

KOMPRESYONLU SOĞUTMA

Aziz ÖZMERZİ*

1. GİRİŞ

Açık havada saklanmaları veya depolanmaları zor olan tarımsal ürünler, pazarlanmadan önce kurutma veya soğutma ile uzun süre bozulmadan tutulabilir. Ekseri tohumlar ve soğan gibi bazı ürünler, saklanması için kurutulması gerekirken, taze meyve ve sebzeler, et, süt ve manülerinin soğutulması gerekir. Böylece tarımsal ürünlerin uzun mesafelere iletimi sağlanabilmekte ve pazarlama olanakları geliştirilmektedir. Bunun sonucu olarak, belli zamanda üretilen tarımsal ürünleri, daha geniş periyotta pazarda bulma olanağı olmaktadır.

Elma, armut ve bazı çiçek soğanları gibi meyvelerin ve yumru sebzelerinin birçok tipi için uzun süreli soğuk saklama mümkündür. Buna karşı genellikle yapraklı ürünler, yumuşak meyveler ve çiçekler sadece birkaç gün saklanabilir. Ürünün bozulması, hasat edilir edilmez başlar. Çevre koşullarında bozulma için önemli olan süre, tarımsal ürüne bağlıdır. Örneğin çilek, dut, ahududu, böğürtlen 2-3 gün içinde pazarlanamaz duruma gelirken, soğan ve patates birkaç ay saklanabilir. Çeşitli tarımsal ürünler için depolama süreleri ve depolama sıcaklıklarına ilişkin depolama karakteristikleri Cetvel 1 ve 2'de görülmektedir.

Ürün hasat edildiği zaman canlı olduğu için, solunuma devam eder, bu nedenle bozulmanın ilk belirtisi su kaybı olacaktır. Çoğu meyveler, tadında, renginde, yapısındaki değişikliklerle olgunlaşmaya devam eder. Yumrular sonuçta yeniden çimlenme belirtileri gösterir. Kesilmiş ve hasarlı yüzeylerde oksidasyon nedeniyle kısa sürede renk değişikliği olmaktadır ve bu bölgelerden dışarı çıkan su veya bitki özsuyu küf veya diğer çürümelere gelişmesini hızlandırabilir.

* Doç.Dr., Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi

Cetvel 1 : Sebze ve meyvelerin uzun ve süreli olarak soğukta muhafazası

Cinsi	Soğuk hava deposunda uzun süreli depolama			Kısa süreli depolama ve transport için istenen sıcaklık. (°C)	
	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Depolama Süresi	Süre 2..3 gün	Süre 5..6 gün
Armut (Williams Christ)	0...1	92-95	2-3 Ay	---	---
Armut				0...5	0...3
Biber	8...9	90-93	max 3 hafta	4...10	8...10
Domates(yarın olgun)	12...15	85-90	3 hafta	---	---
Domates(3/4 olgun)	8...10	80-85	1 hafta	---	---
Domates(yeşil, kırmızı)	---	---	---	8...15	10...15
Domates(olgun)	---	---	---	4...8	---
Elma(Glockenapfel)	1	90-93	6 Ay	---	---
Elma(Golden Delicious)	1	92-95	4 Ay	---	---
Elma	---	---	---	3...16	3...10
Erik	1...1	90-93	1-6 hafta	0...7	0...3
Fasulye(yeşil)	7...8	92-95	10 gün	4...12	7...10
Greyfurt	8...15	85-90	3 Aya kadar	8...15	8...15
Havuç	1	92-95	5-6 Ay	0...20	0...20
Hıyar	7...10	92-95	10-14 gün	4...12	7...10
İncir(taze)	-0,5..0	85-90	max 2 hafta	0...6	0...4
Karnabahar	0	92-95	3-4 hafta	0...8	0...4
Kayısı	-1...0	90-93	3 hafta	0...3	0...2
Kiraz	0...2	90-93	2 hafta	0...4	---
Kuşkonmaz	1...2	92-95	2 hafta	0...5	1...2
Limon	14...15	90	max 5 Ay	3...15	8...15
Mandalina	6...7	85-90	6 haftaya kad.	2...8	2...8
Mantar	-1...0	85	8 güne kadar	0...2	---
Patates	4...5	92-95	8 Ay	5...10	5...10
Patlıcan	8...10	92-95	2 hafta	3...15	8...12
Portakal	6...3	85-90	max 5 Ay	2...10	4...10
Sogan	1...-1	70-75	8 Ay	-1...20	-1...15
Şeftali	-1...0	90-93	2-6 hafta	0...7	0...3
Vişne	1...-1	90-93	10 gün	0...3	---
Üzüm	-1...-2	95	1-6 Ay	0...8	0...6

