

BÖLÜM 3

SOĞUTMA YÜKÜ HESAPLAMALARI

Bir soğutma tesisinin yapılandırılmasında ilk iş tesisin soğutma gereksiniminin hesaplanmasıdır. Bu nedenle, soğuk kayıplarının ya da ısı kazançlarının iyi belirlenmesi gerekmektedir. Genel olarak; her tesiste dört ısı kaynağı bulunmaktadır:

- soğutulacak gıdanın sıcaklıklarının düşürülmesi,
- işletmenin duvarlarından elde edilen ısı kazançları,
- hava değişimi nedeniyle ya da infiltrasyon yolu ile giren havanın soğutulması,
- ışıklar, insanlar, motorlar vb. gibi iç ısı kaynakları.

Bir soğuk depodaki gıda ve deponun iç havası istenilen sıcaklığa indirildikten sonra bu sıcaklığın muhafaza edilebilmesi için duvarlardan sızan ısı miktarı (kcal/ saat) kadar ısı emilmesi gereklidir. Bu nedenle, yapılacak ikinci iş duvarlardan içeriye konveksiyon ve kondüksiyon yolu ile giren ısı miktarının hesaplanmasıdır. Ayrıca, hava değiştirilmesi amacıyla ya da kapıların açılıp kapanması ile içeri giren havanın soğutulması da gereklidir. İnfiltrasyon yükü adı verilen bu yükün de hesaplanması gerekmektedir. Son olarak, soğutma ortamında yer alan ışık, elektrik motorları gibi bazı iç ısı yükleri de dikkate alınmalıdır.

1. Gıdaların soğutulması sırasında oluşan ısı yükü ($Q_{ürün}$)

Soğutulacak olan bir gıdanın ağırlığı G (kg) ve özgül ısısı C (kcal/kg, °C) olduğuna göre bunları t_2 sıcaklığından t_1 sıcaklığına indirmek için gerekli ısı aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır:

$$Q_{ürün} = G.C (t_2-t_1)$$

Katı gıdaların özgül ısıları 0.2 ile 0.4 kcal/kg, °C kadardır. Gıdalar donma noktalarının altına kadar soğutulacakları zaman bu gıdaların donma gizli ısıları ile donma noktaları altındaki özgül ısılarının da bilinmesi gerekmektedir. Bu değerler gıdanın içinde bulunan su miktarının bir fonksiyonudur.

$$C = \frac{a + 0.2-0.4 (1-a)}{100}$$

Suyun donma gizli ısısı 80 kcal/kg, °C olduğuna göre içinde % a oranında su bulunan bir gıdanın donma gizli ısısı da;

$$C' = \frac{a \times 80}{100} \text{ olacaktır.}$$

Örneğin; %35 su içeren bir kaşar peynirinin özgül ısısı;

$$C = \frac{35 + 0.2 (65)}{100} = 0.480 \text{ kcal/kg, } ^\circ\text{C}$$

Donma ısısı ise $C' = 0.35 \times 80 = 28 \text{ kcal/kg}$ 'dir.

Bazı süt ürünlerinin muhafaza şartları Çizelge 3'de verilmektedir.

Çizelge 3. Bazı süt ürünlerinin muhafaza şartları.

Süt ürünü	Donma sıcaklığı, °C	Muhafaza sıcaklığı, °C	Muhafaza şartları		
			Havalandırma	Rutubet %	Süre
Süt	-0.545	+2 - +5			5 gün
Tereyağı		+7 - +10			10 gün
Tereyağı (donmuş)		-6 - (-)10	Kuvvetli	15-80	6 ay
Peynir olgunlaşma	-10	+6 - +12	Vasat	90-100	
Yumuşak peynir depolama		+2 - +4	Vasat	80	2-3 ay
Sert peynir depolama		+2 - +5	Vasat	60-75	2-12 ay

Örnek:

30 ton tereyağını 6 ay soğuk depolamak amacıyla kurulması planlanan bir soğuk hava deposunda ürünü soğutmak için gerekli ısı miktarlarını hesaplayınız. Tereyağları depoya 10 °C'de getirilmektedir.

