

Soğutma Teknolojisi

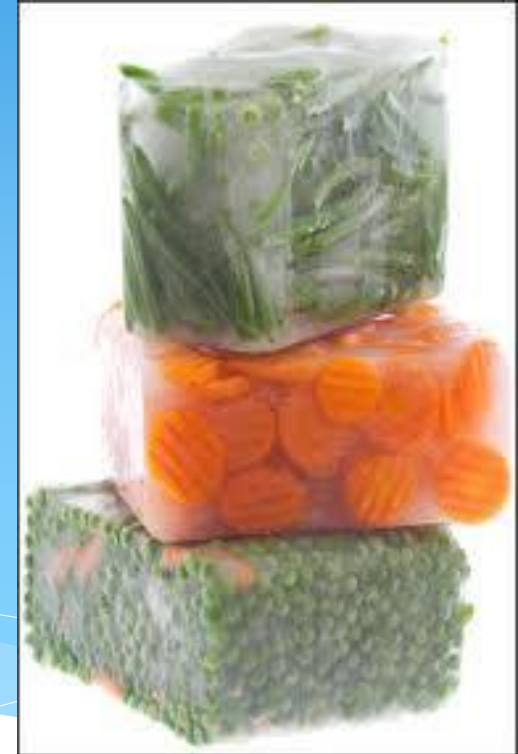
Bahar Y.Y.

Prof. Dr. Ayla Soyer

Gıdaların Dondurularak Muhafazası

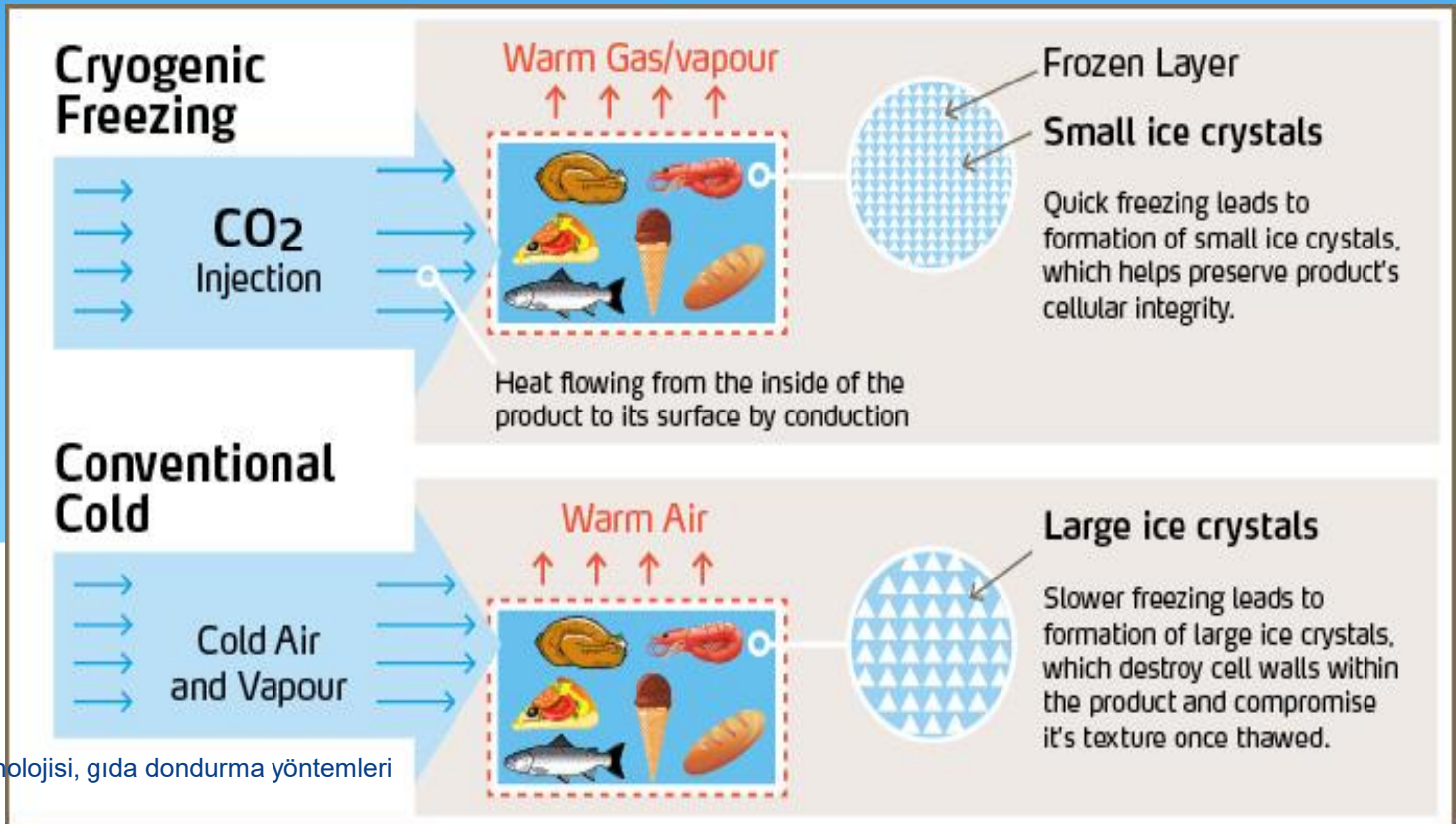
İçerik

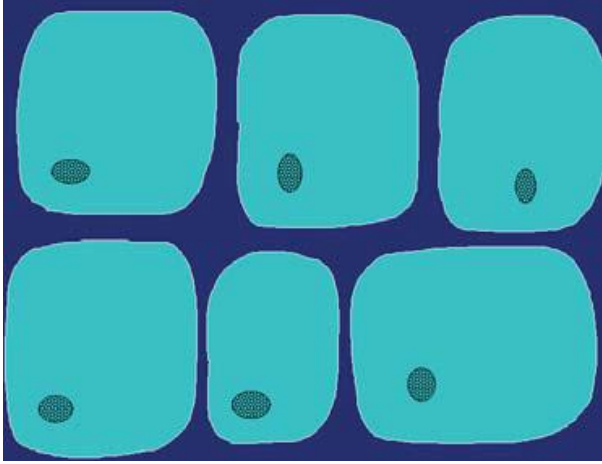
❖ Dondurma yöntemleri



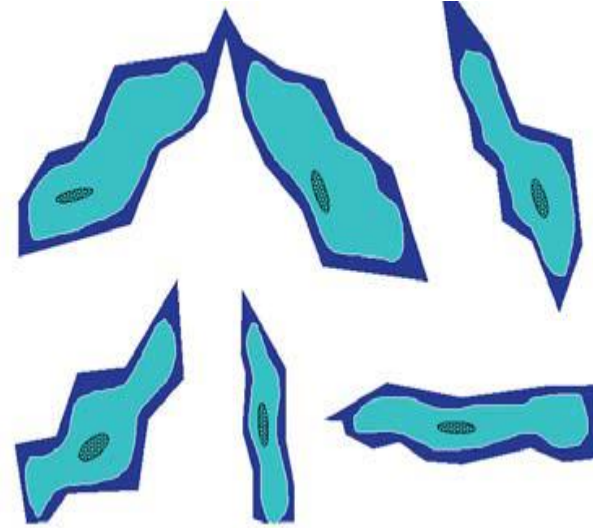
4. Gıdaların Dondurularak Muhafazası

❖ Dondurma yöntemleri





Donma öncesi hücrelerin görünüşü



Donma sonrası hücrelerin görünüşü

DONDURMA YÖNTEMLERİ

- * Soğuk hava ile dondurma
- * İndirekt kontakt dondurma
- * Daldırarak dondurma
- * Kriyojenik sıvılarla dondurma



Soğuk hava ile dondurma-Dondurma teknolojisinde en yaygın kullanılan dondurma yöntemidir.

1. Durgun havada dondurma

- * Bu tip dondurucular basit ve ucuzdur.
- * Hava hareketini sağlayan bir düzen yoktur.
- * Donma süresi uzundur (birkaç saatten birkaç haftaya).

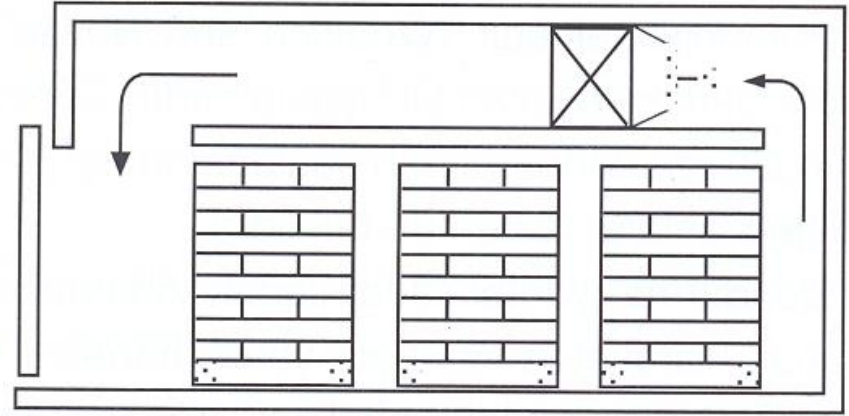
2. Hava akımında dondurma

- * Soğuk hava, dondurulan gıda maddesi ile evaporatör arasında hızla dolaştırılır.
- * Hava fanlar yardımıyla hareketlendirilir.
- * Hızlı dondurma sağlar.
- * Soğuk hava, 5-10 m/s hızla dondurulacak ürünler üzerinden geçirilir.
- * Hava sıcaklığı -30 -(-45°C) arasında değişir.