Tablo 2 : Bazı Yiyeceklere Ait Muhafaza Koşulları

Yiyecekler	Önerilen Muhafaza Sıcaklığı (°C)	Muhafaza Süresi (Ay)
Sığır Eti	-18	12
Dana Eti	-18	8-12
Koyun Eti	-18	8-12
Domuz Eti	-18	5-8
Sucuk (Yumuşak)	-18	1-4
Kümes Hayvanı Eti	-18	12
Yağlı Balık	-28	6-8
Yumurta	-18	12

Ürün bozulmasına neden olan bu olaylar, tarımsal ürünlerin bulunduğu ortamdaki sıcaklık, nispi nem ve hava bileşimi kontrol edilerek önenebilir veya en aza indirgenebilir.

Soğuk muhafazada ürün, minimal seviyede yaşamasına müsaade edilen bir sıcaklıkta tutulur ve bu sıcaklık ürünün hücre yapısına etki etmez. Derin soğuk saklama normal olarak -10°C 'den daha düşük bir sıcaklıkta yapılır ve bu sıcaklık hücre suyunu dondurarak çoğu ürünleri öldürür. Keza bu hücre yapısında bir daha dönüşümü olmayan zararlara neden olur, böylece ürünün kalitesi, çözülmeden sonra değişecektir. Soğuk depolamada sebze ve meyvelerin saklanması için gereken en uygun sıcaklığı üstüne zararları denen fizyolojik hastalıkların meydana geldiği sıcaklık tayin eder. Düşük sıcaklıklarda üstüne zararlarının söz konusu olmadığı ürünler için en uygun saklama sıcaklığı donma noktasına en yakın olan sıcaklıktır.

Depodaki havanın bağıl nemi, depolama süresi için önemlidir. Bir çok ürün, rutubet kaybını önlemek için yüksek nem ister. Havuç çok yüksek nem ister ki, depo havasının nemi bile yeterli değildir ve bunlar en iyi şekilde polietilen depolarda saklanır. Patates ve beyaz lahana % 90-95 bağıl nemle en iyi depolanır. Soğan ve kuru çiçek soğanları, küflenmeyi önlemek için % 65-75 arasındaki daha düşük bir bağıl nem isterler.

Elma, armut ve bazı sebzelerin olgunlaşma işlemleri, depo atmosferindeki oksijen ve karbondioksit seviyelerini değiştirerek durdurulabilir.

2. SOĞUTMA YÖNTEMLERİ

Soğutma ile, çevre sıcaklığına bağlı olmaksızın istenilen depolama süresi boyunca ürün için uygun depolama sıcaklığı garanti edilebilir. Soğutulacak bölümden ısı alarak bu ısıyı atmosfere yani dışarıya atan makinalara soğutma makinaları veya soğutma tesisleri adı verilmektedir. Bu makinalarda soğuk kaynaktan 1 kcal'lik ısı alındığında bu kaynağı 1 frigori verildiği kabul edilir.