Çözüm:

Çizelge 3'de görüldüğü gibi tereyağının depolama sıcaklığı -6-(-)10 °C arasındadır. Bu işlem sırasında tereyağı örnekleri önce 0 °C'ye kadar soğutulmakta ve ardından -2 °C'ye kadar dondurma işlemi gerçekleştirilmektedir. -2 °C'de dondurulan tereyağları son olarak -20 °C'de depolanmaktadır. Ön soğutucunun kapasitesi 10 ton ve ön soğutma işleminin 10 saat sürmesi öngörülmüştür. Donma işleminin 60 saat, donmuş tereyağının -20 °C'ye soğutulmasının ise 18 saat sürmesi tasarlanmıştır.

Tereyağının ;

Donma noktasının üstünde $C_p = 0.76 \text{ kcal/kg, } ^\circ\text{C}$

Donma gizli ısısı $r = 56 \text{ kcal/ kg}$

Donma noktasının altında $C_p = 0.42 \text{ kcal/kg, } ^\circ\text{C}$

Bu verilere göre;

Ön soğutma odasının ısı yükü :

$$Q_1 = 10\ 000 \times 0.76 \times (10-0) = 76\ 000 \text{ kcal}$$

$$q_1 = 76\ 000 / 10 = 7\ 600 \text{ kcal / saat}$$

Donma ve muhafaza odasının ısı yükü :

$$Q_2 = 30\ 000 \times 0.76 \times [0-(-2)] = 45\ 600 \text{ kcal}$$

$$Q'_2 = 30\ 000 \times 0.56 = 16\ 800 \text{ kcal}$$

$$q_2 = \frac{16\ 800 + 45\ 600}{60} = 1\ 040 \text{ kcal / saat}$$

$$Q_3 = 30\ 000 \times 0.42 \times (20-2) = 226\ 800 \text{ kcal}$$

$$q_3 = \frac{226\ 800}{18} = 12\ 600 \text{ kcal / saat}$$

$$q_T = 1\ 040 + 12\ 600 = 13\ 640 \text{ kcal/ saat}$$

Bu verilere göre tereyağının donmuş halde depolanması için kurulması planlanan soğutma tesisinin ön soğutma odasının soğutma kapasitesi 12 600 kcal/ saat, donmuş halde muhafaza edilecek odanın soğutma kapasitesi ise 13 640 kcal/ saat olması gerekmektedir.

2) Duvarlar, tavan, taban ve kapılardan kaynaklanan ısı yükü (Q_{duvar})

Bir soğuk hava deposunun sıcaklığının istenilen soğuklukta tutulabilmesi, ancak duvarlardan içeri giren ısı miktarı kadar ısının soğutma makinası tarafından çekilmesi ile mümkün olmaktadır. Bu nedenle, konveksiyon ve kondüksiyon yolu ile içeri giren ısı miktarının hassas bir şekilde hesaplanması gerekmektedir. Duvarlardan ısı kazancı, binanın konstrüksiyon şekline, kullanılan izolasyon cinsine ve kalınlığına, dışa bakan duvar alanına, dış ve iç

sıcaklıklar arasındaki farka bağlı olarak değişmektedir. Duvarların ısı geçirme sayısı K (kcal/m².h.°C) aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{x_1}{\lambda_1} + \frac{x_2}{\lambda_2} + \frac{x_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{1}{\alpha_2}}$$

Burada;

α_1, α_2 = İç ve dış konveksiyon yüzey katsayıları (kcal/m².h.°C)

x_1, x_2, x_3 = Duvar malzemelerinin kalınlıkları (m)

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ = Duvar malzemelerinin ısı iletkenlikleri (kcal/m².h.°C)

Duvarların ısı geçirme sayısı bilindiği zaman yüzeyi A (m²) olan bir duvarın ısı kazancı;

$Q = K \cdot A \cdot \Delta t$ (kcal/ saat) şeklinde hesaplanmaktadır.

Soğutma endüstrisinde alışlagelmiş pratiğe göre, toplam ısı geçirme sayısı 0.25 ile 0.50 kcal/m², °C arasında değişmektedir. -20 °C civarındaki çok soğuk depolar için küçük değer, 0 °C'den daha sıcak alanlar için büyük değer kullanılmaktadır. Toplam ısı geçirme sayısı U'nun hesabında kullanılacak olan yüzey konveksiyon sayıları Çizelge 4'de verilmektedir.