Hava akımında dondurma yönteminde değişik tipte donduruculardan yararlanılır:

- ❖ Tünel dondurucular
- ❖ Akışkan yatak dondurucular
- ❖ Spiral bantlı dondurucular

- * Dondurulacak ürün tünele, raylar üzerinde hareket eden arabalarla sokulur.
- * Arabalar, dondurulacak ürünlerin konduğu ızgara şeklinde raflar (kerevet) içerir.
- * İleri doğru itişle arabalar tünelde ilerlerken, gıda soğuk hava akımı etkisiyle donar.
- * Donma süresi ürüne göre birkaç saatten , birkaç güne (karkas gibi) değişir.



Yatay hava akışlı kesik çalışan kerevetli bir tünel dondurucu

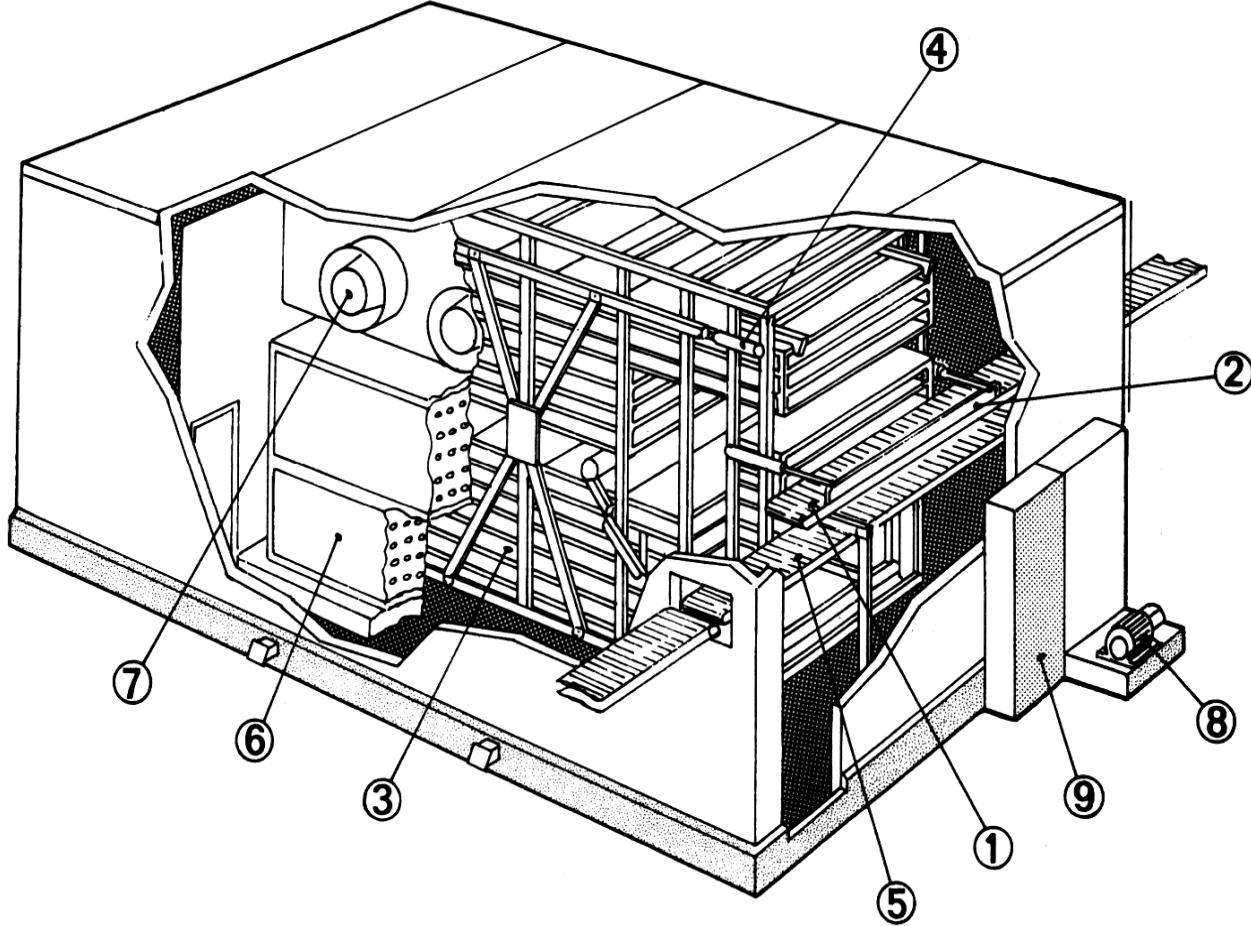
- * Ambalajlı ürünlerin (kanatlı eti, kırmızı et, dondurma, hazır yemek vs.) dondurulmasında kullanılırlar.

Dondurulan ürün ile soğuk havanın tünel içindeki hareketleri:

- * Paralel veya zıt olabilir.
- * Zıt akımlı tünellerde; dondurulacak ürün tünelin bir tarafından, soğuk hava ise diğer tarafından verilir.
- * Sıcaklığı en düşük hava, tünel çıkışında donmuş ve sıcaklığı çok düşmüş ürün ile karşılaşır ve tünelin girişine doğru yoluna devam eder.
- * Bu sistemde donma aşamalı olarak gerçekleşir ve donma süresince herhangi bir noktada ürünün sıcaklığının yükselmesi söz konusu değildir.

- * Ancak soğuk hava, tünelin karşı ucuna ulaşana kadar ısınır ve sıcaklığı yükselir. Kısmen ısınan hava evaporatöre döner ve tekrar soğur. Bu durum evaporatör sıcaklığı ile havanın sıcaklığı arasındaki farkı büyütür ve evaporatörlerde karlanma oluşur.
- * Uzun tünellerde sıkça karşılaşılan bu sorunu gidermek için, tünellerde hava hareketi ürün hareketine çapraz verilir. Yani hava tünelin yanlarından verilir. Hava kısa mesafe katederek ürünle temas eder ve fazla ısınmaz.