Soğutma makinaları soğuk hava depoları ve derin soğuk hava depoları gibi tesislerde kullanılır. Derin soğuk hava depolarında, soğutma makinasının soğutma kapasitesi daha büyüktür. Çünkü bu tesislerde depo içi sıcaklığı, soğuk hava depolarından daha düşüktür. Örneğin : -18°C , -25°C gibi.

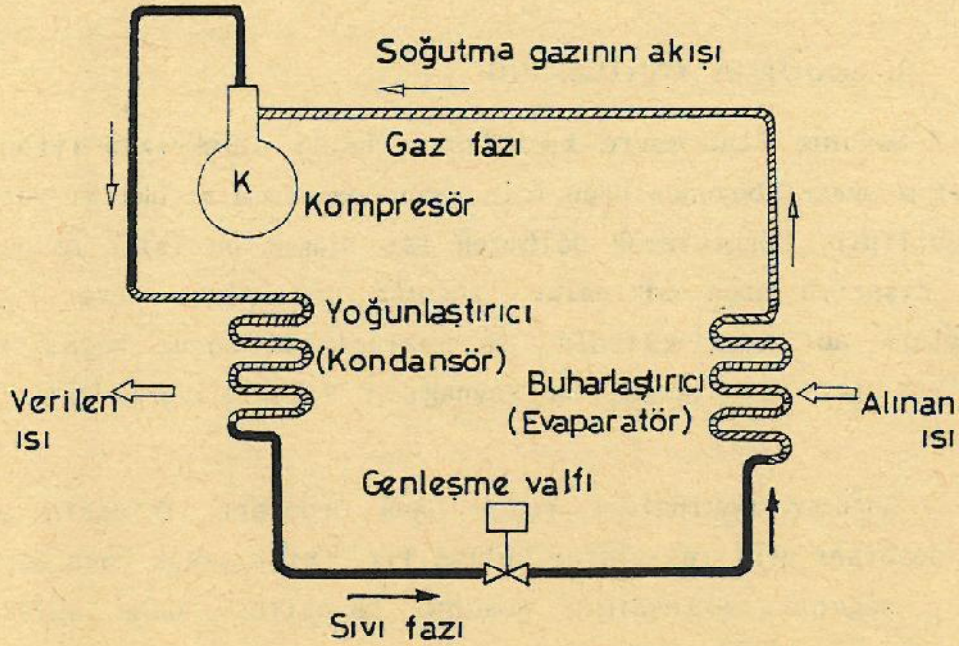
Soğutma makinaları, kompresyon yöntemi (sıkıştırımlı soğutma yöntemi) veya absorpsiyon yöntemi (soğumalı soğutma) olmak üzere iki pensiple çalışırlar. Tarımsal amaçlı tesislerde kullanılan soğutma makinaları kompresyon ile çalışan tipler olduğu için burada bu yöntem üzerinde durulmuştur.

2.1 Kompresyon Yöntemi ile Soğutma

Genellikle günümüzdeki soğutma tesislerinin çoğunluğunda bu yöntemle çalışan soğutma makinaları kullanılır. Kompresyonlu soğutma makinaları kapalı bir sistem içinde sırayla soğutma gazını sıvılaştırmak için sıkıştırıldığı ve daha sonra tekrar gaz haline döndürmek için genişletildiği ısı pompası prensibiyle çalışırlar.

2.1.1 Soğutma Devresini Oluşturan Elemanlar

Temel soğutma devresi dört elemandan oluşur. Bunlar, buharlaştırıcı (Evaporatör), kompresör, yoğunlaştırıcı (kondansör) ve genişleme (ekspansiyon) valfidir (Şekil 1). Bu temel elemanlara ilâveten tesisin çalışmasını iyileştirmek ve otomasyonu sağlamak için dryer (kurutucu), termostat, selenoid valf, toplama deposu ve pressostat gibi bazı elemanlar ve teknikleri kullanılır. Ayrıca kompresörün çalıştırılması için de bir motor gereklidir.