Bir duvarın izolasyonu ne kadar iyi olursa olsun, duvarın iki tarafında sıcaklık farkı ise bu duvardan bir ısı kazancı olacaktır. Birim zamanda geçen ısı miktarı (kcal/saat) ne kadar az ise tesisin işletme masrafları o kadar az olur. Bu durum da izolasyon maddesini kalın tutmakla mümkündür. Ancak, bu durumda da tesisin inşaat masrafları yüksek olacaktır. Uygun izolasyon miktarının bulunması bir optimizasyon konusudur. Çizelge 5'de dış sıcaklığı 32 °C olan bir alanda iç sıcaklığın bir fonksiyonu

Çizelge 4. Soğuk hava depolarında kullanılan yüzey konveksiyon katsayıları.

Yüzeyin durumu	kcal/m ² .h.°C
Dış hava ile temasta olan düşey duvar	20
İç hava ile temasta olan düşey duvar	7
Çok iyi havalandırılmış bir odanın iç duvarı	15
Damın dış yüzeyi	20
Tavan (ısı aşağıya geçiyor)	5
Döşeme (ısı yukarıya geçiyor)	5

Çizelge 5. Soğutma tesisleri için önerilen izolasyon kalınlığı.

Soğuk oda iç sıcaklığı (°C)	Serin / Kuzey Bölgeler		Sıcak / Güney Bölgeler	
	Poliüretan (*)	Mantar eşdeğer (**)	Poliüretan (*)	Mantar eşdeğer (**)
+10/+16	25 mm	50 mm	50 mm	75 mm
+4/+10	50 mm	75 mm	50 mm	100 mm
+1/+4	50 mm	100 mm	75 mm	125 mm
-9/-4	75 mm	125 mm	75 mm	150 mm
-18/-9	75 mm	150 mm	100 mm	175 mm
-26/-18	100 mm	175 mm	100 mm	200 mm
-40/-26	125 mm	225 mm	125 mm	250 mm

(*) Poliüretan tecrit malzemesi için (ortalama $X = 0.020 \text{ Kcal/h. } ^\circ\text{C.m}^2/\text{m}$)

(**) Mantar, cam yünü, strofor için (ortalama $A = 0.035 \text{ Kcal/h. } ^\circ\text{C.m}^2/\text{m}$)

olarak uygun mantar kalınlığı verilmiş ve bu kalınlıkta izolasyon kullanıldığı zaman toplam ısı geçirme sayısının alacağı değer gösterilmiştir. Bu çizelgeden de görülebileceği gibi, $-20 \text{ } ^\circ\text{C}$ dolayındaki sıcaklıklar için $K = 0.25 \text{ kcal/ m}^2, ^\circ\text{C, saat}$ ve $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ dolayındaki iç sıcaklıklar için ise $0.50 \text{ kcal/m}^2, ^\circ\text{C, saat}$ düzeyindeki değerler uygun düşmektedir.

Genellikle, kalın izolasyon tabakası kullanıldığı zaman diğer inşaat malzemelerinin ısı direnci ile yüzey konveksiyon katsayılarının ısı direnci yok sayılabilir, ve

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{x}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \quad \text{formülünde } 1/K = x / \lambda \text{ ve } K = \lambda / x \text{ olarak hesap yapılabilir.}$$

Mantar için kondüksiyon katsayısı $k = 0.04 \text{ kcal/ m.h.}^\circ\text{C}$ olduğuna göre $x = 0.15$ için, $K = 0.04 / 0.15 = 0.266 \text{ kcal/m}^2.\text{h.}^\circ\text{C}$ değer bulunmaktadır. Bu değere göre yüzeyin birim alanından geçen ısı miktarı :

$$\frac{Q}{A} = K \cdot \Delta t = 0.266 \times [32 - (-15)] = 12.5 \text{ kcal/ m}^2.\text{h}$$

Pratikte bu değer 8 ile 12 arasında olduğu zaman izolasyon kalınlığı yeterli kabul edilmektedir.