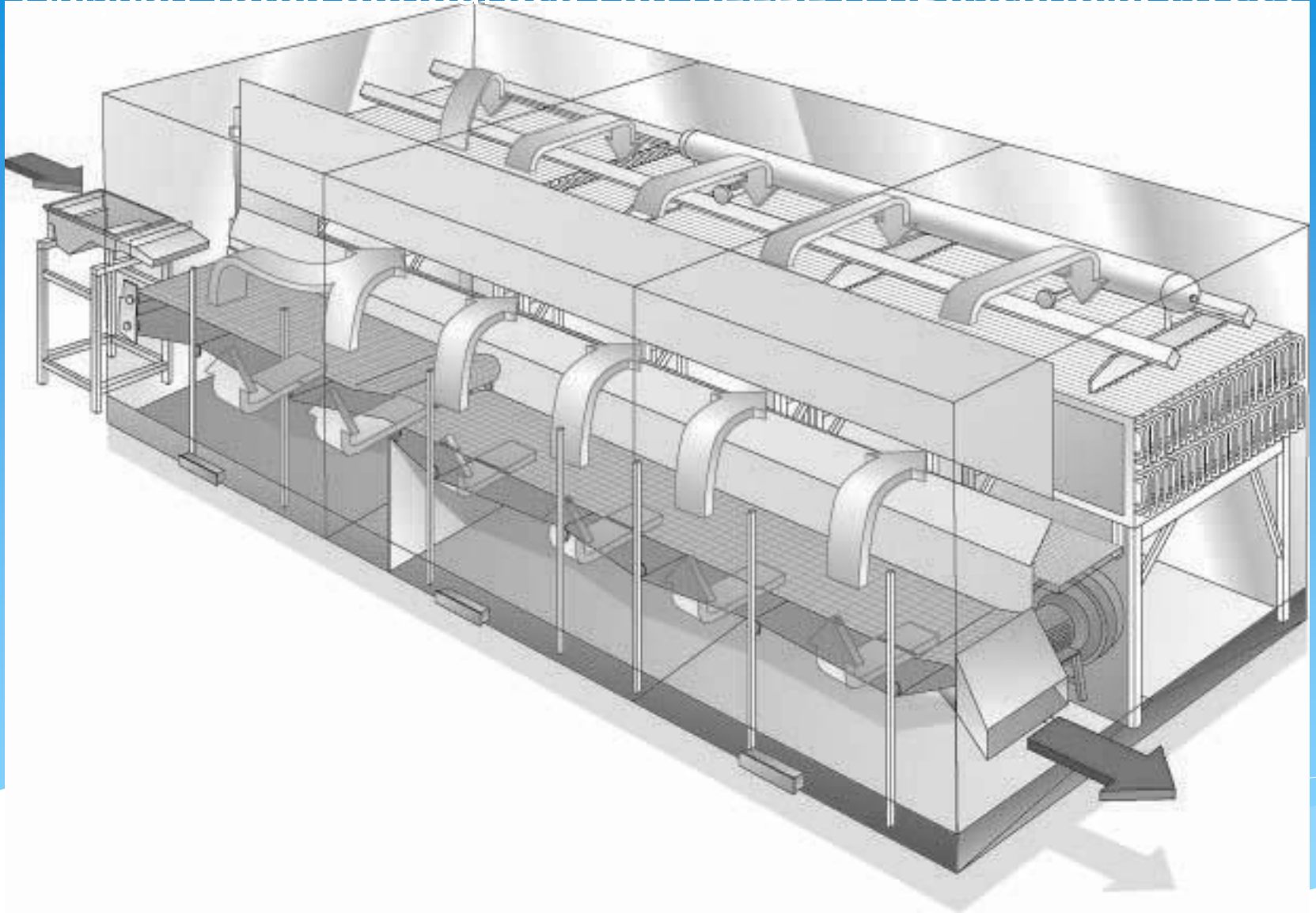
Mekanize tünel dondurucu



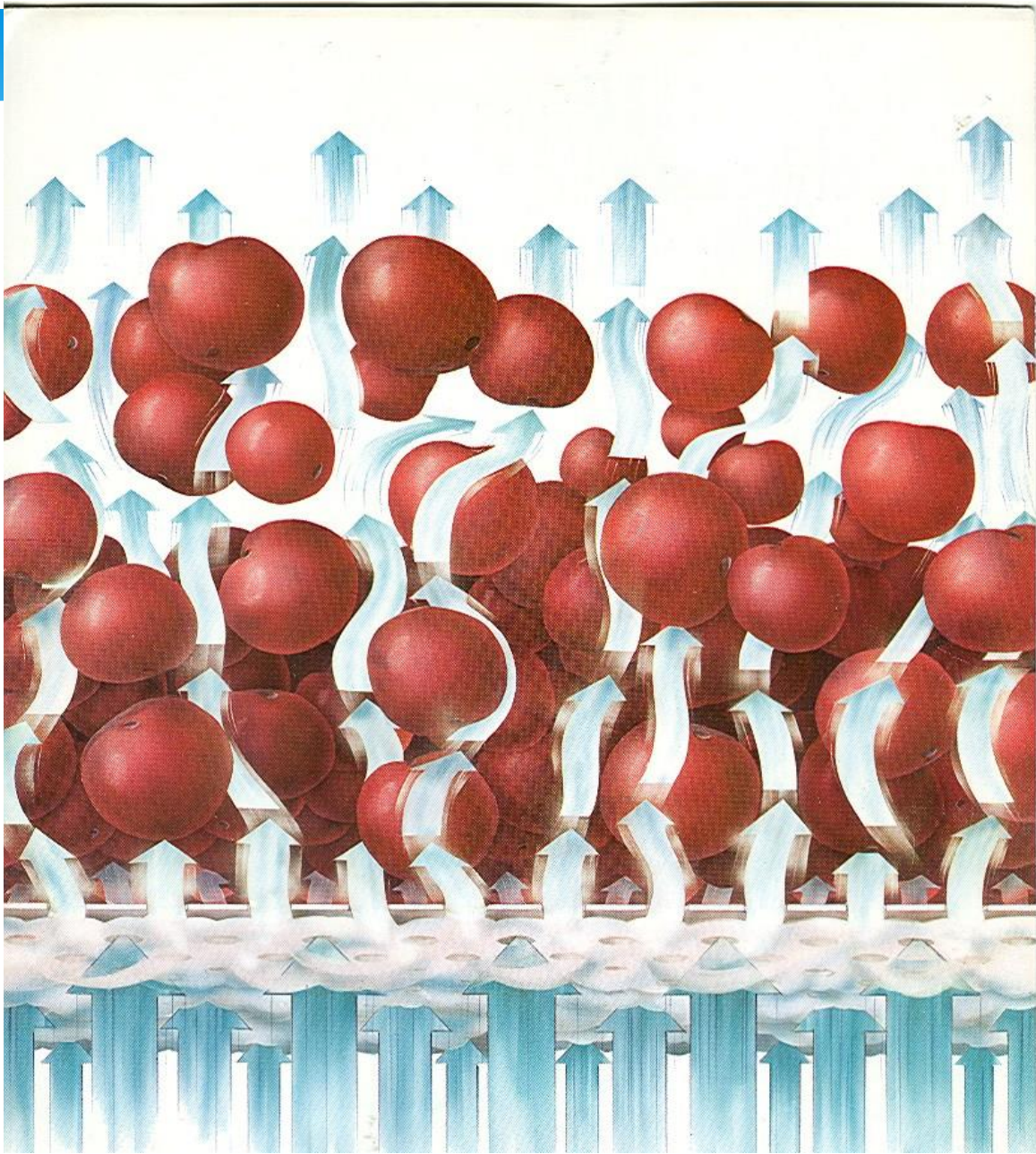
1.rn yükleme konveyörü, 2. İtme düzeneği, 3. rn taşıyıcı, 4. Ana itici, 5. Donmuş rn çıkış konveyörü, 6. Evaporatör, 7. Aksial fan, 8. Hidrolik gc nitesi, 9. Kontrol paneli

- * Bazı tünellerde soğuk hava, bant boyunca hem alttan hem üstten verilir. Bu uygulamada havanın tüneldeki dağılımı kusursuzdur.
- * Genel uygulama, hava bandın altından yukarı doğru üflenir.
- * Bu üfleme ile bant üzerindeki ürün, hava hızı ve parçacık iriliğine bağlı olarak hafif bir titreşim kazandığından donma hızı yükselir.
- * Sınırlı hava hızı dondurulan parçacıkların birbirine yapışmaksızın donmasını sağlamaya yetmez.
- * Bu amaçla, parçacık haldeki gıdaların bireysel olarak donmalarını sağlayan bir dondurma sistemi geliştirilmiştir.
- * Akışkan yatak dondurucular (IQF) adı verilen bu sistemlerde bandın altından çok yüksek hızda verilen hava, bant üzerindeki parçacıkları adeta havada yüzer halde tutarak donmalarını sağlar.
- * Hava içinde yükselen ve geri düşen, adeta kaynamaya benzer bir hareket yapan parçacıkların her biri tüm yüzeylerinden soğuk hava ile temas eder ve süratle donar.

Akiskan yatak dondurucu FloFREEZE (Frigoscandia, İsvec)



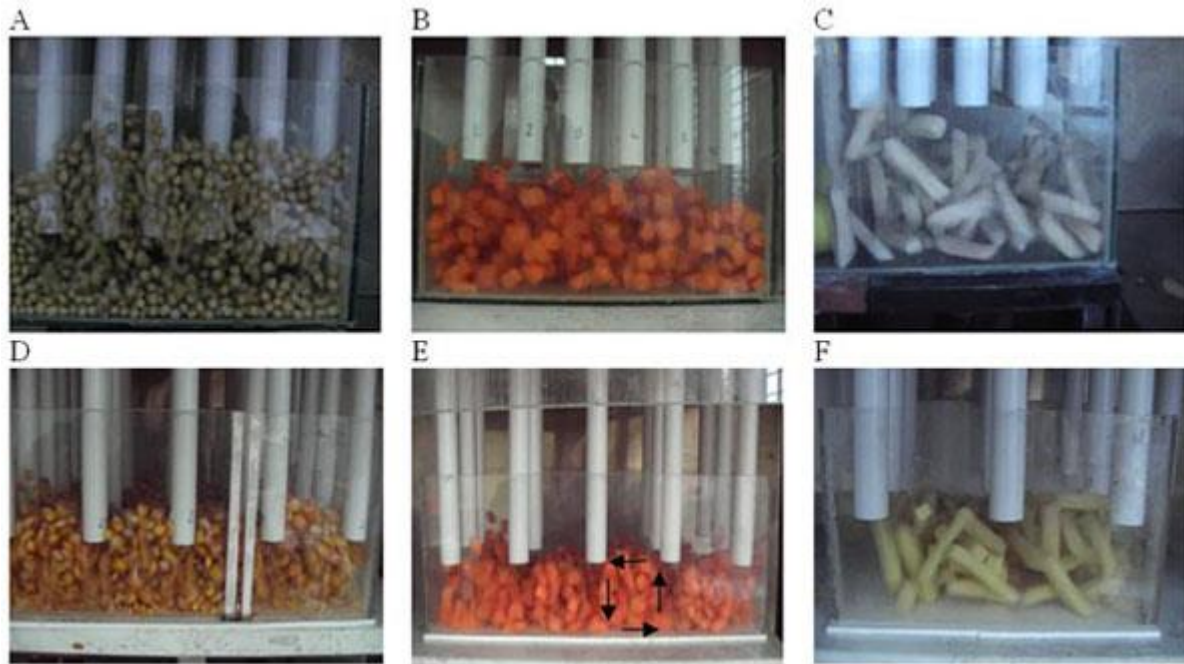
<https://www.youtube.com/watch?v=aXq8543iQok>



Akışkan yatak dondurma yöntemi;