Şekil 1 : Kompresyon Yöntemli Soğutma Devresi

Soğutma devresini oluşturan elemanlardan sadece buharlaştırıcı depo içindedir. Soğutma gazı, sıvı fazında buharlaştırıcıya gider ve buharlaştırıcının etrafındaki havadan buharlaşması için gerekli gizli ısıyı çeker (gizli buharlaşma ısı, aynı sıcaklıkta sıvı fazından gaz fazına dönüşmesi için gerekli ısıdır). Daha sonra soğutma gazı, gaz halinde kompresör ve tekrar sıvılaştığı yoğunlaştırıcıdan geçerek buharlaştırıcıya döner.

2.1.1.1 Kompresör

Kompresör, buharlaştırıcıdan emdiği gaz halindeki soğutma gazını yoğunlaştırıcıya basar. Bu emme sırasında, soğutma gazının buharlaştırıcıda buharlaşacağı vakumda sağlanır ve soğutma gazı yoğunlaştırıcıda soğutulurken sıvılaşacağı bir basınçta kompresörle sıkıştırılır. Sıkıştırma sırasında soğutma gazı ısınır. Tarımsal amaçlı soğutma tesislerinde kullanılan kompresörler genellikle pistonlu tiptir. Kompresörler, elektrik veya içten yanmalı benzinli veya diesel motorla çalıştırılır. Kompresör içindeki gaz ve motor arasındaki ilişkiye göre, kompresörler açık ve kapalı (hermetic) tiplerinde olabilirler. Açık kompresörde, motor soğutma devresinin dışındadır. Kapalı tipte daima elektrik motoru olması gereken motor, direkt olarak kompresör miline

bağlıdır. Her ikisinde kapalı olarak soğutma gazının bulunduğu sızdırmaz bir oda içerisinde. Kapalı tip daha ucuz olmasına karşın motor arıza yaptığı zaman bakımı zordur. Diğer taraftan motor kabloları yanarsa ortaya çıkan karbon artıkları soğutma devresine geçer ve diğer elemanlarda tıkanmalara neden olabilir.

2.1.1.2 Yoğunlaştırıcı (Kondansör)

Yoğunlaştırıcı, kompresörün neden olduğu ısıyı ve gazın yoğunlaşması için gerekli gizli yoğunlaşma ısını uzaklaştıran bir elemandır. Böylece soğutma gazı yoğunlaştırıcıda yoğunlaşırken buharlaştırıcı çevresinden aldığı ısı enerjisini yoğunlaştırıcıda bırakır. Tarımsal tesislerde kullanılan yoğunlaştırıcılar, alınacak ısı miktarını kontrol eden hızı değişken fanlarla, hava ile soğutulur. Endüstride kullanılan yoğunlaştırıcılar su soğutmalıdır.

2.1.1.3 Genleşme (Ekspansiyon) Valfi

Genleşme valfi, sıvı fazındaki soğutma gazını buharlaşacağı buharlaştırıcı düşük basıncına püskürtür. Genleşme valfi, genellikle değişken bir orifis olup konumu buharlaştırıcıdaki koşullara göre otomatik olarak ayarlanır.

2.1.1.4 Buharlaştırıcı (Evaporatör)

Buharlaştırıcı, genleşme valfindan püsküren sıvı soğutma gazının kompresörün emme strokunun yarattığı düşük basınçta (vakumda) kaynadığı yerdir. Kaynama sırasında, soğutma gazı soğutmaya neden olan gizli buharlaşma ısını buharlaştırıcı çevresindeki havadan alır.

2.1.1.5 Soğutma Devresinin Diğer Elemanları

Toplama deposu, sivilaşmış soğutma gazını tutar ve genleşme valfi ayarının neden olduğu değişken akışını düzenlemek için bir depo gibi rol oynar.

