekleştirilmiş olur.

- * Bitkisel doku hücre duvarlarının yüksek geçirgenliğe sahip olması hücre kurummasına neden olmaktadır.
- * Hızlı dondurulmuş gıdada, fazla sayıda küçük buz kristalleri oluşmaktadır. Gözle algılanan, daha açık renktir.



Şekil 5.3 Donma hızı ile kristal iriliği arasındaki ilişki

Hayvansal dokuların donması

- Bitkisel hücreler ile hayvansal hücreler arasındaki farklılıklardan biri; bitkisel hücrelerin “hücre duvarı-hücre zarı” kompleksi içermesidir.
- Hayvansal hücrelerde sadece hücre zarı vardır ve bitkisel hücre duvarının neden olduğu engelleme çok düşük düzeydedir.
- Bu nedenle, hayvansal dokuların donmasında hücre içi buz kristallerinin oluşumu daha kolaydır.

Biopolimerlerin donması

- ✓ Gıdalarda bulunan nişasta, protein, pektin, bitkisel zamlar maddeleri gibi hidrokolloidler **biopolimer** olarak tanımlanmaktadır.
- ✓ Biopolimer çözeltileri donduğunda, suyun buz kristallerine dönüşmesi sonucu, biopolimer konsantrasyonu yükselir.
- ✓ Moleküller arası çapraz bağların oluşma olasılığı artar.
- ✓ Moleküllerin çözünürlüğü azalır.

Çözeltilerin ve gıdaların donma noktası

- ❖ Su 0°C'de donar.
- ❖ Glukoz, fruktoz ve sakkaroz gibi bir katı madde suda çözününce, oluşan çözeltinin donma noktası düşer.
- ❖ *Gerçek çözelti: Bir katı madde, bir çözücüde tamamen çözünerek tamamen moleküllerine ayrılarak homojen bir dağılım gösteriyorsa, bu gerçek bir çözeltidir. Glukoz, sitrik asit, tuz çözeltileri gibi
- ❖ Gıdalardaki su, içerisinde çeşitli bileşiklerin çözünmüş olduğu bir çözelti niteliğinde olduğuna göre, donma noktaları 0°C'nin altındadır.
- ❖ Suyun donma noktası ile bir çözeltinin donma noktası arasındaki farka, “**donma noktası depresyonu**” denir.

Donma noktası depresyonu (ΔT_f); çözünmüş maddenin konsantrasyonu ve molekül ağırlığı ile ilişkilidir.

$$\Delta T_f = i k_f M$$

ΔT_f : Donma noktası depresyonu, °C

k_f : Kriyoskopik sabite, °C/M (genellikle 1.86 kabul edilir)

M: Molalite, mol/kg

i : Bir çözeltideki çözünmüş bileşiğin çözeltide oluşturduğu toplam mol sayısının, o bileşiğin çözelti oluşturmadan önceki mol sayısına oranı (genellikle 1 kabul edilir).

* Kriyoskopik sabite, çözücünün niteliklerine bağlıdır ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir:

$$k_f = \frac{R (T_f)^2}{H_L 1000}$$

Burada; R : Gaz sabiti, 8.314 kJ/kg-mol K

T_f: Çözücünün donma noktası, K (su için 273.16 K)

H_L: Çözücünün donma gizli ısı, kJ/kg (su için 335 kJ/kg)

$$\text{Molalite : } M = \frac{m_{\text{ç}} 1000}{m_{\text{çz}} M_w}$$

Burada; M : Molalite, mol/ kg

m_ç : Çözünmüş maddenin kütle fraksiyonu

m_{çz} : Çözücünün kütle fraksiyonu

M_w : Çözünmüş maddenin mol kütlesi, kg/mol

Soru: %20'lik glukoz çözeltisinin mi yoksa %20'lik sakkaroz çözeltisinin mi donma noktası düşüktür? Neden?

Örnek : %20'lik glukoz çözeltisinin donma noktasını hesaplayınız.

Örnek : %20'lik sakkaroz çözeltisinin donma noktasını Hesaplayınız.

Gıdaların donma noktasının hesaplanması

- ❖ Bir gıdanın donma noktası denildiğinde, donma başlangıç noktası, yani ilk buz kristallerinin oluştuğu sıcaklık anlaşılır.
- ❖ Çözeltilerde ve gıdalarda donma olayı, donma noktasında başlar, gittikçe düşen sıcaklıklarda devam eder ve nihayet ötektik nokta denen çok özel bir sıcaklıkta sona erer.
- ❖ Tüm gıdaların donma sıcaklıkları, -0.5 ile -3°C arasında değişir. Fakat işlenmiş gıdalarda rakam vermek zordur.
- ❖ Gıdaların donma noktaları, deneysel yolla veya geliştirilmiş bazı eşitliklerle belirlenebilmektedir.

Bazı gıda gruplarının su içerikleri ve donma noktaları

Gıda grupları	Su İçeriği (%)	Donma noktası (°C)
Sebze	78 – 92	- 0.8 – - 2.8
Meyve	87 – 95	- 0.9 – - 2.7
Et	65 – 70	- 1.7 – - 2.2
Balık	65 – 81	- 0.6 – - 2.0
Süt	87	- 0.5
Yumurta	74	- 0.5

* **Meyve ve sebzelerin donma noktaları, T_f**

$$T_f = 287.56 - 49.19 m_s + 37.07 (m_s)^2$$

Burada T_f : Meyve veya sebzenin donma noktası, K
 m_s : Meyve ve sebzedeki suyun kütle fraksiyonu

* **Meyve ve sebze sularının donma noktaları, T_f**

$$T_f = 120.47 + 327.35 m_s - 176.49 (m_s)^2$$

Burada T_f : Meyve veya sebze suyunun donma noktası, K
 m_s : Meyve ve sebze suyunda, suyun kütle fraksiyonu

* **Etin donma noktası, T_f**

$$T_f = 271.18 + 1.47 m_s$$

Burada T_f : Etin donma noktası, K

m_s : Etteki suyun kütle fraksiyonu

Örnek : %15 çözünmüş kuru madde içeren elma suyunun donma sıcaklığını hesaplayınız.

Örnek : %10 yağ, %12 yağsız çözünmüş katı madde, %15 sakkaroz ve %0.22 stabilizör içeren bir dondurma miksinin donma noktasını hesaplayınız. Yağsız kuru maddenin %54.5'ini laktoz oluşturmaktadır.