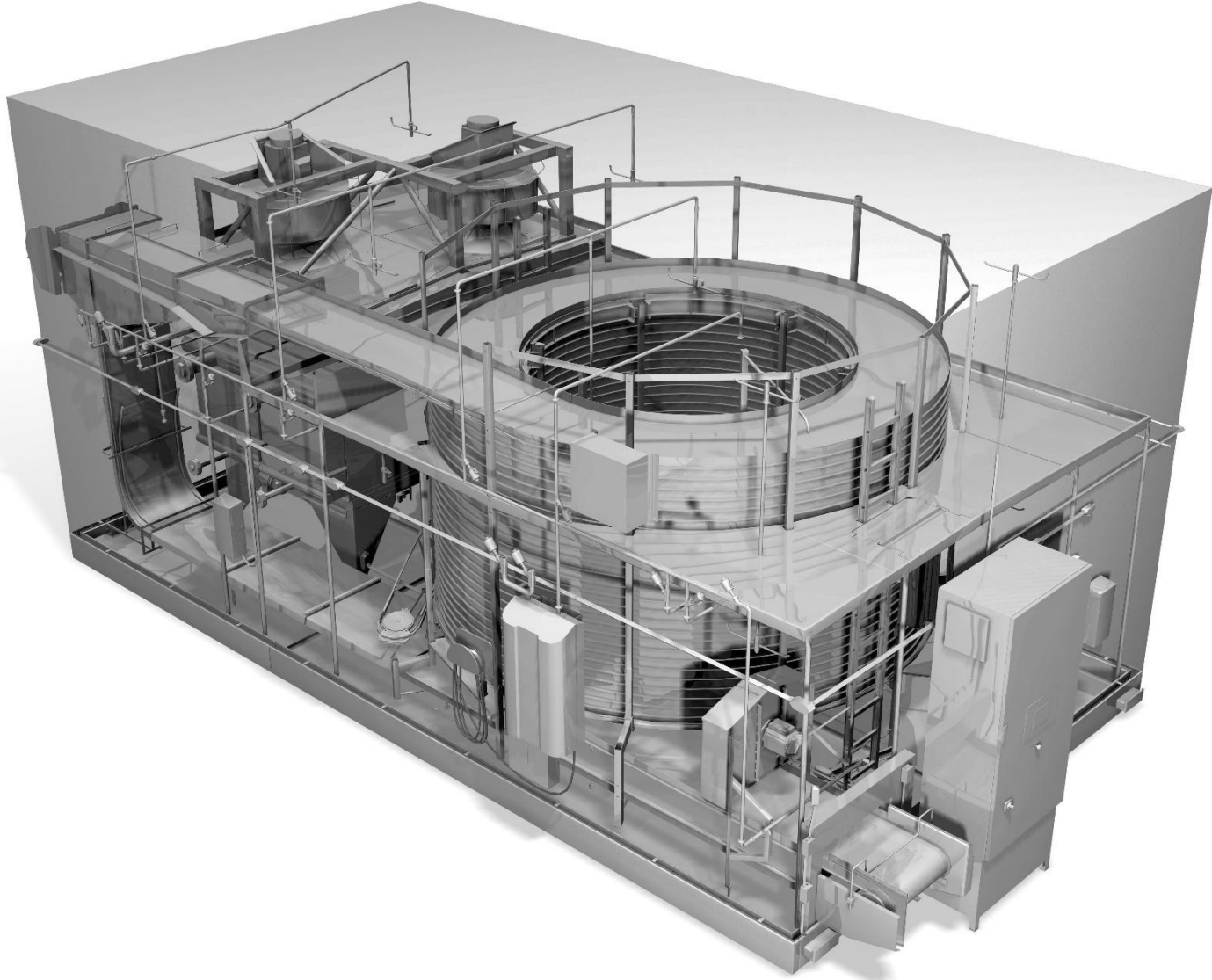
- * Çilekgiller, kiraz, vişne, danelenmiş çekirdeksiz üzüm gibi meyvelere, dilimlenmiş şeftali, armut, elma, yarıya bölünmüş kayısı, bamya, bezelye, doğranmış fasulye, küp havuç, patates, halka soğan, havuç, kuşbaşı etler, kum midyesi, parça karides eti gibi ürünlerin dondurulmasında başarı ile kullanılmaktadır.
- * Bu tip dondurucular, dondurulacak parçacık iriliğine göre 5-10 cm kalınlıkta tabaka oluşturacak şekilde beslenir.
- * Donma süresi, parçacık iriliğine bağlı olarak 3-15 dakika arasında değişir. Örn: bezelyeler 3-6 dakikada, küp doğranmış havuçlar 5-6 dakikada, çilekler 9-13 dakikada donar.
- * Akışkan yatak dondurucularda hava hızı 5-10 cm/h gibi oldukça yüksektir. Diğer soğuk hava akımında dondurma sistemlerinde donma hızı 1-3 cm/h'tir.

Akışkan yatak dondurma



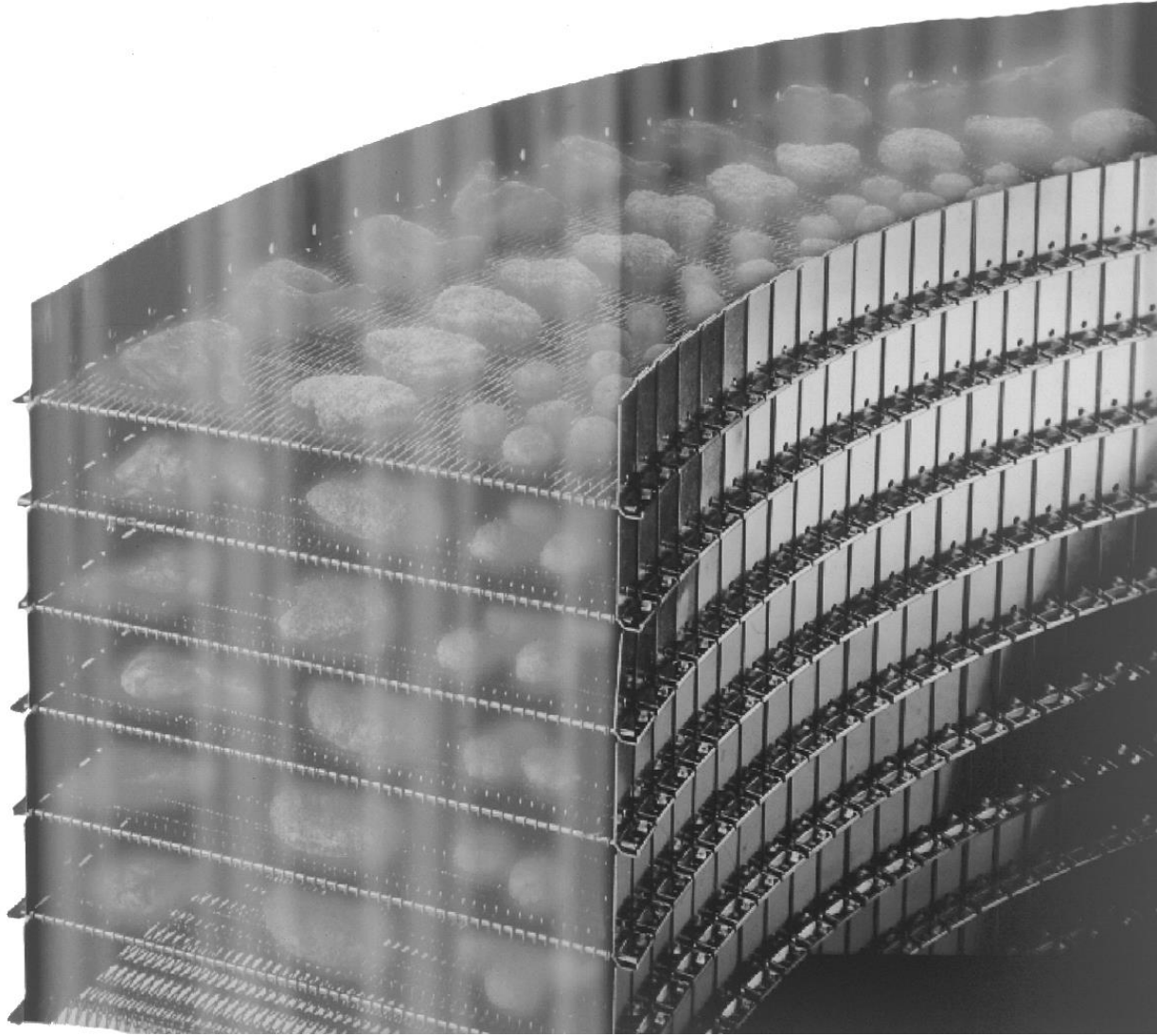
Spiral bantlı dondurucular

- * Yalıtılmış bir kabin içerisinde yer alan, uzunluğu 100-300 m arasında değişen bir bant, dondurulacak ürünü spiral bir yol izleyerek aşağıdan yukarı doğru taşıırken, soğuk hava banda dik olarak üstten verilmektedir.
- * Hava ile ürün, zıt akım ilkesine göre karşılaşmaktadır.
- * Böylece hava akımında kontrollü bir türbülans sağlanarak, ürün ile hava arasındaki ısı transferi etkin hale gelmektedir.
- * Bandın spiral şekilde oluşu, az yer işgal eden bir sistemde daha fazla ürünün dondurulmasını sağlar.
- * Ambalajlı, şekilsiz ürünlerin dondurulmasında kullanılırlar.
- * Bu dondurucularda dondurulan ambalajlanmamış ürünlerde ağırlık kaybı %0.6'ya kadar düşürülebilmektedir.