Termostat, depo içindeki sıcaklığı kontrol etmek için kullanılır. Soğutma devresinde selenoid valf varsa, bu valf seri olarak termostat devresindedir. Böylece de soğutmanın alt sınırında selenoid valfin kapanmasını üst sınırdaki açılmasını sağlar. Selenoid valfin olmadığı devrelerde termostat direkt olarak elektrik motorunun devresine seri olarak bağlıdır. Depo içinde istenilen soğutma sıcaklığına göre termostat elle ayarlanır. Termostatlar elektronik veya elektromekanik olabilir.

Selenoid valf, yoğunlaştırıcı ile genleşme valfi arasındadır. Selenoid valfi, sıvı fazındaki soğutma gazının akışını kontrol eder. Sistemin durdurulması gerektiği zaman bu valf termostatın ikazıyla kapanır ve kompresör tüm soğutma gazını sistemden toplama deposuna basar. Daha sonra kompresör pressostatın motorun elektrik devresini kesmesiyle durur. Böylece soğutma gazının yoğunlaşabileceğine kompresör sıvı olarak gelebileceği sistemde soğutma maddesinin kalmasında önlenmektedir.

Pressostat, elektrik motorunun devresine manyetik bir şartelle girer. Selenoid valfin gaz akışını kesmesi sonucunda, kompresörün emiş hattındaki basınç belli bir değere düşünce elektrik motorunu durdurur. Selenoid valf açılıp yoğunlaştırıcıdaki basıncı düşünce pressostat tekrar elektrik motorunun kumanda devresine kumanda ederek kompresörün çalışması sağlanır.

-2°C veya altında çalışan buharlaştırıcılar için buz (kar) eritme gereklidir. Çünkü buz kademeli olarak yoğunlaşarak çevre su buharından kırağı şeklinde birikecektir. Bu düzenli bir şekilde temizlenmezse, sonuçta buharlaştırıcı petekleri buz ile kapanacaktır. Bu buzun ağırlığı veya soğurken genleşmesi buharlaştırıcı peteklerine zarar verebilir.

Buz çözmek için yaygın yöntem peteklerin içine konan elektrikli ısıtma elemanlarıdır. Diğer yöntem ise bypass'dır. Bypass yönteminde, kompresördeki sıcak gaz yoğunlaştırıcı yerine buharlaştırıcıya gönderilir veya su soğutmalı yoğunlaştırıcılarda ısıtılan sıcak suyu kullanan sıcak yıkama yapılır.

Buz eritme, normal olarak belirli aralıklarda yapılır.

Bazı sistemlerin sıvı akış devresine gözleme camı konur. Bu sıvı çıkışının gözlenmesine olanak verir.

2.2 Soğutma Gazları

Soğutma tesislerinde soğutucu olarak çeşitli soğutma gazları kullanılır. Bunların çoğunluğu çeşitli flourin, hidrojen ve karbon bileşikleridir. Her bir bileşik, bir soğutma numarası ile ifade edilmektedir. Örneğin Freon 12 (R 12), Freon 22 (R 22) veya Freon 502 (R 502). Herbirinin kendine özgü basınç, sıcaklık ilişkisi ve ısı taşıma kapasitesi vardır. Örneğin R12, R22'den daha düşük basınçla çalışır, fakat R22 birim debisinde taşıdığı ısının sadece yarısını taşır.

Soğutma tesislerinde Freon dışında Amonyakta kullanılmaktadır. Bu soğutma gazları tek tek kullanılabilirdiği gibi karışım halinde kullanılmaktadır. Amonyak daha çok büyük soğutma tesislerinde kullanılır.

2.3 Çalışma Katsayısı (COP)

Soğutma sistemi, kompresör için gerekli mekanik enerjiden çok daha fazla ısı enerjisi pompalar. Bu nedenle soğutma tesisi çalışma katsayısı ile belirlenir ve bu katsayı tesisde iletilen enerjinin yutulan enerjiye oranıdır. Teorik olarak sistem 13'lük bir çalışma katsayısına sahip olabilir. Yani bu kompresör tarafından yutulan her 1 kW enerji için 13 kW.lık ısı enerjisi taşıyor veya hareket ettiriliyor demektir. Bununla birlikte kompresörlerdeki kayıplar ve sistemden dolayı pratik olarak bu katsayı 2,5 ile 4 arasında olmaktadır.

2.4 Soğutma Tesisinin Soğutma Kapasitesinin Hesaplanması

Soğutma tesisleri, soğutulacak ortamdan ısı enerjisi transferini sağlayan tesislerdir. Bu nedenle tesisin toplam soğutma yükünün hesaplanması gerekir. Bir soğutma tesisindeki toplam soğutma yükü dört grupta toplanır:

1. Yapısal ısı kazancı,
2. Fan motorları, ampuller, işçiler, deponun içinde çalışan makineler ve diğerlerinin ürettiği ısı enerjisi,
3. Depolanan ürünün solunum yaparken verdiği (yaydığı) ısı enerjisi (metabolik ısı),
4. Ürünün soğutulması için alınması gereken ısı enerjisi.

2.4.1 Yapısal Isı Kazancı (Q_1)

Bu ısı, duvarlar, taban ve tavandan dışardan depo içine sızan ısı enerjisidir. Bu kısımlar için 1°C sıcaklık farkındaki ısı kazançları $\text{W}/^{\circ}\text{C}$ aşağıdaki gibi hesaplanır:

Yan duvar 1 : Uzunluk x yükseklik x U = $\text{W}/^{\circ}\text{C}$

Yan duvar 2 : Uzunluk x yükseklik x U = $\text{W}/^{\circ}\text{C}$

Ön ve Arka duvarlar : Uzunluk x ortalama yükseklik x 2 x U = $\text{W}/^{\circ}\text{C}$

Tavan : Uzunluk x genişlik x U = $\text{W}/^{\circ}\text{C}$

Taban : Uzunluk x genişlik x U = $\text{W}/^{\circ}\text{C}$

1°C sıcaklık farkı için toplam yapısal ısı kazancı(q), yukarıdaki-lerin toplamıdır. U değeri, depo kısımlarını oluşturan bir malzemenin veya

birleşik malzemenin ısı iletim değeridir ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$). Bu değer, malzemenin ısı iletim katsayısına bağlıdır.

Bu yapısal ısı kazancına göre, soğutma süresindeki ısı kazancı,

$$Q_1 = \frac{q(T_1 - T_2)}{1000} \text{ (kW)}$$

eşitliğinden hesaplanır.

Burada:

Q_1 = Soğutma süresindeki toplam yapısal ısı kazancı (kW)

q = $1^\circ C$ 'lik sıcaklık farkı için toplam yapısal ısı kazancı (kW)

T_1 = Sıcak tarafın sıcaklığı ($^\circ C$)

T_2 = Soğuk tarafın sıcaklığı ($^\circ C$)

2.4.2 Fan Motorları, Ampüller, İşçi, Makina ve Diğerlerinin Ürettiği Isı (Q_2)

Bu tip yardımcı ünitelerin ürettiği ısı, başlangıçta tahmin edilmesi gerekir ve tesisin gerçek ölçüleri belli olduktan sonra yeniden hesaplanmalıdır.

$$Q_2 = \text{Fan motorları (kW)} + \text{Ampüller (kW)} + \text{İşçi (kW)} + \text{Diğerleri (kW)}$$

2.4.3 Depolanan Ürünün Solunum Yaparken Verdiği Isı (Q_3)

Ürünlerin çeşitli sıcaklıklarda solunum yaparken verdiği ısı miktarları farklıdır. Bazı ürünlerin çeşitli sıcaklıklardaki solunum ısıları ve özgül ısı değerleri Cetvel 3'de toplu olarak görülmektedir.

Ürünün depolama sıcaklığındaki verdiği toplam solunum ısı,

$$Q_3 = \frac{A \times q_2}{1000}$$

eşitliğinden hesaplanır.