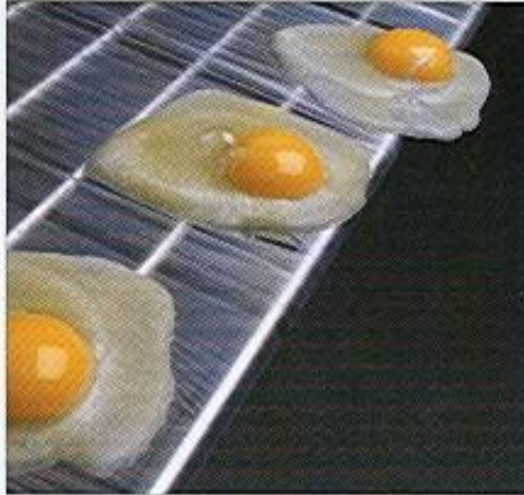
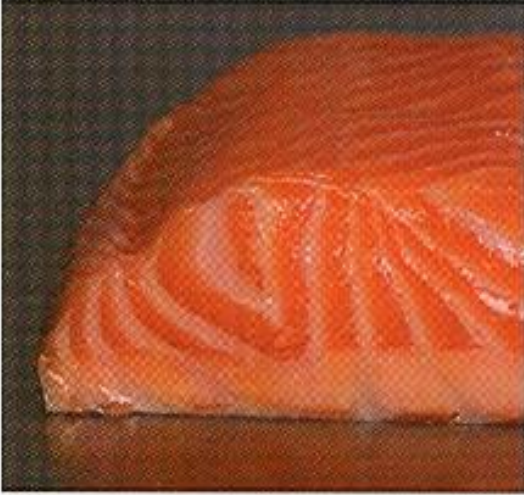
Spiral bantlı dondurucu, GYRoCOMPACT (Frigoscandia, İsveç)





Spiral bantlı dondurucu, içten görünüş (Frigoscandia, İsveç)





Hava akımlı dondurucularda dondurulan gıda örnekleri



Hava akımlı dondurucularda dondurulan gıda örnekleri



Hava akımlı dondurucularda dondurulan gıda örnekleri



Hava akımında dondurmanın olumlu yönleri;

- Biçimsiz ürünlerin dondurulmasına uygun olması,
- Ekonomik olması,

Olumsuz yönleri;

- Ambalajsız ürünlerde nem kaybı (üründe ağırlık kaybı-don yanığı, renk bozukluğu)
- Evaporatör spirallerinin aşırı karlanması

Üründen su kaybını önlemek için yapılan uygulamalar;

- Ön soğutma, glazeleme

İndirekt kontakt dondurma

- * İçten soğutulan iki plaka arasına yerleştirilmiş ambalajlı ürünlerin plaka ile teması sonucu dondurulmasıdır. Bu nedenle plakalı dondurma yöntemi de denmektedir.
- * Dondurulan ürün ile soğumayı gerçekleştiren refrijerant arasında plaka bulunduğundan bu yöntemle dolaylı temas yöntemiyle dondurma denir.
- * Gıdaların bu yöntemle dondurulmasında tek koşul, dondurulacak ürünün düzgün bir şekle (dikdörtgenler prizması gibi) sahip olmasıdır.
- * Ambalajlı, fakat şekilsiz ürünlerin dondurulmasına uygun bir yöntem değildir.
- * Yüzey film ısı transfer katsayısı 100-200 W/m²K düzeyine kadar çıkmaktadır.

Plakalı dondurucular

- * Yatay
- * Dikey olmak üzere başlıca iki tiptir.

- * Yatay plakalı dondurucular

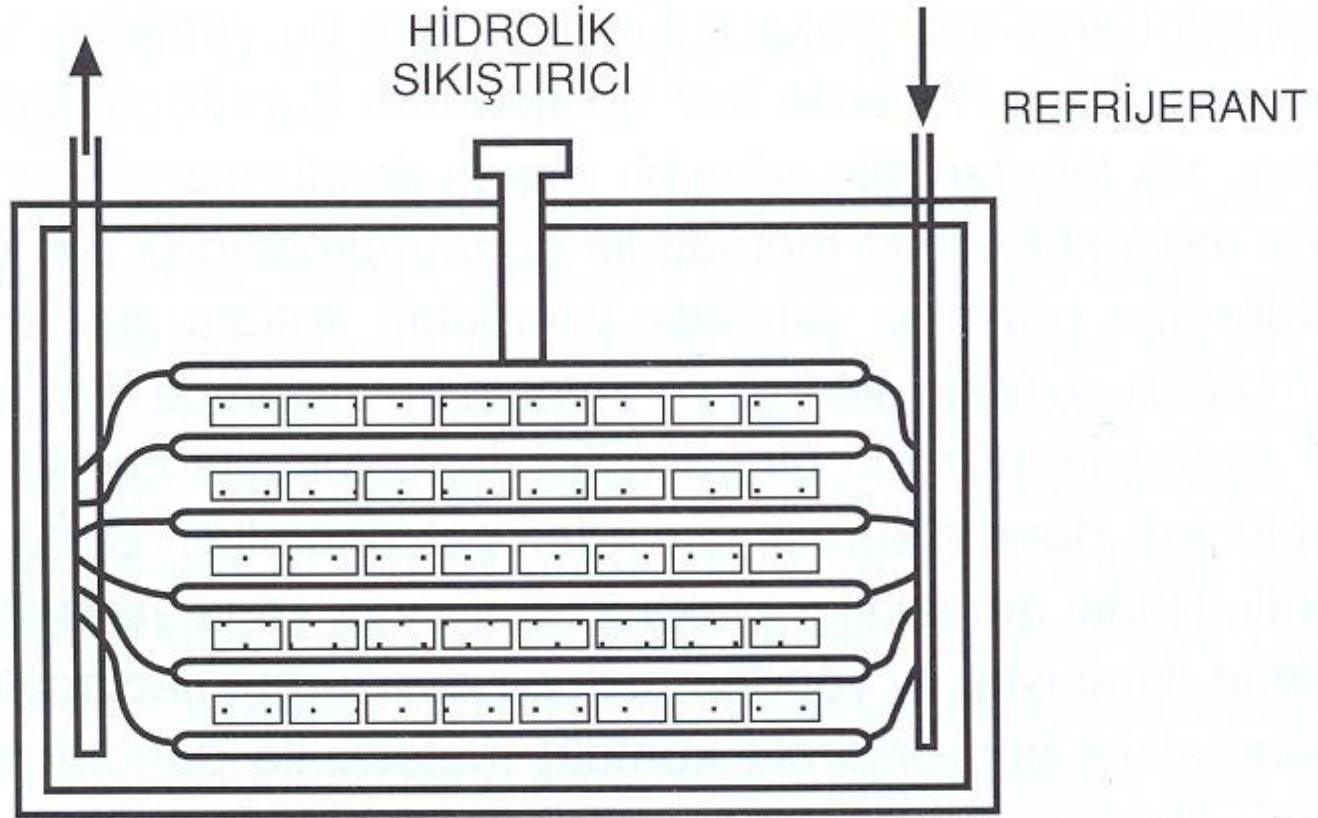
Donma, içinde refrijerantın dolaştığı 2 plaka arasında gerçekleşir. Plakalar 0.1 kg/cm^2 gibi hafif bir basınç ile sıkıştırılır ve bu şekilde yüzey ısı transfer katsayısı artırılır. Donma süresi, dondurulan materyalin kalınlığına bağlıdır. Paketlerin kalınlığı en çok 50-70 mm olmalıdır. 5 cm lik bir paket yaklaşık 90-120 dakikada donar.



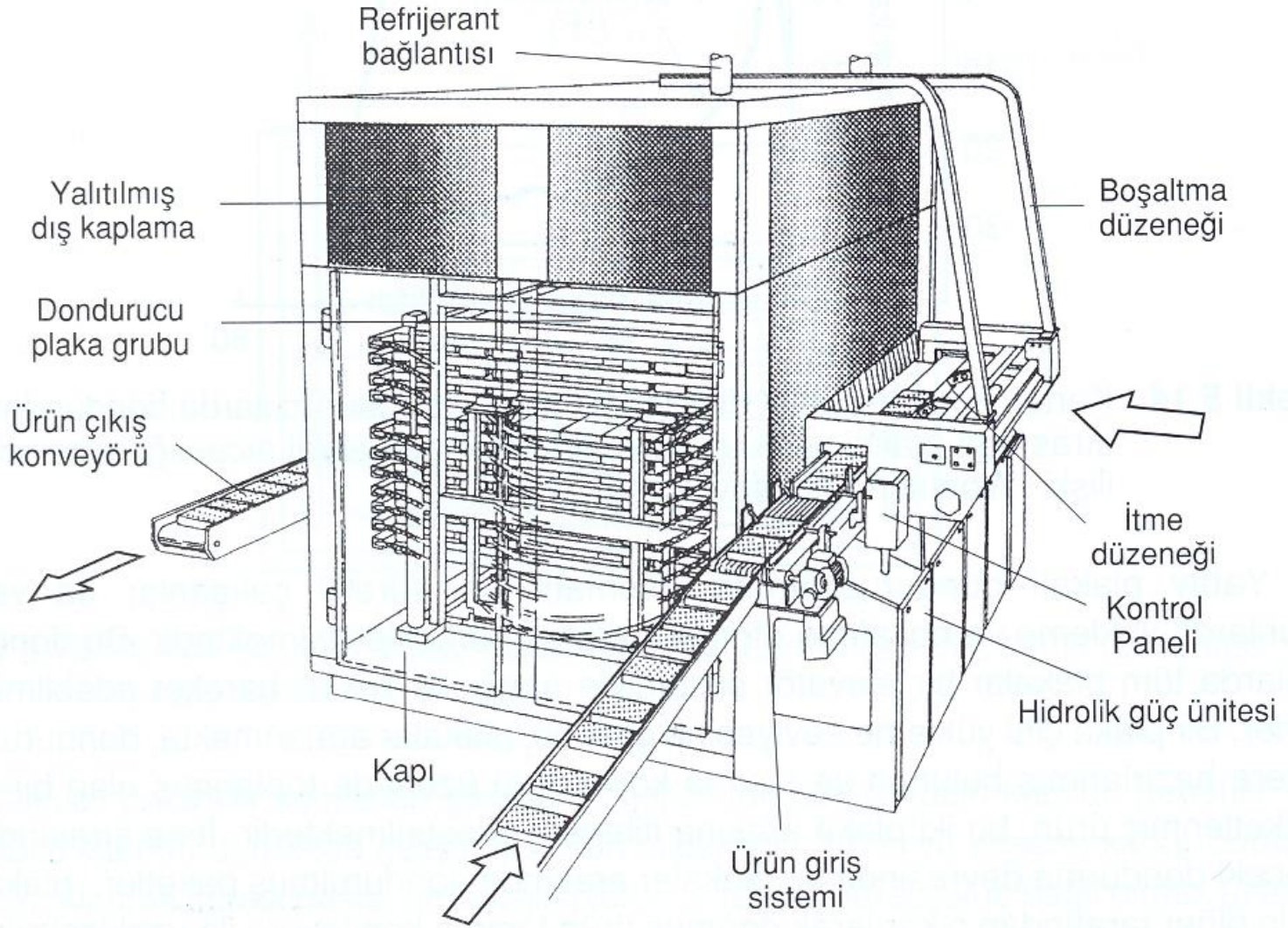
**Plate freezer with a two-stage compressor and sea water condenser
(Courtesy of DSI Samifi Freezers S.r.l.)**

Dikey plakalı dondurucular

- * Denizde avlanan balıkların derhal dondurulması amacıyla geliştirilmiştir. Gemide az yer işgal etmesi nedeniyle dikey olarak düzenlenmiştir.
- * Dikey konumda yan yana gelmiş plaka serisinden oluşur.
- * Plakaların arası 10-15 kg balık alabilecek bir hücre gibidir.
- * Plakaların oluşturduğu hücrelerin alt ve yan tarafları kapalı, üstü açıktır.
- * Donma sonunda plakalara kısa süreli bir sıcak gaz defrostu uygulanarak donmuş blokların ayrılması kolaylaştırılır. Hücrelerin altı açılır ve üstten hafif bir baskı uygulanarak donmuş ürün sistemden alınır.