Burada:

Q_3 = Ürünün toplam solunum ısı (kW)

A = Ürünün ağırlığı (t)

q_2 = Ürünün depolama sıcaklığındaki solunum ısı (W/t)

Cetvel 3 : Bazı Ürünlerin Çeşitli Sıcaklıklardaki Solunum Isıları ve Özgül Isı Değerleri

Ürün	Çeşitli Sıcaklıklardaki Solunum Isısı (W/Ton) (°C)				Özgül Isı (kJ/kg)
	5	10	15	20	
Kırmızı Pancar	20.0	31.5	48.7	54.4	3.76
Lahana	74.5	85.9	105.9	114.6	3.92
Karnabahar	97.3	128.9	191.9	360.8	3.88
Marul	63.0	74.5	143.2	243.4	4.01
Bezelye	174.7	372.3	515.5	700.30	3.30
Tatlı Mısır	157.5	257.7	406.6	601.4	3.30
Havuç	48.7	54.4	58.7	94.5	3.80
Ispanak	200.5	229.1	343.7	429.0	3.93

2.4.4 Ürünün Soğutulması İçin Alınması Gereken Isı Enerjisi (Q_4)

Bu ısı enerjisine, tesisin soğutma yükü de denilir. Bu yük, ürün ağırlığı, kasa ağırlığından, bunların özgül ısıları ile soğutmanın yapılabileceği süre ve gerekli sıcaklık düşürmeye bağlı olarak hesaplanır. Sıcaklık düşürme süresi genelde esastır. Sebzeler için günde 1-2°C'lik düşüş, meyveler için günde 3-5°C'lik bir düşüş tavsiye edilir.

Soğutma yükü,

$$Q_4 = \frac{A \times 1000 \times (T_1 - T_2) \times q_3}{3600 \times t} \text{ (kW)}$$

Burada:

Q_4 = Ürünün soğutulması için gereken ısı enerjisi (kW)

A = Ürünün ağırlığı (t)

T_1 = Ürünün ilk sıcaklığı (°C)

T_2 = Depolama sıcaklığı (°C)

q_3 = Ürünün özgül ısı (kJ/kg °C)

t = Sıcaklık düşürme süresi (h)

Bu hesaplama ürün ve kasa için yapılmalıdır.

2.4.5 Toplam Soğutma Yüğü (Q)

Toplam soğutma yüğü, depo dışına atılması gerek dört gruptan oluşan ısı yüklerinin toplamıdır.

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

Q = Toplam ısı yük (kW)

2.4.6 Tesis veya Makina Kapasitesi

Tesis veya makina bir günlük net çalışma süresinde hesapla bulunan toplam ısı yükünün tesis dışına iletimini sağlayabilecek kapasitede olmalıdır. Soğutma makinasının günlük çalışma süresi, depolama sıcaklığı ve evaporatör sıcaklığına bağlı olarak 16-22 saat arasında değişmektedir. Buna göre soğutma makinasının kapasitesi,

$$Q_k = Q \times \frac{24}{t_1}$$

eşitliğinden hesaplanır.

Burada:

Q_k = Tesis veya soğutma makinasının kapasitesi (kW)

Q = Toplam ısı yükü (kW)

t_1 = Tesis veya makinanın günlük çalışma süresi (h) (16---22h)

Bazı durumlarda, hesaplamalar hesaplanamayan değerler için % 10'lu aşmaya bir tolerans göz önüne alınmalıdır.

3. KAYNAKLAR

- Balls, R.C., 1986. Horticultural Engineering Technology (Fixed Equipment and Buildings). Macmillan Education LTD, London.
- Bishop, C.F.H., and W.F. Maunder, 1980. Potato Mechanisation and Storage. Farming Press LTD, Wharfedale Road, Ipswich, Suffolk.
- Culpin, C., 1986. Farm Machinery. William Collins Sons and Co. Ltd. London.
- Yavuzcan, G. 1983. Tarımsal Elektrifikasyon, A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları: 365, Ankara.