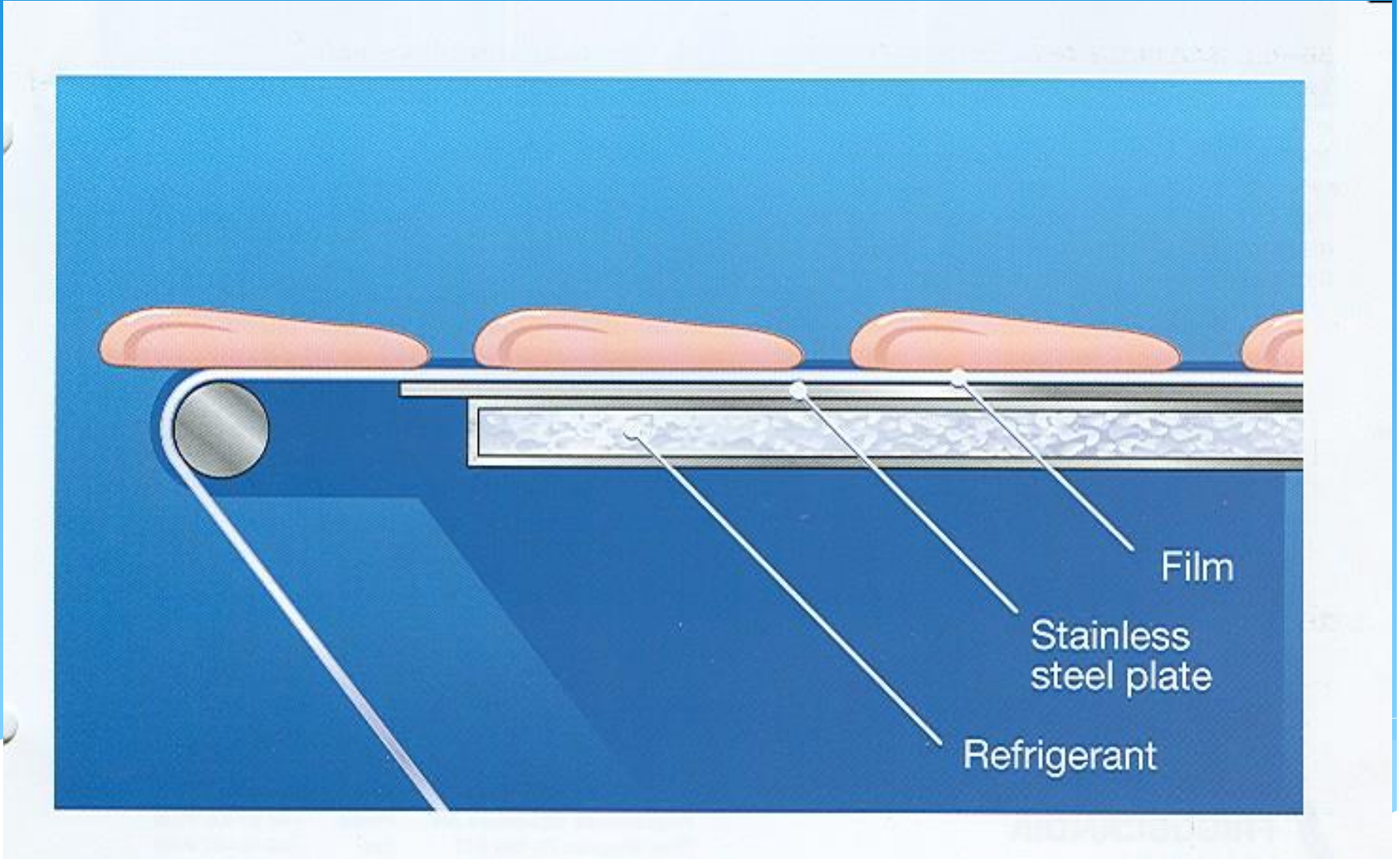


Kesikli çalışan, yatay plakalı dondurucunun çalışma ilkesi



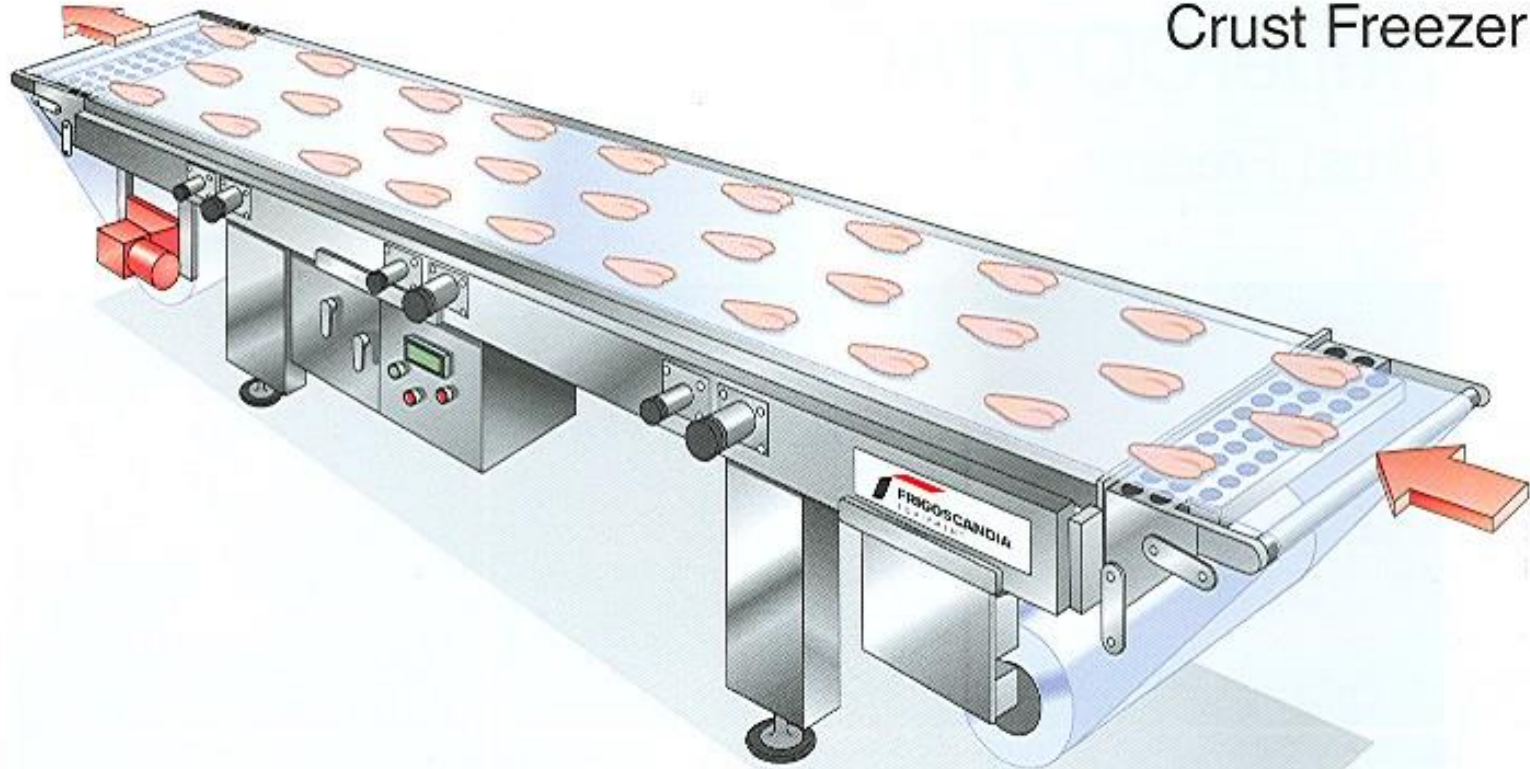
Sürekli çalışan plakalı dondurucular

Tek taraflı indirekt kontakt dondurma



SuperCONTACT®

Crust Freezer





The NAUTICA™ freezer, impingement freezing onboard.

İndirekt kontakt dondurma yöntemi sadece düzgün yüzeyli, ambalajlanmış ürünlere uygulanmaz:

- * Sıvı ve püre haldeki gıdaların süratle dondurulmasında da yaygın olarak kullanılır.
- * Bu amaçla kullanılan cihazların konstrüksiyonu farklıdır.
- * Soğutma yüzeyi, silindir şeklinde olup, dıştan yalıtılmıştır.
- * Tubular kazıyıcılı soğutucu sistemler olarak adlandırılırlar.
- * Bu cihazın eksenine konumundaki mil ile soğutma silindirinin iç yüzeyi arasında çok dar bir boşluk bulunur.
- * Mil üzerinde, silindir iç yüzeyini adeta sıyıran kazıyıcılar bulunur.

Tubular kazıyıcılı soğutucular

- * Soğutucuya verilen sıvı veya yarı sıvı gıda, silindir iç yüzeyi ile mil arasındaki boşlukta çok ince bir film oluşturur.
- * Bu sırada donma gerçekleşirken, milin dönüşüyle mil üzerindeki kazıyıcılar, silindir yüzeyini kazıyarak temizler.
- * Bu şekilde hem donma yüzeyi, ısı transferini engelleyen buz tabakasından temizlenir, aynı zamanda da dondurulan ürün hızla karışarak donma çabuklaştırılır.
- * Donma birkaç saniyede gerçekleşir. Dondurucuya sıvı veya püre halinde verilen ürün burayı terk ederken, sıvı-kar karışımı halindedir. Ürün bu şekilde ambalajlanır ve ikinci aşama olarak soğuk hava dondurucularında istenen dereceye kadar dondurularak depolanır.
- * Endüstride dondurma üretimi bu yöntemle yapılmaktadır.

Sürekli indirekt kontakt bant dondurucular

- * Dondurulacak sıvı gıda, biri altta, diğeri, üstte yer alan paslanmaz çelik malzemedeki üretilmiş sonsuz iki bant arasına sandviç gibi alınarak dondurulur.
- * Alttaki bant oluklu olup, sıvı gıda buraya yayılır. Üstteki bant düzdür.
- * Bantların birlikte hareketi ile aralarındaki sıvı gıda hem ileri doğru taşınır hem de bu sırada bantların soğuk yüzeyi etkisi ile donarlar.
- * Bantlar birbirinden ayrılırken, sıvı gıda donmuş ve adeta bir keçe yapısı kazanmıştır.
- * Bu halde iken bir şekil verme işleminden geçirilerek sistemi terk ederler.
- * Bu şekilde sıvı gıda sanki IQF dondurma yapılmış parçacıklara dönüşür.
- * Meyve ve sebze pulpları (ıspanak püresi), çorbalar, yumurta sarısı, çeşitli soslar gibi sıvı, yarı-sıvı ürünlerin dondurulmasında kullanılır.

Daldırılarak dondurma

Dondurulacak ürünün, ambalajlanmış veya ambalajlanmamış olarak, düşük derecelere kadar soğutulmuş uygun bir sıvıya (frizant) daldırılması veya bu sıvının ürün üzerine püskürtülmesiyle yapılan dondurmadır.

Frizant

- toksik olmamalı
 - yabancı renk, koku, tat içermemeli
 - gıdanın rengini değiştirmemeli
 - bileşimi değişmemeli
- ❖ Ambalajsız gıdaların dondurulmalarında; gıda maddesi ile frizant arasında kusursuz bir ısı iletimi sağlanmakta ve hızlı bir dondurma gerçekleşmektedir.

Daldırılarak dondurmanın olumlu yönleri;

- ❖ Belirgin bir şekli olmayan bir çok ürün bu yolla başarı ile dondurulabilmektedir.
- ❖ Parçacık halindeki ürünler bireysel olarak dondurulabilmektedirler.
- ❖ Dehidrasyon neredeyse hiç yoktur.
- ❖ Hava ile temas kesildiğinden, oksidasyona duyarlı ürünlerde oksidasyon reaksiyonları geciktirilebilmektedir.

Daldırılarak dondurmanın olumsuz yönleri;

- ❖ Uygun frizant bulmak zordur.
- ❖ Maliyeti yüksektir.

Daldırarak dondurmada kullanılan frizantlar

- * Salamura (tuz çözeltisi)
Sodyum klorür,) (%23, ötektik nokta -21°C)
Kalsiyum klorür (%31, ötektik nokta -50°C)
- * Şeker şurubu (%62, ötektik nokta -21°C)
- * Glikol çözeltileri (Gliserol, %67, -47°C)
(Propilen glikol, %60, -51°C)*

*Sadece ambalajlanmış gıdaların dondurulmasında kullanılır.

Kriyojenik sıvılarla dondurma

- * Kriyojenik özelliğe sahip sıvılarla gıdanın temas ettirilmesi ile yapılan dondurma işlemidir.
- * Herhangi bir soğutma sistemine gerek bulunmamaktadır.
- * Soğuma ve donma, doğrudan bir kriyojenden yararlanılarak sağlanmaktadır.
- * Kaynama derecesi çok düşük olan sıvılara verilen isim.

Kriyojenik materyallerin bazı özellikleri

Kriyojen	1 Atm basınçta kaynama noktası (°C)	Buharlaştırma gizli ısı (kcal/kg)
Helyum	-268.8	108.8
Azot	-195.8	47.3
Karbonmonoksit	-190.6	53.5
Argon	-184.4	37.0
Metan	-161.1	136.0
Etan	-88.9	109.0
Azot oksit	-88.9	90.0
Propan	-42.2	100.6
Karbondioksit (sıvı)	-57.6*	75.0
Karbondioksit (katı)	-79.0**	135.4

*5 atm basınçta

** Sublimasyon sıcaklığı

Gıdaların dondurulmasında kullanılan bazı kriyojenlerin nitelikleri

Nitelikler	LN ₂	LCO ₂
Kaynama sıcaklığı, °C, (1 atm basınçta)	- 196	- 79
Yoğunluk, kg/ m ³	784	464
Özgül ısı, kJ/ kg K		
Sıvı fazda	1.045	2.26
Buhar fazda*	1.024	0.83
Gizli ısı, kJ/kg (kaynama noktasında)	199.8	572.5 (sublimasyon) 348 (-60°C'de buharlaşma)
Yararlanılabilir ısı kapasitesi**, kJ/kg	375	614 (kuru buz) 349 (LCO ₂)

* : Çeşitli kaynaklarda verilmiş değerlerden interpolasyonla hesaplanmıştır.

** : Yararlanılabilir ısı kapasitesi, Q aşağıdaki şekilde hesaplanmış olan değerdir.

$$Q = \text{Gizli ısı} + (\text{özgül ısı} \times \Delta T)$$

$$\Delta T = (-30 \text{ °C}) - (\text{kaynama veya sublimasyon sıcaklığı, °C})$$

Kriyojenik sıvının uygulanması

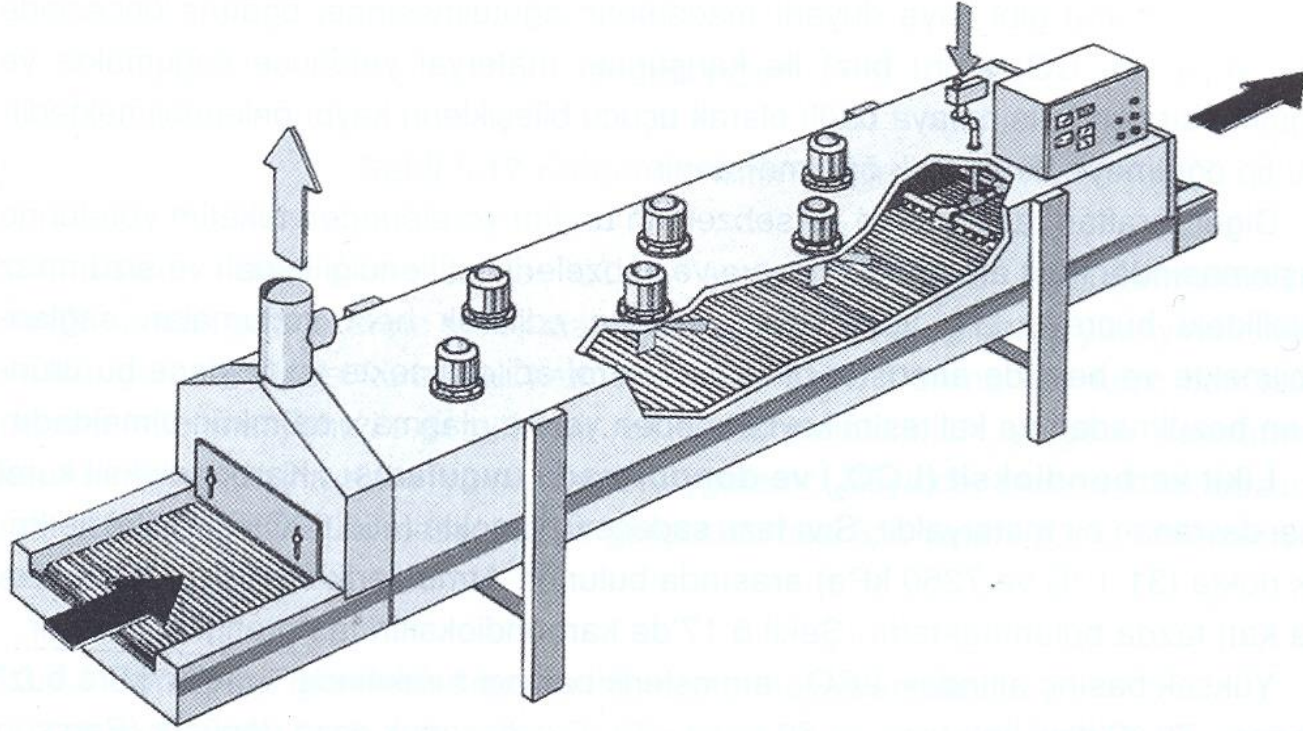
- * Daldırma
- * Püskürtme (sprey)
- * Soğuk gazla karşılaştırma

Dondurmada LN_2 uygulamasında, yüksek bir ısı transfer katsayısına ulaşabilmek için, LN_2 'un gıda ile sıvı fazdayken teması sağlanmalıdır. Bu şekilde ısı transferi doğrudan katıdan sıvıya şeklinde gerçekleşir.

Daldırarak dondurmanın en olumsuz yanı, LN_2 'un çok hızlı kaynaması ve dondurulacak gıdanın bir anda azot gazı ile sarılarak yüzey ısı transfer katsayısının düşmesidir.

Kriyojenlerle dondurmanın başarısı;

- * Küçük boyutlu gıdalarda barizdir.
- * Zira dondurulan gıda ile kriyojen arasındaki büyük sıcaklık farkı nedeniyle, gıda çevresinde hızlı bir donma gerçekleşir.
- * LN₂ damlacıklar halinde ürüne verildiğinde ısı transfer katsayısı diğer dondurma yöntemleriyle ulaşılamayacak bir düzeye çıkar .
- * Zira, sprey olarak uygulanmış LN₂ damlacıkları, bir önceki damlacıklardan oluşmuş gaz kabarcıklarını süpürüp, uzaklaştırmakta ve sıvı-katı teması çok iyi sağlanmaktadır.



Kriyojenik dondurma tüneli

LN₂ ile dondurmada;

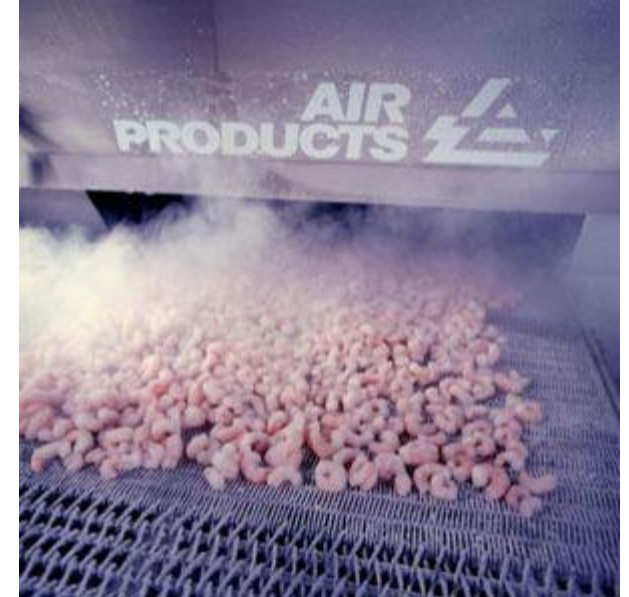
- * Havanın sıkıştırılması ve soğutulması ile likit havaya dönüştürülmesi yoluyla elde edilir (likit hava %21 O₂, %78 N₂'dan oluşur).
- * LN₂, çok iyi yalıtılmış bir kaptaki (Dewar kabı) atmosferik basınç altında saklanırken sıcaklığı -196°C'de kalır ve bu sırada yavaş yavaş buharlaşır.
- * Kayıp olmaması için basınç altında depolanmalıdır.
- * LN₂, atmosfer basıncında -196°C'de buharlaşırken 199.8 KJ/kg buharlaşma gizli ısıyı absorbe ederek, -196°C'de azot gazına dönüşür.
- * Dondurma işleminin yaklaşık yarısı, LN₂'un buharlaşma gizli ısılarından yararlanılarak gerçekleştirilmektedir. Geri kalanı ise hissedilir ısılarından yararlanılarak gerçekleştirilir.
- * LN₂ ile dondurmada, normal bir işlemde materyalin su kaybı yaklaşık %0.5 düzeyindedir. Kriyojenin soğutma kapasitesinden maksimum düzeyde yararlanıldığında bu kayıp, %1.5-2.0'ye çıkabilmektedir.

Kriyojenlerden, dondurma işleminin dışında gıda alanındaki bazı işlemlerde de yararlanılmaktadır:

- * Gıdanın hızlı doğranması (et gibi)
- * Dondurma yüzeylerinin çikolata ile kaplanması
- * Gıdaların yüksek hızlı değirmenlerde öğütülmesinde (baharat gibi-sürtünme ile ısınma sonucu oluşacak olumsuzlukları gidermek amacıyla) kriyojenlerden yararlanılmaktadır.
- * Baharat gibi uçucu bileşikleri içeren materyallerde uçucu bileşiklerin kaybı önlenmektedir. Bu tip öğütmeye “kriyojenik öğütme” adı verilir.
- * Meyve, sebze ve su ürünlerinin taşınmasında bu kriyojenlerden yararlanılmaktadır.

Kriyojenik dondurmanın uygulandığı gıdalar;

- * Çilek, domates, mantar, üzüksü meyveler
- * Balık fileto
- * Midye, karides, istakoz gibi su ürünleri
- * Dilimlenmiş et
- * Fırın ürünleri (pizza)



Likit CO₂ (LCO₂) ile dondurma

- * LCO₂ kural dışı davranan bir materyaldir. Sıvı fazı, sadece üçlü nokta (-56.6°C, 547 kPa) ile kritik nokta (31°C, 7250 kPa) arasında bulunur.
- * Atmosferik basınçta ya gaz yada katı fazda bulunur.
- * Yüksek basınç altında tutulan LCO₂, atmosferik basınca bırakıldığında -79°C'de %50'si katı faza (kuru buz), %50'si ise soğuk gaza dönüşür.
- * Karbondioksit sıvı formda, normal çevre sıcaklığında çok yüksek basınç altında; düşük sıcaklıkta ise orta düzeyde basınç (1500-2000 kPa) altında saklanmalıdır.
- * 1 kg kuru buz, atmosfer basıncında 572.5 kJ süblimasyon ısısı absorbe ederek spontan olarak -79°C'de gaz fazına dönüşmektedir.

